

УДК 004.932.2

ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОЙ НАСЫЩЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И ЕЕ ПОТЕРЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕДУР УЛУЧШЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Я.В. Петросян

Военный учебно-научного центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия»

В статье рассматривается методика оценки информационной насыщенности цифрового изображения как физического носителя информации, а также её потери при проведении процедур улучшения визуального восприятия. Предлагается методика расчёта маски потери информации, позволяющей выделить места изображения, в которых произошло сокращение яркостной неоднородности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЦИФРОВОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ, УЛУЧШЕНИЕ ВОСПРИЯТИЯ.

При проведении дешифрирования данных аэрофотосъёмки основная работа проводится визуально, даже при наличии современных комплексов обработки данных воздушной разведки. На качество дешифрирования большую роль оказывает опыт дешифровщика и качество аэрофотоматериала. Аэрофотоснимки должны иметь нормальную экспозицию и достаточную контрастность. Если эти требования нарушаются, по каким-либо причинам, то проводятся операции по улучшению их визуального качества. Современная аппаратура позволяет производить аэрофотосъёмку в цифровом виде и применять компьютерные методы обработки данных аэрофотосъёмки.

Неудовлетворительное качество цифровых аэрофотоснимков может быть вызвано недостаточной естественной освещённостью местности и атмосферными явлениями ухудшающими видимость. При этом аэрофотоснимки не используют весь диапазон фотографической широты. Они, как правило, являются малоконтрастными, что затрудняет работу дешифровщика. При цифровой обработке изображений в подобных случаях используют алгоритмы улучшения визуального качества изображений. К ним относят: линейное контрастирование, нормализация и эквализация гистограммы, нелинейные функции преобразования гистограммы, а также различные фильтры, в том числе и частотные [1].

Если говорить об обработке экспериментальных данных, то никакие методы не могут увеличить количество информации, которая была измерена при эксперименте. Можно выделить только какой-либо интересующий нас аспект, при этом часть информации может быть потеряна. При улучшении визуального качества аэрофотоснимков некоторая часть информации также теряется. Могут быть потеряны детали в тёмных или светлых участках изображения. Дешифровщику необходимо знать, не потерял ли снимок часть важной информации при улучшении его визуального качества.

Операции по улучшению визуального качества изображений относятся к предварительной обработке изображения. Предварительная обработка включает два класса операций – точечные операции и геометрические операции. В сущности, эти два типа операций определяют, «каким» является пиксель и «где» он. Здесь будут рассматриваться только точечные операции. Точечные операции изменяют уровни яркости в отдельных пикселях, в зависимости от их уровня яркости и от уровня яркости соседних пикселей.

Если для изменения уровня яркости используется только яркость самого пикселя, то такие методы относят к гистограммным методам, так как для определения коэффициентов изменения яркости требуется анализ гистограммы яркости снимка.

Если для изменения уровня яркости учитываются яркости соседних пикселей, то требуется для каждого пикселя изображения вычислить коэффициент изменения яркости отдельно. Такие методы называют – фильтрами.

Суть гистограммных методов заключается в том, чтобы подобрать функцию f , такую чтобы равномерно распределить плотности яркостей гистограммы по всему её диапазону. В терминах классической фотографии это означает, что будет использована вся фотографическая широта фотоматериала, то есть изображение будет иметь вид нормально экспонированного.

При преобразовании гистограммы изображения два различных уровня яркости могут быть отображены в один.

Это означает, что количество уровней яркости сокращается, хотя они распределяются на весь диапазон гистограммы яркости [1]. Если объект на изображении малоконтрастный, то граница между объектом и фоном может быть потеряна, то есть объект при дешифрировании будет потерян.

Такие алгоритмы как: линейное контрастирование, нормализация и эквализация, а также нелинейные функции преобразования гистограммы имеют в своей основе анализ гистограммы яркости изображения и её преобразование.

Гистограмма яркости изображения – это гистограмма распределения полутонов изображения, в котором по горизонтальной оси представлена яркость, а по вертикали – относительное число пикселей с данным значением яркости.

