

Пакет программ «Нейроматематика»: решение сложных прикладных математических задач с использованием нейросетевых алгоритмов

(часть 2)

Светлана Коробкова, Минип Аляутдинов, Илья Воронков,
Александр Галушкин, Павел Казанцев, Артём Лодягин,
Георгий Остапенко, Павел Скрибцов (Москва)

Статья посвящена применению программного пакета «Нейроматематика» для решения сложных прикладных задач с помощью нейронных сетей. Приведено описание его модулей, используемых для решения задач аэродинамики, а также результаты вычислений на тестовых прикладных задачах.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ (ИНТЕРФЕЙСЫ) СИСТЕМЫ

Задача – объект, который создаётся системой на отдельном вычислительном узле. При этом данный объект обладает набором стандартных call-back процедур, которые вызываются системой для задания начальных данных, вычислений и выгрузки результатов. Также у объекта имеется набор служебных call-back-процедур для определения статуса задачи, сброса её в начальное состояние и т.п. В данной статье предполагается, что каждая параллельно выполняемая подзадача может быть описана на языке C++ как множество некоторых функций или объектов и может быть скомпилирована в отдельный исполняемый модуль (DLL). Это налагает ограничение на возможности использования подобной системы для распараллеливания с применением аппаратных средств и предполагает использование специальных команд или парадигм программирования.

Иначе говоря, если узел не умеет запускать процессы в виде исполняемых exe- или DLL-модулей, то данную систему применить нельзя⁵.

Приятной особенностью «задачи» в пакете «Нейроматематика» является наличие полноценного имени (а не просто номера), позволяющего отражать структуру разбиения вычислений на подзадачи. Например, задача может иметь имя вида «(0,1)», что означает «задача, соответствующая элементу объёма с координатами 0,1». Это удобно при отладке, особенно при сложной структуре разбиения данных. Обыкновенный и привычный числовой номер задачи является частным случаем «имени».

Менеджер задач – объект, занимающийся запуском параллельных вычислений и ответственный за выдачу средств обмена данными между параллельно работающими узлами. Реализация менеджера задач может быть построена с использованием концепций нитей (threads) или процессов (process) и оптимизирована для многоядерных процессоров или для многопроцессорных систем.

Коммуникатор – объект, которым снабжается каждая задача. Он осуществляет синхронную и асинхронную отправку данных другим узлам вычислительной сети, а также отвечает

за синхронный приём данных. Менеджер задач может выдавать задачам различные реализации коммутаторов, например, в случае разнородной вычислительной среды. Средства связи между процессами могут быть реализованы при помощи разнообразных механизмов, начиная от TCP/IP и заканчивая разделяемой памятью, в зависимости от доступных аппаратных средств и протоколов.

Менеджер данных – вспомогательный объект, отвечающий за создание начальных данных и сбор результатов, а также за определение очередности сбора результатов. Например, совокупные результирующие данные от всех задач могут не уместиться в памяти центрального узла, и необходимо записать их в файл в определённой последовательности. Поскольку сложно прогнозировать последовательность завершения вычислений на узлах кластерной сети, у некоторых задач будет задержана пересылка результатов до получения результатов от других задач.

ОСНОВНЫЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В версии «Нейроматематика» 1.0 используются следующие технологии:

- операционная система Windows XP/2000;
- среда разработки Microsoft Visual Studio 2003;
- базовый язык программирования C++ как платформы и модулей РПЗ;

⁵ Например, GPU-алгоритмы невозможно задавать при помощи SIPICS, поскольку на пиксельном процессоре нельзя запустить exe-процесс. Однако, если возможно параллельное исполнение специализированного кода на наборе ПЭВМ с GPU, то SIPICS для данного случая тоже применим.

- библиотека Microsoft Foundation Classes (MFC) для организации пользовательского интерфейса и общего функционирования системы;
- OpenGL в качестве средства визуализации объёмных данных;
- nVIDIA/Cg для управления графическими процессорами, которые используются в качестве аппаратных ускорителей нейросетевых алгоритмов;
- MPI/MPICH как средство для одной из реализаций подсистемы работы с «виртуальным кластером»;
- Winsockets как средство альтернативной реализации подсистемы работы с «виртуальным кластером».

