

К. т. н. А. В. САДЧЕНКО, О. А. КУШНИРЕНКО, А. Г. ЮРКЕВИЧ, В. С. СЕВАСТЬЯНОВ

Украина, Одесский национальный политехнический университет

E-mail: koa@onu.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СИНХРОКОДОВ ДЛЯ МОДЕЛИ ДЕКОДЕРА С СОГЛАСОВАННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Проведен анализ корректирующей способности модели декодера с согласованной обработкой для кодов Баркера различной длины в условиях возникновения одно-, двух- и трехкратной ошибки. Рассмотрена возможность применения последовательностей Баркера различной длины и M -последовательностей в качестве корректирующих синхрокодов. Получена аналитическая зависимость корректирующей способности кода от его длины и от уровня боковых лепестков неперiodической автокорреляционной функции.

Ключевые слова: синхрокод, код Баркера, M -последовательность, согласованная обработка.

Бинарные апериодические последовательности с хорошими корреляционными свойствами [1] представляют большой интерес для разработчиков радиолокационных устройств, поскольку позволяют разрешить основное противоречие между максимальной дальностью обнаружения цели и точностью радиодальнометрии [2–4]. Основным критерием качества таких последовательностей является минимаксный критерий, когда в качестве оценочной функции используется наименьшее возможное значение максимального бокового лепестка неперiodической автокорреляционной функции (**НАКФ**). На сегодняшний день не существует универсального способа построения последовательностей, полученных с учетом данного критерия, а регулярные методы синтеза минимаксных бинарных последовательностей описаны только для нечетных значений длины $N = 2^k - 1$, где $k \geq 3$, поэтому основным методом построения минимаксных бинарных последовательностей является метод компьютерного перебора.

В задачах связи, особенно при реализации кодового разделения каналов, также активно используются минимаксные последовательности для обеспечения надежности синхронизации потоков данных [5–8]. При этом на первую позицию выходит критерий обеспечения требуемой корректирующей способности при заданной относительной скорости информационного потока для выбранной минимаксной последовательности. В [9] проведен анализ корректирующей способности декодера синхросигнала с согласованной обработкой на основе последовательностей Баркера длиной 7 и 11. В результате моде-

лирования установлено, например, что последовательность Баркера длиной 11 способна корректировать все ошибки до кратности 2 включительно. При этом, однако, в [9] не проведено моделирование для самого помехоустойчивого кода Баркера длиной 13 и, кроме того, не учитывается возможность реализации сигнала с ошибками большей кратности, которые данные последовательности способны корректировать. Также необходимо отметить, что в [9] отсутствует аналитическое выражение, позволяющее оценивать корректирующую способность минимаксных последовательностей, длина которых больше рассмотренных в статье.

Очевидно, что чем больше длина синхрокода, тем большую помехоустойчивость он обеспечивает. С другой стороны, с ростом длины возрастает сложность технической реализации декодера и снижается скорость передачи данных. То есть при разработке системы передачи информации необходимо искать компромисс между сложностью технической реализации декодера и требуемой помехоустойчивостью, и для решения такой задачи необходимо провести исследование корректирующей способности бинарных синхрокодов.

Целью настоящей работы было исследование корректирующей способности бинарных последовательностей с хорошими неперiodическими автокорреляционными свойствами при использовании схемы приема с согласованной обработкой.

Постановка задачи

В общем случае под корректирующей способностью подразумевается возможность кода обна-

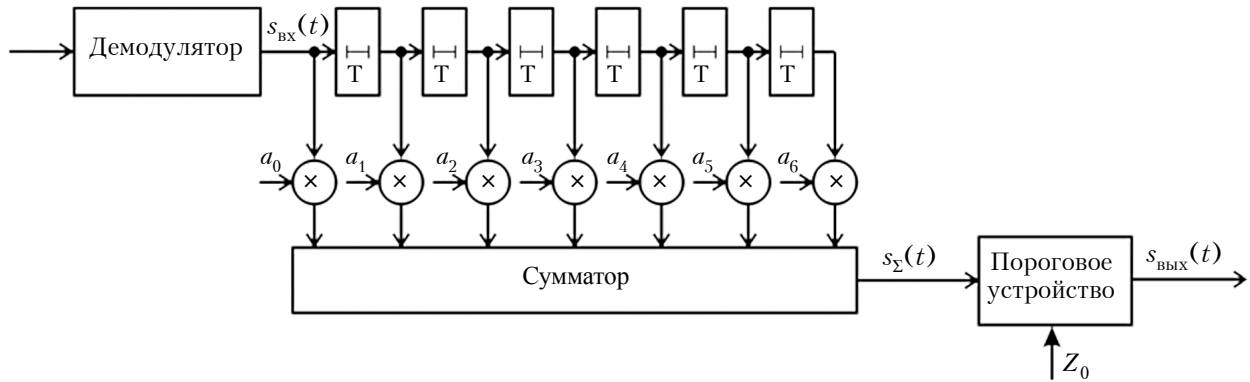


Рис. 1. Типовая структурная схема с применением СФ для кода Баркера длиной 7 [10, 11]:
 Т — линия задержки на один такт; \times — блок умножения на весовые коэффициенты a_i ($i = 0, 1, \dots, 6$; $a_i = \{-1, 1, -1, -1, 1, 1, 1\}$)

