

## ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

*У статті розглянуто питання розробки та впровадження сучасних сенсорних мереж які є одними із сучасних та перспективних напрямків розвитку розподілених систем моніторингу та управління ресурсами, процесами, життєдіяльністю людини. Основними вузлами таких мереж є малогабаритні пристрої, що виконують одночасно вимірювальні, обчислювальні та комунікаційні функції. Характерна їхня особливість полягає в обмеженості обчислювальних і комунікаційних ресурсів та вимог до тривалої роботи від джерела живлення.*

*Такі вузли не обмінюються повідомленнями між собою, а тільки передають дані своїх сенсорів та ретранслюють дані сенсорів інших вузлів. При цьому в системах моніторингу окремі вузли можуть знаходитись на значній відстані від базової станції, що висуває додаткові вимоги до протоколів та надійності передачі. Оскільки сфери застосування сенсорних мереж постійно розширюються у різних сферах діяльності людини, з'являються нові типи датчиків - тому розглянуто основні нейрофізіологічні механізми сенсорних систем людини.*

*Також гостро ця проблема стосується сенсорних мереж, які використовуються для збору та обробки мультимедійних даних. Передача мультимедійних даних у сенсорних мережах - це найбільш енергетично затратна операція, яка використовує значну енергію, проте локальна обробка даних у безпроводних вузлах надасть змогу зменшити енерговитрати на передачу даних за рахунок використання ефективних методів обробки даних.*

*Ключові слова: сенсорна мережа, протоколи передачі даних, механізми сенсорних систем людини, архітектура мережі, мультимедійні дані, системи моніторингу.*

**Вступ.** Сучасні телекомунікаційні системи – це та галузь індустрії без вирішень якої сьогодні повноцінно не може функціонувати практично ніяка організація, служба, підприємство. Добробут та ефективна робота держави безпосередньо залежать від стану її телекомунікаційної і інформаційної розвиненості, від послуг з необхідним рівнем якості і доступності можуть забезпечити ці технології, що існують сьогодні. Ми спостерігаємо стрімке зростання кількості мобільних пристроїв у населення і, відповідно, потенційних користувачів, охочих мати швидкий безпроводний доступ в Інтернет, причому в будь-якій точці і без розриву всіх сеансів зв'язку. Проте рівень доступності послуг далеко не той, щоб задовольнити потреби всіх охочих та стан послуг, якість їх виконання не завжди відповідають сучасним вимогам.

Одним з альтернативних підходів до задоволення наростаючих потреб є клас мереж із змінною топологією. Основні особливості сенсорних мереж у порівнянні з іншими системами організованої передачі даних очевидні – малий радіус зв'язку окремого вузла, обмежені та не відновлювальні джерела живлення, низькі обчислювальні можливості та малий об'єм доступної пам'яті, високі вимоги до масштабування застосованих алгоритмів, адаптивність хаотичних змін топології. Усі наведені особливості накладають певні обмеження на використанні у сенсорних мережах стеки протоколів у цілому та на алгоритми часової синхронізації. Для вузлів сенсорної мережі необхідно забезпечити синхронізацію внутрішні систем такту із глобальним часом мережі, адже кожен вузол має бути абсолютно автономним. У енергозберігаючих режимах споживання пристроїв може складати лише одиниці мікроампер. Проте, необхідно щоб пристрої знали очікуваний час виходу на зв'язок сусідніх пристроїв - необхідна часова синхронізація.

Сенсорна мережа - це розподілена мережа, що самоорганізується та складається із безлічі датчиків чи сенсорів і виконуючих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіосигналу. Область покриття подібної мережі може становити від декількох метрів до декількох кілометрів за рахунок здатності ретрансляції повідомлень від одного елемента до іншого. Із самого початку розвитку індустрії сенсорних мереж для об'єднання різнопланових пристроїв була необхідна технологія для об'єднання усіх пристроїв у єдину мережу на базі

протоколу бездротового зв'язку, котра мала бути простою та дешевою у використанні, проте, у той же час, достатньо надійною для передачі даних на відстані, відповідні до розміру окремої будівлі. Раніше не існувало бездротового стандарту, що відповідав би специфічним потребам пристроїв, найважливішим параметром яких є довгострокове використання батарей та підтримка великої кількості пристроїв у мережі, бо їм необхідні не велика пропускна можливість, а низький рівень латентності та економічне енергоспоживання.

