УДК 621.396

к.т.н. Жук О.В. (ВІТІ)
д.т.н. Романюк В.А. (ВІТІ)
Степаненко Є.О. (ВІТІ)
Стрела Т.С. (ВІТІ)

ВИМОГИ ДО ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ МОНІТОРИНГУ В ТАКТИЧНИХ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

У статті розглядається процес моніторингу різних класів цілей в тактичних безпроводових сенсорних мережах. Визначено параметри та вимоги до виявлення, класифікації та відстеження цілей, запропоновано три класи цілей відповідно до набору визначених параметрів. Приведена класифікація датчиків сенсорних вузлів, визначені їх переваги та недоліки.

Жук О.В, Романюк В.А., Степаненко Е.А., Стрела Т.С. Требования к параметрам объектов мониторинга в тактических беспроводных сенсорных сетях. *В статье рассматривается процесс мониторинга различных классов целей в тактических беспроводных сенсорных сетях. Определены параметры и требования к обнаружению, классификации и отслеживания целей, предложено три класса целей в соответствии с множеством определенных параметров. Приведенная классификация датчиков сенсорных узлов, определены их преимущества и недостатки.*

A. Zhuk, V. Romaniuk, E. Stepanenko, T. Strela Requirement for parameters of object of monitoring in tactical wireless sensors networks. *The article deals with the process of monitoring various target classes in tactical wireless sensors networks. The parameters and requirements for the identification, classification and tracking of goals are defined, and three classes of goals are proposed according to the set of detected parameters. The classification of sensors modules nodes is given, their advantages and disadvantages are determined.*

Ключові слова: *тактичні безпроводові сенсорні мережі, параметри моніторингу, класифікація цілей.*

Постановка задачі в загальному виді. Визначальною умовою досягнення переваги над супротивником у ході бойових дій є високий рівень забезпечення військ (сил) всіма видами оперативної інформації. В умовах високої динаміки ведення бойових дій таку перевагу можливо досягти тільки у випадку, коли оперативна інформація про поточну обстановку доступна для всіх ланок управління (включаючи окремих військовослужбовців).

Відповідно до стратегічного оборонного бюлетеня України завданням 1.4.3 є „створення автоматизованих систем C^{4}ISR на оперативному і тактичному рівнях для видів (родів) Збройних сил України та інших складових сил оборони на основі стандартів, доктрин і рекомендацій НАТО". Очікуваним результатом є: „впровадження системи C^{4}ISR на оперативному та тактичному рівнях до командира відділення (та їм рівних) у складі таких базових можливостей: захищений цифровий голосовий зв'язок, обмін текстовими повідомленнями, обмін графічними документами, геопросторова інформація, взаємна ідентифікація, *інтеграція сенсорів (датчиків)*, інтеграція БпЛА, сумісність з стандартними угодами НАТО (STANAG)" [1].

Одним із важливих елементів цієї системи становлять тактичні безпровідні сенсорні мережі (ТБСМ), які будуть застосовуватися для: збору і передачі органам управління військами розвідувальної інформації про знаходження та переміщення військовослужбовців супротивника, його техніки та озброєння, охороні військових об'єктів тощо.

Тактичні сенсорні мережі розгортаються (детерміновано або випадково) в заданій території та здійснюють побудову та моніторинг зон (бар'єрів, цілей) моніторингу. Принцип побудови мережі – самоорганізація. ТБСМ характеризуються: значною розмірністю, моніторингом декількох параметрів середовища, обмеженістю ресурсів вузлів мережі (зао продуктивністю процесора, пам'яті, потужності передавача, енергії батареї тощо), обмеженою дальністю та пропускною спроможністю каналів радіозв'язку між вузлами тощо [2]. При цьому мережа повинна працювати в особливих умовах ведення бою, враховуючи можливість застосування деструктивних чинників та впливу противника (відмови, вплив РЕБ, виявлення і знищення, попадання снарядів, тощо).

