

МЕТОДИ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ В СИСТЕМАХ ДІАГНОСТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Микола Козленко

*Приватний вищий навчальний заклад "Галицька академія"
76018, м. Івано-Франківськ, вул. Вовчинецька, 227*

Вступ

Важливим питанням надійної роботи систем діагностування промислових об'єктів є стабільність передачі інформації. Як правило, заводозахищеність передачі даних в таких умовах забезпечується використанням широкосмугових сигналів [1,4]. Отже, дослідження характеристик існуючих та розроблення нових методів формування та опрацювання широкосмугових сигналів є актуальною науковою задачею.

Постановка проблеми в цілому

Необхідність у якісному та швидкому обміні даними у системах діагностики в промисловості зумовлює практичне завдання по створенню простих, надійних та недорогих приймально-передавальних пристроїв. Результативне вирішення цього завдання можливе за умови успішного розв'язання наукових проблем вдосконалення існуючих та створення нових ефективних методів передавання та приймання інформації в таких системах, зокрема, це передбачає розроблення способів формування та опрацювання широкосмугових сигналів.

Аналіз досліджень та публікацій

Започаткування розв'язання проблеми шляхом використання широкосмугових сигналів міститься у [2,3]. В [3,5,24,26] міститься опис основних поширених методів формування та опрацювання широкосмугових сигналів. Методи формування сигналів зі стрибками в часових вікнах та багаторівневих сигналів описано в [5]. Методи формування надширокосмугових сигналів описано [13-19]. Формування сигналів за допомогою явищ динамічного хаосу розглядається в [20-22]. Започаткування використання методів формування сигналів з керованими ймовірнісними характеристиками міститься в [28]. Частиною загальної проблеми є аналіз недоліків традиційних методів формування сигналів і формулювання на його основі вимог щодо перспективних та розроблених методів, саме цьому і присвячена дана робота.

Формулювання цілей даної роботи

Отже, метою роботи є дослідження основних характеристик існуючих методів формування широкосмугових сигналів і формулювання вимог до методів, що можуть бути застосовані в системах діагностики промислових об'єктів.

Викладення основного матеріалу

При реалізації систем діагностики промислових об'єктів особлива увага приділяється надійності функціонування та високій достовірності обміну даними на фізичному рівні (семирівневої еталонної моделі взаємодії відкритих систем OSI [1]) таких систем. Зокрема, високою ефективністю відрізняються системи в яких використовуються складні сигнали [2, 3].

Складними вважають сигнали в яких база, добуток ширини спектру W та тривалості T ($T = 1/R$, R – швидкість обміну даними), більше одиниці [4, 5]:

$$B = WT = W/R \quad (1)$$

Існує два шляхи збільшення бази сигналів. Перший полягає у збільшенні тривалості часу передавання сигналу, зокрема, шляхом повторювання його

елементів. Однак, застосування такого підходу можливе лише тоді, коли немає жорстких вимог щодо часу доставки повідомлень.

Інший підхід полягає у збільшенні бази сигналу за рахунок ширини його спектру. В такому випадку, сигнал вважають широкосмуговим, а його база віддзеркалює коефіцієнт розширення спектру [6]. Ширина спектру таких сигналів є суттєво більшою від ширини спектру сигналу повідомлення.

Перевагами, які обумовлюють успішне практичне застосування, систем обміну даними з використанням широкосмугових сигналів є: можливість стабільної роботи системи за низьких відношень потужностей сигнал/завада, висока завадозахищеність, можливість організації кодового розділення при множинному доступі до середовища, ефективність в умовах багатопроменевого розповсюдження сигналів, прийнятна електромагнітна сумісність з існуючими вузькосмуговими системами та інші [2].

В теорії розроблено різні методи формування та оброблення широкосмугових сигналів [4,6]. Найпоширенішими є такі типи: частотно модульовані (Frequency Modulated, FM), багаточастотні (Multi Carrier, MC), із стрибкоподібною зміною частоти (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS), фазоманіпульовані (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS), сигнали зі "стрибками" в часі (Time Hopping Spread Spectrum, THSS), багаторівневі (Multi Level Direct Sequence, MLDS), надширокосмугові (Ultra Wide Band, UWB), сигнали, що формуються на основі явищ динамічного (детермінованого) хаосу тощо.

