

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ПЕРСПЕКТИВНИМИ НЕОДНОРІДНИМИ БЕЗПРОВІДНИМИ СЕНСОРНИМИ МЕРЕЖАМИ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ

Актуальність. Аналіз проведення антитерористичної операції (АТО) визначив основні особливості сучасного бою, такі як розгортання на широкому фронті, бойовий порядок великої глибини, швидкість течії, висока маневреність, застосування високоточної зброї, глобальна система розвідки, нові способи ведення бойових дій (гібридні) дають напрям дослідження і розвитку безпроводних сенсорних мереж військового призначення.

Визначальною умовою досягнення стратегічної та оперативно-тактичної переваги над супротивником в 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).

На даний час ідуть інтенсивні розробки Мобільної компоненти мереж зв'язку військового призначення елементом якої будуть безпроводні сенсорних мереж тактичної, що забезпечуватимуть прийом і передачу розвідувальної інформації про супротивника та видачу її органам управління військами та зброєю (рис. 1).

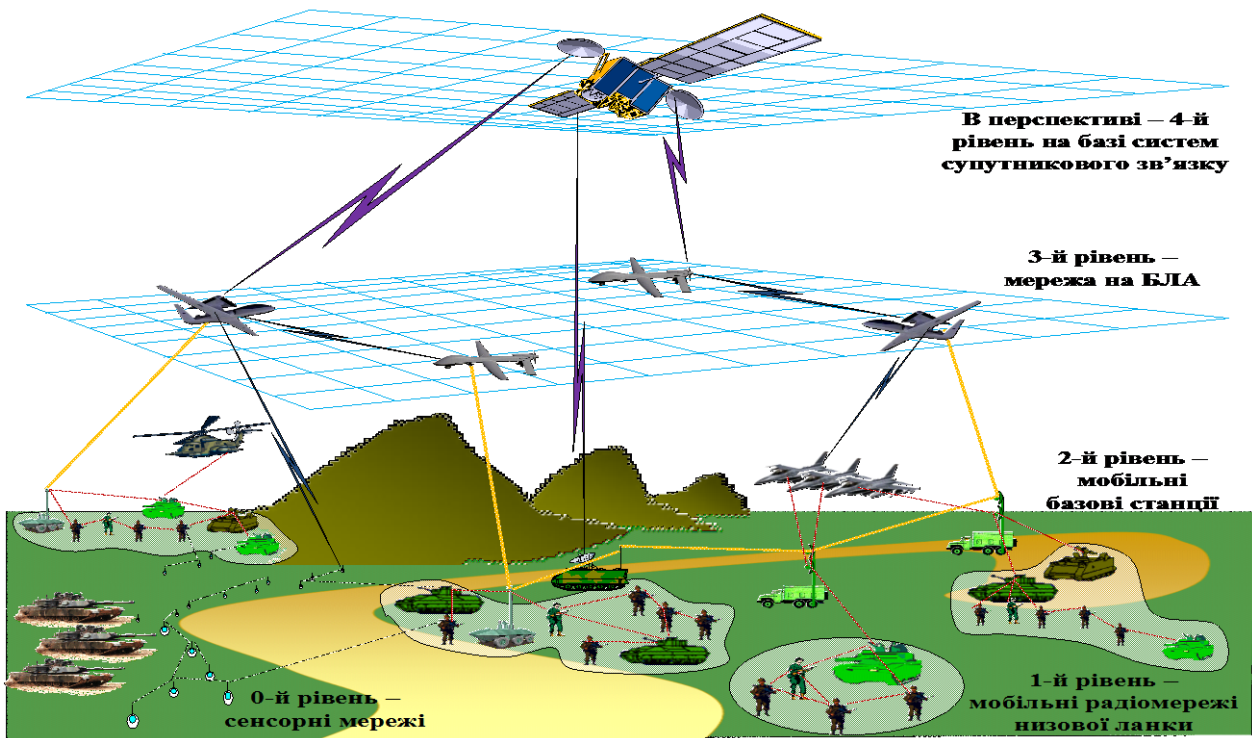


Рис. 1. Перспективна мобільна компонента мереж зв'язку військового призначення

Безпроводні сенсорні мережі (Wireless Sensor Network) – розподілені мережі, що складаються з маленьких вузлів (сенсорів), з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища, обробки і передачі даних [1].

Основними елементами сенсорних вузлів є: датчики для контролю зовнішнього середовища, блок мікрокомп'ютера, батареї, прийомопередавач (додатково система позиціонування, наприклад, система GPS).

Загальна ідея функціонування БСМ полягає у використанні великої кількості неоднорідних безпроводових сенсорів, які можуть бути розташовані на значних географічних територіях для моніторингу за цілями або різнорідних параметрів навколишнього середовища (в деяких випадках побудови радіонапрямку (ів) при знищенні основної опорної мережі зв'язку).

