

К. т. н., М.В.Лапшин; Р.Р.Русаков (ОАО «НИИВК им. М.А. Карцева»)

M.Lapshin, R.Rusakov

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СПЕЦВЫЧИСЛИТЕЛЯ

OPTIMUM PLATFORM CHOICE FOR SPECIAL CALCULATOR

В статье рассмотрены наиболее значимые критерии выбора оборудования для построения спецвычислителя, работающего в режиме реального времени.

This article describes the most significant criterion of equipment choice for real-time task special calculator.

Ключевые слова: спецвычислитель, задача реального времени, быстродействие, ЦОС, синхронизация.

Key words: especial calculator, real-time task, performance, DSP, synchronization.

Введение

В таких областях техники, как, например, телекоммуникация и радиолокация, возникают вопросы быстрой специализированной обработки большого потока информации. Для обработки создается специализированное устройство – спецвычислитель, обычно обладающее следующими свойствами:

1. Спецвычислитель принимает и выдает данные в специальном формате и с оговоренным темпом поступления/выдачи данных.
2. Спецвычислитель должен действовать синхронно с остальной системой обработки информации, которая функционирует в режиме реального времени. Это значит, что входные/выходные потоки данных должны иметь жесткую привязку по времени, необходимую в

условиях высоких требований к общему быстродействию системы и времени ее реакции на произошедшее «событие».

3. Скорость обработки данных закладывается в конструкцию спецвычислителя и не может зависеть от данных или каких-либо внешних условий.
4. В случае установки на подвижные технические средства (самолеты, морские суда, поезда и т. п.), спецвычислитель должен обладать адекватными для данных средств габаритами и энергопотреблением.
5. Даже при очень малом тираже готового изделия (часто 1-2 шт.), себестоимость спецвычислителя не должна превышать некоторый разумный предел, который определяется себестоимостью всей системы обработки данных.

На сегодняшний день можно выделить четыре основных платформы, потенциально позволяющие реализовать данные пункты:

- вычислительная машина на основе универсального центрального процессора (ЦП, Central Processing Unit - CPU);
- вычислительная машина на основе графического процессора (ГП, Graphics Processing Unit);
- системы обработки с использованием сигнальных процессоров (СП, Digital Signal Processor);
- системы обработки с использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС, Field Programmable Gate Array - FPGA).

Вычислительные комплексы на основе распределенных вычислений (суперкомпьютеры) используются для уникальных расчетов вне области задач реального времени.

Заказные интегральные схемы (ЗИС, Application-Specific Integrated Circuit – ASIC) на современном этапе развития техники все еще требуют

значительного тиража для получения оптимальной себестоимости изделия и потому тоже выпадают из поля рассмотрения.

Выбор оптимальной платформы

Сравнение перечисленных выше платформ будет производиться в контексте реальной задачи спецвычислителя: быстрое (40 мкс) решение системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) большой размерности (32). Подобные задачи возникают в радиолокации и телекоммуникации.

СЛАУ должна быть решена в режиме реального времени, т. е. после получения результата в течение заданного временного интервала спецвычислитель должен быть готов к приему данных новой СЛАУ. Формат входных данных и оптимальный метод решения СЛАУ в контексте общей радиолокационной задачи был подробно рассмотрен в соответствующей статье [1]. Входные данные в жестко заданное время поступают по некоторому универсальному или специальному интерфейсу из микросхемы ПЛИС, в которой производится основная часть работы общего алгоритма. Выходные данные спецвычислителя передаются в обратном направлении в ПЛИС.

Задача данной статьи – определить оптимальную платформу для построения спецвычислителя решения СЛАУ с вышеупомянутыми ограничениями. Под оптимальным выбором подразумевается разумная минимизация затрат человеческих ресурсов как на само оборудование спецвычислителя, так и затрат на разработку проекта по использованию этого оборудования.

Рассмотрим возможности использования современных центральных процессоров в качестве основы спецвычислителя.

Самый очевидный критерий – скорость решения поставленной задачи. Для его рассмотрения в среде программирования Borland CBuilder 6 была написана программа решения СЛАУ с указанными выше условиями на языке

C++. В качестве ЦП использовался современный процессор фирмы Intel верхнего ценового сегмента (Core i5 3450).

