

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 1563-0064

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАТИКА

Научно-технический журнал

№ 3(74), июль– сентябрь 2016

Основан в 1997 г.

Выходит 4 раза в год

© Харьковський національний
університет радіоелектроніки, 2016

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 12097-968 ПР 14.12.2006

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОНИКА

ПРИТЧИН С.Е., ГУРИНА Д.В., ДЕМСЬКА Н.П. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ГНУЧКИХ СТРУКТУР	4
--	---

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

КРАВЧЕНКО А.К., АФАНАСЬЕВА И.В. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАЦЕПЛЕНИЯ И СВЯЗНОСТИ НА СЛОЖНОСТЬ КОДА И ЕГО БЫСТРОДЕЙСТВИЕ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	9
--	---

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

ПОДЛЕСНЫЙ С.А. ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДВОИЧНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-ЭНТРОПИЙНОГО СЛОТИРОВАНИЯ	13
СКУЛИШ М.А. МЕТОД ОРГАНІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ КОНТРОЛЕРА SDN «НЕСКІНЧЕННИЙ ПОТЯГ»	21
БАРАННИК В.В., ТАРАСЕНКО Д.А. МЕТОД СИНТАКСИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИДЕНТИФИКАЦИОННОГО СТРУКТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА ТРАНСФОРМАНТЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКА	29

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

ШКИЛЬ А.С., МИРОШНИК М.А., КУЛАК Э.Н., ГРЕБЕНЮК А.С., КУЧЕРЕНКО Д.С. ОБНАРУЖЕНИЕ ОШИБОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ В HDL-МОДЕЛЯХ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНХРОНИЗИРУЮЩИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ	39
ЧЕЧЕНЯ В.С. АБСТРАКТНЫЙ АВТОМАТ И ФОРМИРОВАНИЕ КОРТЕЖА С НЕПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ СОЕДИНЕНИЯМИ	47

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ГВОЗДИНСКИЙ А.Н., СЕРИК Е.Э. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ В ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ	55
БАРАННИК В.В., МУСИЕНКО А.П., ЖУЙКОВ Д.Б. МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ БЛОКОВ АЭРОФОТОСНИМКА В ДВУХПРИЗНАКОВОМ СТРУКТУРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ В СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ	58
ЗИАРМАНД А.Н., ХАХАНОВ В.И. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ	64
РЕФЕРАТИ	81
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА	84

International Editorial Board:

Y. Zorian – USA
M. Karavay – Russia
R. Ubar – Estonia
S. Shoukourian – Armenia
D. Speranskiy – Russia
M. Renovell – France
R. Seinauskas – Lithuania
Z. Navabi – Iran
J. Abraham – USA
A. Ivanov – Canada
V. Kharchenko – Ukraine
O. Novak - Czech Republic
Z. Peng - Sweden
B. Bennetts - UK
P. Prinetto - Italy
V. Tarassenko - Ukraine
V. Yarmolik - Byelorussia
W. Kusmich - Poland
E. Gramatova - Slovakia
H-J. Wunderlich – Germany
S. Demidenko – New Zealand
F. Vargas – Brazil
J-L. Huertas Diaz – Spain
M. Hristov – Bulgaria
W. Grabinsky – Switzerland
A. Barkalov – Poland, Ukraine

Local Editorial Board:

Bykh A. – Ukraine
Volotshuk Yu. – Ukraine
Gorbenko I. – Ukraine
Gordienko Yu. – Ukraine
Zaiats V. – Ukraine
Krivoulya G. – Ukraine
Litvinova E. – Ukraine
Lobur M. – Ukraine
Nerukh A. – Ukraine
Rutkas A.G. – Ukraine
Svir I. – Ukraine
Semenets V. – Ukraine
Slipchenko N. – Ukraine
Tarasenko V. – Ukraine
Terzijan V. – Ukraine
Chumachenko S. – Ukraine
Titarenko L. – Ukraine
Hahanov V. – Ukraine
Yakovenko V. – Ukraine
Yakovlev S. – Ukraine

Address of journal edition: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauki avenu, 14, KNURE, Design Automation Department, room 321, ph. (0572) 70-21-326, d-r Hahanov V.I.

E-mail: hahanov@icloud.com,

<http://www.ewdtest.com/ri/>

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.389

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ГНУЧКИХ СТРУКТУР

ПРИТЧИН С.Е., ГУРІНА Д.В., ДЕМСЬКА Н.П.

Розглядаються існуючі методи контролю якості гнучких структур на всіх етапах виробництва. Виявляються переваги та певні недоліки кожного з методів контролю якості гнучких структур. Для реалізації задачі автоматизації процесу контролю якості гнучких структур та для подальшого удосконалення на етапі готової продукції обирається метод неруйнівного контролю якості, а саме метод активного теплового контролю.

Вступ

Існує ряд методів, які використовують для контролю якості гнучких структур на етапі виготовлення. Для вирішення задачі автоматизації процесу контролю якості [1,2] необхідно обрати метод, що дозволяє оцінювати готові вироби. Існуючі методи дають можливість проводити процес контролю якості на всіх етапах виробництва, але серед них немає універсального методу, що дозволить автоматизувати процес контролю на будь-якому етапі виробництва. Саме тому необхідно проаналізувати існуючі методи контролю якості та обрати серед них такий, що дозволить проводити автоматизований контроль якості гнучких структур.

Візуальний контроль

Контроль зовнішнього вигляду виробів використовується для оцінки якості окремих технологічних операцій і як складова частина підсумкового контролю. Під контролем зовнішнього вигляду виробу ми розуміємо визначення ступеня його відповідності деякому еталону. Еталон може бути присутнім в явному вигляді і в цьому випадку найбільш простим (якщо це можливо) є поєднання контрольованого зображення з еталоном і оцінка ступеня відмінності. Частіше ж еталона, як такого, немає, а є лише уявлення про нього. Суть контролю в такому випадку полягає в оцінці відповідності картини, за якою ведеться спостереження, цьому уявленню.

Недоліками методу візуального контролю є:

- суб'єктивність методу;
- неможливість виявити «приховані» дефекти (подряпини, відколи, раковини і інші порушення металізації, а також вкраплення і нарости, що призводять до надмірного звуження відстані між сусідніми елементами топології);
- низька достовірність контролю (60-65%).

Внутрішньосхемне тестування

Внутрішньосхемне тестування - технологія перевірки окремих компонентів на гнучких структурах, або фрагментів схем з використанням спеціального обладнання (ICT-станцій) і оснащення (голчастого адаптера). Завдяки цій методиці тестування можна аналізувати окремі компоненти і аналогові частини схем, а також успішно застосовувати на великосерійному виробництві, тобто в тих випадках, коли інші сучасні технології не справляються.

Умовно внутрішньосхемне тестування можна розділити на аналогове і цифрове. При аналоговому внутрішньосхемному тестуванні зазвичай перевіряються такі характеристики:

- наявність коротких замикань і обривів;
- номінали дискретних компонентів (резисторів, конденсаторів, індуктивностей, дискретних напівпровідникових приладів);
- наявність і правильність установки мікросхем.

Цей метод тестування дозволяє виявити велику кількість дефектів складання, тому аналогове внутрішньосхемне тестування часто називають аналізом виробничих дефектів [3].

Оскільки дана технологія заснована на фізичному контакті голок з контактами компонентів, що тестують, виникає ряд труднощів при реалізації цього підходу в тестуванні.

Постійна мініатюризація компонентів призводить, зокрема, до зменшення фізичних розмірів контактних майданчиків і їх переміщення під корпус. Також в багатошарових структурах значна кількість з'єднань реалізована у внутрішніх шарах. Одним з варіантів вирішення цих проблем є використання методу тестування «літаючими щупами» або «літаючими матрицями». Цей підхід дозволяє піти від необхідності виведення спеціальних контактних майданчиків для тестування, але значно збільшує час перевірки, що є істотним обмеженням для серійного виробництва. На рис. 1 представлений процес тестування «літаючими щупами».

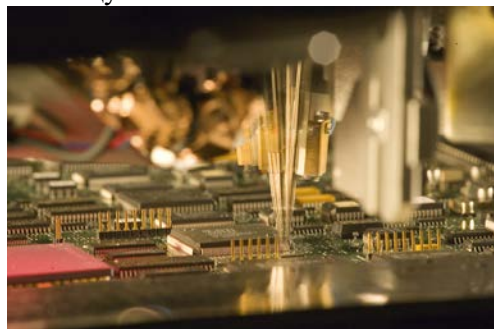


Рис. 1. Процес тестування «літаючими щупами»
Основним недоліком цього методу є велика вартість устаткування, що необхідне для проведення контролю якості.

Периферійне тестування

Методика периферійного тестування дозволяє контролювати якість монтажу і відбракувати пристрої ще до стадії функціонального тестування.

Тести для периферійного сканування (boundary-scan) дозволяють підвищити якість пристроїв, що розроблюються, та економити витрати на етапі серійного виробництва. Основна перевага цієї технології - можливість тестування пристроїв з обмеженим доступом до виводів мікросхем в корпусах BGA, COB і QFP. Але існує ряд обмежень для використання цього виду тестування:

- неможливо виявити дефекти монтажу, пов'язані з цифровими або аналоговими елементами, які не мають JTAG-підтримки, також недоступна діагностика дефектів зв'язків між ними;
- неможливо виконати функціональні тести або тести, спрямовані на виявлення несправностей, які є тією чи іншою функцією часу;
- неможливо виконати тести, спрямовані на виявлення таких дефектів шин даних, як, наприклад, тремтіння фази, паразитні зв'язки, інтерференція.

Функціональне тестування

Функціональне тестування – перевірка зібраних або частково зібраних пристроїв на виконання заданої функціональності і на відповідність параметрам, які закладені в специфікації. Це так зване тестування після остаточного складання (EOL) – перевірка функціональності та відповідності специфікації. Оцінюється не лише якість, але також стабільність та надійність пристрою. Такий аналіз електроніки проходить з використанням складного стендового обладнання, що імітує систему, у складі якої працює пристрій, що підлягає тестуванню. Якщо за результатами такої перевірки відсоток браку перевищує попередню оцінку, тоді коригується технологія виробництва і запускається чергова пробна партія пристроїв. І так в декілька ітерацій.

Функціональне тестування може проводитися як в ручному, так і в автоматичному режимі. При складанні тест-планів ручну працю намагаються звести до мінімуму, залишивши оператору лише підключення та відключення пристрою, а також контроль придатності.

Основні недоліки даного способу перевірки гнучких структур – це необхідність виготовлення спеціалізованої оснастки та написання програмного забезпечення. Також функціональне тестування, на відміну від периферійного сканування, не дає точної вказівки на дефектні ланцюги і ви-

води компонентів, але в більшості випадків проведення цих робіт виправдано максимальним покриттям плати та коротким часом тестування.

Електричне тестування якості контролю гнучких структур. Матрична система контактування

Якщо перевірка здійснюється почерговим підключенням до кожного контакту для контролю його роз'єднання з кожним з решти, такий спосіб називають максимальним, оскільки він вимагає максимального числа контрольних операцій. Дійсно, для перевірки роз'єднання ланцюгів потрібно послідовним перебором обійти всі пари контрольованих точок:

- перший обхід: 1-2, 1-3, 1-4, ..., 1 - (n-1), 1-n;
- другий обхід: 2-3, 2-4, 2-5, ..., 2 - (n-1), 2-n;
- останній обхід: (n-1)-n.

Наприклад, якщо плата містить $n = 1000$ роз'єднаних ланцюгів, перевірка їх на роз'єднаність складається з 500 000 операцій.

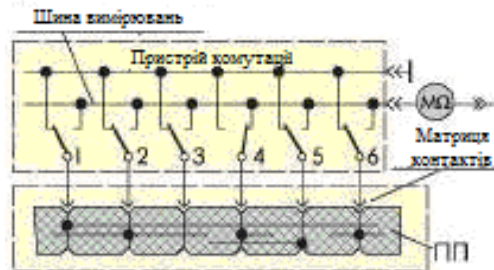


Рис. 2. Принцип комутації ланцюгів в тестерах з матрицею контактів

Для зменшення кількості контрольних операцій при перевірці роз'єднання ланцюгів використовується інший спосіб комутації точок контактування на матриці контактів («ложе двяхів») (рис.2). Цей спосіб перевірки називається інверсним або зворотним. Під час цього способу всі точки, що піддаються контролю, з'єднуються з масою, і для перевірки окремих ланцюгів їх відривають від маси і з'єднують з шиною вимірювань. Таким чином, ізоляція роз'єднаних ланцюгів перевіряється між окремо взятим ланцюгом і всіма іншими, замкнутими між собою. Кожен ланцюг піддається контролю на роз'єднання один раз, тому кількість перевірок дорівнює числу ланцюгів. Основним недоліком даного методу є його невисока швидкість.

Система автоматизованого оптичного контролю якості Aplite

Технологія виготовлення гнучких структур включає ряд етапів механічної та хімічної обробки заготовок, в ході яких неминуче з'являються помилки. Проблема контролю на заключних етапах може вирішуватися електричними методами, а на попередніх стадіях зразки піддаються суцільному або вибірковому візуальному контролю.

На вітчизняних підприємствах візуальний контроль в більшості випадків не автоматизований. АІО – системи (Automation Optical Inspection Systems), що випускаються закордонними фірмами, мають дуже високу вартість, тому у нас не поширені. Aplite базується на стандартній обчислювальній техніці – персональному комп'ютері і планшетному сканері для введення контрольованих заготовок.

Це дозволяє здешевити апаратне забезпечення на 1-2 порядки у порівнянні з «важкими» системами та обирати оптимальну конфігурацію для конкретного технологічного процесу.

У ході контролю виявляються такі дефекти, як розриви провідників, короткі замикання, порушення технологічних допусків на мінімальну ширину провідників і мінімальну відстань між ними, спотворення масштабу (розтягнення плівки фотошаблону) та інші.

Основний метод контролю – порівняння з еталонним зображенням шляхом автоматичного суміщення двох картинок, в результаті чого можна побачити такі невідповідності, як відсутні або зайві елементи рисунка плати.

Система Aplite складається з трьох основних програмних модулів: Aplite – власне система контролю, Rhiplastic – редактор еталонів, Fama – редактор кольірних наборів.

Контроль має два застосування: пошук дефектів, що виникли в ході виготовлення плати або фотошаблону, і перевірка результатів векторизації на відповідність оригіналу. У першому випадку для контролю потрібно створити еталонну графіку, у другому – вона вже створена (це результат векторизації).

Для створення еталона необхідно насамперед отримати топологічний рисунок, контактні площадки і (необов'язково) отвори. В системі Aplite це може здійснюватися двома способами - імпортом графіки з CAD/CAM-системи у форматі Gerber RS-274-X або полігонізації «золотої плати».

Недоліками цього методу є необхідність використовувати спеціальне устаткування, складності з отриманням еталонного зображення.

Метод теплового неруйнівного контролю

Існують такі види неруйнівного контролю згідно з фізичними явищами, що використовують: магнітний, електричний, вихрострумний, радіохвильовий, тепловий, оптичний, радіаційний, акустичний і проникаючими речовинами [4-5, 10].

Тепловий метод неруйнівного контролю заснований на реєстрації збурень, що вносяться внут-

рішніми дефектами в регулярний (еталонний) характер поширення теплових потоків в об'єкті контролю.

Апаратну базу теплового контролю складають інфрачервоні системи вимірювання температури, особливо тепловізори.

У теплових методах неруйнівного контролю використовується тепла енергія, що поширюється в об'єкті контролю. Температурне поле поверхні об'єкта є джерелом інформації про особливості процесу теплопередачі, які, в свою чергу, залежать від наявності внутрішніх або зовнішніх дефектів. Під дефектом при цьому розуміється наявність прихованих раковин, порожнин, тріщин, непроварів, сторонніх включень, всіляких відхилень фізичних властивостей об'єкта контролю від норми, наявності місць локального перегріву (охолодження).

Безконтактні методи теплового контролю засновані на використанні інфрачервоного випромінювання, що випускається всіма нагрітими тілами. Інфрачервоне випромінювання займає широкий діапазон довжин хвиль від 0,76 до 1000 мкм [7-9].

Розрізняють пасивний та активний тепловий контроль. При пасивному тепловому контролі аналіз теплових полів виробів проводять реєстрацією їх власного теплового випромінювання. Активний тепловий контроль передбачає нагрів об'єкта зовнішнім джерелом енергії.

Основною характеристикою температурного поля, що є індикатором дефектності, служить величина локального температурного перепаду. Координати місця перепаду, його рельєф або, іншими словами, топологія температурного поля і його величина в градусах є функцією великої кількості факторів. Ці фактори можна поділити на внутрішні і зовнішні. Внутрішні чинники визначаються теплофізичними властивостями контрольованого об'єкта і дефекту, а також їх геометричними параметрами. Ці ж фактори визначають часові параметри процесу теплопередачі, в основному, процесу розвитку температурного перепаду. Зовнішніми факторами є характеристики процесу теплообміну на поверхні об'єкта контролю (найчастіше величина коефіцієнта конвективної тепловіддачі), потужність джерела нагріву і швидкість його переміщення уздовж об'єкта контролю.

Існують такі способи активного теплового контролю виробів:

а) короткочасний локальний нагрів виробу з подальшою реєстрацією температури тієї ж (при односторонньому контролі) або протилежної області (при двосторонньому контролі);

б) з використанням скануючої системи, що є жорстко закріпленими один до одного джерела нагріву і

реєструючого приладу (наприклад, радіометра), які переміщуються з постійною швидкістю уздовж поверхні зразка;

в) одночасне нагрівання поверхні зразка уздовж деякої лінії з подальшою реєстрацією температури вздовж тієї ж лінії (при односторонньому контролі) або уздовж аналогічної лінії з протилежної поверхні зразка (при двосторонньому контролі). Подібна реєстрація може бути здійснена, наприклад, приладом "Термопрофіль";

г) одночасне нагрівання всієї поверхні зразка і подальша одночасна реєстрація температурного розподілу на цій же або на протилежній поверхні. Подібний спосіб контролю може бути здійснений за допомогою тепловізора.

Ефективність виявлення дефектів кожним з описаних способів теплового контролю зменшується від першого до четвертого, а продуктивність зростає.

Тепловізор здійснює візуалізацію температурного поля, наявного на поверхні, що спостерігається [6].

Спрощено, тепловізор складається з оптичної системи (об'єктива), що фокусує тепловий потік від об'єкта на чутливий елемент - приймач інфрачервоного випромінювання (ІКД), і блоку обробки (посилення) для подання теплової карти (термограми) об'єкта у вигляді, зручному для аналізу. За способом отримання термограм тепловізійні прилади підрозділяються на сканери та тепловізори. Термосканери мають один чутливий елемент, на який системою сканування подається ІКД від елементів об'єкта відповідно до заданих алгоритмом і з кроком, при якому формується матриця значень надходження сигналів. Чутливим елементом термосканера може бути елемент, що виготовлений за різними технологіями. Тепловізори мають багато чутливих елементів, розміщених на одній підкладці – матрицю (160x120, 320x240, 640x480). Кожен елемент формує вихідний сигнал залежно від величини сигналу ІКД, що надійшов на нього з одиниці поверхні об'єкта. Чутливі елементи матриць можуть бути виготовлені за різними технологіями.

Сучасні тепловізійні комплекси є високошвидкісними реєструючими системами, здатними отримувати і обробляти інформацію з великих площ ОК, що значно підвищує його продуктивність. Для ефективного використання в АТК тепловізійних комплексів необхідна наявність майданчикowego нагрівача з досить високою щільністю потоку енергії і рівномірним його розподілом по поверхні ОК. Високі вимоги до

рівномірності нагрівання пов'язані з тим, що ділянки з температурою, яка відрізняється від середньої, при проведенні АТК можуть сприйматися оператором як дефекти, що значно знижує якість контролю.

Серед переваг цього методу необхідно відмітити низьку вартість устаткування, швидкість проведення процесу контролю та можливість проводити контроль декількох виробів одночасно.

Висновки

Проаналізувавши існуючі методи контролю якості гнучких структур, виявили ряд недоліків: висока вартість устаткування, що необхідно для проведення контролю, невисока швидкість проведення контролю та неможливість використання одного методу на різних етапах виробництва гнучких структур. Удосконалення обраного методу теплового неруйнівного контролю якості дозволить проводити контроль якості на будь-якому етапі виробництва гнучких структур, а подальша автоматизація методу дозволить проводити одночасне тестування 4 та більше структур.

Література: 1. *Hartley, R. Multiple view geometry in computer vision, Second Edition [Text] / R. Hartley, A. Zisserman. Cambridge : Cambridge university press, 2003. – 655 р.* 2. *Путятин, С.П. Методи та алгоритми комп'ютерного зору [Текст]: / С. П. Путятин, В. О. Гороховатський, О.О. Матат. Х. : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 236 с.* 3. *The calculation of the current position of front freezing and dew point in the buildings during the phase transitions/O. Lebedev, M. Slitkov, V. Avramenko, E. Abramova, O. Budadin//Book of abstracts of 16th WCNDT.- TS2.21.3.-2004.-р.39-40.* 4. *Температурные измерения [Текст]: справочник // Герашенко О.А. К: Наук. думка, 1984. 494 с.* 5. *Вавилов, В.П. Неразрушающий контроль [Текст]: справочник/ Вавилов В.П. М.: Машиностроение, 2004. 679 с.* 6. *Современные тепловізори для теплового контроля качества [Текст]: тез. докл. XI регион. студ. наук. конфер. (20-21 квітня 2011 р.). Харків: НТУ «ХПІ», 2011. 175 с.* 7. *Thermal Nondestructive Testing of Buildings In Practice / O. Lebedev, D. Kirzhanov, V. Avramenko and O. Budadin // Proceedings of 16th WCNDT. № 609.2004.P. 1-8.* 8. *Неразрушающий контроль и диагностика: справ. / В.В.Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев [и др.]; под ред.В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2005. 656 с.* 9. *Неразрушающий контроль: справ. : в8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2008.* 10. *Методы неразрушающего контроля. Ч. 1. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий: учеб. пособие / В.И. Фанасов, Н. И. Кашубский, А. А. Кузнецов [и др.]. Красноярск : ИПК СФУ, 2009. 104 с.*

Transliterated bibliography:

1. *Hartley R. Multiple view geometry in computer vision. Second Edition [Text] / R. Hartley. A. Zisserman. Cambridge : Cambridge university press. 2003. 655 p.*

2. *Putyatin, Ye.P.* Metody ta alhorytmy komp'yuternoho zoru [Tekst]: / Ye. P. Putyatyn, V. O. Horokhovats'kyu, O.O. Matat. Kh. : TOV «Kompaniya SMIT», 2006. 236 s.
3. The calculation of the current position of front freezing and dew point in the buildings during the phase transitions /O. Lebedev, M. Slitkov, V. Avramenko, E. Abramova, O. Budadin // Book of abstracts of 16th WCNDT. TS2.21.3. 2004. p.39-40.
4. Temperaturnyye izmereniya [Tekst]: spravochnik // Gerashchenko O.A. K: Nauk. dumka. 1984. 494 s.
5. *Vavilov, V.P.* Nerazrushayushchiy kontrol [Tekst]: spravochnik/ Vavilov V.P. M.: Mashinostroyeniye. 2004. 679 s. 6. Sovremennyye teplovizory dlya teplovogo kontrolya kachestva [Tekst]: tez. dokl. KhI region. stud. nauk. konfer. (20-21 kvitnya 2011). Kharkiv: NTU «KhPI». 2011. 175 s.
7. *Thermal Nondestructive Testing of Buildings In Practice* / O. Lebedev, D. Kirzhanov, V. Avramenko and O. Budadin // Proceedings of 16th WCNDT. № 609. 2004. p. 1-8.
8. *Nerazrushayushchiy kontrol i diagnostika: sprav.* / V.V. Klyuyev, F.R. Sosnin, A.V. Kovalev [i dr.]. M.: Mashinostroyeniye. 2005. 656 s.
9. *Nerazrushayushchiy kontrol: s prav.* : v8 t. M.: Mashinostroyeniye. 2008.
10. *Metody nerazrushayushchego kontrolya.* Ch. 1. Nerazrushayushchiye metody kontrolya materialov i izdeliy: ucheb. Posobiye / V.I. Fanasov, N. I. Kashubskiy. A. A. Kuznetsov [i dr.]. Krasnoyarsk: IPK SFU. 2009. 104s.

Поступила в редколлегію 21.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Оксаніч А.П.

Притчин Сергій Емільович, д-р техн. наук, професор кафедри інформаційно-управляючих систем, Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського. Наукові інтереси: інформаційні технології керування. Адреса: Україна, 39600, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, тел.: (056366)30157. Email: alpritchin@ukr.net.

Гуріна Дар'я Володимирівна, аспірантка кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, ХНУРЕ. Наукові інтереси: мікро електромеханічні системи, методи якості електронної техніки. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. (057)7021486. E-mail: d_tapr@nure.ua.

Демська Наталія Павлівна, старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, ХНУРЕ. Наукові інтереси: особливості механічних деформацій і руйнувань гнучких друкованих плат в апаратобудуванні. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. (057)7021486. E-mail: nataliia.demska@nure.ua.

Pritchyn Sergiy Emilovich, Dr. of Tekhn. Sciences, Professor, Department of Information and Control Systems, Kremenchuk National University named after M. Ostrogradsky. Scientific interests: information management technologies. Address: 39600, Kremenchuk, ul. Pershotravneva, 20, tel.: (056366)30157. E-mail: alpritchin@ukr.net.

Gurina Daria Volodymyrivna, post-graduate student, department of computer-integrated technologies, automation and mechatronics, KNURE. Scientific interests: micro electromechanical systems, methods of quality of electronic equipment. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, 14, Nauki Avenue, tel. (057) 7021486. Email: d_tapr@nure.ua.

Demskaya Natalia Pavlovna, Senior Lecturer of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, KNURE. Scientific interests: features of mechanical deformations and destruction of flexible printed circuit boards in hardware engineering. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, 14, Nauki Avenue, tel. (057) 7021486. E-mail: nataliia.demska@nure.ua.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

УДК 621.389

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАЦЕПЛЕНИЯ И СВЯЗНОСТИ НА СЛОЖНОСТЬ КОДА И ЕГО БЫСТРОДЕЙСТВИЕ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

КРАВЧЕНКО А.К., АФАНАСЬЕВА И.В.

Оценивается влияние мер сил взаимосвязанности внутри и между модулями на читабельность кода и скорость работы программного обеспечения. Для этого рассматриваются понятия связности и зацепления на уровне модульной архитектуры, сравнивается сложность кода с помощью инструмента flog, а также быстродействие обработки HTTP-запросов с помощью программного обеспечения Apache JMeter.

Ключевые слова: программное обеспечение, связность, зацепление, читабельность кода, модульная архитектура.

Key words: software, cohesion, coupling, code readability, modular architecture.

1. Введение

При разработке программного обеспечения с помощью подходов объектно-ориентированного программирования важно придерживаться общих паттернов и принципов проектирования классов и объектов. В данной статье рассмотрим одни из самых главных принципов создания модульной архитектуры приложений: слабую степень связности и высокое зацепление.

Рассмотрим определение модульной связности.

Идею связности впервые представили Уэйн Стивенс, Гленфорд Майерс и Ларри Константайн. На уровне проектирования классов ее практически вытеснили более современные концепции, такие как абстракция и инкапсуляция, однако на уровне проектирования отдельных методов эвристический принцип связности по-прежнему полезен [1].

Связность модуля – его внутренняя характеристика, характеризующая меру прочности соединения функциональных и информационных объектов внутри одного модуля [2].

Существует 7 типов связности: функциональная, последовательная, информационная, процедурная, временная, логическая, случайная.

Функционально-связный модуль содержит объекты, предназначенные для решения одной-единственной задачи.

В последовательно-связном модуле его объекты охватывают подзадачи, для которых выходные данные одной из подзадач являются входными для другой.

Информационно-связный модуль содержит объекты, использующие одни и те же входные или выходные данные.

Объекты процедурно-связного модуля включены в различные подзадачи, в которых управление переходит от одной подзадачи к следующей.

Объекты модуля с временной связностью привязаны к конкретному промежутку времени.

Объекты модуля с логической связностью содействуют решению одной общей подзадачи, для которой они отобраны во внешнем по отношению к модулю мире.

Модуль со случайной связностью содержит объекты, которые слабо связаны друг с другом.

Далее рассмотрим понятие модульного зацепления.

Зацеплением является способ и степень взаимозависимости между программными модулями.

Метрики зацепления и связности были придуманы Ларри Константином, изначальным разработчиком структурного проектирования [3].

Соблюдение слабой степени связности и высокого зацепления обеспечивает:

- независимость и устойчивость классов ко внешним изменениям;
- простоту при повторном использовании кода;
- легкую поддержку кода.

2. Цель исследования

Одной из наиболее сложных задач при разработке модульной архитектуры является поддержка хорошо документированного кода и повышение быстродействия программы. Сложно оценить, каким наилучшим образом создавать классы и взаимодействие между ними в рамках одного модуля.

Цель и задачи исследования. Цель данного исследования – оценить влияние слабой связности и высокого зацепления на быстродействие программы и читаемость кода на примере двух web-приложений, созданных при помощи Rails API и Rails Grape соответственно.

Рассмотрим визуализацию архитектуры программ при помощи диаграммы компонентов [4].

Реализация RailsAPI приложения будет состоять из 4 компонентов в рамках одного модуля, как показано на рис. 1.

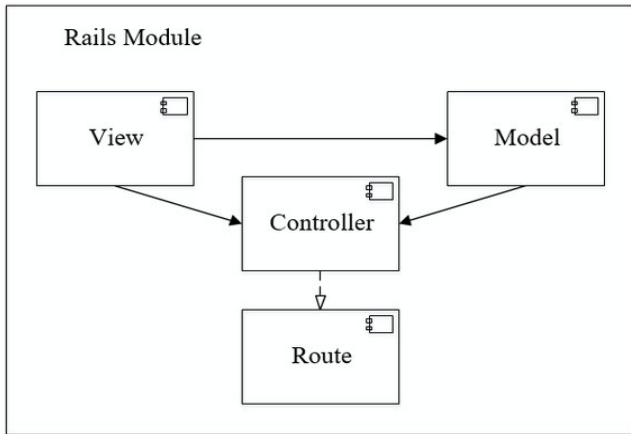


Рис. 1. Компоненты RailsAPI

Реализация GrapeAPI приложения будет состоять из 2 модулей, связанных между собой, как показано на рис. 2.

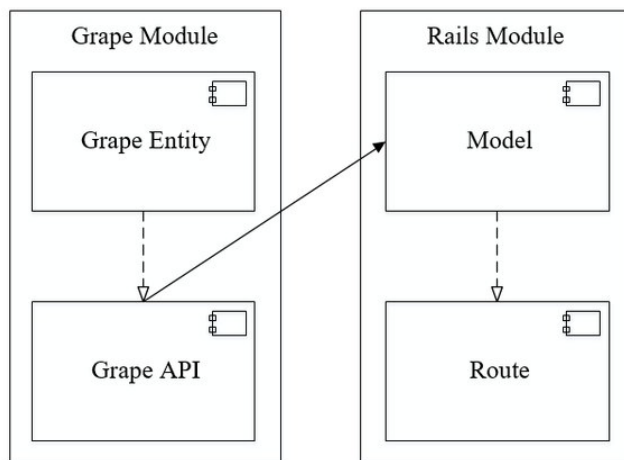


Рис. 2. Компоненты GrapeRailsAPI

Как видно на диаграммах компонентов: RailsAPI приложение имеет один главный модуль, реализующий основной функционал внутри себя; GrapeAPI приложение будет иметь два модуля, которые реализуют свой функционал независимо. Можно сделать вывод, что в GrapeAPI приложении реализовано более сильное зацепление и слабая связность по сравнению с приложением на RailsAPI.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- для чистоты эксперимента написать два приложения, реализующих одинаковую логику аутентификации пользователей в системе (регистрация, вход, выход);
- при помощи ApacheJMeter определить быстродействие системы;
- при помощи инструмента flog определить сложность кода.

3. Коды программ

С учетом всего сказанного были созданы два приложения на RailsAPI и GrapeRailsAPI. В них реализована одинаковая логика регистрации, авторизации, входа и выхода из системы для API для протокола OAuth2. Приложения написаны на языке программирования Ruby для более быстрого проведения исследования [5].

Пример кода для входа в систему RailsAPI показан на рис. 3.

```
class Api::V1::SessionsController < Api::V1::BaseController
  skip_before_filter :get_current_user!, only: [:create, :update]

  def create
    result = Authentication::SignInService.new(params).perform

    if result.success?
      @user = result.user
      set_headers(result)
      render :show
    else
      render_error 422, :NotValid, result.render_error
    end
  end
end
```

Рис. 3. RailsAPI вход в систему

Пример кода для входа в систему GrapeRailsAPI показан на рис. 4.

Как видно из примеров программ, код для RailsAPI менее объемный и документированный, похож на чистый Ruby больше, чем код на GrapeAPI.

4. Проведение исследования

Для исследования на быстродействие воспользуемся программным обеспечением ApacheJMeter, которое позволяет создать нагрузочное тестирование при помощи HTTP-запросов на сервер. Будет проведено 100 измерений на каждый эндпойнт.

Объектом тестирования будет минимальное, максимальное и среднее время ответа сервера, пропускная способность. Для начала запустим сервер на локальной машине. Результаты данного исследования показаны в табл. 1.

Основываясь на полученных данных табл. 1 (среднее время ответа, пропускная способность), можно сделать вывод, что приложение на GrapeAPI рабо-

тает быстрее на всех эндпойнтах по сравнению с RailsAPI.

Таблица 1

Название	Мин. время, мс	Ср. время, мс	Макс. время, мс	Проп. спос., кол./с
Регистрация, Rails API	187	860	1582	5.6
Регистрация, Grape API	219	741	1415	6.5
Вход, Rails API	320	819	1125	5.9
Вход, Grape API	138	628	884	7.6
Выход, Rails API	7	13	33	94.2
Выход, Grape API	3	6	179	111.6

Таблица 2

Название	Общая сложность	Средняя сложность
Регистрация, Rails API	186.6	5.2
Регистрация, Grape API	64.3	10.7
Вход, Rails API	233.3	5.7
Вход, Grape API	133.6	13.4
Выход, Rails API	64.9	7.2
Выход, Grape API	122.7	13.6

```
class V1::Sessions < Grape::API
  resources :sessions do
    desc 'User login, create session' do
      success V1::Entities::User
      failure [[401, 'LoginError',
              V1::Entities::Errors::CommonError]]
    end
    params do
      requires :user, type: Hash do
        requires :email, type: String,
          desc: 'User email'
        requires :password, type: String,
          desc: 'User password'
      end
      requires :session, type: Hash do
        requires :device_kind, type: String,
          desc: 'Device kind',
          values: Session.device_kinds.keys
        requires :push_token, type: String,
          desc: 'Push token'
      end
    end
    post do
      user = User.find_by!(
        email: declared(params).user.email)
      unless user.authenticate(
        declared(params).user.password)
        raise Exceptions::LoginError
      end
      provider = Providers::Email
        .find_or_create_by!(user: user)
      session = user.sessions
        .create!(declared(params)
          .session.merge(
            provider_id: provider.id))
      make_headers_for session
      present user,
        with: V1::Entities::User
    end
  end
end
```

Рис. 4. GrapeRailsAPI вход в систему

Для исследования читабельности кода воспользуемся инструментов flog, который считает количество очков Ruby кода, основываясь на общих паттернах. Чем больше очков набирает файл с кодом, тем более он трудночитабелен, так как возрастает количество вызовов методов и классов и созданных переменных.

Объектом исследования являются файлы, в которых реализован функционал приложения. Результаты данного исследования показаны в табл. 2.

Основываясь на полученных данных табл. 2, можно сделать вывод, что внедрение разработчика в проект с приложением на RailsAPI быстрее и легче, так как средняя сложность Ruby кода примерно в 2 раза меньше, чем в GrapeAPI приложении.

5. Выводы

Научная новизна. Выявлено влияние принципов проектирования (слабая связность и сильное зацепление) на быстродействие программы и читабельности кода.

Практическая значимость. Выявлено, что уменьшение связности модулей и увеличение зацепления ускоряет быстродействие системы, одновременно увеличивая сложность кода, на примере

сравнения приложений, созданных разными способами, в среде Rails разработки.

Учитывая все сказанное выше, можно сделать вывод, что для разработки проектов, требующих гибкой и качественной реализации с возможностью последующих изменений без затрагивания всего функционала, важно применять основные принципы проектирования архитектуры. Среднее значение сложности кода будет однозначно выше, чем при пренебрежении паттернов, однако это сохранит время на внедрение новых разработчиков в проект и последующие изменения кода, а также может увеличить быстроедействие системы.

Литература: 1. Макконнелл С. Совершенный код. М. Русская редакция, 2010. 896 с. 2. Связность (программирование): электронный ресурс. Точка доступа <https://en.wikipedia.org/wiki/Cohesion>. 3. Константайн Л., Майерс Г., Стивенс У. Структурированный дизайн // IBM Systems Journal. 1974. Т. 13, № 2. С. 115—139. 4. Ларман К. Применение UML и шаблонов проектирования. М. Вильямс, 2002. 624 с. 5. Фитцджеральд М. Изучаем Ruby та Ruby on Rails на примере приложения. Санкт-Петербург.: БХВ-Петербург, 2008. 336 с.

Transliterated bibliography:

1. Makconnell S. Sovershennyj kod. Moskva: Russkaja redakcija, 2010. 896 s.
2. Sveznost' (programirovanie): jelektronnyj resurs. Tochkadostupa <https://en.wikipedia.org/wiki/Cohesion>.

3. Konstantajn L., Majers G., Stivens U. Strukturirovannyj dizajn // IBM Systems Journal. 1974. Т. 13, № 2. С. 115—139.

4. Larman K. Primenenie UML ishablonovproektirovanija. Moskva: Vil'jams, 2002. 624 s.

5. Fitzdžherald M. Izuchaem Ruby ta Ruby on Rails naprimereprilozhenija. Sankt-Peterburg. BHV-Peterburg, 2008. 336 s.

Поступила в редколлегию 11.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ерохин А.Л.

Кравченко Александр Константинович, студент кафедры ПИ ХНУРЭ. Научные интересы: информационные технологии. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14. Email: oleksandr.kravchenko@nure.ua.

Афанасьева Ирина Витальевна, канд. техн. наук, доцент кафедры ПИ ХНУРЭ. Научные интересы: информационные технологии, искусственный интеллект. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14. Email: irina.kamenieva@gmail.com.

Kravchenko Alexander Konstantinovich, student of Program Engineering of the Kharkov National University of Radio Electronics. Scientific interests: information technology. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, 14, Nauki Avenue. Email: oleksandr.kravchenko@nure.ua.

Afanasyeva Irina Vitalevna, Ph.D., Assistant Professor of Program Engineering of the Kharkov National University of Radio Electronics. Scientific interests: information technology, artificial intelligence. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, 14, Nauki Ave. Email: irina.kamenieva@gmail.com.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 621.39

ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДВОИЧНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-ЭНТРОПИЙНОГО СЛОТИРОВАНИЯ

ПОДЛЕСНЫЙ С.А.

Наводятся примеры использования видеоинформационного ресурса в Вооруженных Силах Украины. Аргументируется необходимость обеспечения категорий информационной безопасности в телекоммуникациях государственных учреждений. Указывается на уязвимость передачи видеоданных при медленных DDoS-атаках. Предлагается применять структурно-энтропийное слотирование в существующих технологиях обработки изображений. Обосновывается обеспечение позиционирования кодового представления в условиях проведения кибератак.

Введение

В настоящее время в Вооруженных Силах Украины (ВСУ) широко применяются видеоинформационные ресурсы (ВИР) [1]. Одним из примеров использования ВИР являются беспилотные летательные аппараты в зоне проведения антитеррористической операции [2]. Второй областью применения ВИР в ВСУ является видеоконференцсвязь. Необходимость ее применения обусловлена требованием к оперативности принятия решений в кризисных ситуациях [3]. В ходе выполнения передачи видеоинформации противник может влиять на телекоммуникационное оборудование при проведении кибератак [4, 5]. Существенное влияние на передачу ВИР происходит при осуществлении медленной распределенной атаки типа «отказ в обслуживании» (slow DDoS). Эффективность данной кибератаки обусловлена тем, что краткосрочная атака не выявляется существующими системами предупреждения о вторжении, а полученная битовая ошибка в потоке кодов переменной длины сильно влияет на восстановление значений коэффициентов ДКП [6]. Поэтому возникает проблема обеспечения целостности информации в телекоммуникационных системах в условиях действия кибератак.

Для борьбы с такими ошибками в существующую технологию кодирования JPEG добавляют помехоустойчивое кодирование. Принцип работы такого кодирования в том, что к передаваемой информации добавляют проверочные биты [7]. Это позволяет выявить и исправить ошибки. В результате

происходит восстановление информации. Но в такой схеме присутствуют следующие недостатки:

– помехоустойчивое кодирование применяется с использованием аппаратных и временных затрат. Это приводит к увеличению времени обработки;

– при добавлении дополнительных битов увеличивается объем информации. Это приводит к увеличению времени передачи видеоинформации.

Данные недостатки влияют на оперативность передачи видеоинформации, что недопустимо для использования в военной сфере. Поэтому решение проблемы обеспечения целостности ВИР является актуальным.

Целью данного исследования является разработка метода обработки изображений, который обеспечивает позиционирование двоичного представления трансформанты в битовом потоке. Для данного метода выдвигаются условия сохранения временных затрат на передачу в телекоммуникационных системах.

Для достижения данной цели необходимо:

1. Провести модернизацию представления ВИР в существующих технологиях обработки изображений.

2. Разработать метод распределения двоичного представления трансформанты в кодовые конструкции фиксированной длины.

3. Проанализировать обеспечение целостности в условиях проведения кибератак для разработанного метода.

1. Разработка метода структурно-энтропийного слотирования

Для уменьшения информационной интенсивности двоичного представления трансформанты предлагается:

– формировать код $N^{(j)}$ для каждой пары $\tilde{u}_{i, i+1}$ элементов вектора $U(\theta)$ линеаризированной трансформанты;

– в процессе формирования кода $N^{(j)}$ учитывать структурно-статистическую зависимость между элементами u_i и u_{i+1} .

Формирование информационной части $K^{(j)}$ кода $N^{(j)}$ для элементов u_i и u_{i+1} задается следующим функционалом:

$$K^{(j)} := g^{(j)} \times f_{\alpha}(u_i, u_{i+1}) + f_{\beta}(u_i, u_{i+1}), \quad (1)$$

где j – индекс кода $N^{(j)}$ пары элементов u_i и u_{i+1} линеаризированной трансформанты, который определяется как $j = 0,5(i+1)$ и изменяется в диапазоне $j = 1; \frac{\theta}{2}$;

$g^{(j)}$ – весовой коэффициент кода $N^{(j)}$, который определяется как максимум элементов u_i и u_{i+1} , т.е. $g^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1})$;
 $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$, $f_\beta(u_i, u_{i+1})$ – функции обработки элементов u_i и u_{i+1} .

Для повышения устойчивости к битовым ошибкам используется технология упругого энтропийного кодирования (Error Resilient Entropy Code – EREC). Данная технология задается функцией преобразования f_{errec} . Это определяется таким соотношением:

$$\{N^{(j)}\} \xrightarrow{f_{\text{errec}}} S(\Lambda). \quad (2)$$

Здесь f_{errec} – функция распределения структурно-энтропийных кодов $N^{(j)}$ по слотам s_λ ; Λ – количество слотов, в которые распределены структурно-энтропийные коды.

Технология EREC характеризуется следующими этапами:

- 1) размещение содержимого кодовых конструкций $N^{(j)}$;
- 2) перераспределение содержимого кодовых конструкций $N^{(j)}$.

Данная технология размещает структурно-энтропийные коды $N^{(j)}$ в слоты пакета EREC $S(\Lambda)$ на основе перестройки битовой структуры. Здесь учитывается, что слотами являются кодовые слова равномерной длины, т.е.:

$$|s_a|_2 = |s_b|_2 = v, \text{ при } a \neq b. \quad (3)$$

В результате преобразования последовательности $\{N^{(j)}\}$ структурно-энтропийных кодов $N^{(j)}$ образуется пакет $S(\Lambda)$ слотов. Вектор слотов (пакет) записывается следующим образом:

$$S(\Lambda) = \{s_1; \dots; s_\lambda; \dots; s_\Lambda\}.$$

Здесь s_1 – начальный слот в пакете; s_Λ – последний слот в пакете.

Схематическое распределение структурно-энтропийных кодов $N^{(j)}$ по слотам s_ξ , т.е.:

$$N^{(1)} \rightarrow s_\xi^{(1)}$$

в соответствии с технологией EREC, показано на рис. 1.

В данной формуле $s_\xi^{(1)}$ – слот, сформированный при размещении кода $N^{(1)}$; (1) – индекс начального этапа, соответствующий первичному размещению структурно-энтропийных кодов $N^{(j)}$ по слотам.

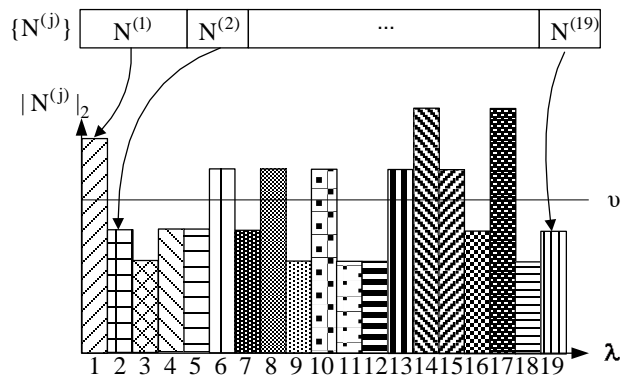


Рис. 1. Первичный этап размещения битовых составляющих кодовых конструкций при формировании пакета слотов

На данном рисунке представлено распределение кодового потока $\{N^{(j)}\}$, состоящего из $\Lambda = 19$ структурно-энтропийных кодов $N^{(j)}$ по 19 слотам. Различные структурно-энтропийные коды $N^{(j)}$ представлены схематично в виде разных по окрасу и размеру прямоугольников.

На первичном этапе рассматривается размещение структурно-энтропийных кодов $N^{(j)}$ по слотам s_ξ без учета их выравнивания по длине v . Порядок заполнения слотов s_ξ определяется следующими правилами:

1) первое правило состоит в установлении порядка расстановки структурно-энтропийных кодов $N^{(j)}$ по слотам пакета. Согласно этому правилу 1-й код $N^{(1)}$ размещается в слоте s_1 (как показано на рис. 1);

2) второе правило заключается в установке порядка заполнения слотов рядами структурно-энтропийных кодов $N^{(j)}$. Согласно этому правилу старшие разряды $q_{\xi,\gamma}$; $\gamma \rightarrow 1$ кодовой конструкции

$N^{(j)}$ размещаются в нижних битовых позициях слота s_ξ . Наоборот, младшие разряды $q_{\xi,\gamma}$; $\gamma \rightarrow |N^{(\xi)}|_2$ кодовой конструкции $N^{(\xi)}$ размещаются в верхних битовых позициях слота s_ξ .

Следующим этапом формирования пакета слота является выравнивание длин кодовых слов s_ξ для выполнения условия (2) в случае, когда известно количество Λ слотов в пакете. Для этого сначала требуется определить длину v слота.

Длина v слота определяется как отношение суммарной длины $|\{N^{(j)}\}|_2$ последовательности

$\{N^{(j)}\}$ кодов к количеству Λ слотов. Формула расчета длины указана в следующем выражении:

$$v = \frac{|\{N^{(j)}\}|_2}{\Lambda} = \left\lceil \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^{\theta} |N^{(j)}|_2 \right\rceil. \quad (4)$$

Здесь $\lceil x \rceil$ – оператор округления значения X до большего натурального числа.

После определения длины v слота возможны случаи, когда длина $|N^{(j)}|_2$ структурно-энтропийного кода $N^{(j)}$ не будет равна длине v слота.

В общем случае избыточная составляющая $\Delta N^{(\xi)}$ структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ будет размещена по нескольким слотам s_i (рис. 2).