Отримана безпроводовим сенсорним вузлом інформація передається на спеціальні шлюзи безпосередньо, або шляхом ретрансляції через проміжні сенсорні вузли. У випадку, якщо площі території для моніторингу дуже великі, у якості шлюзів можуть використовуватися сенсорні вузли на базі безпілотних літальних апаратів (БЛА) чи аероплатформ (АП) [2].

Загальна класифікація тактичних сенсорних мереж приведена на рис. 2.



Рис. 2. Класифікація безпроводних сенсорних мереж

Стаціонарні, рухомі та гібридні сенсорні мережі. Можливо використовувати стаціонарні сенсорні вузли для моніторингу та рухомі сенсори (роботи) для збору інформації серед сенсорних вузлів (гібридна мережа) або навпаки. Мобільні сенсорні мережі відносяться до класу мобільних радіомережі (MP) або MANET (mobile ad-hoc networks) [2], а стаціонарні до класу чарункових безпроводних мереж (Wireless Mesh Network) [3].

Децентралізовані, ієрархічні і гібридні сенсорні мережі. Ієрархічна організація мережі припускає розбиття мережі на зони (кластери) з виділенням в кожній зоні головних і простих сенсорів-вузлів, а також сенсорів-шлюзів (для зв'язку між зонами). Вона є комбінацією централізованого (у зонах) і децентралізованого (між головними вузлами) способів управління.

Наземні, підземні, морські, повітряні. В даний час сенсорні мережі ефективно використовуються для проведення військових операцій. Деякі з них проходили „бойові” випробування в Афганістані та Іраку, де збройні сили США розмістили декілька тисяч сенсорів з метою відстежування пересувань бойової техніки.

При проведенні антитерористичної операції застосування сенсорних вузлів на блокпостах, лінії розмежування сторін, сірих зонах для проведення розвідки, тимчасове створення радіо напрямів зв'язку передачі інформації бойового управління, тимчасової організації зв'язку (ретрансляції).

Тактична медицина. Медичні сенсорні мережі можуть бути інтегровані з 3G мультимедійними мережами, для забезпечення повсюдної роботи польової медичної служби. Військовослужбовці матимуть медичні сенсори контролюючі певні параметри такі як (температура тіла, кров'яний тиск, пульс, дихальна активність), що дозволить ефективно знаходити та евакуювати поранених з поля бою.

Акустичні, хімічні, сейсмічні тощо. Залежно від середовища моніторингу в сенсорах використовують датчики, які реєструють певні параметри (наприклад, рівень радіації).

Аналіз останніх публікацій. Проведений аналіз можливих варіантів побудови тактичних сенсорних мереж продемонстрував перевагу застосування БСМ класу MANET:

– відсутність етапу планування (можливість самоорганізації), – швидке розгортання,

– робота в русі.

На даний час запропоновані підходи до оптимізації радіомереж класу MANET за одним або декількома показниками [4 – 7]. Зокрема, в [9] запропоновано управляти витратами енергії батарей, в [5] – здійснювати багатокритеріальну оптимізацію маршруту з урахуванням його мобільності, в [6] – оптимізувати топологію мережі за декількома показниками, у [11] – враховувати тип трафіка тощо.

Однак, непередбачуваність умов функціонування радіомереж класу MANET призводить до необхідності трактування того, що функції (цільові функції) управління не є статичними, а визначаються в часі в залежності від етапів і функцій управління, а також параметрів стану об'єкта (об'єктів) управління (вузол, радіоканал, маршрут, зона, мережа) та наявних ресурсів [4]. В [12] запропонована нова парадигма, яка передбачає використання множини методів управління на кожному з рівнів мережевої інфраструктури, об'єднаних у базу методів, а вибір необхідного методу здійснюється системою управління (СУ) в залежності від стану вузла та умов, які склалися в БСМ.

Відповідно децентралізованого або гібридного (централізовано в зоні, децентралізовано між зонами), СУ повинна бути реалізована на кожному вузлі БСМ (сенсор, мобільний робот, БПЛА, мобільна або стаціонарна базова станція), що потребує створення відповідного математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення.

Існуючі технології управління безпроводовими сенсорними мережами розраховані на статичні або квазістатичні умови їх функціонування та не враховують особливостей тактичних сенсорних мереж.

Як зазначається в [1], основними відмінностями між цивільними та військовими системами управління сенсорними мережами є: різні цілі, етапи, функції, рівні управління та вимоги до оперативного управління.

Так відповідно до концепції [5], за етапами задачі діляться на задачі планування розгортання і оперативного управління. Предметом розгляду даної доповіді є задачі, які вирішуються в процесі оперативного управління (рис. 2).

