

КОНЦЕПЦІЯ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ КОМПОНЕНТОЮ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розвинуті положення системного підходу щодо проблеми побудови системи управління мобільною компонентою мереж зв'язку військового призначення. Визначені поняття предметної області, цілі функціонування системи управління, обґрунтовані принципи її побудови, структура та функції, показники та критерії ефективності. Розроблені схеми системного аналізу та синтезу методів управління і визначені вимоги до них.

Сучасні принципи організації зв'язку та технічне оснащення підрозділів зв'язку не дозволяють повністю задовольнити потреби управління військами сучасного бою, який характеризується високою динамікою та розгортається на значних географічних територіях. Тому пропонується нова архітектура та принципи побудови мобільної компоненти (МК) мереж зв'язку військового призначення (МЗВП), яка буде складатися із трьох основних рівнів (рис. 1) [1]: 1-й – радіомережі мобільних абонентів (МА) – військовослужбовець, БМП, танк, вертоліт й ін.; 2-й – мережі мобільних базових станцій (МБС), що утворюють опорні мережі в різних географічних зонах бойових дій; 3-й – повітряна мережа безпілотних літальних апаратів (БЛА), яка забезпечить зв'язність між даними зонами. Додатковий (нульовий) рівень можуть утворювати сенсорні мережі. Кожен рівень МК являє собою так звані мобільні радіомережі (МР) або MANET (mobile ad-hoc networks) [2].

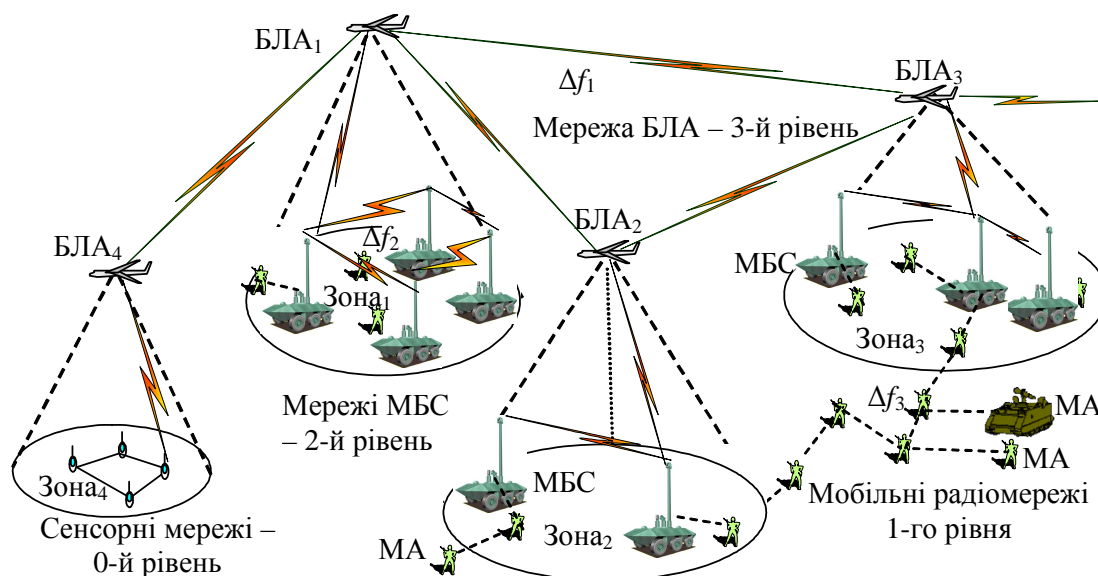


Рис. 1. Приклад архітектури мобільної компоненти МЗВП

Вузли мобільної компоненти (сенсори, МА, МБС, БЛА) повинні швидко адаптуватися до частих змін топології мереж, трафіка та ефективно використовувати обмежені мережеві ресурси. В таких умовах забезпечити інформаційний обмін з заданою якістю неможливо без ефективної системи управління (СУ) мобільною компонентою. В той же час до системи управління МК пред'являються наступні вимоги:

- забезпечення засекреченої передачі різних видів трафіка з заданою якістю;
- забезпечення адаптивного та розподіленого функціонування мережі з можливістю її самоорганізації;
- оптимізація характеристик мережі;
- забезпечення прийняття рішень в реальному (або близького до реального) масштабу часу;
- мінімальне завантаження мережі службовою інформацією;
- максимальна автоматизація процесів управління.

До особливостей системи управління МК 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 МК і зовнішніх впливів.

