

УДК 004.925

Е.Е. Федоров, д-р. техн. наук, доц.,
М. Юнис, аспирант
В.И. Костин, ст. препод.
Т.В. Черняк, ассистент.
Донецкий национальный технический университет
fedorovee75@mail.ru

Определение порогового значения интенсивности цвета и коэффициента максимального различия в цвете для повышения производительности метода постобработки сформированных трехмерных изображений

В статье на основе численного исследования были выбраны пороговые значения интенсивностей зеленого, желтого, голубого, оранжевого, синего, красного и фиолетового цветов. На основе численного исследования было выбрано пороговое значение коэффициента максимального различия в цвете. Определены коэффициенты конкордации, которые показали близость оценок экспертов, анализирующих пороговые значения интенсивностей цветов, а также пороговое значение коэффициента максимального различия в цвете. Вычисленные пороговые значения коэффициентов максимального различия в цвете и пороговые значения интенсивности цвета могут использоваться в компьютерных системах для повышения качества формирования трехмерных изображений.

Ключевые слова: пороговое значение коэффициента максимального различия в цвете, пороговое значение интенсивности цвета, компьютерная система формирования трехмерных изображений, коэффициент конкордации.

Введение

Системы компьютерной графики является инструментом, который поддерживает интерактивный доступ пользователя к вычислительным ресурсам и обеспечивает создание и функционирование систем гибридного интеллекта, объединяющих творческий потенциал человека с информационными, вычислительными и изобразительными возможностями ЭВМ. Благодаря высокой реалистичности трехмерная графика получила широкое распространение практически во всех сферах деятельности человека. При синтезе графических сцен необходимо решать двуденную задачу - обеспечение высокой реалистичности графических объектов и достижения приемлемой для конкретной задачи времени формирования графических сцен. Требования к реалистичности изображений постоянно растут, что, предопределяет разработку и использование соответствующих методов и средств.

Работы, связанные с обработкой графических данных велись в Сибирском отделении АН СССР коллективом под руководством А.М. Ковалева [1] и Б.С. Долговесова [2, 3], в университете штата Юта США [4, 5], компанией Silicon Graphics под руководством Clark J. [5]. В Украине разработкой методов формирования изображений для тренажеров транспортных

средств, использующих как различные методы формирования трехмерных изображений, занимаются ученые из Донецкого национального технического университета [6, 7] и Винницкого национального технического университета [8, 9].

Метод растеризации (например, метод Гуро или Фонга) [10,11], который использует задание графических объектов полигональной сеткой, имеет высокую производительность, но не обеспечивает достаточной реалистичности из-за аппроксимационных упрощений, поэтому сегодня ведущие графические фирмы делают ставку на метод обратной трассировки лучей [11, 12] как базовый построения трёхмерных сцен значительно большей реалистичности. Так как метод трассировки лучей требует больших вычислительных затрат, то в последние годы разрабатываются алгоритмические решения, направленные на обработку сформированных трехмерных изображений с целью повышения их разрешения, в том числе путем интерполяции [13].

Данная статья посвящена определению порогового значения коэффициента максимального различия в цвете и порогового значения интенсивности цвета для метода постобработки сформированных трехмерных изображений, полученных в результате применения метода обратной трассировки лучей [14]. Актуальность работы определяется постоянным увеличением сложности формируемых сцен, совершенствова-

нием методов в области создания графических систем, а также стремлением уменьшить количество выполняемых операций без потери качества формируемого изображения.

Описание

Целью работы является определение порогового значения интенсивности цвета и коэффициента максимального различия в цвете, используемых для повышения производительности метода постобработки сформированных трехмерных изображений.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Выбрать пороговые значения интенсивностей цветов на основе численного исследования.
2. Выбрать пороговое значение коэффициента максимального различия в цвете на основе численного исследования.
3. Определить коэффициент конкордации для проверки близости оценок экспертов.

2. Выбор пороговых значений интенсивностей цветов

При формировании реалистических изображений используется цветовая система TrueColor. Для задания интенсивности цвета используется 256 уровней для каждой из трёх компонент модели RGB: красного (R), зелёного (G) и синего (B), что в результате даёт $16777216 (2^{24})$ различных цветов. Человеческий глаз не в состоянии воспринять такое количество.

Исследования показали, что на видимом участке спектра глаз человека способен различать при благоприятных условиях около 100 оттенков по цветовому фону. Натренированный наблюдатель различает по насыщенности около 25, по светлоте от 64 при высокой освещенности до 20 при пониженной.

