

Плющ О. Г. Державний університет телекомунікацій, Київ

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ ЗАВАДОСТІЙКОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація: Розглянуті практичні аспекти побудови завадостійкого каналу передачі даних в телекомунікаційних мережах. Основний наголос зроблено на забезпеченні завадостійкості та скритності передачі інформації, так само як і захисту її від перехоплення злоумисниками. Зазначено, що забезпечення вказаних вимог є можливим за рахунок використання розширення спектру бітів корисної інформації та застосування скремблювання даних.

Запропонована побудова телекомунікаційного каналу з розширенням спектра та скремблюванням на основі псевдовипадкових кодових послідовностей отриманих з примітивних поліномів восьмого та п'ятнадцятого порядку, що мають гарні авто та взаємнокореляційні властивості. При вивченні практичних аспектів побудови телекомунікаційного каналу була запропонована його структура з кадрів тривалістю 128 бітів, кожен з яких спектрально розширюється в 256 разів за допомогою синтезованої псевдовипадкової послідовності. При цьому друга синтезована псевдовипадкова кодова послідовність тривалістю 32768 чипів використовується для позначення тривалості кадру та додаткового скремблювання інформації.

Характеристики побудованого телекомунікаційного каналу досліджувалися шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання. Результати моделювання довели, що обробка адитивної суміші корисного сигналу з завадами, що перевищують корисний сигнал в два рази по потужності, узгодженими стискаючими фільтрами дозволяють впевнено виявити кадрову структуру інформації, що передається, за рахунок виділення імпульсу початку кадрів, та встановити значення біт корисної інформації.

Аналіз отриманих під час досліджень результатів дозволяє припустити, що побудований телекомунікаційний канал може успішно використовуватися при створенні завадозахищених, скритних телекомунікаційних мереж.

Запропоновано подальші дослідження проводити у напрямку вивчення граничних можливостей розробленого телекомунікаційного каналу з точки зору відношення корисного сигналу до завади.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа; примітивний поліном; псевдовипадкові кодові послідовності; комп'ютерне моделювання; розширення спектру.

Pliushch O.G. State University of Telecommunications, Kyiv

PRACTICAL ASPECTS OF NOISE IMMUNE DATA TRANSMISSION CHANNEL DESIGN IN TELECOMMUNICATION NETWORKS

Abstract: Practical aspects of noise immune data transmission channel design in telecommunication networks are considered. Main accent is made on securing noise immunity and concealment of information transmission, as well as on countering its interception by the rogue elements. It is noted that satisfaction of the mentioned requirements is possible by using spectrum spreading of useful signal bits and deploying data scrambling.

Design of telecommunication channel with spectrum spreading and scrambling on the base of pseudo noise coding sequences derived from primitive polynomials of the eighth and fifteenth order that possess good auto and inter correlation properties are proposed. While studying practical aspects of the telecommunication channel design, its structure is put forward that consists of frames counting 256 bits, each of which is spread by using the synthesized pseudo noise sequence. In this case, the second synthesized pseudo noise coding sequence with the length of 32768 chips is used to mark the frame duration and perform additional information scrambling.

Computer simulation is employed to study performance of the designed algorithm. Simulation results proved that processing of the additive mixture of the useful signal and interferences, which surpass useful signal two times in their power, by the matched despreading filters permits to confidently determine the

frame structure of the information being transmitted by finding frame beginning pulses and determining values of the useful information bits.

Analysis of the results obtained during the research permits to assume that designed telecommunication channel can be successfully used while developing noise immune concealed telecommunication networks.

It is proposed to carry out further research to study boundary possibilities of the designed telecommunication channel in terms of useful signal to interference ratio.

Keywords: telecommunication network; primitive polynomial; pseudo noise coding sequences; computer simulation; spectrum spreading.

Плющ А.Г. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Аннотация: Рассмотрены практические аспекты построения помехоустойчивого канала передачи данных в телекоммуникационных сетях. Основной акцент сделано на обеспечении помехоустойчивости и скрытности передачи информации, так же, как и ее защите от перехвата злоумышленниками. Подчеркнуто, что обеспечение указанных требований возможно за счет использования расширения спектра бит полезной информации и применения скремблирования данных.

Предложено построение телекоммуникационного канала с расширением спектра и скремблированием на основе псевдослучайных кодовых последовательностей, полученных из примитивных полиномов восьмого и пятнадцатого порядка, которые имеют хорошие авто и взаимно корреляционные свойства. При изучении практических аспектов построения телекоммуникационного канала была предложена его структура из кадров длительностью 128 бит, каждый из которых спектрально расширяется в 256 раз с помощью синтезированной псевдослучайной последовательностью. При этом вторая синтезированная псевдослучайная кодовая последовательность длительностью 32768 чипов используется для обозначения длительности кадра и дополнительного скремблирования информации.

Характеристики разработанного телекоммуникационного канала исследовались методом компьютерного имитационного моделирования. Результаты моделирования доказали, что обработка аддитивной смеси полезного сигнала с помехами, которые превышают полезный сигнал в два раза по мощности, согласованными сжимающими фильтрами позволяют уверенно определять кадровую структуру информации, которая передается, за счет выделения импульса начала кадров, и установить значения бит полезной информации.

Анализ полученных во время исследований результатов позволяет допустить, что разработанный телекоммуникационный канал может успешно использоваться при построении помехозащищенных, скрытных телекоммуникационных сетей.

Предложено дальнейшие исследования проводить в направлении изучения предельных возможностей разработанного телекоммуникационного канала с точки зрения отношения полезного сигнала к сигналу помехи.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть; примитивный полином; псевдослучайные кодовые последовательности; компьютерное моделирование; расширение спектра.

