

Артем Олексійович Москаленко (кандидат технічних наук)¹

Сергій Олександрович Івко (кандидат технічних наук)²

Юрій Вікторович Глуховець (кандидат технічних наук, доцент)¹

Василь Володимирович Варич (кандидат технічних наук, доцент)¹

¹Полтавський інститут бізнесу ПВНЗ «Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая», Полтава, Україна

²Військовий коледж сержантського складу Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Полтава, Україна

ОБЧИСЛЮВАЛЬНА СКЛАДНІСТЬ АЛГОРИТМУ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ З АДАПТАЦІЄЮ ПО ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ДОСКОНАЛИХ ДВІЙКОВИХ МАТРИЦЬ

При розробці методів формування та кореляційної обробки сигналів перспективних засобів радіозв'язку, одним із пріоритетних завдань є забезпечення мінімальної складності кореляційної обробки сигналів на прийомі. В роботі запропоновано структуру пристрою кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. До складу пристрою кореляційної обробки входять: пристрої прямого та оберненого перетворення Кулі-Тьюкі, запам'ятовуючий пристрій, пристрої перемножування спектрів та вирішення. Розраховано сумарну обчислювальну складність алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Досліджено залежності обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць та алгоритму кореляційної обробки прямим перетворенням Фур'є від довжини кодової послідовності. За результатами дослідження встановлено, що при довжині кодової послідовності, більшій за вісім біт, обчислювальна складність алгоритму кореляційної обробки прямим перетворенням Фур'є більша за обчислювальну складність алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Розраховано виграш, що досягається в обсязі обчислень запропонованого алгоритму у порівнянні з алгоритмом кореляційної обробки прямим перетворенням Фур'є. Досліджено залежність виграшу, що досягається в обсязі обчислень, від довжини кодової послідовності, в результаті чого встановлено: виграш прямопропорційний довжині кодової послідовності і оберненопропорційний подвоєній сумі двійкового логарифму від довжини кодової послідовності та одиниці. При довжині кодової послідовності більше восьми біт виграш, що досягається в обсязі обчислень, більший за одиницю. Зменшення обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки сигналів на прийомі дозволяє зменшити маса-габаритні характеристики усієї системи, її вартість та енергоспоживання. Перспективами подальших розвідок є дослідження структурної та енергетичної скритності сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

Ключові слова: системи радіозв'язку спеціального призначення, кореляційна обробка сигналів, обчислювальна складність кореляційної обробки сигналів, перетворення Кулі-Тьюкі.

Вступ

Постановка проблеми. Одними із найважливіших характеристик сигналів перспективних систем радіозв'язку спеціального призначення є: перешкодостійкість, структурна та енергетична скритність, обчислювальна складність кореляційної обробки на прийомі.

Велика складність кореляційної обробки сигналів на прийомі потребує використання складних апаратних засобів обробки, що призводить до збільшення маса-габаритних характеристик усієї системи, збільшення її вартості та енергоспоживання. Проте, даний факт суперечить

вимогам до сучасних систем мобільного радіозв'язку спеціального призначення. Крім того процес розробки перспективних інтегрованих систем зв'язку, розвідки, збору і обробки інформації висуває жорсткі вимоги, що до максимального використання енергетичного потенціалу сигналів та досягнення потенційної перешкодозахищеності [1].

При розробці методів формування та кореляційної обробки сигналів перспективних засобів радіозв'язку, одним із пріоритетних завдань є забезпечення мінімальної складності кореляційної обробки сигналів на прийомі. Тому

тема дослідження є досить актуальною у наш час.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [2] запропоновано математичну модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Розглянуто основні принципи функціонування пристрою управління моделі формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Запропонована математична модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

В [3] розглянуті питання синтезу сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації, запропонований алгоритм їх кореляційної обробки, приведені правила формування сигналів адаптивної модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації та правила функціонування пристрою вирішення цифрового кореляційного приймача сигналів адаптивної CSSK-модуляції.

В роботі [4-5] проведено дослідження перешкодостійкості сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації та перешкодостійкості сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

В [6] запропоновано методику застосування сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації в перспективних радіоінтерфейсах. Розглянуто порядок оцінювання середовища розповсюдження радіохвиль та передавання і прийом сигналів управління; моделі формування та кореляційної обробки сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації.

