

АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТАКТИЧНИМИ РАДІОМЕРЕЖАМИ

Запропонована нова архітектура побудови системи управління мережами типу MANET, яка пропонує введення інтелектуальної надбудови та забезпечує координацію взаємодії рівнів OSI за функціями та задачами управління мережею.

Предложена новая архитектура построения системы управления сетями типа MANET, предполагающая введения интеллектуальной настройки и обеспечивающей координацию взаимодействия уровней OSI по функциям и задачам управления сетью.

The new architecture control system of MANET, assuming introductions of intellectual adjustment and providing coordination of interaction of levels OSI on functions and problems of management of a network is offered.

Ключові слова: архітектура, система управління, тактичні радіомережі.

Перспективна архітектура мобільної компоненти (МК) мереж зв'язку тактичної ланки управління буде неоднорідною, ієрархічною та складатиметься з трьох основних рівнів (рис. 1): 1-й – мобільні радіомережі низової ланки управління (бойові радіомережі); 2-й – мережі мобільних базових станцій (МБС), що утворюють опорну транспортну мережу; 3-й – повітряна (космічна) мережа, яка може бути реалізована на безпілотних літальних апаратах та (або) супутниках [1]. Додатковий нульовий рівень можуть утворювати сенсорні мережі (мережі телеметрії). Створення кожного рівня мобільної компоненти передбачає поліпшення показників якості функціонування всієї системи зв'язку. Кожен рівень буде являти собою мобільну радіомережу (MP) або MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) [2].

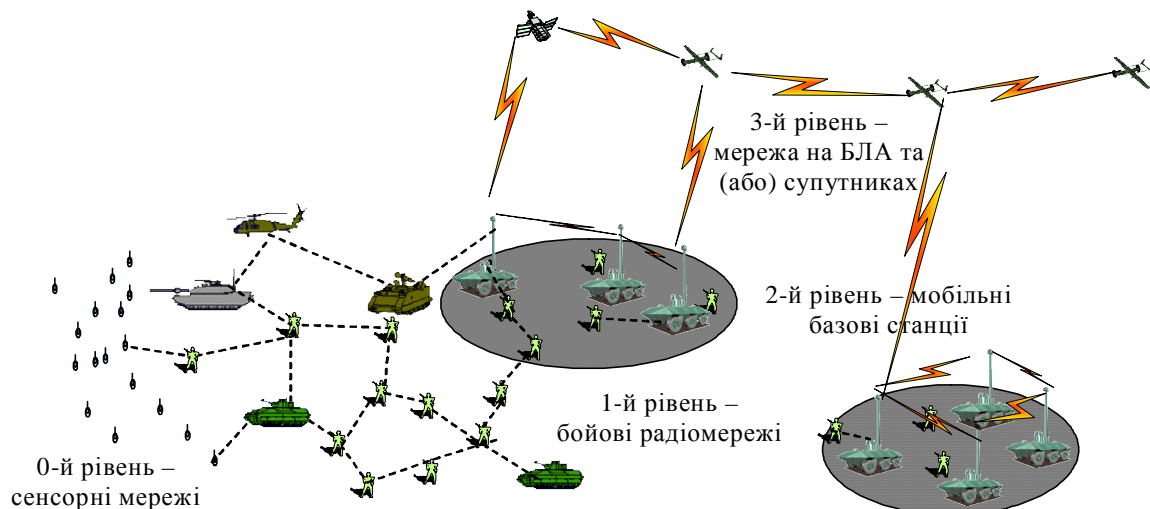


Рис. 1. Перспективна архітектура мобільної компоненти

До основних особливостей функціонування цих мереж можна віднести: динамічну топологію (внаслідок переміщення вузлів, їх знищення та відмов, а також впливу на радіоканали навмисних завад супротивника), колективне використання радіоресурсу, нестабільність радіоканалів та наявність взаємних перешкод, обмеженість та неоднорідність ресурсів вузлів (пам'ять, продуктивність процесора, енергія батареї, мобільність тощо), обмежену безпеку через ширококомовну природу радіоканалу та ін. В таких умовах забезпечити інформаційний обмін із заданою якістю неможливо без ефективної системи оперативного управління (СОУ) МК, до якої пред'являються наступні основні вимоги: децентралізованість функціонування; виконання умов обслуговування різних типів трафіка за напрямками передачі (виконання користувальницької оптимізації); мінімізація службового

трафіка, максимізація пропускної здатності зони мережі та інше (тобто виконання мережевої або зонової оптимізації) [3, 4].

