

В. П. Май, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., e-mail: may@iacp.dvo.ru,
Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток

Система объемной визуализации синоптических объектов

Представлена усовершенствованная реализация интерактивной системы объемной визуализации и анализа синоптических объектов, предназначенной для автоматизации исследований динамики атмосферы и океана. Описана новая архитектура и функциональные возможности системы. Приведена программная структура разработанной системы визуализации. Реализованы методы визуализации физических полей синоптических объектов. Для увеличения вычислительной производительности обрабатываемых и визуализируемых данных применены шейдер- и CUDA-технологии многопроцессорной обработки на базе графических процессоров. Опытная эксплуатация и тестирование системы на модельных и реальных данных показали ее практическую эффективность.

Ключевые слова: визуальный анализ, визуализация объемов, синоптические данные, скалярные и векторные поля, интерактивный интерфейс, шейдер- и CUDA-технологии, тропический циклон, аномалии

Введение

Объемная визуализация (*volume rendering*) является важным инструментом в задачах исследования динамики синоптических объектов атмосферы и океана. Разработка соответствующих программно-аналитических средств ведется довольно давно, однако потребность в совершенствовании методов/алгоритмов визуализации сохраняет свою актуальность в связи с необходимостью быстрой обработки больших объемов данных (приведение исходных данных к желаемому виду) и повышением требований к скорости и эффективности визуализации 3D-данных, облегчающей пространственное восприятие синоптических объектов. Необходимость в разработке специализированных средств 3D-графики определяется спецификой исследуемых синоптических объектов, имеющих многоплановый характер рассматриваемых физических полей скалярного и векторного типа с возможностью комбинированной визуализации и потребностью в наращиваемом наборе разных методов/алгоритмов визуализации и интерактивности.

Существует ряд зарубежных и отечественных программных разработок в этой области.

Из известных систем, отвечающих этим требованиям, можно выделить систему CAMVis от NASA [1, 2] и систему визуализации ураганов в 3D-окружении с использованием системы стереовидения VERTEX при поддержке проекта NOAA [3]. Эти системы отличаются большой степенью информативности и высоким качеством визуализации с высокопроизводительной аппаратной поддержкой. Однако они являются уникальными и не тиражируемыми, поскольку характеризуются достаточно сложной программной архитектурой с привязкой к специализированному вычислительному оборудованию и специфике форматов данных и решаемых задач в конкретном центре мониторинга.

Общедоступные системы имеют ряд недостатков, в особенности недостаточный уровень интерактивности интерфейса и информативности визуализации, а также ограниченный набор поддерживаемых форматов данных и методов визуализации. Поэтому в настоящее время проблема разработки систем визуализации синоптических объектов сохраняет свою актуальность.

Необходимость создания специализированной системы объемной визуализации синоптических объектов была продиктована потреб-

ностями Центра спутникового мониторинга Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВО РАН). С участием потенциальных пользователей-метеорологов сформулированы следующие требования к системе визуализации синоптических объектов.

1. Интерактивный удобный интерфейс системы визуализации с высокой степенью наглядности, позволяющий: исследовать многоплановый характер физических полей скалярного и векторного типа с необходимостью комбинированной визуализации; выполнять работу с различными специализированными форматами входных данных; объединять данные от разных спутников; осуществлять управление данными, параметрами и методами визуализации с хронологией времени для динамических данных.

2. Нарастаемый набор методов/алгоритмов визуализации и обработки данных с учетом многоплановости физических полей атмосферы и океана и исследуемых синоптических объектов.

3. Эффективная реализация алгоритмов, направленная на повышение скорости графической обработки и визуализации синоптических данных, в том числе с применением аппаратных графических возможностей и многоядерной архитектуры современных центральных процессоров.

В соответствии с этими требованиями была разработана система визуализации синоптических объектов [4, 5]. Эксплуатация системы подтвердила эффективность ее применения для определенных задач. В то же время необходимость повысить производительность системы и удобства работы с ней пользователи потребовали изменения ее архитектуры и интерфейса. В настоящей работе представлена усовершенствованная версия системы объемной визуализации синоптических данных. В новой версии реализованы: расширенные функциональные возможности для работы с данными; более высокая производительность обработки данных за счет применения GPU-параллелизма, что позволяет избавиться от привязки к стационарному вычислительному оборудованию; усовершенствованная модульная структура, обеспечивающая нетрудоемкое расширение алгоритмической базы без ограничений; современный эргономичный интерфейс, обеспечивающий эффективность и удобство в работе исследователя.

