

## ЦІЛЬОВІ ФУНКЦІЇ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ АЕРОПЛАТФОРМАМИ В ТАКТИЧНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

**Актуальність.** Згідно досвіду розвинутих у військовому відношенні країн світу перспективна архітектура мобільної компоненти (МК) тактичної ланки управління буде неоднорідною, ієрархічною та складатимуся з трьох основних рівнів (рис. 1) [1]: 1-й – мобільні радіомережі низової ланки управління (бойові радіомережі); 2-й – мережі мобільних базових станцій, що утворять наземну опорну мережу; 3-й – повітряна мережа, яка може бути реалізована на безпілотних літальних апаратах (телекомунікаційних аероплатформах – ТА). Додатковий нульовий рівень можуть утворювати сенсорні мережі (мережі телеметрії).

Кожен рівень мобільної компоненти буде являти собою мережу типу MANET [2]. Створення (додавання) кожного рівня мобільної компоненти передбачає покращення показників якості обслуговування як окремих абонентів, групи абонентів, так всієї системи радіозв'язку.

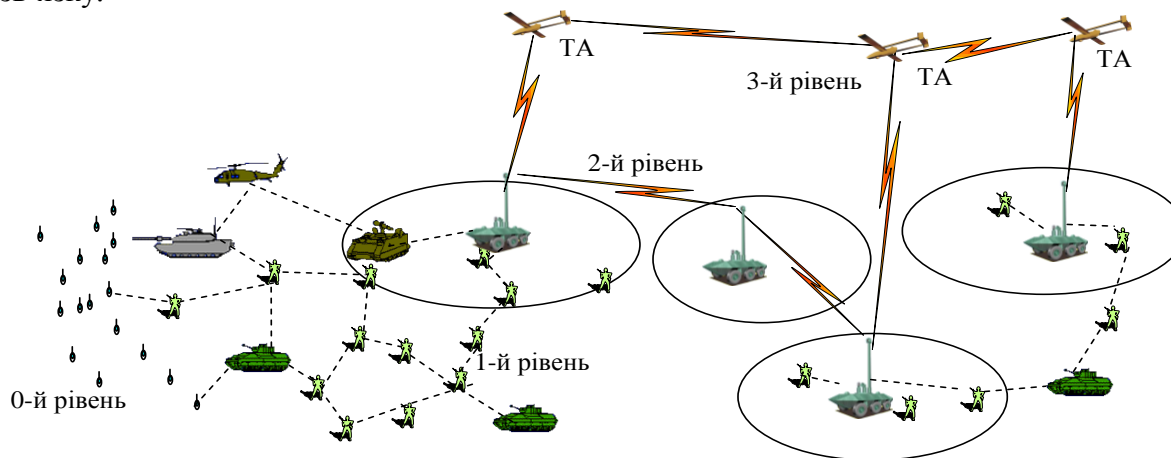


Рис. 1. Перспективна архітектура мобільної компоненти

Повітряна телекомунікаційна мережа (3-й рівень) може використовуватимуся для: поліпшення показників якості функціонування всієї МК, мереж зв'язку або їх зон; встановлення радіозв'язності в мережі з географічно віддаленими абонентами (зонами мережі); збору інформації моніторингу від сенсорних мереж (полів, окремих сенсорів) про противника, заражених районах, цілях тощо [3].

До основних особливостей функціонування тактичних радіомереж можна віднести: значна динаміка зміни їх топології, інтегральний та пульсуючий трафік, колективне використання радіоресурсу, нестабільність радіоканалів та наявність взаємних перешкод, обмеженість та неоднорідність ресурсів вузлів МК, обмежену безпеку через ширококомовну природу радіоканалу, високу ймовірність радіоелектронної протидії супротивника та ін.

Всі вузли перспективної тактичної мережі (сенсори, мобільні абоненти, мобільні базові станції, ТА) повинні швидко адаптуватися до частих змін топології мережі, трафіка та ефективно використовувати обмежені мережеві ресурси. В таких умовах забезпечити інформаційний обмін з заданою якістю неможливо без ефективної системи управління (СУ) мережею [4], яка повинна відповідати наступним вимогам: адаптивність, функціональність, координація взаємодії, децентралізоване управління тощо.

