

УДК 621.391

**Лисенко О.І.,**

д.т.н., професор,

**Кашуба С.В.,**

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут"

## **УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ ЗА ЗАПИТОМ У СУПУТНИКОВИХ КАНАЛАХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ**

*Анотація. Сенсорні системи є ефективним засобом збору інформації про оточуюче середовище. Для забезпечення швидкісної та надійної передачі, а також гнучкості розгортання систем, безпроводні сенсорні мережі можуть використовувати супутникові канали передачі. Більшість супутникових технологій передачі даних не враховує особливих вимог, що виникають у сенсорних мережах. В роботі розглянуто проблему організації множинного доступу до супутникового каналу та запропоновано можливі шляхи вдосконалення до наявних протоколів множинного доступу з наданням ресурсу за потребою.*

*Ключові слова: безпроводні сенсорні мережі, множинний доступ, DAMA.*

**Лысенко А.И.**

д.т.н, профессор,

**Кашуба С.В.,**

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт"

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА ПО ТРЕБОВАНИЮ В СПУТНИКОВИХ КАНАЛАХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ**

*Аннотация. Сенсорные системы являются эффективным средством сбора информации об окружающей среде. Для обеспечения скоростной и надежной передачи, а также гибкости разворачивания систем, беспроводные сенсорные сети могут использовать спутниковые каналы передачи. Большинство спутниковых технологий передачи данных не учитывает особенных требований, которые возникают в сенсорных сетях. В работе рассмотрена проблема организации множественного доступа к спутниковому каналу и предложены возможные пути усовершенствования имеющихся протоколов предоставления ресурсов по запросу.*

*Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, множественный доступ, DAMA.*

**Lysenko A.I.,**

doctor of tech. sciences, professor,

**Kashuba S.V.,**

National Technical University of Ukraine

"Kyiv Polytechnic Institute"

## **ADAPTATION OF DEMAND ASSIGNMENT MULTIPLE ACCESS METHODS IN SATELLITE CHANNELS FOR SENSOR NETWORKS**

*Annotation. Sensory systems are an effective mechanism for collection of information about the environment. To ensure fast and reliable transmission, system deployment flexibility wireless sensor networks can use satellite transmission channels. Most satellite data transmission technologies do not address specific requirements that arise in sensor networks. The paper considers problem of multiple access in satellite channel and suggest possible ways to improve the existing protocols providing resources on demand in sensor networks context.*

*Key words: wireless sensor networks, multiple access, DAMA.*

**Вступ.** Розвиток наземних кабельних та бездротових технологій доступу дозволяє надання всього спектру телекомунікаційних послуг, але, в умовах значного територіального рознесення вузлів зв'язку та при необхідності оперативного розгортання, супутникові мережі є ефективним інструментом отримання надійного та швидкісного зв'язку. Однією зі сфер телекомунікацій, де виникають зазначені вище умови, є безпроводні сенсорні мережі (БСМ).

БСМ можуть використовуватися у ряді систем спостереження за територіально розподіленими об'єктами. Виділяють наступні прикладні сфери їх застосування: моніторинг та спостереження за віддаленими районами (особливо, в надзвичайних ситуаціях); збір даних про об'єкти спостереження (SCADA системи); моніторинг важливих інфраструктур; моніторингу навколишнього середовища [1]. У деяких випадках, наприклад, при необхідності організації спостереження за територією з відсутньою або зруйнованою наземною інфраструктурою, використання супутникового сегменту для передачі даних від сенсорів до центру обробки даних є просто необхідним.

В залежності від масштабів розгортання та особливостей інформації, що збирають сенсори, характеристики навантаження можуть відрізнятися у значній мірі. Система може отримувати кілобайти інформації за добу, а може, у тому числі, призначатися для збору аудіо чи відео інформації.