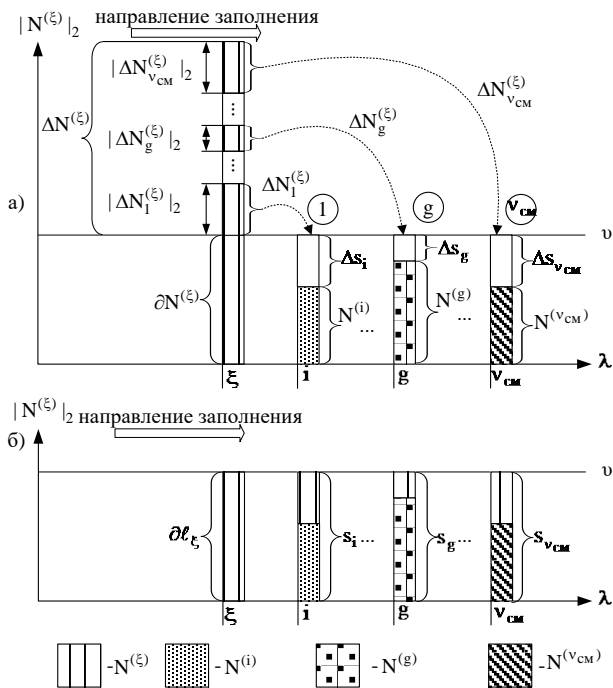


Рис. 2. Структурная схема многослового распределения структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$: а – до распределения; б – после распределения

Процесс перераспределения избыточных составляющих $\Delta N^{(\xi)}$ структурно-энтропийных кодов $N^{(\xi)}$, с учетом размещения по нескольким слотам s_i , включает в себя следующие этапы:

1) определение позиций i избыточных составляющих Δs_i

$$i = \begin{cases} \xi + 1; \Lambda & \text{при } i > \xi; \\ 1; \xi - 1 & \text{при } i < \xi \end{cases}$$

слотов s_i относительно перераспределяемой избыточной составляющей $\Delta N^{(\xi)}$ структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$;

2) определение количества v_{cm} и размеров $|\Delta s_i|_2$ избыточных составляющих Δs_i слотов s_i , в которые будут распределены избыточные составляющие Δs_i слотов s_i образуют подпоследовательность $\Delta S(v_{cm})$, которая записывается следующим образом:

$$\Delta S(v_{cm}) = \{\Delta s_1; \dots; \Delta s_g; \dots; \Delta s_{v_{cm}}\}. \quad (5)$$

Здесь v_{cm} – количество слотов (этапов), в которые происходит перераспределение всей избыточной составляющей $\Delta N^{(\xi)}$, длиной $|\Delta N^{(\xi)}|_2$; Δs_g – избыточная составляющая слота s_g при g -м этапе его заполнения.

При этом формула, определяющая распределение избыточной составляющей $\Delta N^{(\xi)}$ структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ по слотам, следующая:

$$|N^{(\xi)}|_2 = \sum_{g=1}^{v_{cm}} |\Delta s_{\xi+d_g}|_2, \quad d_g = \overline{1; \Lambda - 1}. \quad (6)$$

Для g -го этапа распределения избыточной составляющей $\Delta N^{(\xi)}$ структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ с позицией ξ проверяется остаток слота

$\Delta s_{\xi+d_g}^{(\gamma)}$ с позицией $\xi+d_g$. Данный остаток слота $\Delta s_{\xi+d_g}^{(\gamma)}$ образовался в результате заполнения слота

$s_{\xi+d_g}$ с позицией $\xi+d_g$ структурно-энтропийным кодом $N^{(\xi+d_g)}$ и некоторым количеством γ избыточных составляющих $\Delta N^{(i)}$ кодов $N^{(i)}$ с позицией $i \neq \xi$.

Старшие разряды избыточной составляющей $\Delta N^{(\xi)}$ структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ при этом заполняют избыточную составляющую $\Delta s_{\xi+d_g}^{(\gamma)}$ слота $s_{\xi+d_g}$. Схематически результат заполнения показан на рис. 3.

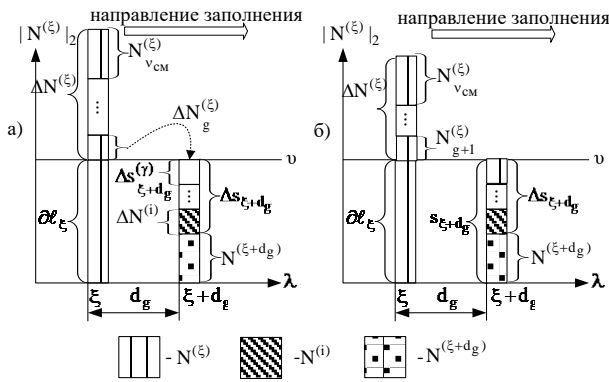


Рис. 3. Распределение структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ на g -м этапе:
а – до распределения; б – после распределения

Этапы перераспределения структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ повторяются до устранения в позиции ξ положительной избыточности, вызванной перегрузкой слота. Результат окончательного распределения структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ с позицией ξ за v_{cm} этапов представлен на рис. 4.

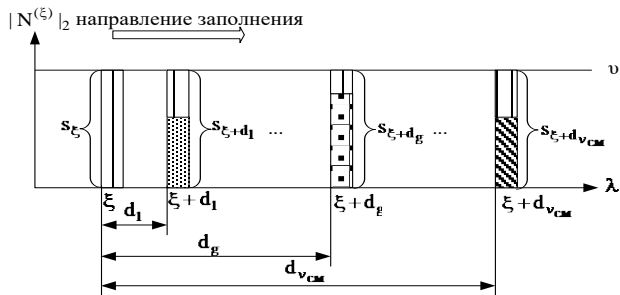


Рис. 4. Результат распределения структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$

Различные структурно-энтропийные коды $N^{(\xi)}$ представлены схематично в виде различных по окрасу и размеру прямоугольников.

Распределение всей последовательности $\{N^{(\xi)}\}$ структурно-энтропийных кодов $N^{(\xi)}$ происходит по аналогичному сценарию. Результат распределения всей последовательности $\{N^{(\xi)}\}$ структурно-энтропийных кодов $N^{(\xi)}$, представленной на рис. 1, по пакету $S(\Lambda)$ слотов s_{ξ} , в соответствии с технологией EREC, показан на рис. 5.

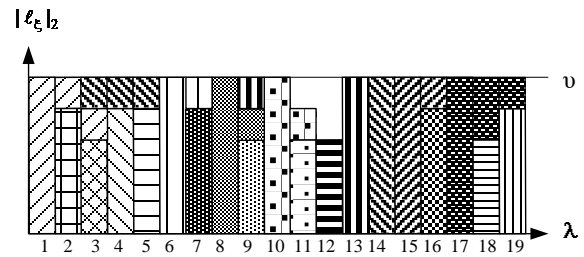


Рис. 5. Результат размещения битовых составляющих кодовых конструкций в сформированном пакете слотов

2. Разработка метода структурно-энтропийного деслотирования

Имея информацию о данном алгоритме при отсутствии ошибок в канале, на приемной стороне кодовую последовательность $\{N^{(\xi)}\}$ структурно-энтропийных кодов $N^{(\xi)}$ можно взаимнооднозначно восстановить и декодировать. Рассмотрим процесс декодирования распределенных структурно-энтропийных кодов $N^{(\xi)}$ и восстановления компонент u_{ξ} трансформанты на приемной стороне.

По условиям предлагаемого алгоритма необходимо идентифицировать структурно-энтропийные коды $N^{(\xi)}$, полностью вошедшие в соответствующие слоты S_{ξ} при первичном заполнении, и определить номер i -х позиций слотов S_i , которые имеют избыточность $|s_i|_2$. Номер позиции необходим для сборки структурно-энтропийных кодов $N^{(\xi)}$, которые были распределены по нескольким слотам S_i .

В предлагаемом алгоритме количество слотов s_{λ} составляет фиксированное значение Λ . При этом информация о длине $|S(\Lambda)|_2$ пакета слотов представляется декодеру. Используя длину $|S(\Lambda)|_2$ пакета $S(\Lambda)$ слотов и количество Λ слотов, декодер определяет длину v слота:

$$v = \frac{|S(\Lambda)|_2}{\Lambda}.$$

Информация о длине слота позволяет определить позиционирование всех слотов S_{λ} в пакете $S(\Lambda)$. Порядок заполнения слотов s_{ξ} предоставляет возможность идентифицировать начало α_{ξ} каждого структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$, как указано на рис. 6.

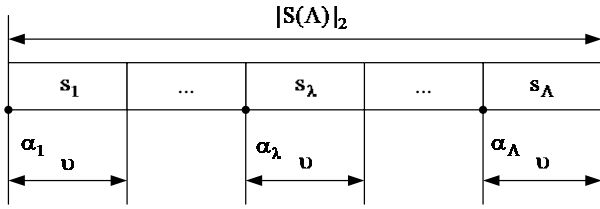


Рис. 6. Процесс разделения пакета $S(\Lambda)$ слотов s_λ и определения начала α_λ кодов $N^{(\xi)}$

Это позволяет декодеру синхронизироваться с потоком битов в начале каждого слота.

Выделив из пакета $S(\Lambda)$ отдельный слот s_ξ , производим процесс поразрядной сборки структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$. При поразрядной сборке первого структурно-энтропийного кода $N^{(1)}$ индекс позиции структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ в кодовом потоке принимается равным $\xi = 1$.

На первоначальном этапе $g = 1$ старшему разряду $q_{\xi,1}$ структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ приводится в соответствие значение двоичного разряда $h_{\xi,1}$ нижней битовой позиции слота s_ξ , т.е.:

$$q_{\xi,1} := h_{\xi,1}. \quad (7)$$

При этом данный разряд формирует содержимое части кода $\partial N^{(\xi)}$:

$$[\partial N^{(\xi)}]_2 = \{q_{\xi,1}\}.$$

В результате этого длина $|\partial N^{(\xi)}|_2$ части кода $\partial N^{(\xi)}$ равняется:

$$|\partial N^{(\xi)}|_2 = 1.$$

После этого декодер на основе функции $f_{\text{vlc}}^{-1}(\partial N^{(\xi)}, P_{\text{сл}})$ идентифицирует окончания ξ -й кодовой комбинации $N^{(\xi)}$.

Успешная идентификация приводит к следующим последствиям:

а) кодовой комбинации $N^{(\xi)}$ приводится в соответствие часть кода $\partial N^{(\xi)}$:

$$N^{(\xi)} := \partial N^{(\xi)};$$

б) восстанавливается соответствующая компонента u_ξ ;

в) фиксируется длина $|\partial N^{(\xi)}|_2$ части кода $\partial N^{(\xi)}$;

г) дальнейшая сборка структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ прекращается.

Если идентификация окончания ξ -й кодовой комбинации $N^{(\xi)}$ не удалась, то разряду $q_{\xi,2}$ струк-

турно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ приводится в соответствие двоичный разряд $h_{\xi,2}$ следующей битовой позиции слота s_ξ , т.е.:

$$q_{\xi,2} := h_{\xi,2}. \quad (8)$$

При этом изменяется содержимое $[\partial N^{(\xi)}]_2$ части кода $\partial N^{(\xi)}$:

$$[\partial N^{(\xi)}]_2 = \{q_{\xi,1}; q_{\xi,2}\}.$$

Соответственно длина $|\partial N^{(\xi)}|_2$ части кода $\partial N^{(\xi)}$ при этом увеличивается:

$$|\partial N^{(\xi)}|_2 := |\partial N^{(\xi)}|_2 + 1.$$

После этого декодер на основе функции $f_{\text{vlc}}^{-1}(\partial N^{(\xi)}, P_{\text{сл}})$ повторно производит идентификацию окончания ξ -й кодовой комбинации $N^{(\xi)}$.

Данные операции первоначального этапа побитного внесения двоичных разрядов $h_{\xi,\mu}$ слота s_ξ в содержимое части кода $\partial N^{(\xi)}$ продолжают до момента:

- 1) идентификации окончания ξ -й кодовой комбинации $N^{(\xi)}$;
- 2) использования всех двоичных разрядов $h_{\xi,\mu}$ слота s_ξ .

В первом случае декодер восстанавливает соответствующую компоненту u_ξ . Также при этом формируется избыточная составляющая Δs_ξ слота s_ξ .

Она задается следующим образом:

$$[\Delta s_\xi]_2 = \{h_{\xi,|\ell_\xi|_2+1}; \dots; h_{\xi,\nu}\}. \quad (9)$$

В данной формуле $h_{\xi,\mu} - \mu$ -й разряд слота s_ξ .

Длина $[\Delta s_\xi]_2$ избыточной составляющей слота Δs_ξ находится как разница длины ν слота s_ξ и длины $|\ell_\xi|_2$ идентифицированного структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$:

$$|\Delta s_\xi|_2 = \nu - |\ell_\xi|_2.$$

Во втором случае процесс дальнейшей поразрядной сборки структурно-энтропийных кодов $N^{(\xi)}$ требует обращения к содержимому избыточных составляющих Δs_i других слотов s_i , $i \neq \xi$. Это обращение производится только после идентификации других структурно-энтропийных кодов $N^{(i)}$, $i \neq \xi$, т.е. выполнения этапа $g = 1$ на позициях всех слотов s_i .

Значения позиций данных избыточных составляющих Δs_i слотов s_i в последовательности $S(\Lambda)$

задаются индексом структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ и вектором смещения $D(v_{cm})$.

При этом внесении двоичных разрядов $h_{\xi+d_g, \mu}$ избыточных составляющих $\Delta s_{\xi+d_g}^{(\gamma)}$ слота $s_{\xi+d_g}$ в содержимое части кода $\partial N^{(\xi)}$ продолжаются до идентификации окончания ξ -й кодовой комбинации $N^{(\xi)}$. Следует заметить, что каждый этап сборки структурно-энтропийных кодов $N^{(\xi)}$ должен происходить после завершения предыдущего на позициях всех слотов s_i .

Результат формирования структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ при обращении к битовым составляющим нескольких слотов представлен на рис. 7.

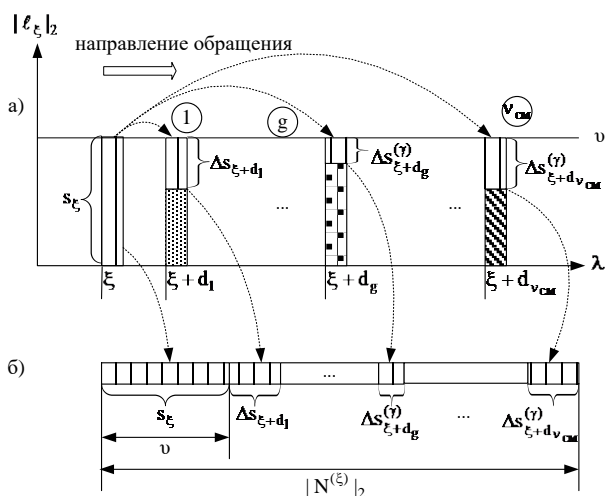


Рис. 7. Сборка структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$ по подпоследовательности $\Delta s(v_{cm})$ до идентификации окончания кодовой комбинации $N^{(\xi)}$: а – изъятие битовых составляющих других слотов $s_{\xi+d_g}$; б – результат формирования кода $N^{(\xi)}$

Остаточная избыточность битов, которые использовались при формировании пакета $S(\Lambda)$ слотов s_{ξ} , на результат декодирования не влияет. Результатом обработки всех слотов s_{ξ} в пакете $S(\Lambda)$ является восстановление всех компонент u_{ξ} линейаризованной трансформанты.

3. Оценка целостности данных для метода структурно-энтропийной обработки

В условиях отсутствия ошибок в процессе передачи слотов s_{ξ} , обработки и сборки структурно-

энтропийных кодов $N^{(\xi)}$ декодирование производится взаимно-однозначно. Тогда квантованные значения компонент u_{ξ} линейаризованной трансформанты восстанавливаются без ошибок.

Псевдо-случайное смещение последовательности d_g обеспечивает лучшие свойства отказоустойчивости из-за его некоррелированной характеристики, так как d_{g+i} от d_g . Таким образом, два структурно-энтропийных блока λ -го слота не будут искажаться в том же порядке, что может быть использовано для повышения устойчивости к ошибкам.

Алгоритм обратного перераспределения будет продолжаться до окончательной идентификации всех компонент u_{ξ} линейаризованной трансформанты. При этом процесс идентификации выполняется параллельно.

В случае наличия битовой ошибки в μ -м разряде $h'_{\lambda, \mu}$ λ -го слота s_{λ}

$$h'_{\lambda, \mu} \neq h_{\lambda, \mu}$$

процесс декодирования будет зависеть от битового положения в слоте:

- 1) Если идентификация λ -й кодовой комбинации $N^{(\lambda)}$ до считывания разряда $h_{\lambda, \mu}$ слота s_{λ} не была произведена, то возможна неверная идентификация окончания λ -й кодовой комбинации $N^{(\lambda)}$.
- 2) При идентификации λ -й кодовой комбинации $N^{(\lambda)}$ ошибка затрагивает избыточную составляющую $\Delta s_{\lambda}^{(\gamma)}$ слота s_{λ} , к которой идет обращение при сборке на g -м этапе ξ -го структурно-энтропийного кода $N^{(\xi)}$, $\xi = \lambda - d_g$. При этом также возможна неверная идентификация окончания ξ -й кодовой комбинации $N^{(\xi)}$. Идентификация кода $N^{(\lambda)}$ и кодов $N^{(i)}$, избыточные составляющие которых входят в избыточные составляющие $\Delta s_{\lambda}^{(j)}$, $j < \gamma$ слота s_{λ} , будет произведена верно.

Для первого варианта положения ошибочного разряда $h'_{\lambda, \mu}$ при изменении длины $|N^{(\lambda)}|_2$ кодовой комбинации $N^{(\lambda)}$:

- а) в сторону увеличения $|N^{(\lambda)}|_2 > |N^{(\lambda)}|_2$ ошибка распространяется на коды $N^{(i)}$, которые при сборке должны были использовать разряды слотов s_i с позицией $i \in \{\lambda + d_{v_{cm}}; \dots; \lambda + d_{v'_{cm}}\}$ и битовое по-

ложение в слоте после избыточной составляющей $N'_{v_{cm}}^{(\lambda)}$ кода $N^{(\lambda)}$;

б) в сторону уменьшения $|N^{(\lambda)}|_2 > |N'^{(\lambda)}|_2$ ошибка распространяется на коды $N^{(i)}$, которые при сборке будут использовать разряды слотов s_i с позицией $i \in \{\lambda + d_{v_{cm}}; \dots; \lambda + d_{v_{cm}}\}$ и битовое положение в слоте после избыточной составляющей $N'_{v_{cm}}^{(\lambda)}$ кода $N^{(\lambda)}$.

При втором варианте положения ошибочного разряда $h'_{\lambda, \mu}$ ситуация повторяется для кода $N^{(\xi)}$.

Наглядное представление неверного декодирования пакета слотов с рис. 1 при ошибке разряда 5 в слоте 1 показано на рис. 8.

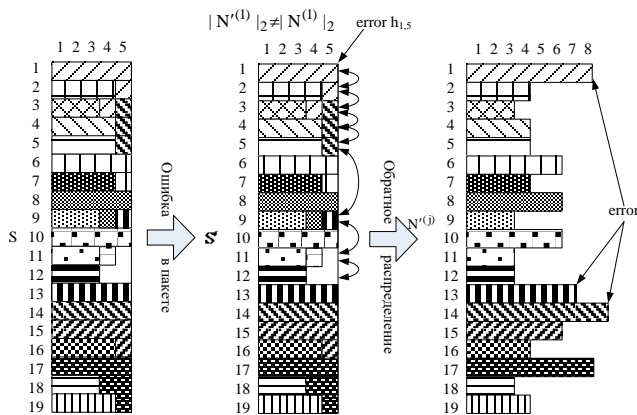


Рис. 8. Влияние ошибки в разряде $h_{1,5}$ слота s_1 на определение длин $|N^{(i)}|_2$ кодов $N^{(i)}$ последовательности $\{N^{(j)}\}$

В случае ошибочного декодирования первого структурно-энтропийного кода $N^{(1)}$ декодер неверно определит длину первого кода. В результате искажения слота 1 распространение ошибки позиционирования будет локализовано областью слотов 1, 13 и 14. Для обратного распределения коды с 2 по 12 и с 15 по 19 останутся незатронутыми.

Из количества затронутых ошибкой кодовых слов видно достоинство использования технологии структурно-энтропийного слотирования.

Для восстановления кодов 1, 13 и 14 декодер может использовать как предыдущие, так и следующие значения разрядов, определенных алгоритмом распределения. Ошибка на этапе обработки величины $K^{(j)}$, которая соответствует кодовому

представлению пары $\tilde{u}_{i, i+1}$ элементов вектора $U(\theta)$ линеаризированной трансформанты, на позиционирование кодов $N^{(\xi)}$, $\xi \neq j$ остальных пар компонент не влияет.

В общем случае при неискаженном значении энтропийного кода $\Gamma_g^{(j)}$, который соответствует γ -му диапазону величины $g^{(j)}$ кода $N^{(j)}$, ошибка восстановления пары $\tilde{u}_{i, i+1}$ элементов вектора $U(\theta)$ будет локализована в области величины $g^{(j)}$. Технология структурно-энтропийного слотирования позволяет увеличить скорость восстановления компонент изображения. Данная технология также обеспечивает локализацию ошибки восстановления для НЧ компонент изображения и позиционирования для ВЧ компонент изображения. Этим обеспечивается целостность двоичного представления трансформанты изображения.

Выводы

Разработана технология структурно-энтропийного слотирования кодового представления пар элементов линеаризированной трансформанты. Эта технология учитывает как структурную особенность и зависимость между элементами в кодируемой паре, так и статистические характеристики значений элементов в обрабатываемой трансформанте. Разработана технология позиционирования двоичного представления трансформанты при структурно-энтропийном слотировании в условии проведения кибератак.

Литература: 1. Баранник В.В., Підлісний С.А. Обґрунтування підходу щодо створення технології кіберзахисту відеоінформаційного ресурсу в інфокомунікаційному просторі // Науковий часопис. 2016. №1(29). С. 82 – 86. 2. Barannik V., Podlesny S., Krasnorutskyi A., Musienko A. and Himenko V. The ensuring the integrity of information streams under the cyberattacks action // IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2016. P. 1-5. 3. Barannik V., Podlesny S. A., Yalivets K. and Bekirov A., The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword // 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET). 2016. P. 52-54. 4. Barannik V.V., Akimov R.I., Vlasov A.V. Method of increasing availability and integrity of video information resources // XIIth International Conference "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science, TCSET"2014. 2014. 532 p. 5. Баранник В.В., Рябуха Ю.Н. Метод повышения информационной безопасности в системах видеомониторинга кризисных ситуаций. Черкассы, 2015. 143 с. 6. Баранник В.В., Власов А.В., Сидченко С.А., Бекіров А.Э. Обоснование значимых угроз безопасности

відеоінформаційного ресурса систем відеоконференцсвязи профільних систем управління // Інформаційно-управляючі системи на ЖД транспорті. 2014. №3. С. 24 – 31. 7. *Бараннік В.В., Власов А.В., Тарнополов Р.В.* Модель загроз безпеки відеоінформаційного ресурсу систем відеоконференцсвязки // Науковий журнал. 2014. № 1 (21). С. 55 – 60. 8. *Бараннік В., Красноруцький А.*, Побудова правила формування позиційних структурно-вагових чисел в умовах кодування за заданою довжиною // Безпека інформації. 2014. Т. 20, №. 1. С. 62-65.

Transliterated bibliography:

1. *Barannik V.V., Pidlisnyj S.A.*, Obg'runtuvannja pidhodu shhodo stvorennja tehnologii' kiberzahystu videoinformacijnogo resursu v infokomunikacijnomu prostori // Naukojemni tehnologii', 2016, №1(29), S. 82 – 86.
2. *Barannik V., Podlesny S., Krasnorutskyi A., Musienko A. and Himenko V.*, The ensuring the integrity of information streams under the cyberattacks action // IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2016, pp. 1-5 (in print).
3. *Barannik V., Podlesny S. A., Yalivets K. and Bekirov A.*, The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword // 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2016, pp. 52-54.
4. *Barannik V.V., Akimov R.I., Vlasov A.V.*, Method of increasing availability and integrity of video information resources // XIIth International Conference "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science, TCSET'2014, 2014. p. 532.

5. *Barannik V.V., Rjabuha Ju.N.*, Metod povyshenija informacionnoj bezopasnosti v sistemah videomonitoringa krizisnyh situacij, Cherkassy, 2015, 143 s.

6. *Barannik V.V., Vlasov A.V., Sidchenko S.A., Bekirov A.Je.*, Obosnovanie znachimyh ugroz bezopasnosti videoinformacionnogo resursa sistem videokonferencsvjazi profil'nyh sistem upravlenija // Informacionno-upravljajushhie sistemy na ZhD transporte, 2014, №3. S. 24 – 31.

7. *Barannik V.V., Vlasov A.V., Tarnopolov R.V.*, Model' zagroz bezpeky videoinformacijnogo resursu system videokonferencsv'jazku // Naukojemni tehnologii', 2014, № 1 (21). S. 55 – 60.

8. *Barannik V., Krasnoruckyj A.*, Pobudova pravyla formuvannja pozycijnyh strukturno-vagovyh chysel v umovah kodoutvorennya za zadanoju dovzhynuju // Bezpeka informacii', 2014, T. 20. №. 1. S. 62-65.

Поступила в редколлегию 18.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Подлесный Сергей Анатоліевич, начальник отделения центра Харьковского национального университета Воздушных Сил. Научные интересы: сетевые технологии, обработка информации. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Сумская 77/79, тел. 0635653862.

Podlesny Sergey Anatolievich, head of the center department in the Kharkiv national university of Air Forces. Scientific interests: network technologies, information processing. Kharkov, Sumskaia st. 77/79, +380635653862.

**МЕТОД ОРГАНІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ
КОНТРОЛЕРА SDN «НЕСКІНЧЕННИЙ
ПОТЯГ»**

СКУЛИШ М. А.

Описується використання хмарного середовища для програмно визначених мереж, що відкриває нові можливості для організації обчислювального процесу мережеских контролерів. Пропонується метод сервісних прикладних програм для виконання функцій контролера SDN. Описується метод керування ресурсами віртуальних машин, який дозволяє обслуговувати велику кількість додатків одночасно без затримки завдяки балансуванню навантаження.

Ключові слова: програмно визначена мережа, Software Defined Network, контролер SDN, балансування навантаження контролера.

Вступ

Швидке зростання трафіка і зміна його структури, необхідність підтримання великої кількості мобільних користувачів та створення високопродуктивних кластерів для обробки великих обсягів даних і добре масштабованих віртуалізованих середовищ для надання хмарних сервісів – всі ці речі серйозно змінили вимоги до мережеских середовищ. Таким чином, дуже часто мережа стає обмежуючим фактором у розвитку обчислювальної інфраструктури.

Основна проблема полягає в тому, що традиційні мережі занадто статичні, внаслідок цього вони не відповідають динаміці поточного процесу розподілу, на відміну від серверів, чим останні зобов'язані технологіям віртуалізації. На сьогоднішній день прикладні програми розподіляються між декількома віртуальними машинами, що інтенсивно обмінюються даними (що призводить до збільшення трафіку захід-схід, який починає домінувати над традиційним для клієнт-серверних архітектур трафіком північ-південь). Для оптимізації завантаження серверів віртуальні машини часто мігрують, що змінює точки «прив'язки» трафіка. Традиційні схеми адресації, логічного поділу мереж і способи призначення правил обробки трафіка в таких динамічних середовищах стають неефективними.

Схожі труднощі виникають і з реконфігурацією механізмів Quality of Service (QoS) при додаванні в мультисервісну мережу нової прикладної програми, наприклад відеозв'язку. Занадто багато часу у великих мережах займають процедури зі зміни параметрів захисту, що не дозволяє оперативно реагувати на виникаючі загрози [1].

Впровадження технологій програмно-конфігурованих мереж та віртуалізації мережеских функцій може стати саме тим фактором, який дозволить вирішити існуючі проблеми і радикально змінити підхід до організації та керування мережею.

1. Огляд технології програмно-визначених мереж

Під програмно-визначеною мережею (Software-defined Networking, SDN) розуміють мережу передачі даних, в якій рівень управління відділений від пристроїв передачі даних і реалізується програмно; вона являє собою одну з форм віртуалізації обчислювальних ресурсів.

Дані передаються відповідно до таблиць маршрутизації, що зберігаються на апаратних системах, як і згідно з існуючими підходами. Але ці таблиці централізовано управляються віддаленою системою, у зв'язку з чим зникає необхідність змінювати таблиці на кожному комутаторі окремо. В ідеальному випадку всі мережескі компоненти повинні управлятися і налаштовуватися в ході однієї операції. Спільна робота компонентів програмно-обумовленої мережі може бути заснована на стандарті OpenFlow.

Ключові принципи SDN – поділ процесів передачі та управління даними, централізація управління мережею за допомогою уніфікованих програмних засобів, віртуалізація фізичних мережеских ресурсів. Протокол OpenFlow, який реалізує незалежний від виробника інтерфейс між логічним контролером мережі і мережеским транспортом, є однією з реалізацій концепції програмно-конфігурованої мережі [2].

Головна ідея SDN полягає у відокремленні функцій передачі трафіка від функцій управління (включаючи контроль як самого трафіка, так і пристроїв, що здійснюють його передачу). У традиційних комутаторах і маршрутизаторах ці процеси невіддільні один від одного і реалізовані в одній «коробці»: спеціальні мікросхеми мережеского обладнання забезпечують пересилання пакетів з одного порту на інший, а вищорозміщене програмне забезпечення визначає правила такого пересилання, виконує необхідний аналіз пакетів, виконує зміну службової інформації, що міститься в них. Для визначення маршруту передачі або недопущення зациклення трафіка пристрої, звичайно, обмінюються між собою даними, для чого розроблено безліч протоколів, таких як Open Shortest Path First (OSPF), Border Gateway Protocol (BGP) і Spanning Tree, але при цьому кожен пристрій функціонує досить автономно.

На рис. 1 схематично зображена концепція SDN, згідно з якою вся логіка управління виноситься в так звані контролери, які здатні відстежувати роботу всієї мережі.



Рис. 1. Концепція технології програмно-конфігурованих мереж

Основною рушійною силою концепції програмно-конфігурованих мереж та базовою складовою її архітектури є протокол Open Flow.

Open Flow – це протокол, завданням якого є керування мережевими пристроями за допомогою SDN-контролера. Це надає можливість безпосереднього програмування мережевого обладнання (наприклад, комутаторів і маршрутизаторів), як фізичного, так і віртуального, що робить мережу більш динамічною і контрольованою. Основною характеристикою протоколу Open Flow є використання потоків для ідентифікації мережевого трафіка. Ці потоки засновані на заздалегідь визначених правилах, які можуть бути статично або динамічно запрограмовані за допомогою SDN-контролера [3].

Показники якості функціонування програмно-керованих мереж залежать від швидкодії програмних модулів, які реалізують мережеві функції. Передбачається, що використання хмарних технологій забезпечить потреби у обчислювальних ресурсах програмно-керованих мереж. На сьогоднішній день оцінити ступінь завантаженості обчислювальних ресурсів, що підтримують функціонування програмного забезпечення контролера, можна лише теоретично. Запропонований у даній статті метод нескінченного потягу дозволить організувати обчислювальні процеси програмно-керованих мереж таким чином, щоб максимально використати можливості сучасного обчислювального середовища.

2. Основні функції рівня управління мережі SDN

Розглянемо більш детально рівень управління мережі SDN. Основними елементами рівня управління є контролери. Контролер SDN являє собою новий клас продукту мереж передачі даних. На рис. 2 описано десять ключових характеристик функціональних можливостей контролера SDN.



Рис. 2. Ключові функціональні характеристики контролера SDN

1. *Підтримка протоколу Open Flow.* Коли пакет надходить на комутатор Open Flow, поля заголовка порівнюються з потоком записів таблиці. Якщо знайдено співпадіння, то пакет передається на вказаний порт або опускається, залежно від однієї або декількох дій, збережених в таблиці потоків. Коли комутатор Open Flow приймає пакет, який не відповідає запису таблиці потоку, він формує пакет і передає його на контролер. Потім контролер вирішує, яким чином пакет повинен бути оброблений, і повідомляє комутатор проскинення пакета та створення нового запису в таблиці потоку для підтримки нового потоку.

2. *Віртуалізація мережі.* Одним з найбільш важливих переваг контролера SDN є віртуалізація мережі. Одним із типів віртуалізації мережі, який використовувався у виробничих мережах протягом багатьох десятиліть, є віртуальна локальна мережа (VLAN). Мережі VLAN розділили мережу Ethernet на цілих 4094 ширококомовних доменів і стали зручним засобом виділення різних типів трафіка, які ділять одну й ту ж LAN інфраструктуру.

3. *Функціональність мережі.* З метою безпеки провайдери хмарних послуг прагнуть бути ізольованими одне від одного. Для того щоб ефективно виконати цю вимогу, контролер SDN повинен включати віртуальні мережі, повністю ізольовані одна від одної, які конфігуруються централізовано з можливістю автоматичного застосування конфігурацій.

4. *Масштабованість.* Традиційна локальна мережа розгортається в багаторівневу архітектуру, в якій функція маршрутизації 3-го рівня використовується для підключення багатьох мереж 2-го рівня. Такі традиційні локальні мережі не дуже добре масштабуються при підтримці трафіка захід-схід, оскільки принаймні один пристрій 3-го рівня, а швидше за все багато пристроїв 3-го рівня перебувають на шляху «з кінця в кінець». Ключовим фактором, який відноситься до масштабованості SDN, є кількість комутаторів, які може підтримувати контролер SDN. У поточному середовищі контролери повинні підтримувати як мінімум 100 комутаторів, але ця цифра залежатиме від сценаріїв використання SDN, які підтримуються в даний час.

5. *Продуктивність.* Однією з ключових функцій контролера SDN є створення потоків. Таким чином, два з ключових показників продуктивності, пов'язаних з контролером SDN, є час створення потоку і кількість потоків за секунду, які може створити контролер. Ці показники продуктивності значною мірою впливають на необхідність розгортання додаткових контролерів SDN. На-

приклад, якщо комутатори SDN ініціюють більше потоків, ніж може підтримуватися існуючим контролером(ами) SDN, потрібно додати більше контролерів.

6. *Програмованість мережі.* Іншим прикладом типу програмованості мережі є можливість застосування складних фільтрів для пакетів. Ці фільтри можна розглядати як динамічні, інтелектуальні списки ACL. Прості списки контролю доступу можуть бути засновані на безпосередньому узгодженні заголовка пакета і можуть використовуватись для визначення необхідності виділення чи передачі пакетів. На противагу цьому, контролер SDN повинен мати можливість застосовувати фільтри, що складаються зі складних комбінацій декількох полів заголовка пакета. Фільтри повинні динамічно розгортатись у віртуальних мережах, а роль контролера SDN полягає у тому, щоб проштовхувати відповідні записи таблиці вниз до комутаторів. Контролер SDN може також підтримувати програмованість, надаючи шаблони, які дозволяють створювати сценарії CLIs, що, на відміну від традиційного управління конфігураціями, дозволить динамічно програмувати мережу.

7. *Надійність.* Повинно існувати декілька мережевих шляхів від пункту відправлення до пункту призначення. Контролер SDN також повинен бути побудований з використанням функцій резервування апаратного і програмного забезпечення, контролери повинні мати можливість об'єднуватись у кластери.

8. *Безпека мережі.* Повинна бути забезпечена можливість застосувати аутентифікацію та авторизацію корпоративного класу і повністю ізолювати кожну віртуальну мережу. Контролер SDN повинен мати можливість обмежити швидкість передачі контрольних повідомлень.

9. *Централізоване управління і візуалізація.* Контролер SDN повинен вибрати класи трафіка, які він контролює, і представити візуалізацію фізичної мережі та кількох віртуальних мереж, що працюють на ньому.

10. *Вендор контролера SDN.* Постачальник повинен продемонструвати, що він має фінансові та технічні ресурси для підтримки постійного розвитку, який буде пов'язаний з мережею SDN. Постачальник повинен також продемонструвати свою довгострокову позицію і імпульс на ринку SDN.

Кожна з цих функцій може бути представлена у вигляді набору процедур, які виконуються в обчислювальному середовищі. Продуктивність і надійність процедур залежить від організації обчислювального середовища.

3. Організація обчислювального процесу в контролері SDN

Контролери в програмно-визначеній мережі (SDN) відіграють роль її «мозку». Це програма, яка виступає як стратегічна точка курування в мережі SDN, скеровує потоки управління до комутаторів/маршрутизаторів «вниз» (через API південного напрямку) та прикладних програм і бізнес-логіки «вгору» (через API північного напрямку) для розгортання інтелектуальних мереж. Останнім часом, оскільки організації розгортають все більше мереж SDN, контролерам було додано задачу об'єднання доменів в SDN з використанням загальних інтерфейсів прикладних програм, таких як Open Flow і відкрита віртуальна база даних комутатора (OVSDDB)[4].

На сьогоднішній день існує два основних підходи до організації обчислювального процесу роботи контролера. Перший [5] забезпечує організацію безлічі контролерів, кожен з яких представляє собою незалежний обчислювальний вузол зі своєю власною системою управління. Другий підхід [6] передбачає кластерну організацію контролера, де ключовим завданням є балансування навантаження. Завдяки використанню хмарних технологій, продуктивність різних кластерів можна вважати умовно-нескінченною.

Централізоване планування навантаження контролерів

Одна з ідей, які активно розвиваються в рамках SDN, це віртуалізація мережі для більш ефективного використання мережевих ресурсів. Віртуалізація мережі відноситься до ізоляції мережевого трафіка – групування (мультиплексування) декількох потоків даних з різними характеристиками в межах однієї логічної мережі, які можуть спільно використовувати єдину фізичну мережу з іншими мережами або з логічними зрізами мереж. Кожен зріз може використовувати свої алгоритми адресації та маршрутизації, керування якістю обслуговування.

Перший метод організації контролера SDN передбачає, що логіка управління кожної віртуальної мережі може працювати на контролері, а не на фізичних комутаторах (рис.3).

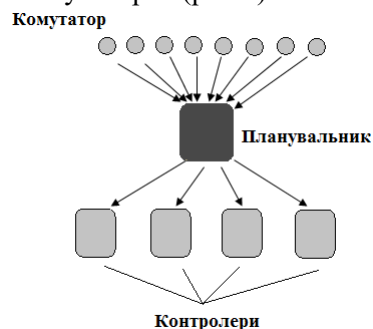


Рис. 3. Централізоване планування навантаження контролерів

SDN надає гнучкий та простий спосіб визначення віртуальних мереж, представляючи кожне віртуальне з'єднання у вигляді потоку, отже, визначаючи віртуальну мережу як набір правил потоку в різних комутаторах. Таким чином, площина управління SDN може бути використана для досягнення важливих політик розподілу ресурсів, таких як балансування навантаження мережі, мінімізація витрат ресурсів. Наприклад, Flowvisor [7] і XNet Mon [8] дають можливість декільком орендарям розділити основу мережі SDN за допомогою віртуалізації, дозволяючи ізоляцію та спільне використання мережних зрізів.

Одним із прикладів віртуалізації SDN, поділу мережі на частини і програми управління є Flow Visor – програма-посередник (проксі-сервер), що працює на рівні між Open Flow –комутаторами і різними контролерами SDN. За допомогою Flow Visor можна створювати логічні сегменти мережі, які використовують різні алгоритми для управління потоком даних, забезпечуючи ізоляцію даних мережі один від одного. Це означає, що кожен контролер управляє тільки його логічною мережею і не може вплинути на іншу операцію. Для контролера, що взаємодіє з навколишнім середовищем через протокол OpenFlow за допомогою FlowVisor, всі повідомлення виглядають так само, коли контролер взаємодіє зі звичайною мережею SDN. Всю необхідну модифікацію повідомлень, потрібних для підтримки декількох ізольованих сегментів мережі, виконує Flow Visor. Це означає, що для логічних модифікацій мережі підійде будь-який контролер SDN, наприклад, мережева операційна система, така як NOX, з будь-яким набором програм [5].

Однак в даний час не існує жодного рішення проблем управління ресурсами в організації контролера. Залишаються невирішеними деякі важливі питання резервування і вивільнення обчислювальних ресурсів залежно від навантаження. SDN вже приділялась увага у [7, 9], де пропонувалися тісно пов'язані підходи, засновані на протоколі Open Flow, з метою спільного використання однієї площини апаратних засобів для передачі даних між кількома логічними мережами. Але там не розглядалася можливість використання умовно-нескінчених обчислювальних ресурсів.

Кластерна організація контролера SDN

Другий підхід передбачає кластерну організацію контролера, де ключовим елементом операції є балансування навантаження.

Компанія Fujitsu Laboratories розробила модуль розподіленого управління для скоординованого управління безліччю контролерів, а саме технологію балансування навантаження. Вона перед-

бачає передачу керуючого комутатора з одного контролера на інший під час зростання навантаження або за наявності пошкоджень і безперервної технології відновлення. Ці технології дозволяють SDN надійно працювати зі збільшенням рівнів трафіка вище очікуваного [10].

З розгортанням SDN з підтримкою технологій, що стосуються глобальної мережі, інфраструктура отримує змогу швидко відновлюватись в надзвичайних ситуаціях або під час інших збоїв мережі, зберігаючи при цьому здатність до надійної роботи мережі.

Розподілений кластерний контролер працює на декількох фізичних контролерах як єдиний логічний контролер для управління декількома мережевими комутаторами. У порівнянні з традиційними централізованими контролерами, кластерні розподілені контролери забезпечують кращу масштабованість і відмовостійкість. На сьогоднішній день проблема полягає в наявності труднощів з обробкою різких коливань навантаження і зі скоординованим управлінням у випадку збоїв контролера.

Fujitsu Laboratories розробила функцію перевірки навантаження, як нове доповнення до модуля координації розподіленого контролера (рис. 4). Вона збирає інформацію про навантаження від кожного компонента контролера (наприклад, про швидкість роботи процесора і кількість комутаторів) (етап 1), а також система координації періодично перевіряє інформацію про навантаження, використовуючи модуль координації розподілених контролерів як "лідера" на основі контрольного номера модуля або іншого критерію (етап 2) для визначення навантаження дисбалансів. Якщо необхідна зміна балансу навантаження, відповідно до логіки балансування, комутатори перемикаються на основі даних комутатора-перепризначення логіки для збалансування навантаження відповідно до політики коефіцієнта завантаження центрального процесора і кількості перемикачів (крок 3). В результаті відповідність між зміненими комутаторами і контролерами реєструється в системі координації (етап 4), а навантаження врівноважується перепризначенням комутаторів відповідно до оновленої інформації з розподіленого контролера (етап 5) [8].

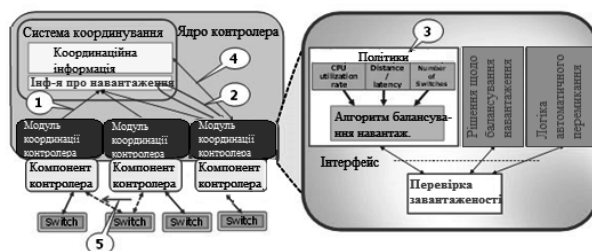


Рис. 4. Кластерна організація контролерів

Але ця технологія також має ряд недоліків. Розподілені контролери на базі кластера відрізняються від централізованого контролера, оскільки всі модулі розподіленого управління повинні працювати узгоджено, щоб уникнути взаємної конкуренції. Ще одне завдання полягає в тому, щоб забезпечити безперервність управління. Процеси повинні працювати навіть в разі виходу з ладу модуля. Але у випадку перевантаження деяких компонентів або відмови контролера виникають труднощі з автоматичним перемиканням і робота комутаторів сповільнюється або стає нестабільною.

Основним недоліком існуючих підходів є те, що вони не розглядають можливість умовно-нескінченних обчислювальних ресурсів. В результаті система, побудована на основі обмежених ресурсів, може мати періоди низької якості обслуговування. Ці періоди пов'язані з тим, що робота системи моніторингу включає в себе збір статистичних даних, показники якості усереднюються, і система очікує перевищення порогового значення індексу продуктивності. Використання гетерогенних хмарних середовищ, а саме різних видів рішень для платформи як інфраструктури PaaS, дозволяє створювати і підтримувати необмежену кількість віртуальних машин, завдання яких полягає в тому, щоб виконувати обчислювальні функції контролера.

4. Метод організації функцій «Нескінченний потяг»

На сьогоднішній день існує декілька підходів до організації обчислювального процесу в контролері SDN. Їх основним недоліком є те, що вони не враховують можливість застосування необмеженого ресурсу, який надають хмарні технології. Усі існуючі підходи засновані на тому, що кількість ресурсів системи є обмеженою і залежить від технічних можливостей сервера, на якому розміщуються віртуальні машини.

Наслідком застосування даних підходів стає зниження якості надання послуг в певні періоди часу, які пов'язані з тим, що робота системи моніторингу полягає у збиранні та аналізі даних про якість надання послуг в мережі. Якщо значення параметрів QoS для певних послуг є нижче порогового, але інші послуги надаються з досить високою якістю, система може не реагувати на зниження якості у певні періоди часу, оскільки враховується лише середнє значення показників. Вирішенням даної проблеми є застосування гетерогенного хмарного середовища, а саме певних рішень для платформи як інфраструктури (PaaS). Platform-as-Infrastructure являє собою ізольований кластер, що складається з групи серверів і сервісів, які взаємодіють як цілісна система, надаючи можливість зручно розгортати, тестувати,

підтримувати і масштабувати систему. PaaS дозволяє створювати і обслуговувати необмежену кількість віртуальних машин, робота яких полягає в обслуговуванні обчислювальних функцій контролера. Застосування необмеженої кількості ресурсів для роботи віртуальних машин дозволить уникнути періодів зниження якості надання послуг.

Метод, що пропонується в даній статті, називається «ефект нескінченного потягу». Його основна ідея полягає в тому, що після того, як певна віртуальна машина отримала на обслуговування задану кількість задач, створюється нова віртуальна машина, на яку надходять усі наступні задачі (рис. 5).

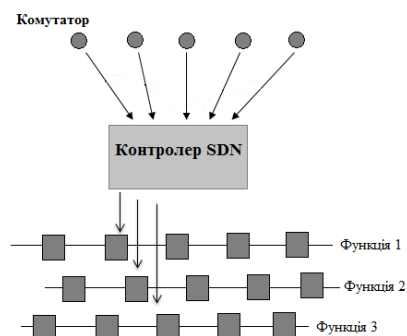


Рис. 5. Метод «нескінченного потягу»

Запропонований метод спирається на метод динамічної міграції віртуальних машин, розроблений компанією Jelastic [11], що забезпечує балансування навантаження серверів хмарного сховища даних за рахунок створення платформи для автоматичного керування контейнерами віртуальних машин. Також враховується метод вибору контейнера для міграції віртуальних машин, описаний в статті [12], який дозволяє аналізувати та прогнозувати навантаження на мережу на основі оцінки використовуваних ресурсів. Застосування хмарного сховища даних передбачає, що усі вони зберігаються на великій кількості розподілених в мережі серверів. При цьому повинні виконуватись дві основні задачі:

- Інтерактивний розподіл завдань клієнтів між віртуальними машинами, які розташовані в одному або декількох кластерах. Це з одного боку завдання балансування навантаження, а з іншого – завдання забезпечення надійності обслуговування клієнтів;
- Контроль і управління роботою кластера віртуальних машин. Ресурсів кластера має завжди вистачати всім віртуальним машинам, які одночасно працюють на всіх серверах кластера. Метод «нескінченного потягу» передбачає, що всі заявки на обслуговування направляються до поточної віртуальної машини до тих пір, поки вона не буде заповнена. Кількість заявок, які

можуть бути оброблені однією віртуальною машиною залежить від кількості ресурсів, яка виділяється їй при створенні. Після заповнення даної машини створюється нова, на яку перенаправляються усі наступні заявки. Використання даного методу є можливим в тому випадку, якщо кількість ресурсів системи є умовно необмеженою. Використання гетерогенного хмарного середовища надає таку можливість.

Старі віртуальні машини продовжують обслуговувати свої інформаційні потоки до тих пір, поки їх кількість не вичерпається. Після цього віртуальні машини згортаються або очікують на повторне введення в експлуатацію як «пусті вагони». Максимальна кількість заявок, які можуть обслуговуватись у «вагоні», залежить від конфігурації хмарної платформи, або може бути отримана дослідним шляхом. Кількість заявок визначається об'ємом ресурсу, який використовує контролер для виконання обчислювальних завдань. На максимальну кількість заявок також впливає гнучкість процесів міграції – технічних процесів обслуговування віртуальних машин. Ілюстрація описаного методу зображена на рис. 6.

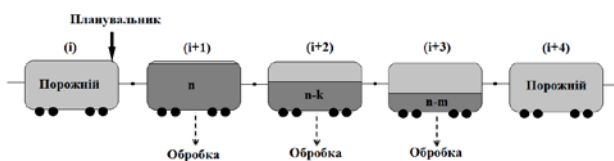


Рис.6. Ефект «нескінченного потягу»

n – максимальна кількість задач для однієї VM; k – кількість задач, які встигли обробитися у $(i+2)$ -й віртуальній машині з початку її наповнення до поточного моменту, моменту завершення подачі заявок у віртуальну машину $(i+1)$; m – кількість задач, які встигли обробитися у $(i+3)$ -й віртуальній машині з початку її наповнення до поточного моменту.

