

УДК 621.391

Натільні комп'ютерні мережі

Черватюк А.В., Цибульський І.Л., Полторак В.П.

Натільні комп'ютерні мережі, як чинник інноваційного розвитку бездротових мереж. Запропоновано архітектуру натільної комп'ютерної мережі, виокремлено три чинники, які відрізняють натільні комп'ютерні мережі від інших видів бездротових мереж. Описано різні типи топологій, які використовуються в системі зв'язку для різних цілей і відповідно до різних потреб. Перелічено головні переваги Body Area Network. Здійснено порівняння методів підключення датчиків та наведено сфери застосування натільних комп'ютерних мереж.

Зв'язок по тілу (Intrabody Communication, IBC) вперше був запропонований Циммерманом в 1996 році в якості нової технології зв'язку для обміну даними між електронними пристроями в натільних мережах [1]. Його застосування не обмежується передачею даних і поширюється на передачу електроенергії. Електронні пристрої приймають енергію, необхідну для роботи одночасно з даними. Також він може бути використаний для зв'язку між предметами одягу та пристроями в навколишньому середовищі. Зв'язок по тілу є надійним методом для підключення мобільних пристроїв зовні і всередині тіла людини і має багато переваг у порівнянні з традиційними підходами радіозв'язку.

Зв'язок натільні комп'ютерні мережі по тілу розширив межі застосування у різних галузях:

1. Медична сфера

З винаходом нової технології і швидкої обробки, також виникла можливість ефективного моніторингу здоров'я. Отже, за допомогою натільної мережі стало можливим і легко здійснювати дистанційне спостереження за станом здоров'я пацієнта.

2. Спортивна сфера

Виникла можливість моніторингу стану здоров'я спортсменів, надавати тренерам і спортсменам точну і ясну картину, щоб вони могли визначити свої слабкі і сильні сторони. Натільні комп'ютерні мережі можуть використовуватися для вимірювання необхідних факторів стану здоров'я під час змагань. Цей вид спостереження можна проводити де завгодно, і немає необхідності кожного разу ходити в лабораторію для отримання показників.

3. Сфера розваг

Натільні комп'ютерні мережі можуть використовуватися для розваги також. Вони можуть бути використані для ігор, мультимедійних додатків, 3D відео і відео буферизації, тощо.

! Бездротова натільна мережа здатна встановити бездротовий зв'язок, що

складається з невеликих інтелектуальних пристроїв, імплантованих або прикріплених до тіла. Ці пристрої можуть забезпечувати безперервний моніторинг стану здоров'я і забезпечують зворотний зв'язок з медичним персоналом або користувачем в режимі реального часу. Вимірювання можуть бути записані і використані протягом тривалого періоду часу.

Архітектура запропонованої натільної комп'ютерної мережі, яка показана на рисунку 1, складається з наступних елементів:

- датчики: використовуються для безперервного збору даних з різних частин тіла або одягу і передачі цих даних на головний датчик.
- головний датчик: головні датчики збирають дані від інших датчиків і об'єднують їх. Потім вся інформація передається координатору.
- координатор: координатор аналізує дані і пропонує відповідні дії, якщо це встановлено алгоритмом, в протилежному випадку виводить дані на ноутбук користувача.
- ноутбук або смартфон: пристрої, які отримують, обробляють за програмою та накопичують дані по мережі.

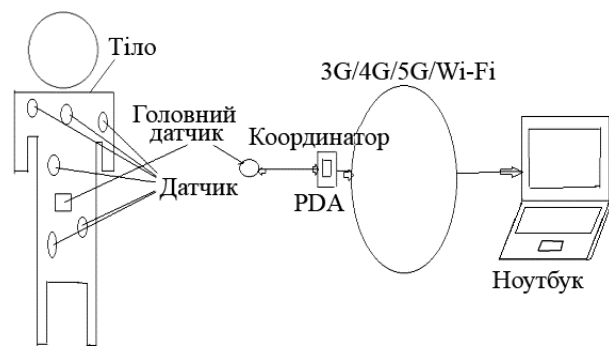


Рис. 1. Архітектура натільної комп'ютерної мережі [2]

Ядро мережі, як показано на рисунку 2, складається з декількох мініатюрних датчиків тіла (BSU - Body Sensor Units) і одного блоку управління (BCU - Body Central Unit) [3].

