

Обробка Даних в Інформаційній Мережі Радіолокаційних Систем Спостереження Повітряного Простору

Ірина Свид

кафедра мікропроцесорних
технологій і систем
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
iryna.svyd@nure.ua

Олександр Мальцев

кафедра мікропроцесорних
технологій і систем
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
aleksandr.maltsev@nure.ua

Ганна Заволодько

кафедра систем інформації
ім. В.О. Кравця
Національний технічний
університет «ХПИ»
Харків, Україна
ann.zavolodko@gmail.com

Максим Чернишов

кафедра мікропроцесорних
технологій і систем
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
maksym.chernyshov@nure.ua

Сергій Козирєв

кафедра мікропроцесорних
технологій і систем
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
serhii.kozyriev@nure.ua

Марія Ткач

кафедра мікропроцесорних
технологій і систем
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
mariia.zavorotna@nure.ua

Data Processing in the Information Network of Radar Airspace Surveillance Systems

Iryna Svyd

Department of Microprocessor
Technologies and Systems
Kharkiv National University of
Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iryna.svyd@nure.ua

Oleksandr Maltsev

Department of Microprocessor
Technologies and Systems
Kharkiv National University of
Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
aleksandr.maltsev@nure.ua

Hanna Zavolodko

Department of Information Systems
National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»
Kharkiv, Ukraine
ann.zavolodko@gmail.com

Maksym Chernyshov

Department of Microprocessor
Technologies and Systems
Kharkiv National University of
Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
maksym.chernyshov@nure.ua

Serhii Kozyriev

Department of Microprocessor
Technologies and Systems
Kharkiv National University of
Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
serhii.kozyriev@nure.ua

Mariia Tkach

Department of Microprocessor
Technologies and Systems
Kharkiv National University of
Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
mariia.zavorotna@nure.ua

Анотація—У роботі проводиться аналіз переваг інформаційного забезпечення споживачів системи контролю повітряного простору на базі єдиної інформаційної мережі систем спостереження, наводиться класифікація і принципи організації інформаційної мережі систем спостереження і показано, що маркування координатних даних інформаційних засобів часом її отримання дозволяє узгодити

процес фільтрації траєкторії за даними від різних інформаційних засобів на етапі вторинної обробки даних.

Abstract—The paper analyzes the advantages of information support for consumers of airspace control system on the basis of a single information network of surveillance systems. The classification and principles of organization of the information



Інформаційні системи та технології ICT-2020

Секція 4.

Розпізнавання образів, цифрова обробка зображень і сигналів.

network of surveillance systems are given. It is shown that the time marking of the coordinate data of the information means allows to coordinate the process of filtering the trajectory according to the data from different information means at the stage of secondary data processing.

Ключові слова—радіолокаційний радар; повітряний об'єкт; обробка даних.

Keywords—rimary radar; air object; data processing.

I. ВСТУП

Система контролю повітряного простору в значній мірі забезпечує як безпеку країни, так і безпеку повітряного руху. До основних процедур системи контролю повітряного простору відносяться аналіз повітряної обстановки і прийняття управлінських рішень. Рішення приймається на основі аналізу підготовлених даних про стан повітряної обстановки в зоні відповідальності. Вірні рішення можна прийняти лише в тому разі, якщо є досить повна, точна, достовірна і безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Радіолокаційні системи спостереження (СС), до яких відносяться системи первинної та вторинної радіолокації, в значній мірі зумовлюють рішення вищезазначених завдань. Досвід провідних країн світу свідчить, що в них уже досить тривалий час існують національні єдині системи контролю використання повітряного простору як військовою, так і цивільною авіацією. Очевидно, що при цьому досягається максимальна ефективність використання повітряного простору при порівняно низьких матеріальних, технічних і людських витратах. Однією зі складових системи контролю використання повітряного простору є єдина інформаційна мережа (ІС), на базі існуючих СС. Мережевій побудови інформаційних засобів приділяється значна увага [1-5]. Зокрема, існуючі національні єдині системи контролю використання повітряного простору, як правило, реалізовані на мережевому використанні окремих інформаційних засобів (програми 968Н, ACCS та ін.). Основними завданнями цих програм є об'єднання в загальну мережу існуючих СС і централізоване управління цією мережею вищим органом. Об'єднані (результуючі) дані мережі видаються споживачам. Однак такий принцип організації мережі уніфікує інформаційне забезпечення споживачів. Дійсно, споживачеві часто потрібна інформація конкретного джерела, а не об'єднана інформація мережі [5-8]. Крім того, включення окремих СС в єдиний ІС на принципі механічного об'єднання тільки інформації не вирішує проблеми окремих інформаційних засобів, зокрема, систем вторинної радіолокації, спільного функціонування систем первинної і вторинної радіолокації і тому подібне. Це стимулює пошук нових принципів організації єдиної ІС, в якій поєднувалося б повне і надійне інформаційне забезпечення споживачів, а також вирішувалися проблеми функціонування окремих інформаційних засобів.

II. АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Рациональна еволюція СС призводить до об'єднання радіолокаційних СС або інших датчиків інформації,

розосереджених на певній ділянці контрольованого простору, в мережу. Така еволюція мотивується можливістю злиття великого обсягу даних, одержуваних елементами СС, що працюють незалежно один від одного і володіють певною мірою взаємодоповнюючими даними. Завдання полягає в точному відображенні навколишнього оточення і своєчасного виявлення змін у ньому. Такий супровід повітряних об'єктів (ПО) представляє загальновідому системну концепцію, що довела свою корисність при вирішенні як цивільних, так і військових прикладних задач практично у всіх розвинених державах.

Розглянемо переваги мережевої інформаційної системи в порівнянні з поодинокими інформаційними системами спостереження.

Відомо, що з'єднання декількох радіолокаційні СС лініями зв'язку дозволяє розширити зону видимості за межами максимальної дальності одиночного радіолокатора, яка обмежена або межами прямої видимості, або потужністю випромінювання радіолокації. Такого результату можна досягти при мінімальному перекритті зон видимості радіолокатора, тим самим, мінімізуючи кількість приймальних датчиків, розгорнутих в заданій області. Об'єднання в мережу СС з перекриттям зон видимості надає ряд переваг [9-12].

Одна з переваг полягає в збільшенні ймовірності виявлення в межах деякого інтервалу часу, який забезпечується мережевою системою спостереження, в порівнянні з випадком розрізаних радіолокаторів, що призводить до зниження ймовірності зриву супроводу. Як варіант, при заданій ймовірності зриву супроводу, ймовірність виявлення для кожної СС може бути знижена щодо випадку розрізаних СС. Можливе за рахунок зниження потужності передавачів, що призведе до зниження вартості кожної з СС. Залежно від типу прикладної задачі, об'єднання СС в мережу може виявитися більш зручним, ніж одиночна СС, яка має високу потужність і швидкість видачі даних [13-15].

Ще однією з переваг мережевих СС є можливість використання відмінностей в ефективних поверхнях розсіювання (ЕПР) ПО в різних трактах проходження сигналів між ПО та СС. Для розосереджених СС розкид ЕПР, в залежності від кута візування, становить значну величину. Ця обставина дозволяє забезпечити надійне виявлення ПО з малою ЕПР при мережевій структурі СС.

Серед інших переваг, можна відмітити надійність і безперервність супроводу при переході спостереження між сусідніми СС і підвищення точності супроводу ПО.

Мережева СС забезпечує більш високий темп видачі даних споживачеві, при відповідному зменшенні похибок фільтрації. Мережева структура, яка дозволяє комбінувати дані, що надходять від двох або більше СС, підвищує точність системи в цілому. Коли комбінування даних здійснюється простим усередненням, то в цьому випадку точність координат, які видаються споживачу, підвищується пропорційно квадратному кореню числа врахованих СС. Кращі результати може дати метод комбінування, при якому координатні дані по кожному



Інформаційні системи та технології ICT-2020

Секція 4.

