

ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ КОМПОЗИТНИХ КОДІВ БАРКЕРА

Максимов В.В., Храповицький І.А.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: maksimov46@ukr.net, hrapovitskiy.igor@gmail.com

RESEARCH OF NEW COMPOSITE BARKER CODES

Modeling in the MatLab software package showed a greater noise immunity of new composite codes to the influence of various modulating sequences of an information signal in comparison with known composite codes.

Широкопasmові сигнали (ШСС) знаходять застосування в сучасних багатоканальних системах зв'язку з кодовим поділом каналів (CDMA, WCDMA), в системах бездротового зв'язку сімейства 802.11 з технологією розширення спектра методом прямої послідовності (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS), в сучасних радіолокаційних системах. З усіх ШПС найкращими кореляційними характеристиками володіють, відкриті в 1953 році, послідовності Баркера [1].

В [2] запропонований метод формування композитних кодів Баркера, що володіють кореляційними властивостями, подібними до тих, якими володіє код Баркера, а саме: код формується шляхом перемноження двох канонічних послідовностей Баркера. В результаті перемноження короткої послідовності на довшу послідовність виходять послідовності понад 13 розрядів. Основний викид АКФ у них дорівнює числу розрядів результуючої послідовності N , а максимальний бічний викид в позитивну область має значення близькі до 1. В [3] шляхом формування складових кодових послідовностей аналогічно способу, запропонованого в [2], отримані 12 послідовностей з довжиною N , рівній 14 (14а, 14б), 21 (21а, 21б), 22 (22а, 22б), 33 (33а, 33б), 49, 77 (77а, 77б), 121, і перевищенням головного піку АКФ над позитивними бічними, рівним N . В [4] були запропоновані зворотні композитні коди Баркера, отримані перемноженням довгої послідовності на коротку, досліджена їх завадостійкість, і показана можливість їх використання в якості синхронізуючих слів в мережах WCDMA. В [5] описані ті ж складові кодові послідовності, що і в [3], але вже під назвою коди «Баркера-Волинської», і зазначено на можливість їх застосування, як для передачі команд, так і для синхронізації. В [6] показано, що АКФ композитних кодів Баркера, які формуються як скалярні добутки канонічних послідовностей Баркера [1, 7], можна записати як:

$$R_{\text{комп}}(k) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{комп}}(i) c_{\text{комп}}(i+k) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{комп.инв}}(i) c_{\text{комп.инв}}(i+k) = \\ = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{комп.зерк}}(i) c_{\text{комп.зерк}}(i+k) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m c_{\text{комп.инв.зерк}}(i) c_{\text{комп.инв.зерк}}(i+k), \quad (1)$$

де $c_{\text{комп}}(i)$ – композитна послідовність Баркера, що визначається як

$c_{\text{комп}}(i) = c_1(i) c_2(i) \dots c_n(i)$, а $c_n(i)$ приймають значення ± 1 ;

$c_{\text{комп.инв}}(i) = (-1) c(i)$; $c_{\text{комп.зерк}}(i) = c_n(i) c_{n-1}(i) \dots c_1(i)$; $c_{\text{комп.инв.зерк}}(i) = (-1) c_{\text{комп.зерк}}(i)$.

В [6] також показано, що на підставі (1) композитні послідовності Баркера, отримані в [3], можна доповнити інверсними, дзеркальними і інверсними дзеркальними композитними послідовностями, які матимуть ті ж АКФ, що і основна композитна послідовність, тим самим збільшивши їх кількість з 12 до 48. Крім того в [6] отримані чотири пари нових композитних послідовностей Баркера, що мають одну і ту ж АКФ, що і 77б (номер послідовності узятий згідно [3]).

Нові композитні послідовності Баркера.

Використовуючи методику, викладену в [6], для кожної з композитних послідовностей 121, 77а, 49, 33а, 33б, 21а, 21б можуть бути знайдені по 4 пари сполучень основних послідовностей Баркера, що утворюють в цілому 28 нових композитних послідовностей, що мають однакову автокореляційну функцію з вихідними композитними послідовностями. У табл. 1 зведені всі 32 пари нових композитних послідовностей.

