

УДК 004.932

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕМ КОНТРАСТА КОНТУРОВ

© Ирина Львовна Артюшина, Алексей Иосифович Винокур,
Алексей Владимирович Глазков
Московский политехнический университет, Москва, Россия
alex.vinokour@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается процесс автоматизированной подготовки изображений для мультимедиа воспроизведения. В общем случае оригинал и копия имеют различный динамический диапазон, обусловленный техническими свойствами конкретной системы визуализации. Исследуется проблема воспроизведения контуров, имеющих близкий к порогу различения контраст. Отмечается, что возможно появление двух видов искажения информации при воспроизведении с изменением динамического диапазона изображения: в копии могут появиться отсутствующие в оригинале контуры и, наоборот, присутствующие в оригинале контуры могут в копии исчезнуть. Вводится понятие контраст контура, на основании которого предлагается алгоритм автоматизированной обработки изображения, обеспечивающий сохранение контраста контуров близких к порогу восприятия, что обеспечивает точность воспроизведения контурной информации. Выполнена программная реализация предлагаемого алгоритма. Проведено экспериментальное опробование, подтверждающее эффективность подхода.
Ключевые слова: воспроизведение изображений, контур, контраст.

AUTOMATED IMAGE PREPARATION FOR CONTOUR CONTRAST REPRODUCTION CONTROL

© I. Artyushina, A. Vinokour, A. Glazkov
Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia
alex.vinokour@gmail.com

Abstract. In the article the process of automated image preparation for multimedia reproduction is discussed. In general, the original and the copy have different dynamic ranges due to the technical properties of the visualization system. The problem of reproduction of contours with contrast close to the threshold of distinction is investigated. It is noted that there may appear two types of distortion of information when reproducing with a change in the dynamic range of the image: in the copy the contours may appear which are missing in the original and, conversely, the contours present in the original may disappear in the copy. The concept of contour contrast is introduced, on the basis of which the algorithm of automated image processing is proposed. The algorithm ensures contrast preservation of contours close to the threshold of perception, which allows accurate reproduction of contour information. The program implementation of the proposed algorithm is performed. Experimental testing confirms the efficiency of the approach.
Keywords: image reproduction, contour, contrast.

Введение. В современной практике земельно-кадастрового или экологического дешифрирования аэрокосмических изображений визуализация производится с использованием различных технических систем [1]. Отличие одного изображения от другого проявляется в общем случае в различиях репродукционного охвата и условий рассматривания. Репродукционный охват характеризуется разрешением, динамическим диапазоном и цветовой насыщенностью. Условия рассматривания характеризуются адаптацией зрительной системы на освещение, ракурсом и масштабом демонстрации копии. Эти аспекты необходимо учитывать для обеспечения желаемой точности дешифрирования [2, 3].

В настоящей статье рассматривается только один аспект, существенный для дешифрирования – передача контурной информации. Как известно [4, 5] воспроизведение контурной информации является наиболее важным показателем качества визуализации.

В процессе подготовки аэрофотоснимка к визуализации проводится ряд преобразований, цель которых заключается в обеспечении качественного распознавания объектов с помощью выбранной системы визуализации, отличной по своим возможностям от той в которой был создан оригинал. При этом решается многокритериальная оптимизационная задача, критерии которой в явном виде не формулируются или даже не могут быть сформулированы. Как правило, множество решений является Парето-оптимальным, т.е. улучшая одни показатели, мы ухудшаем другие. Для дешифрирования необходимо найти компромисс, отвечающий поставленным целям. В любом случае одним из важнейших критериев является точность воспроизведения контурной информации. Сложность задачи заключается в том, что сохранение малоконтрастных контуров равно важно во всем диапазоне светлот. Причем необходимо компенсировать как потерю резкости, так и появления ложных контуров за счет не видимых в исходном снимке незначительных перепадов яркости, которые могут увеличиваться в результате градационных или частотно-контрастных преобразований.

