

**Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка  
Навчально-науковий інститут інформаційних  
технологій і механотроніки**

**Національний транспортний університет**

**Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»**

**Військовий коледж сержантського складу  
Військового інституту телекомунікацій та  
інформатизації**

# **Проблеми інфокомунікацій**

**МАТЕРІАЛИ ПЕРШОЇ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**14 – 15 листопада 2017 року**

**Полтава – Київ – Харків  
2017**

Проблеми інфокомунікацій : Матеріали першої всеукраїнської науково-технічної конференції. – Полтава: ПолтНТУ; Київ: НТУ; Харків: НТУ«ХП»; Полтава: ВКСС ВІТІ, 2017. – 134 с.

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

### **Голова оргкомітету:**

СІВІЦЬКА Світлана Павлівна (к.е.н, доцент, ПолтНТУ, Полтава)

### **Заступник голови оргкомітету:**

ШУЛЬГА Олександр Васильович (д.т.н., доцент, ПолтНТУ, Полтава)

### **Члени оргкомітету:**

СЛЮСАР Вадим Іванович (д.т.н., професор, ЦНДІ ОВТ ЗСУ, Київ)

ГАВРИЛЕНКО Валерій Володимирович (д.ф-м.н., професор, НТУ, Київ)

БАРАНОВ Георгій Леонідович (д.т.н., професор, НТУ, Київ)

СЕРКОВ Олександр Анатолійович (д.т.н., професор, НТУ«ХП», Харків)

ПУСТОВОЙТОВ Павло Євгенович (д.т.н., доцент, НТУ«ХП», Харків)

ІВАНЧЕНКО Олег Васильович (к.т.н., доцент, УМСФ, Дніпро)

БОЯРЧУК Артем Володимирович (к.т.н., НАУ «ХАІ», Харків)

КОПШИНСЬКА Олена Петрівна (к.ф-м.н., доцент, ПДАА, Полтава)

ЗДОРЕНКО Юрій Миколайович (к.т.н., ВКСС ВІТІ, Полтава)

ВАСЮТА Василь Васильович (к.т.н., доцент, ПолтНТУ, Полтава)

ВОЛОШКО Сергій Володимирович (к.т.н., с.н.с., ПолтНТУ, Полтава)

ГРОЗА Петро Миколайович (к.т.н., с.н.с., ПолтНТУ, Полтава)

ДЕГТЯРЬОВА Лариса Миколаївна (к.т.н., доцент, ПолтНТУ, Полтава)

ТИРТИШНІКОВ Олексій Іванович (к.т.н., доцент, ПолтНТУ, Полтава)

СЛЮСАРЬ Ігор Іванович (к.т.н., доцент, ПолтНТУ, Полтава)

### **Секретаріат оргкомітету:**

ВАСИЛЬЄВ Костянтин Олександрович (к.т.н., ПолтНТУ, Полтава)

ЧЕРНИЦЬКА Ілона Олександрівна (ПолтНТУ, Полтава)

УДК 621.396

## УДОСКОНАЛЕННЯ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

к.т.н., доцент Слюсарь І.І., д.т.н., професор Слюсар В.І.,  
к.т.н., доцент Смоляр В.Г., к.т.н., с.н.с. Волошко С.В.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,  
м. Полтава

Email: islyusar2007@ukr.net

В умовах поширення втілення Інтернету речей (Internet of Things, IoT) та впровадження пристроїв на основі сенсорів (які крім детектування події, періодичного вимірювання та обчислення показників, в т.ч., за запитом, дозволяють впливати на ситуацію), зростає інтерес до безпроводових сенсорних мереж (Wireless Sensor Networks, WSN) [1]. Вже зараз їх починають використовувати у багатьох галузях (моніторинг екології, автотрафіка, енергосфери, погоди та ін.). З удосконаленням технологій та різних виробництв, потреба в WSN буде тільки збільшуватись. На це також впливає розвиток номенклатури областей, де впроваджуються доповнена (Augmented reality, AR) та віртуальна реальності (Virtual Reality, VR).