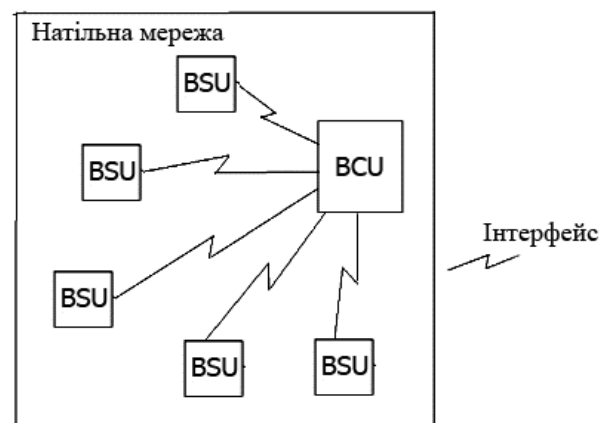


Рис. 2. Ядро системи

Мережі області тіла особливо цікаві в медичній галузі. Ці системи включають в себе електронні датчики, які контролюють пацієнтів для різних медичних умов. Наприклад, датчики, які прикріплені до пацієнта, можуть контролювати, чи не впав він раптом на землю, і повідомляти про цю подію станцію моніторингу. Мережа також може відстежувати частоту серцевих скорочень, кров'яний тиск і інші життєво важливі показники пацієнта.

Відстеження фізичного місцезнаходження лікарів в лікарні також допомагає реагувати на надзвичайні ситуації.

В побудові натільної мережі можуть використовуватися два типи пристроїв: датчики і виконавчі механізми. Внутрішні або зовнішні датчики імплантуються на тілі для вимірювання важливих параметрів людського тіла. Це може бути також температура тіла, параметри серцебиття або запис ЕКГ. Виконавчі механізми можуть робити деякі необхідні дії відповідно до даних, отриманих від датчиків. Наприклад, виконавчий механізм з вбудованим резервуаром, вводить пацієнту з діабетом необхідну для прийому дозу інсуліну, ґрунтуючись на вимірах датчиками рівня глюкози.

Сформулюємо чинники, які відрізняють натільні комп'ютерні мережі від інших видів бездротових мереж:

- пристрої з малим споживанням електроенергії, тобто невеликими батареями, бо для роботи в натільних мережах потрібно значно нижчий рівень потужності, ніж в інших мережах. Wi-Fi і навіть Bluetooth не доцільно використовувати в таких мережах: бо зазвичай вони споживають в десять разів більше енергії, ніж потрібно для інших пристроїв;
- для натільних пристроїв, особливо тих, які використовуються в медичних цілях, необхідний надійний

зв'язок. Перебої в громадських точках бездротового доступу, домашніх мережах і в мережах загального користування можуть бути небезпечними для життя;

- перешкоди в бездротовому сигналі між пристроями та іншими видами бездротових мереж також створюють особливі проблеми. Пристрої можуть бути розташовані в безпосередній близькості від інших пристроїв і, будучи природно мобільними, переносяться в різноманітні електромагнітні умови, де вони повинні співіснувати з усіма видами іншого бездротового трафіку;
- натільні пристрої експлуатуються в різних атмосферних умовах та середовищах: можуть попадати під дію прямих сонячних променів, льоду і, як правило, більш екстремальних температур, ніж в традиційних мережах;
- дані від натільних датчиків повинні бути захищені від сторонніх осіб, як в реальному часі, так і під час зберігання у базах даних;
- сама натільна мережа повинна бути захищена від використання сторонніми особами та програмами: ідентифікація, трафік і місцезнаходження повинні бути надійно захищені.

З наведеного витікають особливості натільної мережі, які створюють систему вимог до неї, такі як:

- низька споживана потужність;
- надійність;
- електромагнітна сумісність;
- висока якість датчиків;
- безпека даних (через шифрування);
- малий час передачі даних;
- різні швидкості передачі даних;
- портативність.

Наведемо порівняння параметрів мереж з різними лініями зв'язку датчиків, що використовуються тепер (табл. 1.).

Таблиця 1 – Порівняння параметрів мереж з різними лініями зв'язку датчиків.

Параметр / тип мережі	Дротова мережа	Бездротова мережа	Натільна мережа
Низьке енергоспоживання	-	-	+
Відсутність втрат при передачі (надійність)	+	-	+
Висока швидкість	+	+	-
Простота налаштування	+	-	+
Відсутність дротів	-	+	+

Розглядаємо подання системи передачі даних на базі технології LoRa, як системи масового

обслуговування (СМО), для фрагменту мережі LoRa, що складається з двох вузлів: передавача і приймача. Приєднання натільних мереж до технології LoRa (Long Range) компанії Semtech за протоколом LoRaWAN [4] має сенс, але потребує розробки специфікацій саме для натільних мереж.. Стоїть завдання передати зображення від передавача до приймача по повільному каналу. З огляду на те що пропускна здатність каналу обмежена, розглянемо два випадки.

