

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТАКТИЧНИМИ СЕНСОРНИМИ МЕРЕЖАМИ

Проведений аналіз задач управління тактичними сенсорними мережами. Запропонована функціональна модель системи управління сенсорною мережею, обґрунтовані принципи її побудови, структура та функції. Надані пропозиції щодо синтезу методів управління сенсорними мережами за відповідними функціональними підсистемами.

Перспективна мобільна компонента тактичних мереж зв'язку буде включати безпроводні сенсорні мережі, що складаються з маленьких сенсорних вузлів з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища, обробки і передачі даних [1]. Основними елементами сенсорних вузлів є (рис. 1): датчики контролю зовнішнього середовища, мікрокомп'ютер, батареї, прийомопередавач (можливо наявність системи позиціонування).



Рис. 1. Склад сенсорного вузла

Загальна класифікація тактичних сенсорних мереж приведена на рис. 2.



Рис. 2. Класифікація сенсорних мереж

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

Децентралізовані, ієрархічні та 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. Прикладом може служити розгорнена на дні океану ще в 60-і роки військовим агентством DARPA підводна сенсорна мережа стеження за радянськими підводними човнами.

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

Сенсорні вузли тактичних мереж повинні швидко адаптуватися до частих змін топології мережі, трафіка та ефективно використовувати обмежені мережеві ресурси. В таких умо-

вах забезпечити інформаційний обмін із заданою якістю неможливо без ефективної системи управління (СУ) TSM [4].

До системи управління TSM пред'являються наступні вимоги:

– забезпечення адаптивного та розподіленого функціонування мережі з можливістю її самоорганізації;

– оптимізація характеристик мережі;

– забезпечення прийняття рішень у реальному (близького до реального) масштабу часу;

– максимальна автоматизація процесів управління.

– безпека передачі та мінімальне завантаження мережі службовою інформацією;

До особливостей системи управління TSM можна віднести:

– багатомірність, яка обумовлена значною кількістю підсистем, елементів та зв'язків між ними;

– багатопараметричність, яка визначається різноманіттям цілей окремих підсистем та їх характеристик, вимог та показників ефективності;

– багатofункціональність і ієрархічність, яка визначається необхідністю рішення різних задач на різних умовах функціонування системи;

– значну залежність характеру функціонування від параметрів TSM і зовнішніх впливів.

Відмінностями між системами управління сенсорними мережами цивільного та військового призначення є: різні цілі, етапи, функції, рівні управління та вимоги до оперативності управління. Розглянемо класифікацію задач управління TSM (рис. 3).



Рис. 3. Класифікація задач управління TSM

За етапами задачі управління TSM діляться на задачі планування, розгортання (організаційні способи) і оперативного управління (організаційно-технологічний спосіб) [5].

Етап планування здійснюється відповідним командиром. Сутністю планування (виходячи із прогнозованої обстановки та наявних ресурсів) є: визначення районів покриття; способів встановлення (випадковий або детермінований) та доставки (постановці) сенсорів; визначення вузлів-шлюзів, способів збору та доставки інформації моніторингу тощо.

Етап розгортання полягає розгортанні в заданому районі (наприклад, за допомогою літака, якій розкидає сенсори з повітря над певною площею) або переміщення сенсорних вузлів. При цьому задачі етапу розгортання TSM можуть виконуватися й на етапі оперативного управління при значних її змінах (ушкодженні, введенні нових сенсорних вузлів й ін.).

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.

Цикл управління TSM включає (рис. 4):



Рис. 4. Класифікація задач оперативного управління TSM

- збір інформації про стан мережі (при цьому необхідно приймати рішення за об'ємом, типом, способом, рівнями, функціями збору службової інформації);
- аналіз даної інформації – визначаються: рівень виконання мережею своїх функцій, необхідність управляючого впливу, цілі управління з подальшою деталізацією їх на підцілі;
- прийняття рішення (обчислення маршруту, вибір протоколу доступу, вибір методу передачі, способу розсилання службової інформації тощо);
- реалізація рішення (розсилання службової інформації, резервування ресурсу, установлення потужності передачі, спрямованості антен тощо).

Виходячи з основних відмінностей та особливостей системи управління TSM та основних вимог до неї, визначені основні принципи її функціонування: принцип адаптивного управління; принцип функціональності управління; принцип ієрархічності управління; принцип розподіленості та координації взаємодії; принцип оптимальності управління.

