

Харківський національний університет радіоелектроніки

Супрун Тетяна Сергіївна

УДК 004.932

**ІНТЕГРАЛЬНІ МОДЕЛІ КОМПАРАТОРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ЇХ
ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шабанов-Кушнарєнко Сергій Юрійович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сіроджа Ігор Борисович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.С. Жуковського «ХАІ», професор
кафедри інженерії програмного забезпечення
ЕОМ

доктор технічних наук, доцент
Петров Костянтин Едуардович,
Харківський національний університет
внутрішніх справ; доцент кафедри прикладної
математики та аналітичного забезпечення ОВС

Захист відбудеться “_____” _____ 2010 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий “_____” _____ 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Чалий С.Ф

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з важливих проблем штучного інтелекту є задача побудови математичних моделей сенсорних систем та ідентифікація їх параметрів. Задача ідентифікації для сенсорних систем формулюється таким чином: за входом і виходом, що спостерігаються, невідомого об'єкта необхідно побудувати оптимальну в деякому сенсі модель та знайти її невідомі параметри. У залежності від обсягу апріорної інформації перша частина згаданої задачі називається ідентифікацією в широкому сенсі, а друга – ідентифікацією у вузькому сенсі. При ідентифікації в широкому сенсі апріорна інформація про об'єкт вважається практично відсутньою, тобто доводиться вирішувати задачу вибору структури моделі. Ідентифікація у вузькому сенсі полягає в оцінюванні невідомих параметрів об'єкта за даними спостереження, при цьому вид моделі вважається відомим.

Перспективним напрямком удосконалювання методів ідентифікації таких систем в концептуальному та прикладному аспектах є розвиток компараторного методу (або методу порівняння). Суть його полягає у вивченні вихідної інформації, як порівняльної бінарної реакції невідомого перетворювача на пари відомих вхідних сигналів, тобто при компараторній ідентифікації, на відміну від класичної постановки, вид оператора перетворень даних визначається при дослідженні областей сталості цього оператора. Головні переваги цього методу складаються, тим самим, у підвищенні обсягу використовуваної апріорної інформації та зниженні вимог до апостеріорної інформації. Крім того, по-перше, метод дозволяє за результатами експериментів строго формальним шляхом одержувати адекватні математичні моделі, тобто є методом ідентифікації в широкому сенсі, а по-друге, забезпечує аналіз як лінійних, так і нелінійних систем з нелінійностями монотонного (взаємно однозначного) характеру та, нарешті, по-третє, підвищується точність визначення невідомих параметрів.

Розвиткові компараторного методу сприяли роботи М.Ф. Бондаренка, В.П. Машталіра, Є.П. Путятіна, Н.В. Шаронової, Ю.П. Шабанова-Кушнарєнка і цілого ряду інших вчених.

У рамках розробки інформаційно-аналітичних систем, при моделюванні інтелектуальної діяльності людини застосування методу порівняння створює передумови для уніфікації програмно-апаратного забезпечення, що врешті-решт знижує витрати на проведення досліджень різної теоретико-прикладної орієнтації, розширюючи можливості ефективного впровадження прогресивних інформаційних технологій в Україні. Незважаючи на істотні досягнення в цій області, залишається низка задач, які ще далекі від свого остаточного вирішення. Компараторна ідентифікація може бути застосована для математичного опису різних функцій інтелекту людини. Існує ряд психофізичних процесів, які можуть бути адекватно описані компараторним методом у вигляді лінійного оператора. Найбільший практичний інтерес становлять моделі зорового

сприйняття. Одна із сучасних областей застосування таких моделей – розробка мультимедійних систем. Зростання інтересу до технології мультимедіа обумовлений кількома причинами, насамперед, повсюдним поширенням потужних комп'ютерів, здатних підтримувати графічний користувальницький інтерфейс і забезпечувати ефективну роботу з відео- і аудио-форматами. Мультимедіа системи успішно застосовуються на сьогодні у всіх сферах діяльності, при цьому особливе місце посідають мультимедійні автоматизовані навчальні системи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася згідно з планом науково-технічних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки на кафедрі програмного забезпечення ЕОМ у рамках держбюджетної теми № 202 «Розробка принципів побудови мозкоподібних ЕОМ» (№ ДР 0106U003292).

Мета і завдання дослідження полягають у розробці інтегральних моделей і методів аналізу сенсорних систем в умовах обмежень на множину вхідних сигналів на базі методу компараторної ідентифікації та їх застосування для розширення можливостей розпізнавання зорової інформації.

Для досягнення зазначеної мети у роботі вирішені такі задачі:

– проаналізовані проблеми і задачі теорії й практики компараторної ідентифікації;

– розроблені інтегральні моделі компараторної ідентифікації колірної інерції для двох практично важливих випадків: спектрального складу, що змінюється в часі, і постійного спектрального складу з мінливою в часі інтенсивністю;

– розроблена інтегральна модель перетворення зорової інформації, що враховує явище іррадіації зору;

– вирішена задача структурної компараторної ідентифікації для деяких, практично важливих, інтегральних операторів на гільбертовому просторі та на його позитивному конусі, що описуються операторами Фредгольма й Вольтерра;

– розглянуті питання практичного застосування отриманих методів і моделей у технічних системах розпізнавання зорових образів і відтворення кольору.

Об'єкт дослідження – процес обробки інформації у сенсорних системах з недоступним для прямого виміру виходом, математичні моделі яких описуються операторами проектування інтегрального типу.

Предмет дослідження – методи і моделі компараторної ідентифікації систем обробки зорової інформації при обмеженні множини вхідних сигналів.

Методи дослідження – при розробці моделей компараторної ідентифікації використаний математичний апарат теорії бінарних предикатів, методи лінійної алгебри і функціонального аналізу, при синтезі алгоритмів перевірки властивостей моделей – формальні методи штучного інтелекту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше систематично досліджені різні характеристичні властивості предикатних моделей компараторної ідентифікації для випадку обмеження на множину вхідних сигналів. Нові наукові результати, отримані автором, полягають у такому.