Існуючі сучасні технології управління телекомунікаційними мережами [5] розраховані на статичні або квазістатичні умови їх функціонування та не враховують особливості мобільної компоненти. Наприклад, технологія TMN (Telecommunication Management Networks, яка представлена в рекомендації ITU-TM.3010) є централізованою, для управління телекомунікаційною мережею застосовується виділена мережа управління, що 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 [4].

Метою статті є розгляд нової архітектури побудови системи оперативного управління МК, яка передбачає координацію та інтеграцію рівнів еталонної моделі взаємодії відкритих систем (OSI) за цілями і функціями управління та інтелектуалізацію процесів прийняття рішення. В [4] визначено, що СОУ повинна будуватися за рівнями МК, рівнями OSI та функціями управління МК (рис. 2).

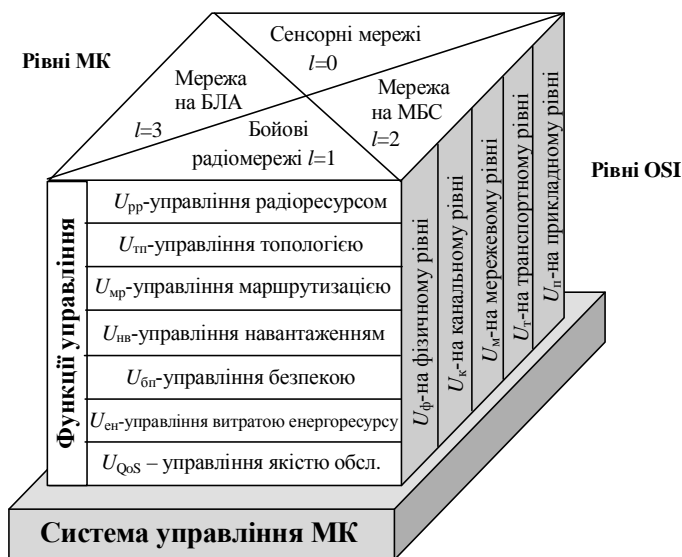


Рис. 2. Рівні та функції системи оперативного управління МК

В [4] також проведена класифікація задач, етапів оперативного управління та запропонована функціональна модель СОУ (рис. 3).

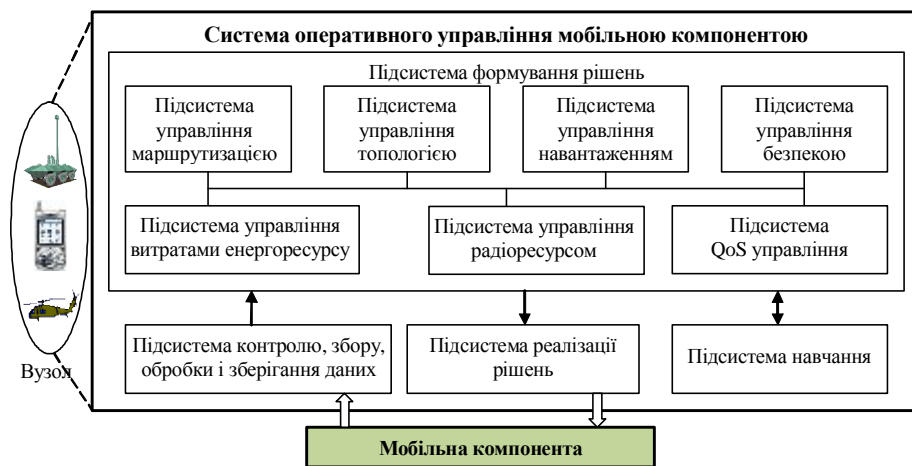


Рис. 3. Функціональна модель системи оперативного управління МК

Існуючі підходи до проектування телекомунікаційних мереж зв'язку припускають незалежність функцій управління за рівнями (рис. 4) OSI [5]. Так стік протоколів кожного рівня працює незалежно (рис. 4а). 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) [6].