Існуючі сучасні технології управління телекомунікаційними мережами розраховані на статичні або квазістатичні умови їх функціонування та не враховують особливості мобільної компоненти МЗВП. Наприклад, технологія TMN (Telecommunication Management Networks, яка представлена в рекомендації ІТУ-TM.3010 і являється розвитком принципів управління OSI для конкретних областей електрозв'язку) є централізованою, для управління телекомунікаційною мережею застосовується виділена мережа управління, яка побудована на технології агент-менеджер з низьким рівнем автоматизації процесів управління. Відмінностями між цивільними та військовими системами управління мережами є: різні цілі, етапи, функції, рівні управління та вимоги до оперативності управління.

Розглянемо класифікацію задач управління МК МЗВП (рис. 2).

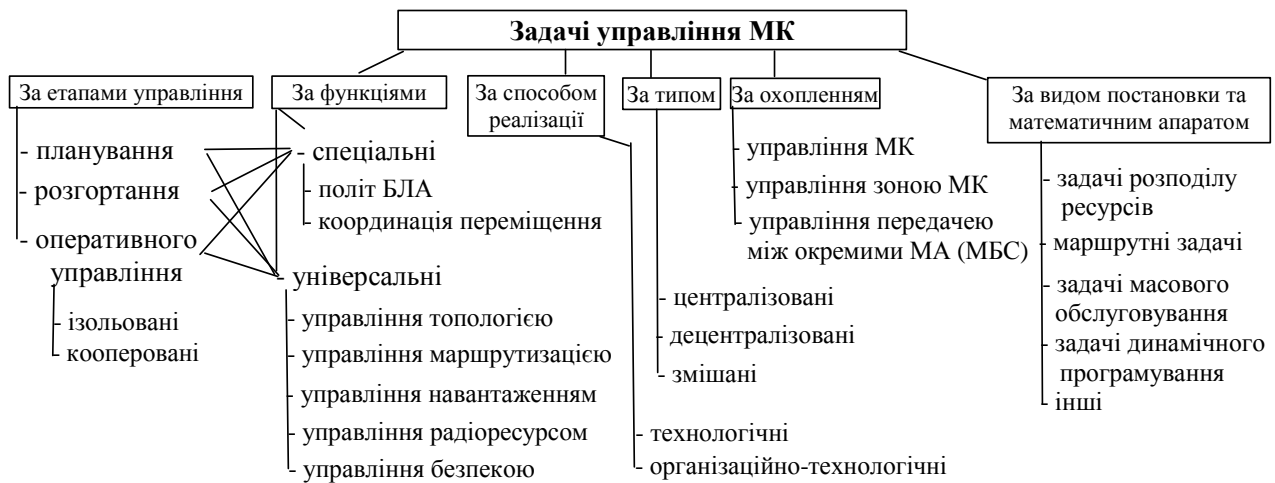


Рис. 2. Класифікація задач управління МК

За етапами задачі управління МК діляться на задачі планування, розгортання (організаційні способи реалізації) і оперативного управління (організаційно-технологічний спосіб) [7].

Етап планування здійснюється центром управління МК. Сутністю планування (виходячи із прогнозованої обстановки та наявних ресурсів) є діяльність органів управління, яка направлена на формування і прийняття рішення по організації МЗВП, своєчасну розробку документів і доведення їх до підлеглих. Планування полягає: у визначенні способів побудови МЗВП, в постановці бойових задач перед силами зв'язку, в розподілі сил та засобів (рис. 3).



Рис. 3. Класифікація етапів управління МК МЗВП і функцій етапу планування

Збільшити ефективність управління можливо за допомогою автоматизації процесів управління зв'язком (АСУЗ). У відповідності з основними етапами управління зв'язком в АСУЗ можливо умовно виділити дві підсистеми – автоматизовану систему оперативного управління зв'язком та автоматизовану систему планування зв'язком (АСПЗ). В АСПЗ разом з посадовими особами органів управління зв'язком та іншими засобами забезпечення входить автоматизована система інформаційної та обчислювальної підтримки (АСІВП) (рис. 4).

