



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122045** (13) **C2**

(51) МПК (2020.01)

**G01S 13/12** (2006.01)

**G01S 7/02** (2006.01)

**G01S 7/28** (2006.01)

**G01S 7/292** (2006.01)

**G06K 9/00**

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	<b>а 2015 06349</b>	(72) Винахідник(и):	<b>Наталія К. Ніколова (СА), Джастін Дж. МакКомбе (СА)</b>
(22) Дата подання заявки:	<b>26.06.2015</b>	(73) Власник(и):	<b>МАКМАСТЕР ЮНІВЕРСІТІ, 1280 Main Street West Hamilton, Ontario L8S 4L8, Canada (CA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	<b>11.09.2020</b>	(74) Представник:	<b>Блощинська Олена Олександрівна</b>
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	<b>62/017,410</b>	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	<b>WO 2009115818 A1, 24.09.2009 US 2013106643 A1, 02.05.2013 US 2010079280 A1, 01.04.2010 US 6480141 B1, 12.11.2002 UA 41293 U, 12.05.2009 RU 2183025 C1, 27.05.2002 RU 2237267 C2, 27.09.2004 US 2007052576 A1, 08.03.2007</b>
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	<b>26.06.2014</b>		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	<b>US</b>		
(41) Публікація відомостей про заявку:	<b>12.01.2016, Бюл.№ 1</b>		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>10.09.2020, Бюл.№ 17</b>		

## (54) СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОВОГО ПРИСТРОЮ, ЗАХОВАНОГО НА ТІЛІ

### (57) Реферат:

Даний винахід належить до пристрою та методу для виявлення натільної прихованої зброї. Система використовує мікрохвильовий радар для виявлення малої зброї - як-то ручна вогнепальна зброя, ножі, гранати та вибухові жилети - на тілі людей, які можуть стояти, ходити чи взагалі рухатись. Сканування може бути неявним й не вимагає від суб'єкта стояти нерухомо. Сканування буде можливим, коли люди наскрізь проходять короткий коридор, де необхідне обладнання вбудоване в стіни чи знаходиться поза ними. Система не генерує зображення об'єкта, а в результаті видає сигнал "погрози" або "відсутності погрози". Дана система придатна для спостереження за безпекою в громадських будівлях, школах та будь-якому іншому місці, де велика кількість людей входить всередину певної будівлі за короткий проміжок часу та через визначені місця входу. Також, система є компактною, портативною та менш дорогою, ніж наявні пристрої отримання зображення за допомогою міліметрових хвиль (сканери усього тіла), що використовуються для перевірок безпеки в аеропортах.

UA 122045 C2

## ВІДСОТОК ВИДАЛЕНИХ ФОНОВИХ ПОЛЮСІВ

Алгоритм ( $\rho_b$ )	Видалення Людини (%)	Видалення Зброї (%)	Видалення Людини+Зброї (%)
ЗММНК (0.01)	99.41	99.61	98.80
ЗММНК (0.005)	91.63	95.08	91.26
ЗММНК (0.001)	17.34	28.74	17.25
МКТ* (0.03)	99.54	103.41**	100.66**
МКТ (0.01)	91.76	94.89	91.92
МКТ (0.005)	68.47	73.59	66.72
МКТ (0.001)	17.34	28.74	17.25

\* Метод Кумаресан-Туфтса.

\*\* Відсоток, що є більшим за 100%, отримано через те, що алгоритм створює більше полюсів в досліджуваній сигнатурі цілі, ніж в сигнатурі фону. Це обумовлює те, що на один фоновий полюс видається більше, ніж один полюс цілі.

Фіг.1

Терористичні погрози та насильницькі напади на цивільних осіб є головною проблемою усього в світі. Завчасне попередження є суттю в запобіганні таких погроз і нападів. Саме цьому розробка систем виявлення прихованої зброї (ВПЗ) є важливою. Існує багато різновидів систем ВПЗ залежно від вжитих фізичних принципів: 1) випромінення електромагнітних хвиль на радіочастотах (РЧ), мікрохвильовому та міліметровому частотних діапазонах; 2) виявлення деформацій у фоновому магнітному полі (магнітні системи); 3) магнітно-резонансна томографія (МРТ); 4) методи індукції магнітного поля; 5) акустичне та ультразвукове виявлення; 6) інфрачервоні системи отримання зображення; 7) рентгеновські системи отримання зображення.

Системи виявлення прихованої зброї, що використовують випромінення електромагнітних хвиль, поділяються на два загальні класи: системи отримання зображення та детектори. Системи отримання зображення вже є наявними на ринку. Вони генерують зображення об'єкта й далі це зображення інспектується (зазвичай людиною-оператором) на наявність підозрілих об'єктів. Такі системи, що мають назву сканерів усього тіла, вже працюють в багатьох великих аеропортах навколо світу.

Сканери усього тіла оперують в та поблизу міліметрового частотного діапазону (типові робочі частоти знаходяться між 30 ГГц та 300 ГГц). Ці системи є дорогими та громіздкими, а також потребують повної співпраці - інспектований суб'єкт має не тільки стояти нерухомо, а й мати обидві руки підняті та ноги розведені осторонь для того, щоб дозволити міліметровим хвилям опромінити поверхню усього тіла. В результаті, детальний обрис тіла людини відображається на екрані, що є проблемним з точки зору приватності людини.

Запропонований винахід належить до класу детекторів. Детектори не генерують зображення, а сповіщують у разі виявлення погрози. Системи можуть бути повністю автоматизовані та не потребувати негайного втручання людини. Якщо система подає сигнал погрози, то результатом цього може бути наступне: підозрюваний суб'єкт підлягає подальшій перевірці органами безпеки, підозрюваний суб'єкт фотографується, вхідний прохід закривається та блокується тощо. До нашого відома, такі системи досі не є наявними на ринку.

Головною проблемою мікрохвильових систем виявлення є недостатня надійність детекції. Існують два основних фактори, що сприяють вказаній низькій надійності. По-перше, такі системи мають оперувати в неконтрольованому та динамічному (що постійно змінюється) електромагнітному середовищі (всередині будівель, в присутності людей, транспортних засобів, меблі та інше). Це збільшує неточності в вимірюваннях до рівнів, що маскують сигнали, розсіяні від цілі (цільові радарні сигнатури). По-друге, радарні сигнатури людей без зброї є набагато потужнішими, ніж радарні сигнатури прихованої зброї. Сигнатури людського тіла, до того ж, дуже відрізняються одна від одної, а також їх важко розрахувати наперед. В результаті, радарна сигнатура людей теж маскує слабкі сигнатури, випромінені від прихованих на тілі об'єктів.

Обидві основні проблеми, наведені вище, успішно розв'язано в запропонованій системі з чутливістю та специфічністю виявлення, що знаходяться значно вище бажаного 90 % рівня. Нововведення, що дозволяють такі характеристики, складаються з: а) використання кополяризованих та кросполяризованих вимірювань; б) використання як пізньої (резонансної), так і ранньої (дзеркальної) частин сигналу від цілі; в) адаптивної обробки сигналу, що дозволяє когнітивній системі постійно "вивчати" та "адаптуватись" на основі вимірювань в даному середовищі застосування.

#### СТИСЛИЙ ВИКЛАД ВИНАХОДУ

Як було доказано, пізній часовий відгук (ПЧВ) від зброї містить важливу інформацію про власну резонансну сигнатуру, що залежить від розміру, форми та параметрів конструкції. Успіх методів детекції на основі ПЧВ критично залежить від здатності подавити радарні шуми, які походять від вимірювального середовища (фону) та людського тіла. Відсутність цієї здатності не дозволяє мікрохвильовим радарним методам стати практичними в виявленні прихованої зброї на тілі людини. В цьому випадку вирішення проблеми позбавлення від шумів є особливо складною, тому що радарні сигнатури людей та навколишнього середовища широко відрізняються та можуть змінюватись з часом, коли вимірювання відбуваються в неконтрольованому середовищі.

В даному документі викладено перспективний метод виявлення натільної прихованої зброї. В його основі лежить Загальний Матричний "Pencil" Метод Найменших Квадратів (ЗММНК) чи Метод Кумаресан-Туфтса, що відокремлюють власні моди від цілей в формі експоненціально згасаючих синусоїд. Порівняльний аналіз роботи вказаних двох методів по відокремленню власних мод показав, що ЗММНК дає кращі результати.

