

УДК 621.391.268

С.Н. Кириллов, И.В. Косткин

АЛГОРИТМ ЭКВАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО БЕТА-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Предложена модификация алгоритма эквализации путем преобразования гистограммы яркости изображений с использованием многокомпонентного бета-распределения. Показано, что предложенный алгоритм обеспечивает близкий к равномерному закон распределения гистограммы яркости изображения, а также позволяет восстановить исходное распределение яркости изображений с 3-7 % значением среднеквадратического отклонения точек яркости при передаче только параметров модели вместо всех отсчетов гистограммы.

Введение. Многие радиотехнические системы имеют отношение к обработке, хранению и передаче информации в виде изображений. Это вызвано тем, что изображение является значительно более емким носителем информации, чем обычный одномерный сигнал [1, 2]. При этом актуальной задачей является разработка различных алгоритмов обработки, основанных на статистических моделях цифровых изображений, позволяющих повысить качество цифровых снимков.

Цель работы – модификация алгоритмов преобразования гистограммы яркости изображений с учетом предложенной статистической модели цифровых изображений в виде многокомпонентного бета-распределения для улучшения визуального качества снимков.

Описание статистической модели. Известно большое количество алгоритмов улучшения визуального качества цифровых изображений с использованием гистограммных преобразований [1]. Однако алгоритмы указанных преобразований в большинстве случаев используют гистограмму яркости изображения, что приводит к большим вычислительным затратам и к сложности с обратимостью операций гистограммных преобразований. Поэтому целесообразно в данных алгоритмах использовать аналитическую статистическую модель, описывающую функцию плотности вероятности (ФПВ) амплитуд точек яркости цифрового изображения. В качестве оценки адекватности статистической модели целесообразно использовать гистограмму распределения яркости цифрового изображения [1].

Исследования ФПВ яркости 100 монохромных изображений в градации серого [0, 255],

представляющих собой космические фотоснимки ландшафта, различных застроек и т.п., показали, что в 96 % случаев число ярко выраженных мод не превышает трех, причем 32 % исследованных изображений имели одну моду, 47 % – две моды 17 % – три моды и только 4 % содержали четыре или более мод, но не более 6.

Таким образом, ФПВ можно аппроксимировать моделью в виде многокомпонентного распределения

$$p(Y) = \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i(Y), \quad (1)$$

где Y - амплитуда яркости точек обрабатываемого изображения, α_i - вес соответствующей ком-

поненты $p_i(Y)$, при этом $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$.

Как было показано в [3], параметры моментных функций гистограмм распределений яркости в основном сосредоточены в области бета-распределения на плоскости Пирсона. Кроме того, бета-распределение определено на ограниченном отрезке [0, 1]

$$p_i(Y) = \frac{1}{B(\mu, \nu)} \cdot Y^{\mu-1} (1-Y)^{\nu-1}, \quad (2)$$

где $B(\mu, \nu)$ - бета-функция, μ, ν - параметры бета-распределения, и может быть с помощью линейного преобразования расширено до требуемого интервала. Данное свойство хорошо сочетается с тем, что амплитуды точек яркости изображения тоже определены на ограниченном интервале, к примеру [0, 255].

Для оценки параметров статистической модели яркости изображений в виде многокомпонентного бета-распределения и соответствующей

щих им весов можно использовать критерий качества вида:

$$\min_{\mu, \nu} (Fun) = (p(Y) - G(Y))^2, \quad (3)$$

где $G(Y)$ - гистограмма исходного изображения.

Отсюда получим выражение для функционала (3) с учетом дискретности значений интервалов гистограммной оценки:

$$\min_{\mu, \nu} (Fun) = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i(N_j) - G_j(N_j) \right)^2, \quad (4)$$

где N_j - центральное значение интервала гистограммной оценки. Однако данный критерий качества ориентирован на аппроксимацию только ФПВ и имеет недостаточную точность для аппроксимации функции распределения (ФР) по критерию согласия χ^2 . В связи с этим предложено для решения данной задачи использовать комбинированный критерий вида:

$$\min_{\mu, \nu} (Fk) = K Fk_1 + (1 - K) Fk_2, \quad (5)$$

где K - весовой множитель, характеризующий вклад каждого из функционалов Fk_1 , Fk_2 , здесь

$$Fk_1 = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i(N_j) - G_j(N_j) \right)^2, \quad (6)$$

характеризует точность аппроксимации ФПВ, а

$$Fk_2 = \sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i f_i(N_j) - F_j(N_j) \right)^2, \quad (7)$$

характеризует точность аппроксимации ФР.