Так как при изменении динамического диапазона нетождественные градационные преобразования неизбежны, то в первую очередь рассмотрим их влияние с учетом возможного изменения порога зрительного восприятия, обусловленного различными условиями рассматривания.

Постановка задачи. Без потери общности в качестве оригинала рассмотрим изображение на экране монитора, которому соответствует некий цифровой файл.

Изображение содержит детали различной оптической плотности. Рядом расположенные детали могут отличаться на произвольное значение оптической плотности. Разности цветковых координат соседних деталей будут характеризовать контраст контуров. Вычисленные таким образом контрасты могут быть заведомо больше порога зрительного восприятия, могут быть близкими к порогу зрительного восприятия и меньше этого порога. Наблюдаемыми будут только те контуры, контраст которых будет больше порога зрительного восприятия.

При увеличении динамического диапазона в копии возможно появление ложных контуров за счет того, что не различимые в оригинале контрасты превысили порог зрительного восприятия при рассматривании копии. При уменьшении динамического диапазона некоторые контрасты могут стать меньше зрительного порога рассматривания копии и исчезнуть. В общем случае независимо от изменения динамического диапазона возможны оба вида дефектов.

Градационное преобразование относится к классу поэлементных, то есть изменяющих значение цветовой координаты каждого пикселя независимо от цветковых координат остальных пикселей изображения.

По этой причине невозможно построить градационную кривую, которая обеспечивала бы точность воспроизведения контурной информации. Действительно, контраст контура зависит от значения цветковых координат соседних деталей и, следовательно, требуется различное

градационное преобразование для различных пространственных частей изображения, то есть требуется как минимум локальное преобразование, зависящее от окружения изменяемого пикселя.

Одним из таких широко используемых для улучшения изображений является частотно-контрастное преобразование, используемое для повышения резкости мелких деталей. Однако оно не подходит для данной задачи, так как зависит только от частотного, а не плотностного содержания оригинала. Алгоритмы размытия также не зависят от контраста контура, понимаемого как разность цветовых координат между соседними деталями [6].

Идея решения поставленной задачи сохранения контурной информации заключается в разделении изображения на две части. Первая часть – это окрестность малококонтрастных контуров, вторая часть – все остальное. Первая часть должна быть воспроизведена дубликационно точно с учетом порогов зрительного восприятия при рассмотрении оригинала и копии.

Вторая часть, не содержащая малококонтрастных перепадов цветовых координат, может подвергнуться градационному преобразованию, обеспечивающему наилучшее психологически точное копирование. Далее описывается последовательность действий, реализующая данную идею, основанную на дубликационном подходе к воспроизведению контурной информации, предложенном Артюшиной [7].

Этапы реализации дубликационного подхода. Последовательность действий при выполнении автоматизированной подготовки изображений для управления воспроизведением контраста контуров представлена на рис. 1. Каждый блок отражает существенные для предлагаемого алгоритма этапы. Первым этапом является переход от любых цветовых координат к оптическим плотностям – логарифмическим единицам измерения.

Такая необходимость связана с тем, что предметом нашего исследования является преобразование малококонтрастных перепадов соседних деталей. Согласно закону Вебера-Фехнера в широком диапазоне условий рассматривания зрительный порог выражается именно как постоянное значение логарифма яркости [8].

Кроме того, необходимо изменить формат представления цветовых координат путем перехода от квантованного сигнала к «непрерывному». Это позволит избежать шума округлений.



Рис. 1. Последовательность операций при выполнении автоматизированной подготовки изображений для управления воспроизведением контраста контуров

Следующим этапом является выделение контуров оригинала с учетом порога зрительного восприятия при рассматривании оригинала. Для этого может использоваться любой из проверенных эффективных методов и алгоритмов [6], уже реализованных в среде MatLab. Далее вводится понятие контраста контура и его количественное выражение рис. 2.

