

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА

ISSN 2313-7010 (Online)
ISSN 2307-9754 (Print)

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ЗБІРНИК

Видається з 2007 року

Випуск 17

Одеса –2015

УДК 621.37/39

Цифрові технології: Збірник / Кол. авт.: Одеса: Одес. нац. академія зв'язку ім. О.С. Попова, 2015. – Вип. 17. – 204 с., іл.

Викладено результати досліджень у сфері цифрових інформаційних та телекомунікаційних технологій науково-педагогічних працівників, провідних спеціалістів, інженерів та аспірантів Одеської національної академії зв'язку ім. О.С.Попова, а також наукових працівників та вчених навчальних закладів і науково-дослідних організацій, які займаються теоретичними та практичними питаннями за напрямком цифрових технологій.

Збірник розрахований на наукових та науково-педагогічних працівників, інженерів, аспірантів та студентів навчальних закладів.

**Затверджено як фахове видання. Постанова президії ВАК України
від 29.12.2014 № 1548**

**Включено у російський індекс наукового цитування (РИНЦ)
згідно з договором № 521-08/2013**

**Друкується відповідно до рішення Вченої ради
Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова,
протокол № 6 від 4 квітня 2015 р.**

Редакційна колегія:

відповідальний редактор: Воробієнко П.П., ОНАЗ ім. О.С. Попова, д.т.н., професор;

заступник відповідального редактора, науковий редактор: Гофайзен О.В., ОНАЗ ім. О.С. Попова, д.т.н., професор;

відповідальний секретар: Каптур В.А., ОНАЗ ім. О.С.Попова, к.т.н., с.н.с.;

члени редакційної колегії:

Банкет В.Л., д.т.н., професор, професор кафедри теорії електричного зв'язку ім. А.Г. Зюко;

Баранов П.Ю., д.т.н., професор, директор інституту радіоелектроніки та телекомунікацій Одеського національного політехнічного університету;

Вікулін І.М., д.ф.-м.н., професор завідувач кафедри фізики оптичного зв'язку;

Вуд Девід, Ph.D., голова робочої групи 6С МСЕ-Р (Швейцарія);

Дош Крістоф, голова дослідницької комісії 6 МСЕ-R (Німеччина);

Захарченко М.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційної безпеки та передачі даних;

Іваницький А.М., д.т.н., професор, професор кафедри теорії електричних кіл та електроживлення;

Кадацький А.Ф., д.т.н., професор, завідувач кафедри теорії електричних кіл та електроживлення;

Курмашев Ш. Д., д.т.н., професор, професор кафедри фізики оптичного зв'язку;

Мохамед Хассан Хессайн Алі, Ph.D., радник Міністра науки і телекомунікацій (Судан);

Проценко М.Б., д.т.н., професор, завідувач кафедри технічної електродинаміки та систем радіозв'язку;

Рудий Е.М., д.т.н., професор, професор кафедри інформаційної безпеки та передачі даних;

Скачков В.В., д.т.н., професор, провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії
Військової академії (м. Одеса);

Сукачов Е.О., д.т.н., професор, професор кафедри технічної електродинаміки та систем радіозв'язку;

Троцишин І.В., д.т.н., професор, професор кафедри теорії електричного зв'язку ім. А.Г. Зюко;

Турабі Осама, Ph.D., співробітник підрозділу «Радіотехніка та телевізійні системи» Нільського
Центру дослідження технологій (Судан);

Холод Олександр, д.т.н., керівник служби міжнародного частотного планування в Федеральному
офісі зв'язку (Швейцарія);

Цалієв Т. А., д.т.н., професор, професор кафедри технічної електродинаміки та систем радіозв'язку;

технічний редактор: Пилявський В.В., ОНАЗ ім. О.С. Попова

Статті друкуються мовою оригіналу

Адреса редакції:

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова,

вул. Ковальська, 1, Одеса, 65029, Україна,

тел: (048)720-78-93; тел/факс (048)723-35-26, факс: (048)723-62-69, e-mail: onat@onat.edu.ua

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 13151-2035Р

видано Міністерством юстиції України 13 серпня 2007 року

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова, 2015

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
ODESSA NATIONAL ACADEMY OF TELECOMMUNICATIONS
n.a. A.S. POPOV

ISSN 2313-7010 (Online)
ISSN 2307-9754 (Print)

DIGITAL TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC EDITION

COLLECTION

Published since 2007

Issue No. 17

Odessa – 2015

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ № 17

C.

Цифрові системи зв'язку

THE LTE TECHNOLOGY PERSPECTIVES IN MULTIMEDIA APPLICATIONS Vorobiyenko P.P., Tikhonov V.I., Taher A.	7
ПЕРЕДАВАЛЬНИЙ ТА ПРИЙМАЛЬНИЙ РАДІОТРАКТИ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СИСТЕМ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ Ільченко М.Ю., Наритник Т. М., Радзіховський В.М., Кузьмін С.Є., Лутчак О.В.....	27
ЗАВАДОСТІЙКЕ КОДУВАННЯ В ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ Здробилко А.В., Денбновецький С.В.....	28
ЕВОЛЮЦІЙНИЙ РОЗВИТОК КОНЦЕПЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ Кравчук С.О.....	33
ВИБІР ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ Каптур В.А., Кравченко П.С., Маммадов Є.М.....	41
МЕТОД МНОГОСИМВОЛЬНОГО ДЕТЕКТУВАННЯ ДИФФЕРЕНЦІАЛЬНО МОДУЛІРОВАННИХ ФМ СИГНАЛІВ С ІСПОЛЬЗУВАННЯМ АЛГОРИТМА ВИТЕРБИ Банкет В.Л., Персин А.Д.	47
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ЧАСТОТНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДЕМОДУЛЯТОРА OFDM СИГНАЛУ Пережестов І.С.	59
РЕКУРСИВНОЕ ПОСТРОЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КОРРЕКТИРУЮЩИХ КОДОВ НА ОСНОВЕ БЛОК-СХЕМ Ткаченко В.Г., Кокорев А.В.....	67
СИСТЕМА ПЕРЕДАВАННЯ ДИСКРЕТНИХ ПАРЦІАЛЬНО КОДОВАНИХ СИГНАЛІВ З ВИПРАВЛЕННЯМ ПОМИЛОК Брескін В.О., Розенвассер Д.М.	77
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАКТА СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСТРОЙСТВ Джафарзаде М. Б.	84
ОБРОБКА ПОМИЛОК МОВОЮ PL/SQL Петрова Г.В.....	90
ВИКОРИСТАННЯ ПІДПРОГРАМ В PL_SQL Борщ І.О.	94

Системи цифрового мовлення

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE SDTV, HDTV AND UHD TV CAMERAS Gofaizen O., Pilyavskii V.	99
--	----

РОЗРАХУНОК ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МЕРЕЖІ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ Сулима Д.О., Денбновецький С.В.	124
ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА СИСТЕМЫ МИТРИС ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛОВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ Нарытник Т. М.	128
SPECTRAL SPACES FOR 3D MESH IMAGES Osharovskaya E. V.	133
COMPLEX STUDY OF INFLUENCE OF DIFFERENT FACTORS ON QUALITY OF SERVICE (QoS) ON DIFFERENT LEVELS OF OSI MODEL FOR DIGITAL TELEVISION BROADCASTING Baliar V.B.	142
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЕТОЧНЫХ 3D ОБЪЕКТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ЦИФРОВОГО ПОТОКА Патлаенко Н.А., Солодкая В.И.	157
ВОЗМОЖНО ЛИ ПЛАНИРОВАНИЕ СЕТИ ЦИФРОВОГО DRM РАДИОВЕЩАНИЯ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ? Выходец А.А.	163
ЕФЕКТИВНІСТЬ СТИСНЕННЯ ПАЛІТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ АЛГОРИТМОМ JPEG 2000 Кумиш В.Ю.	170