Першим кроком визначаються власні моди навколишнього середовища. Далі вони відокремлюються від вимірювань бажаних типів зброї (при відсутності людей), тим самим дозволяючи визначити внутрішні власні моди зброї. Два набори власних мод, що

характеризують навколишнє середовище та зброю, що підлягає виявленню, потім застосовуються для: а) подавлення фонових шумів при зворотньому відбитті від інспектованого суб'єкта; б) виявлення наявної зброї на тілі суб'єкта. Для останньої задачі використовуються Синтетичний Нейронний Сітьовий Класифікатор (СНСК) або Наїв Байесов Класифікатор (НБК) для того, щоб визначити, чи є ціль погрозою. Встановлено, що незважаючи на ідентичні характеристики роботи обох класифікаторів, СНСК показує дещо кращі результати. Дані вимірювань були отримані в Університеті Макмастер у березні 2012 [1] за допомогою ультраширокопосмугових антен, вироблених в Королівському Військовому Коледжі [2]. Експерименти показують, що з належним видаленням шумів, моностатичні радарні вимірювання інспектованого суб'єкта на частотах від 0.5 ГГц до 5 ГГц та на відстані 1.5 метра, надають придатні результати для виявлення натільної прихованої зброї.

#### КОРОТКИЙ ОПИС РИСУНКІВ

Як приклад, наведено опис запропонованого винаходу з посиланням на супутні рисунки, якто:

На Фігурі 1 зображена таблиця з відсотками видалених фонових полюсів.

На Фігурі 2 зображені результати роботи НБК без видалення фону для двох класів.

На Фігурі 3 зображені результати роботи НБК з видаленням фону.

На Фігурі 4 зображені результати роботи НБК з видаленням фону.

На Фігурі 5 зображені результати роботи НБК без видалення фону та три класи.

На Фігурі 6 зображені результати роботи НБК з видаленням фону та три класи.

На Фігурі 7 зображені результати роботи НБК з видаленням фону.

На Фігурі 8 зображено імовірність СНСК Класу 1 (погроза) з  $p_b=0.005$ .

На Фігурі 9 зображено імовірність погрози за результатами СНСК.

#### ДЕТАЛЬНИЙ ОПИС ВИНАХОДУ

На сьогодні, комерційні системи виявлення прихованої зброї (ВПЗ), як-то переносні інструменти та детектори руху наскрізь, мають багато недоліків. Портативні системи потребують, щоб оператор знаходився на близькій відстані до суб'єкта, а результат може бути помилковим. Детектори руху наскрізь, як і портативні системи, потребують, щоб досліджувані суб'єкти проходили в вузькому коридорі через контрольні точки, одна за одною, що викликає затримки. Такі детектори мають високий рівень помилкових позитивних результатів, а також вони є дуже чутливими до сторонніх металічних об'єктів, таких як ключі та пряжки на ремнях. Більш розвинені системи, такі як сканери усього тіла, генерують зображення, які потім мають бути проглянуті оператором на предмет зброї. Зображення тіла є доволі детальними, що викликає порушення приватності людини. Звідси стає зрозумілим, що існує великий попит на ефективні портативні системи, які можуть виявляти зброю без зображення людського тіла.

Кожна структура має внутрішні резонансні моди, що залежать від розміру, форми та параметрів конструкції. Багато типів зброї має виражені резонансні сигнатури, що можливо класифікувати [3]. Більш конкретно, пізній часовий відгук (ПЧВ) сигналу від радара може містити сигнатури об'єкта та бути використаний для виявлення об'єкта та ідентифікації [4], [5], [6], [7]. В [8], для класифікації сигналу від радара за допомогою СНСК, замість ПЧВ було використано ранній часовий відгук (дзеркальне відбиття). Проте, ця система оперує сигналами від радара на міліметрових хвилях, коли більшість натільних типів зброї не резонує.

Найбільшою перевагою резонансного сигналу від радара є його незалежність від ракурсу. З іншого боку, поляризація падаючої хвилі може грати значну роль в здатності збуджувати головні резонанси в досліджуваному об'єкті [4], [9]. Саме цьому, як кополяризовані, так і кросполяризовані сигнали мають бути використані в розрахунках [4], [10]. В даній роботі використані сигнали обох поляризацій. При розгляді поляризації передавальної та приймальної антен, вимірювальні сигнали позначені як В-В, Г-Г та В-Г, де В і Г належать відповідно до вертикальної та горизонтальної поляризацій.

Метод з використанням ПЧВ для ВПЗ не є методом отримання зображень. Він лише видає сповіщення у разі виявлення погрози. Ефективність такого підходу критично залежить від його здатності ідентифікувати сигнатуру досліджуваного об'єкта та відрізнити її від фонових шумів, таких як відбиття від тіла людини, стіни та оточуючі меблі або обладнання, ключі, мобільні телефони, тощо [10]. В [11] за допомогою розрахунків показано, що тіло людини може значно впливати на здатність детекції зброї. Цей негативний ефект пояснюється зменшенням резонансної потужності та зміщенням резонансних частот об'єкта. Головною метою в даній роботі є експериментальна демонстрація того, як з належним видаленням шумів, ПЧВ в ко- та кросполяризованих вимірюваннях може бути застосований для виявлення прихованої зброї в людей у неконтрольованому середовищі.

Обробка ПЧВ в сигналі від радара є темою інтенсивних досліджень в обробці сигналу. Багато алгоритмів розроблено для вилучення сигнатури об'єкта з сигналу від радара. Алгоритм Складної Класифікації Сигналу використано в [4], [2], [6] та [7]. В [4] сигнатура вилучена за допомогою узагальненого методу "pencil" функції. В [12] Матричний "Pencil" Метод (модифікація методу Проні) використано для вилучення резонансів цілі. В даній роботі ми використовуємо Загальний Матричний "Pencil" Метод Найменших Квадратів (ЗММНК) з [12] та [13] для декомпозиції сигналу від радара на фонову складову та складову з даними про ціль. Також вивчено можливість застосування Методу Кумаресан-Туфтса (МКТ) [14] для цього завдання, але виявилось, що цей метод не дає ніяких переваг порівняно з ЗММНК. Наступним кроком вилучаються фонові моди, що містяться в вимірюваннях, при цьому ефективно позбавляючись від шумів. Дані надходять до СНСК для того, щоб визначити чи є ціль загрозою. Фінальний результат також може бути отриманий за допомогою НБК. Ці два класифікатори мають схожі характеристики роботи, проте СНСК є більш надійним.

Експериментальні дані для підтвердження роботи алгоритму отримані в Університеті Макмастер у березні 2012. Вимірювання в частотній області від 500 МГц до 5 ГГц зроблені за допомогою векторного сітьового аналізатора (BCA) [Agilent E83638 PNA сітьовий аналізатор (10 МГц - 40 ГГц)]. Вимірювання в часовій області також зроблені з використанням BCA, проте існують сумніви щодо їх точності; вимірювання в часовій області будуть зроблені ще раз в квітні/травні 2013. Всі вимірювання отримані з використанням трьох конфігурацій антен - В-В, Г-Г та В-Г, що позначає два кополяризованих виміри (передавальна та приймальна антени обидві є вертикально або горизонтально поляризовані) та один кросполяризований вимір (передавальна антена є вертикально поляризованою, а приймальна - горизонтально). Детальний опис вимірювань знаходиться в [1].  $S_{21}$  параметр (комплексний коефіцієнт передачі багатополісника, сформованого з двох антен та досліджуваної області між ними) є вимірюваним сигналом.

Для аналізу порівняно ЗММНК та МКТ при вилученні власних мод. Обидва методи використовують дані з часової області для вилучення параметрів. Це означає, що потрібно зробити зворотне перетворення Фур'є (ЗПФ) для комплексних сигналів  $S_{21}$  в частотній області. Для того, щоб точно відтворити дані з частотної області в часовій області, має місце попередня обробка даних, що відбувається наступним чином. По-перше, дані віддзеркалюються для покриття діапазону частот від -5 ГГц до 5 ГГц. Це включає віддзеркалення дійсної частини експериментальних даних та розрахунок спряженого віддзеркалення уявної частини, після чого вони об'єднуються в один сигнал. Даний сигнал далі обробляється за допомогою функції  $\text{ifft}(x)$  в середовищі Matlab. Як тільки отримано сигнал в часовій області, відсікається ранній часовий відгук та тільки пізній часовий відгук використовується в алгоритмі для вилучення власних мод. Це гарантує, що ми маємо справу тільки з резонансною інформацією про ціль, а не з її дзеркальним відбиттям.

