

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТАКТИЧНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

У статті розглядаються перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж, приводиться їх класифікація і вимоги які пред'являються до них. Проводиться аналіз проблем створення і розвитку.

Розглядаються сенсорні мережі (*Wireless Sensor Network*) – розподілені бездротові мережі, що складаються з маленьких вузлів (сенсорів), з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища, обробки і передачі даних.

Сенсорні пристрої є інтегрованою платформою, яка об'єднує можливості сенсорів (зовнішніх датчиків, які реєструють сукупність параметрів, – акустичних, вібраційних, радіаційних, хімічних, біологічних і т.п) з мікрокомп'ютерами, сполученими в бездротову мережу. Це дозволяє сенсорному пристрою самостійно проводити початкову обробку даних, вимірювання і підтримувати зв'язок з зовнішньою інформаційною системою.

Основними елементами сенсорів є: датчики для контролю зовнішнього середовища, мікрокомп'ютер, джерело живлення і радіо приймач-передавач (малої потужності, нижче 10 мВт, що не вимагає отримання спеціального дозволу) (рис. 1).

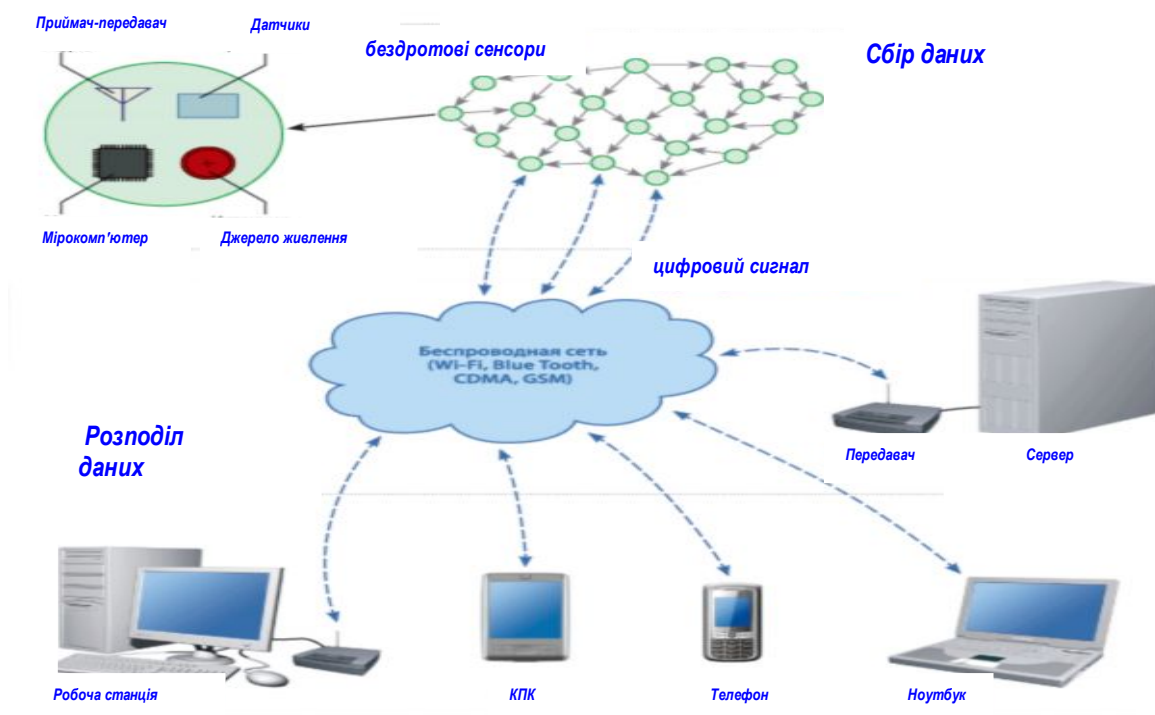


Рис. 1. Схема взаємодії сенсорних пристроїв із зовнішнім інформаційним середовищем

Елементи сенсорної мережі є автономними, тобто містять всередині все необхідне для роботи. Сенсорні пристрої не вимагають зовнішнього живлення, проводів для комунікації, сервісного обслуговування. Сенсори повинні розроблятися так, щоб споживати мінімальну потужність, дозволяючи функціонувати по декілька років від внутрішніх елементів живлення. Класифікація сенсорних мереж приведена на рис. 2.