5. Дослідження ефективності методу

З метою оцінки ефективності запропонованого методу проведено імітаційне моделювання у середовищі GPSS. Було оцінено затримку обслуговування заявок на автентифікацію потоку, а також заявок на визначення оптимального шляху передачі інформаційного потоку. Було змодельовано роботу трьох методів організації роботи контролерів. А саме:

- централізоване планування навантаження; такий метод було змодельовано у вигляді системи масового обслуговування з обмеженою кількістю обслуговуючих пристроїв;
- організація кластерного контролера була спрощено змодельована у вигляді системи масового обслуговування з обмеженою кількістю обслуговуючих пристроїв, для яких було встано-

влено мітки контролю затримки. У разі невиконання заданих умов навантаження між обслуговуючими пристроями перерозподілялося;

– метод «нескінченний потяг» було змодельовано у вигляді системи масового обслуговування з нескінченною (дуже великою) кількістю обслуговуючих пристроїв, кожна функція оброблялася окремою групою обслуговуючих пристроїв.

В результаті було отримано залежність (рис. 7).

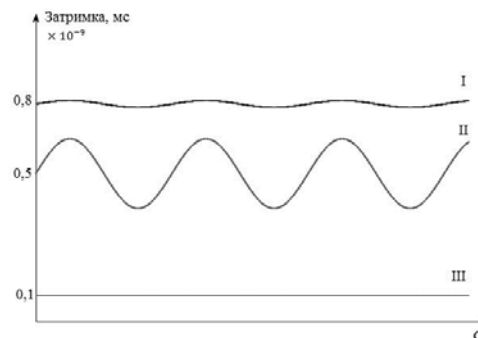


Рис. 7. Результати моделювання для трьох методів організації контролера SDN

Як видно з графіків, для методу нескінченного потягу затримка була найменшою. В той же час обмеженням даної моделі є кількість ресурсів, які використовують для обслуговування. У даній статті не досліджувалася надлишкова кількість ресурсів, яка використовується для ініціалізації та функціонування надлишкової кількості віртуальних машин.

Висновки

Використання хмарних технологій для забезпечення програмно-визначених мереж розкриває нові можливості для організації обчислювальних процесів мережевих контролерів. Методи обслуговування віртуальних сутностей у хмарному середовищі дозволяють розраховувати на умовно-нескінченні обчислювальні ресурси хмарного сервісу, який називається платформа як сервіс. В той же час необхідно враховувати особливості обслуговування віртуальних сутностей на фізичному обладнанні дата-центрів.

В результаті отримано метод обслуговування обчислювальних процесів у хмарному середовищі, який називається «Нескінченний потяг». В результаті цього всі заявки на обслуговування (виконання функцій контролера) розділяються на блоки не більше заданого числа n , обслуговування цих заявок ведеться у окремій віртуальній машині. Кількість віртуальних машин нескінченна, тому відсутня додаткова затримка пов'язана з перевантаженням частини обчислювальних ресурсів, швидкістю реакції систем балансування навантаження на зняті показники якості обслуговування.

Література:

1. *Смелянский Р.Л.* Программно-конфигурируемые сети / Р.Л. Смелянский // Открытые системы. СУБД. 2012. No. 9. С. 23–26.
2. *McKeown N.* Openflow: Enabling innovation in campus networks / N. McKeown, T. Anderson// SIGCOMM Computer Communication Review. 2008. Vol. 38, no. 2. P. 69–74.
3. *Lara A.* Network Innovation Using OpenFlow: A Survey / A. Lara, A. Kolasani, B. Ramamurthy // IEEE Commun. Surv. Tutor. 2013. Vol. 16. P. 1–20.
4. *SDN Controller Vendors.*
<https://www.sdxcentral.com/sdn/definitions/sdn-controllers/>
5. *Dynamic Resource Management in SDN-based Virtualized Networks/* Rashid Mijumbi, Joan Serrat, Javier Rubio-Loyolay, Niels Boutenz, Filip De Turckz and Steven Latr'ex // Universitat Polit'ecnica de Catalunya, 08034 Barcelona, Spain.
6. *Fujitsu Develops Cluster-Based Distributed Controller Technology to Implement Failure-Tolerant Wide-Area Software-Defined Networking /* Fujitsu Laboratories Ltd. Kawasaki, Japan, June 05, 2014.
7. *Sherwood R. et al.* Carving research slices out of your production networks with openflow. SIGCOMM Comput. Commun. Rev., 40(1): 129–130, January 2010.
8. *Fernandes N.C. and O.C.M.B. Duarte.* Xnetmon: A network monitor for securing virtual networks. In Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference on, pages 1–5, June 2011.
9. *Drutskoy D., Keller E., and Rexford J.* Scalable network virtualization in software-defined networks. Internet Computing, IEEE, 17(2):20–27, March 2013.
10. *Chiosi M.* Network Functions Virtualization: Network Operator Perspectives on Industry Progress / M. Chiosi, D. Clarke, C. Donley, et al. // Proceedings of SDN and OpenFlow World Congress, 15–17 October 2013, Frankfurt, Germany. Frankfurt, 2013. P. 1–16.
11. *Ye K., Jiang X., Huang D.* Live Migration of Multiple Virtual Machines with Resource Reservation in Cloud computing - IEEE International Symposium, 2013. P. 267-274.
12. *Pahl C., Xiong H.* Migration to PaaS clouds – Migration process and architectural concerns – IEEE International Symposium, 2013. P.86-91.
13. *Jinkyu J. Sung-Hun K., Hwanju K.* Analysis of virtual machine live-migration as a method for power-capping // The Journal of Supercomputing. 2013. Vol. 66, no 3. P. 1629-1655.

Transliterated bibliography:

1. *Smelyanskiy R.L.* Programmno-konfiguriruemyieseti / R.L. Smelyanskiy // Otkrytyiesistemyi. SUBD. 2012. No. 9. С. 23–26.
2. *McKeown N.* Openflow: Enabling innovation in campus networks / N. McKeown, T. Anderson// SIGCOMM Computer Communication Review. 2008. Vol. 38, no. 2. P. 69–74.
3. *Lara A.* Network Innovation Using OpenFlow: A Survey / A. Lara, A. Kolasani, B. Ramamurthy // IEEE Commun. Surv. Tutor. 2013. Vol. 16. P. 1–20.
4. *SDN Controller Vendors.*
<https://www.sdxcentral.com/sdn/definitions/sdn-controllers/>
5. *Dynamic Resource Management in SDN-based Virtualized Networks /* Rashid Mijumbi, Joan Serrat, Javier Rubio-Loyolay, Niels Boutenz, Filip De Turckz and Steven Latr'ex // Universitat Polit'ecnica de Catalunya, 08034 Barcelona, Spain.
6. *Fujitsu Develops Cluster-Based Distributed Controller Technology to Implement Failure-Tolerant Wide-Area Software-Defined Networking /* Fujitsu Laboratories Ltd. Kawasaki, Japan, June 05, 2014.
7. *Sherwood R. et al.* Carving research slices out of your production networks with open flow. SIGCOMM Comput. Commun. Rev., 40(1):129–130, January 2010.
8. *Fernandes N.C. and O.C.M.B. Duarte.* Xnetmon: A network monitor for securing virtual networks. In Communications (ICC), 2011 IEEE International Conference, p. 1–5, June 2011.
9. *Drutskoy D., Keller E., and Rexford J.* Scalable network virtualization in software-defined networks. Internet Computing, IEEE, 17(2):20–27, March 2013.
10. *Chiosi M.* Network Functions Virtualization: Network Operator Perspectives on Industry Progress / M. Chiosi, D. Clarke, C. Donley, et al. // Proceedings of SDN and OpenFlow World Congress, 15–17 October 2013, Frankfurt, Germany. Frankfurt, 2013. P. 1–16.
11. *Ye K., Jiang X., Huang D.* Live Migration of Multiple Virtual Machines with Resource Reservation in Cloud computing // IEEE International Symposium, 2013. pp. 267-274.
12. *Pahl C., Xiong H.* Migration to PaaS clouds – Migration process and architectural concerns – IEEE International Symposium, 2013. pp.86-91.
13. *Jinkyu J. Sung-Hun K., Hwanju K.* Analysis of virtual machine live-migration as a method for power-capping. // The Journal of Supercomputing. 2013. Vol. 66, no 3. pp. 1629-1655.

Надійшла до редколегії 09.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Бараннік В.В.

Скулиш Марія Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Наукові інтереси: безпека в телекомунікаційних системах, системи тарифікації в телекомунікаційних компаніях, застосування відомих математичних методів в телекомунікаціях, дослідження параметрів якості обслуговування в мобільних мережах 5-го покоління. Адреса: Україна, 03058, Київ, пр. Індустріальний, 2, тел. +38-050-607-42-29.

Skulish Maria Anatolievna, PhD, associate professor, Department of Information and Telecommunication networks, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute name dafter IgorSikorsky". Scientific interests: security in telecommunication systems, charging systems in telecommunication companies, application of known mathematical methods in telecommunications, research of service quality parameters in mobile networks of the 5th generation. Address: 2, Industrial Avenue, Kyiv, 03058, Ukraine, tel. + 38-050-607-42-29.

**МЕТОД СИНТАКСИЧЕСКОГО
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
ИДЕНТИФИКАЦИОННОГО
СТРУКТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА
ТРАНСФОРМАНТЫ ДЛЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКА**
БАРАННИК В.В., ТАРАСЕНКО Д.А.

Обосновывается наличие дисбаланса между информационной интенсивностью видеопотока и производительностью бортовых инфокоммуникационных технологий. Выявляются недостатки стандартизированной информационной технологии кодирования потока кадров. Показывается необходимость построения метода эффективного синтаксического кодирования предсказанных кадров в уплотненном двумерном структурном спектральном пространстве трансформанты с последующей их идентификацией по координатным объектам. Излагаются этапы разработки технологического ядра эффективного синтаксического представления сегмента видеокadra.

Ключевые слова: синтаксическое кодирование, видеопоток, объектно-позиционное кодирование, пропускная способность, информационная интенсивность.

Keywords: Syntactic coding, video stream, object-positional coding, bandwidth, information intensity.

1. Введение

Информационные системы и технологии за последнее десятилетие подвергаются коренным изменениям. Основная причина здесь заключается в стремлении повышать эффективность мультимедийных сервисов, уровень их интеллектуализации, качество обмена информацией. При этом такая тенденция проявляется для ведомственных организаций, коммерческих компаний и частных лиц [1 – 5]. Большое значение приобретают дистанционные технологии предоставления различных сервисов, включая сбор, интеллектуальный анализ и передачу информации [2, 3]. Это способствует развитию бортовых инфокоммуникационных технологий, которые в перспективе должны обеспечить скорости передачи данных до 1 Гбит/с в зависимости от класса бортовых средств. Это обеспечивает потенциал для использования дистанционных технологий воздушного базирования для различного набора услуг, связанных с обработкой, анализом и передачей данных, а также видеoinформационных услуг. По данным ежегодных исследований, проводимых компанией Cisco, характерной чертой существующих сетей и бортовых

сетей следующего поколения является рост их использования для доставки видеoinформационного трафика. Такая тенденция неизбежно приводит к росту нагрузки на инфокоммуникационные системы [5 – 7]. Поэтому снижение интенсивности кодированного потока видеокadров в информационных системах (ИС) для повышения качества видеoinформационного сервиса является *актуальной научно-прикладной задачей*. В этом направлении требуется достичь баланса между постоянно растущей информационной интенсивностью и ограниченной пропускной способностью беспроводных инфокоммуникационных технологий в условиях сохранения требуемого уровня целостности информации.

2. Обоснование совершенствования бортовых информационных технологий кодирования видеопотока

Стандартными информационными технологиями для обработки видеопотоков являются MPEG-технологии, которые базируются на кадровой классификации с последующей их обработкой JPEG совместимыми платформами [7 – 10]. Базовой структурой единицей MPEG-потока является группа кадров, которая включает в себя: *I* кадр (Intra); предсказываемые *P* кадры (Predicted); *B* кадры двунаправленного предсказания (Bidirectional) [11]. Всего в такой группе по спецификации может быть 12 кадров. Среди них один базовый кадр, который кодируется независимо от других кадров. Остальные кадры формируются с использованием информации относительно базового кадра. Соответствующая усредненная оценка интенсивностей для различных типов кадров в зависимости от пикового отношения сигнал/шум (ПОСШ) показана в виде диаграмм на рисунке. В качестве структуры кадра выбирался формат 4CIF (720x576) [2 – 4].

Из анализа данных диаграмм видно, что усредненная информационная интенсивность базового кадра превышает интенсивность битового представления предсказываемых кадров. Это обусловлено тем, что для обеспечения баланса между уровнем информационной интенсивности и целостностью информации наиболее важным является сохранение контента для базового кадра [12 – 17]. Платой за такое свойство является рост

информационной интенсивности базового кадра. В то же время до 80% суммарной интенсивности группы кадров в режиме требуемого уровня целостности информации приходится на предсказываемые кадры [16; 17]. Это объясняется их преобладающим количеством в группе кадров. При этом интенсивность потока кадров значительно превышает имеющиеся возможности по производительности современных бортовых инфокоммуникационных технологий, особенно касательно приложений высокой разрешающей способности [18 – 20].

В целях обновления информационных технологий кодирования видеопотока для снижения его информационной интенсивности *предлагается* разработать метод эффективного синтаксического представления предсказанных кадров, что и составляет *цель исследований* данной работы.

3. Основное содержание исследования

Информационные технологии снижения интенсивности видеопотока, базирующиеся на MPEG-платформе, поддерживают комплекс рекомендаций относительно использования методов кодирования предсказанных кадров. Стандартизированные методы обработки базовых кадров являются JPEG-совместимыми. Данные технологии строятся на основе двух концептуальных механизмов, а именно [20 – 24]:

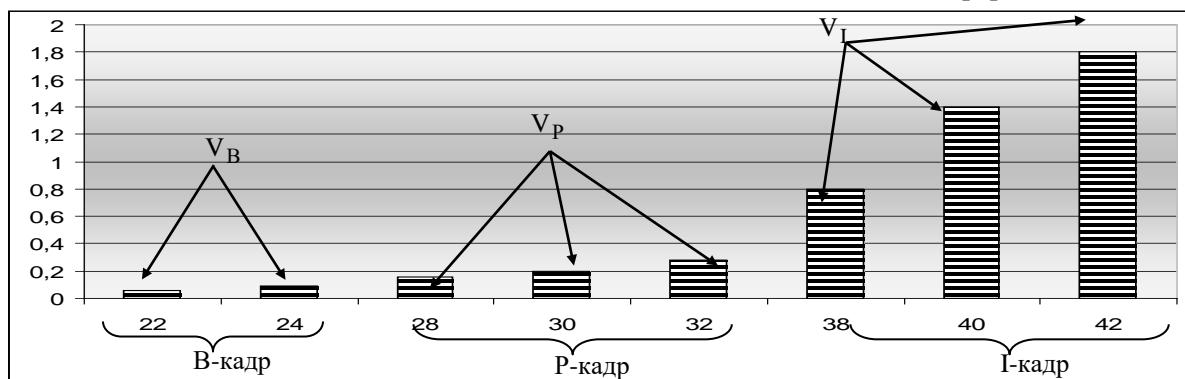
1) механизмов, содержащих этапы предварительной обработки, направленной на формирование такого промежуточного преобразования изображений, для которого существует возможность выявления психовизуальных закономерностей относительно восприятия изображений зрительной системой;

2) механизмов, содержащих этапы, которые обеспечивают непосредственное формирование кодовых конструкций эффективного синтаксического представления с учетом выявленных закономерностей статистической и психовизуальной природы. Рассмотрим механизмы первой концептуальной составляющей, базирующиеся на переходе к цветоразностной модели, что позволяет выделить важную информацию [18 – 24]. В результате создается потенциал для снижения информационной интенсивности в условиях допустимых коррекций в согласовании с моделью восприятия видеокадров зрительной системой.

На очередном этапе процесса обработки предсказанных кадров осуществляется процесс дискретного косинусного преобразования (ДКП). При этом формируется трансформанта, для которой основная информация об изображении концентрируется для низкочастотной области. Здесь наиболее весомая компонента, соответствующая самой низкой частоте, маркируется по спецификациям как DC-компонента. Все остальные компоненты – высокочастотные. Они маркируются как AC-компоненты. Здесь создаются условия для выявления и устранения различных видов избыточности путем соответствующей обработки компонент трансформант.

Такая обработка организуется с использованием квантования высокочастотных компонент трансформант.

Рассмотрим второй блок этапов концептуальной составляющей информационной технологии обработки предсказанных кадров [25 – 28]. Для дополнительного снижения информационной интенсив-



Значения $I_k^{(1)}$ для разных типов кадров в зависимости от h

ности видеопотока методы кодирования трансформанты строятся с учетом таких свойств:

1) выделение области высокочастотных компонент, несущих информацию о мелких деталях изображений и потому оказывающих менее значимое влияние на визуальное восприятие изображений, чем низкочастотные компоненты;

2) появление незначимых компонент трансформанты с нулевыми значениями, особая концентрация которых велика для зигзагообразного обхода в диагональном направлении в области высокочастотных компонент.

Кодек базовых кадров информационной технологии на базе MPEG платформы содержит в себе следующие этапы.

Первый этап состоит в переформатировании квантизированной трансформанты в одномерный массив компонент с помощью "зигзаг-сканирования". В результате такого перетрансформирования трансформанты образуется линейный вектор и выявляются цепочки незначимых компонент АС.

Второй этап кодека связан с формированием уплотненного двумерного структурного спектрального пространства (ДСП) трансформанты. Здесь образуются дискретные позиции p_u ДСП в системе двумерных координат $\{L; Z\}$ соответственно для значений $\ell(\tau; \delta)_u$ - по оси длин незначимых компонент спектра и $z(\tau; \delta)_u$ - по оси значимых компонент спектра.

На третьем этапе осуществляется статистическое кодирование. Здесь используется технология кодирования с динамическими или статическими моделями выявления статистических характеристик. Однако существующим технологиям обработки базовых кадров свойственны проблемные недостатки [26 – 28].

4. Разработка технологии эффективного синтаксического кодирования видеокадров на основе адаптивного объектно-позиционного кодирования идентификаторов ДСП пространства

Для создания эффективного синтаксического представления последовательности $I(\tau; \delta)$ идентификаторов координатных объектов ДСП необходимо оценить наличие соответствующих закономерностей [25 – 28].

Первая структурная закономерность вытекает из особенностей формирования идентификаторов.

Она состоит из ограничений на допустимое количество $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ значений, которые принимает идентификатор для координатного объекта в условиях выявленных пороговых уровней для динамического количества значений $d(\ell; \delta)_\tau$ и $d(z; \delta)_\tau - 1$, которое соответственно принимают элементы векторов L и Z трансформанты. Величина $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ определяется как максимально возможное значение идентификатора $I(\tau; \delta)_u$ для выявленных значений $d(\ell; \delta)_\tau$ и $d(z; \delta)_\tau - 1$. Если теперь заменить величины $\ell(\tau; \delta)_u$ и $z(\tau; \delta)_{U-u+1}$ на их предельные значения с учетом того, что $\ell(\tau; \delta)_u \in [0; d(\ell; \delta)_\tau - 1]$ и $z(\tau; \delta)_u \in [1; d(z; \delta)_\tau - 1]$, то получим следующее соотношение для $Q(\tilde{p}_u; \delta)$:

$$Q(\tilde{p}_u; \delta) = d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1). \quad (1)$$

Анализ данного выражения показывает, что величина $Q(\tilde{p}_u; \delta)$:

- определяется произведением $d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)$, т.е. зависит от структурных характеристик обрабатываемого сегмента видеокадра. Очевидно, чем меньше структурной информативности содержится в сегменте, тем ниже будет значение $Q(\tilde{p}_u; \delta)$;

- не зависит от позиции координатного объекта в уплотненном ДСП.

В то же время, поскольку по определению величины $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ выполняется неравенство $I(\tau; \delta)_u \leq Q(\tilde{p}_u; \delta) - 1$, задающее ограничение на значение идентификаторов, то будет верно следующее соотношение:

$$I(\tau; \delta)_u \leq d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1), \quad u = \overline{2, U-1}. \quad (2)$$

Вторая структурная закономерность обусловлена свойством координатных объектов \tilde{p}_u перетрансформированного ДСП. Такое свойство состоит в том, что значения координатных составляющих по осям L и Z имеют градиентную однонаправленность, а именно увеличение значения $\ell(\tau; \delta)_u$ длины цепочки незначимых компонент согласовывается с ростом значимой компоненты $z(\tau; \delta)_{U-u+1}$. Тогда значения идентификаторов координатных объектов будут иметь тенденцию (градиентную направленность) увеличения с ростом индекса u позиции в уплотненном ДСП. Кроме того, значения координатных составляющих $\ell(\tau; \delta)_u$ и $z(\tau; \delta)_{U-u+1}$ отличаются характерной

неравномерностью распределения и нелинейностью изменений по осям L и Z . Это свойство координатных объектов создает условия относительно тенденции гибкого неравенства парных идентификаторов.

Под парными здесь понимаются идентификаторы на соседних позициях в векторе $I(\tau; \delta)$, например, u -я пара запишется следующим образом: $\{I(\tau; \delta)_u; I(\tau; \delta)_{u+1}\}$, $u = \overline{2, U-2}$. Наличие неравных парных идентификаторов не является жестким. Поэтому для вероятности возникновения таких событий предлагается ограничиться рассмотрением только соседних идентификаторов. Соответственно понятие гибкости неравенства парных идентификаторов *предлагается* вводить в связи с тем, что возможны случаи, когда значения парных идентификаторов будут одинаковыми. Тогда чтобы пометить пары идентификаторов в векторе $I(\tau; \delta)$, для которых выполняется условие

$$I(\tau; \delta)_\gamma = I(\tau; \delta)_\xi,$$

где $\gamma \neq \xi$, $\gamma = \overline{2, U-1}$, $\xi = \overline{2, U-1}$, *предлагается* вводить дополнительный вектор, характеризующий условие неравенства пар идентификаторов – синдром $S(\tau; \delta)$ объектно-позиционного числа. Элементы $s(\tau; \delta)_u$ такого синдрома будут принимать двоичные значения, $s(\tau; \delta)_u \in [0; 1]$, исходя из условий, заданных следующей системой формул:

$$s(\tau; \delta)_u = \begin{cases} 0 \rightarrow I(\tau; \delta)_u \neq I(\tau; \delta)_{u+1}; \\ 1 \rightarrow I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}. \end{cases}$$

Введение синдрома $S(\tau; \delta)$ позволяет при разработке технологии эффективного синтаксического кодирования вектора идентификаторов ДСП рассматривать последовательность $I(\tau; \delta)$ в условиях жесткого неравенства между парами ее компонент, т.е. $I(\tau; \delta)_u \neq I(\tau; \delta)_{u+1}$, для $u = \overline{2, U-1}$. Остальные случаи будут помечены соответствующим значением элемента $s(\tau; \delta)_u$ синдрома.

В этом случае вектор $I(\tau; \delta)$ идентификаторов без учета ограничений будет заменяться двумя векторами, а именно вектором $\hat{I}(\tau; \delta)$ идентификаторов в условиях наложения ограничений на неравенство парных элементов и соответствующим синдромом $S(\tau; \delta)$, т.е.:

$$I(\tau; \delta) \xrightarrow{\varphi_s} \{ \hat{I}(\tau; \delta); S(\tau; \delta) \},$$

где φ_s – функционал выявления условия неравенства для смежных (парных) идентификаторов. Это позволяет дать следующую интерпретацию последовательности $\hat{I}(\tau; \delta)$.

Определение. Вектор $\hat{I}(\tau; \delta)$ идентификаторов в условиях наложения ограничений на неравенство парных элементов называется *одномерным объектно-позиционным числом с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$, для элементов которого выполняется условие гибкого неравенства (с синдромом парного неравенства $S(\tau; \delta)$)*.

Рассмотрим теперь разработку процесса эффективного синтаксического кодирования вектора идентификатора ДСП с учетом дополнительного использования синдрома $S(\tau; \delta)$ объектно-позиционного числа в условиях гибкого неравенства его парных элементов.

Условие неравенства парных идентификаторов проявляется в выполнении следующих ограничений на их значения, а именно:

– значение первого идентификатора $\hat{I}(\tau; \delta)_1$ будет ограничено величиной $(d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) - 1$, т.е.:

$$\hat{I}(\tau; \delta)_1 \leq (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) - 1;$$

– значения всех последующих идентификаторов $\hat{I}(\tau; \delta)_u$, $u = \overline{2, U-2}$ будут ограничены величиной $(d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) - 2$, а именно:

$$\hat{I}(\tau; \delta)_u \leq (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) - 2, \text{ для } u = \overline{2, U-2}.$$

Формирование системы выражений для эффективного синтаксического кодирования вектора $\hat{I}(\tau; \delta)$ предлагается организовывать такими этапами.

Первый этап состоит в определении кодового значения $E(\tau; \delta)$ для вектора $I(\tau; \delta)$ с учетом ограничения, заданного выражением (2), но без учета условия парного неравенства идентификаторов. Поэтому данный этап связан с проведением *одномерного объектно-позиционного кодирования с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$* .

Второй этап процесса построения эффективного синтаксического представления заключается в рассмотрении вектора $\hat{I}(\tau; \delta)$, т.е. на данном этапе дополнительно будет учитываться условие жесткого неравенства между всеми смежными идентификаторами. Такой процесс образует *одномерное объектно-позиционное кодирование с основани-*

ем $Q(\tilde{p}_u; \delta)$, для элементов которого выполняется условие неравенства.

Третий этап процесса построения эффективного синтаксического представления заключается в рассмотрении совокупности $\{\hat{I}(\tau; \delta); S(\tau; \delta)\}$ векторов $\hat{I}(\tau; \delta)$ и $S(\tau; \delta)$. Данный этап дополнительно учитывает условие гибкого неравенства между смежными идентификаторами, т.е. дополнительно используется информация о синдроме $S(\tau; \delta)$. Соответственно процесс кодирования на третьем этапе формирует **одномерное объектно-позиционное кодирование с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$, для элементов которого выполняется условие гибкого неравенства.**

Рассмотрим **первый этап** процесса эффективного синтаксического кодирования - одномерное объектно-позиционное кодирование с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$. Здесь кодовое значение $E(\tau; \delta)$ для вектора $I(\tau; \delta)$ идентификаторов формируется с учетом их позиционности и ограниченности по диапазону величиной $Q(\tilde{p}_u; \delta)$. Тогда соответствующее выражение задается следующим образом:

$$E(\tau; \delta) = \sum_{u=2}^{U-1} I(\tau; \delta)_u Q(I; \tau; \delta)_{U-u-1},$$

где $Q(I; \tau; \delta)_{U-u-1}$ - весовой коэффициент u -го элемента $I(\tau; \delta)_u$ одномерного объектно-позиционного числа с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$.

Величина $Q(I; \tau; \delta)_{U-u-1}$ равна количеству допустимых комбинаций, которое можно составить из $(U-u-1)$ идентификаторов вектора $I(\tau; \delta)$, исключая идентификаторы, которые находятся на старших позициях относительно позиции $(u-1)$. Такое количество определяется величиной $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ спецификации как ограничение на количество допустимых значений идентификаторов. Соответственно весовой коэффициент $Q(I; \tau; \delta)_{U-u-1}$ в условиях одномерной позиционности с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ определяется с учетом соотношения (1) по такой формуле:

$$Q(I; \tau; \delta)_{U-u-1} = (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1))^{U-u-1}.$$

Отсюда выражение для величины $E(\tau; \delta)$ примет следующий вид:

$$E(\tau; \delta) = \sum_{u=2}^{U-1} I(\tau; \delta)_u (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1))^{U-u-1}.$$

Полученное соотношение задает процесс одномерного объектно-позиционного кодирования с одним основанием и обеспечивает формирование кодового значения $E(\tau; \delta)$ для вектора $I(\tau; \delta)$ идентификаторов без учета неравенства парных элементов.

Рассмотри **второй этап** построения эффективного синтаксического представления трансформанты - одномерное объектно-позиционное кодирование с основанием $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ в условии жесткого неравенства для всех парных идентификаторов. Здесь будет кодироваться последовательность $\hat{I}(\tau; \delta)$ с учетом пар $\{\hat{I}(\tau; \delta)_u; \hat{I}(\tau; \delta)_{u+1}\}$ идентификаторов, для которых выполняется условие $\hat{I}(\tau; \delta)_u \neq \hat{I}(\tau; \delta)_{u+1}$, $u=2, U-1$. Базовое соотношение для формирования кодового значения $\hat{E}(\tau; \delta)$ вектора $\hat{I}(\tau; \delta)$ имеет такой вид:

$$\hat{E}(\tau; \delta) = \sum_{u=2}^{U-1} \hat{Q}(\hat{I}; \tau; \delta)_{U-u-1}.$$

Величина $\hat{Q}(\hat{I}; \tau; \delta)_{U-u-1}$ задает количество допустимых подпоследовательностей, которое составляется из $(U-u-1)$ идентификаторов, предшествующих подпоследовательности $\hat{I}(\tau; \delta; U-u)$, т.е. имеют меньшие кодовые значения, чем кодовое значение для подпоследовательности $\hat{I}(\tau; \delta; U-u)$.

Далее для упрощения выражений введем вспомогательную величину $\theta(\tau; \delta)_u$. Она связывается с величинами $\hat{I}(\tau; \delta)_u$ на основе следующей системы формул:

$$\theta(\tau; \delta)_u = \begin{cases} \hat{I}(\tau; \delta)_u, & \rightarrow \hat{I}(\tau; \delta)_u < \hat{I}(\tau; \delta)_{u-1}; \\ \hat{I}(\tau; \delta)_u - 1, & \rightarrow \hat{I}(\tau; \delta)_u > \hat{I}(\tau; \delta)_{u-1}. \end{cases} \quad (3)$$

Тогда соотношение для определения кодового значения $\hat{E}(\tau; \delta)$ вектора идентификаторов $\hat{I}(\tau; \delta)$ в условии жесткого неравенства всех парных элементов будет задаваться следующим образом:

$$\hat{E}(\tau; \delta) = \sum_{u=2}^{U-1} \theta(\tau; \delta)_u ((d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1))^{U-u-1}) \quad (4)$$

Для использования данного выражения в процессе кодирования необходимо определиться с начальными параметрами. При этом нужно учитывать, что для значения первого идентификатора $\hat{I}(\tau; \delta)_2$ в

векторе $\hat{I}(\tau; \delta)$ должны выполняться следующие условия:

- на значение идентификаторов, предшествующих идентификатору $\hat{I}(\tau; \delta)_2$, не накладываются ограничения относительно нулевого элемента, т.е. не должно выполняться неравенство $\hat{I}(\tau; \delta)_{u-1} < \hat{I}(\tau; \delta)_u$;
- должно обеспечиваться выполнение такого неравенства:

$$\hat{I}(\tau; \delta)_0 = (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1)) > \hat{I}(\tau; \delta)_2.$$

Следовательно, предлагается для идентификатора $\hat{I}(\tau; \delta)_2$ в качестве предшествующего элемента $\hat{I}(\tau; \delta)_0$ выбирать значение $(d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1))$, равное количеству допустимых значений идентификаторов для вектора $I(\tau; \delta)$, т.е. равное значению основания $Q(\tilde{p}_u; \delta)$:

$$\hat{I}(\tau; \delta)_0 = Q(\tilde{p}_u; \delta). \quad (5)$$

Система выражений (3) – (5) обеспечивает формирование кодового значения для вектора $\hat{I}(\tau; \delta)$ идентификаторов в условии жесткого неравенства всех парных элементов.

В то же время условие неравенства парных идентификаторов является гибким. Следовательно, возможны случаи, когда между смежными идентификаторами будет выполняться равенство, т.е. $I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}$. Это повлечет за собой изменение величины $\hat{Q}(\hat{I}; \tau; \delta; \hat{I}(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u-1})_{U-u-1}$, позиционируемой как количество запрещенных подпоследовательностей для вектора идентификаторов. Соответственно произойдет нарушение созданной системы кодирования. Для исключения данного недостатка строится третий этап разработки технологии эффективного кодирования.

Третий этап формирования эффективного синтаксического представления. Для коррекции выявленных недостатков второго этапа обработки, т.е. учета условий равенства $I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}$, **предлагается** интегрировать в кодообразующую систему вектора $\hat{I}(\tau; \delta)$ идентификаторов синдром $S(\tau; \delta)$ объектно-позиционного числа. Соответственно идентификатор $\hat{I}(\tau; \delta)_u$ будет интерпретироваться как элемент одномерного объектно-позиционного числа с одним основанием в условиях неравенства парных элементов.

Фактически учет гибкости условия неравенства парных элементов приводит к образованию **одномерного двухосновного объектно-позиционного числа с учетом гибкости условия неравенства смежных элементов, т.е. с учетом синдрома.**

Определение. Вектор $\hat{I}(\tau; \delta)$ идентификаторов в условиях наложения гибких ограничений на неравенство парных элементов называется **одномерным двухосновным объектно-позиционным числом с системой $\{Q(\tilde{p}_u; \delta); \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta)\}$, для элементов которого выполняется условие гибкого неравенства (с синдромом парного неравенства $S(\tau; \delta)$).**

Двухосновная система записывается как $\{Q(\tilde{p}_u; \delta); \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta)\}$. Для учета такой особенности в процессе эффективного кодирования **предлагается** ввести вспомогательную величину $Q(s(\tau; \delta)_u)$, характеризующую основание обрабатываемого идентификатора в условиях синдрома, а именно:

$$Q(s(\tau; \delta)_u) = \begin{cases} \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta) \rightarrow I(\tau; \delta)_u \neq I(\tau; \delta)_{u+1}, s(\tau; \delta)_u = 0; \\ Q(\tilde{p}_u; \delta) \rightarrow I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}, s(\tau; \delta)_u = 1. \end{cases}$$

Обозначим теперь величинами v_u и \hat{v}_u количество идентификаторов, оставшихся не обработанными на U -м шаге кодирования и соответственно для которых выполняется условие равенства, т.е. $s(\tau; \delta)_u = 1$, и выполняется условие неравенства, т.е. $s(\tau; \delta)_u = 0$. При этом для u -го шага кодирования выполняется равенство:

$$v_u + \hat{v}_u = U - u - 1.$$

Тогда весовой коэффициент $Q'(s; \tau; \delta)_{U-u-1}$ вспомогательного элемента $\theta'(\tau; \delta)_u$ с дополнительным учетом информации о величине $s(\tau; \delta)_u$ будет равен:

$Q'(s; \tau; \delta)_{U-u-1} = Q(s(\tau; \delta)_u)^{U-u-1} = Q(\tilde{p}_u; \delta)^{v_u} \cdot \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta)^{\hat{v}_u}$
 С учетом введенных технологических коррекций система соотношений для **одномерного двухосновного объектно-позиционного кодирования в условиях гибкого неравенства парных элементов** примет следующий вид:

$$\hat{E}(s; \tau; \delta) = \sum_{u=2}^{U-1} \theta'(\tau; \delta)_u \cdot (d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1))^{v_u} \times \quad (6) \\ \times ((d(\ell; \delta)_\tau \cdot (d(z; \delta)_\tau - 1) - 1)^{\hat{v}_u};$$

$$\theta'(\tau; \delta)_u = \begin{cases} \theta(\tau; \delta)_u, & \rightarrow I(\tau; \delta)_u \neq I(\tau; \delta)_{u+1}; \\ I(\tau; \delta)_u, & \rightarrow I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}; \end{cases} \quad (7)$$

$$Q(s(\tau; \delta)_u) = \begin{cases} \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta) \rightarrow I(\tau; \delta)_u \neq I(\tau; \delta)_{u+1}, s(\tau; \delta)_u = 0; \\ \hat{Q}(\tilde{p}_u; \delta) \rightarrow I(\tau; \delta)_u = I(\tau; \delta)_{u+1}, s(\tau; \delta)_u = 1. \end{cases} \quad (8)$$

Здесь $\hat{E}(s; \tau; \delta)$ – кодовое значение одномерного двухосновного объектно-позиционного числа в условиях гибкого неравенства парных элементов, т.е. с учетом синдрома $S(\tau; \delta)$.

Таким образом, система соотношений (6) – (8) образует технологическое ядро эффективного синтаксического представления сегмента видеокадра на основе формирования уплотненного двумерного спектрального структурного пространства с последующим одномерным двухосновным объектно-позиционным кодированием в пространстве идентификаторов в условиях гибкого неравенства парных элементов.

Дополнительное сокращение информационной интенсивности потока видеокадров без потери их целостности для такого представления достигается в результате устранения количества структурно-спектральной избыточности, обусловленной:

а) учетом закономерностей для вектора идентификаторов уплотненного ДСП, а именно:

– ограничение на допустимое количество $Q(\tilde{p}_u; \delta)$ значений, которое принимает идентификатор для координатного объекта в условиях выявленных пороговых уровней для динамического количества значений $d(\ell; \delta)_\tau$ и $d(z; \delta)_\tau - 1$, которые соответственно принимают элементы векторов L и Z трансформанты;

– значения координатных составляющих по осям L и Z имеют градиентную однонаправленность, т.е. увеличение значения $\ell(\tau; \delta)_u$ длины цепочки незначимых компонент согласовывается с ростом значимой компоненты $z(\tau; \delta)_{U-u+1}$;

б) исключением количества запрещенных вариантов генерирования векторов идентификаторов с учетом парного неравенства между их компонентами.

5. Выводы

1. Показано, что вектор идентификаторов интерпретируется как объектно-позиционное число с наличием гибкого условия относительно неравенства парных элементов. Такая интерпретация ос-

новывается на следующих структурных закономерностях вектора идентификаторов:

- существует ограничение на допустимое количество значений, которое принимает идентификатор для координатного объекта в условиях выявленных пороговых уровней для динамического количества значений, которое соответственно принимают элементы векторов двумерного структурного пространства трансформанты;

- значения координатных составляющих по осям двумерного структурного пространства трансформанты имеют градиентную однонаправленность, а именно увеличение значения длины цепочки незначимых компонент согласовывается с ростом значимой компоненты;

2. Разработано эффективное синтаксическое представление трансформанты на основе одномерного двухосновного объектно-позиционного кодирования в условиях гибкого неравенства парных элементов. Базовыми отличиями такого представления являются: рассмотрение вектора идентификаторов уплотненного ДСП как двухосновного объектно-позиционного числа с дополнительным использованием синдрома неравенства парных идентификаторов; интегрирование двух технологических коррекций относительно значений идентификаторов и их оснований;

3. Синтезирована система соотношений, образующая технологическое ядро эффективного синтаксического представления сегмента видеокадра на основе: формирования уплотненного двумерного спектрального структурного пространства с последующим одномерным двухосновным объектно-позиционным кодированием в пространстве идентификаторов в условиях гибкого неравенства парных элементов; классификации пар идентификаторов уплотненного ДСП по условию неравенства и результату сравнения монотонности.

Литература: 1. *Алімпієв А.М.* Теоретичні основи створення технологій протидії прихованим інформаційним атакам в сучасній гібридній війні / *А.М. Алімпієв, В.В. Бараннік, Т.В. Белікова, С.О. Сідченко* // Системи обробки інформації. 2017. № 4(150). С. 113-121. 2. *Кашкин В.Б.* Цифровая обработка аэрокосмических изображений: Конспект лекций. Красноярск : ИПК СФУ, 2008. 121 с. 3. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. / *В.Г. Олифер, Н.А. Олифер.* СПб.: Питер, 2006. 958 с. 4. *Шульгин С.С.* Исследование характеристик сервиса дистанцион-

ного предоставления видеослужб при управлении в кризисных ситуациях / С.С. Шульгин, А.А. Красноуцкой, О.С. Кулица // Открытые компьютерные информационные интегрированные технологии. 2015. №70. С. 263 – 270. **5.** Alimpiev A., Barannik V., Podlesny S., Suprun O. and Bekirov A. The video information resources integrity concept by using binomial slots // 2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Lviv, 2017. P. 193-196. **6.** Gonzalez R. Digital image processing / R. Gonzalez, R. Woods. М.: Technosphere, 2005. 1072 p. **7.** Миано Дж. Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учебное пособие / Дж. Миано; пер. с англ. М.: Триумф, 2003. 336 с. **8.** Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. М.: ДИАЛОГ МИФИ, 2003. 384с. **9.** Tsai W. J. and Sun Y. C., "Error-resilient video coding using multiple reference frames," 2013 IEEE International Conference on Image Processing, Melbourne, VIC, 2013. P. 1875-1879. **10.** Лидовский В.В. Теория информации / В.В. Лидовский. М.: Компания Спутник+, 2004. 111 с. **11.** Хаханов В.И. Модели и архитектура вейвлет-преобразований для стандарта JPEG 2000 / В.И. Хаханов, И.В. Хаханова, И.А. Побеженко // АСУ и приборы автоматики. 2007. №2(139). С. 4 – 12. **12.** Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений. М.: Вузовская книга, 2011. 320 с. **13.** Красноуцкой А.А. Метод арифметического классификационного кодирования трансформант Уолша / А.А. Красноуцкой, С.Я. Яценко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. Вып. 31. С. 138-141. **14.** Stankiewicz O., Wegner K., Karwowski D., Stankowski J., Klimaszewski K. and T. Grajek, "Encoding mode selection in HEVC with the use of noise reduction," 2017 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), Poznan, 2017. P. 1-6. **15.** Wang, X. Zhang, X. Liu, J. Zhang, S. Ma and W. Gao, "Utility-Driven Adaptive Preprocessing for Screen Content Video Compression," in IEEE Transactions on Multimedia, vol. 19, no. 3, pp. 660-667, March 2017. **16.** Barannik V., Podlesny S., Krasnorutskiy A., Musienko A. and Himenko V., "The ensuring the integrity of information streams under the cyberattacks action", 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Yerevan, 2016. P. 1-5. **17.** Baccouch. H., Ageneau P. L., Tizon N. and N. Boukhatem, "Prioritized network coding scheme for multi-layer video streaming," 2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2017. P. 802-809. **18.** Баранник В.В. Концептуальный метод повышения безопасности дистанционного видеoinформационного ресурса в системе аэромониторинга кризисных ситуаций на основе ин-

теллектуальной обработки видеок кадров / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // Радиоэлектронные компьютерные системы. 2015. № 3. С. 19 – 21. **19.** Оксюк А.Г. Анализ подходов к управлению скоростью передачи видеопотока / А.Г. Оксюк, Д.Э. Двухглазов, В.В. Твердохлеб / Сучасна спеціальна техніка. 2014. №2. С. 17 – 18. **20.** Zhang Y., Negahdaripour S. and Li Q. Error-resilient coding for underwater video transmission," OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey, Monterey, CA, 2016, pp. 1-7. **21.** Zheng B. and Gao S. "A soft-output error control method for wireless video transmission," 2016 8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), Beijing, 2016. P. 561-564. **22.** Гуржій П.Н. Адаптивне одноосновне позиційне кодування масивів довжин серій двійкових елементів / П.М. Гуржій, Ю.П. Бойко, В.Ф. Третьяк // Радіоелектроніка і інформатика. 2013. №2. С. 12 – 17. **23.** Hahanov V.I., Litvinova E.I., Chumachenko S.V., Abbas B.A.A. and Mandefro E.A., "Qubit model for solving the coverage problem," East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013), Rostov-on-Don, 2013. P. 1-4. **24.** Barannik V., Krasnorutskiy A., Ryabukha Y.N. and Okladnoy D.E. Model intelligent processing of aerial photographs with a dedicated key features interpretation," 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, 2016. P. 736-738. **25.** Баранник В.В. Метод селекции кадрового потока в системах критического аэромониторинга для повышения безопасности государственного информационного ресурса / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, С.С. Бульба // Авиационно-космическая техника и технологии. № 3. 2015. С. 111 – 118. **26.** Туренко С.В. Кодирование вектора двухкомпонентных кортежей для технологий компрессии с трансформированием кадров в инфокоммуникационных системах // Радиоэлектроника и информатика. 2013. №3. С. 10 – 13. **27.** Баранник В.В. Метод интеллектуальной обработки государственных видеoinформационных ресурсов для повышения их семантической целостности в системах мониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // Захист інформації. №2. 2015. С. 125-134. **28.** Barannik V.V. Technology of integration of effective coding of the stream of video frames into processing system of dynamic video information resources / V.V. Barannik, S.S. Shulgin // Наукоємні технології. 2016. №3. С. 265 – 268.

Transliterated bibliography:

1. Allimpiev A.M. Teoretichni osnovi stvorenniya tehnologiy protidivriy prihovanim informatsiyim atakam v suchasniy gibridniy viyni / A.M. Alimpiev, V.V. Barannik, T.V. Belikova, S.O. Sldchenko // Sistemi obrobki Informatsiyi. 2017. # 4(150). S. 113 121.

2. *Kashkin V.B.* Tsifrovaya obrabotka aerokosmicheskikh izobrazheniy: Konspekt lektsiy. Krasnoyarsk : IPK SFU, 2008. 121 s.
3. *Olifer V.G.* Kompyuternye seti. Printsipyi, tehnologii, protokoly: Uchebnik dlya vuzov. / *V.G. Olifer, N.A. Olifer.* SPb.: Piter, 2006. 958 s.
4. *Shulgin S.S.* Issledovanie harak-teristik servisa distantsionnogo predostavleniya vi-deouslug pri upravlenii v krizisnykh situatsiyah / *S.S. Shulgin, A.A. Krasnorutskiy, O.S. Kulitsa* // Otk-ryitye kompyuternye informatsionnye integrirovannyye tehnologii. 2015. #70. S. 263 – 270.
5. *Alimpiev A., Barannik V., Podlesny S., Suprun O. and Bekirov A.* The video information resources integrity concept by using binomial slots // *2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, Lviv, 2017, pp. 193-196.
6. *Gonzalez R.* Digital image processing / *R. Gonzalez, R. Woods. M. .:* Technosphere, 2005. 1072 p.
7. *Miano Dzh.* Formatyi i algoritmyi szhatiya izobrazheniy v deystvii: uchebnoe posobie / *Dzh. Miano*; per. s angl. M.: Triumf, 2003. 336 s.
8. *Vatolin D.* Metodyi szhatiya dan-nyih. Ustroystvo arhivatorov, szhatie izobrazheniy i video / *D. Vatolin, A. Ratushnyak, M. Smirnov, V. Yukin.* M.: DIALOG – MIFI, 2003. 384s.
9. *W. J. Tsai and Y. C. Sun,* "Error-resilient video coding using multiple reference frames," *2013 IEEE International Conference on Image Processing*, Melbourne, VIC, 2013, pp. 1875-1879.
10. *Lidovskiy V.V.* Teoriya informatsii / *V.V. Lidovskiy.* M.: Kompaniya Sputnik , 2004. 111 s.
11. *Hahanov V.I.* Modeli i arhitektura veyvlet preobrazovaniy dlya standarta JPEG 2000 / *V.I. Hahanov, I.V. Hahanova, I.A. Pobezenko* // ASU i priboryi avtomatiki. 2007. #2(139). S. 4 – 12.
12. *Krasilnikov N.N.* Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. M.: Vuzovskaya kniga, 2011. 320 s.
13. *Krasnorutskiy A.A.* Metod arifmeticheskogo klassifikatsionnogo kodirovaniya transformant Uolsha / *A.A. Krasnorutskiy, S.Ya. Yatsenko* // Otkryitye informatsionnye i kompyuternye integrirovannyye tehnologii. – Harkov: NAKU «HAI», 2006. Vyip. 31. S. 138-141.
14. *Stankiewicz O., Wegner K., Karwowski D., Stankowski J., Klimaszewski K. and T. Grajek,* "Encoding mode selection in HEVC with the use of noise reduction," *2017 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, Poznan, 2017, pp. 1-6.
15. *S. Wang, X. Zhang, X. Liu, J. Zhang, S. Ma and W. Gao,* "Utility-Driven Adaptive Preprocessing for Screen Content Video Compression," in *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 19, no. 3, pp. 660-667, March 2017.
16. *Barannik V., Podlesny S., Krasnorutskiy A., Musienko A. and Himenko V.,* "The ensuring the integrity of information streams under the cyberattacks action", *2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, Yerevan, 2016, pp. 1-5 (in press).
17. *Baccouch.H., Ageneau P.L., Tizon N. and N. Boukhatem,* "Prioritized network coding scheme for multi-layer video streaming," *2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, USA, 2017, pp. 802-809.
18. *Barannik V.V.* Kontseptualnyiy metod povyishe-niya bezopasnosti distantsionnogo videoinformatsion-nogo resursa v sisteme aeromonitoringa krizisnykh situatsiy na osnove intellektualnoy obrabotki vide-okadrov / *V.V. Barannik, Y.N. Ryabuha* // Radioelektron-nyie kompyuternye sistemyi. 2015. # 3. – S. 19 – 21.
19. *Oksiyuk A.G.* Analiz podhodov k upravleniyu skorostyu peredachi videopotoka / *A.G. Oksiyuk, D.E. Dvuhglavov, V.V. Tverdokhlebl* / Suchasna spetsialna tehnika. 2014. #2. S. 17 – 18.
20. *Zhang Y., Negahdaripour S. and Li Q.* Error-resilient coding for underwater video transmission," *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, Monterey, CA, 2016, pp. 1-7.
21. *Zheng B. and Gao S.,* "A soft-output error control method for wireless video transmission," *2016 8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, Beijing, 2016, pp. 561-564.
22. *Gurzhiy P.N.* Adaptivne odnoosnovne pozitsiynne koduvannya masiviv dovzhin seriy dviykovykh elementiv / *P.M. Gurzhiy, Yu.P. Boyko, V.F. Tretiyak* // Radioelektronika i Informatika. 2013. #2. S. 12 – 17.
23. *Hahanov V.I., Litvinova E.I., Chumachenko S.V., Abbas B.A.A. and Mandefro E.A.,* "Qubit model for solving the coverage problem," *East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2013)*, Rostov-on-Don, 2013, pp. 1-4.
24. *Barannik V., Krasnorutskiy A., Ryabukha Y.N. and Okladnoy D.E.* Model intelligent processing of aerial photographs with a dedicated key features interpretation," *2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, Lviv, 2016, pp. 736-738.
25. *Barannik V.V.* Metod selektsii kadrovogo potoka v sistemah kriticheskogo aeromonitoringa dlya povyisheniya bezopasnosti gosudarstvennogo informatsionnogo resursa / *V.V. Barannik, Yu.N. Ryabuha, S.S. Bulba* // Aviatsionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologi. # 3. 2015. S. 111 – 118.
26. *Turenko S.V.* Kodirovanie vektora dvuhkomponentnykh kortezhey dlya tehnologii kompressii s transformirovaniem kadrov v infokommunikatsionnykh sistemah // Radioelektronika i informatika. 2013. #3. S. 10 – 13.
27. *Barannik V.V.* Metod intellektualnoy obrabotki gosudarstvennykh videoinformatsionnykh resursov dlya povyisheniya ih semanticheskoy tselostnosti v sistemah monitoringa krizisnykh situatsiy / *V.V. Barannik, Yu.N. Ryabuha* // Zahist Informatsiyi. #2. 2015. S. 125-134.