Задачи аэродинамики и модули для их решения

Описание задачи управления самолетом с помощью эжекции на крыльях

Эжекция на крыльях (вдув струи газа на обтекаемую поверхность) изменяет структуру течения вокруг крыла, что позволяет управлять аэродинамическими характеристиками самолёта. Данная задача может быть нестационарной и связанной с взаимодействием пограничных слоёв, струй и ударных волн (если обтекание будет локально сверхзвуковым). Поэтому её решение должно быть основано на численном интегрировании нестационарных уравнений Навье-Стокса для многокомпонентной системы газов (эжектируемые струи могут иметь отличные от обтекающего воздуха химические и физические свойства).

Геометрия крыльев является трёхмерной, поэтому задача должна решаться в трёхмерной постановке. Поскольку геометрия крыльев, как правило, не может быть описана элементарными геометрическими примитивами, необходим её импорт из систем автоматизированного проектирования.

Для определения свойств крыла с заданными геометрическими и эжекционными параметрами необходимо знать динамику аэродинамических параметров, таких как давление, скорость газа по трём базовым направлениям, энергия газа и плотность смеси газов в некоторой области вокруг исследуемого крыла. Тогда по этим параметрам можно предска-

зать поведение летательного аппарата в полёте.

Эксперименты по определению данных параметров опытным путем, как правило, проводятся в аэродинамических трубах, являются дорогостоящими и сложными в постановке. Поэтому перспективным направлением является прогнозирование данных параметров с помощью различных моделей.

Для решения задачи необходимы следующие объекты:

- солид – описание геометрии крыла (и, возможно, фюзеляжа);
- газ – описание физических и химических свойств набегающего потока и эжектируемых струй;
- газ с постоянными значениями во времени – описание граничных условий в областях эжекции и граничных условий вдува набегающего потока.

Описание задачи прогнозирования ветровой обстановки в застроенных кварталах

Исходными данными для данной задачи являются:

- начальное распределение газодинамических параметров в счётной области;
- геометрия жилого района;
- граничные условия для набегающего потока.

Результатом расчёта является получение распределения газодинамических параметров в счётной области для заданного момента времени.

Нейросетевая постановка задачи

Входом трёхмерной клеточной нейронной сети является вектор:

$$\bar{X} = \{X_{ijk}\} = \left\{ (U \ V \ W \ E \ P \ \rho \ \gamma)_{ijk} \right\},$$

где U, V, W – скорости газа в данной ячейке по направлениям x, y, z соответственно, E – полная энергия газа в данной ячейке, P – давление газа в данной ячейке, ρ – плотность газа в данной ячейке, γ – значение адиабаты газа в данной ячейке.

Выходом трёхмерной клеточной нейронной сети являются рассчитанные нейронной сетью значения вектора

$$\bar{Y} = \{Y_{ijk}\} = \left\{ (U \ V \ W \ E \ P \ \rho \ \gamma)_{ijk} \right\}$$

после n расчётных итераций.

Желаемый выход трёхмерной клеточной нейронной сети – значения вектора

$$\bar{T} = \{T_{ijk}\} = \left\{ (U \ V \ W \ E \ P \ \rho \ \gamma)_{ijk} \right\}$$

по прошествии заданного времени, рассчитанные с помощью пакета GDT.

Нейронная сеть представляет собой двухслойную клеточную нейронную сеть с равным количеством нейронов первого и второго слоя. Количество нейронов в первом слое равно количеству ячеек сетки. Каждый нейрон первого слоя связан с четырьмя соседями в первом слое и вышележащим нейроном второго слоя, аналогично, каждый нейрон второго слоя связан с четырьмя соседями в первом слое и его выход поступает на вход нижележащего нейрона первого слоя. Веса связей (внутри первого или второго слоя) задаются как площади граней сетки, веса связей между слоями равны 1. По связям передаются векторы типа $(U \ V \ W \ E \ P \ \rho \ \gamma)$, описывающие значения параметров газа в ячейке.