**Постановка задачі.** Розвиток галузі електроніки та безпроводних технологій передачі даних став основою для створення нового класу нових розподілених комп'ютерних систем - сенсорних мереж, які набувають ширшого застосування. Сенсорні мережі є одним із сучасних та перспективних напрямків розвитку розподілених систем моніторингу і управління ресурсами та процесами. Вузлами таких мереж є малогабаритні пристрої, що виконують одночасно вимірювальні, обчислювальні та комунікаційні функції. Характерна їхня особливість полягає в обмеженості обчислювальних і комунікаційних ресурсів та вимог до тривалої роботи від автономного джерела живлення пристрою. Безпроводні вузли не обмінюються повідомленнями між собою, а тільки передають дані своїх сенсорів і ретранслюють дані сенсорів інших вузлів на базову станцію. При цьому в системах моніторингу окремі вузли можуть знаходитись на значній відстані від базової станції, що висуває додаткові вимоги до протоколів маршрутизації та надійності передачі даних. Особливо гостро ця проблема стосується сенсорних мереж, які використовуються для збору та обробки мультимедійних даних. Передача даних у сенсорних мережах - це найбільш енергетично затратна операція, яка використовує понад 70% енергії, натомість локальна обробка даних у безпроводних вузлах дасть змогу зменшити енергозатрати на передачу даних за рахунок використання ефективних методів обробки та протоколів передачі даних [1]. Водночас використання сенсорних мереж у системах критичного застосування ставить підвищені вимоги до надійності та продуктивності функціонування на всіх рівнях взаємодії еталонної моделі відкритих систем. Оскільки у сенсорних мережах використовують відкрите середовище передачі сигналів, важливою залишається проблема забезпечення високої надійності передачі даних, вирішення якої сприятиме підвищенню ефективності функціонування сенсорних мереж загалом. Однак у процесі створення сенсорних мереж виникає суперечність - у загальному випадку застосування методів обробки та передачі даних, що забезпечують високу надійність передачі, призводить до зниження продуктивності мережі чи зростання обчислювальної складності і підвищення енергозатрат. Існуючі підходи та методи обробки даних, які функціонують у позиційних системах числення, не можуть забезпечити підвищені вимоги до надійності передачі даних без зниження продуктивності мережі при обмежених апаратних ресурсах та використанні автономного живлення. Однак наявні у цій сфері обробки даних у системі залишкових класів не враховують ряд обмежень, які доцільно взяти до уваги при створенні сенсорних мереж. Окрім прив'язки, отриманої мережею в процесі роботи даних, до карти місцевості, інформація про координати об'єктів буде задіяна в процесі функціонування самої мережі: побудова ефективних, з точки зору енергоспоживання, алгоритмів маршрутизації, збір зібраних даних. У зв'язку з цим розробка алгоритмів визначення координат об'єктів в сенсорній мережі стає вельми актуальним завданням [2].

Таким чином, ця науково-технічна проблема є актуальною для підвищення продуктивності та надійності функціонування сенсорних мереж, вирішення якої зумовлює необхідність розробки методів, засобів, механізмів обробки даних на основі нових досліджень та досягнень сучасних технологій.

**Основна частина.** Сенсорна мережа загалом складається з великої кількості мініатюрних вузлів, кожен з яких містить контролер, передавач та автономне джерело живлення. Вузли обладнані сенсорами, здатними реєструвати інформацію про параметри та характеристики навколишнього середовища (відео, аудіо, температуру, забруднення, вологість тощо). Результати вимірювань передаються від вузла до вузла в обчислювальний центр для обробки та аналізу. Таким чином, сенсорна мережа дозволяють краще зрозуміти

навколишнє середовище. В останній час застосування сенсорних мереж направлено по основним напрямкам - військово застосування, дослідження навколишнього середовища, охорона здоров'я, використання в будинках, різні комерційні області. Як правило, сенсорні мережі для збору інформації в зонах спостереження використовують статичні сенсорні вузли. Однак, через динамічний характер подій в зонах, що досліджуються, при використанні статичної сенсорної мережі можна зіткнутися з проблемами [2]:

- Початкове розгортання сенсорної мережі не може гарантувати повне покриття ділянки, яку потрібно дослідити та зв'язність усієї мережі. Як правило, сенсори можуть бути розкидані у регіоні, що досліджується, літаком або роботом. Але, це не може гарантувати покриття всієї області і може виявитись, що область буде розділена на декілька не зв'язних під мереж, навіть якщо розкинута велика кількість вузлів. Крім того, динамічна зміна регіону і наявність перешкод робить цю проблему досить актуальною.

- Сенсори мають автономне живлення. Це може привести до виходу з ладу одного або декількох вузлів, що в свою чергу може привести до дірок у мережі. Крім того, ці вузли можуть порушити підключення до мережі. В умовах нестабільної ситуації в регіоні, що досліджується, може бути складно зарядити сенсори чи замінити сенсори.

- Сенсорна мережа може бути потрібна для підтримки багатьох задач в різних умовах. Вимоги щодо мережі не можуть бути завжди задоволені за рахунок розгортання великої кількості вузлів, оскільки використання резервів на всі можливі комбінації мережі не є економічно доцільним.

- Для деяких задач потрібно залучити більш складні датчики. Більш складні пристрої, такі як камери, можуть дати можливість отримати більше інформації. Тим не менш, нездійсненним є оснащення камерою кожен вузол через їх велику кількість.