28. *Barannik V.V.* Technology of integration of effective coding of the stream of video frames into processing system of dynamic video information resources / *V.V. Barannik, S.S. Shulgin* // Наукоємні технології. 2016. №3. С. 265 – 268.

Поступила в редколлегию 12.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.В.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры боевого применения и эксплуатации автоматизированных систем управления, Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба. Address: Ukraine, 61023, Kharkov, ul. Sumskaaya, 77/79, e-mail: vvbar.off@gmail.com.

Тарасенко Денис Анатольевич, соискатель Черкасского государственного технологического университета. Адрес: Украина, 18006, Черкассы, бул. Шевченко, 460, e-mail: vvbar.off@gmail.com.

Barannik Vladimir Viktorovich, doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Combat Application and Operation of Automated Control Systems, Kharkov National Air Force University named I. Kozhedub,, vvbar.off@gmail.com

Tarasenko Denys Anatolievich, searcher of the Cherkasy State Technological University. Address: Ukraine, 18006, Cherkasy, bul. Shevchenko, 460, e-mail: vvbar.off@gmail.com

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 681.326

ОБНАРУЖЕНИЕ ОШИБОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ В HDL-МОДЕЛЯХ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНХРОНИЗИ- РУЮЩИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

*ШКИЛЬ А.С., МИРОШНИК М.А., КУЛАК Э.Н.,
ГРЕБЕНЮК А.С., КУЧЕРЕНКО Д.Е.*

Предлагается метод обнаружения и локализации ошибок проектирования в HDL-моделях конечных автоматов с произвольными функциями выходов. Диагностический эксперимент проводится путем обхода всех дуг автомата Мили, начиная с начальной вершины, в том числе для автоматов неисклЮчительного класса. Для обеспечения возврата автомата с возможной ошибкой проектирования в начальное состояние предлагается использовать синхронизирующие последовательности.

1. Введение

Наиболее сложным и затратным этапом в современном цикле проектирования цифровых устройств (ЦУ) является функциональная верификация, т.е. процесс обнаружения, локализации и устранения ошибок в системной модели относительно спецификации, на что затрачивается до 70% общего времени проектирования. Основной формой описания проектов цифровых устройств в системах автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (САПР РЭА) являются языки ее описания (Hardware Description Language, HDL). Поэтому объектом верификации является модель цифрового устройства, написанная на языке описания аппаратуры, т.е. HDL-код. Важным элементом процесса верификации HDL-моделей есть поиск места возникновения и исправление ошибок проектирования в случае различия между результатами моделирования HDL-кода и спецификацией на проектируемое ЦУ.

Одним из распространенных способов исходного описания специализированного цифрового вычислительного устройства обработки данных и управления является конечный автомат, а формой его представления - таблица переходов выходов (ТПВ) и построенный на ее основе граф переходов автомата. Исходя из этого, актуальной является задача разработки процедур верификации, поиска и локализации ошибок проектирования в HDL-моделях конечных автоматов, представленных на языках описания аппаратуры, для табличных или графовых способов задания спецификации.

Одним из способов описания моделей ЦУ в форме конечных автоматов на языке VHDL является

автоматный шаблон, т.е. способ описания моделей управляющих конечных автоматов, спецификация на которые задана ТПВ или графом переходов автомата (state diagram). Это специальная структура VHDL-модели, в которой функции переходов и выходов выделены в отдельные процессы (процесс), а назначение нового состояния осуществляется в специальном процессе, связанном с синхронизацией. Заметим, что автоматный шаблон является языковым отображением модели структурного автомата Хаффмена. Выделение фрагментов HDL-кода, описывающих поведение автоматов стилем «автоматный шаблон», позволяет определить ошибки проектирования типа «неправильный переход в графе переходов автомата». Для их обнаружения и локализации можно провести стандартный диагностический эксперимент (ДЭ) над автоматами (обход всех дуг для автомата Мили, обход всех вершин для автомата Мура). Рассматриваемый класс автоматов и способы его описания должны удовлетворять условиям, приведенным в [1]. Особо следует отметить, что для проведения ДЭ исправный и все множество неисправных автоматов должны составлять *исключительный класс*, т.е. иметь различные функции выходов для каждого состояния или перехода [2]. Для неисклЮчительного класса автоматов однократный обход всех дуг графа не гарантирует обнаружения всех ошибок проектирования.

Исходя из двойственности HDL-модели, можно определить характер возможных ошибок, их влияние на конечную реализацию (устройство после синтеза) и методы поиска. Вместо терминов «дефект» и «неисправность», принятых в технической диагностике, в дальнейшем изложении будет использоваться понятие «ошибка проектирования». Для HDL-моделей вводится модель ошибки проектирования, соответствующая ошибке в любом операторном выражении, которая не относится к синтаксическим ошибкам. Наличие ошибки проектирования определяется путем сравнения результатов моделирования ошибочного кода с эталоном (спецификацией). Для HDL-кода моделей конечных автоматов можно определить такие типы ошибок проектирования: «замена оператора» (логического или арифметического), что соответствует ошибке в функции переходов или выходов, и «замена операнда» (в операторе назначения или условном операторе), что соответствует ошибке назначения нового состояния или выходного сигнала [3].

2. Подготовка диагностических экспериментов для HDL-моделей конечных автоматов

Предлагается следующая технология поиска ошибок проектирования в HDL-моделях конечных автоматов. На основании обхода графа пе-

реходов автомата строится тест и по результатам его прохождения и сравнения с эталоном спецификации (функцией выходов) строится вектор экспериментальных проверок (ВЭП). Затем путем анализа таблицы маршрутов обхода графа (матрицы проверок) и путем его анализа находится ошибочная дуга (дуги) в графе переходов. При этом ошибка в HDL-коде, вероятнее всего, находится во фрагменте кода автоматного шаблона, связанного с вершиной (состоянием), откуда исходит ошибочная дуга.

В качестве элементарной проверки P_i при проведении ДЭ используется реализация определенного маршрута обхода графа. Результат элементарной проверки v_i считается отрицательным (0), если терминальная вершина на этом маршруте достигнута, в противном случае результат считается положительным.

Для реализации стратегии обхода всех дуг графа строится дерево решений (дерево обхода графа переходов). Результатом проведения ДЭ по обходу графа является вектор экспериментальных проверок $V = (v_1, v_2, \dots, v_m)$, где m – число терминальных вершин дерева решений. При этом $v_i=0$, если функция выхода автомата совпадает с эталоном (тест прошел), и $v_i=1$, если не совпадает (тест не прошел).

Место возникновения одиночной ошибки в маршруте обхода графа переходов автомата находится по левой части формулы (1), а кратной – по правой, где M_j – j -я строка матрицы маршрутов обхода графа переходов автомата и ВЭП:

$$D = \bigcap_{v_j=1} M_j - \bigcup_{v_j=0} M_j, \quad (1)$$

$$D = \bigcup_{v_j=1} M_j - \bigcup_{v_j=0} M_j.$$

Для построения теста реализуется стратегия обхода всех дуг графа переходов конечного автомата, начиная с начальной вершины, при условии допустимости наличия более, чем одной дуги $a_i \Rightarrow a_j$ (смешанная стратегия). Данный подход предусматривает проведение так называемого «неразрушаемого» эксперимента, в котором в конце каждой проверки автомат логически или принудительно возвращается в начальное состояние. При этом проверяются все одиночные неисправности переходов, а также исправности функций возбуждения автомата, обеспечивающих эти переходы. ДЭ над HDL-моделью конечного автомата состоит в подаче на нее входных воздействий в соответствии с выбранной стратегией обхода содержательного графа переходов автомата, получении выходных реакций в виде выходных сигналов или списка состояний автомата на Waveform, или списка обхода графа в файле, и сравнении полученных реакций с эта-

лоном визуальным или программным путем. На основании анализа результатов сравнения делается вывод о соответствии HDL-модели спецификации. ДЭ проводится с использованием системы верификации HDL-моделей (TestBench) в среде проектирования Active-HDL, модели автоматов представлены на языке VHDL [1].

Достаточно часто при задании спецификации на конечный автомат задаются только выходные значения на определенных входных воздействиях (ТПВ или функция выходов), а граф переходов будет строиться в ходе последующих этапов проектирования. В этом случае исправный или неисправный автоматы могут выходить за пределы исключительного класса автоматов, и тест, построенный для эталонного графа переходов, может не определять некоторые ошибки проектирования.

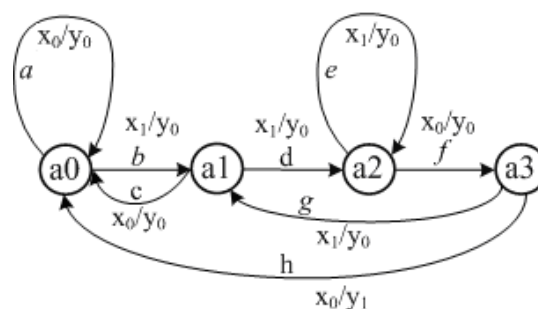
Для примера проведения ДЭ по поиску ошибок проектирования используется VHDL-модель автомата Мили, который выполняет распознавание набора 1100 во входной битовой последовательности.

На рис. 1 представлены ТПВ (а) и граф переходов (б) данного автомата Мили, а на рис. 2 – фрагмент архитектуры двухпроцессного автоматного шаблона его VHDL-модели без ошибок проектирования. Данный эталонный фрагмент кода приведен для ясности дальнейшего изложения.

Отметим, что в VHDL-модели входному сигналу x_0 в коде соответствует $data=0$, а сигналу x_1 – $data=1$, и, соответственно, для выходного сигнала y_0 в коде соответствует $y=0$, а для y_1 в коде – $y=1$. Это обусловлено особенностями графического редактора State Diagram в САПР Active-HDL.

a	x_0	x_1
a0	a0, y_0	a1, y_0
a1	a0, y_0	a2, y_0
a2	a3, y_0	a2, y_0
a3	a0, y_1	a1, y_0

а



б

Рис. 1. Таблица переходов-выходов (а) и граф переходов (б) автомата Мили


```

begin
p1: process (state, data)
begin
case state is
when a0 =>
if data='0' then nextstate<= a0; y<='0';
else
nextstate<= a1; y<='0';
end if;
when a1 =>
if data='1' then nextstate<= a2; y<='0';
else
nextstate<= a0; y<='0';
end if;
when a2 =>
if data='0' then nextstate<= a3; y<='0';
else
nextstate<= a2; y<='0';
end if;
when a3 =>
if data='0' then nextstate<= a0; y<='1';
else
nextstate<= a1; y<='0';
end if;
end case;
end process;
p2: process (clk,reset)
begin
if reset='1' then state <= a0;
elsif clk'event and clk = '1' then state <= nextstate;
end if;
end process;

```

Рис. 2. Фрагмент эталонной VHDL-модели автомата Мили

Для описания графа переходов предложено использовать модифицированную матрицу смежности (рис. 3). Данная матрица характеризуется тем, что для каждой вершины графа (строки матрицы) в ячейках матрицы указываются имена дуг, соединяющих данную вершину с преемниками (столбцами). При этом в одной ячейке могут быть более одной дуги (мультиграф) [1].

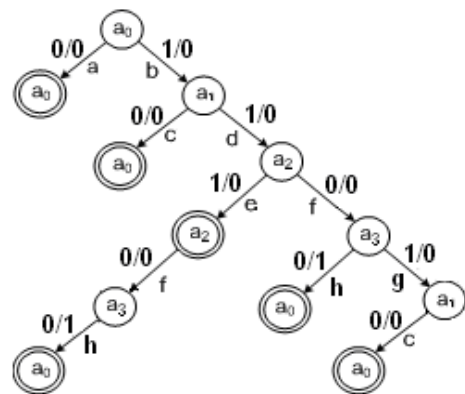
	a0	a1	a2	a3
a0	a	b		
a1	c		d	
a2			e	f
a3	h	g		

Рис. 3. Матрица смежности для графа переходов на рис. 1. Для реализации стратегии обхода всех дуг графа (в режиме «ручного» построения тестов) строится бинарное дерево решений (дерево обхода графа) по следующему алгоритму.

1. Построение дерева обхода графа начинается с начальной вершины a0. Анализируется первая строка матрицы смежности и составляется список вершин-преемников.
2. Из списка преемников выбирается первая вершина и включается в дерево. Соответствующая ячейка в матрице (дуга) помечается.

3. Для строки, соответствующей этому номеру, составляется список непомеченных преемников.
4. Построение маршрута в графе завершается терминальной (конечной) вершиной. Вершина в дереве становится терминальной, если:
 - входящая дуга является петлей (элемент главной диагонали матрицы смежности);
 - очередная вершина-преемник является начальной вершиной a0 (завершен цикл работы автомата);
 - все ячейки в очередной строке (при выполнении п.3) окажутся помеченными.
5. Пункты 2, 3 и 4 повторяются до тех пор, пока все дуги (ячейки матрицы смежности) не окажутся помеченными.
6. Для терминальных вершин с петлями достраиваются маршруты возврата в начальную вершину.

На рис. 4 показано дерево решений для обхода дуг графа переходов автомата (а) и маршруты обхода (б) для эталонной модели (без ошибок проектирования). При этом следует отметить, что число маршрутов обхода графа переходов равно числу терминальных вершин (вершин, не имеющих преемников) дерева решений. На рис. 4, а терминальные вершины отмечены двойной окружностью.



а

1	a0-a-a0
2	a0-b-a1-c a0
3	a0-b-a1-d-a2-e-a2-f-a3-h-a0
4	a0-b-a1-d-a2-f-a3-g-a1-c-a0
5	a0-b-a1-d-a2-f-a3-h-a0

б

M	data	a	b	c	d	e	f	g	h	y
P ₁	00	1								0
P ₂	10		1	1						0
P ₃	11100		1		1	1	1		1	1
P ₄	11010		1	1	1		1	1		0
P ₅	1100		1		1		1		1	1

Рис. 4. Стратегия обхода всех дуг графа переходов: а – дерево решений; б – маршруты обхода графа; в – матрица элементарных проверок

Стратегия обхода всех дуг графа переходов с учетом входных воздействий и значений выходов может быть представлена в виде матрицы проверок (рис.4, в). В последнем столбце данной матрицы указываются эталонные значения функции выходов конечного автомата.

Анализируя матрицу проверок, следует отметить, что проверка P_2 дополняет P_4 для возврата автомата в начальное состояние, а P_3 полностью включает в себя P_5 . Это позволяет построить матрицу совмещенных проверок, которая представлена на рис. 5.

B	data	a	b	c	d	e	f	g	h	y
P_1	00	1								0
P_2	10		1	1						0
$P_4 + P_2$	11010		1	1	1		1	1		0
$P_3 + P_5$	11100		1		1	1	1		1	1

Рис. 5 Матрица совмещенных проверок для эталонного графа

При этом ВЭП будет $V=(P_1, P_2, P_4 + P_2, P_3 + P_5)$.

Для проведения ДЭ использована встроенная система верификации HDL-моделей (TestBench) в среде проектирования Active-HDL. Результаты моделирования матрицы проверок (waveform) для эталонной модели приведены на рис. 6.

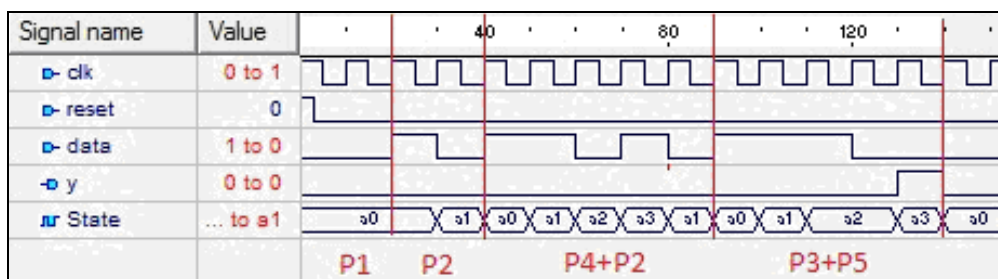


Рис. 6. Waveform для эталонной HDL-модели

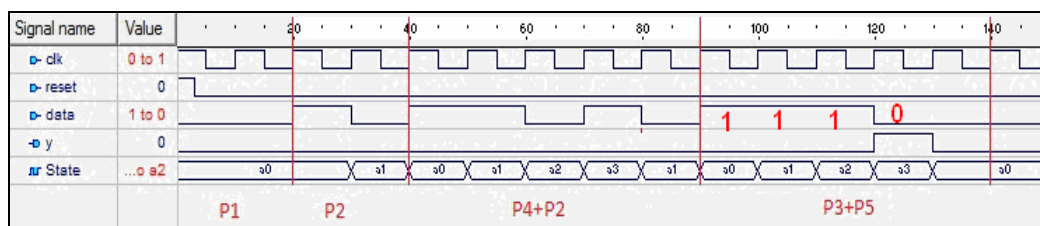


Рис. 7. Waveform для ошибки назначения нового состояния

3. Проведение диагностирования HDL-моделей конечных автоматов

Проведем ряд ДЭ по поиску ошибок проектирования в VHDL-моделях автоматов.

Рассмотрим ошибочную VHDL-модель с ошибкой проектирования типа «ошибочное назначение нового состояния» (фрагмент кода на рис. 7).

```

when a2 =>
  if data='0' then nextstate<= a3; y<='0';
  else nextstate<= a3; y<='0'; -- (вместо
nextstate <= a2)
  end if;

```

Рис. 8. Фрагмент VHDL-модели автомата с ошибочным оператором назначения

Результаты моделирования VHDL-модели с ошибкой назначения приведены на рис. 8.

Результат четвертой проверки не совпадает с эталоном. Если вернуться к спецификации, то можно отметить, что y может быть равен 1 только при подаче на вход последовательности 1100. На рис. 9 видим, что y равен 1 при подаче входной последовательности 1110, т.е. ВЭП будет $V=(0, 0, 0, 1)$.

```

when a2 =>
  if data='1' then nextstate<= a3;y<='0'; -- (вместо
data='0')
  else nextstate<= a2;y<='0';
  end if;

```

Рис. 9. Фрагмент VHDL-модели с ошибочным оператором if

Место возникновения ошибки в маршруте обхода графа переходов находится по формуле. $D = \{b, d, e, f, h\} - \{a\} \cup \{b, c\} \cup \{b, c, d, f, g\} = \{b, d, e, f, h\} - \{a, b, c, d, f, g\} = \{e, h\}$ и ошибочные дуги e и h в графе переходов определены.

Чтобы найти место возникновения ошибки проектирования, нужно вернуться к VHDL-коду модели и выполнить визуальное инспектирование участка кода для вычисления ошибочной дуги. Исходя из результатов сравнения эталонной waveform и waveform, полученной после моделирования кода с ошибкой, находится ошибочный оператор (else nextstate <= a3;).

Рассмотрим ошибочную VHDL-модель с ошибкой проектирования типа «ошибка в условном операторе if» (фрагмент кода см. на рис. 9). Результаты моделирования данной ошибочной мо-

дели приведены на рис. 10.

На основании анализа Waveform ВЭП будет $V=(0, 0, 1, 1)$. Место возникновения ошибки в маршруте обхода графа переходов находится по формуле: $D = \{b, c, d, e, f\} \cap \{b, d, e, h\} - \{a\} \cup \{b, c\} = \{b, d, e\} - \{a, b, c\} = \{d, e\}$, т.е. ошибочные дуги d и e в графе переходов найдены.

Рассмотрим ошибочную VHDL-модель с ошибкой проектирования типа «ошибка в назначении выходного сигнала» (фрагмент кода на рис. 11).

when a3 =>

```

if data='0' then nextstate<= a0; y<='1';
                else nextstate<= a1; y<='1';
-- (вместо y<='0')
end if;

```

Рис. 11. Фрагмент VHDL-модели автомата с ошибкой в назначении выходного сигнала

Результаты моделирования VHDL-модели с ошибкой в назначении выходного сигнала приведены на рис. 12.

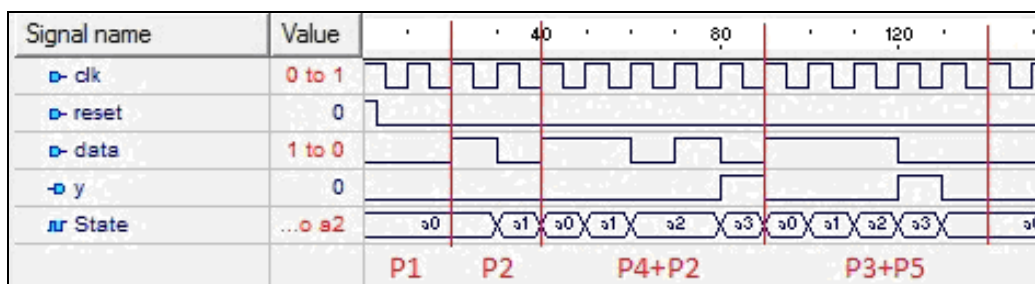


Рис. 10. Waveform для ошибки в условном операторе if «data='1' вместо data='0'»

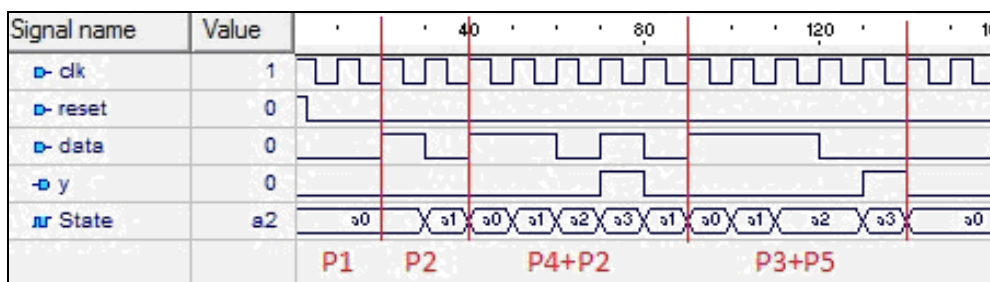


Рис. 12. Waveform для ошибки в назначении выходного сигнала «y=1 вместо y=0»

На основании анализа Waveform ВЭП будет $V=(0,0,1,0)$. Место возникновения ошибки в маршруте обхода графа переходов находится по формуле: $D = \{b, c, d, f, g\} - \{a\} \cup \{b, c\} \cup \{b, d, e, f, h\} = \{b, c, d, f, g\} - \{a, b, c, d, e, f, h\} = \{g\}$, т.е. ошибочна дуга g в графе переходов найдена.

Рассмотрим еще одну ошибочную VHDL-модель с ошибкой проектирования типа «ошибочное назначение нового состояния» (фрагмент кода на рис. 13).

when a1 =>

```

if data='1' then nextstate<= a2; y<='0';
else nextstate<= a3; y<='0'; -- (вместо
nextstate <= a0)
end if;

```

Рис. 13. Фрагмент VHDL-модели автомата с ошибочным оператором назначения

Результаты моделирования VHDL-модели с «ошибкой назначения нового состояния» приведены на рис. 14.

Результат по функции выходов (y) совпал с эталоном, что предполагает отсутствие ошибки в VHDL-модели. Но если внимательно проанализировать Waveform, то можно заметить, что после третьей проверки ($P_4 + P_2$) автомат не возвращается в исходное состояние a0, но функция выходов при этом дает правильный результат.

Данный результат обусловлен тем, что рассматриваемый автомат не принадлежит к так называемому исключительному классу автоматов, которые имеют различные функции выходов для каждого состояния (каждой дуги для автомата Мили). В данном автомате для всех дуг, кроме дуги h , выход $y=0$ (см. ТПВ и граф на рис. 1). Рассматриваемая ошибка проектирования ($nextstate \leq a3$ вместо $nextstate \leq a0$) порождает новую дугу c из состояния $a1$, но функция выходов у них одинакова. Подтверждающий это новый граф переходов, полученный инструментальными средствами Code2Graphics в составе Active-HDL, представлен на рис. 15.

Данный пример подтверждает, что построение теста по простой стратегии «однократного обхода всех дуг графа» по эталонному графу не гарантирует нахождения всех ошибок проектирования в HDL-модели для неисклчительного класса автоматов.

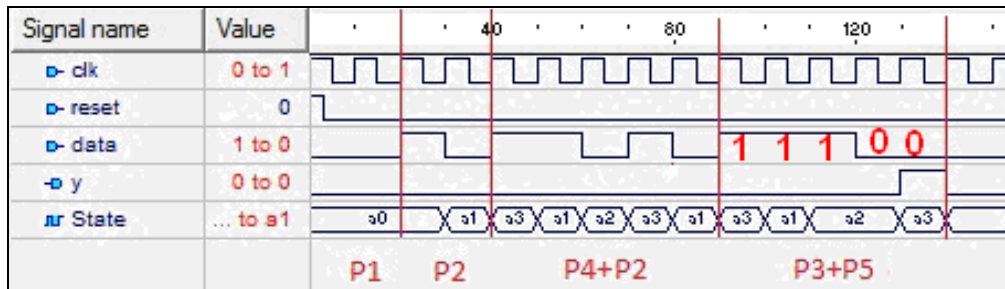


Рис. 14. Waveform для ошибки назначения «a3 вместо a0»

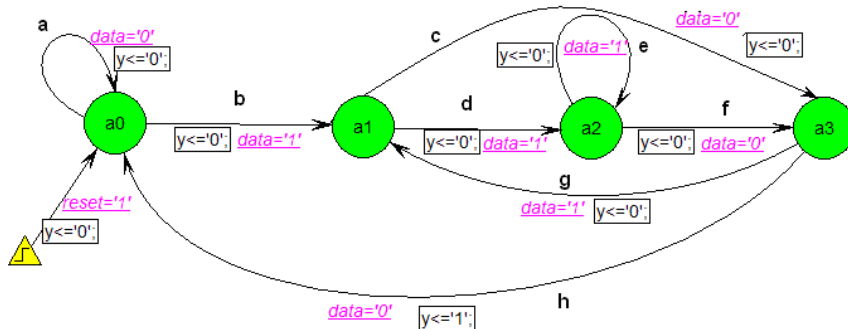


Рис. 15. Ошибочный граф переходов для ошибочного кода на рис. 13

4. Использование синхронизирующих последовательностей в диагностических экспериментах

Как упоминалось выше, основной задачей при проведении «неразрушаемого» диагностического эксперимента является возможность возврата автомата в начальное состояние независимо от результата очередной проверки. Для этих целей целесообразно использовать синхронизирующие последовательности конечных автоматов [4].

Входная последовательность X_s автомата, которая устанавливает его в определенное конечное состояние независимо от состояния выхода и начального состояния, называется синхронизирующей последовательностью.

Если автомат $W = \langle X, A, Y, \delta, \lambda, a_0 \rangle$ задан таблицей переходов-выходов, то из определения следует, что он имеет синхронизирующую последовательность тогда и только тогда, когда существует входная последовательность X_s такая, что $\delta(a_i, X_s) = a_0, \forall a_i \in A, a_0 \in A$. Множество переходов $\delta(a_i, X_s) = a_0, \forall a_i \in A$, автомата определяет отображение множества его состояний A в некоторое определенное состояние a_0 при подаче на автомат входной последовательности X_s , т.е. $a_i \xrightarrow{X_s} a_0$.

Синхронизирующая последовательность для заданного автомата может быть найдена из синхронизирующего дерева, которое является деревом-преемником, построенным по определенным правилам [4]. На рис. 16 показано построение синхронизирующих последовательностей для

рассматриваемого автомата Мили. При этом следует отметить, что для состояния a_3 синхронизирующей последовательности не существует.

Синхронизирующее дерево	Конечное состояние автомата	Синхронизирующие последовательности
	a0	00 100
	a1	01 101
	a2	11
	a3	110 (a0 – a3) 10 или 0110 (a1 – a3) 1 (a2 – a3)

Рис. 16. Синхронизирующие последовательности для автомата Мили

Таким образом, если говорить о принудительном возврате в состояние a_0 , то синхронизирующие последовательности $\{00, 100\}$ должны быть в конце каждого входного слова элементарной проверки. Используя принцип построения совмещенных проверок [5], матрица эталонных проверок (см. рис.5) примет вид, показанный на рис. 17, где для проверок P_2 и $(P_4 + P_2)$ выделены фрагменты «дополнений» синхронизирующих последовательностей.

B	data	a	b	c	d	e	f	g	h	y
P_1	00	1								0
P_2	100	1	1	1						0
$P_4 + P_2$	110100	1	1	1	1		1	1		0
$P_3 + P_5$	11100		1		1	1	1		1	1

Рис. 17. Матрица эталонных совмещенных проверок с учетом добавления синхронизирующих последовательностей

Результаты моделирования VHDL-модели с ошибкой назначения нового состояния, с применением синхронизирующих последовательностей для возврата в состояние a_0 , приведены на рис. 18.

Анализ данной Waveform позволяет сделать два вывода. Во-первых, после завершения каждой проверки, даже для ошибочной VHDL-модели, автомат возвращается в начальное состояние, т.е. выполняется «неразрушаемый» ДЭ. Во-вторых, для проверок P_2 и $(P_4 + P_2)$ с синхронизирующими последовательностями выходное значение y не совпадает с эталоном, т.е. ВЭП будет $V=(0, 1, 1, 0)$.

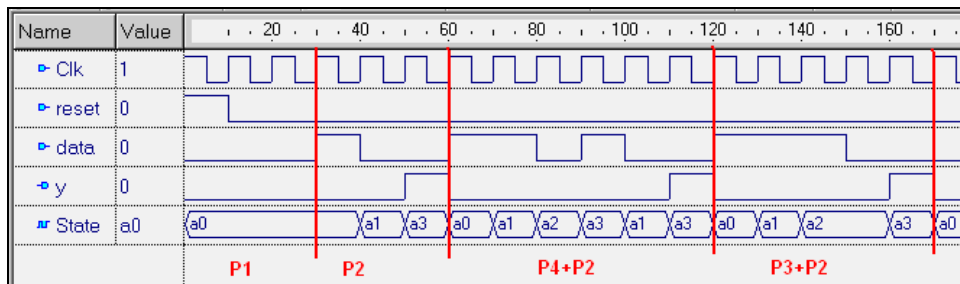


Рис. 18. Waveform для ошибки назначения «a3 вместо a0» с синхронизирующими последовательностями

5. Выводы

Проведенные диагностические эксперименты над VHDL-моделями конечных автоматов в форме автоматного шаблона показали, что однократный обход всех дуг графа переходов автомата Мили с возвратом в начальное состояние позволяет обнаружить и локализовать ошибки проектирования в HDL-коде типа «замена оператора» или «замена операнда». Для исключительно класса автоматов (каждая дуга имеет уникальную функцию выходов) однократный обход позволяет обнаружить одиночные и кратные ошибки проектирования, изменяющие функции переходов и выходов автомата.

Для неисключительного класса автоматов при проведении «неразрушаемого эксперимента» (с организацией возврата в начальную вершину a_0) предложено использовать синхронизирующие последовательности, переводящие автомат из любого состояния в заданное. Предложенный подход позволил обнаруживать и локализовать

Место возникновения ошибки в маршруте обхода графа находится по формуле: $D = \{a, b, c\} \cap \{b, c, d, f, g\} - \{a\} \cup \{b, d, e, f, h\} = \{b, c\} - \{a, b, d, e, f, h\} = \{c\}$, т.е. ошибочная дуга c в графе переходов найдена. Рассматривая строки VHDL-кода, соответствующие дугам, исходящим из a_1 , находим ошибочный оператор назначения $nextstate \leq a_3$.

Таким образом, показано, что использование синхронизирующих последовательностей позволяет строить «неразрушаемый» диагностический эксперимент и находить ошибки проектирования в том числе для конечных автоматов, не принадлежащих исключительно классу.

Следует отметить, что вопросы существования синхронизирующих последовательностей для состояния a_0 произвольного автомата, вопросы принципиальной достижимости a_0 в ошибочном графе не являются предметом данной статьи и требуют отдельного рассмотрения.

ошибки проектирования для HDL-моделей конечных автоматов с произвольной функцией выходов.

Литература: 1. Шкиль А.С. Поиск ошибок проектирования в HDL-моделях цифровых автоматов / С. Альмадхоун, Е.Е. Сыревич, А.С. Шкиль // Вестник Херсонского государственного технического университета. 2013. №2 (46). С. 377-383. 2. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. М.: Наука, 1966. 272 с. 3. Шкиль А.С. Автоматизация поиска ошибок проектирования в HDL-моделях конечных автоматов / А.С. Шкиль, Г.П. Фастовец, А.С. Серокурова // АСУ и приборы автоматики. 2014. Вып. 168. С. 43-52. 4. Бережная М.А. Синхронизирующие последовательности в конечных детерминированных автоматах / М.А. Бережная // Вестник НТУ «ХПИ». 2008. № 57. С. 7-15. 5. Шкиль А.С. Методы поиска ошибок проектирования в языковых моделях управляющих автоматов / А.С. Шкиль, Э.Н. Кулак, А.С. Гребенюк (Серокурова) // Сборник статей научно-информационного центра «Знание» по материалам XIX международной заочной научно-практической конференции: «Развитие науки в XXI веке», 2 часть, Харьков, 2016. Х.:

Научно-информационный центр «Знание», 2016. С. 57-65.

Transliterated bibliography:

1. *Shkil A.S. Poisk oshibok proektirovaniya v HDL-modelyakh tsifrovyykh avtomatov / S. Almadhoun, E.E. Syirevich, A.S. Shkil // Vestnik Hersonskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. 2013. #2 (46). S. 377-383.*
2. *Gill A. Vvedenie v teoriyu konechnyykh avtomatov. M.: Nauka, 1966. 272 s.*
3. *Shkil A.S. Avtomatizatsiya poiska oshibok proektirovaniya v HDL-modelyakh konechnyykh avtomatov / A.S. Shkil, G.P. Fastovets, A.S. Serokurova // ASU i pribory avtomatiki. 2014. Vyip. 168. S. 43-52.*
4. *Berezhnaya M.A. Synchroniziruyushchie posledovatel'nosti v konechnyykh determinirovannykh avtomatah / M.A. Berezhnaya // Vestnik NTU "HPI". 2008. # 57. S. 7-15.*
5. *Shkil A.S. Metody poiska oshibok proektirovaniya v yazykovyykh modelyakh upravlyayuschiykh avtomatov / A.S. Shkil, E.N. Kulak, A.S. Grebenyuk (Serokurova) // Sbornik statey nauchno-informatsionnogo tsentra «Znanie» po materialam XII mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: «Razvitie nauki v XXI veke», 2 chast, Harkov, noyabr 2016 – H.: Nauchno-informatsionnyy tsentr «Znanie», 2016. – С. 57-65.*

Поступила в редколлегию 23.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

Шкиль Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: диагностика цифровых систем, дистанционное образование. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. 702-13-26.

Мирошник Марина Анатольевна, д-р техн. наук, зав. кафедрой информационных технологий Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Адрес: Украина, 61001, Харьков, пл. Фейербаха, 7, тел. 710-30-61.

Кулак Эльвира Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизированное проектирование цифровых автоматов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. 702-13-26.

Гребенюк Анна Сергеевна, аспирантка кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых автоматов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. 702-13-26.

Кучеренко Дария Ефимовна, канд. техн. наук, доцент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: языки описания аппаратуры, экспертные системы, нечеткая логика. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. 702-13-26.

Shkil Alexander Sergeevich, PhD, Associate Professor, Design Automation Department, KNURE. Scientific interests: diagnostics of digital systems, distance education. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauka Avenue, 14, tel. 702-13-26.

Miroshnik Marina Anatolievna, Dr. of Tekhn. Sciences, Head of Department of Information Technologies, Ukrainian State University of Railway Transport. Address: Ukraine, 61001, Kharkov, pl. Feyerbacha, 7, tel. 710-30-61.

Kulak Elvira Nikolaevna, PhD, Associate Professor, Design Automation Department, KNURE. Scientific interests: automated design of digital machines. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauka Avenue, 14, tel. 702-13-26.

Grebenyuk Anna Sergeevna, post-graduate student, Design Automation Department, KNURE. Scientific interests: technical diagnostics of digital machines. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauki Avenue, 14, tel. 702-13-26.

Kucherenko Daria Yefimovna, PhD, Associate Professor, Design Automation Department, KNURE. Scientific interests: languages of apparatus description, expert systems, fuzzy logic. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauki Avenue, 14, tel. 702-13-26.

АБСТРАКТНЫЙ АВТОМАТ И ФОРМИРОВАНИЕ КОРТЕЖА С НЕПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ СОЕДИНЕНИЯМИ

ЧЕЧЕНЯ В.С.

Рассматривается проблема проведения соединений печатных плат в области BGA. Предлагается универсальная математическая модель проведения соединений между контактами BGA компонент для вывода их на периферию, что очень важно при проектировании плоских конструктивов. Описывается формирование рисунка схемы с матричным расположением контактов для соединений, которые не пересекаются. Показывается, что кортеж элементов схемы может быть использован для описания соединений, проверки загрузки макродискрета.

Введение

При проектировании современных сложных электронных устройств характерной особенностью является применение микросхем большой и сверхбольшой степени интеграции – это печатные платы, которые содержат корпуса типа LGA, BGA, CGA.

Сложность проектирования плоских конструктивов в области расположения различного рода матричных корпусов заключается в получении качественного рисунка проведения соединений. При этом главная цель состоит в том, чтобы вывести все соединения на периферию BGA, используя как можно меньше слоёв. Несмотря на то, что задача трассировки печатных плат является одним из самых актуальных в области проектирования БИС и СБИСи, несмотря на изобилие разработанных методов, ученые и проектировщики не могут добиться получения качественного рисунка схемы в области BGA и зачастую трассировка внутреннего пространства BGA компонентов обычно осуществляется либо вручную, либо по шаблону.

На разрешение задачи получения качественного рисунка схемы способна повлиять только разработка математического аппарата для проектирования плоских конструктивов в области размещения компонент матричных корпусов.

1. Постановка задачи

Для решения подобных задач необходим принципиально новый подход к процессу трассировки [1,2]. Поэтому в данной работе представлен метод построения рисунка схемы без пересечения проводников с минимальным количеством слоев для проектирования плоских конструктивов с BGA компонентами. Разработан математический аппарат проведения соединений, оценки качества проведения соединений, оптимизации полученного решения. Предложенная математическая модель проведения соединений в целях формирования кортежа соединений представлена в виде циклического фрагмента.

Поэтому сам процесс проведения соединений можно описать как комбинаторную задачу размещения и перестановки элементов.

2. Обзор литературы

Микросхемы в корпусе BGA относительно недороги и имеют малые размеры [3].

Но, несмотря на свою популярность применения, трассировка печатных плат с участием корпусов BGA проблематична. Причин, по которым необходим быстрый выход на периферию, несколько. Обычная последовательная трассировка с перекладкой не устраняет кратных пересечений проводников. В связи с этим могут появляться «лишние межслойные переходы», ещё больше увеличивая плотность размещения контактов [4]. В свою очередь увеличение межслойных переходов влечет за собой ряд других факторов – уменьшение толщины проводников и расстояний между ними, специфики межслойных соединений, что является катастрофой для BGA.

Несмотря на развитие САПР, современные программные средства не в состоянии справиться с поставленной задачей [4]. Поэтому зачастую качество выполненной работы, а именно рисунок проведения соединений оставляет желать лучшего.

Поэтому, исходя из актуальности задачи, исследование посвящено разработке математического аппарата для получения рисунка схемы проведения соединений в области BGA, который соответствует конструкторско-технологическим требованиям.

3. Материалы и методы

Рассмотрим методы формирования кортежа соединений, когда местоположение контактов на внешнем контуре должно быть представлено циклическим фрагментом, т.е. расположение контактов должно быть задано в виде циклической последовательности [1,2,5-7].

Математическая модель проведения соединений в целях формирования кортежа соединений в виде циклического фрагмента заключается в формировании последовательности соединений различного уровня. Проведение соединений ассоциируется с размещением и перестановкой элементов в кортеже. На каждом шаге построения между контактами текущего уровня необходимо разместить следы соединений контактов предыдущего уровня. При этом нужно произвести равномерное проведение соединений по макродискретам.

Рассмотрим подробно структуру макродискрета (рис. 1). В качестве примера рассмотрим макродискрет M_1 .

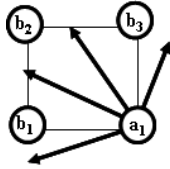


Рис. 1. Макродискрет M_6

Макродискрет состоит из четырех контактов: правый нижний контакт b_1 , левый нижний контакт a_1 , правый верхний контакт b_2 , левый верхний контакт b_3 . Также имеются четыре топометрических линии в виде направленных отрезков $(b_1, b_2), (b_2, b_3), (b_3, a_1), (a_1, b_1)$. Из нижнего правого контакта имеется возможность проведения только четырех соединений. Таким образом, на уровне $U_b \rightarrow \langle \uparrow b_1 \uparrow b_2 \uparrow b_3 \uparrow \rangle$ имеется четыре возможных способа расположения следов соединений предыдущего уровня. Стрелками указано возможное место расположения следов предыдущего уровня. Таким образом, можно характеризовать каждое расположение элементов в кортеже характеристическим вектором S_b . В характеристическом векторе S_b позиции с ненулевым значением характеризуют след соединений предыдущего уровня, например (рис. 2):

- кортежу $y_{b1} = \langle a_1, b_1, b_2, b_3 \rangle$ соответствует характеристический вектор $s_{b1} = (1, 0, 0, 0)$;
- кортежу $y_{b2} = \langle b_1, a_1, b_2, b_3 \rangle$ соответствует характеристический вектор $s_{b2} = (0, 1, 0, 0)$;
- кортежу $y_{b3} = \langle b_1, b_2, a_1, b_3 \rangle$ соответствует характеристический вектор $s_{b3} = (0, 0, 1, 0)$;
- кортежу $y_{b4} = \langle b_1, b_2, b_3, a_1 \rangle$ соответствует характеристический вектор $s_{b4} = (0, 0, 0, 1)$.

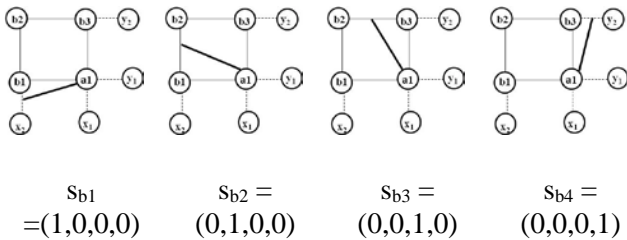


Рис. 2. Распределение соединений в уровне b

Для описания процесса последовательного построения соединений, начиная с макродискрета M_1 , воспользуемся методами теории автоматов [15-17].

Определение. *Абстрактный автомат* является математической моделью дискретного устройства и описывается шестикомпонентным набором $AA = (S, X, Y, \sigma, \lambda, a_1)$, где

- $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m, \dots, s_M\}$ — множество состояний;
- $X = \{x_1, x_2, \dots, x_f, \dots, x_F\}$ — множество входных сигналов;
- $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_g, \dots, y_G\}$ — множество выходных сигналов;

- δ — функция переходов АА, которая парам состояние — входной сигнал (s_m, x_f) ставит в соответствие состояние АА s_s , т.е. $s_s = (s_m, x_f)$, $s_s \in S$;
- λ — функция выходов АА, которая парам состояние — входной сигнал (s_m, x_f) ставит в соответствие выходной сигнал АА y_g , т.е. $y_g = (s_m, x_f)$, $y_g \in Y$;
- s_1 — начальное состояние. АА работает в дискретные моменты времени, и в момент времени $t = 0$ автомат всегда находится в состоянии s_1 . В момент времени $t = 0 + \Delta t$ автомат может перейти в другое состояние.

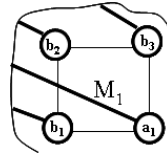


Рис. 3. Проведение соединений в макродискрете M_1

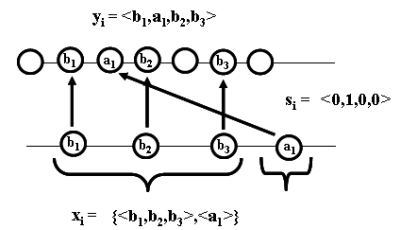


Рис. 4. Граф работы автомата

Рассмотрим формирование кортежа для уровня b (рис. 3 и рис. 4). Здесь имеется всего один элемент множества входных сигналов $x_1 = \{ \langle b_1, b_2, b_3 \rangle, \langle a_1 \rangle \}$, состоящий из кортежа контактов уровня U_b ($\text{card}U_b = 3$) и следа соединения контакта a_1 нижнего уровня U_a ($\text{card}U_a = 1$). Состояние автомата определяется множеством S , состоящим из четырех характеристических векторов: $s_1 = (1, 0, 0, 0)$, $s_2 = (0, 1, 0, 0)$, $s_3 = (0, 0, 1, 0)$, $s_4 = (0, 0, 1, 0)$. Мощность каждого вектора определяется как $\text{card}v_i = \text{card}U_k + 1$, т.е. мощность кортежа контактов текущего слоя плюс единица. Функция переходов δ паре состояния $s_2 = (0, 1, 0, 0)$ и входному сигналу $x_1 = \{ \langle b_1, b_2, b_3 \rangle, \langle a_1 \rangle \}$ ставит в соответствие состояние АА в виде вектора $\delta = (0, b_1, a_1, b_2, 0, b_3, 0)$. Функция выходов $\lambda = (b_1, a_1, b_2, b_3)$ паре состояния $s_2 = (0, 1, 0, 0)$ и входному сигналу $x_1 = \{ \langle b_1, b_2, b_3 \rangle, \langle a_1 \rangle \}$ ставит в соответствие один из элементов множества выходных сигналов Y , а именно $y_i = \langle b_1, a_1, b_2, b_3 \rangle$. Начальное состояние определяется как $s_2 = (0, 1, 0, 0)$.