Формування широкосмугових сигналів відбувається у відповідності до їх типу і, як правило, складається з таких основних етапів: формування елементарного сигналу (chip), формування псевдовипадкової послідовності елементарних сигналів і, в разі необхідності, переносу спектру сформованого сигналу на високу несучу частоту. Для обміну повідомленнями за допомогою таких сигналів здійснюється накладання сигналу повідомлення на розширюючий сигнал. В залежності від реалізації конкретного методу, деякі етапи можуть бути відсутніми або поєднаними.

Оброблення сигналів з метою виділення повідомлення, як правило, здійснюється шляхом розрахунку кореляційного інтегралу (2) з подальшим прийняттям рішення про дискретне значення прийнятого сигналу [4].

$$z = \int_0^T r(t) \cdot e(t) dt, \quad (2)$$

де $r(t)$ – оброблюваний сигнал,
 $e(t)$ – еталон очікуваного сигналу.

Визначення інтегралу здійснюється за допомогою корелятора або узгодженого фільтру. Структурну схему корелятора подано на рис. 1 [4].

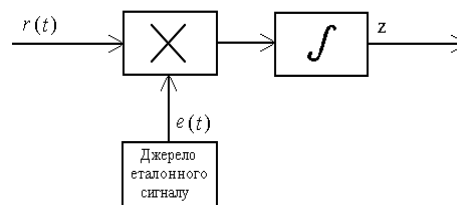


Рисунок 1 - Узагальнена структурна схема кореляційного оброблення

Перевагою такого підходу є оптимізація відношення сигнал/завада, а недоліком є значна складність апаратної реалізації. Необхідність зберігання еталонів сигналів зумовлює їх детермінованість (Stored Reference). Оброблення широкосмугових сигналів здійснюється, як правило, в декілька етапів. Наприклад, на першому відбувається оброблення елементарних сигналів, а на другому оброблення кодових послідовностей (рис. 2 а, б) або в іншому порядку (рис. 2 в) [6]. З метою спрощення

реалізації застосовують квазікогерентне оброблення, при якому точне значення фази радіочастотного заповнення наперед невідоме і воно визначається колом фазового автоналаштування частоти. Також застосовують некогерентне оброблення, при якому фаза взагалі не враховується. Проте наслідком цього є зменшення завадостійкості.

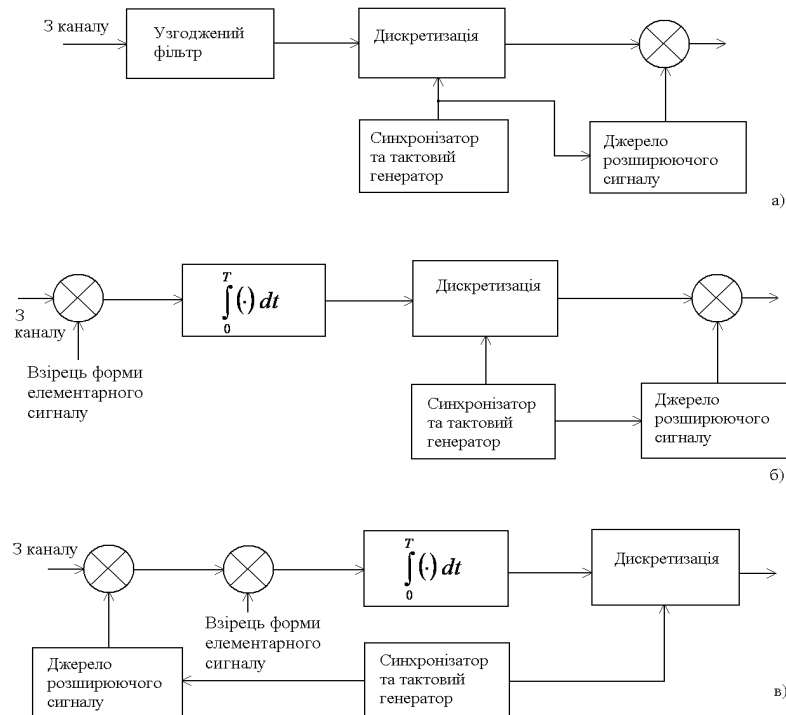


Рисунок 2 - Загальні структури оброблення широкосмугових сигналів

Формування FM сигналів здійснюється таким чином, що результуючий сигнал є неперервним синусоїдним сигналом із частотою, що змінюється в часі за визначеним законом. База такого сигналу визначена згідно (1), з точністю, достатньою для практичного застосування, дорівнює добутку девіації частоти та тривалості сигналу [4]. Для певного конкретного екземпляру FM сигналу є порівняно нескладною побудова оптимального пристрою оброблення. Однак, зміна закону формування потребує зміни параметрів фільтру, або його заміну, що обмежує застосування таких сигналів для систем обміну даними [4]. Проте, ефективним є застосування таких сигналів, зокрема, у навігаційних системах [5]. Структурна схема формувача таких сигналів подана на рис. 3.



