

КООРДИНАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ РІВНІВ OSI – НОВА ПАРАДІГМА УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ РАДІОМЕРЕЖАМИ

Розглядається динамічна архітектура побудови мобільних радіомереж (MP) або MANET (Mobile Ad-Hoc Networks), що припускає відсутність базових станцій і фіксованих маршрутів передачі інформації. Вузли мобільні, повинні швидко адаптуватися до частих змін топології мережі та ефективно використати обмежені мережні ресурси [1].

Перспективна архітектура мобільна компонента (МК) тактичної ланки управління буде неоднорідною, ієрархічною та складатиметься з трьох основних рівнів: 1-й – мобільні радіомережі низової ланки управління (бойові радіомережі); 2-й – мережі мобільних базових станцій (МБС), що утворять опорну мережу; 3-й – повітряна мережа, яка може бути реалізована на безпілотних літальних апаратах [2]. 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 мережу типу MANET.

До основних особливостей цих мереж можна віднести: динамічну топологію, колективне використання радіоресурсу, нестабільність радіоканалів та наявність перешкод, обмеженість та неоднорідність ресурсів вузлів (пам'ять, продуктивність процесора, енергія батареї, мобільність), обмежену безпеку через широкомовну природу радіоканалу та ін. В таких умовах забезпечити інформаційний обмін із заданою якістю неможливо без ефективної системи управління мережею (СУМ), 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 (виконання мережевої або зонової оптимізації [3]).

Існуючі підходи до проектування телекомунікаційних мереж зв'язку припускають незалежність функцій управління за рівнями (рис. 1) еталонної моделі взаємодії відкритих систем (OSI) [4]. Тут стік протоколів кожного рівня працює незалежно (рис. 1а). 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) [5].

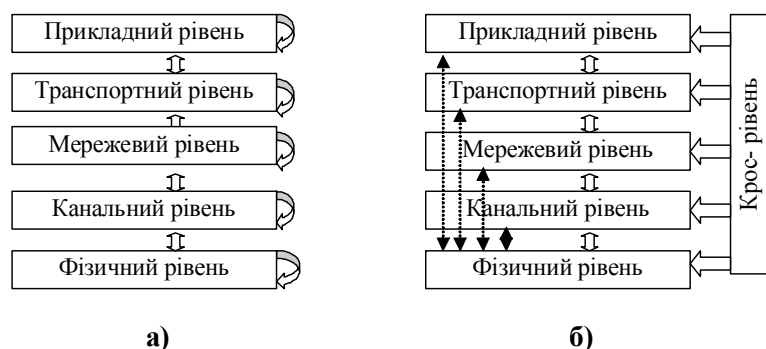


Рис. 1. Архітектура OSI (а) та координаційна (cross-level) архітектура (б)

При цьому необхідно відмітити, що досягання глобальної оптимізації при оперативному управлінні для всієї мобільної радіомережі неможливо внаслідок неможливості побудови відповідної моделі її функціонування, а також (що саме важливе)

неможливістю зібрати в реальному часі інформацію про стан мережі. Тому доцільно говорити про користувальницьку оптимізацію (задоволення користувальницьких вимог) між парами відправник-адресат при мінімізації витрат мережевих ресурсів (наприклад, мінімізація службового трафіка) [3].

Крім цього, проведені дослідження показують відсутність єдиного методу управління мережею, що забезпечує оптимізацію мережних показників на кожному з рівнів OSI [6 – 8]. Так, наприклад, на мережевому рівні моделі OSI: зондові методи маршрутизації ефективні при низькому трафіку та високої мобільності вузлів; табличні методи – при низькій мобільності й значному навантаженню [6]. Методи управління доступом каналного рівня OSI також мають свої границі ефективного застосування [7]. Крім цього, для зменшення службового трафіка виникає необхідність 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 перебудувати (тобто не витратити ресурси мережі на побудову нових маршрутів), а здійснити адаптацію швидкості та затримки передачі пакетів при відповідній можливості прикладного рівня OSI.