Критерий качества (5) позволяет удовлетворить компромисс между необходимой точностью оценки ФПВ и ФР модели в виде многокомпонентного бета-распределения путем изменения значения веса соответствующего критерия.

Для минимизации функционала (5) необходимо использовать численные методы минимизации. В данном случае использовался метод Ньютона, так как он прост в реализации и требует сравнительно малых вычислительных затрат.

На рисунке 1 приведен пример аппроксимации гистограммы яркости с использованием модели в виде многокомпонентного бета-распределения с количеством шагов гистограммы, равным 256. Количество компонент модели в данном случае равно шести, согласно анализу статистики гистограмм яркости, при этом веса лишь двух компонент оказались отличными от нуля.

Количество интервалов гистограммной оценки можно снизить до 40 во всем динамическом диапазоне, при погрешности аппроксимации ФПВ яркости изображения многокомпонентным бета-распределением порядка 4 % по критерию согласия χ^2 .

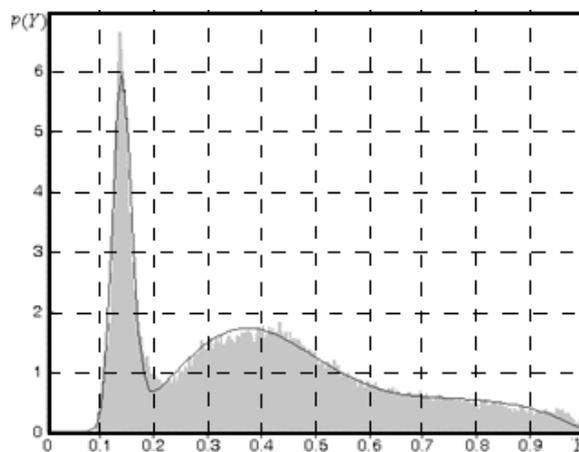


Рисунок 1

Это позволяет значительно сократить вычислительные затраты на поиск параметров модели и соответствующих им весов.

Поскольку, как было показано выше, 96 % анализируемых гистограмм имеют не более трех ярко выраженных мод, то и максимальное число компонент в многокомпонентном бета-распределении целесообразно выбрать равным 3. Уменьшение количества компонент до 3 позволит дополнительно сократить вычислительные затраты на поиски параметров статистической модели.

Полученные результаты указывают на целесообразность применения модели в виде многокомпонентного бета-распределения в алгоритмах повышения визуального качества изображений. Данная модель всегда допускает возможность возврата к исходной гистограмме распределения яркости при хранении только параметров многокомпонентного бета-распределения, а не всех отсчетов исходной гистограммы яркости.

Описание модификации алгоритма эквализации. Из [1] известно, что высококонтрастные изображения воспринимаются зрительной системой человека более адекватно, т.е. имеют лучшее визуальное качество. При этом высококонтрастные изображения имеют, как правило, равномерную ФПВ. Поэтому одной из наиболее популярных процедур повышения визуального качества является эквализация, которая заключается в приведении гистограммы распределения яркости точек изображения к равномерному закону.

Из [3] известно, что для того чтобы из случайной величины с произвольной ФПВ получить случайную величину с равномерной ФПВ, необходимо применить нелинейное функциональное преобразование, причем данное преобразование совпадает с ФР преобразуемой случайной величины.

Поэтому при проведении процедуры эквализации основной проблемой является оценка функции градационного преобразования $T(Y)$, которая должна удовлетворять следующим условиям [2].

1. $T(Y)$ - однозначная и монотонно возрастающая функция.

2. $0 \leq T(Y) \leq 1$ при $0 \leq Y \leq 1$. В данном случае амплитуды точек яркости Y нормированы к максимальному значению.

Пример подобной функции в случае многомодового распределения, приведенного на рисунке 1, представлен на рисунке 2.

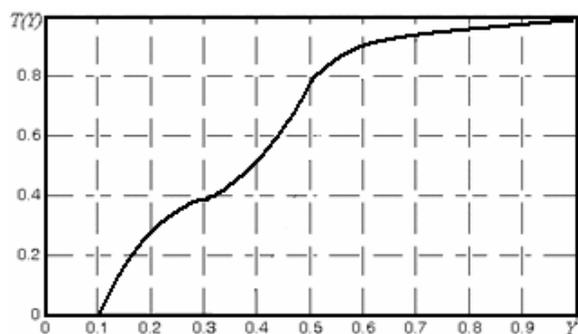


Рисунок 2

Модификация алгоритма эквализации заключается в использовании в качестве функции градационного преобразования интегрального закона распределения, полученного в результате использования аппроксимации ФПВ изображения моделью в виде многокомпонентного бета-распределения.

