РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА ЦИФРОВОМ СИГНАЛЬНОМ ПРОЦЕССОРЕ

Сорохтин М.М., Морозов О.А., Фидельман В.Р.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ),
Научно-исследовательский физико-технический институт нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (НИФТИ ННГУ)
mikl@nifti.unn.ru

Фазовая манипуляция – один из видов модуляции, применяемых в современных системах цифровой связи, обладает высокой информационной емкостью и находит применение во многих протоколах высокоскоростной связи [1].

Узел обнаружения ФМ-сигналов является важнейшей частью аппаратуры многих современных систем связи. Он предназначен для обнаружения на фоне аддитивных и мультипликативных шумов сигналов с фазовой манипуляцией, а также для их первичного анализа, который состоит в определении типа модуляции, скорости передачи данных и идентификации принадлежности к определенной системе связи.

Современные требования, предъявляемые к построению вычислительного узла обнаружителя сигналов следующие: Во-первых, с приемного тракта поступает непрерывный поток данных, то есть обработка сигнала должна носить потоковый характер. Во-вторых, дискретизация входного сигнала производится с достаточно большой частотой. Для сокращения информационной нагрузки на каналы передачи цифровых данных необходима предварительная обработка с децимацией данных. Естественным решением в этом случае является предварительная обработка сигнала вычислительным модулем на базе цифрового процессора обработки сигналов (ЦПОС) [2, 3].

Задача обнаружения фазоманипулированных сигналов может быть решена двумя методами [4]. Первый метод состоит обнаружении по особенностям распределения энергии в спектре сигнала. Для реализации соответствующей вычислительной процедуры необходимо произвести преобразование Фурье. Второй метод – параметрический, основан на анализе невязки, полученной сравнением каждого отсчета сигнала с его авторегрессионным предсказанием по коэффициентам, рассчитанным для гармонического сигнала.

Для решения задачи декодирования сигнала и выделения модулирующей последовательности можно использовать фазо-цифровое преобразование. Результатом фазо-цифрового преобразования является так называемая фазовая линия, которая представляет собой последовательность значений фазы анализируемого сигнала, зарегистрированных с частотой, априорно равной несущей частоте. Значение частоты дискретизации фазы называется опорной частотой. Анализ фазовой линии является для вычислительных систем реального времени более предпочтительным, так как позволяет снизить скорость поступления информации, подлежащей обработке, в несколько десятков раз.

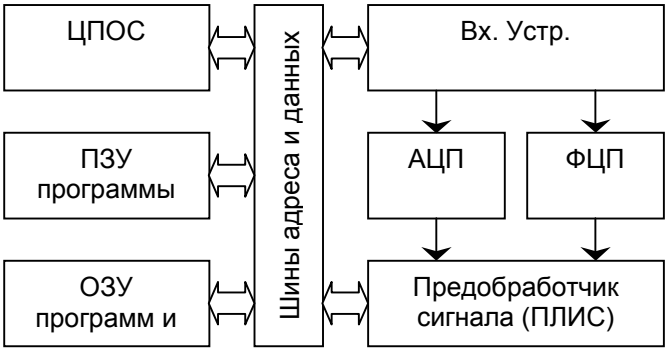

Рис. 1. Функциональная схема анализатора сигналов

На рис. 1 приведена функциональная схема обнаружителя сигналов. Входная цепь состоит из согласующего устройства и включенных параллельно аналого-цифрового (АЦП) и фазо-цифрового (ФЦП) преобразователей. Выход АЦП может использоваться для обнаружения ФМ-сигналов с спектральным и параметрическим методами, а выход ФЦП – для декодирования сигналов. Для хранения оцифрованного сигнала и программы процессора требуется внешнее оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) предназначено.

Цифровая обработка сигнала в блоке декодирования ФМ-сигналов разделена на две ступени. Первая ступень включает в себя обработку сигнала предварительными фильтрами. Для обеспечения работы алгоритмов обнаружения предварительная обработка включает в себя умножение оцифрованных выборок сигнала на временное окно [5]. Это улучшает качество спектральных оценок. Для анализа фазового кода необходимы два – медианный и распознающий. Распознающий фильтр настроен на обнаружение разрывов фазы и дает на выходе код разрыва. Первая ступень

©электронная версия подготовлена ЗАО АВТЭКС Санкт-Петербург, http://www.autex.spb.ru

фильтрации, как наиболее вычислительно емкая и допускающая эффективное распараллеливание, может быть реализована на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Внедрение параллельной обработки входных данных на реализованном аппаратно вычислительном устройстве позволяет многократно сократить время вычислений.

