

МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПО УПРАВЛІННЮ ПОВІТРЯНОЮ МЕРЕЖЕЮ

Модель прийняття рішень з управління повітряною мережею. Перспективні мережі 5-го покоління розглядають можливість застосування телекомунікаційних аероплатформ в якості додаткової повітряної мережі мобільних базових станцій. Повітряна мережа може бути використана для організації оперативної високошвидкісної транспортної мережі з наземними абонентами при виконанні бойових завдань. У статті розглядається задача побудови системи управління наземно-повітряними мережами і розробки моделі прийняття рішень цією системою управління по забезпеченню інформаційного обміну заданої якості.

Запропоновано функціональну модель системи управління наземно-повітряними мережами у вигляді ієрархії взаємодії центру управління, систем управління телекомунікаційними аероплатформами, систем управління наземними вузлами.

Проведено класифікацію задач управління повітряними мережами, визначено множину цільових функцій управління мережами. Розглянуто особливості побудови моделі прийняття рішень з управління мережею телекомунікаційних аероплатформ.

Запропоновано новий підхід щодо формування цільових функцій управління: система управління динамічно визначає цільову функцію в залежності від типу трафіку, ситуації на мережі та наявних мережевих ресурсів. Завдання на вибір об'єкта реалізації цільової функції зведено до задачі ієрархічного оцінювання альтернатив. Запропонована схема формування цільових функцій і механізму пошуку рішення можуть бути використані при створенні програмного забезпечення системи управління повітряними мережами.

Ключові слова: телекомунікаційна аероплатформа, система управління, наземно-повітряні мережі, цільові функції управління, прийняття рішень.

Романюк В.А., Степаненко Е.А. Модель принятия решений по управлению воздушной сетью. Перспективные сети 5-го поколения рассматривают возможность применения телекоммуникационных аэроплатформ в качестве дополнительной воздушной сети мобильных базовых станций. Воздушная сеть может быть использована для организации оперативной высокоскоростной транспортной сети с наземными абонентами при выполнении боевых задач. В статье рассматривается задача построения системы управления наземно-воздушными сетями и разработки модели принятия решений данной системой управления по обеспечению информационного обмена заданного качества.

Предложена функциональная модель системы управления наземно-воздушными сетями в виде иерархии взаимодействия центра управления, систем управления телекоммуникационными аэроплатформами, систем управления наземными узлами.

Проведена классификация задач управления воздушными сетями, определено множество целевых функций управления сетями. Рассмотрены особенности построения модели принятия решений по управлению сетью телекоммуникационных аэроплатформ.

Предложен новый подход по формированию целевых функций управления: система управления динамически определяет целевую функцию в зависимости от типа трафика, ситуации на сети и имеющихся сетевых ресурсов. Задание по выбору объекта реализации целевой функции сведено к задаче иерархического оценивания альтернатив. Предложенная схема формирования целевых функций и механизма поиска решения могут быть использованы при создании программного обеспечения системы управления воздушными сетями.

Ключевые слова: телекоммуникационная аэроплатформа, система управления, наземно-воздушные сети, целевые функции управления, принятие решений.

V.Romanyuk, E.Stepanenko Decision model for air network management. 5th generation promising networks are considering the use of telecommunication airport platforms as an additional air network of mobile base stations. The air network can be used to organize an operational high-speed transport network with ground subscribers when performing combat missions. The article discusses the task of constructing a control system for ground-air networks and developing a decision-making model for this management system to provide information shallows of a given quality.

A functional model of the control system for ground-air networks is proposed in the form of a hierarchy of interaction between the control center, control systems for telecommunication air platforms, and control systems for ground nodes.

The classification of air network control tasks has been carried out, many target network management functions have been defined. The features of building a decision-making model for managing a network of telecommunication airport platforms are considered.

A new approach to the formation of target control functions is proposed: the control system dynamically determines the target function depending on the type of traffic, the situation on the network and available network resources. The task of choosing an object for implementing the objective function is reduced to the task of hierarchical

evaluation of alternatives. The proposed scheme for the formation of target functions and a solution search mechanism can be used to create software for an air network management system.

Key words: *telecommunication aeroplatform, control system, ground-air networks, target control functions, decision making.*

Постановка завдання. При реалізації мобільних радіомереж 5-го покоління досліджується ідея використання групи недорогих міні або мікро БпЛА для завдань з організації зв'язку в якості телекомунікаційних аероплатформ (ТА). Оснащення БпЛА декількома радіозасобами з функціями маршрутизатора (з використанням сучасних бездротових технологій передачі даних, наприклад, Wi-Fi, WiMAX, LTE) та відповідними системами управління ними, здатними здійснити колективне виконання завдання БпЛА, призвело до появи самоорганізуючих повітряних мереж (ПМ) зв'язку [1]. ПМ можуть бути застосовані для забезпечення оперативного зв'язку у районі виконання бойового завдання, швидкої організації резервної мережі (каналів) радіозв'язку з наземними абонентами, ретрансляція (маршрутизація) інформаційних потоків через БпЛА; збільшення зони покриття; збору даних з віддалених сенсорних вузлів (полів), повітряний моніторинг території при проведенні розвідувальних і пошуково-рятувальних завдань, передача на наземну станцію відеоданих і зображень в реальному режимі часу і т.д.

