

Т. Н. Романова, А. В. Сидорин,  
В. Н. Соляков, К. В. Козлов

## СИНТЕЗ МОНОХРОМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ИЗ МНОГОДИАПАЗОННОГО ПОСТРОЕНИЕМ ПАЛИТРЫ С ПОМОЩЬЮ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА

*Рассмотрены вопросы разработки и совершенствования теоретических методов синтеза монохромного изображения из многодиапазонного в случаях, когда передаваемые изображения относятся к диапазону, отличному от видимого. Разработан метод автоматического синтеза монохромного изображения с использованием неоднозначной палитры, полученной с помощью решения уравнения Пуассона. Приведены численные результаты исследований и их сравнение с существующими средствами. Проанализированы преимущества и недостатки данного метода. Предложены способы устранения выявленных недостатков.*

**E-mail:** [rtn@bmstu.ru](mailto:rtn@bmstu.ru); [alexey.v.sidorin@yandex.ru](mailto:alexey.v.sidorin@yandex.ru);  
[orion@orion.ru](mailto:orion@orion.ru); [kozlov\\_k\\_v@mail.ru](mailto:kozlov_k_v@mail.ru)

**Ключевые слова:** многоканальные изображения, неоднозначные палитры, уравнение Пуассона, эквализация, квазиэквализация, визуализация, диапазон, гистограмма.

При построении систем получения и обработки многодиапазонных изображений одной из важнейших задач является отображение данных на устройстве вывода. Если информация поступает в зрительных диапазонах, задача решается тривиально — с помощью одной из существующих цветовых моделей. Необходимость поиска решения данной задачи возникает в случаях, когда выводимые изображения относятся к диапазону, отличному от видимого. Тогда ставится задача передачи изображений, представленных уровнями сигналов в областях чувствительного элемента системы, в виде какой-либо цветовой модели (как правило, для работы с графическими устройствами вывода информации используется модель RGB). В большинстве моделей, в том числе и RGB, цвет кодируется вектором из трех чисел, что не позволяет отображать без потери информации более трех каналов. При представлении информации с систем, имеющих больше трех каналов, появляются проблемы синтеза изображения в модели RGB с минимальными потерями данных. Такую задачу можно рассматривать как частный случай более общей задачи — задачи синтеза итогового изображения, имеющего  $n$  каналов, из  $m$  изображений, где  $m > n$  [1]. Эта задача становится актуальной в связи с все более широким распространением и внедрением многодиапазонных видеосистем.

Одним из методов синтеза подобных изображений служит построение неоднозначной палитры, т.е. палитры, в которой допускается ото-

бражение различных входных векторов уровней сигналов в один и тот же. Авторы данной работы исследуют случай отображения нескольких каналов в один.

Для разработки систем наведения палитру необходимо построить автоматически в отсутствие данных о природе и особенностях входных каналов. В одномерном случае единственным методом автоматического синтеза палитры является эквализация гистограммы — приведение распределения вероятностей уровней сигнала к равномерному. Тогда для каждого элемента гистограммы  $h(i)$  новая яркость вычисляется как сумма всех элементов прежней гистограммы:

$$eh(c) = \sum_{i=0}^c h(i).$$

В настоящей работе предложен метод квазиэквализации для автоматического синтеза двумерной палитры. Суть метода состоит в следующем.

1. На вход программы передаются два файла с изображениями в разных диапазонах, которые необходимо отобразить в один диапазон.
2. Строится двумерная гистограмма

$$h(c_1, c_2) = k/s,$$

где  $k$  — число пикселей, для которых яркость в точке  $(x, y)$  для первого изображения равна  $c_1$ , а для второго —  $c_2$ ;  $s$  — число пикселей изображения. Таким образом, каждая точка гистограммы имеет значение вероятности появления пикселей с яркостями  $c_1$  и  $c_2$  для первого и второго изображения соответственно, а сама гистограмма является представлением двумерной плотности вероятности.

3. Квазиэквализованную гистограмму определим по формуле

$$eh(c_1, c_2) = \sum_{i=0}^{c_1} \sum_{j=0}^{c_2} h(i, j), \quad (1)$$

где  $c_1, c_2$  — яркости первого и второго изображений соответственно в точке  $(x, y)$ .

Таким образом, каждый элемент гистограммы будет равен вероятности двумерного распределения по яркостям. Гистограмма  $eh(c_1, c_2)$  может быть использована в качестве двумерной палитры для создаваемого изображения.