Изучив гистограмму, можно получить общее представление о правильности экспозиции, контрасте и цветовом насыщении изображения, оценить требуемую коррекцию как при съёмке, так и при последующей обработке. В общем случае гистограммные преобразования можно выразить формулой:

$$I_p = f(I_u), \quad (1)$$

где: I_u, I_p – исходная яркость пикселя и его результирующая яркость, f – функция преобразования яркостей.

Для эффективного проведения вычислений используют таблицу подстановки, которая ставит в соответствие яркость исходного пикселя и его яркость после преобразования. Если изображение в градациях серого имеет 256 уровней квантования (оттенков серого), то таблица подстановки рассчитывается как

$$T_k = -f(k), k = 0, 1, 2, \dots, 255, \quad (2)$$

где: k – индекс яркости (0 – чёрное, 255 – белое). Тогда преобразование изображения с использованием таблицы подстановки выражается формулой:

$$I'_{i,j} = T_{I_{i,j}}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n-1, j = 0, 1, 2, \dots, m-1, \quad (3)$$

где $I_{i,j}$ и $I'_{i,j}$ – яркости исходного и полученного пикселя соответственно, n и m – количество пикселей изображения по вертикали и горизонтали.

Проанализировав таблицу подстановки можно легко показать, какие яркости исходного изображения будут объединены в одну яркость на полученном изображении исходя из условия:

$$I_k = I_{l \neq k}, k, l = 0, 1, 2, \dots, 255, \quad (4)$$

то есть, если какие-либо элементы таблицы содержат одинаковые индексы яркости, то на полученном изображении они будут иметь одинаковую яркость, хотя на исходном изображении яркость была разной.

На рисунке 1 представлены изображения: «а» – исходное, «б» – полученное, «с» – маска, в которой белые области соответствуют областям полученного изображения, в которых произошло объединение хотя бы двух яркостей исходного изображения, то есть выполнено условие (4).

Изображение на рисунке 1с будем называть маской потери информации, её можно использовать для окрашивания полученного изображения, например в красный цвет, в тех областях, где произошла потеря информационной насыщенности изображения. Это позволит дешифровщику оценивать вероятность пропуска искомого объекта из-за проведения операции улучшения визуального качества изображения. Так, если потеря информации произошла на акватории, а производится поиск наземного объекта, то такая потеря информации не может быть критичной.

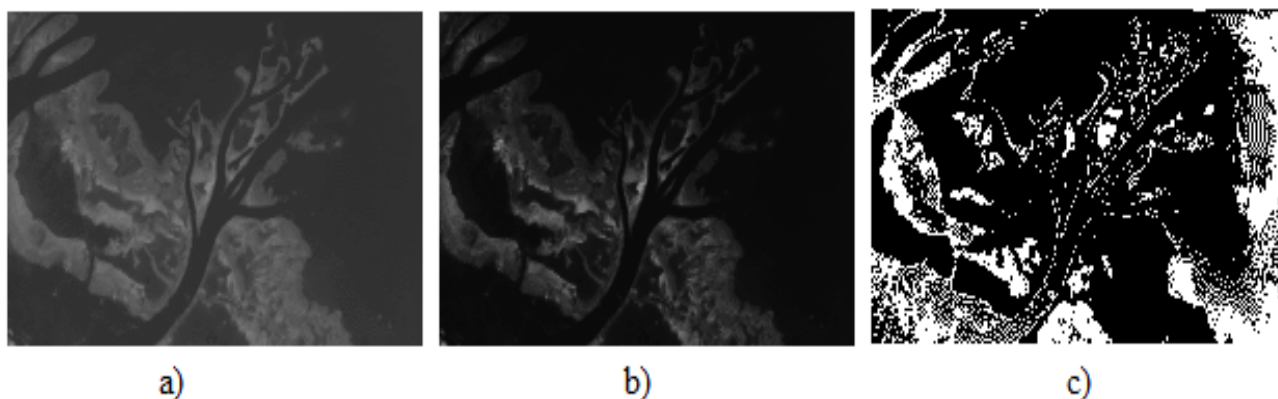


Рис. 1. Усиление контрастности изображения

(а – исходное, б – полученное изображение, с – маска, в которой белые области соответствуют областям полученного изображения с потерей информации об изменениях яркости).