Структура и функциональные возможности системы визуализации

Структура системы визуализации, разработанная с учетом обеспечения возможности наращивания и модификации алгоритмической базы, представлена на рис. 1. В настоящей версии программы реализована поддержка двух типов подключаемых модулей: загрузки данных и визуализации. Для каждого вида модулей разработана спецификация взаимодействия и потоков данных. Для модулей загрузки определяется место хранения данных и методы доступа к хранилищу из различных частей программного комплекса. Каждый модуль загрузки работает только с определенной группой данных и от определенного источника данных, что хотя и требует разработки множества модулей, но зато позволяет точно учитывать специфику обрабатываемых данных. Результатом работы модуля загрузки является не только загрузка, но и интерпретация данных и приведение их к принятому формату. Для модулей визуализации определена процедура интерактивных настроек параметров визуализации в режиме диалога. При этом реализована не только возможность одновременной визуализации нескольких видов синоптических данных (температура, влажность, давление, ветер), но и одновременное применение нескольких методов визуализации для одного набора данных (объемный рендеринг + изоповерхности + плоские срезы).

Разработанную систему можно использовать для визуализации различных пространственных статических и динамических полей

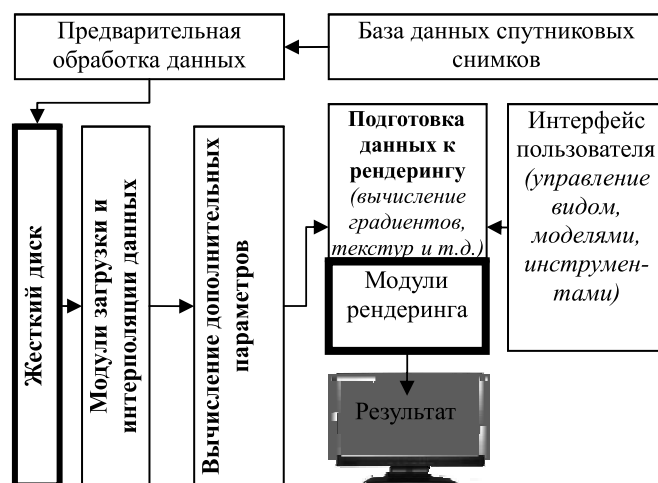


Рис. 1. Структура системы

скалярного и векторного типа. Вместе с тем она, прежде всего, ориентирована на применение в исследовании синоптических объектов в задачах динамики атмосферы и океана. Основной прикладной функциональной направленностью при этом являются:

- визуальное обнаружение важнейших пространственно-временных характеристик атмосферы, в частности влажности, положения тропопаузы;

- визуализация изоповерхностей температуры атмосферы;

- интерактивный анализ атмосферно-океанических аномалий, определение их сущности, происхождения, положения и времени жизни.

Для обеспечения указанных проблемно-ориентированных возможностей в интерфейсе системы предусмотрены следующие графические функции:

- интерактивное управление модулями загрузки и визуализации;

- темпоральные и пространственные срезы;

- гибкое управление интерфейсом;

- интерактивная обработка данных;

- выбор методов визуализации и инструментов для проведения визуального анализа данных.

К инструментарию относятся такие режимы, как:

- управление камерой ("Arcball", свободный полет, плоский режим, автоматическое слежение за динамическими объектами);

- управление данными (отсечение скаляров, фильтрация);

- управление визуализацией;

- управление динамическими полями.

Функциональной особенностью системы является возможность одновременной работы с множеством алгоритмов фильтрации и визуализации, работа с темпоральными срезами данных, с интерактивным выводом текущих визуальных и информационных данных. Все это требует создания большого количества визуальных форм, диалогов и информационных окон. Каждое окно является определенным инструментом для управления данными или визуализацией. Отсутствие систематизации диалогов в начальной версии породило проблему неудобства их использования: время от времени исследователю приходилось отвлекаться на поиск необходимого диалога, который мог быть не активен и закрыт другим диалогом. Таким образом, возникла необходимость в разработке более дружелюбного интерфейса.

Новый интерфейс программной системы, построенный на основе современной технологии Docking Windows, позволяет конфигурировать взаимное расположение окон с автоматической привязкой, масштабированием, системой вкладок (по аналогии с современными интернет-обозревателями). Гибкая система настроек взаимного расположения окон запоминается системой и используется при следующем запуске программы автоматически, что позволяет исследователю персонализировать интерфейс (рис. 2, см. вторую сторону обложки).