Рисунок 3 - Структурна схема формувача FM сигналів

Формування MC сигналів (див. рис. 4) відбувається за законом, який визначає амплітуди і фази сукупності певної кількості синусоїдних складових у відповідності до елементів повідомлення. База таких сигналів визначається кількістю цих складових і для отримання великих значень необхідна значна кількість частотних каналів, що суттєво ускладнює апаратну реалізацію і не завжди є прийнятним з погляду організаційно-правових аспектів. Мінімальна відстань між частотами синусоїдних складових при якій ще забезпечується ортогональність при некогерентному обробленні складає величину $1/T$, де T - тривалість сигналу. Крім

того, такі сигнали характеризуються значним пік-фактором [4]. Разом з тим, слід відзначити, що принципи формування таких сигналів, дають змогу забезпечити високу швидкість обміну даними, а також гнучкість при виборі частотної сітки. Тому деякі концепції формування таких сигналів широко застосовуються, зокрема, у цифрових мережах стандарту cdma2000 [5].

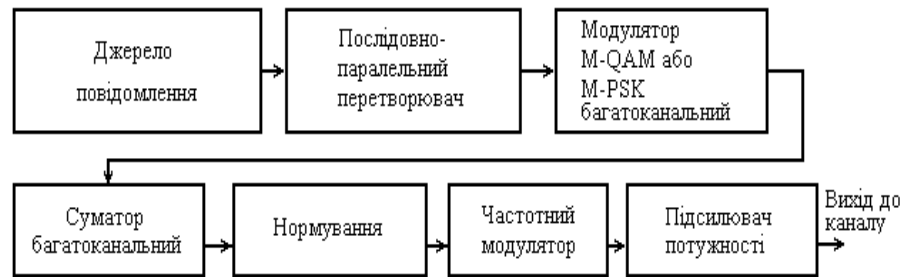


Рисунок 4 - Структурна схема формувача МС сигналів.

Формування FHSS сигналу [4,7] відбувається в спосіб коли для формування FM сигналу замість неперервної множини застосовується дискретний набір частот а також дискретний час [5]. Фактично, такий сигнал є послідовністю імпульсів із синусоїдним заповненням, частота якого змінюється згідно заздалегідь визначеного псевдовипадкового закону [4]. База таких сигналів визначається не тільки кількістю дискретних частот, але й кількістю переходів – "стрибків" частоти протягом символного інтервалу, тобто кількістю дискрет часу. Таким чином, формування FHSS сигналів потребує значно (у \sqrt{B} разів, за однакової кількості частотних каналів та переходів) меншої кількості частотних каналів, що обумовлює можливість широкого практичного застосування. Перевагою FHSS сигналів є слабка чутливість до частотно-селективних завмирань. Основним недоліком є високі вимоги, що ставляться до якості функціонування синтезаторів частот стосовно стабільності початкових фаз [5], що значно ускладнює апаратну реалізацію, або зумовлює використання менш ефективного некогерентного оброблення. Такі сигнали знаходять широке застосування в бездротових розподілених системах діагностики. Структури формувача та пристрою оброблення FHSS сигналів [4] подані на рис. 5 та рис. 6 відповідно.