В данном методе расчёт маски потери информации не учитывает положения пикселей и яркость их окрестностей. Объединение яркостей пикселей в одну градацию может происходить для пикселей расположенных не рядом друг с другом, а потому без потери границы. Поэтому данный метод определения маски потери информации приводит к явному завышению площади участков с потерей информационной насыщенности снимка. Хотя метод анализа гистограммы и приводит к явному завышению участков изображения с потерей информации, но он приведён здесь как очевидный и потому требуется упоминание о том, что он был рассмотрен.

Улучшение изображения может производиться с использованием фильтров[1], которые не используют таблицу подстановки. В этом случае маску потери информации можно получить, сравнивая исходное и полученное изображение.

Идея метода заключается в том, чтобы сравнить количество границ на исходном и полученном изображении. Под границей понимается наличие яркостной неоднородности, поэтому потерей информационной насыщенности изображения можно считать потерю яркостной неоднородности между пикселями, которая и определяет видимые границы. Отсюда следует, что если пиксел потерял одну, или несколько границ в своей окрестности (между соседними пикселями), то информационная насыщенность в его окрестности уменьшилась. Каждый внутренний пиксел изображения имеет 8 соседних. Количество границ можно определить по формуле

$$G_{i,j} = \sum_{i1=i-1}^{i+1} \sum_{j1=j-1}^{j+1} \left| \text{sign} (I_{i1,j1} - I_{i,j}) \right| \quad (5)$$

Если пиксел отличается по яркости от всех соседних, то (5) даст значение 8, если разницы нет, то – 0.

Для определения уменьшения информационной насыщенности на исходном и полученном изображении для каждого пиксела вычислим количество изменений яркости между ним и окружающими его пикселями по (5). Если пиксели с равными индексами исходного и полученного изображения имеют равные коэффициенты G_{ij} , то потери информационной насыщенности не произошло. Маску потери информации можно рассчитать по формуле:

$$M_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{если } G^u = G^n \\ 1 & \text{иначе} \end{cases} \quad (6)$$

Здесь элементы маски M_{ij} имеют значения 0, если потери информационной насыщенности не произошло. Очевидно, что этим способом можно оценить только внутренние пиксели изображения. Результат оценки изображений а) и б) на рисунке 1 по (6) представлен на рис. 2.

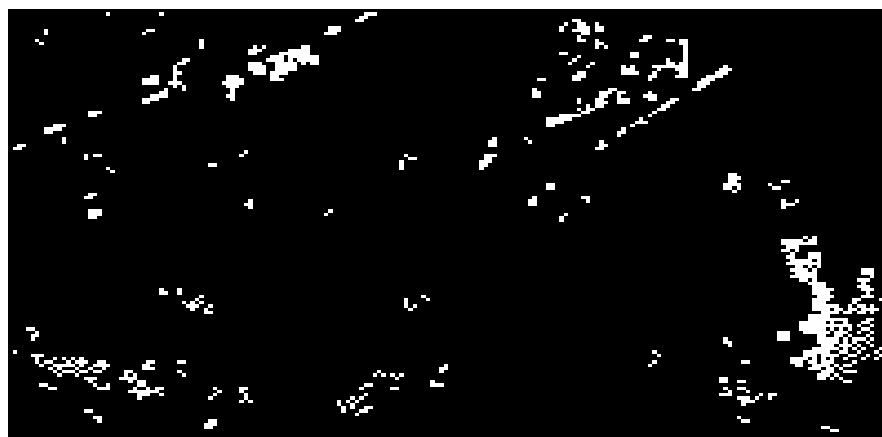


Рис. 2. Маска потери информации, полученная с использованием (6).

Данный метод вычисления маски даёт точные результаты. Рассчитав отношение чёрных областей на маске потери информации к общей площади изображения получим коэффициент Q' , который показывает оставшуюся долю информации на изображении после проведения операции улучшения его визуального качества (в данном случае $Q'=0,947$).

