

# Використання бездротових мереж у системах опрацювання біомедичних сигналів

Олексій Азаров, Сергій Богомолов, Леонід Крупельницький, Володимир Гончарук,  
Віталій Тищенко  
кафедра обчислювальної техніки,  
Вінницький національний технічний університет  
Вінниця, Україна  
sergeyivanoff18@gmail.com

## Wireless networks in biomedical signal processing systems

Alexey Azarov, Sergei Bogomolov, Leonid Krupellnitsky, Volodymyr Goncharuk, Vitaly Tyschenko  
Department of Computer Technique  
Vinnytsia National Technical University  
Vinnytsia, Ukraine,  
sergeyivanoff18@gmail.com

**Анотація** — Описано вимоги до систем визначення функціонального стану шлунково-кишкового тракту за допомогою акустичних методів. Здійснено огляд та аналіз основних характеристик існуючих технологій безпроводної передачі даних та визначено оптимальну для використання при побудові систем опрацювання біомедичних сигналів.

**Abstract** — Described requirements for systems for determining the functional state of the gastrointestinal tract using acoustic methods. The review and analysis of the main characteristics of the existing technologies of wireless data transmission and the optimal for use in the construction of systems for the processing of biomedical signals are reviewed.

**Ключові слова** — системи опрацювання біомедичних сигналів, бездротові мережі, аналого-цифрова система, аналого-цифрове перетворення.

**Keywords** — systems for biomedical signal processing, wireless networks, analog-digital system, analog-digital conversion.

### I. ВСТУП

Функціональний стан людини з точки зору медицини є одним з важливих показників стану її здоров'я. Оцінку функціонального стану організму людини проводять під час діагностично-лікувальних та профілактичних заходів в медичній практиці. Це важливо також для систем медичного страхування, охорони праці, розробки медичних експертних систем. Для оцінки функціонального стану організму людини використовуються різні

методи дослідження: електричні, електромагнітні, акустичні, ультразвукові, люмінесцентні, біохімічні, механічні та ін. Одним з основних параметрів, який характеризує функціональний стан людини є біомедичний сигнал. Біологічні сигнали можуть становити інтерес для встановлення діагнозу, моніторингу пацієнта і проведення біомедичного дослідження [1].

У медичній практиці для діагностичних цілей та контролю функціонального стану пацієнтів широко використовується апаратура, яка реєструє біомедичні сигнали та визначає їх параметри у нормі та при фізіологічних або патологічних відхиленнях від норми. Як відомо, біосигнали отримуються в результаті біологічних процесів, які спостерігаються в медицині. Такі процеси надзвичайно комплексні і динамічні. Біосигнали рідко описуються тільки декількома параметрами, як наприклад хвилі синуса чи косинуса. Біологічні процеси, які генерують сигнали, знаходяться в динаміці, що, безперервно змінюється, їх поведінка рідко передбачається точно; параметри, що описують зміну сигналів неперервні [1].

Найчастіше для реєстрації біомедичних сигналів використовуються електрографічні методи, які забезпечують вимірювання та контроль біопотенціалів, що виникають природно або під впливом зовнішніх факторів у різних ділянках та органах організму людини. Проте не завжди є можливість здійснити вимірювання біопотенціалів, а інколи – взагалі така можливість повністю відсутня, наприклад, у випадку дослідження внутрішніх органів.

Одним із наукових напрямків є визначення функціонального стану шлунково-кишкового тракту за допомогою акустичних методів.

Напрямок передбачає дослідження і розробку структурних, схемотехнічних та алгоритмічних рішень створення точних і швидкодіючих самокаліброваних аналого-цифрових систем опрацювання біомедичних сигналів. Такого роду системи мають відповідати наступним вимогам:

- неперервна та довготривала реєстрація біологічних даних;
- реєстрація місцеположення об'єкта в просторі та часі;
- опрацювання статичних і динамічних характеристик;
- накопичення та періодична передача даних;
- наявність гальванічної розв'язки;
- мобільність та легкість встановлення;
- створення експертної системи.

Доцільним у вирішенні питань розв'язаності вимірювальної частини, що встановлюється на об'єкті дослідження, від системи опрацювання є використання сучасних досягнень безпроводних мереж. Проте використання такого безпроводних мереж у системах опрацювання біомедичних сигналів не досліджувалося, а тому є актуальним.