- вперше запропоновані моделі компараторної ідентифікації колірної інерції, що мають вигляд операторів на гільбертовому просторі та на його позитивному конусі - з ядрами, що розпадаються, різницевиими ядрами та сімейств двохпараметричних операторів. Це дає можливість аналітично ідентифікувати процес колірної інерції у випадках спектрального складу, що змінюється в часі та постійного спектрального складу з інтенсивністю, що змінюється в часі;

- вдосконалено інтегральну модель перетворення зорової інформації, що, на відміну від існуючих, визначає умови спрощення ядра інтегральної моделі у вигляді системи аксіом, яким повинна відповідати модель. Це забезпечує можливість розпізнавання колірної інформації з урахуванням явища іррадіації зору;

- набув подальшого розвитку метод компараторної ідентифікації для побудови математичних моделей динамічних систем, що описуються операторами Фредгольма й Вольтерра, на випадок, коли множина вхідних сигналів описується нескінченновимірним простором. Метод на відміну від існуючих передбачає побудову конкретного вигляду оператора, що ідентифікується, на основі набору його характеристичних властивостей та забезпечує можливість адаптації сенсорної системи до рівня освітлення.

Практичне значення результатів дисертації. Розроблені в дисертаційній роботі математичні моделі й алгоритми ідентифікації лінійних систем, засновані на застосуванні методу компараторної ідентифікації, доцільно використовувати для розв'язання різних задач моделювання реальних процесів і систем, зокрема, для побудови математичних моделей різних сенсорних систем, таких як орган зору, орган слуху, аналізатор смаку тощо. Побудовані математичні моделі знайшли застосування в мультимедійному тирі для обробки візуальної інформації (акт про впровадження результатів наведений у додатку). Сфера можливого застосування отриманих теоретичних результатів достатньо широка і різноманітна. Це системи медичної діагностики, що аналізують різні патології органів слуху, зору і смаку, пристрої автоматичного розпізнавання візуальної інформації, що потребують попередньої інтелектуальної обробки інформації для врахування перешкод, що змінюються, при створенні об'єктивних колориметрів, у робототехніці.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в ТОВ НТЦ АН ПРЕ в науково-технічній розробці "Універсальний мультимедійний інтерактивний стрілецький тренажер". Використання методів компараторної ідентифікації лінійних статичних і динамічних систем дозволили розробити більш ефективний критерій прийняття рішень (акт впровадження від 01.06.2009 р.).

Отримані в дисертаційній роботі теоретичні результати були використані в навчальному процесі на кафедрах програмного забезпечення ЕОМ і прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки у дисциплінах «Теорія інтелекту» і «Алгебраїчна логіка» (акт впровадження від 25.05.09 р.).

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на таких конференціях: 1) VIII Міжнародна науково-практична конференція «Наука і освіта '2005'», (Дніпропетровськ, 7-21 лютого 2005); 2) 4-а Міжнародна науково-практична конференція «Розвиток наукових досліджень '2008'», м. Полтава. 24-26 листопада 2008 р. 3) 9-й міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст», (Харків, 19-21 травня 2008). 4) Міжнародна науково-технічна конференція «Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы ИИ-2008», (Донецьк, 22-27 вересня 2008); 5) International Conference CSIT'2008, September 25-27, 2008, Lviv, Ukraine.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, представлені в дисертації, отримані автором самостійно. Їх основний зміст викладений у роботах [1-6].

У роботах, виконаних у співавторстві, здобувачеві особисто належать такі результати: у роботі [1] виділено клас систем, для яких можна застосувати метод компараторної ідентифікації – це лінійні системи і системи з нелінійністю взаємно однозначного характеру. Показано, що оператор, що ідентифікується, може мати властивість внутрішньої нелінійності. У роботі [2] вивчені сімейства предикатів, на основі яких можна компараторним методом ідентифікувати як стаціонарні, так і нестаціонарні лінійні системи. Запропоновано модель динамічних лінійних систем у вигляді диференціальних операторів зі змінними або постійними коефіцієнтами.

Публікації. Основні результати роботи опубліковані в 4 наукових статтях [1 – 4], що входять у переліки фахових наукових видань, затверджені ВАК України.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, трьох додатків. Повний обсяг роботи – 147 сторінок, з них основного тексту – 134 сторінки. Дисертація містить 11 малюнків, 2 таблиці, 2 додатки, список використаних джерел із 112 найменувань на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розглянуті основні проблеми побудови математичних моделей сенсорних систем і пристроїв, обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета й завдання дослідження, наведені відомості про зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами організації, у якій виконувалися дослідження. Надано стисло характеристику об'єкта, предмета і

методів дослідження, наукової новизни, практичного значення і використання отриманих результатів у народному господарстві України.

У **першому розділі** дисертації сформульовані задачі, розглянуті в роботі, проведено огляд існуючих методів моделювання роботи органів чуттів та результати щодо оцінювання та ідентифікації параметрів синтезованих моделей, наведено опис відповідного математичного апарату. Зроблено висновок, що найбільш адекватним методом побудови математичних моделей сенсорних систем є метод компараторної ідентифікації (метод порівняння).

Наведено змістовний та формальний опис методу компараторної ідентифікації. Особливістю компараторного методу є те, що експериментальною інформацією про об'єкт, що досліджується, є не вхід-вихід, як у класичному випадку, а бінарне відношення, задане на декартовому степені множини вхідних сигналів. Тобто, метод компараторної ідентифікації використовує отримані в експерименті двійкові відповіді на пари вхідних сигналів, що можна інтерпретувати як завдання бінарного відношення. Формально задачу компараторної ідентифікації можна охарактеризувати у такий спосіб: є експериментальна інформація про об'єкт, яка задана у вигляді бінарного відношення, визначеного на декартовому квадраті множини сигналів, тоді за відомими областями сталості оператора, що ідентифікується, необхідно відновити структуру невідомого оператора. Подібну постановку прийнято вважати основною, хоча в деяких випадках декартовий квадрат може бути замінений більш високим степенем (усе визначається тим, щодо якого типу відношень може бути отримана експериментальна інформація). Отже метод компараторної ідентифікації можна вважати методом структурної ідентифікації. Також завдяки порівнянню цей метод дозволяє отримувати більш точні оцінки параметрів моделей, ніж при традиційних методах ідентифікації, які базуються на безпосередньому вимірюванні.

У **другому розділі** побудовано моделі компараторної ідентифікації практично важливих інтегральних операторів на гільбертовому просторі та на його позитивному конусі – операторів з ядрами, що розпадаються, різницевиими ядрами та сімейств двохпараметричних операторів.