При работе с цветными изображениями необходимо оценивать каждый цветовой канал. Например, в цветовой модели RGB можно считать, что граница между пикселями существует, если есть различие яркости хотя бы в одном цветовом канале. Маску потери информативности для цветного изображения модели RGB можно рассчитать по формуле (7).

$$M_{i,j} = \begin{cases} \left(\begin{aligned} &0, \text{ если } (G_{i,j}^{R_{и}} = G_{i,j}^{R_{п}}) \vee \\ &\vee (G_{i,j}^{G_{и}} = G_{i,j}^{G_{п}}) \vee \\ &\vee (G_{i,j}^{B_{и}} = G_{i,j}^{B_{п}}) \end{aligned} \right) \\ 1, \text{ в другом случае} \end{cases} \quad (7)$$

Здесь верхние индексы коэффициента G обозначают один из каналов цветовой модели RGB и принадлежность коэффициента исходному (и) и полученному (п) изображению. При этом коэффициенты G рассчитываются для каждого цветового канала по (5).

Можно поступить по-другому. Рассчитать коэффициент G , оценивая наличие яркостной границы сразу в трёх цветовых каналах по формуле (8).

$$G_{i,j} = \sum_{i1=i-1}^{i+1} \sum_{j1=j-1}^{j+1} \begin{cases} \left(\begin{aligned} &1, \text{ если } ((I_{i1,j1}^R - I_{i,j}^R) > 0) \vee \\ &\vee ((I_{i1,j1}^G - I_{i,j}^G) > 0) \vee \\ &\vee ((I_{i1,j1}^B - I_{i,j}^B) > 0) \end{aligned} \right) \\ 0, \text{ в другом случае} \end{cases} \quad (8)$$

Тогда рассчитать маску потери информации можно по (6).

При коррекции цветного изображения различные цветовые каналы несут информацию о различных объектах и уменьшение информационной насыщенности происходит не одинаково. Поэтому цветное изображение теряет меньше информации, чем полутоновое при одних и тех же процедурах улучшения визуального качества.

Покажем это на примере. На рисунке 3 приведены исходные и преобразованные цветовые составляющие изображения. Цветное изображение было преобразовано в программе Photoshop с использованием инструмента «Кривые», так, чтобы изображение было в меру ярким и контрастным.

Для каждого цветового канала по (5) были рассчитаны маски потери информации, которые показаны на рис. (4).

Из рисунка 4 видно, что больше всего яркостную неоднородность потерял канал R ($Q'=0,431$), меньше G ($Q'=0,712$), и совсем не было потери информации в канале B ($Q'=1$). Поэтому, согласно (7), можно сказать, что информационная насыщенность цветного изображения не уменьшилась. Действительно, при визуальном сравнении исходного и преобразованного изображения нельзя сказать, что появились такие места, в которых пропали какие-либо детали.