Таблиця 1. Нові композитні послідовності Баркера.

New №	Вариант	Новые композитные последовательности 121
New 1.	C11 x A11 D11 x B11	-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1+1-1-1-1+1+1+1-1+1-1-1+1+1-1+1- 1+1+1+1+1-1-1-1+1-1-1-1-1-1+1+1-1+1+1-1+1-1-1+1+1-1+1-1-1+1+1- 1+1+1-1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1-1+1+1-1-1+1-1-1+1+1+1-1-1+1-1-1+1-
New 2.	C11 x B11 D11 x A11	+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1-1+1+1+1+1-1-1-1+1-1+1+1-1-1+1-1- 1+1-1-1-1-1+1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1+1-1-1+1+1-1-1+1-1-1+1+1-1-1- 1+1-1-1+1-1-1-1-1+1+1-1+1+1-1-1-1+1+1-1-1-1+1+1-1-1+1+1-1+1-1+1
New 3.	A11 x C11 B11 x D11	-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1-1+1-1-1+1+1-1+1+1-1+1+1-1- 1-1+1-1+1+1-1+1+1-1-1-1+1-1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1-1-1+1+1+1-1+1+1- 1+1+1+1-1-1-1+1-1+1-1+1+1-1-1-1+1-1-1+1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1+1-1-1-1
New 4	A11 x D11 B11 x C11	+1-1+1+1-1+1+1-1-1-1+1-1+1+1+1-1-1-1+1-1+1+1-1+1+1-1-1-1+1-1-1-1- 1+1+1+1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1-1+1-1-1+1-1-1+1+1+1-1+1+1-1-1-1+1-1-1- 1-1-1+1+1+1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1+1-1-1-1+1-1-1+1+1+
№	Вариант	Новые композитные последовательности 77а
New 1.	C11 x A7 D11 x B7	-1-1-1+1+1-1+1 +1+1+1-1+1-1 -1-1-1+1+1-1+1 -1-1-1+1+1-1+1 +1+1+1-1+1-1 -1-1-1+1+1- 1+1-1-1-1+1+1-1+1 -1-1-1+1+1-1+1 +1+1+1-1+1-1 +1+1+1-1-1+1-1 +1+1+1-1-1+1-1
New 2.	C11 x B7 D11 x A7	+1+1+1-1-1+1-1 -1-1-1+1+1-1+1 +1+1+1-1-1+1-1 +1+1+1-1-1+1-1 -1-1-1+1+1-1+1 +1+1+1-1- 1+1-1 +1+1+1-1-1+1-1 +1+1+1-1-1+1-1 -1-1-1+1+1-1+1 -1-1-1+1+1-1+1 -1-1-1+1+1-1+1
New 3.	A11 x C7 B11 x D7	-1+1-1-1+1+1+1 -1+1-1-1+1+1+1 -1+1-1-1+1+1+1-1+1+1-1-1+1+1+1-1-1+1+1+1-1-1-1 1 -1+1-1-1+1+1+1+1-1+1+1-1-1+1+1-1-1+1+1+1-1-1+1+1+1-1-1+1-1-1-1
New 4	A11 x D7 B11 x C7	+1-1+1+1-1-1-1 +1-1+1+1-1-1-1 +1-1+1+1-1-1-1 -1+1-1-1+1+1+1 -1+1-1-1+1+1+1 -1+1-1- 1+1+1+1 +1-1+1+1-1-1-1 -1+1-1-1+1+1+1 -1+1-1-1+1+1+1-1-1+1+1-1-1+1-1-1+1+1+1
№	Вариант	Новые композитные последовательности 77б
New 1.	C7 x A11 D7 x B11	-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1+1-1-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1-1+1+1-1+1+1- 1+1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1-1