Матричний "Pencil" Метод та ЗММНК докладно пояснені в [13], а використаний алгоритм пояснено в [12]. Стисле пояснення надано нижче. Сигнал від радара як функція від часу / може бути записаний, як ряд згасаючих синусоїд:

$$y(t) = \frac{c_0}{2} e^{c_0 t} + \sum_{i=1}^N [a_i \cos(i t) e^{c_i t} + b_i \sin(i t) e^{d_i t}], a_0, c_0, a_i, b_i, c_i, d_i \in \mathbb{R}. \quad (1)$$

Даний вираз може бути записаний як ряд комплексних членів:

$$y(t) = \sum_{i=1}^N R_i e^{s_i t}. \quad (2)$$

Де  $R_i, s_i \in \mathbb{C}$  має бути таким, що  $y(t) \in \mathbb{R}$ . В наведеному записі,  $R_i$  включає початкову амплітуду та фазу даної синусоїди;  $s_i = \alpha_i + j\omega_i$  містить сталу згасання,  $\alpha_i < 0$ , та кутову частоту,  $\omega_i = 2\pi f_i$ . Оскільки ми маємо справу з дійсними сигналами, вони не можуть бути представлені в термінах нескінченного ряду, тому вони поділені на часові інтервали  $\Delta t$ . Тоді, ряд зводиться до скінченного:

$$y(t = k\Delta t) \approx y_k := \sum_{i=1}^M R_i e^{s_i k \Delta t}, k = 0, \dots, N-1 \quad (3)$$

де  $y(k\Delta t)$  є сигнатурою в часовій області. Існує  $N$  однаково розташованих точок у часі, починаючи з  $t=0$  та закінчуючи  $t = (N-1) \Delta t$ . Ми вводимо  $z_i := e^{s_i \Delta t}$  й ряд стає

$$y_k = \sum_{i=1}^M R_i z_i^k.$$

Для знаходження  $R_i$ , згідно з (1) застосовано ЗММНК. Це зроблено введенням наступної матриці:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & \dots & y_{L+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{N-L-1} & y_{N-L} & \dots & y_{N-1} \end{bmatrix}_{(N-L) \times (L+1)}, \quad (5)$$

де  $L \in \mathbb{Z}$  визначається користувачем. Для знаходження "pencil" матриці найменших квадратів, декомпозиція сингулярних значень здійснена над  $Y$ :

$$Y = U \Sigma V^T. \quad (6)$$

Далі зроблено припущення, що будь-які достатньо малі сингулярні значення відповідають компонентам сигналу через присутність шуму, та видаляючи відповідні стовпці в  $U$ ,  $\Sigma$  та  $V$ , ми вводим нові матриці  $U'$ ,  $\Sigma'$  та  $V'$ . Тоді, сигнал без шумів має вигляд:

$$Y' = U' \Sigma' V'^T. \quad (7)$$

Для того, щоб визначити достатньо мале сингулярне значення, потрібно визначити новий параметр, що має назву "частка допустимого відхилення"  $T_{frac}$ . Звідси, достатньо мале сингулярне значення визначається як таке, що є меншим за  $T_{frac} \Sigma_{1,1}$ , де  $\Sigma_{1,1}$  є найбільшим сингулярним значенням при сортуванні  $\Sigma$ . Значення  $T_{frac}$  має бути обрано обережно:  $T_{frac}=0$  не видаляє шум, в той час як велике  $T_{frac}$  призводить до неточного представлення сигналу.  $T_{frac}=1 \times 10^{-3}$  є знайденим оптимальним значенням.

Ми позначаємо  $s$ -ий стовпчик в  $Y'$  (з основним індексом 1) як  $Y_{:,s}$ . Далі вводяться

$$Y_1 := [Y_{:,2} \ Y_{:,3} \dots Y_{:,L+1}], \quad Y_2 := [Y_{:,1} \ Y_{:,2} \dots Y_{:,L}] \quad (8)$$

де  $L \leq \lfloor N/2 \rfloor$  - позначає цілу частину. Для використання всіх можливих даних, задано

$L = \lfloor N/4 \rfloor$ . Використовуючи ці визначення, можна показати, що  $z_i$  є узагальненими власними значеннями  $Y_1^\dagger Y_2$ ,

$$z_i = \text{eig}(Y_1^\dagger Y_2) \quad (9)$$

де  $Y_1^\dagger$  є псевдооберненням Мура-Пенроуза. З (9), розв'язанням прямої задачі найменших квадратів, можна отримати  $R_i$ :

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ z_1 & z_2 & \dots & z_M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_1^{N-1} & z_2^{N-1} & \dots & z_M^{N-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_M \end{bmatrix} \quad (10)$$

Повний код наведено в [12] та в Додатку. Важливо відмітити, що вибір великого значення для  $L$  погіршує порядок матриці при обчисленні  $R_i$ . Дослідження ефекту впливу  $L$  та  $T_{frac}$  на вилучення власних мод, наведено в [12] та [13]. З метою попереднього дослідження, до уваги береться тільки параметр  $z_i$  в (4), а  $R_i$  не враховується. Для повного використання всіх наявних даних, є вигідним алгоритм, що здатний точно вилучити  $R_i$ , та далі використовувати  $R_i$  при аналізі сигнатур від цілі.

МКТ детально описано в [14] та [15]. Програма для роботи цього алгоритму основана на коді, що наявний в [16]. Стислий огляд роботи алгоритму наведений нижче. Ряд згасаючих синусоїд в формі комплексних експонент має вигляд:

$$y_k = \sum_{i=1}^M R_i z_i^k, \quad k = 0, \dots, N-1.$$

Наступним кроком вводиться матриця

$$Y = \begin{bmatrix} y_0^* & y_1^* & \dots & y_{L-1}^* \\ y_1^* & y_2^* & \dots & y_L^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{N-L-1}^* & y_{N-L}^* & \dots & y_{N-2}^* \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_0^* & y_1^* & \dots & y_{N-2}^* \\ y_1^* & y_2^* & \dots & y_{N-1}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{N-L-1}^* & y_{N-L}^* & \dots & y_{N-1}^* \end{bmatrix} \quad (12)$$

та вектор-стовпець

$$h = [y_0^* \ y_1^* \ \dots \ y_{N-L}^*]^T. \quad (13)$$

Далі записується рівняння

$$Yb = -h, \quad (14)$$

де  $b = [1 \quad b_1 \quad \dots \quad b_L]^T$  визначає параметри

$$B(x) = 1 + \sum_{k=1}^M b_k x^{-k}. \quad (15)$$

Для того, щоб покращити роботу алгоритму в умовах шуму, здійснюється декомпозиція сингулярних значень:

$$Y = U \Sigma V^T. \quad (16)$$

Порядок моделі розраховується, використовуючи сингулярні значення з (16). Для цього використовується алгоритм мінімального визначення довжини (МВД) в вигляді, представленому в [16]. Це дозволяє розрахувати кількість потрібних сингулярних значень (позначається  $M$ ). З іншого боку, кількість сингулярних значень можна пов'язати з часткою допустимого відхилення в методі "репсії" матриці.

Для запису  $k$ -го стовпця в  $U$  та  $V$ , вводяться вектори-стовпці  $u_k$  та  $v_k$ ,  $k=1,2,\dots,M$ , відповідно. Вектор  $b$  знаходиться як:

$$b = - \sum_{k=1}^M \frac{(u_k^T h)}{\sigma_k} v_k. \quad (17)$$

Далі знаходяться корені  $B(x)$ , що відповідають  $z_i$  членам в (11). Корені мають задовольняти  $|z_i| \geq 1$ . З цих значень вибирається  $R_i$ : спочатку, сигнал регенерується з використанням вилучених параметрів

$$\hat{y} = e^{t^T(\alpha + j\omega)}, \quad (18)$$

де  $t = [0 \quad \Delta t \quad \dots \quad (N-1)\Delta t]^T$ ,  $\alpha = [\alpha_1 \quad \dots \quad \alpha_M]^T$ , та  $\omega = [\omega_1 \quad \dots \quad \omega_M]^T$ . Елементи векторів  $\alpha$  та  $\omega$  є дійсними та уявними частинами, відповідно, власних мод  $z_i$  ( $i=1,\dots,M$ ). Тоді, для того, щоб знайти  $R_i$ , потрібно розрахувати псевдообернення Мура-Пенроуза від  $y$  та помножити його з початковим сигналом

$$r = \hat{y}^+ y, \quad (19)$$

де  $r = [R_1 \quad R_2 \quad \dots \quad R_M]$ .

