

УДК 621.391

К.С. Васюта, О.В. Чечуй, М.О. Глущенко

Харківський університет повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ДИНАМІЧНИЙ ХАОС В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

В роботі проаналізовано принципи побудови інформаційних систем, що використовують широкосмугові процеси для передачі інформації. Проілюстровано переваги таких систем перед існуючими. Проведено аналіз переваг хаотичних процесів при передачі інформації та принципів побудови телекомунікаційних систем, що використовують хаотичні процеси. Показано принципові відмінності хаотичних процесів у порівнянні з випадковими (стохастичними) процесами. Проілюстровано варіанти практичної реалізації процесу передачі інформації на хаотичній несучій у системі зв'язку.

Ключові слова: динамічний хаос, інформаційні системи.

Вступ

Пошук інформаційних носіїв (процесів і сигналів), що володіють підвищеними інформаційною місткістю, і математичних алгоритмів, що породжують такі процеси, є найбільш актуальним завданням при розробці нових інформаційних технологій. Такими носіями інформації можуть бути графіка (малюнки), тексти, текстові записи, числа, послідовності електромагнітних, оптичних або інших сигналів.

Поняття "інформаційні системи" включає всі пристрої, що забезпечують отримання, обробку, передачу і зберігання інформації. Це різні датчики, що перетворюють зовнішні дії в електричні сигнали, це електронні системи перетворення, оцифрування і обробки цих сигналів на основі комп'ютерної техніки, комп'ютерні мережі і, нарешті, це засоби радіозв'язку і телекомунікацій.

Сучасний розвиток телекомунікаційних засобів нового покоління, що заснований на використанні широкосмугових сигналів з великою інформаційною місткістю. За рахунок розширення спектру частот несучих сигналів досягається збільшення швидкості передачі інформації, підвищується стійкість і надійність систем зв'язку за наявності багатьох чинників, що заважають роботі цих систем.

Широкосмугові сигнали використовуються для передачі інформації в багатоканальних і багатоадресних CDMA системах з кодовим розділенням (Code Division Multiple Access Systems), а також в бездротових системах зв'язку з розширенням спектру (Wireless Spread Spectrum Systems). До сучасних бездротових засобів зв'язку з CDMA пред'являються високі вимоги до захисту інформації, яка передається від несанкціонованого доступу.

Застосування широкосмугових сигналів забезпечує високу пропускну спроможність каналів, дозволяє ослабити дію багатьох видів перешкод і приймати повідомлення при відношенні сигнал/шум

менше одиниці, а також боротися з впливом багатопробеневого розповсюдження радіохвиль. Важливою перевагою широкосмугових систем є висока скритність бездротового зв'язку і електромагнітна сумісність з іншими радіоелектронними засобами за рахунок передачі в ефір безперервних в часі шумоподібних сигналів з дуже низькою спектральною щільністю.

Останнім часом у зв'язку з розвитком супутникових, мобільних, стільникових, волоконно-оптичних розрахованих на багато користувачів багатоканальних систем і завантаженістю радіодіапазону, а також в поєднанні з необхідністю забезпечення скритного і перешкодостійкого зв'язку, велику увагу привертає новий клас широкосмугових хаотичних сигналів. При використанні технології розширення спектру смуга частот сигналу, що передається може бути зроблена значно ширшою за смугу частот інформаційного повідомлення.

У техніці зв'язку такі сигнали можуть формуватися у вигляді псевдовипадкових імпульсних послідовностей, які володіють заданими спектральними і кореляційними характеристиками.

В даний час в системах зв'язку з розширенням спектру використовуються псевдовипадкові послідовності максимального періоду, властивості яких досить добре вивчені. М- послідовності генеруються простими алгоритмами і тому успішно застосовуються в розробках різного призначення впродовж більш ніж 40 років.