Архитектура системы

В архитектуре программной системы учитывается специфика работы с синоптическими данными. Под синоптическими данными подразумеваются скалярные и векторные поля распределения погодных характеристик. Данные могут быть одномерными (показания зондов, стационарных радиолокационных станций), двумерными (погодные карты, спутниковые снимки облачности, льдов и т. д.) и пространственными (поля ветра, давления, температуры и т. д.). Кроме того, система визуализации должна работать со стандартными, используемыми синоптиками, форматами данных. При этом данные могут быть как статическими, так и изменяемыми во времени, т. е. динамическими. Динамические данные за определенный период могут быть представлены набором файлов данных или одним файлом — базой данных. В настоящей версии реализованы модули загрузки данных, способные загружать динамические данные обоих типов. Для загрузки многофайловых данных указывается их корневой каталог, после чего система запоминает имена доступных файлов, а также даты, которым они соответствуют (в зависимости от типа данных дата может быть получена из имени файла или метаданных внутри него). В момент, когда происходит смена текущей даты, выполняется загрузка соответствующего файла. Если соответствующего файла не существует, то загружаются ближайшие файлы по дате с двух сторон, после чего между ними выполняется интерполяция, результат которой отправляется для визуализации. Аналогичным образом происходит работа с базами данных: первым этапом считаются доступные даты, которые в дальнейшем

используются для выборки данных согласно структуре базы данных.

В настоящей версии реализован механизм автоматического включения актуальных данных при движении по шкале времени, расширяемой автоматически и охватывающей все включенные в проект динамические данные. Статические данные включены в визуализацию независимо от текущего значения шкалы времени.

Для эффективной и единообразной работы с разнотипными данными в предлагаемой архитектуре программной системы были реализованы следующие дополнительные возможности:

1) управление данными с помощью штатных средств интерфейса; подключение программ для предобработки данных (построение аномалий, перевод из текстовых профилей в бинарный унифицированный формат);

2) введение нового вида модулей — модулей предобработки, преобразующих исходные данные: вычисление градиентов, фильтрация, интерполяция, интерактивное разрежение сеток, сечение данных и т. д.;

3) разработка и реализация древовидной архитектуры управления данными, которая позволяет многоэтапную ступенчатую предобработку загруженных данных и обеспечивает визуализацию связей подключенных модулей;

4) сохранение текущего состояния проекта.

Визуальный анализ

Программная система включает ряд функциональных возможностей, необходимых для проведения эффективного визуального анализа синоптических данных и направленных на улучшение понимания погодных явлений, а именно:

- трехмерная визуализация синоптических данных, с использованием различных алгоритмов графического представления; пользователь может поворачивать и перемещать камеру в удобное для него место, включая внутреннюю структуру визуализируемых объектов; область визуализации содержит инструмент для определения положения и направления камеры, а также инструмент для перемещения между датами;
- управление параметрами метода визуализации с помощью панели настройки, содержащей параметры, соответствующие выбранному методу;
- трехмерный информационный курсор, который показывает координаты (долготу,

широту и высоту) синоптического объекта под курсором мыши;

- комбинированная визуализация нескольких наборов данных, которая может быть применена для одновременной визуализации нескольких наборов данных как одного, так и множества объектов;
- управление хронологией динамических данных через временную шкалу (с возможностью интерполяции в местах отсутствия данных), а также через панель в окне визуализации, позволяющую перемещаться между доступными в наборе датами;
- визуализация скалярных и векторных полей; статическая анимация для методов многочастичной визуализации векторных полей;
- анимация динамических наборов данных, привязанных к временным диапазонам, управление анимацией выполняется с помощью временной шкалы со следующими функциями: старт, пауза, стоп, зацикливание воспроизведения, запись с настройками для создания фильмов;
- возможность создавать видеофильмы на основе анимации динамических наборов данных, а также делать снимки области визуализации.

Алгоритмы визуализации объемов

В настоящей версии системы нашли применение следующие алгоритмы анимационной визуализации скалярных и векторных полей:

- алгоритм объемной текстурной визуализации;
- алгоритм объемной многочастичной визуализации;
- алгоритм визуализации изоповерхностей;
- алгоритм трассировки объемов на шейдерах.

Все перечисленные методы реализованы на OpenGL.

Алгоритм объемной текстурной визуализации базируется на использовании аппаратно поддерживаемых 3D-текстур. Для подготовки этапа рендеринга в рассматриваемом объеме строится семейство секущих плоскостей, параллельных плоскости экрана. Поле скалярных данных по определенной схеме интерпретируется как 3D-текстура, и графический акселератор берет на себя дальнейшую интерполяцию данных между ячейками сетки. Закраска плоскостей происходит средствами 3D-акселератора с использованием подготовленной и загруженной в видеопамять 3D-текстуры. При визуализации

данных можно оперировать такими параметрами, как цвет, прозрачность, освещенность. Вычислительные затраты метода сводятся к вычислению трехмерных текстурных координат, которые присваиваются вершинам примитивов, являющихся приближением секущих плоскостей. За счет использования прозрачности, реализованной в 3D-ускорителях, все, не относящиеся к исследуемому объему пиксели, остаются невидимыми, в результате на экране формируется реалистичное изображение.