1. *Принцип адаптивного управління.* Внаслідок значної початкової невизначеності TSM (обумовлена інерційністю контролю стану мережі та її ідентифікації), а також невизначеністю стану зовнішнього середовища оперативне управління повинне бути адаптивним.

2. *Принцип функціональності управління.* Об'єднання функцій системи управління у відносно незалежні групи дозволяє здійснити декомпозицію управління мережею на підсистеми (що значно спрощує задачу розробки математичного забезпечення управління): контроль елементів мережі та якості обслуговування потоків даних; збір службової інформації про стан мережі; управління побудовою та підтримкою маршрутів; управління топологією мережі; управління безпекою; управління радіресурсом; управління навантаженням; планування, корегування та навчання. Функціональна модель системи оперативного управління мережі, яка реалізується на кожному вузлі надана на рис. 5.

3. *Принцип ієрархічності управління.* Функціональну структуру системи управління можна представити ієрархічною структурою з вертикальними зв'язками, які визначають підпорядкованість задач, що виконуються: на нижньому рівні вирішуються задачі управління сенсорним вузлом мережі; на верхньому – задачі управління всією TSM.

4. *Принцип координації та взаємодії.* Внаслідок децентралізованого управління рішення задач управління передбачає взаємодію між вузлами за цілями, функціями управління, розподілом ресурсів тощо.

5. *Принцип оптимальності управління.* Оптимальне управління являє собою компроміс між оперативністю та обґрунтованістю управляючих впливів, що являється однією з найбільш складних задач, які належить розв'язати при побудові системи управління TSM.

6. *Принцип автоматизації та інтелектуалізації процесів управління.* Його реалізація призвана мінімізувати участь людини в процесі управління тактичними мережами.

За способом реалізації частина задач оперативного управління вирішується ізольовано (окремим вузлом, наприклад, сенсором-шлюзом), а більша частина – кооперовано, сукупністю вузлів (наприклад, маршрутизація інформаційних повідомлень й ін.).

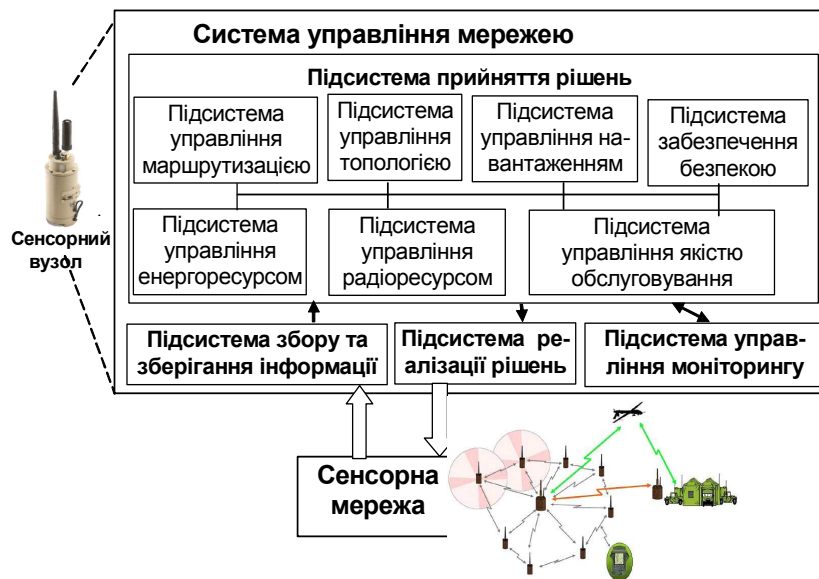


Рис. 5. Функціональна модель системи оперативного управління

За охопленням задачі управління діляться на управління функціонуванням всієї сенсорної мережі, її зони або процесом передачі інформації за напрямом між сенсорними вузлами.

За видом постановки та математичному апарату задачі діляться на задачі розміщення, розподілу ресурсів, складання розкладу, маршрутні задачі та ін.

За функціями задачі управління TSM діляться на дві групи:

1. Спеціальні задачі управління (наприклад, визначення маршрутів переміщення сенсорів-роботів й координація їхнього переміщення).

2. Універсальні задачі управління [9]: управління топологією, управління маршрутизацією, управління навантаженням, управління радіоресурсом, управління енергоресурсом тощо. Однак, конкретна реалізація методів управління TSM повинна враховувати її призначення та особливості архітектури (розмірність, мобільність, продуктивність й ін.).