Метою доповіді є розгляд нової парадигми побудови системи керування МР, яка передбачає координацію та інтеграцію рівнів еталонної моделі OSI по цілях і функціях управління та інтелектуалізацію процесів прийняття рішення.

Основні труднощі інтеграції – це визначення необхідних параметрів, які будуть використатися між рівнями OSI (рис. 16) та визначення методів прийняття рішення за рівнями OSI та функціями управління, які дозволять отримати користувальницьку та (або) мережеву, зонову оптимізацію [3].

На рис. 2 наведений приклад взаємодії рівнів OSI при передачі відеотрафіка з метою максимізації пропускної здатності при змінних каналних умовах [5]. На фізичному рівні, використовуючи адаптивну 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 каналного 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.

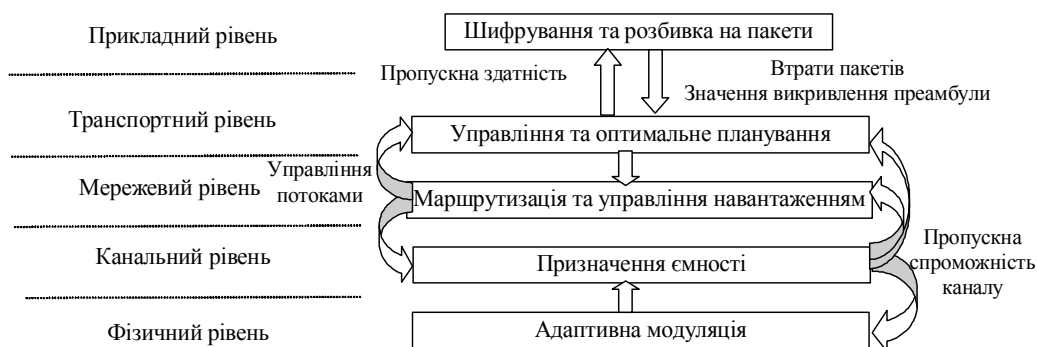


Рис. 2. Фрагмент координації рівнів OSI для зменшення затримки при передачі відеотрафіка

Розглянемо більш детально можливі варіанти параметрів координації.

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 каналний рівень також характеризуються швидкістю передачі та прийнятною ємністю каналу.

Канальний рівень. На пропускну здатність радіоканалу впливає затухання, багатопрореневе 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.

В [5] розглядається два можливих способи адаптації для підвищення пропускну здатності каналу:

1. Адаптація довжини пакета, обумовлена поточним значенням SINR і іншими параметрів каналу для оптимізації його пропускну здатності.

2. Оптимізація символної швидкості та розмірності сузір'я при фіксованій довжині пакета.

Очевидно, що при збільшенні розміру пакета збільшується ймовірність його одержання з помилкою, тому пропускну здатність обмежується числом повторних передач. З іншого боку, малий розмір пакета приводить до збільшення частки службової інформації в загальному обсязі переданої інформації.

Оптимальна довжина пакета визначається виразом [5]

$$L = \frac{H}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{H^2 - \frac{4bH}{\ln(1-P_e)}}$$

де H – розмір заголовка пакета, b – кількість біт на символ, P_e – імовірність помилки символу, що залежить від типу модуляції та SINR. Загальні оптимальні довжина пакета та каналних параметрів визначаються виходячи з наступних правил.

Зона з високим рівнем SINR – коли затухання високе, максимальна символна величина визначається відповідним розміром сузір'я, відповідно, оптимальна довжина пакета збільшується з поліпшенням якості каналу.

Зона з низьким рівнем SINR – величина помилки може додатково зменшуватися з передачами. Відповідно одне рішення – використати більший фактор кодування.