Рис. 5. Последовательность выполнения работы автоматами для построения внешнего циклического фрагмента

В общем случае процесс построения циклического фрагмента для внешних выводов компонента ВГА можно представить как последовательную работу абстрактных автоматов, где вы-

ходной сигнал одного автомата является входным сигналом следующего автомата (рис. 5). На уровне $U_c \rightarrow \langle \uparrow c_1 \uparrow c_2 \uparrow c_3 \uparrow c_4 \uparrow c_5 \uparrow \rangle$ имеется шесть возможных способов расположения следов соединений предыдущего уровня. Стрелками указано возможное место расположения следов предыдущего уровня. Одновременно могут быть задействованы только четыре следа соединений из предыдущего уровня. Рассмотрим эти возможности, перечислив все характеристические векторы S_c :

Подряд четыре компонента	Подряд три компонента	Подряд два компонента
$s_{c1} = (1,1,1,1,0,0)$	$s_{c4} = (1,1,1,0,1,0)$	$s_{c10} = (1,1,0,1,1,0)$
$s_{c2} = (0,1,1,1,1,0)$	$s_{c5} = (1,1,1,0,0,1)$	$s_{c11} = (1,1,0,0,1,1)$
$s_{c3} = (0,0,1,1,1,1)$	$s_{c6} = (0,1,1,1,0,1)$	$s_{c12} = (0,1,1,0,1,1)$
	$s_{c7} = (1,0,1,1,1,0)$	$s_{c13} = (1,1,0,1,0,1)$
	$s_{c8} = (1,0,0,1,1,1)$	$s_{c14} = (1,0,1,1,0,1)$
	$s_{c9} = (0,1,0,1,1,1)$	$s_{c15} = (1,0,1,0,1,1)$

Если при проведении соединений учитывать равномерное их распределение по макродискретам, то с этой целью нужно исключить из рассмотрения векторы $s_{c1}, s_{c2}, s_{c3}, s_{c6}, s_{c7}, s_{c14}$, так как по сторонам $c_2 - c_3$ и $c_3 - c_4$ диагонального макродискрета (3 и 4 места в характеристическом векторе) осуществляется проведение по одному соединению. Но данные стороны принадлежат одному диагональному макродискрету M_3 , то есть получается, что в данном макродискрете M_3 осуществляется проведение двух соединений. А это противоречит требованиям равномерного распределения соединений по макродискретам. Сформируем кортежи (рис. 6) для уровня c относительно кортежа предыдущего уровня b и вектора $s_{c4} = (1,1,1,0,1,0)$:

$$\begin{aligned}
 y_{c1} &\rightarrow \langle \uparrow c_1 \uparrow c_2 \uparrow c_3 \uparrow c_4 \uparrow c_5 \uparrow \rangle \\
 &\quad a_1 \quad b_1 \quad b_2 \quad 0 \quad b_3 \quad 0 \quad \rightarrow \\
 &\langle a_1, c_1, b_1, c_2, b_2, c_3, c_4, b_3, c_5 \rangle; \\
 y_{c2} &\rightarrow \langle \uparrow c_1 \uparrow c_2 \uparrow c_3 \uparrow c_4 \uparrow c_5 \uparrow \rangle \\
 &\quad b_1 \quad a_1 \quad b_2 \quad 0 \quad b_3 \quad 0 \quad \rightarrow \\
 &\langle b_1, c_1, a_1, c_2, b_2, c_3, c_4, b_3, c_5 \rangle; \\
 y_{c3} &\rightarrow \langle \uparrow c_1 \uparrow c_2 \uparrow c_3 \uparrow c_4 \uparrow c_5 \uparrow \rangle \\
 &\quad b_1 \quad b_2 \quad a_1 \quad 0 \quad b_3 \quad 0 \quad \rightarrow \\
 &\langle b_1, c_1, b_2, c_2, a_1, c_3, c_4, b_3, c_5 \rangle; \\
 y_{c4} &\rightarrow \langle \uparrow c_1 \uparrow c_2 \uparrow c_3 \uparrow c_4 \uparrow c_5 \uparrow \rangle \\
 &\quad b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad 0 \quad a_1 \quad 0 \quad \rightarrow \\
 &\langle b_1, c_1, b_2, c_2, b_3, c_3, c_4, a_1, c_5 \rangle.
 \end{aligned}$$

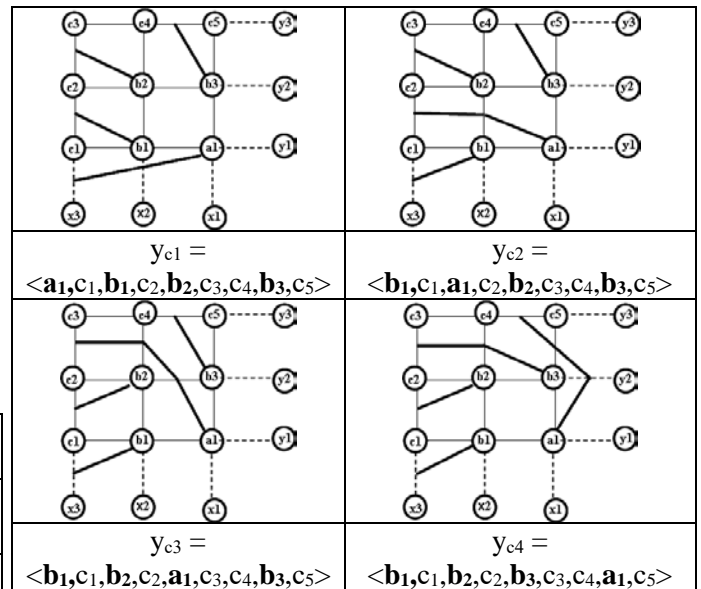


Рис. 6. Кортежи для характеристического вектора $s_{c4} = (1,1,1,0,1,0)$

Рассмотрим формирование кортежа y_{c3} для уровня U_c : $y_{c3} = \langle b_1, c_1, b_2, c_2, a_1, c_3, c_4, b_3, c_5 \rangle$.

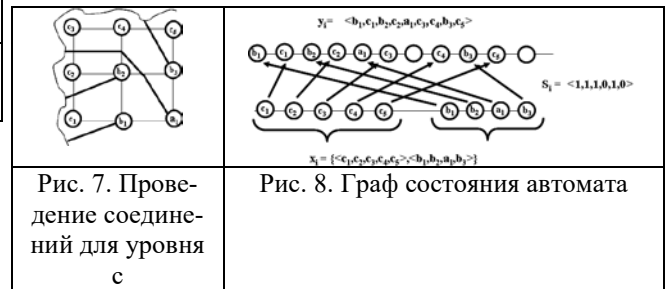


Рис. 7. Проведение соединений для уровня c

Рис. 8. Граф состояния автомата

В автомате AA_c имеется четыре элемента множества входных сигналов

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \{ \langle c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 \rangle, \langle a_1, b_1, b_2, b_3 \rangle \}, \\
 x_2 &= \{ \langle c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 \rangle, \langle b_1, a_1, b_2, b_3 \rangle \}, \\
 x_3 &= \{ \langle c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 \rangle, \langle b_1, b_2, a_1, b_3 \rangle \}, \\
 x_4 &= \{ \langle c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 \rangle, \langle a_1, b_1, b_2, b_3 \rangle \},
 \end{aligned}$$

состоящих из кортежа контактов уровня U_c ($cardU_c = 5$) и следа соединения контакта a_1, b_1, b_2, b_3 нижнего уровня U_b ($cardU_b = 4$). Состояние автомата определяется множеством S , состоящим из 15-ти характеристических векторов: $s_1 = (1,1,1,1,0,0)$, $s_4 = (0,1,1,1,1,0)$, $s_3 = (0,0,1,1,1,1)$, $s_4 = (1,1,1,0,1,0)$ и т.д. Мощность каждого вектора определяется как $cardv_i = cardU_c + 1$, т.е. мощность кортежа контактов текущего слоя плюс единица. Функция переходов δ паре состояния $s_4 = (1,1,1,0,1,0)$ и входному сигналу $x_3 = \{ \langle c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 \rangle, \langle b_1, b_2, a_1, b_3 \rangle \}$ ставит в соответствие состояние AA в виде вектора $\delta = (b_1, c_1, b_2, c_2, a_1, c_3, 0, c_4, b_3, c_5, 0)$.

Однако в макродискрете $M_4 = \{ \langle b_2, a_1, c_4 \rangle, \langle c_4, b_3, c_5 \rangle, \langle c_5, b_3 \rangle, \langle b_3, a_1, b_2 \rangle \}$ осуществляется проведение двух соединений a_1 и b_3 . Для удовлетворения конструктивно-технологических условий для равномерной загрузки макродискретов

осуществляем сдвиг вправо на свободные места соединения a_1 и b_3 в функции перехода вектора (рис. 9):

$$\delta = (b_1, c_1, b_2, c_2, a_1, c_3, 0, c_4, b_3, c_5, 0) \rightarrow$$

$$\delta = (b_1, c_1, b_2, c_2, 0, c_3, a_1, c_4, 0, c_5, b_3),$$

тем самым меняя состояние автомата на $s_{13} = (1, 1, 0, 1, 0, 1)$.

$$y_{c3} \rightarrow \langle \uparrow c_1 \uparrow c_2 \uparrow c_3 \uparrow c_4 \uparrow c_5 \uparrow \rangle$$

$$b_1 \quad b_2 \quad 0 \quad a_1 \quad 0 \quad b_3 \rightarrow$$

$$\langle \mathbf{b}_1, c_1, \mathbf{b}_2, c_2, c_3, \mathbf{a}_1, c_4, c_5, \mathbf{b}_3 \rangle.$$

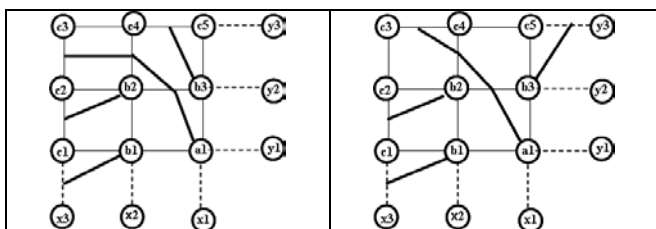


Рис. 9. Преобразование $y_{c3} =$

$$\langle \mathbf{b}_1, c_1, \mathbf{b}_2, c_2, \mathbf{a}_1, c_3, c_4, \mathbf{b}_3, c_5 \rangle \rightarrow \langle \mathbf{b}_1, c_1, \mathbf{b}_2, c_2, c_3, \mathbf{a}_1, c_4, c_5, \mathbf{b}_3 \rangle$$

Функция выходов $\lambda = (b_1, c_1, b_2, c_2, 0, c_3, a_1, c_4, 0, c_5, b_3)$ паре состояния $s_{13} = (1, 1, 0, 1, 0, 1)$ и входному сигналу $x_1 = \{ \langle c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 \rangle, \langle b_1, b_2, a_1, b_3 \rangle \}$ ставит в соответствие один из элементов множества выходных сигналов Y , а именно $y_3 = \langle b_1, c_1, b_2, c_2, c_3, a_1, c_4, c_5, b_3 \rangle$. Но тогда и конечное состояние определится как $s_{13} = (1, 1, 0, 1, 0, 1)$.

Рассмотрим кортеж $y_{c4} = \langle \mathbf{b}_1, c_1, \mathbf{b}_2, c_2, \mathbf{b}_3, c_3, c_4, \mathbf{a}_1, c_5 \rangle$. В макродискрете $M_4 = \{ \langle b_2, b_3, c_4 \rangle, \langle c_4, a_1, c_5 \rangle, \langle c_5, b_3 \rangle, \langle b_3, c_4, c_3, a_1, c_2, b_2 \rangle \}$ осуществляется проведение двух соединений a_1 и b_3 . Для удовлетворения конструктивно-технологических условий выполняем сдвиг вправо соединения a_1 и получаем новый кортеж (рис.10):

$$y_{c4} = \langle \mathbf{b}_1, c_1, \mathbf{b}_2, c_2, \mathbf{b}_3, c_3, c_4, \mathbf{a}_1 \rangle$$

$$y_{c4} \rightarrow \langle \uparrow c_1 \uparrow c_2 \uparrow c_3 \uparrow c_4 \uparrow c_5 \uparrow \rangle$$

$$b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad 0 \quad a_1 \quad 0 \rightarrow$$

$$\langle \mathbf{b}_1, c_1, \mathbf{b}_2, c_2, \mathbf{b}_3, c_3, c_4, \mathbf{a}_1, c_5 \rangle \rightarrow$$

$$\rightarrow \langle \uparrow c_1 \uparrow c_2 \uparrow c_3 \uparrow c_4 \uparrow c_5 \uparrow \rangle$$

$$b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad 0 \quad 0 \quad a_1 \rightarrow$$

$$\langle \mathbf{b}_1, c_1, \mathbf{b}_2, c_2, \mathbf{b}_3, c_3, c_4, \mathbf{a}_1, c_5, \mathbf{b}_3 \rangle$$

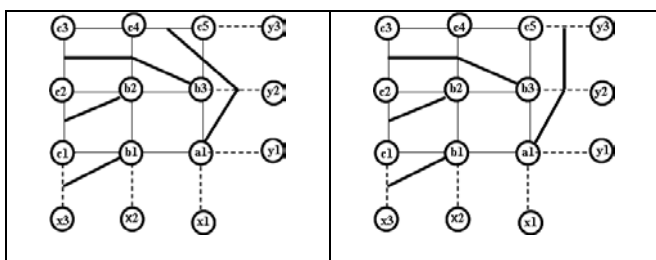


Рис. 10. $y_{c4} =$

$$\langle \mathbf{b}_1, c_1, \mathbf{b}_2, c_2, \mathbf{b}_3, c_3, c_4, \mathbf{a}_1, c_5 \rangle \rightarrow \langle \mathbf{b}_1, c_1, \mathbf{b}_2, c_2, \mathbf{b}_3, c_3, c_4, \mathbf{a}_1, c_5, \mathbf{b}_3 \rangle$$

Таким образом, формируется множество кортежей для уровня s :

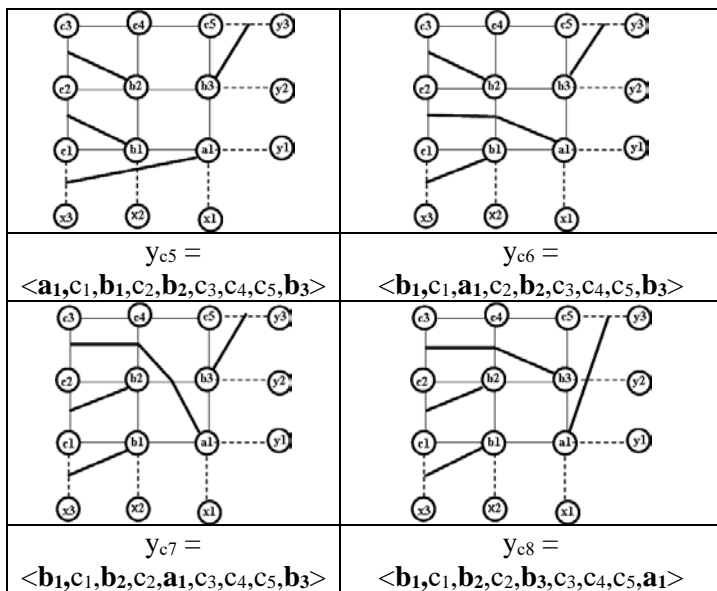


Рис. 11. Кортежи с характеристическим вектором $s_{c5} = (1, 1, 1, 0, 0, 1)$

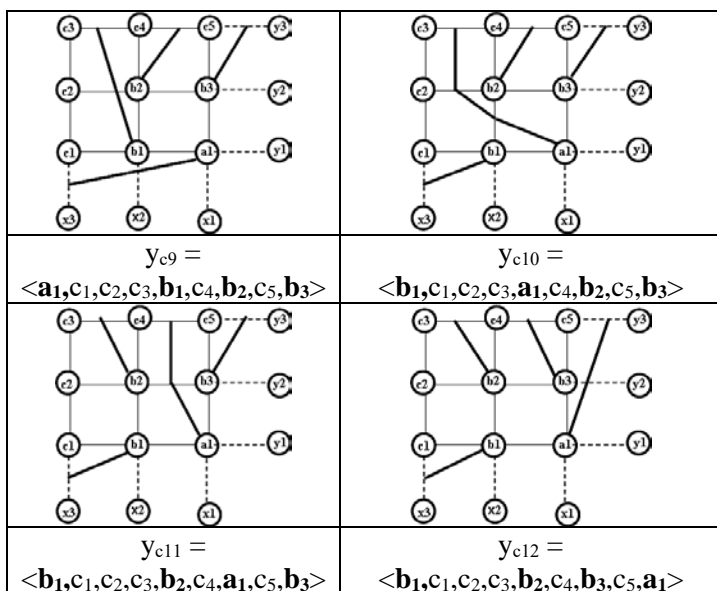


Рис. 12. Кортежи с характеристическим вектором $s_{c8} = (1, 0, 0, 1, 1, 1)$

На уровне $U_d = \langle \uparrow d_1 \uparrow d_2 \uparrow d_3 \uparrow d_4 \uparrow d_5 \uparrow d_6 \uparrow d_7 \uparrow \rangle$ имеется восемь возможных способов расположения следов соединений предыдущего уровня. Стрелками указано возможное место расположения следов предыдущего уровня. Одновременно могут быть задействованы только девять следов соединений из предыдущего уровня. Для равномерного распределения всех соединений, возникает необходимость прокладки двух соединений в одном макродискрете. Рассмотрим эти возможности, перечислив все характеристические векторы S_d :

$S_{d1} = (2, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1);$	$S_{d2} = (1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 1);$
$S_{d3} = (1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1);$	$S_{d4} = (1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1);$
$S_{d5} = (1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1);$	$S_{d6} = (1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1);$
$S_{d7} = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1);$	$S_{d8} = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2);$

Из рассмотрения следует исключить векторы s_{d4} и s_{d5} , как заведомо не отвечающие требованию равномерной загрузки соединений в макродискретах, так как количество соединений в диагональном макродискрете больше двух.

Предположим, что для уровня $U_d \rightarrow \langle \uparrow d_1 \uparrow d_2 \uparrow d_3 \uparrow d_4 \uparrow d_5 \uparrow d_6 \uparrow d_7 \rangle$ вектором V_{d1} с участием предыдущего кортежа уровня U_c $y_{c17} = \langle c_1, a_1, c_2, c_3, b_1, c_4, b_2, c_5, b_3 \rangle$ формируется новый кортеж

$$y_{d1} \rightarrow \langle \uparrow d_1 \uparrow d_2 \uparrow d_3 \uparrow d_4 \uparrow d_5 \uparrow d_6 \uparrow d_7 \rangle \\ c_1, a_1, c_2, c_3, b_1, c_4, b_2, c_5, b_3 \rightarrow \\ \langle c_1, a_1, d_1, c_2, d_2, c_3, d_3, b_1, d_4, c_4, d_5, b_2, d_6, c_5, d_7, b_3 \rangle.$$

Здесь распределение соединений по макродискретам имеет вид (рис. 13):

- $M_1 = \{ \langle b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_3 \rangle, \langle b_3, a_1 \rangle, \langle a_1, b_1 \rangle \};$
- $M_2 = \{ \langle c_1, a_1, c_2 \rangle, \langle c_2, b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1 \rangle, \langle b_1, a_1, c_1 \rangle \};$
- $M_3 = \{ \langle c_2, c_3 \rangle, \langle c_3, b_1, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1, c_2 \rangle \};$
- $M_4 = \{ \langle b_2, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2, c_5 \rangle, \langle c_5, b_3 \rangle, \langle b_3, b_2 \rangle \};$
- $M_5 = \{ \langle d_1, c_2, d_2 \rangle, \langle d_2, c_2 \rangle, \langle c_2, a_1, c_1 \rangle, \langle c_1, a_1, d_1 \rangle \};$
- $M_6 = \{ \langle d_2, c_3, d_3 \rangle, \langle d_3, c_3 \rangle, \langle c_3, c_2 \rangle, \langle c_2, d_2 \rangle \};$
- $M_7 = \{ \langle d_3, b_1, d_4 \rangle, \langle d_4, c_4, d_5 \rangle, \langle d_5, c_4, b_1, c_3 \rangle, \langle c_3, d_3 \rangle \};$
- $M_8 = \{ \langle c_3, b_1, c_4, d_5 \rangle, \langle d_5, b_2, d_6 \rangle, \langle d_6, b_2, c_4 \rangle, \langle c_4, b_1, c_3 \rangle \};$
- $M_9 = \{ \langle c_4, b_2, d_6 \rangle, \langle d_6, c_5, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5 \rangle, \langle c_5, b_2, c_4 \rangle \}.$

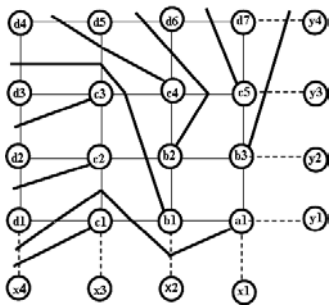


Рис. 13. Кортеж $y_{d1} = \langle c_1, a_1, d_1, c_2, d_2, c_3, d_3, b_1, d_4, c_4, d_5, b_2, d_6, c_5, d_7, b_3 \rangle$

В макродискрете M_8 проведены три соединения. Для получения кортежа с более равномерным распределением соединений по макродискретам следует осуществить сдвиг соединений, начиная с a_1 до c_5 вправо:

$$y_{d1} = \langle c_1, a_1, d_1, c_2, d_2, c_3, d_3, b_1, d_4, c_4, d_5, b_2, d_6, c_5, d_7, b_3 \rangle \rightarrow \langle c_1, d_1, a_1, d_2, c_2, d_3, c_3, d_4, b_1, d_5, c_4, d_6, b_2, c_5, d_7, b_3 \rangle$$

(рис. 15).

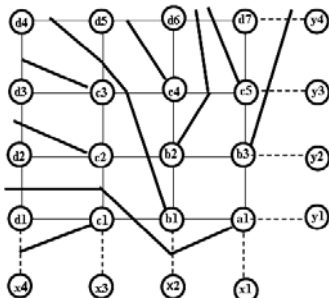


Рис. 14. Кортеж $y_{d1} = \langle c_1, d_1, a_1, d_2, c_2, d_3, c_3, d_4, b_1, d_5, c_4, d_6, b_2, c_5, d_7, b_3 \rangle$

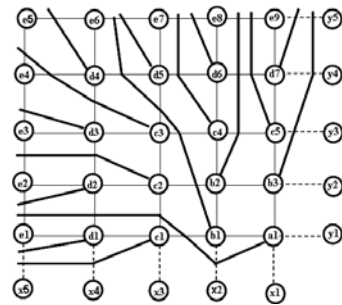


Рис. 15. Кортеж $y_{e1} = \langle c_1, d_1, e_1, a_1, d_2, e_2, c_2, e_3, d_3, e_4, c_3, e_5, d_4, e_6, b_1, d_5, e_7, c_4, d_6, e_8, b_2, c_5, e_9, d_7, b_3 \rangle$

Для уровня $U_e \rightarrow \langle \uparrow e_1 \uparrow e_2 \uparrow e_3 \uparrow e_4 \uparrow e_5 \uparrow e_6 \uparrow e_7 \uparrow e_8 \uparrow e_9 \rangle$ вектором $s_{e1} = (2, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2)$ с участием предыдущего кортежа $y_{d1} = \langle c_1, d_1, a_1, d_2, c_2, d_3, c_3, d_4, b_1, d_5, c_4, d_6, b_2, c_5, d_7, b_3 \rangle$ уровня U_d формируем новый кортеж

$$y_{e1} \rightarrow \langle \uparrow e_1 \uparrow e_2 \uparrow e_3 \uparrow e_4 \uparrow e_5 \uparrow e_6 \uparrow e_7 \uparrow e_8 \uparrow e_9 \rangle \\ c_1, d_1, a_1, d_2, c_2, d_3, c_3, d_4, b_1, d_5, c_4, d_6, b_2, c_5, d_7, b_3 \rightarrow \\ \langle c_1, d_1, e_1, a_1, d_2, e_2, c_2, e_3, d_3, e_4, c_3, e_5, d_4, e_6, b_1, d_5, e_7, c_4, d_6, e_8, b_2, c_5, e_9, d_7, b_3 \rangle.$$

Здесь распределение соединений по макродискретам имеет вид (рис. 16).

- $M_1 = \{ \langle b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_3 \rangle, \langle b_3, a_1 \rangle, \langle a_1, b_1 \rangle \};$
- $M_2 = \{ \langle c_1, a_1, c_2 \rangle, \langle c_2, b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1 \rangle, \langle b_1, a_1, c_1 \rangle \};$
- $M_3 = \{ \langle c_2, c_3 \rangle, \langle c_3, b_1, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1, c_2 \rangle \};$
- $M_4 = \{ \langle b_2, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2, c_5 \rangle, \langle c_5, b_3 \rangle, \langle b_3, b_2 \rangle \};$
- $M_5 = \{ \langle d_1, a_1, d_2 \rangle, \langle d_2, c_2 \rangle, \langle c_2, a_1, c_1 \rangle, \langle c_1, d_1 \rangle \};$
- $M_6 = \{ \langle d_2, c_2, d_3 \rangle, \langle d_3, c_3 \rangle, \langle c_3, c_2 \rangle, \langle c_2, d_2 \rangle \};$
- $M_7 = \{ \langle d_3, c_3, d_4 \rangle, \langle d_4, b_1, d_5 \rangle, \langle d_5, b_1, c_3 \rangle, \langle c_3, d_3 \rangle \};$
- $M_8 = \{ \langle c_3, b_1, d_5 \rangle, \langle d_5, c_4, d_6 \rangle, \langle d_6, c_4 \rangle, \langle c_4, b_1, c_3 \rangle \};$
- $M_9 = \{ \langle c_4, d_6 \rangle, \langle d_6, b_2, c_5, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5 \rangle, \langle c_5, b_2, c_4 \rangle \};$
- $M_{10} = \{ \langle e_1, a_1, d_2, e_2 \rangle, \langle e_2, d_2 \rangle, \langle d_2, a_1, d_1 \rangle, \langle d_1, e_1 \rangle \};$
- $M_{11} = \{ \langle e_2, c_2, e_3 \rangle, \langle e_3, d_3 \rangle, \langle d_3, c_2, d_2 \rangle, \langle d_2, e_2 \rangle \};$
- $M_{12} = \{ \langle e_3, d_3, e_4 \rangle, \langle e_4, c_3, d_4 \rangle, \langle d_4, c_3, d_3 \rangle, \langle d_3, e_3 \rangle \};$
- $M_{13} = \{ \langle e_4, c_3, e_5 \rangle, \langle e_5, d_4, e_6 \rangle, \langle e_6, d_4 \rangle, \langle d_4, c_3, e_4 \rangle \};$
- $M_{14} = \{ \langle d_4, e_6 \rangle, \langle e_6, b_1, d_5, e_7 \rangle, \langle e_7, d_5 \rangle, \langle d_5, b_1, d_4 \rangle \};$
- $M_{15} = \{ \langle d_5, e_7 \rangle, \langle e_7, c_4, d_6, e_8 \rangle, \langle e_8, d_6 \rangle, \langle d_6, c_4, d_5 \rangle \};$
- $M_{16} = \{ \langle d_6, e_8 \rangle, \langle e_8, b_2, c_5, e_9 \rangle, \langle e_9, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5, b_2, d_6 \rangle \}.$

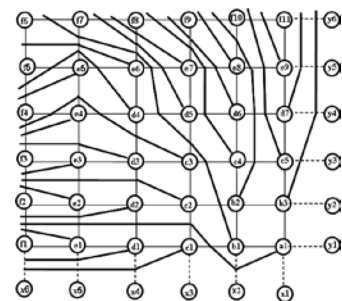


Рис. 16. Кортеж $y_{f1} = \langle c_1, d_1, f_1, e_1, a_1, d_2, f_2, e_2, c_2, e_3, f_3, d_3, e_4, c_3, f_4, e_5, d_4, f_5, e_6, f_6, b_1, f_7, d_5, e_7, f_8, c_4, d_6, f_9, e_8, b_2, f_{10}, c_5, e_9, f_{11}, d_7, b_3 \rangle$

Рассмотрим распределение соединений по макро- дискретам для данного кортежа y_{f1} (рис. 17):

- $M_1 = \{ \langle b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_3 \rangle, \langle b_3, a_1 \rangle, \langle a_1, b_1 \rangle \};$
- $M_2 = \{ \langle c_1, a_1, c_2 \rangle, \langle c_2, b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1 \rangle, \langle b_1, a_1, c_1 \rangle \};$
- $M_3 = \{ \langle c_2, c_3 \rangle, \langle c_3, b_1, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1, c_2 \rangle \};$
- $M_4 = \{ \langle b_2, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2, c_5 \rangle, \langle c_5, b_3 \rangle, \langle b_3, b_2 \rangle \};$
- $M_5 = \{ \langle d_1, a_1, d_2 \rangle, \langle d_2, c_2 \rangle, \langle c_2, a_1, c_1 \rangle, \langle c_1, d_1 \rangle \};$
- $M_6 = \{ \langle d_2, c_2, d_3 \rangle, \langle d_3, c_3 \rangle, \langle c_3, c_2 \rangle, \langle c_2, d_2 \rangle \};$
- $M_7 = \{ \langle d_3, c_3, d_4 \rangle, \langle d_4, b_1, d_5 \rangle, \langle d_5, b_1, c_3 \rangle, \langle c_3, d_3 \rangle \};$
- $M_8 = \{ \langle c_3, b_1, d_5 \rangle, \langle d_5, c_4, d_6 \rangle, \langle d_6, c_4 \rangle, \langle c_4, b_1, c_3 \rangle \};$
- $M_9 = \{ \langle c_4, d_6 \rangle, \langle d_6, b_2, c_5, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5 \rangle, \langle c_5, b_2, c_4 \rangle \};$
- $M_{10} = \{ \langle e_1, a_1, d_2, e_2 \rangle, \langle e_2, d_2 \rangle, \langle d_2, a_1, d_1 \rangle, \langle d_1, e_1 \rangle \};$
- $M_{11} = \{ \langle e_2, c_2, e_3 \rangle, \langle e_3, d_3 \rangle, \langle d_3, c_2, d_2 \rangle, \langle d_2, e_2 \rangle \};$
- $M_{12} = \{ \langle e_3, d_3, e_4 \rangle, \langle e_4, c_3, d_4 \rangle, \langle d_4, c_3, d_3 \rangle, \langle d_3, e_3 \rangle \};$
- $M_{13} = \{ \langle e_4, c_3, e_5 \rangle, \langle e_5, d_4, e_6 \rangle, \langle e_6, d_4 \rangle, \langle d_4, c_3, e_4 \rangle \};$
- $M_{14} = \{ \langle d_4, e_6 \rangle, \langle e_6, b_1, d_5, e_7 \rangle, \langle e_7, d_5 \rangle, \langle d_5, b_1, d_4 \rangle \};$
- $M_{15} = \{ \langle d_5, e_7 \rangle, \langle e_7, c_4, d_6, e_8 \rangle, \langle e_8, d_6 \rangle, \langle d_6, c_4, d_5 \rangle \};$
- $M_{16} = \{ \langle d_6, e_8 \rangle, \langle e_8, b_2, c_5, e_9 \rangle, \langle e_9, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5, b_2, d_6 \rangle \};$
- $M_{17} = \{ \langle f_1, e_1, a_1, d_2, f_2 \rangle, \langle f_2, e_2 \rangle, \langle e_2, d_2, a_1, e_1 \rangle, \langle e_1, f_1 \rangle \};$
- $M_{18} = \{ \langle f_2, e_2, c_2, e_3, f_3 \rangle, \langle f_3, e_3 \rangle, \langle e_3, c_2, e_2 \rangle, \langle e_2, f_2 \rangle \};$
- $M_{19} = \{ \langle f_3, d_3, e_4, c_3, f_4 \rangle, \langle f_4, c_3, e_4 \rangle, \langle e_4, d_3, e_3 \rangle, \langle e_3, f_3 \rangle \};$
- $M_{20} = \{ \langle f_4, e_5, d_4, f_5 \rangle, \langle f_5, d_4, e_5 \rangle, \langle e_5, c_3, e_4 \rangle, \langle e_4, c_3, f_4 \rangle \};$
- $M_{21} = \{ \langle f_5, e_6, f_6 \rangle, \langle f_6, b_1, f_7 \rangle, \langle f_7, b_1, e_6, d_4, c_5 \rangle, \langle e_5, d_4, f_5 \rangle \};$
- $M_{22} = \{ \langle e_5, d_4, e_6, b_1, f_7 \rangle, \langle f_7, d_5, e_7, f_8 \rangle, \langle f_8, e_7, d_5, b_1, e_6 \rangle, \langle e_6, d_4, e_5 \rangle \};$
- $M_{23} = \{ \langle e_6, b_1, d_5, e_7, f_8 \rangle, \langle f_8, c_4, d_6, f_9 \rangle, \langle f_9, d_6, c_4, e_7 \rangle, \langle e_7, d_5, b_1, e_6 \rangle \};$
- $M_{24} = \{ \langle e_7, c_4, d_6, f_9 \rangle, \langle f_9, e_8, b_2, f_{10} \rangle, \langle f_{10}, b_2, e_8 \rangle, \langle e_8, d_6, c_4, e_7 \rangle \};$
- $M_{25} = \{ \langle e_8, b_2, f_{10} \rangle, \langle f_{10}, c_5, e_9, f_{11} \rangle, \langle f_{11}, e_9 \rangle, \langle e_9, c_5, b_2, e_8 \rangle \};$

Из распределения соединений по макро- дискретам следует, что по макро- дискретам M_{21} (d_4, e_6, b_1, d_5, e_7) и M_{22} (b_1, d_5, e_7, c_4, d_6) проходит 5 соединений. По макро- дискрету M_{23} проходит четыре соединения (c_4, d_6, e_8, b_2). Попробуем распределить соединения более равномерно. С этой целью (см. рис. 17) осуществим перестановку пар соединений (c_3, e_4) и (e_5, d_4). Получим другой кортеж y_{f1} .

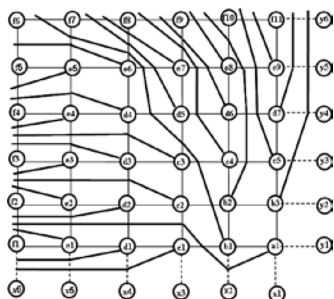


Рис. 17. Новый кортеж

$y_{f1} = \langle c_1, d_1, f_1, e_1, a_1, d_2, f_2, e_2, c_2, e_3, f_3, d_3, c_3, e_4, f_4, d_4, e_5, f_5, b_1, f_6, d_5, e_7, f_8, c_4, d_6, f_9, e_8, b_2, f_{10}, c_5, e_9, f_{11}, d_7, b_3 \rangle$

Распределение соединений по макро- дискретам имеет другой вид:

- $M_1 = \{ \langle b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_3 \rangle, \langle b_3, a_1 \rangle, \langle a_1, b_1 \rangle \};$
- $M_2 = \{ \langle c_1, a_1, c_2 \rangle, \langle c_2, b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1 \rangle, \langle b_1, a_1, c_1 \rangle \};$
- $M_3 = \{ \langle c_2, c_3 \rangle, \langle c_3, b_1, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1, c_2 \rangle \};$
- $M_4 = \{ \langle b_2, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2, c_5 \rangle, \langle c_5, b_3 \rangle, \langle b_3, b_2 \rangle \};$
- $M_5 = \{ \langle d_1, a_1, d_2 \rangle, \langle d_2, c_2 \rangle, \langle c_2, a_1, c_1 \rangle, \langle c_1, d_1 \rangle \};$
- $M_6 = \{ \langle d_2, c_2, d_3 \rangle, \langle d_3, c_3 \rangle, \langle c_3, c_2 \rangle, \langle c_2, d_2 \rangle \};$
- $M_7 = \{ \langle d_3, c_3, d_4 \rangle, \langle d_4, b_1, d_5 \rangle, \langle d_5, b_1, c_3 \rangle, \langle c_3, d_3 \rangle \};$
- $M_8 = \{ \langle c_3, b_1, d_5 \rangle, \langle d_5, c_4, d_6 \rangle, \langle d_6, c_4 \rangle, \langle c_4, b_1, c_3 \rangle \};$
- $M_9 = \{ \langle c_4, d_6 \rangle, \langle d_6, b_2, c_5, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5 \rangle, \langle c_5, b_2, c_4 \rangle \};$
- $M_{10} = \{ \langle e_1, a_1, d_2, e_2 \rangle, \langle e_2, d_2 \rangle, \langle d_2, a_1, d_1 \rangle, \langle d_1, e_1 \rangle \};$
- $M_{11} = \{ \langle e_2, c_2, e_3 \rangle, \langle e_3, d_3 \rangle, \langle d_3, c_2, d_2 \rangle, \langle d_2, e_2 \rangle \};$
- $M_{12} = \{ \langle e_3, d_3, e_4 \rangle, \langle e_4, d_4 \rangle, \langle d_4, c_3, d_3 \rangle, \langle d_3, e_3 \rangle \};$
- $M_{13} = \{ \langle e_4, d_4, e_5 \rangle, \langle e_5, e_6 \rangle, \langle e_6, d_4 \rangle, \langle d_4, e_4 \rangle \};$
- $M_{14} = \{ \langle d_4, e_6 \rangle, \langle e_6, b_1, d_5, e_7 \rangle, \langle e_7, d_5 \rangle, \langle d_5, b_1, d_4 \rangle \};$
- $M_{15} = \{ \langle d_5, e_7 \rangle, \langle e_7, c_4, d_6, e_8 \rangle, \langle e_8, d_6 \rangle, \langle d_6, c_4, d_5 \rangle \};$
- $M_{16} = \{ \langle d_6, e_8 \rangle, \langle e_8, b_2, c_5, e_9 \rangle, \langle e_9, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5, b_2, d_6 \rangle \};$
- $M_{17} = \{ \langle f_1, e_1, a_1, d_2, f_2 \rangle, \langle f_2, e_2 \rangle, \langle e_2, d_2, a_1, e_1 \rangle, \langle e_1, f_1 \rangle \};$
- $M_{18} = \{ \langle f_2, e_2, c_2, e_3, f_3 \rangle, \langle f_3, e_3 \rangle, \langle e_3, c_2, e_2 \rangle, \langle e_2, f_2 \rangle \};$
- $M_{19} = \{ \langle f_3, d_3, c_3, e_4, f_4 \rangle, \langle f_4, e_4 \rangle, \langle e_4, c_3, d_3, e_3 \rangle, \langle e_3, f_3 \rangle \};$
- $M_{20} = \{ \langle f_4, d_4, e_5, f_5 \rangle, \langle f_5, e_5 \rangle, \langle e_5, d_4, e_4 \rangle, \langle e_4, f_4 \rangle \};$
- $M_{21} = \{ \langle f_5, e_6, f_6 \rangle, \langle f_6, b_1, f_7 \rangle, \langle f_7, b_1, e_6, d_4, c_5 \rangle, \langle e_5, f_5 \rangle \};$
- $M_{22} = \{ \langle e_5, e_6, b_1, f_7 \rangle, \langle f_7, d_5, e_7, f_8 \rangle, \langle f_8, e_7, d_5, b_1, e_6 \rangle, \langle e_6, d_4, e_5 \rangle \};$
- $M_{23} = \{ \langle e_6, b_1, d_5, e_7, f_8 \rangle, \langle f_8, c_4, d_6, f_9 \rangle, \langle f_9, d_6, c_4, e_7 \rangle, \langle e_7, d_5, b_1, e_6 \rangle \};$
- $M_{24} = \{ \langle e_7, c_4, d_6, f_9 \rangle, \langle f_9, e_8, b_2, f_{10} \rangle, \langle f_{10}, b_2, e_8 \rangle, \langle e_8, d_6, c_4, e_7 \rangle \};$
- $M_{25} = \{ \langle e_8, b_2, f_{10} \rangle, \langle f_{10}, c_5, e_9, f_{11} \rangle, \langle f_{11}, e_9 \rangle, \langle e_9, c_5, b_2, e_8 \rangle \};$

Но все равно в макро- дискретам M_{22}, M_{23} и M_{24} имеется по 4 соединения. Попробуем поменять местами пару соединений (b_1, e_6), получим новый кортеж (рис. 18):

$y_{f1} = \langle c_1, d_1, f_1, e_1, a_1, d_2, f_2, e_2, c_2, e_3, f_3, d_3, c_3, e_4, f_4, d_4, e_5, f_5, b_1, f_6, e_6, f_7, d_5, e_7, f_8, c_4, d_6, f_9, e_8, b_2, f_{10}, c_5, e_9, f_{11}, d_7, b_3 \rangle$.

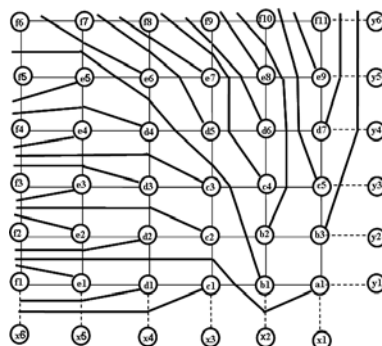


Рис. 18. Новый кортеж

$y_{f1} = \langle c_1, d_1, f_1, e_1, a_1, d_2, f_2, e_2, c_2, e_3, f_3, d_3, c_3, e_4, f_4, d_4, e_5, f_5, b_1, f_6, e_6, f_7, d_5, e_7, f_8, c_4, d_6, f_9, e_8, b_2, f_{10}, c_5, e_9, f_{11}, d_7, b_3 \rangle$

Распределение соединений по макродискретам имеет вид:

- $M_1 = \{ \langle b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_3 \rangle, \langle b_3, a_1 \rangle, \langle a_1, b_1 \rangle \};$
- $M_2 = \{ \langle c_1, a_1, c_2 \rangle, \langle c_2, b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1 \rangle, \langle b_1, a_1, c_1 \rangle \};$
- $M_3 = \{ \langle c_2, c_3 \rangle, \langle c_3, b_1, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1, c_2 \rangle \};$
- $M_4 = \{ \langle b_2, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2, c_5 \rangle, \langle c_5, b_3 \rangle, \langle b_3, b_2 \rangle \};$
- $M_5 = \{ \langle d_1, a_1, d_2 \rangle, \langle d_2, c_2 \rangle, \langle c_2, a_1, c_1 \rangle, \langle c_1, d_1 \rangle \};$
- $M_6 = \{ \langle d_2, c_2, d_3 \rangle, \langle d_3, c_3 \rangle, \langle c_3, c_2 \rangle, \langle c_2, d_2 \rangle \};$
- $M_7 = \{ \langle d_3, c_3, d_4 \rangle, \langle d_4, b_1, d_5 \rangle, \langle d_5, b_1, c_3 \rangle, \langle c_3, d_3 \rangle \};$
- $M_8 = \{ \langle c_3, b_1, d_5 \rangle, \langle d_5, c_4, d_6 \rangle, \langle d_6, c_4 \rangle, \langle c_4, b_1, c_3 \rangle \};$
- $M_9 = \{ \langle c_4, d_6 \rangle, \langle d_6, b_2, c_5, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5 \rangle, \langle c_5, b_2, c_4 \rangle \};$
- $M_{10} = \{ \langle e_1, a_1, d_2, e_2 \rangle, \langle e_2, d_2 \rangle, \langle d_2, a_1, d_1 \rangle, \langle d_1, e_1 \rangle \};$
- $M_{11} = \{ \langle e_2, c_2, e_3 \rangle, \langle e_3, d_3 \rangle, \langle d_3, c_2, d_2 \rangle, \langle d_2, e_2 \rangle \};$
- $M_{12} = \{ \langle e_3, d_3, c_3, e_4 \rangle, \langle e_4, d_4 \rangle, \langle d_4, c_3, d_3 \rangle, \langle d_3, e_3 \rangle \};$
- $M_{13} = \{ \langle e_4, d_4, e_5 \rangle, \langle e_5, b_1, e_6 \rangle, \langle e_6, b_1, d_4 \rangle, \langle d_4, e_4 \rangle \};$
- $M_{14} = \{ \langle d_4, b_1, e_6 \rangle, \langle e_6, d_5, e_7 \rangle, \langle e_7, d_5 \rangle, \langle d_5, b_1, d_4 \rangle \};$
- $M_{15} = \{ \langle d_5, e_7 \rangle, \langle e_7, c_4, d_6, e_8 \rangle, \langle e_8, d_6 \rangle, \langle d_6, c_4, d_5 \rangle \};$
- $M_{16} = \{ \langle d_6, e_8 \rangle, \langle e_8, b_2, c_5, e_9 \rangle, \langle e_9, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5, b_2, d_6 \rangle \};$
- $M_{17} = \{ \langle f_1, e_1, a_1, d_2, f_2 \rangle, \langle f_2, e_2 \rangle, \langle e_2, d_2, a_1, e_1 \rangle, \langle e_1, f_1 \rangle \};$
- $M_{18} = \{ \langle f_2, e_2, c_2, e_3, f_3 \rangle, \langle f_3, e_3 \rangle, \langle e_3, c_2, e_2 \rangle, \langle e_2, f_2 \rangle \};$
- $M_{19} = \{ \langle f_3, d_3, c_3, e_4, f_4 \rangle, \langle f_4, e_4 \rangle, \langle e_4, c_3, d_3, e_3 \rangle, \langle e_3, f_3 \rangle \};$
- $M_{20} = \{ \langle f_4, d_4, e_5, f_5 \rangle, \langle f_5, e_5 \rangle, \langle e_5, d_4, e_4 \rangle, \langle e_4, f_4 \rangle \};$
- $M_{21} = \{ \langle f_5, b_1, f_6 \rangle, \langle f_6, e_6, f_7 \rangle, \langle f_7, e_6, b_1, e_5 \rangle, \langle e_5, f_5 \rangle \};$
- $M_{22} = \{ \langle e_5, b_1, e_6, f_7 \rangle, \langle f_7, d_5, e_7, f_8 \rangle, \langle f_8, e_7, d_5, e_6 \rangle, \langle e_6, b_1, e_5 \rangle \};$
- $M_{23} = \{ \langle e_6, d_5, e_7, f_8 \rangle, \langle f_8, c_4, d_6, f_9 \rangle, \langle f_9, d_6, c_4, e_7 \rangle, \langle e_7, d_5, e_6 \rangle \};$
- $M_{24} = \{ \langle e_7, c_4, d_6, f_9 \rangle, \langle f_9, e_8, b_2, f_{10} \rangle, \langle f_{10}, b_2, e_8 \rangle, \langle e_8, d_6, c_4, e_7 \rangle \};$
- $M_{25} = \{ \langle e_8, b_2, f_{10} \rangle, \langle f_{10}, c_5, e_9, f_{11} \rangle, \langle f_{11}, e_9 \rangle, \langle e_9, c_5, b_2, e_8 \rangle \};$

Но теперь можно поменять местами пару соединений (b_1, e_5) и сдвинуть вправо соединения e_7, c_4, d_6, e_8, b_2 распределив их равномерно по макродискретам. В результате получим следующий кортеж (рис. 19):

$u_{11} = \langle c_1, d_1, f_1, e_1, a_1, d_2, f_2, e_2, c_2, e_3, f_3, d_3, c_3, e_4, f_4, d_4, e_5, f_5, b_1, f_6, e_6, f_7, d_5, e_7, f_8, c_4, d_6, f_9, e_8, b_2, f_{10}, c_5, e_9, f_{11}, d_7, b_3 \rangle.$

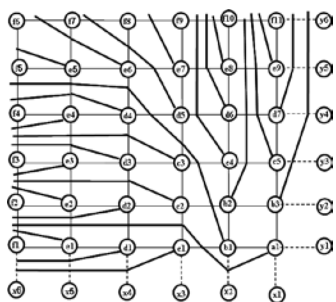


Рис. 19. Новый кортеж

$u_{11} = \langle c_1, d_1, f_1, e_1, a_1, d_2, f_2, e_2, c_2, e_3, f_3, d_3, c_3, e_4, f_4, d_4, e_5, f_5, b_1, f_6, e_6, f_7, d_5, e_7, f_8, c_4, d_6, f_9, e_8, b_2, f_{10}, c_5, e_9, f_{11}, d_7, b_3 \rangle$

Распределение соединений по макродискретам имеет вид:

- $M_1 = \{ \langle b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_3 \rangle, \langle b_3, a_1 \rangle, \langle a_1, b_1 \rangle \};$
- $M_2 = \{ \langle c_1, a_1, c_2 \rangle, \langle c_2, b_1, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1 \rangle, \langle b_1, a_1, c_1 \rangle \};$
- $M_3 = \{ \langle c_2, c_3 \rangle, \langle c_3, b_1, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2 \rangle, \langle b_2, b_1, c_2 \rangle \};$
- $M_4 = \{ \langle b_2, c_4 \rangle, \langle c_4, b_2, c_5 \rangle, \langle c_5, b_3 \rangle, \langle b_3, b_2 \rangle \};$
- $M_5 = \{ \langle d_1, a_1, d_2 \rangle, \langle d_2, c_2 \rangle, \langle c_2, a_1, c_1 \rangle, \langle c_1, d_1 \rangle \};$
- $M_6 = \{ \langle d_2, c_2, d_3 \rangle, \langle d_3, c_3 \rangle, \langle c_3, c_2 \rangle, \langle c_2, d_2 \rangle \};$
- $M_7 = \{ \langle d_3, c_3, d_4 \rangle, \langle d_4, b_1, d_5 \rangle, \langle d_5, b_1, c_3 \rangle, \langle c_3, d_3 \rangle \};$
- $M_8 = \{ \langle c_3, b_1, d_5 \rangle, \langle d_5, c_4, d_6 \rangle, \langle d_6, c_4 \rangle, \langle c_4, b_1, c_3 \rangle \};$
- $M_9 = \{ \langle c_4, d_6 \rangle, \langle d_6, b_2, c_5, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5 \rangle, \langle c_5, b_2, c_4 \rangle \};$
- $M_{10} = \{ \langle e_1, a_1, d_2, e_2 \rangle, \langle e_2, d_2 \rangle, \langle d_2, a_1, d_1 \rangle, \langle d_1, e_1 \rangle \};$
- $M_{11} = \{ \langle e_2, c_2, e_3 \rangle, \langle e_3, d_3 \rangle, \langle d_3, c_2, d_2 \rangle, \langle d_2, e_2 \rangle \};$
- $M_{12} = \{ \langle e_3, d_3, c_3, e_4 \rangle, \langle e_4, d_4 \rangle, \langle d_4, c_3, d_3 \rangle, \langle d_3, e_3 \rangle \};$
- $M_{13} = \{ \langle e_4, d_4, b_1, e_5 \rangle, \langle e_5, e_6 \rangle, \langle e_6, b_1, d_4 \rangle, \langle d_4, e_4 \rangle \};$
- $M_{14} = \{ \langle d_4, b_1, e_6 \rangle, \langle e_6, d_5, e_7 \rangle, \langle e_7, d_5 \rangle, \langle d_5, b_1, d_4 \rangle \};$
- $M_{15} = \{ \langle d_5, e_7 \rangle, \langle e_7, c_4, d_6, e_8 \rangle, \langle e_8, d_6 \rangle, \langle d_6, c_4, d_5 \rangle \};$
- $M_{16} = \{ \langle d_6, e_8 \rangle, \langle e_8, b_2, c_5, e_9 \rangle, \langle e_9, d_7 \rangle, \langle d_7, c_5, b_2, d_6 \rangle \};$
- $M_{17} = \{ \langle f_1, e_1, a_1, d_2, f_2 \rangle, \langle f_2, e_2 \rangle, \langle e_2, d_2, a_1, e_1 \rangle, \langle e_1, f_1 \rangle \};$
- $M_{18} = \{ \langle f_2, e_2, c_2, e_3, f_3 \rangle, \langle f_3, e_3 \rangle, \langle e_3, c_2, e_2 \rangle, \langle e_2, f_2 \rangle \};$
- $M_{19} = \{ \langle f_3, d_3, c_3, e_4, f_4 \rangle, \langle f_4, e_4 \rangle, \langle e_4, c_3, d_3, e_3 \rangle, \langle e_3, f_3 \rangle \};$
- $M_{20} = \{ \langle f_4, d_4, b_1, f_5 \rangle, \langle f_5, e_5 \rangle, \langle e_5, b_1, d_4, e_4 \rangle, \langle e_4, f_4 \rangle \};$
- $M_{21} = \{ \langle f_5, e_5, f_6 \rangle, \langle f_6, e_6, f_7 \rangle, \langle f_7, e_6, e_5 \rangle, \langle e_5, f_5 \rangle \};$
- $M_{22} = \{ \langle e_5, e_6, f_7 \rangle, \langle f_7, d_5, f_8 \rangle, \langle f_8, d_5, e_6 \rangle, \langle e_6, e_5 \rangle \};$
- $M_{23} = \{ \langle e_6, d_5, f_8 \rangle, \langle f_8, e_7, f_9 \rangle, \langle f_9, e_7 \rangle, \langle e_7, d_5, e_6 \rangle \};$
- $M_{24} = \{ \langle e_7, f_9 \rangle, \langle f_9, c_4, d_6, e_8, f_{10} \rangle, \langle f_{10}, e_8 \rangle, \langle e_8, d_6, c_4, e_7 \rangle \};$
- $M_{25} = \{ \langle e_8, f_{10} \rangle, \langle f_{10}, b_2, c_5, e_9, f_{11} \rangle, \langle f_{11}, e_9 \rangle, \langle e_9, c_5, b_2, e_8 \rangle \};$

Выводы

Предложенная математическая модель позволяет описать рисунок проведения соединений между контактами BGA компонент теоретико-множественными методами без конкретной прорисовки на плоскости. Данная модель позволяет хранить, описывать и видоизменять информацию общего рисунка соединений как в случае непересекающихся соединений, так и соединений с пересечением.

