

ЕВОЛЮЦІЯ ТАКТИЧНИХ РАДІОМЕРЕЖ

Головною тенденцією розвитку майбутніх систем зв'язку є мобільність. В проєкті IST WSI, а також в „Книзі нових концепцій” Міжнародного форуму по дослідженню безпроводних технологій (WWRF) представлена нова концепція мобільного зв'язку, який, з точки зору користувача, можна представити у вигляді декількох сферичних рівнів [1].

На першому рівні користувач через системи безпроводної передачі на невеликі відстані об'єднує в персональну мережу (PAN) усі пристрої, які він носить із собою (мобільний телефон, фотоапарат, годинник і т.д.) на другому рівні він з'єднується з пристроями в його найближчому оточенні (з телевізором, персональним комп'ютером, холодильником та іншими) – локальна радіомережа (WLAN). Третій рівень забезпечує безпосередній зв'язок з найближчими партнерами – іншими ближніми користувачами, своїми транспортними засобами, системою охорони тощо. Користувачі можуть взаємодіяти між собою і/або обмінюватися даними з об'єктами цього рівня. На четвертому рівні для організації глобального покриття використовуються різні системи мобільного зв'язку і безпроводового доступу, мережі кабельного фіксованого зв'язку, супутникові системи, системи на висотних платформах. Головна послуга цих мереж, це здійснення доступу до сучасних, глобальних мереж, зокрема до мережі Інтернет, та надання відповідного рівня підтримки для різних терміналів.

Одним з варіантів реалізації систем четвертого рівня може бути інтегрована мережа мобільного, безпроводового і фіксованого зв'язку [1]. При подальшому розвитку взаємозв'язків (п'ятий рівень) повідомлення, що передаються радіоінтерфейсом, будуть віднесені до додатків. Всі вищезазначені рівні на шостому рівні будуть оточені „кіберпростором”, де користувач зможе контактувати з усіма своїми кореспондентами, базами знань, засобами телеметрії та управління і т.д., тобто зі своїм колом спілкування, послугами і транзакціями.

Така концепція побудови телекомунікаційних мереж, коли в центрі знаходиться користувач, є рушійною силою для створення безлічі послуг та програм, організованих через різні системи доступу і подальшого розвитку телекомунікацій. Зазначений підхід дасть людям можливість спілкування з будь-ким „в будь-якому місці, в будь-який час”. Нові системи будуть задовольняти потреби користувачів в різних додатках.

У розглянутій концепції величезна роль належить радіомережам із самоорганізацією (PMS). PMS припускають можливість організації безпроводової мережі без участі людини або з її мінімальною участю. Дана архітектура мережі отримала назву ad-hoc (по-латині), що в даному випадку означає „випадкова, спонтанна” або „спеціально створена для певних цілей” [1 – 3]. Основою для створення таких мереж є високий рівень „інтелектуальності” сучасних радіотерміналів, що містять крім приймально-передавальних блоків досить продуктивні обчислювальні засоби – процесор, пам'ять великої ємності, що дозволяє реалізовувати складні алгоритми.

Мережі ad-hoc складаються з безпроводних вузлів. Під вузлом мережі розуміється безпроводовий комунікатор (переносний комп'ютер, персональний секретар, транспортний засіб, сенсорний пристрій, робот і т.д.), який укомплектований радіомодемом. Вузли зв'язані один з одним в межах взаємної радіовидимості, яка визначається параметрами радіо-передавальних пристроїв, рельєфом місцевості і умовами поширення радіохвиль. Відмінною особливістю кожного вузла є його здатність виконувати функції як кінцевого пристрою, тобто джерела і приймача інформації, так і маршрутизатора інформаційних і службових пакетів інших абонентів радіомережі.

Вузли мережі можуть бути як стаціонарними, так і мобільними, однорідними або неоднорідними (відрізняються потужністю передавача, ємністю своїх батарей,

продуктивністю процесорів і т.д.), а також можуть розміщуватися на місцевості або в просторі і випадковим, і детермінованим чином. При цьому процес передачі інформації в даних мережах здійснюється без будь-якого центру управління. Це означає, що кожен вузол повинен самостійно виконувати певний набір функцій управління передачею інформації в мережі. Відсутність постійної інфраструктури та децентралізованого управління є характерними рисами РМС.