Характерным признаком передачи ФМ-сигнала является появление на фазовой линии периодических разрывов на величину, близкую к π или π/2 [1]. Разработанный алгоритм декодирования основан на анализе таких разрывов и содержит блок анализа синхронизации.

На качество фазовой линии влияют шумовые факторы. Отклонение несущей частоты от опорной известной приводит к тому, что фазовая линия приобретает «пилообразный вид», иллюстрация приведена на рис. 2. При этом периодические разрывы на величину 2π должны игнорироваться алгоритмом. Добавление мультипликативного шума приводит к появлению фазовой шумовой составляющей.

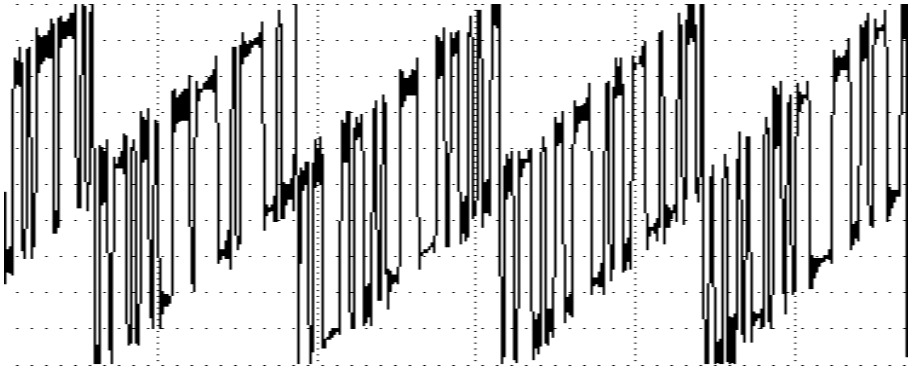

Рис. 2. Типичный вид фазовой линии сигнала с манипуляцией ФМ2.

Выход фазо-цифрового преобразователя при оцифровке шума имеет шумовой вид. Стартовый отрезок ФМ-сигнала, как правило, занимает так называемая преамбула – настроечная последовательность, предназначенная для обнаружения сигнала. Критерием появления сигнала является наличие на фазовой линии последовательности разрывов, расположенных на интервалах, кратных длительности бита на какой-либо из возможных скоростей передачи. Моменты манипуляций запоминаются и используются для вычисления уточненной скорости передачи информации и определения уточненного момента смены бит. Определение этих двух параметров и представляет собой процедуру синхронизации.

В режиме декодирования процедура производит преобразование фазовой линии в битовую последовательность. Каждый бит передается в течение промежутка времени, равного B^{-1}, где *B* – скорость передачи. Переход к передаче нового бита в случае, если он отличается от предыдущего, сопровождается скачкообразным разрывом на фазовой линии. Процедура осуществляет поиск разрыва фазы в окрестности точки каждой манипуляции. Однако из-за помех попадаются разрывы, находящиеся далеко от моментов манипуляций. Такие разрывы считаются ложными. Возрастание доли ложных разрывов может говорить либо о прекращении передачи, либо о том, что нарушилась синхронизация. В первом случае необходим критерий прекращения декодирования и перехода в режим поиска. Такой критерий связан с отношением числа ложных разрывов к числу истинных. Во втором случае необходим механизм уточнения синхронизации, а именно – уточнения моментов манипуляций. Коррекция синхронизации производится после накопления определенного объема информации – отклонения моментов ряда последних зарегистрированных манипуляций от их расчетных моментов. По этим величинам вычисляется среднее смещение, которое используется для коррекции декодера.

Необходимо учитывать, что полученная битовая последовательность является неоднозначной, так как характер фазовой линии отражает лишь моменты изменения бит. Поэтому после установки синхронизации требуется проверка полярности декодирования. Преамбулы многих ФМ-сигналов включают специальные последовательности, которые позволяют установить правильную полярность декодирования еще до появления смысловой информации.

