

М. І. Козленко, канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерної та програмної інженерії

Приватний вищий навчальний заклад "Галицька академія", м. Івано-Франківськ, Україна

ЯКІСТЬ ЦИФРОВОЇ ДЕМОДУЛЯЦІЇ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ З КЕРОВАНОЮ ЕНТРОПІЄЮ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

Проведено дослідження залежності відношення сигнал/завада на виході демодулятора від такого відношення на його вході при цифровому опрацюванні широкосмугових сигналів з керованою ентропією в розподілених комп'ютерних та телекомунікаційних системах. Отримано кількісні показники завадостійкості для сигналів з базою 17 дБ.

Ключові слова: широкосмуговий сигнал, керована ентропія, комп'ютерна система.

Вступ. Одним з найгостріших питань надійного функціонування розподілених телекомунікаційних і комп'ютерних систем та мереж загального та спеціального призначення є стабільність та якість обміну даними. Як правило, завадозахищеність передачі даних в сучасних умовах забезпечується використанням широкосмугових сигналів [1, 2]. Традиційні методи формування широкосмугових сигналів мають низку недоліків, зокрема, нерівномірність розподілу енергії сигналів за частотами [3], суттєва апаратна та алгоритмічна складність та інші, що не дозволяє повною мірою використати їх переваги. Отже, розроблення нових методів формування та опрацювання широкосмугових сигналів є актуальною науковою задачею.

Постановка проблеми в цілому. Необхідність у якісному та швидкому обміні даними у розподілених телекомунікаційних і комп'ютерних системах та мережах зумовлює практичне завдання по створенню простих, надійних та недорогих приймально-передавальних каналоутворюючих пристроїв. Результативне вирішення цього завдання можливе за умови успішного розв'язання наукових проблем створення та розвитку нових ефективних методів передавання та приймання інформації в таких системах, зокрема, способів формування та опрацювання широкосмугових сигналів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Започаткування розв'язання проблеми шляхом використання широкосмугових сигналів з змінною (керованою) ентропією міститься у [4, 5]. Запропонований метод формування та опрацювання широкосмугових сигналів, що базується на використанні у якості носія широкосмугового шумоподібного випадкового сигналу з близьким до нормального розподілом амплітуд і рівномірною спектральною щільністю енергії, значення ентропії якого поставлені у відповідність до символів інформаційного повідомлення, що передається. На даний час проведено дослідження впливу завад, що діють у каналі, на такі сигнали [6]. Оцінена рівномірність розподілу енергії таких сигналів за частотами [3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Раніше невирішеною частиною загальної проблеми є отримання кількісних показників завадостійкості методу, саме цьому і присвячена дана робота.

Формулювання цілей даної роботи. Отже, об'єктом дослідження є завадостійкість методу у вигляді залежності відношення сигнал/завада на виході демодулятора від

такого відношення на його вході, а отримання кількісних показників і їх порівняння з класичними підходами основною метою роботи.

Викладення основного матеріалу досліджень. Одним з основних показників завадостійкості обміну даними, що знайшов поширення, є залежність відношення сигнал/завада за потужністю $S_{вих}/N_{вих}$ на виході демодулятора в точці ухвалення рішень (переддетекторній точці [1]) від такого відношення на вході пристрою оброблення S/N [2] (усі потужності вважаються такими, що виділяються на опорі величиною 1 Ом).

Дослідження цього показнику проведено для випадку опрацювання повідомлення у вигляді послідовності інформаційних символів, що змінюються (не повторюються), і яке представлено сигналом у вигляді прямокутних імпульсів з однаковими середніми часовим інтервалами одного та іншого стану двійкового інформаційного символу. Процес формування сигналу обрано таким чином, що одному стану двійкового інформаційного символу повідомлення відповідає сформований сигнал у вигляді реалізації випадкового процесу з характеристиками наближеними до фільтрованого "білого" шуму, а саме, з нормальним ймовірнісним розподілом амплітудних значень, рівномірною спектральною щільністю енергії, та певним сталим рівнем ентропії розподілу амплітудних значень. Іншому стану двійкового символу повідомлення відповідає пасивна пауза з нульовою ентропією. У якості відношення сигнал/завада $S_{вих}/N_{вих}$ в точці прийняття рішень, для дискретних повідомлень, зручно використати величину (1), яка не представляє це відношення для одного $s_1(t)$ чи іншого $s_2(t)$ сигналів, що переносять двійкові стани інформаційного повідомлення, а показує характеристику різниці сигналів в цій точці [1]:

