сти приемника излучения.

tor's sensitivity.

Надійшло до редакції 16 травня 2005 року

УДК 681.7.013.8

# ПРОГРАММНЫЕ МЕТОДЫ НОРМАЛИЗАЦИИ ЯРКОСТИ И КОНТРАСТНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСКАЖЁННЫХ ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПУЧКОВ ЛУЧЕЙ В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ВВОДА

Агалиди Ю.С., Левый С.В., Мачнев А.М., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Рассматриваются основные оптические источники неравномерности освещённости приёмников изображения. Предлагаются средства программного восстановления яркости и контрастности изображений. Описывается алгоритм коррекции изображений, построенный на использовании передаточной функции системы, полученной экспериментальным путём

## Вступление

Одним из важных показателей качества изображений, построенных оптической системой, является соответствие распределения яркости предмета, и освещённости, создаваемой изображением предмета в плоскости приёмника изображения (освещённости изображения). Для оценки качества изображений в теории Линфута [1] в виде меры качества предложен уровень корреляции между распределением яркости предмета и распределением освещённости изображения.

Тем не менее, в оптических системах могут иметь место искажения распределения освещённости изображения, обусловленные ограничением пучков лучей. В таких системах, обладающих пространственными неоднородностями передаточной функции, происходят нарушения распределения яркости и контрастности изображений, что затрудняет их исследования и обработку.

В теории расчёта оптических систем [2] принято оценивать освещённость элементарной внеосевой площадки  $E'_{e\omega}$  из соотношения:

$$E'_{e\omega} = k_{\omega} \cdot E'_{e} \cdot \cos^{4} \omega', \qquad (1)$$

где  $k_{\omega}$  – коэффициент линейного виньетирования;

*Е'*<sub>*e*</sub> – освещённость элементарной осевой площадки;

 $\omega'$  – угол между оптической осью и осью пучка лучей в пространстве изображений, который образует изображение центра элементарной внеосевой площадки (главный луч).

Таким образом, при равномерной яркости объекта и наличии виньетирования, убывание освещённости изображения от центральной части к периферии объективно имеет место (1). Для большинства оптических приборов виньетирование 20-65% считается допустимым, в некоторых приборах (например, широкоугольные объективы) виньетирование может превышать 70% [2-3].

Кроме того, в оптических системах со значительными отклонениями лучей от гомоцентричности, могут присутствовать аберрации в зрачках (рис. 1а), которые обусловлены ограничением диафрагмой части параксиальных пучков [2-

3, 6]. В этом случае, при условии круглых апертур, искажение освещённости приемника изображения носит кольцевой характер центрально-симметричный относительно оптической оси (рис. 16, в).

И, наконец, оптические конструкции не идеальны: компоненты приборов могут иметь местные дефекты (внутренние напряжения, царапины, пыль, пузырьки воздуха), материалы могут иметь оптические неоднородности и т.п. Все эти факторы также влияют на распределение освещённости приёмника изображения.



а) ход лучей (пунктирная линия соответствует лучам, ограниченным диафрагмой);
б) функция освещённости изображения в осевом сечении; в) пространственное распределение освещённости изображения

Рисунок 1 – Аберрации в зрачках системы

Большинство из перечисленных проблем может быть решено путём аналитического расчёта [2-4] и совершенствования технологии изготовления. Однако, практика эксплуатации оптических приборов [5-7] показывает, что в силу различных обстоятельств (требований малогабаритности или максимальной светосилы, требований перенастройки увеличений в широком диапазоне, нарушений рабочих режимов эксплуатации, экономических ограничений, производственных дефектов) проблема неравномерности освещённости приёмника изображения для пользователей остаётся актуальной. В то же время, развитие цифровых технологий (в первую очередь – фотоприёмников ПЗС и компьютерной техники) позволяет выполнение коррекции введённых изображений программными методами. Так, в работе [8] рассматриваются алгоритмы преобразования изображений с целью нормализации яркости и контраста, однако эти преобразования выполняются безотносительно к коррекции искажений, создаваемых системой оптического ввода.

Поскольку в компьютерных системах оптического ввода-вывода изображений существует многократное преобразование сигнала (яркость предмета – освещённость изображения – потенциалы ПЗС приёмника – цифровые значения потенциалов приёмника – яркость изображения при выводе), то предлагается для всех неоптических аналогов яркости использовать термин «уровень».

## Постановка задачи

Целью данной статьи является исследование возможностей программного восстановления яркости и контрастности изображений, искажённых пространственными неоднородностями передаточной функции системы оптического ввода. С этой целью, на примере системы ввода изображений с неопределёнными оптическими параметрами выполняется экспериментальное определение закона искажения яркости и контрастности изображения оптической системой, проводится физическая трактовка результатов, устанавливается закон коррекции, описывается соответствующий алгоритм восстановления, приводятся результаты экспериментальной проверки алгоритма восстановления изображения.

