

ЦЕЛОЧИСЛЕННАЯ ОБРАБОТКА НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОРОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Варламов Д.Л., Костров В.В.

Муромский институт Владимирского государственного университета
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, д.23.

Повышение производительности систем цифровой обработки сигнала (ЦОС) в настоящее время достигается в основном за счет увеличения производительности вычислительных устройств системы (процессоров цифровой обработки сигналов – ПЦОС). Между тем, возможности современных ПЦОС так широки, что добиться увеличения производительности системы можно путем оптимизации процесса обработки данных. Одним из таких подходов является переход от обработки данных в вещественном формате к целочисленной обработке. Обзор современных цифровых сигнальных процессоров (ЦСП) показывает, что при возможности обрабатывать данные как в целочисленном, так и в вещественном форматах, операции с целыми числами он выполняет в несколько раз быстрее, чем с вещественными (в зависимости от разрядности данных).

Анализ технических данных показывает, что в настоящее время повышение производительности ЦСП достигается в основном за счет распараллеливания выполнения команд (архитектура SIMD – “одна команда – множество данных”) и использования длинного командного слова (архитектура VLIW – очень длинное командное слово) [1–3]. Архитектура SIMD позволяет выполнять одну и ту же операцию с несколькими данными за один цикл [1]. Степень распараллеливания, а значит и повышение производительности, в этом случае зависит от разрядности данных; чем меньше разрядность – тем больше данных может обработать блок, тем выше степень распараллеливания, тем выше производительность. Архитектура VLIW позволяет компоновщику команд ПЦОС, не внося принципиальных изменений в ход вычислений, максимально задействовать все узлы устройства с целью повышения производительности.

Рассмотрим основные вычислительные характеристики современных ЦСП. Процессоры семейства Tiger SHARC и ЦСП Neuro Matrix 6403 широко используют возможности вычислений с данными различной разрядности. Они разработаны с применением архитектур SIMD и VLIW. Процессоры семейства Tiger SHARC сочетают в себе поддержку целочисленной и вещественной арифметики для данных с различной разрядностью, поддержку различной разрядности целочисленных данных (включены команды для извлечения / сохранения 8, 16, 32 – разрядных данных) и двух форматов представления вещественных данных [1, 2]. Набор команд ЦСП этого семейства содержит команды преобразования из вещественного формата в целочисленный и обратно. Отличительная особенность ЦСП Neuro Matrix 6403 – целочисленная арифметика ориентирована на работу с векторами, содержащими элементы переменной разрядности от 1 до 64, упакованные в 64-разрядные блоки данных, а также возможность обрабатывать 32-разрядные скаляры [4]. Способность оперировать данными с плавно-изменяемой разрядностью является весьма полезной в тех случаях, когда 8-разрядные данные не дают желаемую точность обработки, а 16-разрядные данные избыточны по точности, например, оптимальной является разрядность данных 12 бит. Необходимо отметить, что ЦСП Neuro Matrix 6403 не поддерживает операции с вещественными данными и не содержит команд преобразования типов данных. ЦСП TMS 320 C6713 построен на основе архитектуры VLIW [5], но нет поддержки операций с данными различной разрядности, поэтому производительность данного процессора (по операции MAC) фиксирована и определена для 32-разрядных вещественных и целочисленных данных. Процессор ADSP BF533 семейства Blackfin построен на основе 16-разрядного ядра с фиксированной точкой [6]. Команды данного ЦСП поддерживают операции с 32-разрядными целочисленными данными, но отсутствует поддержка операций над числами с плавающей точкой. Однако несомненным преимуществом данного ПЦОС является его малая стоимость.

Сравнительный анализ производительности ЦСП по целочисленным операциям и по операциям с вещественными данными показывает, что целочисленная обработка может осуществляться в несколько раз быстрее на процессоре, поддерживающем как целочисленный, так и формат данных с плавающей точкой (семейство ADSP Tiger SHARC). Используя все возможности современных ЦСП можно не только добиться увеличения производительности, но и экономичного распределения памяти, что бывает важно в задачах, где необходимо хранение больших объемов данных (коэффициентов).

При внедрении целочисленной обработки одними из исходных данных должны быть данные о разрядности целочисленных коэффициентов. Исследование влияния разрядности коэффициентов данных на выходные параметры системы проводилось в [7], где исследовалось влияние квантования по уровню и дискретизации весовых окон на их спектры. Отличительная особенность этой работы состоит в том, что рассматривается случай цифровой весовой обработки ЛЧМ сигнала, когда количество уровней квантования при моделировании определяется разрядностью данных, а количество дискретов, представляющих весовое окно, равняется количеству отсчетов сигнала с ЛЧМ. Кроме того, в данной работе рассматриваются непосредственно зависимости выходных параметров обработки от разрядности коэффициентов.