$$\frac{S_{вих}}{N_{вих}} = \frac{(a_1 - a_2)^2}{\sigma_0^2}, \quad (1)$$

де a_1 - бажана сигнальна компонента для одного стану двійкового символу повідомлення на виході демодулятора
 a_2 - бажана сигнальна компонента для другого стану двійкового символу повідомлення на виході демодулятора
 σ_0 - середній квадратичний відхил (СКВ) завади на виході демодулятора

Потужність сигналу в точці прийняття рішень є квадрат різниці бажаних сигнальних компонент, а потужність завади – квадрат її СКВ (вважається, що процес центрований). Для даного методу, різницею значень сигнальних компонент є різниця значень ентропії H_1 суміші сигналу $s_1(t)$ з завадою $n(t)$ каналу та значення ентропії H_2 завади каналу ($s_2(t)$ – пасивна пауза). Потужність завади на виході є СКВ оцінки ентропії і визначається випадковою складовою похибки статистичного оцінювання ентропії [7].

Дане дослідження проведено для розміру вибірки 100 відліків (база сигналів 17 дБ, швидкість 480 біт/с), оскільки відомо [8], що саме такий розмір вибірки є оптимальним для даного способу. Дослідження проведено шляхом моделювання в обчислювальному експерименті в середовищі MATLAB 6.5.

На рис. 1 представлена залежність СКВ оцінок ентропії від розміру вибірки в межах до 4000 відліків. Величини s_{01} та s_{02} є оцінками СКВ оцінок ентропії при опрацюванні відповідно сигналів $s_1(t)$ та $s_2(t)$. На рис. 2 така залежність більш детально подана в межах розмірів від 50 до 150. Величина s_0 на рис. 2 є максимумом з поміж s_{01} та s_{02} і

характеризує ефективне значення завади на виході демодулятора. Оцінки ентропії $\hat{H}_{r(t)}$ вхідного сигналу $r(t)$ обчислені за наступним виразом:

$$\hat{H}_{r(t)} = \log_2 \sqrt{2\pi e s_{r(t)}^2}, \quad (2)$$

де $s_{r(t)}$ - оцінка СКВ сигналу на вході демодулятора.