Розглянемо основні функціональні підсистеми моделі оперативного управління TSM (рис. 5) та напрямки їх синтезу: управління маршрутизацією, управління радіоресурсом, управління енергоресурсом, управління передачею інформації із заданою якістю обслуговування, управління безпекою, прийняття рішень по управлінню та інші.

Підсистема маршрутизації повідомлень в TSM [6]

Ця підсистема забезпечує побудову та підтримку маршрутів передачі заданої якості при виконанні вимог до їх функціонування (децентралізованості, мінімізації службового трафіку тощо) [6]. Особливості TSM потребували провести класифікацію методів та функцій маршрутизації, які запропоновані для безпроводних сенсорних мереж, а також розробки нових ефективних методів маршрутизації (рис. 6, 7).



Рис. 6. Класифікація методів маршрутизації в TSM

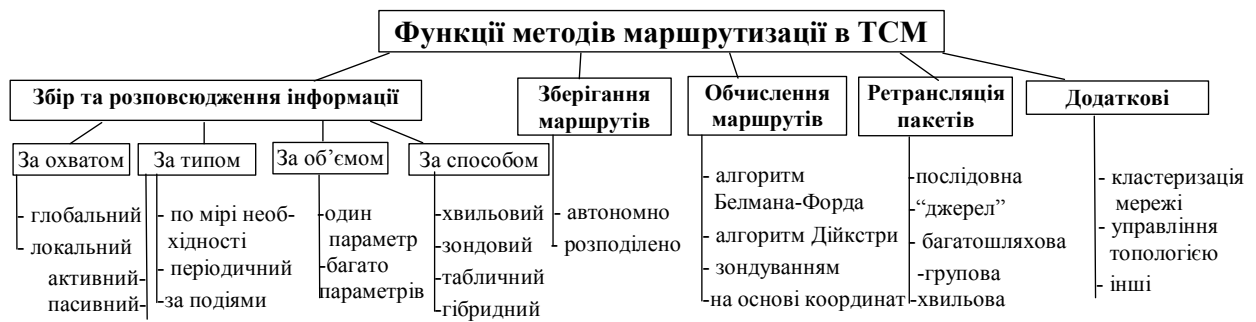


Рис. 7. Класифікація функцій методів маршрутизації в TCM

Синтез певного методу маршрутизації буде визначатися параметрами мережі (розмірністю, площею покриття) та сенсорів (кількість параметрів моніторингу, ємність батареї, потужність передавача, об'єм інформації моніторингу тощо).

Підсистема управління радіоресурсом TCM

Мета цієї підсистеми – розподіл часового, просторового, частотного, кодового ресурсів для забезпечення інформаційного обміну між сусідніми вузлами.

На рис. 8 наведена класифікація методів доступу в безпроводних мережах типу MANET. В якості напрямків рішення проблеми розподілу радіоресурсу в TCM можна віднести наступні [7]: вдосконалення протоколу доступу IEEE 802.11; розробка нових методів детермінованого доступу; вдосконалення протоколу IEEE 802.16 (WiMax) для вузлів-шлюзів; застосування надширококутних сигналів (UWB) тощо.



Рис. 8. Класифікація методів доступу до радіоресурсу

Підсистема управління топологією TCM [8]

Топологія визначає потенційні можливості мережі по доставці інформації (пропонується, що кожен вузол може змінювати потужність передачі з певним шагом дискретизації або змінювати спрямованість антен). Залежно від основного критерію ефективності, розрізняють наступні варіанти постановки задач синтезу топології TCM (рис. 9):

- за критерієм мінімуму використання сенсорів – знайти зв'язну топологію з мінімальною кількістю сенсорних вузлів при заданих обмеженнях (в якості обмежень можуть виступати кожний із критеріїв ефективності);
- за критерієм необхідної зв'язності (структурної надійності) – знайти зв'язну (ν -зв'язну) топологію мережі при заданих обмеженнях;
- за критерієм часу – знайти топологію, що забезпечує мінімізацію максимальної затримки передачі повідомлень у мережі (напрямку) при заданих обмеженнях;
- за критерієм мінімуму трат енергії батарей, яка витрачається при передачі повідомлень при даній топології.

