

# ВЕЩЕСТВЕННАЯ И ЦЕЛОЧИСЛЕННАЯ ОБРАБОТКА НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОРОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧАХ РАДИОЛОКАЦИИ

Варламов Д.Л., Костров В.В.

Муромский институт Владимирского государственного университета  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, д.23.  
E-mail: Varlamov\_D@rambler.ru

Современные устройства цифровой обработки сигналов (ЦОС) можно классифицировать по формату представления обрабатываемых данных. Формат представления чисел в едином алгоритме (алгоритме, выполняющем конкретную задачу) может быть следующим: вещественный, целочисленный и смешанный. Определим основные направления использования алгоритмов на основе вещественной и целочисленной обработки в устройствах ЦОС, их преимущества и недостатки.

Большинство алгоритмов ЦОС базируется на использовании функций, в которых в качестве результата и аргумента используются числа с плавающей точкой (плавающей запятой). Цифровая обработка, использующая алгоритмы на основе обработки чисел с плавающей точкой, может быть реализована следующими путями:

1. Прямая реализация: обработка производится на цифровом сигнальном процессоре (ЦСП), который способен оперировать с вещественными данными. Недостаток: микропроцессоры с поддержкой обработки чисел с плавающей точкой выполняют арифметические операции над такими данными несколько медленнее, чем операции над целыми числами, поэтому алгоритмы на основе обработки чисел с плавающей точкой на таком микропроцессоре будут работать медленнее алгоритмов с целочисленной обработкой.

2. Косвенная реализация: микропроцессор не поддерживает обработку чисел с плавающей точкой, но возможна программная реализация арифметических операций над числами с плавающей точкой. При этом значительно уменьшается скорость обработки.

3. Реализация алгоритмов, использующих числа с плавающей точкой, на основе пары “процессор + сопроцессор” – наиболее оптимальный вариант для процессора, ориентированного на целочисленную обработку. Сопроцессор должен быть ориентирован на обработку чисел с плавающей точкой, а скорость обработки таких чисел в сопроцессоре должна существенно превышать скорость обработки чисел с плавающей точкой в основном процессоре. Высокая скорость обработки чисел с плавающей точкой в сопроцессоре достигается, как правило, аппаратной реализацией арифметических операций над такими числами.

Хорошей альтернативой алгоритмам, использующим обработку вещественных данных, является применение алгоритмов с целочисленной обработкой. Такие алгоритмы основываются на применении масштабирования функций. Например, функция  $y = \sin(x)$  возвращает результат от  $-1$  до  $+1$ . Предположим, что результат функции необходимо получить с точностью до третьего знака после запятой, таким образом, результат будет изменяться от  $-1,00$  до  $+1,00$ . Это эквивалентно масштабированию результата функции в сто раз: при использовании целочисленного алгоритма результат находится в пределах от  $-100$  до  $+100$ . Относительная погрешность результата в обоих случаях одинакова. Недостатком целочисленного метода обработки является то, что необходимо адаптировать алгоритм нахождения значения функции к использованию целых значений аргумента (масштабирование аргумента) и возвращению целочисленного результата (масштабирование возвращаемого значения). При цифровой обработке сигналов важно иметь гибкие алгоритмы. Для этого синтез алгоритма необходимо осуществлять по методу, который позволяет получить алгоритм с возможностью гибкого управления его параметрами, такими как диапазон масштабирования аргумента и диапазон масштабирования возвращаемого значения.

Методы целочисленной обработки могут значительно увеличить скорость ЦОС, поэтому внедрение этих методов целесообразно в случаях, когда необходимо увеличить скорость обработки при неизменности архитектуры устройства и тактовой частоты ЦСП.

Для проведения сравнительного анализа разработаны алгоритмы моделирования (с использованием обработки только вещественных или только целочисленных данных) функций сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) и некоторых весовых функций (окно Хемминга, окно Ханна и окно Наттолла). Для разработанных алгоритмов было проведено математическое моделирование. Масштабный коэффициент для целочисленных функций по фазовому пространству возвращаемого значения (масштабный коэффициент результата):  $N = 127$ . При моделировании целочисленных методов функции (как базовая, так и весовая) были целочисленными. Весовая обработка сигнала осуществлялась в квадратурах. Алгоритмы аппроксимации целочисленных функций (как оконных, так и базовых) синтезировались с учетом вычислительных возможностей современных ЦСП: учитывалась разрядность данных, использовались основные арифметические операции (сложение, вычитание, умножение, деление) и логические операции (условие).

Результаты моделирования сведены в таблицу (значения в децибелах соответствуют уровню значений по напряжению; параметры ЛЧМ сигнала: число отсчетов на единицу базы равно двум, частота

Доплера  $F_d = 0$  Гц). Из результатов видно, что параметры сжатого сигнала при весовой обработке с использованием как целочисленных, так и вещественных функций существенно не меняются. Небольшое снижение уровня боковых лепестков (УБЛ) при использовании целочисленных методов объясняется применением целочисленной арифметики, дающей некоторую погрешность при вычислениях, а так же эффектами, возникающими при квантовании и дискретизации [1].