1. Вступ

Завадозахищеність та скритність бездротових телекомунікаційних мереж відіграє велику роль у їх практичних застосуваннях. Одним з головних шляхів для поліпшення цих характеристик є використання ширококутових сигналів. В телекомунікаційних каналах, для ефективного розширення спектру сигналів, що передаються, найбільш часто застосовуються псевдовипадкові кодові послідовності (spreading sequences). При цьому синтез та пошук цих послідовностей з потрібними властивостями є окремою достатньо складною задачею.

В ширококутових бездротових телекомунікаційних мережах з розширенням спектру кожний біт обробляється певною кодовою послідовністю, яка складається з визначеної

кількості чипів і обумовлює відповідне розширення спектру. При цьому слід зауважити, що біти передаються майже завжди у вигляді кадрів фіксованого розміру. Межі кадрів можливо позначати або за допомогою певних комбінацій біт, або використовуючи додаткову псевдовипадкову кодову послідовність.

Псевдовипадкові кодові послідовності повинні мати гарні автокореляційні властивості. Серед тих кодових послідовностей, що добре себе зарекомендували в телекомунікаційних мережах, є ті що формуються з примітивних поліномів. Наприклад, такі кодові послідовності широко використовуються в системах мобільного зв'язку третього покоління [1,2]. Але в цих мережах вони застосовуються для організації багатоабонентського доступу та розділення абонентів різних базових станцій. Питання використання зазначених кодових послідовностей для підвищення завадозахищеності та скритності передачі інформації в телекомунікаційних каналах опрацьовані недостатньо. Тому, важливим є дослідження практичних аспектів побудови завадостійких, прихованих каналів передачі інформації з використанням псевдовипадкових кодових послідовностей синтезованих з примітивних поліномів.

Вищесказане обумовлює актуальність і необхідність проведення досліджень в цьому напрямку.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В роботі [3] надано найбільш повну та детальну інформацію про кодові послідовності що розширюють спектри сигналів та такі, що можуть бути використані в телекомунікаційних мережах. Автори цієї праці описують шляхи формування зазначених кодових послідовностей та переваги які привносяться при їх застосуванні. Нажаль, в цій роботі характеристикам певних кодових послідовностей, що розширюють спектр сигналу у реальному телекомунікаційному каналі, не приділено достатньої уваги. Ця робота має скоріше за все теоретичну направленість і не ілюструє надану інформацію даними імітаційного комп'ютерного моделювання.

Застосування псевдовипадкових кодових послідовностей, що розширюють спектр сигналів в стандарті мобільного зв'язку третього покоління UMTS, розглядається в джерелах [1,4]. В них наведена певна кількість кодових послідовностей і приведено їх області застосування, але все це зроблено тільки в ракурсі організації багато абонентського доступу до мережі та без спрямованості на побудову завадозахищених телекомунікаційних каналів.

Робота [2] має велику практичну складову застосування псевдовипадкових кодових послідовностей, і в ній наведено достатньо демонстративного матеріалу та представлена теорія отримання цих кодових послідовностей за допомогою примітивних поліномів. Незважаючи на вказане, ця праця приділяє максимальну увагу псевдовипадковим кодовим послідовностям що використовуються в технології CDMA2000, а інші розглянуті поверхнево.

Використання псевдовипадкових кодових послідовностей для організації каналів управління безпілотними летальними апаратами висвітлено в джерелі [5]. Але це зроблено не глибоко і в ній аналіз можливих псевдовипадкових кодів та дослідження їх характеристик не виконується.

Досить вдалий загальний огляд різних технологій, що застосовуються в бездротових телекомунікаційних мережах, проведено в [6]. Але в цій роботі наголошується, що використання псевдовипадкових кодових послідовностей є тільки однією з цих технологій, і тому детальна увага до синтезу та перевірки характеристик кодових послідовностей не приділяється.

Виходячи з обзору, в даній роботі зроблено спробу розв'язання проблеми вивчення практичних аспектів використання псевдовипадкових кодових послідовностей для побудови завадозахищених та прихованих телекомунікаційних каналів.

3. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є вивчення практичних аспектів використання псевдовипадкових кодових послідовностей для побудови завадозахищеного телекомунікаційного каналу.

Для досягнення поставленої мети розв'язуються наступні наукові задачі:

– розробка кодової та кадрової структури заводо захищеного телекомунікаційного каналу;

– синтез псевдовипадкових кодових послідовностей для організації заводо захищеного телекомунікаційного каналу на основі примітивних поліномів;

– дослідження характеристик побудованого каналу на фоні власних шумів та завод шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання.

4. Результати дослідження

4.1 Розробка кодової та кадрової структури заводо захищеного телекомунікаційного каналу

Як вже зазначалося вище, передача інформації в телекомунікаційному каналі здійснюється кадрами. Розмір кадру залежить від типу каналу, середовища його застосування та необхідної швидкості передачі інформації. Кожний біт, що передається, розширюється по спектру за рахунок короткої псевдовипадкової послідовності. При цьому коефіцієнт розширення визначається з одного боку необхідною швидкістю передачі інформації, а з іншого - наявною смугою частот. Припустимо, що потрібно забезпечити швидкість передачі даних в телекомунікаційному каналі 20 кБіт/сек при ширині смуги каналу 5 МГц. Виходячи з цього, можливий коефіцієнт розширення спектру становить 256 одиниць. Таким чином, псевдовипадкова послідовність, що розширює спектр кожного біту, повинна складатися з 256 чипів.

Приймемо, що один кадр буде складатися з 128 бітів. В цьому випадку, псевдовипадкова кодова послідовність що визначає розмір кадру повинна вмещувати 32768 чипів.