Розпізнавання образів, цифрова обробка зображень і сигналів.

окремому ПО піддаються ваговій обробці, відповідно до їх точнісних показників [16-18].

Ще однією перевагою мережевих СС є їх більш висока стійкість до природних і навмисним завад, а також живучість, що обумовлена незвичайною геометрією розташування СС і можливістю координувати в часі випромінювання останніх. Крім того, висоту ПО і сумарний вектор швидкості можна оцінити, відповідним чином комбінуючи дані вимірювань, що видаються СС. При об'єднанні в мережу забезпечуються розширені можливості реконфігурації системи в разі виникнення відмов в роботі СС, тим самим досягається велика надійність радіолокаційного огляду контрольованого простору і, як наслідок, підвищується якість інформаційного забезпечення споживачів [19-21].

III. ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Головна функція інформаційної мережі полягає в передачі даних, які видаються різними інформаційними засобами споживачеві, який комбінує інформацію для того, щоб забезпечити мережевий супровід. При такій реалізації мережі сукупність СС здійснює виявлення і вимірювання координат ПО з різним темпом видачі даних і з різними показниками якості виявлення і вимірювання координат. За ліній передачі дані передаються до споживача, який виконує функції супроводу, прогнозування радіолокаційної траєкторії, кореляцію, згладжування траєкторій і перетворення координат, одержуваних за даними вимірювань, що видаються розосередженими інформаційними джерелами, до опорної системи координат споживача.

Відповідно до просторового розміщення СС, можна виділити два класи систем, що об'єднуються в мережу, а саме:

- сумісних або суміщених;
- розподілених.

Сумісні СС, це ті СС, у яких антени обертаються спільно на одній і тій же платформі, а суміщені - це ті, у яких антени розташовуються в межах досить обмеженою області та здійснюють синхронний огляд по азимуту. Прикладом сумісних радіолокаційних систем з спільно обертаючимися антенами є системи, що містять первинну СС і вбудовану вторинну СС. Поєднання даних вимірювань вторинної СС з даними, що видаються первинної СС, сприяють поліпшенню функції кореляції між координатними даними і даними спостереження, завдяки можливості використання розпізнавального коду ПО. Більш того, об'єднання даних вимірювань первинної і вторинної СС підвищує якість як виявлення, так і точність визначення координат повітряного об'єкта [10-15].

Залежно від ступеня використовуваної обробки даних, мережеві СС можна додатково класифікувати як розподілені або централізовані. Розподілена архітектура характеризується тим, що на кожній СС здійснюється первинна та вторинна обробка даних. Локальні дані спостереження потім видаються споживачам, в апаратурі

обробці де дані об'єднуються, з метою встановлення єдиного багатостанційного стеження за кожним ПО. Така структура мережі найбільш доцільна при об'єднанні існуючих СС в єдину інформаційну мережу (ІМ). У централізованій архітектурі використовується єдиний процесор обробки даних. Така структура мережі може бути рекомендована при розташуванні СС в обмеженому просторі, наприклад, СС ближньої і далекої зони радіолокаційного забезпечення управління польотами авіації.

В ІМ з розподіленою або централізованою обробкою інформації дані або споживачеві, або на пункт спільної обробки надходять з різним темпом. Так як огляд простору окремих СС не синхронізований, то об'єднання інформації в ІМ з розподіленою обробкою даних споживачів здійснюється шляхом проведення третинної обробки даних. В ІМ з централізованою обробкою інформація з СС надходить зі змінною швидкістю і різною точністю, що потрібно враховувати при побудові апаратури вторинної обробки даних. Саме ці обставини вимагають маркувати координатну інформацію часом її отримання, що дозволяє узгодити процес фільтрації траєкторії за даними від різних інформаційних засобів на етапі вторинної обробки даних. Далі детальніше розглянемо цей процес.