Цифрові вимірювання в цифрових системах

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ НА ОСНОВІ ПОДІЛЬНИКА ТРОЦІШИНА ДЛЯ ПОБУДОВИ ЦАП І АЦП Троцишина Н.І., Троцишин І.В.	175
ВПОРЯДКУВАННЯ АНСАМБЛІВ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ ТА СПОСОБИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В НАДШИРОКОСМУГОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ Голевич О.Б., Пивовар О.С., Троцишин І.В.	181

Підготовка фахівців цифрового зв'язку

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ ННІ ІКПІ ОНАЗ ІМ. О.С. ПОПОВА ЗА ДОПОМОГОЮ КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ ЇХНЬОЇ УСПІШНОСТІ Стрелковська І.В., Василенко О.А., Соловська І.М.	192
--	-----

**ВПОРЯДКУВАННЯ АНСАМБЛІВ ХАОТИЧНИХ СИГНАЛІВ ТА СПОСОБИ ЇХ
ВИКОРИСТАННЯ В НАДШИРОКОСМУГОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ
СИСТЕМАХ**

Голевич О.Б., Пивовар О.С., Троцишин І.В.

“Хмельницький національний університет”

oleg_plus@mail.ru

**УПОРЯДОЧИВАНИЕ АНСАМБЛЕЙ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И СПОСОБЫ ИХ
ПРИМИНЕНИЯ В СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМАХ**

Голевич О.Б., Пивовар О.С., Троцишин И.В.

“Хмельницький національний університет”

oleg_plus@mail.ru

**THE ORDERING OF CHAOTIC SIGNALS' ENSEMBLES AND METHODS OF THEIR
USE IN ULTRA-WIDEBAND TELECOMMUNICATION SYSTEMS**

Golevych O.B., Pyvovar O.S., Trotsyshyn I.V.

Khmelnytsky National University

oleg_plus@mail.ru

Анотація. У статті приведені результати інтегральної оцінки великої кількості генераторів хаосу за критерієм оцінки кореляційних та спектральних властивостей їх сигналів. Показано, що хаотичні сигнали деяких генераторів хаосу володіють кращими кореляційними та спектральними властивостями, ніж відомі псевдовипадкові сигнали, що дає можливість зменшити рівень системних завад у системах телекомунікацій шляхом використання відібраних хаотичних сигналів для утворення ансамблів каналних підносійних. Приведені результати утворення сигнально-кодкових конструкцій на основі кореляційного та спектрального аналізу хаотичних сигналів з метою зменшення ймовірності виникнення помилок під час передачі аналогових хаотичних сигналів. Запропоновано спосіб детектування хаотичних сигналів в умовах дії завад.

Ключові слова: Хаос, кореляція, UWB, генератор хаосу, матриця Грама, системні завади, інтегральна оцінка

Аннотация. В статье приведены результаты интегральной оценки большого количества генераторов хаоса за критерием оценки корреляционных и спектральных свойств их сигналов. Показано, что хаотические сигналы некоторых генераторов хаоса обладают лучшими корреляционными и спектральными свойствами, чем известные псевдослучайные сигналы, что позволяет уменьшить уровень системных помех в системах телекоммуникаций путем использования отобранных хаотических сигналов для образования ансамблей каналных поднесущих. Приведены результаты образования сигнально-кодковых конструкций на основе корреляционного и спектрального анализа хаотических сигналов с целью уменьшения вероятности возникновения ошибок при передаче аналоговых хаотических сигналов. Предложен способ детектирования хаотических сигналов в условиях действия помех.

Ключевые слова: Хаос, корреляция, UWB, генератор хаоса, матрица Грама, системные помехи, интегральная оценка

Abstract. In the article the results of the integrated estimation of a large number of chaos generators by signals' correlation and spectral properties are given. It was shown that chaotic signals of some chaos generators have better correlation and spectral properties than known pseudorandom signals have. That gives a possibility to reduce the level of system interference in telecommunication systems by using selected chaotic signals for forming channel subcarriers' ensembles. The results of the signal-code sequences' formation on the basis of correlation and spectral analysis of chaotic signals for reducing the probability of errors during the analog chaotic signals transfer are given. The method of detecting chaotic signals in terms of noise was proposed.

Keywords: chaos, UWB, chaos generator, Gram matrix, system interference, integral evaluation

Проблема розробки методу детектування хаотичних коливань на основі чисельного аналізу часових послідовностей із хорошими авто та взаємкореляційними й спектральними властивостями дотепер залишається невирішеною. Останнім часом, у зв'язку з розвитком мобільних багатостанційних систем і завантаженістю радіодіапазону, а також у комбінації з необхідністю забезпечення високої швидкодії та завадостійкого зв'язку, велика увага приділяється класу широкосмугових хаотичних сигналів. На даний час запропоновано кілька систем зв'язку з хаотичною носійною й методів порівняння характеристик сигналів незначної кількості генераторів хаосу між собою.

У літературі відсутня класифікація нелінійних динамічних систем по кореляційним та спектральним характеристикам хаотичних сигналів. Така оцінка дасть можливість як покращити існуючі прямохаотичні системи зв'язку в плані системних завод, так і обрати необхідні сигнали та генератори хаосу при розробці нових систем.

Спосіб детектування хаотичних сигналів в умовах дії завод. Більшість існуючих способів ідентифікації хаотичних коливань базується на аналітичному відслідковуванні еволюції динамічної системи через формування та обчислення матриці Якобі [1]. Також існують модифікації відомих аналітичних способів ідентифікації хаотичних коливань, що дозволяють здійснити статистичний аналіз, однак, надмірна кількість обчислень накладає певні обмеження на застосування таких способів ідентифікації [1].

За умови кореляційного прийому можливо розглянути статистичний спосіб запропонований у [2], однак використання такого способу прийому не завжди є доцільним, зважаючи на складність будови та кількості кореляторів у приймачі. Тому запропоновано новий підхід для детектування хаотичних сигналів [3], що значно спростить будову вхідних трактів приймача, внаслідок великої швидкодії запропонованого методу, що базується на обрахунку рівня співпадіння між аналізованими сигналами за критерієм порівняння:

$$FOM = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - X^*_i|}{(\Delta X \cdot N)} \right), \quad (1)$$

де, X – послідовність на виході передавача; X^* – послідовність на вході приймача відповідно.

Реакція значень FOM (figure of merit) на адитивний шум (рис.1), є різною для сигналу кожної нелінійної динамічної системи (ДС) відповідно.