Вдосконалено інтегральну модель перетворення зорової інформації, яка визначає умови спрощення ядра цієї моделі у вигляді системи аксіом.

Розглянемо сімейство предикатів $\Phi_t(x, y)$ (t – параметр), кожний з яких при відповідному t визначений на $K_t \times K_t$ ($K_t \times K_t$ - позитивний конус) і задовольняє умовам лінійності. У роботі показано, що для всіх $t \in (-\infty, \infty)$ і всіх $x, y \in L_t^2$ має місце рівність

$$\Phi_t(x, y) = D \left(\int_{-\infty}^t B(t-\tau)x(\tau)d\tau, \int_{-\infty}^t B(t-\tau)y(\tau)d\tau \right), \quad (1)$$

де D – предикат рівності, $B(\xi)$ – деяка ненегативна функція на півосі $[0, \infty)$.

Встановлені умови, при яких існують n функцій $g_i(\lambda)$ $0 \leq \lambda \leq 1$, і ненегативна функція $B(\xi)$ ($\xi \geq 0$) такі, що при всіх $t \in (-\infty, \infty)$ і всіх $x, y \in K_t$ рівність

$$\Phi_t(x, y) = 1$$

виконується тоді й тільки тоді, коли

$$\alpha_i^{(t)}(x) = \alpha_i^{(t)}(y), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

де

$$\alpha_i^{(t)}(x) = \int_0^1 \int_{-\infty}^t g_i(\lambda) B_i(t - \tau) x(\lambda, \tau) d\lambda d\tau. \quad (3)$$

Далі у твердженнях наведені моделі компараторної ідентифікації у вигляді операторів на гільбертовому просторі.

Твердження 1. Для того, щоб для сімейства предикатів $\Phi_t(x, y)$ знайшлася система лінійно незалежних функцій $\{g_i\}_{i=1}^n \subset L^2[0, 1]$ і ненегативна функція $B(\xi)$, що задовольняє умовам збіжності і така, що рівність (1) еквівалентна рівностям (2), необхідно і достатньо, щоб це сімейство було сімейством лінійних предикатів і задовольняло таким умовам:

– для будь-яких $t \in (-\infty, \infty)$ і $x, x', y, y' \in \bar{K}_t$ з рівностей

$$\Phi_t(x, x') = 1 \quad \text{і} \quad \Phi_t(y, y') = 1$$

випливає, що

$$\Phi_t(x + y, x' + y') = 1;$$

– для будь-якого $t \in (-\infty, \infty)$ і кожного $x \in \bar{K}_t$ існує (не єдина) функція $u \in K$ така, що

$$\Phi_t(x, u) = 1;$$

– для будь-якої послідовності $\{x_k\}_{k=1}^{\infty} \subset \bar{K}_t$, що сходиться до нуля в метриці \bar{L}_t^2 , існує послідовність $\{u_k\}_{k=1}^{\infty} \subset K$, що сходиться до нуля в метриці $L^2[0, 1]$ й така, що

$$\Phi_t(x_k, u_k) = 1, \quad k = 1, 2, \dots$$

Фізичний зміст умов наведеного твердження пов'язаний із завданням про математичний опис явища колірної інерції. Нехай екран рівномірно освітлений випромінюванням зі спектральним складом, що змінюється в часі. Передбачається, що коефіцієнт дифузійного відбиття екрана у всіх точках є однаковим. Позначимо через $x(\lambda, \tau)$ спектральну щільність променистої яскравості в момент часу τ . Нехай $[\lambda_1, \lambda_2]$ – діапазон видимого спектру. З математичної точки зору конкретне значення величин λ_1 і λ_2 не істотне. Тому ми будемо вважати $\lambda_1=0$, $\lambda_2=1$. Нехай t – довільно фіксований момент часу. Будемо говорити, що два випромінювання $x(\lambda, \tau)$ й $y(\lambda, \tau)$ t -метамірні, якщо вони фотометрично зрівнюються в момент часу t . Записувати твердження про t -метамірність будемо у вигляді $\Phi_t(x, y) = 1$. Ми припускаємо, що Φ_t – відношення еквівалентності на множині випромінювань. Частковим випадком розглянутих випромінювань є випромінювання зі спектральною щільністю, що не змінюється в часі. Для таких стимулів t -метамірність означає класичну метамірність, тобто візуальну нерозрізненість у будь-який момент часу. Умови лінійності є математичним записом законів Грассмана – адитивності, тривимірності (при $n=3$) і безперервності. Справедливість цих законів показана численними експериментами і на сьогодні є загально визнаною.

Нехай $L^2(R^2)$ – простір вимірних на дійсній площині R^2 функцій, що задовольняють умові

$$\iint e^{-(u^2+v^2)} x^2(u, v) dudv < \infty. \quad (4)$$

$K(R^2)$ – позитивний конус у цьому просторі. Розглянемо сімейство предикатів $\Phi_z(x, y)$ ($z \in R^2$ – параметр), кожний з яких визначений на $K(R^2) \times K(R^2)$ і задовольняє умовам лінійності. У цьому розділі встановлені умови, необхідні і достатні для того, щоб це сімейство моделей мало вигляд:

$$\Phi_z(x, y) = D\left(\iint Q(u - \xi, v - \eta) x(u, v) dudv, \iint Q(u - \xi, v - \eta) y(u, v) dudv\right), \quad (5)$$

де D – предикат рівності, $z = (\xi, \eta) \in R^2$, $Q(u, v)$ – деяка майже всюди ненегативна функція. Покладемо для будь-якої функції $x \in K$ і будь-якого $\zeta = (\xi, \eta) \in R^2$

$$\tilde{x}_\zeta(u, v) = x(u - \xi, v - \eta). \quad (6)$$

Функція \tilde{x}_ξ є зсувом функції вздовж осі абсцис на величину ξ й осі ординат на величину η .

Вдосконалено інтегральну модель перетворення зорової інформації, що забезпечує можливість розпізнавання колірної інформації з урахуванням явища іррадіації зору.