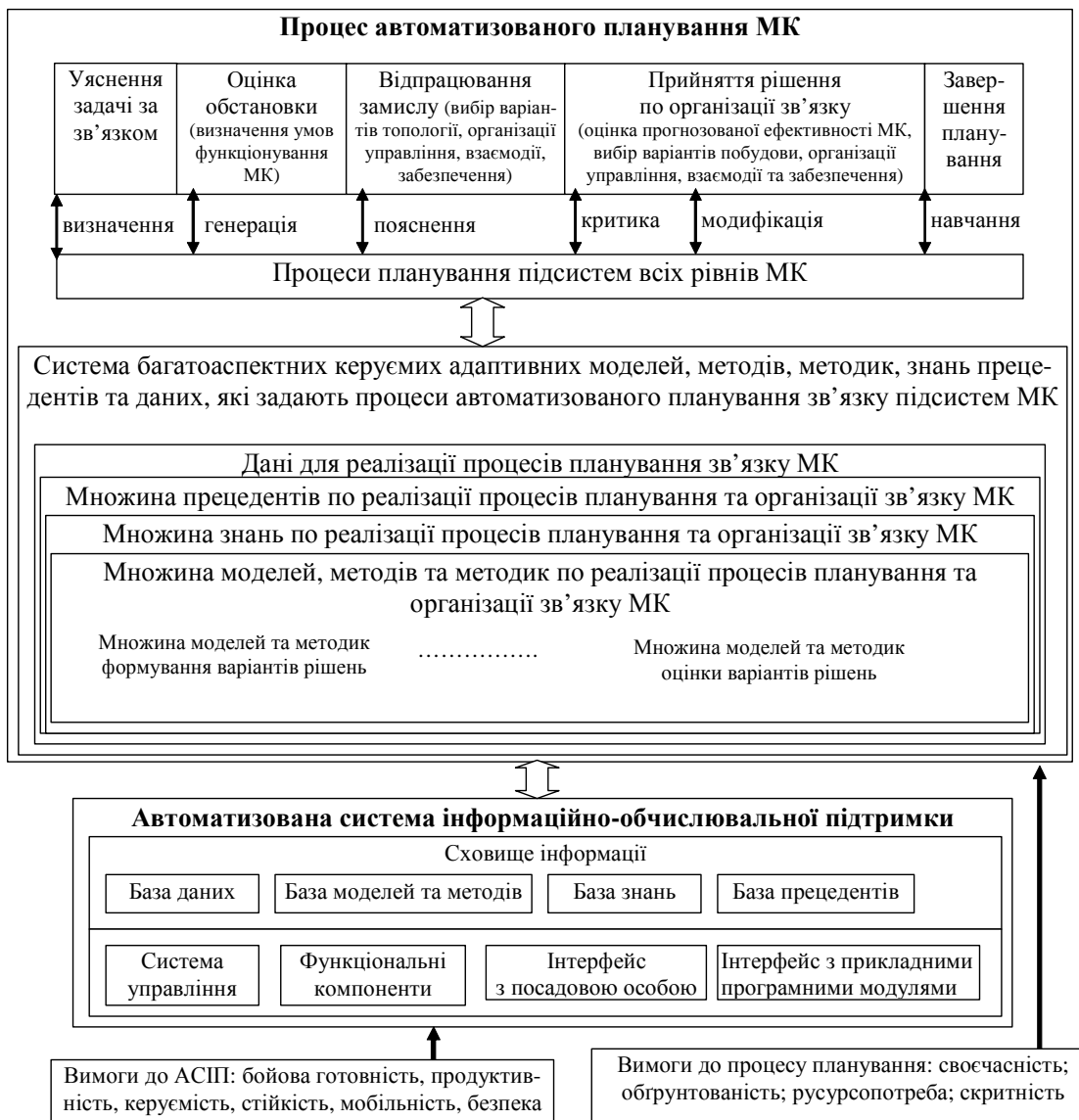


Рис. 4. Організація процесу планування зв'язку з використанням АСІВП

АСІВП представляє собою інтерактивну людино-машинну систему, яка призначена реалізувати інформаційну та обчислювальну підтримку процесів планування зв'язку [4]. Пропонується концепція розробки АСІВП як гібридних систем, що об'єднують виконання "жорстких" алгоритмів, маніпулювання фактографічною інформацією в базі даних, моделювання на ґрунті різноманітних імітаційних та аналітичних моделей з бази моделей, обробку знань та використання вже реалізованих планів зв'язку з бази прецедентів (рис. 4).

Етап розгортання полягає в переміщенні МБС та їх розгортанні опорної мережі в заданому районі (запуску заданої кількості БЛА та управлінні їхнім польотом у задані райони баражування). При цьому задачі етапу розгортання (перепланування) МК можуть виконуватися й на етапі оперативного управління при значних її змінах (ушкодженні, введенні нових угруповань військ й ін.). Контроль за етапом розгортання опорної мережі (польотом БЛА та роботою його бортових систем) здійснюється із центру управління МК.

На етапі оперативного управління за прийнятими критеріями ефективності постійно оцінюється стан мереж МК, і приймаються міри (відповідно до плану та реальної обстановки) по втриманню 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 МК включає (рис. 5):

- збір інформації про стан мережі (при цьому необхідно приймати рішення за об'ємом, типом, способом, рівнями, функціями збору службової інформації);
- аналіз даної інформації – визначаються: 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 МК МЗВП 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.