Вводячи мобільність всіх або деяких вузлів в сенсорні мережі, можна розширити її можливості стосовно гнучкості для підтримки декількох задач та обробляти вищезазначені проблеми. Хоча сенсорна мережа зазвичай розглядається як однорангова мережа, в якій вузли розширені сенсорними можливостями, мобільні сенсорні мережі і мобільні однорангові мережі суттєво відрізняються. В мобільних сенсорних мережах повинна бути можливість контролювати рух мобільних датчиків для виконання різних задач [3].

Оскільки сфери застосування сенсорних мереж постійно розширюються у різних сферах діяльності людини, з'являються нові типи датчиків, тому є необхідність розглянути основні нейрофізіологічні механізми сенсорних систем. Сенсорні системи людини - це анатомічно організована у структурах мозку система утворень та зв'язків, що слугує для знаходження і кодування інформації певної модальності. У нормі сенсорні системи здійснюють свою діяльність у тісній взаємодії одна з іншою. Перетворення різних форм енергії на єдину мову нервових сигналів у сенсорних системах здійснюється у чотири етапи:

1. Перетворення - виникнення взаємодії між стимулом і спеціальними молекулярними рецепторами.

2. Генералізація рецепторного потенціалу - зміни у молекулярному рецепторі, які призводять до перетворень та змін мембранного потенціалу рецепторної клітини, хеморецептора, механічного та фоторецепторів.

3. Поширення потенціалу - перехід від рецепторного потенціалу до імпульсу (здійснюється всередині тіла клітини, у нервовому волокні або між ділянками сенсорної перебудови та ділянкою, де виникає імпульс). Рецепторні та синапатичні потенціали поширюються за рахунок електричних потенціалів.

4. Перекодування відповіді рецептора в імпульсний розряд, що здійснюється в аферентному нервовому волокні, яке є носієм інформації решти відділів нервової системи.

Сенсорний провідний шлях складається з ряду специфічно спеціалізованих нейронів, які об'єднані у специфічні сенсорні модулі через різні види синапатичних з'єднань (хімічних, електричних, електрохімічних). Всі мережі, які входять до складу провідних шляхів, організовані за модульним принципом і становлять сенсорну систему. В різних сенсорних системах ці мережі мають ряд спільних властивостей (дивергенцію та конвергенцію). Так,

аксони, що надходять, можуть передаватись до кількох центрів одразу, а аксони з різних джерел - конвертувати в одному конкретному центрі. Формування ланцюгів зв'язку зумовлене наявністю часової послідовності у передачі подразника. Тому при розробці датчиків враховують сенсорну систему людини – а це система організму, що забезпечує сприйняття та перероблення інформації про зміни довкілля та стан внутрішнього середовища організму. Сенсорні системи (від лат. *sensus* [сенсус] - відчуття), або аналізатори — складні чутливі системи [4], які сприймають та аналізують інформацію і забезпечують зв'язок організму з довкіллям. Органи, які сприймають інформацію та передають у вищі відділи, називаються аналізаторами (рис. 1).



Рис. 1. Сенсорні системи людини та їх аналізатори

Сенсорні системи пов'язують периферичні органи чуття з головним мозком, де сигнали аналізуються і забезпечують формування образів про навколишній світ і відповідну поведінкову реакцію. Розглянемо п'ять основних сенсорних систем: зорова, слухова, смакова, нюхова та дотикова (тактильна), за допомогою яких вона в основному сприймає довкілля.

Також людина відчуває температуру, гравітацію, зміну положення тіла в просторі, біль, спрагу, голод і низку змішаних відчуттів. Інші сенсорні системи: больова, вестибулярна, м'язова, вісцеральна, мовно-слухова, мовно-рухова [5].

Таблиця 1

Основні сенсорні системи людини

Система	Рецептори	Провідні шляхи	Мозкові центри
Зорова	Світлові (фоторецептори) сітківки очного яблука	Зоровий нерв (II пара ЧМН)	Зорова зона (потилична частка великого мозку)
Слухова	Звукові (фонорецептори) спірального органа завитки	Слуховий нерв (в складі присінково-завиткового VIII пара ЧМН)	Слухова зона (скронева частка великого мозку)
Нюхова	Хеморецептори носової порожнини	Нюховий нерв (I пара ЧМН)	Нюхова зона (скронева частка великого мозку)
Смакова	Хеморецептори ротової порожнини	Язико-глотковий, язиковий, лицевий і блукаючий нерви	Смакова зона (скронева частка великого мозку)
Дотикова	Механорецептори дерми і клітковини шкіри	Спинномозкові нерви (їх чутливі волокна)	Зона шкірної чутливості (задня центральна звивина кори великого мозку)

Система	Рецептори	Провідні шляхи	Мозкові центри
Температурна	Терморекцептори шкіри	Спинномозкові нерви (їх чутливі волокна)	Гіпоталамус, зона шкірної чутливості (задня центральна звивина великого мозку)
Больова	Больові рецептори (ноцицептори) шкіри	Спинномозкові нерви (їх чутливі волокна)	Таламус, зона шкірної чутливості (задня центральна звивина кори)
Гравітаційна	Механорецептори вестибулярного апарату	Вестибулярний нерв (в складі присінково-завиткового)	Мозочок, кора великих півкуль, спинний мозок
Рухова	Рухові рецептори (пропріоцептори) м'язів, суглобів, сухожилків	Спинномозкові нерви (їх чутливі волокна)	Рухова зона (передня центральна звивина кори великого мозку), мозочок
Вісцеральна	Внутрішні рецептори (вісцерорецептори) внутрішніх органів	Язико-глотковий і блукаючий ЧМН та спинномозкові	Інтероцептивна зона (лобова частка великого мозку), лімбічна система

Загальні властивості сенсорних систем людини [5].