До основних особливостей функціонування повітряних мереж можна віднести: значну динаміку їх топологій, різномірний трафік, колективне використання радіоресурсу, нестабільність радіоканалів та наявність взаємних перешкод, обмеженість та неоднорідність ресурсів вузлів, обмежену безпеку через широкомовну природу радіоканалу, високу ймовірність радіоелектронної протидії супротивника та ін.

ПМ 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 [2], 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 визначеної якості передачі даних. В процесі прийняття рішень виникає завдання щодо визначення цільових функцій (ЦФ) управління мережею або її зоною, їх пріоритету, моделей прийняття рішень по управлінню ПМ.

Аналіз останніх публікацій. В [1] розглянуті основні сфери застосування ПМ (радіомереж з самоорганізацією типу FANET), завдання необхідності створення ефективної системи управління. В [2] запропонована загальна методологія управління радіомережами з самоорганізацією. Запропоновано здійснювати управління за функціональними підсистемами на різних рівнях моделі OSI з координацією цільових функцій управління. Для мереж з самоорганізацією в [3] авторами розглянута доцільність вибору найкращих варіантів функціонування мережі на основі аналізу поточної ситуації та корегуванні цільових функцій функціонування.

В роботах [4 – 7] запропоновані підходи по оптимізації процесів функціонування мережами за одним або декілька показниками. Так в [5] запропоновано управляти витратами енергії батарей, в [6] здійснювати багатокритеріальну оптимізацію маршруту із врахуванням його мобільності, в [7] оптимізувати топологію мережі за декількома показниками, в [8] враховувати тип трафіка тощо. В роботах [8, 9] розглядається завдання багатокритеріальної оптимізації процесів функціонування в безпроводних сенсорних мережах.

В статті авторами на відмінність від попередник робіт пропонується новий підхід – на етапі управління ПМ цільові функції управління не є статичними, а визначаються центром управління мережею, а потім уточнюються, узгоджуються і координуються вузлами в часі в залежності від етапів та функцій управління, а також параметрів стану об'єкта (об'єктів) управління (вузол, радіоканал, маршрут, зона, мережа) та наявних ресурсів [2].

Виклад основного матеріалу. Функціональна модель системи управління (СУ) наземно-повітряної мережі (НПМ) представлена на рисунку 2 та являє собою 3-х рівневу ієрархію взаємодії систем управління: СУ всією НПМ – СУ телекомунікаційних аероплатформ – СУ наземними вузлами.

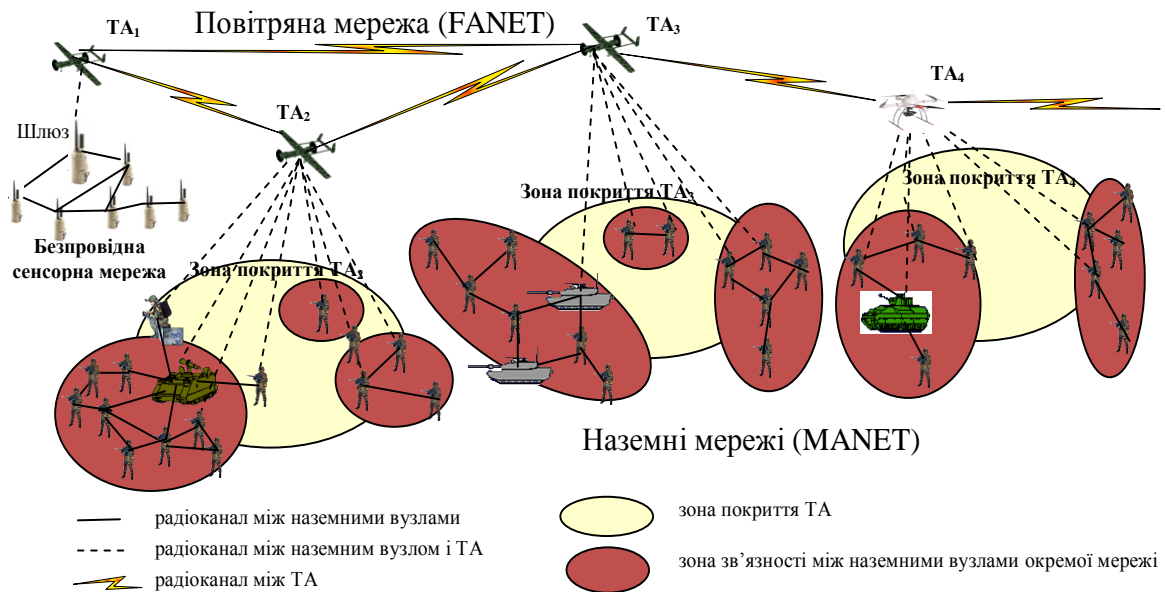


Рис. 1. Варіант наземно-повітряної мережі

В кожній ТА реалізована система управління, яка здатна кооперовано з іншими ТА, відповідними наземними вузлами приймати рішення по забезпеченню заданої якості покриття площі (певних вузлів) для забезпечення зв'язності НПМ та передачі даних з заданою якістю. При цьому, управляючі впливи вузлових СУ здійснюються шляхом реалізації циклу управління (збір та аналіз інформації про стан мережі, ідентифікація ситуації про стан мережі та прийняття управляючого рішення по забезпеченню якості покриття та передачі даних) на основі визначених цільових функцій управління.