1. Передача даних від передавача до приймача здійснюється по одному каналу. Розмір одного пакета становить 225 байт (220 байт - корисна інформація, 5 байт - службова інформація). Це зумовлює постійний час передачі, де L – довжина пакету, v – швидкість передачі.

Для підвищення пропускної здатності каналу кожен з чергових пакетів даних порівнюється з попереднім переданим пакетом. Результат порівняння характеризує інформативність пакету. Передача пакету проводиться тільки коли об'єм нової інформації в пакеті перевищує задане граничне значення. Коли інформація в пакеті практично незмінна протягом будь-якого випадкового інтервалу часу, потік пакетів по каналах LoRa буде носити випадковий характер (для тестування, наприклад). Потік створюють тільки пакети, що містять порогові (задані) зміни інформації. Потік таких пакетів розглядається як найпростіший. Загальну структуру системи передачі

пакетів на базі технології LoRa можна уявити як СМО (Рисунок 3).

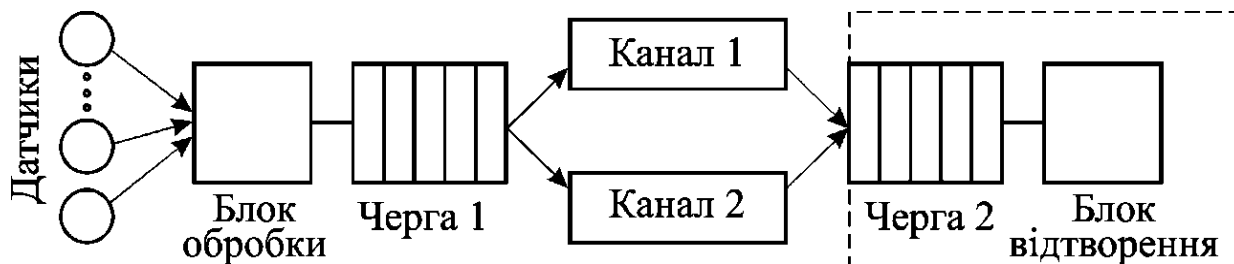


Рис. 3. Подання системи передачі зображень як СМО

За теорією масового обслуговування, наведену систему можна представити як модель M/D/1 (Рисунок 4).

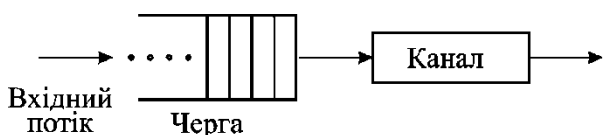


Рис. 4. Одноканальна система обслуговування передачі даних

2. У систему вводиться додатковий канал, який дозволить збільшити пропускну здатність, передати більше пакетів даних в одиницю часу. Блок обробки передає однакову кількість пакетів в кожен з двох каналів. Дану систему можна представити як модель СМО M/D/2. На рисунку 5 показана двоканальна система обслуговування передачі даних.

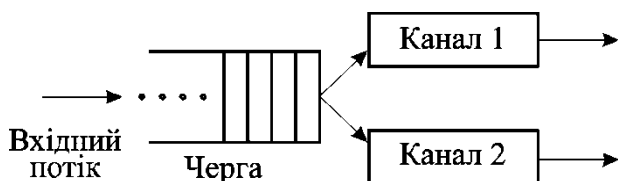


Рис. 5. Двоканальна система обслуговування передачі даних

Розглянемо наступні параметри СМО:

– середній час очікування пакета в черзі;
 – середню довжину черги;
 – середній час, який пакет проводить в системі обслуговування: час очікування плюс час обслуговування. Пакети, які формуються після фрагментації пакету даних, надходять в буфер в порядку черги і чекають передачі в канал. Пріоритет в черзі визначається за принципом FIFO (First In, First Out – "першим прийшов – першим пішов"). Якщо час обробки даних в пристрої знехтуване малий, програмне забезпечення обробляє пакети даних без затримок. Швидкість роботи системи залежить від інтенсивності з якою надходять пакети на вхід λ_n і інтенсивності обслуговуючих пакетів μ_n , тому для моделі M/D/1, якою можна уявити розглянуту систему, середній час очікування в черзі розрахується за формулою (1):

$$\bar{W} = \frac{\rho_k \bar{t}}{2(1 - \rho_k)}, \quad (1)$$

де $\rho_k = \frac{\lambda_n}{\mu_n}$ – навантаження каналу передачі даних, \bar{t} – час передачі

Середній час доставки визначається за формулою :

$$T = \bar{W} + \bar{t} = \frac{\rho_k \bar{t}}{2(1 - \rho_k)} + \frac{L}{b}, \quad (2)$$

де L – довжина пакету, b – швидкість передачі.