Таким чином, кодова та кадрова структура і алгоритм побудови телекомунікаційного каналу виглядають наступним чином:

–кожний кадр тривалістю 32768 чипів вмещує в собі 128 біт інформації по 256 чипів кожний;

–формується перша псевдовипадкова кодова послідовність, яка має період 32768 чипів що дорівнює тривалості кадру;

–формується друга псевдовипадкова кодова послідовність яка має період 256 чипів що дорівнює тривалості одного біту;

–всі біти окрім першого, розширюються по спектру за рахунок другої кодової послідовності тривалістю 256 чипів;

–перший біт завжди має значення одиниця і не розширюється другою кодовою послідовністю тривалістю 256 чипів а, навпаки, використовується для кадрової синхронізації;

–всі біти кадру обробляються другою кодовою послідовністю тривалістю 32768 чипів;

–кадрова синхронізація здійснюється за рахунок перших 256 чипів першої кодової послідовності тривалістю 32768 чипів.

Розглянемо, які саме псевдовипадкові коди можливо використати для задоволення вищезазначених характеристик каналу.

4.2 Синтез псевдовипадкових кодових послідовностей для організації заводо захищеного телекомунікаційного каналу на основі примітивних поліномів

Для тримання гарних характеристик телекомунікаційного каналу, псевдовипадкові кодові послідовності повинні мати певні автокореляційні властивості. Одним з шляхів синтезу таких кодових послідовностей є використання примітивних поліномів певного порядку. Примітивні поліноми відповідного порядку, що готові до використання, можливо знайти в джерелах інформації [2]. Також їх можливо отримати шляхом ділення поліномів. Для синтезу псевдовипадкової кодової послідовності що складається з 256 чипів необхідно мати поліном 8-го ступеня.

Примітивний поліном восьмого ступеня над полем Галуа GF(2), представлений в [2], виглядає наступним чином:

$$F(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1. \quad (1)$$

На рис.1. представлена псевдовипадкова кодова послідовність з 256 чипів синтезована згідно з (1). Ця кодова послідовність сформована в логіці «1» та «-1» тому, що така логіка є більш зручною для використання в телекомунікаційному каналі.

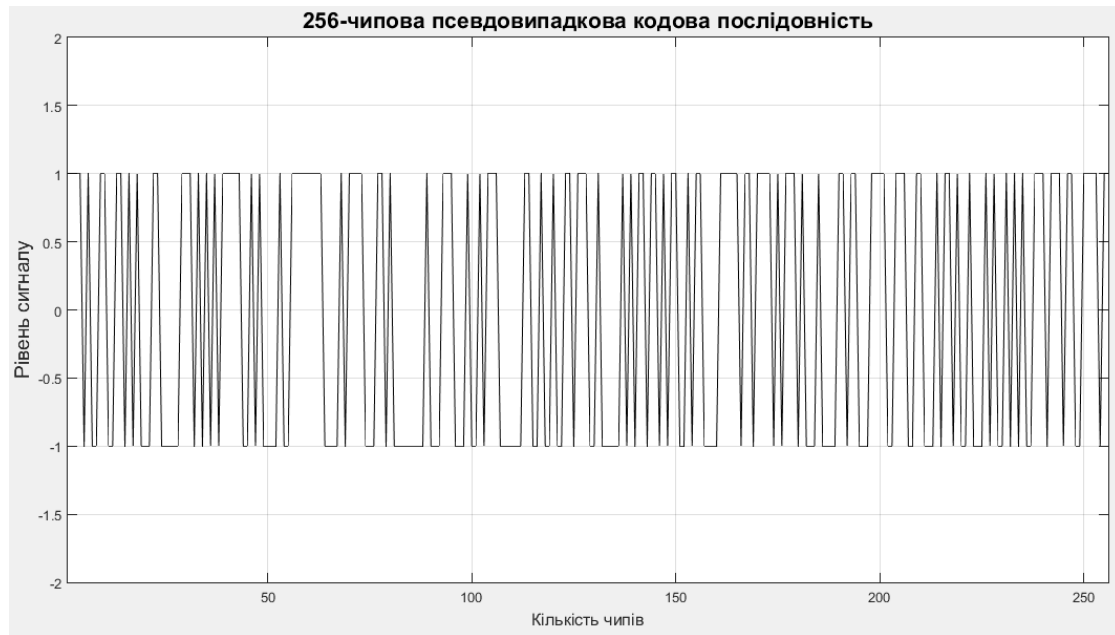


Рис. 1. Псевдовипадкова кодова послідовність з 256-чипів створена за рахунок використання примітивного поліному (1)

Псевдовипадкова кодова послідовність тривалістю 32768 чипів може бути синтезована за допомогою примітивного поліному 15 ступеня. Примітивний поліном такого роду також наведено в [4] і він має наступний вигляд:

$$F(x) = x^{15} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x^2 + 1 \quad (2)$$

Псевдовипадкова кодова послідовність сформована згідно з (2) є занадто тривалою, тому на рис.2 наведено тільки перші 1000 чипів цієї послідовності, які є важливими для виявлення сигналу що позначає початок кадрів.

