

С точки зрения процесса моделирования данный подход значительно повышает производительность имитационной системы. Поскольку большинство процессов модели в конкретный момент времени находится с состоянием ожидания, для каждого из них осуществляется минимальное количество проверок условий активизации — только для того ФД процесса, на котором он был приостановлен.

Процессный метод предполагает наличие сложных алгоритмов управления процессом моделирования (УПМ) [5], осуществляющих переключение процессов из активного состояния в неактивное и наоборот, обеспечивающих их квазипараллельное выполнение, разрешающих конфликты при совместном использовании параллельными процессами общих данных и т.д. Однако решение этих задач полностью возлагается на программу УПМ и не требует затрат времени со стороны пользователя.

В заключение следует отметить, что в статье рассмотрены лишь вопросы моделирования поведения ЭС. Моделирование же её структуры, способы представления самих объектов системы, построение алгоритмов УПМ и т. д. являются отдельными вопросами, которые, однако, нельзя оставить без внимания при построении процессно-ориентированной системы имитационного моделирования. Исследование перечисленных проблем и дальнейшее развитие приведенного процессного подхода позволит в будущем не только формализовать процесс

построения моделей, но и решать вопросы автоматического синтеза схем ЭС на основе их имитационных моделей.

Литература: 1. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978. 311 с. 2. Литвинов В.В. Математическое обеспечение проектирования вычислительных систем и сетей. М.: Техника, 1982. 176 с. 3. Аврамчук Е., Вавилов А., Емельянов С. Технология системного моделирования. М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. 520 с. 4. Анисимов А.В., Борейша Ю.Е. Проектирование сложных систем посредством параллельных взаимодействующих процессов в режиме имитационного моделирования. К.: ИК, 1983. 38 с. 5. Максимей И. Имитационное моделирование на ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988. 232 с.

Поступила в редколлегию 13.04.98

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Евдокимов А.Г.

Горбачев Валерий Александрович, канд. техн. наук, профессор кафедры ЭВМ ХТУРЭ. Научные интересы: теория моделирования. Адрес: 310135, Украина, Харьков, ул. Героев Труда, 133, кв. 33, тел. 66-53-61, 40-93-54.

Бабаев Андрей Павлович, аспирант, младший научный сотрудник кафедры ЭВМ ХТУРЭ. Научные интересы: теория систем, теория моделирования. Адрес: 310100, Украина, Харьков, ул. Танкопия, 24, кв. 136, тел. 97-97-39, 40-93-54.

Волк Максим Александрович, аспирант, младший научный сотрудник кафедры ЭВМ ХТУРЭ. Научные интересы: теория проектирования электронных систем, теория моделирования. Адрес: 310124, Украина, Харьков, пр. Гагарина, 175а, кв. 9, тел. 52-04-17, 40-93-54.

УДК 681.323

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В СПЕЦПРОЦЕССОРЕ РАСТРОВОЙ ГРАФИКИ

ГУСЯТИН В.М.

Предложено оценку точности геометрических преобразований в спецпроцессорах растровой графики характеризовать угловым разрешением. Получено аналитическое соотношение, которое позволяет связать параметры спецпроцессора с угловым разрешением. Варьируя эти параметры, можно решать задачу оптимизации системы в целом.

При проектировании спецпроцессоров (СП) растровой графики [1,2] для цифровых систем визуализации (СВ) актуальной является задача выбора параметра для оценки точности геометрических преобразований, а также получения соотношений, устанавливающих связь между этими параметрами, техническими характеристиками отображаемого экрана, СП и разрешающей способностью зрения человека, для которого в конечном итоге и выполняется синтез изображения.

1. Постановка задачи

В качестве основного ориентира, к которому следует стремиться при оценке требуемой точности геометрических преобразований проектируемой СВ,

выберем угловую разрешающую способность глаза человека [3]: $\gamma \approx 2^{-12} \dots 2^{-13}$ рад.

