

СРАВНЕНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕКОГЕРЕНТНЫХ ОБНАРУЖИТЕЛЕЙ БИНАРНОГО СИНХРОСИГНАЛА

Е. К. Кошелев, к. т. н. А. В. Садченко, О. А. Кушниренко, Ю. А. Савчук

Одесский национальный политехнический университет
Украина, м. Одесса
koa@onu.ua

Проведено сравнение корректирующей способности схем обнаружения бинарных синхросигналов с некогерентным накоплением. Обнаружение синхросигнала выполняется после высокочастотного демодулятора с помощью классического и логического согласованных фильтров, у которых операция умножения при вычислении корреляционной функции заменяется логическим поэлементным сравнением.

Ключевые слова: логическая свертка, синхронизация, непериодическая автокорреляционная функция, согласованный фильтр.

В системах связи с использованием квадратурной модуляции (QAM) [1] одним из основных узлов является блок синхронизации. В качестве синхросигналов обычно используются последовательности с хорошими непериодическими автокорреляционными функциями (НАКФ) (коды Баркера, m -последовательности) [2, 3]. Наибольший эффект (энергетический выигрыш) от применения таких синхро-последовательностей достигается при согласованной обработке непосредственно на частоте сигнала, однако, при реализации схемы синхронизации на видеочастоте, то есть после фазового детектора, оптимальность выше перечисленных последовательностей не гарантируется.

Цель публикации – сравнительный анализ эффективности схем синхронизации на основе классического и логического согласованных фильтров.

На рис. 1 приведены две схемы обнаружения синхросигнала классического и логического фильтров. Отклик на выходе классического фильтра определяется с помощью дискретной свертки:

$$R(k) = \sum_{\tau=0}^{N-1} S(k)h(k-\tau), k = \overline{0, N-1}, \quad (1)$$

где $S(k)$ — бинарный код длиной N , $k = 0, \dots, N-1$;
 h — импульсная характеристика фильтра.

Отклик на выходе логического фильтра

$$R(k) = \sum_{\tau=0}^{N-1} \Phi[S(k), h(k-\tau)], k = \overline{0, N-1}, \quad (2)$$

где $\Phi[a, b]$ — логическая функция сравнения

$$\Phi[a, b] = \begin{cases} 1 & \text{при } a = b, \\ 0 & \text{при } a \neq b, \end{cases} a, b = \pm 1.$$

Таким образом, в схеме логического фильтра выполнена замена операции умножения отсчетов принятого сигнала на отсчеты импульсной характеристики операцией логического сравнения, т. е. установлены компараторы уровней «+1» и «-1».

Проведем сравнение откликов (рис. 2) на выходе накопителей (сумматоров) для классического и логического фильтров, согласованных с последовательностью Баркера длиной $N = 13$ при наличии трехкратных ошибок в канале связи.