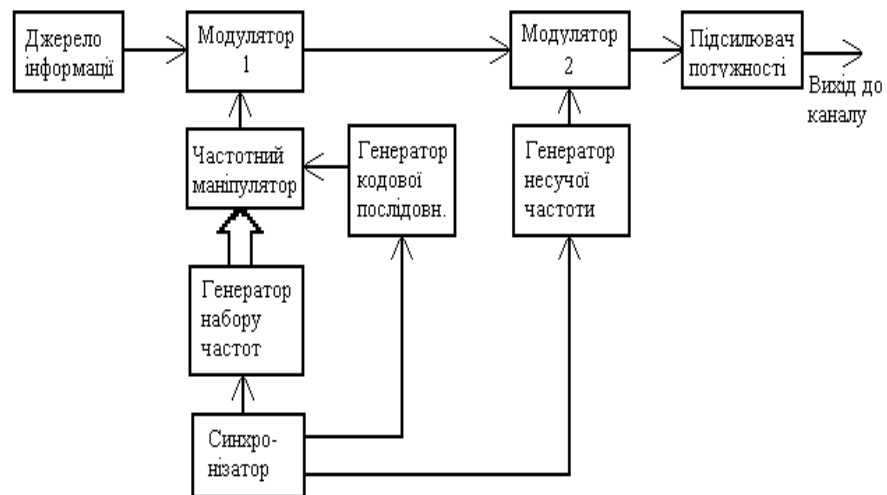


Рисунок 5 - Структурна схема формувача FHSS сигналів

Формування DSSS сигналів [4,8] ґрунтується на використанні, як правило, двійкового, розширюючого спектр сигналу – псевдовипадкової послідовності, з подальшою маніпуляцією (переважно, фазовою) синусоїдного коливання. Розширення спектру здійснюється шляхом заміни символів повідомлення псевдовипадковими послідовностями (множенням сигналу повідомлення на

розширюючий сигнал), що складаються з певної кількості елементів (чипів). Отже, розширення спектру, фактично, є наслідком штучного збільшення швидкості, за допомогою сигналу, що розширює спектр. База сигналу визначається кількістю елементарних сигналів, що відповідають одному інформаційному символу. У якості псевдовипадкових послідовностей найчастіше використовуються послідовності Баркера [9], одно- та багаторівневі M-послідовності [10] та інші псевдовипадкові послідовності.

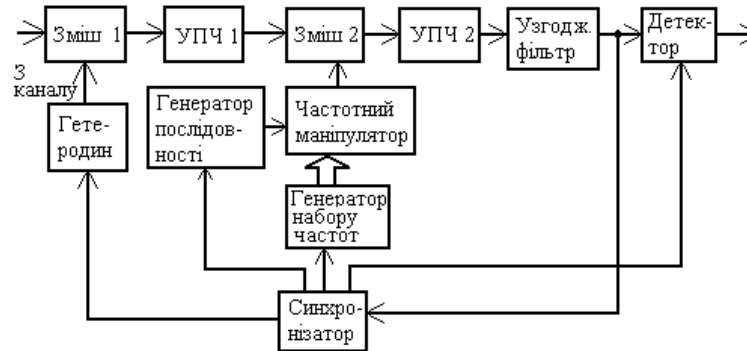


Рисунок 6 - Структура оброблення широкосмугових сигналів за методом FHSS

Структурні схеми формувача та пристрою оброблення таких сигналів [4] наведені на рис. 7 та рис. 8 відповідно.