Таблица – Результаты моделирования (база ЛЧМ сигнала  $B = 100$ )

Весовая функция	УБЛ, дБ	Потери, дБ	Ширина главного лепестка корреляционной функции (по уровню $-3$ дБ), единиц базы
Хемминга (веществ.)	-41	-5,37	1,27
Хемминга (целочисл.)	-40,4	-5,37	1,26
Ханна (веществ.)	-32,2	-6	1,43
Ханна (целочисл.)	-31,7	-6	1,42
Наттолла (веществ.)	-40,5	-8,8	1,85
Наттолла (целочисл.)	-40,6	-8,8	1,85

Рассмотрим возможности применения аппарата целочисленных функций на базе устройств, содержащих современные ЦСП. Одним из лучших отечественных ЦСП является процессор Neuro Matrix 6403, его архитектура и команды ориентированы на цифровую обработку больших массивов данных с различной разрядностью. ЦСП Neuro Matrix поддерживает следующие форматы данных: 32-разрядные скаляры, векторы с элементами переменной разрядности от 1 до 64 (упакованные в 64-разрядные блоки данных)[2]. Команды данного процессора ориентированы на обработку целочисленных данных, поэтому для достижения максимальной производительности необходимо, чтобы все данные и коэффициенты были целыми числами. Система команд ЦСП Neuro Matrix содержит стандартный набор арифметических операций [2], что дает возможность вычислять значения коэффициентов по целочисленным алгоритмам непосредственно на данном процессоре. При разработке целочисленных алгоритмов представления весовых функций и сигнала с ЛЧМ использовались характеристики процессора Neuro Matrix 6403.

Типичными ЦСП зарубежного производства с высокой производительностью, архитектурой, приспособленной к задачам ЦОС, являются процессоры ADSP-21161 SIMD SHARC (фирма Analog Devices) и TMS320C6711 (фирма Texas Instruments). Производительность этих двух процессоров практически одинакова [3], отличие состоит лишь в строении внутренней архитектуры. Оба ЦСП имеют ядро, ориентированное на обработку чисел с плавающей точкой. Но в системе команд процессоров имеются команды преобразования целого числа в число с плавающей точкой и обратно, что дает возможность обойтись без разработки специальных целочисленных функций и реализовать обработку на основе пары "процессор + сопроцессор". Вычисляются вещественные значения коэффициентов (по алгоритмам для чисел с плавающей точкой), которые затем преобразуются в целочисленный формат. Таким образом, при реализации целочисленной обработки ЦСП на базе ADSP-21161 SIMD SHARC или TMS320C6711 будет выступать в роли сопроцессора, а в качестве процессора - ЦСП, ориентированный на целочисленную обработку. Такой подход наиболее целесообразен для мультипроцессорных систем. Изменение целочисленных коэффициентов происходит только при изменении параметров системы (смена весовой функции, изменение параметров сигнала) или при ее инициализации, что происходит сравнительно редко (основной объем вычислений приходится непосредственно на цифровую обработку), поэтому сопроцессор на основе данных ЦСП может выполнять и другие функции.

Перспективным с точки зрения использования для ЦОС является семейство сигнальных процессоров TigerSHARC. Особенностью данного семейства является способность обрабатывать 8-, 16- и 32-разрядные данные как в формате с плавающей, так и с фиксированной точкой [4]. Это дает возможность использовать ресурсы системы (как вычислительные, так и ресурсы памяти) наиболее эффективно и гибко для каждой конкретной задачи. Так процессор ADSP-TS101S TigerSHARC осуществляет 1200 MMACs (миллионов операций умножения с накоплением) в секунду при работе с 16-разрядным целочисленным форматом и 300 MMACs при работе с 32-разрядными целочисленными данными.

Результаты математического моделирования и анализа основных характеристик современных ЦСП показывают возможность применения целочисленной обработки в радиолокационных системах с целью повышения производительности, увеличения гибкости и адаптивности без заметного снижения качественных показателей таких систем. Необходимо отметить, что применение вышеуказанных подходов будет оправдано не только в устройствах радиолокации, но и в устройствах обработки сигналов других областей применения.

Работа выполнена в рамках НТП "Новые авиационные, космические и транспортные технологии", проект № 205.05.01.057.

#### Литература

1. Глуговский А.А. Исследование некоторых свойств сглаживающих окон ступенчатой формы // Цифровая обработка сигналов и ее применение / Доклады 2-й Международной конференции. Т.2. – М.: МЦНТИ, 1999. – С.521-526.
2. Neuro Matrix. Руководство пользователя. – М.: НТЦ Модуль, 1999.–300с.
3. Low-cost SIMD SHARC. Considerations for selecting a DSP processor – why buy the ADSP-21161? // The Analog Devices ADSP-21161 SIMD SHARC vs. Texas Instruments TMS 320C6711. Analog Devices, 2001.–27p.
4. Витязев С.В. Analog Devices: новые разработки DSP // Цифровая обработка сигналов. – 2002, №1(5).– С.45-51.