

**Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка (м. Полтава)**

**Національний транспортний університет (м. Київ)**

**Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут» (м. Харків)**

**Державний університет телекомунікацій (м. Київ)**

**Український державний університет залізничного транспорту  
(м. Харків)**

**Білоруський державний технологічний університет  
(м. Мінськ)**

**Військовий коледж сержантського складу  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації  
(м. Полтава)**

# **Проблеми інфокомунікацій**

**МАТЕРІАЛИ ДРУГОЇ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**5 грудня 2018 року**

**Полтава – Київ – Харків – Мінськ  
2018**

Проблеми інфокомунікацій : Матеріали другої всеукраїнської науково-технічної конференції. – Полтава: ПолтНТУ; Київ: НТУ; Харків: НТУ«ХПІ»; Київ: ДУТ; Харків: УкрДУЗТ; Мінськ: БНТУ; Полтава: ВКСС ВІТІ, 2018. – 147 с.

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

- БАРАНОВ Г.Л., д.т.н., професор, НТУ, Київ, Україна;
- БОЯРЧУК А.В., к.т.н., НАУ ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;
- ВАСЮТА В.В., к.т.н., доцент, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- ВОЛОШКО С.В., к.т.н., с.н.с., ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- ГАВРИЛЕНКО В.В., д.ф-м.н., професор, НТУ, Київ, Україна;
- ГРОЗА П.М., к.т.н., с.н.с., ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- ДЕГТЯРЬОВА Л.М., к.т.н., доцент, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- ІВАНЧЕНКО О.В., к.т.н., доцент, УМСФ, Дніпро, Україна;
- ІВКО С.А., к.т.н., ВКСС ВІТІ, Полтава, Україна;
- КОЗЕЛКОВА К.С., д.т.н., професор ДУТ, Київ, Україна;
- НЕСТЕРЕНКО М.М., к.т.н., ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- ПАЦЕЙ Н.В., к.т.н., доцент, БДТУ, Мінськ, Білорусь;
- ПРИХОДЬКО С.І., д.т.н., професор, УкрДУЗТ, Харків, Україна;
- ПУСТОВОЙТОВ П.Є., д.т.н., доцент, НТУ «ХПІ», Харків, Україна;
- СЕРКОВ О.А., д.т.н., професор, НТУ «ХПІ», Харків, Україна;
- СІВЦЬКА С.П., к.е.н., доцент, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- СЛЮСАР В.І., д.т.н., професор, ЦНДІ ОВТ ЗСУ, Київ, Україна;
- СЛЮСАРЬ І.І., к.т.н., доцент, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- СОКОЛ Г.В., к.т.н., доцент, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- ТИРТИШНИКОВ О.І., к.т.н., доцент, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- ТРУБЧАНИНОВА К.А., к.т.н., доцент, УкрДУЗТ, Харків, Україна;
- ФЕДІН С.С., д.т.н., професор, НТУ, Київ, Україна;
- ШЕФЕР О.В., к.т.н., доцент, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- ШИМАН Д.В., к.т.н., доцент, БДТУ, Мінськ, Білорусь.

### **Секретаріат оргкомітету:**

- МАВРИНА М.О., к.т.н., ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна;
- ЧЕРНИЦЬКА І.О., ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна.

**УДК 621.396**

## **ВЕЙВЛЕТ-КОНЦЕПЦІЯ ДЛЯ N-OFDM СИГНАЛОВ**

д.т.н., професор Слюсар В.І.

Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка, Полтава  
Email: swadim@ukr.net

Одним из альтернативных направлений в применении OFDM сигналов в системах связи является использование вейвлет-фильтрации [1]. Аналогичный подход вполне уместен и в случае сигналов с неортогональным частотным мультиплексированием (N-OFDM), хотя при этом возможны три варианта реализации вейвлет-обработки:

использование в качестве всех или отдельных наборов поднесущих так называемых вейвлетных сигналов, для которых аналитическое представление изменения напряжений во временной области описывается вейвлетными функциями;

применение фильтрации N-OFDM сигналов на приемной стороне с помощью банков вейвлет-фильтров;

комбинация первого и второго из указанных вариантов обработки N-OFDM поднесущих.

При этом сигналы N-OFDM типа будут иметь место в случаях:

ортогональных по частоте поднесущих, но неортогональных АЧХ фильтров приема сигналов;

неортогональных поднесущих и ортогональных АЧХ банка приемных фильтров;

неортогональности как поднесущих, так и АЧХ фильтров обработки.

Простейшей является ситуация, когда в качестве N-OFDM сигналов используются гармонические, неортогональные по частоте поднесущие, а их вейвлет-фильтрация осуществляется на приемной стороне системой ортогональных по частоте вейвлет-фильтров. При этом целесообразно использовать лишь те вейвлет-преобразования, которые приводят к АЧХ с удобным аналитическим представлением. Примером такого рода вейвлетов являются гармонические всплески и вейвлет Морле [2].