Реализация

Решение задач аэродинамики с помощью нейронных сетей реализовано программным и программно-аппаратным способом в виде модулей «Эжекция» и «Ветер» программного комплекса «Нейроматематика».

Поддерживаются три варианта аппаратной поддержки вычислений:

- вычисления на рабочей станции;
- вычисления на кластерной системе из 17 ПЭВМ;
- вычисления на рабочей станции с графическим ускорителем.

Тестовая задача: исследование обтекания крыла F15 (Эжекция)

В ходе эксперимента моделируется влияние дозвуковой эжекционной струи на сверхзвуковое течение воздуха вокруг консоли крыла одной из модификаций истребителя F-15.

Актуальность задачи связана с резким повышением требований к маневренности современных пилотируемых летательных аппаратов, одной из важнейших характеристик которой являются максимально допустимые углы атаки, при которых не происходит срыва потока на аэродинамических плоскостях. Повышению

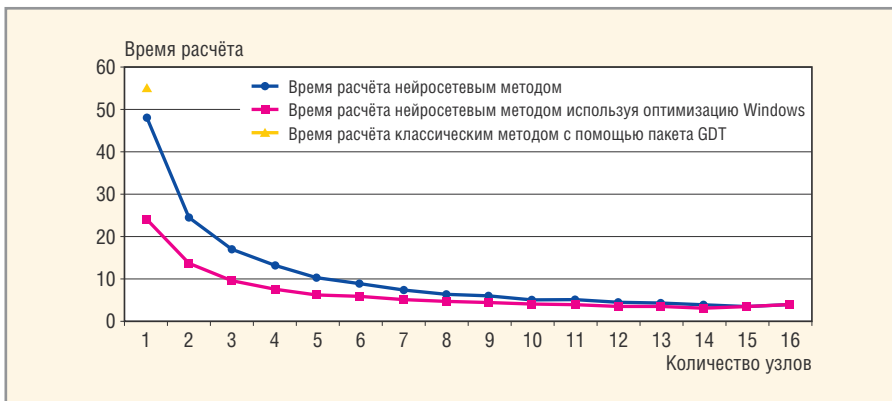


Рис. 4. Зависимость времени расчёта от количества узлов классического кластера для задачи прогнозирования ветровой обстановки

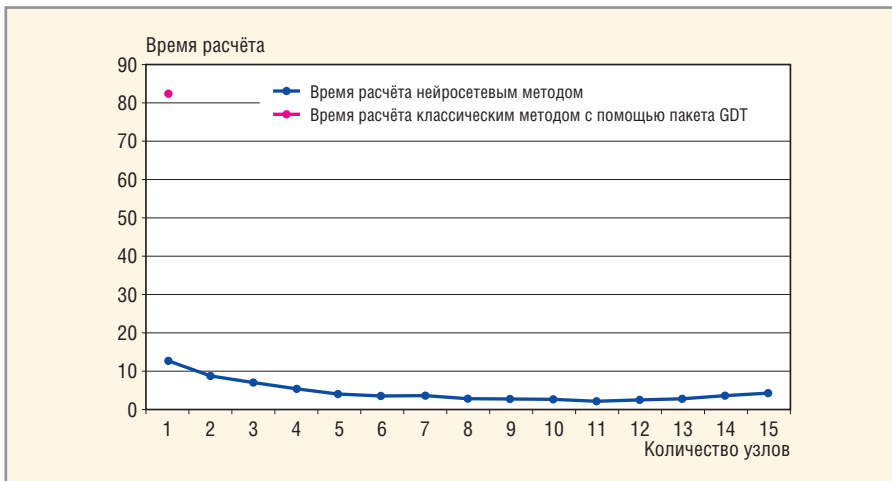


Рис. 5. Зависимость времени расчёта от количества узлов классического кластера для задачи управления F15 с помощью эжекции на крыльях

величины критического угла атаки способствует в том числе вдув струи газа на обтекаемую поверхность.