Увеличение качества формирования графических изображений должно ограничиваться визуальными возможностями пользователя. Поэтому для высокореалистических изображений имеется возможность незначительного уменьшения качества формирования графических изображений до уровня визуальной неразличимости эталонного изображения с модифицированным.

В статье предлагается для повышения производительности формирования графических сцен использовать интерполирование интенсивности цвета между выделенными точками, в которых значение интенсивности рассчитывают точно. С этой точки зрения важным вопросом является определение пороговых значений интенсивностей цвета, которые не различаются визуально оператором.

В настоящее время наиболее распространенным и самым надежным способом определения качества изображений является субъективная экспертиза [15]. В некоторых случаях в качестве экспертов привлекают наблюдателей-неспécialистов. Их оценки определяют качество изображения именно так, как его воспринимает «средний» наблюдатель. Кроме того, проводятся опыты со специалистами, имеющими опыт обработки изображений, от которых следует ожидать более обоснованных оценок качества. Предполагается, что опытные наблюдатели замечают небольшие погрешности изображения, которые неспециалист может проглядеть.

Наиболее распространенным методом субъективной экспертизы является ранжирование [15]. Его достоинствами являются простота, относительно малая стоимость, возможность одновременного охвата больших групп конечных пользователей, возможность получения количественных результатов на основе анализа экспертных данных.

В статье эксперту предлагается присвоить числовые ранги каждому пороговому значению интенсивности цвета. Ранг, равный единице, приписывается наиболее точному, по мнению эксперта, пороговому значению, а ранг, равный двум, присваивается следующей по точности пороговому значению и т.д. Для повышения степени объективности экспертной оценки проводят анкетирование группы экспертов. В случае, если ранжирование производится несколькими экспертами, то наивысший ранг присваивается пороговому значению, получившему наименьшую сумму рангов, и наоборот, пороговое значение, собравшее наибольшую сумму рангов, получает самый низкий ранг.

Пороговые значения ΔI для зеленого, желтого, голубого, оранжевого, синего, красного и фиолетового цветов и соответствующий им ранг, присвоенный экспертами, приведены в табл. 1-5..

Таблица 1 – Оцененное экспертами пороговое значение и соответствующий ему ранг для зеленого цвета

№ экс-перта	Ранг r_{ji} для порогового значения					
	$\Delta I=4$	$\Delta I=5$	$\Delta I=6$	$\Delta I=7$	$\Delta I=8$	$\Delta I=9$
1	1.5	1.5	3	4	5	6
2	1	2	3	4	5	6
3	1	2	3	4	5	6
4	1.5	1.5	3	4	5	6
5	1	2	3	4	5	6

6	1	2	3	4	5	6
7	1.5	1.5	3	4	5	6
8	1	2	3	4	5	6
9	1	2	3	4	5	6
10	1.5	1.5	3	4	5	6
11	1	2	3	4	5	6
12	1	2	3	4	5	6
13	1.5	1.5	3	4	5	6
14	1	2	3	4	5	6
15	1	2	3	4	5	6
16	1.5	1.5	3	4	5	6
17	1	2	3	4	5	6
18	1	2	3	4	5	6
19	1.5	1.5	3	4	5	6
20	1	2	3	4	5	6
21	1	2	3	4	5	6
22	1.5	1.5	3	4	5	6
23	1	2	3	4	5	6
24	1	2	3	4	5	6
25	1.5	1.5	3	4	5	6

Таблица 2 – Оцененное экспертами пороговое значение и соответствующий ему ранг для желтого цвета

№ экс перта	Ранг r_{ij} для порогового значения					
	$\Delta I=4$	$\Delta I=5$	$\Delta I=6$	$\Delta I=7$	$\Delta I=8$	$\Delta I=9$
1	2	2	2	4	5	6
2	1.5	1.5	3	4	5	6
3	1.5	1.5	3	4	5	6
4	2	2	2	4	5	6
5	1.5	1.5	3	4	5	6
6	1.5	1.5	3	4	5	6
7	2	2	2	4	5	6
8	1.5	1.5	3	4	5	6
9	1.5	1.5	3	4	5	6
10	2	2	2	4	5	6

11	1.5	1.5	3	4	5	6
12	1.5	1.5	3	4	5	6
13	2	2	2	4	5	6
14	1.5	1.5	3	4	5	6
15	1.5	1.5	3	4	5	6
16	2	2	2	4	5	6
17	1.5	1.5	3	4	5	6
18	1.5	1.5	3	4	5	6
19	2	2	2	4	5	6
20	1.5	1.5	3	4	5	6
21	1.5	1.5	3	4	5	6
22	2	2	2	4	5	6
23	1.5	1.5	3	4	5	6
24	1.5	1.5	3	4	5	6
25	2	2	2	4	5	6