Припустимо, що є два датчика радіолокаційної інформації з різним темпом огляду простору. У кожному з джерел радіолокаційних даних є своя шкала часу, організована, наприклад, за допомогою GPS приймачів, що характеризується часовим процесом T_{ij} , де індексом i позначається номер джерела отримання інформації ($i=1,2$), а j – дискретний час отримання даних. Будемо вважати, що споживач інформації територіально розташований в першому датчику інформації. Припустимо, що по $j=k$ попереднім вимірам в апаратурі споживача отримана результуюча оцінка вектора стану $\hat{W}_k(T_{1k})$ з відповідною матрицею точності \bar{C}_k .

При отриманні поточної оцінки вектора стану, наприклад від другого датчика в момент часу $k+1$ $\hat{W}_{y(k+1)}(T_{2(k+1)})$ з матрицею точності $\bar{C}_{y(k+1)}$, за даними результуючої оцінки вектора стану і матриці точності на k -ому кроці здійснюється обчислення апріорного розподілу на цей крок вимірювань. Цьому розподілу відповідає $\hat{W}_{o(k+1)}(T_{1(k+1)})$ і $\bar{C}_{o(k+1)}$, тобто здійснюється прогнозування вектора стану і матриці точності на момент часу отримання поточної оцінки вектора стану. В цьому випадку результуючу оцінку вектора стану і матрицю точності на момент часу $k+1$ можна записати як

$$\hat{W}_{k+1}(T_{1(k+1)}) = \hat{W}_{o(k+1)}(T_{1(k+1)}) + \bar{C}_{k+1}^{-1} \bar{C}_{y(k+1)} \times \left[\hat{W}_{y(k+1)}(T_{2(k+1)}) - \hat{W}_{o(k+1)}(T_{1(k+1)}) \right],$$

$$\bar{C}_{k+1} = \bar{C}_{o(k+1)} + \bar{C}_{y(k+1)}.$$



Інформаційні системи та технології ІСТ-2020

Секція 4.

Розпізнавання образів, цифрова обробка зображень і сигналів.

Надалі процедура повторюється. Таким чином, виходить рекурентне правило, що дозволяє послідовно в часі виконувати фільтрацію траєкторії ПО при отриманні вимірювань від датчиків даних з різних темпом видачі інформації.

Як впливає з вищевикладеного, розглянутий алгоритм фільтрації відрізняється від відомих тим, що прогнозування вектора стану і матриці точності здійснюється після отримання нових вимірів, мають час їх отримання. Ось на цей момент часу і здійснюється прогнозування вектора стану і матриці точності.

Вищевикладене дозволяє зробити висновок, що при побудові єдиної ІМ необхідно здійснити єдине координатно-часове забезпечення СС, що входять в дану ІМ, з необхідними точносними показниками. Залежно від точносних показників координатно-часового забезпечення інформаційних засобів єдиної ІМ можна класифікувати як мережу, реалізовану на несинхронному або синхронному принципах.

Несинхронний принцип організації мережі вимагає часового забезпечення СС з точністю, що становить частки часу спостереження ПО. Це дозволяє синхронізувати потоки даних в мережі з розподіленою обробкою, забезпечити фільтрацію траєкторії ПО за даними різних джерел з різним темпом видачі інформації.

Синхронний принцип організації мережі базується на створенні єдиної шкали часу всіх СС мережі з точністю, що становить частки мікросекунд. Це дозволяє узгодити процеси отримання і обробки даних з розрізнених інформаційних засобів, і зумовлює вирішення технічних протиріч, що практично не вирішуються в існуючих СС [16-20].