New 2.	C7 x B11 D7 x A11	+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1-1-1-1-1+1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1+1-1-1+1-1- 1+1-1-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1-1-1+1+1-1-1+1+1-1+1
New 3.	A7 x C11 B7 x D11	-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1-1+1-1-1+1-1-1+1+1-1+1+1+1-1-1- 1-1+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1 +1-1+1+1-1+1+1-1-1-1
New 4	A7 x D11 B7 x C11	+1-1+1+1-1+1+1-1-1+1-1+1+1-1+1+1-1-1+1-1+1+1-1-1+1-1-1+1-1-1-1-1-1- 1+1+1+1-1+1-1-1+1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1+1-1-1-1-1+1-1-1+1+1+1
№	Вариант	Новые композитные последовательности 49
New 1.	C7 x A7 D7 x B7	-1-1-1+1+1-1+1+1+1-1+1-1-1-1+1+1-1-1-1+1+1-1+1+1+1-1+1-1+1+1-1-1+1-1- 1+1+1+1-1-1+1-1
New 2.	D7 x A7 C7 x B7	+1+1+1-1-1+1-1-1-1+1+1-1+1+1+1-1+1-1+1+1-1-1+1-1-1+1+1-1-1+1-1-1-1- 1-1-1+1+1-1+1
New 3.	A7 x C7 B7 x D7	-1+1-1-1+1+1+1-1+1-1-1+1+1-1+1-1-1+1+1+1+1-1+1+1-1-1+1-1-1+1-1-1- 1+1+1+1+1-1+1+1-1-1-1
New 4	B7 x C7 A7 x D7	+1-1+1+1-1-1+1-1+1+1-1-1+1-1+1+1-1-1+1-1+1+1+1-1+1+1+1-1+1+1-1-1-1- 1+1-1-1+1+1+1
№	Вариант	Новые композитные последовательности 33а
New 1.	C11 x A3; D11 x B3	-1-1+1 +1+1-1 -1-1+1 -1-1+1 +1+1-1 -1-1+1 -1-1+1 -1-1+1 +1+1-1 +1+1-1 +1+1-1
New 2.	D11 x A3; C11 x B3	+1+1-1 -1-1+1 +1+1-1 +1+1-1 -1-1+1 +1+1-1 +1+1-1 +1+1-1 -1-1+1 -1-1+1 -1-1+1
New 3.	A11 x C3; B11 x D3	-1+1+1 -1+1+1 -1+1+1 +1-1-1 +1-1-1 +1-1-1 -1+1+1 +1-1-1 +1-1-1 -1+1+1 +1-1-1
New 4	B11 x C3; A11 x D3	+1-1-1 +1-1-1 +1-1-1 -1+1+1 -1+1+1 -1+1+1 +1-1-1 -1+1+1 -1+1+1 +1-1-1 -1+1+1
№	Вариант	Новые композитные последовательности 33б
New 1.	C3 x A11; D3 x B11	-1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1+1+1+1+1-1-1+1-1-1+1-1-1+1-1-1+1-1-1+1-1-1+1-1-1
New 2.	D3 x A11; C3 x B11	+1+1+1-1-1+1-1-1+1-1-1-1-1-1+1+1+1-1+1+1+1+1-1-1+1+1+1-1+1+1-1+1-1+1-1
New 3.	A3 x C11; B3 x D11	-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1-1+1-1-1+1-1-1-1+1+1+1+1-1+1+1+1-1+1+1-1-1-1-1-1
New 4	B3 x C11; A3 x D11	+1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1 +1-1+1+1-1+1+1+1-1-1-1 -1+1-1-1+1-1-1+1+1+1

