

СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ СИНОПТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ¹

С.В. Мельман, В.А. Бобков
Институт автоматики и процессов управления
Владивосток, Россия
gruzd@dvo.ru

Аннотация

Представлена система визуализации объемов применительно к физическим полям синоптических объектов. Описаны реализованные в системе алгоритмы визуализации скалярных и векторных 3D-полей. Приведены примеры работы системы на модельных и реальных данных.

Ключевые слова: визуализация объемов, скалярные поля, векторные поля, синоптические объекты.

1. ВВЕДЕНИЕ

Программно-алгоритмические средства визуализации объемов являются важным инструментом в задачах исследования динамики атмосферы и океана, связанных с обработкой больших объемов пространственных данных и компьютерным моделированием. Разработка таких средств ведется давно но, несмотря на большой спектр реализуемых на сегодня возможностей [1-6], потребность в совершенствовании методов/алгоритмов визуализации сохраняет свою актуальность, поскольку растут объемы обрабатываемых данных и повышаются требования к скорости и эффективности визуализации.

Необходимость в разработке специализированных средств 3D графики в настоящей работе определяется следующей спецификой требований со стороны решаемого спектра атмосферно-океанологических задач: комбинированная визуализация рассматриваемых физических полей скалярного и векторного типа; многоплановая анимация – движение камеры в сцене, динамика скалярного поля, анимация векторного поля и их комбинации; необходимость в наращиваемом наборе различных методов/алгоритмов визуализации и интерактивности; повышение скорости обработки больших объемов данных за счет применения аппаратных графических возможностей и параллелизма.

Описываемая в настоящей работе графическая система ориентирована на круг прикладных задач, решаемых в центре приема и обработки спутниковой информации в ИАПУ ДВО РАН. Она предназначена для наглядной визуализации больших объемов пространственных данных, получаемых с искусственных спутников Земли и метеорологических станций в целях изучения синоптических объектов (течения, вихри, циклоны и др.), построения математических моделей [7] и прогноза их динамики. В конечном счете, визуальный анализ и интерпретация получаемых данных расширяет возможности метеорологов при изучении погодных явлений и способствует повышению качества прогнозов погоды. Наряду с визуализацией данных в системе решаются и задачи

уточнения, восполнения и регуляризации метеорологических и спутниковых данных.

2. СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Структура системы представлена на рис. 1. Основу ее составляет универсальная программная оболочка, посредством функций которой пользователь управляет загрузкой данных, выбором методов визуализации и инструментов для проведения визуального анализа данных. В настоящей версии это методы визуализации статических и динамических скалярных и векторных полей.

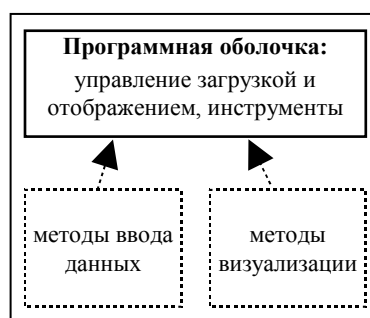


Рис. 1 Структура программной оболочки

представляется пользователю в виде анимационного фильма со шкалой времени, перемоткой вперед/назад, паузой и т.д.

Возможности свободного наращивания и модификации методов визуализации и методов работы с различными форматами данных реализованы поддержкой сменных модулей – плагинов (plug-in). В настоящей версии программы реализована поддержка двух типов подключаемых модулей: модули загрузки данных и модули визуализации. При этом обеспечивается одновременная визуализация нескольких видов данных (температура, влажность, давление, ветер) с одновременным применением нескольких методов визуализации для одного набора данных.

В текущей версии проекта реализованы три алгоритма визуализации, применяемые для скалярных данных, и ранее разработанный авторами алгоритм визуализации векторных полей [15]. Предполагается развитие алгоритмической базы за счет разработки новых и включения известных алгоритмов.

Используются 3 вида данных:

- скалярные поля (поля температур, влажности);
- векторные поля (движение воздушных масс);

Загрузка, интерпретация, интерполяция, аппроксимация или другие действия выполняются в конкретный момент времени скрыт от пользователя. Процесс визуализации динамических полей в конечном результате

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН и Программы фундаментальных исследований РАН № 14, раздел II.

- информация для повышения наглядности при визуализации данных (топографические данные по планете, графические полигональные объекты и др.).

Каждый модуль загрузки работает только с определенной группой данных, с определенным типом и только от определенного источника данных. Результатом работы модуля загрузки является не только загрузка, но и интерпретация данных и приведение их к формату принятому в приложении.