Бездротова мережа – тип комп'ютерної мережі, яка використовує бездротове з'єднання для передачі даних й підключення до мережевих вузлів. Для передачі інформації може використовуватися радіохвилі, інфрачервоне, оптичне або лазерне випромінювання. На сьогодні велике різноманіття бездротових мереж, таких як *Wi-Fi*, *WiMAX*, *Bluetooth*, *ZigBee* та інші. Кожна технологія має характеристики, які визначають її область застосування.

## II. ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗДРОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ Wi-Fi

Стандарт IEEE 802.11 є базовим стандартом для побудови бездротових локальних мереж (Wireless Local Network — WLAN). Стандарт IEEE 802.11[2] постійно вдосконалювався, а тому зараз існує сімейство, до якого відносять специфікації IEEE 802.11 з буквеними індексами a, b, c, d, e, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, u, v, w. Однак тільки п'ять з них (a, b, g, i та n) є основними й користуються найбільшою популярністю у виробників устаткування, інші ж являють собою доповнення, удосконалення або виправлення прийнятих специфікацій. Інститут інженерів по електроніці й електротехніці (IEEE) тільки розробляє й приймає специфікації, на перераховані вище стандарти. До обов'язків інституту не входять роботи з тестування приладів різних виробників на сумісність.

Для просування на ринку пристроїв для бездротових локальних мереж (WLAN) була створена група, що одержала назву Альянс Wi-Fi.

Цей альянс здійснює керівництво роботами по сертифікації устаткування різних виробників і видачі дозволу на використання членами Альянсу Wi-Fi логотипа торговельної марки Wi-Fi. Наявність на устаткуванні логотипа Wi-Fi гарантує надійну роботу й сумісність устаткування при побудові бездротової локальної мережі (WLAN) навіть при використанні пристроїв різних виробників. На сьогоднішній день Wi-Fi сумісним є устаткування, побудоване по стандарту IEEE 802.11a [3], b [4] і g [5] (для забезпечення захищеного з'єднання також може використовуватися стандарт IEEE 802.11i [6]). Крім того, наявність на устаткуванні логотипа Wi-Fi означає, що робота устаткування здійснюється в діапазоні 2,4 ГГц або 5 ГГц. Отже, під Wi-Fi варто розуміти сумісність устаткування різних виробників, призначеного для побудови бездротових локальних мереж, з урахуванням викладених вище обмежень.

Перша специфікація стандарту IEEE 802.11, прийнята в 1997 році, установлювала передачу даних на швидкості 1 і 2 Мбіт/с у неліцензійному діапазоні частот 2,4 ГГц, а також спосіб керування доступом до фізичного середовища (радіоканалу), що використовує метод множинного доступу із упізнанням несучої й усуненням колізій (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA-CA).

Метод CSMA-CA полягає в наступному. Для визначення стану каналу (зайнятий або вільний) використовується алгоритм оцінки рівня сигналу в каналі, відповідно до якого виконується вимірювання потужності сигналів на вході приймача і якість сигналу. Якщо потужність прийнятих сигналів на вході приймача нижче граничного рівня, то канал вважається вільним, якщо ж їхня потужність вище граничного значення, то канал вважається зайнятим.

IEEE 802.11n [7] - новітня версія стандарту 802.11 для мереж Wi-Fi. Цей стандарт був затверджений 11 вересня 2009. Стандарт 802.11n підвищує швидкість передачі даних практично вчетверо в порівнянні із пристроями стандартів 802.11g (максимальна швидкість яких дорівнює 54 Мбіт/с), за умови використання в режимі 802.11n з іншими пристроями 802.11n. Теоретично 802.11n здатний забезпечити швидкість передачі даних до 480 Мбіт/с. Пристрої 802.11n працюють у діапазонах 2,4 - 2,483 або 5,0 ГГц.

Чорнову версію стандарту 802.11n підтримують багато сучасних мережних пристроїв. Підсумкова версія стандарту, що була прийнята 11 вересня 2009 року, забезпечує швидкість до 300 Мбіт/с, багатоканальний вхід/вихід, відомий, як MIMO і більше покриття.

Пристрої стандарту 802.11n можуть працювати в одному із двох діапазонів - 2,4 або 5

ГГц. Це набагато підвищує гнучкість їхнього застосування. При виборі системи фахівцям варто мати на увазі, що практично всі клієнти 802.11n на основі *CardBus* і *ExpressCard* поки розраховані тільки на діапазон 2,4 ГГц, але деякі зразки вмонтованих адаптерів і плат типорозміру *mini-PCI* здатні підтримувати обидва діапазони.