Литература: 1. Курапов С.В., Два подхода к проведению соединений в плоских конструктивах / Курапов С.В., Давидовский М.В. // Компоненты и технологии. 2015. №7. С. 142-147. 2. Курапов С. В. Методы построения топологического рисунка графа / Курапов С. В., Толоч А. В. // Автоматика и телемеханика. 2013. №9. С.78–97. 3. Charles P. BGA Breakouts and Routing. 2010. 170p. 4. Лузин С. САПР ТороR: трассировка печатных плат с BGA-компонентами / Лузин С., Полу-басов О. М.:СТА-ПРЕСС. Современная электроника. 2008. №7. С.44-48. 5. Кофман А. Введение в прикладную комбинаторику / А. Кофман. М.: Наука, ГРФМЛ, 1975. 480 с. 6. Свами М. Графы, сети и алгоритмы / М. Свами, К. Тхуласираман. М.: Мир, 1984. 455 с. 7. Комбинаторные алгоритмы, теория и практика / [Э. Рейнгольд, Ю. Нивергельт Н. Дер]. М.: Мир. 1980. 480 с.

Transliterated bibliography:

1. *Kurapov S.V.*, Dva podhoda k provedeniju soedinenij v ploskih konstruktivah / Kurapov S.V., Davidovskij M.V. // Komponenty i tehnologii. 2015. № 7. s. 142 - 147.
2. *Kurapov S. V.* Metody postroenija topologicheskogo risunka grafa / Kurapov S. V., Tolok A. V. // Avtomatika i telemekhanika. 2013. №9. С.78–97.
3. *Charles Pfeil* BGA Breakouts and Routing / C. Pfeil, 2010. 170p.
4. *Luzin C.* SAPR TopoR: trassirovka pechatnyh plat s BGA-komponentami / Luzin C., Polubasov O. M.: STA-PRESS, Sovremennaja elektronika. 2008. №7. I.44-48.
5. *Kofman A.* Vvedenie v prikladnuju kombinatoriku / A.Kofman. M.: Nauka, GRFML, 1975. 480 s.
6. *Svami M.* Grafy, seti i algoritmy / M. Svami, K. Thulasiraman. M.: Mir, 1984. 455 s.
7. *Kombinatornye algoritmy, teorija i praktika* / [Je. Rejngold, Ju. Nivergelt, N. Der]. M.: Mir, 1980. 480 s.

Поступила в редколлегию 23.08.2016

Чеченя Вадим Сергеевич, преподаватель информатики КВНЗ «Запорожский педагогический колледж» ЗОР. Адрес: Украина, 69000, Запорожье, ул. Запорожского козачества, 6, e-mail: chechenja@ukr.net.

Chechenja Vadim Sergeevich, Informatics teacher, KVNZ "Zaporozhye Pedagogical College" ZOR. Address: Zaporozhskogo kozachestva str., 6, Zaporizhzhya, Zaporizhzhya, 69000, Ukraine, e-mail: chechenja@ukr.net.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ В ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

ГВОЗДИНСКИЙ А.Н., СЕРИК Е.Э.

Исследуются возможности использования методов эволюционной оптимизации для решения задач в производительных системах управления. В качестве объектов исследования рассматриваются системы интеллектуального анализа данных и объекты производственной деятельности предприятий и фирм различного назначения.

1. Введение

В данной работе приводится формальная постановка задачи, на решение которой изначально был направлен первый генетический алгоритм и общая схема работы самого алгоритма. Описываются составляющие генетического алгоритма и их назначение. Для решения конкретной задачи исследователь может сконструировать схему работы генетического алгоритма из его составляющих.

Генетический алгоритм получен в процессе обобщения и имитации в искусственных системах свойств живой природы. Это приспособляемость к изменению среды, наследование потомками наиболее «ценных» свойств родителей и естественный отбор.

С его помощью можно улучшить работу поисковых систем, которые требуют обработки больших массивов информации. Среди основных трудностей использования генетического алгоритма – возможность эффективно сформулировать задачу, определить рациональный выбор функции приспособленности и хромосом, которые описывают особей популяции, являются эвристическими, что под силу только специалисту.

Цель работы – исследование возможности использования генетического алгоритма для решения многокритериальных задач в производительных системах управления.

Актуальность исследования – отход от традиционной схемы «размножения», применяемый в большинстве реализованных ГА-тах к использованию фиксированного числа брачных пар на каждом поколении.

Сущность исследования. В качестве основного аппарата для разработки систем производственного планирования используется многокритериальная оптимизация.

2. Анализ метода исследования

Решение задач комбинаторной оптимизации является одной из основных областей применения ГА. Генетические алгоритмы имитируют процесс естественного отбора в природе. Для нахождения более оптимального с точки зрения некоторого критерия все решения описываются набором чисел или величин нечисловой природы. Поиск оптимального решения похож на эволюцию популяции индивидов, которые представлены наборами их хромосом. В этой эволюции действует три механизма:

- отбор сильнейших наборов хромосом, которым соответствуют наиболее оптимальные решения;
- скрещивание – получение новых индивидов при помощи смешивания хромосомных наборов отобранных индивидов;
- мутация – преобразование хромосомы, случайное изменение одного или несколько генов (чаще – одного).

Чтобы реализовать генетический алгоритм, надо сначала выбрать структуру для представления этих решений. Структура данных ГА состоит из одной или большего количества хромосом. После проведенных в ходе применения ГА операций осуществляем декодирование и получаем подмножество значений, которые соответствуют субоптимальному решению задач. Генетический алгоритм оптимизации является множественно-вероятностным, т.е. он позволяет находить множество значений, которые примерно соответствуют искомому условию. Это существенно для решения задач с неявно выраженными максимумами или минимумами.

Существует множество модификаций генетического алгоритма, которые отличаются методами отбора, скрещивания, хромосомной кодировки. Традиционный (основной) ГА работает с двоичной строкой определенной длины, использует следующие свойства:

- на каждом поколении реализуется отбор пропорционально функции приспособленности;
- одноточечный кроссовер (скрещивание);
- мутация.

Как метод оптимизации ГА обладает внутренним параллелизмом: различные существенные комбинации генов отыскиваются параллельным образом, одновременно для всех комбинаций. Чем меньше комбинация, тем легче ее определить. В связи с тем, что алгоритм в процессе поиска использует некоторую кодировку значений, а не сами значения, он эффективно может применяться для решения задач дискретной оптимизации, которые могут быть определены как на числовых, так и на конечных множествах произвольной природы. Так как в качестве информации об оптимизируемой функции для работы

алгоритма используются лишь значения в рассматриваемых точках пространства поиска, то данный алгоритм применим к широкому классу функций. Генетический алгоритм успешно справляется с поставленной задачей даже там, где не существует общеизвестных алгоритмов решения или высока степень априорной неопределенности.

Достоинство – метод удобен для решения различных задач комбинаторики и оптимизации, предпочтителен больше как инструмент научного исследования.

Недостаток – возможность эффективно сформулировать задачу, определить критерий отбора хромосом, и сама процедура отбора является эвристической и под силу только специалисту. Постановка задачи в терминах не дает возможности проанализировать статическую значимость получаемого с их помощью решения.

3. Формализация задачи исследования

Для построения математической модели за основу возьмем один из методов интеллектуального анализа данных - генетические алгоритмы, и на их базе будем решать поставленную задачу.

Формально генетический алгоритм - это любой алгоритм поиска приближенного решения поставленной задачи, построенный по следующей схеме.

Шаг 0. Создать случайную начальную популяцию $\{S_k(0)\}$.

Шаг 1. Вычислить приспособленность $f(S_k)$ каждой особи (S_k) популяции $\{S_k(t)\}$.

Шаг 2. Производя отбор особей из $\{S_k(t)\}$ в соответствии с их приспособленностями $f(S_k)$ и применяя генетические операторы (скрещивания и мутации) к отобранным особям для получения потомства, сформировать популяцию следующего поколения $\{S_k(t+1)\}$.

Шаг 3. Повторять шаги 1,2 для $t = 0, 1, 2, \dots$ до тех пор, пока не выполнится некоторое условие окончания эволюционного поиска (прекращается рост максимальной приспособленности в популяции, число поколений t достигает заданного предела).

Возможны различные варианты генетического алгоритма, которые отличаются по схемам отбора особей из текущего поколения в новое, операторам скрещивания и мутации хромосом особей, по форме представления хромосом и т.д. Традиционный вид генетического алгоритма базируется на следующей частотной схеме:

- цепочки символов в хромосомах бинарные (символы $S_{ki j}$ принимают значения 0 либо 1), длина цепочек постоянна ($N = \text{const}$);
- метод отбора пропорционально-вероятностный;

– скрещивание производится по одноточечной схеме.

Рассмотрим задачу распределения ресурсов на примере решения задачи оптимального раскроя. На заготовочный участок радиоцеха поступили листы фольгированного гетинакса размеров $l_1 * l_2$ мм. Его необходимо разрезать на заготовки для печатных плат: Π_1 размером $l_3 * l_4$ мм, $\Pi_2 - l_5 * l_6$ мм, $\Pi_3 - l_7 * l_8$ мм, $\Pi_4 - l_9 * l_{10}$ мм, необходимость в которых $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ единиц соответственно (таблица).

Построить модель и на ее основании составить экстремальную задачу, решение которой дает минимальное количество разрезанных выходных листов. Найти решение задачи в условиях минимализации отходов раскроя. Предусмотреть возможность максимизации количества комплектов печатных плат при условии выполнения комплектности

$$\Pi_1 : \Pi_2 : \Pi_3 : \Pi_4 = k_1 : k_2 : k_3 : k_4 .$$

Параметры	Значение
l_1	136
l_2	158
l_3	92
l_4	36
l_5	51
l_6	88
l_7	46
l_8	40
l_9	50
l_{10}	50
Π_1	270
Π_2	200
Π_3	310
Π_4	90
Комплектность	3 : 2 : 1 : 5

Исходные данные: $l_1 * l_2, \Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, k_1, k_2, k_3, k_4$.

Используемые переменные:

$\Pi_i = A_i$ – необходимое количество заготовок и i -го типа;

C_j – отход при раскрое единиц исходного материала j -м способом;

$j = \overline{1, m}$ – количество вариантов раскроя;

a_{ij} – количество заготовок i -го типа ($i = \overline{1, 4}$), полученных при раскрое единицы исходного материала j -м вариантом;

i – вид заготовки;

q – количество изделий ($\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$);

a – количество разрезанных листов;

K – количество типов листов, поступающих на раскрой ($K = 1$);

l_i – компетентность – количество заготовок i -го вида в одном комплекте;

x_j – количество единиц исходного материала, который раскраивается j -м вариантом.
Сформируем ограничения для данной задачи:

$$\sum_{j=1}^m x_j = a,$$

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, m},$$

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j = \Pi_i.$$

Функция цели имеет вид:

$$F(x) = \sum_{j=1}^m x_j \rightarrow \min,$$

$$F(x) = a \rightarrow \min.$$

Минимизация отходов. Функция цели имеет вид:

$$\sum_{j=1}^n C_j x_j \rightarrow \min.$$

Максимизация комплектов. Необходимо предусмотреть возможность максимизации количества комплектов печатных плат при условии выполнения комплектности

$$\Pi_1 : \Pi_2 : \Pi_3 : \Pi_4 = k_1 : k_2 : k_3 : k_4.$$

Функция цели имеет вид:

$$F(x) = X \rightarrow \max,$$

$$\text{где } X = \frac{1}{\Pi_1 k_1} \left(\sum_{j=1}^m a_{j1} x_j \right).$$

А ограничения примут следующий вид:

$$\sum_{j=1}^p a_{j1} x_j = \Pi_1 k_1 X,$$

$$\sum_{j=1}^p a_{j2} x_j = \Pi_2 k_2 X,$$

$$\sum_{j=1}^p a_{j3} x_j = \Pi_3 k_3 X,$$

$$\sum_{j=1}^p a_{j4} x_j = \Pi_4 k_4 X.$$

4. Выводы

При разработке проектов сложных систем, в частности автоматических систем управления АСУ, перед проектировщиком возникает проблема принятия решений при наличии нескольких показателей качества.

Поэтому разработка методов принятия решений при нескольких критериях оптимальности в условиях неопределенности по-прежнему остается одной из главных задач исследования операций.

Исследование операций как наука располагает разнообразными средствами моделирования целенаправленной деятельности. Существующие и развиваемые подходы к анализу прикладных программ проникают в новые области автоматизированного управления.

Научная новизна: результатом проведенного исследования является решение многокритериальной задачи с использованием генетического алгоритма.

Полученные результаты не только позволяют рационально расходовать ограниченные ресурсы, но и развивают наши представления о возможностях изучаемой науки.

Литература: 1. *Гвоздинский А.Н.* Принципы и методы оптимизации в современных организационных системах управления / А.Н.Гвоздинский, А.Е.Козлова, А.О.Дроздов // X: Бионика интеллекта, 2013. №2 (81). С.66-70. 2. *Гвоздинский А.Н.* Методы оптимизации в системах принятия решений / А.Н. Гвоздинский, Н.А. Якимова, В.О. Губин // X: ХНУРЕ, 2006. 327 с. 3. *Гвоздинский А.Н., Климко Е.Г.* Применение генетических алгоритмов для решения оптимизационных задач // Сб. Научных трудов 7-й Международной конференции „Теория и техника передачи, приема и обработки информации”. 2016.

Transliterated bibliography:

1. *Gvozdinskiy A.N.* Printsipy i metody optimizatsii v sovremennyih organizatsionnyih sistemah upravleniya / A.N. Gvozdinskiy, A.E. Kozlova, A.O.Drozdo / H: Bionika intellekta, 2013. #2 (81). S. 66-70.

2. *Gvozdinskiy A.N.* Metody optimizatsii v sistemah prinyatiya resheniy / A.N. Gvozdinskiy, N.A. Yakimova, V.O. Gubin // H: HNURE, 2006. 327 s.

3. *Gvozdinskiy A.N., Klimko E.G.* Primenenie geneticheskikh algoritmov dlya resheniya optimizatsionnykh zadach // Sb. Nauchnykh trudov 7-y Mezhdunarodnoy kon-ferentsii „Teoriya i tehnika peredachi, priema i ob-rabotki informatsii”. 2016.

Поступила в редколлегию 07.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Пуятин Е.П.

Гвоздинский Анатолий Николаевич, канд. техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация процедур принятия решения в сложных системах управления. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул. Академика Ляпунова, 7, кв. 9, тел. 702-38-23

Серик Екатерина Эдуардовна, студентка группы КН-13-6 кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: методы принятия решения в системах искусственного интеллекта. Адрес: Украина, Харьков, пер. Афанасьевский, 36, тел. 066-340-08-76.

Gvozdinsky Anatoly Nikolayevich, PhD, professor of Artificial Intelligence Dept., KNURE. Scientific interests: optimization of decision-making procedures in complex management systems. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, st. Acad. Lyapunova, 7-9, tel.702-38-23

Serik Ekaterina Eduardovna, student, KNURE. Scientific interests: methods of decision making in systems of artificial intelligence. Address: Ukraine, Kharkov, lane. Afanasyevsky, 36, tel. 066-340-08-76.

МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ БЛОКОВ АЭРОФОТОСНИМКА В ДВУХПРИЗНАКОВОМ СТРУКТУРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ В СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

БАРАННИК В.В., МУСИЕНКО А.П.,
ЖУЙКОВ Д.Б.

Рассматриваются основные вопросы, которые связаны с кластерным анализом, а именно с алгоритмами кластеризации цифровых аэрофотоснимков в системе обработки и передачи информации. Предлагается использовать алгоритм кластеризации K -средних, который позволит распределить исследуемые блоки аэрофотоснимков на основе их признаковых характеристик по кластерам. Такой подход позволит достаточно точно выделить блоки, которые содержат семантически важную информацию на аэрофотоснимке, что обеспечит повышение эффективности обработки и передачи информации в системе аэромониторинга.

1. Введение

Сегодня тенденция роста чрезвычайных ситуаций в современном мире предъявляет серьезные требования к системе аэромониторинга. Одним из основных требований является передача цифровых снимков с борта беспилотного летательного аппарата (БПЛА) на наземный комплекс, а также их дешифрирование в реальном времени. Это позволит своевременно обеспечить систему аэромониторинга данными о стратегических объектах, а также объектах военно-промышленного комплекса, пограничных территориях, аэропортах, энергетических и водных магистралях, территориях, на которых возможен вооруженный конфликт [1]. Однако значительное увеличение количества информации, а также ограниченные характеристики бортовых каналов передачи данных не позволяют в полной мере осуществить доставку информации в реальном времени. Несвоевременная доставка информации в процессе аэромониторинга приводит к ее устареванию, и, как следствие, к неправильному, ошибочному дешифрированию аэрофотоснимков и получению недостоверной информации профильными организациями. Таким образом, необходимость обеспечения своевременной доставки цифровых снимков, с заданным качеством, с использованием беспилотных бортовых средств аэромониторинга является *актуальной задачей*.

Анализ существующих технологий по обработке цифровых аэрофотоснимков [2 – 6] показывает, что методы бортовой обработки изображений не учитывают семантическую составляющую по-

следних и вносят значительные искажения в обрабатываемые фрагменты снимков [7]. В результате этого в процессе дешифрирования аэрофотоснимков усложняется выделение ключевых признаков, таких как: контуры, текстуры и границы объектов. При этом возникает необходимость предварительной обработки аэрофотоснимков на борту БПЛА, с учетом выделения на снимке семантически важных фрагментов, которые в дальнейшем будут передаваться с сохранением наибольшей информативности (т.е. с заданным качеством), а также с заданной пропускной способностью бортовых каналов связи.

Для решения подобной задачи предлагается в процессе бортовой обработки цифровых аэрофотоснимков применить технологию кластеризации. Такой подход позволит более эффективно обрабатывать большую совокупность аэрофотоснимков за счет предварительного распределения блоков аэрофотоснимков в признаковом пространстве.

Среди различных методов кластерного анализа [8 – 10] предлагается использовать метод K -средних. Выбор такого алгоритма связан с тем, что, во-первых, данный алгоритм прост в реализации, имеет большую скорость обработки исходных данных (в нашем случае множество блоков аэрофотоснимка), во-вторых, процесс кластеризации блоков аэрофотоснимка может происходить не по одной характеристике (показателю) блока, а за счет нескольких признаковых характеристик. Однако ввиду ограниченной мощности бортовой аппаратуры обработки и передачи данных БПЛА, в нашем случае, предлагается использовать два показателя. Очевидно, что применение двух признаковых показателей в процессе кластеризации блоков аэрофотоснимка даст необходимый результат.

Таким образом, предлагается на основе алгоритма кластеризации K -средних провести распределение блоков аэрофотоснимка в двухпризнаковом структурном пространстве, по кластерам, с учетом степени семантической насыщенности характерных блоков. В конечном итоге такой подход обеспечит повышение эффективности обработки и передачи информации, а также, в дальнейшем, приведет к уменьшению времени на дешифрирование и идентификацию объектов по всему цифровому аэрофотоснимку в системе аэромониторинга.

Целью исследования является разработка метода кластеризации блоков аэрофотоснимка в двух-

признаковом структурном пространстве в системе обработки информации.

2. Основной материал

Поскольку нам неизвестно к каким классам семантической насыщенности относятся блоки аэрофотоснимка, то применение методов кластеризации позволят классифицировать характерные блоки аэрофотоснимков [13] по степени семантической насыщенности. Здесь необходимо также отметить, что в конечном итоге результативность дешифрирования аэрофотоснимков будет зависеть от использования наиболее эффективного метода кластеризации.

В рамках исследований рассмотрим один из статистических методов кластерного анализа – метод K -средних. Слово "средние" в названии метода относится к центроидам кластеров, которые выбираются произвольно или по какому-либо правилу. Затем итеративно уточняются, пока не начнут представлять собой истинное среднее всех точек данных кластера. Буква " K " означает произвольное количество точек, используемых для формирования начальных значений процесса кластеризации.

Основная идея алгоритма состоит в определении принадлежности блоков аэрофотоснимков (на основе признаковых характеристик) кластерам с помощью минимизации разницы относительно блоков аэрофотоснимка в кластере и максимизации расстояния между центроидами кластеров.

Особенностью алгоритма является то, что он вычисляет центроиды кластеров методом последовательных итераций, перебирая принадлежность блоков аэрофотоснимка центроидам.

Проведем кластеризацию блоков аэрофотоснимка методом K -средних для того чтобы:

- получить распределение блоков аэрофотоснимков по кластерам;
- сравнить результаты кластеризации блоков аэрофотоснимка, которые получены автоматическим способом дешифрирования (без участия оператора), с результатами, полученными дешифрировщиком на основании визуального анализа.

Алгоритм кластеризации на основе метода K -средних сводится к следующим шагам:

Шаг 1. Предлагается выбрать количество кластеров $k=3$. Это объясняется тем, что в рамках исследования рассматриваются блоки аэрофотоснимков разных типов (контурные, текстурные, однородные), в которых учитывается степень насыщенности, а именно: слабонасыщенные,

средненасыщенные и сильнонасыщенные. Исходные блоки $b(p_{k,\ell})$, характеризующиеся показателем насыщенности $P_{ДКП}$ (далее используется как $p_{k,\ell}$), имеют свои координаты (k,ℓ) в аэрофотоснимке и переназначаются согласно их принадлежности как элемент кластера.

При кластерном анализе распределение блоков аэрофотоснимка по кластерам существенно зависит от абсолютных значений исходных данных. Следовательно, блоки аэрофотоснимка, характеризующиеся несколькими показателями, должны принадлежать единому признаковому пространству. В нашем случае показатель насыщенности $p_{k,\ell}^{(1)}$ и структурный показатель $p_{k,\ell}^{(2)}$ – разные по величине и по способу получения. Значит, необходимо применить нормировку или стандартизацию исходных значений показателей. Применение нормирования приведет к тому, что данные показатели станут равнозначными с точки зрения определения меры близости исследуемых блоков аэрофотоснимка.

На основе процедуры нормирования исходных показателей предлагается стандартизованные показатели $p'_{k,\ell}^{(1)}$ и $p'_{k,\ell}^{(2)}$, принадлежащие двухпризнаковому структурному пространству $P(2)_j$, заменить нормированным показателем $p'_{k,\ell}$, что представлено выражением:

$$b(p'_{k,\ell}^{(1)}, p'_{k,\ell}^{(2)}) \rightarrow b(p'_{k,\ell}), \quad (1)$$

где $b(p'_{k,\ell})$ – (k,ℓ) -й блок аэрофотоснимка, характеризующийся нормированным показателем $p'_{k,\ell}$.

При этом, с помощью операции сложения стандартизованных показателей $p'_{k,\ell}^{(1)}$ и $p'_{k,\ell}^{(2)}$ получим нормированный показатель $p'_{k,\ell}$ в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$:

$$p'_{k,\ell}^{(1)} + p'_{k,\ell}^{(2)} \rightarrow p'_{k,\ell} \in P(2)_j. \quad (2)$$

Таким образом, с помощью нормировки исходных значений показателя насыщенности $p_{k,\ell}^{(1)}$ и структурного показателя $p_{k,\ell}^{(2)}$ получены стандартизованные значения показателей $p'_{k,\ell}^{(1)}, p'_{k,\ell}^{(2)}$ в едином двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$, которые в дальнейшем предлагается объединить и использовать как единый нормиро-

ванный показатель $r'_{k,\ell}$. Далее перейдем к рассмотрению понятия кластера.

Под кластером понимается множество $M(2)_j$, состоящее из элементов $m_{i,j}$, в качестве которых выступают блоки $b(r'_{k,\ell})$ аэрофотоснимков, значения нормированных показателей $r'_{k,\ell}$ которых принадлежат признаковому структурному пространству $P(2)_j$, согласно выбранной метрике, что представлено формулой:

$$M_j = \{m_{1,j}^{(\gamma_3)}, \dots, m_{i,j}^{(\gamma_3)}, \dots, m_{n_j,j}^{(\gamma_3)}\}, i = \overline{1, n_j}; \quad (3)$$

$$m_{i,j}^{(\gamma)} = b(r'_{k,\ell}) \text{ при } r'_{k,\ell} \in P(2)_j,$$

где $m_{i,j}^{(\gamma_3)}$ – i -й элемент j -го кластера на завершительном шаге процесса кластеризации; γ_3 – номер завершительного шага процесса формирования кластерного множества; n_j – количество элементов в j -м кластере; $P(2)_j$ – двухпризнаковое структурное пространство j -го кластера.

Шаг II. На втором шаге определяются начальные центроиды C_1, C_2, C_3 .

Под центроидом $C_j^{(\gamma)}$ для j -го кластера на γ -м шаге процесса кластеризации, в нашем случае, понимается значение $\overline{r_j^{(\gamma)}}$ признаковой характеристики – нормированного показателя, являющегося средним значением среди всех элементов кластера.

В случае использования нормированного показателя $r'_{k,\ell}$ в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$ центроидом $C_j^{(\gamma_3)}$ на конечном этапе кластеризации является значение признаковой характеристики нормированного показателя, соответствующее среднему значению всех элементов сформированного кластера:

$$C_j^{(\gamma_3)} = \overline{r_j^{(\gamma_3)}},$$

где
$$\overline{r_j^{(\gamma_3)}} = \frac{1}{n_j^{(\gamma_3)}} \sum_{i=1}^{n_j^{(\gamma_3)}} r'_{i,j}. \quad (4)$$

Здесь $r'_{i,j}$ – нормированный показатель i -го элемента j -го кластера; $\overline{r_j^{(\gamma_3)}}$ – среднее значение по нормированному показателю среди всех элементов сформированного кластера на завершительном шаге процесса кластеризации; $n_j^{(\gamma_3)}$ –

количество элементов $m_{i,j}^{(\gamma_3)}$, которые принадлежат j -му кластеру на завершительном шаге процесса кластеризации.

Центроиды кластеров необходимы для вычисления на каждом шаге процесса кластеризации меры близости элементов. Это нужно для определения, к какому из кластеров принадлежит данный элемент.

Таким образом, для определения принадлежности (близости) элементов $m_{i,j}^{(\gamma)}$ центроиду $C_j^{(\gamma)}$ в кластере предлагается использовать:

- 1) показатель насыщенности $r_{k,\ell}^{(1)}$ исходных блоков аэрофотоснимков;
- 2) структурный показатель $r_{k,\ell}^{(2)}$ исходных блоков аэрофотоснимков.

Центроидом $C_j^{(\gamma)}$ на начальном шаге процесса кластеризации будет первый элемент, который выбирается как начальный блок кластера. Значит, центроид $C_j^{(0)}$ на начальном шаге соответствует первому элементу j -го кластера, что представлено формулой:

$$C_j^{(0)} = m_{1,j}^{(0)}, \quad (5)$$

где $C_j^{(0)}$ – центроид j -го кластера на начальном шаге процесса формирования кластера, $\gamma=0$; $m_{1,j}^{(0)}$ – первый элемент j -го кластера на начальном шаге процесса формирования кластера, $\gamma=0$. Начальные элементы кластеров выбираются с учетом нормированного показателя $r'_{k,\ell}$ начальных блоков $b(r'_{k,\ell})$ аэрофотоснимков. При этом значения показателей начальных блоков каждого кластера должны быть наиболее показательны (удалены друг от друга). Очевидно, что нормированные показатели $r'_{k,\ell}$, в зависимости от типа блоков, должны отличаться в наибольшей степени друг от друга.

В нашем случае сначала выбираются два элемента, нормированные показатели $r'_{k,\ell}$ начальных блоков аэрофотоснимков которых максимизируют начальные расстояния между кластерами. Далее берется среднее значение нормированных показателей $r'_{k,\ell}$ выбранных элементов и на его основании находится промежуточный элемент, показатели которого близки к этому среднему значению. Таким образом, значения нормиро-

ванных показателей $p'_{k,\ell}$ выбранных начальных блоков будут максимально отличаться друг от друга.

Шаг III. Третьим шагом определяется, к какому из центроидов оказывается ближе тот или иной блок $b(p'_{k,\ell})$ аэрофотоснимка.

Обозначим, что значение $\bar{p}_j^{(\gamma)}$ соответствует центроиду $C_j^{(\gamma)}$ j -го кластера на γ -м шаге процесса кластеризации. Первоначальное распределение блоков аэрофотоснимков $b(p'_{k,\ell})$ по кластерам происходит по принципу близости нормированного показателя $p'_{k,\ell}$ для (k, ℓ) -го блока к значению $\bar{p}_j^{(\gamma)}$ центроида $C_j^{(\gamma)}$.

В качестве метрики определения расстояния $d(2)_{\xi}^{(\gamma)}$ между блоком аэрофотоснимка $b(p'_{k,\ell})$ и начальным центроидом $C_j^{(\gamma)}$ j -го кластера по нормированному показателю $p'_{k,\ell}$ используется мера близости $D(2)_{Ev}$ Евклидово расстояние:

$$d(2)_{\xi}^{(\gamma)} = \sqrt{|p'_{k,\ell} - \bar{p}_{\xi}^{(\gamma)}|^2} = |p'_{k,\ell} - \bar{p}_{\xi}^{(\gamma)}|, \quad (6)$$

где $\bar{p}_{\xi}^{(\gamma)}$ – среднее значение по нормированному показателю среди всех элементов ξ -го кластера на γ -м шаге процесса кластеризации в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$.

Далее находится минимальное расстояние $d(2)_{\min}^{(\gamma)}$ (где $d(2)_{\xi}^{(\gamma)} = d(2)_{\min}^{(\gamma)}, \xi = \overline{1, 3}$) от блока $b(p'_{k,\ell})$ аэрофотоснимка относительно центроидов $C_1^{(\gamma)}, C_2^{(\gamma)}, C_3^{(\gamma)}$ в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$, на основе чего принимается решение относительно принадлежности текущего блока к кластеру.

При этом $p'_{k,\ell} \in \bar{p}_j^{(\gamma)}$ и $p'_{k,\ell} = p'_{i,j}$, если:

$$d(2)_{\min}^{(\gamma)} = \min_{1 \leq \xi \leq 3} d(2)_{\xi}^{(\gamma)}, \text{ таким что } j = \xi \text{ для}$$

$$d(2)_{\xi}^{(\gamma)} = d(2)_{\min}^{(\gamma)}.$$

Выражение $d(2)_{\min}^{(\gamma)} = \min_{1 \leq \xi \leq 3} d(2)_{\xi}^{(\gamma)}$ означает нахождение минимального расстояния $d(2)_{\min}^{(\gamma)}$ между блоком $b(p'_{k,\ell})$ и одним из трех центроидов в двухпризнаковом структурном пространстве

$P(2)_j$, что необходимо для определения, к какому из кластеров принадлежит текущий блок $b(p'_{k,\ell})$.

Из этого следует, что каждый блок $b(p'_{k,\ell})$ аэрофотоснимка относится к тому кластеру $M(2)_j$, к центроиду $C_j^{(\gamma)}$ которого он ближе всего в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$.

Обобщенный критерий эффективности всего процесса кластеризации позволяет оценить степень уменьшения ошибки относительно внутрикластерной близости центроида $C_j^{(\gamma)}$ и блоков $b(p'_{k,\ell})$ аэрофотоснимков в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$. Он может быть рассчитан как сумма квадратичных ошибок, что представлено выражением:

$$E(2)^{(\gamma)} = \left[\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j^{(\gamma)}} (p'_{i,j} - \bar{p}_j^{(\gamma)})^2 \right], \quad (7)$$

где k – число кластеров; $n_j^{(\gamma)}$ – количество элементов $m_{i,j}^{(\gamma)}$, которые принадлежат j -му кластеру; при этом $n_j^{(\gamma+1)} = n_j^{(\gamma)} + 1$.

Эффективность процесса кластеризации аэрофотоснимка определяется как минимизация функции $E(2)^{(\gamma)}$: $E(2)^{(\gamma)} \rightarrow \min$.

Очевидно, что чем ближе блоки $b(p'_{k,\ell})$ аэрофотоснимков относительно центроида сформированного кластера, тем более качественно проведен процесс кластеризации. При этом значение функционала $E(2)^{(\gamma)}$ будет стремиться к нулевой отметке.

Шаг IV. Проводится переназначение центроида $C_j^{(\gamma+1)}$ для j -го кластера на $(\gamma+1)$ -м шаге процесса кластеризации.

На каждом шаге процесса кластеризации, с учетом добавления i -го элемента к j -му кластеру, происходит переназначение центроида $C_j^{(\gamma)}$ в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$.

В нашем случае центроид $C_j^{(\gamma+1)}$ на $(\gamma+1)$ -м шаге процесса кластеризации при добавлении i -го элемента к j -му кластеру переназначается с учетом своего текущего значения $\bar{p}_j^{(\gamma)}$ и нормиро-

ванного показателя $p'_{i,j}$ элемента, являющегося наиболее близким к значению центроида $C_j^{(\gamma)}$. Этот процесс включает в себя уточнение среднего значения $\bar{p}'_j^{(\gamma+1)}$ на $(\gamma+1)$ -м шаге процесса кластеризации между текущим значением $\bar{p}'_j^{(\gamma)}$ центроида и нормированным показателем $p'_{i,j}$ элемента, что представлено выражением:

$$\bar{p}'_j^{(\gamma+1)} = \frac{\bar{p}'_j^{(\gamma)} + p'_{i,j}}{2}. \quad (8)$$

Процесс кластеризации блоков $b(p'_{i,j})$ аэрофотоснимков заканчивается тогда, когда распределены по кластерам все блоки аэрофотоснимков или состав блоков в кластерах не меняется.

Таким образом, на завершительном шаге процесса кластеризации центроид $C_j^{(\gamma_3)}$ сформированного кластера будет соответствовать среднему значению $\bar{p}'_j^{(\gamma_3)}$ среди всех элементов $m_{i,j}^{(\gamma_3)}$ кластера.

В результате процесса кластеризации цифровых аэрофотоснимков, в двухпризнаковом структурном пространстве $P(2)_j$, сформированы кластеры с распределенными блоками аэрофотоснимка по степени семантической насыщенности, а именно: слабонасыщенные, средненасыщенные и сильнонасыщенные. Основываясь на полученных данных, в процессе дешифрирования аэрофотоснимка оператор-дешифровщик может сравнивать результаты кластеризации блоков аэрофотоснимка, которые получены автоматическим и визуальным способами дешифрирования.

3. Выводы

1. Разработан метод кластеризации блоков аэрофотоснимка в двухпризнаковом структурном пространстве в системе обработки информации. Метод основывается на использовании алгоритма кластеризации K -средних, с помощью которого проведено распределение блоков аэрофотоснимка в двухпризнаковом структурном пространстве по кластерам, в которых учитывается степень семантической насыщенности характерных блоков.

2. Предложенный метод позволяет:

– обрабатывать большую совокупность аэрофотоснимков путем предварительного распределения блоков аэрофотоснимков в двухпризнаковом пространстве;

– выделять кластеризированные блоки аэрофотоснимка по степени семантической насыщенности, что позволит дешифрировать аэрофотоснимки с учетом выделенных семантически значимых признаков (контур и границы объектов, текстура и однородные участки);

– выделять на аэрофотоснимке семантически важные фрагменты, которые в дальнейшем будут передаваться с заданным качеством по бортовым каналам связи.

Таким образом, именно данный подход позволит оператору – дешифровщику сократить время для определения отдельных текстурных структур, однородных областей, а также объектов на аэрофотоснимках в целом.

Литература: 1. Мосов С. Аэрокосмическая разведка в современных военных конфликтах: Монография / С.Мосов. К.: Изд. дом. «Румб», 2008. 248 с. 2. Сэлмон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэлмон. М: Техносфера, 2004. 368 с. 3. Баранник В.В. Обоснование значимых угроз безопасности видеоинформационного ресурса систем видеоконференцсвязи профильных систем управления / В.В. Баранник, А.В. Власов, С.А. Сидченко, А.Э. Бекиров // Информационно-управляющие системы на ЖД транспорте. 2014. №3. С. 24 – 31. 4. Баранник В.В. Методология позиционирования полиадических кодовых конструкций на основе классифицирующих признаков в системе криптокомпрессионного представления / В.В. Баранник, С.А. Сидченко, И.М. Тупица, Н.А. Королева // Информационно-управляющие системы на ЖД транспорте. 2015. №5. С. 56 – 60. 5. Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э. Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р.Э. Вудс. М.: Техносфера, 2006. 1072 с. 6. Баранник В.В. Метод повышения информационной безопасности в системах видеомониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, О.С. // Монография. Черкассы, 2015. 143 с. 7. Баранник В. В. Метод повышения доступности видеоинформации аэромониторинга / В. В. Баранник, О.С. Кулица // Радиоелектронні комп'ютерні системи. №3. 2013. С. 17 - 20. 8. Близоруков М. Г. Количественные методы анализа многомерных величин / Близоруков М. Г. Урал-Сибирский институт бизнеса. Издательство АМБ, 2006. 68 с. 9. Баранник В.В. Структурная модель информативности значимых компонент трансформант / В.В. Баранник, В.Н. Кривонос, А.В. Хаханова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2013. №2(99). С. 26-29. 10. Баранник В.В. Метод повышения доступности видеоинформации аэромониторинга / В.В. Баранник, О.С. Кулица // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. №3. 2013. С. 17–20. 11. Власов А.В. Анализ методов определения границ объектов на изображениях и их классификация / А.В. Власов, В. В. Баранник, А.В. Яковенко // Сучасна спеціальна техніка. 2012. Вып. №3 (30). С. 17 - 27. 12. Баранник В.В. Обоснование рекомендаций для методологии оценки эффективности принятия решений в процессе аэромониторинга / В.В. Баранник, А.П. Мусиенко // Открытые компьютерные

информационные интегрированные технологии, 2015. Вып. 69. С. 12 - 21. **13. Баранник В.В.** Метод кластеризации фрагментов аэрофотоснимков в спектрально-частотном пространстве // Баранник В.В., Мусиенко О.П., Яливец К.С. // Наукоемні технології, 2016. №29 (1). 2016. С. 23 – 30.

Transliterated bibliography:

1. *Mosov S.* Aerokosmicheskaya razvedka v sovremennykh voennykh konfliktakh: monografiya / S.Mosov. K.: Izd. dom. «Rumb», 2008. 248 s.

2. *Selomon D.* Szhatie dannykh, izobrazheniy i zvuka / D. Selomon. M: Tehnosfera, 2004. 368 s.

3. *Barannik V.V.* Obosnovanie znachimyykh ugroz bezopasnosti videoinformatsionnogo resursa sistem videokonferentssvyazi profilnykh sistem upravleniya / V.V. Barannik, A.V. Vlasov, S.A. Sidchenko, A.E. Bekirov // Informatsionno-upravlyayushchie sistemy na ZhD transporte. 2014. #3. S. 24 – 31.

4. *Barannik V.V.* Metodologiya pozitsionirovaniya poliadicheskikh kodovykh konstruksiy na osnove klassifitsiruyushchikh priznakov v sisteme kriptokompressionnogo predstavleniya / V.V. Barannik, S.A. Sidchenko, I.M. Tupitsa, N.A. Koroleva // Informatsionno-upravlyayushchie sistemy na ZhD transporte. 2015. #5. S. 56 – 60.

5. *Gonsales R.S., Vuds R.E.* Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy / R.S. Gonsales, R.E. Vuds. M.: Tehnosfera, 2006. 1072 s.

6. *Barannik V.V.* Metod povyisheniya informatsionnoy bezopasnosti v sistemakh videomonitoringa krizisnykh situatsiy / V.V. Barannik, Yu.N. Ryabuha, O.S. // Monografiya. Cherkassiy, 2015. 143 s.

7. *Barannik V. V.* Metod povyisheniya dostupnosti videoinformatsii aeromonitoringa / V. V. Barannik, O.S. Kulitsa // Radioelektronni komp'yuterni sistemi. #3. 2013. S. 17 - 20.

8. *Blizorukov M. G.* Kolichestvennyye metody analiza mnogomernyykh velichin / Blizorukov M. G. Uralo-Sibirskiy institut biznesa. Izdatelstvo AMB, 2006. 68 s.

9. *Barannik V.V.* Strukturnaya model informativno-sti znachimyykh komponent transformant / V.V. Barannik, V.N. Krivonos, A.V. Hahanova // Informatsionno-keruyuchi sistemi na zallz nichnomu transporti. 2013. #2(99). S. 26-29.

10. *Barannik V.V.* Metod povyisheniya dostupnosti videoinformatsii aeromonitoringa / V.V. Barannik, O.S. Kulitsa // Radioelektronnyye i kompyuternyye sistemy. #3. 2013. S. 17–20.

11. *Vlasov A.V.* Analiz metodov opredeleniya granits ob'ektov na izobrazheniya i ih klassifikatsiya / A.V. Vlasov, V. V. Barannik, A.V. Yakovenko // Suchasna spetsialna tehnika. 2012. Vyip. #3 (30). S. 17 - 27.

12. *Barannik V.V.* Obosnovanie rekomendatsiy dlya metodologii otsenki effektivnosti prinyatiya resheniy v protsesse aeromonitoringa / V.V. Barannik, A.P. Musienko // Otkrytyie kompyuternyye informatsionnyye integrirovannyye tehnologii, 2015. Vyip. #69. S. 12 - 21.

13. *Barannik V.V.* Metod klasterizatsii fragmentov aerofotosnimkov v spektralno-chastotnom prostranstve // Barannik V.V., Musienko O.P., Yalivets K.S. // Naukoeumni tehnologii, 2016. T. #29 (1). 2016. S. 23 – 30.

Поступила в редколлегію 11.08.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры Харьковского университета Воздушных Сил им. И. Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79, тел. 8 050-3038971.

Мусиенко Александр Павлович, адъюнкт кафедры Харьковского университета Воздушных Сил им. И. Кожедуба. Научные интересы: кодирование и семантическая обработка изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79, тел. 8 093-7103877.

Жуйков Дмитрий Борисович, канд. техн. наук, доцент кафедры Харьковского университета Воздушных Сил им. И. Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

Barannik Vladimir Viktorovich, Dr. of Tech. Sciences, Professor, Head of Department, Kharkiv University of Air Force named after I. Kozheduba. Scientific interests: systems, technologies of transformation, coding, protection and transmission of information. Address: Ukraine, 61023, Kharkov, Sumskaaya st., 77/79, tel. +38050-3038971.

Musienko Aleksandr Pavlovich, adjunct, Kharkiv University of Air Forces named after I. Kozheduba. Scientific interests: coding and semantic image processing. Address: Ukraine, 61023, Kharkov, Sumskaaya st., 77/79, tel. 8 093-7103877.

Zhuikov Dmitry Borisovich, PhD, Docent, Kharkov University of Air Force named after I. Kozheduba. Scientific interests: systems, technologies of transformation, encoding, protection and information transmission. Address: Ukraine, 61023, Kharkov, Sumskaaya st., 77/79.

Предлагаются основные направления устойчивого развития киберфизического транспортного компьютеринга, связанные со средствами телекоммуникаций, точного позиционирования, online e-картографии, дифференциальной навигации, Internet of Car (е-инфраструктура автомобиля, дорог и облачных сервисов. Представлены компоненты киберфизической системы мониторинга и управления дорожным движением в реальном времени, которая основывается на использовании глобальных систем позиционирования и навигации (GPS, GPRS), интеллектуальных дорожных контроллеров, средств радиочастотной идентификации автомобилей и инфраструктуры дорожного движения.

1 Облачный компьютеринг и системы управления транспортом

В современном мире развивается е-инфраструктура дорожного движения в рамках сравнительно нового понятия Internet of Car. В [1-7] представлена информация об использовании существующих и будущих е-инфраструктур для улучшения качества жизни людей. Разработка е-инфраструктуры для организации и проведения научных исследований является одним из ключевых направлений на рынке электронных технологий. Одним из примеров применения е-инфраструктуры являются научно-образовательные мероприятия, которые основываются на использовании облачных или web-сервисов в режиме online. Кроме того, е-инфраструктура является необходимым условием в настоящее время для функционирования государственных и социальных служб, для создания умных правительств, городов, домов, а также мониторинга и управления транспортными потоками в режиме online. Кроме того, создание электронной инфраструктуры дает возможность создавать временные творческие коллективы, включающие специалистов из различных сфер деятельности, в том числе и из других стран для решения сложных научно-технических проблем, предполагающих наличие облачных сервисов, а также умных вещей для сбора, хранения, анализа больших данных, реализации сервисов моделирования на основе использования современных специализированных логических процессоров [8]. Одним из примеров, подтверждающих значимость е-инфраструктуры является создание институции, которая называется The European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI). Данная организация координирует усилия европейских

университетов и компаний для создания стандартов и прототипов е-инфраструктур, направленных на обеспечение дефективного и квази-оптимального функционирования киберфизических сервисов, связанных с проблемами мониторинга и управления во всех сферах человеческой деятельности. Современное представление е-инфраструктуры в Европе включает сеть вычислительных и информационных дата центров, облачные сервисы, гаджеты аутентификации, авторизации и интерфейсные связи с облаками [9, 10].

