

РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕК МАТРИЧНОЙ АЛГЕБРЫ ДЛЯ РАСЧЕТНОЙ СИСТЕМЫ SPECTRUM С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ¹

Клешнин В.Ю. , Рыбаков К.А.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Аннотация. Описываются новые возможности расчетной системы Spectrum, связанные с применением современных технологий параллельного программирования.

Ключевые слова: программное обеспечение, параллельные вычисления, спектральный метод.

Расчетная система Spectrum предназначена для решения различных задач теории управления спектральным методом, позволяющим свести исходную задачу, математическая модель которой содержит дифференциальные или разностные уравнения и интегральные соотношения, к системе линейных или нелинейных алгебраических уравнений [5, 7]. Спектральный метод основан на представлении функций спектральными характеристиками – векторами, образованными коэффициентами разложения этих функций по ортонормированным функциям (базисным функциям). К основным задачам, решаемым с помощью системы Spectrum, следует отнести задачи анализа, синтеза и идентификации детерминированных и стохастических динамических систем (включая системы с запаздыванием, с переменной или случайной структурой) [3, 4, 7, 8].

Для приближенно-аналитического решения задач анализа, синтеза и идентификации Spectrum позволяет:

¹ 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. Москва, 17 октября 2014 г.: Тр конф. – Ростов-на-Дону: Научное сотрудничество, 2014. – С. 117–122.

- вычислять значения базисных функций, представляя их в виде вектора или матрицы (матрицы значений базисных функций на равномерной сетке);
- рассчитывать спектральные характеристики функций одной и нескольких переменных (типовых сигналов, плотностей вероятности типовых распределений, таблично заданных функций, а также функций, формируемых с помощью композиций элементарных функций и алгебраических операций);
- рассчитывать спектральные характеристики операторов умножения, дифференцирования и интегрирования, оператора сдвига, оператора Фредгольма и др.;
- проводить обратное спектральное преобразование одномерных и многомерных спектральных характеристик, представляя результат в виде матрицы значений функции на равномерной сетке.

При решении задач спектральным методом можно использовать следующие системы ортонормированных функций: полиномы Лежандра и Чебышева, тригонометрические функции, функции Уолша и Хаара, полиномы и функции Лагерра, обобщенные функции Лагерра, полиномы и функции Эрмита, обобщенные функции Эрмита, а также системы функций, полученные с помощью специальных нелинейных преобразований координат, переводящих отрезок в бесконечный или полубесконечный интервал, на основе базисных систем, заданных на отрезках [3, 4, 6, 8].

Для решения задач синтеза и идентификации в расчетной системе Spectrum реализованы различные методы оптимизации: адаптивный случайный поиск, метод конфигураций, метод имитации отжига, метод деформируемого многогранника, метод частиц в стае, метод наилучшей пробы, метод градиентного спуска, метод сопряженных направлений, меметический алгоритм [1, 2] и др.

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. Необходимо было реализовать следующие функции: сложение, вычитание, умножение на число, умножение, возведение в степень с натуральным показателем, 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 и конфигурацией компьютера (объемом оперативной памяти, настройками виртуальной памяти).

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 5.5, 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 [9–16].

Для расчетной системы Spectrum были разработаны и протестированы следующие библиотеки (DLL – динамически загружаемые библиотеки) с перечисленными выше функциями:

1. Библиотека на Object Pascal / Delphi, среда программирования Embarcadero Delphi 2010 с библиотекой 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 (AMP), 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 (TBB), 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 с дополнением nVidia CUDA Toolkit 5.5.
9. Библиотека на Object Pascal / Delphi и специализированном расширении C, среда программирования Borland Delphi 7 с библиотекой OpenCL for Delphi 1.2.

Все указанные библиотеки поддерживают матрицы, элементы которых – числа с плавающей запятой одинарной и двойной точности.

Для оценки эффективности тестирование проводилось на компьютерах с многоядерными процессорами разных типов: Intel Core 2 Duo; Intel Core 2 Quad; Intel Core i3, i5, i7; AMD. При тестировании библиотек для графических адаптеров использовались адаптеры на базе nVidia, AMD и Intel (для Intel – интегрированные в центральный процессор). Проводились тесты отдельных матричных операций с матрицами размеров до 10000x10000, а также смешанные тесты и расчеты для прикладных задач.

По результатам тестов наиболее предпочтительной оказалась библиотека на C++ с директивами OpenMP (оптимизирующий компилятор из пакета Intel Parallel Studio XE 2013), позволяющая многократно (в десятки раз) увеличить скорость расчетов по сравнению как с однопоточными вычислениями, так и с многопоточными, но без применения оптимизирующего компилятора Intel. При

использовании мощных графических адаптеров лучший вариант применительно к типовым расчетам в системе Spectrum – библиотека на специализированном расширении C, использующая технологию nVidia CUDA, и библиотека на C++, использующая технологию Microsoft Accelerated Massive Parallelism. Они обеспечивают высокую скорость расчетов, при этом библиотека на основе Microsoft Accelerated Massive Parallelism дает возможность использовать решения как на базе nVidia, так и AMD.

Литература

1. Пантелеев А.В. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009.
2. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 2002.
3. Пантелеев А.В., Рыбаков К.А. Прикладной вероятностный анализ нелинейных систем управления спектральным методом. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010.
4. Пантелеев А.В., Рыбаков К.А. Методы и алгоритмы синтеза оптимальных стохастических систем управления при неполной информации. – М.: Изд-во МАИ, 2012.
5. Рыбаков К.А. Программное обеспечение спектрального метода Spectrum // Труды МАИ. – 2003. – № 14. – <http://www.mai.ru>.
6. Рыбаков К.А. Многопараметрические базисные системы для представления функций в неограниченных областях // Научный вестник МГТУ ГА. – 2013. – № 195 (9). – С. 45–50.
7. Рыбаков К.А., Сотскова И.Л. Анализ стохастических систем на основе решения уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова / В кн. 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. – С. 312–338.
8. Рыбин В.В. Моделирование нестационарных непрерывно-дискретных систем управления спектральным методом в системах компьютерной математики. – М.: Изд-во МАИ, 2011.
9. Embarcadero / Delphi [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.embarcadero.com>.
10. Intel Parallel Studio [Электронный ресурс]. – URL: <http://software.intel.com>.
11. Microsoft Development Network [Электронный ресурс]. – URL: <http://msdn.microsoft.com>.
12. nVidia CUDA [Электронный ресурс]. – URL: <http://developer.nvidia.com>.
13. OmniThreadLibrary [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.omnithreadlibrary.com>.
14. OpenCL [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.khronos.org/opencl>.
15. OpenCL for Delphi [Электронный ресурс]. – URL: <http://lab4.fme.vutbr.cz/heatlab/OpenCLforDelphi.html>.
16. OpenMP [Электронный ресурс]. – URL: <http://openmp.org>.