Рис. 5. Класифікація задач оперативного управління мобільною компонентою

1. Принцип адаптивного управління. Так як в МК МЗВП, поряд з плановими змінами стану, існує значна початкова невизначеність, яка обумовлена інерційністю контролю стану мережі та її ідентифікації, а також суттєва невизначеність стану зовнішнього середовища, то оперативне управління повинне бути адаптивним.

2. Принцип функціональності управління. Об'єднання функцій системи управління в 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 радіоресурсом; управління навантаженням; планування, корегування та навчання. Функціональна модель системи оперативного управління мережі, яка реалізується на кожному вузлі надана на рис. 6.

3. Принцип ієрархічності управління. Формалізований опис функціональної структури системи управління МК зводиться до побудови математичної моделі взаємодії розподілених вузлів, які взаємодіють між собою. Функціональну структуру системи управління можна представити ієрархічною структурою з вертикальними зв'язками, які визначають підпорядкованість задач, що виконуються: на нижньому рівні вирішуються задачі управління абонентом мережі; на верхньому – задачі управління всією МК.



Рис. 6. Функціональна модель системи оперативного управління

4. Принцип координації та взаємодії. Взаємодія між елементами вищестоящого рівня і кожним із N елементів нижчестоящого рівня характеризується тим, що дії одного з них залежать від дій іншого. Очевидно, що задачі, які розв'язуються елементами нижчестоящого рівня, залежать від дій елементів вищестоящого рівня, які конкретизують ці задачі. І навпаки, задача, яка розв'язується елементом вищестоящого рівня, залежить від відгуків елементів нижчестоящого рівня. При цьому можуть мати місце два типи координуючих впливів: втручання до прийняття рішення і втручання після прийняття рішення.

5. Принцип оптимальності управління. Адаптивне управління МК МЗВП забезпечує відповідну корекцію режимів роботи та алгоритмів функціонування її елементів при всякій зміні в мережі і найбільшій ступені відповідає вимогам безперервності та оперативності управління. Якість управління, як сукупність властивостей управління, визначаються двома властивостями: обґрунтованість управляючих впливів та своєчасність управляючих впливів. Оптимальне управління являє собою компроміс між оперативністю та обґрунтованістю управляючих впливів, що являється однією із найбільш складних задач, які належить розв'язати при побудові системи управління МК МЗВП.

6. Принцип автоматизації процесів управління. Комплексна автоматизація процесів управління МК МЗВП передбачає створення і удосконалення всіх видів забезпечення управління, які в повній мірі відповідають основним принципам побудови системи управління МК.

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

За охопленням задачі управління діляться на управління функціонуванням всієї мобільної компоненти її зони або процесом передачі інформації між виділеними абонентами.

За видом постановки та математичному апарату задачі діляться на задачі розподілу ресурсів, задачі масового обслуговування, маршрутні задачі й ін.

За функціями задачі управління МК діляться на дві групи:

1. Спеціальні задачі управління (наприклад, визначення маршрутів польоту БЛА й координація їхнього переміщення).

2. Універсальні задачі управління – характерні для радіомереж всіх рівнів МК [9]: управління топологією, управління маршрутизацією, управління навантаженням, управління радіоресурсом, управління енергоресурсом, управління безпекою. Однак, конкретна реалізація методів управління кожної МР повинна враховувати її призначення та особливості архітектури (розмірність, мобільність, продуктивність й ін.). Наприклад, метод множинного доступу, реалізований на БЛА, буде централізованим на відміну від децентралізованого методу доступу, який застосовується у вузлах мобільної радіомережі 1-го рівня МК. Методи маршрутизації повинні бути орієнтовані на ієрархічну архітектуру МК і передачу повідомлень із заданою якістю (QoS).

Цілями системи управління можуть бути екстремум або підтримка (виступають як обмеження) заданих параметрів функціонування всієї мобільної компоненти (її зони або окремих пар „відправник-адресат”) $K_i = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$:

– K_1 – якість маршрутів для всієї МК, її зони або конкретними абонентами (наприклад, K_1^1 – довжина маршрутів передачі, K_1^2 – середній час доставки, K_1^3 – пропускна здатність тощо);

- K_2 – продуктивність мережі певного рівня або всієї МК, її зони ;
- K_3 – ступінь покриття території (абонентів) мережею МБС (БЛА);
- K_4 – структурна надійність (зв'язність);
- K_5 – кількість ресурсів (БЛА, МБС);
- K_6 – параметри безпеки й т. д.

Наявність сукупності критеріїв ефективності обумовлює багатокритеріальність задач управління та значно ускладнює розробку формальних методів. Для рішення здійснення управління пропонується динамічно визначати головний критерій ефективності (виходячи з поточної ситуації на МК), який підлягає оптимізації, а інші переводити в розряд обмежень. Для цього пропонується використати метод ієрархічного цільового динамічного оцінювання альтернатив [11].