4. Яркость нового изображения в точке  $(x, y)$  рассчитаем по формуле (1).

Для корректной эквализации необходимо взаимно однозначное соответствие между уровнями яркостей входного и выходного изображений. Преобразование (1) не является взаимно однозначным и, сле-



**Рис. 1. Танк, 3... 5 мкм**



**Рис. 2. Танк, 8... 12 мкм**



**Рис. 3. Автомобиль, 8... 12 мкм**



**Рис. 4. Автомобиль, 1... 2 мкм**

довательно, не может называться обобщением алгоритма эквализации. Данное преобразование назовем квазиэквализованным.

Создан метод улучшения квазиэквализованной палитры с помощью численного решения уравнения Пуассона и разработана программа, с помощью которой проводились исследования нового метода. Работа алгоритма была проверена на различных тестовых сценах.

Изображения объектов и диапазоны, в которых получены их изображения, показаны на рис. 1–4. Недостаток такой палитры заключается в больших площадях белых и черных областей, вследствие чего качество изображений на некоторых сценах низкое. Это объясняется малым динамическим диапазоном данных тестовых сцен. Для улучшения качества получаемых изображений необходимо уменьшить экстремальные области палитры, сгладив их. С этой целью изменим процедуру построения палитры.

Проанализировав результирующую гистограмму, можно заметить, что на краях, прилегающих к нулевой координате, все значения краевых элементов равны нулю, а на двух оставшихся краях значения краевых элементов образуют эквализованные гистограммы обоих изо-

бражений. Тогда получаем следующий набор краевых условий:

$$\begin{aligned} u(x, y)|_{x=0} &= 0; \\ u(x, y)|_{y=0} &= 0; \\ u(x, y)|_{x=1} &= eh(255, y); \\ u(x, y)|_{y=1} &= eh(x, 255). \end{aligned} \quad (2)$$

Данные значения можно рассматривать как краевые условия некоего дифференциального уравнения на сетке  $256 \times 256$  в области  $x, y \in [0, 1]$ . Наименьший порядок будет иметь уравнение Пуассона [2]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + f(x, y) = 0. \quad (3)$$

Решив уравнение (3) с краевыми условиями (2), получим двумерную функцию  $u(x, y)$ , которая будет являться новой палитрой, назовем ее релаксированной палитрой. Синтез изображений (см. рис. 1–4) проводился с помощью функции

$$f(x, y) = e^{-x^2} + e^{-y^2},$$

но аналогичные результаты были получены и для других функций, в том числе для  $f(x, y) = 0$ . Для численного решения уравнения Пуассона (3) применен метод релаксации с разностной схемой “крест” [2]

$$\frac{u_{i-1,j} - 2u_{i,j} + u_{i+1,j}}{h_x^2} + \frac{u_{i,j-1} - 2u_{i,j} + u_{i,j+1}}{h_y^2} + f_{ij} = 0 \quad (4)$$

с краевыми условиями:

$$u_{0j} = 0, \quad u_{Nj} = eh_{Nj}, \quad u_{i0} = 0, \quad u_{iN} = eh_{iN}. \quad (5)$$

В палитре, полученной по данной методике для большинства простейших функций обеспечивается большой контраст синтезируемых изображений, которые имеют присущие им особенности. Например, на рис. 1 дым позади танка практически не виден, в то время как на рис. 2 дано изображение той же движущейся гусеничной машины, за которой наблюдается пылевое облако — эта особенность стала видна из-за применения другого диапазона. Результат синтеза по данной программе показан на рис. 5, на котором приведено более контрастное изображение танка и за ним можно различить след пыли.

При использовании синтеза с помощью релаксированной палитры можно каскадировать палитры для достижения более качественного результата из произвольного числа изображений. Удовлетворительные результаты (рис. 6, 7) получены при трех и четырех изображе-



**Рис. 5.** Результат синтеза из набора “Танк” (см. рис. 1, 2)



**Рис. 6.** Результат последовательного синтеза из трех изображений



**Рис. 7.** Результат последовательного синтеза из четырех изображений

ниях (диапазоны 3...5, 8...12, 1...2 и 0,4...0,8 мкм). Однако необходимо учитывать зависимость результата от последовательности использования входных изображений. Так, отображения автомобиля в диапазонах 1...2, 8...12, и 0,4...0,8 мкм отличаются только последовательностью применения палитры к изображениям: например, на рис. 6 лучше виден человек и особенности рельефа, чем на рис. 4 и 7.