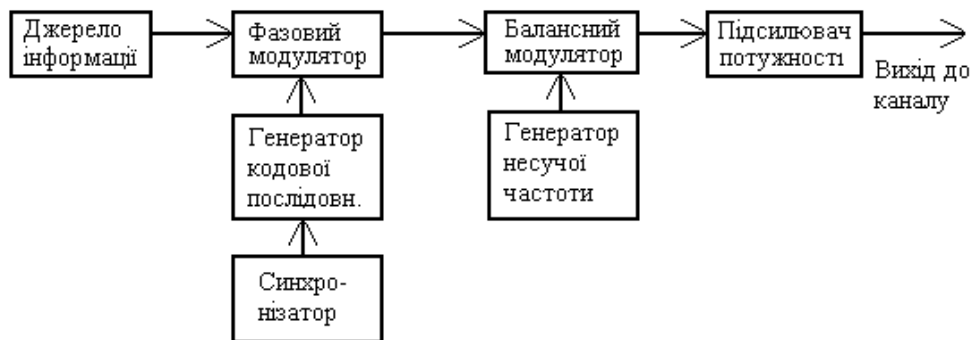


Рисунок 7 - Структурна схема формувача DSSS сигналів

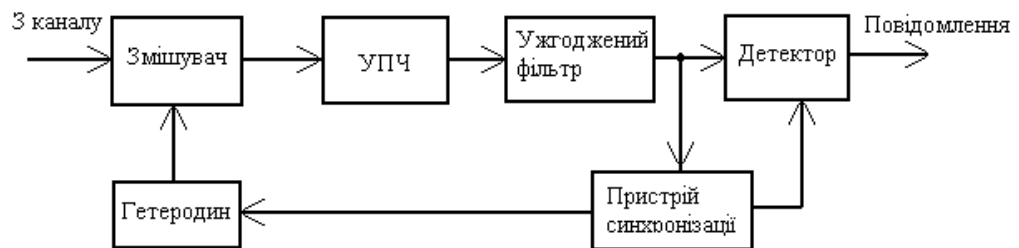


Рисунок 8 - Структурна схема пристрою оброблення DSSS сигналів

Сформовані у такий спосіб сигнали широко застосовуються як у цифровому рухомому телефонному зв'язку [11] стандарту IS-95, так і у бездротових комп'ютерних системах та мережах, зокрема таких, що регламентуються стандартами IEEE-802.11b та IEEE-802.11g.

Формування ТН сигналів відбувається шляхом поділу часового інтервалу заданої тривалості на декілька часових вікон (Time Slot), і в такому випадку, інформаційне повідомлення представляється імпульсами, що знаходяться у різних часових точках, що відповідає концепції IMT-TC [5]. Для таких сигналів нескладною є організація процедури кодового розділення при множинному доступі до середовища, яка відбувається в спосіб Time Division CDMA [5].

Використання таких сигналів забезпечує гнучкість при виборі каналних сигналів, проте для оптимального оброблення потрібні значні обчислювальні ресурси.

Формування багаторівневих MLDS сигналів відрізняється тим, що при маніпуляції змінною ознакою є не тільки фаза результуючого сигналу - носія а й амплітуда. Такий підхід дозволяє значно збільшити швидкість обміну даними, проте оброблення таких сигналів у нестационарних каналах, до числа яких відноситься і радіоканал, ускладнений. Тому, застосування таких сигналів є доцільним у кабельних системах, волоконно-оптичних і т. д. [5]. В разі застосування методу прямої послідовності в комплексі з квадратурною амплітудною маніпуляцією такі сигнали називають DSSS-QAM у відповідності до типу маніпуляції та способу розширення спектру. Прикладом реалізації такого способу формування є радіомодем фірми «WaveAccess», швидкість обміну даними у якому складає 2,2 Мбіт/с. Використання MLDS з вищими швидкостями забезпечує обмін даними на відстань, яка не перевищує, як правило, 100 м [15].

Формування надширокосмугових UWB сигналів відбувається шляхом формування коротких (тривалістю порядку 10^{-9} с і менше) імпульсів несинусоїдної форми (можливо, з високочастотним синусоїдним заповненням). У цьому випадку, в основу розширення спектру покладено безпосередньо фізичні властивості часової форми несинусоїдних сигналів - носіїв, а відповідно, й їх спектральний склад [13-19]. Розширюючим сигналом при такому способі слід вважати саму форму імпульсів. Прикладом використання таких сигналів є бездротові мережі, що описуються стандартами IEEE 802.15. Частотний діапазон від 3,1 до 10,6 ГГц, швидкість 480 Мбіт/с при відстані до 3 м. Розрізняють дві концепції формування сигналів у таких мережах. У одній з них (Multi Band OFDM) весь діапазон поділяється на ділянки шириною 528 МГц, в кожному з яких формуються незалежні бінарні потоки з подальшим рознесенням по ортогональних несучих. Інша (DS-UWB) полягає у використанні усього діапазону як єдиного цілого, що забезпечує збільшення швидкості до 1 Гбіт/с при тій самій відстані. На даний час стандартизована для комерційного використання тільки перша концепція. Структурна схема формувача таких сигналів подана на рис. 9.



Рисунок 9 - Структурна схема формувача MultiBand OFDM UWB сигналів

Поєднання повідомлення з розширюючим сигналом відбувається в спосіб коли інформаційному символу ставиться у відповідність фаза, частота, амплітуда чи кодова комбінація послідовності таких коротких імпульсів. Ці параметри, в свою чергу, можуть описуватись, в тому числі, і згідно псевдовипадкових послідовностей, що забезпечує кодове розділення абонентів, і крім того приводить до подальшого розширення спектру.