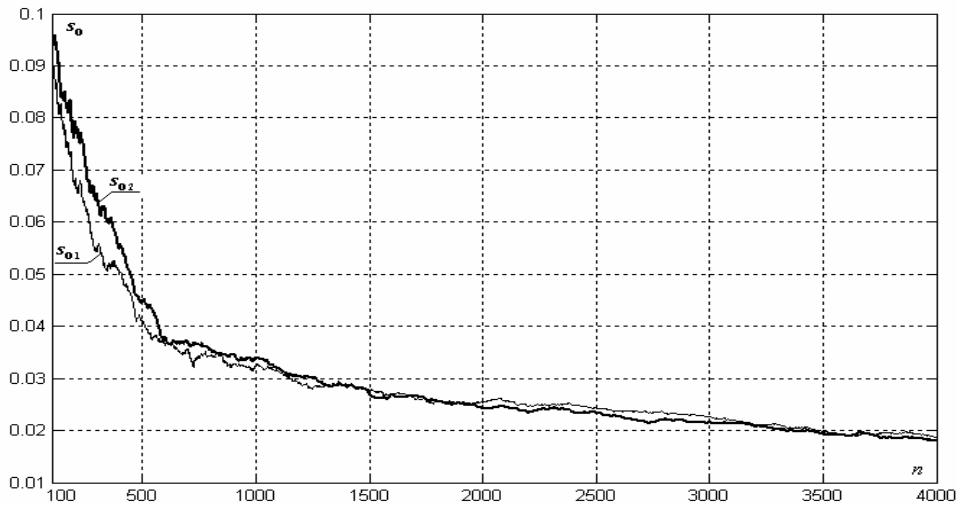


Рис. 1. Залежність s_{01} та s_{02} від розміру вибірки n

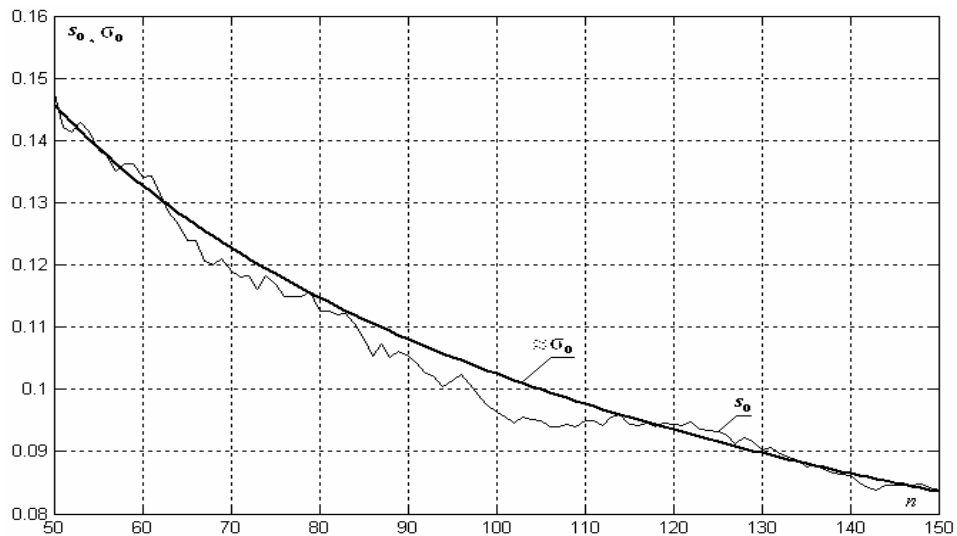


Рис. 2. СКВ завади на виході блоку оцінювання ентропії в межах розмірів 50 – 150 відліків

На рис 2 також показана залежність величини СКВ завади на виході демодулятора σ_0 від розміру вибірки обчислена за наступним виразом [8]:

$$\sigma_0 \approx \frac{1,02}{\sqrt{n-1}}. \quad (3)$$

Можна побачити, що результати моделювання практично збігаються з отриманими аналітично. СКВ завади в точці прийняття рішень в таких умовах (означена кількість відліків на символний інтервал) складає величину близько 0,1.

На основі проведених досліджень і отриманих даних побудовано графік завадостійкості в межах від мінус 20 до +20 дБ вхідного відношення, який подано на рис. 3. Для порівняння, також зображено криву завадостійкості оптимального когерентного опрацювання ортогональних сигналів (зокрема, це характерно для складового частотноманіпульованого FSK-FHSS широкопasmового сигналу зі стрибкоподібною зміною частоти). Ця крива отримана виходячи з наступного. Відношення сигнал/завада (1) за оптимального оброблення складає величину $2E_d/N_0$, де E_d – енергія різницевого сигналу на вході пристрою оброблення, яка визначається за наступним виразом [1]:

$$E_d = \int_0^T (s_1(t) - s_2(t))^2 dt. \quad (4)$$

Величина E_d для ортогональних сигналів складає величину $2E_b$ [1]. У свою чергу, зв'язок між величинами E_b/N_0 та S/N визначається згідно наступного виразу:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \cdot \frac{W}{R}, \quad (5)$$

де S – середня потужність сигналу на вході демодулятора,
 N – середня потужність завади на вході демодулятора,
 W – ширина частотного спектру,
 R – швидкість обміну даними.