Сферами застосування мереж ad-hoc і MANET є, в першу чергу, мережі зв'язку військового призначення тактичного рівня, а також мережі, що розгортаються в умовах надзвичайних ситуацій чи природних катаклізмів.

Цивільними сферами застосування є: домашні мережі та мережі підприємств, сенсорні (телеметричні) мережі різного призначення, мережі контролю та диспетчеризації транспортних засобів, мережі, які створюються у віддалених районах, де відсутня стаціонарна інфраструктура або її побудова недоцільна. Можливі сфери застосування РМС описані в табл. 1.

Таблиця 1

Можливі сфери застосування радіомереж із самоорганізацією

Сфера	Призначення
Тактичні мережі	Мережі військового призначення, в основному тактичного рівня
Сенсорні мережі	Домашнього, промислового і військового застосування, призначені для моніторингу оточуючого середовища: пересування тварин; хімічний, біологічний аналіз рослин для сільського господарства; динаміка погодних умов; переміщення противника та інше.
Аварійні мережі	Пошукові і рятувальні операції. Заміна фіксованих мереж у випадку стихійного лиха (землетрус, ураган і т.д.)
Комерційні мережі	Електронна комерція, наприклад електронний платіж в будь-якому місці (напр., таксі) Бізнес: динамічний доступ користувача до бази, мобільний офіс. Сервіс при переміщенні на транспортному засобі: зведення новин, відомості про стан дороги та інше.
Домашні мережі і мережі підприємств	Безпроводові домашні мережі для різних додатків. Персональні мережі.
Мережі навчання	Віртуальні класи, приміщення для проведення конференцій, тощо.
Розважальні мережі	Ігри з багатьма гравцями, домашні роботи, зовнішній доступ до Інтернету
Позиційний сервіс	Інформаційні послуги: автоматична переадресація виклику, координати заправної станції та інше.

Характерними особливостями даних мереж (на відміну від мереж зі стаціонарною інфраструктурою) є наступні ознаки:

1. *Змінна кількість вузлів і площа покриття мережею.* Кількість вузлів мережі може змінюватися від десятків до десятків (сотень) тисяч вузлів. Залежно від кількості вузлів, потужності їх передавачів і використовуваних частот, географічний простір покриття мережею може змінюватися в широких межах.

2. *Мобільність і стаціонарність вузлів.* Стаціонарні ad-hoc мережі зберігають незмінність розташування вузлів, але припускають їх довільне включення в мережу і виключення з мережі. Мобільні РМС – MANET (Mobile Ad Hoc Networks) передбачають можливість переміщення будь-якого вузла мережі.

3. *Випадковість топології мережі, її неоднорідність і динамічність зміни.* Оскільки абоненти мереж можуть бути мобільними, то топологія мережі може постійно мінятися. Крім того, кожен вузол може мати різні зв'язкові та обчислювальні ресурси – мати різну потужність передавача, мати можливість змінювати рівень потужності передавача або

діаграму направленості антени, бути укомплектованими акумуляторними батареями різної ємності.

4. *Принцип організації передачі інформації – комутація пакетів з використанням багатострибкової маршрутизації.* Цей принцип полягає в тому, що кожен вузол мережі, будучи передавачем і приймачем „власної” інформації, крім того виступає і в якості ретранслятора і маршрутизатора.

Під маршрутизацією розуміється направлення пакетів до певних адресатів або ретрансляція сигналів в певних напрямках.

5. *Тип управління – децентралізований.* Таке управління передбачає автономність вузлів у прийнятті рішень з організації передач за певними маршрутами. Іншими словами, в мережі відсутня будь-яка фіксована інфраструктура для передачі службової інформації чи іншого виду централізованого управління (на відміну від звичайних телекомунікаційних мереж з системами управління [4, 5]). Кожен вузол визначає маршрут передачі – послідовність вузлів-ретрансляторів на основі попереднього чи оперативного збору інформації про стан мережі і зв'язності її абонентів у відповідності з протоколами маршрутизації, спеціально розробленими для мереж із самоорганізацією.