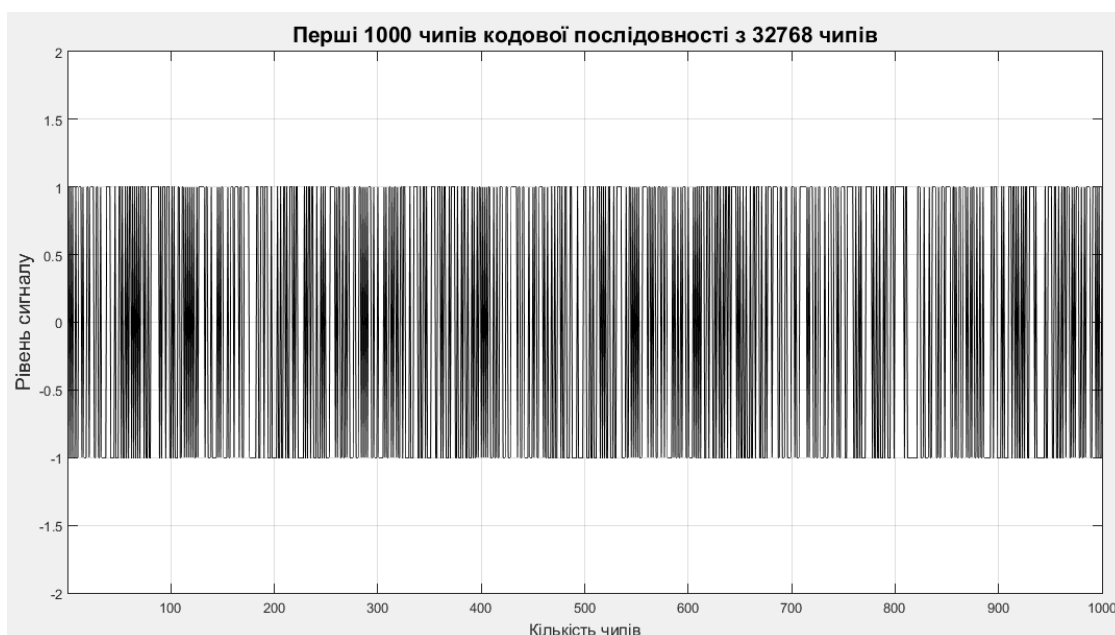


Рис. 2. Перші 1000 чипів послідовності з 32768 чипів створеної згідно з (2).

4.3 Дослідження характеристик побудованого каналу на фоні власних шумів та завад шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання

Для дослідження характеристик синтезованого телекомунікаційного каналу використовувалося комп'ютерне імітаційне моделювання. Воно здійснювалося для наступних умов:

- імітувався один кадр бітової послідовності, що складається з 128 бітів, при цьому перший біт завжди залишався рівним одиниці тому, що на цій ділянці розташовано кадровий синхроімпульс, а значення (1 або -1) інших бітів вибиралося по псевдовипадковому закону з рівномірним розподіленням;

- всі біти, окрім першого, оброблялися другою псевдовипадковою послідовністю тривалістю 256 чипів, при цьому здійснювалося розширення спектру;

- отримана бітова послідовність перемножувалася почипово з другою псевдовипадковою кодовою послідовністю тривалістю 32768 чипів; в результаті здійснювалося додаткове скремблювання даних без подальшого розширення спектру;

- сформований кадр перетворювався у комплексні відліки з урахуванням знаку певного біту інформації з, відповідно, фазами 0 або π (бінарна модуляція);

- до корисного сигналу додавалися внутрішній шум каналу та завадовий сигнал;

- внутрішній шум каналу мав відносну потужність що дорівнює одиниці, та був представлений як комплексні відліки з нормальним розподіленням ймовірності;

- завадовий сигнал так само був представлений як комплексні відліки з нормальним розподіленням ймовірності і потужністю одиниця;

- створена сигнальна суміш пропускала через стискаючий фільтр налаштований на виділення перших 256 чипів другої кодової послідовності тривалістю 32768 чипів, формуючи таким чином сигнал початку кадру;

- створена сигнальна суміш почипово перемножувалася з другою кодовою послідовністю тривалістю 32768 чипів для дескремблювання;

- отримана в попередньому пункті сигнальна суміш пропускала через стискаючий фільтр налаштований на виділення першої кодової послідовності тривалістю 256 чипів, при цьому виділялися біти інформації що передавалися в телекомунікаційному каналі;

Імітаційне моделювання здійснювалося за допомогою середовища Matlab. Основною ціллю моделювання є перевірка працездатності телекомунікаційного каналу та його спроможності передавати інформацію на фоні завадових сигналів.

Нижче представлені результати комп'ютерного імітаційного моделювання для наведених вище умов.

На рис.3 зображені перші 1000 чипів кадру, що формується згідно представленої вище процедури побудови телекомунікаційного каналу. Ця послідовність являє собою 128 бітів, спектр кожного (окрім першого) з яких є розширений псевдовипадковою кодовою послідовністю тривалістю 256 чипів зображеною на Рис.1, і які в подальшому скремблюються псевдовипадковою кодовою послідовністю тривалістю 32768 чипів за рахунок почипового перемноження. В подальшому, ця послідовність піддається бінарній модуляції та додаванню власного шуму каналу та завади.

Рис.4 ілюструє суміш корисного сигналу, власних шумів каналу та завади в приймальній частині бездротового телекомунікаційного каналу на протязі одного кадру. Нагадаємо, що корисний сигнал є представлений у вигляді бінарної модуляції кодової послідовності, що зображена на Рис.3, і має відносну потужність одиниця, в той час як власний шум являє собою вибірки розподілені по нормальному закону з потужністю одиниця. Завадовий сигнал має такі ж самі розподілення вірогідності і потужність як і власний шум каналу.

По суті, сигнал представлений на рис.4 приховує в собі корисний сигнал з 128 бітів (кадр інформації), кожний з яких є розширений по спектру у 256 разів псевдовипадковою кодовою послідовністю і скремблований додатково псевдовипадковою кодовою послідовністю, тривалість якої дорівнює тривалості кадру.