Твердження 2. Для того, щоб для сімейства предикатів $\Phi_z(x, y)$ знайшлася майже всюди ненегативна функція Q , що задовольняє при будь-яких $\xi, \eta \in R^1$ умовам

$$\iint e^{(u-\xi)^2+(v-\eta)^2} Q^2(u, v) dudv < \infty,$$

$$\iint Q(u, v) dudv = 1$$

і така, що має місце рівність (5), необхідно і достатньо, щоб це сімейство поряд з умовами лінійності задовольняло таким умовам:

– для будь-яких $z \in R^2$ і $x, x', y, y' \in K(R^2)$ з рівностей

$$\Phi_z(x, x') = 1 \text{ і } \Phi_z(y, y') = 1$$

витікає, що

$$\Phi_z(x + y, x' + y') = 1.$$

– для будь-якого $z \in R^2$ і кожного $x \in K(R^2)$ існує єдине ненегативне число $[fx](z)$ таке, що

$$\Phi_z(x, [fx(t)]) = 1. \tag{7}$$

– величина $[fx](t)$ як функція від x при кожному $z \in R^2$ безперервна в метриці $L^2(R^2)$;

- для будь-якого $z \in R^2$, будь-яких $x, y \in K(R^2)$ і будь-якого $\xi \in R^2$ з рівності

$$\Phi_z(x, y) = 1$$

впливає рівність

$$\Phi_{z+\xi}(\tilde{x}_\xi, \tilde{y}_\xi) = 1.$$

Основні психофізичні застосування цього твердження пов'язані з явищем іррадіації зору. Воно полягає в тому, що реакція зорової системи на зображення при фіксації зору на певній точці простору залежить не тільки від яскравості зорової картини в даній точці, але й від яскравості в інших точках простору. Внаслідок цього вплив у цій точці є інтегральним у фізичному

розумінні цього слова. Найбільш істотним із прикладної точки зору є умова адитивності. Існують експериментальні дані, що надають підставу для припущення щодо її справедливості. У першу чергу це стосується експериментів із зоровими картинами, що складаються з послідовності конгруентних смуг, на кожній з яких рівень яскравості набуває по черзі одного із двох фіксованих значень. Якщо ширина цих смуг досить мала, то зорова система сприймає таку картину як картину з постійною яскравістю. Відповідно до просторового закону Галбота рівень яскравості цієї постійної картини дорівнює середньому значенню яскравості вихідної.

Вирішено питання про те, при яких додаткових умовах на предикат $\Phi_z(x, y)$ можна поширити твердження 2, конкретизуючи вид ядра $Q(u, v)$ у вигляді функції, що залежить тільки від відстані точки (u, v) від нуля. У цьому випадку сімейство моделей (5) набуває вигляду

$$\begin{aligned} \Phi_z(x, y) = D & \left(\iint T((u - \xi)^2 + (v - \eta)^2) x(u, v) dudv, \right. \\ & \left. \iint T((u - \xi)^2 + (v - \eta)^2) y(u, v) dudv \right), \end{aligned} \quad (8)$$

де D – предикат рівності, $z = (\xi, \eta) \in R^2$, T – майже всюди ненегативна функція.

Нехай $x(u, v)$ – довільна функція, θ – довільне число з напівінтервалу $[0, 2\pi)$. Покладемо

$$\bar{x}_\theta(u, v) = x(u \cdot \cos \theta + v \cdot \sin \theta, -u \cdot \sin \theta + v \cdot \cos \theta),$$

тобто функція \bar{x}_θ виходить із функції x внаслідок повороту навколо нуля на кут θ .

Твердження 3. Для того, щоб для сімейства предикатів $\Phi_z(x, y)$ знайшлася майже всюди ненегативна на півосі $[0, \infty)$ функція T , що задовольняє при будь-яких ξ, η умовам

$$\begin{aligned} \iint e^{-(u-\xi)^2+(v-\eta)^2} T^2(u^2 + v^2) dudv < \infty, \\ \int_0^\infty T(r) dr = \frac{1}{\pi} \end{aligned} \quad (9)$$

і така, що має місце рівність (9), необхідно і достатньо, щоб сімейство задовольняло умовам твердження 2 і такій умові:

– для будь-яких $x, y \in K(R^2)$ і кожного $Q \in [0, 2\pi)$ з рівності

$$\Phi_0(x, y) = 1 \quad (10)$$

впливає рівність

$$\Phi_0(\bar{x}_\theta, \bar{y}_\theta) = 1. \quad (11)$$

Третій розділ. У цьому розділі вдосконалено метод компараторної ідентифікації для побудови математичних моделей динамічних систем, що описуються операторами Фредгольма й Вольтерра, на випадок, коли множина вхідних сигналів описується нескінченновимірним простором.

Головна задача структурної ідентифікації сенсорних систем полягає в ідентифікації структури низки інтегральних операторів, які діють у різних функціональних просторах. У цьому розділі було вибрано найбільш характерні для задач моделювання сенсорних систем види функціональних просторів типу L_2 або позитивний конус цього простору.

Твердження 4. Предикат $\Phi(x_1, x_2)$, заданий на декартовому квадраті $L = L_2[0,1] \times L_2\{[0,1] \times [0,1]\}$, може бути представлений у вигляді

$$\Phi(x_1, x_2) = D(F[x_1], F[x_2]), \quad (14)$$

де $x_1 = \langle l_1(\lambda), m_1(\lambda, \tau) \rangle \in L$, $F[x_1] = \{f_1(x_1), \dots, f_n(x_1)\}$, $x_2 = \langle l_2(\lambda), m_2(\lambda, \tau) \rangle \in L$, $F[x_2] = \{f_1(x_2), \dots, f_n(x_2)\}$,

$$f_i(x_k) = \int_0^1 l_k(\lambda) \alpha_i'(\lambda) d\lambda + \int_0^1 \int_0^1 m_k(\lambda, \tau) \alpha_i'(\lambda) \alpha_i''(\tau) d\lambda d\tau, \quad k=1,2, i=1, \bar{n}, \quad (15)$$

тоді і тільки тоді, коли він є лінійним предикатом і задовольняє властивостям:

– існує функція $f(\tau) \in L_2[0,1]$ така, що для будь-яких $l(\lambda), m(\lambda), n(\lambda), r(\tau) \in L_2[0,1]$ з рівності $\Phi(x_1, x_2) = 1$ випливає $\Phi(x'_1, x'_2) = 1$, де $x_1 = \langle l(\lambda), m(\lambda) f(\tau) \rangle$, $x_2 = \langle l(\lambda), n(\lambda) f(\tau) \rangle$,

$$x'_1 = \langle l(\lambda), m(\lambda) f(\tau) r(\tau) \rangle, \quad x'_2 = \langle l(\lambda), n(\lambda) f(\tau) r(\tau) \rangle;$$