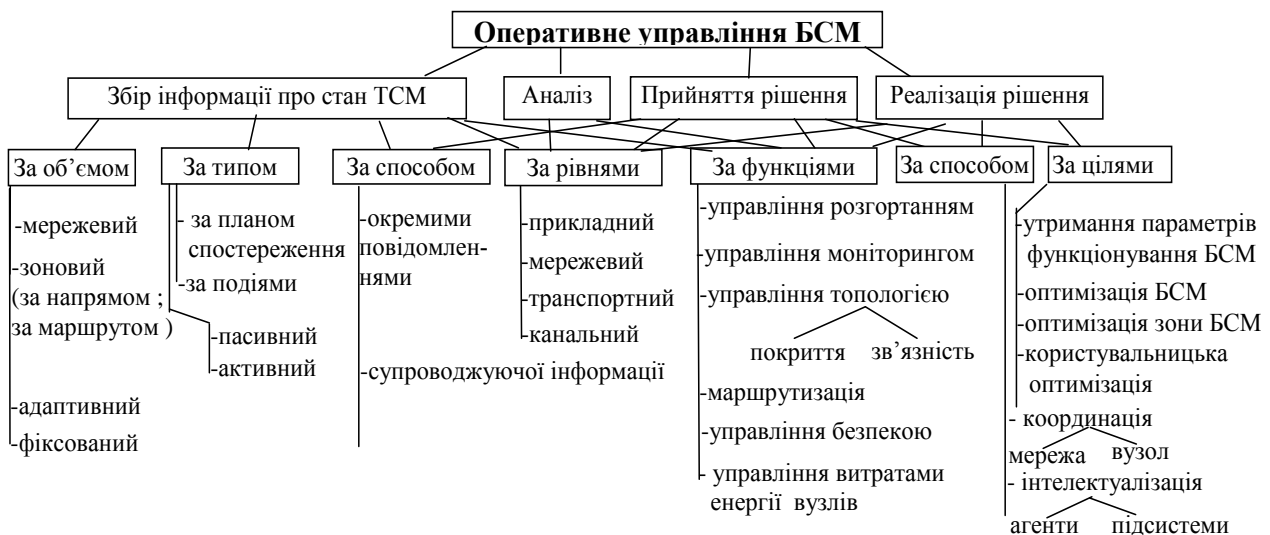


Рис. 3. Класифікація задач оперативного управління БСМ

На етапі оперативного управління за прийнятими критеріями ефективності постійно оцінюється стан сенсорної мережі, і приймаються міри (відповідно до плану та реальної обстановки) по втриманню її показників ефективності функціонування в заданих межах або здійснюється їх системна (користувальницька) оптимізація. Задачі оперативного управління (на відмінність задач планування) вирішуються змішаним способом (централізовано/децентралізовано) у режимі реального часу, а за змістом багаторазово їх повторюють.

Оперативне управління сенсорною мережею представляється як управління моніторингом та телекомунікаційною складовою зі зворотнім зв'язком $U^*(t) = \{U_{\text{мон}} / U_{\text{тел}}\}$.

Управління моніторингом включає наступні етапи $U_{\text{мон}}(t) = \{U^p, U^n, U^m\}$:

- $U^{\text{розм}}$ – управління розміщенням (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^n – управління покриттям (визначення типу покриття (покриття цілі (точки), покриття площі (зони, сектора), бар'єрне покриття), вибір моделі покриття в залежності від ступеня та коефіцієнта покриття);
- U^c – управління спостереженням (розрахунок сесій спостереження сенсорів та мережевої зв'язності);

Управління телекомунікаційною складовою включає наступні етапи $U_{\text{тел}}(t) = \{U^z, U^a, U^b, U^p\}$:

- U^z – збір інформації про стан мережі (рішення про об'єм, частоту, глибину способу збору інформації необхідно приймати на наступних етапах);
- U^a – аналіз даної інформації: ідентифікація ситуації в мережі (зоні і самому вузлі), перевірка виконання мережею своїх функцій та визначення необхідності управляючого впливу;
- U^b – виявлення цілі управління з подальшою деталізацією їх на підцілі і виробка рішення (вибір протоколу доступу, вибір метода спостереження та передачі, способу розсилки службової інформації і т.п.);
- U^p – реалізація рішення (встановлення потужності передачі, способу моніторингу, резервування ресурсу, розсилка службових повідомлень).

Кількість і конкретні задачі оперативного управління визначаються характеристиками і умовами функціонування мережі, а також прийнятими технологічними рішеннями на етапі її проектування.

З урахуванням наведених вище підходів що до забезпечення функціонування перспективних БСМ а також класифікації задач оперативного управління БСМ, у [8] представлено нову архітектуру побудови БСМ класу MANET, яка передбачає координацію та інтеграцію рівнів еталонної моделі взаємодії відкритих систем (OSI) за цілями і функціями управління та інтелектуалізацію процесів прийняття рішень (рис. 4).