Крім використання імпульсних негармонійних сигналів існує можливість в якості розширюючого сигналу використовувати шумоподібний або шумовий сигнал, у вигляді реалізації неперервного або дискретного з достатньо великою кількістю станів, псевдовипадкового або повністю випадкового процесу. Фактично, йдеться про багаторівневі сигнали, кількість рівнів яких є значною або взагалі про неперервний сигнал. Зокрема, відомі методи, у яких неперервний сигнал формується у коливальних системах з нелінійним дисипативним та реактивним зворотнім зв'язком і базується на використанні явищ динамічного

(детермінованого) хаосу [20-22]. Суть методу полягає в тому, що хаотичні коливання використовуються для обміну інформаційними повідомленнями між нелінійною динамічною (детермінованою) системою, що виконує роль формувача, і нелінійною динамічною системою, яка виконує функцію пристрою оброблення. Формувач включає в себе маніпулятор і кільцевий генератор хаотичних коливань. Формування інформаційного сигналу здійснюється шляхом дискретної зміни одного з параметрів генератора. Оброблення такого сигналу здійснюється пристроєм, основу якого складає такий самий генератор, але з розімкнутим колом зворотного зв'язку. Такий підхід дозволяє синхронізувати хаотичні коливання нелінійної автоколивальної системи у пристрої оброблення із оброблюваним сигналом (при його наявності), що фіксується як факт приймання заздалегідь очікуваного сигналу. Згаданий спосіб передбачає детермінованість хаотичних коливань та необхідність зберігання на боці оброблення форми сигналу у вигляді параметрів нелінійної автоколивальної системи. Практична реалізація пристроїв на основі цього методу суттєво ускладнена необхідністю забезпечення повторюваності апаратної частини при застосуванні аналогового формування неперервних сигналів. Для спрощення апаратної частини, можливе квантування хаотичних коливань, зокрема, за допомогою АЦП. Таке оброблення перетворює неперервний сигнал у двійкову послідовність. В подальшому таку псевдовипадкову послідовність можна використовувати в комплексі з одним з наведених вище способів формування у якості розширюючого сигналу. Зокрема, для способу DSSS, добуток цієї послідовності з сигналом повідомлення можна подавати на вхід фазового маніпулятора. Структурні схеми формувача та пристрою оброблення таких сигналів подані на рис. 10 [21].

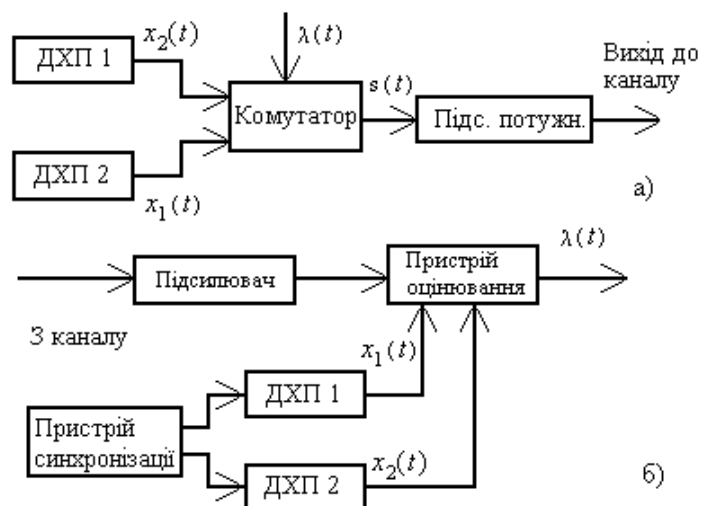


Рисунок 10 - Структури формування та оброблення хаотичних сигналів

Відомий метод формування та оброблення сигналів за допомогою процедури рандомізації, тобто перестановки відліків сигналу згідно визначеного закону [23]. Проте, такий підхід передбачає розрахунок взаємкореляційних функцій, а отже, і зберігання еталонів форм оброблюваних сигналів.

Поширеним є застосування поєднань наведених вище способів формування широкосмугових сигналів, зокрема, комбінація DSSS та FHSS утворює дискретні складові частотні сигнали у яких окремі групи елементів DSSS формуються на різних частотах [23], тобто в процесі передавання DSSS змінюється значення несучої частоти. На частоті, що змінюється можливе також формування і FHSS або FSK сигналів, проте принципових відмінностей показників від простих FHSS сигналів немає [4]. Розрізняють сигнали із швидким переналаштуванням частот (Fast Frequency Hopping, FFH) та сигнали з повільним переналаштуванням (Slow Frequency Hopping, SFH). В першому випадку тривалість часу між переходами частоти менша від тривалості символного інтервалу, в другому, навпаки [24].