– для будь-яких $l(\lambda), m(\lambda), n(\lambda), r(\tau) \in L_2[0,1]$ з рівності $\Phi(x_1, x_2) = 1$ випливає $\Phi(x'_1, x'_2) = 1$, де $x_1 = \langle l(\lambda), m(\lambda) r(\tau) \rangle$,

$$x_2 = \langle l(\lambda), m(\lambda) r(\tau) \rangle, \quad x'_1 = \langle l(\lambda), n(\lambda) r(\tau) \rangle, \quad x'_2 = \langle l(\lambda), n(\lambda) r(\tau) \rangle.$$

Множина вхідних сигналів є позитивним конусом на $L = L_2[0,1] \times L_2\{[0,1] \times L_2[0,1]\}$, покажемо, при яких умовах інтегральні ядра мають вигляд відношення інтегралів.

Визначення. Предикат $\Phi(x, y)$, заданий на декартовому квадраті позитивного конусу K гільбертового простору $L = L_2[0,1] \times L_2\{[0,1] \times L_2[0,1]\}$, є предикатом лінійного відношення, якщо він має вигляд

$$\Phi(x, y) = D(F[x], F[y]), \quad (16)$$

де $x, y \in K, F[x] = \{f_1(x), \dots, f_n(x)\}, x = \langle x_1(\lambda), x_2(\lambda) \rangle,$

$$f_i(x) = \frac{\alpha_i(x_1)}{\beta_i(x_2)}, i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

а $\{\alpha_i(x_1)\}_{i=1}^n, \{\beta_i(x_2)\}_{i=1}^n$ – системи лінійних лінійно незалежних функціоналів, задані на $L_2[0,1]$ і $L_2\{[0,1] \times [0,1]\}$ відповідно з ядрами, що належать позитивним конусам відповідних просторів і мають вигляд

$$\alpha_i(x_1) = \int_0^1 x_1(\lambda) \alpha_i(\lambda) d\lambda$$

$$\beta_i(x_2) = \int_0^1 \int_0^1 x_2(\lambda, \tau) \beta_i(\lambda, \tau) d\lambda d\tau, i = \overline{1, n}. \quad (18)$$

Лінійні предикати мають наступну властивість, вони здійснюють розбиття на класи еквівалентності за допомогою набору n лінійно незалежних функціоналів, причому цей набір можна змінити, взявши довільні лінійно незалежні комбінації даних функціоналів. Ця зміна відповідає зміні базису у властивості n -мірності. Взагалі те, до якого набору лінійних функціоналів ми прийдемо, залежить від вибору цього базису.

Коли ми розглядаємо лінійний предикат, він, у загальному випадку, може бути довільним, аби лише він належав тій області, на якій заданий предикат. Коли ж розглядаються предикати лінійного відношення, ця властивість не спостерігається. Щоб прийти до вигляду (17) з функціоналами (18), недостатньо вибрати довільний базис. Необхідною умовою існування таких предикатів є властивість квазіоднорідності і полягає вона в такому.

Існує базис $\{e_i\}_{i=1}^n$ і $e_i = \langle e_j'(\lambda), e_j''(\lambda, \tau) \rangle$ такий, що для будь-якого номеру $k \in \{1 \dots n\}$ і $\lambda \in R$ з рівності $E(x, y) = 1$, де $x = \langle x_1(\lambda), x_2(\lambda, \tau) \rangle$ й умови, що $x^* = \langle x_1^*(\lambda), x_2^*(\lambda, \tau) \rangle$ має властивість $a_k(x_1^*) = \lambda a_k(x_1), \beta_k(x_2^*) = \lambda \beta_k(x_2)$, впливає $E(x^*, y) = 1$.

Властивість інваріантності.

$$\Phi(\langle l(\lambda), m(\lambda, \tau) \rangle, \langle x(\lambda), y(\lambda, \tau) \rangle) = \Phi(\langle n_1(\lambda), l(\lambda, \tau) \rangle, \langle x(\lambda), y(\lambda, \tau) \rangle),$$

$$\Phi(\langle m(\lambda), r(\lambda, \tau) \rangle, \langle u(\lambda), x_2(\lambda, \tau) \rangle) = \Phi(\langle m(\lambda), v(\lambda, \tau) \rangle, \langle m(\lambda), n(\lambda, \tau) \rangle)$$

при будь-якому виборі функцій $z, u, \omega \in K_1$ і $x, y, v \in K_2$.

Твердження 5. Для того, щоб предикат $\Phi(x, y)$, заданий на декартовому квадраті позитивного конусу K гільбертового простору $L = L_2[0,1] \times L_2\{[0,1] \times [0,1]\}$, був предикатом лінійного відношення необхідно

та достатньо, щоб він задовольняв властивостям часткової лінійності, інваріантності, квазіоднорідності, симетричності і транзитивності.

Практична перевірка цих характеристичних властивостей є першим етапом запропонованого методу компараторної ідентифікації динамічних систем. Далі метод передбачає побудову конкретних операторів, за допомогою яких зручно описувати моделі динамічних систем.

$$\Phi_t(x, y) = D(F_t[x], F_t[y]),$$

$$\text{де } F_t[x] = (f_{1t}(x), \dots, f_{nt}(x)) \quad \text{і} \quad f_{it}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-t|\tau|} x(\tau) \alpha_{it}(\tau) d\tau.$$

Позначимо через $k_{it}(\tau) = e^{-t|\tau|} \alpha_{it}(\tau)$. Тоді сімейство функціоналів $f_{it}(x)$ набуде вигляду:

$$f_{it}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) k_{it}(\tau) d\tau. \quad k_{it}(\tau) = k_{it}(t - \tau).$$

Дане сімейство предикатів називається згорточним.

У **четвертому розділі** розглядаються практичні застосування математичних моделей і методів, розглянутих у попередніх розділах.

Недостатня вивченість питань керування кольором у комп'ютерних системах пов'язана зі складністю математичного опису всіх факторів, які впливають на кінцеве сприйняття колірної інформації зоровою системою людини. Тому для точного відтворення кольору в поліграфічних системах видається доцільним використання розроблених у дисертації моделей і методів компараторної ідентифікації процесів перетворення колірної інформації.