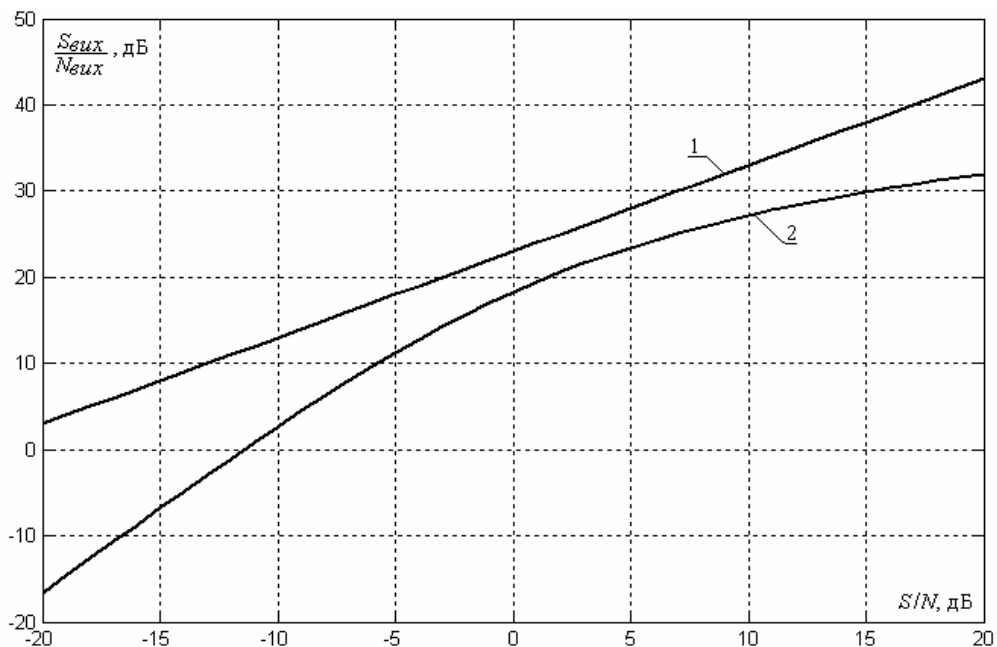


Рис. 3. Завадостійкість: 1 - оптимальне оброблення ортогональних сигналів, 2 – завадостійкість розробленого методу ($W/R = 17$ дБ)

Основні результати досліджень. Як можна побачити з рис. 4, завадостійкість даного методу за відношеннями сигнал/завада наближається до завадостійкості оптимального кореляційного оброблення ортогональних сигналів. Зокрема, в діапазоні відношення S/N від 0 до 5 дБ, з різницею від $\approx 4,5$ до 5 дБ.

Висновки. Завадостійкість методу обміну даними ширококутовими сигналами з керованою ентропією є нижчою від теоретичної завадостійкості оптимального кореляційного опрацювання ортогональних сигналів, проте реалізація апаратної частини приймально-передавального обладнання є значно простішою.

Перспективи подальших досліджень. Основними напрямками подальшого дослідження є вдосконалення процедури оцінювання ентропії, з метою мінімізації помилки, пошук типів сигналів, які забезпечують вищу ефективність демодуляції, розробка ефективних способів демодуляції, реалізація способів синхронізації тощо.

Список використаних джерел

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Скляр Бернанд. – Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1004 с. : ил. – Парал. тит. англ.
2. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л. Е. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Козленко М. І. Дослідження ефективності використання частотного ресурсу при формуванні ширококутових сигналів / Козленко М. І. // Наукові вісті. Приватний вищий навчальний заклад "Галицька академія". – 2010. – № 1(17). – Івано-Франківськ: Приватний вищий навчальний заклад "Галицька академія", 2010. – С. 32 – 37.
4. Пат. 81017 Україна, МПК(2006) H04B 1/69. Спосіб передавання та приймання інформації / Мельничук С. І., Козленко М. І. (Україна). – заявка № а 2005 08893; заявл. 19.09.2005; опубл. 26.11.2007, Бюл. № 19.
5. Козленко М. І. Аналіз сучасного рівня розробки статистичних методів обміну даними на основі шумоподібних сигналів / Козленко М. І., Мельничук С. І. // Наукові вісті Інституту менеджменту та економіки "Галицька академія". – 2006. – № 2(10). – Івано-Франківськ: Інститут менеджменту та економіки "Галицька академія", 2006. – С. 33 – 38.
6. Мельничук С. І. Дослідження статистичних характеристик випадкових сигналів провідникових та радіоканалів обміну даними розподілених систем контролю / Мельничук С. І., Козленко М. І. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – Частина 1. – Том 2. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – С. 62 – 65.
7. Козленко М. І. Склад похибки статистичного оцінювання ентропії при демодуляції сигналів в комп'ютерних системах / Козленко М. І. // Тези доповідей Третьої Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія", м. Вінниця, 29-31 травня 2012 р. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – С. 258-260.
8. Козленко М. І. Метод та засоби формування і оброблення ширококутових сигналів зі змінною ентропією в розподілених комп'ютерних системах: Автореф. дис. ... кандидата технічних наук: 05.13.05 / Козленко М. І.; Національний університет "Львівська політехніка". – Захист 27.03.2009. – Львів, 2008. – 20 с.