## Описание исследуемой системы оптического ввода и тестовых изображений

В виде экспериментальной установки для исследования возможностей программной коррекции изображений была выбрана система ввода с неопределёнными (неизвестными) оптическими параметрами, обладающая ярко выраженной неравномерностью освещённости приёмника изображения. Такой подход соответствует постановке задачи, поскольку предполагает экспериментальное, а не теоретическое, определение закона искажения в системе ввода изображений. Наличие значительных искажений изображений в экспериментальной установке обусловлено требованиями к миниатюризации устройства и максимальной светосиле системы.

Поле зрения системы порядка 14 х 11мм отображается ПЗС матрицей 582 х 500 элементов (420 TV линий, 50 полей в секунду) с динамическим диапазоном более 50ДБ. Оцифровка и ввод в компьютер черно-белого изображения 352 х 288 точек выполняется с уровнем 8бит на точку. Источник освещения - красный светодиод с пиковой длиной волны 660нм.

Для исследования характера искажения уровней системой ввода предлагаются 2 тестовых изображения, введённых при неизменных параметрах системы ввода. Изображение бинарного тест-объекта с уровнями белого и чёрного, соответствующими предельным значениям динамического диапазона исследуемого сигнала (рис. 2) иллюстрирует: характер искажения контрастности изображения; согласование динамических диапазонов сигнала и системы ввода. Изображение однотонного (50% серого) тест-объекта (рис. 3) иллюстрирует характер искажения яркости изображения системой ввода, в т.ч. – дефекты оптики, приведенные к плоскости изображения (рис. 3 поз. 1-2).

На рис. 4 приведены графики уровней горизонтальных сечений изображений тест-объектов для центральных частей изображений. Перепады контрастности (размах между соседними амплитудами белого и черного) для бинарного объекта составляют около 30% (рис. 4 поз. 1). Перепады яркости для серого объекта также составляют около 30% (рис. 4 поз. 2). При этом глобальные экстремумы яркости и контраста бинарного объекта совпадает с экстремумами яркости серого объекта.



Рисунок 2 – Исходное изображение бинарного тест-объекта



Рисунок 3 – Исходное изображение серого тест-объекта



1 – бинарного; 2 – серого Рисунок 4 – Графики яркости горизонтальных сечений изображений тестобъектов  виньетирования; 2 - аберраций в зрачках; 3 – результирующей.
 Рисунок 5 – Вид функций распределения освещённости изображения

# Экспериментальное определение закона искажений уровней

Совместный анализ теоретических предпосылок и распределений уровней тест-объектов (рис. 4) позволяет сделать следующие предположения:

- а) Если оптическая система обладает виньетированием (рис. 5 поз. 1) и аберрациями в зрачках (рис. 5 поз. 2), то прогнозируемый вид функции распределения освещённости изображения должен соответствовать кривой (рис. 5 поз. 3).
- b) Поскольку пространственное распределение уровней тест-объектов (рис. 4) соответствует прогнозируемому виду функции распределения освещённости изображения (рис. 5 поз. 3), то, вероятно, исследуемая оптическая система обладает виньетированием и аберрациями в зрачках.

с) На качественном уровне характер искажений яркости и контрастности изображения бинарного объекта (рис. 4 поз. 1) совпадает с характером искажений яркости изображения серого объекта (рис. 4 поз.2) и описывается одним и тем же законом передаточной функции системы.

Для уточнения возможности использования функции яркости серого тестобъекта в качестве характеристики передаточной функции системы выполняется проверка в динамдиапазоне сигнала (на модели яркости горизонтальных сечений бинарного объекта).

С этой целью по данным графика (рис. 4 поз. 1 и 2) построены упрощённые модели функций яркости горизонтальных сечений изображений тест-объектов (рис. 6 поз. 1 и 2) с шагом оцифровки, позволяющим отобразились все локальные экстремумы основной частоты бинарного объекта. Затем, с использованием функции яркости серого объекта, рассчитаны функции, соответствующие яркостям белого и чёрного для бинарного объекта:

$$A_{white}(x) = F_{gray}(x) \cdot \max (F_{binary}(x)) / \max (F_{gray}(x))$$

$$A_{black}(x) = F_{gray}(x) \cdot \min (F_{binary}(x)) / \min (F_{gray}(x)),$$
(2)

 $A_{black}(x) = \Gamma_{gray}(x)$  ппп ( $\Gamma_{binary}(x)$ ), ппп ( $\Gamma_{gray}(x)$ ), где  $A_{white}(x)$ ,  $A_{black}(x)$  – функции, соответствующие яркостям белого и чёрного для бинарного объекта;

 $F_{gray}(x) - функция яркости серого объекта;$ 

 $F_{i \ binary}(x) - функция яркости бинарного объекта.$ 

Как видно из графика, функции (рис. 6 поз. 3 и 4), полученные линейным преобразованием функции яркости серого объекта по соотношениям (2), могут быть успешно использованы в виде огибающих для яркостей белого и чёрного бинарного объекта, т.е. пригодны во всём динамдиапазоне сигнала.