Даний метод призводить до розрахунків  $r$ , що більше не погіршують порядок матриці.

Шуми навколишнього середовища видаляються при розгляді початкових даних при вимірюваннях цього середовища без присутності цілей. В результаті, сигнатури представлені як сума комплексних синусоїд, а їх параметри  $z_i$  в (4) та (11) є відомими. Ці параметри можуть бути розглянуті як полюси (або власні моди) сигналу з шумами, й далі вони використовуються для подавлення шумів.

Наступним кроком проводяться вимірювання за наявності цілей. Для даних, використаних в цьому документі, вимірювання зроблені таким чином:

1. Три вимірювання за присутності тільки антени (виміри фону).
2. Вимірювання тільки зброї (виміри зброї).
3. Вимірювання суб'єкту без зброї (виміри суб'єкта).
4. Вимірювання суб'єкту зі зброєю

А) зброя спереду

Б) зброя збоку

В) зброя позаду.

До того ж, вимірювання суб'єкта (тип 3 та 4) зроблені за наявності тонкого та товстого жакету.

Як тільки вимірювання всіх об'єктів зроблені, далі вибираються  $z_i$  полюси (власні

моди) відповідних сигналів. Точність  $r_b$  використовується для визначення близькості полюсу в сигналі від цілі до полюсу в фоновому сигналі для того, щоб розглядатись як фоновий полюс.

Далі проводиться пошук полюсів в сигналі від цілі з точністю  $r_b$ , після чого вони прирівнюються нулю.

Як тільки фон видалено, сигнал від цілі відтворюється за допомогою решти полюсів, використовуючи (3). Оскільки результатом ЗММНК є сигнал в часовій області, він переводиться в частотну область за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Ми посилаємось на даний сигнал як сигнал від цілі в частотній області.

Для прекласифікації спочатку створюється матриця  $R$  як

$$R = \begin{bmatrix} r_{V-V}^1 & r_{V-V}^2 & \dots & r_{V-V}^m \\ r_{V-H}^1 & r_{V-H}^2 & \dots & r_{V-H}^m \\ r_{H-H}^1 & r_{H-H}^2 & \dots & r_{H-H}^m \end{bmatrix} \quad (20)$$

Де  $r$  позначає вектор-стовпець, що містить сигнал від цілі в частотній області. Верхній індекс позначає номер цілі, а нижній - конфігурацію антен. Далі створюється вектор класів  $c$  з класами, що відповідають стовпцям матриці  $R$ , наприклад  $c_1=1$  позначає, що перший стовпець матриці  $R$  належить до Класу 1.

Оскільки існує багато характерних особливостей відгуку, найкращим є представляти кожний відгук в термінах його принципових компонент. Тож, ми завершуємо декомпозицію сингулярних значень від  $R$

$$R = U \Sigma V^T$$

та створюємо модифіковану матрицю  $U'$ :

$$U' = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_n]$$

$u_i$  позначає  $i$ -ий стовпець матриці  $U$ , а  $n$  - це кількість компонент, вибраних для представлення сигналу. Далі створюється тренувальна матриця  $T$ :

$$T = (U'R)^T.$$

Для класифікації відгуку, вводиться вектор як стовпець  $R$ , аналогічно з (20). Тестовий вектор  $t$  тоді створюється як:

$$t = (U'r)^T.$$

В рамках роботи з НБК, спочатку досліджено його характеристики за допомогою функцій обробки сигналу, вбудованих в середовище Matlab [17]. Наступним пунктам приділено увагу:

- 1) за допомогою команди `nb=NaiveBayes.fit(T, c)` тренувальні дані передані на обробку НБК;
- 2) знайдено клас вектора розрахунком імовірності належності тестового вектора до кожного з класів. Використано команду `posterior(nb, t)`, результатом якої є вектор з стовпцями відповідно до різних класів. Значення відповідають імовірності належності  $t$  до кожного з класів.

Існує багато способів визначення класів - наприклад, можна визначити клас 1 як "суб'єкт без зброї" та клас 2 як клас "зброї". Можливо також визначити більше класів зброї та мати клас 1 як клас без зброї, клас 2 як клас ножів, а клас 3 як клас вогнепальної зброї. Використовуючи ці типи класів, можна зробити тест на предмет здатності відрізнати типи зброї. В даних розрахунках зроблено припущення, що величина сигналу від цілі в частотній області на кожній частоті є незалежною характеристикою.

В рамках роботи з СНСК, застосовано вбудовані команди для роботи з цим алгоритмом в середовищі Matlab [18]. Розраховано 4-шарову модель з прямим живленням, що має 7 вхідних вузлів (по одному на кожну точку даних у вхідному сигналі) та один вихідний вузол. Перший невидимий шар має 100 нейронів, а другий невидимий шар має 10 нейронів. Всі нейрони містять `tansig` функції передачі. Зважений спряжений градієнтний метод зворотнього поширення застосовано для тренування моделі. Знову зроблено припущення, що величина сигналу від цілі в частотній області на кожній частоті є незалежною характеристикою.

Для розрахунку ефективності СНСК використовуються дві величини:

$$\text{Чутливість} = \frac{TP}{TP + FN} \cdot 100\% \quad (21)$$

$$\text{Специфічність} = \frac{TN}{TN + FP} \cdot 100\% \quad (22)$$

де  $TP$ ,  $FN$ ,  $TN$ ,  $FP$  позначають результат, відповідно, як дійсний позитивний, хибний негативний, дійсний негативний та хибний позитивний.

На Фігурі 1 зображено відсоток фонових полюсів, видалених з вимірювань цілі для різних значень  $\rho_b$ . Відсоток визначається як відношення полюсів, видалених з вимірювань цілі, до кількості полюсів, вилучених з вимірювань фону. Емпірично знайдено, що  $\rho_b=0.005$  в ЗММНК видаляє достатньо кількість фонових полюсів з вимірювань цілі без видалення внутрішніх полюсів.

Результати, наведені нижче, демонструють ефект впливу фону на класифікацію за допомогою НБК. Використані сигнали обробляються через ЗММНК та відтворюються за допомогою (4). В результаті отримано сигнал в часовій області, що можна конвертувати в частотну область за допомогою швидкого перетворення Фур'є. В усіх наведених нижче результатах, для тренування та класифікації використана величина частотно-залежного коефіцієнта передачі  $|S_{21}|$  як вектора відгуку  $r$ .

Спочатку наведено випадок з двома наявними класами. Клас 1 є ціллю без зброї, тоді як Клас 2 є ціллю зі зброєю.



Далі пояснено послідовність класифікації. Вимірювання г представлені в наступному форматі: Жакет/Зброя/Позиція/Відстань для людей зі зброєю. Наприклад, "тонкий/31/спереду/близько" позначає виміри суб'єкта з тонким жакетом зі Зброєю 1, розташованою спереду на тілі, коли суб'єкт стоїть близько до антени (біля 60 см). Оскільки, існує лише 4 вимірних відгуки для випадку "лише людина" (тонкий жакет близько, тонкий жакет далеко, товстий жакет близько, товстий жакет далеко), ми використовуємо дані, отримані з далекої відстані (суб'єкт на відстані 150 см від антен), для тестування специфічності алгоритму. Специфічність представляє відношення правильно класифікованих цілей без зброї до загальної кількості вимірювань у випадку "лише людина".

На Фігурі 2 показано, що без видалення фону класифікатор послідовно не спроможний відрізнити сигнатури цілі правильно. Хоча імовірності класу є здебільшого високими (>70 %), багато результатів є невірними.

На Фігурі 3 показано, що невелике видалення фону все ще дає невірні результати класифікації даних. В цьому випадку, імовірності класу є здебільшого однаковими - від 40 % до 60 %.

На Фігурі 4 зображено випадок оптимального видалення фону. При цьому всі тестові вектори, що містять зброю, є правильно класифіковані з дуже високою імовірністю. Суб'єкт з тонким жакетом є виявленим правильно, також з високою імовірністю. Суб'єкт з товстим жакетом є виявленим неправильно; імовірності класу є відносно на одному рівні, але результат не є визначеним. Важливо зазначити, що хоча всі цілі зі зброєю визначені правильно, імовірності вимірювань класу 2 з товстим жакетом є менші за ті, що зроблені з тонким жакетом. Це може означати, що деякі предмети одягу погіршують результати класифікації, особливо коли ціль розташована далеко від антен та відношення сигналу до шуму є малим.