Розглянемо основні підсистеми моделі оперативного управління МК МЗВП та напрямки їх побудови (рис. 6): управління маршрутизацією, управління радіоресурсом, управління енергоресурсом, управління передачею інформації з заданою якістю обслуговування, управління безпекою, прийняття рішень по управлінню та інші.

Маршрутизація інформаційних повідомлень в МК [5]

Особливості МК потребували провести класифікацію методів та функцій маршрутизації, які запропоновані для мобільних радіомереж, а також розробки нових методів маршрутизації для кожного з класів (однокористувальницьких, групових, хвильових тощо) для кожного рівня МК (рис. 7, 8).



Рис. 7. Класифікація методів маршрутизації для МР

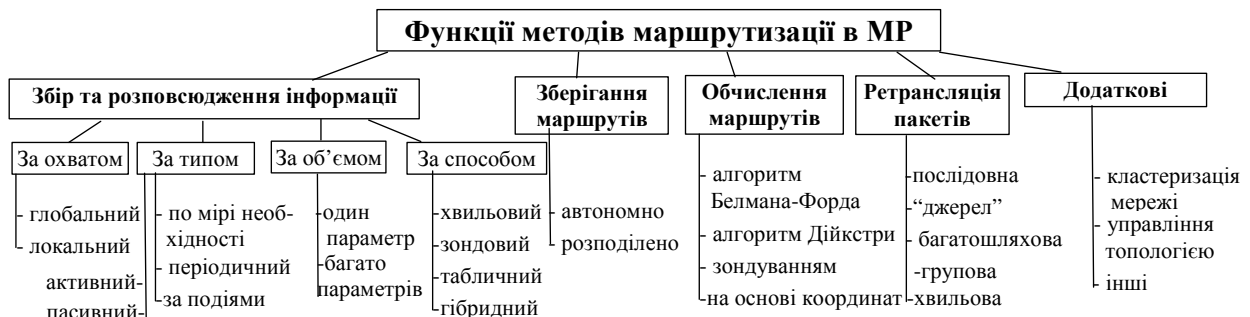


Рис. 8. Класифікація функцій методів маршрутизації для МР

Доведено, що єдиного методу маршрутизації, який задовольняє всім вимогам не існує. Тому запропоновано застосування в програмному забезпеченні вузлів множини методів маршрутизації та їх використання в залежності від умов функціонування (інтелектуалізація прийняття рішень по маршрутизації).

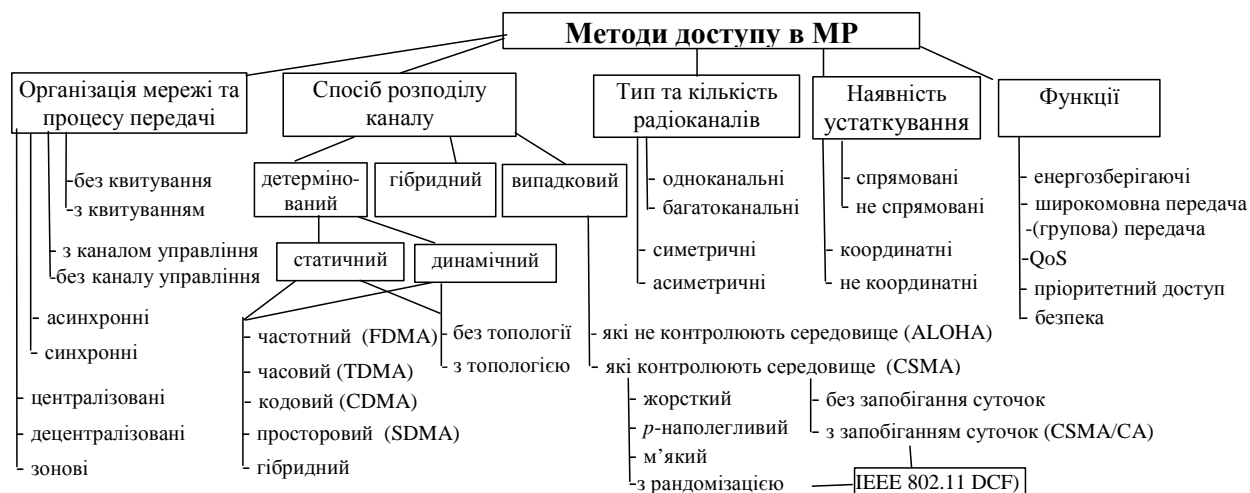


Рис. 9. Класифікація методів доступу до МР

Проведена класифікація методів доступу в МР та визначені напрямки рішення проблеми розподілу радіоресурсу (рис. 9):

- вдосконалення протоколу доступу IEEE 802.11 для всіх рівнів МК;
- розробка нових методів детермінованого доступу;
- вдосконалення протоколу IEEE 802.16 (WiMax) для 2 та 3 рівнів МК;
- застосування в програмному забезпеченні вузла множини методів розподілу ресурсів та їх використання в залежності від умов функціонування.

