

Применение гибридных технологий параллельного программирования в расчетной системе Spectrum¹

Рыбаков К.А.

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Аннотация. Описываются новые возможности расчетной системы Spectrum, связанные с применением гибридных технологий параллельного программирования, т.е. при одновременном использовании центрального процессора и графических процессоров видеоадаптеров для расчетов, требующих значительных вычислительных ресурсов.

Ключевые слова: гибридные технологии, матричная алгебра, параллельные вычисления, программное обеспечение, теория управления, спектральный метод.

Расчетная система Spectrum предназначена для решения различных задач теории управления спектральным методом [1, 2]. Спектральный метод основан на представлении функций, линейных операторов и линейных функционалов спектральными характеристиками – векторами и матрицами, образованными коэффициентами разложения функций по биортонормированным или ортонормированным функциям. К основным задачам, решаемым с помощью Spectrum, следует отнести задачи анализа, синтеза и идентификации детерминированных и стохастических динамических систем [3–5]. Расчетная система Spectrum применяется как для научных расчетов, так и в учебном процессе при проведении лабораторных работ по курсу «Теория управления» и специальным курсам.

Основные операции, выполняемые при использовании спектрального метода, – операции с матрицами и целью работы является дополнение расчетной системы Spectrum библиотеками функций работы с матрицами, использующими современные технологии параллельного программирования для центральных процессоров и процессоров графических адаптеров. Для корректной работы Spectrum необходимо реализовать следующие функции: сложение, вычитание, умножение на число, умножение, возведение в степень с натуральным по-

¹ Рыбаков К.А. Применение гибридных технологий параллельного программирования в расчетной системе Spectrum // Международный журнал экономики и образования. – 2016, т. 2, № 1. – С. 92–97.

казателем, нахождение коммутатора, тензорное умножение, транспонирование, нахождение обратной матрицы, вычисление определителя, нахождение решения системы линейных уравнений. Размеры матриц ограничены только моделью памяти для 32-битных или 64-битных приложений.

Расчетная система Spectrum разработана в среде программирования Borland Delphi (для текущей версии используется Borland Delphi 7). При разработке дополнительных библиотек использовались различные программные средства: компиляторы C++ из пакетов Microsoft Visual Studio Express 2012 с дополнением nVidia CUDA Toolkit 6.5, Intel Parallel Studio XE 2013; среда программирования Embarcadero Delphi 2010 с библиотекой OmniThreadLibrary 3.02; среда программирования Borland Delphi 7 с библиотекой OpenCL for Delphi 1.2; различные пакеты функций матричной алгебры стандартов BLAS (Basic Linear Algebra Subprograms) и LAPACK (Linear Algebra PACKage).

Напомним перечисленные в [2] библиотеки, разработанные ранее.

1. Библиотека на Object Pascal / Delphi; среда программирования Embarcadero Delphi 2010 + OmniThreadLibrary 3.02.
2. Библиотека на C++ с директивами OpenMP; компилятор из пакета Microsoft Visual Studio Express 2012.
3. Библиотека на C++ с директивами автоматической параллелизации и векторизации; компилятор из пакета Microsoft Visual Studio Express 2012.
4. Библиотека на C++, использующая технологию Microsoft Accelerated Massive Parallelism; компилятор из пакета Microsoft Visual Studio Express 2012.
5. Библиотека на C++ с директивами OpenMP; оптимизирующий компилятор из пакета Intel Parallel Studio XE 2013.
6. Библиотека на C++, использующая технологию Intel Threading Building Blocks; оптимизирующий компилятор из пакета Intel Parallel Studio XE 2013.
7. Библиотека на C++, использующая технологию Intel Cilk Plus; оптимизирующий компилятор из пакета Intel Parallel Studio XE 2013.

8. Библиотека на специализированном расширении C, использующая технологию nVidia CUDA; среда программирования Microsoft Visual Studio Express 2012 + nVidia CUDA Toolkit 6.5.
9. Библиотека на Object Pascal / Delphi и специализированном расширении C; среда программирования Borland Delphi 7 + OpenCL for Delphi 1.2.

В дополнение к ним был обеспечен доступ к готовым пакетам функций матричной алгебры BLAS и LAPACK. При этом использовались как классические, так и современные решения, оптимизированные для выполнения расчетов на высокопроизводительных многоядерных процессорах Intel и AMD, а также процессорах графических адаптеров (платформы nVidia CUDA и OpenCL).