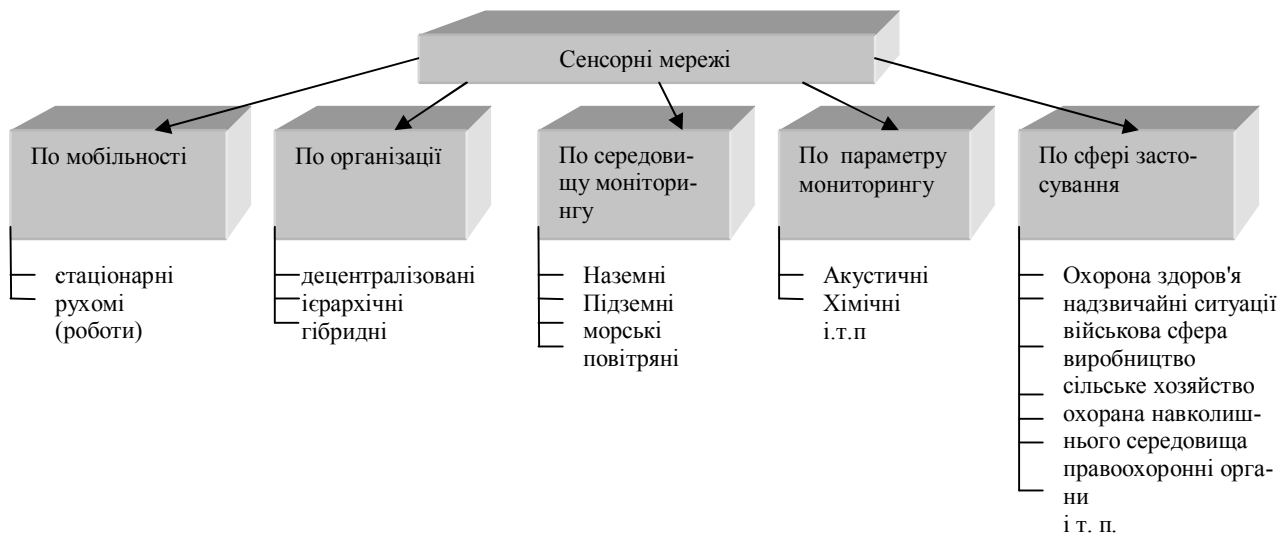


Рис. 2. Класифікація сенсорних мереж

Розглянемо класифікацію сенсорних мереж:

1. По мобільності

Стаціонарні і рухомі сенсорні мережі. Залежно від сфери застосування можливо використовувати мобільні (роботи) сенсорні мережі і стаціонарні. Мобільні сенсорні мережі є окремим випадком MANET.