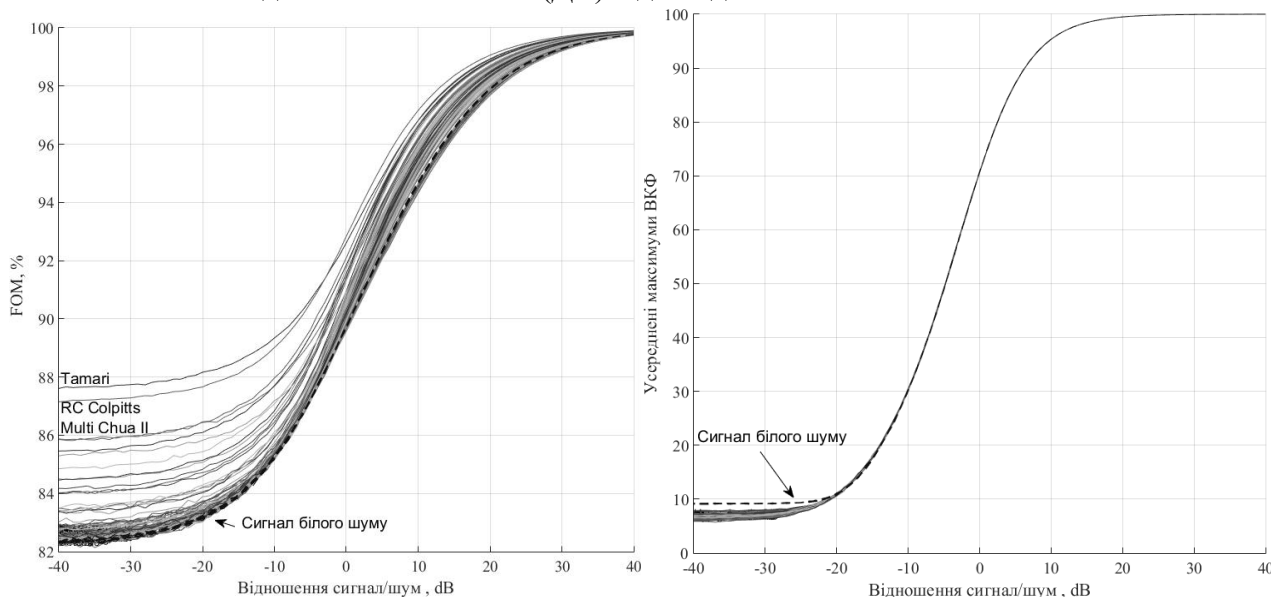


Рисунок 1 – Розподіл значень FOM для сигналів 84 генераторів хаосу (праворуч) та розподіл усереднених максимумів ВКФ для сигналів 84 генераторів хаосу та шуму різної потужності (ліворуч)

Тому, знаючи наперед характеристику залежності значення FOM від рівня шуму для кожного хаотичного сигналу, за допомогою запропонованого методу можливо розрізнити прийняті хаотичні сигнали при певній потужності адитивного білого шуму на вході приймача, що для звичайного кореляційного прийому не є можливим.

Також запропонований метод дозволяє відрізнити шумові коливання від хаотичних (рис.1 – штрихована крива), що дає можливість організації прямохаотичної системи зв'язку з активною паузою.

Спектральна нерівномірність сигналів генераторів хаосу. Відомо, що генератори хаосу можуть реалізовувати ряд сигналів різноманітних форм: шумоподібні (дивні атрактори), псевдогармонічні (зони біфуркації), затухаючі коливання (атрактори типу "фокус"), сигнали, що збільшуються по амплітуді (атрактор типу "репеллер"), та ін., в залежності від значень вхідних параметрів[1]. Проте, хаотичні сигнали при різних значеннях вхідних параметрів можуть бути як вузькосмуговими так і широкосмуговими.

Широкосмуговість хаотичного сигналу описує можливість його застосування у прямохаотичних надширокосмугових (UWB) системах тільки з точки зору отримання достатньої ширини спектру, але слабо характеризує можливість протидіяти вузькосмуговим навмисним та ненавмисним завадам які створюються існуючими системами передачі інформації та радіоелектронної протидії.

Використання технологій UWB у телекомунікаціях вимагає застосування надширокосмугових сигналів із мінімальною нерівномірністю спектру. Одними із таких сигналів можуть бути хаотичні коливання. Отже, існує потреба у виділенні множини значень вхідних та початкових параметрів різноманітних генераторів хаосу під час застосування яких генерується надширокосмуговий хаотичний сигнал. Властивості генератора хаосу за цих умов мають максимально наближаються до властивостей шумових сигналів.

Використання надширокосмуговості із великим рівнем спектральної рівномірності забезпечує максимізацію пропускну здатності каналу зв'язку, організацію множинного доступу, криптографічну стійкість, прихованість дії, каналне кодування, тощо. Слід також зазначити що подібні функції можуть бути реалізовані одночасно в рамках однієї комплексної процедури обробки, що значно зменшує кількість технічних засобів, необхідних для реалізації системи зв'язку.

Спектральна нерівномірність хаотичного сигналу, при заданих вхідних параметрах, визначалась як:

$$N_s = 100 \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (S_i - S_m)^2}}{NS_m}, \quad (2)$$

де, N_s – спектральна нерівномірність, %; S_i – складова спектру сигналу; N – кількість спектральних складових; $S_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i$ – середнє значення спектру S генерованого сигналу.

З точки зору використання UWB системах телекомунікацій, за умови однаковості власних енергій ($E_1 = E_2$) двох порівнювальних сигналів кращим визнається той, спектральна нерівномірність N_s , якого буде меншою.

Аналіз залежності значення спектральної нерівномірності від довжини сигналу (рис.2) показав, що значення спектральної нерівномірності значно змінюється при відносно малих тривалостях (кількості точок реалізації) сигналу, та стабілізується з її збільшенням. Такий характер поведінки спектральної нерівномірності нагадує типову поведінку одного із показників Ляпунова будь-якої ДС, що по аналогії стабілізується із збільшенням тривалості сигна-

лу. Факт слабкої залежності значення спектральної нерівномірності під час перевищення певної тривалості хаотичного сигналу слід використати для встановлення тривалості каналних підносівних у ансамблях телекомунікаційних хаотичних сигналів із значенням близько 5000 відліків (реалізацій).

Однак на відміну від обрахунку спектра Ляпунова, обрахунок значення спектральних нерівномірностей базується на використанні способу аналізу часових рядів ДС, що означає універсальність застосування та високу швидкодію.