1. Библиотека для доступа к пакетам BLAS и LAPACK; среда программирования Microsoft Visual Studio Express 2012 + BLAS + LAPACK 3.5.0 + CLAPACK 3.2.1.
2. Библиотека для доступа к пакетам BLAS и LAPACK; среда программирования Microsoft Visual Studio Express 2012 + OpenBLAS 0.2.11.
3. Библиотека для доступа к пакетам BLAS и LAPACK библиотеки Intel Math Kernel Library; оптимизирующий компилятор из пакета Intel Parallel Studio XE 2013 (реализовано два варианта: с загрузкой одного ядра и с загрузкой всех ядер центрального процессора).
4. Библиотека для доступа к пакетам cuBLAS и CULA, использующим платформу nVidia CUDA; среда программирования Microsoft Visual Studio Express 2012 + nVidia CUDA Toolkit 6.5 + CULA Dense R18.
5. Библиотека для доступа к пакету clBLAS (clAmdBLAS), использующему платформу OpenCL; среда программирования Microsoft Visual Studio Express 2012 + AMD APP SDK 2.9 + clBLAS 2.2.
6. Библиотека для доступа к пакету AMP BLAS, использующему технологию Microsoft Accelerated Massive Parallelism; среда программирования Microsoft Visual Studio Express 2012 + AMP BLAS 1.0.

На базе перечисленных выше библиотек были сформированы две библиотеки функций матричной алгебры, использующие гибридные технологии

параллельного программирования, которые позволяют одновременно задействовать центральный процессор и графические процессоры видеоадаптеров. Этот подход задействован только для операции умножения, как требующей значительных вычислительных ресурсов. Первый вариант задействует библиотеку на C++ с директивами OpenMP (оптимизирующий компилятор из пакета Intel Parallel Studio XE 2013) для центрального процессора, а для графических процессоров видеоадаптеров – одну из перечисленных ниже в зависимости от имеющегося аппаратного обеспечения:

1. Библиотека на C++, использующая технологию Microsoft Accelerated Massive Parallelism.
2. Библиотека на специализированном расширении C; платформа nVidia CUDA.
3. Библиотека на Object Pascal / Delphi и специализированном расширении C; платформа OpenCL.

Выбор во втором варианте для центрального процессора:

1. Библиотека для доступа к пакету OpenBLAS.
2. Библиотека для доступа к пакету Intel Math Kernel Library (с загрузкой всех ядер центрального процессора).

Для графических процессоров видеоадаптеров во втором варианте есть следующая возможность выбора также в зависимости от имеющегося аппаратного обеспечения:

1. Библиотека для доступа к пакету cuBLAS; платформа nVidia CUDA.
2. Библиотека для доступа к пакету clBLAS; платформа OpenCL.
3. Библиотека для доступа к пакету AMP BLAS, использующему технологию Microsoft Accelerated Massive Parallelism.

Настройка на максимальную производительность может производиться как в автоматическом режиме, так и вручную.

Для оценки эффективности библиотек функций матричной алгебры тестирование проводилось на компьютерах с многоядерными процессорами Intel и

AMD (10 наименований). При тестировании библиотек для графических адаптеров использовались адаптеры на базе nVidia, AMD и Intel (18 наименований).

Литература

1. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.
2. Рыбаков К.А., Клешнин В.Ю. Разработка библиотек матричной алгебры для расчетной системы Spectrum с применением технологий параллельного программирования // Научно-исследовательский и образовательный потенциал современной высшей школы. II Международная научно-практическая конференция. Ростов-на-Дону, 17 октября 2014 г.: Тр. конф. – Ростов-на-Дону: Научное сотрудничество, 2014. – С. 117–122.
3. Пантелеев А.В., Рыбаков К.А. Методы и алгоритмы синтеза оптимальных стохастических систем управления при неполной информации. – М.: Изд-во МАИ, 2012.
4. Рыбаков К.А. Идентификация стохастических систем в спектральной форме математического описания // Идентификация систем и задачи управления (SICPRO'15). X Международная конференция, Москва, 26–29 января 2015 г.: Тр. конф. – М.: Институт проблем управления РАН, 2015. – С. 1306–1334.
5. Пантелеев А.В., Рыбаков К.А., Сотскова И.Л. Спектральный метод анализа нелинейных стохастических систем управления. – М.: Вузовская книга, 2015.