Для проведения эксперимента были выбраны следующие параметры среды: давление в набегающем потоке 101 325 Па, плотность набегающего потока 1,29 кг/м³, скорость набегающего потока 700 м/с. Давление эжекционной струи 303 975 Па, плотность эжекционной струи 1,29 кг/м³, скорость эжекционной струи 112 м/с. Угол наклона эжекционных сопел 16,5 градусов к поверхности консоли. Угол атаки консоли 9 градусов. Консоль не подвержена деформациям. Воздух считается газом, течение которого описывается уравнениями Навье-Стокса.

В файле F15_ejection.dat содержатся начальные данные, описывающие трёхмерную область, размерность которой $75 \times 175 \times 175 \approx 2 \times 10^6$ ячеек. Существует два подхода к проблеме определения количества неизвестных для задач аэродинамики:

- количество переменных определяется как произведение количества

ячеек области расчёта на количество параметров ячейки. В данном случае (для задачи прогнозирования ветровой обстановки в застроенных кварталах) каждая ячейка газового поля содержит восемь газодинамических параметров (скорости по трём направлениям, энергия, давление, плотность, параметр адиабаты и тип ячейки). Требуется рассчитать все параметры, кроме типа ячейки, который остается неизменным на протяжении всего расчёта. Таким образом, имеем $7 \times 2 \times 10^6 \approx 1,4 \times 10^7$ неизвестных;

- количество переменных определяется как произведение количества ячеек области расчёта на количество параметров ячейки и на количество шагов расчета. В данном случае (для задачи прогнозирования ветровой обстановки в застроенных кварталах) каждая ячейка газового поля содержит восемь газодинамических параметров (скорости по трём направлениям, энергия, давление, плотность, параметр адиабаты и тип ячейки). Требуется рас-

считать все параметры, кроме типа ячейки, который остаётся неизменным на протяжении всего расчёта. Для контрольно-демонстрационной задачи выполняется десять шагов расчёта. Таким образом, имеем $10 \times 7 \times 2 \times 10^6 \approx 1,4 \times 10^8$ неизвестных.

При тестировании был применен первый подход, когда считается, что количество переменных равно количеству ячеек расчётной области, т.е. $1,4 \times 10^7$.

Второй подход к определению количества переменных задачи используется в случае хранимых значений рассчитанных параметров области после каждого шага. Данная реализация требуется для исследования динамики изменения рассчитываемых параметров. Так как в большинстве случаев представляет интерес только конечный результат, был выбран первый подход.

Тестовая задача: исследование воздействия ветра на здания Сиднейской оперы (Ветер)

В ходе эксперимента требуется определить характеристики воздушного потока и его воздействие на здание Сиднейской оперы при скорости ветра, существенно превышающей нормальную.

Актуальность задачи связана с изменением климатической обстановки в мире. Для тестирования разработанного модуля «Ветер» ПКМ решалась задача прогнозирования ветровой нагрузки на здания Сиднейской оперы. Резкое увеличение числа ураганов и торнадо, в том числе в районах, где ранее их не наблюдалось, а также форма рассматриваемого здания, приводящая к повышению коэффициента аэродинамического сопротивления, требуют отдельного рассмотрения ветровой нагрузки на данное здание в целом и его уязвимые детали (в первую очередь, окна).

Для проведения эксперимента были выбраны следующие параметры среды: давление в набегающем потоке 101 325 Па, плотность в набегающем потоке 1,29 кг/м³. Приведённая фронтальная скорость ветра 50 м/с. Здание не подвержено деформациям.

В файле Sidney_Opera.dat описана трёхмерная область, размерность которой $200 \times 100 \times 300 = 6 \times 10^6$ ячеек. Аналогично предыду-

щей задаче можно посчитать количество неизвестных для задачи прогнозирования ветровой обстановки здания Сиднейской оперы двумя способами:

- 1) $7 \times 6 \times 10^6 \approx 4 \times 10^7$ неизвестных;
- 2) $10 \times 7 \times 6 \times 10^6 \approx 4 \times 10^8$ неизвестных.

При тестировании был применен первый подход, когда считается, что количество переменных равно произведению количества ячеек расчётной области на количество параметров ячейки, т.е. 4×10^7 .