Практика последних 10 лет свидетельствует о востребованности е-инфраструктуры и облачных сервисов для большей части населения планеты в режиме online 24/7 [11-15]. Облачные сервисы [16] обеспечивают легкий масштабируемый доступ к приложениям, ресурсам и услугам, которые полностью управляются провайдером облачных сервисов. Свойство динамического масштабирования занимает ключевое значение для удовлетворения потребностей пользователей и заказчиков [17], которое так же позволяет существенно сократить расходы на развертывание собственных ресурсов и выделения персонала для управления службой.

В современном мобильном мире с высокой пропускной способностью и повсеместным доступом к сети, пользователи могут свободно сотрудничать через границы, таким образом в создающейся среде должны быть четко описаны границы области доступа к данным и услугам для участников разных частных и государственных организаций. Следовательно, доверие и идентичность занимает ключевую позицию в качестве отдельного слоя в е-инфраструктуре экосистемы. Федеративные авторизации и аутентификации инфраструктуры упрощают доступ к меж-организационным ресурсам, позволяя контролировать безопасный доступ [18] к разнообразно расположенным источникам, что позволяет обеспечить пользователям надежную среду хранения ценных и целостных данных без всякого ущерба. Данный слой соединяет мощность вычислительной сети и инфраструктуры данных, создавая открытое, надежное и безопасное европейское пространство.

В [19] представлено стратегическое видение британской электронной инфраструктуры, где е-инфраструктура — это объединения политических, технологических и административных служб для легкого и экономически эффективного, совместного использования распределенных электронных ресурсов. Е-инфраструктуру следует рассматривать как живую экосистему, которая является открытой и

доступной для международных сотрудничеств и постоянно адаптируется к изменяющимся требованиям жизни. Прорывы в создании отдельных компонентов электронной инфраструктуры должна освободить ученых от сложных и отвлекающих бизнес-вычислений. Следует отметить, что для благополучного развития исследований в этой области [20] важна открытая конкуренция, сотрудничество и технологические инновации. Е-инфраструктура может быть установлена только путем совместного и действительно общего стратегического плана усилий между пользователями и организациями, участвующих в разработке и эксплуатации электронных инфраструктур. Достижения значительного прогресса на пути к развитию е-инфраструктуры осуществляется за счет инвестирования: в 2011 году британское правительство выделило 160 млн £ в области высокопроизводительных вычислений и сетей; в 2012 году 189 млн £ для работы с большими объемами данных и энерго-эффективных вычислений.

Таким образом, е-инфраструктура в Великобритании сегодня является сложным взаимодействием сервисов, электронных устройств, сетей, услуг передачи данных, кибербезопасности и навыков людей, которые создают работу электронной инфраструктуры. Как показывает практика способность генерировать, собирать и обрабатывать большие данные для эксплуатации в промышленности, в научных кругах и государственных учреждениях дает реальную возможность повысить конкурентоспособность и рост экономики каждого государства.

Е-инфраструктура имеет решающее значение для инноваций в целом ряде отраслей, например, она играет важное значение полного использования возможностей и экономии ресурсов [21], которые приносят технологические разработки. Так же занимает важное значение в экосистеме ресурсов, что позволяет выполнять крупномасштабное моделирование, анализ и визуализацию больших данных. Е-инфраструктура относится к экосистеме ресурсов, которая осуществляет распределенное сотрудничество, крупномасштабное моделирование, вычисления и анализ больших данных, включает в себя разработку и использование передовых инструментов для использования потенциала имеющихся данных и ресурсов (рис. 1).

В [22] рассматривается история развития систем управления городским транспортом и описывается использование компьютерных систем для управления трафиком. Показано, что повышение производительности компьютеров, появление LAN-сетей и облачных вычислений (cloud computing) позволило усовершенствовать техно-

логии управления, прошедшие путь развития от централизованных моделей до распределенных систем на основе мобильных гаджетов и облачных технологий.

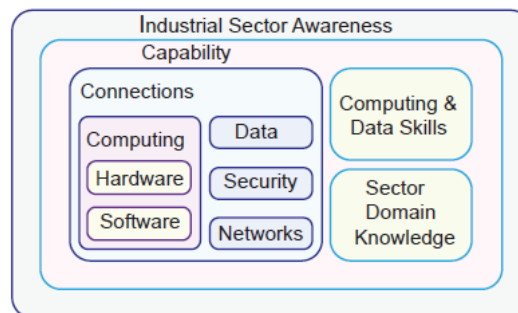


Рис. 1. Представление компонентов Е-инфраструктуры

Предложена система PtMS (parallel transportation management systems), ядром которой является «Artificial transportation system». Здесь параллельно с действующей транспортной системой используется виртуальная среда, которая включает базы данных со стандартными шаблонами управления трафиком, агентами и сценариями движения. В качестве мобильных сенсоров выступают любые детекторы трафика. Суть исследования сводится к интеллектуальной облачной обработке дорожных ситуаций, которые отслеживаются дорожными сенсорами. Актуаторные воздействия по управлению трафиком принимаются на основе заранее прописанных алгоритмов и стратегий. В случае отсутствия шаблона решения сложная задача декомпозируется на более простые. Преимущества. Данный подход “local simple, remote complex”, предложенный в статье, ориентирован на интеллектуальную организацию управления транспортом в рамках Smart Cloud Traffic Control. Предложенная PtMS является составной частью системы «Adapt» (Adaptive Platforms for Transportation Systems), которая состоит из 3 уровней: организации, координации и выполнения заданий по обработке дорожных ситуаций. Организационный уровень представлен 4 функциями: декомпозиция задачи, планирование, инкапсуляция и управление. Это дает возможность существенно повысить качество принимаемых регуляторных воздействий за счет усложнения алгоритмов. Недостатки. За определенный промежуток времени можно обработать ограниченное количество перекрестков. Для запуска и тестирования системы на сервере накладываются существенные ограничения по вычислительной мощности и памяти. Такие ограничения не соответствуют реальным дорожным условиям в крупных городах, поэтому система должна использовать несколько серверов для online решения задач

управления транспортом на большом количестве перекрестков. Для хранения данных о трафике и дорожных ситуациях необходимы дата центры. В статье предложено два решения данной проблемы: оборудовать центры суперкомпьютерами [23], либо использовать технологии облачных вычислений, таких как Google's Map-Reduce, IBM Blue Cloud и Amazon.

В [24] рассматривается стандарт IEEE 802.21, который поддерживает разные типы систем беспроводной связи, такие как семейство IEEE 802.11, IEEE 802.16 (WiMAX) и технологии сотовой передачи данных, разработанные группами 3GPP и 3GPP2. IEEE 802.21 предоставляет независимую передачу – Media Independent Handover (МИН) данных в сотовых сетях. Фреймворк IEEE 802.21 состоит из компонентов: функция МИН (МИНФ) и Service Access Points (SAP). Функция МИН является модулем, который разрабатывается для того, чтобы предоставить теоретические сервисы на более высоких уровнях посредством независимого медиа-интерфейса. МИНФ состоит из трех основных сервисов: сервис медиа-независимых событий (MIES), сервис медиа-независимых команд (MICS), сервис медиа-независимой информации (MIIS). Стандартные сервисные точки доступа и сервисные примитивы позволяют приложениям МИНФ иметь общий доступ к разнородным медиа-слоям. Предлагается система FANSCI (fast handover scheme for car-to-car communication), предназначенная для адаптации стандарта IEEE 802.21 передачи данных, необходимых для непрерывной и бесперебойной связи в гетерогенных сетях. FANSCI состоит из двух компонентов: вышка (устанавливается в центре управления сетью) и автомобильный компонент (устанавливается в автомобиле), реализация FANSCI продемонстрирована на рис. 2.

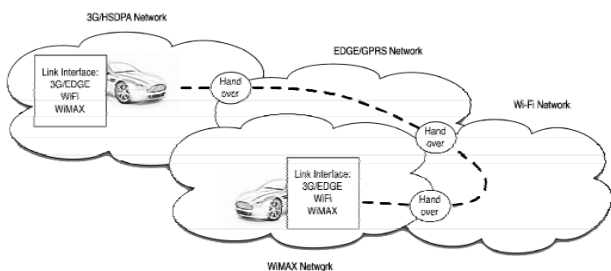


Рис. 2. Реализация FANSCI

Автомобильный компонент включает в себя: коммуникационный модуль Car-to-Car (состоящий из менеджера соединения, коллектора GPS-информации, коллектора данных с сенсоров автомобиля, коллектора информации о двигателе) и модуль обработки данных на клиентской стороне (состоящий из менеджера инициации связи, трекера сигнала, буферного компьютера и модуля передачи данных). Компонент вышки включает: коммуникационный модуль Car-to-Car (со-

стоящий из обработчика трафика, менеджера аутентификации, менеджера маршрутизации) и предлагаемый модуль для передачи данных (состоящий из менеджера запросов на передачу данных, функциональный МИН модуль, буфер трафика и редиректор трафика). С технологической точки зрения, технология FANSCI может быть имплементирована в любые беспроводные сети, так как она основана на стандарте IEEE 802.21, который базируется на IEEE 802.11 (Wi-Fi) и IEEE 802.16 (WiMAX). Водитель может постоянно получать информацию о пробках, дорожной ситуации, других машинах, едущих по перекрестку, неисправных двигателях автомобилей, едущих впереди и других, находящихся поблизости, а также о доступных гетерогенных сетях. Внедрение технологии FANSCI для осуществления коммуникации между автомобилями способствует созданию беспилотных автомобилей.

В [25] демонстрируется облачный контроль для принятия соответствующих мер по избежанию опасного вождения. Автономные транспортные средства, движущиеся в городской среде, обрабатывают информацию и принимают решения, касающиеся движения в режиме «stop-and-go», согласно дорожным знакам и правилам, обгона других ТС, смены полосы движения, входа и выхода из потока трафика. Автономные ТС оборудованы различными типами радаров, инерциальной навигацией, системой GPS, компасом и системами управления, которые как правило, стоят намного дороже самих ТС. Предложен новый control algorithm-cloud, который обладает хорошей производительностью и гибкостью. Для создания системы автономного вождения решаются три задачи: 1) самостоятельное управление автомобилем, которое включает в себя старт, ускорение, замедление движения, резкие или плавные повороты. 2) движение автомобиля вдоль дороги или по центру. 3) безопасное вождение в трафике, которое требует механизма определения препятствий как для водителя, так и для пешехода. Программная архитектура состоит из четырех частей: интерфейс сенсоров для дороги, сбор информации о полосе движения и препятствиях, планировщик маршрута и интерфейс ТС. Аппаратная архитектура так же состоит из четырех частей: Sensor Layer, Preprocess Layer, Integration Layer and Vehicle Layer. Для предотвращения столкновений, автоматически управляемые автомобили должны уметь распознавать ситуацию на полосе проезда, а также на соседних полосах так, как это делает водитель, для безопасного вождения. Для этого в облачном алгоритме управления (control algorithm-cloud) используется метод MOR (My Own Range). В нор-

мальных условиях, для получения MOR, необходимо рассчитать угол и расстояние между машиной и препятствиями, которые обнаруживаются с помощью ультразвуковых датчиков и камер. Однако, есть особые случаи, например, когда машина, едущая по соседней полосе, имеет намерение осуществить смену полосы, включив сигнал поворота. В таких ситуациях необходимо сделать некоторое прогнозирование. Его можно осуществить, отталкиваясь от дистанции и угла поворота впереди идущего автомобиля. Также намерения о дальнейшем движении можно определить за счет режимов вождения, которые в статье разделяют на 4 основных: 1) нормальное вождение, 2) замедление и торможение, 3) обгон с левой полосы, 4) обгон с правой полосы. Вычисляются корректные команды для ускорения, торможения и рулевого управления. Эта задача выполняется с помощью контроллеров скорости и рулевого управления. Основываясь на правилах, сгенерированных с помощью анализа параметров всех контроллеров, можно выполнять команды движения и осуществлять безопасное движение в потоке трафика с использованием облачного управления.

2 Модели городских инфраструктур дорожно-го движения

В [26] предлагается инновационный механизм параллельного сетевого управления трафиком для облачных вычислений, основанный на планировщике пакетов НТВ (Hierarchical Token Buckets). Отличием между облаком и традиционными центрами данных является масштаб трафика данных и одновременный доступ пользователей. Облако должно гарантировать доступ ко всем ресурсам и услугам, посредством настроенных SLA. Однако в облаке могут быть сотни тысяч пользователей, которые одновременно обращаются к ресурсу, что создает чрезвычайно сильное давление на облако. Для использования облачных технологий требуются большие полосы пропускания, однако на сегодняшний день с помощью НТВ можно достичь лишь скоростей 0,5 Gbps, что делает невозможным применение данного метода в облаках. Для решения данной проблемы можно использовать механизмы программного и аппаратного распараллеливания обрабатываемых данных на многоядерных процессорах, при условии использования многоуровневой сетевой структуры и модификации последовательного кода для параллельной обработки. Используется технология параллелизации многоядерных процессоров FIFO без блокировки. Результаты моделирования подтверждают, что параллельная пропускная способность НТВ, основанный на FIFO без блокировки, может легко превысить скорость 1 Гбит/с

и достичь максимальной скорости 2 Гбит/с, увеличив производительность до 300% по сравнению с традиционным НТВ. Данная технология разрабатывалась только под Linux, задачи работы с другими операционными системами не рассмотрены.

В [27] представлен подход управления светофором, с помощью агента, который эффективно управляет движением в соответствии с его текущим состоянием. В рассматриваемой дорожной инфраструктуре каждый агент контролирует светофор на перекрестке по циклу «наблюдение-решение-действие»: агент наблюдает за текущим состоянием движения в узле, затем использует полученную информацию для сравнения с правилами движения и эффективного управления потоком. Значительно сокращено среднее время задержки каждого автомобиля на светофорах по сравнению с другими подходами. Чтобы упростить задачу управления движением, мир реальных агентов заменяется виртуальным симулятором движения. Агент, предложенный в работе для управления светофором, состоит из трех компонентов: наблюдателя движения, базы знаний и механизма вывода. Были проведены эксперименты с контролем движения в нескольких соединенных узлах, получен результат: значительно сокращает среднее время задержки каждого автомобиля на светофорах.

Многие исследователи пытаются модернизировать текущую систему трафика с фиксированными временными задержками светофора в интеллектуальную систему с временной задержкой в зависимости от частоты трафика. Были созданы математические модели для светофоров, а затем классические алгоритмы и идеи, которые использовались для управления световым сигналом. Изобретение [28] включает микропроцессор, устройство ручного ввода, принудительное коммутационное устройство и интеллектуальное устройство обнаружения. Система может автоматически регулировать параметры управления светофором в соответствии с изменениями в потоке транспорта в разных направлениях, повышая эффективность движения на перекрестках. В работе [29] представлена нейронная сеть (НС) служит основой для законов управления, при этом оценка веса НС, происходящая в режиме реального времени в замкнутом режиме, осуществляется с помощью алгоритма стохастической аппроксимации одновременного возбуждения состояний. Процедура обучения может длиться месяцы или даже годы. Результаты моделирования показали 10%-ное сокращение времени ожидания транспортных средств. Были размещены 2 электромагнитных датчика на каждой полосе для подсчета количества прохо-

дящих транспортных средств. Предложен контроллер нечеткой логики, который отвечает за продолжительность зеленого света в соответствии с условиями трафика, и конечный автомат для управления последовательностью состояний, через который должен циклически проходить контроллер нечеткого трафика. В [30, 31] предложен новый подход к точному прогнозу трафика на перекрестке с помощью технологии беспроводных сенсорных сетей включающих взаимодействие умных узлов: управления, индикаторы и транспортных средств. В [32-34] предложен интегральный контроллер скорости и алгоритм управления перегрузкой, предназначенный для интернета, для решения проблемы перегруженности на интересующем участке дороги сложной дорожной сети. Предложено два типа устройств, установленных вдоль дороги, на въезде и выезде сегмента дороги для контроля объема трафика и светофоров. При выборе состояния светофора устройства выполняют «опрос» предварительно состояний трафика и динамически устанавливают периоды времени для сигналов светофора в зависимости от условий прибывающего потока. Учитывается также обратная связь от условий убывания потока. Опыт последних лет свидетельствует о том, что конструирование традиционных дорожных инфраструктур и использование исключительно традиционных подходов к управлению не только дорого, но и неэффективно решает вопрос транспортных перегрузок. Анализ показал, что одной из важных причин заторов на дорогах является неэффективное управление транспортным потоком. Состояния светофора должно динамически подстраиваться под условия трафика в режиме реального времени.

Интеллектуальная система управления движением [35-36] использует репликацию двухпроцессорной интеллектуальной системы в FPGA для отслеживания частоты трафика. Существуют различные способы контроля трафика, например, обработка видеозображения [37], подсчет транспортных средств через пересекающиеся массивы датчиков приближения – касания. Новая структура управления трафиком – мобильная интеллектуальная система управления трафиком (MITCS), разработанная для Тайваня, предложена в [38]. Аналогичным образом, интеллектуальная система управления трафиком работает в Пекине под названием SCOOT [39]. Авторы стремятся создать интеллектуальную систему, понимающую транспортное движение и сигнальную систему движения, которая воспринимает трафик, используя набор бесконтактных датчиков и сенсорных датчиков, установленных на дороге, вычисляет плотность, используя код,

встроенный в микроконтроллер, и применяет изменение On-The-Go. Эта система изменяет задержки, применяемые в текущем рабочем цикле светофора для максимального комфорта участников дорожного движения. Визуализация осуществляется с помощью светодиодов высокой интенсивности.

В [40] представлена система управления трафиком, где нагрузка дорожного потока непрерывно измеряется датчиками, подключенными к системе на базе микроконтроллеров. Светофоры связаны между собой сетью, через которую происходит обмен информацией о нагрузке и синхронизации. Продолжительность каждого цикла светофора изменяется динамически. Структура системы состоит из трех модулей. В первом частота трафика определяется датчиками приближения или сенсорными датчиками на основе магнитного захвата. Во втором модуле запрограммированный встроенный процессор определяет задержки сигналов светофора в соответствии с частотой трафика. В третьем модуле выходные данные от разных портов микроконтроллера поступают на разные светофоры. Датчик, сенсор создает ток в пружинной катушке. Интеллектуальная система управления трафиком, показанная на рис. 3, работает следующим образом: 1) Датчики приближения посылают импульс каждый раз, когда автомобиль приближается к нему. 2) Импульс усиливается и преобразуется в цифровой импульс. 3) Выход подается на микроконтроллер. 4) В соответствии с количеством активированных датчиков определяется время остановки и перехода. 5) Изменение времени осуществляется в одном цикле.

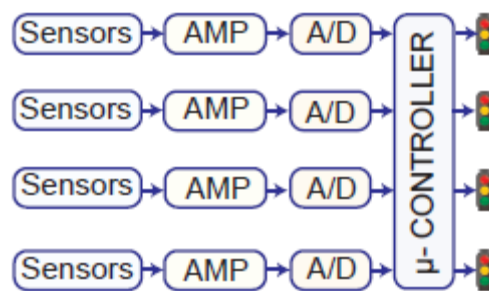


Рис. 3. Интерфейс датчика с микроконтроллером
В этом недорогом прототипе были использованы малогабаритные датчики приближения и светодиоды для терминалов светофора. Но в реальности порт микроконтроллера не может управлять высокомоощными световыми лампами. Это можно сделать при помощи реле, которое переключается через транзистор. Число устройств обнаружения трафика со светофорами может быть увеличено за счет использования чипа интерфейса 8255 PPI с портом микроконтроллера. Преимуществом данной системы является низкая стоимость – 400 долларов США и высокая точ-

ность, в то время как существующие системы стоят свыше 30 000 долларов.

В [41-43] предложено управление сигналами светофора за счет вычисления параметров нечеткого управления трафиком нейросети. В [44-45] используются интеллектуальные агенты с возможностью Q-learning для управления одним пересечением. Результаты моделирования показали, что эти подходы лучше, чем метод управления с фиксированным временем. Показана самообучающаяся модель управления светофором, которая основана на нечеткой кластеризации и генетическом алгоритме. Используются теория нечеткой логики и машинное обучение. Путем нечеткой кластеризации схемы управления помещают числа прибывающих автомобилей в базу данных в виде набора правил. Они определяют управление сигналом в определенных дорожных ситуациях в соответствии с опытом и принципами управления трафиком. Генетический алгоритм используется для улучшения набора переменных правил и является частью процесса управления сигналами, выполняя роль расчета оптимального управления. В [46] представлена скоординированная система управления дорожным движением на основе мультиагента. Она имеет ту же структуру, что и модель в [47-49], которая представляет собой систему управления стилем пирамиды с тремя уровнями, которые представляют собой глобальное, групповое и индивидуальное планирование сверху вниз.

В [50] реализована распределенная и скоординированная система управления сигналами движения, которая основывается на мультиагентах (DTCMAS) без центра управления. Каждый перекресток контролируется локальным агентом независимо друг от друга, однако связь между ними существует, и она происходит в смежных перекрестках. Таким образом, если масштаб дорожной сети увеличивается, сложность алгоритма управления остается прежней. Внутренняя структура агента показана на рис. 4.

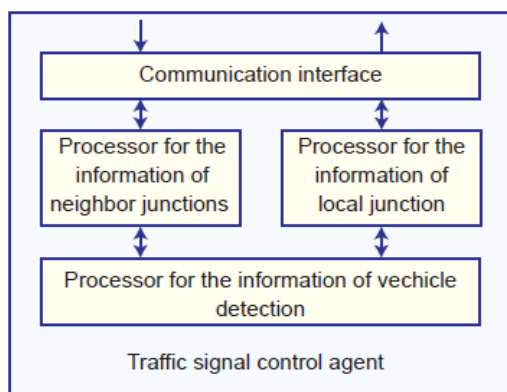


Рис. 4. Структура агента управления сигналами

Каждый агент управления сигналами состоит из частей: интерфейс связи, процессоры соседних соединений, локального соединения и обнаружения автомобиля.

Поскольку каждый агент содержит базу данных и механизм рассуждений, DTCMAS не только полностью учитывает информацию о состоянии движения на перекрестках, но также выполняет глобальную оптимизацию для управления движением дорожной сети и уменьшает сложность алгоритма управления. Результат моделирования показывает, что подход управления сигналами DTCMAS уменьшает общую задержку остановки автомобилей в среднем на 37,8% по сравнению с методами фиксированного времени и снижает общую задержку автомобилей в среднем на 17,8%, по сравнению с другими методами при тех же условиях.

3 Системы позиционирования и навигации транспортных средств

В [51] рассматривается проблема роста количества автомобилей в городе, а также несоответствие пропускной способности дорог такому интенсивному росту. Предлагается использовать системы динамической (DVNS) и статической (SVNS) навигации [52] для мониторинга и управления транспортными средствами. Дорожная сеть и архитектура динамического трафика с использованием пространственно-временной модели данных, может быть описана с помощью технологий: 1) сопоставления и слияния пространства мульти-модального дорожного трафика и атрибутов информации; 2) обновления информации о дорожной сети для разных промежутков времени; 4) создания базы данных масштабируемой дорожной сети. Система DVNS состоит из трех уровней: базовых и топологических сетей, а также дорожной информации. Представить функционирование дорожной сети можно основываясь на узлах или на сторонах движения. В предложенном подходе позиционирование [53, 54] транспортных средств осуществляется путем использования GPS-сигнала, а в случаях плотной городской застройки, туннелей применяется фильтр Кальмана [55]. Показаны методологии и модели мониторинга дорожных сетей, принципы управления ими на основе пространственно-временных критериев, а также краткосрочное прогнозирование дорожной ситуации в целях создания высокоэффективной, масштабируемой мульти-модальной навигационной системы. Предложенный подход позволяет решить задачу сбора и обработки дорожной информации, включающей потоки трафика в режиме реального времени, дорожные правила, а также информацию о дорожных происшествиях в целях последующего управления объектами

дорожной инфраструктуры. Использование только одной технологии беспроводной связи для определения местоположения транспортного средства сокращает область использования данной системы до зоны покрытия GPS [56, 57]. Облачные сервисы не рассматриваются. В [58] предложена система динамической навигации, представлена ее архитектура и методика организации и управления данными. Традиционные системы навигации [59] транспорта имеют недостатки: 1) Отсутствие актуальной информации о дорожной ситуации и о трафике в режиме реального времени; 2) Навигация без учета изменений в трафике и информации дорожной ситуации; 3) Отсутствие возможности для соединения с другими сетями обслуживания. Система динамической навигации состоит из трех частей (рис. 5): Traffic information Provider, Service Center и Navigation Terminal.

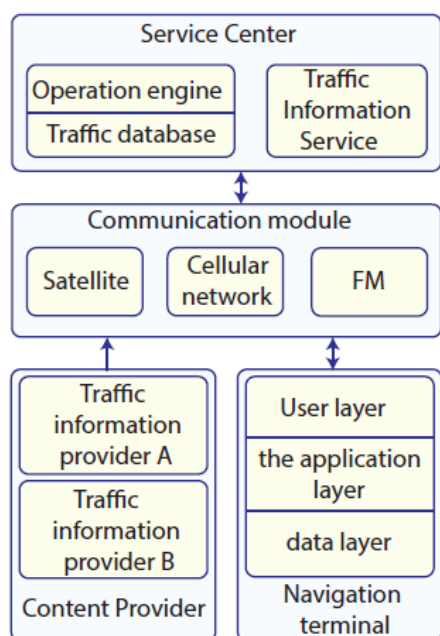


Рис. 5. Системная архитектура

Traffic information Provider – основная служба дорожного движения в Китае, которая получает информацию о дорожном трафике с видеодетекторов, микроволновых детекторов, систем идентификации автомобильных прав и системы мониторинга проезда на красный свет. Так же используются транспортные средства, которые при движении в потоке собирают данные с помощью беспроводных сетей в режиме реального времени в целях последующей обработки массивов данных в сервисном центре. Service Center – распределение и обработка всей навигационной информации, которая состоит из таких компонентов: operation engine (ПО промежуточного слоя, которое предоставляет множество интерфейсов для преобразования информации в унифициро-

ванном виде и хранения ее в базе данных), база данных трафика (используется в дополнение к информации о real-time трафике для предоставления рекомендованного оптимального маршрута и ожидаемого время прибытия с большей степенью точности), служба дорожной информации (предоставляет все виды сервисных модулей: сервис ограничения трафика, сервис пробок и сервис погоды, новостной и сервис развлечений) и коммуникационный модуль (обеспечивает связь между сервисным центром, контент-провайдером и мобильными терминалами). Navigation terminal – осуществляет функции отображения карты, рекомендации маршрута, планирования маршрута и поиск. Терминалы масштабируемы, состоят из коммуникационного модуля, уровня данных, приложения и исполнения. В системе GIS-T (Geographic Information System for Transportation) навигационные данные состоят из статических данных, не меняющихся в течении длительного времени (существующие дороги, сервисные станции и заправочные станции) и динамических (поток движения, дорожные события). Пространственные характеристики показывают изменения распределения загруженных участков дороги в различное время. Временные характеристики показывают, что состояние загруженности на одной и той же дороге изменяется с течением времени. Предложенная система ориентирована на сбор актуальной информации о дорожной ситуации и о трафике в режиме реального времени; на создание навигации с учетом изменений трафика и информации о дорожной ситуации; возможности обеспечения соединения с другими сетями обслуживания. Экспериментальная система, базирующаяся на методике предложенной в данной статье, уже имплементирована в правительственной организации сбора и предоставления информации о трафике в Пекине. Многие развитые страны занимаются разработкой систем позиционирования (VNS) – "VICS" в Японии, "TravTek" в США и "Ali-Scout" в Европе. Недостатки. Из-за проблем урбанизации тяжело реализовывать системы VNS с real-time информацией о трафике. В предлагаемой системе не организовано управление интеграцией real-time информации с дорожными сетями. В [60] предлагается система автомобильной навигации, основанная на гибридном генетическом алгоритме. Вычисление маршрута – задача комбинаторной оптимизации, наряду с задачей "странствующего торговца". Для ее решения используется генетический алгоритм (ГА) [61-62], как мощное средство оптимизации. Логика работы заключается в поиске маршрута с несколькими точками проезда до прибытия в конечный пункт назначения. Задача выбора ма-

ршрута делится на 2 подзадачи: выбор точек проезда (решается с помощью ГА), выбор между этими точками (решается с помощью алгоритма Дейкстры). Предоставляется возможность определить оптимальный способ построения маршрута, выполняя наиболее важную функцию для системы автомобильной навигации. Алгоритмы Дейкстры и Мазе определяют кратчайший маршрут между двумя точками, однако не решают задачу с несколькими точками.

В [63] предлагается модель движения с переменной скоростью, ядром которого является контроллер, основанный на облачной нейронной сети для осуществления рулевого управления. В рамках проекта «Интеллектуальная система транспортировки» было разработано множество подходов моделирования трафика, которые решают задачи, связанные с пробками и дорожно-транспортными происшествиями. Все подходы основаны на системе Equation Based Modeling (EBM). Несмотря на успехи в моделировании сети реального трафика, до сих пор не были эмулированы сложные процессы поведения водителя на дорогах [64]. Моделирование действий водителя – сложная задача, включающая теорию управления, робототехнику и психологию. Симуляция рулевого управления водителем является ключевой технологией в автономных системах движения. При выполнении алгоритма обучения нечеткая область выражается системой линейных уравнений для локальной аппроксимации нелинейной функции. Это отражает накопленный опыт водителя с такими же условиями вождения. Полученный в результате моделирования сценарий смены полосы демонстрирует эффективность алгоритма обучения, основанного на облачной модели и нейронных сетях. Предлагаемая модель позволяет частично осуществлять “driver-free car control”, учитывая движение впереди и сзади едущего транспортного средства.

В [65] описывается проект AutoNomos – управление пробками на однополосной дороге. Динамически меняющаяся система, такая как дорожная пробка, состоит из множества постоянно изменяющихся объектов, например, машин, располагающихся в разных местоположениях и продолжающих двигаться в конце или начале пробки. Для получения полезной информации, соотносящейся с концом затора, нужно учитывать смещения одного автомобиля по отношению к другому, вместе со всеми соответствующими данными. Дальнейшее развитие проекта направлено на интеллектуальную организацию управления трафиком на двухполосном шоссе (с перекрестками и различными выездами), а также на решение проблемы «бутылочного горлышка» (узких мест) в трафике, например,

вызванные конвоем медленных грузовиков, авариями или специализированными транспортными средствами.

В [66] предлагается решение ключевой проблемы городского движения – интеллектуальная модель управления городской магистралью. Показывается влияние контроля скорости на поток трафика; разрабатывается стратегия предварительного контроля для обеспечения максимальной эффективности системы городских магистралей, особенно в условиях загруженности; представлена система облачного прогнозирования [67] пробок на дорогах, которая позволяет реализовать стратегию упреждающего управления транспортным средством. Предлагаемая интегрированная умная динамически управляемая архитектура (рис. 6) состоит из 3 подсистем: 1) измерения данных о трафике на магистрали; 2) управления информацией о трафике; 3) упреждающего контроля скорости для улучшения уровня эффективности и безопасности дорожного движения.

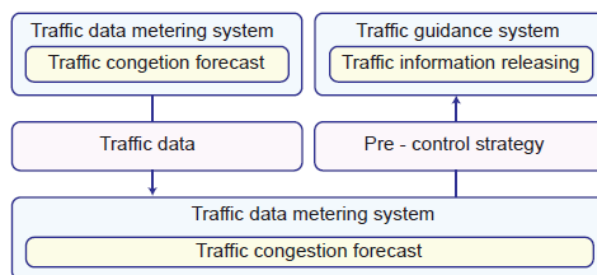


Рис. 6. Архитектура интеллектуальной системы управления

Снижение скорости приводит к уменьшению заторов в «узких местах», что может улучшить общую производительность магистральной системы. «Узкое место» в данном контексте означает не только то место, которое имеет более низкую пропускную способность трафика [68], чем другие части магистрали, но и место, в котором некоторые заторы будут происходить на основе прогноза заторов на дорогах. В предлагаемом решении не указывается применение облачных технологий.

В [69] рассматривается система адаптивного управления дорожным сигналом (TSC), как продолжение развития интеллектуальной транспортной системы (ИТС). Исследуется система наблюдения на основе анализа непредсказуемых и трудно измеряемых нарушений, влияющих на дорожную ситуацию. Используются методологии видео-наблюдений, которые включают сегментацию, классификацию и отслеживание объектов для определения состояния городской магистрали в режиме реального времени. Алгоритм управления адаптивным сигналом дорожного движения согласовывает переключения светофо-

ров в ситуациях «движения по прямой», «поворота направо» и «поворота налево». Эффективная, безопасная и менее загрязняющая транспортировка людей и товаров требует оптимального использования инфраструктуры посредством применения различных мер контроля дорожного движения. Управление транспортными средствами напрямую зависит от эффективности и актуальности применяемых методологий управления [70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 79]. Для этого определяются и анализируются объекты, затем измеряется количество автомобилей, после чего информация о транспорте экстраполируется. Существуют три основные методики выявления транспортных средств на магистрали: «временное различие», «оптический поток» и «вычитание фона». Методы временного дифференцирования и оптического потока позволяют обрабатывать изображения и находить движущиеся объекты, но они не подходят для неподвижных или медленно движущихся объектов. Результаты эксперимента по использованию системы управления сигналами [70-78] дорожного движения подтверждают эффективность адаптивного подхода TSC на основе видео-наблюдения. Метод S-TRAC (system-wide traffic-adaptive control) [79] был введен как средство для создания оптимальных таймингов для сигналов в режиме реального времени. S-TRAC имеет несколько особенностей, которые делают его практически выполнимым и теоретически обоснованным в решении проблем управления транспортом. Среди этих особенностей: (1) не требуется никакой модели потока трафика в масштабе всей системы; (2) S-TRAC автоматически адаптируется к долгосрочным изменениям в системе (например, сезонным изменениям), обеспечивая при этом команды реагирования в режиме реального времени; (3) S-TRAC может работать с существующими аппаратными средствами и конфигурациями датчиков в использованной сети.

4 Электронное оборудование современного автомобиля

Тенденции развития конструкций автомобилей обусловлены экономическими, социальными и экологическими причинами: повышения топливной экономичности и безопасности автомобилей, загрязнения окружающей среды отработавшими. Автомобильные технологии набирают темпы развития, благодаря компьютеризации и внедрению «smart» компонентов в бортовые системы автомобилей. Финансовые и энергетические кризисы также повлекли за собой возросший интерес и научные исследования в области создания электромобилей и гибридных автомобилей, использующих энергию из возобновляемых источников. Увеличение объёмов трафика в больших

мегаполисах приводит к идее использования оцифрованного трафика и систем мониторинга и управления им, а также постоянные дорожные пробки и частые случаи ДТП вынуждают принять концепцию «free human control car» и максимально автоматизировать процесс управления движением транспортных средств [80, 81]. Разработкой и моделированием автомобилей будущего интересуются и ведут исследования такие компании как: Apple, Google, Tesla, Synopsys, мировые автогиганты BMW, VW, Mercedes, Toyota, Ford, Honda. Существует множество научных центров по развитию инфраструктуры автомобилей, в которых сотрудничают университеты и компании, например, центр автомобильных исследований (CAR) в Колледже инженерии штата Огайо. Hitachi automotive systems group предлагает различные решения по вопросам развития современного автомобиля [82]: экологически чистые высокоэффективные системы управления двигателями для сокращения выбросов углекислого газа и предотвращения загрязнения воздуха; поставка интегрированного электромеханического решения прокладки дороги для электрооборудованием с механическим и электронным управлением; предоставление безопасности с помощью механизмов управления движением, которые координируют способность осмысления и оценивания вождения, управления и торможения; услуги облачной информационной сети, многофункциональные навигационные системы и другое информационное оборудование. Компания предоставляет широкий выбор сенсоров [83]: Airflow Sensor (slot-in, robust and silicon types), Differential Pressure Sensor, Exhaust Pressure Sensor, Pressure Sensor, Hall Effect Type Revolution Sensor. Глобальная сеть заводов, магазинов расположена по всему миру: Европа, Азия, Китай, Америка.

Автомобиль будущего оснащен бортовым компьютером, сенсорами, актюаторами [84], радары [85], лидарами [86], системой GPS [87], спутниковыми антеннами [88], системой безопасности. Архитектура транспортного средства (рис. 7) позволяет взаимодействовать с облачными технологиями и использовать всевозможные сервисы [89] для улучшения качества передвижения. Встроенные Satellite системы позволяют осуществлять беспроводную связь автомобиля с облачными сервисами, объектами интеллектуальной дорожной инфраструктуры и связи с мобильным устройством водителя, а также другими транспортными средствами в потоке в режиме реального времени. Использование сенсоров и актюаторов позволяет осуществлять сбор данных и мониторинг параметров, а также осуществлять на основании этого управление всеми аналого-

выми и цифровыми системами автомобиля. Встроенный бортовой компьютер отвечает за обработку данных, получаемых от датчиков и различных систем автомобиля, предназначенных для беспроводной связи с облачными сервисами и дорожной инфраструктурой. Взаимодействие машин друг с другом происходит за счет установления контакта путём связи с облаком, либо путём использования каналов и протоколов связи на ближней дистанции [90]. В случае угона машины владелец получает уникальную возможность полноценного удаленного наблюдения за местоположением автомобиля, используя GPS, встроенные бортовые камеры и камеры внешнего обзора автомобиля, а также путём получения на мобильный телефон или другое устройство SMS, e-mail или другого вида оповещений с данными о последнем зафиксированном в системе местоположении его автомобиля. Специальным службам дорожного контроля, полиции будет послан сигнал о несанкционированном доступе к автомобилю, переданы координаты и параметры автомобиля. В качестве ответной реакции может быть полная блокировка ТС вплоть до дистанционной блокировки двигателя, КПП и тормозной системы. С развитием оборудования автомобилей (рис. 8) изменяются и совершенствуются элементы дорожной инфраструктуры: умные светофоры, виртуальные дорожные карты, знаки дорожного движения. Современные светофоры становятся интеллектуальным средством взаимодействия транспортных средств с облачным сервисом, являясь приёмником сигналов, получаемых от автомобилей через облако [91].

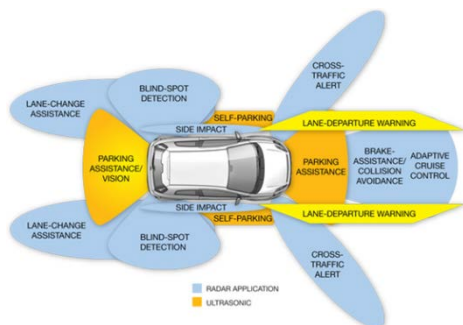


Рис. 7. Использование радар технологий



Рис. 8. Современный автомобиль

Таким образом, компьютерное оснащение современного автомобиля делает его все более высокоинтеллектуальным роботом, умно взаимодействующим с окружающей средой и облаком посредством сенсоров и актюаторов при его точном позиционировании в пространстве за счет каналов позиционирования и навигации.

5. Киберфизические системы облачного управления транспортом

Процессы несинхронизированного развития двух компонентов: реального мира и киберпространства в настоящее время приобретают векторный формат, направленный на создание структурированных и взаимно интегрированных компонентов КиберГеоСистемы (КГС). Последняя эволюционирует путями создания в киберпространстве облачных сервисов точного мониторинга и оптимального управления несовершенным реальным миром на основе моделей взаимно однозначного отображения всех земных процессов и явлений. Упрощенно КГС можно представить двумя модулями: «облачного» кибер управления и технического земного исполнения, представленного ресурсами, средствами и людьми. Механизмы управления и исполнения не должны пересекаться по материальным и человеческим ресурсам. Формально КГС представляется в виде двух механизмов: Cyberity и Humanity, которые связаны между собой четырьмя сигналами: Мониторинга, Управления и Инициирования обоих механизмов в целях реализации желаний. Аналитическая форма задания СН-системы и ее структурный эквивалент изображены на рис. 9.

$$S = (C, H, M, U, X, R, Y, P),$$

$$C \square H = \square;$$

$$\{ Y(t) = f[X(t), (R(t), M(t), Y(t-1))]; \\ \{ P(t) = g[X(t), (R(t), U(t), Y(t)).$$

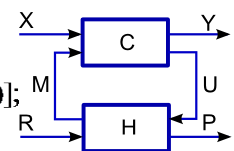


Рис. 9. Аналитическая и структурная формы задания СН-системы

Здесь представлены (C, H, M, U, X, R, Y, P) соответственно: блоки управления (менеджеры и киберы – cybers) и исполнения (инфраструктура, исполнители и роботы); сигналы мониторинга и управления, входы управляющих идей и исполнительных ресурсов (время – деньги – материалы), выходы индикации состояния алгоритма реализации идеи и выпуска продукции (сервиса). В рамках создания КГС актуальными и рыночно привлекательными являются следующие направления исследований: 1. Технологии дифференцирования мобильных систем на специализированные и структурированное киберпространство облачных сервисов. 3. Квантовые параллельные вычисления и специализированные мультипроцессоры. 4. Сенсорные интеллектуальные уст-

ройства для реального мира и быстродействующие роботы для киберпространства. 5. Трехмерные мультипроцессоры, 3D-вычислительные процессы и многомерное киберпространство. Здесь речь идет о неминуемом переходе вычислительных устройств, процессов и компонентов в 3D-измерение в связи с появлением трехмерного FinFETs транзистора. 6. Это приведет весь компьютерный мир к реализации совершенно новой парадигмы – параллельного программирования вычислительных структур в трех измерениях. 7. Важным представляется создание 3D-мультипроцессора на объемном кристалле, что станет возможным в ближайшие 5 лет. Здесь следует внедрять треугольную, а также тетраэдрную структуры межкомпонентных соседних связей в качестве базовых элементов для формирования вычислительных объемов микро- и мультипроцессоров, а также киберпространства сервисов. 8. Становится актуальной разработка 3D-принтеров для реализации технологий печатания (изготовления) трехмерных оптимальных специализированных архитектур, функционально заточенных под конкретные алгоритмы решения.

Эволюция киберпространства планеты делится на следующие периоды: 1) 1980-е годы – формирование парка персональных компьютеров; 2) 1990-е годы – внедрение Интернет-технологий в производственные процессы и быт человека; 3) 2000-е годы – повышение качества жизни за счет внедрения мобильных устройств и облачных сервисов; 4) 2010-е годы – создание цифровой инфраструктуры мониторинга и активного управления движущимися объектами (воздушный, морской, наземный транспорт и роботы). Поэтому в настоящее время привлекательной проблемой является системная интеграция облачного сервиса мониторинга и управления, блоков радиочастотной идентификации транспорта, а также цифровых средств дорожной инфраструктуры для оптимального on-line управления транспортными средствами и дорожным движением в целях решения социальных, гуманитарных, экономических и экологических проблем.

Что является основой киберпространства планеты? Кристалл кремния и его аналоги. Современная микроэлектроника дает возможность создавать уже не плоские, а объемные транзисторные структуры (3D – FinFETs) в 14-7, 5, 3.5 и 2.5 нанометровом диапазоне, соизмеримым с размером атома. Это означает появление объемных 3D-System-on-Chip. Преимущества таких объемных кристаллов существенно влияют на характеристики промышленных изделий в части: энергопотребления, размерности, быстродействия, стоимости и качества за счет уменьшения не

только размерности компонентов, но и связей между ними. Таким образом, микромир киберпространства переходит в 3D-измерение. Макромир все еще остается плоским при объединении в систему мультипроцессорных компонентов, компьютеров, сетей, облачных сервисов киберпространства. Какие аргументы можно выдвинуть за переход макромира в 3D-пространство? Компактность информационных объемов, быстродействие перемещения в киберпространстве и его размерность. Треугольная плоская структура системы, где все вершины являются соседними, имеет существенный недостаток в двух измерениях – кодирование трех вершин или ребер занимает три кода, а это означает, что один код двухбитового вектора не используется. Поэтому создать примитивную структуру, где все вершины являются соседними, а их количество равно четырем для полного использования кодового пространства двух битов, значит вновь открыть удивительную по своим свойствам 3D-фигуру – тетраэдр. Он имеет шесть ребер или расстояний, хог-сумма которых равна нулю. При задании фигуры два ребра являются избыточными, что можно использовать для уменьшения информационных объемов до 66% при хранении и передаче данных. Формирование кибернетического пространства на основе использования примитивов-тетраэдров дает возможность оптимизировать отношение структурной сложности пространства к среднему расстоянию между двумя точками.

Развитие и внедрение концепции Internet of Things требует решения сложных инженерных и научных проблем в области компьютерной инженерии (<http://eai.eu/>, <http://iot.ieee.org/>), которыми занимаются мировые научно-исследовательские сообщества (IEEE, EAI) и компании (Intel, NASA, IBM, Apple, Google, Samsung, Dell, AT&T, CISCO, THALES, WorldSensing, Aguila technologies, Connit, SigFox, Guglielmo, DQuid, BitCarrier). Идея Internet of things основана на использовании беспроводных гетерогенных сетей, работающих в различных частотных диапазонах по стандартам – ZigBEE, WiFi, LTE (3G, 4G, 5G), Bluetooth, которые обеспечивают дальность действия, скорость передачи данных и низкое энергопотребление. Функциональность инфраструктуры Internet of things – сбор и анализ данных использует структуры: big data, open data, cloud computing. Первые ориентированы на анализ больших объемов неструктурированных данных. Вторые – это концепция форматирования информации для использования компьютерами без вмешательства человека. Облачные вычисления являются масштабируемой платформой для обработки и хранения big data,

поступающих с умных сенсоров в реальном времени. Неотъемлемой частью IoT является межмашинное взаимодействие M2M – набор технологий и подходов, обеспечивающих обмен информацией между механизмами для создания умных городов (<http://www.android.com/auto/>, <https://www.apple.com/ios/carplay/>, <http://java.dzone.com/articles/car-wars-con-cars>). Здесь фигурируют компании, предоставляющие платформы и готовые аппаратные решения: Connit, Aguila Technologies, WorldSensing. Проект WorldSensing FastPrk – это сервис умной парковки, позволяющий водителю с помощью мобильного устройства находить свободное место, а городским властям эффективнее использовать парковочные пространства. Сенсор парковки работает в частотном диапазоне Sub-GHz с радиусом 500 м. Уже сегодня автомобиль немислим без сервисов Интернет, ориентированных на совмещение приятной поездки, комфортного отдыха и реализации бизнес-операций внутри машины, которая исполняет роль любимого и единого места с полным набором функциональных сервисов делового человека (голосовые: связь, сообщения и почта, банкинг и навигация, а также музыка, игры, видео) [95-111]. Все это стало возможным благодаря подключению автомобиля к сети Интернет путем синхронизации мобильного телефона с монитором (компьютером) транспортного средства, что дает возможность аутентифицировать водителя в реальном мире и виртуальном киберпространстве. Здесь лидируют компании Apple и Google. Они анонсировали платформы связи, навигации и развлечений, встроенные в автомобиль (Apple iOS CarPlay, Google Android Auto), которые используют микропроцессорную операционную систему BlackBerry QNX. Для инсталляции системы необходимо подключить смартфон Android или iOS кабелем USB к компьютеру автомобиля. Появление на рынке автомобильных ОС позволяет сделать вывод, что через 3-4 года все машины будут подключены к глобальным сервисам сети Интернет, направленным на повышение качества жизни человека в процессе дорожного движения. Такая договоренность есть между 31 ведущими автомобильными компаниями мира. Практически все, что было задекларировано в проекте iCTC [92-94], три года тому назад, постепенно реализуется в сервисах Apple CarPlay, кроме одного – виртуального уличного светофора на лобовом стекле-мониторе автомобиля [112-114]. Светофоров нет на море и в воздухе, не будет их и на земле через 5-10 лет.

Рыночная и научно-техническая привлекательность проекта Smart Cloud Traffic Control подтверждается также обновленной структурой все-

мирного общества инженеров IEEE, которое включает 38 сообществ, 9 комитетов и 7 советов, в том числе, интересные для проекта: IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, IEEE Intelligent Transportation Systems Society, IEEE Professional Communication Society, IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, IEEE Vehicular Technology Society, IEEE Cloud Computing Community, IEEE Electric Vehicles Community, IEEE Biometrics Council, IEEE Sensors Council.

