

УДК 004.932

А.А. Шамраев, Е.О. Шамраева, О.Б. Дудинова

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков*

## МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ АЭРОФОТОСНИМКОВ

*Статья посвящена разработке модифицированного метода обработки цветных картографических изображений с целью улучшения их качества. Повышение качества происходит за счет изменения яркостной компоненты изображения в цветовом пространстве HSI методом гамма-коррекции. Входные и выходные данные представлены в цветовом пространстве RGB. Предложенный метод может быть использован для обработки аэрофотоснимков с низким разрешением в геоинформационных системах различного функционального назначения.*

**Ключевые слова:** картографические изображения, гамма-коррекция, HSI и RGB пространства.

### Введение

Развитие цифровых технологий, спутниковых навигационных систем и систем дистанционного сбора геоданных позволило повысить полноту и достоверность картографической информации, используемой в геоинформационных системах (ГИС) различного функционального назначения.

Цифровые картографические данные, в частности, аэрофотоснимки, получают двумя способами, один из которых предполагает сканирование аналоговых фотоснимков, полученных в процессе аэрофотосъемки, а второй – использование цифровых съемочных систем (сенсоров) непосредственно в процессе съемки [1]. Однако, независимо от способа получения цифровых картографических данных, аэрофотоснимки могут содержать не только полезную информацию о расположении объектов (зданий, дорог, водных ресурсов), но и помехи, вызываемые бликами солнца, тенями от объектов и т.д., которые существенно снижают качество формирования карты или плана местности. Для устранения помех на снимках необходима специальная компьютерная обработка картографических изображений. Функции обработки информации в ГИС должны обеспечивать: ввод и вывод информации; управление графическими и тематическими базами данных, поиск и сортировку информации, редактирование и обновление данных, выдачу информации по запросам, а также ее визуализацию, т. е. наглядное отображение на экране монитора информации, хранящейся в цифровой форме в графических и тематических базах данных. При этом информация может быть выдана на экран как в виде картографического изображения, так и в виде таблиц, графиков, диаграмм и т. п., отображающих результаты выполненного анализа данных. Работа с картографическим изображением предусматривает возможность его перемещения в произвольном направлении, масштабирование, настройку элементов оформления

изображения (цвет, тип линий и т.п.), управление окнами на экране; редактирование изображения, а также проведение совместного анализа графической и тематической информации, позволяющего выявлять связи и закономерности между объектами и явлениями, динамику развития тех или иных процессов.

Обработку информации в ГИС можно разбить на три уровня:

– на уровне сбора информации – дешифрирование фотоснимков и картографических изображений, обработка данных дистанционного зондирования цифровыми фотометрическими системами для получения координатных данных, преобразование геодезических измерений в координатные данные, группировка атрибутивных данных по классификационным признакам, характеризующим свойства объектов;

– на уровне моделирования – редактирование картографических данных, анализ атрибутивных данных, формирование отчетных форм по запросам пользователей и др.;

– на уровне представления данных – генерализацию картографических изображений – отбор и отображение картографических объектов соответственно масштабу, содержанию и тематической направленности.

В данной статье рассматривается возможность повышения качества исходных изображений, получаемых с помощью аэрофотосъемки, для последующего использования в ГИС. При этом решается задача обработки цветных картографических изображений на основе модифицированного метода гамма-коррекции, который позволил бы увеличить детальность и качество исходного изображения.

### Фотометрическая коррекция изображений

Фотометрическая обработка цифровых аэрофотоснимков основана на допущении, что внешний

вид и форма объекта на участке изображения могут быть описаны распределением градиентов интенсивности или направлением краев. Реализация этих дескрипторов может быть произведена путем разделения изображения на связные области, именуемые ячейками, и расчетом для каждой ячейки гистограммы направлений градиентов или направлений краев для пикселей, находящихся внутри ячейки. Для увеличения точности локальные гистограммы подвергаются нормализации по контрасту. С этой целью вычисляется мера интенсивности на большем фрагменте изображения, который называется блоком, и полученное значение используется для нормализации. Нормализованные дескрипторы обладают лучшей инвариантностью по отношению к освещению.

Для фотометрической коррекции изображения может быть использована связь между его компонентами, описываемая уравнением [1]:

$$\rho_{out} = a\rho_{in} + b, \quad (1)$$

где  $\rho_{in}$ ,  $\rho_{out}$  – оптические плотности элемента изображения до и после фотометрической коррекции;  $a$  – коэффициент, определяющий соотношение между оптическими плотностями исходного и преобразованного изображений;  $b$  – параметр яркости. Оптическая плотность вычисляется как десятичный логарифм отношения интенсивностей падающего и отраженного света.