Для ускорения обработки был выбран «текстовый» режим выполнения, позволяющий отказаться от обслуживания ЦП обширного инструментария графического ввода-вывода, значительно замедляющего обработку данных (при использовании этого режима время обработки сокращается в 2-10 раз). Время выполнения измерялось как с учетом временных затрат на файловый ввод/вывод данных, так и без них.

Анализ полученных результатов хорошо иллюстрирует преимущества и недостатки быстрой обработки данных на современных неспециализированных вычислительных устройствах.

В случае загрузки/выгрузки данных посредством файлов, время решения указанной СЛАУ составило 4.1 мс, что более чем в 100 раз превышает необходимый минимум. Отключение учета времени файлового ввода/вывода (т. е. исходные данные предварительно загружаются в ОЗУ, и оттуда в кэш-память, а результат остается в кэш-памяти и ОЗУ) позволило сократить время обработки до 24.5 мкс.

Несмотря на то, что последний полученный результат укладывается во временные требования со значительным запасом, возможности использовать его на практике нет - современные интерфейсы ПК не позволяют производить необходимую по быстродействию синхронную (т. е. синхронизированную со всей остальной системой обработки данных) пересылку данных в ОЗУ.

Таким образом, при рассмотрении платформы ЦП удовлетворительное быстродействие не является определяющим фактором пригодности платформы, как это часто бывает в вопросах, связанных с быстрыми вычислениями вне реального времени.

Конечно, остается возможность использования специальных карт расширения для ПК, в которых загрузка/выгрузка данных реализована посредством прямого обращения к памяти ПК (например, по шине PCI-

Express). Но тогда гораздо более рациональным и оправданным будет использование в качестве платформы спецвычислителя системы обработки данных с СП, для которой наработан соответствующий аппаратно-программный инструментарий.

Таким образом, вся платформа ПК, несмотря на универсальность и, казалось бы, подходящее быстродействие, не может качественно удовлетворить требования (см. выше - пять пунктов), предъявляемые к спецвычислителю.

Появившаяся относительно недавно стараниями компании NVIDIA платформа на основе графического процессора (ГП) – прекрасная иллюстрация использования неспециализированного, массового устройства в специализированных целях.

Главной особенностью архитектуры любого современного ГП является параллельная обработка данных на большом количестве (до 1024) сравнительно простых вычислительных узлов.

В случае решения задач с хорошей возможностью распараллеливания алгоритма упомянутая архитектурная особенность ГП делает его одним из самых мощных массово производимых вычислительных устройств, поскольку на подобных задачах ГП быстрее ЦП в 20-50 раз (в пиковой производительности) при сопоставимой цене и чуть большем энергопотреблении [2].

Платформа ГП в настоящее время еще проходит этап своего становления, но в ряде направлений уже получены результаты [2], показывающее подавляющее преимущество вычислительной мощности ГП не только над ЦП, но и над некоторыми СП.

В качестве примера можно привести типовую для ЦОС задачу БПФ-1024. Её реализация на новейшем ГП NVIDIA GeForce 680 позволяет достичь производительности в 9591 млн. точек/с. ЦП Intel Xeon (Woodcrest) демонстрирует на этой задаче только 280 млн. точек/с, а

широкораспространённый (хотя и не очень современный) СП ADI TigerSHARC ADSP-TS201S - только 66 млн. точек/с.

Эти результаты гарантируют, что хорошо поддающийся распараллеливанию алгоритм решения СЛАУ при качественной реализации на ГП даст заведомо более высокое быстродействие по сравнению с любым программным решением для ЦП.

Несмотря на это, очевидно, что недостатки (с точки зрения построения спецвычислителя) этой платформы наследуют недостатки предыдущей – для быстрой обработки данных необходимо, чтобы они располагались в памяти устройства, которая, к тому же, имеет иерархическую структуру, т. е. скорость доступа к различным участкам памяти значительно различается.

Если данные будут расположены во внутренней памяти устройства (с учетом приоритетов иерархии) – они будут обработаны очень быстро. Для современных ГП имеется возможность быстрого (до 20 ГБ/с по шине PCI-Express версии 3.0) копирования данных из ОЗУ ПК непосредственно во внутреннюю память устройства. Но и в этом случае вопрос размещения исходных данных в ОЗУ ПК остается открытым. Даже если он будет успешно решен с помощью какой-то специальной карты расширения ПК (как и в случае с ЦП), синхронизация потоков входных/выходных данных (поскольку спецвычислитель работает внутри большой системы) потребует значительных усилий разработчика.