Управління топологією МК [7, 8]

Залежно від основного критерію ефективності, розрізняють наступні варіанти постановки задач синтезу топології МК (рис. 10):

- за критерієм мінімуму використовуваного апаратного ресурсу – знайти зв'язну топологію з мінімальною кількістю МБС (БЛА) при заданих обмеженнях (в якості обмежень можуть виступати кожний із критеріїв ефективності);
- за критерієм зв'язності (структурної надійності) – знайти зв'язну (ν -зв'язну) топологію мережі при заданих обмеженнях;
- за критерієм часу – знайти зв'язну топологію мережі, що забезпечує мінімізацію максимальної затримки передачі повідомлень у мережі (інформаційному напрямку) при заданих обмеженнях.

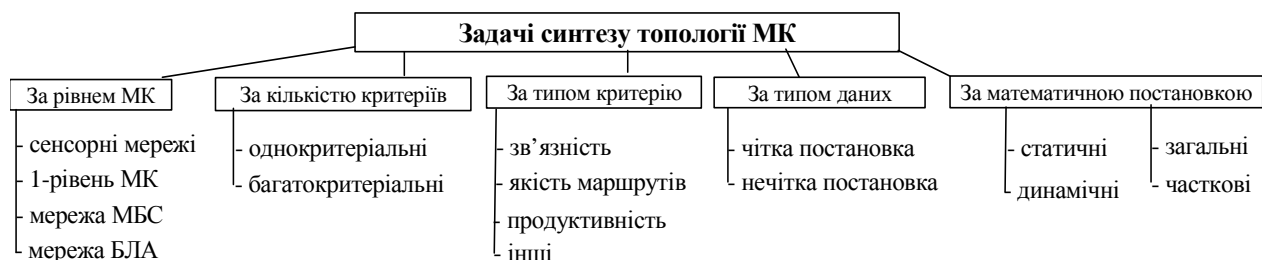


Рис. 10. Класифікація задач синтезу топології МК

Важливою особливістю задач управління є динамічний характер МК. Тому доцільно розглядати мережу як систему, що розвивається, – побудова мережі представляє багатоетапний процес її розвитку з деякої початкової топології в кінцеву. Звідси впливає постановка задачі динамічного програмування: задане загальна кількість МБС (БЛА) на операцію. Потрібно розподілити їх за етапами (число в загальному випадку невідомо) таким чином, щоб забезпечити оптимум прийнятого критерію ефективності. Показниками оцінки ефективності результату процесу управління МК можуть виступати ступінь досягнення й час виконання i -ї задачі (мети) управління.

Необхідно відзначити, що синтез топології мереж великої розмірності нашоується на ряд труднощів, пов'язаних з великою розмірністю МК та багатоекстремальністю цієї задачі. Перераховані труднощі викликають необхідність використання декомпозиційного підходу: загальна задача синтезу топології розбивається на ряд під задач 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.

Управління енергоспоживанням [10]

Електроживлення вузлів 0 та 1 рівнів МК здійснюється від батарей (їх ємність визначає як параметри процесора, пам'яті, пристрою відображення так і потужність прийомопередавача), то в системі управління МР виділена підсистема управління енергоресурсом (рис. 6). Метою функціонування даної підсистеми є мінімізація споживаної енергії вузлами мережі (максимізація “часу життя” мережі – часу роботи мережі до моменту відмови вузла через нульову ємність його батареї).

Проведений аналіз різних методів управління енергоспоживанням (рис. 11). Зроблено висновок: управління енергоспоживанням повинне здійснюватися за функціями управління на різних рівнях еталонної моделі взаємодії відкритих систем (ЕМ ВВС). Проведені дослідження показали, що застосування розглянутих методів дозволяє в середньому збільшити “час життя” мережі в 1.5...2 рази й 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.