– Спеціалізація - здатність сприймати лише певний подразник та формувати специфічні відчуття (наприклад, рецептори ока - світло, рецептори вуха – звук тощо).

– Адаптація - здатність сенсорних систем пристосовувати рівень своєї чутливості, яка може підвищуватись за відсутності дії сильного подразника чи знижуватись за тривалої дії подразника. При високій інтенсивності подразника чутливість організму до нього підвищується (Наприклад, коли людина заходить у темну кімнату, спочатку вона нічого не бачить і починає розрізняти контури предметів через певний час). Під час монотонної тривалої дії стимулу чутливість рецепторів до нього знижується (наприклад, коли людина заходить до приміщення зі специфічним запахом, спочатку дуже відчуває його, а потім усе менше; не відчувається дотик одягу до тіла; людина після тривалого перебування на природі спочатку дуже чутлива до шумів міста, але через певний час перестає привертати її увагу). Найшвидше адаптуються рецептори, що сприймають дотик до шкіри, найповільніше – рецептори м'язів, кровоносних судин і легенів. Рецептори, що сигналізують про відчуття болю, не здатні до адаптації, тому людина не може звикнути до болю.

– Вправляння - це здатність аналізаторів підвищувати свої можливості під впливом багаторазових вправ, тобто «тренування» (наприклад, тренується слух у музикантів, дотик – у фахівців з мануальної медицини, відчуття смаку та запахів – у дегустаторів, фахівці-кулінари краще за людей інших професій розпізнають якість їжі, водії розрізняють за звуком працюючого двигуна його стан). М'язовий, зоровий, слуховий, нюховий та інші аналізатори можна тренувати до певної межі, що закладена спадково.

– Взаємодія - зв'язок аналізаторів, який реалізується через взаємодію відчуттів на рівні кори й підкірки (наприклад, у концертному залі не вимикають світло, оскільки при яскравому освітленні загострюється слух, і навпаки, у ресторані світло приглушене, що зменшує смакову чутливість, досить відчутти приємний запах із кухні, аби уявити, що там готується смачний сніданок).

– Компенсація – відшкодування функції однієї сенсорної системи за рахунок якісної перебудови або посиленого використання збережених функцій інших сенсорних систем (наприклад, при втраті зору сильно розвивається слух, нюх чи дотик: незрячі можуть уявити загальний вигляд предмету за дотиками, впізнати людину за запахом, сприймають текст на дотик за допомогою рельєфно-крапкового шрифту француза Луїса Брайля; при втраті слуху сильно розвивається дотик: глухі можуть танцювати під музику, якщо задіяні тактильні рецептори). Біологічне значення явища компенсації сенсорних систем: у разі ушкодження однієї з них (унаслідок хвороби або травми), підвищується чутливість до дії подразників інших.

Роль сенсорних систем: забезпечення зв'язку організму із зовнішнім середовищем (людина розрізняє колір і форму предметів, залах і смак, звуки, зміну температури, біль, оцінює положення тіла). Функції сенсорних систем:

- Інформативна (сприйняття впливів зовнішнього середовища аналізаторами та формування відчуттів).

- Керуюча (полягає в аналізі отриманої інформації корою головного мозку, керування довільними рухами та внутрішньою діяльністю).

- Адаптаційна (полягає у забезпеченні пристосувальних реакцій організму у відповідь на дію подразників зовнішнього та внутрішнього середовища).

На сьогодні враховуючи появу нових сенсорів, оснований на базі сенсорних систем людини, з'являються нові сфери використання та послуги, які надають такі мережі. Дослідження в області сенсорних мереж інтенсивно проводяться в різних напрямках [6]. В області схемотехніки - це зменшення потужності споживання, зменшення розмірів сенсорів, зменшення вартості пристроїв, активне використання відновлюваних джерел енергії. В області обчислень – збільшення обчислювальної потужності, вбудоване програмне забезпечення, обробка даних у вузлі мережі, спільні методи обробки інформації. В області мережних технологій – самостійна конфігурація, масштабованість, динамічна топологія, управління топологією, розподілена маршрутизація. В області безпроводного зв'язку – різнопланова маршрутизація, енергоефективність, малий цикл роботи, ефективно управління доступом, комунікації в загальній частотній області передачі. Проте розробники та дослідники стикаються із багатьма проблемами, викликаними відмовами передачі, обмеженими апаратними та обчислювальними ресурсами, живленням тощо.