Середня довжина черги пакетів даних:

$$L = \frac{\lambda_n^2}{2\mu_n(\mu_n - \lambda_n)} = \frac{\rho_k^2}{2(1 - \rho_k)} \quad (3)$$

На рисунку 6 наведено залежність середнього часу доставки пакетів даних від їх інтенсивності λ_n на вході одноканальної СМО, для інтенсивності обслуговуючих пакетів $\mu_n = 10^8$ біт/с і різної швидкості передачі даних.

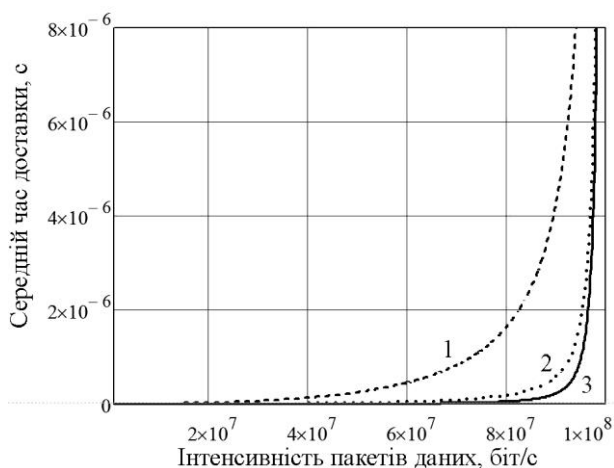


Рис. 6. Залежність середнього часу доставки пакетів T від їх інтенсивності λ_n , при різній швидкості передачі даних: 1 – $b = 10^6$ біт/с; 2 – $b = 10^7$ біт/с; 3 – $b = 10^8$ біт/с.

Інтенсивність пакету даних визначається кількістю датчиків та їх інформативністю. Як видно з графіку, реально перевантажити сучасні системи обробки інформації одна натільна мережа не здатна, якщо до неї не включати системи запису

зображень та відеоканали високої читкості. Така ситуація може виникнути при оснащенні натільною мережею сучасного військового, до знаряддя якого можуть включатися системи відеоспостереження в різних діапазонах бачення.

При зменшенні швидкості передачі даних b зростає середній час доставки пакетів даних, як видно з рисунку 6. Але найбільш суттєво впливає зростання інтенсивності пакетів даних до деякої критичної величини. При наближенні λ_n до значення 10^8 біт/с середній час доставки стрімко прямує вгору за гіперболічною залежністю, що вказує на критичне перевантаження каналу.

Висновки

У рамках роботи проаналізовано стан сучасних натільних комп'ютерних мереж, їх правове, організаційне та матеріальне забезпечення.

Запропоновано архітектуру натільної комп'ютерної мережі, виокремлено чинники, які відрізняють натільні комп'ютерні мережі від інших видів бездротових мереж. Описано різні типи топологій, які використовуються в системі зв'язку для різних цілей і відповідно до різних потреб. Перелічено головні переваги Body Area Network. Здійснено порівняння методів підключення датчиків та наведено сфери застосування натільних комп'ютерних мереж.

Запропонована і досліджена модель натільної мережі в якості одно

канальної системи масового обслуговування (СМО). Проаналізовано вплив швидкодії різних складових СМО на середній час доставки пакетів з натільної мережі до блоку відображення інформації.

До перспектив подальших досліджень варто віднести мережеві проблеми в агресивних середовищах перебування датчиків, складні електромагнітні умови передачі сигналу та розширення кола застосування.

Література

1. T.G.Zimmerman, "Personal area networks: Near-field intrabody communication," IBM Syst. J., vol. 35, no. 3–4, pp. 609–617, 1996.
2. Связь RF и несколько протоколов доступа в сети датчиков для тела / Сана Улла,

Генри Хиггинс // Международный журнал по технологии цифрового контента и его приложениям, 2008. – С. 9–16.

3. Schmidt R, Norgall T, Mörsdorf J, Bernhard J, von der Grün T. (2002). "Body Area Network BAN--a key infrastructure element for patient-centered medical applications". Biomed Tech. 47 (1): 365—8. DOI:10.1515/bmte.2002.47.s1a.365. PMID 12451866
4. Кумаритова, Д. Л. Обзор и сравнительный анализ технологий LPWAN сетей / Д. Л. Кумаритова, Р. В. Киричек // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – Т. 4. – № 4. – С. 33–48