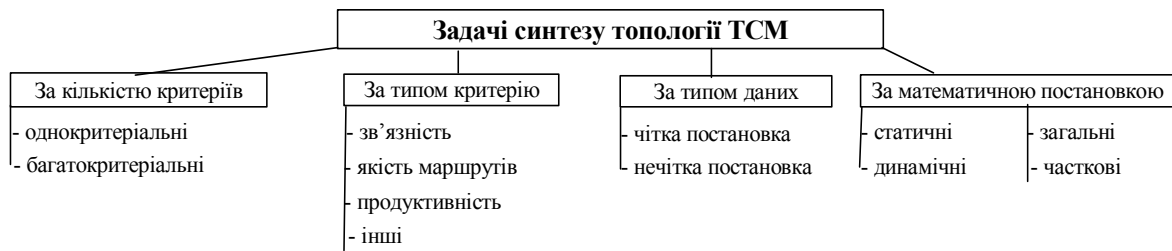


Рис. 9. Класифікація задач синтезу топології TSM

Важливою особливістю задач управління є динамічний характер TSM. Доцільно розглядати побудову мережі як багатоетапний процес її розвитку з деякої початкової топології в кінцеву. Звідси впливає постановка задачі динамічного програмування: задане загальна кількість районів спостереження на операцію. Потрібно розподілити їх за етапами (число в загальному випадку може бути невідомо) таким чином, щоб забезпечити оптимум прийнятого критерію ефективності. Показниками оцінки ефективності результату процесу управління TSM можуть виступати ступінь досягнення й час виконання i -й задачі (мети) управління.

Необхідно відзначити, що синтез топології мереж великої розмірності наштовхується на ряд труднощів, пов'язаних з великою розмірністю TSM та багатоекстремальністю цієї задачі. Перераховані труднощі викликають необхідність використання декомпозиційного підходу: загальна задача синтезу топології розбивається на ряд підзадач за певними пріоритетами критеріїв ефективності. Зазначені часткові задачі синтезу не є незалежними. Рішення перерахованих часткових задач, у сукупності складає загальну задачу синтезу, та здійснюється, як правило, з використанням наближених евристичних методів.

Підсистема управління енергоспоживанням [9]

Електроживлення сенсорних вузлів здійснюється від батарей (їх ємність визначає параметри процесора, пам'яті, пристрою моніторингу і потужність прийомопередавача), тому в системі управління TSM виділена підсистема управління енергоресурсом (рис. 5). Метою функціонування даної підсистеми є мінімізація споживання енергії вузлами мережі або максимізація "часу життя" мережі – часу роботи мережі до моменту відмови виконувати свої функції вузла (чи їх множини) через нульову ємність його (їх) батареї.

Проведений аналіз різних методів управління енергоспоживанням (рис. 10) показує, що управління енергоспоживанням повинне здійснюватися за функціями управління на різних рівнях еталонної моделі взаємодії відкритих систем (EM BBC) [9]. Проведені дослідження показують, що застосування розглянутих методів дозволяє в середньому збільшити "час життя" мережі в 1.5...2 рази та зменшити середню потужність передачі на одну ретрансляційну ділянку на 15...20%. Синтез оптимального методу управління енергоресурсом (або їх множини) буде визначатися параметрами конкретної мережі та ухваленими рішеннями щодо реалізації інших функцій управління мережею.