руживать и исправлять ошибки. Для выделения синхросигнала в схеме приема с согласованной обработкой используется согласованный фильтр (СФ), работающий на видеочастоте, поэтому критерием исправления ошибок в этом случае является превышение главным максимумом отклика СФ уровня боковых лепестков в момент окончания сигнала, что можно описать следующим выражением:

$$\begin{cases} R_{\text{ГЛ max}} \geq N / 2; \\ |R_{\text{БЛ max}}| < N / 2, \end{cases} \quad (1)$$

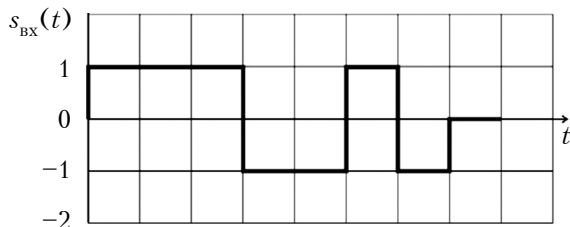


Рис. 2. Выходной сигнал демодулятора

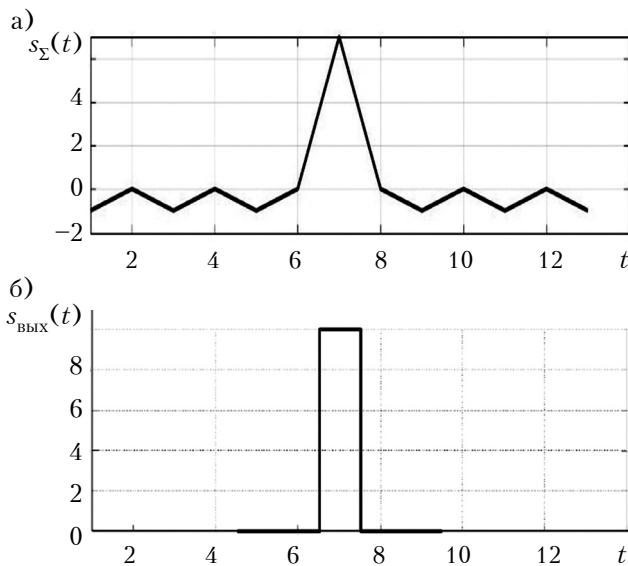


Рис. 3. Сигнал на выходе сумматора (а) и на выходе порогового устройства (б)

где $R_{\text{ГЛ max}}$ — главный максимум рассматриваемой НАКФ, равный главному пику $R(0)$, т. е. $R_{\text{ГЛ max}} = R(0)$;

$R_{\text{БЛ max}}$ — абсолютный максимум боковых лепестков.

Структурная схема устройства обнаружения синхросигнала с применением СФ для кода Баркера длиной 7 приведена на рис. 1. В данной схеме на выходе демодулятора образуется видеосигнал $s_{\text{вх}}(t)$, приведенный на рис. 2, а после сумматора — отклик $s_{\Sigma}(t)$, показанный на рис. 3, а [12]. Импульс $s_{\text{ввых}}(t)$, возникающий на выходе порогового устройства (рис. 3, б), представляет собой выходной сигнал декодера. Критерием для обнаружения ошибки является изменение положения либо отсутствие импульса в требуемый момент времени t .

Моделирование прохождения синхросигнала с ошибками различной кратности

Для оценки корректирующей способности низкочастотной части схемы СФ, представленной на рис. 1, для известных кодов Баркера длиной 7, 11 и 13 [13, с. 273–287; 14] было проведено моделирование прохождения синхросигнала через согласованный фильтр с ошибками различной кратности r . Отклики СФ получали при последовательном внесении ошибок во все сигнальные позиции исходных последовательностей Баркера.

Однократная ошибка

Анализ результатов моделирования прохождения синхросигнала через СФ с однократной ошибкой ($r = 1$), приведенных на рис. 4, показывает, что в соответствии с критерием (1) однократные ошибки корректируются при поражении помехой любой сигнальной позиции. Значения отношения главного пика к максимальному уровню боковых лепестков $R(0) / |R_{\text{БЛ max}}|$ сведены в табл. 1.