Специфікація 802.11n передбачає використання як стандартних каналів шириною 20 МГц, так і широкосмугових - на 40 МГц із більш високою пропускною здатністю. Проект версії 2.0 рекомендує застосовувати 40-мегагерцові канали тільки в діапазоні 5 ГГц, однак користувачі багатьох пристроїв такого типу одержать можливість вручну переходити на широкосмугові канали навіть у діапазоні 2,4 ГГц. Ключовий компонент стандарту 802.11n за назвою МІМО (*Multiple Input, Multiple Output* - багато входів, багато виходів) передбачає застосування просторового мультиплексування з метою одночасної передачі декількох інформаційних потоків по одному каналі, а також багатопроменева відбиття, що забезпечує доставку кожного біта інформації відповідному одержувачеві з невеликою ймовірністю впливу перешкод і втрат даних. Саме можливість одночасної передачі й прийому даних визначає високу пропускну здатність пристроїв 802.11n.

Розробники специфікації 802.11n подбали про те, щоб компоненти на базі зберігали сумісність із пристроями стандарту 802.11b або 802.11g у діапазоні 2,4 ГГц та з пристроями 802.11a - у діапазоні 5 ГГц. У нових мережах 802.11n ще довгий час буде працювати безліч колишніх бездротових клієнтів, а тому при розгортанні бездротових ЛВМ (локальних високошвидкісних мереж) адміністраторові варто обов'язково передбачити їх підтримку.

### III. ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗДРОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ BLUETOOTH

Технологія Bluetooth (стандарт IEEE 802.15[8]) стала першою технологією, що дозволяє організувати бездротову персональну мережу передачі даних (WPAN - Wireless Personal Network). Вона дозволяє здійснювати передачу даних і голосу по радіоканалу на невеликі відстані (10-100 м) у неліцензійному діапазоні частот 2,4 ГГц і з'єднувати ПК, мобільні телефони й інші пристрої при відсутності прямої видимості.

Своєму народженню Bluetooth зобов'язана фірмі Ericsson, що в 1994 році почала розробку нової технології зв'язку. Спочатку основною метою була розробка радіоінтерфейсу з низьким рівнем енергоспоживання й невисокою вартістю, що дозволяв би встановлювати зв'язок між стільниковими телефонами й бездротовими гарнітурами. Однак згодом роботи з розробки

радіоінтерфейсу переросли в створення нової технології.

На телекомунікаційному ринку, а також на ринку комп'ютерних засобів успіх нової технології забезпечують провідні фірми-виробники, які ухвалюють рішення щодо доцільності й економічній вигоді від інтеграції нової технології у свої нові розробки. Тому, щоб забезпечити своєму дітищу гідний майбутній і подальший розвиток, в 1998 році фірма Ericsson організувала консорціум Bluetooth SIG (Special Interest Group), перед яким ставилися наступні завдання: 1) подальша розробка технології Bluetooth; 2) просування нової технології на ринку телекомунікаційних засобів.

Технологія Bluetooth підтримує як з'єднання типу «точка - точка», так і «точка - декілька точок». Два або більше пристроїв, що використовують один канал утворюють пікомережу (piconet). Один із пристроїв в такій мережі працює як основний (master), а інші - як залежні (slave). В одній пікомережі може бути до семи активних залежних пристроїв, при цьому інші залежні пристрої перебувають у стані «паркування», залишаючись синхронізованими з основним пристроєм. Взаємодіючі пікомережі утворюють «розгалужену мережу» (scatternet).

У більшості випадків технологія Bluetooth використовується розробниками для заміни провідного послідовного з'єднання між двома пристроями на бездротове. Для організації з'єднання й виконання передачі даних розробниками необхідно програмно, за допомогою команд інтерфейсу хостконтролера реалізувати верхні рівні стека протоколу Bluetooth, до яких відносять: *L2CAP*, *RFCOMM*, *SDP*, а також профіль взаємодії по послідовному порту - *SPP (Serial Port Profile)* і профіль виявлення послуг *SDP (Service Discovery Profile)*.

У середині 2004 року на зміну специфікації Bluetooth версії 1.1 прийнята специфікація Bluetooth версії 1.2 [9]. Її основні відмінності: 1) реалізація технології адаптивної зміни частоти каналу (*Adaptive Frequency hopping, AFH*); 2) удосконалення голосового з'єднання; 3) скорочення часу, що використовується на встановлення з'єднання між двома модулями Bluetooth.

Відомо, що Bluetooth і Wi-Fi використовують той самий неліцензійний діапазон 2,4 ГГц. Отже, у тих випадках, коли Bluetooth пристрої перебувають у зоні дії пристроїв Wi-Fi і здійснюють обмін даними між собою, можуть відбуватися колізії і це може вплинути на працездатність пристроїв. Технологія AFH дозволяє уникнути появи колізій: під час обміну інформацією для боротьби з інтерференцією технологія Bluetooth використовує стрибкоподібну зміну частоти каналу, при виборі якого не враховуються частотні канали, якими здійснюють обмін даними пристрої Wi-Fi.