Проте, в даних роботах не було досліджено обчислювальну складність кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

Мета статті. Враховуючи це, метою статті є дослідження обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

Виклад основного матеріалу дослідження

Алгоритм кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

В загальному випадку, процедуру кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць, можна представити у вигляді схеми (рис.1).



Рис. 1. Процедура кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць

В приймачі, суміш прийнятого сигналу і шуму та сигнали управління, після трактів попередньої обробки, надходять на вхід пристрою кореляційної обробки (рис. 1). У складі пристрою кореляційної обробки приймача можливо виділити наступні складові (рис. 1): пристрій прямого перетворення

Кулі-Тьюкі, запам'ятовуючий пристрій, пристрій перемноження спектрів, пристрій оберненого перетворення Кулі-Тьюкі, пристрій вирішення.

Узагальнений алгоритм кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових

матриць можна представити наступним чином:

1. Суміш, попередньо обробленого, прийнятого корисного сигналу і шуму надходить на вхід пристрою прямого перетворення Кулі-Тьюкі.

2. В пристрої прямого перетворення Кулі-Тьюкі здійснюється математична процедура отримання спектральних характеристик дискретних сигналів.

3. На входи пристрою перемножування спектрів надходять спектр суміші сигнал+шум та комплексно спряжений спектр опорної копії сигналу. Комплексно спряжений спектр опорної копії сигналу обрахований завчасно і зберігається у запам'ятовуючому пристрої.

4. З виходу пристрою перемножування добуток спектрів надходить на вхід пристрою оберненого перетворення Кулі-Тьюкі.

5. У пристрої оберненого перетворення Кулі-Тьюкі здійснюється математична процедура отримання кореляційної матриці в часовій області.

6. Кореляційна матриця та сигнали управління надходять на входи пристрою вирішення, в якому відбувається формування вихідного потоку інформаційних біт. Формування вихідного потоку інформаційних біт здійснюється у відповідності до алгоритму роботи пристрою вирішення, кореляційної матриці та сигналів управління.

Дослідження обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

Для розрахунку сумарної обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць, необхідно розрахувати обчислювальну складність алгоритмів роботи пристроїв, зображених на рис. 1:

- пристрій прямого перетворення Кулі-Тьюкі;
- запам'ятовуючий пристрій;
- пристрій перемножування спектрів;
- пристрій оберненого перетворення Кулі-Тьюкі;
- пристрій вирішення.

Тоді, сумарну обчислювальну складність алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць можна розрахувати наступним чином:

$$O(N) = O_{\text{ПППКТ}}(N) + O_{\text{ЗП}}(N) + O_{\text{ППС}}(N) + O_{\text{ПОПКТ}}(N) + O_{\text{ПВ}}(N)$$

де N – довжина кодової послідовності розширення спектру сигналу;

$O(N)$ – сумарна обчислювальна складність алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць;

$O_{\text{ПППКТ}}(N)$ – обчислювальна складність алгоритму роботи пристрою прямого перетворення Кулі-Тьюкі;

$O_{\text{ЗП}}(N)$ – обчислювальна складність алгоритму роботи запам'ятовуючого пристрою;

$O_{\text{ППС}}(N)$ – обчислювальна складність алгоритму роботи пристрою перемножування спектрів;

$O_{\text{ПОПКТ}}(N)$ – обчислювальна складність алгоритму роботи пристрою оберненого перетворення Кулі-Тьюкі;

$O_{\text{ПВ}}(N)$ – обчислювальна складність алгоритму роботи пристрою вирішення.

Для великої довжини послідовності розширення спектру сигналу, обчислювальності складністю пристрою вирішення можна знехтувати, оскільки в процесі його роботи здійснюється вибір форми вихідної послідовності інформаційних біт в залежності від завчасно прийнятих сигналів управління та положення максимуму обчисленої кореляційної матриці.

$$O_{\text{ПВ}}(N) = 0. \quad (1)$$

Обрахований завчасно комплексно спряжений спектр опорної копії сигналу зберігається у запам'ятовуючому пристрої. Тому, в процесі роботи пристрою кореляційної обробки, ніяких додаткових обчислень не здійснюється. Тому обчислювальну складність алгоритму роботи запам'ятовуючого пристрою не враховуємо. Тоді:

$$O_{\text{ЗП}}(N) = 0. \quad (2)$$

Обчислювальна складність алгоритму роботи пристрою прямого перетворення Кулі-Тьюкі розраховується наступним чином. За рахунок того, що кодова послідовність розширення спектру сигналу формується на основі досконалих двійкових матриць, для неї характерна властивість:

$$N = 2^n,$$

де n – степінь числа 2.