При розгляді типів сенсорних мереж - наземні характеризуються великою кількістю недорогих вузлів (сотні, тисячі), які передають дані на основну базову станцію. Оскільки джерело живлення обмежене, сучасні вузли сенсорів можуть використовувати відновлювальні джерела енергії, наприклад сонячні батареї. Для збереження енергії вузли використовують маршрутизацію по інтервалу. Підземні сенсорні мережі складаються із набору вузлів датчиків, розміщених під землею, в закритому просторі, такому як шахти, метро. Основна відмінність між підземними та наземних сенсорних мереж - це середовище передачі, яке характеризується високим рівнем загасанням і втрати сигналу, що необхідно враховувати при розробці протоколів передачі даних. Підводні сенсорні мережі складаються із датчиків, розміщених під водою, наприклад, для моніторингу озер, рік, морів, океанів. Підводні мережі використовують акустичні хвилі і мають обмежену пропускну здатність, тривалу затримку поширення сигналу і проблеми завмирання сигналу. Підводні вузли повинні мати можливість самостійно адаптуватися до екстремальних умов навколишнього середовища – води. Підводні сенсорні мережі використовуються для моніторингу забруднення, сейсмічного моніторингу, обладнання та підводної робототехніки. Мобільні сенсорні мережі мають мобільні вузли які можуть переміщатися та взаємодіяти із фізичним середовищем. При розробці сенсорних мереж з мобільними вузлами розробники стикаються з такими проблемами, як локалізація вузлів, навігація та управління рухомими вузлами, підтримка зв'язності мережі, мінімізація споживання енергії при русі, розробка нових динамічних протоколів маршрутизації. При розробці протоколів маршрутизації враховують швидкість руху вузлів та максимальну відстань, на яку можуть змінитися координати вузла.

Враховуючи появу нових сфер застосування сенсорних мереж в залежності від застосування, можуть використовувати різні типи сенсорів – температури, вологості, руху, тиску, стану ґрунту, рівня шуму, диму, визначення хімічного складу (речовин, повітря), наявності або відсутності певних видів об'єктів, визначення швидкості, напрямку і розміру об'єкту, аудіо – та відеоданих [7]. Серед основних областей застосування сенсорних мереж відмітимо наступні: екологічний та технічний моніторинг, точне землеробство, охорона здоров'я, інтелектуальні будинки, підприємства та системи безпеки.

Екологія – в екологічних додатках сенсорних мереж застосовуються для відстеження руху птахів, дрібних тварин і комах, моніторингу стану навколишнього середовища, параметри якого впливають на урожай, тваринництво, точного землеробства, біологічного моніторингу, забруднення навколишнього середовища – повітря, водних ресурсів, в тому числі рік, озер, морів, виявлення лісових пожеж, метеорологічних, геофізичних досліджень. Екологічний і структурний моніторинг. Мережа сенсорів використовується океанологами для визначення еволюції мілин за допомогою методів обробки зображень.

Охорона здоров'я – фізіологічний моніторинг (частота серцевих скорочень, температура тіла, кров'яний тиск, частота дихання, рівень стресу та інші параметри життєдіяльності), невідкладна допомога, моніторинг поведінки людей, моніторинг персоналу та пацієнтів всередині лікарні. Фізіологічні дані, зібрані за допомогою сенсорних мереж, можуть зберігатися протягом тривалого періоду часу і використовуватися для різних медичних досліджень. Сенсорні мережі медицини можуть бути інтегровані з 3G/4G/5G стільниковими мережами, щоб забезпечити широкий доступ до медичних послуг. Пацієнти матимуть медичні датчики чи сенсори для контролю таких параметрів, як температура тіла, артеріальний тиск, частота серцевих скорочень і робота дихальної системи. Дистанційні медичні центри стежитимуть за станом своїх пацієнтів, щоб попередити надзвичайні ситуації та оперативно надавати медичну допомогу в разі необхідності [8].

Інтелектуальні будинки та підприємства – різні безпроводні вузли та сенсори можуть бути вмонтовані у побутові прилади - пилососи, мікрохвильові печі, холодильники, люстри, мульти- та кавоварки тощо. Це дозволить побутовим приладам взаємодіяти один з одним і з зовнішньою мережею через мережу Інтернет чи інший канал зв'язку.

Системи технічного моніторингу – сенсорні мережі ефективно використовуються в системах технічного моніторингу, зокрема для контролю мостів, нафтових танкерів та газопроводів, моніторингу будівель та споруд в сейсмічно активних районах, в системах обліку енергоресурсів для індивідуального та промислового використання.

Системи безпеки – сенсорні мережі знаходять використання в індивідуальних та промислових системах безпеки – це системи контролю периметру, визначення вторгнення, віддаленого спостереження тощо.