Таблица 3 – Оцененное экспертами пороговое значение и соответствующий ему ранг для голубого цвета

№ экс перта	Ранг r_{ij} для порогового значения					
	$\Delta I=4$	$\Delta I=5$	$\Delta I=6$	$\Delta I=7$	$\Delta I=8$	$\Delta I=9$
1	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
2	2	2	2	4	5	6
3	2	2	2	4	5	6
4	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
5	2	2	2	4	5	6
6	2	2	2	4	5	6
7	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
8	2	2	2	4	5	6
9	2	2	2	4	5	6
10	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
11	2	2	2	4	5	6
12	2	2	2	4	5	6
13	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
14	2	2	2	4	5	6
15	2	2	2	4	5	6

16	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
17	2	2	2	4	5	6
18	2	2	2	4	5	6
19	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
20	2	2	2	4	5	6
21	2	2	2	4	5	6
22	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
23	2	2	2	4	5	6
24	2	2	2	4	5	6
25	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6

Таблиця 4 – Оцененное экспертами пороговое значение и соответствующий ему ранг для оранжевого и синего цвета

№ экс перта	Ранг r_{ij} для порогового значения					
	$\Delta I=4$	$\Delta I=5$	$\Delta I=6$	$\Delta I=7$	$\Delta I=8$	$\Delta I=9$
1	3	3	3	3	3	6
2	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
3	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
4	3	3	3	3	3	6
5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
6	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
7	3	3	3	3	3	6
8	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
9	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
10	3	3	3	3	3	6
11	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
12	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
13	3	3	3	3	3	6
14	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
15	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
16	3	3	3	3	3	6
17	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
18	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
19	3	3	3	3	3	6
20	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6

21	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
22	3	3	3	3	3	6
23	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
24	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6
25	3	3	3	3	3	6

Таблиця 5 – Оцененное экспертами пороговое значение и соответствующий ему ранг для фиолетового и красного цвета

№ экс перта	Ранг r_{ij} для порогового значения					
	$\Delta I=4$	$\Delta I=5$	$\Delta I=6$	$\Delta I=7$	$\Delta I=8$	$\Delta I=9$
1	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
2	3	3	3	3	3	6
3	3	3	3	3	3	6
4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
5	3	3	3	3	3	6
6	3	3	3	3	3	6
7	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
8	3	3	3	3	3	6
9	3	3	3	3	3	6
10	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
11	3	3	3	3	3	6
12	3	3	3	3	3	6
13	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
14	3	3	3	3	3	6
15	3	3	3	3	3	6
16	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
17	3	3	3	3	3	6
18	3	3	3	3	3	6
19	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
20	3	3	3	3	3	6
21	3	3	3	3	3	6
22	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
23	3	3	3	3	3	6
24	3	3	3	3	3	6
25	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

Минимальные пороговые значения ΔI для зеленого, желтого, голубого, оранжевого, синего, красного и фиолетового цветов по всем экспертам приведены в табл.6.

Таблица 6 – Минимальное по всем экспертам пороговое значение для семи цветов

Цвет	ΔI
зеленый	4
желтый	5
голубой	6
оранжевый	7
синий	7
красный	8
фиолетовый	8

Таким образом, наименьшим пороговым значением является 4.

Следует отметить, что согласно [16] в случае зеленого, желтого, голубого, оранжевого, синего, красного и фиолетового цветов различия в цвете наиболее заметны.

2. Определение коэффициента конкордации для проверки близости оценок экспертов

При анализе оценок, полученных от экспертов, выявляется конкордация – согласованность их мнений по нескольким пороговым значениям. Для этого используют коэффициент конкордации, который является числовым критерием согласованности мнений экспертов.

Коэффициент конкордации определяется по формуле Кендалла, учитывающей одинаковые ранги, в виде

$$V = \frac{12 \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m r_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1) \right)^2}{nm^2(n^2 - 1) - m \sum_1^m (t^3 - t)}$$

где r_{ij} - ранг соответствующий j -му пороговому значению, данный i -м экспертом,

m - количество экспертов (в данном случае 25),

n - количество пороговых значений (в данном случае 7),

t - число одинаковых рангов по каждому эксперту.