6. *Динаміка зміни зв'язності при русі вузлів та/або включенні/виключенні вузлів у/з мережі.* Це вимагає контролю за проходженням пакетів у мережі, зміни маршрутів пакетів при порушеній зв'язності, а також відновлення передачі повідомлень з моменту втрати зв'язності. Такий характер роботи мереж призводить до зміни якості обслуговування мережею (затримка і втрата пакетів, повна втрата зв'язності). Тому в РМС повинні бути передбачені механізми підтримки якості обслуговування за рахунок, наприклад, передачі пакетів за багатьма маршрутами, колективної ретрансляції пакетів.

7. *Багатоканальність мереж.* Кожен вузол може бути обладнаний одним або декількома прийомопередавальними пристроями, що працюють у різних частотних смугах. Таким чином, окрім комутації пакетів в одному частотному каналі можлива комутація каналів.

8. *Масштабованість.* При масштабованості мережа легко нарощується і змінює кількість своїх вузлів. Збільшення розмірності мережі до сотень і тисяч вузлів може потребувати введення локалізації управління, тобто поділ всієї мережі на кластери з власними протоколами маршрутизації та міжкластерною ретрансляцією через вузли-шлюзи. Можливо і введення ієрархії в мережі, коли на основі вузлів, які мають достатні ресурси або гарне місце розташування (наприклад, на вершинах пагорбів), здійснюється прямий зв'язок між кінцевими абонентами або кластерами через мінімальну кількість ретрансляції.

9. *Обмеженість ресурсів вузлів мережі.* Вузол мережі має обмежені ресурси (ємність пам'яті, продуктивність процесора, потужність передавача і енергоємність батарей). Енергія батарей витрачається як на комунікаційну (прийом, передача, обробка повідомлень тощо), так і на обчислювальну (процесор) складові. Економія енергії батарей живлення – одне із завдань розробників терміналів і протоколів взаємодії.

10. *Обмежена безпека.* Широкомовна природа радіоканалу дозволяє зловмисникові (противнику) здійснювати прослуховування передач вузлів, аналізувати мережевий трафік і порушувати або погіршувати роботу мережі, ставити активні і пасивні завади. Тому в мережі повинні бути вжиті заходи, які мінімізують або виключають можливий навмисний негативний вплив на роботу мереж. Таким заходом може бути застосування на фізичному рівні складних радіосигналів, наприклад надширококузових.

На рис. 1 представлена класифікація РМС за:

- 1) *способом побудови системи управління мережею* – однорівневі (flat) та ієрархічні;
- 2) *мобільністю вузлів мережі* – стаціонарні, мобільні і гібридні;
- 3) *способом поділу радіоресурсу* – з детермінованим, випадковим або гібридним способом поділу радіоресурсу;
- 4) *способом синхронізації* – синхронні і асинхронні;

5) *шириною смуги пропускання радіоканалу* – вузькосмугові, широкосмугові і надширокосмугові (UWB);

6) *складом обладнання вузлів* – одноканальні і багатоканальні (один вузол містить кілька прийомопередавачів); однорідні та неоднорідні (радіотермінали з різною потужністю і продуктивністю процесора, об'ємом пам'яті, ємністю батареї тощо); мають або не мають систему позиціонування (наприклад, GPS); мають антени зі спрямованою або круговою діаграмою направленості (наприклад, MIMO);

7) *площею покриття*: персональні (Personal, PAN) – до 10 м; локальні (Local, LAN) – до 500 м; міські (Metropolitan, MAN) – до 20–50 км; широкомасштабні (Wide, WAN) – більше 50 км;

8) *призначенням*: військові (поле бою), домашні, офісні, аварійні та ін. (детальніше в табл. 1.1);

9) *типом трафіка*: мережі передачі даних, мови, відео, телеметричної інформації.



Рис. 1. Класифікація радіомереж із самоорганізацією

Розвиток елементної бази і обчислювальні можливості на сьогоднішній день визначають розмаїття РМС (рис. 2):

- мережі ad-hoc, мережі з випадковими, але стаціонарними абонентами;
- мобільні радіомережі (мережі MANET) – мережі мобільних абонентів, що реалізують повністю децентралізоване управління (відсутність базових станцій);
- чарункові мережі (MESH) – мережі, які складаються з безпроводових стаціонарних маршрутизаторів (створюють бездротову магістраль і зону обслуговування абонентів) і мобільних/стаціонарних абонентів, що мають доступ (в межах зони радіозв'язності) до одного з маршрутизаторів;
- сенсорні (телеметричні) мережі, що складаються з малогабаритних сенсорних вузлів з інтегрованими функціями моніторингу певних параметрів навколишнього середовища, обробки і передачі даних в радіоканалах;
- автомобільні мережі (мережі VANET) – мережі зв'язку транспортних засобів.

