

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

ГУСЯТИН В.М., СИДОРОВ В.Н.

Рассматриваются вопросы оптимизации описания газодинамических объектов. Предложенный подход позволяет существенно уменьшить время счета при синтезе изображений подобных объектов в системах визуализации реального времени для авиационных и космических тренажеров.

1. Актуальность и постановка задачи

При построении систем визуализации реального времени большое внимание уделяется уменьшению сложности описания объекта, а также времени его визуализации. При моделировании газодинамических объектов точность их описания зависит от линейных размеров расчетной сетки и кванта времени одной итерации [1,2]. Линейные размеры ячеек сетки должны быть такими, чтобы, с одной стороны, не исказить физическую природу моделируемого объекта, с другой – число ячеек расчетной сетки должно быть наименьшим, что связано с минимизацией затрат вычислительных ресурсов, а значит и времени визуализации объекта. Квант времени итерации необходимо выбирать наибольшим при условии, чтобы алгоритм не расходился. Поэтому очень важно выбрать оптимальные в указанном выше смысле линейные размеры ячеек расчетной сетки, описывающей газодинамический объект, и кванта времени одной итерации просчета алгоритма. Для этого применим условие устойчивости метода «крупных частиц».

Цель исследования – сформулировать практические рекомендации по рациональному выбору параметров модели описания газодинамических объектов, позволяющие снизить требования к производительности графических процессоров.

2. Критерий устойчивости

В работах [1-3] предложены различные способы вывода критерия устойчивости алгоритма расчета параметров газодинамических сред, который для трехмерного случая имеет следующий вид:

$$\Delta t * \left(\frac{1}{\Delta t_x} + \frac{1}{\Delta t_y} + \frac{1}{\Delta t_z} \right) \leq 1, \quad (1)$$

где $\Delta t_x = \frac{h_x}{c_0}$, $\Delta t_y = \frac{h_y}{c_0}$, $\Delta t_z = \frac{h_z}{c_0}$; Δt – квант времени одной итерации; h_x , h_y , h_z – линейные размеры ячейки координатной сетки по соответствующим

координатным осям; c_0 – равно скорости звука в данной среде (в случае, если скорость движения среды относительно осей координат больше, чем скорость звука, то c_0 равно этой скорости).

При выполнении расчетов на ЭВМ целесообразно пользоваться более строгой интерпретацией неравенства (1):

$$\Delta t \leq \frac{\min(h_x, h_y, h_z)}{3 * c_0}. \quad (2)$$

Особенно это касается случаев, в которых при построении расчетной сетки возникают дробные ячейки. Эти ячейки имеют место тогда, когда в объеме, ограничивающем газодинамическое поле, существуют поверхности, непроницаемые для газа (например, стенки сопла реактивного двигателя).

3. Выбор параметров кванта времени и линейных размеров ячейки

Для анализа устойчивости разработано прикладное программное обеспечение на языке программирования Delphi, реализующее алгоритм описания поведения газодинамических сред. На основе этого программного обеспечения проведено моделирование двух достаточно разных по природе явлений: “марево” перегретого воздуха и турбулентная струя реактивного двигателя [4-6].

Марево перегретого воздуха. При описании этого природного явления, для определенности, наименьший линейный размер ячейки счета был выбран 0,1 м (при моделировании использовалась прямоугольная координатная сетка).

В качестве начальных данных было принято равномерное распределение величин температуры и плотности в рамках моделируемого поля, которые равны 300 К и 1,293 кг/м³ соответственно. Проекция начальных скоростей по трем осям координатной сетки во всех ячейках поля равны нулю. При моделировании нижняя граница поля нагревалась, т.е. каждую итерацию ячейкам приграничного слоя сообщался случайным образом (равномерный закон распределения) определенный прирост температуры. Был проведен расчет определенного числа итераций, обеспечивающих выход газодинамической системы в установившийся режим. Параметры газодинамического поля были сохранены на жестком диске ПК в виде файла. В дальнейшем, с использованием этих данных, моделировалось поведение газодинамического поля в течение 0,01 с с различным квантом времени одной итерации. По истечению 0,01 с результаты моделирования сохранялись в отдельные файлы. За результаты, наиболее приближенные к аналитическим, приняты результаты, рассчитанные с квантом времени итерации 0,0000001 с. По отношению к этим результатам рассчитывалась абсолютная погрешность температуры, плотности, скорости вещества в каждой ячейке по осям координат. Затем определялась средняя абсолютная погрешность величины по всему полю. В

результате моделирования явления получены следующие экспериментальные данные (рис. 1).

Приведенные графики показывают изменение величины средней абсолютной погрешности газодинамического поля по температуре, плотности и скорости в зависимости от кванта времени одной итерации. В соответствии с неравенством (1) порог устойчивости этой системы находится около значения, равного 0,00025 с.