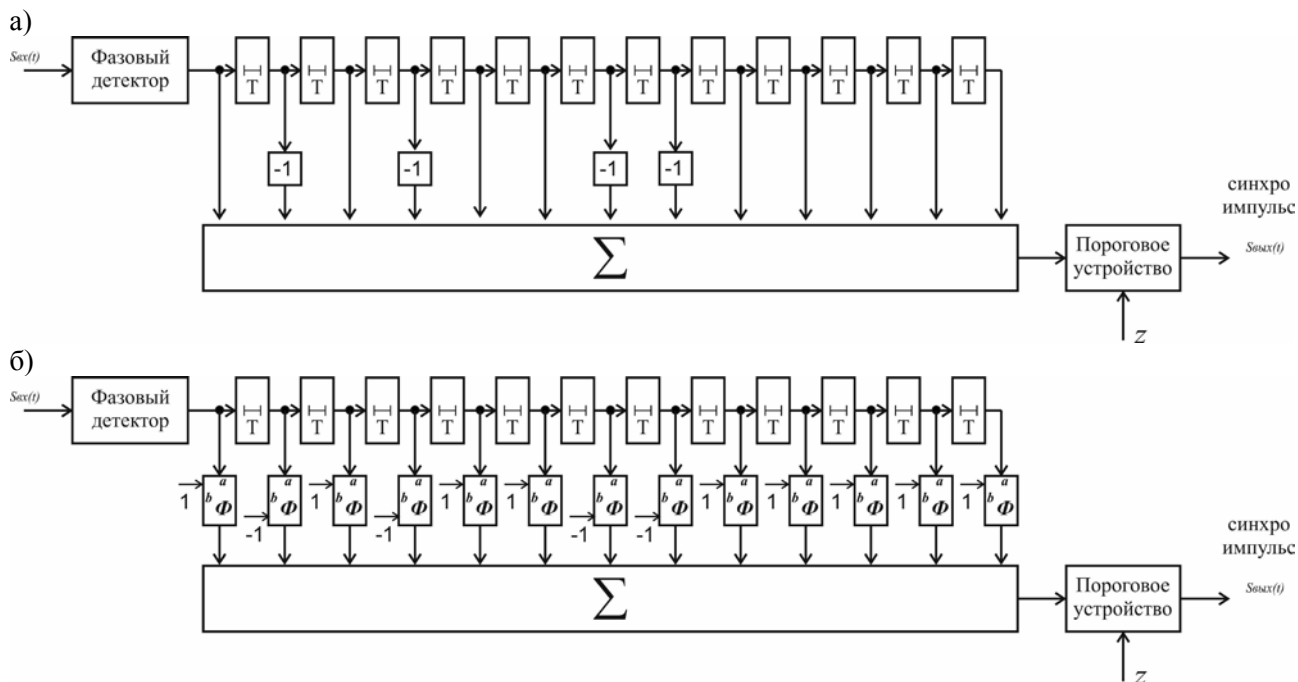


Рис. 1. Схемы обнаружения синхросигнала, согласованных с последовательностью Баркера $N = 13$:
 a — классический фильтр; $б$ — логический фильтр

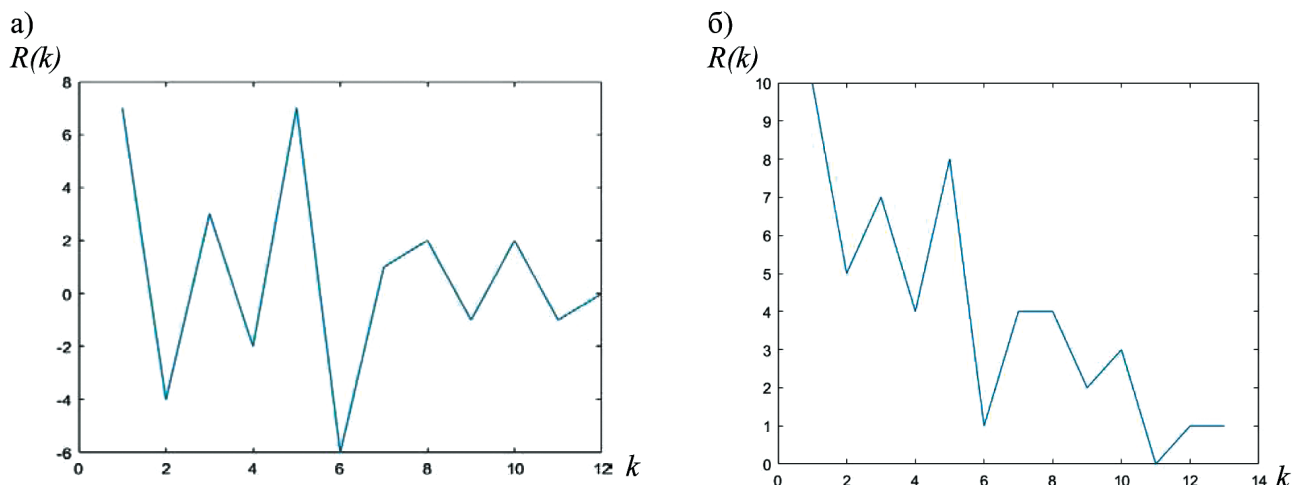


Рис. 2. Отклики на выходе согласованного фильтра для 13-позиционного кода Баркера при наличии трехкратной ошибки:
 a — классический фильтр; $б$ — логический фильтр

В канале связи из-за воздействия помехи бинарный поток с синхросигналом, в качестве которой выступает код Баркера, представленный выражением

$$S = \{+1; +1; +1; +1; +1; -1; -1; +1; +1; -1; +1; -1; +1\},$$

подвергся искажению. Это проявляется в том, что в кодовой комбинации происходит изменение состояние сигнальной позиции с «+1» и «-1» или наоборот.

