РАЗДЕЛ II. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Аксаяитов М.Х.¹, Егорова Е.В.², Рыбаков А.Н.²

Цифровой ускоритель системы статистической обработки радиосигналов

¹АО Концерн «Гранит-Электрон»

²ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова

¹(Россия, Санкт-Петербург)

²(Россия, Москва)

doi: 10.18411/gdsn-25-12-2019-02

ids: scienceconf-25-12-2019-02

Аннотация

Представлена блок-схема устройства для вычисления апостериорной вероятности, представляющего собой аппаратный ускоритель операций статистической обработки данных. Рассмотрена структурная схема системы цифровой обработки радиосигналов, использующей аппаратное ускорение статистических операций и определен подход для обработки сигналов эталонных стандартов частоты времени. Предложен метод статистической обработки позволяет повысить помехоустойчивость системы обработки радиосигнала, и при этом использует компоненты и методы проектирования современной микроэлектронной промышленности.

Ключевые слова: радиолокационное распознавание, программируемые логические интегральные схемы, масштаб распределения плотности вероятности ошибки, апостериорная вероятность, эталонные стандарты частоты времени.

Abstract

A block diagram of a device for calculating a posteriori probability, which is a hardware accelerator of statistical data processing operations, is presented. A structural diagram of a digital radio signal processing system using hardware acceleration of statistical operations is considered, and a path for processing signals of reference time frequency standards is determined. A statistical processing method is proposed that improves the noise immunity of the radio signal processing system, and at the same time uses components and design methods supported by the modern microelectronic industry.

Key words: radar recognition, programmable logic integrated circuits, the scale of the distribution of the probability density of error, posterior probability, reference standards for the frequency of time.

Важным направлением развития современной радиолокации является – создание методов получения наиболее полной информации, содержащейся в радиолокационных сигналах и помехах. Радиолокационное распознавание является частью данного направления. В качестве дополнительной информации о распознаваемых объектах в активной радиолокации используются характеристики создаваемого целями поля вторичного излучения в дальней зоне радиолокаторов радиолокационных станций (РЛС). Радиолокационными характеристиками объектов при активной радиолокации являются: эффективная площадь рассеяния, спектральные и временные характеристики отраженных от цели сигналов, содержащие информацию о параметрах движения цели, ее форме, размерах, модуляции, вызванной вращением турбин, винтов, а также колебаниями различных частей объектов военного назначения, поляризационные характеристики сигналов, отраженных от целей. Данные характеристики, как правило, зависят от ориентации цели, параметров ее движения, размеров, типов, установленных на ней двигателей и режимов их работы, параметров вибраций корпуса, а также от характеристик зондирующих сигналов, способа обработки принимаемых сигналов и т.д.

В процессе получения радиолокационной информации решаются следующие основные задачи: обнаружение целей, измерение параметров их движения, разрешение целей и распознавание целей. Возможно несколько подходов к классификации методов распознавания. Наиболее широко используется классификация методов распознавания в зависимости от типа зондирующего сигнала, используемого в РЛС.

Радиолокационное распознавание – это получение радиолокационных характеристик различных объектов, выбор информативных и устойчивых признаков и принятие решения о принадлежности этих объектов к тому или иному классу (типу). Информация о радиолокационных характеристиках объектов может быть получена методами как активной, так и пассивной радиолокации. При активной радиолокации определение радиолокационных характеристик объектов основано на отражении радиоволн от объектов, или на вторичном излучении объектов. При пассивной радиолокации может использоваться естественное радиоизлучение целей (радиотеплолокация) либо радиоизлучение бортовых источников радиосигналов и помех (преднамеренных и непреднамеренных).

Развитие оптимальных методов обнаружения и выделения радиолокационных сигналов как достоверных источников оперативной информации о координатах и скорости движения анализируемых объектов, а также о местности, местных предметах, классах и пространственном расположении объектов гражданского и военного назначения выявляет необходимость высококачественного распознавания объекта радиолокационного изображения. Совершенствование и разработка новых образцов техники военного назначения, требует заметного повышения чувствительности, помехоустойчивости, разрешающей способности и точности определения координат и скоростей движения целей РЛС. Появилась необходимость совершенствования методов обнаружения и выделения сигналов из помех, а также изыскания новых методов и средств распознавания с учетом современной радиомаскировки объектов, включая вопросы прогнозирования радиолокационной заметности объектов сложной пространственной формы, использования новых диапазонов радиоволн и широкополосных импульсных сигналов. Значительные усилия ученых и инженеров направлены на оптимизацию методов обнаружения и защиты малоконтрастных объектов, а применительно к гражданской и военной технике возникает необходимость решения весьма сложной проблемы распознавания классов объектов военного назначения в режиме реального времени [1].