Таблиця 1 (продовження). Нові композитні послідовності Баркера.

№	Вариант	Новые композитные последовательности 21a
New 1.	C7 x A3; D7 x B3	-1-1+1 +1+1-1 -1-1+1 -1-1+1+1-1+1+1+1-1
New 2.	D7 x A3; C7 x B3	+1+1-1 -1-1+1 +1+1-1+1+1-1-1+1 -1-1+1 -1-1+1
New 3.	A7 x C3; B7 x D3	-1+1+1 -1+1+1 -1+1+1 +1-1-1 +1-1-1 -1+1+1 +1-1-1
New 4.	B7 x C3; A7 x D3	+1-1-1 +1-1-1 +1-1-1 -1+1+1 -1+1+1 +1-1-1 -1+1+1
№	Вариант	Новые композитные последовательности 21б
New 1.	C3 x A7; D3 x B7	-1-1-1+1+1-1+1 +1+1+1-1+1-1 +1+1+1-1+1-1
New 2.	D3 x A7; C3 x B7	+1+1+1-1+1-1 -1-1+1+1+1-1 -1-1+1+1+1-1
New 3.	A3 x C7; B3 x D7	-1+1-1+1+1+1-1+1-1+1+1+1 +1-1+1+1-1-1
New 4.	B3 x C7; A3 x D7	+1-1+1+1-1-1 +1-1+1+1-1-1 -1+1-1-1+1+1

Результати моделювання.

Для визначення можливості використання нових композитних кодів Баркера в якості синхроімпульсів необхідно, з одного боку, порівняти їх з відомими композитними кодами Баркера, а з іншого, в якості інформаційних сигналів вибрати такі, які створювали б для них найбільший рівень завад. Для моделювання в якості відомих композитних кодів були обрані вихідні композитні коди Баркера-Волинської [5], в якості інформаційних - вкладені коди Баркера, що мають такий же утворюючий код Баркера, що у відомих і нових композитних кодів.

Для моделювання була використана програма MATLAB R2015B. Схема моделі складалася з наступних основних функціональних вузлів: формувача широкосмугових сигналів; приймача синхросигналів; комутаторів режимів роботи.

Моделювання в середовищі MatLab показало, що нові композитні послідовності Баркера в розглянутих випадках використання в якості синхросигналів ефективніше вихідних кодів Баркера-Волинської, а саме:

- New1, New2, New3 і New4 (121 (11x11), 77a (11x7), 77b (7x11), 49 (7x7)) на (14,3 - 58,4)%;
- New1, New2, New3 (33a (11x3)) на (6,1 - 36,4)%;
- New2, New3 і New4 (33b (3x11)) на (36,4 - 69,7)%;
- New1, New2, New3 (21a (7x3)) на (9,5 - 38)%;
- New1, New2, New3 і New4 (21b (3x7)) на (9,5 - 47,7)%;

Нові композитні послідовності Баркера New2 і New3 (121 (11x11), 77a (11x7), 77b (7x11), 49 (7x7), 33a (11x3), 33b (3x11), 21a (7x3), 21b (3x7)) у всіх розглянутих випадках використання в якості синхросигналів ефективніше вихідних кодів Баркера-Волинської на (6,1 - 63,6)%.

Література

1. Barker, R. H. "Group Synchronizing of Binary Digital Sequences". Communication Theory. London: Butterworth. pp. 273–287.
2. Банкет В.Л., Токарь М.С. «Композитные коды Баркера» // Цифрові технології № 2, 2007р. С.8-17.
3. Волынская А.В. Результаты математического моделирования процесса поиска кодовых последовательностей с заданными корреляционными свойствами // Вестник УрГУПС: Науч.-техн. журнал. – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – № 3–4. – С. 64–71.
4. Максимов В.В., Чуприна Р.С. Обратные композитные коды Баркера // Наукові записки УНДІЗ, №1(21), 2012 г. – С.71-76.
5. Волынская А.В., Калинин П.М. Новые помехоустойчивые сигналы для интеллектуального канала телемеханики // Fundamental Research №11, 2012. – С.922-926.
6. Maksymov V., Khrapovitsky I. Research of composite Barker codes // The scientific heritage, № 48 (2020), P.1, p.p. 15-22.
7. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник. М. Высш. школа, 1983. – 536 с.