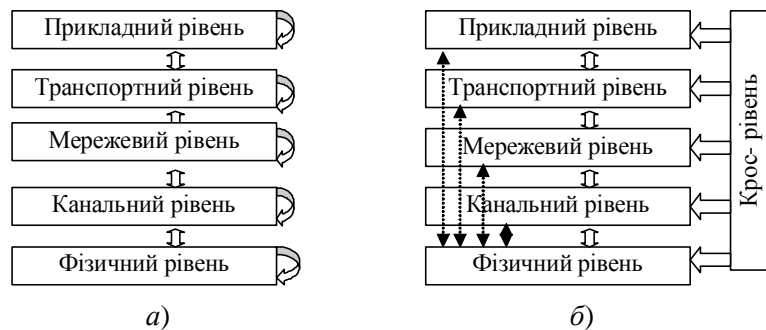


Рис. 4. Архітектура OSI (а) та координаційна (cross-level) архітектура (б)

При цьому необхідно відмитими, що досягання глобальної оптимізації при оперативному управлінні для певного рівня або всієї МК 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) за рівнями МК [3].

Крім цього, проведені дослідження показують відсутність єдиного методу управління мережею, що забезпечує оптимізацію мережевих показників на кожному з рівнів OSI [7 – 9]. Так, наприклад, на мережевому рівні моделі OSI: зондові методи маршрутизації ефективні при низькому рівні трафіка та високої мобільності вузлів; табличні методи – при низькій мобільності та значному навантаженню [8]. Методи управління доступом канального рівня OSI також мають свої границі ефективного застосування [7]. Крім цього, для зменшення службового трафіка виникає доцільність використання одним рівнем OSI службової інформації отриманої на іншому з рівнів. Наприклад, якщо існуючі маршрути (мережевий рівень OSI) не відповідають вимогам по швидкості передачі інформації, то їх можна не перебудовувати (тобто не витратити ресурси мережі на побудову нових маршрутів), а здійснити адаптацію швидкості та затримки передачі пакетів при відповідній можливості прикладного рівня OSI.

Тобто виникає задача координації та інтеграції рівнів еталонної моделі OSI.

Основні труднощі інтеграції – це визначення необхідних параметрів, які будуть використовуватися між рівнями OSI (рис. 4б) та визначення методів прийняття рішення за рівнями OSI та функціями управління, які дозволять отримати користувальницьку та (або) мережеву, зону оптимізацію [3].

На рис. 5 наведений приклад взаємодії рівнів OSI при передачі відеотрафіка з метою максимізації пропускної здатності при змінних канальних умовах [6]. На фізичному рівні, використовуючи адаптивні методи передачі, максимізується продуктивність каналу при різних умовах його функціонування. Це дозволяє збільшити продуктивність зони мережі (кожний вузол мережі може індивідуально встановлювати різну продуктивність каналів). Ґрунтуючись на інформації про стан каналів, протокол канального рівня призначає слоти, коди або частоти для кожного напрямку зв'язку. Канальний рівень, працюючи разом з мережевим рівнем, установлює множину маршрутів та розподіляє потоки для запобігання перевантаження. Знаходження загального оптимального рішення для призначення

пропускної здатності потоків поширюється на інші рівні OSI. Транспортний рівень оптимізує планування темпу передачі. На закінчення, прикладний рівень визначає найбільше методи ефективного стиску даних.

Розглянемо більш детально можливі варіанти параметрів координації.