Пусть, например, эти изменения коснулись первых трех позиций (т. н. трехкратная ошибка), тогда выше приведенное выражение примет следующий вид:

$$S_{er} = \{-1; -1; -1; +1; +1; -1; -1; +1; +1; -1; +1; -1; +1\}.$$

На рис. 2 представлены графики автокорреляционной зависимости 13-позиционного кода Баркера при наличии трехкратной ошибки НАКФ классического и логического фильтров.

Анализ отклика на выходе «классического» согласованного фильтра демонстрирует его неспособность к исправлению трехкратных ошибок, поскольку уровни бокового лепестка и главного соизмеримы.

Из графика отклика на выходе логического фильтра видно, что основной пик имеет большую амплитуду, чем боковые лепестки, следовательно, все трехкратные ошибки исправляются.

Последовательности Баркера обеспечивают минимальный уровень боковых лепестков (УБЛ) для НАКФ, рассчитанной в соответствии с выражением (1), при этом УБЛ логической свертки (2) не является оптимальным (УБЛ = 6).

На рис. 3 приведена НАКФ для бинарной последовательности длиной 13, найденная полным перебором с УБЛ = 5 и кода Баркера той же длины. Всего существует 238 последовательностей длиной 13 с УБЛ = 5, что позволяет использовать их в системах связи с кодовым разделением каналов и относительной скоростью кода 7/13.

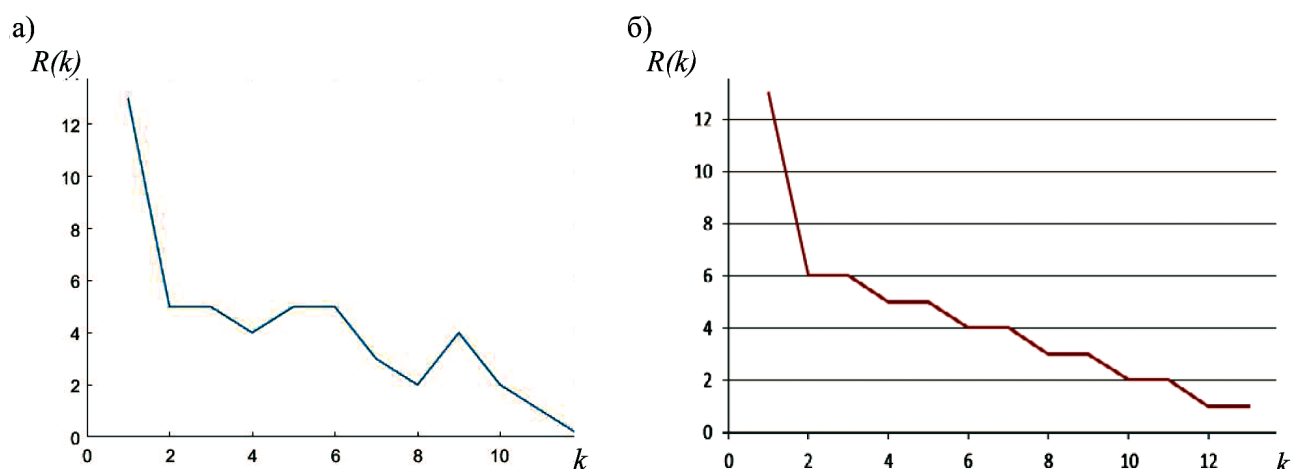


Рис. 3. Отклики на выходе логического согласованного фильтра для:

a — оптимальной бинарной последовательности длины 13; *б* — 13-позиционного кода Баркера

Моделирование работы видеочастотных обнаружителей синхросигнала подтвердило целесообразность использования логического фильтра, поскольку он обеспечивает более высокую кратность корректируемых ошибок.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Шевкопляс Б.В., Сухман С.М., Бернов А.В. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений.— Москва: Эко-Трендз, 2003.
2. Брени, С. Синхронизация цифровых сетей связи.— Москва: Мир, 2003.
3. 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/ТКЕА2017.6.22>

A. V. Sadchenko, O. A. Kushnirenko, E. K. Koshelev

Comparison of the corrective ability of non-coherent binary sync signal detectors

The corrective ability of the binary sync signal detection is compared with incoherent accumulation. Synchronization detection is performed after a high-frequency demodulator using classical and logical matched filters, in which the multiplication operation is replaced by a logical elementwise comparison when calculating the correlation function.

Keywords: logical convolution, synchronization, non-periodic autocorrelation function, matched filter.