Для загрузки реальных полей температуры и влажности воздуха, создаваемых Японским Метеорологическим Агентством по данным радиометров HISR/AMSU спутников POES NOAA была реализована динамическая загрузка данных, когда пользователь с помощью шкалы времени может выбрать серию для визуализации. Поскольку данные являются разреженными и нерегулярными применяются методы их восполнения (в пространстве и во времени).

Для повышения скорости обработки данных предусмотрена предварительная обработка с параллельными вычислениями на МВС-1000 и визуализация с использованием аппаратного рендеринга, включая и применение технологии "шейдеров".

2.1 Функциональные возможности: визуальный анализ данных.

Создаваемая система может использоваться для визуализации различных пространственных статических и динамических полей скалярного и векторного типа. Вместе с тем она, прежде всего, ориентирована на применение в исследованиях синоптических объектов в задачах динамики атмосферы и океана. Основной прикладной функциональной направленностью при этом является:

- визуальное обнаружение важнейших пространственно-временных характеристик атмосферы, в частности влажности (интегральной и на различных уровнях), положение тропопаузы;
- визуализация изотемпературных поверхностей атмосферы;
- интерактивный анализ атмосферно/океанических аномалий, определение их сущности, происхождения, положения и времени жизни.

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

- темпоральные и пространственные срезы;
- гибкое управление интерфейсом;
- интерактивное управление модулями загрузки и визуализации;
- интерактивная обработка 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.

3. АЛГОРИТМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОБЪЕМОВ

В настоящей версии системы реализованы четыре алгоритма анимационной визуализации объемов, применяемые для скалярных данных:

1. Метод объемной текстурной визуализации (ТВ);
2. Метод объемной многочастичной визуализации (МВ);
3. Метод визуализации изоповерхностей (ВИ);
4. Для анимации векторных полей применяется ранее разработанный авторами метод многочастичной анимации (МЧА) [15].

3.1 Объемная текстурная визуализация

Метод объемной визуализации базируется на использовании библиотеки OpenGL и аппаратно поддерживаемых 3D-текстур. Для подготовки этапа рендеринга в рассматриваемом объеме строится семейство секущих плоскостей, параллельных плоскости экрана. Поле скалярных данных по предопределенной 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-текстурой. При визуализации данных можно оперировать параметрами "цвет" и "прозрачность", "освещенность". Вычислительные затраты метода сводятся к вычислению трехмерных текстурных координат, которые присваиваются вершинам примитивов, являющихся приближением секущих плоскостей. Для этого над текстурными координатами проводятся матричные преобразования:

$M = M_T^{-1} \cdot M_V^{-1} \cdot M_T \cdot M_s$, где: M_V – текущая видовая матрица;

M_T – матрица прямого сдвига центра координат;

M_s – матрица масштабирования.

За счет использования прозрачности, реализованный в 3D ускорителях, все, не относящиеся к исследуемому объему пиксели, остаются невидимыми, в результате на экране формируется реалистичное изображение.

3.2 Метод многочастичной визуализации

Входными данными для работы алгоритма является задание скалярного поля в рассматриваемом объеме. Идея алгоритма 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 параметры: цвет частиц, освещенность, вероятность появления. Реализуется анимационная визуализация, при которой происходит постоянная смена положений частиц (мельтешение) – в результате, наблюдатель по характеру распределения частиц на последовательности кадров может судить о структуре скалярного поля. При реализации предложенного метода использовался закон распределения, рассчитывающий вероятность появления частицы в объеме:

$A = F(s)$, где A – вероятность появления частицы в объеме; F – функция зависимости; s – значение скаляра.

Функцию F задает пользователь. Как вариант предлагается $F = s^n$, где n задает пользователь. Так же как и функцию вероятности, пользователь выбирает функцию раскраски частиц в зависимости от значений скалярного поля. Например:

$R = s$; $G = 1 - s$; $B = s$; где R, G, B – компоненты цвета, s – значения скаляра приведенного к интервалу $[0, 1]$ в данной точке пространства (рис 4, 6, 7).

Для достижения наилучшего визуального эффекта пользователь может выбирать количество частиц и их размер.

3.3 Визуализация изоповерхностей

Для конвертирования воксельного представления изоповерхностей в полигональное был реализован метод «марширующих кубиков» [14], что обеспечило аппаратную поддержку визуализации изоповерхностей скалярных полей.