В общем случае оценки квадратурных составляющих  $M$  амплитуд N-OFDM поднесущих по выходам вейвлет-фильтров могут быть получены в виде [3]:

$$\hat{a}_m^{c(s)} = \frac{\det_m^{c(s)}}{\det}; \quad m = 1, 2, \dots, M, \quad (1)$$

где  $\det_m^{c(s)}$  - частный определитель, сформированный подстановкой вектора свободных членов  $[B^{c(s)}] = [U_1^{c(s)} \ U_2^{c(s)} \ \dots \ U_M^{c(s)}]^T$ , составленного из квадратурных составляющих напряжений сигнальной смеси  $U_j^{c(s)}$  по выходам вейвлет-фильтров, в главный определитель, элементами которого являются значения АЧХ вейвлет-фильтров на частотах  $M$  поднесущих:

$$\det = \begin{vmatrix} f_1(w_1) & f_1(w_2) & \dots & f_1(w_M) \\ f_2(w_1) & f_2(w_2) & \dots & f_2(w_M) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f_M(w_1) & f_M(w_2) & \dots & f_M(w_M) \end{vmatrix},$$

$w_m$  - радиальная частота  $m$ -й поднесущей.

Оптимальное оценивание квадратурных составляющих амплитуд сигналов по методу наименьших квадратов, по аналогии с [3], сводится к замене в (1) главного определителя  $\det$  на выражение

$$\det = \begin{vmatrix} f_1^2 & f_{12} & \dots & f_{1M} \\ f_{12} & f_2^2 & \dots & f_{2M} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f_{1M} & f_{2M} & \dots & f_M^2 \end{vmatrix}, \text{ где } f_{nm} = \sum_{s=1}^S f_s(w_n) f_s(w_m), \quad f_m^2 = \sum_{s=1}^S (f_s(w_m))^2,$$

и формированию частных определителей с помощью вектора свободных членов  $[B^{c(s)}] = \left[ \sum_{s=1}^{S-1} U_s^{c(s)} f_s(w_1) \quad \sum_{s=1}^{S-1} U_s^{c(s)} f_s(w_2) \dots \sum_{s=1}^{S-1} U_s^{c(s)} f_s(w_M) \right]^T$ .

Существенно, что выражение АЧХ, соответствующее вейвлету Морле, имеет вид гауссовой колоколообразной функции [2, 4]. Поэтому для доплеровской селекции сигналов по частоте в режиме вхождения в связь в этом случае можно взять за основу аналогичные методы измерения дальности на основе использования импульсных сигналов с гауссовской огибающей развитые, например, в [5].

Поскольку применение вейвлет-фильтрации позволяет обеспечить лучшее подавление внеполосных помех, в ходе дальнейших исследований следует провести сравнительный анализ потенциально достижимой точности оценивания квадратурных составляющих амплитуд N-OFDM сигналов в случае использования традиционного преобразования Фурье и вейвлет-фильтрации.

### Література

1. S. Galli; H. Koga; N. Nodokama (May 2008). *Advanced Signal Processing for PLCs: Wavelet-OFDM*. 2008 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications. pp. 187–192. doi:10.1109/ISPLC.2008.4510421.

2. Аршамян А.А. Ларкин Е.В. Частотные характеристики фильтров, выделяющих гармонические составляющие.// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2012. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/chastotnye-harakteristiki-filtrov-vydelyayuschih-garmonicheskie-sostavlyayushchie>.

3. Слюсар В.И. Патент РФ № 2054684, G01R23/16. Способ измерения амплитудно-частотных характеристик. - 1992 г. - Оpubл. 20.02.96, Бюл. № 5.

4. Дубровін В.І., Твердохліб Ю.В. Вибір материнського вейвлету при виконанні вейвлет-перетворення.// Тези ЗНТУ. 2014. – С. 146 - 147.

5. Слюсар В.И. Интерпретация метода Прони для решения дальномерных задач// Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. - 1998. - Том 41, № 1.- С. 61 - 67. - Режим доступа: [http://slyusar.kiev.ua/IZV\\_VUZ\\_1998\\_1.pdf](http://slyusar.kiev.ua/IZV_VUZ_1998_1.pdf).

**УДК 621.396**

## **КОМПОЗИТНІ АНТЕНИ НА ФРАКТАЛЬНІЙ ОСНОВІ**

к.т.н., доцент Слюсарь І.І., д.т.н., професор Слюсар В.І.

Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка, Полтава  
Email: [islyusar2007@ukr.net](mailto:islyusar2007@ukr.net)

В умовах збільшення ємності MU-MIMO обладнання Wi-Fi, а також поширення IoT і систем 5G виникає необхідність інтеграції даних технологій в одному пристрої. При цьому, мінімізація габаритів багатоелементних антенних систем передбачає використання неklasичних підходів щодо їх проектування.

Як наслідок, актуальним завданням є розробка антен, які мають одночасно малі розміри, достатній коефіцієнт підсилення та забезпечують широкосмуговість і багатодіапазонність.

Одним з напрямів вирішення даної задачі є застосування фрактального підходу [1]. Варіанти подібних антен досліджено в [2-4]. В свою чергу, спостерігається зростання інтересу до діелектричних резонаторних антен (ДРА). В [5-9] наведено приклади синтезу ДРА на фрактальній основі або з використанням квазіфрактального підходу. При цьому, в якості формфактору розглядалися лише прості геометричні фігури.

З метою оптимізації телекомунікаційних пристроїв, в роботі запропоновані композитні антени, що передбачають одночасне використання комбінацій кількох технологій (ДРА, провідних, друкованих, мікросмушкових антен, випромінюючих поверхонь та ін.). Тобто, така антена містить кілька складових елементів яких, в свою чергу, проектуються та виготовляються за різними технологічними процесами. При цьому, живлення антени може реалізувати за багатоточковою схемою.

Сутність такого підходу можливо пояснити наступним чином. В якості аналогу можливо взяти багатосарові друковані антени. Як відомо, вони забезпечують деякий рівень широкосмуговості та багатодіапазонності, але не мають позитивних властивостей, що характерні іншим антенам (провідним,

ДРА та ін.). Як наслідок, термін «багатошаровість» доцільно розглядати в контексті синтезу антенної системи, де кожен шар – окрема антенна технологія.

Надалі, слід навести кілька прикладів запропонованих композитних структур. Першим може бути варіант, коли беруться одна або кілька антен, що запропоновані в [4], і розміщуються в центрі основного елемента квазі- та/або фрактальних ДРА [5-9]. За такою аналогією, можливе поєднання рекурсивних дерев і ДРА. Інший варіант містить друковану антену (квазіфрактальну або фрактальну), зверху якої нанесений шар діелектрику. Цей шар може мати не тільки однакову висоту, але й змінюватись від центру до периферії за яким-небудь законом. Крім того, можна розширити можливості композитної антени за рахунок зміни показника діелектричної проникності за визначеним градієнтом. Також, досить перспективним є використання в таких антенах елементів ДРА на основі скуютоїдів [10]. В цілому, запропонований підхід дозволяє утворити множину варіацій перспективних антенних рішень.

Таким чином, використання розглянутих композитних антен дозволить вирішити кілька питань: по-перше, досягнення необхідного рівня широкосмуговості та багатодіапазонності; по-друге, корегування діаграми спрямованості (ДС) основної частини антенної системи за рахунок допоміжних складових, що створені за іншою технологією; по-третє, виготовлення елементів ДРА на основі метаматеріалів [11] забезпечить адаптивне електричне керування ДС всієї системи. Враховуючі складність опису взаємодії запропонованих антен неевклідової геометрії з радіохвилями, доцільно виконувати їх синтез за допомогою чисельних методів, шляхом математичного моделювання з використанням прикладних пакетів (наприклад, Ansys HFSS).

## Література

1. Слюсар В.И. Фрактальные антенны. Принципиально новый тип «ломаных» антенн. / Слюсар В.И. // *Электроника: наука, технология, бизнес.* – 2007. – № 5. – С. 78-83.
2. Слюсарь І.І. Фрактальні антени діапазону 5 ГГц на основі петлі Мінковського / Слюсарь І.І., Слюсар В.І., Павлюк С.Ф. // *Проблеми інфокомунікацій : матеріали I Всеукр. наук.-техн. конф., 13-14 листоп. 2017 р. / ПолтНТУ, Нац. транспорт. ун-т, НТУ«ХП», ВКСС ВІПІ.* – Полтава : ПолтНТУ, 2017. – С. 32-35.
3. Слюсарь І.І. Синтез фрактальних антен в пакеті MMANA / Слюсарь І.І., Слюсар В.І., Павлюк С.Ф., Кохан Л.І., Дерій Р.С. // *Новітні інформаційні системи та технології [Електронний ресурс].* – Полтава: ПолтНТУ, 2017. – № 8. – Режим доступу: <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PolntNTU/3000>.
4. Sliusar I.I. The multi-band antenna based on fractal / Sliusar I.I., Slyusar V.I., Voloshko S.V., Smolyar V.G. // *News of Science and Education.* – Sheffield, Science and education Ltd, 2018. – No.2 (58). – Pp. 32-43.
5. Семенов В.М. Квазіфрактальна діелектрична резонаторна антена на основі паралелепіпеда / Семенов В.М., Слюсар В.І., Слюсарь І.І. // *Системи управління, навігації та зв'язку.* – Полтава: ПолтНТУ, 2018. – № 2. – С. 167-171.
6. Гребеля Р.Є. Дослідження впливу перекриття елементів діелектричних резонаторних антен на основі усіченого конусу / Гребеля Р.Є., Слюсарь І.І., Слюсар В.І. // *Системи управління, навігації та зв'язку.* – Полтава: ПолтНТУ, 2018. – № 2. – С. 142-148.
7. Tahan O.O. Quasifractal dielectric resonator antenna based on the symmetric hexagon. / Tahan O.O., Sliusar I.I., Slyusar V.I., Hrebelia R.E. // *Nauka i studia.* – Przemysl (Poland): Nauka i studia, 2018. – № 7 (187). – P. 113-123.