Синтезируемое изображение отображается на экране с растровой разверткой [1]. Введем параметр системы отображения ω , равный отношению размера пиксела экрана l к модулю вектора наблюдения $|\bar{V}_c|$, проведенного от центра проекции к центру экрана: $\omega = l/|\bar{V}_c|$ рад.

Вычисление точки пересечения проекционного луча с поверхностью объекта сцены [1] выполняется в соответствии с соотношением

$$\bar{r}_p = \bar{r}_h + \bar{V}_p \quad (1)$$

Слагаемое \bar{r}_h является константой для каждого вновь синтезируемого кадра изображения и вычисляется с высокой точностью на ПЭВМ [2]. Таким образом, вся погрешность вычислений сосредоточена в слагаемом \bar{V}_p . Вектор \bar{V}_p — геометрическая интерпретация проекционного луча в обратном методе трассирования, используемого для синтеза объектов в трехмерной графике [1]:

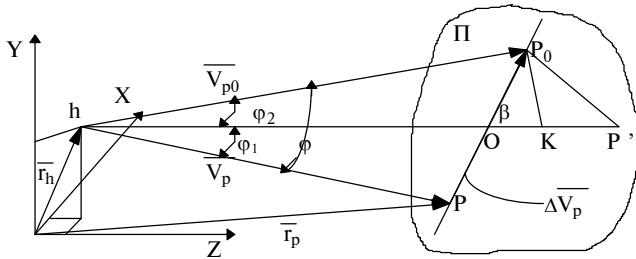
$$\bar{V}_p = \lambda \bar{V} \quad (2)$$

Координаты начала вектора \bar{V}_p вычисляются точно, так как являются координатами конца вектора \bar{r}_h . Ошибка накапливается при вычислении точки пересечения конца вектора \bar{V}_p с поверхностью объекта сцены и, следовательно,

$$\bar{V}_{p0} = \bar{V}_p + \Delta\bar{V}_p, \quad (3)$$

$\Delta\bar{V}_p$ – абсолютная погрешность вектора \bar{V}_p .

На рисунке приведено геометрическое построение, отражающее уравнение (1) и элементы ошибки вычисления точки $P(x,y,z)$ – пересечения проекционного луча \bar{V}_p с поверхностью Π объектов отображаемой сцены.



Геометрические элементы задачи

Накопление ошибки, как следует из (3) и рисунка, проявляется в возможном изменении модуля вектора \bar{V}_p и в появлении некоторой угловой погрешности между ошибочным направлением вектора \bar{V}_{p0} и направлением вектора \bar{V}_p на истинную точку P , соответствующую текущему пикселу.

В дальнейшем для оценки точности геометрических преобразований СП введем параметр φ – угловая погрешность (угловое разрешение):

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (4)$$

где φ_1 – угловая погрешность вычисления вектора \bar{V} ; φ_2 – угловая погрешность из-за ошибки в вычислениях λ .

Вычисления в СВ должны выполняться с такой точностью, чтобы угловая разность φ в направлениях на вычисленную с ошибкой точку P_0 поверхности и истинную точку P , соответствующую текущему пикселу, не превышала, с одной стороны, $0,5\omega$, а с другой – угловой разрешающей способности γ . Введем соотношение для предельного значения угловой погрешности:

$$v = \max(\gamma, \omega/2). \quad (5)$$

Тогда с учетом (4), (5) для всех элементов изображения должно выполняться условие

$$\varphi \leq v. \quad (6)$$

2. Мажорантные оценки угловой погрешности

Дальнейший анализ выполним на основе метода мажорантных оценок [4], который позволяет получить относительно простые соотношения для оценки точности и ответить на вопрос: «Хуже чего не может быть?». Это очень важно знать до создания СП, в процессе его проектирования.

Рассмотрим случай кусочно-плоскостной аппроксимации, как наиболее часто используемой.

С учетом мажорантного подхода составляющие угловой погрешности φ_1 и φ_2 показаны на рисун-

ке для наихудшего случая, как лежащие в одной плоскости, заданной треугольником векторов \bar{V}_p , \bar{V}_{p0} , $\Delta\bar{V}_p$. O – точка пересечения вектора \bar{V}_{p0} с поверхностью в случае отсутствия погрешности в вычислениях λ находится на линии вектора $\Delta\bar{V}_p$.