3.4. Анимация векторных полей

Имитация движения среды обеспечивается анимационной визуализацией множества «маркеров», перемещающихся согласно модели динамики векторного поля. Алгоритм оперирует специально разработанной моделью маркера, являющейся объемной многозвенной структурой, у которой прозрачность звеньев устанавливается в зависимости от номера звена и удаленности от наблюдателя. Цветовая закрашка звеньев определяется скоростью движения маркера. Законы распределения точек рождения и гибели маркеров установлены с учетом оптимального распределения маркеров в рассматриваемом объеме, обеспечивающим наглядность структуры движения. Детальное описание см. в [15].

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для оценки эффективности текущей версии системы были проведены эксперименты по визуализации как модельных, так и реальных данных. Для получения модельных данных была построена эмпирическая модель циклона на основании известных общих закономерностей динамики отдельных параметров и анализа данных о циклонах района Японского моря. Использовались динамические модельные данные развития аномалий в циклоне: скалярные поля – влажность, температура, давление; векторные – ветер. Иллюстрации к работе системы приведены на рис. 2–7.

Рис. 2 демонстрирует пользовательский интерфейс системы, диалоги и окно визуализации. Визуализация и анимация происходят в отдельном окне. Конфигурация компьютера, на котором производились тесты: AMD Athlon 3200+, 1Gb memory, video – Ge Force 6600 512 Mb. В зависимости от ракурса, набора данных и методов визуализации скорость смены кадров варьировалась от 1 до 100 кадров в секунду.

На рис. 3 приведен пример статической визуализации (алгоритм объемного текстурного рендеринга) аномалий температуры в циклоне. Аномалией считается отклонение от нормального значения. Таким образом, можно наблюдать центр циклона и зону максимальных аномалий, так называемое "ядро".

На рис. 4-7 демонстрируются кадры анимационной визуализации.

На рис. 4 показаны аномалии влажности на данных модели циклона. Используется многочастичный алгоритм объемной визуализации. Наблюдается скопление влаги на высоте около 2000 метров.

На рис. 5 визуализируются модельные данные циклона: аномалии давления и ветер в циклоне. Визуализация осуществляется алгоритмом объемного текстурного

рендеринга (поле давления) в сочетании с алгоритмом многочастичной анимации векторного поля (ветер). На рис. 6 дополнительно показано скалярное поле влажности, которое визуализируется многочастичным алгоритмом.

На рис. 7 приведен пример визуализации реальных данных пространственного поля температуры. Визуализация обеспечивается одновременной работой трех алгоритмов: объемного текстурного рендеринга, многочастичного алгоритма и визуализации изоповерхностей. В качестве источника реальных данных использовались пространственные поля температуры/влажности воздуха, создаваемые Японским Метеорологическим Агентством по данным радиометров HISR/AMSU спутников POES NOAA. Были взяты данные, полученные в период с 1 по 31 августа 2000 года в районе Японского моря:

- координаты (16.0-41.0) северной широты (126.3-164.3) восточной долготы;
- высота от 0 до 22000 метров над уровнем моря;
- температура от -77.8° до 28.5° ;
- PRECIPITABLE WATER от 0.02 до 4.89 г/(см2).

Визуальный анализ в данном случае позволил обнаружить тропопаузу на высоте около 18000 метров над уровнем моря.

С точки зрения конечного пользователя результаты тестирования показали, что программа позволяет визуально обнаруживать важные пространственно-временные характеристики атмосферы, в частности влажность (интегральную и на различных уровнях), положение тропопаузы. В том числе, крайне полезной представляется возможность визуализации изотемпературных поверхностей атмосферы и возможность использования данного приложения для интерактивного анализа атмосферно/океанических аномалий, определения их сущности, происхождения, положения и времени жизни.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен действующий прототип системы визуализации пространственных данных статических и динамических скалярных и векторных полей. 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. В текущей версии реализованы: алгоритм многочастичной визуализации; алгоритм визуализации объема на базе применения 3D текстур; визуализация изоповерхностей с предварительной конвертацией воксельного представления в полигональное методом «марширующих кубиков»; алгоритм многочастичной анимации векторных полей. Тестирование системы на модельных и некоторых реальных данных показало ее практическую эффективность.

Дальнейшее развитие системы заключается в: дальнейшей апробации на реальных данных тропических циклонов и других синоптических объектов; расширении алгоритмической базы визуализации объемов; совершенствовании графического интерфейса и средств визуального анализа; поиске новых решений интегрированной визуализации скалярных и векторных

полей; повышении скорости обработки данных с применением параллельных вычислений.

6. REFERENCES

[1] Научная визуализация. Институт физико-технической информатики. 2005 г. // <http://www.icpt.su/?fl=341>

[2] Геофизический центр Российской академии наук. 2005г. // http://www.gcras.ru/hist_r.htm

[3] The Earth Simulator Center. 2006 // <http://www.es.jamstec.go.jp/esc/eng/>

[4] Аниканов А.А., Потий О.А. Проблемы и подходы к решению задачи визуализации данных о течениях в природных объектах // «Научная визуализация в прикладных задачах». Изд. МГУ. 2003. С. 20–22.

