электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 681.524

Разработка программного обеспечения макета акустического пеленгатора

***Степанова Д.К.**, студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»

Научный руководитель: Глазков В.В., к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
wave@sm.bmstu.ru

Введение

Одной из актуальных проблем в настоящее время является защита стратегически важных объектов, находящихся в лесистой местности. В связи с этим разработка систем, позволяющих обнаружить движущиеся объекты, приближающиеся к территории охраняемого периметра, имеет огромную важность. Цель данной работы состоит в создании программного обеспечения для макета акустического пеленгатора, который позволяет обнаруживать и сопровождать цель в лесистой местности. В ходе работы проведен анализ работы алгоритма, были решены проблемы реализации алгоритма на аппаратной платформе, разработано программного обеспечения в среде Labview.

Основная часть

Принцип работы фазового пеленгатора основан на измерении разности фаз $\Delta\varphi$ сигналов, принимаемых антеннами A и B. Алгоритм позволяет определять местоположение цели по углу $\alpha = \arccos\left(\frac{t \cdot V_{зв}}{d}\right)$

где d - расстояние между разнесенными антеннами (измерительные базы);

t - задержка сигнала;

$V_{зв}$ - скорость звука,

α - угол источника акустического излучения,

причем прием сигналов идет со всех возможных пеленгов.

Основываясь на принципах фазовой пеленгации, будем производить слежение за целью по задержке t. [3] В качестве сигнала для нахождения необходимых характеристик используем модель полосового белого шума.

В качестве исходных данных имеется алгоритм следящего пеленгатора, который представляет собой конечный автомат с 2 состояниями (Захват и Сопровождение) (Рис.1) [2]

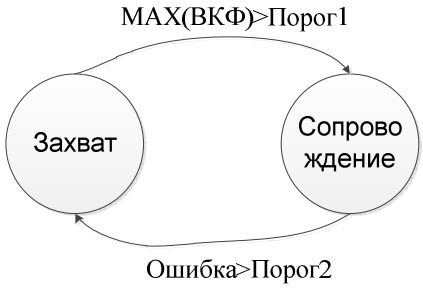
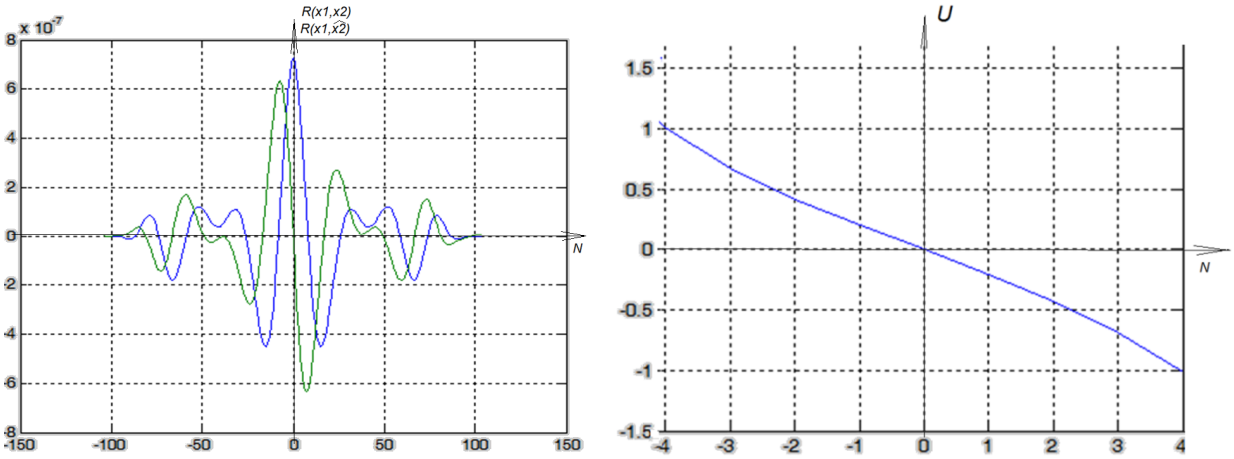


Рис. 1. Диаграмма состояний работы программного обеспечения действующего макета

В режиме «Захват» происходит вычисления взаимной корреляционной функции (ВКФ) по двум каналам микрофона со всех возможных пеленгов. В случае превышения максимального значения ВКФ Порога 1 принимается решение о наличии сосредоточенного источника акустического сигнала в зоне обнаружения. При этом автомат переходит в режим «Сопровождение».