P' – мнимая точка пересечения с поверхностью вектора в результате погрешности в вычислении λ .

В зависимости от знака погрешности точка P' лежит либо перед поверхностью, либо за ней. Точка P_0 – пересечение вектора \bar{V}_{p0} с поверхностью, вычисляется в процессе нахождения координат текстуры, как проекция точки P' на плоскость Π .

Найдем φ_2 . Для этого из точки P_0 перпендикулярно к hP_0 проведем линию до пересечения с отрезком hP' в точке K . Тогда $\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{KP_0}{hP_0}$. Из

рисунка следует, что угол φ_2 зависит от ориентации плоскости по отношению к отрезку hP' . Так как по условию в $\Delta OP_0P'$ угол при вершине P_0 – прямой, то с изменением ориентации плоскости Π изменяется угол β , а точка P_0 перемещается по дуге окружности, опирающейся на диаметр OP' , и $(KP_0)_{\max} = 0,5OP'$. Для наименее удачной взаимной ориентации плоскости Π и \bar{V}_p имеем

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{0,5OP'}{hP_0}. \quad (7)$$

Учитывая, что практически приемлемые значения углов φ_1 и φ_2 равны 2^{-10} рад и менее, можно допустить, что $\operatorname{tg}\varphi_2 \approx \varphi_2$, а также $hP_0 \approx Oh \approx hP$. С учетом принятых допущений будем считать, что OP'/Oh – относительная погрешность модуля вектора \bar{V}_p , т.е. $\delta|\bar{V}_p| = OP'/Oh$.

Из (2), (7) с учетом изложенного получим

$$\varphi_2 = 0,5\delta|\bar{V}_p| = 0,5\delta(\lambda \cdot |\bar{V}|). \quad (8)$$

Подставим в (8) выражение для λ [1]:

$$\varphi_2 = 0,5\delta\left(\frac{F \cdot |\bar{V}|}{G}\right). \quad (9)$$

Таким образом, из (9) следует, что угловая погрешность φ_2 зависит от точности вычисления операндов $F, G, |\bar{V}|$, а также от точности выполнения операций умножения и деления над этими операндами.

Далее найдем угловую погрешность вычисления вектора \bar{V} – φ_1 , воспользовавшись понятием векторного произведения, а также записью по аналогии с (3) $\bar{V}_0 = \bar{V} + \Delta\bar{V}$:

$$\sin \varphi_1 = \frac{|\bar{V} \times \bar{V}_0|}{|\bar{V}| \cdot |\bar{V}_0|} = \frac{|\bar{V} \times \Delta\bar{V}|}{|\bar{V}| \cdot |\bar{V} + \Delta\bar{V}|}, \quad (10)$$

где \bar{V}_0 – вектор наблюдения, вычисленный с ошибкой; $\Delta\bar{V}$ – абсолютная погрешность вектора \bar{V} ; φ_1 – угол между векторами \bar{V} и \bar{V}_0 .

Вычислим векторное произведение, подставив компоненты векторов \bar{V} и $\Delta\bar{V}$:

$$\bar{V} \times \Delta\bar{V} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ V_x & V_y & V_z \\ \Delta V_x & \Delta V_y & \Delta V_z \end{vmatrix} = i(V_y \cdot \Delta V_z - V_z \cdot \Delta V_y) + j(V_z \cdot \Delta V_x - V_x \cdot \Delta V_z) + k(V_x \cdot \Delta V_y - V_y \cdot \Delta V_x).$$

Выполнив алгебраические преобразования числителя и знаменателя в (10), получим:

$$|\sin \varphi_1| = \frac{|\Delta\bar{V}|}{|\bar{V}|} \cdot \frac{|\sin \alpha|}{\sqrt{1 + \frac{|\Delta\bar{V}|^2}{|\bar{V}|^2} + 2 \frac{|\Delta\bar{V}|}{|\bar{V}|} \cdot \cos \alpha}}, \quad (11)$$

где α – угол между векторами \bar{V} и $\Delta\bar{V}$.