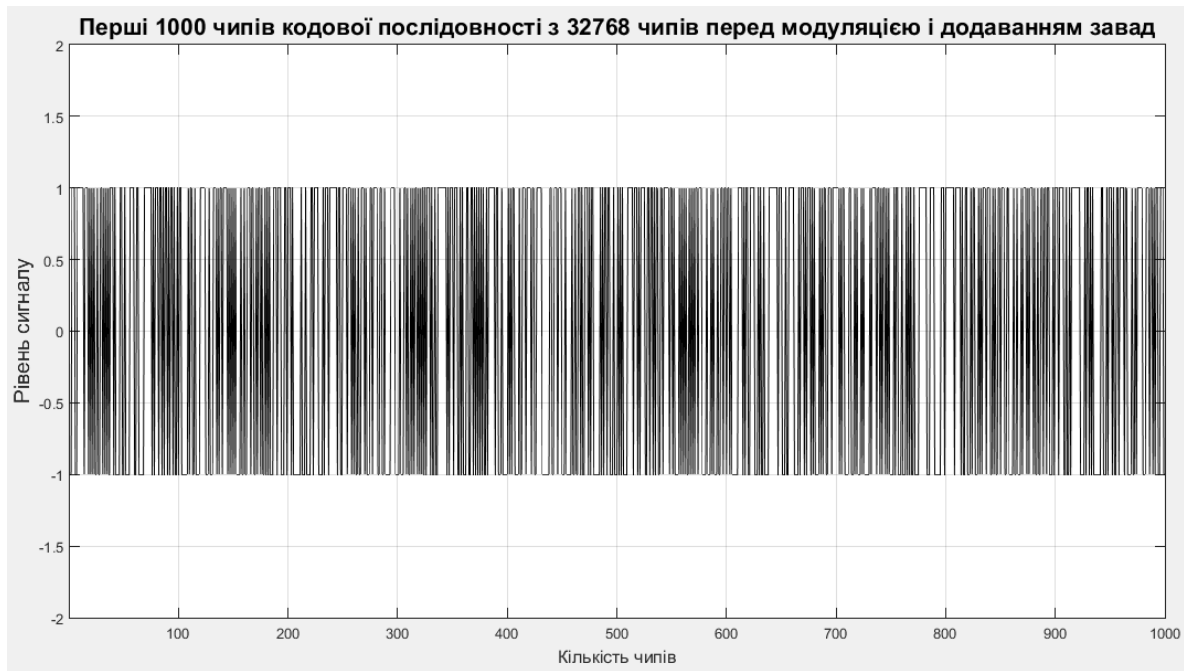


Рис.3. Перші 1000 чипів результуючої кодової послідовності з 32768 чипів перед модуляцією та додаванням завад

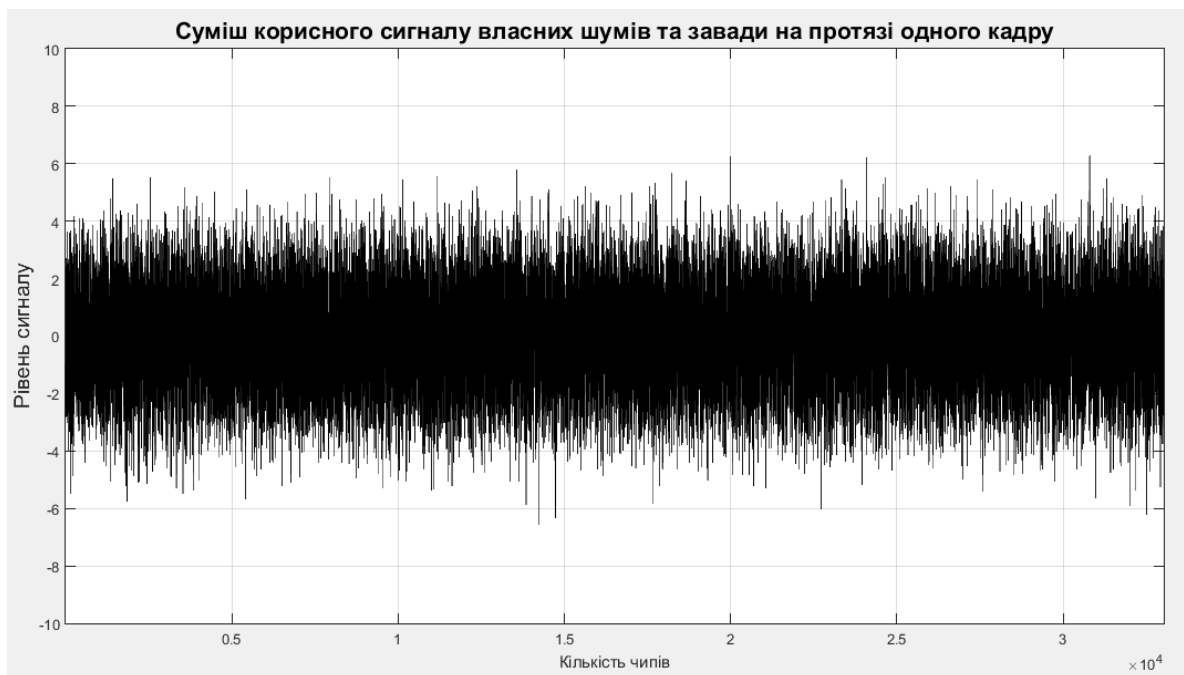


Рис.4. Суміш корисного сигналу, власних шумів каналу та завади на протязі одного кадру

Подальше дослідження направлене на встановлення того факту, чи можливо виділити з суміші зображеної на рис.4 кадрову структуру передачі інформації та значення окремих біт.

На рис.5 наведено сигнал на виході узгодженого фільтру стиснення кадрового імпульсу після обробки цим фільтром сигналу зображеному на рис.4.

Виокремлений імпульс початку кадру телекомунікаційного каналу добре проглядається на рис.5 на початковій ділянці кадру. Для кращої наочності на рис.6 наведені перші 1000 чипів з сигналу наведеного на рис.5.

Виходячи з даних наведених на рис.5 та рис.6, імпульс початку кадру добре виділяється на фоні власних шумів каналу та шумової завади, які за умовами імітаційного моделювання перевищують потужність корисного сигналу в два рази.

Після дослідження можливості виявлення імпульсу початку кадру, перейдемо до вивчення можливості виділення значень бітів корисної інформації з сигнальної суміші наведеній на рис.4. Слід зауважити, що операція виділення сигналу початку кадру повинна виконуватися завжди першою, тому що це дозволяє провести дескремблювання сигнальної суміші зображеній на рис.4 псевдовипадковою кодовою послідовністю синтезованою згідно з (2) та перші 1000 чипів якої представлені на рис.2.

