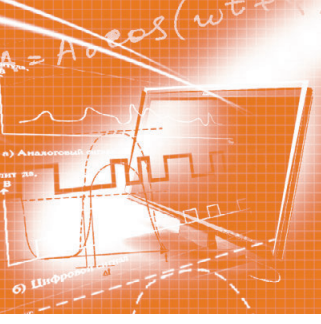




Высокопроизводительный многопроцессорный вычислитель специального назначения

Сергей Бабаков, Валерий Мухтарулин, Сергей Прядко, Денис Тумакин, Марк Чельдиев

В статье рассматривается новая совместная разработка ОАО «НИИВК им. М.А. Карцева» и ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ» – специализированный вычислитель для применения в перспективных гидроакустических комплексах, который способен работать в достаточно жёстких условиях.

Введение

Вычислительные технологии настоящего времени позволяют создавать решения, демонстрирующие очень высокую производительность. Решение многих задач, требовавшее в прошлом времени более суток, сейчас можно осуществить за несколько часов. Большой вклад в увеличение вычислительной мощности внесли параллельные технологии и вычисления на графических картах (графических ускорителях). Однако применение многих современных технологий для решения практических задач в системах промышленного и двойного назначения часто затруднено. Это вызвано жёсткими требованиями

ми со стороны тех условий, в которых спецвычислитель должен эксплуатироваться, проявляющимися прежде всего в ограничении габаритов, потребляемой мощности и выделяемого тепла. Эти ограничения долгое время не давали возможности создать специализированный вычислитель с большой производительностью, необходимый для решения сложных задач в реальном масштабе времени.

Получившие в последнее время активное развитие архитектуры промышленных встраиваемых систем, базирующиеся на специализированных высокоскоростных шинах передачи данных, таких как CompactPCI, позволяют

создавать вычислительные комплексы небольшого размера, удовлетворяющие жёстким требованиям.

ОАО «НИИВК им. М.А. Карцева» (см. врезку «Юбилей создателя НИИВК») ведёт разработку вычислительных комплексов для различных задач, в том числе двойного назначения, таких как обработка гидроакустической и радиолокационной информации, а также создаёт специализированное программное обеспечение для них. Совместно с компанией ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ» в рамках ОКР «Прорыв» был разработан мультипроцессорный малогабаритный масштабируемый спецвычислитель, предназначенный

Юбилей создателя НИИВК



Ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов



Михаил Александрович Карцев

В мае 2013 года Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов отметил 90-летний юбилей своего основателя – Михаила Александровича Карцева.

Будучи крупным специалистом в области вычислительной техники, профессором, доктором технических наук, он обладал большим талантом организатора масштабных работ, а также воспитателя научного и инженерного коллектива. Он сумел превратить небольшую группу специалистов, работавших под его началом, в организацию с большим научным потенциалом и внедренческим авторитетом – Ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов (НИИВК), образованный в 1967 году.

НИИВК завершил работы, начатые этой группой, по созданию и вводу в эксплуатацию вычислительных комплексов для управления и обработки информации радиолокационных станций, радиолокационных узлов и командного пункта первой очереди системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН).

Как инженер и главный конструктор вычислительных машин и комплексов Михаил Александрович Карцев прожил яркую жизнь, посвятив её развитию четырёх поколений вычислительной техники. ■