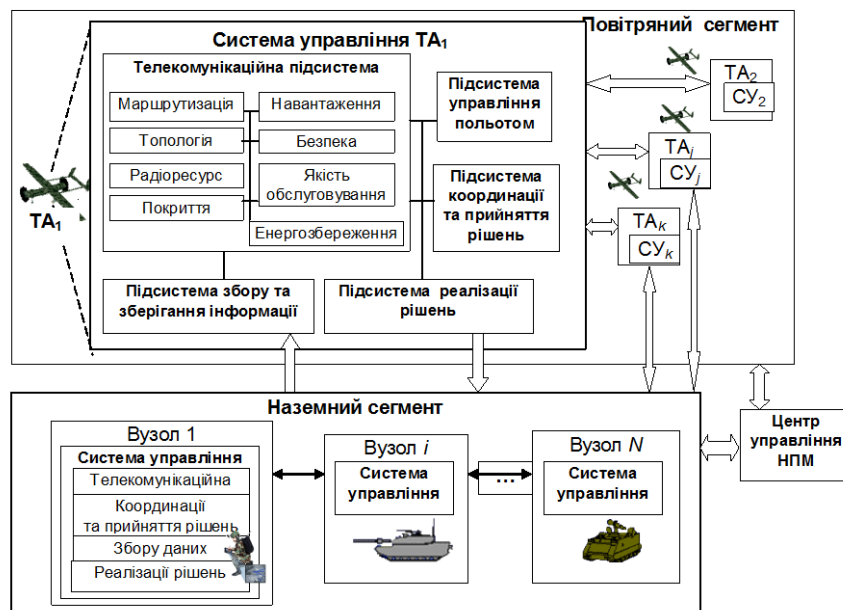


Рис. 2. Функціональна модель системи оперативного управління НПМ

На рис. 2 наведені основні функціональні підсистеми СУ ТА: збору за зберігання даних про стан НПМ; телекомунікаційна; координації та прийняття рішень; реалізації рішень;

управління польотом.

Система телекомунікацій забезпечує інформаційний обмін між вузлами НІМ та складається з наступних підсистем управління:

топологією – визначає топологію повітряної мережі для забезпечення необхідної топології наземних вузлів (визначає положення у просторі ТА, режими їх роботи, зони покриття наземних вузлів);

маршрутизацією – забезпечує побудову та підтримку маршрутів передачі заданої якості при виконанні вимог до їх функціонування;

радіоресурсом – призначена для розподілу часового, просторового, частотного, кодового ресурсів та забезпечення інформаційного обміну між сусідніми вузлами;

покриття – будує топологію, яка здатна забезпечити необхідне покриття заданого району (заданих вузлів) та забезпечити зв'язну топологію при заданих вимогах по якості інформаційного обміну та існуючих ресурсних обмеженнях;

енергозбереження – спрямована на мінімізацію споживання енергії вузлами мережі та максимізацію „тривалості функціонування” мережі при виконанні вимог щодо постійного покриття заданого району та вимог інформаційного обміну;

навантаження – здійснює керування навантаженням у вузлах мережі;

безпеки – забезпечує безпеку передачі даних;

якість обслуговування – намагається забезпечити задану якість передачі даних в залежності від типу трафіка.

Підсистема координації та прийняття рішень (СКІР): здійснює координацію цільових функцій управління між вузлами; приймає рішення щодо оптимізації показників ефективності при різних умовах функціонування мережі, конкретного типу трафіка та наявних ресурсів.

Підсистема реалізації рішень видає управляючі (координуючі) впливи іншим вузлам мережі.

Підсистема управління польотом визначає оптимальні режими польоту ТА при виконанні певних цільових функцій управління.

Загальний алгоритм управління мережею складається з наступних етапів:

1. Збір інформації про стан мережі (потребує часу та витрати ресурсів) або її зони.

2. Ідентифікація стану мережі (її зони).

3. Аналіз виконання вимог по якості інформаційного обміну в мережі.

При не виконанні вимог – визначення ЦФ або множини ЦФ та пошук оптимального варіанту рішень.

4. Видача управляючого впливу по реалізації рішень.

Визначимо особливості задач управління ПМ (рис. 3):

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 НІМ, окрема мережа НІМ, її зона, напрямок передачі інформації, маршрут, канал, наземний вузол, ТА);

різні цільові функції (можуть заперечувати одна одній);

різняються 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 можлива недостовірність контрольної інформації про стан мережі та її елементів;

більшість з них залежать один від одного;
 вимагають узгодження та координації (у вузлах, маршрутах, зонах, в масштабах всієї мережі, НПМ);

можуть бути реалізовані на різних рівнях еталонної моделі OSI.

Визначимо особливості прийняття рішень системою управління ПМ:

значна розмірність та взаємозалежність задач управління;

наявність множини цільових функцій управління (багатокритеріальність);

складність отримання оцінки прийнятого рішення;

обмеженість ресурсів мережі та часу на прийняття (виконання) рішень;

сполучення централізованого та децентралізованого способів прийняття рішень;

необхідність кооперації цільових функцій управління по функціональним підсистемам.



Рис. 2. Класифікація задач управління мережею ТА

Задачі управління мережею, які повинні бути досягнуті за допомогою сукупності ТА, мають колективний характер та можуть бути розраховані централізовано (під управління ЦУМ) та/або децентралізовано ТА (в умовах відсутності зв'язку з ЦУМ або значного службового трафіка). ЦУМ та/або ТА повинні планувати та вирішувати різноманітні завдання управління НПМ (цільові функції управління) за рахунок зміни положення, напрямку, швидкості, висоти переміщення ТА при існуючій наземній мережі та режимів роботи при наявних телекомунікаційних ресурсах. ТА, наземні вузли повинні забезпечувати сумісну роботу і без взаємодії з ЦУМ.