Подальший розвиток отримали мультимедійні сенсорні мережі, які містять аудіо та відео сенсори і здатні збирати, обробляти та передавати мультимедійні дані та оброблену інформацію про події на базову станцію. Для зменшення обсягу даних мультимедійний модуль обладнаний детектором події та має можливість стиснення зображення. Комунікаційний модуль здійснює ретрансляцію пакетів інших модулів на базову станцію. Проведений аналіз мультимедійних сенсорних мереж показав, що при розробці архітектури такої мережі необхідно враховувати наступні параметри [9]. Вимоги до якості обслуговування для конкретних програм. На відміну від скалярних сенсорів, мультимедійні сенсори генерують фото і потоковий мультимедійний контент. Фотографії містять події, отримані протягом короткого періоду часу. Потоковий мультимедійний контент генерується протягом більш тривалих періодів часу і вимагає постійного режиму передачі. Обмеженість ресурсів - вбудовані датчики мають обмеження стосовно запасу енергії, пам'яті, можливості обробки та достатньої швидкості передачі даних. Змінна пропускна здатність каналів – у сенсорних мережах пропускна здатність залежить від стану каналу зв'язку між окремими сенсорами, а це залежить від взаємодії мережевих пристроїв та функцій, таких як управління потужністю, маршрутизації тощо. Тому потужність та значення затримки на кожній ланці залежать від

розташування вузла і безперервно змінюються, а також можуть мати пульсуючий характер, внаслідок чого забезпечення якості обслуговування є достатньо складним завданням. Широкозмугловий доступ – мультимедійний контент, особливо відео потоки, вимагає смугу пропускання, яка на порядок вища за доступну в даний час у сенсорних мережах. Необхідна швидкість передачі даних повинна бути значно вищою для потужних мультимедійних сенсорів при мінімальному енергоспоживанні. Таким чином, потрібно забезпечити високу швидкість та ефективні методи передачі даних. Методи обробки мультимедійних даних – робота сучасних відеокодерів базується на принципах: зменшення надлишковості в межах одного кадру; зменшення надлишковості між кадрами, кодування на основі прогнозування, оцінки руху. Впровадження сучасних методів інтелектуальної обробки передбачає наявність складних сенсорів, потужних алгоритмів обробки і потребує досить високого рівня споживання енергії. Мережева обробка мультимедійного контенту – обробка та доставка мультимедійного контенту не є незалежними, і їх взаємодія має великий вплив на досягнення заданої якості обслуговування. Таким чином необхідна незалежна від додатків архітектура мережі, яка забезпечує гнучку обробку мультимедійного контенту. Сучасні мультимедійні сенсорні мережі мають значний потенціал, щоб стати основою для створення багатьох нових додатків [10]. До них можливо віднести мультимедійні мережі відеоспостереження. Сенсорні мережі будуть використані для розширення та доповнення існуючих систем відеоспостереження для боротьби із злочинністю і терористичними актами. Мультимедійний контент, такий як відео потоки і нерухомі зображення, разом з методами обробки сигналів і комп'ютерного зору, може бути використаний для пошуку зниклих безвісті людей або злочинців та виявляти і записувати інші потенційно небезпечні події. Сенсорні мережі для підвищення енергоефективності житлових та промислових будівель. Поєднання відео, аудіо і скалярних сенсорів буде використовуватися в розумних будівлях для регулювати опалення, освітлення і обміну повітря, зменшення загального викиду вуглекислого газу в повітря тощо [11].

Більшість сучасних потенційних застосувань таких мереж потребують переосмислення парадигми сенсорної мережі для створення механізмів отримання мультимедійного контенту з заданим рівнем якості обслуговування. Беручи до уваги, що головною проблемою при використанні сенсорних мереж було зведення до мінімуму споживання енергії, механізми для ефективною доставки додатків рівня якості обслуговування, такі як затримка, випадкові спотворення при передачі сигналу, не розглядалися в достатній мірі і потребують подальших досліджень [12].

**Висновки.** Аналіз та дослідження питання розробки та впровадження сучасних сенсорних мереж які на сьогодні є одними із сучасних та перспективних напрямків розвитку розподілених систем моніторингу та управління ресурсами, процесами, життєдіяльністю людини показує, що більшість потенційних застосувань таких мереж потребують переосмислення самої парадигми сенсорної мережі для створення механізмів отримання різного контенту з заданим рівнем обслуговування. Основні проблеми при використанні сенсорних мереж було зведено до мінімуму – такі як споживання енергії, механізми для ефективною доставки додатків рівня якості обслуговування, а проблеми затримки, випадкових спотворень при передачі сигналу поки не розглядалися в достатній мірі і потребують подальших досліджень. Бачимо, що основними вузлами сенсорних мереж є малогабаритні пристрої - характерною особливістю яких є обмеженість обчислювальних і комунікаційних ресурсів, вимог до тривалої роботи. Оскільки сфери застосування сучасних сенсорних мереж постійно розширюються у різних сферах діяльності людини, з'являються нові типи датчиків. Проблема передача мультимедійних даних у сенсорних мережах поступово вирішується, так як з'являються нові мініатюрні сенсори, камери тощо. Це в подальшому надасть можливість користувачам отримувати всі необхідні якісні послуги сенсорних мереж.