Однако, как видно из рис.1, при дискретизации, равной 0,00025 с и больше, виден устойчивый рост значения средней абсолютной погрешности температуры. Это говорит о том, что при такой дискретизации алгоритм уже расходится и поэтому счет неустойчивый. В соответствии с неравенством (2) порог устойчивости алгоритма находится при значении кванта времени одной итерации, равном 0,0001 с. Это значение хорошо согласуется с графиками, т.е. при таком значении алгоритм имеет устойчивый счет, и средняя абсолютная погрешность не растет.

На основании данных моделирования был проведен также расчет максимальной абсолютной погрешности для определенных выше квантов времени одной итерации. Из рис. 2 следует, что даже в отдельных ячейках координатной сетки физическая картина явления не искажается в процессе счета.

При моделировании также определялось, как влияют линейные размеры ячеек на точность проведенных вычислений. Проведено моделирование с линейными размерами ячеек, значения которых указаны на рис. 3.

Для рассмотрения был взят срез области газодинамического поля величиной 0,6 м по одной из осей координат. Полученные результаты приведены на рис. 3, из которого следует, что брать линейные размеры ячеек больше, чем 0,1 м, нецелесообразно, так как точность вычислений падает. С другой стороны, уменьшение линейных размеров ячейки лишь незначительно уточняет результаты, но существенно увеличивает время счета. Из результатов моделирования следует, что при соблюдении критерия устойчивости

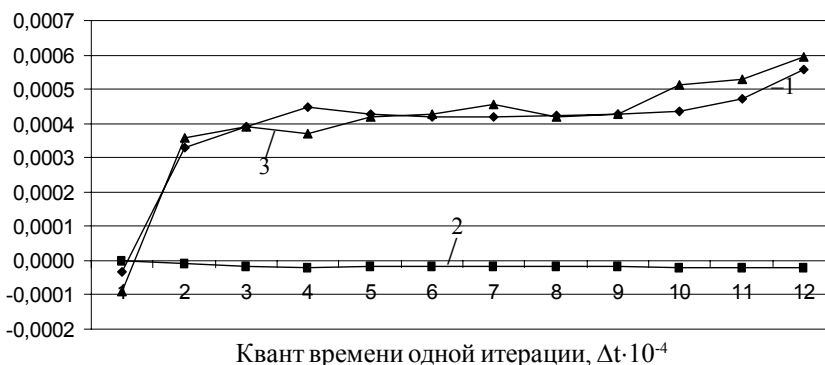


Рис. 1. Средняя абсолютная погрешность по температуре(1), скорости(2) и плотности(3)

алгоритма погрешность вычислений мала и алгоритм может быть использован для описания газодинамических объектов при проектировании систем визуализации.

Моделирование указанного выше процесса проводилось на ПК Athlon 64 2800+. При этом с учетом определенных выше оптимальных линейных параметров (0,1 м) и кванта времени одной итерации (0,0001 с) расчет одной итерации алгоритма в процессе моделирования занимал примерно 1,5 с. Для плавного восприятия анимации время синтеза изображения должно быть равно 30 мс. Таким образом, для сохранения правильности описания рассматриваемого газодинамического поля в процессе синтеза его изображения алгоритм моделирования должен быть просчитан 300 раз при условии, что одна итерация должна считаться за 0,0001 с. Учитывая нынешний уровень производительности, это сделать на ПК невозможно. Однако эта задача может быть решена с помощью