К современным системам радиосвязи предъявляется целый комплекс требований, затрагивающих различные аспекты их проектирования, производства и эксплуатации. К числу наиболее важных можно отнести скорость, дальность и надежность передачи данных, которые характеризуют потребительские свойства системы связи. Кроме того, важную роль играют такие показатели, как энергопотребление, занимаемая частотная полоса, массогабаритные параметры, стоимость и т.д. Одной из важных современных тенденций в развитии систем связи является широкое использование цифровых электронных компонентов, обеспечивающих цифровую обработку радиосигнала, начиная с определенного этапа его преобразования. Важным направлением развития беспроводных технологий связи является использование программно-зависимого радио (также SDR, Software-DefinedRadio).

Современные стандарты беспроводных коммуникаций требуют не только высокой производительности системы цифровой обработки сигнала, но и высокой степени интеграции компонентов, наличия таких модулей, как высокоскоростной приемопередатчик (для передачи данных по проводному интерфейсу), а также возможности простого обновления алгоритмов работы при смене протокола работы. Всем этим требованиям удовлетворяют системы на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) с архитектурой FPGA. Такие микросхемы содержат, кроме конфигурируемых логических ячеек, набор аппаратных модулей, реализующих операции,

характерные для цифровой обработки сигналов и последующей передачи результатов в проводные сети: аппаратные блоки «умножение с накоплением», блочную память, высокоскоростные последовательные приемопередатчики.

С учетом повышения степени интеграции цифровых систем, оказывается возможным реализовать по технологии системы на кристалле (СНК) не только устройство обработки сигналов канального уровня, но и постобработку на уровне символов или пакетов данных. Для цифровой обработки сигналов характерно потоковое или массово-параллельное выполнение операций «умножение с накоплением», являющихся основой, в частности, КИХ-фильтров:

$$y = \sum_{i=1}^N k_i x_i, \quad (1)$$

В представленном виде данная операция имеет прямое отображение на аппаратные ресурсы FPGA, в частности, реализуется без привлечения дополнительных компонентов блоками DSP48 в FPGAXilinx.

Дополнительно для постобработки символов можно использовать алгоритмы статистической обработки. В условиях наличия импульсных помех в канале связи более высокую помехоустойчивость демонстрируют статистические оценки, отличные от среднего арифметического – например, медиана и мода. Однако для определения таких оценок необходимо иметь в составе системы обработки радиосигнала вычислительные устройства с узлами, оптимизированными для выполнения специфичных статистической обработки операций.

Помехоустойчивая статистическая оценка может быть проведена по критерию, рассмотренному в [2]. В этой работе предлагается вычислять апостериорную вероятность гипотез по теореме Байеса, вводя переменную величину, характеризующую масштаб функции плотности распределения вероятности ошибки измерительного канала системы.

$$\tau_N = n \frac{2(N-1)L}{c}, \quad (2)$$

где τ – введенный в [2] параметр «масштаб распределения плотности вероятности ошибки», варьируемый в предлагаемом методе статистической обработки.

В общем виде функционал качества приближения экспериментальных данных можно представить в виде:

$$S(\beta, \sigma) = \sum_{i=1}^N \rho(y_i, f(x_i, \beta)), \quad (3)$$

где ρ – функция расстояния от экспериментальных точек до приближающей зависимости, определяемой параметрами β .

Формирование функции расстояния предлагается производить на основе функции распределения вероятности ошибки, характерной для измерительного устройства системы управления, как было показано в [3]. При использовании в качестве функции расстояния квадрата отклонения, при увеличении амплитуды выброса величина функционала качества приближения нарастает по параболическому закону, хотя ожидается, что такой отсчет должен оказывать ограниченное влияние на функционал качества.

Обработка измерительной информации согласно (2) подразумевает вычисление суммы условных вероятностей. Эти вероятности могут быть заданы таблично, т.е. реализованы в виде блока памяти. Аналогично, в виде блока памяти может быть реализовано устройство хранения результатов вычислений апостериорных вероятностей.

Рис.1. Блок-схема аппаратного ускорителя операций статистической обработки

На рис.1 представлена блок-схема устройства, представляющего собой аппаратный ускоритель операций статистической обработки, при этом можно видеть, что вычислительный узел не содержит блоков «умножение с накоплением». Таким образом, его применение в радиосистемах не приводит к дополнительным аппаратным затратам, однако повышает помехоустойчивость алгоритмов постобработки.