Після вибору оптимальних параметрів пропускну здатність межу двома вузлами визначається виразом

$$S = W \log_2(1 + SINR / \Gamma),$$

де W – смуга каналу, Γ – параметр, обумовлений при проектуванні каналу.

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 [8]. 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. Метод функціонує на етапах побудови та підтримання маршрутів. На відміну від існуючих методів зондової маршрутизації, розроблений метод маршрутизації передбачає (рис. 3): введення ієрархії процесу прийняття рішення з пошуку маршруту заданої якості, яка включає наступні 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).

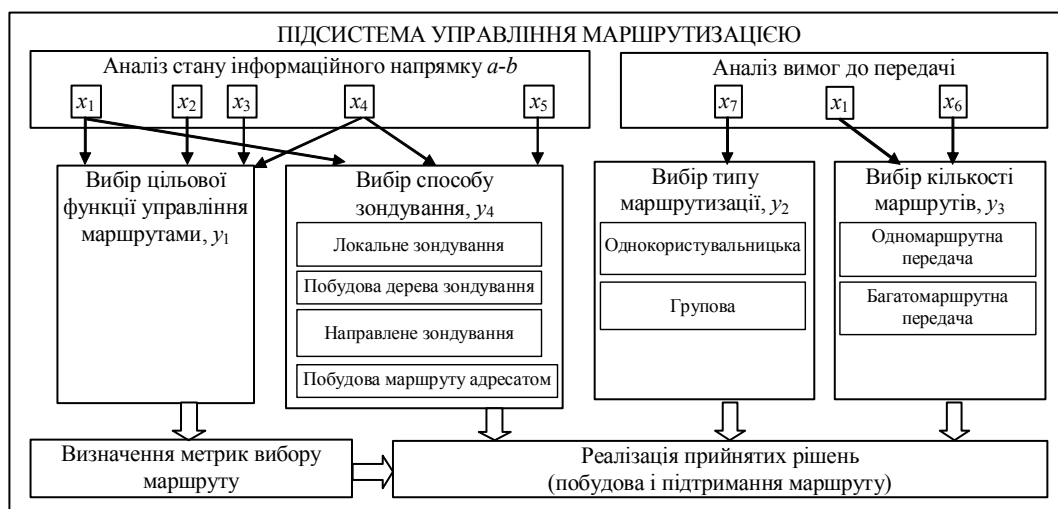


Рис. 3. Ієрархія прийняття рішень з побудови маршруту заданої якості (параметри стану напрямку a – b : x_1 – тип трафіка; x_2 – об’єм інформації; x_3 – залишкова ємність батарей; x_4 – розмір черг в проміжних вузлах; x_5 – мобільність мережі; x_6 – забезпечення безпеки інформації; x_7 – кількість адресатів)

Управління топологією. Пропонується введення додаткового підрівня мережевого рівня моделі OSI для управління топологією мережі за рахунок зміни потужності передачі та (або) діаграми спрямованості антени. Збільшення потужності передачі збільшує кількість „сусідніх” вузлів, однак розширює зону взаємних завад (проблема „прихованого терміналу”), тем самим зменшує пропускну здатність радіоканалів зони та потребує більших витрат енергії батареї.

Задача пошуку топології відноситься до класу NP -повних, тому для отримання рішення в реальному часі запропонована база знань продукційного типу, яка дозволяє приймати близькі до оптимальних рішення [9].

Класифікація правил наведена в [9]. Кожна група правил призначена для здійснення користувальницької або системної оптимізації. Для усунення конфліктів серед правил запропоновані мета правила. Рішення по управлінню топологією можуть прийматися як кожним вузлом так і центром управління зоною мережі.

Транспортний рівень. Більшість відомих методів управління навантаженням на транспортному рівні реалізує „вікно перевантаження”. Авторами запропоновано застосувати апарат нечіткої логіки за встановлення розміру „вікно перевантаження” [10]. 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 різномірних 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 по управлінню), що координує функціонування множини методів управління по рівнях OSI з метою оптимізації показників функціонування мережі (рис. 4). 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, блоку логічного висновку (БЛВ) і моделей ресурсів мережі [11].