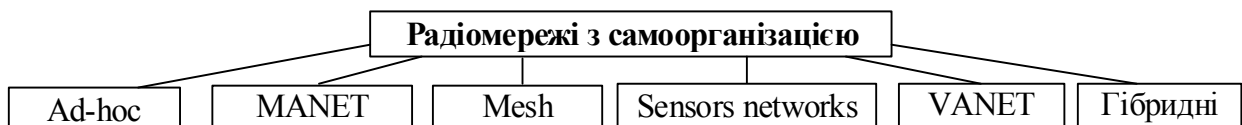


Рис. 2. Типи радіомереж із самоорганізацією

Зростаючий комерційний інтерес до безпроводових мереж в 90-х роках минулого століття привів до появи ряду стандартів і технологій фізичного та каналного рівнів для

переносних комп'ютерів: IEEE 802.11 різних версій, Bluetooth, HiperLan та ін. Однак ці стандарти і протоколи не враховують особливостей побудови і функціонування РМС.

Свою історію РМС беруть з наукових розробок початку 70-х років минулого століття з моменту впровадження принципу комутації пакетів в телекомунікаційні технології. Так, у 70-х роках проект Гавайського університету – ALOHA – був першою демонстрацією можливої пакетної ширококомовної передачі в стаціонарній радіомережі з одним ретранслятором [6]. У Києві наприкінці 70-х років С.Г. Буніним і А.П. Войтером була розроблена і створена перша в Європі пакетна радіомережа „Дискрет”. Ця мережа була побудована на базі стаціонарних ретрансляторів, навколо яких розташовувалися абонентські термінали, які взаємодіють між собою через ці ретранслятори. Вона була призначена для пакетного обміну даними між обчислювальними центрами наукових установ міста. Подібні мережі були впроваджені в деяких містах СРСР. В роботі [7] детально викладена архітектура пакетної радіомережі „Дискрет”, наведені приклади реалізації і представлені аналітичні залежності розрахунку основних параметрів мережі.

У 1972 р. Міністерство оборони США (DARPA, US Defense Research Agency) стало спонсором проекту створення пакетної радіомережі PRNET (Packet Radio Network) [8-10], призначеної для забезпечення пакетної передачі даних на полі бою в тактичній ланці управління. Дана експериментальна вузькосмугова радіомережа невеликої розмірності (до 50 мобільних вузлів) використовувала протокол множинного доступу з контролем несучої, застосовувала багатострибкову маршрутизацію з використанням алгоритмів маршрутизації, що застосовуються в стаціонарних мережах зв'язку, і забезпечувала передачу даних зі швидкостями до 16 Кбіт/с.

Необхідно відзначити, що в ці роки аналогічні наукові розробки по створенню пакетних радіомереж проводилися і в СРСР при створенні транспортного середовища (радіомереж з комутацією повідомлень) для польового комплексу засобів автоматизованого управління військами тактичної ланки управління „Маневр”.

У 80-х роках минулого століття в США з'явилися перші зразки тактичних пакетних радіомереж DARPA PRNET і CNR (Combat Net Radio) [8-10], а в СРСР – тактичні системи радіозв'язку з використанням апаратури передачі даних „Базальт”, і пізніше – „Редут”. Зазначені пакетні радіомережі поля бою (десятки транспортних одиниць) використовували найпростіші методи множинного доступу (випадковий і з контролем несучої), таблично-орієнтований метод маршрутизації на основі алгоритму Белмана-Форда (мережа PRNET) або фіксовану маршрутизацію (апаратуру передачі даних „Базальт”, „Редут”). Апаратура вузлів мережі була досить громіздкою, відрізнялася низькою надійністю і значними енергозатратами. У даних мережах кожен вузол являв собою ретранслятор з функціями маршрутизатора (використовувалися протоколи маршрутизації, розроблені для стаціонарних мереж зв'язку). Швидкість передачі в даних мережах досягала десятків Кбіт/с.