В ході досліджень встановлено, що для каналів зв'язку WSN властиві: асиметричність; нестабільність; варіації рівня потужності сигналу на тривалих проміжках часу; залежність рівня прийому від температури; наявність перехідної (сірої) зони; непередбачуваність. Вони мають сильний вплив на роботу всієї мережі в цілому (втрата зв'язку, зниження зв'язності мережі, помилки в локалізації та ін.), а саме головне – впливають на протоколи верхніх рівнів. Зокрема, при використанні діапазону 2,4 ГГц втрати пакетів можуть сягати рівня 90 %, в залежності від трафіку.

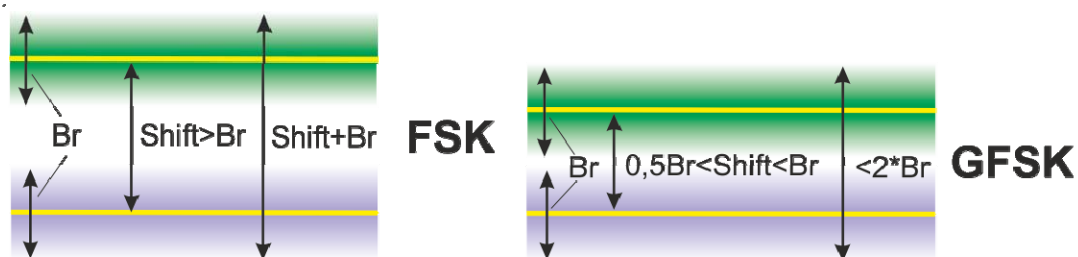


Рис. 1. Параметри FSK і GFSK

Традиційно в існуючих WSN використовуються трансивери з частотною маніпуляцією сигналів (Frequency Shift Key, FSK) або FSK зі згладжуванням позитивних і негативних частотних перебудов (представляють собою бінарний інформаційний код: «1» або «0») на основі фільтра Гауса (Gaussian Frequency Shift Keying, GFSK) (рис. 1). GFSK застосовується для звуження займаної смуги. Зазвичай, для зазначених варіацій WSN вказується швидкість 250 кбіт/с.

Також виробники пропонують трансивери з зсунутою квадратурною фазовою маніпуляцією (Offset Quadrature Phase Shift Keying, OQPSK) або двійковою фазовою маніпуляцією (Binary PSK, BPSK), забезпечуючи роботу інтерфейсних шлюзів на швидкості 2 Мбіт/с.

Як наслідок, для захисту WSN доцільно використовувати механізми резервування транспортного середовища; заводо захищені технології передачі даних на фізичному рівні; впровадження широкосмугових систем (діапазон  $3,1 \div 10,6$  ГГц зі смугою  $> 500$  МГц).

З цією метою в роботі запропоновано реалізацію сигнально-кодових конструкцій на основі кількох варіантів формування багатопозиційних сигналів. Замість одиничного сигналу FSK (GFSK) має застосовуватися сигнал, подібний OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), зі швидкістю передачі даних, яка дорівнює швидкості одного підканалу, що менше в  $N$  раз (де  $N$  – кількість підканалів, що відведені під передачу корисної інформації) у порівнянні з класичним для WSN сигналом на основі FSK (GFSK). Підвищення енергетики може відбуватись за рахунок введення надмірності (дубльовані канали) та переваг обробки на приймальній стороні сигналів OFDM.

В разі класичного підходу щодо вибору алгоритму модуляції підканалів OFDM на основі квадратурної амплітудної модуляції (Quadrature Amplitude Modulation, QAM), доцільно застосовувати підхід, аналогічний стандарту DVB-T2 [2]. Його сутність полягає в тому, що сформований модуляційний символ повертається в комплексній площині на визначений кут, який залежить від числа рівнів модуляції ( $29^0$  для QPSK,  $16,8^0$  – для QAM-16,  $8,6^0$  для QAM-64 і  $\arctg(1/16)$  для QAM-256). Більше того, перед початком обертання квадратурна ( $Q$ ) координата кожного модуляційного символу циклічно зсувається в рамках одного кодового слова (тобто береться з попереднього символу цього слова,  $Q$ -компонента першого символу стає рівною  $Q$ -компоненті останнього).