Таким чином, при застосування алгоритму прямого перетворення Кулі-Тьюкі в процесі кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць, досягається максимальний виграв в обчислювальній складності такої обробки, у порівнянні з прямим перетворенням Фур'є [7].

Для даних умов, обчислювальна складність алгоритму роботи пристрою прямого перетворення Кулі-Тьюкі складає:

$$O_{\text{ПППКТ}}(N) = N \log_2(N). \quad (3)$$

Обчислювальна складність алгоритму роботи пристрою оберненого перетворення Кулі-Тьюкі рівна обчислювальній складності алгоритму роботи пристрою прямого перетворення Кулі-Тьюкі (3):

$$O_{\text{ПОПКТ}}(N) = O_{\text{ПППКТ}}(N) = N \log_2(N). \quad (4)$$

Обчислювальна складність алгоритму роботи пристрою перемножування спектрів обраховується з міркування, що у пристрої здійснюється множення комплексних N -точкових спектрів (що еквівалентно множенню $2N$ чисел з плаваючою точкою), тобто:

$$O_{\text{ПІПС}}(N) = 2N. \quad (5)$$

Сумарна обчислювальна складність алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць, враховуючи (1-5), складе:

$$\begin{aligned} O(N) &= O_{\text{ПІПКТ}}(N) + O_{\text{ЗП}}(N) + O_{\text{ПІПС}}(N) + \\ &+ O_{\text{ПОПКТ}}(N) + O_{\text{ПВ}}(N) = \\ &= N \cdot \log_2(N) + 0 + 2 \cdot N + N \cdot \log_2(N) + 0 = \\ &= 2 \cdot N \cdot \log_2(N) + 2 \cdot N = 2 \cdot N \cdot (\log_2(N) + 1). \end{aligned}$$

Залежність сумарної обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки

сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць від довжини кодової послідовності представлено на рис. 2.

На рис. 2: графік 1 – залежність обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки прямим перетворенням Фур'є від довжини кодової послідовності; графік 2 – залежність обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць від довжини кодової послідовності.