Слід зауважити, що деякі традиційні типи маніпуляцій, зокрема, FSK, а також імпульсні типи модуляції, наприклад PAM, PPM, можуть формувати сигнали спектру яких ширше від спектру сигналу повідомлення, проте до широкосмугових такі сигнали відносити не прийнято [6].

На відміну від методів із застосуванням детермінованих сигналів, що розширюють спектр, є можливість використовувати також повністю випадкові сигнали. Один з можливих варіантів реалізації такого методу є передавання еталону сигналу, що розширює спектр окремо, за допомогою паралельного, або того самого але в інший момент часу, каналу (Transmitted Reference, TR), з подальшим кореляційним обробленням з інформаційним сигналом. Проте, такий підхід потребує наявності ще одного каналу, або витрат часу для передавання еталону розширюючого сигналу.

З наведеного огляду можна побачити, що реалізація методів є задачею значної складності [25,26]. Традиційно, реалізують оброблення сигналів, що базується на кореляційній методології, тобто на визначенні міри подібності оброблюваних сигналів з еталонами, що зберігаються в пам'яті, що і викликає підвищену складність. Відомий підхід [27] коли більшість операцій реалізується програмним шляхом при спрощенні апаратного забезпечення. Сформовані такими засобами сигнали, як правило, є псевдовипадковими. Порівняння найбільш поширених практичних реалізацій бездротових комунікаційних технологій на основі широкосмугових сигналів в розподілених системах діагностики, які не потребують ліцензування використання радіочастот або послуг сторонніх організацій, з погляду відстані та швидкості обміну даними дозволяє побачити, добре розроблені та поширені технології забезпечують обмін даними на відстані від 3 до 1000м зі швидкостями близько від 10^5 до 10^9 біт/с. Проте, для побудови розподілених систем промислового призначення важливим є збільшення відстані до одиниць або десятків кілометрів в умовах дії інтенсивних завад техногенного походження, що можливе при стабільній працездатності за низьких відношень сигнал/завада. В той же час, вимоги щодо швидкості обміну даними, як правило, можуть бути знижені до величин від 10^2 до 10^3 біт/с. Отже, є необхідність в розробці комунікаційних технологій для задоволення таких вимог при одночасному суттєвому зменшенні складності апаратної та програмної реалізації засобів обміну даними.

Висновки

Таким чином, встановлено, що існуючі методи формування та оброблення широкосмугових сигналів характеризуються значною складністю реалізації, а, отже, існує необхідність в розробленні завадостійких методів, більш простих з погляду апаратної та програмної реалізації.

Перспективи подальших досліджень

Основними напрямками подальшого дослідження є розробка методів формування широкосмугових сигналів на основі випадкових процесів з керованими ймовірнісними характеристиками.

Література

1. Спортак М. Компьютерные сети и сетевые технологии: Пер. с англ./ Спортак М. – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2005. – 720 с.
2. Петрович Н. Т. Системы связи с шумоподобными сигналами / Петрович Н. Т., Размахнин М. К. – Советское Радио, 1965. – 232 с.
3. Петрович Н. Т. Широкополосные каналы связи с шумоподобными сигналами / Петрович Н. Т., Размахнин М. К. – М: ВЗЭИС, 1965.
4. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л. Е. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
5. Дубровский В. Синхронное кодовое разделение: технология будущего / В. Дубровский. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.radioradar.net/articles/scientific_technical/kod_razd.html
6. Прокис Дж. Цифровая связь / Прокис Дж.: Пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 598 с.