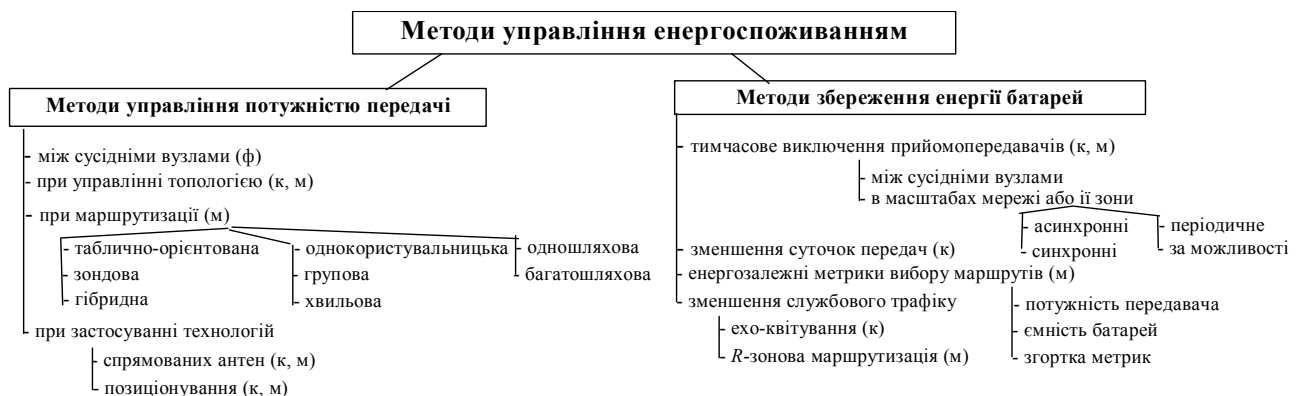


Рис. 10. Класифікація методів управління енергоспоживанням (ф – фізичний, к – каналний, м – мережевий рівні еталонної моделі)

Підсистема управління навантаженням [10]

Підсистема управління навантаженням в основному працює на транспортному (управління швидкістю передачі та управління чергами у вузлах) та мережевому рівні (підсистема маршрутизації).



Рис. 11. Класифікація методів управління інформаційними потоками

На сьогодні розроблено багато методів і протоколів управління передачею даних в телекомунікаційних мережах на транспортному рівні моделі OSI, які можна класифікувати за наступними ознаками (рис. 1.9):

- за кількістю підтримуваних швидкостей передачі: багатошвидкісні (з можливістю переходу на нижчі швидкості передачі в разі виявлення перевантаження), одношвидкісні;
- за кількістю маршрутів: одномаршрутні та багатомаршрутні;
- за функціонуванням на рівні моделі OSI: однорівневі, багаторівневі (міжрівневі);
- за класом обслуговування: максимальних зусиль (Best effort), гарантована передача (Assyred forwarding); термінова передача (Expedited forwarding);
- за місцем управління: у вузлах мережі, з кінця в кінець.

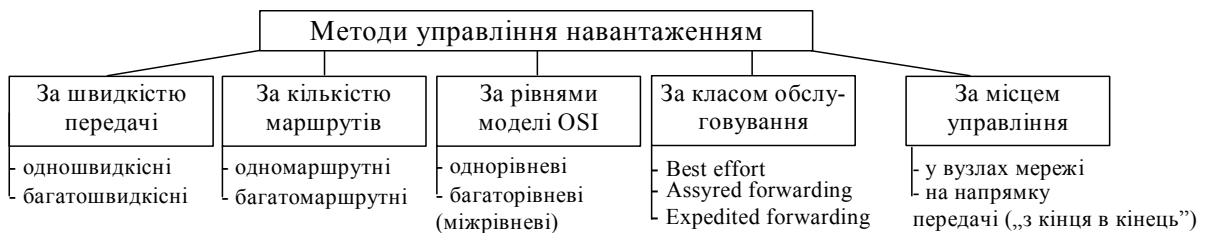


Рис. 12. Класифікація методів управління навантаженням

Таким чином параметри навантаження, тип трафіка та параметри TCM будуть визначати вибір або синтез нових методів управління потоками та боротьби з перевантаженнями.

Підсистема управління якістю обслуговування (QoS-передачі даних) [10, 11]

Одним із завдань оперативного управління TCM є забезпечення передачі певних класів трафіка з заданою якістю обслуговування (QoS, Quality of Service), наприклад, передача відеозображення полю бою. Проведений аналіз можливих методів управління якістю обслуговування за рівнями еталонної моделі. Традиційні QoS-методи управління (Differentiated service та Guaranteed service) не враховують особливості TCM и тому є неефективними. Розробка QoS-методів управління для динамічної або статичної природи TCM при заданих вимогах потребує окремого рішення ряду задач для більшості рівнів EM BBC з координацією їх роботи під управлінням системи управління, яка буде реалізована на кожному вузлі мережі.

Для сенсорних мереж на сьогодні запропонована низька QoS-моделей управління (наприклад, для мережевого рівня QoS-маршрутизація SPEED, для транспортного ESRT [10]). Однак, кожен з низ передбачає управління якістю на певному рівні еталонної моделі взаємодії відкритих систем.

Забезпечення заданої якості обслуговування в TCM повинне здійснюватися за функціями з їхньою реалізацією на всіх рівнях EM BBC під управлінням виділеної QoS-підсистеми, основними елементами якої є база методів управління (за рівнями еталонної моделі) і підсистеми прийняття QoS-рішень (містить знання про цілі управління й методи їхнього досягнення, а також базу моделей ресурсів мережі) [11].