Для забезпечення покриття необхідної території, її моніторингу і передачу даних із заданою якістю, необхідно розробити систему управління тактичною безпроводовою

сенсорною мережею, яка складається з двох основних підсистем: моніторингу та телекомунікацій [3]. Тому визначення основних вимог до підсистеми управління моніторингом тактичної безпроводової сенсорної мережі є одним із головних завдань при побудові та функціонуванні мережі.

Аналіз останніх публікацій. Останні тенденції та розвиток технологій в області мікроелектроніки привели до створення мікроелектромеханічних систем (MicroElectro-Mechanical system, MEMS) [4], пристроїв, що об'єднують в собі мікроелектронні та мікромеханічні компоненти.

Механічним компонентом може бути мініатюрне дзеркальце – елемент сканування системи або різні датчики. В даний час MEMS-технології застосовуються для створення різноманітних мініатюрних актуаторів та датчиків, таких як акселерометри, датчики кутових швидкостей, гіроскопи, магнітометричні датчики, барометричні датчики, аналізатори середовища, радіоприймальні вимірювальні перетворювачі та ін.

Це дозволяє зосередити велику кількість сенсорних модулів в одному вузлі сенсорної мережі. Їх низька вартість дозволяє використовувати сенсори для покриття значних територій. Як наслідок, ці пристрої стали перспективними для вирішення задач розподіленого виявлення, класифікації і відстеження цілей, моніторингу площини.

Зокрема, в роботі [5] розглядаються варіанти побудови сенсорної мережі з різноманітними датчиками, наводяться параметри моніторингу, висуваються вимоги до складу та характеристик показників функціонування ТБСМ. В [6] запропоновані моделі для визначення та ідентифікації декількох цілей в наземних ТБСМ.

Метою статті є визначення вимог до параметрів системи управління моніторингом тактичної безпроводової сенсорної мережі.

Виклад основного матеріалу. Бездротові сенсорні мережі (БСМ) або *Wireless Sensor Network* (WSN) – розподілені мережі (наземні, повітряні, підводні, підземні), що складаються з сенсорних вузлів (стаціонарні малогабаритні сенсори, мобільні роботи-сенсори, сенсорні аероплатформи), з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища і передачі даних [3].

Забезпечення моніторингу зони (площі) спостереження і передачі інформації із заданою якістю неможливе без ефективної системи управління.

Управління БСМ поділяється за функціями на *управління моніторингом* та управління передачею даних (телекомунікаційна складова): $U_{\text{БСМ}}(t)=\{U_{\text{мон}}(t), U_{\text{тел}}(t)\}$ (рис. 1). Управління моніторингом включає наступні підсистеми $U_{\text{мон}}(t)=\{U^{\text{р}}(t),\ U^{\text{п}}(t), U^{\text{ві}}(t), U^{\text{я}}(t)\}$:

$U^{\text{р}}$ – *підсистема управління розміщенням сенсорів* – збір інформації про об'єкти спостереження, визначення методів розміщення вузлів, вибір типу сенсорних вузлів (з врахуванням параметрів та середовища моніторингу), типу організації сенсорної мережі, тощо;

$U^{\text{п}}$ – *підсистема управління покриттям* – відповідає за визначення типу покриття (покриття цілі (точки), покриття площі (зони, сектора, бар'єрне покриття), вибір моделі покриття в залежності від ступеня та коефіцієнта покриття;

$U^{\text{ві}}$ – *підсистема виявлення та ідентифікації об'єктів моніторингу* відповідає за своєчасне, з найменшими затримками виявлення та вірну класифікацію цілей спостереження;

$U^{\text{я}}$ – *підсистеми управління якістю покриття та моніторингу* забезпечує покриття та моніторинг необхідної території із заданою якістю.