Крім того, замість QPSK, OQPSK, BPSK при формуванні підканалів доцільно орієнтуватись на диференційну QPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying, DQPSK), а також за аналогією з GFSK або GMSK (Gaussian Minimal Shift Keying), виконувати звуження спектру сигналу шляхом округлення форми огинаючої (використання  $\cos$ -округлення, фільтрів Найквіста, наприклад, Nyquist OQPSK (NOQPSK), NDQPSK та ін.). Варіант компоновки OFDM при FSK (MSK, GFSK, GMSK) наведено на рис. 2.

Розвитком такого підходу є модифікації (рис. 3), що враховують розподіл всіх підканалів OFDM на 2 групи для передачі відповідних бічних сигналів FSK (MSK, GFSK або GMSK) або блочну компоновку, в т.ч. з неоднаковою кількістю підканалів для врахування алфавіту кодування зазначених груп (блоків).

Для підвищення ефективності можливо використовувати замість OFDM COFDM (Coded OFDM). Однак, найбільш повно частотні обмеження OFDM усуваються при заміні на неортогональне частотне дискретне мультиплексування (N-OFDM) [3, 4], для якого OFDM являє собою частковий випадок. Приклад реалізації N-OFDM з FSK (MSK, GFSK, GMSK) наведено на

рис. 4.

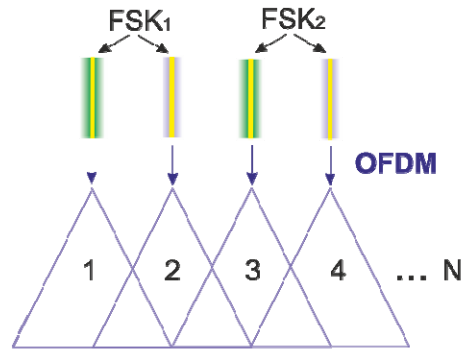


Рис. 2 Компоновка OFDM при FSK (MSK, GFSK, GMSK)