Управляючі впливи системою управління мережею здійснюються на основі реалізації циклу управління: збору та аналізу інформації про стан мережі, ідентифікації ситуації про стан мережі та прийняття управляючого рішення по забезпеченню якості передачі трафіка. В

процесі прийняття рішення виникає завдання щодо визначення цільових функцій управління мережею або її зоною.

**Постановка задачі:** Необхідно визначити множину цільових функцій управління в неоднорідних MANET с ТА, провести їх класифікацію, визначити взаємозв'язок, особливості та порядок використання системою управління мережею.

**Аналіз останніх публікацій.** Раніш запропоновані підходи пропонували здійснювати оптимізацію визначених мереж за одним або декілька показниками [5 – 8]. Так в [5] запропоновано управляти витратами енергії батарей, в [6] здійснювати багатокритеріальну оптимізацію маршруту с врахуванням його мобільності, в [7] оптимізувати топологію мережі за декількома показниками, в [8] враховувати тип трафіка тощо.

*Пропонується новий підхід* – на етапі управління мережею цільові функції управління не є статичними, а визначаються в часі в залежності від етапів и функцій управління, а також параметрів стану об'єкта (об'єктів) управління (вузол, радіоканал, маршрут, зона, мережа) та наявних ресурсів [9].

Визначимо особливості задач управління тактичними радіомережами з ТА (рис. 2): реалізуються на різних етапах управління мережею (планування, розгортання або відновлення, оперативного управління);

мають окремі функціональні призначення: переміщення ТА (управління маршрутом руху, координація польоту групи ТА, визначення району баражування тощо), покриття мережі (зони, пріоритетної групи абонентів, сенсорного поля, окремих сенсорів тощо), передачі даних (можуть бути реалізовані різними функціональними підсистемами – управління маршрутизацією, управління топологією, управління навантаженням тощо);

різні об'єкти впливу (вся МК, окрема мережа мобільної компоненти, її зона, напрямок передачі інформації, маршрут, канал, наземний вузол, ТА);

різні цільові функції, можуть заперечувати одна одної;

різняться математичною постановкою цільових функцій(чітка або нечітка, задачі масового обслуговування, маршрутні тощо);

мають високу розмірність та динамічний характер;

важкість формування повної системи показників оцінки ефективності;

неповнота та часто недостовірність контрольної інформації про стан мережі та її елементів;

більшість з них залежать друг від друга;

вимагають узгодження та координації (в вузлах, маршрутах, зонах, в масштабах всієї мережі, МК);

можуть бути реалізовані на різних рівнях еталонної моделі OSI.

В умовах змішаного управління (частка функцій виконується централізовано центрами управління МК та мереж, а друга децентралізовано – вузлами) можна визначити дві взаємозалежні групи цілей:

мережеві (зонові) – оптимізація мережевих або зонних показників ефективності;

користувальницькі – досягнення заданої якості передачі між абонентами та функціонування елементів мережі за напрямком передачі.

До мережевих (зонних) цілей управління можна віднести оптимум наступних параметрів  $C_i = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ :

$C_1$  – продуктивність всієї МК, рівнів МК, зони МК, мережі ТА;

$C_2$  – потужність передач вузлів мережі, її зони;

$C_3$  – ступінь покриття території (абонентів, сенсорів) мережею ТА;

$C_4$  – структурна надійність (зв'язність) мережі, її зони;

$C_5$  – кількість ресурсів (вузлів, мобільних базових станцій, аероплатформ тощо), які необхідно задіяти до досягнення певної мети;

$C_6$  – час функціонування мережі, її зони, безпосередньо ТА;

$C_7$  – обсяг службового трафіка;

$C_8$  – час планування, розгортання, відновлення мережі, її зони;

$C_9$  – параметри безпеки й т.д.