2. По організації

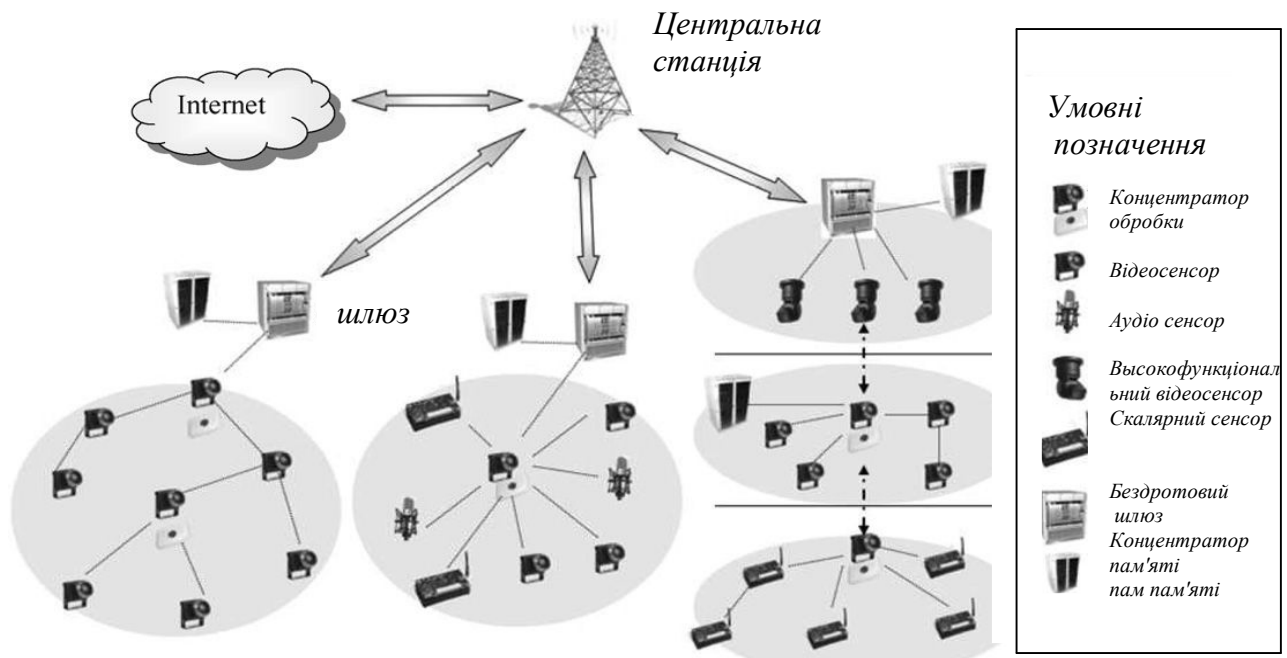
Децентралізовані, ієрархічні і гібридні сенсорні мережі. Ієрархічна організація мережі припускає розбиття мережі на зони (кластери) з виділенням в кожній зоні головних і простих вузлів, а також шлюзів (для зв'язку між зонами). Вона є комбінацією централізованого (у зонах) і децентралізованого (між головними вузлами) способів управління.

На рис. 3, приведений приклад взаємодії сенсорних мереж різної архітектури [1].

На рисунку 3 (а) представлена неієрархічна мережа однотипних відеосенсорів. Дані сенсори здійснюють розподілену обробку даних. Передача інформації здійснюється з використанням багатократних ретрансляцій (маршрутизацій). Один або декілька сенсорів мають бездротовий доступ до зовнішнього шлюзу, який у свою чергу пов'язаний з іншими мережами (дротяними, стільниковими і ін.).

На рисунку 3 (б) представлена ієрархічна кластеризована архітектура неоднотипних сенсорів (зображена тільки одна група). Однотипні відео-, аудіо-, і скалярні сенсори передають дані до головного вузла (кластеру), який відповідає за виконання централізованої обробки даних. Головний вузол передає зібрану інформацію через зовнішній шлюз в концентратор пам'яті і на центральну станцію.

На рисунку 3 (в) представлена гібридна мережа з однотипними і неоднотипними сенсорами. Кожен ярус виконує різні функціональні завдання. Обмежені ресурсом, однотипні сенсори з низьким енергоспоживанням відповідають за виконання простіших завдань (виявлення скалярних фізичних розмірів і т. п.), тоді як сенсорні пристрої з великою потужністю відповідальні за рішення комплексних задач (обробка, передача інформації і т. п.). Зберігання і обробка даних може бути виконана розподіленим способом в кожному різному ярусі.



3 (а). Неієрархічна мережа: однотипні сенсори, розподілена обробка даних, централізоване зберігання.

3 (б). Ієрархічна кластеризована мережа: різні типи сенсорів, централізована обробка даних, централізоване зберігання.

3 (в). Гібридна мережа: різні типи сенсорів, розподілена обробка даних, розподілене зберігання.

Рис. 3. Приклад взаємодії сенсорних мереж різної архітектури

Переваги гібридної архітектури розглядаються в [2], де за допомогою експериментів показано, що така архітектура пропонує значні переваги в питаннях масштабованості, низької вартості, кращого покриття, вищих функціональних можливостей і кращої надійності.

3. По середовищу моніторингу

Наземні, підземні, морські, повітряні. Прикладом може служити розгорнена на дні океану ще в 60-і роки військовим агентством *DARPA* підводна сенсорна мережа стеження за радянськими підводними човнами.

4. По параметру моніторингу

Акустичні, хімічні і т. п. Залежно від середовища моніторингу в сенсорах використовують датчики і мікрокомп'ютери, реєструючи певні параметри, (наприклад, рівень радіації на забрудненій території).