Пусть система цифровой обработки сигнала представляет собой цифровой коррелятор сигналов, отраженных от целей. Отсюда следует, что в качестве выходных данных системы необходимо учитывать следующие параметры: уровень боковых лепестков взаимной корреляционной функции сигналов (УБЛ ВКФ сигналов), потери весовой обработки (подразумевается наличие весовой обработки), ширина главного лепестка ВКФ. Проведено математическое моделирование условия проведения которого следующие: тип сигнала – ЛЧМ (линейно частотно модулированный), количество отсчетов на единицу базы сигнала $K = 1$, корреляционная обработка осуществлялась в квадратурах (комплексный коррелятор), использовались весовые оконные функции Хемминга, Ханна, Наттолла, весовая обработка осуществлялась во временной области, частота Доплера для отраженного сигнала $F_d = 0 \text{ Гц}$, коэффициенты весового окна – целочисленные (их разрядность меняется в соответствии с условиями эксперимента, формат чисел: целые числа без знака), значения отсчетов сигнала – целочисленные (их разрядность фиксирована, формат чисел: знаковые целочисленные 8-битные числа).

Таблица 1 – Зависимость УБЛ ВКФ от разрядности коэффициентов

Разрядность, бит	Уровень боковых лепестков, дБ								
	окно Ханна			окно Хемминга			окно Наттолла		
	$B = 50$	$B = 100$	$B = 1000$	$B = 50$	$B = 100$	$B = 1000$	$B = 50$	$B = 100$	$B = 1000$
2	-21,23	-21,06	-19,22	-19,87	-21,21	-21,73	-18,91	-19,98	-19,49
3	-28,95	-32,10	-30,70	-29,06	-33,19	-31,79	-26,08	-28,72	-32,74
4	-32,56	-36,24	-40,53	-31,98	-35,92	-42,59	-29,30	-35,00	-42,00
5	-33,06	-38,45	-50,07	-32,80	-38,89	-50,14	-30,11	-35,67	-49,53
6	-33,14	-38,96	-56,30	-33,60	-39,37	-49,83	-30,46	-36,01	-53,91
7	-33,22	-39,21	-56,70	-33,26	-39,84	-49,86	-30,38	-36,56	-54,51
8	-33,45	-39,39	-57,37	-33,41	-39,79	-49,94	-30,79	-36,67	-55,45
9	-33,32	-39,52	-57,22	-33,51	-39,91	-49,83	-30,78	-36,64	-55,34
10	-33,35	-39,44	-57,21	-33,46	-39,90	-49,81	-30,79	-36,69	-55,36
11	-33,35	-39,43	-57,21	-33,49	-39,90	-49,79	-30,79	-36,72	-55,35
12	-33,35	-39,43	-57,24	-33,48	-39,88	-49,79	-30,78	-36,74	-55,35
13	-33,35	-39,45	-57,24	-33,48	-39,88	-49,78	-30,79	-36,73	-55,35
14	-33,35	-39,45	-57,24	-33,48	-39,87	-49,78	-30,78	-36,73	-55,35

Рассмотрим результаты моделирования (см. таблицу 1). Из зависимостей УБЛ видно, что разрядность коэффициентов для весовых окон, обеспечивающая минимум УБЛ, начинается с 6 бит на коэффициент для всех трех весовых функций (кроме варианта с базой сигнала $B = 1000$ для окна Наттолла). УБЛ корреляционной функции при использовании весового окна Наттолла для базы сигнала $B = 1000$ минимален при разрядности коэффициентов окна 8 бит и более. Исходя из зависимостей потерь весовой обработки (зависимости получены в ходе математического моделирования, но в данной работе не приведены) область достаточной разрядности, по критерию минимума потерь, составляет 8 и более бит. Однако, учитывая, что величина потерь при разрядности коэффициентов окна 6 бит, отличается от минимальной величины потерь не более чем на $0,2 \text{ дБ}$, при расчете можно использовать шестиразрядные весовые коэффициенты без заметного увеличения потерь обработки. Количество отсчетов, приходящееся на главный лепесток корреляционной функции по уровню -3 дБ , при разрядности коэффициентов 6 и более бит составляет один отсчет.