Преобразования, описываемые уравнением (1), можно представить в виде графика (рис. 1), отражающего связь оптических плотностей элементов изображения до их коррекции (вертикальная ось) и после коррекции (горизонтальная ось).



Рис. 1. График фотометрической коррекции изображения

Фотометрическая коррекция выполняется путем изменения яркости изображения, его контрастности, либо изменением характера соотношений между оптическими плотностями до и после их преобразования.

Изменение яркости выполняется путем уменьшения или увеличения параметра  $b$  каждого пикселя на одну и ту же величину, это приводит к тому, что все элементы корректируемого изображения

становятся более светлыми или более темными. Изменение яркости группирует плотности к какому-либо одному (светлому или темному) краю спектра.

На графике (рис. 1) это иллюстрируется смещением прямой 1 (или кривой 2) вдоль горизонтальной оси.

Изменение контрастности изображения выполняется с целью изменения различий между плотностями смежных элементов и улучшения, таким образом, читаемости границы между ними. Увеличение контрастности изображения выполняется следующим образом. Если оптическая плотность  $\rho_{in}$  некоторого элемента превышает среднее значение, то она увеличивается пропорционально уровню квантования, а если она менее среднего, то уменьшается. При этом значения плотностей пикселей как бы смещаются к краям спектра: темные тона становятся еще темнее, светлые – светлее, некоторые их значения исчезают, но границы между элементами изображения становятся более четкими. При уменьшении контрастности большие плотности уменьшаются, а малые – увеличиваются; при этом плотности группируются вблизи центра. Чрезмерное увеличение контрастности преобразует полутоновое изображение в бинарное, а чрезмерное уменьшение ведет к его исчезновению.

На графике (рис. 1) рассмотренные преобразования соответствуют вращению прямой 1 (кривой 2) вокруг центральной точки.

Гамма-коррекция (тональная коррекция) изображения выполняется с целью увеличения или уменьшения его детальности, что достигается изменением передаточной функции  $a$  уравнения (1), определяющей характер преобразования.

На графике (рис. 1) гамма-коррекция соответствует изменению кривизны и общего наклона линии 1 (или 2).

Обычно в качестве гамма-коррекции используется степенная функция вида:

$$I_{out} = c \cdot I_{in}^{\gamma}, \quad (2)$$

где  $I_{in}$  – интенсивность исходного изображения;  $I_{out}$  – интенсивность преобразованного изображения;  $c$ ,  $\gamma$  – положительные константы.

Зависимость яркости на выходе от входной яркости при различных значениях  $\gamma$  представлена на рис. 2.

В случае, когда  $\gamma < 1$ , узкий диапазон малых входных значений яркости преобразуется в широкий диапазон выходных значений. При  $\gamma = 1$  изменений не наблюдается. При  $\gamma > 1$  эффект при преобразовании прямо противоположный случаю, когда  $\gamma < 1$ .

Неправильное использование гамма-коррекции может привести к уменьшению числа полутонов и преобладанию областей одного тона.

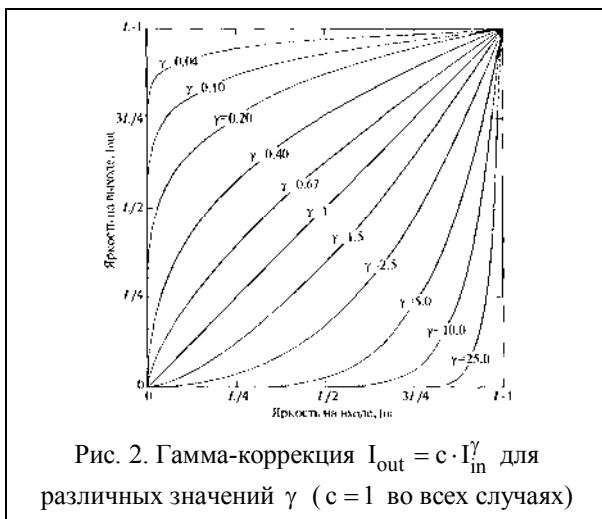


Рис. 2. Гамма-коррекция  $I_{out} = c \cdot I_{in}^\gamma$  для различных значений  $\gamma$  ( $c = 1$  во всех случаях)