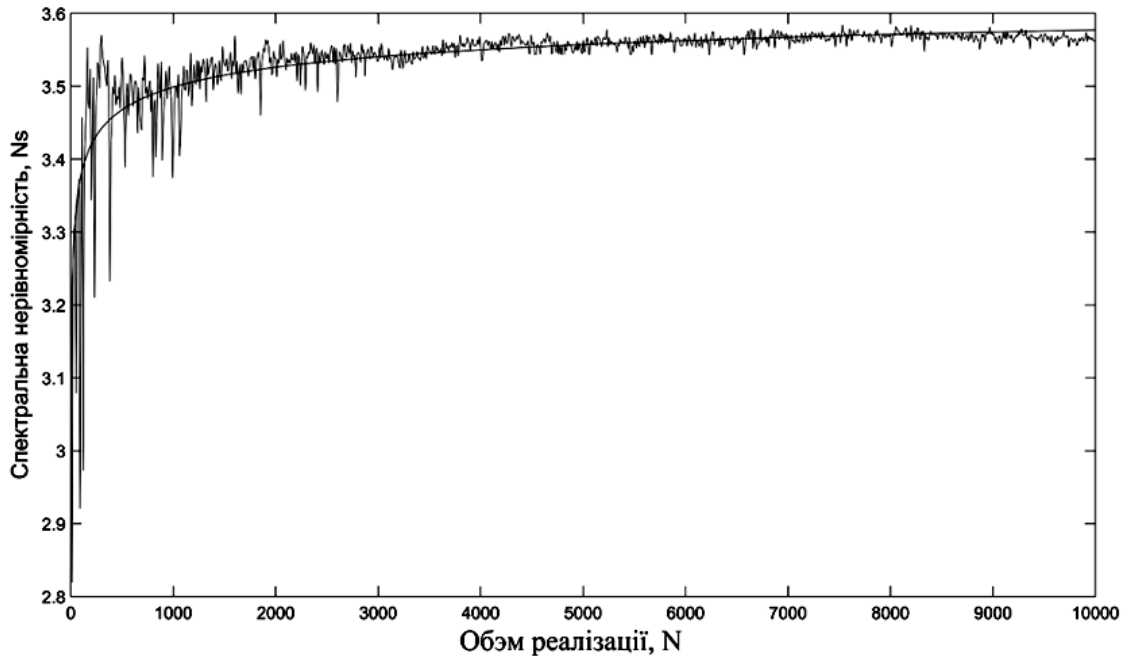


Рисунок 2 – Залежність значення спектральної нерівномірності N_s від довжини реалізації хаотичного сигналу N

Для прикладу, представлена параметрична залежність спектральних нерівномірностей сигналів від вхідних параметрів (рис.3).

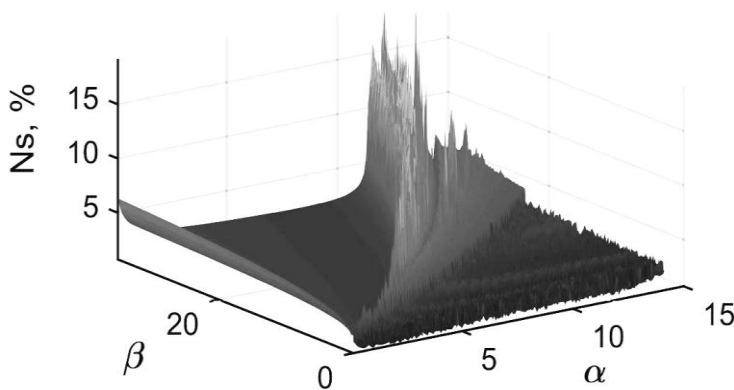


Рисунок 3 – Двопараметрична діаграма розподілу спектральних нерівномірностей N_s сигналів генератора Чуа

Розподіл значень спектральних нерівномірностей хаотичних сигналів помітно відрізняється від інших типів сигналів, що дає змогу з певною долею вірогідності оцінити межі вхідних параметрів для синтезу хаотичних сигналів із низьким значенням спектральних нерівномірностей. Однак, якщо об'єднати результати методів відбору вхідних параметрів через обрахунок Граміану та результати дослідження спектральних нерівномірностей, то можливо виділити множину вхідних параметрів при яких генеруються тільки хаотичні сигнали (рис.4).

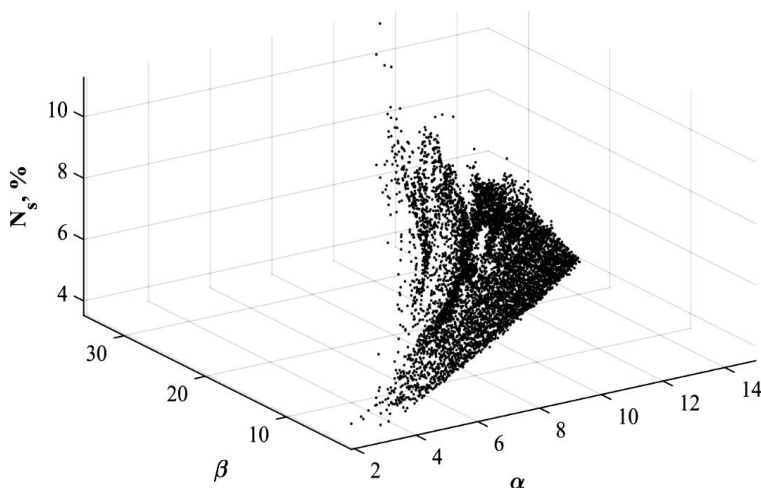


Рисунок 4 – Двопараметрична діаграма розподілу спектральних нерівномірностей із застосуванням методу відбору хаотичних коливань для генератора хаотичних коливань за схемою Чуа

Для системи Чуа представлення діаграми розподілу спектральних нерівномірностей можливе лише у тривимірному просторі через наявності двох вхідних параметрів α, β .

Виділена тривимірною точковою поверхню спектральних нерівномірностей N_s (рис.4), що утворюється із відібраних параметрів хаотичних коливань, дає змогу оцінити спектральні характеристики хаотичного сигналу, та визначити значення параметрів α, β яким відповідають режими генерування хаотичних сигналів, які слід використовувати у UWB системах телекомунікацій.

Реалізація способів інтегрального порівняння кореляційних характеристик сигналів різних генераторів хаосу. Однією із основних можливостей реалізації багатоканальної системи зв'язку з використанням хаотичних сигналів являється можливість створення багатьох незалежних хаотичних сигналів з різко відмінними АКФ та ВКФ. Тому, інтегральна оцінка генераторів хаосу є важливим показником, що якісно характеризує генератори хаосу та допоможе вибрати генератор хаосу із необхідними параметрами хаотичного сигналу.

Для інтегральної оцінки генераторів хаосу було проведено перевірку хаотичних сигналів на лінійну залежність використовуючи розширене трактування матриці Грама та граміану [4], де значення граміану характеризуватиме ВКФ хаотичних сигналів, а величина максимального значення взаємної енергії між ансамблями хаотичних A_{iim}^K сигналів певної довжини являється визначальним критерієм інтегральної оцінки у застосованому підході [5]:

$$A_{iim}^K = \frac{\sum_{i=1}^L \max(a_{i,j})}{L}, \quad i \neq j, \quad (3)$$

де, L – кількість хаотичних широкосмугових режимів із мінімальною нерівномірністю спектру; $a_{i,j}$ – елементи матриці Грама; K – умовний номер генератора хаосу.

Значення взаємної енергії між ансамблями хаотичних сигналів характеризує енергетичну незалежність між каналами в яких використовуються ці сигнали, тобто визначає чи енергія із одного каналу переходить у інший.

Інтегральна оцінка (рис.5) охоплює опосереднені значення взаємної енергії для діапазонів значень одного або декількох керуючих параметрів різних типів генераторів, що обумовлюють появу хаотичних коливань на виході. Усі інші значення керуючих параметрів, при яких реалізовувались не хаотичні коливання відсіювались внаслідок детального аналізу біфуркаційної діаграми кожного генератора за допомогою запропонованого метода.

Із результатів інтегральної оцінки випливає, що генератор Колпітца володіє кращими потенційними властивостями для використання у телекомунікаційних системах, а генератор Релея володіє найгіршими властивостями серед усіх досліджених за умови однакової кількості точок реалізації сигналів.