Цілями системи управління мережі ТА можуть бути [2] екстремум або підтримка (виступають як обмеження) заданих критеріїв ефективності функціонування всієї НПМ (її сегменту, зони, напрямку, маршруту між окремою парою „відправник-адресат”) – забезпечення зв'язності, оптимуму продуктивності, покриття, якості маршрутів передачі, ресурсів на реалізацію завдання, часу виконання завдання тощо.

В умовах змішаного управління (частка функцій виконується централізовано центром управління НПМ, а друга децентралізовано – системами управління ТА і наземних вузлів) можна визначити дві взаємозалежні групи цілей:

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

користувальницькі – досягнення заданої якості передачі між абонентами (вузлами) за напрямком передачі.

До мережевих (зонних) цілей управління можна віднести оптимум наступних параметрів:

продуктивність всієї НПМ, зони НПМ, мережі ТА, мережі наземних вузлів;

ступінь покриття території (вузлів, сенсорів) мережею ТА;

кількість ресурсів (ТА, мобільних базових станцій (МБС), наземних вузлів тощо), які необхідно задіяти до досягнення певної мети;

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

час функціонування мережі, її зони, безпосередньо ТА;

потужність передавачів вузлів мережі, її зони;

обсяг службового трафіка;

час планування, розгортання, відновлення мережі, її зони;

параметри безпеки й т.д.

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.

Основними обмеженнями при реалізації завдань управління НПМ є кількість і параметри ТА, наземних вузлів, пропускна здатність радіоканалів, дальність радіозв'язку, об'єми пам'яті, швидкість обробки інформації, енергія батарей живлення, наявні алгоритми управління, параметри БпЛА тощо.

Наявність сукупності критеріїв ефективності обумовлює багатокритеріальний характер задач синтезу та значно ускладнює розробку формальних методів.

Множина цілей управління наземно-повітряної мережі буде формуватися експертами на етапі проектування системи управління.

При оперативному управлінні пріоритети цільових функцій управління НПМ в певний період часу будуть визначатися оператором системи управління мережею, виходячи з бойових завдань, реального стану мережі та наявних ресурсів (наприклад, пріоритет ЦФ $Z_1(t) > Z_2(t) > Z_3(t) > Z_4(t) > Z_5(t)$ – зв'язність, покриття, пропускна здатність, час передачі, кількість ТА). Інформація про зміну пріоритетів ЦФ в НПМ буде доводитись до СУ телекомунікаційних аероплатформ, які будуть формувати свої ЦФ та узгоджувати їх між СУ інших ТА і СУ наземних вузлів (рис. 3).

Слід зауважити, що, з урахуванням різноманітності параметрів вузлів, при визначенні цільової функції вузла, його система управління повинна враховувати цільову функцію управління всією НПМ (чи її зоною) і координувати цільові функції вузлів сусідів. Схема прийняття рішень системою управління ТА (представлена на рис. 3).

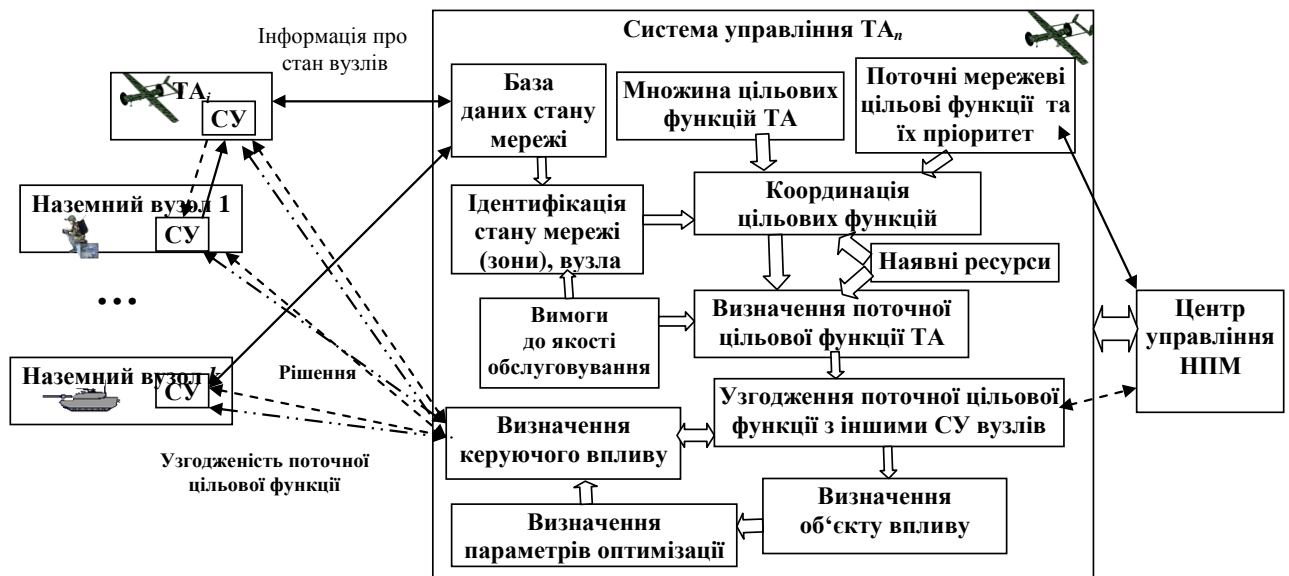


Рис. 3. Схема прийняття рішення системою управління ТА

Система управління кожної телекомунікаційної аероплатформи: збирає інформацію про стан мережі, її зони в базі даних;