Таким образом, на основании того факта, что функция яркости серого характеризует искажения яркости среднего уровня (собственно серого) и экстремумов бинарного сигнала, можно выдвинуть предположение, что эта характеристика универсальна и может выступать в качестве характеристики передаточной функции системы, т.е. приемлема для любой яркости точки изображения полученного данной системой оптического ввода. При этом коррекцию (восстановление) яркости в произвольной (i-й) точке изображения  $C_{i \ correct}$  предлагается выполнять из соотношения:

$$C_{i \text{ correct}} = C_i \cdot \max (F_{gray}(x)) / F_{i \text{ gray}}, \qquad (3)$$

где *С<sub>i</sub>* – значение уровня і-й точки введённого изображения;

 $F_{i\,gray}(x) - функция уровней серого объекта;$ 

*F*<sub>*i* gray</sub> – значение уровня і-й точки серого объекта.

Для рассматриваемой модели бинарного объекта результат коррекции яркостей по соотношению (3) представлен на (рис. 7 поз. 2). Сопоставление исходной функции (рис. 6, 7 поз. 1) и результата коррекции (рис. 7 поз. 2) однозначно указывает на эффективность применённой коррекции (выравнивание средней яркости и яркостей локальных экстремумов).



 1 – бинарного; 2 – серого; 3 – огибающей максимумов бинарного; 4 - огибающей минимумов бинарного
 Рисунок 6 – Модели функций яркости горизонтального сечения объектов



 до коррекции; 2 – после коррекции Рисунок 7 – Модели функций яркости горизонтального сечения бинарного объекта

#### Описание алгоритма коррекции искажений яркостей

Программная реализация предложенного алгоритма имеет некоторые особенности, связанные с «не идеальностью» серого изображения (фона). В частности, фон имеет локальные аномалии, обусловленные неравномерностью освещения предмета и дефектами оптики, приведенными к плоскости изображения. Кроме того, фон содержит небольшую шумовую составляющую, обусловленную шумами системы ввода. Поэтому исходная матрица кадра фона {B<sub>ij</sub>} подвергается двум преобразованиям (медианной фильтрации фона и вычислению огибающей):

 $\{M_{ij}\} = F_{median}\{B_{ij}\}$  – медианная фильтрация, выполненная по окружению каждой точки кадра. Значения  $\{B_{i-1j}, B_{i+1j}, B_{ij-1}, B_{ij+1}, B_{i+1j-1}, B_{i+1j+1}, B_{i+1j+1}\}$  упорядочиваются по возрастанию, и точке  $M_{ij}$  присваивается значение 4-го элемента упорядоченной последовательности. Это позволяет несколько ослабить шумы системы ввода и сохранить аномалии, связанные с дефектами оптики.

 $\{E_{ij}\} = F_{envelope}\{B_{ij}\}$  – вычисление огибающей кадра с окном N x N:

Введенные кадры {A<sub>ii</sub>} подвергаются следующему преобразованию:

 $A_{norm ij} = (A_{ij} - M_{ij}) \cdot E_{ij} / E_{max} + A_{mid},$ 

где  $E_{max} = Max \{E_{ij}\}$  – максимальное значение огибающей фона,  $A_{mid} = \Sigma A_{ij}$  – среднее значение яркости введенного кадра.

Таким образом, нормализованный кадр {A<sub>norm ij</sub>} не содержит дефектов оптики, приведенных к плоскости изображения, и имеет выровненные параметры яркости и контрастности по всему полю изображения.

#### Экспериментальная проверка алгоритма коррекции

Экспериментальная проверка описанного алгоритма коррекции яркостей

выполнялась для полученных ранее изображений бинарного и серого тестобъектов (рис. 2, 3). Изображения с восстановленными уровнями, приведенные на (рис. 8, 9), по субъективной оценке (визуальному восприятию и сопоставлению с предметами) обладают более высоким качеством изображения, чем исходные изображения (рис. 2, 3). Существенно ослаблены, по отношению к исходным (рис. 3 поз. 1-2), дефекты оптики, приведенные к плоскости изображения.

Перепады яркости для бинарного объекта на приведенном графике (рис. 10 поз. 1) составляют около 8% для уровней белого и около 6% для уровней черного, перепады контрастности не превышают 8%.





Рисунок 8 – Результат коррекции яркостей изображения бинарного тестобъекта

Рисунок 9 – Результат коррекции яркостей изображения серого тестобъекта

Перепады яркости для серого объекта на приведенном графике (рис. 10 поз. 2) составляют около 4%.