6. Выводы

Создание киберфизической инфраструктуры комфортного безопасного дорожного движения за счет постепенного переноса дорожных знаков, светофоров в киберпространство и точного позиционирования транспорта в целях облачного online управления автомобилем на основе умной суперпозиции заказанного маршрута с оперативным цифровым мониторингом дорожной обстановки, отображаемой на сенсорном дисплее автомобиля, является актуальной научно-технической проблемой.

Для достижения *цели* – повышение качества и безопасности дорожного движения за счет создания киберфизической модели компьютерного online взаимодействия водителя с облачными сервисами управления автомобилем на основе цифрового мониторинга дорожной инфраструктуры и транспортных потоков, при использовании умных сенсоров, средств телекоммуникации и навигации – необходимо решить следующие *задачи*:

- 1) Разработка модели транспортного компьютерного киберфизического взаимодействия автомобиля с облачным сервисом посредством эволюционного перемещения светофора из физического в виртуальное пространство для цифрового мониторинга транспортных потоков и квазиоптимального управления дорожным движением.
- 2) Создание метрики и критериев оценивания качества инфраструктуры для online анализа киберфизического пространства, поиска квазиоптимального маршрута и уменьшения времени его исполнения.
- 3) Разработка метода анализа киберфизической инфраструктуры дорожного движения на основе алгоритма Дейкстры для online поиска квазиоптимального маршрута в условиях возникновения коллизий.
- 4) Создание архитектуры умного облачного светофора на основе использования логических операций, дающей возможность существенно увеличить пропускную способность перекрестка дорог.
- 5) Практическая реализация моделей и методов цифрового мониторинга и облачного управления

автомобилем в рамках создания киберфизической системы дорожного движения и последующее их тестирование.

Внедрение облачного сервиса управления транспортом приведет к сохранению экологии планеты и к уменьшению: 1) времени прохождения маршрутов, 2) потребления энергетических ресурсов и материальных затрат на создание светофоров, дорожных знаков, автомобильных номеров, 3) расходов на дорожную полицию и эксплуатацию инфраструктуры, 4) числа аварий и краж автомобилей.

Объект исследования – процессы цифрового мониторинга и кибер управления умным автомобилем в масштабируемой дорожной киберфизической инфраструктуре, на которой позиционируются маршруты движения всех транспортных средств при исполнении заказанных маршрутов.

Предмет исследования – киберфизическая система компьютерного взаимодействия облачных сервисов управления транспортом и инфраструктурой с умными средствами цифрового мониторинга дорожной обстановки в целях online оптимального управления автомобилем для исполнения заказанного маршрута.

Функция цели, фоормирующая качество инфраструктуры, определяется интегральным критерием эффективности облачной системы мониторинга и управления дорожным движением, состоящим из трех противоречивых параметров: уровень ошибочных решений L , приводящих к коллизиям; Y – параметр качества обслуживания, уменьшающий до нуля время вынужденных простоев транспортных средств T . Критерий также учитывает уровень дополнительных затрат или структурную сложность H^a на создание и эксплуатацию киберфизической инфраструктуры H в сравнении с базовой H^s , реализующих механизмы наблюдения и управления транспортными потоками:

$$E = F(L, T, H) = \min\left[\frac{1}{3}(L + T + H)\right],$$

$$Y = (1 - P)^n;$$

$$L = 1 - Y^{(1-k)} = 1 - (1 - P)^{n(1-k)};$$

$$T = \frac{(1-k) \times H^s}{H^s + H^a}; H = \frac{H^a}{H^s + H^a}.$$

Здесь k и P есть проходимость инфраструктуры и вероятность возникновения коллизий соответственно, n – число скрытых ошибок инфраструктуры. Время пропуска заданного транспортного потока через фрагмент инфраструктуры определяется ее проходимостью k , умноженной на структурную сложность дорожной функциональности H^s , отнесенной к общей сложности инфраструктуры $H^s + H^a$. Уровень технической избыточности H находится в функциональной

зависимости от сложности механизмов проходимости, отнесенной к общей сложности заданной инфраструктуры (дорожная функциональность + инфраструктурные механизмы проходимости). При этом компонент структурной избыточности проходимости, а именно, наблюдаемость инфраструктуры обеспечивает заданную глубину диагностирования пробок или транспортных коллизий на дорожной структуре. В то время как управляемость инфраструктуры призвана устранять коллизии интеллектом облачных сервисов и светофоров в пределах заданного временного интервала.

Локальная функция цели облачного сервиса для водителя транспортного средства определяется максимальным значением функционала ($Q=1$), который составлен из трех противоречивых и безразмерных параметров метрики, приведенной к интервалу $(0,1)$: время $T(X)$ – деньги $M(X)$ – качество $Y(X)$:

$$Q = \frac{1}{3}[T(X) + M(X) + Y(X)],$$

$$T(X) = \frac{1}{2} \left[\frac{V^r}{V} + \frac{T^m(X)}{T^r(X)} \right];$$

$$M(X) = \frac{M}{M + M^\#(X) + M^P + M^r};$$

$$Y(X) = [1 - P(X)]^n.$$

Здесь каждый параметр существенно зависит от зеленого сигнала светофора (X) на маршруте, который доставляет единичное значение функционалу при отсутствии других коллизий. Другие параметры обозначают:

$[V, V^r, T^r(X), T^m(X), M, M^\#(X), M^P, M^r, P(X), n]$ – модельную и реальную скорость автомобиля на маршруте; реальное и модельное время ожидания на перекрестке; минимальные денежные затраты на прохождение маршрута без коллизий; затраты, связанные с простоем на перекрестке; штрафы за нарушения правил дорожного движения; неподвижные ремонты; количество перекрестков (X) на маршруте движения транспортного средства.

Таким образом, при отсутствии светофоров и транспортных коллизий качество (жизни водителя) исполнения маршрута автомобилем становится равным единице. При их наличии используется предложенная метрика в целях уменьшения времени простоя транспортного средства на перекрестке.

Литература:

1. *The e-IRGSP4 project for e-IRG, Best Practices for the use of e-Infrastructures by large-scale research infrastructures*, February 24, 2015, <http://e-irg.eu/>
2. *The e-IRGSP4 project for e-IRG, Best Practices for the use of e-Infrastructures by large-scale research infrastructures*, February 24, 2015, <http://e-irg.eu/>

3. *Geoffrey C. Fox*, Web 2.0, grids and cyberinfrastructure / e-infrastructure, Collaborative Technologies and Systems, 2007. CTS 2007. International Symposium on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4621721/>
4. *Sy Holsinger, Sergio Andreozzi*, EGI: Implementing service management in a largescale e-Infrastructure, Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2014 IEEE, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6838371/>
5. *David C. H. Wallom, Matteo Turilli, Michel Drescher*, Federating Infrastructure as a Service Cloud Computing Systems to Create a Uniform E-infrastructure for Research, e-Science (e-Science), 2015 IEEE 11th International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/7304286/>
6. *E-infrastructure: The ecosystem for innovation*, www.bis.gov.uk
7. *Richard O. Sinnott, Gerson Galang, Martin Tomko, Robert Stimson* Towards an e-Infrastructure for Urban Research across Australia, E-Science (e-Science), 2011 IEEE 7th International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/6123291/>
8. *Geoffrey C. Fox*, Web 2.0, grids and cyberinfrastructure / e-infrastructure, Collaborative Technologies and Systems, 2007. CTS 2007. International Symposium on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4621721/>
9. *Luong Thi Thu Phuong, Nguyen Trung Hieu, Jin Wang, Sungyoung Lee, Young-Koo Lee*. Energy Efficiency based on Quality of Data for Cyber Physical Systems, 2011 IEEE International Conferences on Internet of Things, and Cyber, Physical and Social Computing, P.232-241.
10. *Jane Hunter, Charles Brooking, Wilfred Brimblecombe, Ross G. Dwyer, Hamish A. Campbell, Matthew E. Watts, Craig E. Franklin*, OzTrack -- E-Infrastructure to Support the Management, Analysis and Sharing of Animal Tracking Data, eScience (eScience), 2013 IEEE 9th International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6683901/>
11. *Sy Holsinger, Sergio Andreozzi*, EGI: Implementing service management in a largescale e-Infrastructure, Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2014 IEEE, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6838371/>
12. *Sheikh Mahbub Habib, Sebastian Ries, Max Muhlhauser*, Towards a Trust Management System for Cloud Computing, Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2011 IEEE 10th International Conference on
13. *Mohemed Almorsy, John Grundy, Amani S. Ibrahim*, Collaboration-Based Cloud Computing Security Management Framework, Cloud Computing (CLOUD), 2011 IEEE International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6008731/>
14. *Mahmoud Al-Ayyoub, Yaser Jararweh, LoAi Tawalbeh, Elhadj Benkhelifa, Anas Basalamah*, Power Optimization of Large Scale Mobile Cloud Computing Systems, Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2015 3rd International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7300885/>
15. *ZhenJiang Li and Cheng Chen*, Cloud Computing for Agent-Based Urban Transportation Systems, Intelligence transportation systems, published by IEEE Computer Society, January/February 2011, P.73-79.
16. *David C. H. Wallom, Matteo Turilli, Michel Drescher*, Federating Infrastructure as a Service Cloud Computing Systems to Create a Uniform E-infrastructure for Research, e-Science (e-Science), 2015 IEEE 11th International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/7304286/>
17. *Sheikh Mahbub Habib, Sebastian Ries, Max Muhlhauser*, Towards a Trust Management System for Cloud Computing, Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2011 IEEE 10th International Conference.
18. *Mohemed Almorsy, John Grundy, Amani S. Ibrahim*, Collaboration-Based Cloud Computing Security Management Framework, Cloud Computing (CLOUD), 2011 IEEE International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/6008731/>
19. *E-infrastructure: The ecosystem for innovation*, October 2013 www.bis.gov.uk
20. *Richard O. Sinnott, Gerson Galang, Martin Tomko, Robert Stimson* Towards an e-Infrastructure for Urban Research across Australia, E-Science (e-Science), 2011 IEEE 7th International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/6123291/>
21. *Mahmoud Al-Ayyoub, Yaser Jararweh, LoAi Tawalbeh, Elhadj Benkhelifa, Anas Basalamah*, Power Optimization of Large Scale Mobile Cloud Computing Systems, Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2015 3rd International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/7300885/>
22. *ZhenJiang Li and Cheng Chen*, Cloud Computing for Agent-Based Urban Transportation Systems, Intelligence transportation systems, published by IEEE Computer Society, January/February 2011, P.73-79.
23. *Luong Thi Thu Phuong, Nguyen Trung Hieu, Jin Wang, Sungyoung Lee, Young-Koo Lee*, Energy Efficiency based on Quality of Data for Cyber Physical Systems, 2011 IEEE International Conferences on Internet of Things, and Cyber, Physical and Social Computing, P.232-241.
24. *Arini Widhiyasi, Vasuky Mohanan, Muhammad Fermi Pasha, Rahmat Budiarto*, Vertical Handover Scheme for Car-to-Car Communication, based on IEEE 802.21 Standard, 2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications, P. 143-147.
25. *Deyi Li, Xiaodong Wang, Wen He, Mu Guo, Tianlei Zhang*, Study on Interaction Behaviours of Micro-Autonomous Vehicles, 2011 Tenth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, P. 399-406.
26. *Zheng Li, Nenghai Yu, Zhuo Hao*, A Novel Parallel Traffic Control Mechanism for Cloud Computing, 2nd IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science, 30 Nov.-3 Dec. 2010, P.376-382.
27. *Visit Hirankitti, Jaturapith Krohkaew*, An agent approach for intelligent traffic-light control, Proceedings of the First Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS'07), 27-30 March 2007.
28. *Tian Hai, Zhang Yong, Cui Gui-mei*, Design and realization of intelligent traffic light monitor and control system based on wireless control, Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese, 25-27 July 2012, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6390937/>

29. *Smith R. H. and Chin D. C.* Evaluation of an adaptive traffic control technique with underlying system changes // in Winter Simulation Conference, 1995, pp. 1124–1130.
30. *Chen W., Chen L., long Chen Z., and liang Tu S.* A realtime dynamic traffic control system based on wireless sensor network // in ICPP Workshops, 2005, pp. 258–264.
31. *Hirankitti V., Krohkaew J., and Hogger C. J.,* A multi-agent approach for intelligent traffic-light control // in World Congress on Engineering, 2007, pp. 116–121.
32. *Mohandas B., Liscano R., and Yang O.* Vehicle traffic congestion management in vehicular ad-hoc networks,” in LCN, 2009, pp. 655–660.
33. *Hong Y. and Yang O. W. W.* Design of adaptive pi rate controller for best-effort traffic in the internet based on phase margin.” IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., vol. 18, no. 4, pp. 550–561, 2007.
34. *Cheng Hu, Yun Wang,* A Novel Intelligent Traffic Light Control Scheme, 2010 Ninth International Conference on Grid and Cloud Computing, P. 372- 376.
35. *Jubair Mohammed Bilal, Don Jacob,* Intelligent Traffic Control System,” (ICSPC 2007), PP 496-499.
36. *Haimeng Zhao, Xifeng Zheng, Weiya Liu,”* Intelligent Traffic Control System Based on DSP and Nios II”, 2009 International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, PP 90-94.
37. *Wu Hejun, Miao Changyun,* Design of intelligent traffic light control system based on traffic flow” .2010 International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering. P. 368-371.
38. *Liang-Tay Lin, Hung-Jen Huang, Jim-Min Lin, Fong-ray Frank Young,”*A New Intelligent Traffic Control System For Taiwan”, ITST 2009, PP 138-142.
39. *Chen Zhaomeng,* “Intelligent Traffic Control Central System of Beijing-SCOOT”, MACE 2010, P. 5067 – 5069.
40. *Vivek Kumar Sehgal, Samruddh Dhope, Prince Goel,* An Embedded Platform for Intelligent Traffic Control, UKSim Fourth European Modelling Symposium on Computer Modelling and Simulation, 17-19 Nov. 2010, P. 541- 545.
41. *Laichour H., etc.* “Traffic control assistance in connection nodes: multi-agent applications in urban transport systems.” International Workshop on Intelligent Data Application and Advanced Computing System: Technology and Application. 1-4 July 2001, Foros, Ukraine. P. 133-137.
42. *Li Jianwu, Huangpu Zhengxian.* “Design of fuzzy control system for city single highway intersection”, Electrical Drive Automation, Vol. 22, No. 2, April, 2000, pp. 22-24.
43. *Bingham E.* “Reinforcement learning in neuro-fuzzy traffic signal control.” European Journal of Operational Research, 131(2001), pp. 232-241.
44. *Abdulhai B., Pringle R.* “Machine learning based adaptive signal control using autonomous Q-learning agent”. Proceeding of the IASTED International Conference. Intelligent Systems and Control. Honolulu, Hawaii, USA. August 14-16, 2000, pp. 320-327.
45. *Xiangjun Cheng, Zhaoxia Yang,* Intelligent Traffic Signal Control Approach Based on Fuzzy-Genetic Algorithm, Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 18-20 Oct. 2008, P. 222-225.
46. *Mingshu Li, John Hallam, Louise Pryor, Stanley Chan, Ken Chong.* A 1996 IEEE International Symposium on Intelligent Control, pp. 162-167. Dearborn, MI. September 15 Cooperative Intelligent System for Urban Traffic Problems [A]. Proceedings of the -18, 1996.
47. *Hakim Laichour, etc.* Traffic control assistance in connection: multi-agent applications in urban transport systems. [A] International Workshop on Intelligent Data Application and Advanced Computing System: Technology and Application. 1-4 July, Foros, Ukraine: pp: 133-137, 2001.
48. *Jeffrey L. Adler, Victor J. Blue.* A Cooperative Multi-Agent Transportation Management and Route Guidance System. Transportation Research Part C, No.10, pp: 433-454, 2002.
49. *John France and Ali A. Ghorbani.* A Multiagent System for Optimizing Urban Traffic. Proceedings of the IEEE / WIC International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'03), 2003 IEEE.
50. *Cheng Xiangjun, Yang Zhaoxia,* Distributed Traffic Signal Control Approach Based on Multi-Agent, 2009 Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, P.582-587.
51. *Baogui Cao, Zhaosheng Yang, Haiyan Zhu,* Fusion and Integration Framework Study on Road Network and Dynamic Traffic Data in Vehicle Navigation, 2009 Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application Workshops, P.70-73.
52. *Mohamed M. Atia, Shifei Liu, Heba Nematallah.* Integrated Indoor Navigation System for Ground Vehicles With Automatic 3-D Alignment and Position Initialization, IEEE Transactions on Vehicular Technology (Volume: 64, Issue: 4, April 2015), P. 1279 – 1292, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7027835/>
53. *Ming Li, Zh. H. Liu, J.A. Huang,* Artificial Landmark Positioning System Using Omnidirectional Vision for Agricultural Vehicle Navigation, Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA), 2012 Second International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/6173294/>
54. *Liu Dawei,* Application of Assisted TDOA Technology in Vehicle Positioning and Navigation System, TENCON 2005, 2005 IEEE Region 10, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4085074/>
55. *Ying Ji, Man Zhang, Gang Liu,* Positions research of agriculture vehicle navigation system based on Radial Basis Function neural network and Particle Swarm Optimization, Natural Computation (ICNC), 2010 Sixth International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/5583145/>
56. *Mingke Fang, Lei Li, Wei Huang,* Research of Hybrid Positioning Based Vehicle Interactive Navigation System, Multimedia Information Networking and Security (MINES), 2010 International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/5671177/>
57. *Kwak S.H., McKeon J.B., Clynch J.R.,* Incorporation of global positioning system into autonomous underwater vehicle navigation, Autonomous Underwater Vehicle Technology, 1992. AUV'92., Proceedings of the 1992 Symposium, <http://ieeexplore.ieee.org/document/225224/>
58. *Song Ying, Yu Yang,* Study on Vehicle Navigation System (VNS) with Real-time Traffic Information, 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering, P.1079-1082.
59. *Kim S.-B., Bazin J.-C., Lee H.-K.,* Ground vehicle navigation in harsh urban conditions by integrating inertial navigation system, global positioning system, odome-

- ter and vision data, IET Radar, Sonar & Navigation (Volume: 5, Issue: 8, Oct. 2011), P. 814 – 823, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6036233/>.
- 60.** Masaya Yoshikawa, Hidekazu Terai, IEEE. Car Navigation System based on Hybrid Genetic Algorithm, 2009 World Congress on Computer Science and Information Engineering, P. 62-64.
- 61.** Holland J., Adaptation in Natural Artificial Systems, the University of Michigan Press (Second edition ; MIT Press), 1992] [Goldberg,D.E, Genetic algorithms in search optimization, and machine learning, Addison Wesley, 1989.
- 62.** Fei-Yue Wang. Agent-Based Control for Networked Traffic Management Systems, 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems, P.92-96.
- 63.** Yu Shaowei, Li Xiuhai, Liu Qingling, Zhang Tongzhu. A Car-Steering Model Based on an Adaptive Cloud Neural Controller, 2010 International Conference on Digital Manufacturing & Automation, P. 7-10.
- 64.** Kiattisin Kanjanawanishkul, Andreas Zell, Path following for an omnidirectional mobile robot based on model predictive control, Robotics and Automation, 2009. ICRA'09. IEEE International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/5152217/>.
- 65.** S'andor P. Fekete, Christiane Schmidt, Axel Wegener, Stefan Fischer, Recognizing Traffic Jams with Hovering Data Clouds, Second International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation, 15-19 Nov. 2006 , P. 199 -203.
- 66.** Yin Zhu1, Junli Wang1,Huapu Lu, Study on the Intelligent Pre-control Model of Urban Arterial, 2008 IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application, P.114-118.
- 67.** You-Ren Chen, Keng-Pin Chen, Pao-Ann Hsiungy, Dynamic traffic light optimization and Control System using model-predictive control method, Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2016 IEEE 19th International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7795937/>
- 68.** Yang Zhao-sheng, Zhou Xi-Yang, Tian Chun-Lin, Research on traffic signal cycle optimization method based on bi-level programming model, Computer Science and Network Technology (ICCSNT), 2013 3rd International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6967178/>.
- 69.** Lawrence Y. Deng, Nick C. Tang, Dong-liang Lee, Chin Thin Wang, Ming Chih Lu. Vision Based Adaptive Traffic Signal Control System development, Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2005).
- 69.** Xiao-Hua Yu, A.R. Stubberud, Markovian decision control for traffic signal systems, Decision and Control, 1997 // Proceedings of the 36th IEEE Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/649773/>.
- 70.** Ludovica Adacher, Marco Tiriolo, Distributed urban traffic signal optimization based on macroscopic model, Innovative Computing Technology (INTECH), 2016 Sixth International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/7845123/>.
- 71.** Glenn T. Donovan, Position Error Correction for an Autonomous Underwater Vehicle Inertial Navigation System (INS) Using a Particle Filter, IEEE Journal of Oceanic Engineering (Volume: 37, Issue: 3, July 2012), P. 431 –445, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6200890/>
- 72.** Lee H., Optimal estimation of vehicle position in an acoustic transponder navigation system, Engineering in the Ocean Environment, Ocean 73 - IEEE International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/1161299/>
- 73.** Pedro Batista, Carlos Silvestre, Paulo Oliveira, Position and Velocity Navigation Systems for Unmanned Vehicles, IEEE Transactions on Control Systems Technology (Volume: 17, Issue: 3, May 2009),P. 707 – 715, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4798174/>
- 74.** Du J., Masters J., Barth M., Lane-level positioning for in-vehicle navigation and automated vehicle location (AVL) systems, Intelligent Transportation Systems, 2004. Proceedings. The 7th International IEEE Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/1398868/>
- 75.** Braden K., Browning C., Gelderloos H., Integrated inertial navigation system/Global Positioning System (INS/GPS) for manned return vehicle autoland application, Position Location and Navigation Symposium, 1990. Record. The 1990's - A Decade of Excellence in the Navigation Sciences. IEEE PLANS '90., IEEE, <http://ieeexplore.ieee.org/document/66160/>
- 76.** Satoh K., Hozumi H., Okada S. Autonomous mobile patrol system for nuclear power plants: field test report of vehicle navigation and sensor positioning, Intelligent Robots and Systems '96, IROS 96, Proceedings of the 1996 IEEE/RSJ International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/571045/>
- 77.** Hoang Van Dung, Trinh Minh Chi, Nguyen Thi Nga, A vehicle positioning and navigation system design using Mini2440 ARM and Linux, Information and Communication Technologies (WICT), 2013 Third World Congress on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7113112/>
- 78.** Azura Che Soh, Mohammad Hamiruce Marhaban, Marzuki Khalid, Modelling and Optimisation of a Traffic Intersection Based on Queue Theory and Markov Decision Control Methods, Modelling & Simulation, 2007. AMS 2007. First Asia International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4148707/>.
- 79.** Chin D.C., Spall J.C., Smith R.H. Evaluation of system-wide traffic signal control using stochastic optimization and neural networks, American Control Conference, 1999. Proceedings of the 1999, <http://ieeexplore.ieee.org/document/786341/>.
- 80.** Kale M.M., Chipperfield A.J. Reconfigurable flight control strategies using model predictive control, Intelligent Control, 2002. Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium <http://ieeexplore.ieee.org/document/1157736/>
- 81.** Trodden P., Richards A. Robust distributed model predictive control using tubes, American Control Conference, 2006, <http://ieeexplore.ieee.org/document/1656519/>
- 82.** Hitachi Inspire the Next, Hitachi automotive systems, Ltd., Guide to Hitachi Automotive Systems, 2016.04 Printed in Japan(H), P. 5-12.
- 83.** Hitachi Inspire the Next, Hitachi automotive systems Product Guide, 2016.04 Printed in Japan(H).
- 84.** Sandor Marcon, Yasuhiro Komatsu, Akitomo Yamana, Linear motor coils as brake actuators for Multi-car elevator, Electrical Machines and Systems, 8-11 Oct. 2007. ICEMS. International Conference, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4412276/>.

85. Jakob Lombacher, Markus Hahn, Jürgen Dickmann, Detection of arbitrarily rotated parked cars based on radar sensors, Radar Symposium (IRS), 24-26 June 2015 16th International, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7226281/>.
86. Chan Wei Hsu, Tsung Hua Hsu, Kuang Jen Chang, Implementation of car-following system using LiDAR detection, ITS Telecommunications (ITST), 5-8 Nov. 2012 12th International Conference, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6425157/>.
87. Iuliia Goncharova; Stefan Lindenmeier. An interoperable antenna for GPS and GLONASS services on a car, 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7304393/>.
88. Gerd Saala, Jochen Hopf, Stefan Lindenmeier, Small satellite car antenna for simultaneous reception of LHCP and RHCP signals, Antennas and Propagation, 2009. EuCAP 2009 // 3rd European Conference http://ieeexplore.ieee.org/document/5068167/authors_
89. Tobias Haberle, Lambros Charissis, The Connected Car in the Cloud: A Platform for Prototyping Telematics Services, IEEE Software (Volume: 32, Issue: 6, Nov.-Dec. 2015), P.11-17, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7310999/>
90. Arini Widhiyasi, Vasuky Mohanan, Muhammad Fermi Pasha, Rahmat Budiarto. Vertical Handover Scheme for Car-to-Car Communication, based on IEEE 802.21 Standard, 2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications, P. 143-147.
91. Deyi Li, Xiaodong Wang, Wen He, Mu Guo, Tianlei Zhang. Study on Interaction Behaviours of Micro-Autonomous Vehicles, 2011 Tenth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, P. 399-406.
92. Hahanov V.I., Melikyan V.Sh, Saatchyan A.G., Shahov D.V. «Zelenaya volna» – oblako monitoringa i upravleniya dorozhnyim dvizheniem. Armeniya. Vestnik «In-formatsionnyie tehnologii, elektronika, radiotekhnika». Vyip. 16(#1). 2013. S.53-60.
93. Hahanov V.I., Guz O.A., Ziarmand A.N., Ngene Christopher Umerah, Arefjev A. Cloud Traffic Control System. Proc. of IEEE East-West Design and Test Symposium. Rostov-on-Don. 27-30 September 2013. P.72-76.
94. Hahanov V., Gharibi W., Baghdadi Ammar Awni Abbas, Chumachenko S., Guz O., Litvinova E. Cloud traffic monitoring and control. Proceedings of the 2013 IEEE 7th International conference on intelligent data acquisition and advanced computing systems (IDAACS). Berlin. September 12-14. 2013. P. 244-248.
95. Frank van Diggelen and Kathy Tan (2014) Interchangeability Accomplished. Tri-Band Multi-Constellation GNSS in Smartphones and Tablets – GPS World, June 2014, p.p. 46-52.
96. Babakov V.N. Vyisokotochnaya navigatsiya. <http://www.gisa.ru/102286.html>
97. Roffe A. Vozmozhnosti vyisokotochnoy navigatsii - <http://www.gisa.ru/102624.html>
98. <http://www.gisa.ru/103133.html>
99. <http://top.rbc.ru/economics/28/05/2014/926718.shtml>
100. Leandro, R., H. Landau, M. Nitschke, M. Glocker, S. Seeger, X. Chen, A. Deking, M. Ben Tahar, F. Zhang, R. Stolz, N. Talbot, G. Lu, K. Ferguson, M. Brandl, V. Gomez Pantoja, A. Kipka, Trimble TerraSat GmbH, Germany (2011) RTX Positioning: the Next Generation of cm-accurate Real-time GNSS Positioning, ION-GNSS-2011, 2011, Portland, OR, USA.
101. Vollath, U., Buecherl, A., Landau, H. Pagels, C., Wagner, B. Multi-Base RTK using Virtual Reference Stations, Proceedings of ION GPS 2000, Salt Lake City. P. 19-22.
102. http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-GNSS-Spider_83498.htm
103. <http://www.systemnet.com.ua/ru/network/preimushchestva>
104. <http://gpsinformation.net/exe/waas.html>
105. http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_present_-_EGNOS/What_is_EGNOS
106. <http://www.gisa.ru/103059.html>
107. <http://www.novatel.com/about-us/news-releases/news>
108. <http://www.novatel.com/products/span-gnss-inertial-systems/mems-interface-card/>
109. <http://www.novatel.com/products/span-gnss-inertial-systems/span-combined-systems/span>
110. <http://www.kharkovgnssgroup.net/>
111. Ariane Hellinger, Ariane Hellinger, Heinrich Seeger. Cyber-Physical Systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy and production. Acatech. National Academy of Science and Engineering. 2011. 48p.
112. Alessandro Bazzi, Alberto Zanella, Barbara M. Masini, Gianni Pasolini. A Distributed Algorithm for Virtual Traffic Lights with IEEE 802.11p. Networks and Communications (EuCNC), IEEE European Conference. 2014. P. 1 – 5.
113. Ferreira, M., d'Orey, P.M. On the Impact of Virtual Traffic Lights on Carbon Emissions Mitigation. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on. Volume: 13, Issue: 1. 2012. P. 284 – 295.
114. Conceicao H., Ferreira M., Steenkiste P. Virtual traffic lights in partial deployment scenarios. Intelligent Vehicles Symposium (IV), IEEE. 2013. P. 988 – 993.

Поступила в редколлегию 19.09.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Меликян В.

Зиарманд Артур Нисарович, ст. преподаватель кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14.

Хаханов Владимир Иванович, декан факультета КИУ ХНУРЭ, д-р техн. наук, проф. кафедры АПВТ ХНУРЭ, IEEE Senior Member, IEEE Computer Society Golden Core Member. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. +3805770-21-326. Email: hahanov@icloud.com.

Ziarmand Arthur Nisarovich, lecturer of DAD KNURE. Scientific interests: technical diagnostics of digital systems. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauki Avenue, 14.

Hahanov Vladimir Ivanovich, Dean of Computer Engineering Faculty KNURE, Dr. of Sciences, Prof., IEEE Senior Member, IEEE Computer Society, Golden Core Member. Scientific interests: technical diagnostics of digital systems, networks and software products. Hobbies: basketball, football, mountain skiing. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauki Avenue, 14, tel. + 3805770-21-326. Email: hahanov@icloud.com.

РЕФЕРАТИ

ABSTRACTS

УДК 621.389

Методи контролю якості гнучких структур / С.Е. Притчин, Д.В. Гуріна, Н.П. Демська // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 3. С. 4–8.

Наведено існуючі методи контролю якості гнучких структур, наведено переваги та недоліки кожного методу. Описано особливості контролю гнучких структур термічним методом, а саме етапи роботи методу. Описано послідовність отримання реального зображення та термограми, шляхи покращення якості зображень. Наведено результати експериментальних досліджень. Описано етапи виявлення бракованих частин виробу.

Л. 2. Бібліогр.: 9 назв.

UDC 621.389

Methods for quality control of flexible structures / S. Pritchyn, D. Gurina, N.P. Demska // *Radioelektronika i informatika*. 2016. N 3. P. 4-8.

The existing methods of quality control of flexible structures are given, advantages and disadvantages of each method are indicated. Specific features of quality control of flexible structures by the thermal method are described, namely, the work stages of the method. Describes the sequence of obtaining a real image and a thermogram, ways to improve the quality of images. The results of experimental studies are presented. The stages of detection of defective parts are described.

Fig. 2. Ref.: 9 titles.

УДК 621.389

Вплив зміни зачеплення і зв'язності на складність коду та його швидкодії в розробці програмного забезпечення / О.К. Кравченко, І.В. Афанасьєва // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 3. С. 9–12.

Оцінено вплив заходів сил взаємозв'язку всередині і між модулями на читабельність коду і швидкість роботи програмного забезпечення. Для цього розглянуто поняття зв'язності і зачеплення на рівні модульної архітектури, порівняно складність коду за допомогою інструменту flog, швидкодію обробки HTTP-запитів за допомогою програмного забезпечення Apache JMeter. Ключові слова: програмне забезпечення, зв'язність, зачеплення, читабельність коду, модульна архітектура.

Табл. 2. Л. 4. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 621.389

The effect of a change in linkage and connectivity on the complexity of the code and its speed in developing software / A.K. Kravchenko, I.V. Afanasyeva // *Radioelektronika i informatika*. 2016. N 3. P. 9-12.

The influence of interconnectedness measures inside and between modules on code readability and software performance is evaluated. To do this, we consider connectivity and linking concepts at the level of the modular architecture, compare the complexity of the code with the flog tool, compare the speed with which HTTP requests are processed using the Apache JMeter software.

Key words: software, cohesion, coupling, code, readability, modular architecture.

Tab. 2. Fig. 4. Ref.: 5 items.

УДК 621.39

Технологія забезпечення цілісності двійкового інформаційного ресурсу на основі структурно-ентропійного слотування / С.А. Підлісний // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 3. С. 13–20.

Наведено приклади використання відеоінформаційного ресурсу в Збройних Силах України. Аргументовано необхідність забезпечення категорій інформаційної безпеки в телекомунікаціях державних установ. Указано на вразливість передачі відеоданих при повільних DDoS-атаках. Запропоновано застосовувати структурно-ентропійне слотування в існуючих технологіях обробки зображень. Обґрунтовано забезпечення позиціонування кодового представлення в умовах проведення кібератак.

Л. 8. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 621.39

The technology to ensure the binary information resource integrity on the structurally entropy slotting basis / S.A. Podlesny // *Radioelektronika i informatika*. 2016. N 3. P. 13-20.

Examples of the video information resource application in the Ukrainian Armed Forces are cited. The need to provide information security categories in state institutions telecommunications is argued. The video data transmission vulnerability during slow DDoS attacks is indicated. It is proposed to use structurally entropy slotting in existing image processing technologies. It is justified to ensure the code submission positioning during cyber attacks.

Fig. 8. Ref.: 8 items.

УДК 004.043

Метод організації функцій контролера SDN «нескінченний потяг» / М.А. Скулиш // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 3. С. 21–28.

Запропоновано метод сервісних прикладних програм для виконання функцій контролера SDN. Описано метод керування ресурсами віртуальних машин, який дозволяє обслуговувати велику кількість додатків одночасно без затримки завдяки балансуванню навантаження.

Л. 7. Бібліогр.: 13 назв.

UDC 000.000.00

«ENDLESS TRAIN» for organization of computation processes in SDN controller / M. Skulich // *Radioelektronika i informatika*. 2016. N 3. P. 21-28.

This paper proposes a method of service applications to perform functions of the SDN controller. Character receipt of applications is pulsating. The proposed method of controlling the resources of virtual machines allows you to serve a large number of applications at the same time, ensure that the functions without the delays caused by load balancing.

Fig. 7. Ref.: 13 items

УДК 519.713

Метод синтаксичного представлення ідентифікаційного структурного простору трансформанти для інформаційних технологій кодування відеопотоку / В.В. Баранник, Д.А. Тарасенко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 3. С. 29–38.

Обґрунтована наявність дисбалансу між інформаційною інтенсивністю відеопотоку і продуктивністю бортових інфокомунікаційних технологій. Виявлені недоліки стандартизованої інформаційної технології кодування потоку кадрів. Показана необхідність побудови методу ефективного синтаксичного кодування передбачених кадрів в ущільненому двовимірному структурному спектральному просторі трансформанти з подальшою їх ідентифікацією по координатних об'єктах. Обґрунтована інтерпретація вектора ідентифікаторів як об'єктно-позиційне число з наявністю гнучкої умови щодо нерівності парних елементів.

Л. 1. Бібліогр.: 28 назв.

УДК 681.326

Виявлення помилок проектування в HDL-моделях кінцевих автоматів з використанням синхронізуючих послідовностей / О.С. Шкіль, М.А. Мірошник, Е.М. Кулак, А.С. Гребенюк, Д.Ю.Кучеренко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 3. С. 39-46.

Запропонований метод виявлення і локалізації помилок проектування в HDL- моделях кінцевих автоматів з довільними функціями виходів. Діагностичний експеримент проводиться шляхом обходу усіх дуг автомата Милі, починаючи з початкової вершини, у тому числі для автоматів "невияткового" класу. Для забезпечення повернення автомата з можливою помилкою проектування в початковий стан запропоновано використовувати синхронізуючі послідовності. Діагностичні експерименти проводилися в системі верифікації VHDL-моделей (TestBench) у середовищі проектування Active-HDL.

Л. 18. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 519.172

Абстрактний автомат та формування кортежу зі з'єднаннями, що не перетинаються / В.С. Чеченя // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 3. С. 47–54.

Розглянута проблема проведення з'єднань друкованих плат в області BGA. Запропоновано універсальну математичну модель проведення з'єднань між контактами BGA компонент для виведення їх на периферію, що дуже важливо при проектуванні плоских конструктивів. Описано формування малюнка схеми з матричним розташуванням контактів для з'єднань, які не перетинаються. Показано, що кортеж елементів схеми може бути використаний для опису з'єднань, перевірки завантаження макродіскретно.

Л. 19. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 519.713

The method of the syntactic representation of the identifying structure space transformants for the information technologies of video stream coding / V.V Baranik, D.A. Tarasenko // *Radioelektronika i informatika*. 2016. N 3. P. 29-38.

The presence of disbalance is grounded between informative intensity of videostream and productivity of side infokommunikacionnykh technologies. The lacks of the standardized information technology of encoding of stream of shots are exposed. The necessity of construction of method of the effective syntactic encoding of the predicted shots is rotined for close-settled dvumernom structural spectral space of transform with subsequent by their authentication on co-ordinate objects. Grounded interpretaciya vector of identifiers as objective-position number with the presence of flexible condition in relation to inequality of pair elements.

Fig. 1. Ref.: 28 items.

UDC 681.326

Detecting of finite state machines HDL-models design errors using synchronizing sequences / O.S. Shkil, M.A. Miroshnyk, E.M. Kulak, A.S. Grebenyuk, D.Yu. Kucherenko // *Radioelektronika i informatika*. 2016. N 3. P. 39-46.

The method of detection and localization of design errors in HDL-models of finite state machines with arbitrary output functions was proposed. The diagnostic experiment is carried out bypassing all arcs of the Mile machine, starting from the initial vertex, including for machines of the "non-exclusive" class. To ensure the return of the machine with a possible design error in the initial state, it is suggested to use synchronizing sequences. Diagnostic experiments were performed in the VHDL-model verification system (TestBench) in the Active-HDL design environment.

Fig. 18. Ref.: 5 items.

UDC 519.172

Abstract And Forming Machine Cortege Compounds That Do Not Intersect / V. S. Chechenya // *Radioelektronika i informatika*. 2016. N 3. P.47-54.

The article under consideration is the problem of design of the radio-electronic equipment of printed circuit boards in the field of a BGA component. There is a detailed description of the circuit pattern for circuits with matrix arrangement of contacts such as a BGA, both location description of crossing and uncrossing compounds. It shows that the set of circuit elements can be used for the description of compounds, check load conductors. The proposed universal model can reduce the complexity and design time topology of the flat constructs, and can also be used to develop topologies of microelectromechanical structures for various purposes.

Fig. 19. Ref.: 7 items.

УДК 519.7

Використання генетичного алгоритму для вирішення многокритеріальних задач у виробничих системах управління / А.М. Гвоздинський, К.Е. Сірик // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 3. С. 55–57.

Описано нові області автоматизованого управління. Задачі управління є одним з найбільш поширених класів задач дослідження операцій.

Табл.1. Бібліогр.: 3 назви.

УДК 621.39

Метод кластеризації блоків аерофотознімка у дво-хпризнаковому структурному просторі в системі обробки інформації / В.В. Бараннік, О.П. Мусієнко, Д.Б. Жуйков // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 3. С. 58–63.

Розглянуто основні питання, які пов'язані з кластерним аналізом, а саме алгоритмами кластеризації цифрових аерофотознімків в системі обробки і передачі інформації. Запропоновано використовувати алгоритм кластеризації К-середніх, який дозволить розподілити досліджувані блоки аерофотознімків, на основі їх признакових характеристик по кластерах. Такий підхід дозволить досить точно виділити блоки, які містять семантично важливу інформацію на аерофотознімках, що забезпечить підвищення ефективності обробки та передачі інформації в системі аеромоніторингу. Бібліогр.: 13 назв.

УДК 658: 512.011: 681.326: 519.713

Моделі та методи моніторингу і управління транспортом / А.Н. Зіарманд, В.І. Хаханов // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 3. С. 64–80.

Представлені основні напрями сталого розвитку кіберфізичного транспортного комплексу, пов'язані з засобами телекомунікацій, точного позиціонування, електронної картографії, диференційованої навігації, Інтернет-авто (е-інфраструктура автомобіля, дороги та обласні сервіси). Представлені компоненти кіберфізичної системи моніторингу та управління дорожнім рухом в реальному часі, який базується на використанні глобальних систем позиціонування та навігації (GPS, GPRS), інтелектуальних дорожніх контролерів, засобів радіочастотної ідентифікації автомобілів та інфраструктури дорожнього руху.

Лл. 8. Бібліогр.: 114 назв.

UDC 519.7

Study the possibility of using genetic algorithms to solve problems mnogokryterialnyh in industrial control systems / A. N. Gvozdinskiy, K.E.Siryk // *Radioelektronika i informatika*. 2016. N 3. P. 55 -57.

Developing approaches to the analysis of applications and penetrate into new areas control.Management tasks is one of the most common classes of problems of operations research.

Tab.1. Ref .: 3 items.

UDC 621.39

Method of the clustering of blocks of the aerial photograph in dual-indicational structural space in system of information processing / V.V. Barannik, O.P. Musienko, D.B. Zhuykov // *Radioelektronika i informatika*. 2016. N 3. P. 58-63.

In article the main questions which are connected with the cluster analysis, namely algorithms of a clustering of digital aerial photographs in system of processing and information transfer are considered. Therefore, within researches, in article it is offered to use algorithm of a clustering of K-means which will allow to distribute the studied blocks of aerial photographs, on the basis of their indicational characteristics on clusters. Such approach will allow to allocate blocks which contain semantic important information on an aerial photograph that will provide increase of efficiency of processing and information transfer in system of aeromonitoring.

Ref.: 13 items.

UDC 658: 512.011: 681.326: 519.713

Models and Methods of Monitoring and Management by Transport / A. Ziarmand, V. Hahanov // *Radioelektronika i informatika*. 2016. N 3. P. 64-80.

The main directions of sustainable development of cyberphysical transport computing, connected with means of telecommunication, precise positioning, online mapping, differential navigation, Internet of Car (e-infrastructure of automobile, roads and cloud services) are presented. The components of the cyber-physics system of monitoring and control of traffic in real time based on the use of global positioning and navigation systems (GPS, GPRS), intelligent road controllers, tools Radio Frequency Identification of Automobile and Road Infrastructure.

Fig. 8. Ref.: 114 items.

ПРАВИЛА

оформления рукописей для авторов научно-технического журнала

"Радиоэлектроника и информатика"

Тематика: радиотехника; электроника; телекоммуникации; компьютерные науки; компьютерная инженерия и техническая диагностика; системы и процессы управления; информационные технологии в науке, образовании, культуре, медицине, экономике, экологии, социологии.

Формат страницы — А4 (210x297 мм), все поля — 20 мм. Количество колонок — 2, интервал между ними — 5 мм. Редактор Page Maker 6.0 или Word, гарнитура Times ET, (Times New Roman Cyr), кегль — 10 пунктов, межстрочное расстояние — 110%, табуляция — 5 мм. Объем рукописи — от 2 до 7 с. (языки: русский, украинский, английский).

Согласно решению редакционной коллегии, основанному на Постановлении ВАК Украины от 15.01.2003 №7-05/1 (Бюллетень ВАК Украины, №1, 2003, с.2), текст рукописи должен быть структурирован и содержать все *основные части, характерные для научной статьи*: **введение** (отражает *актуальность*, формулирование *цели и задач* исследования); **сущность** (изложение основного материала исследования с описанием идеи, метода, и обоснованием полученных научных результатов); **выводы** (отражают результаты исследования, их *научную новизну* и *практическую значимость*, сравнение с лучшими аналогами, перспективы).

Оформление рукописи: УДК, заголовок, фамилия и инициалы, аннотация, текст, литература, реферат (на украинском и английском языках), сведения об авторах.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ

УДК 519.713

НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ

ФАМИЛИЯ И.О.

(Название желаемого раздела тематики)

Аннотация (на языке статьи, абзац 5-10 строк, кегль 9) помещается в начале статьи и содержит информацию о результатах описанных исследований.

Ключевые слова (Key words) приводятся (на языке статьи и на английском языке).

Основной текст следует разделять на **подразделы с заголовками**, выделенными полужирным шрифтом, пронумерованными арабскими цифрами, как показано в следующей строке.

1. Название раздела

Рисунки и таблицы (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после первой ссылки в виде *переносимых объектов* и отдельно нумеруются, при наличии более одного рисунка (таблицы), арабскими цифрами. Рисунок содержит подрисуночную центрированную подпись под иллюстрацией (вне рисунка), как показано на рис. 1.

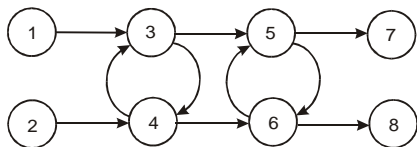


Рис. 1. Граф с контурами

Табличный заголовок располагается справа над таблицей (вне таблицы), что иллюстрируется табл.1. Редакторы: CorelDraw, Table Editor, Microsoft Excel.

Таблица 1

Шаг i	1	2	3	4	5	6
Ф1(1,3)	1	2	2	4	6	1

Формулы нумеруются при наличии ссылок на них в рукописи. Формулы, символы, переменные, встречающиеся в тексте, должны быть набраны как объекты Microsoft Equation. Рекомендуемая высота формульных кеглей: переменная — 10 пунктов, индекс — 8, над- и подиндекс — 8, основной (индексный) математический символ — 12(10):

$$F_{i+j} = \sum_{i=1}^{b^k} F_j^i - \prod_{j=1}^{1+h^2} P_{R_{j+i}} + F^{j-1} + X^{\sum n^k} \quad (1)$$

Формат переменных (желательно не курсивом — без наклона) в тексте и формулах должен быть идентичным. В тексте над- и подиндексы составляют 70 % от высоты кегля, которые рекомендуется опускать (поднимать) на 17 (33) % относительно основной строки.

Литература (включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки) печатается без отступа, кегль 9 пунктов.

Транслитерированный список литературы, в соответствии с требованиями наукометрических баз, является полным аналогом списка литературы и выполняется на основе транслитерации языка оригинала латиницей.

При этом число и порядок источников в списке литературы должны оставаться неизменными. Ссылки на англоязычные источники не транслитерируются. Транслитерация украинского языка латиницей выполняется на основе Постановления Кабинета Министров Украины № 55 от 27 января 2010

(<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/55-2010-%D0%BF>), русского — на основе ГОСТ 7.79-2000 (ISO 9-95) (<http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=130715>).

Рекомендуется использовать автоматические средства транслитерации (<http://translit.net>).

Образец окончания текста рукописи (литература, сведения об авторах, реферат) представлен ниже.

Литература: 1. *Фамилия И.О.* Название книги. Город: Издательство, 1900. 000 с. 2. *Название сборника / Под ред. И.О. Фамилия.* Город: Издательство, 1900. 000 с. 3. *Фамилия И.О.* Название статьи // Название журнала. Название серии. 1997. Т. 00, № 00. С. 00-00.

Транслитерированный список литературы.

Поступила в редколлегия 00.00.00

Рецензент: должность, ученая степень, фамилия, И.О.

Фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и место работы. Научные интересы. Увлечения и хобби. Адрес, контактные телефоны.

Сведения об авторах на английском языке.

Рефераты на украинском, русском и английском языках.

УДК 000.000.00

Назва статті / Ініціали. Прізвище. // Радіоелектроніка та інформатика. 2000. № 00. С. 00–00.

Текст реферату.

Табл. 00. Іл. 00. Бібліогр.: 00 назв.

УДК 000.000.00

Название статьи / Инициалы. Фамилия. // Радиоэлектроника и информатика. 2000. № 00. С. 00–00.

Текст реферата.

UDC 000.000.00

Title of paper / Initials. Surname // Radioelektronika i informatika. 2000. N 00. P. 000-000.

Text.

Tab. 00. Fig. 00. Ref.: 00 items.

Представление материалов

Рукопись, рефераты, сведения об авторах – в одном файле, *поименованном фамилией автора*. Твердая копия материалов – для граждан Украины — в одном экземпляре: рукопись, подписанная авторами, рефераты, внешняя рецензия, подписанная доктором наук, заявление на имя главного редактора со сведениями об авторах.

Материалы, не соответствующие требованиям, редколлегией не рассматриваются.

Адрес редакции: Украина, 61166, Харьков, просп. Ленина, 14, ХНУРЭ, комната 321, тел. 70-21-326.

E-mail: hahanov@icloud.com

Рекомендовано Научно-техническим советом Харьковского национального университета радиоэлектроники (протокол № 3 от 29.09.2016)

Підписано до друку 27.05.2017.

Формат 60×84¹/₈. Умов. друк. арк. 10,2. Зам. № б/н .

Тираж 300 прим. Ціна договірна.

Віддруковано у СПД ФО Степанов В.В.

61168, Харків, вул. Акад. Павлова, 311.