[5] The Scientific Visualization Group, Institute for System Programming of Russian Academy of Sciences. <http://www.ispras.ru/~3D/eng;> gallery: <http://www.ispras.ru/~3D/eng/problems/gallery.htm>.

[6] Центр «Фобос». Copyright © 1998-2006, ФОБОС. Все права защищены. <http://fobos.gismeteo.ru/>

[7] Щебенькова А. А. "Стримлеты (streamlets): возможный путь преодоления криволинейного эффекта Гиббса". XIV Международная конференция по вычислительной механике и современным прикладным программным системам с.203-204. г Алушта, Россия, 2005.

[8] Система объемной визуализации реального времени на базе стандартного графического акселератора. М. Ю.Шевцов, Долговесов Б.С. Институт Автоматики и Электротехники Новосибирский Государственный Университет //GraphiCon'2005, pages 401-405.

[9] Belotserkovskii O.M., Chechetkin V.M., Oparin A.M. Visualization of hydrodynamic calculations – Межд. конф. по компьютерной графике и машинному зрению – Графикон-2003, секц. «Научная визуализация в прикладных задачах», Москва, 2003.

[10] C. Montani, R. Scateni, and R. Scopigno. A modified look-up table for implicit disambiguation of marching cubes. Visual Computer, 10(6): 353–355, 1994.

[11] Р. Ягель. Рендеринг объемов в реальном времени //Открытые системы, #05, 1996.

[12] Drebin, R.A., Carpenter, L., and Hanrahan, P., Volume Rendering //Computer Graphics, 22(4):65-74, August 1988.

[13] Шевцов М.Ю. Объемная визуализация научных данных на базе VolumePro 1000 //Труды конференции-конкурса «Технологии Microsoft в информатике и программировании». 2004г. стр. 68-70. Диплом первой степени.

[14] C. Montani, R. Scateni, and R. Scopigno. A modified look-up table for implicit disambiguation of marching cubes. Visual Computer, 10(6): 353–355, 1994.

[15] Мельман С.В., Гриняк Т.М. "Анимация трехмерных стационарных векторных полей" //Электронный журнал "Исследовано в России", 202, стр 2149-2155, 2004 г. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/202.pdf>

Об авторах

Мельман Сергей Владимирович – инженер-программист лаборатории машинной графики Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН. Адрес: г. Владивосток, 690090, ул. Радио,5, ИАПУ. Телефон: (4232)313776
E-mail: gruzd@dvo.ru

Бобков Валерий Александрович - д.т.н., зав. лабораторией машинной графики Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН. Адрес: г. Владивосток, 690090, ул. Радио,5, ИАПУ. Телефон: (4232)313776
E-mail: bobkov@iacp.dvo.ru

The visualization system of spatial fields of synoptic objects.

Abstract

The visualization system of spatial fields of synoptic objects is presented. Algorithms of scalar and vector fields' visualization are described. Results are shown for synthetic and real data.

Keywords: Volume rendering, scalar and vector fields, synoptic objects.

About the author(s)

Sergey Melman is an engineer-programmer at IACP. His contact email is: gruzd@dvo.ru

Valery Bobkov is a professor at Institute for Automation and Control Processes, Department of Computer Graphics. His contact email is: bobkov@iacp.dvo.ru

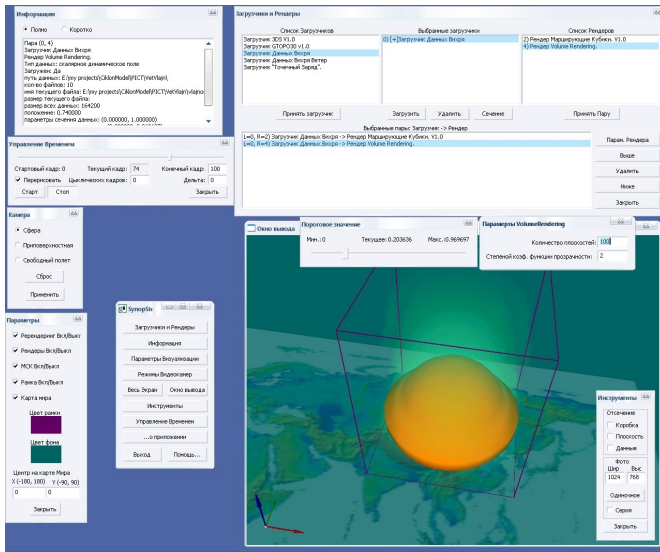


Рис. 2 Система визуализации. Диалоги и окна.