Вычисленный коэффициент конкордации V для зеленого, желтого, голубого, оранжевого, синего, красного и фиолетового цветов превышает 0.8, т.е. наблюдается близость оценок экспертов.

3. Выбор порогового значения коэффициентами максимального различия в цвете

Пороговое значение коэффициента максимального различия в цвете K_{mrc} и соответствующий ему ранг, присвоенный экспертами, приведены в табл.7.

Таблица 7 – Оцененное экспертами пороговое значение коэффициента максимального различия в цвете

№ экс перта	Коэффициент максимального различия в цвете						
	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4
1	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6	2.5
2	2	2	2	4	5	6	2
3	2	2	2	4	5	6	2
4	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6	2.5
5	2	2	2	4	5	6	2
6	2	2	2	4	5	6	2
7	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6	2.5
8	2	2	2	4	5	6	2
9	2	2	2	4	5	6	2
10	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6	2.5
11	2	2	2	4	5	6	2
12	2	2	2	4	5	6	2
13	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6	2.5
14	2	2	2	4	5	6	2
15	2	2	2	4	5	6	2
16	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6	2.5
17	2	2	2	4	5	6	2
18	2	2	2	4	5	6	2
19	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6	2.5
20	2	2	2	4	5	6	2
21	2	2	2	4	5	6	2
22	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6	2.5
23	2	2	2	4	5	6	2
24	2	2	2	4	5	6	2
25	2.5	2.5	2.5	2.5	5	6	2.5

Таким образом, при $K_{mrc} \leq 2$ интенсивности цвета не различаются визуально оператором.

Вычисленный коэффициент конкордации V не менее 0.8, т.е. наблюдается близость оценок экспертов.

Заключение

В работе основе численного исследования были выбраны пороговые значения интенсивностей зеленого, желтого, голубого, оранжевого, синего, красного и фиолетового цветов. На основе численного исследования были выбраны пороговые значения коэффициента максимального различия в цвете. Было определено, что наименьшим пороговым значением интенсивности цвета является 4, а минимальным пороговым значением коэффициента максимального разли-

чия в цвете является 2. Определены коэффициенты конкордации, которые показали близость оценок экспертов, анализирующих пороговые значения интенсивностей зеленого, желтого, голубого, оранжевого, синего, красного и фиолетового цветов, а также пороговое значение коэффициента максимального различия в цвете.

Вычисленные в статье коэффициенты максимального различия в цвете и пороговые значения интенсивности цвета могут использоваться в интеллектуальных компьютерных системах для решения задач, связанных с повышением производительности формирования трехмерных изображений.

Список литературы

1. Ковалев А.М. Машинный синтез визуальной обстановки / А.М. Ковалев, Э.А. Талныкин // Автометрия. - №4. - 1984. - С. 67-84.
2. Вяткин С. И. Архитектурные особенности систем визуализации реального времени на основе сигнальных процессоров / С.И. Вяткин, О.Ю. Гимаутдинов, Б.С. Долговесов, Н.Р. Каипов, С.Е. Чижик // Автометрия. – 1999. – № 1. – С. 32-36.
3. Вяткин С.И. Растеризационные методики и архитектуры систем визуализации реального времени / С.И. Вяткин, Б.С. Долговесов, В.М. Фомичев // Труды 17-й Междунар. конф. "Графикон-2007", 2007. – С. 164-169.
4. Warwick G. Making the Most of Simulation // Flight International.- 1988.- 12 March.- P.6.
5. Clark J. The Geometry Engine: A VLSI Geometry System for Graphics // SIGGRAPH. - 1982. – P. 127-133.
6. Башков Е.А. Исследование эффективности реализации синтеза изображений рельефов алгоритмом гоат на параллельных вычислительных системах / Е.А. Башков, С.А. Зори // Известия Южного федерального университета. - 2013. - № 5 (142). - С. 46-51.
7. Башков Е.А. Реалистичная визуализация трехмерных объектов и сцен с использованием технологий объемного отображения / Е.А. Башков, С.А. Зори // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С.133-137.
8. Романюк О. Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів. Монографія. / О. Н. Романюк, А.В. Чорний. - Вінниця : УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. – 190 с.
9. Романюк О.Н. Спрощення розрахунків в процесі тонування високодеталізованих полігональних поверхонь / О.Н. Романюк, М.Д. Обідник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 1. – С. 182–186.
10. Foley J., Dam A. Computer Graphics. Principles and practice / J. Foley, A. Dam. - 2nd ed. In C. - AWPC, 1997. – 1175 pp.
11. Палташев Т.Т. Технология визуализации реалистичных изображений / Т.Т. Палташев, С.И. Климина // Открытые системы. – 1994. – № 7. – С. 23-40.
12. Палташев Т.Т. Растривание и распределенная обработка в системах генерации реалистических изображений / Т.Т. Палташев, С.И. Климина // Зарубежная радиоэлектроника. – 1992. – № 11. – С. 3-22.
13. Mitchell D. P. Generating antialiased images at low sampling densities // In Computer Graphics: Proceedings of SIGGRAPH - 87, 1987. - Vol. 21. - PP.65–72.
14. Мальчева Р.В. Исследование влияния шага трассирования лучей и коэффициента различия в цвете на время выполнения формирования изображения / Р.В. Мальчева, М. Юнис, А. Джамиль // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 14(188). – С. 195-201.
15. Snyder H.L. Image quality: Measures and visual performance // Flat-Panel Displays and CRTs / Tannas L.E., Jr. Ed. – New York: Van Nostrand Reinhold, 1985. – P. 70-90.
16. Bangay S. Methods of Reducing the Visibility of Mach Bands during Gouraud Shading // Technical Report, Computer Science Department, Rhodes University, 2002. – 10 p.