Фізичні ресурси супутникових систем мають жорсткі обмеження, що пов'язані зі значним віддаленням ретранслятора від поверхні Землі та можливостями супутникової платформи. Це лише посилює проблему організації множинного доступу до супутникового каналу. На відміну від супутникових систем, що призначені для організації комп'ютерних мереж та доступу до Інтернет, у БСМ супутниковий сегмент використовується переважно у зворотному напрямку (від рознесених земних терміналів до ЦОД). Це робить вибір протоколу доступу до каналного ресурсу супутникової системи важливою задачею, вирішення якої безпосередньо впливає на характеристики та економічну ефективність системи у цілому.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У роботі [1] проведено широкий огляд різних випадків використання супутникових ліній передачі у БСМ. Більшість БСМ використовують супутниковий термінал для організації зв'язку з однією або декількома вихідними точками наземного сегменту

сенсорної мережі. Проте можливі варіанти, коли сенсори виконують передачу у напрямку супутника безпосередньо (у тому числі розглядається колективна передача ідентичної інформації від групи сенсорів [2]).

Велика кількість супутникових систем для інтерактивної передачі даних є реалізаціями з використанням стандарту DVB-RCS [3, 4]. Роботи здебільшого розглядають застосування супутникових систем для передачі даних комп'ютерних мереж з якістю, що необхідна для мультимедійних сервісів.

**Постановка задачі.** При утворенні «містка» між сенсорами та ЦОД, використання супутникового обладнання, призначеного для комп'ютерних мереж, може привести до недостатньо ефективного використання ресурсів ССЗ та/або ресурсів супутникових терміналів. У якості архітектури БСМ розглядається система, що має велику кількість сенсорів розміщених одним або декількома групуваннями. У межах кожного групування може існувати один чи декілька вихідних вузлів БСМ, що передає зібрані дані на супутник (рис.1).

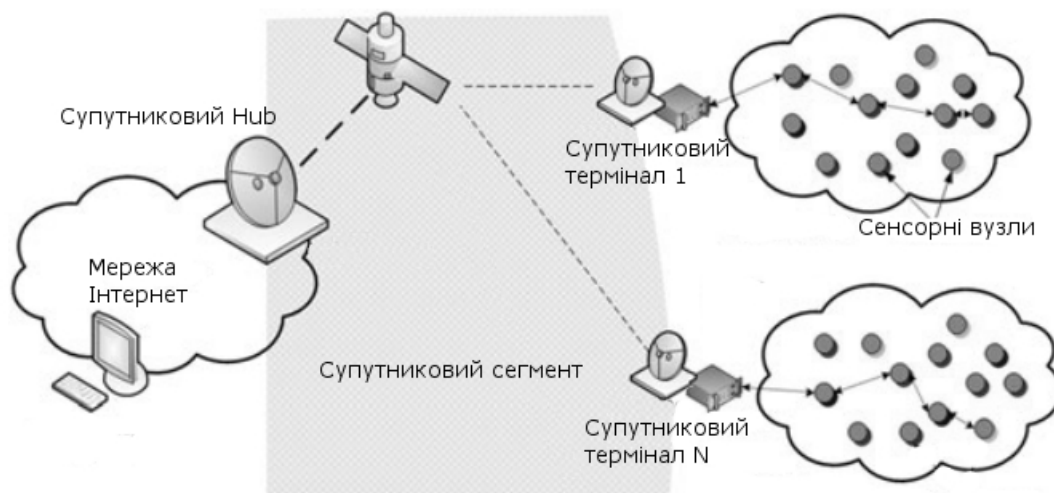


Рис.1. Загальна схема БСМ, що розглядається.

Передбачається, що мережеве навантаження від груп сенсорів може варіюватися у значній мірі. Сенсори можуть перебувати у неактивному стані, генерувати малу кількість даних (агреговані числові дані після компресії) або навпаки здійснювати інтенсивну передачу даних (наприклад, відео чи зображення).