здійснює ідентифікацію стану мережі, вузла за параметрами функціонування та наявними ресурсами (рис. 4) (при нечіткій інформації стану доцільно використання апарату нечітких множин [11]);

отримує множину поточних ЦФ та їх пріоритет від СУ вищого рівня, ЦФ своїх від СУ ТА-сусідів, ЦФ від СУ наземних вузлів;

на основі координації та узгодження своїх цільових функцій з цільовими функціями сусідніх ТА, цільовими функціями наземних вузлів та аналізу наявних ресурсів визначає свої поточні цільові функції управління та їх пріоритет (наприклад, зв'язність, покриття тощо); визначає об'єкти управління (зона, напрямок, ТА, маршрут, наземний вузол тощо); визначає поточну множину параметрів оптимізації (наприклад, пропускна здатність); визначає та видає керуючий вплив (положення ТА, потужність передатчика тощо).

В табл. 1 наведено можливі об'єкти управління та основні параметри оптимізації.

Табл. 1

Рівень OSI	Управляючий вплив вузла	Об'єкти управління	Основні параметри оптимізації
Фізичний	Потужність (спрямованість) передачі, вид модуляції, тип коригуючого коду, параметри MIMO тощо	Радіоканал: ТА-ТА, наземний вузол-наземний вузол, наземний вузол-ТА	Пропускна здатність каналу, витрати енергії батарей, потужність передачі тощо
Канальний	MAC-алгоритми та їх параметри, розміри пакетів та квитанцій тощо	Радіоканали в межах радіозв'язності	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	Пропускна здатність маршруту, час доставки маршруту, витрати енергії батарей, топологія, обсяг службового трафіка, параметри маршруту (довжина, час побудови та існування, кількість тощо)
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	Положення вузла та його вузлів-сусідів, зона мережі, вся мережа	Пропускна здатність зони, мережі, витрати енергії батарей вузлами мережі, безпека передачі, час виконання завдання тощо

Схема взаємодії систем координації та прийняття рішень СУ вузлів наведена на рис. 4. Розглянемо її особливості більш детально.

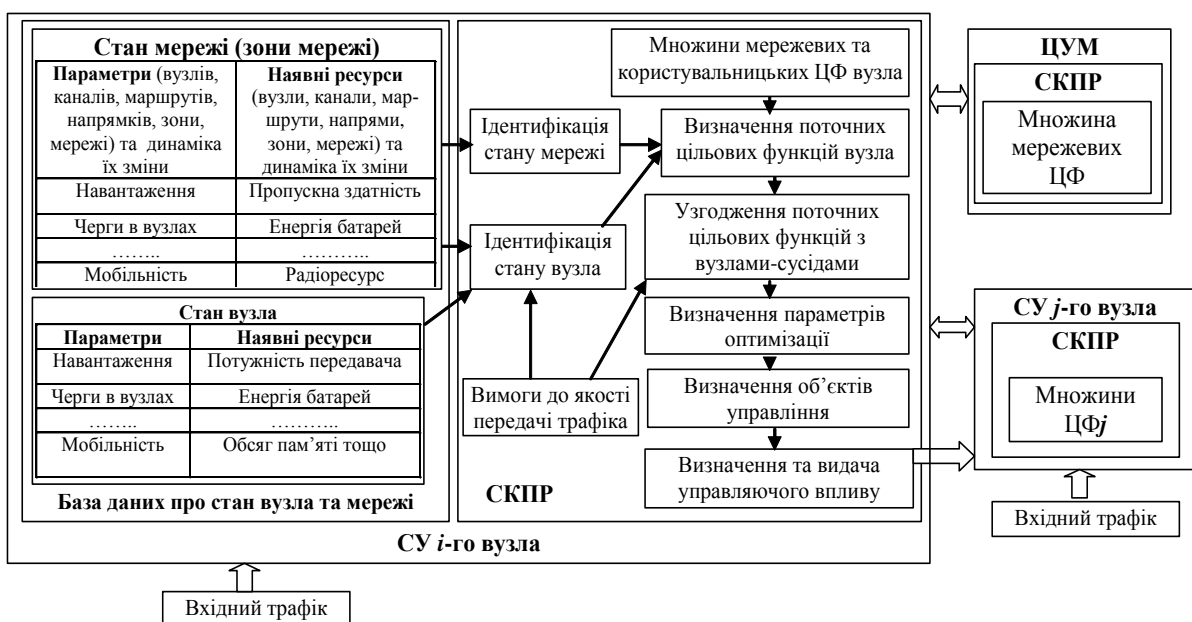


Рис. 4. Схема взаємодії підсистем координації та прийняття рішень СУ вузлів

1. Вхідний трафік визначає вимоги до його передачі, що в свою чергу вимагає систему управління кожного вузла здійснювати вибір (корегування) цільових функцій управління, які повинні врахувати стан вузла, стан мережі, вимоги СУ інших вузлів та наявні ресурси. Ця інформація зберігається у відповідній базі даних.