Надійшла до редакції 19.01.2016

Є.С. ФЕДОРОВ, М. ЮНІС, В.І. КОСТИН, Т.В. ЧЕРНЯК

Донецький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПОРОГОВОГО ЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ КОЛЬОРУ І КОЕФІЦІЄНТА МАКСИМАЛЬНОЇ ВІДМІННОСТІ В КОЛЬОРІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕТОДУ ПОСТОБРОБКИ СФОРМОВАНИХ ТРЬОХМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У статті на основі чисельного дослідження були обрані порогові значення інтенсивностей зеленого, жовтого, блакитного, помаранчевого, синього, червоного і фіолетового кольорів. На основі чисельного дослідження було вибрано порогове значення коефіцієнта максимальної відмінності в кольорі. Визначено коефіцієнти конкордації, які показали близькість оцінок експертів, що аналізують порогові значення інтенсивностей кольорів, а також граничне значення коефіцієнта максимальної відмінності в кольорі. Обчислені порогові значення коефіцієнта максимальної відмінності в кольорі і порогові значення інтенсивності кольору можуть використовуватися в комп'ютерних системах для підвищення якості формування трьохмірних зображень

Ключові слова: *порогове значення коефіцієнта максимального розходження в кольорі, порогове значення інтенсивності кольору, комп'ютерна система формування тривимірних зображень, коефіцієнт конкордації.*

E. FEDOROV, H. YUNIS, V. KOSTIN, T. CHERNYAK

Donetsk National Technical University

DETERMINATION OF THE THRESHOLD VALUE OF COLOR INTENSITY AND THE COEFFICIENT OF MAXIMUM DIFFERENCE IN COLOR TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF THE METHOD OF POSTPROCESSING THE GENERATED THREE-DIMENSIONAL IMAGES

Computer Graphics Systems is a tool that supports interactive user access to computing resources, and facilitates the creation and operation of systems of hybrid intelligence, combining the creativity of the person with information and pictorial possibilities of computers. Highly realistic three-dimensional graphics is widely used in almost all spheres of human activity.

This article deals with the definition of the threshold values of the coefficient of maximum difference in color and color intensity threshold method for post-processing of three-dimensional images formed by the inverse ray tracing. In the article the expert proposed to assign numerical grades for each threshold color intensity. Rank equal to one, is attributed to the most accurate, according to the expert, threshold value and the rank equal to two, is assigned to the following accuracy threshold, etc.

If the ranking is made by several experts, the highest rank is assigned to the threshold value with the lowest sum of ranks, and vice versa, threshold value with greatest amount of ranks, receives the lowest rank. On the basis of expert assessments we selected threshold intensities of green, yellow, blue, orange, blue, red and purple colors. Similar experiments were conducted to determine the maximum rate threshold difference in color. It was determined that the lowest threshold color intensity value is 4 and the minimum threshold coefficient maximum color differences is 2. The coefficient of concordance was determined, which showed the proximity of expert evaluations, analyzing thresholds. Calculated thresholds coefficients of maximum difference in color and color intensity thresholds can be used in intelligent computer systems to meet the challenges associated with an increase in productivity of formation of three-dimensional images.

Keywords: *maximum coefficient of differences in color, color intensity threshold, computer system of formation of three-dimensional image, coefficient of concordance.*