#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Яцків В.В. Концепція побудови безпроводних сенсорних мереж на основі колективного інтелекту / В.В.Яцків, Н.Г.Яцків // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - Хмельницький, ХНУ, 2015. – № 2. – С.217-221.
2. Муляр І.В. Локалізація об'єктів у бездротових сенсорних мережах / І.В. Муляр, В.С. Зеленська. // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2014. – Вип. № 46. – С. 204-211.
3. Палагин А.В. Проектирование реконфигурируемых цифровых систем: монография / А.В. Палагин, А.А. Баркалов, В.Н. Опанасенко, Л.А. Титаренко. - Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2011. - 432 с.
4. Яцків В.В. Двовимірні коректуючі коди на основі модулярної арифметики / В. В. Яцків, Т.Г. Цаволик // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, ХНУ, 2015. - № 4 (227). - С.144 -148.
5. Кривуца В.Г. Управління телекомунікаціями із застосуванням новітніх технологій / В.Г. Кривуца, В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Б.Я.Костік, В.Ф.Олійник, С.М.Скляренко // Підручник для ВНЗ. – К.: Техніка, 2007. – 384 с.
6. Селюков О.В. Застосування інтелектуальних технологій для підвищення якості роботи телекомунікаційних мереж при невизначеності / О.В. Селюков, Ю.В. Хмельницький, І.В. Обертюк, Л.В. Солодєєва // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. - 2017. - Вип. 56. - С. 146-153.
7. Міночкін А.І. Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж / А.І. Міночкін, В.А. Романюк, О.В. Жук // Збірник наукових праць №4. - К.: ВІТІ НТУУ "КПІ" - 2007. - С. 112 - 119.
8. Бойко Ю.М. Концептуальні особливості реалізації безпроводних сенсорних мереж / Ю.М. Бойко, В.М. Локазюк, В.В. Мішан // Вісник Хмельницького національного університету. - Хмельницький, ХНУ, 2010. - № 2. - С. 94-97.
9. Хмельницький Ю.В. Сервісні послуги архітектури LTE для високошвидкісних мереж / Ю. В. Хмельницький, С.Ю. Гунченко, О.С. Ленков, Д.П. Яковлев // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. - 2017. - Вип.56. - С. 177-185.
10. Стрихалюк Б.М. Метод балансування навантаження на основі інтегрованої архітектури управління з використанням функції NVF / Б.М.Стрихалюк, О.М.Шпур, М.О.Селюченко // IX Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2015: Збірник матеріалів конференції (м. Київ, 21-24 квітня 2015 р.). - К.: НТТУ «КПІ», 2015. - С.322-325.
11. Стеклов В.І. Проектування телекомунікаційних мереж. Підручник для студ. вищ. навч. закл. за напрямком "Телекомунікації" / В.І. Стеклов, Л.Н.Беркман // -К.: Техніка, 2002.-792 с.
12. Кільменінов О.А. Вибір алгоритмів маршрутизації для сенсорних мереж / О.А Кільменінов. // Зв'язок. ДУТ: К.: – 2013. – Вип. 5. – С. 9–15.

#### REFERENCES:

1. Yackiv V.V. Konceptsiya pobudovi bezprovodnih sensornih merezh na osnovi kolektivnogo intelektu / V.V.Yackiv, N.G.Yackiv // Vimiryuval'na ta obchislyuval'na tekhnika v tekhnologichnih procesah. - Hmel'nic'kij, HNU, 2015. - № 2. - S.217-221
2. Mulyar I.V. Lokalizatsiya ob'yektiv u bezdrovovykh sensorykh merezhakh / I.V. Mulyar, V.S. Zelens'ka. // Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovoho instytutu Kyyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU, 2014. – Vyp. # 46. – S. 204-211.
3. Palagin A.V. Proektirovanie rekonfiguriruemykh cifrovyyh sistem: monografiya / A.V. Pa-lagin, A.A. Barkalov, V.N. Opanasenko, L.A. Titarenko. - Lugansk: izd-vo VNU im. V. Dallya, 2011. - 432 s.
4. Yackiv V.V. Dvovimirni korektuyuchi kodi na osnovi modulyarnoї arifmetiki / V. V. Yackiv, T.G. Cavolik // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tekhnichni nauki. – Hmel'nic'kij, HNU, 2015. - № 4 (227). - S.144 -148
5. Krivuca V.G. Upravlinnya telekomunikaciyami iz zastosuvannyam novitnih tekhnologij / V.G. Krivuca, V.K. Steklov, L.N. Berkman, B.YA.Kostik, B.F.Olijnik, S.M.Sklyarenko // Pidruchnik dlya VNZ. – K.: Tekhnika, 2007. – 384 s.
6. Selyukov O.V. Zastosuvannya intelektual'nih tekhnologij dlya pidvishchennya yakosti roboti telekomunikacijnih merezh pri nevznachenosti / O. V. Selyukov, YU. V. Hmel'nic'kij, I. V. Obertyuk, L. V.