**Огляд протоколів множинного доступу ССЗ.** За ознакою об'єкта, що ініціює передачу, можна виділити протоколи з опитуванням і без опитування. Протоколи множинного доступу (ПМД) з опитуванням передбачають наявність центральної станції (ЦС), яка послідовно опитує земні станції (ЗС). При цьому інформація від ЗС передається кадрами фіксованого тривалості. Кожній ЗС в кадрі виділяється тимчасове вікно, тривалість якого пропорційна апіорним відомостям про інформаційну активності даної ЗС. Ініціатором початку передачі є ЦС, яка відповідно до заздалегідь заданої програми, по черзі опитує ЗС.

Процедура опитування зводиться до передачі по окремому службовому каналу сигналу дозволу початку передачі. У разі змінної інформаційної активності ЗС процедура опитування наводить до малоефективного використання пропускної здатності каналу зв'язку, оскільки розміри часових вікон в кадрі доводиться вибирати, орієнтуючись на максимальне значення інформаційної активності кожної ЗС, і в результаті значна частина кадру може виявитися незаповненою.

Пропускна здатність ПМД з опитуванням в першу чергу визначається відношенням часу перемикавання між станціями, що включає в себе затримку поширення, час передачі запиту і час взаємної синхронізації ЦС і ЗС, до середньої тривалості інформаційної посилки. Для геостаціонарних ретрансляторів час перемикавання складе не менше 0,5 с. Оскільки під час перемикавання жоден термінал не здійснює передачу, ефективне використання каналу можливо при тривалості інформаційної посилки 3-5 с. Тому можливість використання опитувальних ПМД в ССЗ обмежується лише мережами збору даних з низькою швидкістю.

При використанні ПМД без опитування ініціатором передачі є земні станції. Протоколи фіксованого доступу передбачають поділ супутникового каналу зв'язку на ряд віртуальних каналів, що відрізняються один від одного за частотною, часовою або кодовою ознакою. Кожен з віртуальних каналів статично закріплюється за однією з ЗС мережі. Планування розподілу ресурсів супутникового каналу між ЗС здійснюється на досить тривалі відрізки часу на підставі апріорних відомостей про інформаційну активність станцій.

На противагу фіксованим, при випадковому асинхронному доступі будь-яка координата роботи між станціями повністю відсутня. Ресурс супутникового каналу є загальним для всіх станцій, і кожна з них здійснює передачу по мірі виникнення необхідності. При цьому частина пропускної здатності каналу зв'язку безповоротно втрачається через можливість зіткнення в часі передачі інформаційних пакетів від різних станцій. Протоколи синхронного випадкового доступу передбачають часткову наявність синхронізації між ЗС мережі.

Естафетні ПМД без опитування базуються на переміщенні по мережі відповідно до заздалегідь обраного маршруту маркера активності ЗС. Чергова активна ЗС, закінчуючи свою передачу, передає умовний сигнал закінчення передачі. Решта станції мережі, прийнявши цей сигнал, дізнаються про звільнення каналу, і право передачі (естафета) переходить до наступної на маршруті маркера активності станції. Конфліктів при використанні каналу зв'язку вдається уникнути завдяки тому, що маршрут передачі естафети відомий заздалегідь всім станціям.

Велику групу ПМД складають протоколи з резервуванням каналу за запитом (Demand Assignment Multiple Access – DAMA). У цьому випадку існує виділений або суміщений (з інформаційним) канал керування для

передачі запитів і відповідей. Станція, у якої є інформація для передачі, спочатку передає по каналу керування запит на виділення їй частини колективного ресурсу супутникового каналу. Після обробки запиту та оцінки поточного стану мережі станції через відповідний канал передається номер і час заняття виділеного їй каналу. Якщо в каналі керування використаний метод доступу без колізій, ПМД з резервуванням називається безконфліктним, а в іншому випадку – конфліктним [5].