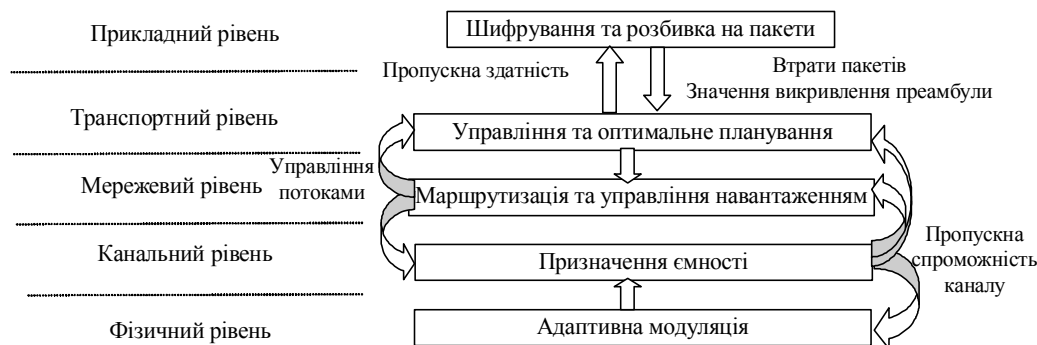


Рис. 5. Фрагмент координації рівнів OSI для зменшення затримки при передачі відеотрафіка

Наприклад, *фізичний рівень* може характеризуватися наступним набором параметрів, що визначають якість каналу: співвідношення сигнал/шум (SINR, signal-to-interference-plus-noise ratio), імовірність бітової помилки (BER, bit error rate), підтримувана швидкість передачі. Аналогічно мережевий і канальний рівень також характеризуються швидкістю передачі та прийнятною ємністю каналу.

Канальний рівень. На пропускну здатність радіоканалу впливає згасання, багатопроменеве поширення та взаємні перешкоди. Застосування адаптивної модуляції дозволяє поліпшити швидкість передачі даних за допомогою адаптації значень різних параметрів при змінних умовах радіоканалу. Дані параметри можуть включати модуляцію, кодування, потужність передачі, задану величину BER, символну швидкість та комбінацію цих параметрів.

Наприклад, в [6] розглядається два можливих способи адаптації для підвищення пропускної здатності каналу: адаптація довжини пакета, обумовлена поточним значенням SINR і іншими параметрів каналу для оптимізації його пропускної здатності; оптимізація символної швидкості та розмірності сузір'я при фіксованій довжині пакета.

Мережевий рівень повинен побудувати маршрути передачі заданої якості та здійснювати їх підтримку. Однак більшість запропонованих методів маршрутизації досягають своєї ефективності при певних умовах функціонування мережі. Тому авторами запропонований новий інтелектуальний метод маршрутизації [9]. Суть методу полягає у ранжируванні цілей управління мережею в залежності від вимог до передачі певного типу трафіка та стану напрямку $a - b$ з метою забезпечення заданої якості обслуговування певних типів трафіка при різних умовах функціонування МР (рис. 6). Метод функціонує на етапах побудови та підтримки маршрутів. На відміну від існуючих методів зондової маршрутизації, розроблений метод маршрутизації передбачає: введення ієрархії процесу прийняття рішення з пошуку маршруту заданої якості (етапи: вибір цільової функції управління маршрутами, типу маршрутизації, кількості маршрутів та способу зондування в мережі); інтелектуалізацію процесу прийняття рішень з вибору маршрутів передачі даних на основі використання апарата нечіткої логіки. Метод дозволяє скоротити об'єм службового трафіка на 20 – 30 % (завдяки врахуванню стану інформаційного напрямку та вимог до передачі різних типів трафіка).

Управління топологією. 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 терміналу”), тем самим зменшує (підвищує) пропускну здатність радіоканалів зони та потребує більших (менших) витрат енергії батареї.

Задача пошуку топології мережі відноситься до класу NP-повних, тому для отримання рішення в реальному часі запропонована база правил продукційного типу, яка дозволяє приймати близькі до оптимальних рішення в реальному масштабі часу [10].