### Обработка аэрофотоснимков

В ходе фотометрической обработки снимков возникает необходимость различного рода их преобразований, связанных как с улучшением читаемости, так и с изменением размеров изображения (например, при уменьшении или увеличении снимков в процессе их трансформирования). В первом случае говорят о фотометрической коррекции (оптических преобразованиях) цифрового изображения, а во втором – об изменении его геометрического разрешения, или о геометрических преобразованиях. Цветные изображения представляют собой совокупность трех цветовых плоскостей, каждая из которых характеризует одну независимую составляющую цвета, и специфика обработки таких изображений связана, прежде всего, с различными цветовыми моделями, позволяющими по-разному работать с составляющими изображения. Основной задачей обработки цветного картографического изображения, решаемой в работе, является коррекция его яркости при неизменности цветового тона. Поэтому целесообразно преобразовать исходное RGB изображение в цветовую модель HSI в соответствии со следующими зависимостями [2]:

$$\begin{aligned}
 H &= \begin{cases} \theta & \text{при } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{при } B > G \end{cases}, \\
 S &= 1 - \frac{3 \cdot [\min(R, G, B)]}{(R + G + B)}, \\
 I &= \frac{1}{3}(R + G + B),
 \end{aligned} \tag{3}$$

где  $H$  – цветовой фон,  $S$  – насыщенность,  $I$  – интенсивность,

$$\theta = \arccos \left( \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right).$$

Тогда задача повышения качества (увеличения детальности) исходного изображения решается пу-

тем преобразования только одной компоненты  $I$  при неизменных значений  $H$  и  $S$  [3].

Для увеличения детальности исходного изображения будем использовать модифицированный метод гамма-коррекции, особенностью которого является выбор значения  $\gamma$ , осуществляемый путем анализа гистограммы интенсивности  $I_{in}$  в соответствии со следующим алгоритмом:

1) по гистограмме определяется глобальный ( $I_{max}^0$ ) и  $k$  локальных ( $I_{max}^k$ ) максимумов интенсивностей;

2) для каждого локального максимума гистограммы производится расчет коэффициентов  $\alpha_k$ :

$$\alpha_k = \frac{I_{max}^k}{I_{min}^k + 1}, \tag{4}$$

где  $I_{max}^k$  – значение  $k$ -го локального максимума;  $I_{min}^k$  – значение локального минимума в диапазоне между глобальным максимумом и рассматриваемым локальным;

3) тот из локальных максимумов, для которого значение  $\alpha_k$  окажется наибольшим, выбирается в качестве второго основного максимума гистограммы;

4) выбираем значение локального минимума  $I_{min}^k$ , расположенное между глобальным и найденным локальным максимумами;

5) расчет значения  $\gamma$  осуществляется по следующей формуле:

$$\gamma = 128 / (256 - I_{min}^k). \tag{5}$$

На рис. 3, а приведен фрагмент засветленной карты города.

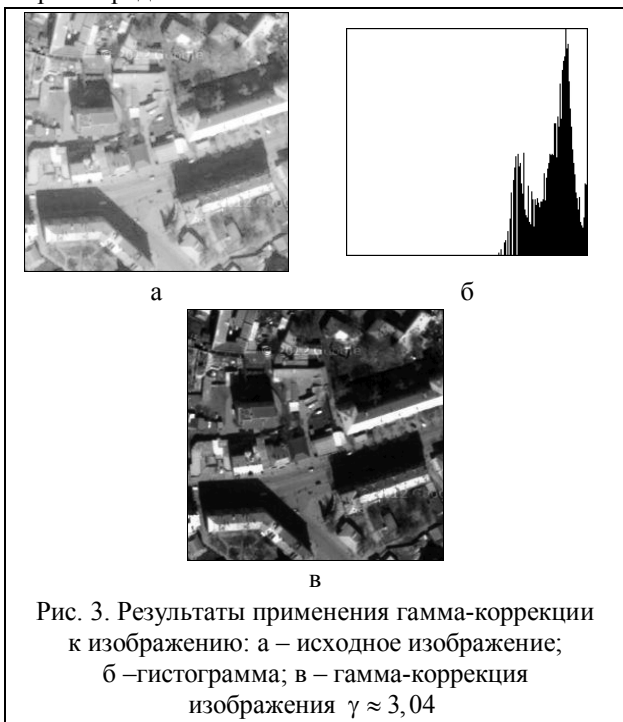


Рис. 3. Результаты применения гамма-коррекции к изображению: а – исходное изображение; б – гистограмма; в – гамма-коррекция изображения  $\gamma \approx 3,04$

Рис. 3, б представляет гистограмму интенсивности исходного изображения. Рис. 3, в демонстрируют гамма-коррекцию при  $I_{\min}^k = 214$  ( $\gamma \approx 3,04$ ). Для удобства восприятия рисунки приведены в системе RGB. На рис. 4, а приведен фрагмент затемненной карты города. Рис. 4, б представляет гистограмму интенсивности исходного изображения. Рис. 4, в демонстрирует гамма-коррекцию при  $I_{\min}^k = 51$  ( $\gamma \approx 0,62$ ). После улучшения качества изображения путем изменения компоненты I, осуществляется обратный перевод изображения в систему RGB согласно выражениям (5) – (7).