Одним із перспективних напрямків розвитку інтерактивних тренажерів є побудова мультимедійних тирів, розробка яких зумовлена необхідністю імітації різних умов бойових дій, наближених до реальних і потребуючих своєчасного застосування зброї співробітниками силових структур.

Пристрій містить проекційний екран, послідовно з'єднані комп'ютер і відеопроєктор, оптично зв'язаний з екраном, інфрачервоний випромінювач, що рівномірно освітлює екран, відеокамеру з інфрачервоним світлофільтром, вихід якої з'єднаний з комп'ютером, а вхід – через проекційний екран з інфрачервоним випромінювачем здійснює дистанційне безконтактне вимірювання координат точки влучення у відеомішень при навчанні використанню вогнепальної зброї (рис. 1).

Сполучення засобів цифрового телебачення і комп'ютерної техніки з використанням математичних моделей психофізики людини дозволяє значно підвищити ефективність загальної стрілецької підготовки і створити на

екрані необхідну оперативну обстановку для тренування спецпідрозділів з боротьби з тероризмом, служб безпеки й охорони.

Розроблений на основі викладеної вище компараторної моделі пристрій вигідно відрізняється від відомих мультимедійних тирів застосуванням спеціально розробленого дистанційного, безконтактного способу вимірювання координат точки влучення кулі.

Однією зі сфер застосування отриманих математичних моделей є їх технічна реалізація, що полягає в побудові пристроїв розпізнавання кольору, які працюють за алгоритмами перетворення інформації в органі зору людини. Такі пристрої можуть знайти широке застосування у всіляких галузях науки і техніки, наприклад, при класифікації предметів за кольором, при введенні інформації в електронні обчислювальні машини, у лакофарбовій, хімічній, металургійній та іншій галузях промисловості.

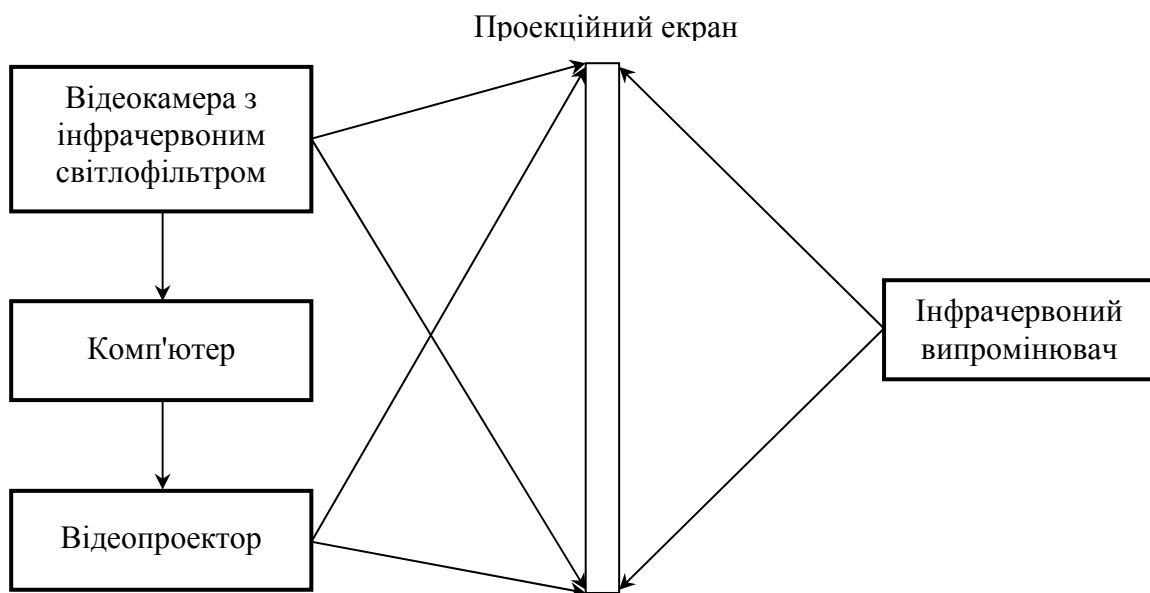


Рис. 1. Блокова структура мультимедійного тиру

У роботі запропоновано метод побудови датчиків кольору, що значно спрощує процедуру їх налаштування на криві додавання кольору і дозволяє здійснити її з будь-якою наперед заданою точністю. При заміні фотоприймачів такі датчики легко підлагоджуються з урахуванням спектральної характеристики нового фотоприймача, тому вони є досить перспективними при використанні в пристроях розпізнавання кольору.

На сьогодні при побудові датчиків кольору для відтворення необхідної кривої додавання здійснюють індивідуальне припасування спектральної характеристики світлофільтра, що є досить трудомісткою й кропіткою операцією, причому, якщо з якихось причин змінилися параметри фотодатчика, її необхідно починати спочатку.

Запропонований метод заснований на тому, що на вході датчика встановлюються не три (відповідно до трьох кривих додавання кольору), а більша кількість фотоприймачів, що мають різні спектральні характеристики

і шляхом математичних перетворень сигналів, одержуваних на їх виході, відтворюються задані криві додавання.

Світлові сигнали $b(\lambda)$, потрапляючи на фотоприймачі $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n$, перед якими можуть бути встановлені різні світлофільтри, перетворюються в напруги U_1, U_2, U_3 за формулою

$$U_j = I_j R_{Hj} = h R_{Hj} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b(\lambda) q_i(\lambda) \phi_i(\lambda) d\lambda,$$

де R_{Hj} – опір навантаження в ланцюзі j -го фотоприймача, $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Ці напруги підсумуються на вході кожного з підсилювачів з коефіцієнтом

$$\alpha_{ij} = \frac{R_{oi}}{R_{ij}},$$

де R_{oi} – опір зворотного зв'язку i -го підсилювача ($i = 1, 2, 3$); R_{ij} – опір на вході i -го підсилювача, через яке подається j -напруга. На виході кожного з підсилювачів одержимо напругу U_i , обумовлену виразом

$$U_i \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} U_j = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} R_{Hj} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b(\lambda) \cdot f_i(\lambda) d\lambda = R_{Hj} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda) \left(\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} f_i(\lambda) \right) d\lambda.$$