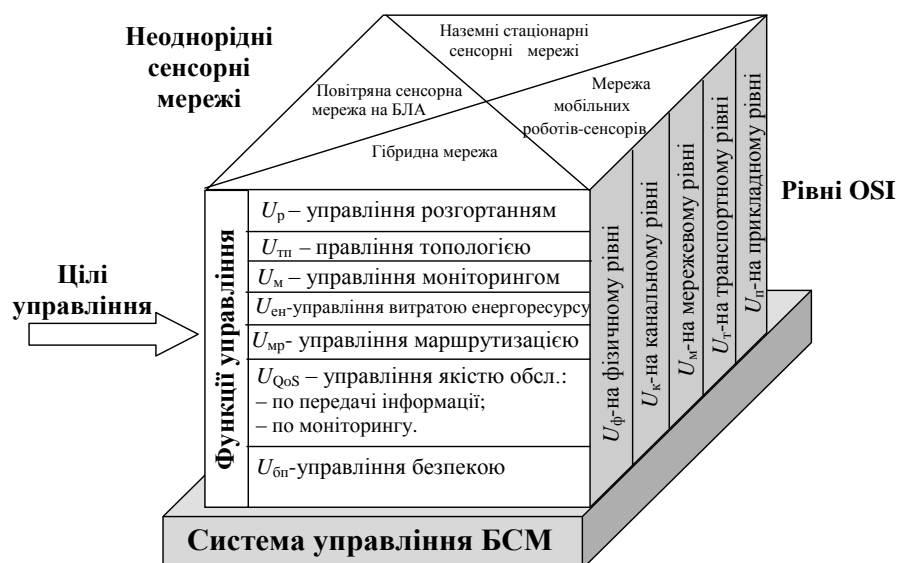


Рис. 4. Рівні та функції системи оперативного управління БСМ

З рисунку видно, що СУ повинна проектуватись з урахуванням індивідуальних параметрів вузлів БСМ за рівнями моделі OSI та функціями моделі СУ вузлом БСМ (рис. 5) [3], яка побудована за принципом функціональності управління.

Даний принцип передбачає об'єднання функцій вузлової СУ у відносно незалежні групи, що дозволяє здійснити декомпозицію управління БСМ на підсистеми що значно спрощує задачу розробки математичного забезпечення управління.

Особливості функціонування БСМ та специфіка завдань, які покладаються на них, вимагають вирішення низки різних задач управління, основними з яких є: управління топологією, моніторингом, покриттям, маршрутизацією, потоками даних, безпекою та виконання підвищених вимог щодо забезпечення доставки великих обсягів інформації з заданою якістю.

Крім того, функціонування БСМ в умовах часткої зміни обстановки (оперативної, тактичної, з моніторингу, тощо) тому забезпечення стійкого, безперервного і прихованого управління мережею в цих умовах потребує наявності у складі кожного вузла ефективної СУ, здатної приймати рішення в умовах невизначеності. Основними причинами невизначеності є:



Рис. 5. Функціональна модель системи оперативного управління

Даний принцип передбачає об'єднання функцій вузлової СУ у відносно незалежні групи, що дозволяє здійснити декомпозицію управління БСМ на підсистеми що значно спрощує задачу розробки математичного забезпечення управління.

Особливості функціонування БСМ та специфіка завдань, які покладаються на них, вимагають вирішення низки різних задач управління, основними з яких є: управління топологією, моніторингом, покриттям, маршрутизацією, потоками даних, безпекою та виконання підвищених вимог щодо забезпечення доставки великих обсягів інформації з заданою якістю.

Крім того, функціонування БСМ в умовах часткої зміни обстановки (оперативної, тактичної, з моніторингу, тощо) тому забезпечення стійкого, безперервного і прихованого управління мережею в цих умовах потребує наявності у складі кожного вузла ефективної

СУ, здатної приймати рішення в умовах невизначеності. Основними причинами невизначеності є:

- складність формалізованого опису БСМ та задач управління ними з врахуванням похибок та задач управління ними з врахуванням при обчисленнях та вимірюваннях;
- значна кількість задач управління за рівнями БСМ, а також за функціями підсистем СУ на різних рівнях моделі OSI;
- не стаціонарність параметрів та системи управління ними (мобільність, зміна і непередбачуваність діапазону моніторингу і топології мережі);
- апріорна невизначеність обстановки та умов функціонування БСМ;
- наявність випадкових та навмисних впливів зовнішнього середовища (засоби знищення та радіоелектронного подавлення);
- викривлення інформації моніторингу під час передачі в каналах радіозв'язку та ін.

Для вирішення вищезазначених задач управління пропонуються принципово нові підходи відносно функціонування даних мереж.

1. *Управління топології мережі або її зоною* [9] за рахунок введення додаткового підрівня мережевого рівня OSI.

Топологія мережі визначає потенційну можливість мережі з передачі потоків даних. За рахунок управління потужністю передачі та / або діаграми спрямованості антени (за її наявності) можна отримати різні топології з різною потенціальною пропускною здатністю і довжинами маршрутів передачі. Даний підрівень повинен відпрацьовувати перед підрівнем маршрутизації.