Для обміну даними за технологією *AFH* необхідно від 20 до 30 каналів (для обробки сигналів *Bluetooth* потрібно 79 каналів, кожний канал вимагає смуги частот 1 МГц). Таким чином, скоротивши необхідну кількість каналів можна зменшити використовуваний діапазон частот і уникнути перекривання сигналів від пристроїв *Bluetooth* і *Wi-Fi*.

Зараз на ринку працює велика кількість фірм, які пропонують модулі *Bluetooth*, а також компоненти для самостійної реалізації апаратної частини *Bluetooth* пристрою. Практично всі виробники пропонують модулі, що підтримують специфікації *Bluetooth* версії 1.1 і 1.2 і відповідають класу 2 (діапазон дії 10 м) і класу 1 (діапазон дії 100 м). Однак, незважаючи на те, що версія 1.1 повністю сумісна з 1.2, всі розглянуті вище вдосконалення, можуть бути отримані, тільки якщо обидва пристрої відповідають версії 1.2.

У листопаді 2004 року була прийнята специфікація *Bluetooth* версії 2.0 [10], що підтримує технологію розширеної передачі даних (*Enhanced Data Rate, EDR*). Специфікація 2.0 з підтримкою *EDR* дозволяє здійснювати обмін даними на швидкості до 3 Мбіт/с. Перші зразки модулів версії 2.0, що виготовляються серійно і підтримують технологію розширеної передачі даних *EDR*, були запропоновані виробниками наприкінці 2005 року. Радіус дії таких модулів становить 10 м при відсутності прямої видимості, що відповідає класу 2, а при наявності прямої видимості він може сягати 30 м.

#### IV. ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ZIGBEE

Технологія бездротової передачі даних *ZigBee* була представлена на ринку вже після появи технологій бездротової передачі даних *Bluetooth* і *Wi-Fi*. Поява технології *ZigBee* обумовлено, насамперед, тим, що для деяких операцій (наприклад, для віддаленого керування освітленням або гаражними воротами, або зчитування інформації з датчиків) основними критеріями при виборі технології бездротової передачі є низьке енергоспоживання апаратної частини і її низька вартість.

Цим обумовлена низька пропускну спроможність, тому що в більшості випадків живлення датчиків здійснюється від умонтованої батареї, час роботи від якої повинен перевищувати кілька місяців і навіть років. Інакше щомісячна заміна батареї для датчика відкривання-закривання гаражних воріт кардинально змінить ставлення користувача до бездротових технологій. Існуючі на той момент часу технології бездротової передачі даних *Bluetooth* і *Wi-Fi* не відповідали цим критеріям, забезпечуючи передачу даних на високих швидкостях, з високим рівнем

енергоспоживання й вартості апаратної частини. В 2001 році робочою групою № 4 *IEEE* 802.15 були розпочаті роботи зі створення нового стандарту, який би відповідав наступним вимогам: низький рівень енергоспоживання апаратної частини, що реалізує технологію бездротової передачі даних (час роботи від батареї повинен становити від декількох місяців до декількох років); передача інформації повинна здійснюватися на не високій швидкості; низька вартість апаратної частини. Результатом стала розробка стандарту *IEEE* 802.15.4 [11].

Для забезпечення низької вартості інтеграції технології бездротової передачі *ZigBee* у різні сфери фізична реалізація апаратної частини стандарту *IEEE* 802.15.4 виконується у двох виконаннях: пристрої з обмеженим набором функції (RFD) і повністю функціональні пристрої (FFD).

Крім розподілу пристроїв на RFD і FFD, визначені три типи логічних пристроїв: *ZigBee* координатор (узгоджувачий пристрій), *ZigBee* маршрутизатор і кінцевий пристрій *ZigBee*. Координатор здійснює ініціалізацію мережі, керування вузлами, а також зберігає інформацію про налаштування кожного вузла, приєднаного до мережі. *ZigBee* маршрутизатор відповідає за маршрутизацію повідомлень, переданих по мережі від одного вузла до іншого. Під кінцевим пристроєм розуміють будь-який кінцевий пристрій, що приєднаний до мережі. Розглянуті вище пристрої RFD і FFD є кінцевими пристроями. Тип логічного пристрою при побудові мережі визначає кінцевий користувач за допомогою вибору певного профілю, запропонованого альянсом *ZigBee*. При побудові мережі з топологією «кожний з кожним» передача повідомлень від одного вузла мережі до іншого може здійснюватися по різних маршрутах, що дозволяє будувати розподілені мережі (мережі, що поєднують кілька невеликих мереж в одну більшу - кластерне дерево). В таких мережах є можливість встановлення вузлів на досить великій відстані й забезпечення надійної доставки повідомлень.