5. По сфері застосування

Охорона здоров'я. Медичні сенсорні мережі [3] можуть бути інтегровані з 3G мультимедійними мережами, для забезпечення повсюдної роботи служби охорони здоров'я. Пацієнти матимуть медичні сенсори контролюючі певні параметри такі як (температура тіла, кров'яний тиск, пульс, кардіограма, дихальна активність). Крім того, дистанційні медичні центри зможуть виконувати дистанційний моніторинг своїх пацієнтів через відео- і звукові сенсори, сенсори позиціонування, переміщення або сенсори активності, що також знаходяться на (в) тілі пацієнта.

Екологічний моніторинг. Передбачає акустичну і відеопередачу інформації, яка повинна бути передана за короткий проміжок часу. Наприклад, масиви відеосенсорів вже використовуються океанографами, щоб визначити мілину через технології зображення [4].

Управління виробничим процесом. Передбачає контроль якості вироблених продуктів (деталі або закінчені продукти автоматично оглядаються для знаходження дефекту).

Управління рухом, системи управління. Дозволяють контролювати автомобільний рух у великих містах або на магістралях і розвернути службу, яка зможе управляти рухом для уникнення пробок. Крім того, інтелектуальна парковочна система, що складається з мультимедійних сенсорів [5] дозволить відшукати вільні місця і забезпечить автоматичну парковку, покращуючи мобільність в міських зонах. Крім того, мультимедійні сенсори зможуть здійснювати контроль автомобільних потоків на магістралях і надавати різну інформацію, типу середньої швидкості, кількості автомобілів і т. п., а також виявляти порушення правил дорожнього руху і посилати інформацію в службу правопорядку, для ідентифікації порушника, а у разі аварій для дослідження місця аварії.

Надзвичайні ситуації. При пожежі на великому складі в промисловій зоні міста бездротова сенсорна мережа, розгорнена в будівлі, зможе передати прибулим на місце пожежником докладну інформацію про місцеположення джерела спалаху, характеристики пожежі і причини його виникнення, а також про передбачувані шляхи його розповсюдження. В результаті пожежники зможуть швидко узяти ситуацію під контроль.

Сільське господарство. Виробництво вина – заняття, що вимагає обліку величезної кількості різноманітної інформації. На якість вина впливає безліч факторів, і досвідчені винороби скрупульозно враховують щонайменші нюанси, щоб добитися найкращого букета напою. Але якщо використовувати сенсорні мережі, то можна «засівати» виноградник бездротовими датчиками і безперервно відстежувати температуру, вологість і інші параметри, важливі для дозрівання кожної лози. Потім можна проаналізувати, яке поєднання погодних умов дає ту або іншу якість вина, і надалі змішувати сік різних кетягів вже на науковій основі.

Військова сфера.

В даний час сенсорні мережі вже існують. Деякі з них проходили "бойові" випробування в Афганістані і Іраку, де озброєні сили США розмістили декілька тисяч сенсорів з метою відстежування пересувань бойової техніки. На рисунку 4 приведений варіант тактичної самоорганізуючої сенсорної мережі викинутої безпілотними летальними апаратами (БЛА), яка здійснює стеження за пересуванням бойової техніки і її кількістю.

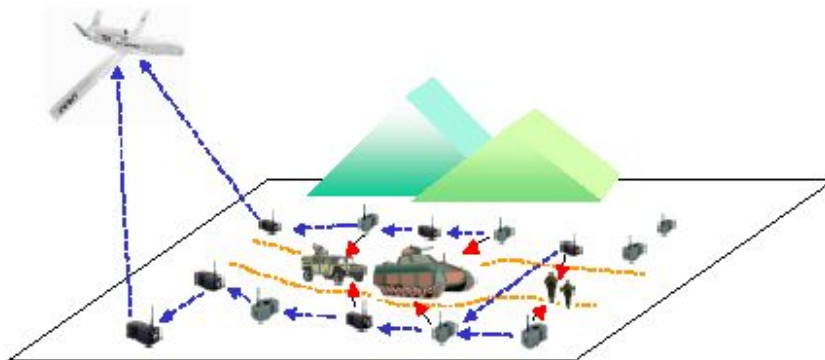


Рис. 4. Варіант тактичної сенсорної мережі, що самоорганізується

Багато хто з вищезгаданих додатків вимагає перегляду концепції розвитку сенсорних мереж, зважаючи на потребу в механізмах, передачі мультимедійного трафіка з високою швидкістю і заданою якістю обслуговування (*QoS-Quality of Service*) [6, 7].