Алгоритм объемной многочастичной визуализации заключается в отображении на экран частиц (в нашем случае это сферы малого диаметра) в соответствии со значением скаляра в рассматриваемых точках объема. Для реализации наглядности отображения скалярного поля варьируются следующие параметры: цвет частиц, освещенность, вероятность появления. Реализуется анимация с постоянной сменой положений частиц (мельтешение). В результате этого пользователь по характеру распределения частиц на последовательности кадров может судить о структуре скалярного поля. Для достижения наилучшего визуального эффекта пользователь может выбирать число частиц и их размер.

Алгоритм визуализации изоповерхностей основан на конвертировании воксельного представления изоповерхностей в полигональное представление с использованием метода "марширующих кубиков" [6], что позволяет обеспечить аппаратную поддержку визуализации изоповерхностей скалярных полей.

Алгоритм трассировки объемов на шейдерах [7] основывается на применении 3D-текстур, текстуры ColourLookUpTable (CLUT) и шейдер-технологии, основанной на использовании возможностей современных графических ускорителей. На первом этапе выполняется загрузка данных в видеопамять. Данные преобразуются к формату текстур с учетом того, что загружаемая в видеопамять текстура должна содержать значения в интервале $[0, 1]$ по каждой компоненте. Для этого выполняется нормировка вычисляемых градиентов на скалярном поле и смещение значений на 0,5. Поле скаляров также приводится к интервалу $[0, 1]$. Таким образом, в каждой точке воксельной решетки имеются три значения вектора градиента и одно значение скалярного поля. После этого данные загружаются в четырехкомпонентную 3D-текстуру, где первые три компонента определяют нормаль в точке, а четвертая — норми-

рованное значение скалярного поля. На втором этапе в видеопамять загружается текстура CLUT. Создание текстур CLUT происходит с помощью редактора CLUT (рис. 3, см. вторую сторону обложки). Цветовая компонента берется из верхней строки текстуры, а компонента прозрачности из нижней.

Далее выполняется загрузка вершинного и пиксельного шейдеров в графический ускоритель. Поскольку известны физические размеры скалярного поля, есть привязка к системе координат меркаторской проекции. Операциями масштабирования и сдвига в буфер кадра вводится куб со стороной ребра, равной единице, при этом конвейер OpenGL для закраски куба использует ранее загруженные шейдеры. OpenGL настраивается таким образом, чтобы были видны только те грани куба, которые находятся ближе к наблюдателю. В результате шейдерная программа получает точку входа, преобразованную в систему координат текстуры. Теперь следует в вершинном шейдере вычислить вектор наблюдения, т. е. вектор от точки наблюдателя до точки входа. Источник освещения располагается в позиции наблюдателя, при этом вектор наблюдения и вектор освещения совпадают, что существенно сокращает время расчетов. Во фрагментном шейдере происходит накопление цвета по принципу "от ближнего к дальнему" до тех пор, пока луч не выйдет за пределы куба, или накопленная прозрачность не достигнет значения "пиксель непрозрачный". На каждом шаге накопления цвета из текстуры данных считывается значение преобразованного градиента и скаляра в точке.

При одновременной работе нескольких алгоритмов визуализации [7] с использованием Z-буфера могут возникать ситуации некорректного отображения результатов рендеринга. Во избежание такой ситуации при совместной работе метода трассировки лучей с другими алгоритмами, необходимо обеспечивать правильную последовательность выполнения: алгоритм трассировки должен обрабатывать после работы всех других алгоритмов. Это необходимо для того, чтобы до трассировки лучей был сформирован Z-буфер. Непосредственно в алгоритме трассировки при накоплении цвета на каждой итерации движения по лучу выполняется следующая проверка: находится ли очередная точка к наблюдателю ближе, чем фрагмент, занесенный в буфер кадра другими алгоритмами.

При реализации анимации во времени расчет параметров для визуализации (вычисление текстур, градиентов, минимаксных значений скалярных полей и построение полигональных моделей) выполняется незамедлительно. Анимация в пространстве поддерживается стандартным образом за счет упомянутых выше алгоритмов. Следует отметить, что модульная структура системы позволяет легко расширять базу алгоритмов визуализации.

Многопроцессорная обработка

Работа с синоптическими данными — это работа с данными больших масштабов и объемов, что требует значительных вычислительных ресурсов, поэтому наиболее актуальным остается вопрос производительности. Данные подобного типа имеют, как правило, сеточную регулярную структуру. Нерегулярные данные могут быть регуляризованы на предварительном этапе обработки данных согласно актуальной модели. Задача обработки больших массивов данных эффективно решается с помощью технологий массового параллелизма с применением современной технологии параллельных вычислений на GPU CUDA [8]. Например, предварительная обработка исходных данных "оператором Собеля" с изменяемым размером ядра [9]. Размер ядра фильтра может быть изменен в любое время с помощью специальной панели в интерфейсе. Следует отметить, что ввод модулей с поддержкой CUDA не потребовал изменений архитектуры программной системы, что является следствием заложенного в архитектуру принципа универсальности при подключении новых и замене имеющихся модулей.