Solodeeva // Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiïvs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. - 2017. - Vip. 56. - S. 146-153

7. Minochkin A.I. Perspektivi rozvitku taktichnih sensornih merezh / A.I. Minochkin, V.A. Romanyuk, O.V. ZHuk // Zbirnik naukovih prac' №4. - K.: VITI NTUU "KPI" - 2007. - S. 112 - 119.

8 Bojko Yu.M. Konceptual'ni osoblivosti realizacii bezprovidnih sensornih merezh / YU.M. Bojko, V.M. Lokazyuk, V.V. Mishan // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. - Hmel'nic'kij, HNU, 2010. - № 2. - S. 94-97

9. Hmel'nic'kij Yu.V. Servisni poslugi arhitekturi LTE dlya visokoshvidkisnih merezh / YU. V. Hmel'nic'kij, S.YU. Gunchenko, O.S. Lenkov, D.P. YAKovlev // Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiïvs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa SHEvchenka. - 2017. - Vip.56. - S. 177-185.

10. Strihalyuk B.M. Metod balansuvannya navantazhennya na osnovi integrovanoï arhitekturi upravlinnya z vikoristannyam funkcii NVF / B.M.Strihalyuk, O.M.SHpur, M.O.Selyuchenko // IX Mizhnarodna nauково-tekhnichna konferenciya «Problemi telekomunikacij» PT-2015: Zbirnik materialiv konferencii (m. Kiïv, 21-24 kvitnya 2015 r.). - K.: NTTU «KPI», 2015. - С.322-325

11. Steklov V.I. Proektuvannya telekomunikacijnih merezh. Pidruchnik dlya stud. vishch. navch. zakl. za napryamkom "Telekomunikacii" / V.I. Steklov, L.N.Berkman // -K.: Tekhnika, 2002.-792 s.

12. Kil'meninov O.A. Vibir algoritmiv marshrutizacii dlya sensornih merezh / O.A Kil'meninov. // Zv'yazok. DUT: K.: - 2013. - Vip. 5. - S. 9-15

Без рецензії.

к.т.н. Хмельницький Ю.В., д.т.н., проф. Ленков С.В.,  
Бондаренко Т.В., Слободянюк К.М.

#### **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПОНЕНТОВ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ**

*В статье рассмотрены вопросы разработки и внедрения современных сенсорных сетей, которые являются одними из современных и перспективных направлений развития распределенных систем мониторинга и управления ресурсами, процессами, жизнедеятельностью человека. Основными узлами таких сетей являются малогабаритные устройства, которые выполняют одновременно измерительные, вычислительные и коммуникационные функции. Характерная их особенность заключается в ограниченности вычислительных и коммуникационных ресурсов и требований к длительной работе от источника питания.*

*Такие узлы не обмениваются сообщениями между собой, а только передают данные своих сенсоров и ретранслируют данные сенсоров других узлов. При этом в системах мониторинга отдельные узлы могут находиться на значительном расстоянии от базовой станции, что выдвигает дополнительные требования к протоколам и надежности передачи. Поскольку сферы применения сенсорных сетей постоянно расширяются в различных сферах деятельности человека, появляются новые типы датчиков - поэтому рассмотрены основные нейрофизиологические механизмы сенсорных систем человека.*

*Также остро эта проблема касается сенсорных сетей, которые используются для сбора и обработки мультимедийных данных. Передача мультимедийных данных в сенсорных сетях - это наиболее энергетически затратная операция, которая использует значительную энергию, однако локальная обработка данных в беспроводных узлах позволит уменьшить энергию на передачу данных за счет использования эффективных методов обработки данных.*

*Ключевые слова: сенсорная сеть, протоколы передачи данных, механизмы сенсорных систем человека, архитектура сети, мультимедийные данные, системы мониторинга.*

Ph.D. Khmelnsky Yu.V., Prof. Lenkov S.V.,  
Bondarenko T.V., Slobodyanyuk K. M.

#### **THE FEATURES OF THE COMPONENTS OF SENSOR NETWORKS**

*In the article the questions of development and implementation of modern sensor networks, which are one of the modern and perspective directions of development of distributed monitoring and resource management processes, human activity. The main components of such networks are small devices that simultaneously perform the measuring, the computing and communication functions. Their specific feature*

*is the limited computational and communication resources and requirements for continuous operation from a power source.*

*Such nodes don't exchange messages among themselves, but only transmit data from their sensors and relay the sensor data to other nodes. In the systems of monitoring individual nodes may be located at a considerable distance from the base station, which imposes additional requirements for the protocols and transmission reliability. Since the scope of application of sensor networks is constantly expanding in various fields of human activity, there are new types of sensors, therefore, considered the basic neurophysiological mechanisms of sensory systems.*

*Also this problem applies to sensor networks that are used for the collection and processing of multimedia data. Transmission of multimedia data in sensor networks is the most energy-consuming operation that uses considerable energy, however, local data processing, wireless nodes will reduce the energy consumption for data transmission through the use of effective methods of data processing.*

*Keywords: sensor network, data transmission protocols, mechanisms, sensory systems, network architecture, multimedia data, monitoring system.*