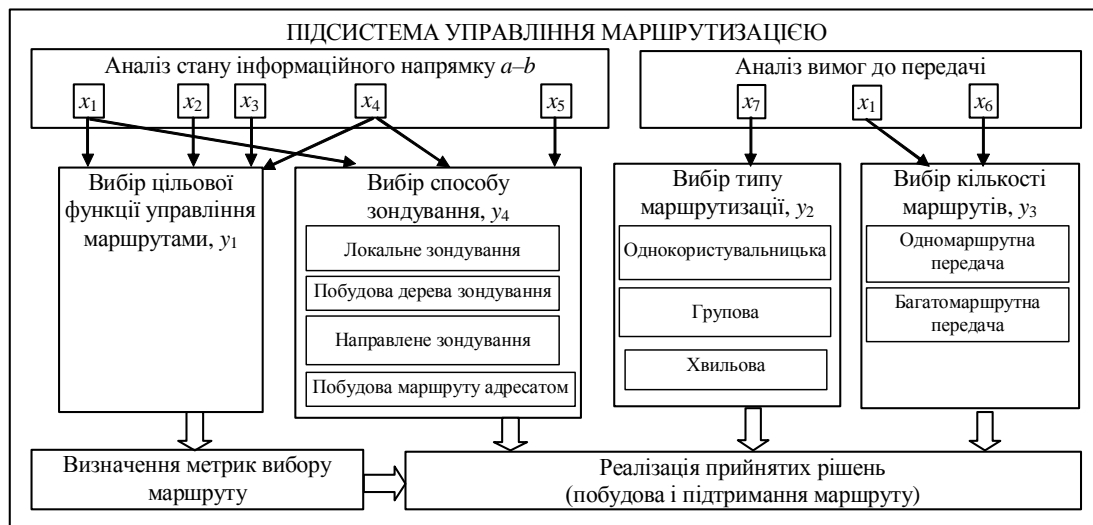


Рис. 6. Ієрархія прийняття рішень з побудови маршруту заданої якості (параметри стану напрямку $a - b$: x_1 – тип трафіка; x_2 – об’єм інформації; x_3 – залишкова ємність батарей; x_4 – розмір черг в проміжних вузлах; x_5 – мобільність; x_6 – забезпечення безпеки інформації; x_7 – кількість адресатів)

Класифікація правил наведена в [10]. Кожна група правил призначена для здійснення користувальницької або системної оптимізації. Для усунення конфліктів серед правил запропоновані метаправила. Рішення з управління топологією можуть прийматися як кожним вузлом так і центром управління мережею або її зоною.

Транспортний рівень. Більшість відомих методів управління навантаженням на транспортному рівні реалізує „вікно перевантаження”. Авторами [11] запропоновано застосувати апарат нечіткої логіки за встановлення розміру „вікно перевантаження”. Суть методу полягає в управлінні швидкістю передачі у вузлах шляхом вибору необхідного розміру вікна перевантаження в залежності від стану інформаційного напрямку між вузлами a та b , з метою реалізації користувальницької оптимізації. Новизна полягає в застосуванні множини різнорідних параметрів оцінки стану інформаційного напрямку $x_1 \dots x_6$ для прийняття рішення про розмір вікна перевантаження з використанням бази знань, побудованої на експертних даних. Метод дозволяє: скоротити об’єм службового трафіка на 20 – 25%, шляхом встановлення нульового розміру вікна; попередити перевантаження напрямку передачі шляхом завчасного скорочення розміру вікна перевантаження; збільшити пропускну спроможність інформаційного напрямку на 15 – 25 % в залежності від швидкості переміщення вузлів, вхідного навантаження та кількості ретрансляцій.

Прикладний рівень (міжрівнева інтеграція). Для цього пропонується нова парадигма побудови системи управління – ввести базу методів управління та інтелектуальну надбудову над нею (систему прийняття рішень з управління), що координує функціонування множини методів управління по рівнях OSI з метою оптимізації показників функціонування мережі (рис. 7). База методів управління $\{MU\} = \{MU_{\phi}, MU_{\kappa}, MU_{\mu}, MU_{\tau}, MU_{\pi}\}$ містить множину методів управління для кожного рівня OSI. Система прийняття рішень складається з бази знань (містить знання про об’єкт управління, знання про цілях функціонування та управління, знання про способи досягнення цілей), бази дані управління, блока логічного

висновку (БЛВ) і моделей ресурсів мережі [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.