Підсистема забезпечення безпеки передачі даних [12, 13]

Проведений аналіз основних аспектів безпеки: уразливість TSM, потенційні атаки супротивника, оцінка їх погроз, необхідні сервіси безпеки та можливі механізми їх реалізації.

Сервіси безпеки повинні враховувати особливості TSM і забезпечуватися тими або іншими механізмами безпеки з метою захисту від певної безлічі атак. Сервіси безпеки звичайно включають наступні основні поняття: таємність, автентифікація; цілісність, контроль доступу, неспростовність та доступність.

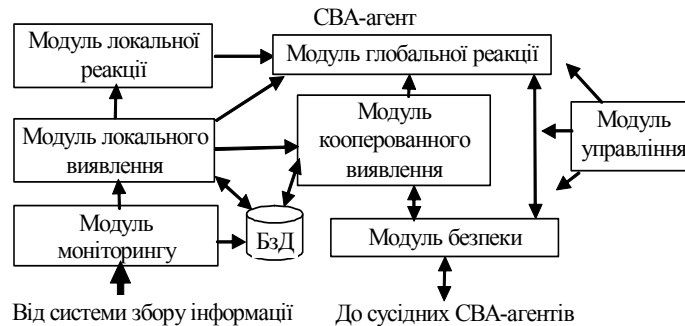


Рис. 11. Концептуальна модель IDS-агента

Зроблено висновок, що захист від зовнішніх атак у TSM повинен здійснюватися методами криптографічного захисту, внутрішніх атак – застосуванням систем виявлення атак (СВА). Проведений аналіз варіантів побудови СВА дозволяє зробити наступні рекомендації з їхньої побудови: архітектура конкретної СВА буде визначатися архітектурою TSM (для ієрархічних TSM тактичного рівня доцільна архітектура "агент-менеджер"); кожен вузол мережі повинен бути оснащений децентралізованою локальною СВА реального часу з можливістю колективного прийняття рішень по виявленню атак і відповідній реакції; перспективною технологією прийняття рішень у СВА є інтелектуальні мобільні агенти з використанням нейромереж і/або нечіткої логіки; функціонування СВА вузла повинне бути погоджене по рівнях еталонної моделі взаємодії відкритих систем і функціях системи управління TSM.

Підсистема прийняття рішень по оперативному управлінню TSM [4, 14]

Системи управління можуть бути класифіковані як централізовані, децентралізовані та ієрархічні. В централізованих СУ (BOSS, MOTE-VIEW, SNMS, Sympath [14]) базова станція збирає інформацію про стан сенсорної мережі та приймає рішення по управлінню. Переваги цієї СУ: необмеженість ресурсів и добра якість рішень, недолік – низька живучість, неможливість управління при розподілі мережі на підмережі та значний службовий трафік. В децентралізованих СУ (DSN RM, Node-energy level management, App-Sleep [14]) критичний ресурс вузлів та значна складність задач управління.

Класична реалізація систем управління архітектури агент-менеджер наведена в BOSS и MANNA [14]. На ґрунті інтелектуальних агентних технологій побудована система управління Agent-Based Power Management [14].

Пропонується вироблення рішень (методів управління) системою управління здійснювати за функціями управління на різних рівнях ЕМ ВВС. Через динамічний характер задач управління, їх високої розмірності, неповноти й нечіткості контрольної інформації пропонується використати нечітку систему управління (НСУ). Розглянуто структуру НСУ, що складається з наступних компонентів: знання про об'єкт управління; знання про цілі функціонування й управління; знання про способи досягнення цілей (рис. 12). Запропоновано схему прийняття рішень НСУ, що враховує послідовність етапів циклу управління: оцінка ситуації, визначення мети управління, виявлення необхідності управління, пошук припустимих рішень і методу досягнення поставленої цілі й реалізація обраного методу.

В умовах децентралізованого управління кожен вузол буде реалізовувати дві взаємозалежні групи цілей, що визначають багатокритеріальність управління: користувальницькі цілі (досягнення екстремуму або виконання обмежень на показники ефективності при передачі повідомлень) і мережеві (зонові) цілі (досягнення оптимальних мережевих або зонових пока-

зників ефективності). Задача ухвалення рішення в управлінні TSM зведена до задачі багатокритеріальної оптимізації для нечітко заданих цілей й альтернатив, представлених у вигляді дерева “цілі – методи”. Запропонована архітектура інтелектуального вузла мережі [4].