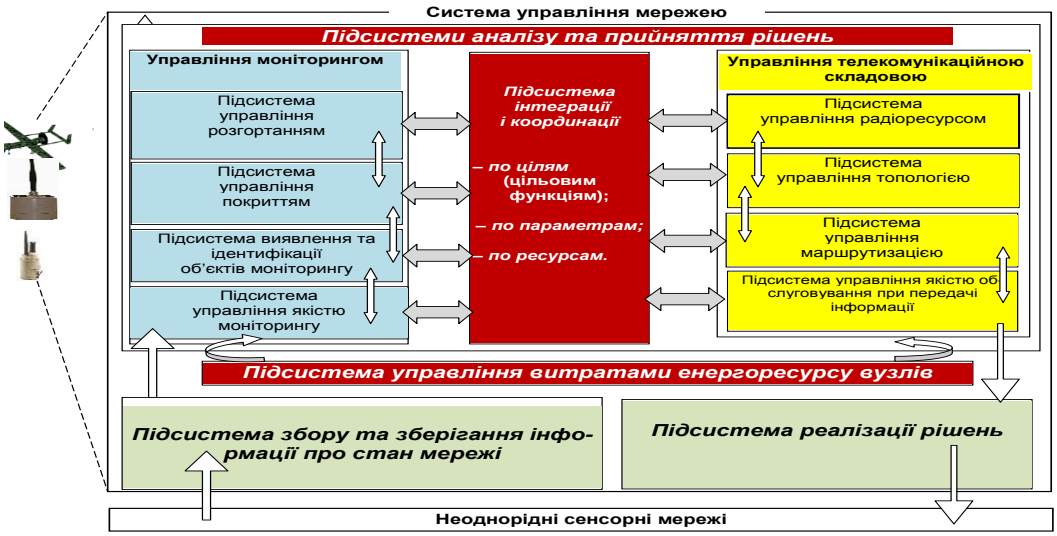

Рис. 1. Функціональна модель системи управління БСМ

Виходячи з того, що основним завданням БСМ є моніторинг територій та передача цієї інформації до органів управління із заданою якістю, визначимо основні вимоги до складових підсистеми виявлення та ідентифікації цілей (рис. 2) [4].

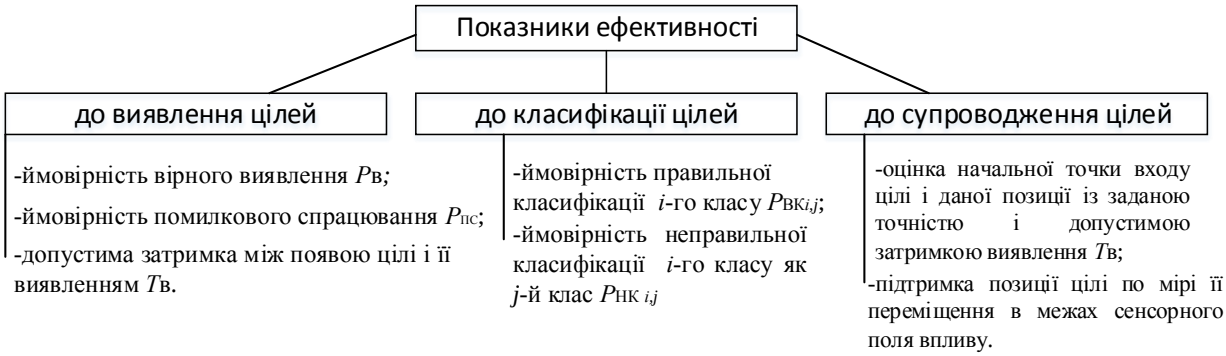

Рис. 2. Вимоги до якості моніторингу та ідентифікації (класифікації) цілей

1. *Вимоги до виявлення цілі* – система повинна розрізняти присутність або відсутність об’єкта в зоні моніторингу з найменшими затримками, правильно оцінювати наявність цілей, уникати помилкові спрацювання.

Ключовими показниками ефективності виявлення є:

ймовірність вірного виявлення ($P_в$);

ймовірність помилкового спрацювання ($P_{пс}$);

допустима затримка між появою цілі і її виявленням ($T_в$);.