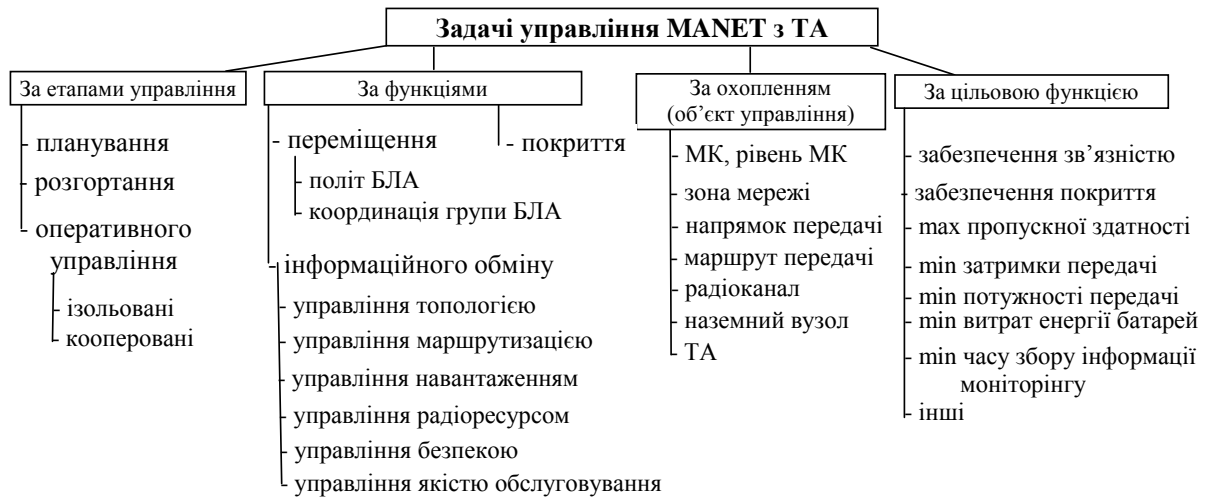


Рис. 2. Класифікація задач управління MANET з ТА

Основними обмеженнями при цьому є ресурси і параметри вузлів: батареї живлення, пропускна здатність радіоканалів, дальність радіозв'язку, об'єми пам'яті, швидкість обробки інформації, параметри самої ТА тощо.

До основних користувальницьких цілей управління можна віднести оптимум (обмеження) наступних параметрів: пропускна здатність, час затримки передачі повідомлень, потужність передавача, енергія (витрати енергії) батарей в радіоканалі, маршруті, напрямку тощо.

В табл. 1 наведено можливі об'єкти управління та основні параметри оптимізації. Наявність інформації, необхідної для передачі, вимагає систему управління кожного вузла здійснити вибір цілей (цільових функцій) управління, які повинні врахувати (рис. 2):

1. Стан самого вузла безпосередньо, якій визначається множиною його параметрів (реальна пропускна здатність радіоканалів, дальність радіозв'язності, наявні сусіди, стан черг, наявність, тип та величина зміни вхідного навантаження, мобільність, динамка зміни наявних зв'язків з сусідами, наявність, кількість та якість побудованих маршрутів, тощо). Ресурсами вузла є апаратні (потенційна пропускна здатність радіоканалу, наявний обсяг енергії батареї живлення, швидкодія процесорів, потужність передавача тощо), програмні ресурси (алгоритми управління, протоколи управління на різних рівнях OSI та функціональних підсистемах, рівень інтелектуалізації процесів управління тощо).

Кожен вузол постійно (активно або/та пасивно) збирає інформацію про стан: вузлів-сусідів, маршрутах та напрямках передачі, мережі (зони) та по сукупності показників визначає (ідентифікує) її стан [4, 9].

2. Стан мережі (визначається станом вузлів, каналів, напрямків, зони та всієї мережі, наявністю ресурсів) та динаміку його зміни.

3. Тип інформації (трафіка), який визначає вимоги до якості передачі (час передачі і джиттер, кількість помилок тощо).

Узагальнений алгоритм визначення цільових функцій управління системою управління кожного вузла наступний.

1. Вузол постійно аналізує свій стан та здійснює його ідентифікацію.