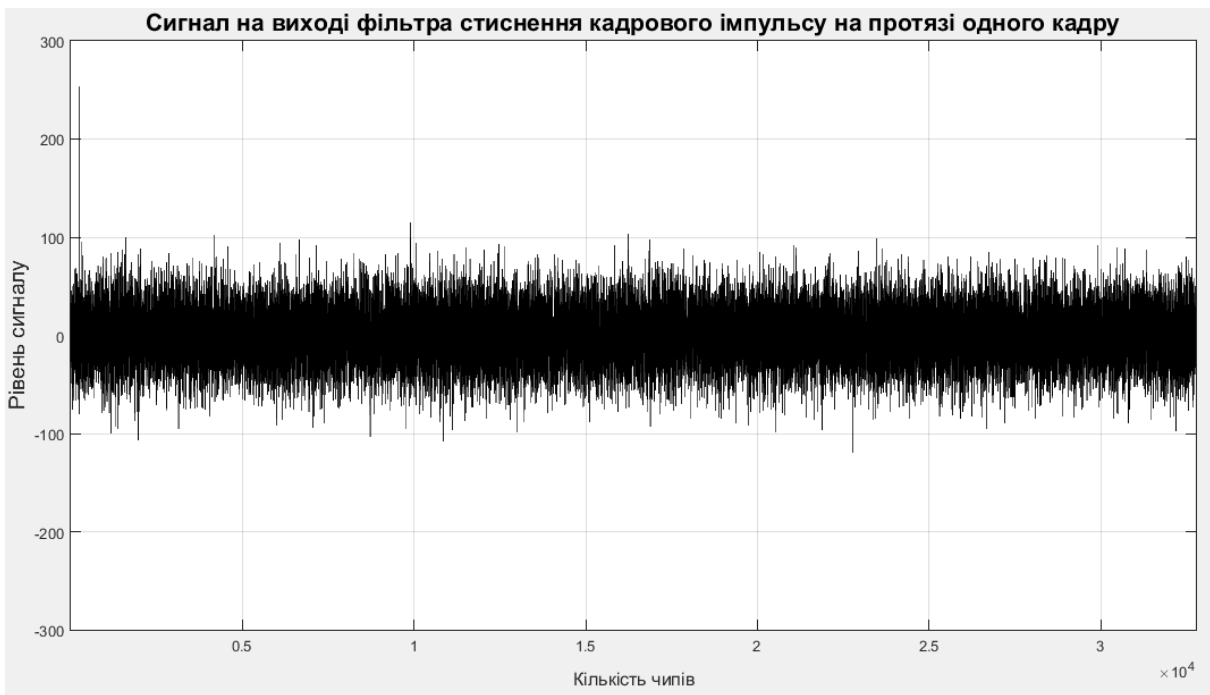


Рис. 5. Сигнал на виході узгодженого фільтра стиснення кадрового імпульсу після обробки цим фільтром сигналу зображеного на рис.4

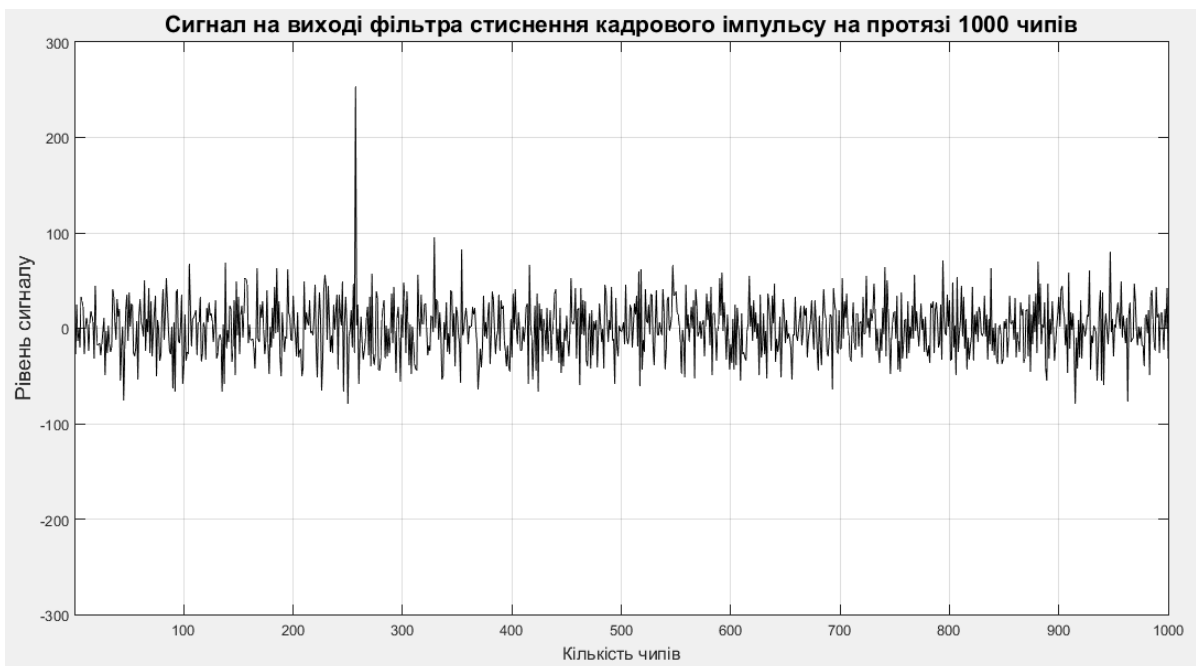


Рис.6. Сигнал на виході узгодженого фільтра стиснення кадрового імпульсу на протязі перших 1000 чипів.