Контраст контура рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta K_{ij} = \max |D_{ij} - D_{i+p, j+q}|, \text{ где}$$

ΔK_{ij} – контраст контура,

D_{ij} – значение оптической плотности в точке $[i, j]$,

$D_{i+p, j+q}$ – значение оптической плотности в точке,

$[i+p, j+q]$ – ближайшая точка к $[i, j]$ из окна 3 на 3 пикселя.

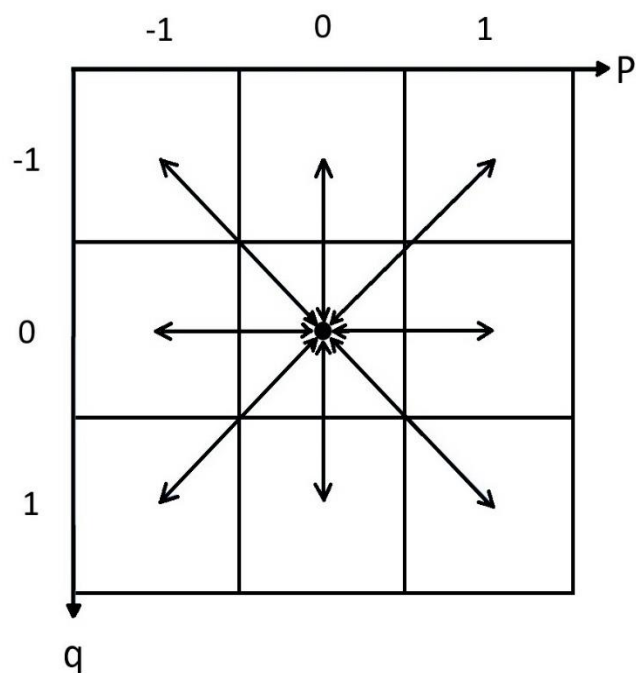


Рис. 2. Определение контраста контура

Определенный таким образом контраст количественно характеризует перепад оптических плотностей между соседними деталями в каждой точке контура и позволяет провести разделение контуров по этой величине.

Для разбиения изображения на две описанные выше части вводится понятие окрестности контура (рис. 3).

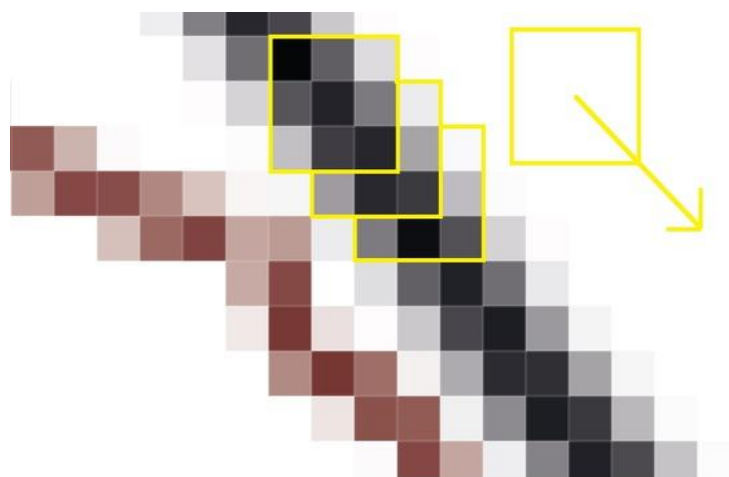


Рис. 3. Схема выделения окрестности контура

Из рисунка видно, что в окрестность контура попадает некоторое количество пикселей соседствующих деталей. Существенно, что их оптические плотности определяются как относительные значения, то есть за вычетом оптических плотностей менее плотной детали изображения. Окрестность контура находится при помощи последовательного оператора выделения границ объекта и морфологической операции дилатации [6].