Поскольку физические поля заданы в узлах регулярных 3D-решеток, операции над ними

носят сеточный характер, что удобно для организации параллельных вычислений. Анализ показал, что этапы обработки синоптических данных в зависимости от их трудоемкости и подверженности распараллеливанию могут быть распределены между центральным процессором (CPU) и графическим ускорителем (GPU) следующим образом (рис. 4). Этап загрузки, выполнения данных и вычисления аномалий выполняется на CPU в многопоточном режиме, интерполяция и вычисление дополнительных параметров — на CUDA-ядре GPU. Подготовка данных к визуализации распределяется между CPU и GPU. Визуализация эффективно осуществляется средствами шейдер-технологии.

К дополнительным параметрам, которые вычисляются на регулярной сетке, относятся давление насыщенного водяного пара, относительная влажность, абсолютная влажность, массовая доля водяного пара, связь парциального давления и точки росы, массовая доля водяного пара.

Поскольку в каждой ячейке сетки рассчитывается несколько параметров (температура, влажность, давление и др.), все вычисления в ячейке можно разделить на независимые нити. Скорость вычислений на CUDA в данном случае будет сильно зависеть от эффективности использования операций чтения/записи в глобальную память GPU, так как это одна из самых затратных операций. Важной особенностью GPU является возможность объединения нескольких обращений к глобальной памяти в одну операцию над блоком (транзакцию). Для этого нужно обеспечить выполнение четырех условий:

- 1) нити должны обращаться к 32-битовым словам, давая при этом в результате один 64-байтовый блок;
- 2) общий блок обязательно должен быть выровнен в памяти;
- 3) все 16 слов должны лежать в пределах данного блока;
- 4) нити должны обращаться к словам последовательно, т. е. k -я нить должна обращаться к k -му слову.

Словом в нашем случае является 32-битовое число с плавающей запятой. Условие 2 выполняется еще при загрузке данных в GPU. Сетка блоков для CUDA-ядра формируется таким обра-

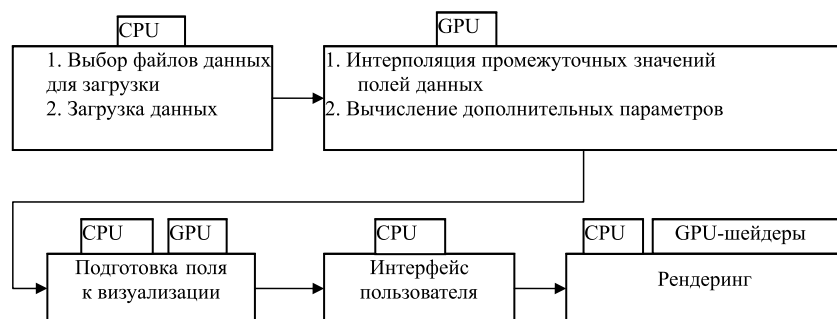


Рис. 4. Распределение вычислений между CPU и GPU

зом, чтобы обработке подверглись все данные 3D-сетки. А сетка нитей в блоке имеет размерность (16, X). Организация блока, кратного 16 потокам, обеспечивает выполнение условий 1 и 3. Значение X выбирается таким образом, чтобы максимально эффективно использовать регистры мультипроцессора при вычислении конкретных параметров, так как каждый параметр имеет свою формулу и, таким образом, свою сложность. Последнее условие также обеспечивается тем, что последовательно расположенные нити могут обрабатывать последовательные ячейки сетки. Эксперименты показали, что указанное распределение вычислительной нагрузки между CPU и GPU носит оптимальный характер.

Эффективность работы системы

Для оценки эффективности системы были проведены эксперименты по визуализации как для реальных, так и для модельных данных. При этом удовлетворено одно из требований к системе относительно возможности ее эксплуатации не только на многопроцессорной вычислительной системе, но и на персональных ЭВМ с обычным аппаратным обеспечением. Конфигурация компьютера, на котором проводили тесты: AMD Phenom II x4 965 3800+, 4 GBytes memory, video — GeForce Gtx 460 1024 MBytes.