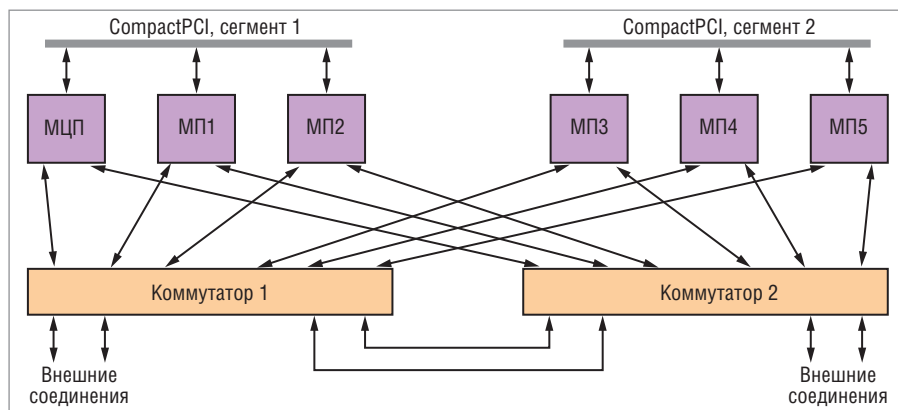


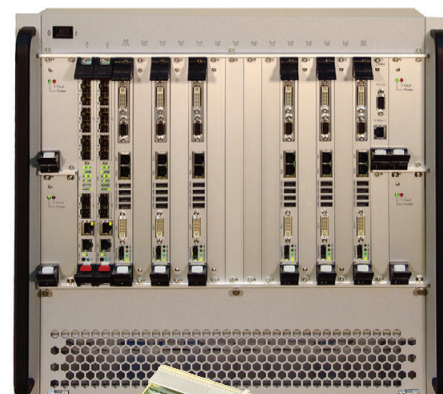
Рис. 1. Архитектура вычислительного комплекса «Прорыв»

для использования в перспективных гидроакустических комплексах нового поколения стационарного и мобильного базирования. Эти комплексы отличаются большой дальностью обнаружения и точностью локализации обнаруженных источников звука.

АРХИТЕКТУРА СПЕЦВЫЧИСЛИТЕЛЯ

Спецвычислитель представляет из себя шесть вычислительных модулей на базе процессора Intel Core i7 с тактовой частотой 1,5 ГГц и объемом оперативной памяти 4 Гбайт, соединённых между собой посредством шины CompactPCI (рис. 1). Эта шина реализована с помощью двух коммутаторов CompactPCI/Ethernet, обеспечивающих надёжную работу внутренней

шины за счёт резервирования и передачу данных на скоростях до 10 Гбит/с. Вычислительные модули с исторически сложившимися в ходе выполнения проекта обозначениями МЦП и МП аналогичны по архитектуре, но различаются по выполняемым функциям. МЦП является управляющим модулем, на него поступают обрабатываемые данные, и он распределяет эти данные по процессорным модулям МП, выполняющим их параллельную обработку. Вычислительный комплекс выполнен в конструктиве 6U на основе 16-слотовой стойки фирмы Schroff, которая была выбрана из-за высокой надёжности и хороших эргономических характеристик. Внешний вид комплекса и одного из его процессорных модулей показан на рис. 2.



а



б

Рис. 2. Внешний вид вычислительного комплекса «Прорыв» (а) и его процессорного модуля (б)

Основные характеристики процессорного модуля (рис. 2б) следующие:

- процессор Intel Core i7-2610UE (1,5 ГГц, 4 Мбайт, два ядра);
- оперативная память DDR3 SDRAM 4 Гбайт (1333 МГц);
- графический ускоритель Wolf XMC-E6760-VO;
- флэш-диск 4 Гбайт (NAND, до 100 Мбайт/с);
- жёсткий диск 500 Гбайт (SATA II).