Переход в режим «Сопровождение» автоматически означает обнаружение одиночной цели. В режиме «Сопровождение» реализуется работа следящего пеленгатора и находится ошибка рассогласования по пеленгационной характеристике по всем возможным углам. В случае, когда ошибка следящей системы станет больше Порога 2, принимается решение о срыве слежения, и автомат переходит в режим «Захват».

Для работы пеленгатора в режиме сопровождения была определена пеленгационная характеристика, которая была найдена как отношение взаимной корреляционной функции (ВКФ) сигнала и сигнала, сопряженного по Гильберту, к автокорреляционной функции (АКФ) сигнала (рис. 2.а).



а) б)

Рис. 2. а - ВКФ прямых сигналов, ВКФ прямого и сопряженного по Гильберту сигналов, б - пеленгационная характеристика

Проектируемый макет акустического пеленгатора строится как цифровая система, поэтому данные на него поступают с выхода аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Частота дискретизации АЦП в данной системе составляет 25600 Гц. На рисунке 2 ось времени представлена в отсчетах АЦП, причем один отсчет соответствует 1/25600 с. Для дальнейшего анализа пеленгационная характеристика в диапазоне значений N= (-4..4) принимается линейной (рис.2 б).

В качестве аппаратной платформы была выбрана промышленная реконфигурируемая встраиваемая система CompactRIO , содержащая три компонента - контроллер реального времени, реконфигурируемый программируемый массив вентилей (FPGA) и промышленные модули ввода-вывода, в качестве которых было выбрано 24-разрядное сигма – дельта АЦП.

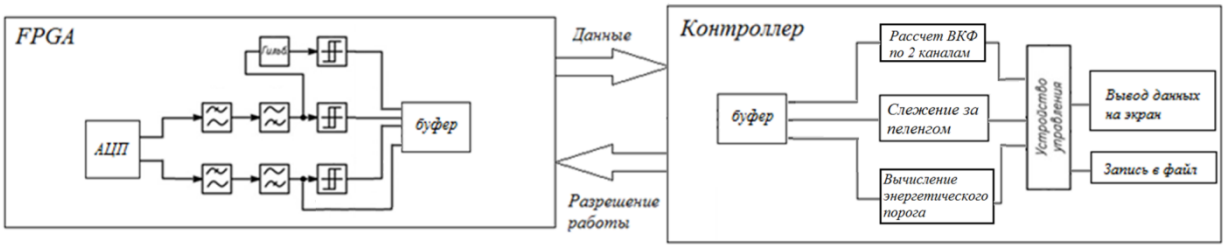


Рис. 3. Распределение алгоритма акустического пеленгатора

Для минимизации задержки в принятии решения часть алгоритма была реализована на FPGA , а часть на контроллере. Программное обеспечение для FPGA содержит операции фильтрации, преобразования Гильберта, знакового преобразования и записи в буфер (рис.3). Операции нахождения ВКФ и пеленга выполняются на контроллере. Объем

буфера позволяет хранить цифровые данные, соответствующие 0.4 с исходного сигнала, и передавать их на контроллер. Анализ и сбор данных идут непрерывно, что предотвращает потерю данных.

В процессе разработки программного обеспечения вследствие отсутствия готового блока преобразования Гильберта была решена проблема его реализации на FPGA.

Преобразование Гильберта можно построить с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) или на основе цифрового фильтра (ЦФ).

Использование БПФ дает выигрыш с точки зрения точности (имеет четкие частотные характеристики), но достижение необходимой скорости обработки данных требует больших вычислительных затрат – необходимо 2 раза выполнить преобразование, выполнить умножение на соответствующие коэффициенты и накопить массив данных. Ниже приведены расчетные формулы.

$$X(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \qquad (1)$$

$$X_1(j\omega) = [1 + \mathrm{sgn}(\omega)] X(j\omega) \qquad (2)$$

$$\tilde{x}(t) = \mathrm{Im}[2 \int_{0}^{\infty} X_1(j\omega) e^{j\omega t} d\omega], \qquad (3)$$

где $x(t)$ - исходный сигнал, $X(j\omega)$ - спектр сигнала, $\tilde{x}(t)$ - сигнал, сопряженный по Гильберту. Накопленные цифровые данные проходят через преобразование Фурье (1), далее полученные после преобразования данные умножаются на соответствующие коэффициенты (2) и затем используем мнимую часть после обратного преобразования Фурье (3).