2. Вузол постійно збирає інформацію про стан мережі та здійснює ідентифікацію стану мережі (її зони). В умовах неможливості збору всієї інформації про стан мережі та її швидкого старіння системі (тобто неповної інформації про стан мережі) для здійснення

процесу ідентифікації пропонується використовувати апарат нечіткої логіки [2].

Табл. 1

Рівень OSI	Управляючий вплив вузла	Об'єкти управління	Основні параметри оптимізації
Фізичний	Потужність (спрямованість) передачі, вид модуляції, тип коригуючого коду, параметри МІМО тощо	Радіоканал: ТА-ТА, наземний вузол-наземний вузол, наземний вузол-ТА	Пропускна здатність, витрати енергії батарей, потужність передачі тощо
Канальний	MAC-алгоритми та їх параметри, розміри пакетів та квитанцій тощо	Радіоканали в межах радіозв'язності з зони	Пропускна здатність та час передачі в каналі, витрати енергії батарей, обсяг службової інформації тощо
Мережевий	Алгоритми маршрутизації, алгоритми управління чергами, алгоритми управління навантаженням, алгоритми управління топологією	Один або декілька маршрутів передачі (відповідно зона мережі або вся мережа), топологія, черги тощо	Обсяг службової інформації, параметри маршруту (час побудови та існування, кількість, пропускна здатність, час доставки, витрати енергії батарей тощо), топологія
Транспортний	Алгоритми обміну транспортного рівня	Напрямок зв'язку	Параметри якості передачі даних в напрямку
Додатків	Алгоритми (протоколи) інформаційного обміну прикладного рівня, координація та інтелектуалізація за рівнями OSI, зонам мережі, всієї мережі	Вузол, вузли-сусіди, зона мережі, вся мережа	Пропускна здатність, витрати енергії батарей, безпека передачі, час виконання завдання тощо

3. Система прийняття рішення вузла на основі ідентифікованих станів вузла, мережі та вимог до якості інформаційного обміну відносно інформації, яку має вузол на передачу (рис. 3):

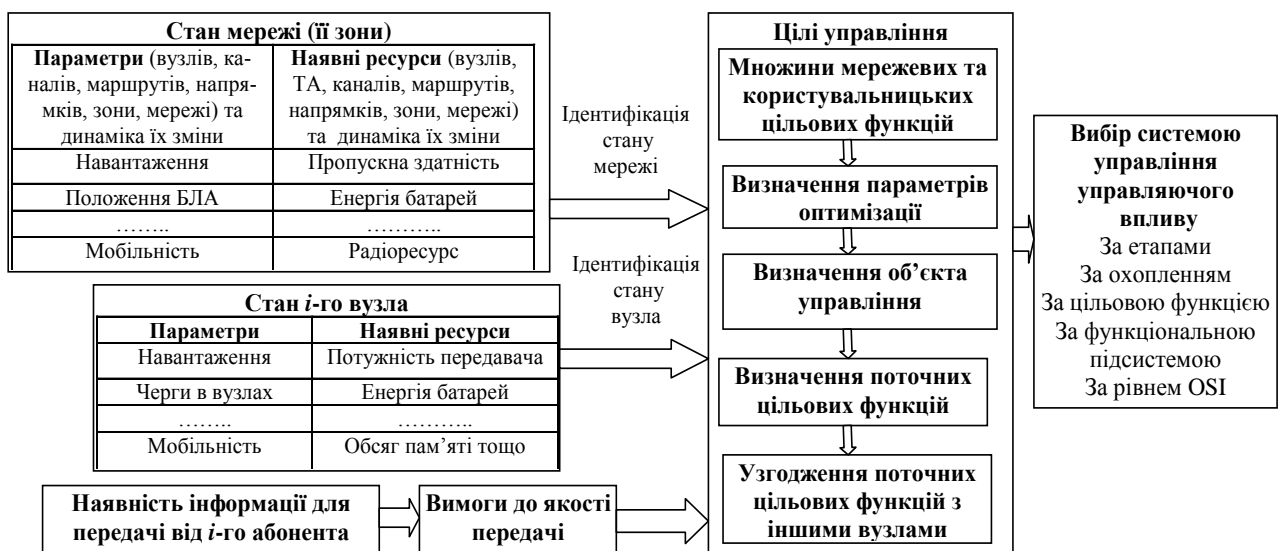


Рис. 3. Схема визначення цільових функцій системою управління

визначає поточну множини параметрів оптимізації – мережевих та користувальницьких;