Таблица 1

Сравнение характеристик вычислительных комплексов

Характеристика	«Прорыв»	На базе «Эльбрус-2С+»	На платформе «Эльбрус» SPARC V9
Центральный процессор (ЦП) и серийность выпуска	Intel Core i7-2610UE Sandy Bridge с GPU. Выпускается серийно	«Эльбрус 2С+». Производится малыми сериями с декабря 2012 года	МЦСТ-R1000. Прошел госиспытания. Рекомендован к серийному производству
Техпроцесс	32 нм	90 нм	90 нм
Частота процессора	1,5 ГГц	0,5 ГГц	1,0 ГГц
Количество ядер ЦП	2	2 «Эльбрус» + 4 DSP	4
Производительность процессора	18 Гфлопс	28 Гфлопс	16 Гфлопс
Производительность	1,2 Тфлопс	Данные отсутствуют	512 Гфлопс
Тип ОЗУ	DDR3 SDRAM 4 Гбайт 1333 МГц	DDR2 800 МГц	DDR2 800 МГц
Объём ОЗУ	4 Гбайт на плате cPCI, 24 Гбайт в кластере 6хcPCI-6U	16 Гбайт	4 Гбайт на плате cPCI, 32 Гбайт в кластере 8хcPCI-6U
Тип дискового накопителя	SATA II	SATA I	SATA I
Возможность установки математического сопроцессора или графического процессора	Ускоритель AMD Radeon E6760	Нет данных	Нет данных
Операционная система	MS Windows или Linux	ОС «Эльбрус» или ОС MCBC	ОС «Эльбрус» или ОС MCBC
Наличие стандартных средств программирования x86/x86-64	Да (для ЦП). Программирование GPU осуществляется с использованием библиотек OpenCL	Нет (используется программирование для архитектуры «Эльбрус»)	Нет (используется программирование для архитектуры SPARC)
Помехозащищённость	Высокая	Средняя	Высокая
Ударопрочность	Средняя	Низкая	Средняя
Потребляемая мощность процессора	20 Вт	20 Вт	20 Вт
Потребляемая мощность кластера	700 Вт	100 Вт	До 1 кВт
Размеры	450х500х300 мм	370х370х15 мм	452х532х410 мм

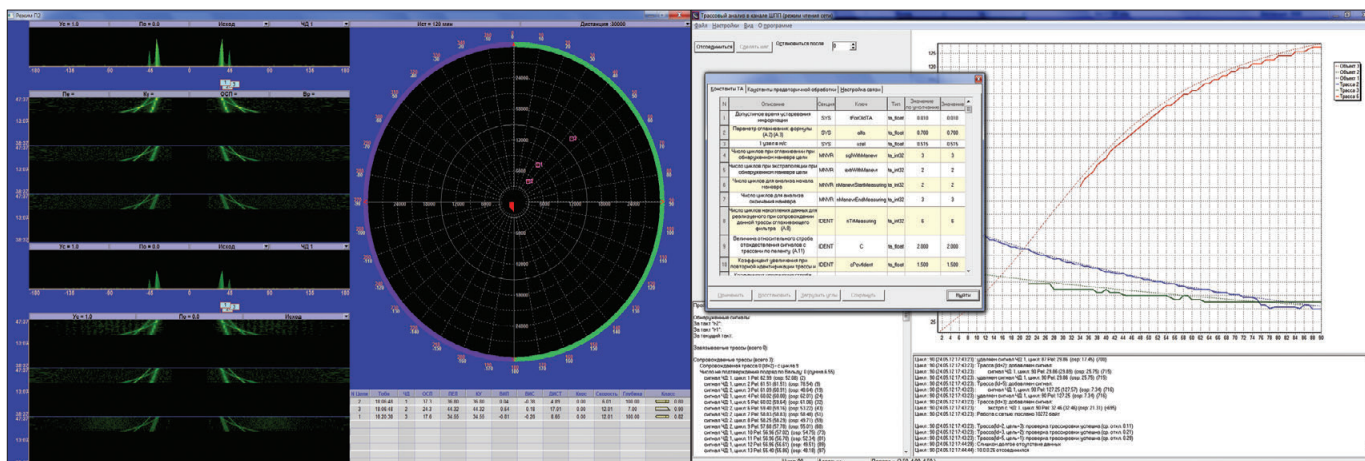


Рис. 3. Визуализация обработанных данных

Дополнительно в состав комплекса введена мощная рабочая станция, оснащённая графическими ускорителями NVIDIA Tesla с поддержкой технологии CUDA

Результаты проведённого в ходе ОКР сравнения комплекса с известными его аналогами по производительности и ряду других характеристик сведены в табл. 1.