2. Стан самого вузла визначається множиною його параметрів (наявність, тип та величина зміни вхідного навантаження, існуюча пропускна здатність радіоканалів між сусідніми ТА і ТА-наземні вузли його зони обслуговування, дальність радіозв'язності, наявні сусіди, стан черг, положення у просторі, мобільність, динаміка зміни наявних зв'язків з сусідами, наявність, кількість та якість побудованих маршрутів тощо) та його ресурсів. Ресурсами вузла є апаратні (потенційна пропускна здатність радіоканалів, 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).

3. Стан мережі визначається вузлом на основі зібраної інформації про стан вузлів, каналів, напрямків, зони та всієї мережі, наявністю ресурсів та динамікою зміни стану та ресурсів мережі.

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

1. 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) стан мережі [2, 11]. В умовах неможливості збору всієї інформації про стан мережі, її швидкого старіння (тобто неповної інформації про стан мережі) і для здійснення процесу ідентифікації пропонується використовувати апарат нечіткої логіки [11].

2. Система координації та прийняття рішення вузла на основі ідентифікованих станів вузла, мережі, вхідного трафіка та вимог до якості інформаційного обміну (рис. 4):

визначає поточну цільову функцію (функції) управління;

узгоджує її із вузлами-сусідами (якщо вузли одного рангу) або нав'язує її

підпорядкованим вузлам (якщо це центр управління мережею);

визначає поточну множину параметрів оптимізації – мережевих та користувальницьких;

визначає об'єкти управління (згідно табл. 1);

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

Для нашої ієрархічної системи управління НІМ пропонуються наступні типи координації:

1. *Координація за цілями.* Система управління вищого рівня може встановлювати для підлеглої підсистеми цілі функціонування та показники, які характеризують ступень їх досягнення. Наприклад, центр управління НІМ може встановити пріоритетом завдання максимізації (забезпечення заданої) пропускної спроможності для систем управління ТА.

2. *Координація за обмеженнями.* В цьому випадку на ряд параметрів в точках спряження підсистем визначаються обмеження вищою системою управління. Ці обмеження задаються із системних позицій та враховують цілі та обмеження підсистем.

3. *Координація за часом* (синхронізація роботи функціональних підсистем).

Зазвичай при багатокритеріальній оптимізації може використовуватися багато методів: адитивна та мультипликативна згортки, головного показника, лексикографічний, Парето тощо. Основними недоліками цих підходів є необхідність знання повної інформації про стан НІМ, що в реальній ситуації не завжди можливо або приводить до значного службового трафіка та витрат енергії на його обробку. Тому при обмеженості інформації в СУ про стан мережі пропонується використовувати теорію нечітких множин, коли в умовах неповної інформації про стан мережі здійснюється попередня оцінка тих або інших рішень та знаходиться певний компроміс.

Необхідно відзначити, що рішення задач управління мережами великої розмірності

наштовхується на ряд труднощів, пов'язаних з великою розмірністю НПМ, багатокритеріальністю задач та зміною ЦФ в процесі оперативного управління.

Перераховані труднощі викликають необхідність використання декомпозиційного підходу: загальна задача управління розбивається на ряд підзадач за певними пріоритетами критеріїв ефективності. Зазначені часткові задачі синтезу не є незалежними. Для цього на етапі проектування мережі будується граф у вигляді дерева цілей, вершинами якого є цілі, а дуги відображають вплив досягнення підцілі (часткові задачі управління) у ціль (основна задача) [10, 14]. Пропонується задачу прийняття рішення по управлінню ПМ поділити на етапи та звести до задачі багатокритеріальної оптимізації для визначених цілей та альтернатив у вигляді дерева "цілі – підцілі (задачі управління) – алгоритми управління – управляючі впливи" (табл. 2).

Цілі управління СУ взаємозалежні та мають ієрархічний характер. Пропонується провести декомпозицію глобальної мети управління мережею по функціям, кожна з яких ділиться на завдання і реалізується по рівнях OSI. Завдання – одержання вектору пріоритету елементів нижнього рівня ієрархії стосовно цілі – елементу першого рівня за допомогою методу аналізу ієрархій або методу згортки нечітких відносин [14].