8. Tahan O.O. Quasifractal dielectric resonator antenna based on the symmetric hexagon. / Tahan O.O., Sliusar I.I., Slyusar V.I., Hrebelia R.E. // *Nauka i studia. – Przemysl (Poland): Nauka i studia*, 2018. – № 7 (187). – P. 113-123.

9. Kolisnyk A.V. Investigation of the overlapping effect of dielectric resonator antennas elements on the basis of a cylinder / Kolisnyk A.V., Slyusar V.I., Sliusar I.I., Samofal V.V. // *News of Science and Education. – Sheffield: Science and education Ltd*, 2018. – № 3 (59). – P. 68-74.

10. Chodosh S. Did scientists discover a new shape? Well, first we have to define “shape”. Also, “new”. [Електронний ресурс] / Chodosh S. // *Popular science. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.popsci.com/new-shape-scutoid>*.

11. Слюсарь І.І. Метаматеріали в антенах засобів мобільного зв'язку / Слюсарь І.І., Слюсар В.І., Задорожний Р.Є. // *Проблеми інформатизації: тези доп. III-ої міжнар. наук.-техн. конф., 12-13 листоп. 2015 р. / Черкас.держ. технол. ун-т; ВА ЗС АР, Ун-т технол. і гум. наук м. Бельско-Бяла, ПолтНТУ. – Черкаси : ЧДТУ, 2015. – С. 54.*

Ли В.В.	84	Пустовойтов П.Є.	123, 125,
Лимарченко О.С.	57		127, 134
Литвин В.В.	5	Романенко Д.М.	66, 68
Лучкова Т.	123	Ромашко І.В.	15
Ляшко Н.І.	76	Рудоман Н.В.	63
Мавріна М.О.	7	Савченко Н.В.	95, 109
Макарець К.В.	95	Самсонов В.В.	86
Малишевська І.С.	94	Северинчик Н.А.	79
Мартинюк А.В.	68	Сергєєв В.В.	35
Матвєєв А.	139	Сідокур О.О.	14
Матвійчук Н.О.	88	Сілантьєва Ю.О.	88
Міронова В.Л.	47	Скаковський Р.В.	73
Мітін В.	141	Скопень М.М.	74
Мішенков П.Б.	125	Слюсар В.І.	39, 41
Мнацаканян М.С.	50	Слюсарь І.І.	41
Мошенко О.М.	123	Смоляр В.Г.	23
Навроцкий Я.Ю.	64	Сокол Г.В.	13
Нетудихата І.В.	12	Соколов С.А.	99, 112
Ніколаєв Д.Ю.	137	Сомов С.В.	10, 12
Обод І.І.	119	Ставрулов В.П.	140
Очередник А.С.	7	Стокипный А.Л.	99, 112
Павлова Д.Б.	119	Стрельцов М.Е.	134
Панченко О.Л.	85	Сухарєв Ю.В.	27
Парохненко Л.М.	58, 61	Тверитніков О.О.	129
Парохненко О.С.	59, 60	Тиртишніков О. І.	3, 7
Пацей Н.В.	66, 68	Тихонов І.В.	49
Піскунов О.Г.	73	Тітова Н.В.	87
Подгорнов М.А.	138	Толкачов М.Ю.	139
Полтавець С.А.	21	Топольськов Є.О.	55, 82
Поночовна О.В.	11	Тутова О.В.	89
Поночовний Ю.Л.	5	Федін С.С.	91



## **ЗМІСТ**

<b>Секція 1.</b> Комп'ютерні системи та мережі .....	3
<b>Секція 2.</b> Телекомунікаційні технології та системи .....	19
<b>Секція 3.</b> Інтегровані засоби інтелектуальних технологічних комплексів та систем.....	44
<b>Секція 4.</b> Інфокомунікаційні системи і технології.....	93
Учасники конференції.....	144