У широкосмугових системах зв'язку всі користувачі працюють в одному частотному діапазоні, ширшому, ніж у разі традиційних вузькосмугових систем зв'язку з частотно-часовим розділенням каналів. У кожному абонентському каналі використовується свій ідентифікаційний код для розділення користувачів. На вхід приймального пристрою індивідуального користувача одночасно з корисним сигналом поступають в заданій смузі частот не тільки звичайні перешкоди природної природи, але і що

заважають сигнали від інших абонентів, а також віддзеркалення за рахунок багатопроменевого розповсюдження. Складна електромагнітна обстановка в зоні дії телекомунікаційних засобів накладає додаткові вимоги на систему псевдовипадкових сигналів, яка використовується для кодування і передачі інформації в каналах зв'язку. Ансамбль кодових послідовностей, що використовуються різними системами або однієї багатоканальною системою, повинен володіти хорошим взаємно кореляційними і груповими властивостями.

З теорії інформації відомо, що найбільшою інформаційною місткістю володіють стохастичні сигнали, що породжуються випадковими процесами. Основна проблема при розробці інформаційних носіїв в цифрових телекомунікаційних каналах полягає в труднощі генерування випадкових двійкових послідовностей із застосуванням короткого ключа, який задає послідовність.

Математичні алгоритми, які з ключа одержують псевдовипадкові послідовності числових значень, повинні володіти властивостями:

- скільки завгодно велика довжина періоду одержуваної псевдовипадкової послідовності;
- статистична подібність одержуваної послідовності чисел властивостям справжньої випадкової вибірки;
- можливість програмно-апаратної реалізації генератора випадкових чисел для застосування в каналі зв'язку з відповідною швидкістю.

Не дивлячись на те, що відомо досить багато алгоритмів генерації псевдовипадкових процесів (ПСП), на практиці для генерації двійкових псевдовипадкових послідовностей, як правило, використовується рекурентний алгоритм, коли на підставі лінійного рекурентного співвідношення і деяких початкових значень будується нескінченна послідовність, кожен подальший член якої визначається з попередніх. Двійкові послідовності на основі рекурентних співвідношень достатньо легко програмно реалізуються на ЕОМ і апаратний на основі швидкодіючих багато розрядних двійкових регістрів, що сдвигують розряди.

Основний метод отримання ПСП в поточному часі це формування М-послідовностей на основі сдвигових регістрів, коли чисельне значення в даний момент визначається лінійними співвідношеннями з деякою вагою по відношенню до попередніх членів послідовності. При цьому вагові коефіцієнти підбираються так, щоб забезпечити швидкий спад кореляційної функції до значень порядку $\frac{1}{\sqrt{N}}$, де N – довжина періоду М-послідовності. Найбільшим недоліком даного методу є відсутність математичного апарату, що дозволяє одержувати багаточлени, що породжують послідовності максимального періоду

скільки завгодно великого ступеня, до того ж інформація про поліноми високого ступеня придатних для перешкодостійкого кодування є виключно закритою.

Відомі класи ПСП, як лінійних (М-послідовності, послідовності Адамара, Голда, Касамі і ін.), так і нелінійних (послідовності Лежандра, бент-послідовності і ін.) володіють певними недоліками і не задовольняють окремим з перерахованих вище вимог.

Хаотичні процеси – новий клас шумоподібних сигналів

Альтернативне рішення проблеми дає застосування шумоподібних сигналів (ШПС), що формуються нелінійними системами з динамічним хаосом [1]. Такі ШПС, володіючи кореляційними властивостями не гірше, ніж у М-послідовностей, мають практично необмежений набір довжин, можуть утворювати ансамблі сигналів великих об'ємів і є нелінійними, що утрудняє їх розпізнавання в цілях подальшого відтворення.

Надалі слід чітко розрізняти поняття хаотичних і випадкових процесів. Під хаотичними слід розуміти процеси, які мають залежність в значеннях (рис. 1), а під випадковими (стахастичними) слід розуміти процеси, що мають незалежні (у більшості випадків однаково розподіленні) значення (рис. 2). З рис. 1, 2 наочно видно, що хаотичні процеси проявляють регулярність (детермінізм) на фазовій площині, хоча їх часова реалізація має вигляд як у випадкових процесів.

