

Поиск и синхронизация псевдослучайных последовательностей

Евгений Калугин (Калужская обл.)

В статье предлагается более быстрый по сравнению со стандартным алгоритм поиска и синхронизации псевдослучайных последовательностей.

В настоящее время широко используются сигналы, модулированные псевдослучайными последовательностями. Подобные сигналы уже использовались для космической связи [1], а затем, благодаря таким свойствам, как скрытность и надёжность передачи информации, они стали применяться в спутниковых радионавигационных системах, системах связи, охранных системах и т.п.

Для поиска и приёма таких сигналов приёмник должен использовать их копии. Сравнивая эти копии с принимаемыми сигналами, он делает заключение о наличии соответствующего сигнала на входе. При сравнении используется операция вычисления взаимокорреляционной функции (ВКФ) псевдослучайного

кода, которым модулирован принимаемый сигнал, и псевдослучайного кода, которым модулирован сигнал, сформированный в приёмнике (опорный сигнал). Нормированная величина ρ ВКФ двух псевдослучайных последовательностей вычисляется по формуле [1]:

$$\rho = \frac{A - D}{A + D},$$

где A – число символов, в которых обе последовательности совпадают, D – число символов, в которых они отличаются. Поскольку для формирования копий сигналов приёмник использует те же самые псевдослучайные последовательности, которые используются передатчиком при модуляции сигнала, для вычисления ВКФ двух последова-

тельностей выполняется суммирование одной последовательности (опорный сигнал) со своей копией (принимаемый сигнал), сдвинутой на неизвестное количество разрядов.

Основной задачей приёмника является синхронизация начала формируемой им последовательности с началом принимаемой последовательности. Для этого по окончании каждого периода опорной последовательности в приёмнике осуществляется вычисление ВКФ. При совпадении псевдослучайных последовательностей в принимаемом и сформированном приёмником сигналах $\rho = 1$. При сдвиге псевдослучайной последовательности, формируемой в приёмнике, относительно принимаемой на любое количество разрядов $\rho = 1/N$, где N – количество разрядов (длина) псевдослучайного кода.

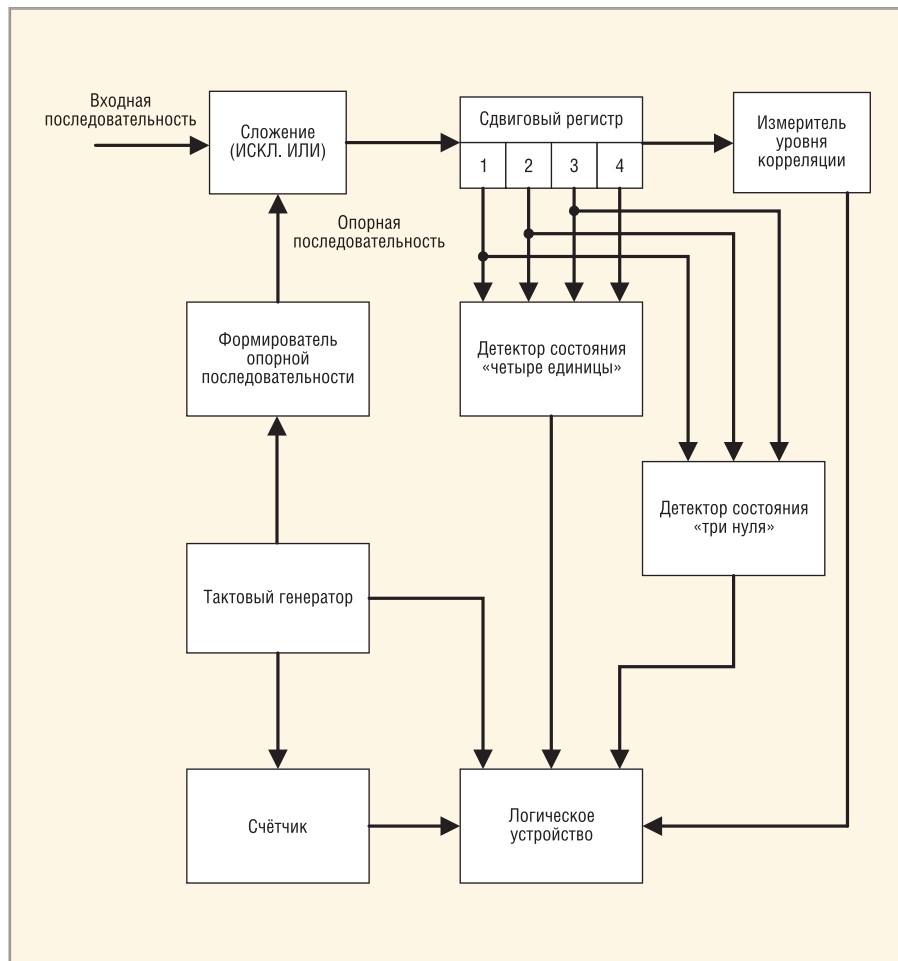
Если использовать стандартный алгоритм [1], то при поиске сигналов в приёмнике необходимо «сдвигать» формируемую им псевдослучайную последовательность на один разряд (или меньше) после каждого вычисления ВКФ, пока результат не станет равным единице; тогда в худшем случае (при использовании сдвига последовательности на один разряд) для синхронизации формируемого и принимаемого сигналов необходимо выполнить анализ результатов вычисления $N - 1$ раз.