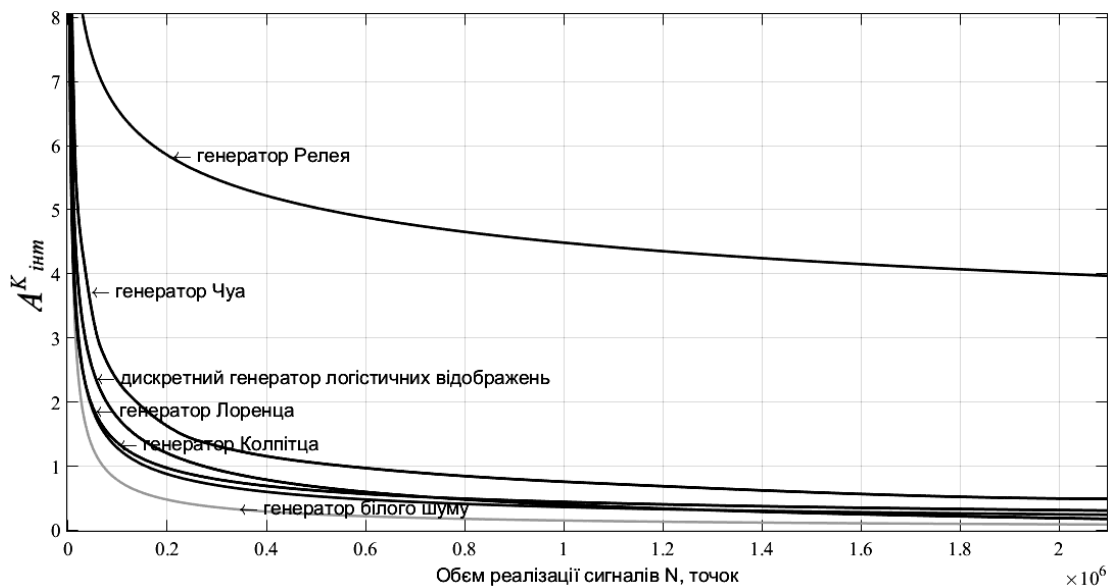


Рисунок 5 – Інтегральна оцінка генераторів хаосу

Внаслідок надзвичайно великої кількості обчислень проведення опосередкованої оцінки для великої кількості відомих нелінійних динамічних систем, що описують поведінку хаотичних генераторів, ускладнено. Але на базі типових значень для виділеного вектору параметрів кожного із генераторів проведено інтегральну оцінку 84 аналогових генераторів хаосу (рис.6), а для отримання більш достовірних результатів кількість початкових вибірок збільшено відносно оптимального. Тому швидкісний критерій інтегральної оцінки параметрів хаотичних сигналів $B_{итм}^k$ без усереднення запишемо наступним виразом:

$$B_{итм}^k = \sum_1^L \max(a_{i,j}), i \neq j, \quad (4)$$

Результати інтегральної оцінки параметрів сигналів 84 неперервних генераторів за запропонованим способом максимуму діагональних елементів дозволяють впорядкувати відомі генератори за можливостями використання у надширокопосмугових прямохаотичних системах (рис.6), а також визначити місце вперше знайдених нелінійних динамічних хаотичних систем у такій класифікації. Встановлено, що найбільш оптимальною кількістю вибірок (точок реалізації) для такого впорядкування є значення близьке до 100тис.

Важливо зауважити, що гістограма розподілу генераторів хаосу (рис. 6) є частинним випадком та використання іншої тривалості хаотичних сигналів змінить порядок розташування генераторів хаосу у такій класифікації. Таке зміщення позицій генераторів відбувається через те, що функція спектральної нерівномірності від часу (рис.2), для кожного генератора, носить нелінійний характер.

Використовуючи отриману гістограму оцінки кореляційних властивостей хаотичних сигналів різних генераторів хаосу можливо запропонувати такий підбір двох або більше генераторів хаосу, сигнали яких будуть утворювати ансамбль каналних підносійних та будуть задовольняти вимоги представлені до кореляційних властивостей телекомунікаційних сигналів.

По аналогії із вище проведеним кореляційним дослідженням сигналів генераторів хаосу (рис. 6), за формулою (2) проведено оцінку спектральних характеристик хаотичних сигналів досліджуваних динамічних систем (рис.7).

Використовуючи отриману гістограму (рис. 7) оцінки спектральних властивостей хаотичних сигналів N_s різних генераторів хаосу можливо запропонувати такий підбір двох або більше генераторів хаосу, сигнали яких, будуть володіти мінімальним значенням різниці спектральних нерівномірностей ΔN_s , а хороші кореляційні властивості забезпечить оригіна-

льна форма атрактору для кожного генератора хаосу.

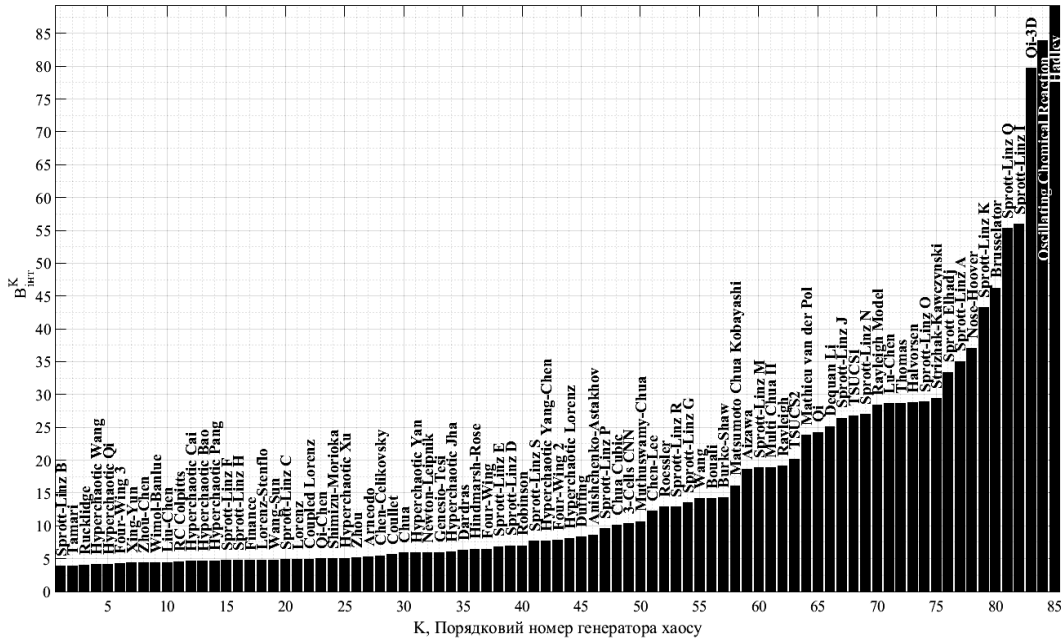


Рисунок 6 – Гістограма розподілу генераторів хаосу по взаємкореляційними властивостям сигналів тривалістю у 10 тис. вибірок

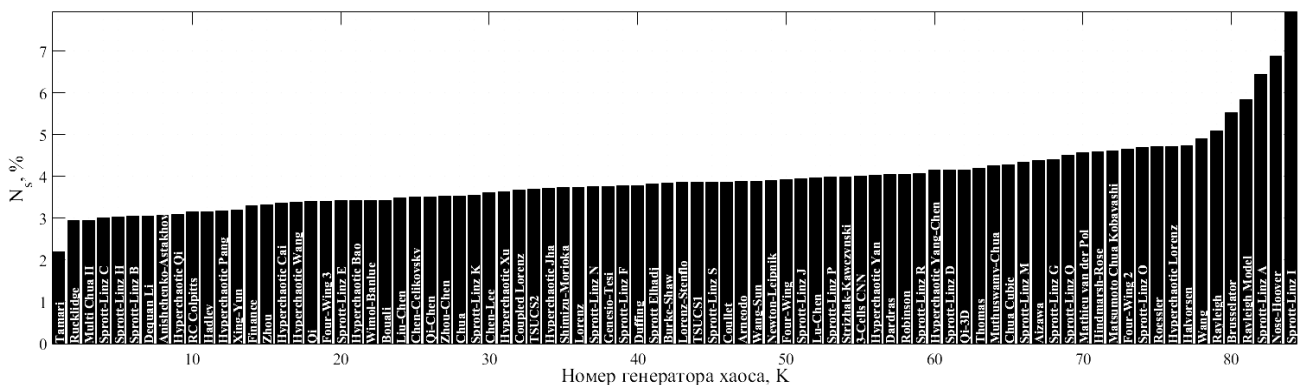


Рисунок 7 – Гістограма розподілу генераторів хаосу по спектральним властивостям сигналів тривалістю у 10 тис. вибірок