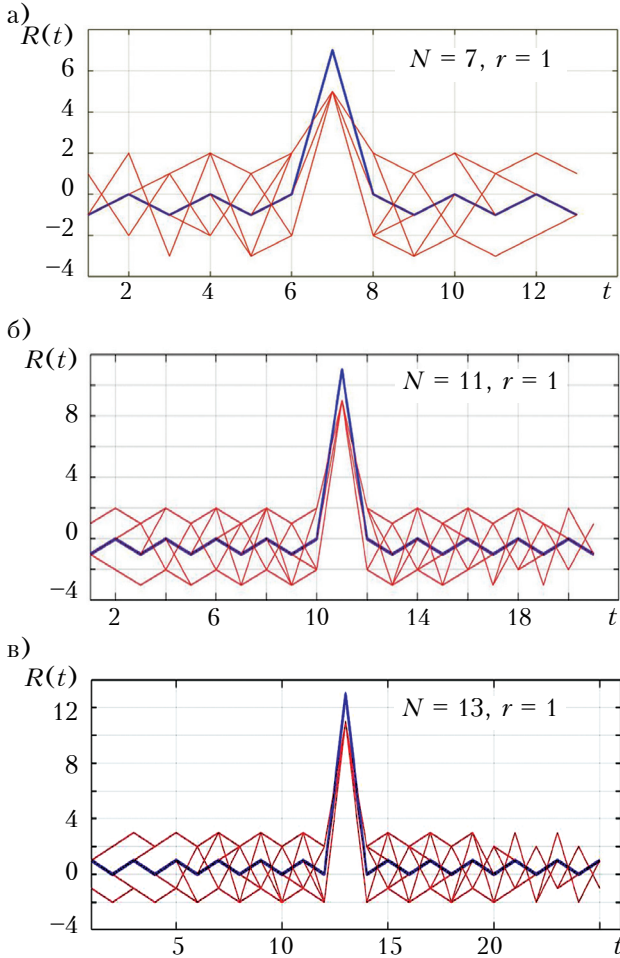


Рис. 4. Отклики на выходе СФ при прохождении через него сигнала длиной N с однократной ошибкой (тонкие линии) и без ошибки (толстая линия)

Таблица 1

Значение отношения главного пика к максимальному уровню боковых лепестков для кодов разной длины при $r = 1$

N	$R(0) / R_{\text{БЛ max}} $
7	5/3
11	9/3
13	11/3

Двукратная ошибка

Вероятность $P_{\text{кор}}$ исправления двукратной ошибки ($r = 2$) определяется отношением числа реализаций сигнала с помехой, при которых происходит исправление ошибки ($V_{\text{кор}}$), к числу всех возможных реализаций ($V_{\text{шум}}$):

$$P_{\text{кор}} = V_{\text{кор}} / V_{\text{шум}}, \quad (2)$$

при этом вероятность ошибки вычисляется как $P_{\text{ош}} = 1 - P_{\text{кор}}$.

Для двукратной ошибки значение $V_{\text{шум}}$ определяется величиной $A_N^{(2)}$ — числом размещений

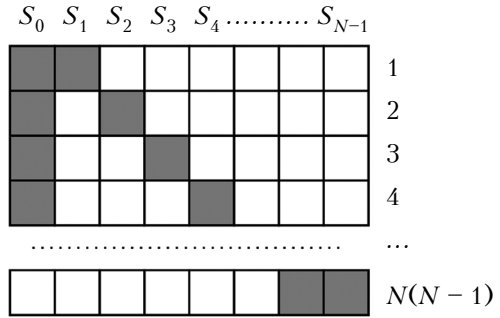


Рис. 5. Возможные варианты реализации (от 1 до $N(N-1)$) двукратной ошибки (темные ячейки), которые произошли в различных сигнальных позициях S_i

в N позициях двух неперекрывающихся элементов ошибки, т. е. $V_{\text{шум}} = A_N^{(2)}$. В данном случае $A_N^{(2)} = N(N-1)$. (3)

Варианты реализации двукратных ошибок показаны на рис. 5.

Результаты моделирования приведены на рис. 6, а показатели корректирующей способности кодов сведены в табл. 2.