Для тестирования алгоритмов обнаружения и анализа использовалось как модельное программное обеспечение, так и реальные сигналы. В результате установлено устойчивое обнаружение и декодирование производится при отклонении несущей частоты от опорной до 3%, отношении сигнал/амплитудный шум от 6 дБ и уровне фазовых шумов до 1%.

Литература

1. PSK Demodulation (Part 1), J. Marc Stebber, WJ Communications, Inc, 2001, 6 c.
2. Eyre J., Bier J. The evolution of DSP processors. Berkeley Design Technology, Inc., 2000. 9 c.
3. ADSP-21065L SHARC Technical Reference, Analog Devices, Inc., 1998. 598 c.
4. Detection Theory: Applications and digital Signal Processing, Ralph Dieter HippenStiel, CRC Press, 2001, 1st edition, 344 c.
5. Хэррис Ф.Дж, Использование окон при гармоническом анализе методом дискретного преобразования Фурье. // ТИИЭР, т. 66, N1, 1978.
6. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. М.: Недра, 1987. 221 с.
7. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов. Справочник. М.: Радио и связь, 1985.

IMPLEMENTATION PHASE-SHIFT KEYED SIGNALS DETECTION ALGORITHMS ON THE DIGITAL SIGNAL PROCESSOR

Sorokhtin M., Morozov O., Fidelman V.
mikl@nifti.unn.ru

The phase-shift keying - one of kinds of modulation used in modern systems of a digicom, has high information capacity and finds a use in many protocols of a high-speed communications.

PSK signals detector is a major part of many modern communications systems. He is intended for detection of phase-shift keyed signals on a background of additive and multiplicative noise, and also for their primary analysis, which includes recognition of modulation type, transfer rate and identification if the signal affiliates to protocol of some communications system.

Specific character of data flow from receiver makes terms to construction of detector's computation unit. The natural solution for this case is the preprocessing of a signal by a computation module on the basis of digital signal processor (DSP).

The problem of detection of PSK signals can be resolved by two methods. The first method consists of analysing of an energy distribution in a spectrum of a signal. It is necessary for implementation of this procedure to make a Fourier transform. The second method - parametric, is based on the analysis of are inviscid, obtained by matching of each readout of a signal with his(its) auto regression prediction for factors counted for a harmonic signal.

For the solution of a problem of decoding of a signal and allocation of modulating sequence it is possible to use phase-to-digital conversion (PDC). Outcome of this conversion is the phase line, which one represents sequence of values of sampled phase.

Functional diagram of the detector is shown in a figure 1. The input circuit includes ADC and PDC. To store the digitized signal and programs of the processor it is necessary to use an external operating storage (RAM).

The digital processing of a signal devides into two stages. The first stage includes processing by preliminary filters. To improve activity of detection algorithms the pretreatment includes multiplying the digitized sampling to a time window. For analyse of phase code are used two filters - median and recognizing. The recognizing filter is customized on detection of phase jumps. The first stage of a filtration, as the most computing capacious and accepting effective multisequencing, can be realized on the basis of field programmable gate arrays (FPGAs).

The output of PDC at digitization of a noise has a noise kind. When PSK signal begins, series of phase gaps appears on the phase line. Decoding algorithm recognizes this gaps and introduces on the output bit sequence. Phase gaps are arranged on intervals, multiple duration of bit on some of possible transfer rates. The moments of manipulations are stored and will be used for calculus of updated baudrate and definition of the updated moments of manipulations. The definition of these two parameters also represents a procedure of synchronization.

It is necessary to note that the obtained bit sequence is ambiguous, as the nature of a phase line mirrors only moments of bit changes. Therefore after the installation of synchronization the check of decoding polarity is required. The preambles of many PSK signals include special sequences, which make it possible to establish exact polarity of decoding even before appearance of the semantic information.

The testing of detection and analysis algorithms was carried out both with model software, and actual signals. The outcomes demonstrate that decoding is steady at deviation of a carrier frequency from reference up to 3%, amplitude SNR from 6 дБ and phase noises up to 1%.