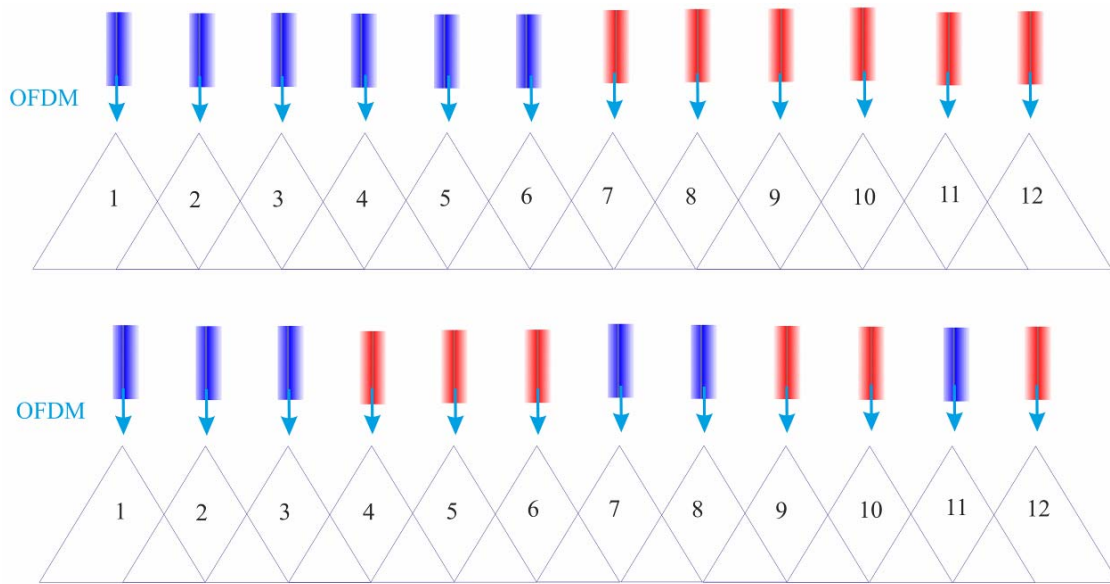


Рис. 3. Модифікації групування підканалів OFDM

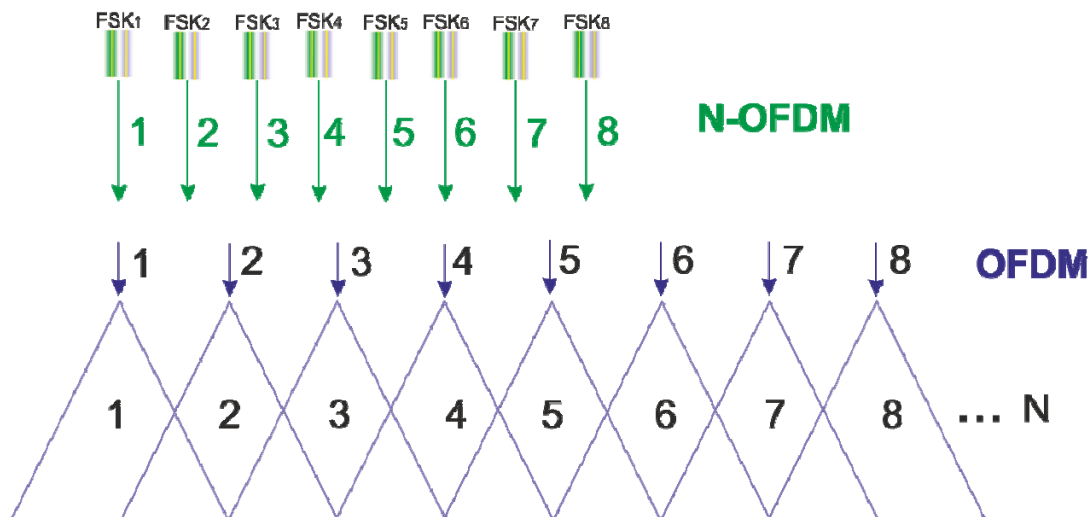


Рис. 4. Використання N-OFDM спільно з FSK (GFSK, MSK або GMSK)

Враховуючі те, що використання CSMA/CA в якості базового режиму доступу в WSN не гарантує усунення втрат значної кількості пакетів через колізії, а також необхідність спеціальних алгоритмів виявлення завад від мереж 802.11x (Wi-Fi) і реалізації динамічного перемикавання каналів при використанні

діапазону 2,4 ГГц, в роботі пропонується застосування множинного доступу на основі частотного розподілу каналів (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA). Крім того, доцільним є додавання технології множинного входу – множинного виходу (Multiple Input – Multiple Output, MIMO), наприклад, просторово-часового кодування на основі схеми Аламоуті для каналу  $2 \times 2$  [5].

Реалізацію запропонованих варіантів цифрової обробки сигналів доцільно виконувати за допомогою програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС), які є типовим інструментарієм технології програмної конфігурації обладнання (Software Defined Radio, SDR) або систем на одному чіпі [6]. Це дає змогу, при потребі, повернутися до стандартних варіантів обробки або в подальшому застосувати новітні алгоритми без заміни обладнання. Такий підхід є досить актуальним в умовах інтеграції IoT і 5G [7].

В свою чергу, невизначеність у стандартизації частотних характеристик систем 5G і, взагалі, передумови щодо перерозподілу частотного діапазону, спонукають до забезпечення широкосмуговості та багатодіапазонності антенних елементів WSN. В даному сенсі доцільно звернути увагу на антени неевклідової геометрії, що синтезовані на основі, наприклад [8], фракталів, генетичних або мурашиних алгоритмів, застосуванні метаматеріалів та ін. При цьому, з'являється можливість додаткової мініатюризації антенних систем елементів WSN.