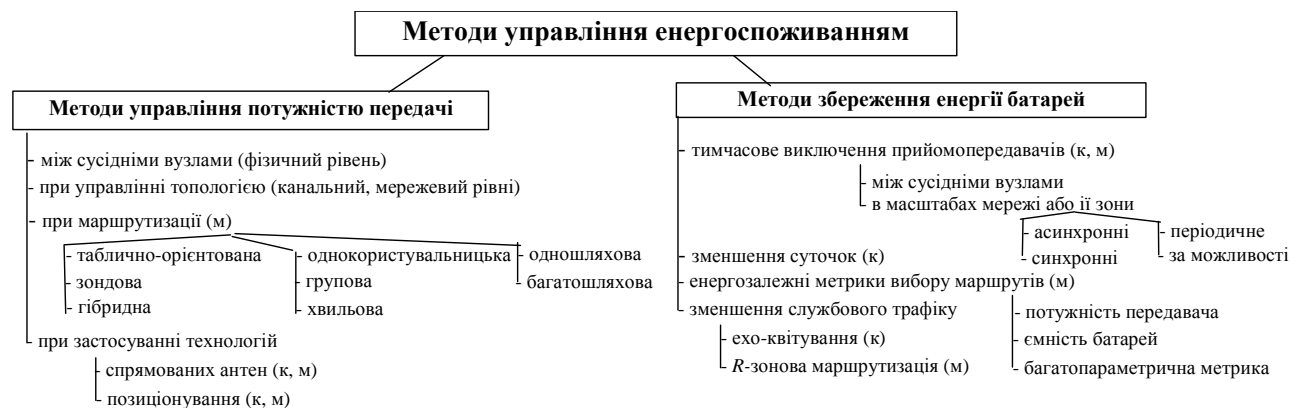


Рис. 11. Класифікація методів управління енергоспоживанням

Управління QoS-передачею даних [11]

Одним із завдань оперативного управління МР є забезпечення передачі певних класів трафіка з заданою якістю обслуговування (QoS, Quality of Service). Проведений аналіз можливих методів управління якістю обслуговування за рівнями еталонної моделі. Розробка QoS-методів управління для динамічної природи МР при заданих вимогах потребує окремого рішення ряду задач для більшості рівнів ЕМ ВВС з координацією їх роботи під управлінням системи управління, яка буде реалізована на кожному вузлі мережі (рис. 12).

Забезпечення заданої якості обслуговування в МР повинне здійснюватися за функціями з їхньою реалізацією на всіх рівнях ЕМ ВВС під управлінням виділеної QoS-підсистеми, основними елементами якої є база методів управління (за рівнями ЕМ) і підсистеми прийняття QoS-рішень (містить знання про цілі управління й методи їхнього досягнення, а також базу моделей ресурсів мережі). Розглянуто основні методи й способи QoS-управління по рівнях ЕМ. Напрямок подальших досліджень є побудова математичних моделей QoS-методів управління й дослідження їх поведінки з метою вироблення правил функціонування цільової ієрархії системи управління.

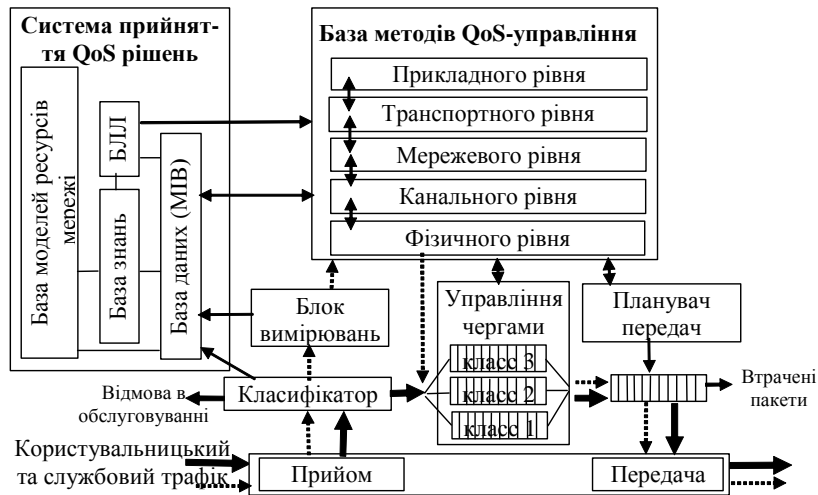


Рис. 12. Модель інтелектуального управління якістю передачі даних вузла мережі

Забезпечення безпеки передачі даних [12, 13]