7. Stark W. E. Coding for Frequency-Hopped Spread-Spectrum Communication with Partial-Band Interference: Part I. Capacity and Cutoff Rate. / Stark W. E. // IEEE Trans. Commun., vol. COM33, n. 10, October, 1985, PP. 1036 – 1044.
8. Geraniotis E., Pursley M. B. Error Probabilities for Direct – Sequence Spread – Spectrum Multiple- Access Communications: Part I. Upper and Lower Bounds. / Geraniotis E., Pursley M. B. // IEEE Trans. Commun., vol. COM30, n. 5, May, 1982, PP. 985-995.
9. Barker R. H. Group Synchronizing of Binary Digital Systems / Barker R. H. // Communication theory. Ed. by W. Jackson. – London, 1953. – PP. 273 – 287.
10. Іщеряков С. М. / Структурні властивості ключів багаторівневих М-последовностей / Іщеряков С. М. Полянчич А. Я. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – Частина 1. – Том 2. – Хмельницький, 2005. – С. 65 – 68.
11. Padovani R. Reverse Link Performance of IS-95 Based Cellular Systems / Padovani R. // IEEE Personal Communications, Third Quarter, 1994. – P. 28 – 34.
12. Боровков К. В. Перспективные способы модуляции в широкополосных системах передачи данных / Боровков К. В., Малыгин И. – М.: Наука, 1999. – 28 с.
13. Revisions of part 15 of commission's rules regarding Ultra Wideband transmission systems. First report and order. FCC 02-48 – Federal Communications Commission, 2002.
14. FCC 02-48 First Report and Order in the Matter of Revision of Part 15 of the Commissions Rules. Regarding Ultra-wideband Transmission systems, adopted Feb. 14, 2002.
15. Immoreev I. J. Features of Ultra-Wideband Signals Radiation / Immoreev I. J., Synyavyn A. N. – Baltimore, USA: UWBST'02, 2002.
16. Шахнович И. Сверхширокополосная связь. Второе рождение ? / Шахнович И. // Электроника: НТБ. – 2001. – № 4. – С. 8 – 15.
17. Бунин С. Назад к Герцу ? / Бунин С. // Радио. – 1990. – №7. – М. : Патриот, 1990. – С. 17 – 20.
18. Heiskala J. OFDM Wireless LANS: A Theoretical and Practical Guide / J. Heiskala, J. Terry. – Indianapolis: Sams Publishing, 2002.
19. Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Methods of measurement for private mobile radio equipment. TR100027 – ETSI, 1999.
20. Дмитриев А. С. Стохастические колебания в радиофизике и электронике / Дмитриев А. С., Кислов В. Я. – М: Наука, 1989. – 280 с.
21. Дубровский В. Анализ возможностей применения хаоса в современных системах связи [Электронный ресурс] / В. Дубровский . – Режим доступа: http://www.radioradar.net/articles/scientific_technical/haos2.html
22. Бельский Ю. Л. Передача информации с помощью детерминированного хаоса / Бельский Ю. Л., Дмитриев А. С. // Радиотехника и электроника. – 1993. – Т. 38. – № 7. – С. 1310 – 1315.
23. Geraniotis E. Noncoherent Hybrid DS-SFH Spread-Spectrum Multiple-Access Communications / Geraniotis E. IEEE Trans. Commun., vol. COM34, n. 9, September, 1986, PP. 862 – 872.
24. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Скляр Бернард. – Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1004 с. : ил. – Парал. тит. англ.
25. Малыгин И. В. Наборы микросхем для построения устройств Spread Spectrum [Электронный ресурс] / Малыгин И. В. – Режим доступа: <http://cxem.net/sprav/sprav110.php>
26. Sclar B. Defining, Designing and Evaluating Digital Communications System / Sclar B. // IEEE Communications Magazine. – Nov. 1993. – PP. 92 – 101.
27. Козленко М. І. Високонадійні низькоенергетичні перетворювачі цифрових даних для інформаційних мереж автоматизованих систем / Микола Козленко // Матеріали 2-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Управління енерговикористанням", 3 – 6 червня 1997 р. – Львів, 1997. – С. 119 – 120.
28. Пат. 92915 Україна, МПК(2009) H04B 1/69. Спосіб передавання та приймання інформації на основі широкосмугових сигналів, що формуються процесами зі змінними імовірнісними характеристиками / Мельничук С. І., Козленко М. І. (Україна). – заявка № а 2008 01274; заявл. 01.02.2008; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24.

Козленко Микола Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної та програмної інженерії, Приватний вищий навчальний заклад "Галицька академія"

The characteristics of the forming and processing spread spectrum signals methods have been evaluated. Traditional methods have been proved the most complicated for realization. The methods based on random processes with variable probable characteristics are perspective.

Проведено исследование характеристик существующих методов формирования и обработки широкополосных сигналов. Установлено, что существующие методы характеризуются повышенной сложностью реализации. Перспективным есть формирование сигналов на основе случайных процессов с управляемыми вероятностными характеристиками.