В этом случае алгоритм эквализации имеет следующие этапы.

1. Построение гистограммы исходного изображения.

2. Аппроксимация построенной гистограммы моделью в виде многокомпонентного бета-распределения для определения функции распределения (ФР) полученной аппроксимации.

3. Обработка исходного изображения с использованием в качестве функции градационного преобразования ФР, полученной в пункте 2.

Другой важной задачей является приведение гистограммы цифрового изображения к требуемому закону распределения. Данный метод применяется при распознавании объектов на цифро-

вых изображениях, когда известна средняя гистограмма заданного вида и распознавание производится по изображению, гистограмма которого приведена к указанному виду.

Для этого ФПВ случайной величины можно сначала преобразовать к равномерному закону, а затем из равномерного закона получить заданный вид ФПВ.

Предложенный выше алгоритм эквализации сокращает вычислительные затраты при приведении гистограммы изображения к требуемому виду, поскольку позволяет установить функциональную связь между параметрами многокомпонентного бета-распределения и требуемой ФПВ. Кроме этого, достоинством данного алгоритма является обратимость операций видоизменения гистограммы.

В целом алгоритм приведения гистограммы яркости изображения к заданному виду состоит из следующих действий.

1. Выполняется операция эквализации с использованием модели в виде многокомпонентного бета-распределения.

2. Оценивается форма функции градационного преобразования, которая позволит достичь с заданной точностью требуемой ФПВ.

3. Применяется к изображению указанная функция градационного преобразования

Экспериментальные исследования. Исследования применения модифицированного алгоритма эквализации гистограмм проводились на монохроматических изображениях в градации серого [0, 255]. Результаты эксперимента представлены на рисунке 3, где а – гистограмма, соответствующая известной процедуре эквализации, б – гистограмма, соответствующая процедуре эквализации с применением модели в виде многокомпонентного бета-распределения.

Из анализа приведенных на рисунке 3 гистограмм следует, что предлагаемый метод эквализации дает приблизительно одинаковые результаты по сравнению с известным алгоритмом, использующим гистограмму распределения яркости.

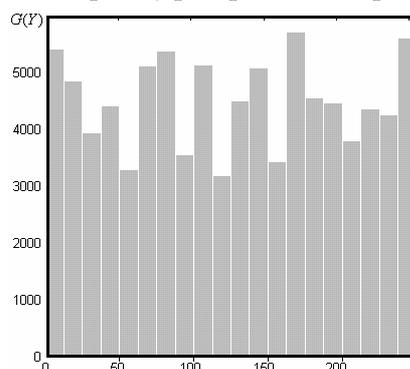


Рисунок 3,а

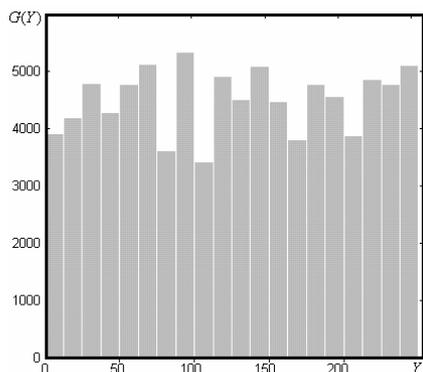


Рисунок 3,б

На рисунке 4 представлены изображения, соответствующие гистограммам рисунка 3, где а – результат известной эквализации, б – результат эквализации с применением модели в виде многокомпонентного бета-распределения, в – исходное изображение. Видимых визуальных отличий между рисунками 4,а и 4,б не наблюдается, однако, как было показано ранее, для преобразования изображения на рисунке 4,б к исходному 4,в достаточно хранить в памяти или передавать по каналу связи только параметры модели, а не все отсчеты исходной гистограммы яркости, как в случае 4,а. Причем СКО восстановленного изображения от исходного составляет 4 %.



Рисунок 4,а



Рисунок 4,б



Рисунок 4,в

Выводы. Таким образом, предложена статистическая модель цифровых изображений в виде многокомпонентного бета-распределения, разработана методика определения параметров указанной статистической модели, а также предложена модификация алгоритма эквализации цифровых изображений на основе использования модели в виде многокомпонентного бета-распределения, позволяющего хранить информацию об исходной гистограмме яркости в виде параметров модели.

Библиографический список

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2006. - 1072 с.
2. Tinku Acharya, Ajoy K. Ray. Image Processing Principles and Application. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2005. 428 с.
3. Косткин И.В. Модификация алгоритмов обработки изображений с учетом предлагаемой статистической модели // НИТ в научных исследованиях и образовании: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. - Рязань: РГРТУ, 2007. - С. 128.