Табл. 2

Приклади залежності ціль-підціль	
Цілі (підцілі)	Підцілі певного рівня ієрархії
Z_1 – покриття та встановлення (підтримка) зв'язності вузлів наземної мережі (її фрагменту) з використанням ТА	Z_{11} – з максимальною (заданою) кількістю вузлів (сенсорів, абонентів, МБС) в заданій зоні Z_{12} – максимальна (задана) площа зони покриття Z_{13} – з визначеними вузлами (сенсорами, абонентами, МБС, тощо) Z_{14} – з використанням мінімуму ТА Z_{15} – побудова, підтримка, оптимізація топології Z_{16} – побудова (перебудова) маршруту заданої якості між визначеними абонентами, МБС, ТА Z_{17} – максимум (забезпечення заданої) пропускної здатності між визначеними абонентами, МБС Z_{18} – мінімум (обмеження) часу доставки пакетів між визначеними абонентами Z_{19} – збільшення часу функціонування мережі Z_{1w} – балансування трафіку між повітряним та наземним сегментами мережі
Z_{15} – побудова, підтримка, оптимізація покриття НМ (її фрагменту)	Z_{151} – побудова та підтримка маршрутів передачі Z_{152} – мінімум взаємних завад при передачі вузлами Z_{153} – максимум (забезпечення) пропускної здатності Z_{154} – мінімум (обмеження) витрат енергоресурсу вузлів
Z_{16} – побудова та підтримка маршруту передачі даних	Z_{161} – забезпечити задану кількість та якість маршрутів Z_{162} – мінімум службового трафіку
Z_{19} – збільшення часу функціонування наземної мережі, мережі ТА	Z_{191} – мінімум (обмеження) витрат енергії батарей вузлів Z_{192} – оптимізація ресурсу ТА Z_{193} – оптимізація маршрутів польоту
Z_{17} – оптимізація пропускної здатності між елементами НПМ	Z_{12} – оптимізація покриття Z_{15} – оптимізація топології Z_{171} – оптимізація напрямів передачі Z_{16} – оптимізація маршрутів передачі
Z_{18} – оптимізація часу доставки повідомлень тощо	Z_{181} – побудова додаткових маршрутів Z_{15} – оптимізація топології Z_{16} – оптимізація маршрутів

Цільова структура (ЦС) управління ПМ:

$$ЦС \rightarrow H = \{Z_1, R_{1m(1)} \{Z_{21}, Z_{22}, \dots, Z_{2m(2)}\}, R_{2m(2)} \{Z_{31}, Z_{32}, \dots, Z_{3m(3)}\}, \dots, R_{km(k)} \{Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{km(k)}\}\},$$

де Z_1 – основна ціль системи управління, $Z_{im(i)}$ – $m(i)$ -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 з управління мережею (вибір методів управління) зводиться до завдання ієрархічного цільового динамічного оцінювання альтернатив при нечітких вихідних даних.

Приклад ієрархії прийняття рішень із забезпечення заданої пропускної здатності наведений на рис. 5.

На першому етапі центром управління мережами визнається основна множина ЦФ управління НІМ та їх пріоритети, яка доводиться до систем управління ТА.

На другому етапі СУ ТА намагаються виконати рішення ЦУМ з врахування свого стану та стану мережі ТА своїх ЦФ та ЦФ наземних вузлів.

Отримання точного рішення для мережі, яка нараховує десятки (сотні) вузлів, пов'язане із значними обчислювальними та часовими витратами.

Тому для скорочення перебору варіантів рішень пропонується використовувати множину правил, об'єднаних в базу знань, які змінюють зв'язність мережі для покращення її параметрів функціонування.

Правила продукційного типу: ЯКЩО <ситуація> ТО <рішення>. Це дозволяє отримати в реальному масштабі часу рішення, близькі до оптимальних і використовувати їх для оперативного управління ПМ.

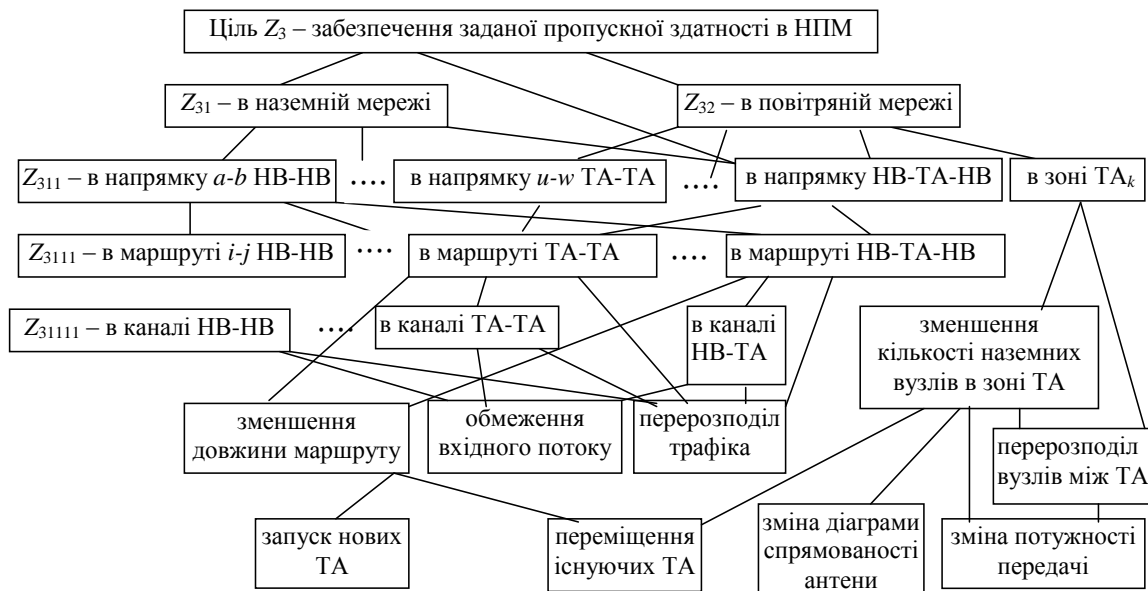


Рис. 5. Ієрархія прийняття рішення по забезпеченню пропускної здатності

Запропоновано множину правил, орієнтованих на досягнення певних цілей управління: з побудови зв'язної топології, оптимізації покриття заданої множини вузлів, забезпечення (підвищення) пропускної спроможності зони ТА (маршруту, напрямку, підмережі, мережі), забезпечення (зменшення) часу передачі в зоні, маршруті, напрямку, підмережі, мережі [13].