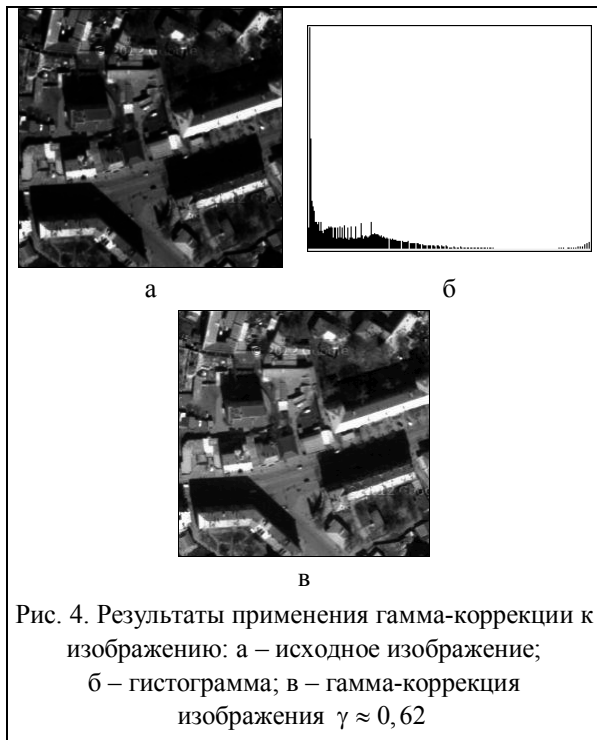


Рис. 4. Результаты применения гамма-коррекции к изображению: а – исходное изображение; б – гистограмма; в – гамма-коррекция изображения  $\gamma \approx 0,62$

Если значение  $H$  находится в RG секторе ( $0^\circ \leq H < 120^\circ$ ), то RGB координаты определяются по формулам:

$$\begin{aligned} B &= I(1-S), \quad G = 3I - (R + B), \\ R &= I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

#### МЕТОД КОМП'ЮТЕРНОЇ ОБРОБКИ КОЛЬОРОВИХ АЕРОФОТОЗНІМКІВ

А.А. Шамраев, О.О. Шамраева, О.Б. Дудінова

Роботу присвячено розробці методів обробки кольорових картографічних зображень з метою поліпшення їх якості. Підвищення якості відбувається за рахунок зміни яскравісної компоненти зображення в кольоровому просторі HSI за методом гамма-корекції. Вхідні та вихідні зображення подаються у кольоровому просторі RGB.

**Ключові слова:** картографічні зображення, гамма, HSI і RGB простори.

#### COMPUTER PROCESSING METHOD FOR DIGITAL AIRPHOTOS

A.A. Shamraev, E.O. Shamraeva, O.B. Dudinova

The given work is devoted to developing the processing methods for color digital cartographic images aimed at their quality improvement. Quality improvement reaches due to changes in the luminance of image's component in HSI color space by gamma correction. Input and output data are expressed in the color space RGB. The proposed method can be used for the processing of low-quality aerial photos.

**Keywords:** cartographic image, gamma-correction, HSI and RGB color spaces.

Если значение  $H$  находится в GB секторе ( $120^\circ \leq H < 240^\circ$ ), то  $H = H - 120^\circ$ .

После этого RGB координаты определяются по формулам:

$$\begin{aligned} R &= I(1-S), \quad B = 3I - (R + G), \\ G &= I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Если значение  $H$  находится в BR секторе ( $240^\circ \leq H < 360^\circ$ ), то  $H = H - 240^\circ$ .

Затем RGB координаты определяются по формулам:

$$\begin{aligned} G &= I(1-S), \quad R = 3I - (G + B), \\ B &= I \left[ 1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

#### Выводы

В работе рассмотрена задача обработки цветных картографических изображений и предложен алгоритм, позволяющий повысить качество обработанных снимков.

Предложенный модифицированный метод гамма-коррекции позволяет увеличить детальности исходного изображения и определить значение  $\gamma$  на основе анализа гистограммы интенсивности.

Метод может быть эффективно использован для компьютерной обработки аэрофотоснимков в ГИС различного функционального назначения.

#### Список литературы

1. Назаров А.С. Цифровые, аналоговые снимки местности и их измерение / А.С. Назаров. – Минск: БГУ. – 13 с.
2. Gonzalez R.C. Digital Image Processing / R.C. Gonzalez, R.E. Woods. – Prentice Hall, 2008. – 954 p.
3. Удовенко С.Г. Методы обработки картографических изображений / С.Г. Удовенко, А.А. Шамраев, Е.О. Шамраева // 23-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМуКо'2013). – Севастополь: Вебер, 2013. – С. 394-395.

Поступила в редколлегию 25.06.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук О.Г. Руденко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.