Работа системы визуального анализа синоптических объектов для реальных данных может быть проиллюстрирована на примере моделирования динамики развития тропического циклона. Тропический циклон, в рамках задачи визуализации, можно определить как возмущение в атмосфере, в синоптике называемое аномалией — отклонением от нормы. Нормой считается среднестатистическая температура в районе. Процесс моделирования и визуализации динамики развития циклона имеет свои специфические особенности получения и обработки синоптических данных:

— использование темпоральной и пространственной интерполяции в целях преодоления сложности выбора из множества спутниковых данных тех, которые относятся к одному конкретному циклону за период от его зарождения до распада;

— необходимость сложной предварительной обработки синоптических данных, включающей такие этапы, как получение и фильтра-

ция данных от спутника, получение объемных данных, пространственное восполнение, регуляризация, расчет аномалий, вычисление дополнительных параметров (точка росы, относительная влажность).

Для визуализации циклонов используют данные спутниковых измерений пространственных физических полей в атмосфере (температуру, давление, влажность) в районах прохождения циклона. Для того чтобы отследить динамику развития циклона необходимо, чтобы движущийся циклон находился в зоне видимости спутников от момента его зарождения до момента его распада с учетом движения циклона. После первичной обработки спутниковые данные представляются в виде профилей (регулярная решетка) по уровням высоты над землей.

При работе с данными возникают две трудности. Первая трудность традиционная — отсутствие значений в некоторых точках и наличие ошибочных измерений. Вторая трудность связана с тем, что орбитальные спутники не способны обеспечить требуемую непрерывную "видимость" циклона, поскольку спутники движутся по фиксированным орбитам, а траектория движения циклона непредсказуема. Поэтому необходимо использовать совокупные измерения двух и более спутников, например спутников NOAA 15, 16, 18, 19. Однако два соседних спутниковых измерения, как правило, разделены не только во времени, но и могут относиться к различным регионам. Временные интервалы между измерениями могут изменяться от 30 мин до 12 ч. Если предположить, что циклон за такие интервалы времени меняется незначительно, то можно применить приемы пространственно-темпорального восполнения данных. Эксперимент показал, что в данном случае можно ограничиться простыми методами — восполнение по ближайшему "соседу" и линейная интерполяция. При этом применялись два способа совместного использования данных: а) объединение измерений; б) пересечение измерений. Каждый из них имеет свои очевидные преимущества и недостатки.

Для наглядного представления циклона в динамике предлагается использовать предварительно вычисленные карты температурных аномалий тропического циклона. Под аномалией понимается отклонение от среднего значения [10]. Анализ аномалий в пространстве и времени позволяет метеорологам судить о физике процесса. Если известно, что профили в

данном районе содержат циклон и положение центра циклона также известно, то на каждом уровне высоты можно построить среднее значение параметра (нормальное состояние). Для вычисления среднего берут значения из области периферии циклона, так как известно, что на периферии циклона состояние параметров близко к нормальному. Формально на каждом уровне высоты для вычисления среднего используют данные внутри кольца с внутренним радиусом 250 км от центра, и внешним радиусом 500 км, за пределами которого могут происходить процессы, уже не относящиеся к исследуемому циклону. Среднее значение температуры рассчитывается внутри кольца, центр которого совпадает с центром циклона. Аномалию на уровне вычисляют как разность измеренного и среднего значений. Затем для каждого уровня строят одномерную функцию зависимости значения аномалии от расстояния до центра циклона. Таким образом, получают распределение аномалий по высоте и удаленности от центра циклона.

При визуализации аномалий четко выделяется область, которая является ядром циклона. В ядре циклона сконцентрированы максимальные аномалии. Для визуализации ядра циклона используется пространственная регулярная решетка, центр которой помещается в центр циклона. Каждая ячейка решетки заполняется значением из карты аномалий в зависимости от удаленности от центра циклона. Размер решетки определяет компромисс между качеством визуализации и трудоемкостью вычислений. В приведенном ниже примере оптимальным выбором была решетка $64 \times 64 \times 64$.

Работа системы проиллюстрирована на примере визуализации реальных данных тропического циклона Melor со временем жизни с 29.09.2009 по 10.10.2009. Профили циклона получены по данным AMSU спутников NOAA 15, 16, 18, 19. Траектория циклона взята из базы данных KITAMOTO Asanobu @ National Institute of Informatics. Для визуализации температурных аномалий ядра циклона применена палитра цветов CLUT.

На рис. 5 (см. вторую сторону обложки) приведен пример визуализации реальных данных поля распределения температуры в циклоне с помощью алгоритма объемного шейдерного рендеринга. Можно наблюдать центр циклона и зону максимальных аномалий (отклонение от нормального значения), так назы-

ваемое "ядро". Среднее значение температуры рассчитывается внутри кольца, центр которого совпадает с центром циклона.

Для оценки эффективности системы также были использованы модельные данные динамики распределения влажности, температуры и давления прогнозной модели WRF, представленные скалярными и векторными полями, соответствующими временному периоду с 25.04.2012 по 29.04.2012, в одном из районов Приморского края.

На рис. 6, 7 (см. вторую сторону обложки) приведены примеры визуализации данных модели WRF.