Звідси видно, що спектральна характеристика кожного із трьох каналів проходження сигналів визначається вираженням

$$\phi_i(\lambda) = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} f_i(\lambda).$$

Одним з важливих прикладних аспектів методів моделювання зору є їх застосування в системах колірної поліграфії. Зазначимо низку актуальних задач в області поліграфії, при вирішенні яких доцільне використання отриманих у цій роботі методів і моделей компараторної ідентифікації колірного зору людини:

– обробка та аналіз даних для побудови профілів пристроїв виводу та відображення;

– структурно-параметрична компараторна ідентифікація параметрів моделі, що реалізує відображення $\Phi: RGB \rightarrow Lab$ для формування таблиці відповідності;

– формування експертних матриць парних порівнянь і досягнення заданої якості кольоровідтворення;

– калібрування устаткування, нормалізація технологічного процесу виготовлення друкованої продукції, а також характеристика всіх кольоровідтворюючих пристроїв – побудова профілів пристроїв, що беруть участь у процесі виготовлення друкованої продукції;

– компараторна оцінка значущості точності відтворення виділених областей колірному простору *Lab*;

– моделювання перетворення колірної інформації з урахуванням фактичних умов перегляду, зокрема, дослідження впливу умов освітлення на передачу кольору на основі розробленої моделі адаптації зорової системи людини до рівня освітлення, що дає можливість реалізації високоточної специфікації, контролю і репродукування кольору.

У додатках наведено акти впровадження теоретичних і практичних результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено результати, котрі, у відповідності з метою дослідження, у сукупності є вирішенням актуальної науково-практичної задачі – аналізу та моделювання сенсорних систем в умовах обмежень на множину вхідних сигналів на базі методу компараторної ідентифікації. Розглянуто питання практичного застосування отриманих методів і моделей у технічних системах розпізнавання і відтворення кольору.

1. Проведений аналіз проблем і задач теорії й практики компараторної ідентифікації сенсорних систем показав, що потребують подальшої розробки задачі побудови інтегральних моделей компараторної ідентифікації.

2. Розроблено інтегральні моделі компараторної ідентифікації колірної інерції для двох практично важливих випадків: спектрального складу, що змінюється в часі, і постійного спектрального складу зі змінюваною у часі інтенсивністю. Моделі мають вигляд операторів з ядрами, що розпадаються, різницевиими ядрами та сімейств двохпараметричних операторів.

3. Вдосконалено інтегральну модель зору людини, яка враховує механізм іррадіації зору людини. На відміну від існуючих запропонована модель визначає систему аксіом, при виконанні якої можливо спрощення ядра інтегральної моделі. Модель забезпечує можливість побудови сенсорних систем для обробки колірної інформації з урахуванням іррадіації.

4. Виділено найбільш типові моделі простору вхідних сигналів і отримано характеристичні властивості лінійних функціоналів інтегрального типу. Вибір типу простору й операторів обумовлений їх поширенням у психофізичних і технічних задачах, зокрема деякі з цих моделей описують такі зорові процеси, як вплив тла на випромінювання в точці та ефект нормалізації.

5. Набув подальшого розвитку метод компараторної ідентифікації для побудови математичних моделей динамічних систем, що описуються операторами Фредгольма й Вольтерра, на випадок, коли множина вхідних сигналів описується нескінченновимірним простором. Введено поняття

сімейства предикатів, на основі якого можна компараторним методом ідентифікувати як стаціонарні, так і нестаціонарні лінійні системи. Ці моделі можуть бути використані для опису адаптації сенсорної системи людини до рівня яскравості.

6. Розроблено методику експериментальної перевірки характеристичних властивостей математичних моделей систем, що ідентифікуються, впроваджений у ТОВ НТЦ АН ПРЄ в науково-технічній розробці "Універсальний мультимедійний інтерактивний стрілецький тренажер". Використання методів компараторної ідентифікації лінійних статичних і динамічних систем дозволило розробити більш ефективний критерій прийняття рішень (акт впровадження наводиться в додатках).

7. На базі розроблених методів і моделей запропоновано підхід до застосування компараторної ідентифікації в актуальних поліграфічних задачах. Розроблено підхід до побудови датчиків кольору, що значно спрощує процедуру їх настроювання на криві додавання кольору.

8. Результати дисертаційної роботи включені в курси лекцій з дисциплін «Теорія інтелекту» і «Алгебраїчна логіка» для студентів 4-5 курсів спеціальності «Програмне забезпечення автоматизованих систем» факультету комп'ютерних наук Харківського національного університету радіоелектроніки і використовуються при виконанні лабораторних, курсових і дипломних робіт.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Супрун Т.С. Изоморфизм предикатных моделей компараторной идентификации / С.Ю. Шабанов-Кушнаренко, Т.С. Супрун // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2009. – №1(20). – С. 35–42.

2. Супрун Т.С. Компараторная идентификация линейных систем с интегральными ядрами / Т.С. Супрун // Системы обработки информации. – 2008. – Вип. 6(73). – С. 118–123.

3. Супрун Т.С. Компараторная идентификация динамических линейных систем, описываемых семействами предикатов / Т.С. Супрун // Системы обработки информации. – 2009. – Вип. 1(75). – С. 126–129.

4. Супрун Т.С. Применение компараторной идентификации для разработки мультимедийного тира / Т.С. Супрун // Системы обработки информации – 2009. – Вип. 6(80). – С. 119–122.

5. Супрун Т.С. Компараторная идентификация стационарных линейных систем / Т.С. Супрун // Тези доп. 4-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток наукових досліджень '2008». м. Полтава. 24-26 листопада 2008 р. С. 43–45.

6. Супрун Т.С. Параметрична компараторна ідентифікація ядер інтегральних операторів / Т.С. Супрун // Тези доп. International Conference CSIT'2008, September 25-27, 2008, Lviv, Ukraine. P. 418–420.

АНОТАЦІЯ

Супрун Т.С. Інтегральні моделі компараторної ідентифікації та їх застосування для розпізнавання зорової інформації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – системи та засоби штучного інтелекту. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2010.

У дисертації розроблено інтегральні моделі й методи аналізу сенсорних систем в умовах обмежень на множину вхідних сигналів на базі методу компараторної ідентифікації, розглянуто питання практичного застосування отриманих методів і моделей у технічних системах розпізнавання і відтворення кольору.