Рис.2. Структурная схема системы цифровой обработки радиосигналов

Представленная на рис.2. структурная схема системы цифровой обработки радиосигналов, содержит аппаратный ускоритель статистической обработки. Элементы системы, показанной на рис.2, имеют различные требования к составу аппаратных средств. Если для фильтра используются в основном модули «умножение с накоплением», то аппаратный ускоритель статистической обработки использует преимущественно операции с памятью, поэтому оценка его производительности выполняется не по количеству операций «умножение с накоплением» в секунду, как для сигнальных процессоров, а по общей пропускной способности, реализованной в нем подсистемы памяти. Такой подход позволяет балансировать нагрузку на ресурсы ПЛИС. При этом центральный процессор такой системы не является основным элементом, определяющим ее функциональные характеристики или показатели производительности.

Рассмотренный подход использован для обработки сигналов эталонных стандартов частоты времени (ЭСЧВ). Для подстройки региональных ЭСЧВ используется система, основанная на сличении частоты подстраиваемого ЭСЧВ с государственным эталоном, сигнал которого передается на одной из известных частот.

В силу высокой стоимости ЭСЧВ задача измерения разности фаз является крайне актуальной, поэтому применение высокопроизводительной элементной базы для построения цифровой системы подстройки фазы представляется оправданным. Для решения этой задачи был разработан вычислительный комплекс на базе ПЛИС с архитектурой FPGA семейства Virtex-5 SXT. ПЛИС установлена на плате ML-605 производства Xilinx с дополнительной платой для ввода аналогового сигнала.

Для статистической обработки был применен метод приближения экспериментальных данных, основанных на оценке качества приближения в пространстве, формируемым на базе функции распределения вероятности ошибки используемой измерительной системы. В данном случае определялись параметры зависимости вида:

$$y(a, \sigma, C) = C \cdot e^{\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

В результате применения комплекса технических решений, включающих и оценку дисперсии распределения ошибки измерения фазы, было достигнуто существенное уменьшение (до 3 раз) среднего квадрата отклонения фазовых набегов разработанного цифрового приемника ЭСЧВ по сравнению с приемником-компаратором ПК Ч7-38.

Заключение

Использование высокопроизводительной элементной базы способно оказать комплексное положительное влияние на метрологические характеристики измерительных устройств, используемых для оценки параметров радиосигналов. При этом увеличение степени интеграции компонентов позволяет реализовать цифровое устройство класса СНК, сочетающее на одном кристалле устройства цифровой фильтрации, помехоустойчивой статистической обработки и центрального процессора общего назначения. Предложенный метод статистической обработки позволяет повысить помехоустойчивость системы обработки радиосигнала с использованием компонентов и методов проектирования современной микроэлектронной промышленности.

1. Аксяитов М.Х., Егорова Е.В., Савич М.Ю., Рыбаков А.Н. Построение системы программно-зависимой обработки данных на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) с архитектурой FPGA. Science public conference. X международная научно-практическая конференция «Научные тенденции: Вопросы точных и технических наук» (г.Санкт-Петербург, 2017г.). Секция: Технические науки. С.25-29.
2. Егорова Е.В., Тарасов И.Е. Математическое и программное обеспечение многопроцессорных вычислительных комплексов в задачах программно-зависимой обработки радиосигналов. Электромагнитные волны и электронные системы. №8. Т.17. 2012. С. 45-48
3. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО. 2008. С.192.

Вульфсон И.И.

Применение псевдорезонансов в машинах с реономными связями

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и
дизайна
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/gdsn-25-12-2019-03

ids: scienceconf-25-12-2019-03

Вводные замечания

Термины «псевдорезонанс» или «ложный» резонанс были предложены Я.Г.Пановко применительно к вынужденным колебаниям при быстром пересечении частотных диапазонов в резонансной зоне, чтобы амплитуда колебаний не успевала достичь максимальных значений [12,143]. Поясним это на простом примере линейной колебательной системы с одной степенью свободы, описываемой дифференциальным уравнением

$$a\ddot{q} + b\dot{q} + cq = F_0 \cos \omega t \quad (1)$$

Поделив все члены уравнения (1) на a , запишем его в следующем виде:

$$\ddot{q} + 2n\dot{q} + k^2 q = W_0 \cos(\omega t - \gamma), \quad (2)$$

где $b/a = 2n$; $c/a = k^2$; $F_0/a = W_0$; $\gamma = \arctg[2n / (k^2 - \omega^2)]$; $(0 \leq \gamma \leq \pi)$.