Оценивая полученные на этапе тестирования результаты с точки зрения конечного пользователя, можно отметить, что система позволяет визуально обнаруживать важнейшие пространственно-временные характеристики атмосферы. На данном этапе система способна визуализировать изотемпературные поверхности атмосферы. Результаты визуализации могут быть использованы для интерактивного анализа атмосферных/океанических аномалий, определения их сущности, происхождения, положения и времени жизни.

Заключение

В работе представлена действующая версия системы визуализации пространственных данных статических и динамических скалярных и векторных полей. Тестирование системы на реальных и модельных данных показало ее практическую эффективность. Реализован современный эргономичный интерфейс, обеспечивающий эффективность и удобство в работе исследователя.

Реализованные возможности многопроцессорной обработки прикладных данных по технологии CUDA и рендеринга на шейдерах обеспечили приемлемую скорость обработки больших объемов спутниковых данных и режим анимационной визуализации.

Система ориентирована на применение в задачах исследования динамики атмосферы и океана в качестве инструмента автоматизации научных исследований. Структура системы предусматривает развитие алгоритмической базы статической и анимационной визуализации, расширение типов используемых данных, повышение производительности вычислений.

В настоящее время система используется в центре спутникового мониторинга ДВО РАН для визуального контроля результатов первичной обработки оперативных спутниковых измерений и для исследования тропических циклонов на ретроспективных данных.

Работа поддержана программой Президиума РАН № I.33П "Фундаментальные проблемы математического моделирования"

Список литературы

1. Green B., Henze C., Shen B.-W. Development of a scalable concurrent visualization approach for high temporal- and spatial-resolution models // AGU 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, June 22–25, 2010.
2. Shen B.-W., Bryan G., Tao W.-K., Henze C., Cheung S., Li J.-L. F., Mehrotra P. Coupling NASA Advanced Multi-Scale Modeling and Concurrent Visualization Systems for Improving Predictions of Tropical High-Impact Weather (CAMVis) // Earth Science Technology Forum (ESTF) 2010. Arlington, Virginia, June 22–24. 2010.
3. Wang Shao Rong, Rui You, Sheng Li, Yi Song Chen, Guo Ping Wang. Realtime Visualization of Hurricane in Distributed

Environment // Applied Mechanics and Materials (Vol. 40–41), Volume: Advances in Science and Engineering. 2010. P. 948–954.

4. Melman S. V., Bobkov V. A., May V. P. The system for visualization of synoptic objects // Proceedings 21 International Conference on Computer Graphics and Vision. GraphiCon 2011, September 26–30, 2011. Lomonosov Moscow State University. P. 103–106.

5. Бобков В. А., Мельман С. В., Май В. П. Визуализация динамики циклонов // Информационные технологии. 2012. № 2. С. 49–54.

6. Lorensen W. E., Cline H. E. Marching Cubes: a high resolution 3D surface reconstruction algorithm // SIGGRAPH 87, Conference Proceedings. 1987. P. 163–169.

7. Rossler F., Botchen R. P., Ertl T. Dynamic Shader Generation for GPU-Based Multi-Volume Ray Casting // Computer Graphics and Applications, IEEE. Sept.-Oct. 2008. Vol. 28, Is. 5. P. 66–77.

8. Lourenco L. H. A., Weingaertner D., Todt E. Efficient implementation of Canny Edge Detection Filter for ITK using CUDA // Proc. 13th Symp. Comput. Syst. Petropolis. Brazil. 17–19 Oct 2012. IEEE, 2012. P. 33–40.

9. Gupta S., Mazumdar S. G. Sobel Edge Detection Algorithm // International Journal of Computer Science and Management Research. 2013. Vol. 2, Is. 2. P. 1578–1583.

10. Kidder S. Q., Goldberg M. D., Zehr R. M., DeMaria M., Purdom J. F. W., Velden C. S., Grody N. C., Kusselson S. J. Satellite analysis of tropical cyclones using the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) // Bulletin of the American Meteorological Society. 2000. No. 81. P. 1241–1259.

V. P. May, PhD, Leading Researcher, e-mail: may@iacp.dvo.ru,
Institute of Automation and Control Processes of the Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok

The Volume Visualization System of Synoptic Objects

The volume visualization (volume rendering) is an important instrument in the problems of investigating dynamic of the synoptic objects of atmosphere and ocean. There is a strong demand to perfect the methods/algorithms of rendering in connection with a necessity of quick processing of large data volumes and gain in requirements on the speed and efficiency of 3D data rendering lightening the spatial perception of the synoptic objects. The well-known universally public program systems in this field have a number of disadvantages, particularly: deficient level of interface interactivity and informational content of visualization, and also there is the limited set of the supported data formats and visualization methods.