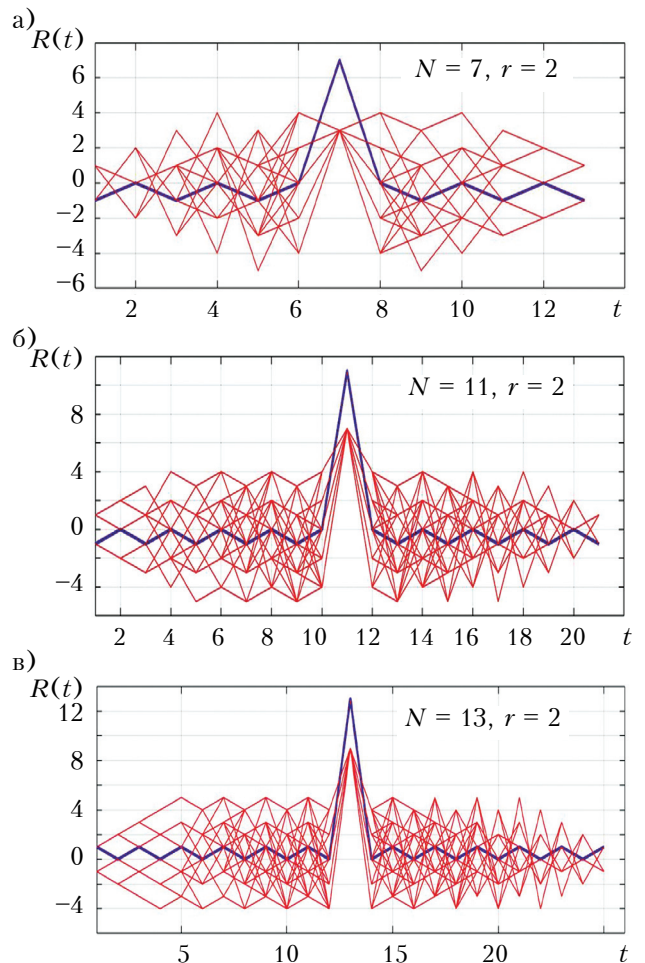


Рис. 6. Отклики на выходе СФ при прохождении через него сигнала длиной N с двукратной ошибкой (тонкие линии) и без ошибки (толстая линия)

Таблица 2

Показатели корректирующей способности кодов разной длины при $r = 2$

N	$V_{\text{шум}}$	$V_{\text{кор}}$	$P_{\text{кор}}$
7	42	10	10/42
11	110	110	1
13	156	156	1

Анализ приведенных данных показывает, что для схемы декодера на рис. 1 двукратная ошибка исправляется при длине кодов Баркера 11 и 13 и не исправляется при $N = 7$.

Трехкратная ошибка

В случае трехкратной ошибки ($r = 3$) значение $V_{\text{шум}}$ определяется числом размещений в N позициях трех неперекрывающихся элементов ошибки, которая вычисляется как

$$A_N^{(3)} = N(N-1)(N-2). \quad (4)$$

Из анализа результатов моделирования, приведенных на рис. 7 и в табл. 3, видно, что трех-

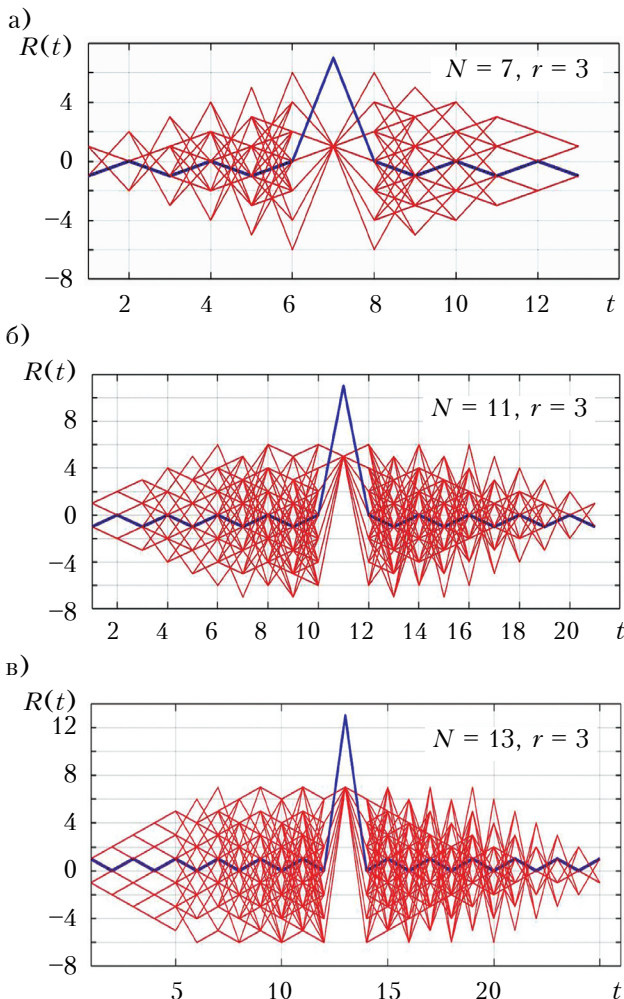


Рис. 7. Отклики на выходе СФ при прохождении через него сигнала длиной N с трехкратной ошибкой (тонкие линии) и без ошибки (толстая линия)

