

УДК 628.336.42

ОШИБКИ ПЕРЕПОЛНЕНИЯ И МАСШТАБИРОВАНИЯ БПФ

Копыл М.И., студент гр.933701

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники¹

г. Минск, Республика Беларусь (

Данейко Т.М. – старший преподаватель каф. ИКТ

Аннотация. Данная статья посвящена вопросу предотвращения переполнений разрядной сетки в высокопроизводительных реконфигурируемых вычислительных системах (РВС) на основе ПЛИС, приводящих к фатальным ошибкам обработки данных в процессе получения радиолокационного дальностно-скоростного портрета (ДСП) цели. Кратко рассмотрены существующие способы решения данной проблемы, и предложена методика априорного определения количества точек масштабирования в конвейерно-параллельных вычислительных структурах.

Ключевые слова. Масштабирование, переполнение, корреляционная функция, быстрое преобразование Фурье, временной сдвиг, математическое ожидание.

Данная методика позволяет заранее определить необходимое количество масштабирований на всех этапах обработки целочисленных данных и предотвратить переполнения при вычислении БПФ (ОБПФ) во всех возможных ситуациях. Рассмотрен алгоритм получения ДСП из исходной сигнальной матрицы (ИСМ) на примере радиолокационной системы (РЛС) непрерывного излучения с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Приведены формулы, позволяющие рассчитать максимально допустимое значение (в используемой разрядной сетке) амплитуды преобразуемых сигналов на всех этапах получения ДСП и количество итераций с масштабированием в процедурах БПФ (ОБПФ). Представлен численный пример расчета количества масштабирований для всех этапов алгоритма формирования ДСП, в котором определено необходимое число итераций с масштабированием при вычислении быстрой свертки и доплеровской скорости (с учетом умножения на оконную функцию), позволяющее предотвратить возможный выход значений сигнала за пределы разрядной сетки. В результате установлено, что предлагаемый способ расчета количества масштабирований позволяет избежать чрезмерного падения уровня сигнала на выходе обработки и снизить отношение ошибок цифровой обработки к уровню сигнала дальностно-скоростной матрицы. Масштабирование; дальностно-скоростной портрет; быстрое преобразование Фурье; реконфигурируемые вычислительные системы; цифровая обработка сигналов; линейная частотная модуляция.

Высокопроизводительные реконфигурируемые вычислительные системы (РВС) на основе ПЛИС все чаще находят применение в радиолокации, где требуется обрабатывать большие объемы данных с высоким темпом оцифровки в реальном масштабе времени. Одним из примеров такого применения являются РЛС непрерывного излучения с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), широко используемые в современной радиолокации для обнаружения движущихся объектов. В таких системах в качестве излучаемого сигнала используется периодическая последовательность непрерывно излучаемых ЛЧМ-импульсов с периодом. Соответственно эхосигнал, принимаемый от объекта, также будет представлять собой периодическую последовательность ЛЧМ-импульсов, каждый из которых имеет сдвиг несущей частоты на величину доплеровского смещения частоты и временную задержку t относительно излученного импульса. Закон изменения частоты, излучаемого и принимаемого сигналов представлен на рис 1.

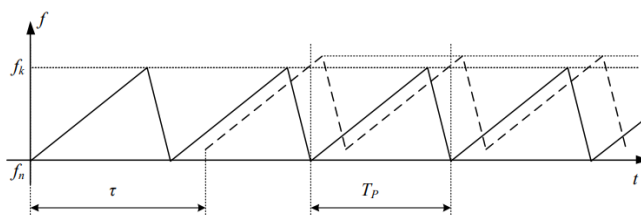


Рис. 1. Закон изменения частоты излучаемого (сплошная линия) и принимаемого (пунктир) сигналов