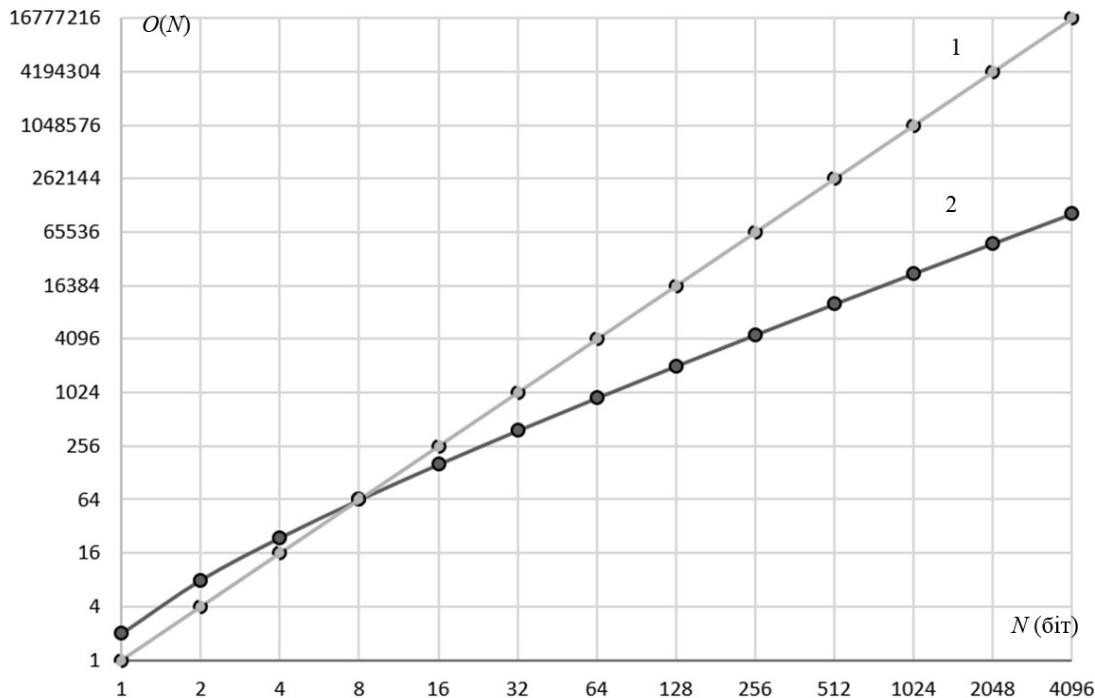


Рис. 2. Залежність сумарної обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць від довжини кодової послідовності

Як видно із рис. 2, при довжині кодової послідовності, меншій за 8 біт, обчислювальна складність алгоритму кореляційної обробки прямим перетворенням Фур'є менша за обчислювальну складність алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. При довжині кодової послідовності рівній 8 біт, обчислювальна складність алгоритму кореляційної обробки прямим перетворенням Фур'є рівна обчислювальній складності алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. При довжині кодової послідовності, більшій за 8 біт, обчислювальна складність алгоритму кореляційної обробки прямим перетворенням Фур'є більша за обчислювальну складність алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

Розрахуємо вираз, що досягається в обсязі обчислень. Вираз розраховується наступним чином:

$$G(N) = \frac{O(N)_1}{O(N)_2},$$

де $O(N)_1$ – обчислювальна складність алгоритму кореляційної обробки сигналів прямим перетворенням Фур'є;

$O(N)_2$ – сумарна обчислювальна складність алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

Обчислювальна складність алгоритму кореляційної обробки сигналів прямим перетворенням Фур'є складає:

$$O(N)_1 = N^2.$$

Тоді, вираз, що досягається в обсязі обчислень, буде складати:

$$G(N) = \frac{O(N)_1}{O(N)_2} = \frac{N^2}{2N(\log_2(N) + 1)} = \frac{N}{2(\log_2(N) + 1)}.$$

Таким чином, виграш прямопропорційний довжині кодової послідовності і оберненопропорційний подвоєній сумі двійкового логарифму від довжини кодової послідовності та одиниці.

Залежність виграшу, що досягається в обсязі обчислень, від довжини кодової послідовності розширення спектру сигналів представлено на рис. 3.