Таблица 3

Показатели корректирующей способности кодов разной длины при $r = 3$

N	$V_{\text{шум}}$	$V_{\text{кор}}$	$P_{\text{кор}}$
7	210	0	0
11	990	576	576 / 990
13	1716	1416	1416 / 1716

кратную ошибку не могут исправить даже последовательности Баркера длиной 13.

Корректирующая способность бинарных минимаксных последовательностей произвольной длины

В общем виде число размещений в N позициях r неперекрывающихся элементов ошибки составляет

$$A_N^{(r)} = \frac{N!}{(N-r)!} = N(N-1)(N-2)\dots(N-(r-1)). \quad (5)$$

Поскольку ошибка представляет собой переход элемента видеопоследовательности из уровня -1 в 1 , или наоборот, что соответствует переходу фазы (фазовой ошибки) из уровня π в уровень 0 , и наоборот, можно заключить, что при наличии ошибок кратности r величины максимального лепестка R_{max} и бокового лепестка $R_{\text{БЛ max}}$ связаны следующими соотношениями:

$$\begin{cases} R_{\text{max}} = N - 2r; \\ R_{\text{бок } r} = R_{\text{БЛ max}} + 2r, \end{cases} \quad (6)$$

$R_{\text{бок } r}$ – величина бокового лепестка НАКФ при наличии ошибки кратности r .

Поскольку $R_{\text{max}} = R_{\text{бок } r}$, отсюда следует, что кратность исправляемой ошибки вычисляется как

$$r = (N - R_{\text{БЛ max}}) / 4. \quad (7)$$

Исходя из сказанного выше, можно сделать вывод, что полученное соотношение справедливо для любых бинарных последовательностей произвольной длины с элементами «+1» и «-1».

Как уже отмечалось, кроме кодов Баркера хорошей НАКФ характеризуются также M -последовательности, последовательности Касами, Голда и др., которые, однако, существуют только для нечетных значений $N = 2k - 1$, где $k = 3$. При этом в [15] методом «шумового» перебора определен ряд бинарных последовательностей различной длины из диапазона от 4 до 128 с наилучшими НАКФ, среди которых присутствуют коды Баркера длиной 7, 11, 13 и M -последовательности длиной 7, 15, 31, 63, 127. Тогда, используя соотношение (7), можно легко определить корректирующую способность кода для любой длины из требуемого диапазо-

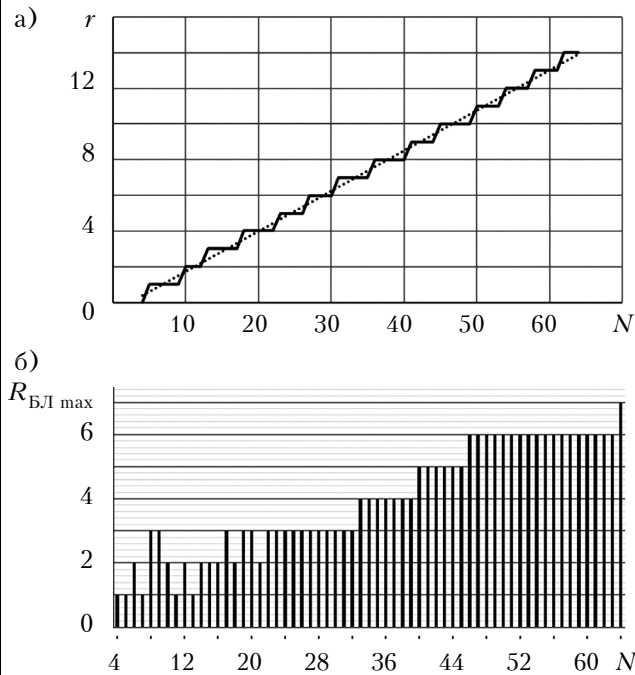


Рис. 8. Зависимости корректирующей способности кода (а) и максимального уровня бокового лепестка (б) от длины синхрокода

на, например для $N = 64$ кратность исправляемой ошибки составит $r = 14$.

Из приведенных на рис. 8 графиков видно, что зависимость корректирующей способности кода от его длины носит ступенчатый характер, а значит, в пределах «ступеньки» синхрокод меньшей длины (например, $N = 36$) обладает такой же корректирующей способностью ($r = 8$), что и код большей длины ($N = 40$). Это дает возможность повысить скорость передачи информации при одновременном снижении сложности декодера.

