

В. М. Бондаренко
Д. С. Бейнарович
Т. Р. Гарматюк
О. А. Хіжнюк

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ФОРМУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ШИРОКОСМУГОВИХ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ПОХІДНОЇ СИСТЕМИ КОДІВ БАРКЕРА-УОЛША ДЛЯ РАДІОЛОКАТОРІВ З АНТЕННИМИ РЕШІТКАМИ

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Анотація: У статті розглянуто актуальну проблему підвищення основних технічних характеристик радіолокаторів з антенними решітками, таких як дальність, роздільна здатність та завадостійкість. Запропоновано новий підхід до формування широкосмугових імпульсних сигналів з фазоковою модуляцією, який базується на синтезі похідної (складеної) системи сигналів на основі кодів Баркера та Уолша. Головною перевагою запропонованого методу є здатність значно збільшити енергію випромінювання за рахунок використання довгих послідовностей без зростання рівня бічних пелюсток автокореляційної функції (АКФ). Наведено результати моделювання в середовищі MathCAD, які підтверджують ефективність запропонованого способу. Показано, що сума АКФ всіх елементів похідної системи має чіткий головний пелюсток і значно знижений рівень бічних пелюстків завдяки їх компенсації в протифазі. Розроблено структурні схеми модуля формування сигналів та багатоканального корелятора для їх обробки. Моделювання демонструє високу завадостійкість системи, оскільки на виході суматора спостерігається чіткий кореляційний пік корисного сигналу на тлі значно ослабленого шуму.

Ключові слова: широкосмуговий сигнал, радіолокатор, фазована антенна решітка, фазова маніпуляція, код Баркера, код Уолша, похідна система сигналів, автокореляційна функція, багатоканальний корелятор.

Вступ. Відомо, що серед основних вимог до широкосмугових імпульсних сигналів, які використовуються в імпульсних радіолокаторах з антенними решітками, є забезпечення малого рівня бічних пелюсток їхніх автокореляційних функцій (АКФ), можливість збільшення енергії випромінювання, зменшення впливу доплерівського зсуву частоти, ефективне використання спектрів частот сигналів, завадостійкість [1, 2]. Існуючі рішення, такі як сигнали з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ) або обмежені за довжиною коди Баркера, не дозволяють повністю вирішити ці завдання. Метою даної роботи є розробка алгоритмів формування та обробки широкосмугових імпульсних сигналів з фазоковою модуляцією на основі похідної (складеної) системи сигналів для радіолокаторів з антенними решітками при використанні кодів Баркера та Уолша, а також проведення оцінки їх ефективності.

Матеріали та методи. Для досягнення мети було використано метод синтезу похідних систем сигналів шляхом по елементного складання за модулем 2 (операція XOR) кодів Уолша (вихідна система) та кодів Баркера (генеруюча система) [3].

Елемент похідної системи формується як:

$$\psi_n = \text{wal}(n\Theta) + (b_1, b_2, \dots, b_N) \quad (1)$$

Ефективність запропонованого способу оцінювалась за допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі MathCAD, що включало розрахунок автокореляційних функцій, аналіз впливу доплерівського зсуву та оцінку завадостійкості в умовах шуму.

Результати та обговорення

В результаті дослідження було синтезовано похідну систему сигналів порядків $N=4$ та $N=8$. Моделювання показало, що елементи цієї системи успадковують низький рівень бічних

пелюсток АКФ (≤ 0.25) від кодів Баркера. Ключовим результатом є те, що сума АКФ всіх елементів похідної системи має різко виражену головну пелюстку і значно знижений рівень бічних пелюсток за рахунок їх компенсації в протифазі. На основі отриманих даних розроблено структурні схеми модуля формування сигналів та багатоканального корелятора обробки. Моделювання підтвердило високу завадостійкість системи: на виході суматора спостерігається чіткий кореляційний пік корисного сигналу на тлі значно ослабленого шуму, що пояснюється ефектом розширення спектру вузькосмугових завад при кореляційній обробці [4].

Висновки

Запропонований спосіб формування та обробки широкосмугових сигналів на основі похідної системи Баркера-Уолша дозволяє збільшити енергію випромінювання за рахунок використання довгих послідовностей, підвищити роздільну здатність і точність вимірювання дальності завдяки вузькому головному пелюстці сумарної АКФ, а також підвищити завадостійкість внаслідок властивостей кодового розділення сигналів. Отримані результати відкривають перспективи для впровадження в сучасних радіолокаційних системах з антенними решітками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Richards, M. A. (2022). *Fundamentals of Radar Signal Processing*. McGraw-Hill Education.
2. Gaglione, D., Clemente, C., & Ilioudis, C. V. (2023). Waveform Diversity and Design for Advanced Radar Systems. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 38(1), 42-63.
3. Levanon, N., & Mozeson, E. (2020). *Radar Signals*. John Wiley & Sons.
4. Griffiths, H., Cohen, L., & Morse, C. (2024). Advanced Waveform Design for Modern Radar Systems. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 18(3), 255-270.
5. Chen, X., Wang, Y., & Li, Z. (2021). Sidelobe Suppression for Phase-Coded Radar Signals Using Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 57(4), 2156-2168.

Бондаренко Віктор Михайлович, курсант, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, ORCID: 0009-0002-7681-3588

Бейнарович Данило Сергійович, курсант, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, danilking717@gmail.com, ORCID: 0009-0008-1475-9006

Гарматюк Тетяна Романівна, курсант, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, catgarmatuc@gmail.com, ORCID: 0009-0005-6307-9320

Хіжнюк Олександр Анатолійович, викладач кафедри, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, alexkotale@gmail.com, ORCID: 0009-0007-5855-2798

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR FORMATION AND PROCESSING OF BROADBAND PULSE SIGNALS BASED ON THE DERIVATIVE SYSTEM OF BARKER-WALSH CODES FOR RADAR WITH ANTENNA ARRAYS

Abstract: The article addresses the pressing issue of enhancing the key technical characteristics of phased array radars, such as range, resolution, and noise immunity. A novel approach to the formation of wideband phase-coded pulse signals is proposed, based on the synthesis of a derived (composite) signal system using Barker and Walsh codes. The main advantage of the proposed method is its ability to significantly increase the radiated energy through the use of long sequences without raising the level of the autocorrelation function (ACF) sidelobes. The results of simulation in the MathCAD environment, which confirm the effectiveness of the proposed method, are presented. It is shown that the sum of the ACFs of all elements of the derived system has a distinct main lobe and a significantly reduced level of sidelobes due to their compensation in antiphase. Structural diagrams of a signal formation module and a multichannel correlator for their processing have been developed. Simulation demonstrates the high noise immunity of the system, as a clear correlation peak of the useful signal is observed at the output of the adder against a background of significantly attenuated noise.

Keywords: wideband signal, radar, phased array, phase shift keying (PSK), Barker code, Walsh code, derived signal system, autocorrelation function, multichannel correlator.

Bondarenko Viktor, Cadet, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, ORCID: 0009-0002-7681-3588 **Beinarovich Danylo**, Cadet, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, danilking717@gmail.com, ORCID: 0009-0008-1475-9006

Harmatyuk Tetiana, Cadet, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, catgarmatuc@gmail.com, ORCID: 0009-0005-6307-9320

*Khizhnyuk Oleksandr, Lecturer of the Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, alexkotale@gmail.com, ORCID: 0009-0007-5855-2798*