Ймовірність помилкового спрацювання може бути викликане такими чинниками як, погодні умови (вітер, дощ – можуть безпосередньо впливати на сенсорні модулі та викликати помилкові спрацювання, або викликати рух інших об’єктів, від яких спрацьовують сенсори), пошкодження сенсорних вузлів при розгортанні мережі (при падінні з великої висоти), різного виду програмні збої, помилки в географічному положенні та ін.

2. *Вимоги до класифікації* – віднесення виявленої цілі до одного з трьох існуючих типів класу (цивільна особа, військова особа, транспортний засіб). В більш загальному сенсі класифікація є результатом тестування гіпотези і залежить від оцінки, яка є процесом визначення релевантних параметрів виявленого сигналу, включаючи, наприклад, його пікову амплітуду і фазу, довжину, спектральну щільність потужності та інші.

Успішна класифікація вимагає, щоб цілі в обов’язковому порядку були віднесені до одного з типів класу. Ключовими показниками ефективності при класифікації об’єктів є:

ймовірність правильної класифікації *i*-го класу $P_{\text{пкі},j}$;
ймовірність неправильної класифікації *i*-го класу як *j-й* $P_{\text{нкі},j}$.

Таблиця 1

Вимоги до значень параметрів класифікації цілей

	Людина цивільна (л)	Людина військова (в)	Транспортний засіб (т)
Людина цивільна (л)	$P_{\text{пкл,л}} > 0.90$	$P_{\text{пкл,в}} < 0.09$	$P_{\text{пкл,т}} < 0.01$
Людина військова (в)	$P_{\text{пкв, л}} < 0.01$	$P_{\text{пкв,в}} > 0.95$	$P_{\text{пкл,т}} > 0.04$
Транспортний засіб (т)	$P_{\text{пкт,л}} = 0.00$	$P_{\text{пкт,в}} < 0.01$	$P_{\text{пкт,т}} > 0.99$

В табл. 1 цивільна людина вважається невеликою небезпекою, військова людина – великою небезпекою, транспортний засіб – найбільша небезпека. Відповідно, виявити і класифікувати транспортний засіб є найбільш пріоритетним завданням.

Характеристиками об'єктів, які можуть бути використані для їх виявлення та віднесення до певного класу. У відповідності з цим поняттям, розглянемо характеристики цілей, відносячи їх до одного з трьох типів класів.

Цивільна неозброєна особа: може впливати на зовнішнє середовище тепловим випромінюванням, сейсмічно, акустично, електрично, хімічно і оптично. Тепло тіла особи випромінюється як інфрачервона енергія на всі напрями від джерела. Кроки особи – імпульсні сигнали, які викликають коливання в землі. Кроки, також створюють імпульсні акустичні сигнали, які проходять через повітря з іншою швидкістю, ніж сейсмічні коливання кроків по землі. Тіло особи можна розглядати, як діелектрик, який викликає зміну в навколишньому середовищі електричного поля. Особа відбиває і розсіює оптичні, електромагнітні, акустичні і ультразвукові сигнали. Також, особа відбиває і поглинає світлові промені і може бути виявлена за допомогою камери.

В якості обмежень, під цивільною особою ми будемо розуміти будь-який об'єкт без зброї, включаючи тварин.

Військова особа має характерні відмінності: наявність зброї та іншого обладнання, яке має в своєму складі сталь або інший метал. В результаті, в неї буде магнітна характеристика відрізнятись від попередньої виявленої особи. Також, через наявність великої кількості металевого приладдя військова особа буде краще розсіювати та відбивати електромагнітні сигнали.

Транспортні засоби, ймовірно, будуть впливати на навколишнє середовище теплом від двигуна, сейсмічними, акустичними, електричними, магнітними, хімічними та оптичними сигналами. Треба відрізняти колісний і гусеничний транспорт, які мають свої акустичні і сейсмічні сигнатури. Транспортні засоби мають значну металеву складову, виділяють хімічні речовини (вуглекислий газ та інші), відбивають, розсіюють і поглинають оптичні, електромагнітні, акустичні і ультразвукові сигнали.