Пропонується ввести додатковий підрівень мережевого рівня моделі OSI для управління топологією мережі за рахунок зміни потужності передачі та (або) діаграми спрямованості антени. Збільшення (зменшення) потужності передачі збільшує (зменшує) кількість „сусідніх” вузлів та зменшує (додає) кількість ретрансляцій за маршрутами передачі, однак розширює (зменшує) зону взаємних завад (проблема „прихованого термінала”), тим самим зменшує (підвищує) пропускну здатність радіоканалів зони та потребує більших (менших) витрат енергії батареї вузлів. Існує певний оптимум параметрів мережі при управлінні її топологією. Енергозберігаюча методика побудови топології наведена в [9].

Пропонується введення в систему управління кожного вузла бази правил продукційного типу по управлінню топологією мережі. Умови спрацювання правил: певне взаємне розташування вузлів, рівень навантаження, кількість сусідів тощо. Рішення – збільшення (зменшення) потужності передачі або спрямованості антени.

2. *Розбиття маршруту передачі на сегменті при реалізації транспортного рівня OSI* [10].

Даний підхід дозволяє зменшити кількість перерваних сесій транспортного рівня за рахунок зменшення кількості перебудов маршрутів передачі внаслідок змін топології мережі.

Для цього необхідно прогнозувати час існування каналів в маршруті передачі та своєчасного проводити перебудову пошкодженої ділянки маршруту.

3. *Паралельна багаторазова ретрансляція пакетів з метою підвищення надійності передачі* [11].

На мережевому рівні паралельна передача пакетів може бути здійснена за рахунок багатопляхової маршрутизації, яка передбачає побудову декількох незалежних маршрутів передачі та балансування навантаження між ними.

Однак це приводить до значного службового трафіка. Тому ефективним є паралельна передача на фізичному рівні (*cooperative diversity*) – це майже одночасна передача однієї інформації декілька вузлами, яка когерентно складається в приймальню. Ще один спосіб реалізації – використання антенної решітки, де вузли виступають в якості елементів. Використання паралельної передачі на фізичному рівні значно покращує SNR в приймальню.

4. *Координація рівнів OSI* [12].

Існуючі підходи до проектування телекомунікаційних мереж зв'язку припускають

незалежність функцій управління за рівнями OSI (рис. 6). Так стікання протоколів кожного рівня працює незалежно (рис. 6а).

Однак даний підхід не враховує особливості MANET і не дозволяє забезпечити оптимізацію показників ефективності на кожному рівні OSI (або в цілому) при різних умовах функціонування мережі та вимогах конкретного типу трафіка (наприклад, відео або мови) [10].

При цьому необхідно відмитими, що досягання глобальної оптимізації при оперативному управлінні для всієї мережі неможливо внаслідок неможливості побудови відповідної моделі її функціонування, а також (що саме важливе) неможливістю зібрати в реальному часі інформацію про її стан.

Тому доцільно говорити про користувальницьку оптимізацію (задоволення користувальницьких вимог) між парами відправник-адресат при мінімізації витрат мережевих ресурсів (наприклад, мінімізація службового трафіка). Тому пропонується введення надбудови над рівнями OSI, яка буде координувати управління рівнями та здійснювати цю оптимізацію (рис. 6 б).

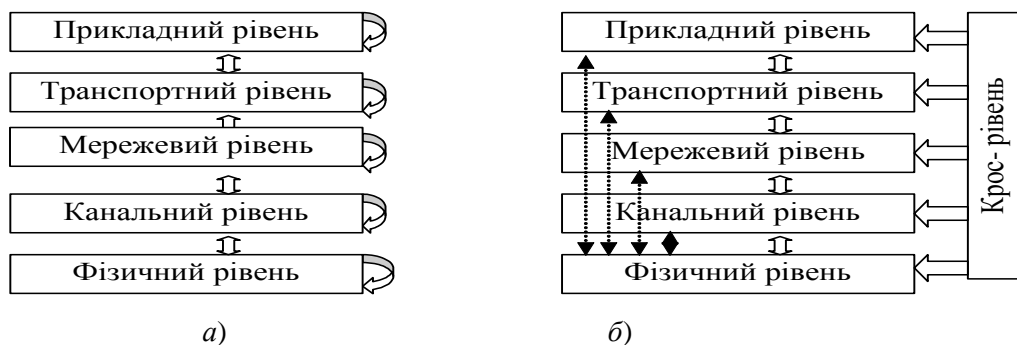


Рис. 6. Архітектура OSI (а) та координаційна (cross-level) архітектура (б)

5. Інтелектуалізація управління мережею (інтелектуалізація та інтеграція рівнів OSI).