Таким образом, использование и ЦП, и ГП в качестве основы потенциально возможно, если будут решены задачи быстрой передачи потоков данных в вычислительные блоки и синхронизации с остальным оборудованием системы. Безусловно, решение этих задач значительно удорожит разработку спецвычислителя и может свести на нет преимущества конкретной платформы перед остальными.

Рассмотрим третью из перечисленных выше платформ - платформу на основе сигнального процессора. Подробный обзор ограничений данной платформы при решении задач реального времени произведен в статье [3].

Обладая отличным уровнем быстродействия, быстрыми интерфейсами (PCI-Express, RocketIO), СП по-сути является асинхронным устройством, работающим под управлением некоторого арбитра (обычно на практике это ЦП вместе с некоторой операционной системой). Это значит, что мы опять сталкиваемся с проблемами, рассмотренными для платформ ЦП и ГП.

Предположим, что в системе обработки данных, нуждающейся в спецвычислителе, предусмотрена возможность синхронной работы с сигнальным процессором. Это подразумевает наличие в системе быстрых полнодуплексных каналов обмена, с помощью которых можно связаться с СП, соответствующих аппаратно-програмных средств синхронизации и управления.

Если это так, то в контексте обозначенной задачи решения СЛАУ, СП может быть признан оптимальным выбором. Иначе, в случае построения спецвычислителя на СП с «нуля», проект может потребовать колоссальных затрат на разработку и отладку средств синхронизации быстрых потоков данных, что сведет на нет выгоду от сравнительной дешевизны самого СП и необходимых для него компонентов.

Это вывод во многом повторяет ситуацию для ЦП и ГП, сложность реализации обработки данных в реальном времени на которых еще выше, чем в случае СП.

Последняя платформа, подходящая для построения спецвычислителя – ПЛИС.

Быстродействие получаемых на базе ПЛИС вычислительных узлов зависит от множества факторов. В частности, оно определяется принятыми схемотехническими решениями и их конкретными реализациям. Если идеология работы будущей схемы и приемы схемотехники, принятые на этапе проектирования микросхемы, оказались верными, ПЛИС позволяет добиться подавляющего превосходства в быстродействии над универсальными процессорами других платформ. Кроме того, решения на основе ПЛИС всегда обладают «жесткой» временной синхронизацией, что

обуславливает их успешное применение в любых системах реального времени.

Что касается существенных недостатков платформы ПЛИС, то традиционно к ним относят высокую стоимость ее компонентов и сложность (специфичность) разработки проекта на языке описания аппаратуры. Однако, в последнее время наблюдается тенденция постепенного увеличения доступности ПЛИС за счет появления недорогих линеек микросхем (например, Artix фирмы Xilinx и Cyclone фирмы Altera), что повышает привлекательность этой платформы.

Сложность разработки проекта во много определяется квалификацией разработчика ПЛИС, и в ряде случаев сопоставима со сложностью разработки на основе иных рассмотренных платформ. Таким образом, использование ПЛИС для построения спецвычислителя может оказаться оптимальным выбором в тех случаях, когда нет проработанных вариантов решения задачи реального времени на основе других платформ и имеется опыт работы со схемотехническими решениями.

Заключение

Анализ приведенных платформ показал, что вычислительная производительность не всегда является определяющим фактором выбора.

В специализированных задачах реального времени гораздо важнее оказываются общая сбалансированность характеристик и простота интеграции платформы в общую систему обработки данных.

Высокая пиковая производительность того или иного оборудования, широко представленная в рекламных материалах вычислительных устройств, имеет важное значение только в том случае, если вопросы быстрой доставки данных и синхронизация потоков данных либо решены, либо не существенны для решаемой прикладной задачи.

Литература

1. Писаренко О.К., Русаков Р.Р., «Скоростное решение системы линейных алгебраических уравнений большой размерности методом Холецкого». Вопросы радиоэлектроники, серия ЭВТ, 2012, вып. 2, с. 82-87.
2. Пантелеев А.Ю. «Цифровая обработка сигналов на современных графических процессорах». Научно-технический журнал «Цифровая обработка сигналов», выпуск 3/2012, с. 68-75.
3. Петров Е.Ю., Андреев А.С.. «Специализированные процессоры потоковой обработки». Вопросы радиоэлектроники, серия ЭВТ, вып. 2, с. 87-95.