Подальшим проектом в 1983–1990 рр. був SURAN (Survivable Adaptive Radio Network) [10], який передбачав автоматичне встановлення і підтримання маршрутів передачі для мереж великої розмірності (до 10000 вузлів) і певного рівня мобільності вузлів. Радіозасоби стали компактнішими і дешевшими, з меншим енергоспоживанням. Планувалося використовувати ієрархічний таблично-орієнтований метод маршрутизації.

Подальший технологічний прогрес в області обчислювальної техніки і появи переносних ЕОМ вимагали їх з'єднання з відомчими мережами і мережею Інтернет. В інтересах розробки протоколів для мереж ad-hoc була сформована робоча група MANET (Mobile Ad Hoc Networking) під егідою IETF (Internet Engineering Task Force) [2].

З 1994 р. DARPA ініціювало програму створення глобальної мобільної інформаційної системи GloMo (Global Mobile Information Systems) [12]. Метою GloMo було (при використанні технології безпроводних шлюзів WINGs – Wireless Internet Gateways), забезпечити зв'язність мобільних користувачів через мережу Інтернет. Для військових було створено нове покоління цифрових радіозасобів тактичного рівня NTDR (Near-Term Digital

Radio). NTDR має відкриту архітектуру, побудоване на основі комерційних модулів і стандартних шин, використовує Інтернет-протоколи та забезпечує взаємодію з іншими мережами. Крім того, NTDR забезпечує автоматичне конфігурування мережі, обмін інформацією між комп'ютерами в смузі частот 225-450 МГц зі швидкістю передачі 288 Кбіт/с, потужність передавачів змінюється від 2 мВт до 20 Вт, дальність зв'язку до 12,5 км. У бригаді використовується до 400 радіозасобів NTDR.

З появою технології Інтернет стало можливим створення живучих мереж радіозв'язку тактичної ланки управління – тактичний Інтернет (ТІ – Tactical Internet), що передбачає незначну модифікацію комерційних протоколів [13, 14]. Так, для ТІ застосовувався відомий в стаціонарних мережах протокол маршрутизації OSPF (Open Shortest Path First). Використовуючи періодичні HELLO-повідомлення, кожен вузол міг будувати і знаходити маршрути передачі. Час організації такої мережі був значним, але в цілому задовольняв вимогам того часу. Однак використовувані в ТІ протоколи повною мірою не могли забезпечити обслуговування великої кількості користувачів і обсягів переданої інформації, а також виконати вимоги до мобільності користувачів, оснащених комп'ютером (в даний час в дивізії США близько 1300 комп'ютерів, в повністю „комп'ютеризованій” дивізії – більше 5000 комп'ютерів).

Тому були визначені основні технічні вимоги до наступних поколінь тактичного зв'язку [14]. Це:

- 1) інтеграція всіх видів трафіка (мова, IP дані, графіка, відео, відеоконференції);
- 2) надійне функціонування на значних географічних площах в умовах застосування як звичайної, так і ядерної, біологічної та хімічної зброї;
- 3) повна мобільність всіх користувачів і всіх елементів мережі;
- 4) можливість засекреченої передачі всіх видів інформації;
- 5) мінімальна участь людини в питаннях планування та ведення зв'язку.

Далі, замість неоднорідних і різнотипних засобів радіозв'язку (наявних на озброєні) передбачається створити уніфікований програмований засіб радіозв'язку FDR / MBMMR / JTRS (Future Digital Radio / Multi-Band Multi-Mode Radio / Joint Tactical Radio system), до якого пред'являються такі основні вимоги [14, 15]: відкрита архітектура, програмованість, модульність побудови, динамічне управління частотним ресурсом, підтримка комерційного TCP/IP-протоколу, забезпечення самоорганізації мережі, передача засекреченої інформації з використанням ретрансляції передавальних пакетів, інтеграція передачі мови та даних, дальність радіозв'язку від 4 до 10 км.

В даний час йдуть дослідження зі створення інтелектуальних радіозасобів і мереж у цілому, які можуть адаптувати свої режими і алгоритми роботи на основі рішень, що приймаються системами управління в яких використовуються бази даних і знань.