Следующей операцией является разделение исходного изображения на две части. Первая часть содержит окрестности контуров, имеющих контраст, не превышающий два порога зрительного восприятия. Предлагается при любых градационных преобразованиях воспроизводить эту часть тождественно при совпадении порогов при рассматривании оригинала и копии, или линейно, обеспечивая соответствие порога рассматривания копии порогу рассматривания оригинала. Вторая часть изображения получается путем вычитания из оптических плотностей каждого пикселя оригинала оптические плотности первой части изображения – окрестности малококонтрастных контуров. Таким образом достигается, что вторая часть будет содержать только высококонтрастные перепады оптических плотностей между соседними деталями. Эти перепады при любом градационном преобразовании, обеспечивающем психологическую точность воспроизведения, не приведут к искажению контурной информации. Рис. 4 иллюстрирует проводимые различные градационные преобразования.

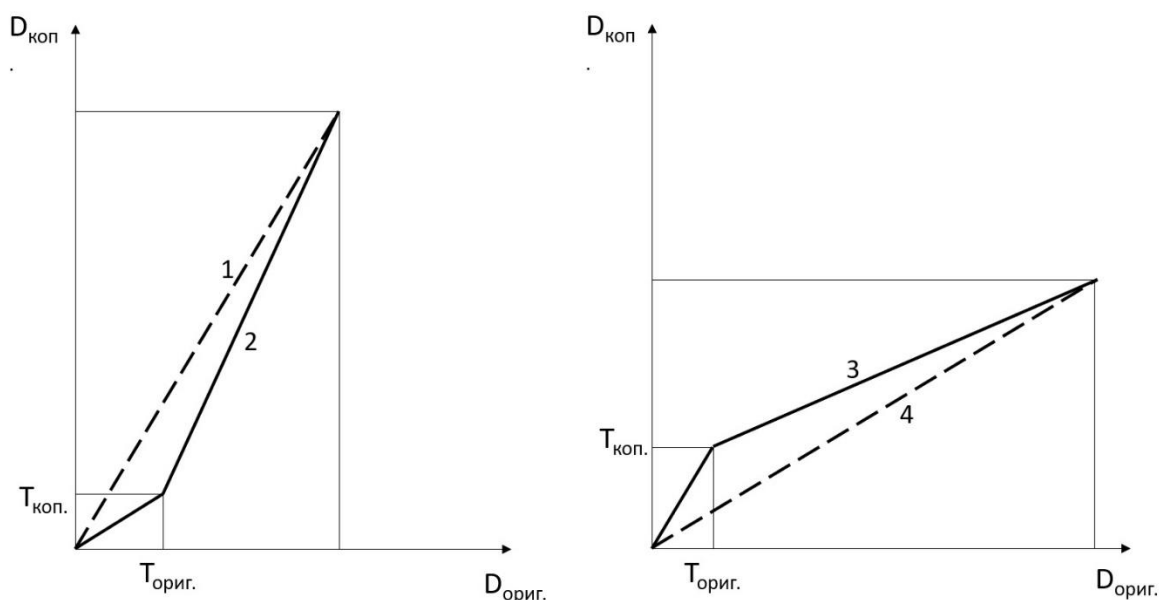


Рис. 4. Проведение градационных преобразований при увеличении и уменьшении контраста копии по отношению к оригиналу, где $D_{ориг.}$ – диапазон оптической плотности оригинала, $D_{коп.}$ – диапазон оптической плотности копии, $T_{ориг.}$ – порог восприятия оригинала, $T_{коп.}$ – порог восприятия копии

После отдельного проведения градационных преобразований копия собирается как сумма оптических плотностей. Тем самым достигается сохранение контурной информации.

Программная реализация представленного алгоритма проведена в среде MatLab. Схема алгоритма определения окрестности контура представлена на рис. 5.

Проверка эффективности дубликационного подхода. Для проверки эффективности предлагаемого алгоритма был разработан и создан тест, содержащий высококонтрастные, надпороговые и подпороговые перепады оптической плотности соседних деталей рис. 6.