Рис. 3 Модельные данные циклона: аномалии температур в циклоне.

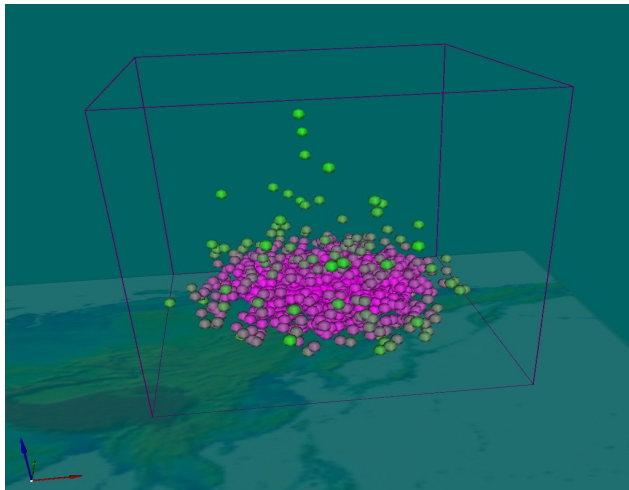


Рис. 4 Модельные данные циклона: аномалии влажности в циклоне.

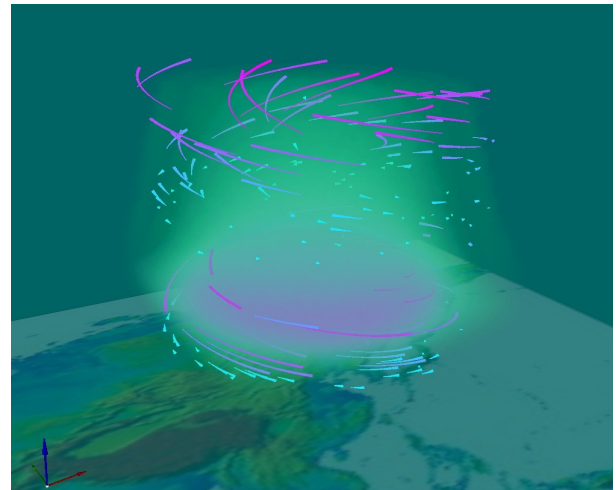


Рис. 5 Модельные данные циклона: аномалии давления и ветер в циклоне.

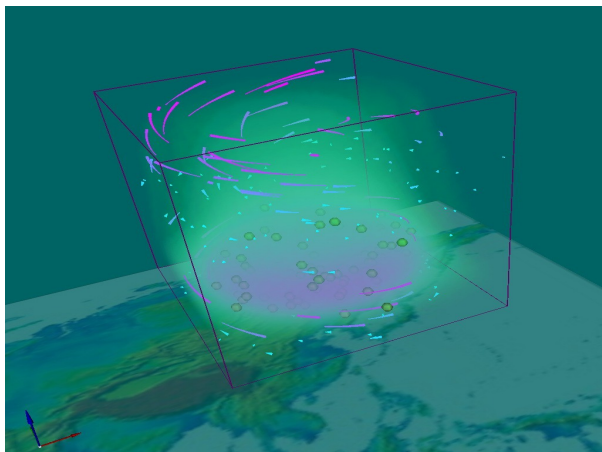


Рис. 6 Модельные данные циклона: аномалии давления, влажности и ветер в циклоне.

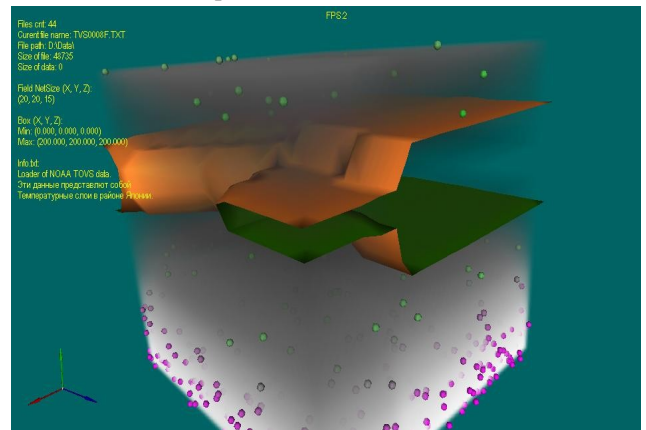


Рис. 7 Данные "TOVS": визуальное обнаружение тропопаузы.