Разработанный спецвычислитель по своим техническим характеристикам (пиковая производительность, потребляемая мощность, габариты) находится на уровне лучших отечественных и зарубежных систем, а по ряду параметров превосходит их.

Конструкция комплекса дополнительно обеспечивает:

- автоматическое управление режимом работы вентиляторов;
- возможность установки модулей тыльного ввода/вывода;
- время готовности к работе после включения 2 минуты;
- массу не более 50 кг;
- габаритные размеры (Ш×В×Г) 500×450×300 мм.

Отличительной особенностью спецвычислителя является применение графических ускорителей AMD/ATI Radeon E6760, позволяющих не только выводить видеоизображения, но и использовать их для обработки данных параллельно центральному процессору, что значительно увеличивает общую производительность. Применение графических ускорителей в подобных комплексах стало возможно в последнее время благодаря появлению специальной линейки чипов серии Embedded, выпущенной компанией AMD, и специальных плат мезонинного исполнения на их основе. Архитектура и конструкция спецвычислителя позволяют в

зависимости от задачи использовать разное количество графических ускорителей — от 0 до 6.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СПЕЦВЫЧИСЛИТЕЛЯ

Для использования спецвычислителя в гидроакустическом комплексе (ГАК) разработано программное обеспечение, реализующее перспективные алгоритмы обработки гидроакустической информации. Обработка алгоритмов проводилась по следующей схеме. С компьютера-имитатора по оптоволоконному кабелю на спецвычислитель поступал временной сигнал. Он преобразовывался в частотную область, после чего выполнялась первичная и вторичная обработка. Из-за сложности задачи и большого объёма данных при обработке применялось распараллеливание как на уровне ядер процессора, так и на уровне вычислительных модулей. Такой подход позволил сократить время обработки информации с 40 минут на обычной персональной ЭВМ до приемлемых 2 минут на спецвычислителе с максимальным использованием его возможностей. Окна визуализации результатов первичной и вторичной обработки представлены на рис. 3.

Модуль работал под операционной системой SUSE Linux Enterprise Server 11 SP1 64-bit. Весь процесс работы вычислительного комплекса был циклическим, что являлось имитацией реальных условий, программа останавливалась только по желанию пользователя. Весь процесс приёма и передачи информации можно было наблюдать на экране. Достигнутые показатели времени цикла работы программы оказались достаточными для решения поставленных задач.

Стоит сказать, что на этапе первичной обработки сигнала производилось большое количество операций быстрого преобразования Фурье, а также перемножения и сложения матриц больших размерностей (более чем 1000 на 1000 элементов) при накоплении ковариационной матрицы. Это обстоятельство потребовало задействовать всю мощность используемых графических ускорителей с применением для написания программ библиотеки OpenCL, что дало значительный прирост производительности и оправдало высокую стоимость применяемых ускорителей. Часть программ, которые выполнялись на центральном процессоре, были распараллелены с помощью технологии OpenMP. Наряду с OpenCL для увеличения быстродействия была использована библиотека Intel MKL (Math Kernel Library) для архитектуры x64.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение описанных в статье программно-аппаратных решений позволило построить мощный спецвычислитель и с его помощью смоделировать и доработать более точные алгоритмы обработки информации для современного гидроакустического комплекса. За счёт высокой производительности вычислитель мог совместно обрабатывать информацию от большого числа гидрофонов, объединённых в сегменте антенны, что позволило повысить точность обнаружения, позиционирования и классификации целей. Подобное стало возможным только благодаря применению распараллеливания и графических ускорителей. Этот факт является подтверждением перспективности использования решений подобной архитектуры с графическими ускорителями. ●

E-mail: niivk@mail.ru