Тактичні сенсорні мережі.

Основні особливості сучасного бою, такі як розгортання на широкому фронті, бойовий порядок великої глибини, швидкість течії, висока маневреність, застосування високоточної зброї, глобальна система розвідки, нові способи ведення бойових дій дають напрям дослідження і розвитку тактичних сенсорних мереж військового призначення.

В даний час швидке зростання технологій в області телекомунікацій привело до випереджаючого розвитку комерційних мереж, проте необхідність скорочення бюджетних коштів на оборону вимагає впровадження цивільних технологій у військову область.

Виходячи з цього, в тактичних сенсорних мережах військового призначення необхідно використовувати комерційні стандарти і проводити наукові розробки з урахуванням характеристик військової інфраструктури.

Вже зараз можна привести приклад використання локальних і міських мереж цивільного призначення, які базуються на використанні протоколів IEEE802.11, Bluetooth і т. п. Основні характеристики існуючих протоколів канального рівня бездротових мереж приведені в [8]. Переваги має протокол IEEE 802.11, який після деяких модифікацій може бути використаний в тактичних сенсорних мережах військового призначення.

Принциповою відмінною особливістю тактичних сенсорних мереж є принцип самоорганізації і маршрутної передачі даних. Пристрої володіють здатністю ретрансляції повідомлень за маршрутом, це дозволяє збирати інформацію про об'єкти, що перевершують за своїми розмірами дальність радіозв'язку одного сенсора. У таких умовах, коли розповсюдження радіохвиль можливе тільки в прямій видимості, ретрансляція єдиний спосіб передати повідомлення по радіо на значні відстані.

Іншими важливими властивостями тактичних сенсорних мереж самовідновлення, і самоорганізації. Після установки елементів вони самостійно прокладають маршрути обміну інформації і здатні корегувати їх при змінах в мережі.

Приведемо основні характеристики тактичних сенсорних мереж.

Розмірність: сотні, тисячі (залежить від області застосування)

Принцип організації і побудови: самоорганізація мережі, комутація пакетів, кожен вузол маршрутизатор.

Мобільність: мобільні сенсорні мережі (роботи) є окремим випадком MANET.

Тип і спосіб управління: ієрархічний, розподілений.

Потужність передачі терміналу: визначається типом сенсора.

Дальність зв'язку: на даному етапі сотні метрів.

Швидкість передачі: швидкість передачі в радіоканалі залежить від відстані між абонентами, потужності передавача і інших параметрів фізичного рівня [9].

Вимоги що пред'являються до тактичних сенсорних мереж.

Висока пропускна спроможність: мультимедійні, особливо відеопотоки, вимагають високу пропускну спроможність, яка є на порядок вище, ніж підтримувана в даний час сенсорними елементами. Наприклад, номінальна швидкість передачі сучасного IEEE 802.15.4 сумісних вузлових елементів, типу Crossbow [10] MICAz або TELOSb [11] 250 кБіт/сек.

Можливість програмування: програмування і зручність перепрограмування кожного сенсора, для виконання різних прикладних завдань.

Масштабованість: сенсорна мережа повинна швидко перебудовуватися до топології, що зростає.

Самоорганізація мережі. Розгорнена сенсорна мережа самостійно прокладає маршрути обміну інформації і здатна корегувати їх при змінах в мереж.

Інтелектуальність, децентралізованість і оптимізація функцій управління (маршрутизація, навантаження, енергозбереження, топологія, радіоресурс, безпека і т.п.) [12].

Робота з різними видами трафіка. Сенсорні мережі повинні здійснювати обробку різних (мова, дані, відео) мультимедійних даних, отриманих з навколишнього середовища. Це вимагає нової архітектури для сумісної, розподіленої і обмеженої ресурсом обробки, яка дозволить фільтрацію і відбір важливої інформації, збільшить системну масштабність, зменшуючи передачу зайвої інформації, узагальнюючи дані, отримані з різних додатків, різними засобами зв'язку [13].