The advanced implementation of interactive program system of visualization and analysis of synoptic data intended for automation of atmosphere and ocean dynamic investigation is presented in the given work. The new architecture and functionality of the system are described. The program structure of the developed rendering system is given. The methods of rendering of the physical fields of synoptic objects are realized. To increase the calculating capacity of the processed and rendered data we used shader and CUDA technologies of the multiprocessor processing on a basis of graphic processors.

In the new version we realized: the extended functional possibilities for data running; higher performance of data processing at the sacrifice of GPU-parallelism that allows us to do away with binding to the stationary computing equipment; advanced modular structure providing not labor-consuming extension of an algorithmic base without restrictions; modern ergonomic interface providing efficiency and convenience in the researcher operating. The system was tested with the help of model and real data, and it showed the practical efficiency.

Keywords: *visual analysis tool, volume visualization, synoptic objects, scalar fields, interactive interface, shaders, CUDA, tropical cyclone, anomaly*

DOI: 10.17587/it.24.671-680

References

1. **Green B., Henze C., Shen B.-W.** Development of a scalable concurrent visualization approach for high temporal- and spatial-resolution models, *AGU 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, June 22–25, 2010*.
2. **Shen B.-W., Bryan G., Tao W.-K., Henze C., Cheung S., Li J.-L. F., Mehrotra P.** Coupling NASA Advanced Multi-Scale Modeling and Concurrent Visualization Systems for Improving Predictions of Tropical High-Impact Weather (CAMVis), *Earth Science Technology Forum (ESTF) 2010. Arlington, Virginia, June 22–24, 2010*.
3. **Wang Shao Rong, Rui You, Sheng Li, Yi Song Chen, Guo Ping Wang.** Realtime Visualization of Hurricane in Distributed Environment, *Applied Mechanics and Materials (vol. 40–41), Volume: Advances in Science and Engineering*, 2010, pp. 948–954.
4. **Melman S. V., Bobkov V. A., May V. P.** The system for visualization of synoptic objects, *Conference Proceedings. 21 International Conference on Computer Graphics and Vision. GraphiCon 2011, September 26–30, 2011. Lomonosov Moscow State University*, pp. 103–106.
5. **Bobkov V. A., Melman S. V., May V. P.** Vizualizatsiya dinamiki zyclonov (The visualization dynamic of cyclone), *Informatsionnye tekhnologii*, 2012, no. 2, pp. 49–54 (in Russian).
6. **Lorensen W. E., Cline H. E.** Marching Cubes: a high resolution 3D surface reconstruction algorithm, *SIGGRAPH 87, Conference Proceedings*, 1987, pp. 163–169.
7. **Rossler F., Botchen R. P., Ertl T.** Dynamic Shader Generation for GPU-Based Multi-Volume Ray Casting, *Computer Graphics and Applications, IEEE*, sept.-oct., 2008, vol. 28, iss. 5. pp. 66–77.
8. **Lourenco L. H. A., Weingaertner D., Todt E.** Efficient implementation of Canny Edge Detection Filter for ITK using CUDA, *Proc. 13th Symp. Comput. Syst. Petropolis, Brazil*. 17–20 oct., 2012, IEEE, 2012, pp. 33–40.
9. **Gupta S., Mazumdar S. G.** Sobel Edge Detection Algorithm, *International Journal of Computer Science and Management Research*, 2013, vol. 2, iss. 2, pp. 1578–1583.
10. **Kidder S. Q., Goldberg M. D., Zehr R. M., DeMaria M., Purdom J. F. W., Velden C. S., Grody N. C. and Kusselson S. J.** Satellite analysis of tropical cyclones using the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU), *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2000, no. 81, pp. 1241–1259.

ГЛАВНОЕ СОБЫТИЕ В ОБЛАСТИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ, ТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ

МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

Москва, 15-17 мая 2019 года
ВДНХ, Павильон №75

ОРГАНИЗАТОРЫ:

 **МИНПРОМТОРГ
РОССИИ**

 **РОССТАНДАРТ**

ВЫСТАВОЧНЫЕ РАЗДЕЛЫ

 **METROEXPO**
МЕТРОЛОГИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ

 **CONTROL&DIAGNOSTIC**
КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

 **LABTEST**
ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

 **PROMAUTOMATIC**
ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

 **RESMETERING**
УЧЁТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

 **WEIGHT SALON**
ВЕСОВОЙ САЛОН



ЦИФРЫ И ФАКТЫ 2018 года:

Участники – 296 компаний из 24 стран мира

Посетители – 5046 специалистов из 63 регионов России

Площадь экспозиции – 6870 м²

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

Тел./Факс: +7 (495) 937-40-23

E-mail: metrol@expoprom.ru

Спешите забронировать стенд www.metrol.expoprom.ru