Наступним кроком, досліджені три класи для перевірки того, як алгоритм відрізняє типи зброї. В цьому випадку Клас 1 є без зброї, Клас 2 є ніж, а Клас 3 є пістолет. 31 належить до Класу 2, а 32 та 33 належить до Класу 3. На Фігурі 5 показано, що без видалення фону, не можливо правильно класифікувати вимірювання цілі, хоча й імовірності класу є високими. На Фігурі 6 показано, що з незначним видаленням фону, все ще не можливо правильно класифікувати вимірювання, але імовірності класу є нижчими.

На Фігурі 7 показано, що з оптимальним видаленням фону можливо правильно відрізнити випадки суб'єкта (Клас 1) та суб'єкта зі зброєю (Класи 2 та 3). Ми не змогли правильно ідентифікувати клас зі зброєю на цілі, а також в деяких випадках імовірності належності цілі до Класу 2 чи 3 є дуже схожими. В цьому випадку, суб'єкт з товстим жакетом є правильно визначений як суб'єкт без зброї. Це може позначати, що хоча ми й не змогли правильно ідентифікувати клас зброї, для випадків, коли є потреба відрізнити поміж цілей зі зброєю та без неї, потрібно використати три класи в НБК.

В наведених результатах, фон видалено з усіх вимірювань цілі за допомогою ЗММНК. Розглянуто два класи, Клас 0 та Клас 1, що позначають відсутність погрози та погрозу, відповідно. В тренувальній матриці використані вимірювання людей без зброї поблизу антен, як цілі без погрози, тоді як вимірювання лише зброї використані як цілі з погрозою.

На Фігурі 8 показано імовірність належності цілі до Класу 1 (погроза) за результатом роботи нашого алгоритму для вимірювань, описаних вище. Імовірність цілі з погрозою позначено як  $P_t$ . Якщо  $P_t > 0.5$ , ціль є погрозою. Алгоритм протестований з використанням 38 вимірювань. Індеси вимірювань від 1 до 18, від 19 до 38, та від 37 до 38 відповідають вимірюванням як показано на Рисунку 9. Вимірювання на близькій відстані мають кращу імовірність детекції, ніж вимірювання на далекій відстані.

На Фігурі 9 показано імовірність погрози, знайдена за допомогою СНСК. Виділені дані відповідають вимірюванням, що були неправильно класифіковані з хибним негативним результатом.

Використовуючи дані на Фігурі 8, обчислено чутливість та специфічність системи. Загальні чутливість та специфічність дорівнюють 91.5 % та 100 %, відповідно. Важливо відмітити, що результат специфічності на тепер не такий важливий через недостачу вимірювань людей без зброї. Чутливість алгоритму до вимірювань на близькій відстані є 100 %, а чутливість на далекій відстані - 83 %. Загальна чутливість вимірювань тонкого жакету складає 94 %, товстого жакету - 89 %. Це може означати, що деякі предмети одягу погіршують результати класифікації, особливо коли ціль розташована далеко від антен та відношення сигналу до шуму є малим.

Метод виявлення зброї з використанням НБК або СНСК для даних з видаленим за допомогою ЗММНК фоновим шумом від радара, виявляється багатообіцяючим. Для отримання більшої кількості експериментальних даних, ми недавно придбали нові гребінчасті рупорні антени, що працюють для двох поляризацій. Це дозволить забезпечити більш статистично

обґрунтований аналіз алгоритмів. Також, планується повторити вимірювання в часовій області, використовуючи високошвидкий осцилограф та генератор хвиль довільної форми, для валідації технології на даних, отриманих прямо в часовій області (пульсовий режим). Такі вимірювання є більш швидкими, ніж виміри в частотній області, а тому вони є більш практичними. Також, виконується робота по покращенню характеристик класифікаторів. За мету поставлено відмову від необхідності тренувати модель для цілей, що не є погрозами (люди без зброї), а також покладатися, наскільки можливо, на тренування, що базуються тільки на сигнатурах цілей з погрозами.

Потрібно розуміти, що приклади винаходу, розглянуті в даному документі, наведені лише для застосування принципів винаходу з ілюстративною метою. Зроблені в документі посилання на опис наведених прикладів застосування винаходу не обмежують набір заявок, які також перераховують найважливіші характерні особливості винаходу.

Джерела інформації:

1. N. K. Nikolova, "Frequency sweep measurements of concealed weapons on persons, "Technical Report to DRDC-Ottawa, Hamilton ON., April 2012.
2. J. Y. Siddiqui, Y. M. M. Antar, A. P. Freundorfer, E.C. Smith, G.A. Morin and T. Thayaparan, "Design of an ultrawideband antipodal tapered slot antenna using elliptical strip conductors, " IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 10, p.251-254, March 2011.
3. S. Ibrahim, K. R. Liu, D. Novak and R. B. Waterhouse, "A subspace signal processing technique for concealed weapons detection, " IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Honolulu, HI, 2007.
4. M. Gashinova, M. Cherniakov and A. Vasalos, "UWB signature analysis for detection of body-worn weapons, " in International Conference on Radar, Shanghai, 2006.
5. Vasalos, I. Vasalos, H. Ryu and S. Fotinea, "LTR analysis and signal processing for concealed explosive detection, " in German Microwave Conference, Berlin, 2010.
6. Vasalos, I. Vasalos, H. Ryu and S. Fotinea, "Fast concealed weapon detection via LTR analysts, " in IEEE Radar Conference, Kansas City, MO, 2011.
7. Vasalos, I. Vasalos, H. Ryu and S. Fotinea, "LTR analysis for fast concealed weapon detection, " in German Microwave Conference, Darmstadt, 2011.
8. D. O'Reilly, N. Bowring and S. Harmer, "Signal processing techniques for concealed weapon detection by use of neural networks, " IEEE 27th Convention of Electrical & Electronics Engineers in Israel (IEEEI), Eilat, Israel, 2012.
9. N. Shuley and D. Longstaff, "Role of polarization in automatic target recognition using resonance descriptions, "Electronic Lett., vol. 40, no. 4, Feb. 2004.
10. N. K. Nikolova, "Ultrawideband (UWB) high-resolution noise radar for concealed weapon detection, " Technical Report to DRDC-Ottawa, Hamilton, ON, June 30, 2009.
11. N. K. Nikolova, "Ultrawideband (UWB) high-resolution noise radar for concealed weapon detection, " Technical Report to DRDC-Ottawa, Hamilton, ON, July 23, 2010.
12. M. Georgiev and N. Nikolova, "Ultrawideband (UWB) high-resolution noise radar for concealed weapon detection, " Technical Report to DRDC-Ottawa, Hamilton ON, April, 2012.
13. R. S. Adve, O. M. Pereira-Filho, T. K. Sarkar and S. M. Rao, "Extrapolation of time domain responses from three dimensional objects utilizing the matrix pencil technique, "IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 45, pp. 147-156, Jan. 1997.
14. R. Kumaresan and D. W. Tufts, "Estimating the parameters of exponentially damped sinusoids and pole-zero modeling in noise, " IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 30, no. 6, pp. 833-840, 1982.
15. G. K. AUu, "Estimating the parameters of exponentially damped sinusoids in noise, "University of Rhode Island, Kingston, Rhode Island, 02881, April, 2003.
16. G. Reynolds, "Complex exponential analysis, " 18 June 2007. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/12439-complex-exponential-analysis>. [Accessed 20 August 2012].
17. MathWorks, "Statistics Toolbox R2012b, " [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/products/datasheets/pdf/statistics-toolbox.pdf>
18. MathWorks, "Neural Network Toolbox R2012b, " [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/nnet/index.html>.

## ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб виявлення зброї, який включає:

випромінювання потоку високочастотних сигналів в зону спостереження,

приймання потоку розсіяних сигналів із зони спостереження, причому потік розсіяних сигналів формується в зоні спостереження з потоку високочастотних сигналів, коли ціль знаходиться принаймні частково в зоні спостереження, розпізнавання пізньої ділянки відгуку потоку розсіяних сигналів та ранньої ділянки відгуку потоку розсіяних сигналів,

5 розпізнавання множини компонентів резонансного сигналу з пізньої ділянки відгуку потоку розсіяних сигналів у вигляді множини затухаючих синусоїд, формування множини попередньо оброблених компонентів резонансного сигналу шляхом видалення щонайменше однієї затухаючої синусоїди з множини компонентів резонансного сигналу, причому зазначена щонайменше одна затухаюча синусоїда відповідає збереженим компонентам сигналів оточуючого середовища для зони спостереження,

10 визначення оцінки цілі з множини попередньо оброблених компонентів резонансного сигналу та ранньої ділянки відгуку потоку розсіяних сигналів з використанням статистичної моделі, основаної на резонансних сигналах та ранніх відгуках, пов'язаних зі зброєю, при цьому таку статистичну модель формують з використанням навчальної бази даних, яка має перший набір даних з першою множиною компонентів сигналів у вигляді множини затухаючих синусоїд та ранні відгуки, пов'язані зі зброєю, та другий набір даних, який містить другу множину компонентів сигналів у вигляді множини затухаючих синусоїд та ранні відгуки, пов'язані з загальною ціллю у ситуації, коли на такій загальній цілі відсутня зброя, і

20 запускання механізму відгуку цілі, якщо оцінка цілі показує на те, що на цілі виявлено зброю.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що пізню ділянку відгуку потоку розсіяних сигналів розпізнають шляхом:

розпізнавання початкового відбиття випромінюваного високочастотного потоку в потоці розсіяних сигналів, і

25 розпізнавання пізньої ділянки відгуку на основі розпізнаного початкового відбиття.

3. Спосіб за будь-яким з пунктів 1, 2, який **відрізняється** тим, що компоненти сигналів оточуючого середовища для зони спостереження визначають шляхом:

приймання потоку фонових розсіяних сигналів із зони спостереження, коли в ній відсутні цілі, попередньої обробки потоку фонових розсіяних сигналів для розпізнавання ранньої ділянки

30 фонового відгуку та пізньої ділянки фонового відгуку, розпізнавання компонентів сигналів оточуючого середовища як множини компонентів фонових сигналів у вигляді затухаючих синусоїд з пізньої ділянки фонового відгуку з потоку фонових розсіяних сигналів, і зберігання компонентів сигналів оточуючого середовища.

35 4. Спосіб за будь-яким з пунктів 1-3, який **відрізняється** тим, що додатково включає оновлення другого набору даних на основі множини компонентів попередньо оброблених компонентів резонансних сигналів та розпізнаної ранньої ділянки відгуку, якщо на цілі не виявлено зброї.

5. Спосіб за будь-яким з пунктів 1-4, який **відрізняється** тим, що:

40 випромінюваний потік високочастотних сигналів поляризують в приблизно першому напрямку, а потік розсіяних сигналів приймають в приблизно першому напрямку і в приблизно другому напрямку, причому другий напрямок є по суті перпендикулярним першому напрямку.

6. Спосіб за п. 5, який **відрізняється** тим, що випромінюваний потік високочастотних сигналів послідовно поляризують в приблизно першому напрямку і в приблизно другому напрямку.

7. Спосіб за будь-яким з пунктів 1-6, який **відрізняється** тим, що випромінюваний потік

45 високочастотних сигналів має частотний діапазон в межах від близько 0,5 ГГц до близько 5 ГГц.

8. Система для виявлення зброї, яка містить:

високочастотний передавач, який має щонайменше одну передавальну антену, причому високочастотний передавач виконаний з можливістю випромінювання потоку високочастотних сигналів в зону спостереження з використанням щонайменше однієї передавальної антени,

50 високочастотний приймач, який має щонайменше одну приймальну антену, причому високочастотний приймач виконаний з можливістю приймання потоку розсіяних сигналів із зони спостереження з використанням щонайменше однієї передавальної антени, при цьому потік розсіяних сигналів формують в зоні спостереження з потоку високочастотних сигналів, випромінюваного високочастотним передавачем, коли ціль знаходиться принаймні частково в

55 зоні спостереження, блок зберігання даних, який зберігає компоненти сигналів оточуючого середовища для зони спостереження, навчальну базу даних, яка має перший набір даних з першою множиною компонентів сигналів у вигляді множини затухаючих синусоїд та ранні відгуки, пов'язані зі зброєю, та другий набір даних, який містить другу множину компонентів сигналів у вигляді множини затухаючих синусоїд та ранні відгуки, пов'язані з загальною ціллю у ситуації, коли на

60

такій загальній цілі відсутня зброя, і статистичну модель на основі резонансних сигналів та ранніх відгуків, пов'язаних зі зброєю, при цьому таку статистичну модель формують з використанням навчальної бази даних, і

5 контролер, з'єднаний з високочастотним передавачем, високочастотним приймачем і блоком зберігання даних, причому контролер виконаний з можливістю:

розпізнавання пізньої ділянки відгуку потоку розсіяних сигналів та ранньої ділянки відгуку потоку розсіяних сигналів,

розпізнавання множини компонентів резонансного сигналу з пізньої ділянки відгуку потоку розсіяних сигналів у вигляді множини затухаючих синусоїд,

10 формування множини попередньо оброблених компонентів резонансних сигналів шляхом видалення щонайменше однієї затухаючої синусоїди з множини компонентів резонансного сигналу, причому зазначена щонайменше одна затухаюча синусоїда відповідає збереженим компонентам сигналів оточуючого середовища,

15 визначення оцінки цілі з множини попередньо оброблених компонентів резонансного сигналу та ранньої ділянки відгуку потоку розсіяних сигналів з використанням статистичної моделі, і запускання механізму відгуку цілі, якщо оцінка цілі показує на те, що на цілі виявлено зброю.

9. Система за п. 8, яка **відрізняється** тим, що контролер додатково виконаний з можливістю розпізнавання пізньої ділянки відгуку потоку розсіяних сигналів шляхом:

20 розпізнавання початкового відбиття випромінюваного високочастотного потоку в потоці розсіяних сигналів, і

розпізнавання пізньої ділянки відгуку на основі розпізнаного початкового відбиття.

10. Система за будь-яким з пунктів 8, 9, яка **відрізняється** тим, що:

25 високочастотний приймач додатково виконаний з можливістю приймання потоку фонових розсіяних сигналів із зони спостереження, коли в зоні спостереження немає жодної цілі, з використанням щонайменше однієї приймальної антени, а

контролер додатково виконаний з можливістю:

попередньої обробки потоку фонових розсіяних сигналів для розпізнавання ранньої ділянки фонового відгуку та пізньої ділянки фонового відгуку,

30 розпізнавання компонентів сигналів оточуючого середовища як множини компонентів фонових сигналів у вигляді затухаючих синусоїд з пізньої ділянки фонового відгуку з потоку фонових розсіяних сигналів, і

зберігання компонентів сигналів оточуючого середовища в блоці зберігання даних.

35 11. Система за будь-яким з пунктів 8-10, яка **відрізняється** тим, що контролер виконаний з можливістю оновлення другого набору даних і статистичної моделі на основі множини компонентів попередньо оброблених резонансних сигналів та розпізнаної ранньої ділянки відгуку, якщо на цілі не виявлено зброї.

12. Система за будь-яким з пунктів 8-11, яка **відрізняється** тим, що:

40 високочастотний передавач виконаний з можливістю випромінювання потоку високочастотних сигналів, поляризованого в приблизно першому напрямку з використанням щонайменше однієї антени,

зазначена щонайменше одна приймальна антена містить першу приймальну антену і другу приймальну антену, а

45 високочастотний приймач виконаний з можливістю приймання потоку розсіяних сигналів в приблизно першому напрямку з використанням першої приймальної антени і в приблизно другому напрямку з використанням другої приймальної антени, причому другий напрямок є по суті перпендикулярним першому напрямку.

50 13. Система за п. 12, яка **відрізняється** тим, що високочастотний передавач додатково виконаний з можливістю послідовного випромінювання потоку високочастотних сигналів, поляризованого в приблизно першому напрямку і потоку високочастотних сигналів, поляризованого в приблизно другому напрямку.

14. Система за будь-яким з пунктів 8-13, яка **відрізняється** тим, що високочастотний передавач виконаний з можливістю випромінювання потоку високочастотних сигналів в частотному діапазоні в межах від близько 0,5 ГГц до близько 5 ГГц.

55 15. Система за будь-яким з пунктів 8-14, яка **відрізняється** тим, що високочастотний передавач розміщений на першій периферійній ділянці зони спостереження, а високочастотний приймач розміщений на другій периферійній ділянці зони спостереження навпроти високочастотного передавача, причому друга периферійна ділянка є по суті протилежною першій периферійній ділянці.