Наявність систем позиціонування, спрямованих антен, робота в русі.

Використання направлених антен дозволяє в сенсорних мережах збільшити пропускну спроможність радіоканалу за рахунок просторового рознесення процесу передачі (передачі між сусідніми вузлами не заважають один одному) і збільшити енергетику відносно одержувача. Проте це ускладнює вирішення проблеми прихованого терміналу, а також породжує нову проблему – визначення наявності сусідніх вузлів і визначення їх місцеположення (напрями щодо даного вузла). Можливим рішенням є застосування у вузлах GPS-приймачів і/або періодична передача кожним вузлом повідомлень присутності [14].

Інтеграція з Інтернет (IP) архітектурою. Необхідно щоб майбутні сенсорні мережі були віддалено доступні з Інтернету і інтегровані з конструкцією IP.

Проте на даний момент характеристики сенсорних мереж виключають таку можливість і рекомендують використання на прикладному рівні міжмережєвих інтерфейсів або оверлей-мерів IP-мереж як кращих методів для об'єднання сенсорних мереж і Інтернету [15].

Гнучка архітектура, для підтримки різних додатків. Архітектура сенсорної мережі повинна підтримувати різні, незалежні додатки з різними технічними вимогами. Необхідно розробити гнучку, ієрархічну архітектуру, яка об'єднає всі ці технічні вимоги в одній інфраструктурі.

Достоїнства.

Низька вартість сенсорного елемента. На 2010 рік орієнтовно 0,2 долара.

Швидке розгортання. Новий абонент може бути підключений до сенсорної мережі за декілька хвилин замість місяців, необхідних для побудови нової кабельної мережі.

Відсутність необхідності в обслуговуванні. Після установки сенсорний елемент здатний пропрацювати декілька років без заміни елемента живлення.

Інтелектуальність. При включенні точки доступу, вона автоматично виявляє інші точки доступу і «з'ясовує» свою роль в мережі. Це виключає необхідність ручного адміністрування мережі і грає важливу роль для оперативного розгортання устаткування.

Відмовостійкість і живучість в жорстких умовах експлуатації. Особливість сенсорної мережі полягає у відсутності центрального управляючого пристрою, можливості самоорганізації і само адаптації, відповідно до параметрів середовища, що змінюється.

Велике покриття. Завдяки багатострибкої маршрутизації, непотрібна наявність прямого зв'язку між абонентами і базовою станцією.

Проблеми створення і розвитку.

На даному етапі існує ряд труднощів для побудови тактичних сенсорних мереж. Необхідно вирішити ряд наукових завдань (маршрутизація, управління потужністю, управління топологією, управління енергоресурсом, безпека, забезпечення заданої якості передачі і т. п.) при обмеженнях ресурсу радіотерміналу (місткість пам'яті, продуктивність процесу, місткість батареї).

Канальний рівень. Детальний факторний аналіз, проведений в [16], показав, що:

1. Ефективність методу доступу в сенсорних мережах залежить не тільки від вхідного навантаження, а також від мобільності вузлів, використовуваного методу маршрутизації [17] і поточної топології мережі.

2. Не існує єдиного методу доступу (або комбінації методу доступу/методу маршрутизації), що забезпечують ефективне функціонування мережі за різних умов.

Таким чином, єдиного методу доступу, що задовольняє всім вимогам не існує. Вибір (синтез) необхідного методу доступу не можна розглядати ізольовано від інших рівнів еталонної моделі взаємодії відкритих систем. Він визначатиметься параметрами сенсорної мережі (розмірністю, мобільністю, оснащеністю вузлів, обладнанням позиціонування, спрямованими антенами і ін.), параметрами інформаційного навантаження і вимогами до її передачі, а також ухваленими рішеннями на інших рівнях.

Застосування конкретного методу доступу визначатиметься поточною метою управління мережею, її станом і ухваленими рішеннями на інших рівнях еталонної моделі. Для ухвалення рішення по використанню конкретного методу (в умовах відсутності повної інформації про стан мережі) доцільно використовувати методи нечіткого ситуативного управління [18].