визначає об'єкти управління (табл. 1);

визначає поточну цільову функцію (функції) управління –  $optC_i$ ;

узгоджує її зі вузлами-сусідами (якщо вузлі одного рангу) або нав'язує її підпорядкованим вузлам (якщо це центр управління мережею);

вибирає управляючий вплив за етапами, охопленням, функціональною підсистемою, рівнем OSI.

В [2] наведена взаємозалежність цілей, а також їх ієрархічний характер, проведена декомпозиція глобальної мети управління мережею по функціях, кожна з яких ділиться на завдання й реалізується по рівнях OSI. Мета – одержання вектора пріоритету елементів нижнього рівня ієрархії стосовно цілі – елементу першого рівня за допомогою методу аналізу ієрархій або методу згортки нечітких відносин.

Цільова структура (ЦС) управління МК:

$$ЦС \rightarrow H = \{C_1, R_{m(1)} \{C_{21}, C_{22}, \dots, C_{2m(2)}\}, R_{2m(2)} \{C_{31}, C_{32}, \dots, C_{3m(3)}\}, \dots, R_{km(k)} \{C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{km(k)}\}\},$$

де  $C_1$  – основна ціль системи управління,  $C_{im(i)}$  –  $m(i)$ -а підціль  $i$ -го рівня на цільовій структурі,  $i = 1 \dots k$ ,  $R$  – множина відносин на підцілі структури. Запропонована побудова ієрархії процесу вибору альтернатив та порівняння рішень на кожному рівні ієрархії на основі нормалізації отриманих оцінок альтернатив (застосовуючи процедуру зважування методу аналізу ієрархій або метод згортки нечітких відносин).

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

Таким чином проведена класифікація цільових функцій управління тактичних радіомереж з телекомунікаційними аероплатформами. Запропонований новий підхід до формування цільових функцій управління в цих радіомережах: кожен вузол визначає в часі поточну цільову функцію в залежності від типу трафіку, ситуації, що склалася на мережі та наявних мережевих ресурсів. Завдання прийняття рішення щодо вибору цільової функції управління радіомережі зведена до ієрархічного цільового оцінювання альтернатив.

Запропонована схема формування цільових функцій управління може бути використана при побудові математичного забезпечення управління мережами радіозв'язку з ТА.

#### Література

1. Романюк В.А. Мережі MANET – основа побудови тактичних мереж зв'язку // IV Науково-практичний семінар ВІТІ “Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2007. – С. 15 – 28.
2. Самоорганізуючіся радіосети со сверхширокополосными сигналами / [С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк]. – К.: НПП „Издательство „Наукова думка” НАН Украины”. – 444 с.: ил.
3. Bekmezci I., Sahingo O, Temel S. Flying. Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey // Ad Hoc Networks, 05/2013; 11(3):1254 – 1270.
4. Минович А.И., Романюк В.А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
5. Olascuaga-Cabrera J.G., Lopez-Mellado E., Mendez-Vazquez. A multi-objective PSO strategy for energy-efficient ad-hoc networking // IEEE Cybernetics Systems, Man (SMC) Conference, 2011.
6. Babaei H., Romoozi M. Multi Objective AODV Based On a Realistic Mobility Model // IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 7, Issue 3, No 3, May 2010.
7. Banner R., Orda A. Multi-Objective Topology Control in Wireless Networks // In Proc. IEEE INFOCOM, 2008.
8. Selvi R., Rajaram R. Multiple-objective optimization of multimedia packet scheduling for ad hoc networks through hybridized genetic algorithm // The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA), Vol.3, No.3, August 2011.
9. Романюк В.А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами // Збірник наукових праць. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2012. – №1. – С. 109 – 117.