При цьому необхідно зазначити, що поняття синхронності тісно пов'язане з поняттям одночасності. Так, в пунктах розташування СС повинні одночасно генеруватися однойменні часові імпульси. Саме ж поняття одночасності в загальній теорії відносності не однозначно трактується. Однак можна стверджувати, що єдиним несуперечливим визначенням одночасності є наступне визначення. Для аналізу будь-яких явищ в рамках загальної теорії відносності можна ввести деяку чотиривимірну систему координат, що має одну часову координату (можна назвати координатний час даної системи координат) і три просторових. Дві події, фіксовані в деякій системі координат значеннями (t_1, x_1, y_1, z_1) і (t_2, x_2, y_2, z_2) , вважаються одночасними щодо цієї системи координат, якщо відповідні їм значення часової координати збігаються: $(t_1 = t_2)$. Надалі таке визначення одночасності (і відповідне йому визначення синхронізації часу) будемо називати координатним. Зазначене визначення дозволяє ввести в рамках загальної теорії відносності самоузгоджену єдину шкалу часу в самих різних областях простору-часу і з будь-якою допустимою точністю. Той факт, що вибір системи координат, за координатним часом щодо синхронізації, довільний, не повинен викликати занепокоєння: від синхронізації за координатним часом однієї системи

координат легко перейти до синхронізації за координатним часом будь-якої іншої системи координат.

Слід зауважити, що до складу єдиної ІМ можуть входити (і повинні) датчики з взаємодоповнюючими характеристиками. Реалізація мережі на синхронному принципі дозволяє реалізувати багатопозиційні радіолокаційні системи з кооперативним прийомом сигналів. Багатодатчикова концепція організації єдиної ІМ вже використовується при вирішенні деяких цивільних і військових прикладних задач. Безперечною перевагою об'єднання в мережу різних типів датчиків є підвищена надійність огляду і більш чітка оцінка повітряної обстановки.

Наприклад, в існуючих СС традиційні активні (первинні) СС взаємодіють з СС активної відповіді (вторинними СС). Введення в інформаційні потоки інформації про державну приналежність (ДП), яку в об'єднаній мережі можна отримати від значного числа інформаційних джерел дозволить значно послабити проблему однозначного визначення ДП виявлених ПО. Зокрема, споживач може визначити ДП виявлених ПО за інформацією від систем радіолокаційного розпізнавання, від систем вторинної радіолокації, і інших радіотехнічних СС.

Таким чином, об'єднання існуючих СС в єдину ІМ на несинхронному принципі дозволяє:

- виключити третинну обробку даних при супроводі ПО в мережі;
- підвищити ймовірність об'єднання координатної й додаткової інформації, отриманої засобами первинної й вторинної радіолокації;
- істотно підвищити завадостійкість запитальних радіотехнічних систем, зокрема систем радіолокаційного опізнавання, на спадкоємній основі;
- підвищити якість опізнавання ПО.

Реалізація єдиної ІМ на синхронному принципі дозволить:

- реалізувати принцип багатопозиційної радіолокації з кооперативним прийомом сигналів;
- підвищити живучість радіолокаційних засобів первинної радіолокації;
- на спадкоємній основі перейти до завадостійких системам вторинної радіолокації, в тому числі і до завадостійких систем радіолокаційного опізнавання.

IV. ВИСНОВКИ

Концептуальними засадами створення єдиної ІМ на базі існуючих систем спостереження повітряного простору, в якій може бути реалізовано надійне інформаційне забезпечення споживачів і вирішені протиріччя окремих інформаційних засобів можуть бути:



Інформаційні системи та технології ICT-2020

Секція 4.

Розпізнавання образів, цифрова обробка зображень і сигналів.