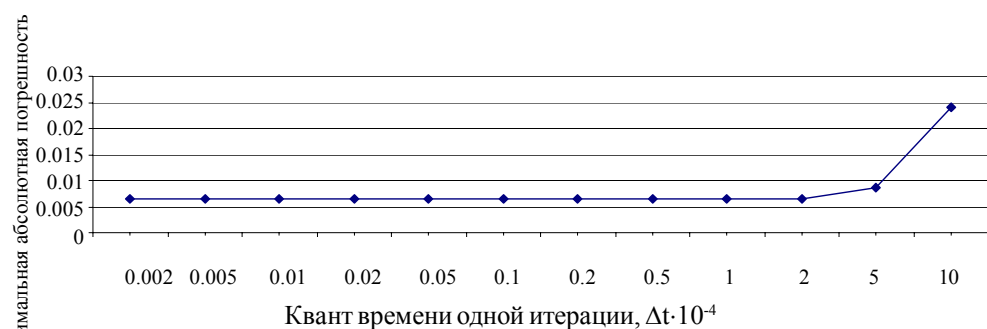


Рис. 2. Максимальная абсолютная погрешность по плотности

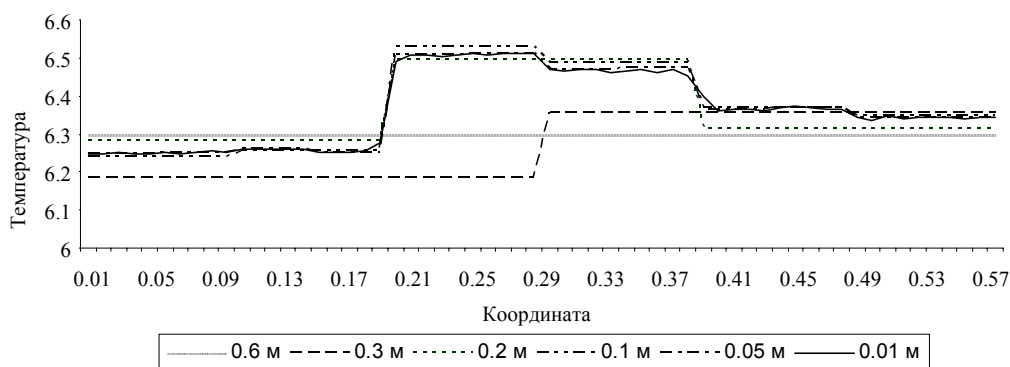


Рис. 3. Зависимость величины температуры в ячейке от линейных размеров

спецпроцессора, входящего в систему визуализации и построенного таким образом, что одна итерация алгоритма будет просчитываться за 0,0001 с.

Турбулентная струя реактивного двигателя. При моделировании использовалась цилиндрическая система координат, размеры ячеек в которой задаются как в линейных, так и в угловых величинах. Все размеры были сведены к линейным. В расчет принят наименьший средний линейный размер ячейки 0,015 м по угловой координате.

С учетом неравенства (1) было получено, что порог устойчивости алгоритма лежит в пределах кванта времени одной итерации, равного 0,000037 с. Однако математическое моделирование показало, что при этом значении кванта времени алгоритм расходится. Если же использовать соотношение (2), мы получаем порог устойчивости счета, равный 0,000015 с, что и подтвердилось в процессе математического моделирования.

4. Выводы

1. Выбран критерий устойчивости алгоритма моделирования газодинамической среды.
2. В результате моделирования получены графические зависимости, позволяющие выбрать максимально возможный квант времени итерации при заданном размере ячейки либо максимально возможные линейные размеры ячеек при фиксированном кванте времени при сохранении устойчивости алгоритма.
3. В процессе моделирования определены требования к производительности спецпроцессора (а именно, время просчета одной итерации), позволяющего выполнять моделирование газодинамических объектов в реальном масштабе времени.

УДК681.324

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЛВС СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

ЕЛИСЕЕВ В.В.

Рассматриваются вопросы выбора параметров локальной вычислительной сети (ЛВС) комплекса связи с объектом. На основе статистических моделей получены характеристики качества ЛВС при различных параметрах системы с учетом взаимосвязи вычислительных процессов. Приводится методика выбора номинальной пропускной способности ЛВС системы реального времени.

1. Введение

Информационно-вычислительная система (ИВС) и система внутриреакторного контроля (СВРК) энергоблока являются основными компонентами АСУ ТП энергоблока АЭС [1]. ИВС обеспечивает реализацию основных функций по представлению информации персоналу в оперативном контуре управления блочно-

Новизна предложенного подхода заключается в согласованном задании параметров расчетной сетки и кванта времени итерации на основе критерия устойчивости процесса моделирования в задачах синтеза изображений газодинамических объектов.

Практическая значимость – уменьшение требований к производительности графических процессоров при проектировании систем визуализации тренажеров транспортных средств.

Литература: 1. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я., Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. 401 с. 2. Белоцерковский О. М., Давыдов Ю. М. Метод крупных частиц в газовой динамике. М.: Наука, 1982. 500 с. 3. Белоцерковский О. М., Давыдов Ю. М., Метод «крупных частиц» для задач газовой динамики. Инф. бюл. СО АН СССР «Численные методы механики сплошной среды», 1970. Т.1. С. 27. 4. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1966. 870 с. 5. Физика аэродисперсных систем. Киев-Одесса: Головное издательство издательского объединения «Вища школа», 1989. Вып. 32. С. 15-20. 6. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. О детерминистском подходе к турбулентности: Пер. с франц. М.: Мир, 1991. 368 с.

Поступила в редколлегию 21.10.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Руденко О. Г.

Гусятин Владимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин ХНУРЭ. Научные интересы: теория и практика построения спецпроцессоров растровых графических систем реального времени. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-54.

Сидоров Владимир Николаевич, аспирант кафедры электронных вычислительных машин ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-54.

гошита управления, регистрации, документированию параметров и характеристик технологического процесса во всех режимах работы энергоблока. СВРК выполняет контроль технологических процессов в реакторной установке (РУ), информационную поддержку оператора для оптимизации протекания технологических процессов РУ, архивацию работы активной зоны РУ и состояния теплоносителя первого контура.

Подсистема нижнего уровня ИВС и СВРК реализована в виде комплексов связи с объектом (КСО). КСО представляет собой группу МСКУ, объединенных промышленной ЛВС шинной структурой типа МАПС [2]. МАПС относится к классу сетей с централизованным управлением доступом [3]. МСКУ - промышленный контроллер с многозадачной операционной системой реального времени. КСО, являющийся системой реального времени, выполняет обработку сигналов от датчиков и ведение общесистемной оперативной базы данных, распределенной по МСКУ. Связь КСО с подсистемой верхнего уровня реализована через шлюзо-