Застосування хаотичних сигналів для зменшення дії системних завад у надшироко-космугових системах зв’язку. Використовувані на сьогоднішній день у надшироко-космугових системах радіозв’язку сигнали псевдовипадкових послідовностей (ПВП) володіють певними недоліками, що пов’язані із недостатнім рівнем ортогональності і, як наслідок, появою системних завад під час організації багатоканального та багатостанційного зв’язку. З метою зменшення рівня системних завад та покращення ЕМС системи зв’язку в цілому, пропонується на зміну відомим ПВП на кшталт M- послідовностей використовувати сигнали генераторів хаосу.

Для пошуку генераторів хаосу сигнали яких володіють кращими кореляційними властивостями за відомі ПВП було проведено порівняння 84 генераторів хаосу за рівнем ортогональності їх сигналів між собою. Для цього застосовано метод матриці Грама, де розмірність матриці відповідає кількості каналних підносійних, а елементи матриці утворені кореляційними інтегралами хаотичних сигналів певного об’єму реалізацій.

В якості міри послаблення ортогональності між сигналами кожного генератора хаосу в залежності від об’єму реалізації сигналів та кількості каналних підносійних пропонується використовувати значення Z , що обчислюється як сума недиагональних елементів матриці Грама:

$$Z = \frac{1}{2} \sqrt{\sum_i^{84} \left(\sum_j^{84} (a_{i,j}) \right)^2}, \quad i \neq j. \quad (5)$$

Таким чином, для сигналів кожного генератора хаосу отримана тривимірна поверхня, положення якої характеризує можливість створення великої кількості підносійних із хаотичних сигналів одного генератора хаосу. Відповідна оцінка ортогональності була здійснена і для генератора ПВП, тому генератори хаосу, критеріальні поверхні яких розташовані нижче побудованої поверхні для ПВП будуть володіти кращими ортогональними властивостями, а ті що розташовані вище – відповідно гіршими (рис. 8).

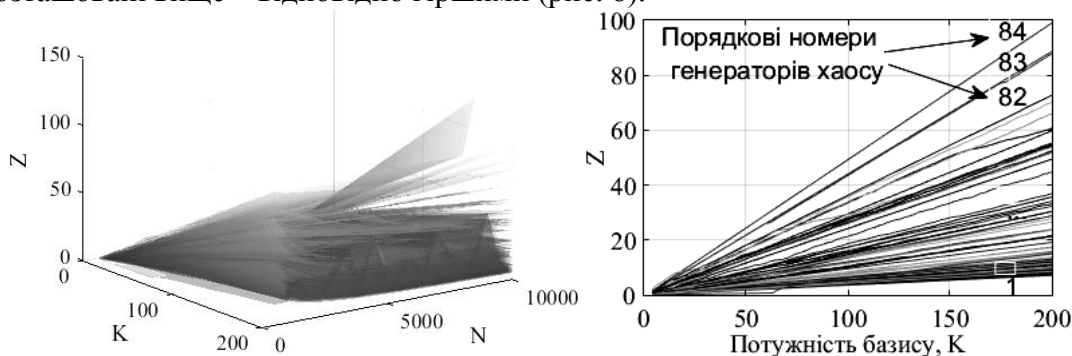


Рисунок 8 – Оцінка ортогональності сигналів різних генераторів хаосу та генератора ПВП при різних об’ємах реалізації N, хаотичних сигналів в залежності від розміру матриці грама K (ліворуч) та при фіксованому об’ємі реалізації хаотичних сигналів у 5000 вибірок (праворуч)

Очевидно, що із зростанням кількості каналних підносійних, значення міри послаблення ортогональності z значно зростає для усіх досліджуваних генераторів, та майже не змінюється із збільшенням об’єму реалізації сигналу (рис.8, ліворуч). Для більш наглядного представлення результатів приведено стовбцеві діаграму що складається із відсортованих у порядку зростання усередненого значення z при кількості каналних підносійних – 200 (рис.9).

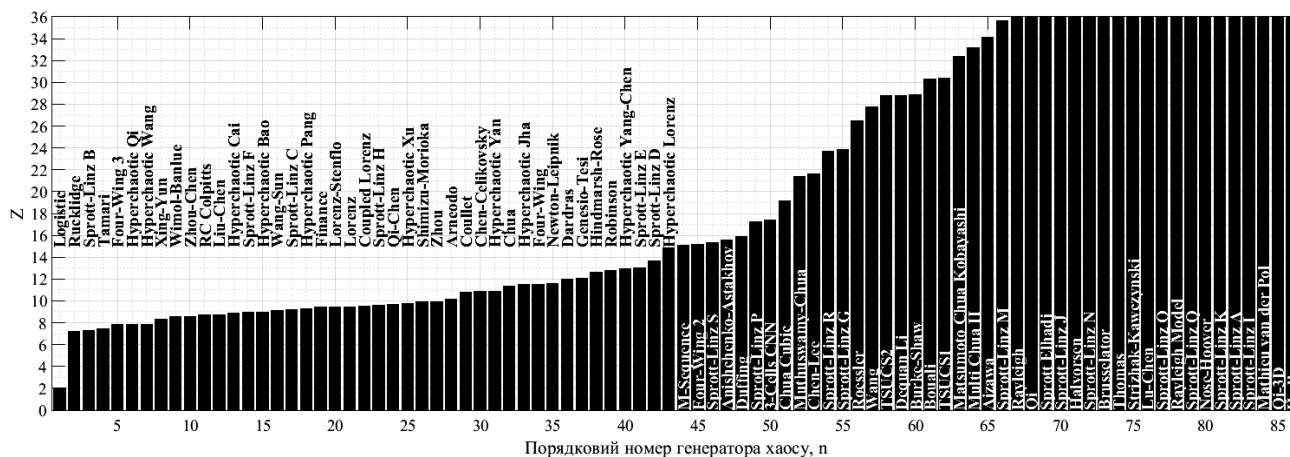


Рисунок 9 – Частинний випадок оцінки ортогональності сигналів різних генераторів хаосу та генератора ПВП при фіксованому об’ємі реалізації хаотичних сигналів у 10000 вибірок із усередненням за мірою послаблення ортогональності (Z)

Сигнали перших 52 генераторів хаосу (рис. 9) потенційно створюють менше системних завад за традиційні сигнали М-последовностей, що найбільш часто застосовуються для організації багатостанційного доступу у сучасних системах телекомунікацій. Також важливо відмітити, що результати приведені на рис.9 сильно корелюються із раніше отриманими результатами оцінки генераторів хаосу по спектральним та кореляційним особливостям їх сигналів (див. рис. 6, рис. 7), згідно яких генератор Rucklidge був виділений як генератор, сигнали якого володіють кращими властивостями серед сигналів усіх досліджених генераторів хаосу.