Розроблено інтегральні моделі компараторної ідентифікації колірної інерції для двох практично важливих випадків: спектрального складу, що змінюється в часі, і постійного спектрального складу зі змінюваною в часі інтенсивністю. Розроблено інтегральну модель перетворення зорової інформації, що враховує явище іррадіації зору. Вирішено задачу структурної компараторної ідентифікації для низки інтегральних операторів у гільбертових просторах. Розглянуто випадок обмеження множини вхідних сигналів на випадок позитивного конусу. Вибір такого виду простору й операторів обумовлений їх поширенням у психофізичних і технічних задачах. Введено поняття сімейства предикатів, на основі якого можна компараторним методом ідентифікувати як стаціонарні, так і нестаціонарні лінійні системи.

Розроблено методику експериментальної перевірки характеристичних властивостей математичних моделей, впроваджену у ТОВ НТЦ АН ПРЕ в науково-технічній розробці "Універсальний мультимедійний інтерактивний стрілецький тренажер" (акт впровадження наводиться в додатках).

Ключові слова: лінійний предикат, сімейство предикатів, гільбертовий простір, лінійний функціонал інтегрального типу, математичні моделі зору, зорова іррадіація, кольорова інерція, ефект нормалізації зору, сенсорні системи.

АННОТАЦИЯ

Супрун Т.С. Интегральные модели компараторной идентификации и их применение для распознавания зрительной информации. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 – системы и средства искусственного интеллекта. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2010.

В диссертации проанализированы проблемы и задачи теории и практики компараторной идентификации сенсорных систем. Проведенный анализ показал, что задачи построения интегральных моделей компараторной идентификации, поставленные в диссертации, нуждаются в дальнейшей разработке. Разработаны интегральные модели и методы анализа сенсорных

систем в условиях ограничений на множество входных сигналов на базе метода компараторной идентификации, рассмотрены вопросы практического применения полученных методов и моделей в технических системах распознавания и воспроизведения цвета. Разработаны интегральные модели компараторной идентификации цветовой инерции на гильбертовом пространстве и на его положительном конусе в виде операторов с распадающимися ядрами, разностными ядрами и семейств двухпараметрических операторов (параметр – точка плоскости) для двух практически важных случаев: изменяющегося во времени спектрального состава и постоянного спектрального состава с меняющейся во времени интенсивностью.

Разработана интегральная модель преобразования зрительной информации, учитывающая явление иррадиации зрения. Решена задача структурной компараторной идентификации для ряда интегральных операторов в гильбертовых пространствах. Выделены наиболее типичные модели пространства входных сигналов и получены характеристические свойства линейных функционалов интегрального типа, действующих на этих функциональных пространствах. Рассмотрен случай ограничения множества входных сигналов на случай положительного конуса. Выбор подобного вида пространства и операторов обусловлен их распространением в психофизических и технических задачах. Например, этими операторами описываются такие зрительные процессы как влияние фона на излучение в точке и эффект нормализации. Получены системы характеристических свойств для линейных предикатов эквивалентности и дифункциональности, заданных на декартовом квадрате положительного конуса гильбертова пространства. Введено понятие семейства предикатов, на основе которого можно компараторным методом идентифицировать как стационарные, так и нестационарные линейные системы.

Широкий класс психофизических и технических систем имеет динамику. Линейные детерминированные динамические системы описываются в нормальном виде или в пространстве состояний. С формальной точки зрения такое описание выражается дифференциальными операторами с переменными или постоянными коэффициентами. Получены характеристические свойства семейств предикатов интегрального типа (с ядрами Фредгольма и Вольтерра). Эти модели могут быть использованы для описания адаптации зрительной системы человека к уровню освещения. Предложена методика построения датчиков цвета, значительно упрощающий процедуру их настройки на кривые сложения цвета. Разработана математическая модель и методика построения устройств распознавания цветовых образов. Рассмотрена возможность применения разработанных методов и моделей компараторной идентификации в актуальных полиграфических задачах. Разработано программное обеспечение мультимедийного тира.

Разработанная методика экспериментальной проверки характеристических

свойств математических моделей идентифицируемых систем внедрена в ООО НТЦ АН ПРЭ в научно-технической разработке "Универсальный мультимедийный интерактивный стрелковый тренажер". Использование методов компараторной идентификации линейных статических и динамических систем позволило разработать более эффективный критерий принятия решений (акт внедрения приводится в приложениях).

Ключевые слова: линейный предикат, семейство предикатов, гильбертово пространство, линейный функционал интегрального типа, математические модели зрения, зрительная иррадиация, цветовая инерция, эффект нормализации зрения, сенсорные системы.

ABSTRACT

Suprun T.S. Integrated models comparator identifications and their application for visual information recognition. – Manuscript.

The dissertation on competition of a Cand.Tech.Sci. scientific degree on a speciality 05.13.23 – systems and artificial intelligence techniques. – Kharkov national university of radio electronics, Kharkiv, 2010.

In the dissertation integrated models and methods of the touch systems analysis in the conditions of entrance signals set restrictions on the basis of a comparator identifications method are developed, questions of practical application of the received methods and models in technical recognition systems and colour reproduction are considered.

Comparator identifications of colour inertia integrated models are developed for two practically important cases: spectral structure changing in time and constant spectral structure with intensity varying in time. The integrated model of transformation of the visual information, considering the sight irradiation phenomenon is developed. The structural comparator identifications problem for a number of integrated operators in Hilbert spaces is solved. The case of entrance signals set restriction on a positive cone case is considered. The choice of a similar kind of space and operators is caused by their distribution to psychophysical and technical problems. The concept of predicates family on which basis it is possible comparator method to identify both stationary, and non-stationary linear systems is entered. Possibilities of application of the developed methods and models comparator identifications in actual polygraphic problems are considered.

The developed method of identified systems mathematical models characteristic properties experimental check is introduced in scientific and technological centre AN PRE Open Company in scientific and technical working out "the Universal multimedia interactive shooting training simulator".

Keywords: linear predicate, predicates family, Hilbert space, linear functional of integrated type, mathematical models of sight, visual irradiation, colour inertia, effect of normalization of sight, touch systems.

Підп. до друку 15.11.10. Формат 60x841/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Тираж 100 прим.
Зам. № 2-1028. Ціна договірна.

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
Харків, просп. Леніна, 14