Мережевий рівень (маршрутизація). Методи маршрутизації (ММ), вживані в стаціонарних мережах зв'язку [19], орієнтовані на статичну мережеву топологію і неефективні в сенсорних мережах. За останні декілька років для використання в сенсорних мережах запропонована значна кількість ММ [20, 21]. Проте постійний технологічний прогрес в області мікроелектроніки, необхідність надання нових послуг і нові сфери застосування сенсорних мереж викликають необхідність розробки нових ефективних методів маршрутизації.

Транспортний рівень. Основною проблемою управління навантаженням на транспортному рівні є втрата пакетів. Проте, у відмінності від проводових мереж передачі даних, в яких втрата пакетів може відбуватися, в основному, через локальні перевантаження на окремих вузлах мережі, в бездротових мережах існує багато причин втрати пакетів, через які стандартний протокол транспортного рівня *TCP* втрачає свою ефективність. Серед них втрата пакетів даних через мобільність абонентів мережі, що у свою чергу приводить до обриву каналу між абонентами, зміни маршруту передачі, повторній передачі великої кількості пакетів, обмежена ширина смуги пропускання, затримки при доступі до каналу, велика кількість помилок в каналі [22].

Аналіз приведений в [23] показав що: зараз існує багато робіт з адаптації протоколу *TCP* для використання в мобільних мережах, проте вони, в основному, враховують тільки окремі особливості бездротового середовища (*C3TCP*, *TCP-MEDX*), або вимагають істотної модернізації мережевого устаткування, яке успішно використовується в даний час (*TCP Vegas*). Тому для ефективного функціонування протоколів транспортного рівня необхідно розробити механізм, який би враховував всі перераховані особливості бездротових мереж і давав можливість чітко і точно визначити причину втрати пакетів (внаслідок перевантажень, або помилок в мережі).

Якість обслуговування (QoS, Quality of Service). Термін QoS припускає набір параметрів (пропускна спроможність, затримка доставки пакетів і її варіація та інші) для певного потоку даних [24].

У Інтернет модель QoS визначена трьома основними рівнями сервісу [24]: сервіс "без гарантії доставки" (*Best-effort service*), диференційований сервіс – певному класу трафіка віддається перевага при обслуговуванні, гарантований сервіс – повне (абсолютне) резервування мережевих ресурсів для трафіка певного класу. У той же час особливості сенсорних мереж визначають наступні основні вимоги до QoS-методів управління: забезпечення параметрів інформаційного обміну відповідно до типу трафіка; децентралізованість і розподіленість функціонування; нечутливість до втрати частини пакетів і можливої відсутності точних значень QoS-параметрів; можливість адаптації до поточної ситуації в мережі; мінімізація витрати об-

числювальних і мережевих ресурсів. Тому вживані QoS-моделі в стаціонарних мережах не можна застосовувати в сенсорних мережах, виходячи з їх особливостей. На сьогоднішній день для сенсорних мереж запропоновано ряд QoS-моделей управління [25]: *INSIGNIA*, *FQMM (Flexible QoS Model for MANETs)*, *iMAQ (Integrated MANET QoS)*, *SWAN (Service Differentiation in Wireless Ad hoc Networks)*, *2LQoS (Two-Layer QoS)* та ін. Проте вони передбачають управління якістю на певному рівні еталонної моделі взаємодії відкритих систем (EM VOC) і реалізують прості алгоритми адаптації і резервування ресурсів вузлів (каналів) до різного типу трафіка.

Фізичний рівень. Необхідна адаптація до швидких змін параметрів радіоканалу. Сенсорні мережі повинні відповідати наступним характеристикам: мобільність (підтримання частоти і адаптації до загасання каналу на фізичному рівні); адаптація каналу з використанням кодів, що корегують; зміна потужності передачі (з метою мінімізації перешкод, мінімізації затримки, максимізації пропускної спроможності та ін.).

Безпека. Забезпечення безпеки на каналному рівні здійснюється аутентифікацією і шифруванням. Необхідно відзначити, що існуючі механізми безпеки в провідних (стільникових) мережах зв'язку є централізованими і тому неприйнятні для МР. В цілому, вирішення проблеми безпеки передачі інформації в МР вимагає окремого розгляду і виходить за рамки даної статті [26].

