

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОИСКА СИГНАЛА НА ФОНЕ ШУМОВ МЕТОДОМ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Сорохтин М.М., Сорохтин Е.М., Морозов О.А.

Научно-Исследовательский Физико-Технический Институт
Нижегородского Государственного Университета им. Н.И. Лобачевского (НИФТИ ННГУ)

Поиск сигнала специального вида на фоне шумов является одной из главных задач в таких областях, как цифровая связь, радиолокация, акустика, дефектоскопия. Как правило, в приведенных областях задача ставится таким образом: для определения местоположения объекта излучается специальный радиоимпульс и регистрируется отраженный от объекта сигнал. В принятом сигнале требуется найти излученный радиоимпульс. Используемые сложные радиоимпульсы обычно представляют собой пакеты с частотной или фазовой модуляцией или манипуляцией. Кроме задачи определения расстояния до объекта по временному смещению импульса может ставиться задача определения скорости перемещения объекта по доплеровскому смещению частоты принятого радиоимпульса по отношению к излученному.

При современном уровне развития элементной базы радиотехнических средств наиболее надежными и эффективными становятся алгоритмы решения данной задачи, основанные на цифровой обработке дискретного сигнала с помощью встроенных вычислительных систем.

Традиционное решение задачи определения положения импульса в сигнале с помощью взаимной корреляционной функции обладает следующим недостатком: при появлении частотного сдвига, обусловленного эффектом Доплера при отражении сигнала от движущегося объекта, а также при добавлении к сигналу фазовых шумов, результат взаимной корреляции теряет однозначность и выраженность.

В данной работе рассматривается аппаратная реализация алгоритма поиска ключевой последовательности на основе построения тела неопределенности, то есть, функции согласования двух сигналов, зависящей от временного и частотного сдвига.

Обозначим за $v_1(t)$ функцию искомого радиоимпульса, за $v_2(t)$ – функцию входного тракта приемного устройства, в котором необходимо найти радиоимпульс.

$$v_1(t) = A_1 \sin(f(\omega_1, t)) + n_1(t),$$

$$v_2(t) = A_2 \sin(f(\omega_2, t - t_0)) + n_2(t),$$

где A_1 и A_2 – амплитуды гармонических сигналов, $f(\omega, t)$ – модулирующая функция, определяющая вид модуляции сигналов. Например, для линейной частотной модуляции $f(\omega, t) = (\omega_0 + at) \cdot t$, где a – скорость нарастания частоты; для фазовой манипуляции $f(\omega, t) = \omega_0 t + \pi p[t \cdot d_p]$, где p – псевдослучайная последовательность данных, d_p – скорость передачи данных. К сигналам добавлен аддитивный некоррелированный шум $n_1(t)$ и $n_2(t)$.

Для учета возможного доплеровского смещения частоты выполняется переход от традиционного коррелирования сигналов к коррелированию спектров. Функция взаимной корреляции спектра $V_1(\omega)$ сигнала $v_1(t)$ и $V_2(\omega)$ сигнала v_2 , сдвинутого по времени на величину Δt : $v_2(t + \Delta t)$, будет выглядеть следующим образом:

$$G(\omega, \Delta t) = R_{V_1, V_2} = V_1(\omega) \otimes V_2(\omega).$$

Учитывая, что $V_i(\omega)$ являются Фурье-изображениями функций $v_i(t)$:

$$G(\omega, \Delta t) = F\{v_1(t)\} \otimes F\{v_2(t)\} = F\{v_1(t) \cdot v_2(t + \Delta t)\}.$$

Таким образом, данная функция представляет собой Фурье-изображение от произведения искомого сигнала на исследуемый, сдвинутый на время Δt .

Функция $G(\omega, \Delta t)$ представляет собой поверхность в пространстве $(\omega, \Delta t)$. Если в исследуемом сигнале содержится искомый фрагмент, то на этой поверхности будет присутствовать экстремум в точке $(\Delta\omega, t_0)$, координаты которой – соответственно значение доплеровского сдвига $(\Delta\omega = |\omega_2 - \omega_1|)$ и временного сдвига.

Для определения степени надежности обнаружения сигнала вводится критерий S :

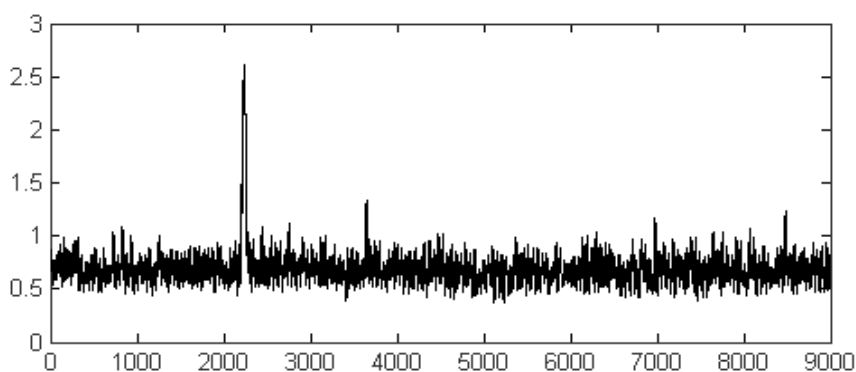


Рис. 1 Вид сечения тела неопределенности

$$C = \frac{\max\{IB(\omega, \Delta t)\} - \overline{IB(\omega, \Delta t)}}{\sqrt{\text{var}\{IB(\omega, \Delta t)\}}},$$

где var – дисперсия функции на интервале поиска.

На рис.1 изображен типичный вид сечения тела неопределенности плоскостью $\Delta t=t_0$.