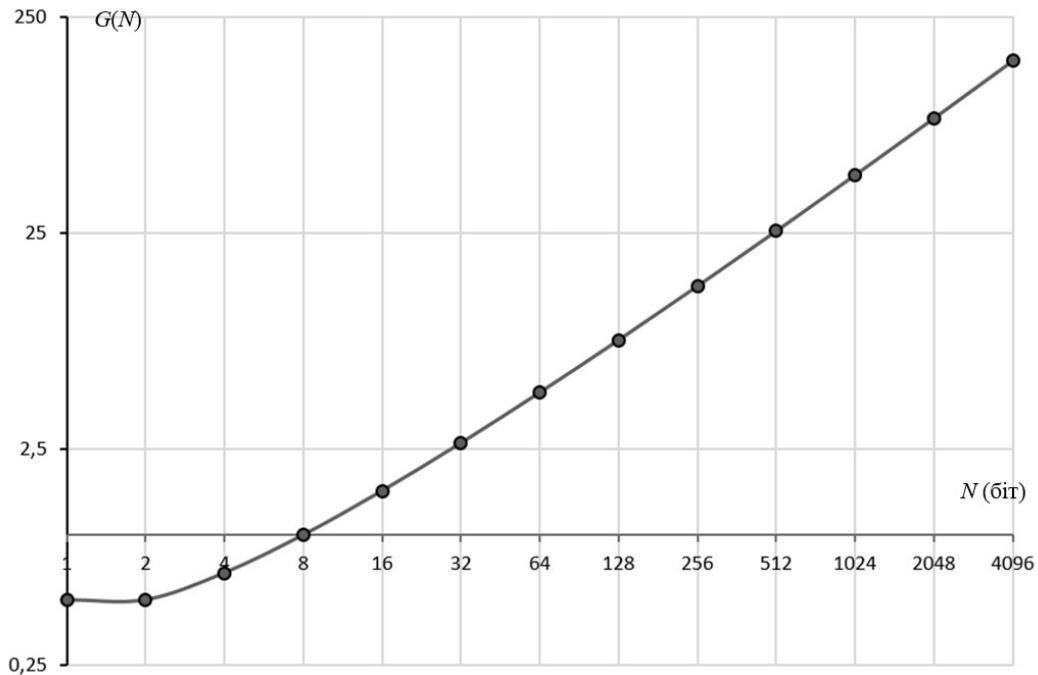


Рис. 3. Залежність виграшу, що досягається в обсязі обчислень, від довжини кодової послідовності

Як видно із рис. 3, виграш, що досягається в обсязі обчислень, рівний 1 при довжині кодової послідовності 8 біт. При збільшенні довжини кодової послідовності виграш зростає за законом $\frac{X}{(\log_2(X))}$. На практиці застосовуються досить

великі значення довжини кодової послідовності розширення спектру сигналів, тому і величина виграшу буде значною. Наприклад, при довжині кодової послідовності 1024 біт, виграш, що досягається в обсязі обчислень, рівний 46,5, а при довжині 2048 біт – 85,3.

Висновки й перспективи подальших досліджень

В роботі запропоновано структуру пристрою кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. У складі пристрою кореляційної обробки приймача можливо виділити наступні складові: пристрій прямого перетворення Кулі-Тьюкі, запам'ятовуючий пристрій, пристрій перемноження спектрів, пристрій оберненого перетворення Кулі-Тьюкі, пристрій вирішення.

Розраховано сумарну обчислювальну складність алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Досліджено залежність обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць та алгоритму кореляційної обробки

прямим перетворенням Фур'є від довжини кодової послідовності. За результатами дослідження встановлено, що при довжині кодової послідовності, більшій за 8 біт, обчислювальна складність алгоритму кореляційної обробки прямим перетворенням Фур'є більша за обчислювальну складність алгоритму кореляційної обробки сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

Розраховано виграш, що досягається в обсязі обчислень запропонованого алгоритму у порівнянні з алгоритмом кореляційної обробки прямим перетворенням Фур'є. Досліджено залежність виграшу, що досягається в обсязі обчислень, від довжини кодової послідовності, в результаті чого встановлено: при збільшенні довжини кодової послідовності виграш зростає за законом $\frac{X}{(\log_2(X))}$.

Отже, зменшення обчислювальної складності алгоритму кореляційної обробки сигналів на прийомі дозволяє зменшити маса-габаритні характеристики усієї системи, її вартість та енергоспоживання.

Перспективами подальших розвідок є дослідження структурної та енергетичної скритності сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

Література

1. **Зінченко А.О.** Удосконалена модель багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку і радіолокації на основі мультикористувальницького методу МІМО / А.О. Зінченко, В.І. Слюсар // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – № 1. – С. 55-61. 2. **Москаленко А.О.** Математична модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць / А.О. Москаленко, Г.В. Сокол, Ю.В. Глуховець, В.В. Варич // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: – 2020. – № 1(59). – С. 147-150. 3. **Москаленко А.О.** Перешкодостійкість сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації / А.О. Москаленко, Г.В. Сокол, Н.В. Рвачова, Т.В. Буряк, Ю.В. Глуховець, В.В. Варич // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: – 2018. – № 3(49). – С. 175-180. 4. **Москаленко А.О.** Математична модель дискретного каналу зв'язку з модуляцією циклічним зсувом коду в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль / А.О. Москаленко, С.О. Івко, О.О. Лаврут // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2012. – № 2(8). – С. 79-81. 5. **Москаленко А.О.** Перешкодостійкість сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль / А.О. Москаленко, С.В. Волошко, І.І. Слюсарь // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2015. – № 2(23). – С. 94-98. 6. **Москаленко А.О.** Методика застосування сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації в перспективних радіоінтерфейсах / А.О. Москаленко, Ю.В. Глуховець, В.В. Варич, С.О. Івко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2019. – № 3(36). – С. 35-39. 7. **Блейхут Р.** Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов / Р. Блейхут; пер. с англ. И.И. Грушко. – М.: Мир, 1989. – 448 с.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЛОЖНОСТЬ АЛГОРИТМА КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С АДАПТАЦИЕЙ ПО СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕННЫХ ДВОИЧНЫХ МАТРИЦ