Рис.7 та рис.8 ілюструють сигнал на виході узгодженого фільтра стиснення бітів, що обробляв сигнальну суміш зображену на рис.4 з урахуванням її дескремблювання, відповідно для одного кадру телекомунікаційного каналу та перших 1000 чипів кадру. Дослідження результатів показує, що за рахунок стискання біти корисного сигналу впевнено виділяється на фоні внутрішнього шуму каналу та завадового сигналу.

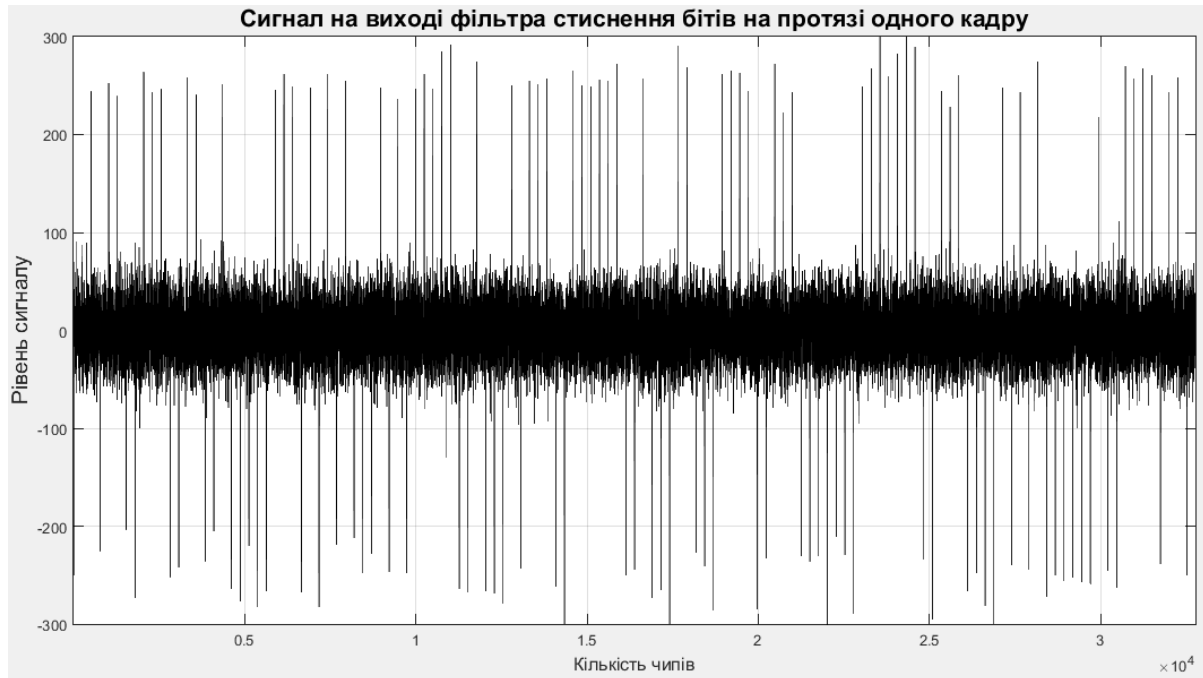


Рис.7. Сигнал на виході узгодженого фільтра стиснення бітів на протязі одного кадру телекомунікаційного каналу

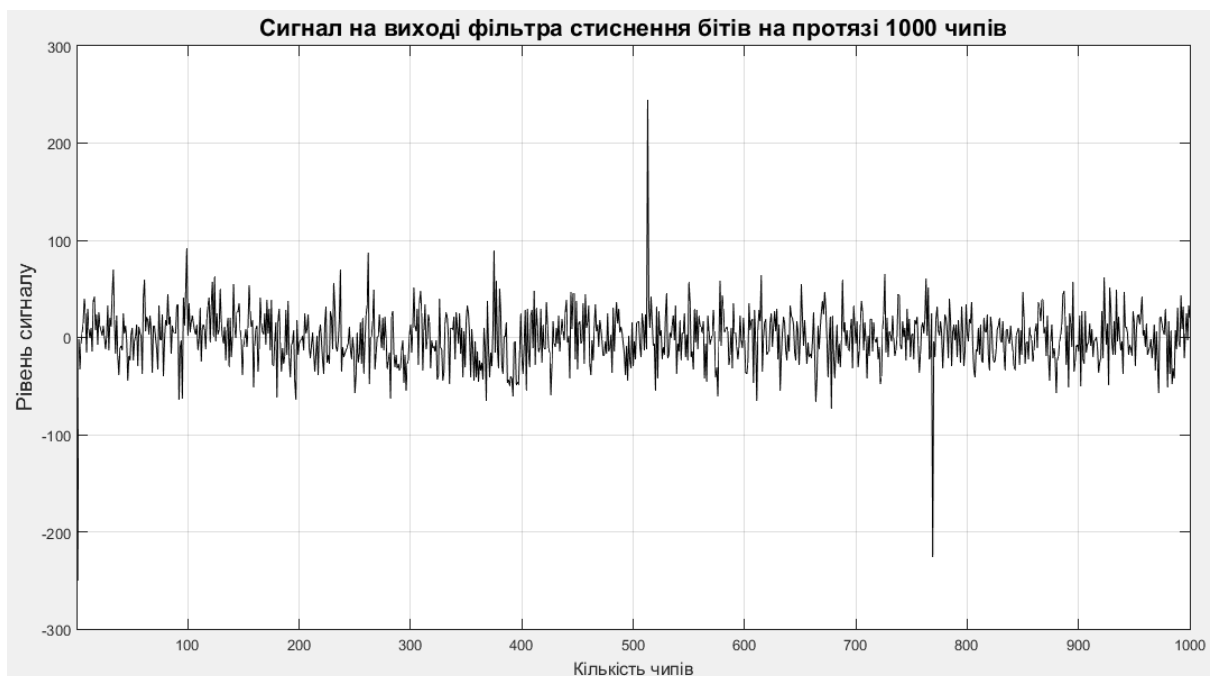


Рис.8. Сигнал на виході узгодженого фільтра стиснення бітів на протязі перших 1000 бітів одного кадру телекомунікаційного каналу

5. Обговорення дослідження практичних аспектів побудови завадостійкого каналу передачі даних в телекомунікаційних мережах

При дослідженні практичних аспектів побудови завадостійкого, прихованого телекомунікаційного каналу використовувалися дві псевдовипадкові кодові послідовності: одна тривалістю 256 чипів для розширення спектру бітів, що передаються в каналі, і друга тривалістю 32768 чипів для додаткового скремлювання бітів інформації та визначення розміру і початку кадрів. Зазначені коди були синтезовані з примітивних поліномів відповідно 8 та 15 порядків.