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. 4. Архітектура інтелектуальної системи управління вузла мережі

В умовах децентралізованого керування кожний вузол буде реалізовувати дві взаємозалежні групи цілей: користувальницькі цілі (досягнення заданої якості передачі) і мережеві (зонові) мети (оптимізація мережних або зонових 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 [11] (рис. 5).

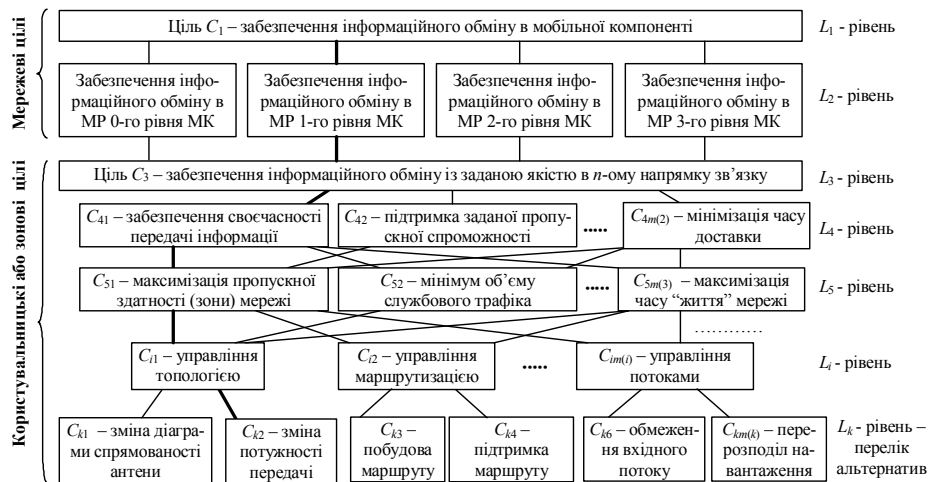


Рис. 5. Домінантна ієрархія процесу ухвалення рішення з управління МК

Запропоновано базу методів керування $\{MU\}$ для мереж тактичного рівня [12]. 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:
 $ЦС \rightarrow H = \{C_1, R_{1m(1)} \{C_{21}, C_{22}, \dots, C_{2m(2)}\}, R_{2m(2)} \{C_{31}, C_{32}, \dots, C_{3m(3)}\}, \dots, R_{km(k)} \{C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{km(k)}\}\}$, 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 на напрямках зв'язку та зменшення службового трафіку в мережі пропонується:

1. Ввести координацію взаємодії між рівнями OSI за функціями управління.
2. На кожному рівні OSI ввести множину методів (протоколів) обміну, кожний з яких ефективний при певних умовах функціонування мережі.
3. Інтелектуалізувати процес прийняття рішення по вибору ефективного метода управління на кожному рівні OSI в залежності від стану (умов функціонування) мережі або напрямку та вимог типу трафіка.

ЛІТЕАТУРА

1. Романюк В.А. Мобильные радиосети – перспективы беспроводных технологий // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 12. – С. 62 – 68.
2. 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.
3. Минович А.И., Романюк В.А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
4. Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. – М.: НТЦ „Мобильные коммуникации”, 2003. – 384 с.
5. 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.
6. Минович А.И., Романюк В.А. Методы множественного доступа в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2004. – № 2. – С. 46 – 50.
7. Минович А.И., Романюк В.А. Маршрутизация в мобильных радиосетях – проблема и пути решения // Зв'язок. – 2006. – № 7. – С. 49 – 55.
8. 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.
9. Минович А.И., Романюк В.А. Управление топологией мобильной радиосети // Зв'язок. – 2003. – № 2. – С. 28 – 33.
10. 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.
11. 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.
12. 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), Lviv, 2008. – pp. 414 – 415.