

ՀՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱՅԻ ԵՎ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ՊՐՈԲԼԵՄՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ՔՈՒՐԿՉԻՅԱՆ Վարդան Վարդգեսի

ՊԱՏԿԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ
ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԵՎ ԾՐԱԳՐԵՐԻ ՀԱՄԱԼԻՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Ե.13.05 – “Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ և ծրագրային
համալիրներ” մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական
աստիճանի հայցման ատենախոսություն

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան – 2012

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

КУРКЧИЯН Вардан Вардгесович

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА
И ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.13.05 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Ереван – 2012

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտում

| | | |
|----------------------------|----------------------|--|
| Գիտական ղեկավար՝ | տ.գ.դ. | Դ. Գ. Ասատրյան |
| Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ | Ֆ.-մ. գ.դ. տ.գ.թ. | Է. Մ. Պողոսյան Ռ. Գ. Հակոբյան |
| Առաջատար կազմակերպություն՝ | | Երևանի կապի միջոցների գիտահետազոտական ինստիտուտ |

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է՝ 2012 թ. հունիսի 15-ին, ժ. 16⁰⁰ - ին ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտում գործող 037 – “Ինֆորմատիկա և հաշվողական համակարգեր” մասնագիտական խորհրդի նիստում, հետևյալ հասցեով՝ Երևան, 0014, Պ. Սևակի փ. 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ինստիտուտի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2012 թ. մայիսի 15-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝
Ֆ.-մ. գ.դ.



Հ.Գ. Մարուխանյան

Тема диссертации утверждена в Институте проблем информатики и автоматизации НАН РА

| | | |
|------------------------|--|-------------------------------|
| Научный руководитель: | д.т.н. | Д. Г. Асатрян |
| Официальные оппоненты: | д.ф.-м.н. к.т.н. | Э. М. Погосян Р. Г. Акопян |
| Ведущая организация: | Ереванский научно-исследовательский институт средств связи | |

Защита диссертации состоится 15 июня 2012 г. в 16⁰⁰ на заседании Специализированного совета 037 «Информатика и вычислительные системы» Института проблем информатики и автоматизации НАН РА по адресу: 0014, г. Ереван, ул. П. Севака 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 15 мая 2012 г.

Ученый секретарь Специализированного совета
д.ф.-м.н.



А.Г. Саруханян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одной из важных и трудных задач теории и техники цифровой обработки изображений является регистрация изображения. Суть этой задачи состоит в нахождении соответствия всех точек двух (или более) изображений одной и той же сцены, полученных в различных условиях и/или различными техническими средствами, и последующего их совмещения. Ситуации, в которых возникает задача регистрации изображения, весьма разнообразны и покрывают широкую область технических приложений, начиная с космических исследований и кончая применением в медицинской практике.

Процесс регистрации изображения можно разбить на два достаточно самостоятельных этапа. Первый этап – определение расхождения (или определения сходства) рассматриваемых изображений. Второй этап состоит в нахождении подходящего геометрического преобразования, приводящего к изображению, в приемлемой степени сходному с исходным. Методы, относящиеся ко второму этапу, сводятся к разнообразным геометрическим преобразованиям, использующим стандартные численные методы, реализующие повороты, масштабирование, аффинные преобразования и др. Соответственно, исследования в области регистрации изображения сводятся к работам по изысканию эффективных мер сходства и адекватных геометрических преобразований изображения.

Анализ научной литературы по методам, относящимся к первому этапу, показывает, что наиболее перспективными являются методы оценивания сходства изображений, основанные на анализе структуры рассматриваемых сцен. При этом отмечается, что обычные методы, основанные на попиксельном сравнении, не всегда применимы в задачах регистрации изображения. Наиболее известными и широко распространенными мерами оценивания структурного сходства изображений являются меры типа SSIM (Structural Similarity Index) и их модификации. Однако применение этих мер также ограничено, т.к. они применяются к изображениям с одинаковыми размерами или слабо повернутыми друг относительно друга.

Указанные обстоятельства препятствуют также работам по оцениванию качества существующих и вновь создаваемых методов преобразования изображения. Поэтому разработка новых методов структурного анализа и оценивания качества изображения для повышения эффективности решения задачи регистрации является **востребованной и актуальной задачей.**

Настоящая диссертационная работа посвящена разработке методов структурного анализа и оценивания качества изображения с произвольными размерами и ориентацией, а также некоторым важным приложениям этих методов в задачах регистрации изображения.

Целью работы является изыскание эффективного подхода и соответствующих математических моделей структурного анализа и оценивания качества и на этой основе разработка, исследование и приложения комплекса алгоритмов и программ для решения задач регистрации изображения.

Для решения сформулированной цели в диссертации решены следующие **задачи**:

- исследование возможности использования свойств двумерного градиентного поля для типичных задач структурного анализа и регистрации изображения;
- разработка и исследование алгоритмов анализа градиентного поля, описываемых распределением Вейбулла;
- разработка методики структурного анализа, основанной на исследовании свойств и параметров эллипса рассеивания градиентного поля изображения;
- разработка программной системы, реализующей предложенную методику структурного анализа и оценивания качества изображения;
- приложение предложенного комплекса алгоритмов и программ к задачам анализа и регистрации изображения.

Методы исследования. В работе использовались:

- статистические методы моделирования и исследования случайных полей;
- численные методы геометрических преобразований;
- современные методы цифровой обработки изображений;
- компьютерные технологии и методы регистрации, обработки, отображения и визуализации данных.