З практичної точки зору, розширення спектру у 256 разів дозволяє приховати корисний сигнал у власних шумах, і забезпечити скритність передачі інформації та протидіяти завадам. Додаткове скремлювання не тільки дозволяє визначити початок та розмір кадру, але і захищає біти, що передаються, від перехоплення злоумисниками.

Результати імітаційного комп'ютерного моделювання підтверджують, що вибрані коди мають достатньо гарні автокореляційні та взаємно кореляційні властивості для виконання функцій захисту від завад, прихованості передачі інформації та запобігання її перехопленню. Наприклад, в розглянутому випадку, коли потужність корисного сигналу дорівнює потужності внутрішнього шуму каналу і додається завадовий сигнал того ж рівня, при обробці узгодженими фільтрами упевнено виділяються як кадрова структура корисного сигналу телекомунікаційного каналу, так і значення біт що передаються. Цей висновок наочно ілюструється Рис.4, де наведена сигнальна суміш в який корисний сигнал не проглядається, та Рис.6 та Рис.8 де підтверджено, що впевнено виділяються як сигнал початку кадру, так і біти корисного сигналу, що передається в телекомунікаційному каналі.

В подальшому доцільно дослідити характеристики каналу при різних рівнях завади для визначення потенціальних обмежень запропонованого рішення.

6. Висновки

Псевдовипадкові кодові послідовності є потужним інструментом для забезпечення завадостійкості та скритності передачі інформації в телекомунікаційних мережах, так само як і захисту її від перехоплення злоумисниками. Зазначені характеристики визначаються, звичайно, розміром коду, що забезпечує розширення спектру сигналу, але і в значній ступені, авто та взаємно кореляційними властивостями псевдовипадкових кодових послідовностей що використовуються для розширення спектру та скремлювання інформації.

Автором запропонована побудова телекомунікаційного каналу з розширенням спектра та скремлюванням на основі псевдовипадкових кодових послідовностей отриманих з примітивних поліномів восьмого та п'ятнадцятого порядку, що мають гарні авто та взаємно кореляційні властивості. При вивченні практичних аспектів побудови телекомунікаційного каналу була запропонована його структура з кадрів тривалістю 128 бітів, кожний з яких розширюється в 256 разів за допомогою синтезованої псевдовипадкової послідовності. При цьому друга синтезована псевдовипадкова кодова послідовність тривалістю 32768 чипів використовується для позначення тривалості кадру та додаткового скремлювання інформації.

Характеристики побудованого телекомунікаційного каналу досліджувалися шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання. Результати моделювання довели, що обробка адитивної суміші корисного сигналу з завадами, що перевищують корисний сигнал в два рази по потужності, узгодженими стискаючими фільтрами дозволяють впевнено виявити кадрову структуру інформації, що передається, за рахунок виділення імпульсу початку кадрів, та встановити значення біт корисної інформації.

Аналіз отриманих під час досліджень результатів дозволяє припустити, що побудований телекомунікаційний канал може успішно використовуватися при створенні заводозахисених, скритних телекомунікаційних мереж.

Подальші дослідження слід спрямувати на вивчення характеристик телекомунікаційного каналу при різних рівнях завади для встановлення його граничних показників відношення корисного сигналу до суміші власних шумів і завади.

Список використаної літератури

1. Andreas Springer, Robert Weigel. UMTS: The Physical Layer of the Universal Mobile Telecommunications System. USA: Springer Science & Business Media, 2013. 298 p.
2. Lee, Jhong S., Miller, Leonard E. CDMA systems engineering handbook. Boston, London: Artech House, 1998. 1228 p.
3. Byeong G. Lee, Seok C. Kim. Scrambling Techniques for Digital Transmission. USA: Springer Science & Business Media, 2012. 448 p.
4. Evgenii Krouk, Sergei Semenov. Modulation and Coding Techniques in Wireless Communications. USA: John Wiley & Sons, 2011. 680 p.
5. Edited by Kamesh Namuduri, Serge Chaumette, Jae H. Kim, James P. G. Sterbenz. UAV Networks and Communications. UK: Cambridge University Press, 2017. 242 p.
6. Clint Smith, Daniel Collins. Wireless Networks. USA: McGraw Hill Professional, 2013. 752p.

References

1. Andreas Springer, Robert Weigel. UMTS: The Physical Layer of the Universal Mobile Telecommunications System. USA: Springer Science & Business Media, 2013. 298 p.
2. Lee, Jhong S., Miller, Leonard E. CDMA systems engineering handbook. Boston, London: Artech House, 1998. 1228 p.
3. Byeong G. Lee, Seok C. Kim. Scrambling Techniques for Digital Transmission. USA: Springer Science & Business Media, 2012. 448 p.
4. Evgenii Krouk, Sergei Semenov. Modulation and Coding Techniques in Wireless Communications. USA: John Wiley & Sons, 2011. 680 p.
5. Edited by Kamesh Namuduri, Serge Chaumette, Jae H. Kim, James P. G. Sterbenz. UAV Networks and Communications. UK: Cambridge University Press, 2017. 242 p.
6. Clint Smith, Daniel Collins. Wireless Networks. USA: McGraw Hill Professional, 2013. 752p.