Збільшення розмірності мережі призводить до значного зростання службового трафіку (обсяг службового трафіку зростає як мінімум квадратично від розмірності мережі). Тому можливим рішенням зменшення службового трафіку є створення розумної (інтелектуальної) мережі. У БСМ побудованих за принципом MANET кожен вузол децентралізовано реалізує функції управління.

Для прийняття рішень з передачі вхідної інформації кожен вузол повинен зібрати інформацію про мережу (або її зону) і прийняти рішення по передачі всіма рівнями OSI і функцій управління: побудувати (обрати) маршрут або маршрути з безлічі наявних, визначити або вибрати алгоритм доступу до каналу, вибрати оптимальними параметри передачі на фізичному рівні: швидкість передачі, вид модуляції, довжину пакета). При цьому йому необхідно враховувати тип трафіку, завантаження, мобільність свою, зони і всієї мережі.

В умовах децентралізованого управління кожен вузол буде реалізовувати дві групи цілей: користувальницьку оптимізацію і мережеву (зонову).

Користувальницька оптимізація полягає в побудові (підтримці) маршруту передачі заданої якості між відправником і адресатом відповідно до типу трафіку при прагненні мінімізувати службовий трафік (витрату ресурсів) мережі, тобто досягти мережевої оптимізації. Для цієї мети пропонується кожному вузлу координувати і погоджувати свої цілі управління з вузлами, які він задіє при прийнятті даного рішення. Для цього пропонується використовувати технологію інтелектуальних агентів.

6. Узгодження цілей управління(цільових функцій) з розподілу ресурсу мережі або її зони [12].

Відмінність запропонованого підходу від існуючих – координація та інтеграція між рівнями OSI не тільки за різними параметрами, а за цілями управління, які визначають певний метод управління на кожному рівні моделі OSI.

Завдання ухвалення рішення по управлінню мережею (вибір конкретних методів управління за кожним рівнем OSI) зведена до завдання ієрархічного цільового динамічного оцінювання альтернатив при нечітких вихідних даних.

Отже, як видно з вищезазначеного, ефективність функціонування тактичної БСМ залежить як від рішень які приймаються окремими вузловими СУ, так і від узгодженості цих рішень між собою

За таких умов створення СУ тактичними БСМ потребує обґрунтування множини задач, які повинні вирішуватись кожною функціональною підсистемою вузлової СУ (рис. 8), обґрунтування цілей функціонування вузлових СУ та вибір методів (методик та моделей) їх досягнення з урахуванням обмежень Ω на вузлові та мережеві ресурси.

Проведений аналіз показує [5], що на сьогодні існує протиріччя між можливостями існуючих методів і моделей управління сенсорними мережами (як проводовими, так і безпроводовими) і вимогами до перспективних неоднорідних тактичних сенсорних мереж та процесу управління ними (рис. 8).

Зокрема, існуючі методи та методики оперативного управління не пристосовані до прийняття рішення в умовах невизначеності, не забезпечують здатність БСМ до самоорганізації та адаптацію вузлів до різних умов функціонування і, відповідно, не можуть бути використані для побудови вузлових СУ в БСМ.