Выводы

Таким образом, полученные аналитические выражения, связывающие вероятность ошибки декодирования с длиной синхрокода, позволяют разработчику аппаратуры мобильной связи проводить комплексную оценку помехоустойчивости системы приема сигнала с учетом сигналов синхронизации. Установленный факт существования диапазонов длины минимаксных последовательностей, в пределах которых их корректирующая способность остается постоянной, позволяет выбирать сигнально-кодую конструкцию минимально возможной для заданных условий длины с целью увеличения скорости передачи информации по каналу связи. Предложенный подход может быть успешно использован для модификации существующих схем синхронизации систем связи с кодовым разделением каналов с целью их оптимизации.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Едемский В.А. Синтез чередующихся троичных последовательностей с хорошими автокорреляционными свойствами и высокой эквивалентной линейной сложностью // Журнал Радиоэлектроники. — 2014. — № 2. — <http://jre.cplire.ru/jre/feb14/2/text.html>
- Коренчук А. С., Дмитриев В. Ф. Применение сигналов с кодами Баркера для опроса радиометок на ПАВ в системах радиочастотной идентификации // Радиопромышленность. — 2016. — № 2. — С. 29–35. <https://doi.org/10.21778/2413-9599-2016-2-29-35>
- Банкет В.Л., Токарь М.С. Композитные коды Баркера // Сб. научных трудов «Цифровые технологии». — 2007. — № 2. — С. 8–18. <https://ojs.onat.edu.ua/index.php/digitech/article/view/592>
- Потехин Е.Н., Шувалов А.С., Леухин А.Н. Методы и результаты синтеза апериодических бинарных последовательностей и многофазных последовательностей Баркера // Цифровая обработка сигналов. — 2013. — Вып. 4. — С. 45–54.
- Ашихина А.В. Исследование свойств двоичных кодовых последовательностей для использования в глобальной навигационной спутниковой системе ГЛОНАСС // Сб. трудов МНПК «Перспективы развития современных математических и естественных наук». — Россия, г. Воронеж. — 2015. — С. 108.
- Darwich T., Cavanaugh Ch. Amplitude shifting for sidelobes cancellation pulse compression // 2006 CIE International Conference on Radar. — China, Shanghai. — <http://dx.doi.org/10.1109/ICR.2006.343579>
- Поправко Е.Д., Марушенко С.Г. Программная реализация поиска кодовых последовательностей с заданными корреляционными свойствами // Международный студенческий научный вестник. — 2015. — № 1. — URL: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=12235>
- Юдачев С. С., Калмыков В. В. Ансамбли последовательностей GMW для систем с кодовым разделением каналов // Наука и образование. — 2012. — № 1.
- Шпинковский А.А., Шпинковская М.И. Способ синхронизации передаваемой информации с помощью псевдослучайных последовательностей // Автоматизация технологических та бизнес-процесив. — 2014. — № 17. — С. 33–36.
- Садченко А.В., Кушниренко О.А., Ефимов О. И. и др. Корреляционная схема кадровой синхронизации в системах связи с QPSK-модуляцией // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2017. — № 6. — С. 22–28. — <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2017.6.22>
- Kiranmai B., Rajesh Kumar P. Performance evaluation of compound Barker codes using cascaded mismatched filter technique // Int. Journal of Computer Application. — 2015. — Vol. 121, N 19. — P. 31–34. — <http://dx.doi.org/10.5120/21649-4844>
- Садченко А.В., Кушниренко О.А., Кошелев Е.К., Бондар В.И. Быстродействующий алгоритм восстановления несущей частоты и кадровой синхронизации в модемах с QPSK-модуляцией // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2018. — № 1. — С. 28–35. — <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2018.1.28>
- Barker R. H. Group Synchronizing of Binary Digital Sequences // In Communication Theory. — London: Butterworth, 1953. — P. 273–287.
- Kiranmai B., Rajesh Kumar P. Performance evaluation of Barker codes using new pulse compression technique // International Journal of Computer Applications. — 2014. — Vol. 107, N 20. — P. 24–27. — <http://dx.doi.org/10.5120/18869-0417>
- Sadchenko A.V., Kushnirenko O.A., Troyansky A.V. The algorithm of random length sequences synthesis for frame synchronization of digital television systems // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. — 2015. — Iss. 3(47). — P. 97–103. — <http://dx.doi.org/10.15276/opu.3.47.2015.14>

Дата поступления рукописи
в редакцию 02.10.2018 г.