Виявлення та класифікація цілей відбувається в шести основних видах енергії: світлова, механічна, теплова, електрична, магнітна, хімічна. Варто зазначити, що деякі вузли можуть мати декілька типів сенсорних модулів. Також, різні сенсори можуть вимірювати (фіксувати) різні аспекти одної і тої самої енергії. Наприклад, мікрофон, акселерометр і ваги вимірюють механічну енергію, але за акустичним, сейсмічним та потенційним розмірами.

Кожен клас цілей має максимальну і мінімальну площину, в якій він впливає на навколишнє середовище і змінює магнітне поле Землі. „Поле впливу" – представляє собою сукупність площин (областей), які об'єднані кривою напруги еквіпотенціального поля, де співвідношення сигнал/шум перевищує мінімальний виявлений поріг сенсора. Оскільки формат і розмір цієї області може змінюватись, в залежності від калібрування і чутливості сенсора, потужність шуму і інших параметрів цілей, область буде обмежена максимальним і мінімальним значенням. „Поле впливу" різних класів цілей може відрізнятись: у

транспортного засобу буде більше поле магнітного впливу, ніж у військової особи, тоді як у військової особи буде більше поле впливу акустичне в момент стрільби, в порівнянні з шумом простого переміщення транспорту.

Теоретична модель поля впливу має такі параметри, як: розмір цілі, швидкість пересування цілі, розташування, феромагнітний вміст та залежить від типу датчиків, які використовуються. На рисунку 3 представлені приклади магнітного „поля впливу" військової особи та транспортного засобу [4].

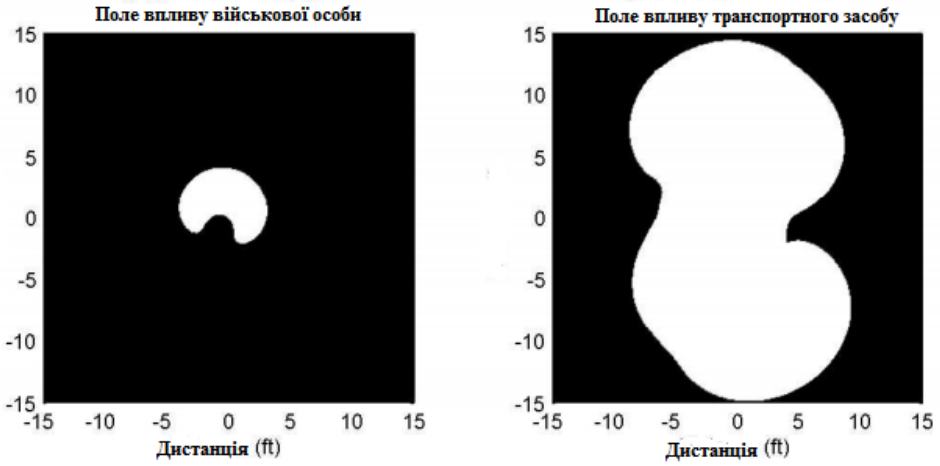

Рис. 3. Приклади магнітного "поля впливу'' військової особи та транспортного засобу

У відповідності з кожним типом класу, розрізняють відповідні кінематичні моделі руху цілей, які фіксуються електричними датчиками. *Модель руху цілі* – двомірні випадкові переміщення з нормальним і/чи рівномірно розподіленими швидкостями, прискореннями і певною поведінкою руху.

Незважаючи на відносно випадкове пересування цілей, ми передбачаємо існування апріорних ймовірностей для кожного типу цілі. Причому існує мінімальна швидкість для забезпечення відстеження – V_{min} і швидкість, яка необхідна для обчислення вибірки швидкості і реальної межі прискорення – V_{max}.