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

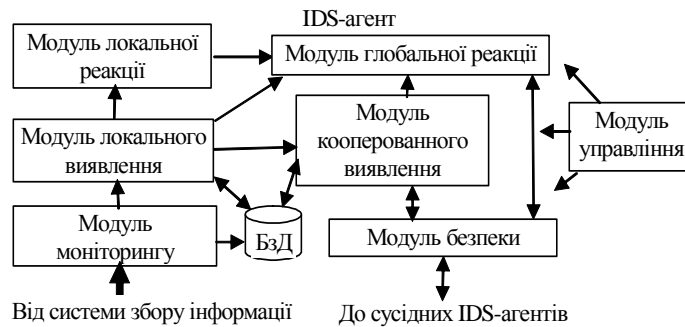


Рис. 13. Концептуальна модель IDS-агента

Зроблено висновок, що захист від зовнішніх атак у МР повинен здійснюватися методами криптографічного захисту, внутрішніх атак – застосуванням систем виявлення атак (СВА). Проведений аналіз варіантів побудови СВА дозволяє зробити наступні рекомендації з їхньої побудови в МР: архітектура конкретної СВА буде визначатися архітектурою МР (для ієрархічних МР 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 й 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 МР.

Управління прийняттям рішень по оперативному управлінню МК [3]

Вироблення рішень (методів управління) системою управління здійснюються 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. 14). 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 оперативного управління кожен вузол буде реалізовувати дві взаємозалежні групи цілей, що визначають багатокритеріальність управління: користува-

льніцькі цілі (досягнення екстремуму або виконання обмежень на показники ефективності передачі повідомлень) і мережеві (зонаві) цілі (досягнення оптимальних мережевих або зонавих показників ефективності). Задача ухвалення рішення в управлінні МР зведена до задачі багатокритеріальної оптимізації для нечітко заданих цілей й альтернатив [9], представлених у вигляді дерева “цілі – методи”. Запропонована архітектура інтелектуального вузла мережі [3].

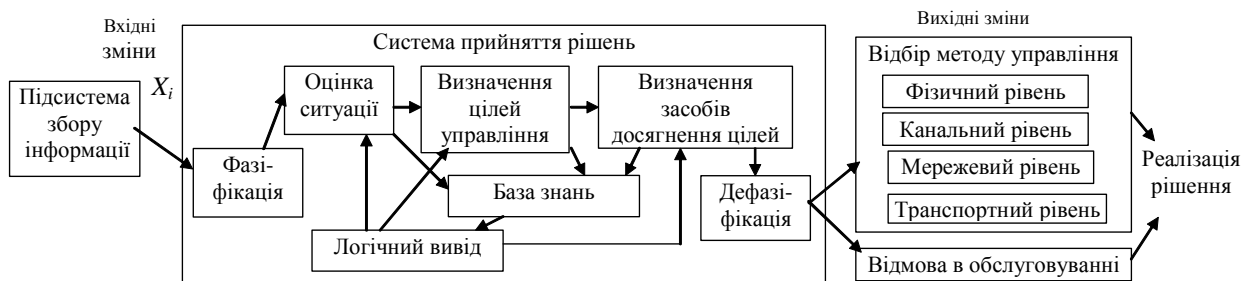


Рис. 14. Процес прийняття рішення по управлінню МК

В цілому отримані нові наукові результати складають основу побудови інтелектуальної мобільної компоненти мереж зв'язку військового призначення, яка дозволить: побудувати адаптивну архітектуру, що самоорганізується; забезпечити передачу різних видів трафіка з заданою якістю; значно покращити показники ефективності мережі та автоматизувати процеси управління МК МЗВП.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романюк В.А. Напрямки розвитку тактичних систем зв'язку // II Науково-технічна конференція ВІТІ „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2004. – С. 23 – 33.
2. Романюк В.А. Мобильные радиосети – перспективы беспроводных технологий // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 12. – С. 62 – 68.
3. Миночкин А.И., Романюк В.А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
4. Котенко И.В. Теория и практика построения автоматизированных систем информационной и вычислительной поддержки процессов планирования связи на основе новых информационных технологий. – СПб: ВАС, 1998. – 404 с.
5. Романюк В.А. Постановка проблеми маршрутизації інформаційних потоків у мережах радіозв'язку з динамічною топологією // Збірник наукових праць № 1. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2003. – С. 112 – 119.
6. Миночкин А.И., Романюк В.А. Методы множественного доступа в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2004. – № 2. – С. 46 – 50.
7. Миночкин А.И., Романюк В.А. Управление топологией мобильной радиосети // Зв'язок. – 2003. – № 2. – С. 28 – 33.
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. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений: алгоритмический аспект. – К.: Наукова думка, 2002. – 381 с.
10. Миночкин А.И., Романюк В.А. Управление энергоресурсом мобильных радиосетей // Зв'язок. – 2004. – № 8. – С. 50 – 53.
11. Миночкин А.И., Романюк В.А. Управление качеством обслуживания в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2005. – № 8.
12. Міночкін А.І., Романюк В.А. Безпека мобільних радіомереж // Збірник наукових праць № 5. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2004. – С. 116 – 126.
13. 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.