 1 – бинарного; 2 – серого
 Рисунок 10 – Графики уровней горизонтальных сечений изображений тестобъектов по результатам коррекции

### Выводы

1. В виде передаточной функции систем оптического ввода, обладающих ограничением пучков лучей, влияющим на распределение освещённости изображения, может быть использована полученная экспериментально функция яркостей серого тест-объекта. Данная передаточная функция может быть применена для программной коррекции яркостей введённых изображений.

2. В процессе программного восстановления изображений устраняются последствия неравномерности распределения освещённости изображения, обусловленной ограничением пучков лучей в оптических системах: выравнивается яркость и контрастность изображения. Кроме того, приведенный алгоритм позволяет минимизировать влияние местных дефектов оптики, приведенных к плоскости изображения.

3. Предложенный способ коррекции изображений не увеличивает пространственного разрешения и не расширяет динамический диапазон системы оптического ввода, но улучшает соотношение сигнал/шум системы (за счёт минимизации влияния местных дефектов оптики).

4. Область применения данной модели коррекции ограничивается линейным участком динамического диапазона системы оптического ввода.

Полученные в работе результаты могут быть использованы для коррекции яркости и контрастности изображений, например, полученных устройством магнитооптического контроля изделия [9].

#### Литература

- 1. E.H.Llnfoot. "Fonrirer methods in Optical Image Evaluation", The Focal Press, L. and H.Y., 1964.
- 2. Бегунов Б.Н. и др. Теория оптических систем. М.: Машиностроение, 1981. 432 с.
- 3. Панов В.А., Кругер М.Я. и др. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Л.: Машиностроение, 1980. – 742 с.
- 4. Русинов М.М. Техническая оптика. Л.: Машиностроение, 1979. 488 с.
- 5. Харольд Сьютер. Тест оптики телескопа. Перевод с английского: С.Л. Аксенов. Опубликовано в журнале «Звездочёт» №12, 2001. <u>http://www.astronomy.ru</u>
- 6. Розивика И. Астрономические окуляры вчера и сегодня. <u>http://abyse.starlab.ru/BiblioOnline.htm.</u>
- 7. Афанасенко М.А. Разумно о фото. <u>http://www.afanas.ru</u>
- Труфанов М.И. Математическая модель яркостной нормализации изображений при калибровке системы технического зрения. Всероссийская конференция по проблемам математики, информатики, физики, химии. http://conference.sci.pfu.edu.ru/40/sections/omeimage.html.
- 9. Пат. 42880 України, 7G 01N27/82, Спосіб магнітооптичного контролю виробу / Лєвий С.В., Агаліді Ю.С. №99074257; Заявл. 22.07.1999; Опубл. 15.11.2001; Бюл. ДДІВ №10.

Агаліді Ю.С., Лєвий С.В., Мачнєв О.М.	Agalidy U., Leviy S., Machnev A. Program
Програмні методи нормалізації яскравісті	brightness and contrast normalization me-
та контрастності зображень, спотворених	thods for images which were distorted as a
обмеженням пучками промінів в оптич-	result of raw restriction in optical input sys-
них системах вводу.	tems.
Розглядаються основні оптичні джерела не-	The main sources of image receptor nonuni-
рівномірності освітлення приймачів зобра-	formity illumination are examined. Program
ження. Пропонуються засоби програм-ного	methods for brightness and contrast restoration
відновлення яскравості та контраст-ності	are proposed. Proposed correction algorithm is
зображень. Описується алгоритм корекції	based on transfer function which was evaluated
зображень, побудований на вико-ристанні	by experimental method.
передавальної функції системи, отриманої	
експериментальним шляхом.	
Hadijuno do podaruji	

Надійшло до редакції 06 липня 2005 року

#### УДК 535.3

# КОМПЛЕКСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ОГЛЯДОВО-ВІЗИРНИХ СИСТЕМАХ КЕРОВАНИХ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

#### Микитенко В.І., Національний технічний університет України, м. Київ, Україна

В роботі досліджується залежність стратегій комплексування від технічних параметрів середовища, в рамках якого відбувається комплексування інформації в оглядово-візирних системах

## Вступ

Комплексування інформації використовується дуже широко у всіх галузях знань: від економіки і соціології - до медицини і технічних наук. Суть цього процесу полягає в ухваленні будь-якого рішення про стан досліджуваного об'єкту на підставі даних, отриманих з різних джерел з метою підвищення ефективності ухваленого рішення. Комплексування здійснюється між джерелами інформації та центром ухвалення рішень (ЦУР). У разі реалізації всієї інформаційної системи у вигляді окремих фізичних пристроїв, при комплексуванні необхідно брати до уваги досліджуваний об'єкт, набір інформаційних чутників і ЦУР (рис. 1).



Рисунок 1 – Основні елементи задачі комплексування