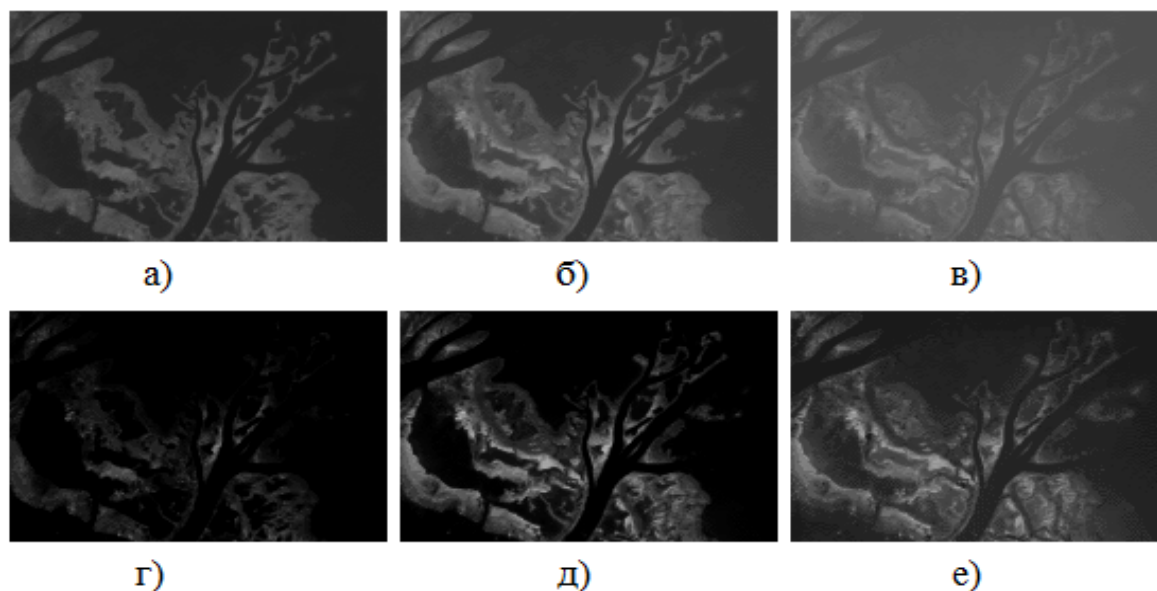


Рис. 3. Цветовые компоненты исходного и преобразованного изображения в цветовой модели RGB.

а), б), в) – цветовые компоненты R, G, B исходного изображения соответственно,
г), д), е) – цветовые компоненты R, G, B преобразованного изображения соответственно.



Рис. 4. Маски потери информации для изображений рисунка 3.

а) для канала R, б) для канала G, в) для канала B.

Можно поставить вопрос о том, насколько информативно изображение изначально. Вопрос об информативности изображения носит скорее субъективный характер. Ведь каждый человек в одном и том же изображении может увидеть для себя только его интересующие вещи. Но очевидно, что более информативным изображением будет признано то, на котором больше объектов. Количество объектов определяется количеством границ между ними, поэтому под информативностью изображения будем понимать плотность яркостной неоднородности, то есть физическое изображение рассматривается как носитель информации. Хорошим примером может считаться QR-код, в котором может быть закодировано любое текстовое сообщение.

Измерять количество информации изображения в битах нельзя, так как масштабирование изображения приводит к сокращению длины файла, но может не привести к потере информации, то есть к потере различных объектов на изображении. Кроме того, выделять алфавит и сообщения для изображений тоже не представляется возможным, поэтому удобнее говорить об информационной насыщенности изображения, которую будем измерять в долях единицы.

Полутонное изображение с информационной насыщенностью 1 будем считать такое гипотетическое изображение, где каждый пиксел отличается по яркости от пикселей своей окрестности.

Для цветного изображения определим, что информационная насыщенность 1 будет в том случае, когда каждый пиксел отличается по яркости от пикселей своей окрестности во всех трёх каналах.

Тогда информационную насыщенность изображения будем определять по отношению его яркостной неоднородности к гипотетическому изображению с полной (единичной) информационной насыщенностью.

Для оценки количества информации в изображении необходимо оценить изменчивость яркости, или количество границ между пикселями. Формула (5) показывает, сколько изменений яркости имеет окрестность вокруг центрального пикселя. Для всего изображения информационную насыщенность оценим по формуле:

$$Q = \frac{1}{8(n-2)(m-2)} \sum_{i=2}^{n-2} \sum_{j=2}^{m-2} G_{i,j} \quad (9)$$

Напомним, что индексация пикселей в изображении производится от 0, а при расчёте G_{ij} участвуют только внутренние пиксели изображения. На рисунке 5 представлены изображения с различной детализацией и проведён расчёт информационной насыщенности по (9).

Из рисунка видно, что максимальное количество информации имеет изображение «б», так как имеет большее количество различимых деталей. Изображение «а» имеет малое количество деталей, большую площадь занимают области с одинаковой яркостью ($Q=0,283$). QR-код имеет $Q=0,432$. Объясняется это тем, что чёрные и белые точки имеют размеры более 1 пикселя, то есть они сами являются площадными объектами, кроме того QR-код имеет только две яркости (чёрный и белый) поэтому количество возможных вариантов в изменениях яркости центрального пикселя и его окрестностей снижается.