ВІДСОТОК ВИДАЛЕНИХ ФОНОВИХ ПОЛЮСІВ

Алгоритм ( $\rho_b$ )	Видалення Людини (%)	Видалення Зброї (%)	Видалення Людини+Зброї (%)
ЗММНК (0.01)	99.41	99.61	98.80
ЗММНК (0.005)	91.63	95.08	91.26
ЗММНК (0.001)	17.34	28.74	17.25
МКТ* (0.03)	99.54	103.41**	100.66**
МКТ (0.01)	91.76	94.89	91.92
МКТ (0.005)	68.47	73.59	66.72
МКТ (0.001)	17.34	28.74	17.25

\* Метод Кумаресан-Туфтса.

\*\* Відсоток, що є більшим за 100%, отримано через те, що алгоритм створює більше полюсів в досліджуваній сигнатурі цілі, ніж в сигнатурі фону. Це обумовлює те, що на один фоновий полюс видаляється більше, ніж один полюс цілі.

Fig.1

## РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ НКБ БЕЗ ВИДАЛЕННЯ ФОНУ ДЛЯ ДВОХ КЛАСІВ.

Вимірювання $r$	Імовірність належності $r$ до класу 1	Імовірність належності $r$ до класу 2	Результат (правильний/невірний)
тонкий/31/спереду/близька	0.003622	0.996378	2 п
тонкий / 31/позаду/ близька	0.254726	0.745274	2 п
тонкий / 31/збоку/ близька	0.010641	0.989359	2 п
тонкий / 32/ спереду / близька	0.040637	0.959363	2 п
тонкий / 32/ позаду / близька	0.750638	0.249362	1 н
тонкий / 32/ збоку / близька	0.004277	0.995723	2 п
тонкий / 33/ спереду / близька	0.999572	0.000428	1 н
тонкий / 33/ позаду / близька	0.124044	0.875956	2 п
тонкий / 33/ збоку / близька	0.004306	0.995694	2 п
товстий/ 31/ спереду / близька	0.001419	0.998581	2 п
товстий / 31/ позаду / близька	0.988894	0.011106	1 н
товстий / 31/ збоку / близька	0.031891	0.968109	2 п
товстий / 32/ спереду / близька	0.07409	0.92591	2 п
товстий / 32/ позаду / близька	0.518405	0.481595	1 н
товстий / 32/ збоку / близька	0.006528	0.993472	2 п
товстий / 33/ спереду / близька	0.005201	0.994799	2 п
товстий / 33/ позаду / близька	0.004573	0.995427	2 п
товстий / 33/ збоку / близька	0.060135	0.939865	2 п
тонкий/без зброї/далека	0.046975	0.953025	2 н
товстий /без зброї/далека	0.007785	0.992215	2 н

Фіг.2

ТАБЛИЦЯ 1. РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ НБК З ВИДАЛЕННЯМ ФОНУ \*  $\rho_b = 0.001$  ДЛЯ ДВОХ КЛАСІВ.

Вимірювання ( <i>r</i> )	Імовірність належності <i>r</i> до класу 1	Імовірність належності <i>r</i> до класу 2	Результат (правильний/невірний)
тонкий/31/спереду/близька	0.422969	0.577031	2 п
тонкий / 31/ позаду / близька	0.310956	0.689044	2 п
тонкий / 31/ збоку / близька	0.503272	0.496728	1 н
тонкий / 32/ спереду / близька	0.046737	0.953263	2 п
тонкий / 32/ позаду / близька	0.480166	0.519834	2 п
тонкий / 32/ збоку / близька	0.473759	0.526241	2 п
тонкий / 33/ спереду / близька	0.371193	0.628807	2 п
тонкий / 33/ позаду / близька	0.490797	0.509203	2 п
тонкий / 33/ збоку / близька	0.563836	0.436164	1 н
товстий / 31/ спереду / близька	0.16933	0.83067	2 п
товстий / 31/ позаду / близька	0.310994	0.689006	2 п
товстий / 31/ збоку / близька	0.606542	0.393458	1 н
товстий / 32/ спереду / близька	0.46896	0.53104	2 п
товстий / 32/ позаду / близька	0.354741	0.645259	2 п
товстий / 32/ збоку / близька	0.3175	0.6825	2 п
товстий / 33/ спереду / близька	0.184073	0.815927	2 п
товстий / 33/ позаду / близька	0.471597	0.528403	2 п
товстий / 33/ збоку / близька	0.452235	0.547765	2 п
тонкий /без зброї/далека	0.396245	0.603755	2 н
товстий /без зброї / далека	0.444298	0.555702	2 н

\* Фон видалено за допомогою ЗММНК та алгоритму, що описані в Секції 5.

Фіг.3

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ НБК З ВИДАЛЕННЯМ ФОНУ \*  $\rho_b = 0.005$  ДЛЯ ДВОХ КЛАСІВ.

Вимірювання ( $r$ )	Імовірність належності $r$ до класу 1	Імовірність належності $r$ до класу 2	Результат (правильний/невірний)
тонкий/31/спереду/близька	1.07E-40	1	2 п
тонкий / 31/ позаду / близька	1.64E-33	1	2 п
тонкий / 31/ збоку / близька	1.05E-30	1	2 п
тонкий / 32/ спереду / близька	4.06E-30	1	2 п
тонкий / 32/ позаду / близька	2.58E-27	1	2 п
тонкий / 32/ збоку / близька	1.4E-21	1	2 п
тонкий / 33/ спереду / близька	9.75E-24	1	2 п
тонкий / 33/ позаду / близька	7.64E-16	1	2 п
тонкий / 33/ збоку / близька	4.24E-20	1	2 п
товстий / 31/ спереду / близька	8.32E-27	1	2 п
товстий / 31/ позаду / близька	1.03E-08	1	2 п
товстий / 31/ збоку / близька	1.24E-05	0.999988	2 п
товстий / 32/ спереду / близька	0.000431	0.999569	2 п
товстий / 32/ позаду / близька	5.29E-06	0.999995	2 п
товстий / 32/ збоку / близька	0.106831	0.893169	2 п
товстий / 33/ спереду / близька	2.37E-05	0.999976	2 п
товстий / 33/ позаду / близька	5.52E-06	0.999994	2 п
товстий / 33/ збоку / близька	0.004216	0.995784	2 п
тонкий / без зброї / далеко	0.944995	0.055005	1 п
товстий / без зброї / далеко	0.489009	0.510991	2 н

Фіг.4



## РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ НБК БЕЗ ВИДАЛЕННЯ ФОНУ ТА ТРИ КЛАСИ.

Вимірювання ( $r$ )	Імовірність належності $r$ до класу 1	Імовірність належності $r$ до класу 2	Імовірність належності $r$ до класу 3	Результат (правильний/невірний)
тонкий/31/спереду/близька	0.006746	0.003211	0.990044	3 н
тонкий / 31/ позаду / близька	0.328345	2.72E-11	0.671655	3 н
тонкий / 31/ збоку / близька	0.023822	0.014174	0.962004	3 н
тонкий / 32/ спереду / близька	0.048493	1.71E-08	0.951507	3 п
тонкий / 32/ позаду / близька	0.806265	8.48E-12	0.193735	1 н
тонкий / 32/ збоку / близька	0.002629	0.752494	0.244877	2 н
тонкий / 33/ спереду / близька	0.995345	1.39E-29	0.004655	1 н
тонкий / 33/ позаду / близька	0.162436	7.35E-10	0.837564	3 п
тонкий / 33/ збоку / близька	0.003583	0.656202	0.340215	2 н
товстий / 31/ спереду / близька	0.002275	0.235072	0.762653	3 н
товстий / 31/ позаду / близька	0.985131	3.83E-11	0.014869	1 н
товстий / 31/ збоку / близька	0.067573	0.059837	0.872589	3 н
товстий / 32/ спереду / близька	0.027522	1.03E-14	0.972478	3 п
товстий / 32/ позаду / близька	0.584655	9.6E-06	0.415335	1 н
товстий / 32/ збоку / близька	0.012122	0.002883	0.984995	3 п
товстий / 33/ спереду / близька	0.009873	0.201546	0.788581	3 п
товстий / 33/ позаду / близька	0.004329	4.74E-09	0.995671	3 п
товстий / 33/ збоку / близька	0.022916	3.58E-20	0.977084	3 п
тонкий / без зброї / далеко	0.091268	0.063009	0.845723	3 н
товстий / без зброї / далеко	0.010086	0.490643	0.49927	3 н

Фіг.5

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ НБК З ВИДАЛЕННЯМ ФОНУ  $\rho_b = 0.001$  ТА ТРИ КЛАСИ.