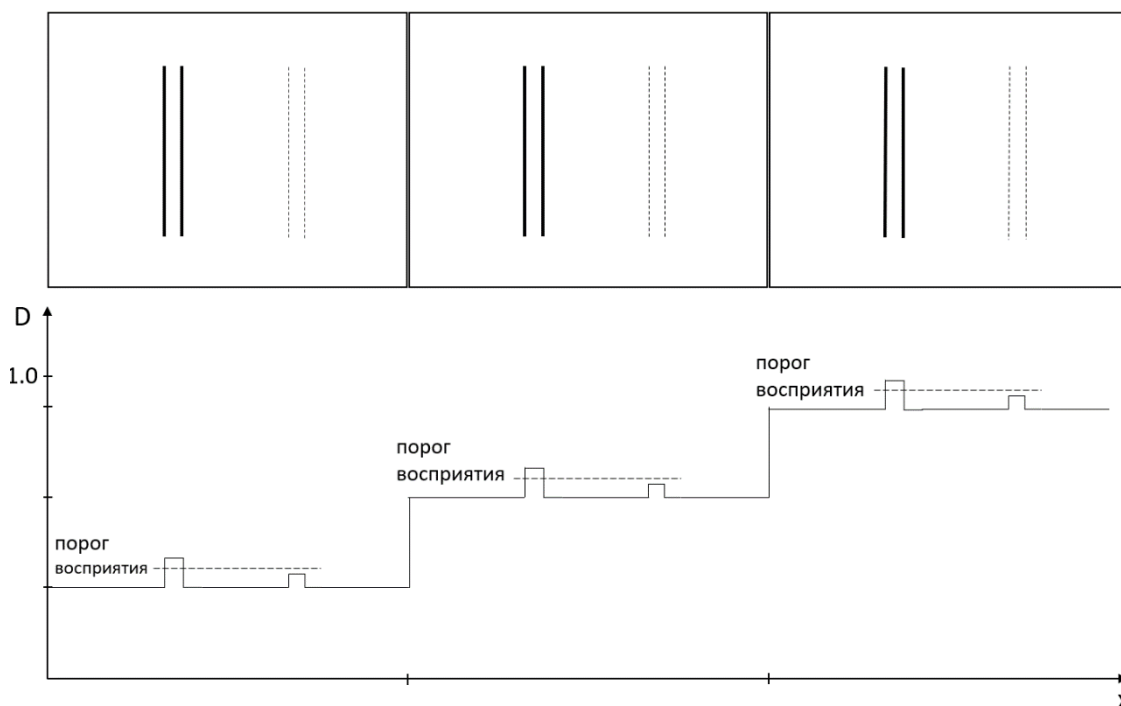


Рис. 5. Схема алгоритма определения окрестности контура, где D – оптическая плотность, x – пространственная координата