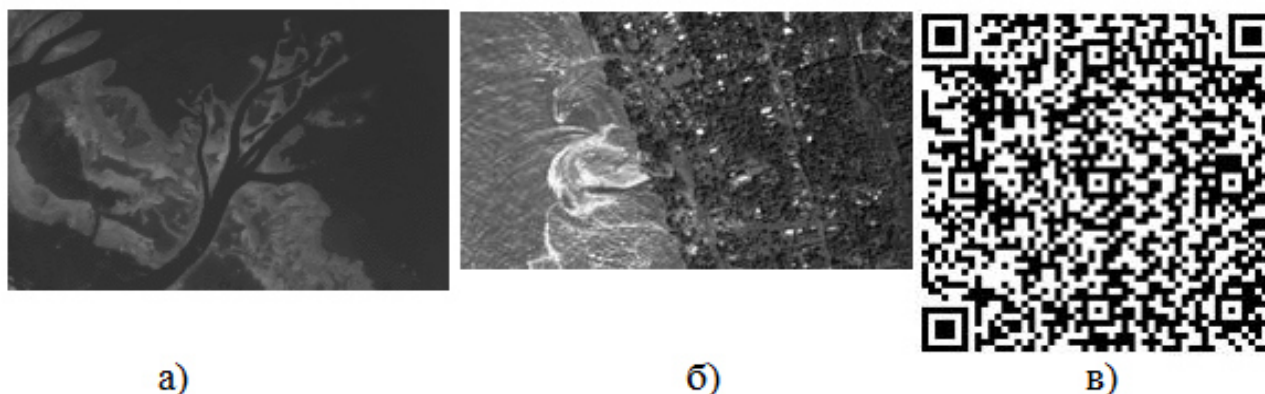


Рис. 5. Примеры изображений с разной плотностью изменения яркости (разной детализацией)
а) – $Q=0,283$; б) – $Q=0,489$; в) – $Q=0,432$.

Информационную насыщенность цветного изображения можно оценить по формуле:

$$Q^{RGB} = \frac{Q^R + Q^G + Q^B}{3} \quad (10)$$

При оценке информационной насыщенности изображение «а» на рисунке 5 было преобразовано в полутонное, при этом $Q=0,283$. Исходное цветное изображение, рассчитанное по (10) имеет $Q=0,554$.

Как и следовало ожидать, цветное изображение имеет большую информационную насыщенность и теряет меньше информации при проведении процедур улучшения визуального восприятия.

Подводя итог, отметим, что представленная методика оценки информационной насыщенности как полутонного, так и цветного изображения позволяет:

- определять области с потерей информации, которая происходит при улучшении визуального качества;
- оценивать информационную насыщенность исходного изображения.

Данную методику можно использовать:

- в информационных системах для подбора из серии изображений наиболее информативных;
- выявления наиболее информативных фрагментов больших изображений путём деления изображения на полигоны и оценки информативности каждого полигона;
- оценки методов коррекции визуального качества изображений с точки зрения сохранения границ между объектами (лучшим должен считаться тот метод, который сохраняет максимум границ, то есть приводит к наименьшей потере информации).

THE ESTIMATION OF INFORMATION SATURATION OF DIGITAL AEROPHOTOGRAPHY IMAGES AND ITS LOSS WHILE IMPLEMENTING PROCEDURE FOR VISUAL PERCEPTION IMPROVEMENT

Y.V. Petrosyan

The article deals with the methodology estimate of information saturation of digital image as an information carrying medium and also its loss while implementing procedure for visual perception improvement. The methodology of loss data mask estimation is suggested that permits to mark out images in which the reduction of intensity heterogeneity has taken place.

KEYWORDS: INFORMATION SATURATION OF DIGITAL IMAGE, VISUAL PERCEPTION IMPROVEMENT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р. Вудс Р. Цифровая обработка изображений [Книга]. - М.: Техносфера, 2006.
2. Б. Яне Цифровая обработка изображений [Книга]. - М.: Техносфера, 2007.
3. Грузман И.С. Киричук В.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах [Книга]. - Новосибирск: НГТУ, 2002.