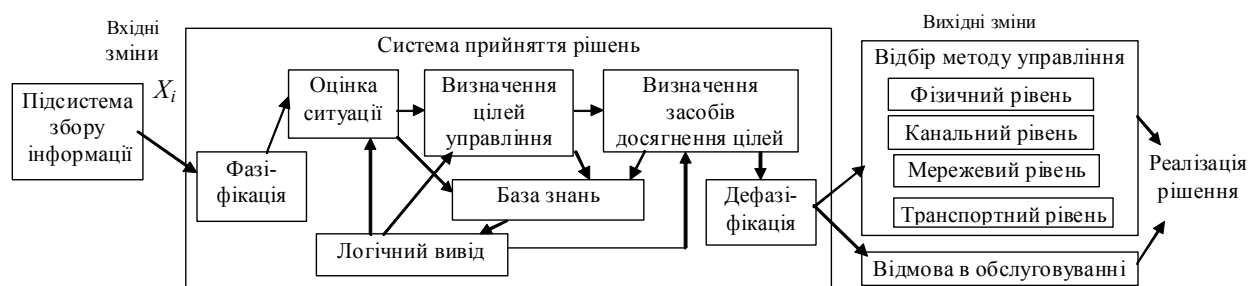


Рис. 12. Процес прийняття рішення по управлінню TSM

Таким чином, проведений аналіз задач управління дозволив запропонувати нову функціональну модель системи управління TSM та відповідні методи управління по функціям та рівням еталонної моделі взаємодії відкритих систем. Запропоновані рішення складають основу побудови інтелектуальної бездротової сенсорної мережі зв'язку військового призначення, яка дозволить: побудувати адаптивну архітектуру, що самоорганізується; забезпечити оптимізацію передачі даних з заданою якістю; автоматизувати процеси її управління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Міночкін А.І., Романюк В.А., Жук О.В. Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж // Збірник наукових праць № 4. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2007. – С. 112 – 119.
2. Романюк В.А. Мобильные радиосети – перспективы беспроводных технологий // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 12. – С. 62 – 68.
3. Бунин С.Г., Миночкин А.И., Романюк В.А. Перспективы беспроводных ячеистых сетей // Зв'язок. – 2007. – № 5. – С. 20 – 24.
4. Миночкин А.И., Романюк В.А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
5. Міночкін А.І., Романюк В.А. Концепція управління мобільною компонентою мереж зв'язку військового призначення // Збірник наукових праць № 3. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2005. – С. 51 – 60.
6. Романюк В.А., Жук О.В., Сова О. Я. Аналіз протоколів маршрутизації які використовуються при передачі інформації в бездротових сенсорних мережах // Збірник наукових праць № 1. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2008. – С.
7. Sagduyu Y., Ephremides A. The Problem of medium access control in wireless sensor networks // IEEE Wireless Communications, December 2004. – pp. 44 – 53.
8. Міночкін А.І., Романюк В.А. Задачі управління топологією мережі безпілотних літальних апаратів мобільного компоненту мереж зв'язку військового призначення // Збірник наукових праць № 2. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2005. – С. 83 – 90.
9. Миночкин А.И., Романюк В.А. Управление энергоресурсом мобильных радиосетей // Зв'язок. – 2004. – № 8. – С. 50 – 53.
10. Chen D., Varshney P.K. QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey // Proc. of the 2004 International Conference on Wireless Networks (ICWN 2004), June 21-24, 2004.
11. Миночкин А.И., Романюк В.А. Управление качеством обслуживания в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2005. – № 8. – С. 17 – 23.
12. Міночкін А.І., Романюк В.А., Шаціло П.В. Виявлення атак в мобільних радіомережах // Збірник наукових праць № 1. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2005. – С. 102 – 111.
13. Walters J. P., Liang Z., Shi W., Chaudhary V. Wireless Sensor Network Security: A Survey // Security in Distributed, Grid, and Pervasive Computing Yang Xiao, (Eds.) 2006.
14. Lee W. L., Datta A. Network Management in Wireless Sensor Networks // Handbook of Mobile Ad Hoc and Pervasive Communications, American Scientific Publishers, 2006.