Визначимо моделі руху цілей для кожної з даних типів класу цілей (табл. 2):

$Ц_л$ – цивільна людина ($V_л$ – швидкість ходьби нормально-розподілена, $A_л$ – прискорення незначне, $\theta_л$ – поведінка руху нормальна, передбачувана);

$Ц_в$ – військова особа ($V_в$ – швидкість руху нерівномірна, $A_в$ – прискорення відбувається часто, з максимумом ≈ 3 м/с, $\theta_в$ – поведінка руху різна (біг, ходьба, пересування повзком), непередбачувана);

$Ц_т$ – транспортний засіб ($V_т$ – швидкість руху має широкий діапазон від 1…60 км/г, $A_т$ – прискорення постійне, $\theta_в$ – поведінка руху менш маневрена, ніж у військової особи, передбачувана).

Проаналізувавши варіанти цілей, поставлені завдання, рельєф та інші характеристики місцевості розгортання, а також методи моніторингу можна визначити набір показників, які необхідні для виконання поставленого завдання [6]. В таблиці 3 представлені показники датчиків сенсорних вузлів, які є необхідними і достатніми для виявлення цілей.

3. *Вимоги до супроводження цілей* – ефективне супроводження визначається як можливість визначення позиції цілі впродовж її руху в межах сенсорного поля.

Успішне супроводження цілей вимагає, щоб система оцінювала початкову точку входу цілі в межі моніторингу і поточну позицію із заданою точністю і допустимою затримкою виявлення $T_в$. Вимоги до характеристик спостереження допускають, що точність відстеження чи максимальна різниця між фактичною і визначеним положенням цілі повинні бути обмежені і точно задані адміністратором мережі.

Також допускається, що система повинна прогнозувати наступну позицію цілі в залежності від її минулої чи теперішньої позиції.

Таблиця 2

Моделі руху цілей

Показник	Значення	Опис
V_{max}	60	Максимальна швидкість (км/г)
V_{min}	1	Мінімальна швидкість (км/г)
$V_л$	≈ [1, 5]	Швидкість цивільної особи (км/г)
$A_л$	≈ [–1, +1]	Прискорення цивільної особи (м/с)
$\theta_л$	≈ [0, 1]	Поведінка цивільної особи (рад)
$V_в$	≈ [1, 20]	Швидкість військової особи (км/г)
$A_в$	≈ [–3, +3]	Прискорення військової особи (м/с)
$\theta_в$	≈ [0, 2]	Поведінка військової особи (рад)
$V_т$	≈ [1, 60]	Швидкість транспортного засобу (км/г)
$A_{тс}$	≈ [–5, +5]	Прискорення транспортного засобу (м/с)
$\theta_т$	≈ [0, 0.25]	Поведінка транспортного засобу (рад)

Таблиця 3

Вимоги до параметрів підсистеми моніторингу та класифікації цілей

Позначення	Значення	Параметр
$P_в$	> 0.95	Ймовірність виявлення
$P_{пс}$	< 0.10	Ймовірність помилкового спрацювання
$T_в$	< 15	Затримка виявлення (с)
$P_{пкі,j}$; $i \neq j$	*Табл. 1*	Ймовірність правильної класифікації
$P_{нкі,j}$; $j \neq i$	*Табл. 1*	Ймовірність неправильної класифікації
(x, y)	± (2.5, 2.5)	Помилка оцінки місця положення (м)

На етапі планування постає питання вибору потрібних сенсорних модулів для моніторингу заданої площі. Переваги та недоліки застосування сенсорних модулів зображені в табл. 4.

Пасивні датчики виявляють і вимірюють різні параметри цілі, включаючи її магнітну, теплову або акустичну сигнатуру. *Активні* датчики, такі як ультразвукові і радіолокаційні, можуть вимірювати присутність об'єкта, діапазон, швидкість або напрям руху цілі (змінює, відображає або розсіює сигнал, що передається сенсором). Розглянемо різні типи датчики більш докладно.