В настоящей статье предлагается более быстрый способ синхронизации двух псевдослучайных последовательностей. Для этого используются два свойства, указанные в [2], а именно:

- в периоде M -последовательности из общего числа 2^{n-1} серий 2^{n-2} содержат один символ, 2^{n-3} – два символа, 2^{n-4} – три символа и т.д., пока это число не станет равным единице;
- для M -последовательности сумма по модулю p с этой же последовательностью, но сдвинутой на любое число разрядов, кроме числа, равного периоду, является последовательностью максимального периода того же вида, но имеющей другой сдвиг.

Результаты суммирования опорной и принимаемой последовательностей

Принимаемая последовательность 000111101011001		
Сдвиг опорной последовательности относительно принимаемой (количество разрядов)	Опорная последовательность	Результаты суммирования
-1	00111101011001	001000111101011
-2	011110101100100	011001000111101
-3	111101011001000	111010110010001
-4	111010110010001	111101011001000
-5	110101100100011	110010001111010
-6	101011001000111	101100100011110
-7	010110010001111	010001111010110
-8	101100100011110	101011001000111
-9	011001000111101	011110101100100
-10	110010001111010	110101100100011
-11	100100011110101	100011110101100
-12	001000111101011	001111010110010
-13	010001111010110	010110010001111
-14	100011110101100	100100011110101
-15	000111101011001	000000000000000



Структурная схема устройства, реализующего предложенный алгоритм поиска и синхронизации последовательностей

Проиллюстрируем эти свойства на примере из [2]. В качестве образца используем последовательность с порождающим полиномом $L = 2^4 - 1$: 000111101011001. При помощи операции «исключающее ИЛИ» просуммируем эту последовательность с опорным сигналом. В качестве опорного сигнала используем ту же последовательность, сдвинутую на разное количество элементов. Результаты суммирования представлены в таблице. В первом столбце таблицы указано количество разрядов, на которое опорная последовательность сдвинута относительно принимаемой. Во втором столбце представлена сама опорная последовательность. В третьем столбце – последовательность, которая получается в результате суммирования принимаемой последовательности и опорной последовательности.

Как видно из таблицы, в соответствии со свойством 2 при суммировании опорной и принимаемой последовательностей получается та же последовательность, сдвинутая на другое количество разрядов.

Рассмотрим теперь результаты суммирования с точки зрения первого

свойства последовательностей. В частности, в результирующей последовательности имеется только по одной серии из трёх и четырёх символов. Причём момент появления этих серий в результирующей последовательности зависит от сдвига опорной последовательности относительно принимаемой. Анализируя данные таблицы, можно вычислить отставание (опережение) опорной последовательности относительно принимаемой по времени появления серии из 3 или 4 символов. Например, если серия из четырёх символов появилась на 6-ом такте сравнения (соответственно, закончилась на 9-ом такте), то для синхронизации опорной последовательности с принимаемой необходимо опорную последовательность сдвинуть на два разряда вперёд или на 13 разрядов назад (см. строку 7 таблицы).

На рисунке представлена структурная схема устройства, реализующего предложенный алгоритм поиска и синхронизации последовательностей. На один вход устройства суммирования поступает принимаемая последовательность. На другой его вход

подаётся опорный сигнал – та же последовательность, сдвинутая на некоторое количество разрядов. Суммирование двух последовательностей выполняется по закону «исключающее ИЛИ». Результат поступает на вход четырёхразрядного регистра сдвига. С выхода регистра сигнал поступает на измеритель уровня корреляции. Измеренное значение передаётся в логическое устройство. Если $\rho \neq 1$, то логическое устройство сдвигает опорную последовательность на 1 разряд вперёд или назад и снова ожидает измерения значения ρ . Цикл повторяется до момента, пока значение ρ не станет равным единице.

В предлагаемой схеме, одновременно с вычислением уровня корреляции, с выходов четырёх разрядов регистра сдвига сигналы поступают на детекторы комбинаций «четыре единицы» и «три нуля». В качестве детектора комбинации «четыре единицы» может использоваться четырёхходовый логический элемент «И», а комбинации «три нуля» – трёхходовый логический элементе «ИЛИ-НЕ». При срабатывании детектора логическое устройство, по данным счётчика, определяет, на каком такте сравнения появилась комбинация «четыре единицы» или «три нуля» и на какое количество разрядов необходимо сдвинуть опорную последовательность для достижения полного совпадения опорного и принимаемого сигналов.

Разрядность регистра сдвига выбирается, исходя из разрядности комбинации символов, которую предполагается детектировать. Использование двух детекторов вместо одного необходимо для учёта тех случаев, когда детектируемая комбинация «разрывается» между началом и концом последовательности (см., например, строки 3, 8 и 10 таблицы, где в результирующей последовательности оказывается «разорванной» комбинация «четыре единицы»).

Использование предложенного алгоритма позволяет выполнять синхронизацию принимаемого и опорного кода за один период последовательности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровые методы в космической связи. Под ред. С. Голуб. Связь, 1969.
2. Алексеев А.И., Шереметьев А.Г., Тузов Г.И., Глазов Б.И. Теория и применение псевдослучайных сигналов. Наука, 1969.