Описание и результаты экспериментов

В ходе проведения экспериментов было доказано, что результаты расчёта аэродинамических задач с помощью модулей «Ветер» и «Эжекция» полностью совпадают либо различаются не более чем в пятом знаке от результатов расчёта тех же задач при помощи пакета GDT.

Далее приведены временные характеристики работы представленных модулей при расчёте тестовых аэродинамических задач прогнозирования ветровой нагрузки на зда-

ние Сиднейской оперы и исследования обтекания крыла F15. На рисунках 4 и 5 представлены зависимости времени расчёта от количества узлов классического кластера для задач прогнозирования ветровой обстановки и исследования обтекания крыла соответственно.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей. Радиотехника, 2000.
2. Галушкин А.И., Цыткин Я.З. Нейронные сети: история развития теории. Радиотехника, 2001.
3. Галушкин А.И. О современных направлениях развития нейрокомпьютеров. Радиотехника, 1997.
4. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры. Радиотехника, 2002.
5. GPGPU – General Programming on Graphics Processing Units, www.gpgpu.org.
6. Горбаченко В.И. Нейрокомпьютеры в решении краевых задач теории поля. ИПРЖР, 2003.
7. Горбаченко В.И. Нейрокомпьютеры и решение краевых задач теории поля.

8. Аубакиров Т.О., Белоцерковский С.М., Желанников А.И., Нишит М.И. Нелинейная теория крыла и ее приложения. Алматы, 1997.
9. Акустика океана. Под ред. Бреховских Л.М. Наука, 1974.
10. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. Л.: Гидрометеиздат, 1982.
11. Вагин А., Расчёт лучевых картин, суммарного звукового поля в точке, его угловой временной, фазовой и энергетической структуры в двумерно-неоднородной среде. Акустический институт, 1979.
12. Аляутдинов М.А., Антонова А.В., Баранов В.А. и др. Программный комплекс «Нейроматематика». Пояснительная записка к техническому проекту ОКР по теме ИТ-13.3/001 «Разработка прикладных технологий для инженерных задач с плотными системами уравнений и сверхбольшим числом неизвестных», 2006.
13. Delgado H.J., Thursby M.H., Ham F.M. A novel neural network for the synthesis of antennas and microwave devices. IEEE Transactions on neural networks. Vol. 16. № 6. Nov. 2005.
14. Лось В.Ф. Микрополосковые и диэлектрические резонаторные антенны. ИПРЖР, 2002.



Новые высокоэффективные DC/DC-преобразователи компании MPS

Понижающие DC/DC-преобразователи. Температурный диапазон –40...+85°C

Наименование	U _{вх} , В	I _{вых макс} , А	Частота, МГц	Корпус
С синхронным выпрямлением				
MP2303	4,7...28,0	3,0	0,34	SOIC8N/QFN10
MP8640	4,5...23,0	3,0	0,60	QFN14
MP38872	4,5...21,0	6,0	0,60	QFN14-34
MP38891	4,5...30,0	6,0	0,40	QFN14
MP38874	4,5...21,0	8,0	0,60	QFN14
MP38671	4,5...25,0	10	0,60	QFN14
С диодом Шоттки				
MP4459	4,5...36,0	1,5	4,0	TQFN10-3
MP4460	4,5...36,0	2,5	4,0	QFN10-3
MP4461	4,5...36,0	3,5	4,0	QFN10-3

Повышающие DC/DC-преобразователи. Температурный диапазон –40...+85°C

Наименование	U _{вх} , В	I _{вых макс} , А	Частота, МГц	Корпус
MP3410	1,8...6,0	6	0,5	TSOT23-5
MP3115	1,1...2,5	0,2	1,3	SOT23-6

- Высокая стабильность и повторяемость характеристик микросхем
- Высокая устойчивость схемы управления
- Высокая эффективность
- Готовое изделие не требует регулировки



Официальный дистрибьютор MPS в России
ПРОСОФТ – АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
 (495) 232-2522 • info@prochip.ru • www.prochip.ru

реклама