Енергозбереження. Методам продовження терміну служби в сенсорних пристроях відводиться особлива роль. Ці методи включають оптимізацію апаратного забезпечення (оптимізація напруги, тактової частоти), режими «сон», що підтримують електронну апаратуру в пасивному режимі більшість часу, і розробку енергетичних протоколів для сенсорних систем передачі. Крім того, енергозберігаючі методи, що здатні отримувати енергію з навколишнього середовища, представляють іншу важливу область дослідження в сенсорних мережах.

ЛІТЕРАТУРА

1. P. Kulkarni, D. Ganesan, P. Shenoy, Q. Lu, *Sens Eye: a multi-tier camera sensor network*, in: Proc. of ACM Multimedia, Singapore, November 2005.
2. P. Kulkarni, D. Ganesan, P. Shenoy, *The case for multi-tier camera sensor network*, in: oc. of The ACM Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV), Stevenson, WA, USA, June 2005.
3. F. Hu, S. Kumar, *Multimedia query with QoS considerations for wireless sensor network in telemedicine*, in: Proc. of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers – Intl. Conf. on Internet Multimedia Management Systems, Orlando, FL, September 2003.
4. R. Holman, J. Stanley, T. Ozkan-Haller. *Applying video sensor networks to near shore environment monitoring*, IEEE Perv. Comput. 2 (4) (2003) 14–21.
5. J. Campbell, P.B. Gibbons, S. Nath, P. Pillai, S. Seshan, R. Sukthankar, *IrisNet: an Internet-scale architecture for multimedia sensors*, in: Proc. of the ACM Multimedia Conference, 2005.
6. ITU-T G. 114 *One-way transmission time*, 1996.
7. ITU-T G. 1010 *End use multimedia QoS categories*, 2001.
8. Романюк В.А. *Мобильные радиосети-перспективы беспроводных технологий // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 12. – С. 53 – 58.*
9. Holland G., Vaidja H., Bahl P. *A Rate-Adaptive MAC Protocol for Wireless Networks // In Proceedings ACM/IEEE MOBICOM'01, July 2001.*
10. *Crossbow*. <<http://www.xbow.com>>.
11. *Crossbow, TelosB, Mote Specifications*. <<http://www.xbow.com>>.
12. Миночкин А.И., Романюк В.А. *Методы множественного доступа в мобильных радиосетях. // Зв'язок. – 2004. – № 2.*

13. *H. Stockdon, R. Holman*, Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery, *J. Geophys. Res.* 105 (C9) (2000) 22, 015 – 22, 033.
14. *Korakis T., Jakllari G., Tassiulas L. A.*, MAC protocol for full exploitation of Directional Antenas in Ad-hoc Networks // In Proceedings МОБИНОС'03, 2003. – pp. 98 – 107.
15. *M. Zuniga, B. Krishnamachari*, Integrating future largescale sensor networks with the Internet, USC Computer Science Technical Report CS 03-792, 2003.
16. *Barlett C., Drozda m., Marathe A.*, Analysis Interaction Between Networks Protocols, Topology and Traffic in Wireless Radio Networks // In Proceedings WCNC'03, 2003.
17. *Минович А. И., Романюк В.А.* Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях // Зв'язок . – № 1. – 2001. – С. 31 – 36.
18. *Леоненков А.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. – СПб: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
19. *Кульгин М.* Технологии корпоративных сетей. – СПб: Издательство “Питер”, 2000. – 704 с.
20. *Минович А.И., Романюк В.А.* Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2001. – № 1. – С. 31 – 36.
21. <http://www.ietf.org/html/charters/manet-charter.html>.
22. *D. Kliazovich, F. Granelli*, Cross-Layer Congestion Control in Ad Hoc Wireless Networks, *Ad Hoc Networks Journal*, vol. 4, no. 6, pp. 678-708, 2006
23. *Минович А.И., Романюк В.А., Сова О.Я.* Аналіз методів управління навантаженням в мобільних радіомережах на транспортному рівні моделі OSI. Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ “КПІ” – № 3. – 2006.
24. *Кучерявый Е.А.* Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
25. *M. Perillo, W. Heinzelman*, Sensor management policies to provide application QoS, *Ad Hoc Networks* (Elsevier) 1 (2–3) (2003) 235–246.
26. *Papadimitratos P., Haas Z.J.* Secure Data Transmission in Mobile Ad Hoc Networks // In proceedings Second ACM Workshop on Wireless Security (WiSe'03), 2003.