**Вимоги до протоколів множинного доступу ССЗ, що використовуються в БСМ. Порівняння ПМД.**

До типових вимог ПМД супутникових систем можна віднести наступні:

- ПМД повинен забезпечувати задані показники якості обслуговування інформаційних потоків користувачів;
- ПМД повинен забезпечувати максимально можливий коефіцієнт використання пропускну здатності каналів зв'язку мережі;
- технічні засоби, що забезпечують функціонування ПМД, повинні бути прийнятні за критерієм складності/вартість.

Застосування супутникового каналу у БСМ також додає важливу вимогу мінімізації використання енергетичних ресурсів джерела живлення СТ.

Відповідно до цих вимог та постановки завдання порівняємо ПМД описані у попередній частині.

Фіксовані ПМД ефективні лише для передачі інформації з постійною інтенсивністю, яка може бути оцінена для кожного СТ заздалегідь. Надання для СТ каналу в одноосібне користування може бути занадто неекономічним (особливо, якщо кількість СТ у системі перевищує одиниці).

ПМД з опитуванням не є прийнятними в умовах, коли сенсорна мережа може потребувати надсилання мультимедійних даних на високій швидкості (знижується ефективність використання каналу через час переключення процесу передачі між СТ).

ПМД з випадковим доступом практично не витрачають канал на передачу службової інформації. Але при високих навантаженнях в мережі вони втрачають ефективність використання ресурсу через можливі колізії (одночасна спроба зайняття каналу декількома СТ). Для БСМ це також пов'язано з додатковим використанням енергії СТ через необхідність повторної передачі даних після колізії.

Протоколи з наданням ресурсу каналу за запитом (DAMA) є одним з найгнучкіших способів реалізації множинного доступу в інтерактивних (зі зворотним каналом) супутникових мережах. Вони дозволяють досягати високої ефективності використання каналу навіть при нерівномірному та інтенсивному навантаженні. Це досягається за рахунок централізованого управління ресурсами зворотного каналу, можливості реалізації різних

класів обслуговування для різних типів трафіку.

**Особливості роботи DAMA.** Процес передачі даних в системах з DAMA відбувається в два етапи. На першому СТ відправляє коротке повідомлення про необхідний ресурс передачі через низькошвидкісний канал з випадковим доступом. Після отримання такого повідомлення центральна станція (ЦС) супутникової мережі відповідно до запиту та завантаженості решти СТ визначає можливий ресурс, що буде виділено на певний проміжок часу. Інформація про дозволений ресурс передається до СТ.

На другому етапі відбувається власне передача корисних даних до ЦС. Перед закінченням періоду резервування ресурсу СТ може відправити новий запит, якщо є необхідність у продовженні передачі.

Характеристики протоколів DAMA супутникових систем для побудови комп'ютерних мереж адаптуються до потреб мультисервісних послуг. Основними критеріями їх оптимізації є пропускна здатність та мала затримка передачі. Виходячи з цього, період надсилання запитів на ресурс у таких системах намагаються зробити малим. Так, у стандарті DVB-RCS інтервал між надсиланням ресурсів складає 270 мс. Системи з технологією iDirect використовують інтервал 125 мс для зменшення затримки та джиттеру [6].

Параметри ПМД цих систем не співвідносяться з вимогами енергоефективності до СТ, які ми розглядаємо. Крім того для сенсорних мереж, які, як правило, використовують симплексну передачу даних, вимоги щодо затримки передачі часто можуть бути послаблені.

Наявність додаткових вимог до енергоефективності СТ приводить потреби адаптації ПМД супутникової системи.

При роботі супутникового терміналу, основна енергія використовується на передачу сигналу. Тому необхідно зменшити час та енергоємність надсилання як корисної інформації так і службових повідомлень самого ПМД.

**Зменшення кількості службових повідомлень, за рахунок довготривалого резервування.** Для початкового входження в процес передачі термінал має відправити запит (частіше через канал з випадковим доступом). При високій нерівномірності трафіку обсяг таких початкових запитів може бути значним. Для уникнення необхідності частого надсилання службових повідомлень, може використовуватися резервування ресурсу на змінний (збільшений) термін часу. У такому разі утворюється аналогія каналу з фіксованим розподілом у множинному доступі. У той же час інші СТ можуть використовувати DAMA зі стандартними для системи інтервалами зайняття ресурсу.