Таким чином, внаслідок аналізу приведених результатів досліджень та оцінки властивостей сигналів генераторів хаосу можливо зменшити рівень системних завад для систем зв'язку, що використовують ПВП в якості каналних носійних шляхом заміни генератора ПВП на генератор хаосу Rucklidge. Для сигналів генератора Rucklidge значення $Z = 8,59$, а для генератора М-последовностей $Z = 24,77$, що характеризує зменшення впливу системних завад та підвищення завадостійкості системи зв'язку з використанням хаотичних сигналів такого генератора:

$$\frac{Z_{M-последовностей}^{53}}{Z_{Rucklidge}^2} = \frac{24,77}{8,59} = 2,88(\text{разів}) = 4,6(\text{дБ})$$

Опосереднене значення рівня зменшення системних завад ансамблів хаотичних сигналів для хаос-генераторів які за ортогональними властивостями переважають ПВП (див. рис.9):

$$\frac{Z_{M-последовностей}^{53}}{Z_{серед}^{2.52}} = \frac{24,77}{13,4} = 1,84(\text{разів}) = 2,7(\text{дБ})$$

Залежно кінцевих завдань побудова багатоканальних телекомунікаційних систем на основі вказаних хаотичних ансамблів сигналів дозволить збільшити радіус зони обслуговування, збільшити кількість абонентів, підвищити пропускну спроможність тощо. Крім того, застосування хаотичних сигналів виділених запропонованими методами та способами одночасно із вказаним вище позитивними удосконаленнями дозволяють забезпечити високий рівень прихованості дії, широкосмуговість із її позитивними наслідками, ефективного використання смуги частот, високий рівень криптографічної стійкості та електромагнітної сумісності.

Сигнально кодові конструкції на основі сигнальних ансамблів хаос-генераторів.

Побудова ансамблю хаотичних телекомунікаційних сигналів можлива не тільки з використанням одного генератора хаосу в режимі генерації хаотичних коливань, але й за допомогою декількох генераторів хаосу, хаотичні сигнали яких можуть володіти схожими кореляційними та спектральними характеристиками.

Для формування ансамблів каналних підносійних на основі хаотичних сигналів запропоновано використовувати ті генератори, сигнали яких володіють найкращими спектральними та кореляційними властивостями серед сигналів інших генераторів хаосу. Такий спосіб утворення ансамблів хаотичних сигналів телекомунікаційних систем дозволить підвищити прихованість роботи систем завдяки відмінності форм атракторів кожного генератора, що утворює каналну підносійну в ансамблі.

Також, для підвищення завадостійкості системи зв'язку, що використовує ансамблі хаотичних сигналів різних джерел генерації можливо застосувати систему співставлення кодових послідовностей хаотичним сигналів для утворення кодів Грея [6].

Згідно отриманим результатам оцінки спектральних та кореляційних хаоарктеристик ДС (див. рис. 6, рис. 7), пропонується побудувати відповідні сигнально кодові конструкції (СКК) для аналогових хаотичних сигналів ДС. Для вирішення поставленої задачі необхідно співставити хаотичні сигнали ДС та двійкові коди таким чином, щоб кореляція між сусідніми сигналами була максимальною, та водночас між іншими сигналами була мінімальною.

Для оцінки взаємкореляційних властивостей між хаотичними сигналами обраних ДС необхідно побудувати матрицю B , елементами якої будуть максимуми взаємкореляційних функцій між усіма сигналами. Очевидно, що матриця буде квадратною та симетричною (табл.1).

Далі, у один ряд необхідно розташувати порядкові номери ДС у порядку зростання значень їх показників взаємкореляційних функцій. Для цього реалізований алгоритм пошуку мінімальних значень ВКФ з урахуванням умов зростання показника ВКФ та мінімальної різниці показника ВКФ між сусідніми сигналами генераторів хаосу. Результатом роботи такого алгоритму є розташовані у порядку зростання показника ВКФ динамічні системи із мінімальною різницею значень між сусідніми хаотичними сигналами ДС та максимальною між найвіддаленішими.

Таблиця 1 – Розрахунок значень максимумів взаємкореляційних функцій між сигналами генераторів хаосу

ГХ/ max(ВКФ)	Lorenz-Stenflo	Hyperchaotic Qi	Sprott-Linz H	TSUCS1	Chen-Lee	Coupled Lorenz	Robinson	Rucklidge
Lorenz-Stenflo	1	0,2808	0,2179	0,1933	0,1710	0,2934	0,2474	0,2222
Hyperchaotic Qi	0,2808	1	0,3174	0,1963	0,3053	0,3190	0,2714	0,2312
Sprott-Linz H	0,2179	0,3174	1	0,2227	0,2146	0,2280	0,2618	0,2059
TSUCS1	0,1933	0,1963	0,2227	1	0,2320	0,2298	0,1818	0,2970
Chen-Lee	0,1710	0,3053	0,2146	0,2320	1	0,2312	0,1900	0,2791
Coupled Lorenz	0,2934	0,3190	0,2280	0,2298	0,2312	1	0,2501	0,2267
Robinson	0,2474	0,2714	0,2618	0,1818	0,1900	0,2501	1	0,1536
Rucklidge	0,2222	0,2312	0,2059	0,2970	0,2791	0,2267	0,1536	1

Кількість ітерацій для досягнення результату дорівнює кількості відібраних ДС, тому алгоритм реалізації СКК виконується досить швидко (рис.10).

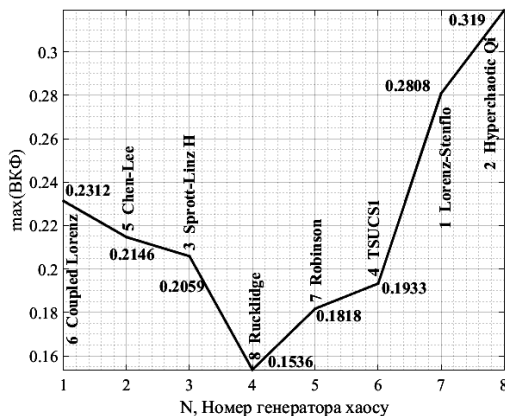


Рисунок 10 – Приклад впорядкованого розташування генераторів хаосу на основі аналізу значень матриці ВКФ між їх сигналами

Таблиця 2 – Реалізація співставлення двійкових кодів та кодів Грея відсортованим генераторам хаосу (ГХ)

№ ГХ	Назва ГХ	Двійковий код	Код Грея
6	Coupled Lorenz	000	000
5	Chen-Lee	001	001
3	Sprott-Linz H	010	011
8	Rucklidge	011	010
7	Robinson	100	110
4	TSUCS1	101	111
1	Lorenz-Stenflo	110	101
5	Hyperchaotic Qi	111	100

симальної широксмуговості та мінімальної нерівномірності спектру.

На основі запропонованого методу за критерієм максимального значення недиагонального елемента матриці Грама проведено сукупну (інтегральну) оцінку властивостей найбільш вживаних нелінійних динамічних систем у режимах генерування сигналів детермінованого хаосу з метою впорядкування щодо можливостей використання для створення ансамблів каналних підносійних багатоканальних телекомунікаційних систем.