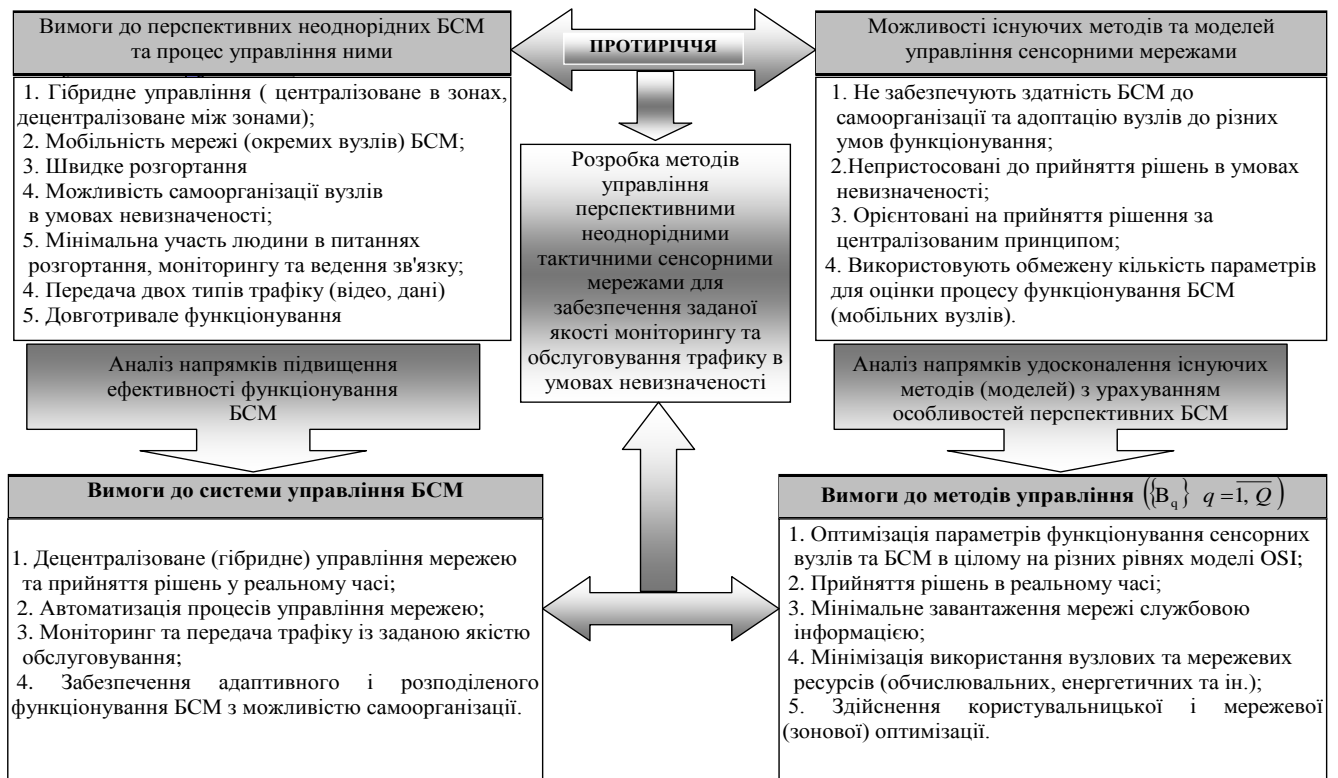


Рис. 8. Загальна схема вирішення проблеми управління неоднорідними БСМ

Існуючі спроби створення СУ мережею (вузлами) БСМ з динамічною (гібридною) топологією та неоднорідною структурою, носять фрагментарний характер. Задачі розробки методів управління ресурсами БСМ вирішуються відокремлено для кожної підсистеми мережевої (вузлової) СУ та на різних рівнях еталонної моделі OSI, а відсутність понятійного апарату управління тільки ускладнює цей процес.

Тому актуальною є проблема спрямована на усунення зазначеного вище протиріччя шляхом розробки нових методів управління неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами зі змінною топологією для забезпечення заданої якості моніторингу та обслуговування трафіку в умовах структурної та параметричної невизначеності.

Для їх розробки пропонується схема системного аналізу і синтезу (рис. 9), яка передбачає поділ загального процесу синтезу на послідовність етапів.

Як видно з рисунку, через високу взаємозалежність між етапами, неповноту вихідних даних та необхідність корегування отриманих результатів завдання синтезу методів управління вирішується ітераційно.

Синтезовані методи і управління повинні відповідати наступним вимогам:

- прийняття рішень в реальному масштабі часу та умовах невизначеності;
- довготривале функціонування;
- мінімальне завантаження мережі службовою інформацією;
- оптимізація параметрів функціонування мобільних вузлів та БСМ в цілому на різних рівнях моделі OSI;
- мінімізація використання вузлових та мережевих ресурсів;
- здійснення користувальницької і мережевої (зонової) оптимізації.