- єдине координатно-часове забезпечення всіх інформаційних засобів мережі з визначеними показниками якості;
- розподілена обробка даних в інформаційних засобах мережі;
- вільний, але контрольований, доступ споживача до необхідного джерела інформації.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] A. Farina and F. Studer, *Digital processing of radar information*. Moscow, Russia: Radio i svyaz, 1993.
- [2] V. Chernyak, *Fundamentals of Multisite Radar Systems: Multistatic Radars and Multistatic Radar Systems*. Gordon and Breach Science Publishers, CRC Press, 1998.
- [3] V. Tkachev, Y. Danyk, S. Zhukov, I. Obod and I. Romanenko, *Theoretical bases of construction of noise-protected systems of information monitoring of air space*. Kyiv: Ministry of Education of Ukraine, 2004.
- [4] G. Gilbert, "Historical Development of the Air Traffic Control System," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 21, no. 5, pp. 364-375, May 1973, doi: 10.1109/TCOM.1973.1091699.
- [5] B. Stevens, F. Lewis and E. Johnson, *Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Controls Design, and Autonomous*. John Wiley & Sons, 2016.
- [6] H. You, X. Jianjuan and G. Xin, "Practical Application of Radar Data Processing", in *Radar Data Processing with Applications*, 1st ed., H. You, X. Jianjuan and G. Xin, Ed. House of Electronics Industry, 2016, pp. 464-498. doi: 10.1002/9781118956878.ch19.
- [7] J. Li and P. Stoica, *MIMO radar signal processing*. Hoboken, NJ: Wiley-IEEE Press, 2008.
- [8] H. You, X. Jianjuan and G. Xin, "Practical Application of Radar Data Processing", in *Radar Data Processing with Applications*, 1st ed., H. You, X. Jianjuan and G. Xin, Ed. House of Electronics Industry, 2016, pp. 464-498. doi: 10.1002/9781118956878.ch19.
- [9] I. Svyd, O. Maltsev, I. Obod and G. Zabolodko, "Fusion Method of Primary Surveillance Radar Data and IFF systems Data," *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 336-340, doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125040.
- [10] I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev, G. Zabolodko, D. Pavlova and G. Maistrenko, "Fusion of Discrete Evaluation of the State Vector of Air Objects Based on 4D Measurement," *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 593-596, doi: 10.1109/PICST47496.2019.9061562.
- [11] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, I. Shtykh, G. Zabolodko and G. Maistrenko, "Model and Method for Request Signals Processing of Secondary Surveillance Radar," *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, Polyana, Ukraine, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/CADSM.2019.8779347.
- [12] D. B. Pavlova, G. E. Zabolodko, I. I. Obod, I. V. Svyd, O. S. Maltsev and L. F. Saikivska, "Optimizing Data Processing in Information Networks of Airspace Surveillance Systems," *2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Leeds, United Kingdom, 2019, pp. 136-139, doi: 10.1109/DESSERT.2019.8770022.
- [13] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, G. Maistrenko, G. Zabolodko and D. Pavlova, "Fusion of Airspace Surveillance Systems Data," *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 430-433, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847916.
- [14] D. B. Pavlova, G. E. Zabolodko, I. I. Obod, I. V. Svyd, O. S. Maltsev and L. F. Saikivska, "Comparative Analysis of Data Consolidation in Surveillance Networks," *2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Leeds, United Kingdom, 2019, pp. 140-143, doi: 10.1109/DESSERT.2019.8770008.
- [15] X. Tang, Y. Zhang, P. Chen, B. Li and S. Han, "Strategic Deconfliction of 4D Trajectory and Perturbation Analysis for Air Traffic Control and Automation System", *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol. 2016, pp. 1-18, 2016. doi: 10.1155/2016/7028305.
- [16] I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev, G. Maistrenko, O. Zubkov and G. Zabolodko, "Bandwidth Assessment of Cooperative Surveillance Systems," *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847742.
- [17] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, O. Vorgul, G. Zabolodko and A. Goriushkina, "Noise Immunity of Data Transfer Channels in Cooperative Observation Systems: Comparative Analysis," *2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 509-512, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632019.
- [18] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev and A. Hlushchenko, "Secondary Surveillance Radar Response Channel Information Security Improvement Method," *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 341-345, doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125018.
- [19] I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev and B. Bakumenko, "Spatial Methods for Increasing the Bandwidth of a Mobile Information Network," *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 50-54, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235388.
- [20] I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev, G. Zabolodko and D. Pavlova, "Optimization of Data Processing of Primary Radar Systems," *2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 757-760, doi: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088842.
- [21] I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, T. Ôkachova and G. Zabolodko, "Optimal Request Signals Detection in Cooperative Surveillance Systems," *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879840.



Інформаційні системи та технології ICT-2020

Секція 4.

Розпізнавання образів, цифрова обробка зображень і сигналів.