С учетом мажорантного подхода, а также того, что $\varphi(\text{рад}) \ll 1$, упростим соотношение (11). При этом учтем, что φ_1 увеличивается при $\alpha \rightarrow \pi/2$, а также пренебрежем $|\Delta\bar{V}|^2 / |\bar{V}|^2$. Тогда

$$\varphi_1 \leq \frac{|\Delta\bar{V}|}{|\bar{V}|} = \delta |\bar{V}|. \quad (12)$$

Окончательно, с учетом (4), (9) и (12), получим:

$$|\varphi|_{\text{макс}} \leq \left| \delta |\bar{V}| + 0,5\delta \left(\frac{F \cdot |\bar{V}|}{G} \right) \right|_{\text{макс}}. \quad (13)$$

В соответствии с [4] выражение в правой части (13) есть мажоранта такого показателя качества СВ,

как угловая погрешность (угловое разрешение). С учетом (6) и (13) имеем

$$\left| \delta |\bar{V}| + 0,5\delta \left(\frac{F \cdot |\bar{V}|}{G} \right) \right|_{\text{макс}} \leq v. \quad (14)$$

3. Результаты

1. Предложено характеризовать оценку точности геометрических преобразований СВ угловым разрешением системы. Этот параметр является исходным для проектирования СВ, так как соответствует количественным требованиям нормального восприятия синтезируемого изображения человеком-оператором.

2. Получено аналитическое соотношение (14), которое связывает между собой угловое разрешение и другие технические характеристики системы отображения (экрана) и мажорантную оценку погрешности вычислений спецпроцессора, приведенную к угловому разрешению.

3. Мажоранта в (14) представлена через параметры точности вычислений спецпроцессора. Варьируя эти параметры, можно минимизировать мажоранту и решать задачу оптимизации системы в целом.

Литература: 1. *Гусятин В.М.* Математическая модель геометрических преобразований для спецпроцессоров растровой графики // Радиоэлектроника и информатика. 1997. №1. С.86-87. 2. *Патент № 2020557* МКИ5 G06F 7/548. Устройство для вычисления быстрых геометрических преобразований / Гусятин В.М., Горбачев В.А., Либероль Б.Д. Опубликовано 30.09.94 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки, Бюл. №18, 1994. 3. *Пэдхем Ч., Сондерс Дж.* Восприятие света и цвета. М.: Мир, 1978. 252 с. 4. *Смирнов А.Я., Меньшиков Г.Г.* Сканирующие приборы. Л.: Машиностроение, 1986. 145с.

Поступила в редколлегию 01.05.98

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

Гусятин Владимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин ХТУРЭ. Научные интересы: теория и практика построения спецпроцессоров растровых графических систем реального времени. Адрес: 310726, Украина, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-54, 66-61-22.

УДК 681.325

К ВОПРОСУ

ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРОЦЕССОРА

БЕРЕЖНАЯ М.А., ЛОБОДА В.Г., ЦУКАНОВ В.Ю.

Предложена перестраиваемая модель микропроцессора, позволяющая получать структуры с различными порядками функционирования компонентов. С помощью специального логико-комбинаторного алгоритма определены минимальные трассы для сигналов при реализации множества типовых операций.

Введение

Процессоры ЭВМ принято подразделять на специализированные и общего назначения, которые служат для решения соответственно конкретных задач и задач широкого круга [1]. Структурно-алгоритмической организации процессоров посвящено большое количество работ, направленных в основном на проектирование функционально-ориентированных устройств. Последнее объясняется переходом средств вычислительной техники от систем общего назначения к проблемно-ориентированным системам с улучшенными технико-экономическими характеристиками. При этом функциональная ориентация процессоров рассматривается как одно из возможных средств проблемной ориентации [1]. В [1,2] приведены общие вопросы сис-