В связи с тем, что скорость обработки, полученная при решении уравнения на сетке  $256 \times 256$ , неприемлема для систем, работающих в режиме реального времени, была изучена возможность решения уравнения на более крупной сетке с последующей аппроксимацией. В качестве алгоритма аппроксимации использована билинейная фильтрация. Зависимость результата синтеза от размера сетки, на которой решалось уравнение, для изображений форматом  $512 \times 512$  приведена в табл. 1.

Как видно по данным табл. 1, при сетке  $16 \times 16$  и  $32 \times 32$  средняя яркость изображений незначительно отличается от их характеристик на сетке  $256 \times 256$ , а время обработки при этом составило около 40 мс, что достаточно для применения алгоритма в системе реального времени. Отметим, что с увеличением шага уменьшается яркость палитры.

**Результирующая яркость изображения и скорость синтеза в зависимости от размера сетки, на которой решалось уравнение Пуассона**

Размер сетки	Время обработки, мс	Средняя яркость изображения
256 × 256	3551	67,196
128 × 128	443	64,8557
64 × 64	79	63,2219
32 × 32	40	62,0186
16 × 16	37	62,1165
8 × 8	36	60,1048
4 × 4	35	55,5047

Данный недостаток нетрудно компенсировать изменением уровня яркости после аппроксимации (это недорогая операция, которую можно выполнять с аппаратным ускорением).

В качестве критерия оценки качества синтеза будем использовать контраст в области объекта интереса, т.е. отношение максимальной яркости в области объекта интереса к минимальной. В табл. 2 приведены измерения контраста на объектах интереса для исходных изображений и для результирующего. Кроме того, при сравнении с характеристикой изображения видим, что яркость каждого пиксела его является полусуммой яркостей соответствующих пикселей входных изображений.

Таблица 2

**Контраст в областях объекта интереса**

Изображение	Объект интереса	Значение контраста		
		Входного изображения	Полусуммы	При использовании релаксированной палитры
Автомобиль 8...12 мкм (рис. 3) Автомобиль 1...2 мкм (рис. 4)	Человек	5,2 2,9	3,8	8,5
Автомобиль 8...12 мкм (рис. 3) Автомобиль 1...2 мкм (рис. 4)	Фон (лес)	1,3 20	2,3	19
Танк 3...5 мкм (рис. 1) Танк 8...12 мкм (рис. 2)	Башня танка	3,3 2,5	2,6	4,7

Для тестовых входных изображений контраст изображения, полученного с использованием релаксированной палитры, выше, чем у полусуммы изображений, и не меньше, чем у каждого из входных изображений.

Основной выявленный недостаток метода заключается в падении контраста в областях, где одно из изображений имеет низкую яркость, что является следствием постановки краевых условий:

$$u(x, y)|_{x=0} = 0;$$

$$u(x, y)|_{y=0} = 0.$$

Ухудшения результата в данном случае можно избежать, проведя операцию линейного контрастирования исходных изображений таким образом, чтобы минимальная яркость каждого из них была не меньше порогового значения 20 по шкале из 256 градаций. Перспективным можно считать синтез палитры путем решения многомерного уравнения Пуассона. В настоящее время ведется подготовка к проведению экспериментов с данной модификацией метода.

Таким образом, численные эксперименты показывают, что при использовании метода построения палитры с помощью решения уравнения Пуассона улучшаются характеристики синтезируемого изображения. Разработанная методика может быть применена для создания программного обеспечения, которое в режиме реального времени должно автоматически синтезировать палитру и с высоким качеством воспроизводить многоканальное изображение на монохромном устройстве отображения. В методике используется комбинированный алгоритм, основанный на методе квазиэквализации многоканального изображения и способе релаксации двумерной палитры, предложенный и исследованный в данной работе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Д в у х д и а п а з о н н а я тепловизионная система на основе матричных фотоприемных модулей из  $Cd_xHg_{1-x}Te$  и  $InSb$  / Л.И. Горелик, Е.В. Дрогайцева, П.С. Лазарев, А.В. Полесский, А.В. Сидорин, В.Н. Соляков // XXI Междунар. научно-технич. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения: Тез. докладов, Москва, 2010. – С. 71.
2. П о р ш н е в С. В. Методика использования пакета Mathcad для изучения итерационных методов решения краевых задач для двумерных эллиптических уравнений // Вычислительные методы и программирование. – 2001. – Т. 2. Разд. 3. – С. 7–14 // Интернет-журнал: <http://num-meth.srcc.msu.ru>

Статья поступила в редакцию 10.05.2012