Магнітний: переваги (+) – чітко визначені параметри цілей, розпізнавання металічних об’єктів, відсутність вимог до прямої видимості, пасивний режим роботи. Мінуси – визначення найближчого об'єкта, обмежений діапазон чутливості.

Радіолокаційний: (+) відсутність вимоги до прямої видимості, здатність працювати через перешкоди, оцінювати швидкість, менша залежність від зовнішніх перешкод; (–) активний режим роботи, наявність взаємних перешкод.

Тепловий: (+) відмінні чутливість і селективність, пасивний спосіб роботи. Недоліки: необхідність лінзи Френеля, вимога прямої видимості.

Акустичний: (+) Значний діапазон чутливості, високу точність, від-присутність вимоги до прямої видимості, пасивний характер; (–) помірно високі частоти дискретизації, висока часова і просторова складність для обробки сигналів.

Хімічний: (+) відсутність вимоги до прямої видимості, унікальна здатність виявляти газоподібні сполуки, пасивна робота. Недолік: відсутність датчиків для більшості хімічних речовин.

Електричний: (+) відсутність необхідності прямої видимості, безконтактне зондування, що не містять заліза, швидких або повільно рухаються, прохолодних, спокійних, без запаху,

стійких, замаскованих об’єктів. Недоліки: необхідність розміщення електродів, можливо вплив заважають параметрів, активний характер, вплив перешкоди.

Сейсмічний: (+) значний діапазон чутливості, відсутність вимоги до прямої видимості, пасивний характер; (–) ґрунт впливає на поширення сигналу, помірно високі частоти дискретизації, висока часова і просторова складність для аналізу частотної області.

Оптичний: (+) значний довгий діапазон чутливості, висока точність, пасивний режим роботи; (–) вимоги до прямої видимості, високі частоти вибірки пікселів, висока тимчасова і просторова складність обробки сигналів.

Ультразвуковий: (+) обробка з використанням декількох луна-сигналів, що дозволяє спостерігати за невеликими перешкодами; (–) зміни поширення сигналу через температуру і вологость, вимоги до прямої видимості, активний характер, перешкоди.

Таблиця 4

Зведена інформація характеристик сенсорних модулів

Тип сенсора	Незмінна орієнтація	Захисний корпус	Обробка сигналів	Доступність	Дальність моніторингу	Відсутність прямої видимості	Сумісність	Пасивний режим роботи
Магнітний	+	–	+	+	–	+	+	+
Радіолокаційний	–	–	+	+	+	+	–	–
Тепловий	–	+	+	+	+	–	+	+
Акустичний	–	+	+	+	+	+	+	+
Хімічний	+	+	–	–	–	–	+	+
Електричний	–	+	+	–	–	+	–	–
Сейсмічній	–	+	–	+	+	+	+	+
Оптичний	–	+	–	+	+		+	+
Ультразвуковий	–	+	–	+	–	–	–	–

Розглянемо різні режими роботи сенсорних модулів.

Постійна орієнтація – сенсор може працювати незалежно від азимутальної та зенітної орієнтації або бути спрямованим.

Захисний корпус (від вологи, пилу тощо) – датчик не повинен піддаватися впливу навколишнього середовища, а також потребує спеціального механічного обладнання (наприклад, лінз, дзеркал тощо).

Прийнятна обробка сигналів – алгоритми, необхідні для виявлення цілей та оцінки параметрів, є прийнятними з урахуванням обмежень платформи (обчислювальна потужність).

Доступність – датчики добре налаштовані, доступні з різних джерел.

Відсутність прямої видимості – датчик не потребує прямої видимості для виявлення цілі.

Сумісність – два сусідніх сенсорних модулі не заважають один одному.

Пасивний режим роботи – можливість не випромінювати сигнали при виявленні цілей.