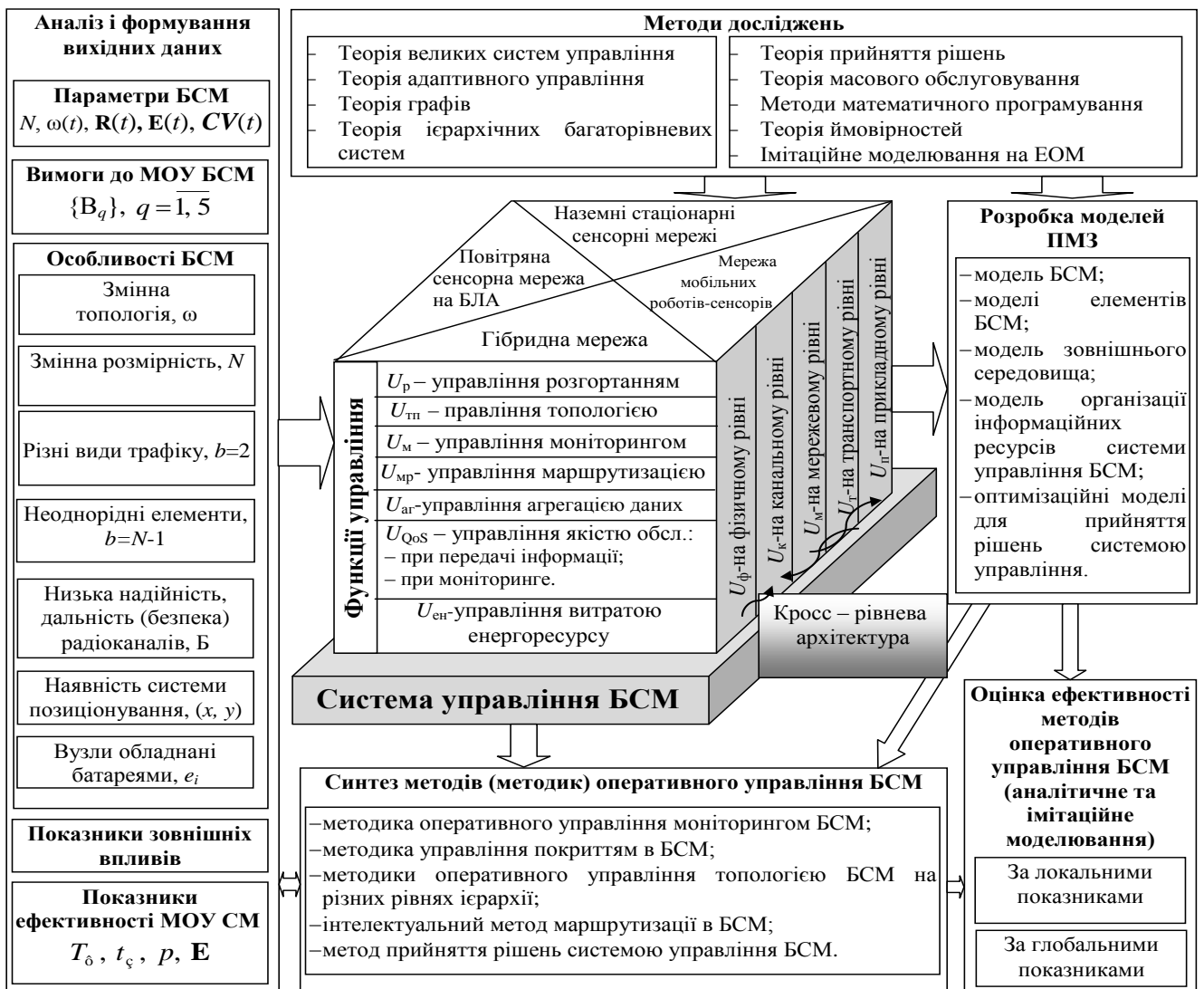


Рис. 7. Схема системного аналізу та синтезу методів управління БСМ

ВИСНОВОК. Запропоновано нові методологічні основи управління перспективними неоднорідними безпроводними сенсорними мережами тактичної ланки управління військами.

Проведено класифікацію сенсорних мереж, визначено цілі управління (цільові) функції неоднорідними безпроводними сенсорними мережами, запропоновано нові підходи щодо функціонування даних мереж.

Розроблена схема системного аналізу і синтезу, яка надає нові напрями розробки методів управління неоднорідними сенсорними мережами зі змінною топологією в умовах параметричної та структурної невизначеності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Міночкін А.І. Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж / Міночкін А.І., Романюк В.А. //Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ” – 2007. – № 4. – С. 63 – 71.
2. Sitharama I.S. Distributed Sensor Networks, Second Edition: Image and Sensor Signal Processing / Sitharama Iyengar S., Richard R. – USA: CRC Press, 2012. – 764 p.
3. Жук О.В. Система управління тактичними сенсорними мережами / Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2008. – № 2. – С. 88 – 96.
4. Сова О.Я. Методологія синтезу інтелектуальних систем управління вузлами перспективних мобільних радіомереж з динамічною топологією/ Сова О.Я., Романюк В.А. Жук П.В., Уманець Я.Л.//Збірник наукових праць ХУПС – 2012. – № 3. С. 51 – 60.
5. Романюк В.А. Интеллектуальные самоорганизующиеся радиосети: сборник тезисов докладов и выступлений участников XXI Международной крымской конференции /, Романюк В.А., Сова О.Я. Жук П.В. // Севастополь. – 2011.– С. 491 – 492.
6. Миночкин А.И., Романюк В.А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями // Зв’язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
7. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH // СПб: Петербург. – 2012. – 736 С.
8. Сова О.Я. Архитектура управления сетями MANET: тези доповідей та виступів учасників V науково-технічної конференції [„ Проблеми телекомунікацій – 2011”], (Київ – 2011р.) / Сова О.Я. Жук О.В., Романюк В.А. – К.: ІТС НТУУ „КПІ”, 2011. – С.77.
9. Жук О.В. Энергозберігаюча методика побудови топології безпроводної сенсорної мережі / Жук О.В. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ” – 2008. – № 2.. – С. 63 – 71.
10. Ramanathan R. A Radically New Architecture for Next Generation Mobile Ad Hoc Networks // In IEEE Proceeding MOBICOM, 2005.
11. Романюк В.А. Многопутевая маршрутизация в мобильных радиосетях / Миночкин А.И., Романюк В.А. // Зв’язок. – 2004. – № 6.
12. Романюк В.А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами / Романюк В.А. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2012. – № 1. – С. 109 – 117.