Завдяки надзвичайно великій кількості обрахунків для впорядкування більшості відомих на даний час генераторів хаотичних сигналів розроблено спрощений критерій порівнян-

Згідно отриманим результатам реалізуємо відповідну систему нумерації (табл.2).

Використання подібних СКК (табл.2), дає можливість зменшити ймовірність виникнення помилок при процесі передачі інформації з використанням ансамблів хаотичних підносійних із збереженням усіх, вказаних вище позитивних якостей хаотичних ансамблів сигналів.

Таким чином, для спрощення будови приймача при використанні не оптимальних методів прийому запропоновано новий підхід для детектування хаотичних сигналів, що базується на обрахунку рівня співпадіння між аналізованими сигналами. Проведені дослідження показали, що такий метод обрахунку рівня співпадіння можливо застосовувати для ефективного розрізнення хаотичних сигналів різних генераторів хаосу в умовах дії завад.

Для встановлених режимів генерації сигналів детермінованого хаосу різних ДС, досліджено спектральні властивості таких сигналів, що утворюють ансамблі каналних підносійних. Відповідно, шляхом об'єднання результатів роботи запропонованого методу та методу розрахунку спектральних нерівномірностей було здійснено відбір входних значень генераторів хаосу для встановлення векторів параметрів, що створюють сигнали детермінованого хаосу

ня. На основі спрощеного критерію розраховано та проведено упорядкування більшості відомих на сьогоднішній день неперервних генераторів хаосу по кореляційних властивостей їх сигналів. Також, аналогічне упорядкування проведено на основі критерію мінімальної нерівномірності спектру сигналів усіх досліджуваних генераторів хаосу.

Ансамблі каналних підносійних на основі хаотичних сигналів через притаманну неперіодичність сигналам детермінованого хаосу можуть бути побудовані на основі використання одного або декількох генераторів з різною структурою динамічної системи. Постійний науковий пошук призводить до появи все більшої кількості структур нелінійних динамічних систем які здатні генерувати сигнали детермінованого хаосу. Запропоновано ряд генераторів впорядкованих за спектральними та кореляційними властивостями використати для побудови сигнально кодової конструкції на основі кодів Грея. Запропоновано спосіб впорядкування цих генераторів за критерієм мінімізації системних помилок.

Для оцінки рівня системних завад в ансамблях хаотичних каналних підносійних введено критерій якості, що обчислюється із недиагональних елементів матриці Грама. Використовуючи заданий критерій встановлено, що нелінійні динамічні системи можуть формувати сигнали детермінованого хаосу які переважають за якістю ортогональних властивостей псевдовипадкові сигнали, що застосовуються в сучасних телекомунікаційних системах. Застосування таких сигналів крім зменшення системних завад дозволяє одночасно вирішити проблеми завадостійкості, прихованості дії, захисту від несанкціонованого доступу тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мун Ф. Хаотические колебания. Вводной курс для научных работников и инженеров: пер. с англ. / Мун Ф. - М.: Мир, – 1990. – 312 с.
2. Голевич О. Б. Метод відбору хаотичних сигналів для використання у надширокосмугових системах зв'язку / О. Б. Голевич // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - Хмельницький, 2014. – №3. – С. 173 –175.
3. Голевич О. Б. Спосіб детектування хаотичних сигналів в умовах дії завад / О. Б. Голевич // 14 міжнародній науково-технічній конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП_14_2015)" (Одеса, 5 - 9 червня 2015 р.).
4. Беллман Р. Введение в теорию матриц. - М.: Наука, – 1969. – 369 с.
5. Голевич О.Б., Пивовар О.С., Використання хаотичних сигналів у багатоканальних надширокосмугових системах зв'язку. //ВОТТП. – 2013. – №3. – С.180.

REFERENCES

1. Moon, F. C. Chaotic Vibrations: An Introduction for Applied Scientists and Engineers. New York: Wiley, 1987. Print.
2. Golevych O. B. "Metod vidboru khaotychnykh syhnaliv dlya vykorystannya u nadshyrokosmuhovykh systemakh zv'yazku, Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh, 2014. №3. pp. 173-75. Print.
3. Golevych O. B. Sposib detektuvannya khaotychnykh syhnaliv v umovakh diyi zavvad, Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : Materialy' 14 mizhnarodnoy naukovu-tekhnichniy konferentsiyi, 2015. 238-38. Print.
4. Bellman, R. Introduction to Matrix Analysis. 2nd ed. New York, NY [etc.: McGraw-Hill, 1970. Print.
5. Golevych O.B., Pyvovar O.S., Vykorystannya khaotychnykh syhnaliv u bahatokanal'nykh nadshyrokosmuhovykh systemakh zv'yazku, VOTTP. 2013.-№3. 149-52. Print.
6. Knut D.E. Iskusstvo programmirovaniya: generatsiya vsekh sochetaniy i razbiyeniyy; [per. s angl. OOO "I.D. Vil'yams]. Moscow, Vil'yams, 2007. 208. Print.

UDC 621.37/39

Digital Technologies: Collection / Ukr., Odessa: Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov, 2015. – No. 17. – 204 p.

Collected Works “Digital” is included in the list of professional publications Ukraine, published in the Bulletin of the HAC of Ukraine № 8, 2009, p. 6; scientific articles published in scientific papers “Digital”, are counted as professional in technical sciences.

**Certified as professional edition Resolution of the Presidium
of the Higher Attestation Commission of Ukraine of 29.12.2014 № 1548**

Included in the Russian science citation index (RISC) under the contract № 521-08/2013

**Printed in accordance with the decision the Academic Council
of Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov,
protocol № 6 dated April 4, 2015**

Editor Board:

Vorobienko Peter ScD, Professor, Rector of Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Gofaizen Oleg ScD, Professor, Science editor of journal, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Kaptur Vadim PhD, Pro-Rector on Science Work, Executive Secretary of Journal, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Banket Victor ScD, Professor, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Wood David PhD, Chairman ITU-R Working Party 6C “Programme production and quality assessment” (EBU, Switzerland)

Dosch Christoph, Chairman of ITU-R Study Group 6 “Broadcasting service” (IRT, Germany)

Ivanitsky Anatoly ScD, Professor, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Kadatsky Anatoly ScD, Professor, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Kurmashev Shamil ScD, Professor, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Mohammad Hassan Ali PhD, Counselor of Minister of Science and Communications (Sudan)

Protsenko Mykhail ScD, Professor, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Rudy Evgen ScD, Professor, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Skachkov Valerij ScD, Professor, Military Academy (Odessa)

Sukachov Edward ScD, Professor, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Trotsishin Ivan ScD, Odessa National Academy of Telecommunications n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Osama Turabi PhD, Radio Engineering and Television Systems, Nile Center for Technology research (Sudan)

Kholod Alexander ScD, International Frequency Planning, Federal Office of Communications (Switzerland)

Tsaliev Tamerlan ScD, Professor, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Vikulin Ivan ScD, Professor, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Zakharchenko Mykola ScD, Professor, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Technical editor

Pilyavskiy Vladimir, Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov (Ukraine)

Articles published in the original language

Address of Editorial Office:

Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov,

Kuznyechna st., 1, Odessa, 65029, Ukraine,

tel: (048)720-78-93; tel/fax (048)723-35-26, fax: (048)723-62-69, e-mail: onat@onat.edu.ua

State Registration Certificate KB № 13151-2035R

issued by the Ministry of Justice of Ukraine August 2007

Odessa National Academy of Telecommunication n.a. A.S. Popov, 2015