Для каналу одного СТ ресурси можуть резервуватися як у кожному суперкадрі каналного рівня (270 мс DVB-RCS), так і з більш тривалим інтервалом, якщо час затримки передачі не є критичною характеристикою.

Можливість такої роботи ПМД визначається лише здатністю ЦС належним чином обробляти повідомлення запитів.

Вибір значення проміжку резервування визначає період, протягом якого СТ може передавати дані зі сталою швидкістю без необхідності надсилати запити. Проте можливість надсилання запитів через службовий канал з випадковим доступом є завжди. Тому навіть при довготривалому резервуванні (хвилини, години), у разі необхідності різкого підвищення швидкості передачі зібраних даних, може бути надіслано запит, що буде супроводжуватися наданням ресурсу. Оперативність надання такого ресурсу є співрозмірною з часом подвійного супутникового «скачка», при реалізації DAMA в центрі керування мережею.

**Розподіл ресурсів супутникового каналу відповідно до енергетичних умов СТ.** Супутникові системи з DAMA як правило використовують цей ПМД над багаточастотним часовим багатостанційним доступом (MF-TDMA), який безпосередньо визначає принцип поділу супутникового ресурсу на фізичному рівні.

Різні несучі MF-TDMA можуть мати різну ширину, модуляцію і кодування. Це, в свою чергу, означає, що в залежності від несучої можуть змінюватися енергетичні вимоги до роботи передавача СТ. В умовах наявності вибору між каналами з різними характеристиками позитивний вплив на роботу системи з БСМ може мати явне управління правилами зайняття та параметрами сигналів супутникового каналу.

В багатьох сучасних системах радіозв'язку існують механізми автоматичного вибору таких параметрів передавача як потужність сигналу, позиційність модуляції та надмірність кодування. Такі механізми застосовуються у тому числі і до зворотного каналу супутникових систем. При чистому небі на зворотних каналах може підтримуватися високий коефіцієнт FEC, наприклад 6/7, а при погіршенні умов, скажімо через дощ, - здійснюватися перехід на більш надійний варіант FEC 2/3. При подальшому погіршенні умов - посилення дощу - термінал автоматично знизить бітову швидкість (за рахунок модуляції) для збереження необхідного рівня достовірності передачі [7]. Проте такі механізми розглядаються незалежно для кожного каналу. У наведеному вище прикладі підтримання необхідної якості передачі може вимагати або зниження швидкості передачі корисних даних, або збільшенням фізичного ресурсу, що використовується СТ.

Проблема адаптивного налаштування каналів може бути розглянута як колективне змагання за канали з високим відношенням сигнал/шум для забезпечення необхідної якості передачі. Тому, можливим шляхом вирішення проблеми може бути включення у запити механізму DAMA інформації про бажане відношення сигнал/шум у приймачі ЦС, при певній потужності передавача. Таким чином частотні канали у сітці MF-TDMA з кращим енергетичним бюджетом можуть бути централізовано розподілені

між терміналами з підвищеними втратами в лінії (погодні умови) або обмеженими ресурсами живлення (знижена вихідна потужність передавача).

**Висновки.** Безпроводні сенсорні мережі, які часто є засобом збору інформації зі значних територіальних ділянок, потребують надійного, швидкісного способу передачі зібраних відомостей до ЦОД. У багатьох сценаріях застосування БСМ така передача здійснюється за допомогою супутникового каналу. Особливості пристроїв БСМ та умов їх застосування можуть накладати енергетичні обмеження (використання ресурсу джерела живлення) не лише на сенсори, а й на вихідні точки наземної мережі (супутникові термінали).