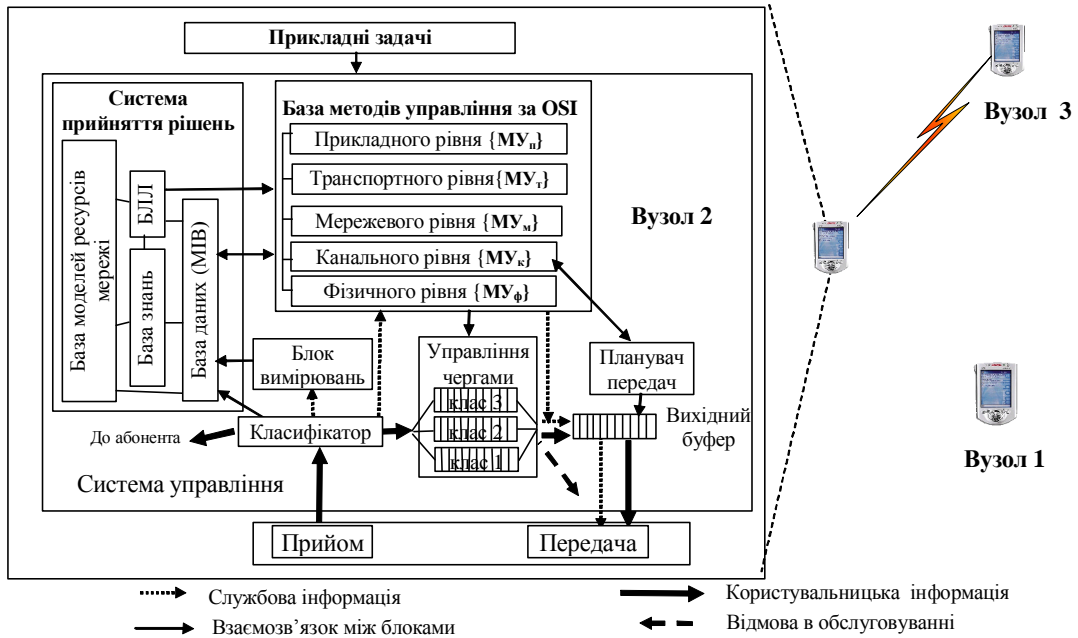


Рис. 7. Архітектура інтелектуальної системи управління вузла мережі

В умовах децентралізованого управління кожний вузол буде реалізовувати дві взаємозалежні групи цілей: користувальницькі цілі (досягнення заданої якості передачі за напрямком) і мережеві (зонаві) мети (оптимізація мережних або зонавих показників ефективності). Завдання ухвалення рішення по управлінню МК (вибір $MU_i^j \forall i$ -х рівнів) зведена до завдання ієрархічного цільового динамічного оцінювання альтернатив при нечітких вихідних даних. Проведено декомпозицію глобальної мети управління мережею по функціях, кожна з яких ділиться на завдання й реалізується по рівнях OSI [12] (рис. 8).