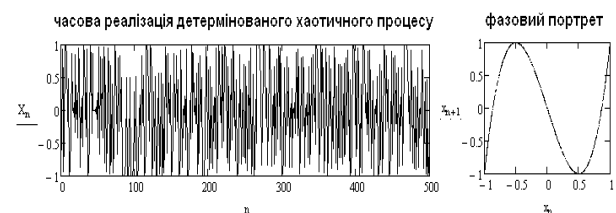


Рис. 1. Часова реалізація й фазовий портрет хаотичного процесу

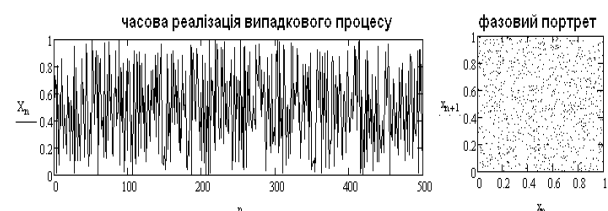


Рис. 2. Часова реалізація й фазовий портрет випадкового процесу з рівномірним розподілом

В даний час якнайповніше задовольняють всім цим вимогам хаотичні математичні алгоритми, що описують складну не рівноважну поведінку нелінійних динамічних систем. До переваг подібних алгоритмів відносяться легкість програмно-апаратного

відтворення і необхідність передачі для синхронізації повідомлень тільки обмеженого набору початкових даних, що однозначно визначають початок обчислень в алгоритмі.

Добрими статистичними властивостями володіють динамічні системи, в яких одночасно присутня і дисипативна (амплітудна) нелінійність, і реактивна (фазова) нелінійність. У автоколивальних системах з фазовою нелінійністю і затримкою в результаті існування нелінійності фази порушуються умови балансу фаз, умови синхронізації мод, і в процесі хаотизації коливаний відбувається ослаблення усередині спектральних зв'язків і швидше (в порівнянні з іншими авто стохастичними системами) розщеплювання кореляцій в сигналі, що генерується.

При практичній реалізації нового класу сигналів в цифровій техніці зв'язку, який заснований, головним чином, на двійковому коді, є дві можливості отримання бінарних сигналів. Перший спосіб зв'язаний з кліпінгуюванням багаторівневих сигналів, одержаних в результаті розрахунків. Цей метод пов'язаний з великою втратою інформації, закладеної в початковому багаторівневому сигналі, але кореляційні властивості сигналів при цьому практично не погіршуються. Другий спосіб є прямою побудовою дискретних автоколивальних систем. На основі математичної моделі кільцевої автоколивальної системи з сильною амплітудно - фазовою нелінійністю, фільтрацією і запізнюванням. Розроблено і досліджено алгоритм хаотичного сигналу, що відноситься до класу алгоритмів рекурентно - параметричного типу із запізнюванням. Алгоритм отримання бінарного сигналу в автоколивальній системі має вигляд [2]:

$$x_i = (1 - e^{-h}) \cdot F_{i-\tau} + e^{-h} \cdot x_{i-1}, \quad (1)$$

де $x = U \cdot e^{j\phi}$; $F_i = F(U_i) \cdot e^{[\phi_i + \Phi(U_i)]}$; τ – відповідає параметру затримки, а h – крок дискретизації, що вибрано відповідно до теореми Котельникова. Нелінійні функції перетворення амплітуди і фази сигналу $F(x)$ і $\Phi(x)$, що визначають процес стохастизації коливаний в даній динамічній системі, залежно від вибору типу нелінійного підсилювача можуть бути достатньо складними. Визначальним чинником для отримання сигналом потрібних статистичних властивостей є наявність крутого нахилу фазової характеристики по відношенню до значення сигналу на вході нелінійного елемента.

Для підвищення скритності систем передачі інформації в роботі [3] запропоновано метод внесення інформації в хаотичну несучу (рис. 3), який руйнує характерний для хаотичних процесів характер поведінки на фазовій площині (рис. 4). Приведено алгоритм відновлення повідомлення, проведено розрахунки його якості для різного рівня сигнал-шум. На рис. 5. ілюструється процес передачі бінарних повідомлень на хаотичній несучої.