### Література

1. Вишневский В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации». / Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. – М.: Техносфера. – 2005. – С. 498-569.
2. Слюсарь І.І. Метод демодуляції сигналів DVB-T2 при довільній тактовій частоті аналого-цифрового перетворення. / Слюсарь І.І., Слюсар В.І., Рибалка О.М. // Проблеми інформатизації: Матеріали 3-ої міжнародної НТК. – Черкаси, ЧДТУ; Баку: ВА ЗС АР; Бельско-Бяла: УТіГН; Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С. 54, 55.
3. Слюсар В.І. Неортогональное частотное мультиплексирование (N-OFDM) сигналов. Часть 1. / Слюсар В.І. // Технологии и средства связи. – 2013. – № 5. – С. 61-65.
4. Слюсар В.І. Неортогональное частотное мультиплексирование (N-OFDM) сигналов. Часть 2. / Слюсар В.І. // Технологии и средства связи. – 2013. – № 6. – С. 60-65.
5. Слюсарь І.І. Системи зв'язку 5-го покоління на основі технології Massive MIMO. / Слюсарь І.І., Слюсар В.І., Тарасенко В.В. // Проблеми інформатизації: Тези доповідей 4-ої міжнародної НТК. – Черкаси, ЧДТУ; Баку: ВА ЗС АР; Бельско-Бяла: УТіГН; Полтава: ПолтНТУ, 2016. – С. 63.
6. Слюсар Д. Беспроводные сети на кристалле – перспективные идеи и методы реализации. / Слюсар Д., Слюсар В. // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2011. – № 6. – С. 74-83.
7. Слюсарь І.І. Синтез ієрархій характеристик систем зв'язку 5G. / Слюсарь І.І., Слюсар В.І., Кулик Р.В. // Тези доповідей 68-ої НК ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2016 р. – Т. 3. – С. 62.
8. Слюсарь І.І. Мультистандартна система транкінгового зв'язку на основі перспективних технологій. / Слюсарь І.І., Слюсар В.І., Смоляр В.Г., Волошко С.В. // Системи управління, навігації та зв'язку. – № 3(43). – 2017. – С. 133-139.

Мельник В.М.	68	Серков О.А.	106, 108
Мерзлікін А. О.	85	Скрипник Б.В.	24
Миколенко О.С.	36	Слюсар В.І.	26, 32, 36
Міронова В.Л.	47	Слюсарчук Ю.А.	68
Мозоль Р.С.	90	Слюсарь І.І.	20, 26, 30, 32, 36, 42
Нефьодов О.О.	77		
Неєжмаков П.І.	54	Смоляр В.Г.	20, 26, 30, 42
Обод А.І.	100	Сокол Г.В.	3, 43
Обод И.И.	90	Соколов С.О.	106
Обод І.І.	87	Сомов С.В.	21
Овчинников Д.В.	94	Соснова Е.А.	92
Одарущенко О.Б.	24	Спіян О.М.	52
Оленич О.А.	17	Терещук В.І.	49
Олефір В.С.	20	Тиртишніков О.І.	9,4
Олефірова В.С.	84	Топольськов Є.О.	72, 74, 75
Опішнян Т.А.	41	Улько Р.Є.	9
Орлов Д.М.	81	Фокін В.В.	87
Павлюк С.Ф.	32	Харитоновна Л.В.	59
Паранькіна О.Ю.	68	Харкянєн О. В.	50
Парохненко Л.М.	63	Цопа О. І.	85
Парохненко О.С.	48	Шаповалов В.С.	103
Поворознюк Н.І.	65	Шарай О. І.	6
Подьячий Г.Ю.	92	Шевцова В.В.	108
Поночовний Ю.Л.	6	Шендрик О.М.	38
Прокопенко О.О.	30	Шкіцькій В.В.	25
Прохоренко О.М.	46	Шкляр В.О.	67
Пустовойтов П.Є.	93	Яковенко П.Л.	11
Рогочий С. Ю.	6	Янко А.С.	11, 14, 17
Ромашко І.В.	5, 22		
Рудоман Н.В.	57		
Рудь П.О.	40		
Савченко М.В.	95		
Савченко Н.В.	125		
Сайківська Л.Ф.	38		
Сапон Н.Н.	64		
Свид І.В.	100, 103		
Свичкар В.Ю.	90		
Сердюк А.А.	75		

## **ЗМІСТ**

<b>Секція 1.</b> Комп'ютерні системи та мережі .....	3
<b>Секція 2.</b> Телекомунікаційні технології та системи .....	24
<b>Секція 3.</b> Інтегровані засоби інтелектуальних технологічних комплексів та систем .....	45
<b>Секція 4.</b> Інфокомунікаційні системи і технології.....	80
<b>Учасники конференції</b> .....	132