Більшість розвинених країн світу розглядають застосування військових РМС як перспективу розвитку систем зв'язку тактичного і оперативного-тактичного рівня. Мобільна компонента (сукупність мереж, що мають здатність до самоорганізації, переміщення, згортання і розгортання вузлів) покликана забезпечити інформаційний обмін в інтересах всіх військ, які є в тактичній зоні незалежно від їх підпорядкування і завдань, які вони виконують. Передбачається, що її архітектура неоднорідна, ієрархічна і складатиметься з наступних основних рівнів) (рис. 3) [16, 17]:

- 0-й рівень, який можуть утворювати сенсорні мережі (мережі телеметрії);
- 1-й рівень – мобільні радіомережі низової ланки управління – бойові радіомережі;
- 2-й рівень – мережі мобільних базових станцій (МБС), що утворюють опорну мережу;
- 3-й рівень – повітряна (космічна) мережа, яка може бути реалізована на безпілотних літальних апаратах (супутниках).

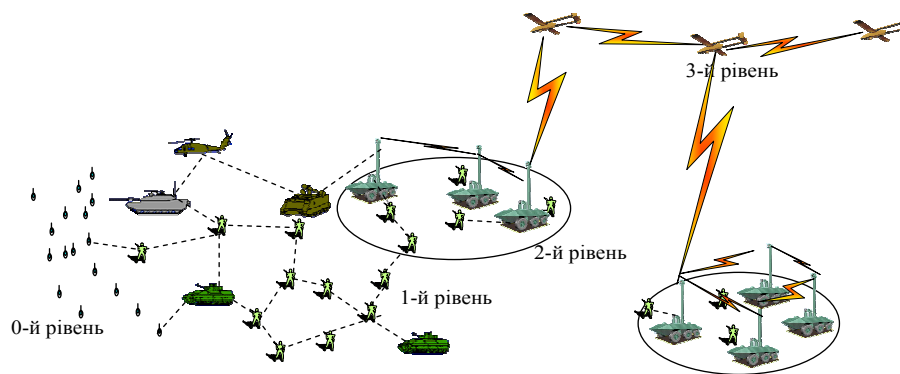


Рис. 3. Перспективна архітектура мобільної компоненти

Створення (введення) кожного рівня мобільної компоненти передбачає поліпшення показників якості функціонування всієї системи радіозв'язку. Кожен рівень мобільних компонент використовує свій піддіапазон частот. Основні характеристики мобільних компонент наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Основні характеристики мобільних компонент

Основні характеристики	Босві радімережі – 1-й рівень	Мережа МБС – 2-й рівень	Сенсорні мережі – 0-й рівень	Мережа на літальних апаратах – 3-й рівень
Розмірність	Сотні-тисячі	Десятки	Сотні-тисячі	Десятки
Принцип організації і побудови	Самоорганізація мережі, комутація пакетів, кожен вузол – маршрутизатор інформаційних повідомлень			
Мобільність	Висока	Низька	Низька	Дуже висока
Тип і спосіб управління	Розподілений, технологічний	Зоновий, організаційно-технологічний	Розподілений (ієрархічний), технологічний	Зоновий, організаційно-технологічний
Спосіб розподілу радіоресурсу	Випадковий	Детермінований, гібридний	Випадковий	Детермінований
Потужність передавача терміналу; дальність зв'язку і швидкість передачі (залежать від частоти, потужності передавача, типу антени і т.д.)	Солдат – одиниці Вт, до 1 км; транспортний засіб – десятки Вт, декілька км; 0,01–1 Мбіт/с	Десятки Вт; до 10–20 км; між МБС > 20 Мбіт/с (радіоканал); між МБС > 100 Мбіт/с (оптичний канал); між МБС-МА – 0,01–1 Мбіт/с; між МБС-БЛА > 20 Мбіт/с	Визначається типом сенсорів; (для наземних – мВт, сотні метрів, > 0,01 Мбіт/с)	Десятки Вт; десятки км; > 20 Мбіт/с

Однак, незважаючи на тривалий час розробки РМС, і сьогодні залишаються невирішеними значна кількість проблемних питань, що перешкоджають широкому розповсюдженню таких мереж як у військовій сфері, так і у загальній структурі глобальних телекомунікацій. Серед них можна виділити такі проблеми.