При створенні телекомунікаційних систем з кодовим розділенням абонентських каналів (CDMA) важливим є вибір математичних алгоритмів, що породжують великий ансамбль ПСП. Формовані псевдовипадкові послідовності повинні володіти потрібними статистичними і спектральними властивостями, а також хорошими авто і взаємно кореляційними характеристиками. Особливі вимоги пред'являються відносно великого об'єму ансамблю ортогональних ПСП, що необхідне для одночасної і стійкої роботи багатьох користувачів в загальній просторовій зоні.

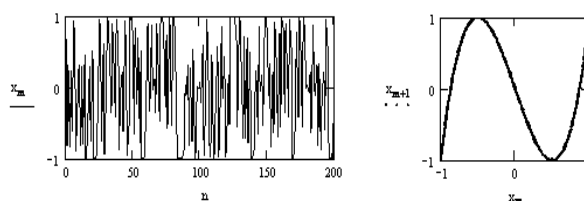


Рис.3. Початкова хаотична несуча

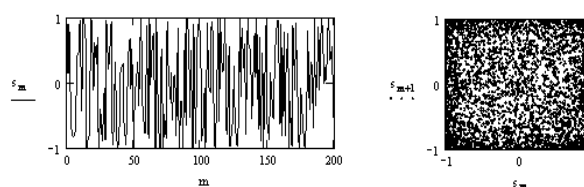


Рис. 4. Перемішана хаотична несуча для підвищення структурної скритності повідомлення

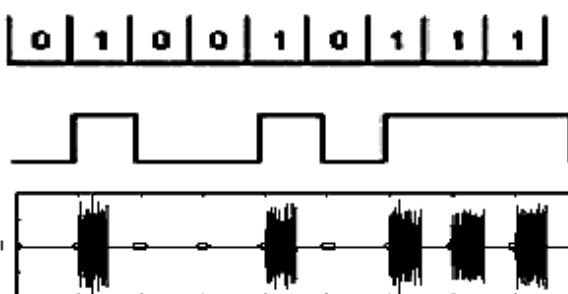


Рис. 5. Передача бінарних повідомлень на хаотичній несучої

Математичні алгоритми повинні генерувати безліч статистично незалежних псевдовипадкових кодів великої тривалості і високої структурної складності, щоб забезпечити конфіденційність при передачі інформації.

Практична реалізація хаотичних інформаційних технологій

Цифровий генератор хаотичного коду. На базі наведеного хаотичного алгоритму для формування дискретної послідовності була створено і досліджено модель цифрового генератора випадкових чисел. Експериментальні дослідження підтвердили ідентичність програмної і апаратної реалізації хаотичного алгоритму. Реальна швидкодія генератора обмежується часом причитування інформації з ПЗП [2].

Телекомунікаційний канал. У НВЧ-діапазоні розроблено і експериментально досліджено модель радіо терміналу для широкопasmової системи зв'язку з розширенням спектру на основі мостової схеми фазообертача з фіксованим зрушенням фази $j = p$. При дослідженні властивостей каналу зв'язку використовувалася модель двотермінального широко-

пasmового каналу зв'язку з шумоподібною несучою з використанням цифрового генератора, що формує хаотичну послідовність імпульсів, фазового НВЧ модулятора-демодулятора в мікро смужковому виконанні та антен.

На рис. 6 наведено варіант практичної реалізації хаотичного прийому-передавача.