Количество операций умножения и сложения составляет 303520. Таким образом, логической емкости FPGA не хватит, чтобы реализовать алгоритм.

Использование КИХ-фильтра позволяет значительно сократить вычислительные затраты (81200 операций сложения и умножения для 31 порядка фильтра), так как требует перемножения на соответствующие коэффициенты a_k, суммирование (4) и запись конечных данных в буфер. Передаточная функция фильтра имеет следующий вид:

$$H(z) = \sum_{k=0}^{M} a_k z^{-k} \qquad (4)$$

Однако преобразование имеет довольно неравномерную амплитудно-частотную характеристику. Так, например, фильтр 15-го порядка имеет нелинейность 12 дБ в полосе пропускания.

В связи с этим необходимо было проанализировать, как влияет порядок фильтра на нелинейности АЧХ и на пеленгационную характеристику при условии, чтобы пеленгационная характеристика отличалась от исходной (рис.2.б) не более чем на 5%. Посредством моделирования в программе Matlab были получены корреляционные и пеленгационные характеристики модельного БШ при исходных данных:

- полоса пропускания: $\Delta f = 200..1000$ Гц

- скорость звука $V_{зв} = 25600$ м/с

- расстояние между приемниками $d = 1.4$ м

Рассмотрено два случая: сигнал с учетом и без учета клиппирования. На рис. 4 показаны пеленгационные характеристики, полученные с помощью преобразования Фурье и Фильтра 15-го порядка с учетом бинарного преобразования. Как видно, ошибка составляет 4.7%, что отвечает заданным условиям.

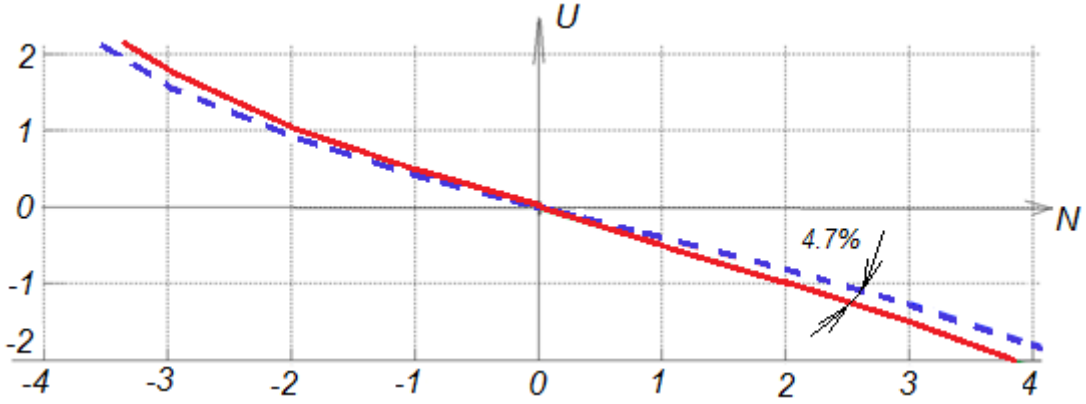


Рис. 4. Пеленгационные характеристики клиппированных сигналов, полученных с помощью преобразования Фурье (штриховая) и Фильтра 15-го порядка (сплошная)

Labview является языком графического программирования, и ПО разрабатывается с использованием диаграмм. [3] Для FPGA и контроллера были разработаны отдельные программы, обмен данными между которыми осуществляется с помощью буферов.

Ниже представлена часть программы, выполненная на FPGA (рис.5). В начале происходит запрос на прерывание от контроллера, после которого стартует запись с АЦП. Данные с АЦП блоками поступают на полосовые фильтры Баттерворта 2-го порядка, проходят бинарное преобразование и преобразование Гильберта, после чего записываются в буфер. Данные о наполненности буферов отображаются на экране. Преобразование Гильберта осуществляется с помощью блока Memory, в котором хранятся коэффициенты фильтра.