Технологія *ZigBee* може бути інтегрована у системи автоматизації життєзабезпечення будинків і будов (вилучене керування мережними розетками, вимикачами, реостатами й т.д.); системи керування побутовою електронікою; системи автоматичного зняття показань із різних лічильників (газу, води, електрики й т.д.); системи безпеки (датчики задимлення, датчики доступу й охорони, датчики витoku газу, води, датчики руху й т.д.); системи моніторингу навколишнього середовища (датчики температури, тиску, вологості, вібрації й т.д.); системи промислової автоматизації.

## V. ВИБІР БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ

Огляд технологій бездротової передачі даних Wi-Fi, Bluetooth і ZigBee показує, що кожна технологія має ряд своїх переваг та недоліків, які описано в технічній документації.

Технологія Wi-Fi застосовується для побудови бездротових локальних мереж, доступу до Інтернету, передачі файлів великих розмірів, передача мультимедійних об'єктів, відео, тощо.

Технологія Bluetooth застосовується у галузі телекомунікацій для передачі файлів невеликого об'єму, аудіо потоків, з'єднання двох або більше пристроїв між собою а також замість дротового з'єднання інформаційних каналів.

Технологія ZigBee - це бездротові мережі датчиків, автоматизація житлових і споруджуваних приміщень, створення індивідуального діагностичного медичного встаткування, промисловий моніторинг і керування, побутова електроніка й периферія персональних комп'ютерів.

Підхід до вибору повинен ґрунтуватися на комплексному аналізі властивостей безпроводної мережі та галузі її застосування. Порівняльні характеристики технологій Wi-Fi, Bluetooth і ZigBee, які варто враховувати при розробці системах опрацювання біомедичних сигналів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики технологій Wi-Fi, Bluetooth і ZigBee

Технологія (стандарт)	Wi-Fi (IEEE 802.11n)	Bluetooth (IEEE 802.15.3)	ZigBee (IEEE 802.15.4)
Частотний діапазон, ГГц	2.4-2.483 5.15-5.25 5.67-5.85	2,4 – 2,483	2,4 – 2,483
Пропускна здатність	300 Мбіт/с	3 Мбіт/с	250Кбіт/с
Розмір стеку протоколу, Кбайт	Більше 1000	Більше 250	32 – 64
Час роботи від батареї, год.	12 – 120	24 – 240	2400 – 24000
Максим.кількість елементів мережі	100	7	65536
Дальність дії, м	20 - 50	10 – 100	10 – 100

Опираючись на вимоги до систем опрацювання біомедичних сигналів, можна визначити, що найоптимальнішим варіантом для побудови безпроводних мереж є технологія Bluetooth.

## VI ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано підходи щодо визначення функціонального стану людини відомими методами.
2. Визначено вимоги до систем визначення функціонального стану шлунково-кишкового тракту за допомогою акустичних методів.

3. Здійснено огляд існуючих технологій безпроводної передачі даних.
4. Визначено основні характеристики безпроводних технологій та визначено оптимальну для використання при побудові систем опрацювання біомедичних сигналів.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] В.Вуйцик, З.Ю.Готра, О.З.Готра, Н.В.Дорош, О.І.Дорош, П.Ф.Колісник С.В.Павлов. Ресстрація, обробка та контроль біомедичних електрографічних сигналів. Львів: Ліга-Прес, 2009. - 308с.
- [2] IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003), Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Specifications.
- [3] IEEE Std 802.11a-1999 (Reaff 2003), Supplement to IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks— Specific requirements.
- [4] IEEE Std 802.11b-1999, Supplement to IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks— Specific requirements.
- [5] IEEE Std 802.11g-2004, IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements— Specifications.
- [6] IEEE Std 802.11i-2004, IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements.
- [7] IEEE Std 802.11n-2009, IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks.
- [8] IEEE Std 802.15.1-2002, IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements.
- [9] IEEE Std 802.15.2-2003, IEEE Recommended Practice for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks— Specific requirements.
- [10] IEEE Std 802.15.3-2003, IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements— Part 15.3: Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks.
- [11] IEEE 802.15.4. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003