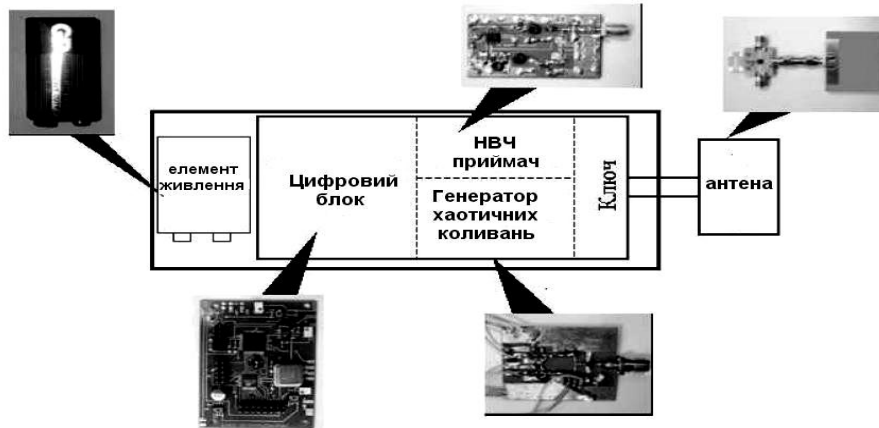


Рис. 6. Практична реалізації хаотичного прийому-передавача

У експерименті [4] за визначенням перешкодостійкості використовувалися два види перешкод: інтенсивна вузько смужова перешкода, близька у частоті до НВЧ - сигналу, що передавався та широкопasmовою перешкодою, узгоджена зі спектром з сигналом передавача.

Результати експериментів показали, що для обох типів перешкоди гранична перешкодостійкість складає ~ 25 дБ.

При передаванні інформації використовувалася безперервна неперіодична кодуєча хаотична послідовність, реалізована на практично необмеженому інтервалі часу.

Цей результат свідчить про потенційні можливості застосування досліджуваних систем з розширенням спектру на основі хаотичних кодів в багато станційних мобільних системах зв'язку з високим ступенем конфіденційності.

Список літератури

1. Васюта К.С. Інформаційні системи на основі динамічного хаосу / К.С. Васюта, Ю.В. Стасев, С.В. Женжера // *Зб. наук. пр. ХУПС*. – X.: ХУПС, 2009. – Вип. 2 (20). – С. 37-40.
2. Широкопasmовые телекоммуникационные средства с кодовым разделением каналов на основе хаотических сигналов / Ю.В. Гуляев, В.Я. Кислов и др. // *Радиотехника*. – 2002. – № 10. – С. 3-15.
3. Повышение скрытности хаотических сигналов при передаче бинарных сообщений / К.С. Васюта, П.Ю. Костенко, С.Г. Семенов, А.Н. Симоненко // *Известия высших учебных заведений, Радиоэлектроника*. – К.: НТУ (КПИ), 2009. – № 2 (56). – С. 22-28.
4. Колесов В.В. Псевдоголографическое кодирование цифровой информации / В.В. Колесов, Н.Н. Залогин, Г.М. Воронцов // *Радиотехника и электроника*. – 2002. – Т. 47, № 5. – С. 583-588.

Надійшла до редколегії 11.12.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Лемешко, Харківській національний університет радіоелектроніки, Харків.

ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

К.С. Васюта, А.В. Чечуй, Н.А. Глущенко

В работе проанализированы принципы построения информационных систем, которые используют широкопasmовые процессы для передачи информации. Проиллюстрированы преимущества таких систем перед существующими. Проведен анализ преимуществ хаотических процессов при передаче информации и принципов построения телекоммуникационных систем, которые используют хаотические процессы. Показаны принципиальные отличия хаотических процессов в сравнении со случайными (стохастическими) процессами. Проиллюстрированы варианты практической реализации процесса передачи информации на хаотической несущей в системе связи.

Ключевые слова: динамический хаос, информационные системы.

DYNAMIC CHAOS IN TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

K.S. Vasiuta, A.V. Chechuj, N.A. Glushchenko

Principles of construction of the informative systems which use shirokopasmovye processes for the information transfer are in-process analysed. Advantages of such systems are illustrated before existing. The analysis of advantages of chaotic processes is conducted at the information and principles of construction of the telecommunications systems which use chaotic processes transfer. The of principles differences of chaotic processes are rotined by comparison to casual (stochastic) processes. The variants of practical realization of process of information transfer are illustrated on the chaotic bearing in a communication network.

Keywords: dynamic chaos, informative systems.