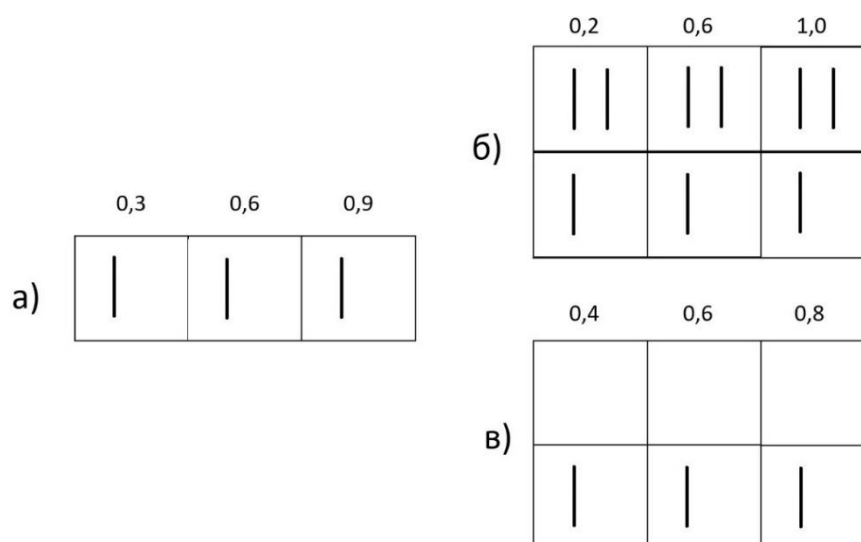


Рис. 6. Тест, содержащий высококонтрастные, надпороговые и подпороговые перепады оптической плотности соседних деталей, где а) – исходное изображение с нормальным динамическим диапазоном, б) – изображение с расширенным динамическим диапазоном, в) – изображение со сжатым динамическим диапазоном; числами обозначены значения оптической плотности при уменьшении или увеличении контраста

Было проведено моделирование копирования теста с увеличением динамического диапазона. Моделирование показало, что при равномерном увеличении контраста всего изображения на всех трех полях визуально обнаруживается дополнительный контур, который в оригинале имел подпороговый контраст и был не виден. При применении к тесту разработанного

алгоритма достигается требуемое увеличение динамического диапазона и вместе с тем сохраняется контурная информация.

Также было проведено моделирование копирования теста с уменьшением динамического диапазона. Моделирование показало, что при равномерном уменьшении контраста всего изображения на всех трех полях визуально не обнаруживается ни один контур, то есть происходит потеря контурной информации. При применении к тесту разработанного алгоритма достигается требуемое уменьшение динамического диапазона и визуально обнаруживается контур, присутствующий в оригинале, то есть контурная информация сохраняется.

Заключение. На основании введенного понятия контраста контура предложен алгоритм автоматизированной обработки изображений, позволяющий обеспечить точность воспроизведения контурной информации. Отличительной чертой подхода является использование в качестве координат цвета логарифмических единиц и введенной на их основе колориметрической метрики. Существенным является определение окрестности контура. Программная реализация алгоритма выполнена в среде МатЛаб. Экспериментальное опробование проведено на специально сконструированных тест-объектах и сюжетном изображении (рис. 7), имеющем множество мелких деталей малого контраста. Приведенные данные убедительно демонстрируют эффективность подхода.



Рис. 7. Экспериментальное опробование алгоритма на тестовом изображении, где а) – изображение до обработки, б) – изображение после обработки

Список литературы

1. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами 2010: Труды научно-технической конференции-семинара. Вып. 4 / Под ред. Р. Р. Назирова. — М.: КДУ, 2011. — С. 11–44.
2. Vinokur A.I. Information Technologies in Culture and Education: Image Processing Issues // Vinokur A.I. // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9(5), P. 314-322.
3. Vinokur A.I. Information Systems: Problems of Image Registration and Reproduction // Vinokur A.I. Artjushina I.L. // Publishing & Printing. – 2015. – N 3. – P. 25-31.
4. Комар В.Г. Отчёт по научно-исследовательской работе «О критерии резкости изображения в кинематографе и об оценке качества изображения в различных системах кино» // НИКФИ 1961 г.
5. Артюшин Л. Ф. Основы воспроизведения цвета в фотографии кино и полиграфии. - Москва: Искусство, 1970. - 548 с.

6. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение [Электронный ресурс] пер. с англ. - 2-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 752 с.
7. Артюшина И.Л., Винокур А.И. О точности передачи градационной и структурной информации в репродукционных процессах // Сборник научных трудов Научно-исследовательского кинофотоинститута «Методы совершенствования технологии кинематографии с использованием вычислительной техники».- Москва: 1996. - С. 43-47.
8. Кравков С.В. Пороги ощущения и их измерение / Психология ощущений и восприятия. Хрестоматия по психологии. – М: 1999. - С. 242-249

Дата поступления: 17 июля 2018 г.