A. B. САДЧЕНКО, О. А. КУШНИРЕНКО,
А. Г. ЮРКЕВИЧ, В. С. СЕВАСТЬЯНОВ

Україна, Одеський національний політехнічний університет
E-mail: koa@opu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРИГУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ СИНХРОКОДІВ ДЛЯ МОДЕЛІ ДЕКОДЕРУ З УЗГОДЖЕНОЮ ОБРОБКОЮ

Для підвищення надійності роботи схем кадрової синхронізації систем зв'язку в умовах завад застосовуються синхропослідовності, оптимальні за мінімаксімним критерієм, з найкращим відношенням максимального рівня бічної пелюстки до головного піку неперіодичної автокореляційної функції. Очевидно, що чим більше довжина мінімаксімної послідовності, тим вище її коригувальна здатність. Однак з ростом довжини синхрокоду виникає суперечність між коректуючою здатністю і швидкістю передачі інформації через зменшення тривалості інформаційної ділянки кадру. Крім того, зі зростанням довжини коду також зростає складність технічної реалізації схеми синхронізації декодера. Тобто під час розробки системи передачі інформації необхідно шукати компроміс між складністю технічної реалізації декодера та необхідною завадостійкістю, і для вирішення такого завдання необхідно провести дослідження коректуючої здатності бінарних синхрокодів.

Метою даної роботи було дослідження коректуючої здатності бінарних послідовностей з хорошими неперіодичними автокореляційними властивостями при використанні схеми прийому з узгодженою обробкою.

Розглянуто можливість застосування послідовностей Баркера довжиною 7, 11 і 13 та M-послідовностей як коригувальних синхрокодів.

Проведено аналіз коректуючої здатності моделі декодера з узгодженою обробкою для кодів Баркера різної довжини в умовах виникнення одно-, дво- та трикратної помилки і отримано аналітичні вирази, що дозволяють визначити ймовірність помилки декодування бінарного мінімаксімного коду залежно від довжини синхрокоду.

Отримано залежність коректуючої здатності коду і максимального рівня бічних пелюстків від довжини синхрокоду в діапазоні від 4 до 128 з найкращими неперіодичними автокореляційними функціями. Встановлено, що існують діапазони довжини мінімаксімних послідовностей, в межах яких їх коригувальна здатність залишається постійною, тобто синхрокод меншої довжини має таку ж коректуючу здатність, що і код більшої довжини.

Таким чином, результати проведених досліджень дозволяють оптимізувати складність технічної реалізації декодера синхросигналу залежно від вимог до загальної завадостійкості і швидкості передачі інформації в системі зв'язку. Запропонований підхід може бути успішно використаний для модифікації існуючих схем синхронізації систем зв'язку з кодовим розподілом каналів з метою їхньої оптимізації.

Ключові слова: синхрокод, M-послідовність, узгоджена обробка, код Баркера.

DOI: 10.15222/TKEA2018.5-6.17
UDC 621.396.66

A. V. SADCHENKO, O. A. KUSHNIRENKO,
A. G. YURKEVYCH, V. S. SEVASTIANOV

Ukraine, Odessa National Polytechnic University
E-mail: koa@opu.ua

STUDY OF THE CORRECTIVE ABILITY OF SYNC CODES FOR THE MATCHED PROCESSING DECODER

Increase of the operation reliability of the frame synchronization schemes of communication systems affected by interferences might be achieved by using sync sequences optimal according to the minimax criterion and having the best ratio of the maximum side-lobe level to the main peak of the non-periodic autocorrelation function. Obviously, the longer the minimax sequence, the higher its correction ability. However, with the increase in the length of the sync code, a conflict arises between the corrective ability and the speed of data transfer. This is caused by the decrease in the duration of the information section of the frame. At the same time, as the length of the code increases, the complexity of the technical implementation of the decoder synchronization scheme increases as well.

This means that when developing an information transmission system, it is necessary to find a compromise between the complexity of the technical implementation of the decoder and the required noise immunity. To solve this problem, it is necessary to study the correcting ability of binary sync codes.

The purpose of this work was to study the correcting ability of binary sequences with good non-periodic autocorrelation properties using a reception scheme with matched processing.

This article discusses the possibility of using Barker sequences of lengths 7, 11, and 13 and M-sequences as corrective sync codes.

The authors carry out an analysis of the correcting ability of the decoder model with matched processing for Barker codes of different lengths under the conditions of a one, two, and threefold error. Analytical expressions have been obtained to determine the decoding error probability of a binary minimax code depending on the length of the sync code.

The dependence of the corrective ability of the code and the maximum level of the side lobe on the length of the sync code in the range from 4 to 128 with the best nonperiodic autocorrelation functions (NPAF) is obtained.