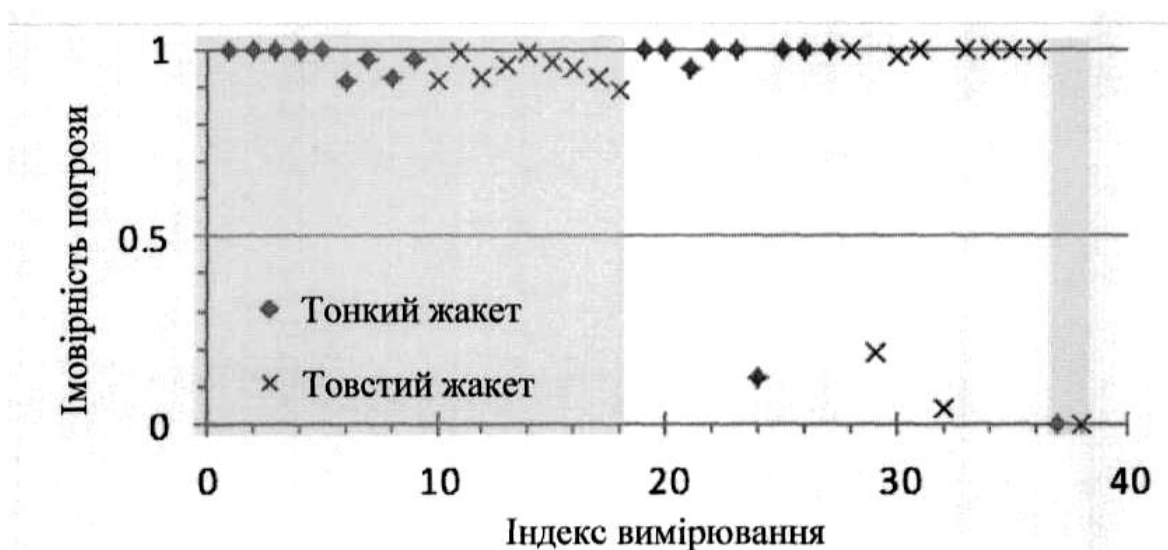
Вимірювання (r)	Імовірність належності r до класу 1	Імовірність належності r до класу 2	Імовірність належності r до класу 3	Результат (правильний/невірний)
тонкий/31/спереду/близька	0.319866	0.140391	0.539743	3 н
тонкий / 31/ позаду / близька	0.278001	0.228298	0.493701	3 н
тонкий / 31/ збоку / близька	0.485823	0.272862	0.241316	1 н
тонкий / 32/ спереду / близька	0.05379	0.392089	0.554121	3 п
тонкий / 32/ позаду / близька	0.477554	0.278687	0.243759	1 н
тонкий / 32/ збоку / близька	0.426845	0.211975	0.36118	1 н
тонкий / 33/ спереду / близька	0.360239	0.28146	0.3583	1 н
тонкий / 33/ позаду / близька	0.484754	0.293339	0.221907	1 н
тонкий / 33/ збоку / близька	0.552361	0.235524	0.212115	1 н
товстий / 31/ спереду / близька	0.115405	0.141209	0.743385	3 н
товстий / 31/ позаду / близька	0.31321	0.309457	0.377333	3 н
товстий / 31/ збоку / близька	0.588898	0.20624	0.204862	1 н
товстий / 32/ спереду / близька	0.467103	0.281489	0.251408	1 н
товстий / 32/ позаду / близька	0.363107	0.33732	0.299573	1 н
товстий / 32/ збоку / близька	0.32744	0.344866	0.327694	2 н
товстий / 33/ спереду / близька	0.197476	0.38398	0.418543	3 п
товстий / 33/ позаду / близька	0.469521	0.28049	0.249988	1 н
товстий / 33/ збоку / близька	0.451468	0.286039	0.262493	1 н
тонкий/ без зброї / далеко	0.40024	0.310058	0.289702	1 п
товстий / без зброї / далеко	0.440564	0.272773	0.286663	1 п

Fig. 6

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ НБК З ВИДАЛЕННЯМ ФОНУ  $\rho_b = 0.005$  ТА ТРИ КЛАСИ.

Вимірювання ( $r$ )	Імовірність належності $r$ до класу 1	Імовірність належності $r$ до класу 2	Імовірність належності $r$ до класу 3	Результат (правильний/невірний)
тонкий/31/спереду/близька	1.71E-40	0.003945	0.996055	3 н
тонкий / 31/ позаду / близька	2.86E-33	0.055274	0.944726	3 н
тонкий / 31/ збоку / близька	1.77E-30	0.056313	0.943687	3 н
тонкий / 32/ спереду / близька	4.39E-30	0.503171	0.496829	2 н
тонкий / 32/ позаду / близька	4.2E-27	0.129418	0.870582	3 п
тонкий / 32/ збоку / близька	1.77E-21	0.363598	0.636402	3 п
тонкий / 33/ спереду / близька	1.48E-23	0.170287	0.829713	3 п
тонкий / 33/ позаду / близька	6.72E-16	0.573264	0.426736	2 н
тонкий / 33/ збоку / близька	4.83E-20	0.438461	0.561539	3 п
товстий / 31/ спереду / близька	1.32E-26	0.071605	0.928395	3 н
товстий / 31/ позаду / близька	8.38E-09	0.607951	0.392049	2 п
товстий / 31/ збоку / близька	1.23E-05	0.50108	0.498908	2 п
товстий / 32/ спереду / близька	0.000723	0.050578	0.948699	3 п
товстий / 32/ позаду / близька	4.26E-06	0.566608	0.433387	2 н
товстий / 32/ збоку / близька	0.120516	0.283401	0.596083	3 п
товстий / 33/ спереду / близька	2.07E-05	0.541838	0.458142	2 н
товстий / 33/ позаду / близька	4.31E-06	0.554646	0.445350	2 н
товстий / 33/ збоку / близька	0.006935	0.045282	0.947782	3 п
тонкий / без зброї / далеко	0.953530	0.000626	0.045844	1 п
товстий / без зброї / далеко	0.553367	0.093493	0.353139	1 п

Фіг.7



Фіг.8

ІМОВІРНІСТЬ ПОГРОЗИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СНСК

Вимірювання (індекс)	$P_T$	Вимірювання (індекс)	$P_T$
тонкий/31/спереду/близька (1)	0.999	тонкий / 31/ позаду / далеко (20)	0.996
тонкий / 31/позаду/ близька (2)	0.999	тонкий / 31/ збоку / далеко (21)	0.946
тонкий / 31/збоку/ близька (3)	0.997	тонкий / 32/ спереду / далеко (22)	0.999
тонкий / 32/ спереду / близька (4)	0.999	тонкий / 32/ позаду / далеко (23)	0.999
тонкий / 32/ позаду / близька (5)	0.996	тонкий / 32/ збоку / далеко (24)	0.123
тонкий / 32/ збоку / близька (6)	0.918	тонкий / 33/ спереду / далеко (25)	0.998
тонкий / 33/ спереду / близька (7)	0.971	тонкий / 33/ позаду / далеко (26)	0.999
тонкий / 33/ позаду / близька (8)	0.919	тонкий / 33/ збоку / далеко (27)	0.997
тонкий / 33/ збоку / близька (9)	0.976	товстий / 31/ спереду / далеко (28)	0.998
товстий/ 31/ спереду / близька (10)	0.912	товстий / 31/ позаду / далеко (29)	0.186
товстий / 31/ позаду / близька (11)	0.989	товстий / 31/ збоку / далеко (30)	0.977
товстий / 31/ збоку / близька (12)	0.923	товстий / 32/ спереду / далеко (31)	0.998
товстий / 32/ спереду / близька (13)	0.955	товстий / 32/ позаду / далеко (32)	0.042
товстий / 32/ позаду / близька (14)	0.990	товстий / 32/ збоку / далеко (33)	0.998
товстий / 32/ збоку / близька (15)	0.963	товстий / 33/ спереду / далеко (34)	0.999
товстий / 33/ спереду / близька (16)	0.945	товстий / 33/ позаду / далеко ( 35)	0.998
товстий / 33/ позаду / близька (17)	0.924	товстий / 33/ збоку / далеко (36)	0.998
товстий / 33/ збоку / близька (18)	0.889	тонкий / без зброї / далеко (37)	0.000
тонкий / 31/ спереду / далеко (19)	0.997	товстий /без зброї/ далеко (38)	0.000

Фіг.9

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601