Основными задачами обработки данных в таких РЛС являются обнаружение и оценка параметров движущихся объектов в координатах дальность-скорость. Для решения задачи оценки дальности и скорости объекта формируется исходная сигнальная матрица (ИСМ), каждая строка которой представляет собой отсчеты отраженного сигнала на интервале приема, равном, а количество строк матрицы рассчитывается из условия обеспечения требуемых характеристик обнаружения. В процессе когерентной обработки принимаемых сигналов с использованием алгоритмов БПФ и ОБПФ происходит преобразование ИСМ в дальностно-скоростной портрет (ДСП), анализируя который можно обнаруживать объекты и оценивать их дальности и скорости. Поскольку формирование дальностно-скоростного портрета происходит в режиме реального времени и с высокой частотой дискретизации сигналов, то для ускорения расчетов цифровая обработка сигналов производится в целочисленной арифметике. В то же время, согласно теореме Парсеваля, при вычислении дискретного быстрого преобразования Фурье происходит увеличение энергии сигнала. Поэтому в процессе получения ДСП возникает вопрос о предотвращении переполнений разрядной сетки, приводящих к фатальным ошибкам обработки. В общем случае проблема недопущения переполнения решается либо введением обязательного масштабирования на каждом этапе преобразования Фурье, либо с помощью приемов, сводящихся к гибридной плавающей точке. Первый способ решения проблемы приводит к возрастанию ошибок цифровой обработки сигналов и уменьшению отношения сигнал/шум на выходе системы обработки. Второй способ требует контроля переполнений на каждой арифметической операции, что снижает быстродействие и усложняет аппаратное обеспечение системы обработки. Более подробно с этими способами можно познакомиться в [20]. Оптимальным решением было бы определение заранее минимального количества масштабирований на всех этапах обработки данных, необходимого и достаточного для отсутствия переполнений. Решению данного вопроса в процессе получения ДСП посвящена эта статья.

Для решения вопроса о необходимом и достаточном количестве масштабирований при формировании ДСП рассмотрим алгоритм его получения из ИСМ. Суть алгоритма заключается в следующем. Сначала производится согласованная фильтрация сигналов в каждой строке ИСМ методом быстрой свертки с применением алгоритмов БПФ и ОБПФ. Затем для каждого канала дальности (каждого столбца преобразуемой матрицы) производится узкополосная доплеровская фильтрация с помощью БПФ, которому предшествует умножение столбца на оконную функцию. Таким образом, преобразование ИСМ в ДСП содержит следующие основные этапы обработки.

1. БПФ по всем строкам ИСМ.
2. Умножение на эталонную функцию всех строк матрицы после этапа 1.
3. ОБПФ по всем строкам матрицы после этапа 2.
4. Умножение всех столбцов матрицы на оконную функцию.
5. БПФ по всем столбцам. Ниже на рис. 2 показана блок-схема преобразования ИСМ в ДСП.



Рис. 2. Блок-схема формирования ДСП

В данной статье при решении вопроса о количестве масштабирований на различных этапах формирования ДСП будем исходить из следующих допущений:

1. зондирующий сигнал является непрерывным периодическим сигналом с периодом повторения, в каждом периоде которого излучается импульс с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) в полосе частот; Известия ЮФУ. Технические науки Izvestiya SFedU. Engineering Sciences 146

2. каждая строка сигнальной матрицы содержит сумму отраженных от разных объектов непрерывных сигналов на интервале повторения ; при этом каждый отдельный эхосигнал в строке в общем случае состоит из двух частей, представляющих собой окончание и начало двух смежных периодов отраженных ЛЧМ-импульсов (см. рис. 1);
3. длина строки сигнальной матрицы согласована с длительностью периода излучения ЛЧМ-импульсов и соответствует обрабатываемому диапазону дальностей;
4. одиночному отраженному ЛЧМ сигналу в отсутствие помех в ДСП соответствует точечный отклик как по координате дальности, так и по координате скорости. Количество итераций с масштабированием в процедурах БПФ и ОБПФ рассчитывается, исходя из требования, что амплитуда преобразуемых сигналов на всех этапах получения ДСП не должна превышать максимально допустимое значение в используемой разрядной сетке. При расчете будем опираться на ранее написанные статьи, в которых рассматривались вопросы определения необходимого количества этапов с масштабированием при вычислении БПФ и при быстрой свертке.

UDC 628.336.42

FFT OVERFLOW AND SCALING ERRORS

Kopyl M.I. st.933701

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics¹, Minsk, Republic of Belarus

Daneiko T.M. – Senior Lecturer of the Department of ICT

Annotation This article is devoted to the issue of preventing bit grid overflows in high-performance reconfigurable computing systems (RCS) based on FPGAs, leading to fatal data processing errors in the process of obtaining a radar range-velocity portrait (RDS) of a target. The existing methods for solving this problem are briefly considered, and a method for a priori determination of the number of scaling points in pipelined-parallel computing structures is proposed.

Keywords: Scaling, overflow, correlation function, fast Fourier transform, time shift, mathematical expectation.