Оскільки супутниковий канал в БСМ використовується переважно від терміналу до центральної станції, одним з важливих факторів, при виборі/побудові супутникового сегменту, є визначення кращого протоколу множинного доступу. Більшість сучасних систем супутникового доступу до мережі Інтернет та інтерактивних мультимедійних послуг використовують протоколи з наданням ресурсу за запитами або DAMA. Такі системи поєднують високу ефективність використання фізичних ресурсів ретранслятора та можуть гарантувати показники якості наданих каналів. Проте енергетичні особливості окремих терміналів та їх вимоги до обмеження витрат живлення не враховуються.

Запропоновані два шляхи введення механізмів зменшення енергетичних витрат супутникових терміналів систем з DAMA, що можуть використовуватися для передачі даних БСМ. Перший спосіб полягає використанні довготривалого низькошвидкісного резервування каналу, що зменшує обсяг передачі службових повідомлень (запитів) ПМД. Другий спосіб пропонує використовувати інформацію про енергетичний ресурс кожного СТ як один з параметрів розподілу ресурсів у роботі механізму DAMA. Таким чином на остаточний розподіл фізичних ресурсів супутникового транспондера має вплив не лише ступінь завантаження терміналу, а і його енергетичне забезпечення у поточний момент часу, що є одним з критичних факторів при розгортанні БСМ.

***Використані джерела інформації:***

1. Celandroni N., Ferro E., Gotta A. A survey of architectures and scenarios in satellite-based wireless sensor networks: system design aspects. // Int. J. Satellite Communication Network., 31: 1–38. doi: 10.1002/sat.1019.
2. Poulakis M.I., Vassaki S., Panagopoulos P.A. Satellite-Based Wireless Sensor Networks: Radio Communication Link Design // 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2013.
3. Dou Li, Binghui Ji, Haige Xiang The DAMA of DVB-RCS based Broadband Satellite Communication Networks with OBP // International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia (ICWMMN2006) Proceedings. – 2006. P. 1 – 4.
4. Chacón S., Casas J. L., Cal A. Multimedia applications of the integrated broadcast interaction system (IBIS) // Seventh International Workshop on Digital Signal Processing



Techniques for Space Communications, Sesimbra, Portugal. – 2001. P. 1–8.

5. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи. Учеб. пос. – М.:«Альпина Паблишер», 2004. – 536 с.
6. Платформа спутникового доступа iDirect / Электронный ресурс / <http://p3c.ru/indirect>
7. Барсков А. Спутниковая связь: оптимизация на всех уровнях // «Журнал сетевых решений/Телеком». — 2012. — № 4.

**References:**

1. Celandroni N., Ferro E., Gotta A. (2013), “A survey of architectures and scenarios in satellite-based wireless sensor networks: system design aspects”, Int. J. Satellite Communication Network, vol. 31, pp. 1–38.
2. Poulakis M.I., Vassaki S., Panagopoulos P.A. (2013) “Satellite-Based Wireless Sensor Networks: Radio Communication Link Design”, 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), pp.2620–2624.
3. Dou Li, Binghui Ji, Haige Xiang (2006), “The DAMA of DVB-RCS based Broadband Satellite Communication Networks with OBP”, International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia (ICWMMN2006) Proceedings, pp. 1 – 4.
4. Chacón S., Casas J. L., Cal A. (2001), “Multimedia applications of the integrated broadcast interaction system (IBIS)”, Seventh International Workshop on Digital Signal Processing Techniques for Space Communications, Sesimbra, Portugal, pp. 1–8.
5. Kamnev V.E., Cherkasov V.V., Chechin G.V. (2004), “Satellite communication networks”. – М.:«Al'pina Pablisher», 536 P.
6. “Satellite access platform iDirect”, [Online], available at: <http://p3c.ru/indirect> (Accessed 10 Now 2014).
7. Barskov A. (2012), “Satellite communication: all levels optimization”, «Zhurnal setevykh reshenij/Telekom», vol 4.

Рецензент: Дубко В.О.