1. Організація надійного транспорту даних при змінній структурі і топології мережі.
2. Підвищення швидкості передачі інформації, яка зазвичай обмежена виділеним частотним ресурсом та методами доступу абонентів до колективно використовуваного радіоресурсу.
3. Створення ефективних методів (алгоритмів) управління на різних рівнях еталонної моделі взаємодії відкритих систем з урахуванням особливостей конкретної РМС. Поява нових технологій радіозв'язку (MIMO, систем визначення місцеположення, широкопasmові і надширокопasmові сигнали тощо), а також різні прикладні програми, вимагають створення нових методів управління даними мережами, в тому числі з використанням методів штучного інтелекту.
4. Проблема ефективного використання ресурсів вузлів (більшість вузлів мережі можуть бути портативними і відповідно обмежені у своїх ресурсах: зі продуктивністю процесорів, ємністю пам'яті та енергоємністю батарей та ін.)

5. Гарантування заданої якості обслуговування для різних типів трафіка, пов'язаного із забезпеченням необхідних затримки і швидкостей передачі, кількості втрачених пакетів, величини часу відновлення зв'язності після її втрати.

6. Проблема масштабованості та адресації в мережах при організації РМС великої розмірності.

7. Взаємодія з мережами загального користування та мережею Інтернет.

8. Забезпечення безпеки в умовах децентралізованого управління та широкомовної природи радіоканалу.

У наукових роботах дослідників інституту приділяється увага вирішенню значної частини зазначених проблем. Таким чином, система зв'язку тактичної ланки управління розвивається в напрямку застосування відкритої архітектури, впровадження новітніх телекомунікаційних технологій при розробці РМС. Впровадження даних мереж дозволить створити транспортне середовище для єдиного інформаційного простору поля бою і забезпечити ефективну реалізацію бойових можливостей військ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Громаков Ю.А. Концепции развития мобильной и беспроводной связи общего пользования / Ю.А. Громаков // Электросвязь. – 2008. – № 12. – С. 51 – 57.

2. Internet Engineering Task Force (IETF). Mobile Ad Hoc Networks (MANET) Working Group Charter. [Електронний ресурс] – Режим доступу до журн.:

3. <http://www.ietf.org/html/charters/manet-charter.html>.

4. Perkins C.E. Ad Hoc Networking / Perkins C.E. – Addison-Wesley Professional, 2001. – 452 p.

5. Романюк В.А. Мобильные радиосети – перспективы беспроводных технологий / Романюк В.А. // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 12. – С. 62 – 68.

6. Дымарский Я.С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи / Дымарский Я.С., Крутякова Н.П., Яновский Г.Г. – М.: НТЦ “Мобильные коммуникации”, 2003. – 384 с.

7. Гребешков А.Ю. Стандарты и технологии управления сетями связи / Гребешков А.Ю. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 288 с.

8. Kahn R. Advances in Packet Radio Technology / Kahn R. // In Proceedings of the IEEE. – 1978. – № 66. P. 1468 – 1496.

9. Бунин С.Г. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью / Бунин С.Г., Войтер А.П. – К.: Техніка, 1989. – 223 с.

10. Эфремидес Э. Вопросы проектирования надежных мобильных радиосетей, использующих методы передачи и приема сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты / Эфремидес Э., Уизелтир Д.Э., Бейкер Д.Д. // ТИИЭР. – 1987. – т.75, № 1. – С. 68 – 90.

11. Fifer W. The Low-Cost Packet Radio / Fifer W., Bruno F. // In Proceedings of the IEEE. – 1987. – № 75 (1). P. 33-42.

12. Beyer D.A. Accomplishments of the DARPA SURAN Program / Beyer D.A. // Military Communications Conference. – 1990. – Vol. 2. – P. 855 – 862.

13. Leiner B. Goals and Challenges of the DARPA GloMo Program / Leiner B., Ruth R., Sastry A. // IEEE Personal Communications. – 1996. – P. 34 – 43.

14. Романюк В.А. Направления развития тактических сетей связи / Романюк В.А. // Зв'язок. – 2001. – № 3. – С. 63 – 65.

15. Sharret I.P. WIN-T – The Army's New Tactical Intranet / Sharret I.P. // IEEE MILCOM'99. – 1999. – P. 45.04.01 – 45.04.05.

16. Tactical Radios 2011 // Compendium by Armada. – 2011. – № 4. – 32 p.

17. Communication Middleware for Tactical Environments: Observation, Experience, and Lessons Learned / [Suri N., Bervengu E., Torsonesi M., Stefanelli C.] // IEEE Communications Magazine. – 2009. – Vol. 47, № 10. – P. 56 – 63.