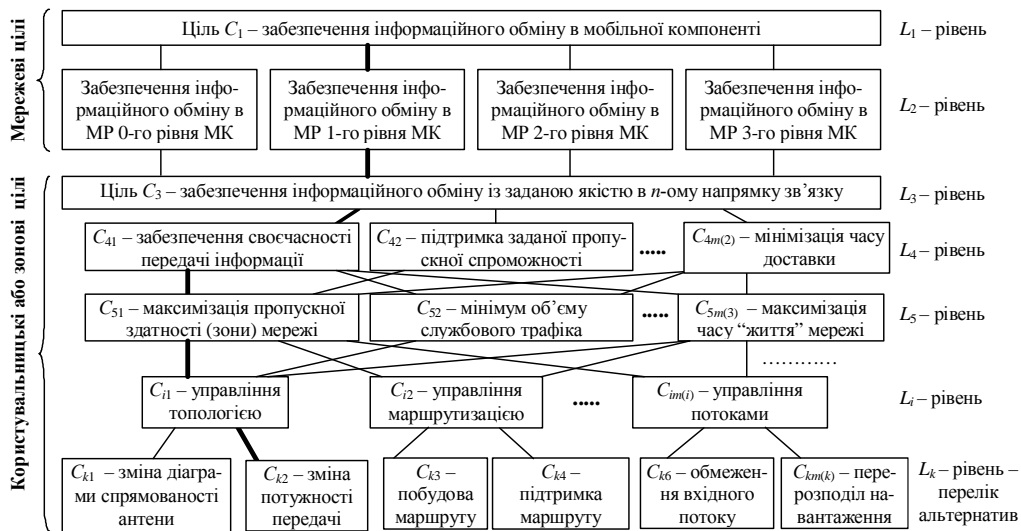


Рис. 8. Домінантна ієрархія процесу ухвалення рішення з управління МК

Запропоновано базу методів управління $\{MU\}$ для мереж тактичного рівня [13]. 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 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).

Таким чином для виконання вимог до якості інформаційного обміну в мобільних радіомережах за напрямками зв'язку та зменшення службового трафіку в мережі пропонується нова архітектура системи оперативного управління, яка включає:

1. Введення координат взаємодії між рівнями МК та OSI за функціями управління.
2. Введення на кожному рівні OSI множини (визначену на етапі проектування) методів (протоколів) обміну, кожний з яких ефективний при певних умовах функціонування мережі.
3. Інтелектуалізацію процесу прийняття рішення по вибору ефективного методу управління на кожному рівні OSI в залежності від стану (умов функціонування) мережі або напрямку та вимог типу трафіка.

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. 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. http://viti.kpi.ua/Articles/rva/rva_2005_01.pdf.
4. 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. http://viti.kpi.ua/Articles/rva/rva_2005_11.pdf.
5. Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. – М.: НТИЦ “Мобильные коммуникации”, 2003.
6. Setton E., Yoo T., Zhu X., Gogdsmith A., Girod B. Cross-Layer Design of Ad-Hoc Networks for Real-Time Video Streaming // IEEE Wireless Communications, August 2005. – pp. 60 – 65.
7. Миночкин А.И., Романюк В.А. Методы множественного доступа в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2004. – № 2. – С. 46 – 50. http://viti.kpi.ua/Articles/rva/rva_2004_46.pdf.
8. Миночкин А.И., Романюк В.А. Маршрутизация в мобильных радиосетях – проблема и пути решения // Зв'язок. – 2006. – № 7. – С. 49 – 55. http://viti.kpi.ua/Articles/rva/rva_2006_07_67.pdf.
9. Міночкін А.І., Романюк В.А., Сова О.Я. Інтелектуальний метод маршрутизації в мобільних радіомережах // Збірник наукових праць № 1. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2009. – № 1. – С. 88 – 97. http://viti.kpi.ua/Articles/rva/rva_2009_01.pdf.
10. Миночкин А.И., Романюк В.А. Управление топологией мобильной радиосети // Зв'язок. – 2003. – № 2. – С. 28 – 33. http://viti.kpi.ua/Articles/rva/rva_2003_02_40.pdf.
11. Міночкін А.І., Романюк В.А., Сова О.Я. Багатопараметрична модель управління навантаженням в мережах MANET на основі нечіткої логіки // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2007. – № 2. – С. 137 – 149.
12. Міночкін А.І., Романюк В.А. Методи прийняття рішень системою управління мобільною радіомережею // Збірник наукових праць № 1. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2006. – С. 66 – 71.

13. *A. Minochkin, V. Romanyuk. Control System of Mobile Ad-hoc Networks// In Proc. of International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2008. – pp. 414 – 415. http://viti.kpi.ua/Articles/rva/rva_2008_02.pdf.*