Артем Алексеевич Москаленко (кандидат технических наук)¹

Сергей Александрович Ивко (кандидат технических наук)²

Юрий Викторович Глуховец (кандидат технических наук, доцент)¹

Василий Владимирович Варыч (кандидат технических наук, доцент)¹

¹ *Полтавский институт бизнеса ПВУЗ «Международный научно-технический университет имени академика Юрия Бугая», Полтава, Украина*

² *Военный колледж сержантского состава Военного института телекоммуникаций и информатизации имени Героев Крут, Полтава, Украина*

При разработке методов формирования и корреляционной обработки сигналов перспективных средств радиосвязи, одной из приоритетных задач является обеспечение минимальной сложности корреляционной обработки сигналов на приеме. В работе предложена структура устройства корреляционной обработки сигналов с адаптацией по скорости передачи информации на основе совершенных двоичных матриц. В состав устройства корреляционной обработки входят: устройства прямого и обратного преобразования Кули-Тьюки, запоминающее устройство, устройство перемножения спектров и решающее устройство. Рассчитано суммарную вычислительную сложность алгоритма корреляционной обработки сигналов с адаптацией по скорости передачи информации на основе совершенных двоичных матриц. Исследованы зависимости вычислительной сложности алгоритма корреляционной обработки сигналов с адаптацией по скорости передачи информации на основе совершенных двоичных матриц и алгоритма корреляционной обработки прямым преобразованием Фурье от длины кодовой последовательности. В результате установлено, что при длине кодовой последовательности, превышающей восемь бит, вычислительная сложность алгоритма корреляционной обработки прямым преобразованием Фурье больше вычислительную сложность алгоритма корреляционной обработки сигналов с адаптацией по скорости передачи информации на основе совершенных двоичных матриц. Рассчитано выигрыш, достигаемый в объеме вычислений предложенного алгоритма по сравнению с алгоритмом корреляционной обработки прямым преобразованием Фурье. Исследована зависимость выигрыша, достигаемого в объеме вычислений, от длины кодовой последовательности, в результате чего установлено: выигрыш прямо пропорционален длине кодовой последовательности и обратнопропорционален удвоенной сумме двоичного логарифма от длины кодовой последовательности и единицы. При длине кодовой последовательности более восьми бит выигрыш, достигаемый в объеме вычислений, больше единицы. Уменьшение вычислительной сложности алгоритма корреляционной обработки сигналов на приеме позволяет уменьшить массогабаритные характеристики всей системы, ее стоимость и энергопотребление. Перспективами дальнейших исследований является исследование структурной и энергетической скрытности сигналов с адаптацией по скорости передачи информации на основе совершенных двоичных матриц.

Ключевые слова: *системы радиосвязи специального назначения, корреляционная обработка сигналов, вычислительная сложность корреляционной обработки сигналов, преобразование Кули-Тьюки.*

COMPUTATIONAL COMPLEXITY OF THE CORRELATION SIGNAL PROCESSING
ALGORITHM WITH ADAPTATION TO THE INFORMATION TRANSMISSION RATE BASED ON
PERFECT BINARY MATRICES

Artem Moskalenko (Candidate of Technical Sciences)¹

Serhii Ivko (Candidate of Technical Sciences)²

Yurii Hlukhovets (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)¹

Vasyl Varych (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)¹

¹ *Poltava Institute of Business, Poltava Higher Educational Institution «Yuri Bugai International Scientific and Technical University», Poltava, Ukraine*

² *Military College of NCOs of the Military Institute of Telecommunications and Informatics named after Kruty Heroes, Poltava, Ukraine*