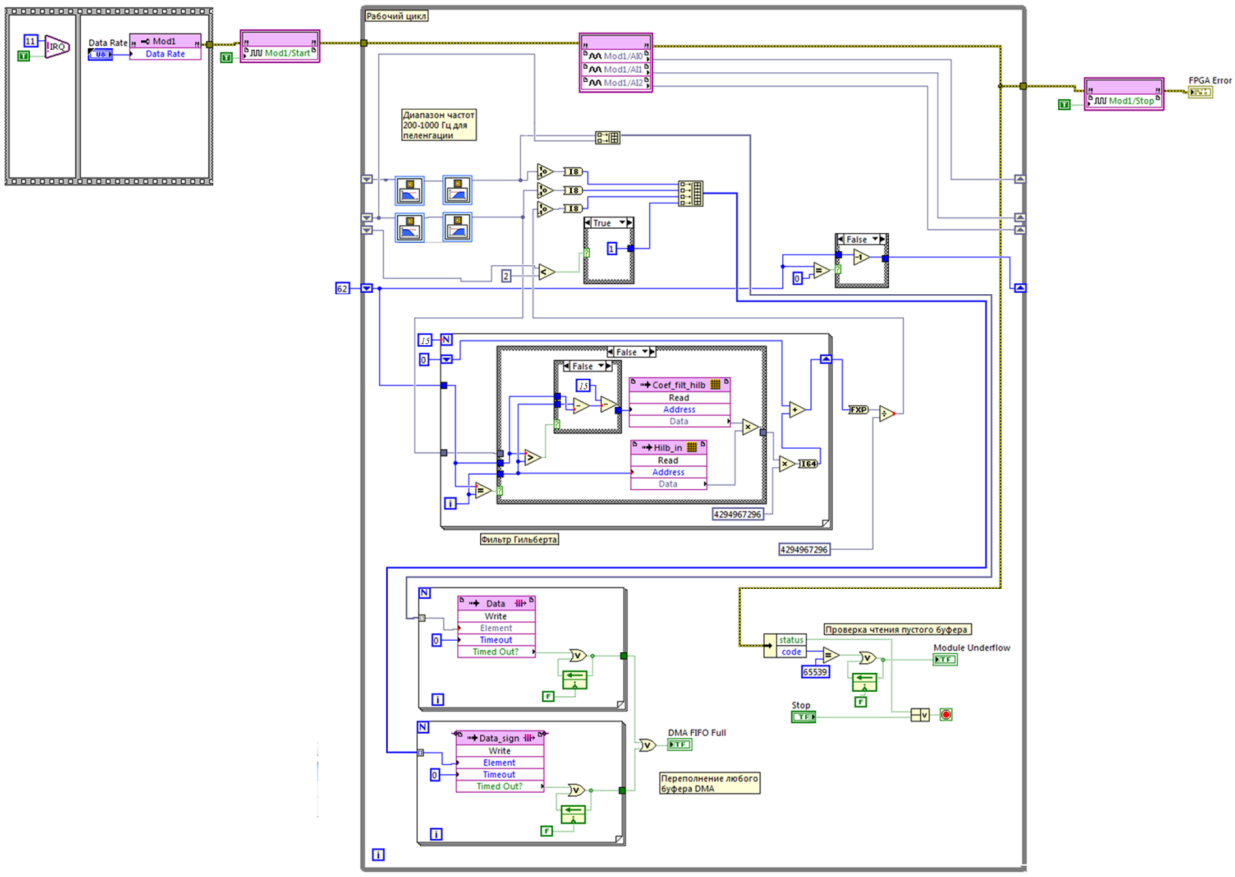


Рис. 5 Часть алгоритма, выполненная на FPGA

На контроллере реализуется инициализация буферов, чтение данных из буфера и слежение за углом по ошибке рассогласования. Данную задачу выполняет блок с загруженным в него кодом более низкого уровня. Данные также записываются в файл и выводятся на экран в виде графиков.

Заключение

В результате анализа алгоритма сопровождение было установлено, что необходимо иметь в составе устройства блок, реализующий получение сигнала, сопряженного по Гильберту. Проведено распределение алгоритма работы пеленгатора на ресурсах аппаратной платформы cRio. Обоснован рациональный порядок фильтра Гильберта (15-ый), Разработано программное обеспечение в среде Labview. Данный макет успешно прошел испытания.

Список литературы

1. Хохлов В.К. Дискретные сигналы и цифровые фильтры.. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2012. 92 с.

2. Борзов А.Б. Вопросы моделирования автономных информационных систем ближней локации. М.: ООО Ниц «Инженер», ООО « Онико-М», 2010. 576 с.
3. Федосов В. П., Нестеренко А. К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие / под ред. В. П. Федосова. М.: ДМК Пресс, 2007. 456 с.