Правила отримані на основі положень теорії графів, теорії радіозв'язку та мереж, теорії телетрафіку, математичних моделей розрахунку пропускної здатності та затримки передачі, логіки роботи системи.

Для визначення поточної цільової функції введений блок ідентифікації стану мережі, який з множини можливих цілей управління буде ієрархію цілей, тобто пропонується введення мета-правил на всю множину правил прийняття рішень.

Момент визначення необхідності перебудови топології буде визначатися наступними подіями: відсутність зв'язності, невиконання якості обслуговування передачі даних, бажання досягти оптимуму або заданих значень параметрів функціонування мережі та ін.

Використання бази знань включає в себе ітераційну процедуру (що складається з модулів АНАЛІЗУ, БАЗИ ЗНАНЬ, УПРАВЛІННЯ), яка працює в наступній послідовності (рис. 6):

1. Аналіз поточного стану мережі: розрахунок (при плануванні) або збір параметрів НПМ (при оперативному управлінні) та їх перевірка на відповідність вимогам: за зв'язністю, пропускну здатністю, якістю маршрутів, якістю передачі по маршрутах тощо).

2. Перевірка параметрів функціонування мережі (наприклад, існуючої топології T^n) на множині правил. Якщо немає умов для виконання правил, то процедуру закінчити, інакше – застосовувати правила з бази знань для видачі керуючого впливу (зміни зв'язності мережі зв'язку: додавання або видалення радіоканалу, зміна положення ТА тощо).

Якщо кілька правил успішно зіставляються з фактами, то інтерпретатор на підставі метаправил робить вибір одного правила. Метаправила визначають перевагу правил залежно від k -ої цілі мережевого управління (МПр _{j} : $Pr_j \rightarrow w_{jk}$). Тоді правило, що в найбільшій мірі покращує необхідні параметри мережі при визначеній цільовій функції, матиме більшу вагу.

3. Розрахунок параметрів модифікованої мережі (T^{n+1} топології).

Якщо параметри покращились, то перехід до кроку 2, інакше – відкинути останню зміну зв'язності та перехід до кроку 2.

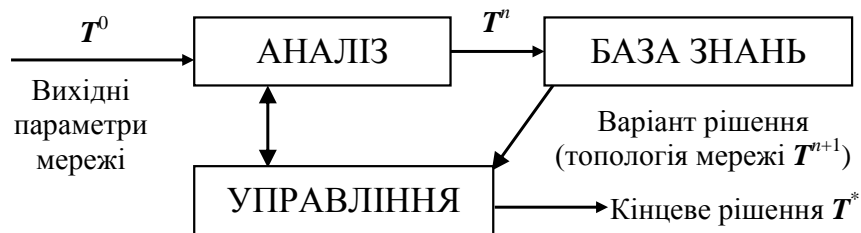


Рис. 6. Схема пошуку варіантів топології з використанням бази знань

Управляємими параметрами є компоненти топології мережі (ступінь зв'язності вузлів, кут і взаємне розташування вузлів, діаметр мережі тощо) та параметри вузла (навантаження, залишок енергії батареї, мобільність та інші).

Таким чином система управління НПМ представляє собою ієрархію взаємодії систем управління: центр-ТА-наземний вузол.

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 засобів реалізації цільової функції управління радіомережі зведена до ієрархічного цільового оцінювання альтернатив.

Напрямом подальших досліджень є реалізація запропонованої моделі в спеціальне математичне забезпечення управління повітряними мережами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романюк В.А., Степаненко Є.О., Панченко І.В., Восколович О.І. Літаючі самоорганізуючі мережі // Збірник наукових праць ВІПІ. – 2017. – № 1. – С. 104 – 114.
2. Минович А.И., Романюк В.А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
3. Поповский В.В., Лемешко А.В., Евсева О.Ю. Математические модели телекоммуникационных систем. Часть 1. Математические модели функциональных свойств телекоммуникационных систем // Проблемы телекоммуникаций, № 2 (4), 2011, <http://pt.journal.kh.ua>.
4. 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.

5. 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.

6. Banner R., Orda A. Multi-Objective Topology Control in Wireless Networks // In Proc. IEEE INFOCOM, 2008.

7. 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.

8. Muhammad Iqbal, Muhammad Naeem, Alagan Anpalagan, Ashfaq Ahmed, Muhammad Azam. Wireless Sensor Network Optimization: Multi-Objective Paradigm // Sensors 2015, 15, doi:10.3390/s150717572.

9. Zesong Fei, Bin Li, Shaoshi Yang, Chengwen Xing, Hongbin Chen, Lajos Hanz. A Survey of Multi-Objective Optimization in Wireless Sensor Networks: Metrics, Algorithms and Open Problems // IEEE Communications Surveys & Tutorials, Volume: 19, Issue: 1, 2017. Page (s): 550 – 586.

10. Романюк В.А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами // Збірник наукових праць. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2012. – №1. – С. 109 – 117.

11. Ротштейн О.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.

12. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений: алгоритмический аспект. – К.: Наукова думка, 2002. – 381 с.

13. Романюк В.А., Степаненко Є.О. Методика управління топологією наземно-повітряних радіомереж військового призначення // Збірник наукових праць. – К.: ВІТІ. – 2018. – № 4. – С. 92 – 102.

14. 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.