When developing methods for generating and correlating signal processing of promising radio communications, one of the priority tasks is to ensure the minimum complexity of correlation signal processing at the reception. The paper proposes the structure of a device for correlation signal processing with adaptation for the information transmission rate based on perfect binary matrices. The correlation processing device includes: Cooley-Tukey direct and inverse transform devices, a memory device, a spectra multiplier and a solver. The total computational complexity of the algorithm for correlation processing of signals with adaptation to the information transmission rate based on perfect binary matrices is calculated. The dependences of the computational complexity of the algorithm for correlation processing of signals with adaptation to the information transfer rate based on perfect binary matrices and the algorithm for correlation processing by direct Fourier transform on the length of the code sequence are investigated. According to the results of the study, it was found that with the length of the code sequence exceeding eight bits, the computational complexity of the correlation processing algorithm by the direct Fourier transform is greater than the computational complexity of the correlation signal processing algorithm with adaptation to the information transfer rate based on perfect binary matrices. The gain achieved in the amount of computations of the proposed algorithm in comparison with the correlation processing algorithm by the direct Fourier transform is calculated. The dependence of the payoff is investigated, it is achieved in the amount of computations, on the length of the code sequence, as a result of which it is established that the payoff is directly proportional to the length of the code sequence and inversely proportional to the doubled sum of the binary logarithm of the length of the code sequence and one. When the length of the code sequence is more than eight bits, the gain achieved in the amount of computation is greater than one. Reducing the computational complexity of the signal correlation processing algorithm at the reception allows you to reduce the mass-dimensional characteristics of the entire system, its cost and power consumption. Prospects for further research are the study of the structural and energy secrecy of signals with adaptation to the information transmission rate based on perfect binary matrices.

Keywords: special purpose radio communication systems, correlation signal processing, computational complexity of correlation signal processing, Cooley-Tukey transform.

References

- Zinchenko A.O.** (2014), Improved model of multistatic integrated communication systems and radarbased multiplayer MIMO method. [*Udoskonalena model bahatopozytisnoi intehrovanoi systemy zviazku ta radiolokatsii na osnovi mulkorystuvalnytskoho metodu MIMO*], Naukovi zapysky Ukrainskoho naukovo-doslidnoho instytutu zviazku, No.2. pp. 124-130.
- Moskalenko A.O.** (2020), Mathematical model of signal generation with adaptation speed of information based on perfect binary matrices. [*Matematychna model formuvannia syhnaliv z adaptatsiieiu po shvydkosti peredavannia informatsii na osnovi doskonalykh dviikovykh matryts*], Systemy upravlinnja, navigaciji ta zv'jazku, No. 1(59). pp. 147-150.
- Moskalenko A.O.** (2018), The anti-jamming ability of modulation signals by register rotation with rate adaptation [*Pereshkodostijkistj syhnaliv moduljaciji cyklichnym zsumom kodu z adaptacijeju po shvydkosti peredachi informaciji*]. Systemy upravlinnja, navigaciji ta zv'jazku. No. 3(49). pp. 175-180.
- Moskalenko A.O.** (2012), Mathematical model of discrete communication channel with cyclic code shift keying at multipath radiowave propagation [*Matematychna model dyskretnoho kanalu zviazku z moduliatsiieiu tsyklichnym zsumom kodu v umovakh bahatopromenevoho rozpovsiudzhennia radiokhvyli*], Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy, No. 2(8). pp. 79-81.
- Moskalenko A.O.** (2015), The signals immunity of the improved modulation by cyclic shift with adaptation to information transfer rate in multimode propagation environment [*Pereshkodostijkistj syhnaliv udoskonalenoji moduljaciji cyklichnym zsumom kodu z adaptacijeju po shvydkosti peredachi informaciji v umovakh bahatopromenevogho rozpovsiudzhennja radiokhvyli*], Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta oborony. No. 2(23). pp. 94-98.
- Moskalenko A.O.** (2019), Methods of application of signals of advanced modulation by cyclic shift of the code with adaptation on speed of information transmission in perspective radio interfaces [*Metodyka zastosuvannia syhnaliv udoskonalenoji moduliatsii tsyklichnym zsumom kodu z adaptatsiieiu po shvydkosti peredavannia informatsii v perspektyvnykh radiointerfeisakh*], Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta oborony. No. 3(36). pp. 35-39.
- Blahut R.E.** (1989), Fast Algorithms for Digital Signal Processing [*Bystryie algoritmy tsifrovoy obrabotki signalov*], Moskva, Mir, 448 p.