Для ускорения работы алгоритма возможен двухпроходный режим: при первом проходе шаг изменения временного сдвига достаточно большой, для обнаружения экстремума, при втором проходе шаг равен одному отсчету дискретизации входного сигнала.

Компьютерное моделирование рассмотренного алгоритма заключалось в регистрации зависимостей среднеквадратичного отклонения найденного временного сдвига и критерия надежности от соотношения сигнал/шум. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты компьютерного моделирования

Отношение сигнал/шум, дБ	СКО, отсчетов	Критерий
10	0,00	20,58
6	0,00	20,50
3	0,58	20,43
0	0,88	19,64
-3	1,41	18,77
6	1,33	16,96
-10	2,40	16,06
-12	2,56	15,41
-15	196,94	6,20

Таким образом, по результатам моделирования можно констатировать, что работа алгоритма достаточно надежна при отношении сигнал/шум не хуже -12 дБ.

Алгоритм обнаружения сигналов реализован аппаратно в виде автономного устройства со встроенной вычислительной системой на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) и двух цифровых сигнальных процессорах (ЦСП), работающих в режиме кластера. Функционально его можно разделить на следующие узлы:

1. Узел приема и хранения данных.
2. Устройство предварительной обработки сигналов.
3. Цифровой сигнальный процессор.
4. Блок управления.

Узел приема и хранения данных реализован в виде трех ПЛИС семейства Spartan II фирмы Xilinx (xc2s150). Он состоит из схемы оцифровки сигналов и устройства хранения данных. Оцифрованные данные передаются в устройство хранения, которое представляет собой блок памяти SDRAM с контроллером доступа. Частота дискретизации в опытном образце может составлять до 250 кГц. Объем памяти достаточно для хранения реализации сигнала длительностью не менее 60 секунд при максимальной частоте дискретизации.

Устройство предварительной обработки реализовано на ПЛИС Spartan II фирмы Xilinx (xc2s200). Устройство представляет собой умножитель, способный попарно перемножать отсчеты двух сигналов с усреднением по заданному числу соседних отсчетов, при этом один из сигналов автоматически смещается после каждого прохода на заданную величину сдвига. Устройство предварительной обработки связано с устройством хранения данных, из которого перед началом анализа выдается сегмент сигнала, в котором необходимо найти импульс.

Дальнейшая обработка сигнала согласно алгоритму (вычисление быстрого преобразования Фурье и анализ полученного тела неопределенности) выполняется на ЦСП ADSP21065L архитектуры SHARC фирмы Analog Devices.

Блок управления обеспечивает управление всеми составными частями анализатора и реализован также на базе сигнального процессора ADSP-21065L. Кроме того, блок управления отвечает за передачу информации и управление анализатором от внешнего интерфейса.

Конструктивно цифровой анализатор сигналов выполнен в виде модуля стандарта VXI. Его архитектура приведена на рис. 2.

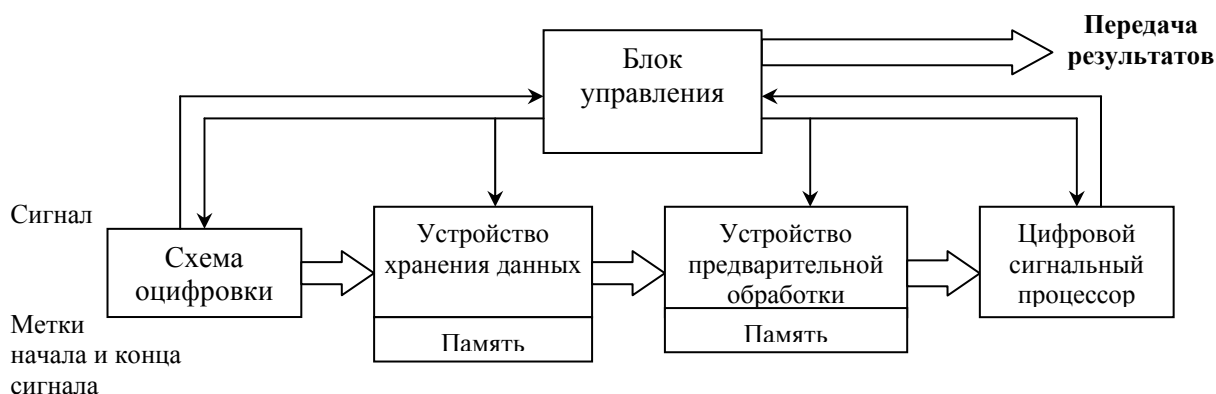


Рис. 2. Архитектура макета прибора

При приеме исследуемого сигнала схема оцифровки следит за поступающими метками начала и конца сигнала. При поступлении этих меток фиксируются адреса памяти начала и конца анализируемого фрагмента сигнала, которые затем передаются в блок управления. Блок управления, получив данные о хранимом сигнале, конфигурирует устройство предварительной обработки и запускает передачу анализируемых отсчетов данных в его память. По окончании перемножения устройство предварительной обработки выполняет пересылку результатов в ЦСП через механизм прямого доступа в память (ПДП). Схема оцифровки при этом продолжает работать в конвейерном режиме, выполняя перемножение искомого и исследуемого сигналов с другим временным сдвигом.

Разработанное устройство было протестировано и испытано на аналоговых сигналах, имитирующих работу системы связи.

Литература

1. Ж. Макс. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Т. 1, 2. М.:Мир. 1983.
2. Акимов П.С., Евстратов Ф.Ф., Захаров С.И. Обнаружение радиосигналов. «Радио и связь» 1989
3. Ralph D. Hippenstiel. Detection Theory. Applications and Digital Signal Processing. CRC Press, 2002.