Дальність моніторингу – забезпечує мінімальну дальність виявлення об’єктів. Наприклад, магнітний – до 2 метрів для всіх класів цілей: військових осіб, цивільних осіб та транспортних засобів, які переміщуються по території моніторингу; акустичний – до 200 м; радар до 1000 м; мікроампера – до 200 м з діаграмою до 40 градусів [6]. Крім того, потрібно відстежувати декілька цілей одночасно, при умові, що вони знаходяться на відстані мінімум 5 метрів один від одного.

В реальній ситуації при плануванні мережі виникає задача визначення достатнього набору сенсорів, який дозволить нам виявляти всі наші класи цілей і розрізняти їх. Магнітні сенсори займають саме високий рейтинг в таблиці 4 і дозволяють нам виявляти військовослужбовців і транспортні засоби. Єдина різниця між людиною і військовослужбовцем полягає в наявності у нього металевої зброї. Радіолокаційні сенсори займають друге місце в таблиці 4 і можуть визначати всі класи цілей, що представляють інтерес.

Таким чином сукупність магнітного та радіолокаційних датчиків забезпечують достатню інформацію для виявлення цілей і знаходження відмінність між ними.

Узагальнений алгоритм функціонування системи моніторингу полягає в наступному.

Користувач системи користувач визначає область або границю, яка підлягає захисту, та задає декілька параметрів якості обслуговування по виявленню, класифікації та спостереження за цілями. Далі, відповідно вимог, система управління моніторингом ТБСМ:

виявляє поле впливу цілі (цілей);

визначає сенсорні вузли та їх модулі для моніторингу;

перевіряє наявність хибних спрацювань;

фіксує цілі у реальному масштабі часу;

визначення місцезнаходження цілі вузлами, які охоплюють цю зону моніторингу;

будує варіанти (план) супроводження цілі по мірі її переміщення по території моніторингу.

Висновки. В статті досліджено процес моніторингу різних об'єктів тактичною безпровідною сенсорною мережею. Показано, що важливими функціями системи управління БСМ є виявлення, класифікація, супроводження цілей, синхронізація часу вузлів мережі.

Розглянути можливі варіанти використання датчиків сенсорних вузлів. Визначені 3 основних класи цілей: цивільна особа, військовослужбовець, транспортний засіб. Запропоновано здійснювати розмежування об'єктів моніторингу відповідно до класу цілей. Визначено показники оцінки ефективності виявлення та класифікації цілей.

Напрямом подальшого дослідження є розробка моделей спостереження та ідентифікації цілей різними типами сенсорних модулів

ЛІТЕРАТУРА

1. Указ Президента України № 240/2016 Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 травня 2016 року „Про Стратегічний оборонний бюлетень України".

2. Michael Winkler, Klaus-Dieter Tuchs, Kester Hughes, and Graeme Barclay Theoretical and practical aspects of military wireless sensor networks // Journal of telecommunication and information technology, no.2, 2008.

3. Міночкін А.І. Методологія управління тактичними сенсорними мережами / А.І. Міночкін, В.А. Романюк // IV Науково-технічна конференція ВІТІ „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення". – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ". – 2008. – С. 15 – 25.

4. S.R. Boselin Prabhu, M. Pradepp, E.Gajendran Military application of wireless sensor network system // A Multidisciplinary Journal of Scientific Research & Education, 2 (12), December 2016.

5. A. Arora, P. Dutta, S. Bapat, V. Kulathumani, H. Zhang, V. Naik, V. Mittal, H. Cao, M. Demirbas, M. Gouda, Y. Choi T, Herman S. Kulkarni, U. Arumugam, M. Nesterenko, A. Vora, and M. Miyashita // A Line in the Sand: A Wireless Sensor Network for Target Detection, Classification, and TrackingComputer Networks, Volume 46, Issue 5, December 2004, Pages 605 – 634.

6. B. Pannetier, J. Dezert, G. Sella Multiple target tracking with wireless sensor network for ground battlefield surveillance // FUSION 2014, Jul 2014, SALAMANQUE, Spain.