It has been established that there are length ranges for minimax sequences within which their correction ability remains constant, that is, a sync code of shorter length has the same correction ability as a longer code.

Thus, the research results allow us to optimize the complexity of the technical implementation of a sync signal decoder depending on the requirements for general noise immunity and information transfer rate in a communication system. The proposed approach can be successfully used to modify the existing synchronization schemes of communication systems with code division of channels.

Keywords: sync code, M-sequence, matched processing, Barker code.

REFERENCES

1. Edemskii V.A. [Synthesis of alternating ternary sequences with good autocorrelation properties and high equivalent linear complexity]. *Journal of Radio Electronics*, 2014, no. 2. <http://jre.cplire.ru/jre/feb14/2/text.html> (Rus)
2. Korenchuk A. S., Dmitriev V. F. Interrogation of saw tags in RFID systems using Barker encoded signals. *Radio industry*, 2016, no. 2, pp. 29-35. <https://doi.org/10.21778/2413-9599-2016-2-29-35> (Rus)
3. Banket V.L., Tokar' M.S. [Barker composite codes]. *Collected Works "Digital technologies"*, 2007, no. 2, pp. 8-18. <https://ojs.onat.edu.ua/index.php/digitech/article/view/592> (Rus)
4. Potekhin E., Shuvalov A., Leukhin N. Methods and results synthesis of aperiodic binary sequences and polyphase Barker sequences. *Digital Signal Processing*, 2013, iss 4, pp. 45-54. (Rus)
5. Ashikhina A.V. [Investigation of the properties of binary code sequences for use in the global navigation satellite system GLONASS] *Proc. of conf. "Prospects for the Development of Modern Mathematical and Natural Sciences"*, Russia, Voronezh, 2015, p. 108. (Rus)
6. Darwich T., Cavanaugh Ch. Amplitude shifting for sidelobes cancellation pulse compression // 2006 CIE International Conference on Radar. — China, Shanghai. — <http://dx.doi.org/10.1109/ICR.2006.343579>
7. Popravko E.D., Marushchenko S.G. [Software implementation of the search code sequences with given correlation properties]. *Mezhdunarodnyi Studencheskii Nauchnyi Vestnik*, 2015, no. 1. URL: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=12235> (Access date 24.10.2018)
8. Yudachev S. S., Kalmykov V. V. *Science and Education*, 2012, no. 1. (Rus)
9. Shpinkovskii A.A., Shpinkovskaya M.I. [The method of synchronization of transmitted information using pseudo-random sequences]. *Automatization of Technological and Business Processes*, 2014, no. 17, pp. 33-36. URL: <http://journals.uran.ua/atbp/article/view/26328/23709> (Access date 24.10.2018) (Rus)
10. Sadchenko A. V., Kushnirenko O. A. et al. Correlation scheme of frame synchronization in communication systems with QPSK-modulation. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, 2017, no. 6, pp. 22-28. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2017.6.22> (Rus)
11. Kiranmai B., Rajesh Kumar P. Performance evaluation of compound Barker codes using cascaded mismatched filter technique. *Int. Journal of Computer Application*, 2015, vol. 121, no. 19, pp. 31-34. <http://dx.doi.org/10.5120/21649-4844>
12. Sadchenko A. V., Kushnirenko O. A. et al. High-speed algorithm for carrier frequency recovery and frame synchronization in QPSK-modulated modems. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, 2018, no. 1, pp. 28-35. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2018.1.28> (Rus)
13. Barker R. H. Group Synchronizing of Binary Digital Sequences. In book *"Communication Theory"*, London, Butterworth, 1953.
14. Kiranmai B., Rajesh Kumar P. Performance evaluation of Barker codes using new pulse compression technique. *International Journal of Computer Applications*, 2014, vol. 107, no. 20, pp. 24-27. <http://dx.doi.org/10.5120/18869-0417>
15. Sadchenko A.V., Kushnirenko O.A., Troyansky A.V. The algorithm of random length sequences synthesis for frame synchronization of digital television systems. *Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi*, 2015, iss. 3(47), pp. 97-103. <http://dx.doi.org/10.15227/opu.3.47.2015.14>

Описание статьи для цитирования:

Садченко А. В., Кушниренко О. А., Юркевич А. Г., Севастьянов В. С. Исследование корректирующей способности синхрокодов для модели декодера с согласованной обработкой. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2018, № 5-6, с. 17–23. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2018.5-6.17>

Cite the article as:

Sadchenko A. V., Kushnirenko O. A., Yurkevych A. G., Sevastianov V. S. Study of the corrective ability of sync codes for the matched processing decoder. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, 2018, no. 5-6, pp. 17-23. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2018.5-6.17>