Научная новизна. В настоящем исследовании были получены результаты, отличающиеся новизной:

- предложен подход к задаче регистрации изображения опирающийся на методы структурного анализа;
- разработаны алгоритмы анализа градиентного поля и оценивания качества изображения с использованием вейбуллиевской математической модели. Показана эффективность алгоритмов для анализа изображений с произвольными размерами и ориентацией;
- предложена математическая модель двумерного градиентного поля изображения, основанная на эллипсе рассеивания. Исследовано и выявлено соответствие обобщенных параметров и свойств эллипса к типичным задачам регистрации изображения;

- разработана методика оценивания доминантной ориентации изображения с применением обобщенных параметров эллипса рассеивания;

- введено понятие “люфта” алгоритмов поворота и масштабирования изображения, характеризующего их качество. Разработана методика исследования и оценивания качества существующих и вновь создаваемых алгоритмов и программных средств.

Практическое значение работы характеризуется следующими положениями:

- создан комплекс программ для структурного анализа и оценивания качества, расчета и визуализации важнейших свойств и параметров изображения;

- создана методика для анализа качества существующих и вновь создаваемых алгоритмов и программных систем, выполняющих операции с применением геометрических преобразований;

- сформулирован ряд практических задач регистрации изображения и предложены варианты решения с использованием предложенного комплекса.

Положения, выносимые на защиту:

- математические модели градиентного поля, основанные на распределении Вейбулла и эллипсе рассеивания, выявленные их свойства и обоснование адекватности предложенных параметров задачам регистрации изображения;

- методику оценивания доминантной ориентации изображения;

- методику оценивания качества алгоритмов и программных систем, основанную на понятии “люфта”;

- рекомендации по качеству существующих и вновь создаваемых алгоритмов и программных систем, осуществляющих повороты и масштабирование изображения;

- комплекс программ структурного анализа и оценивания качества изображения.

Достоверность научных положений обеспечивается математическим обоснованием полученных результатов, их экспериментальной проверкой путем математического моделирования и численных расчетов.

Внедрение результатов работы

Результаты работы внедрены в учебный процесс факультета прикладной математики и информатики Российско-Армянского (Славянского) университета.

Апробация работы

Основные положения и материалы диссертации обсуждались на семинарах кафедры математической кибернетики Российско – Армянского (Славянского) университета (РАУ), на научном семинаре ИПИА и на научном семинаре кафедры ГИУА «Информационной безопасности и программных систем». Основные результаты диссертации докладывались на годичных научных конференциях РАУ 2010 и 2011 гг.

Публикации

Основные результаты исследований отражены в 4 научных публикациях, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, списка использованной литературы из 72 наименований и основных выводов по диссертации. Основной текст изложен на 106 страницах, включая 28 рисунка и 21 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и практическая значимость темы диссертационной работы, кратко изложено состояние предметной области, сформулированы цели и основные задачи исследования, выделены научные результаты, отличающиеся новизной, научные положения, выносимые на защиту и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе диссертации рассмотрены понятие качества изображения и ее основные компоненты. Проанализировано современное состояние проблемы регистрации изображении на основе научной литературы, опубликованной в течение последних трех десятилетий. Выполнена классификация задач регистрации по типу получения изображения и по предмету регистрации, также рассмотрены основные этапы регистрации изображения. Далее рассмотрены конкретные методы регистрации, использующие структурную информацию изображения и согласующиеся с визуальной системой человека (ВСЧ), выявлены их преимущества и недостатки. В данной главе рассмотрены также основные классы методов и конкретные методы оценивания сходства изображений, среди которых выделяются методы SSIM и мера W^2 , использующие структурную информацию изображения.

На основании проведенного анализа литературы обоснован вывод о необходимости совершенствования алгоритмов структурного анализа и оценивания качества изображения.

Вторая глава посвящена разработке методов структурного анализа изображения, использующих распределение градиентного поля изображения.

Рассмотрим серотонное изображение (формата Gray Scale, 8 бит), интенсивность каждого пиксела которого принимает целочисленные значения из множества $\{0,255\}$. Обозначим анализируемое изображение с размерами $M \times N$ через $I = \{I(m,n)\}$, $m = 0,1,\dots,M-1$, $n = 0,1,\dots,N-1$, где $I(m,n)$ - интенсивность пиксела с координатами (m,n) .

Горизонтальный и вертикальный градиенты изображения обозначим через G_H и G_V соответственно.

В настоящей работе градиентное поле рассматривается как двумерная случайная выборка вида $G(m, n) = [G_H(m, n), G_V(m, n)]$. Магнитуду градиента в точке с координатами (m, n) определим как:

$$M(m, n) = \sqrt{G_H^2(m, n) + G_V^2(m, n)},$$

а фазу градиента – формулой

$$\Phi(m, n) = \arctg \frac{G_V(m, n)}{G_H(m, n)}.$$

Задачу структурного анализа изображения мы сводим к изучению свойств градиентного поля и их использованию для решения ряда прикладных задач.

Разработанная в диссертации методология структурного анализа базируется на двух математических моделях, описывающих важнейшие свойства градиентного поля изображения. Вкратце опишем эти модели и основные параметры, характеризующие их.

Модель I. Вейбуллевская модель магнитуды градиента. Во многих исследованиях, связанных с анализом изображений, в качестве математической модели магнитуды градиента используется распределение Вейбулла вида

$$f(x; k, \lambda) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где λ – называется параметром масштаба, а k – параметром формы.

На вейбуллевской модели основана предложенная Д. Асатрянюм и К. Егиазарянюм мера структурного сходства изображения W^2 , применение которой приводит к результатам, согласующимся с результатами визуального анализа лучше, чем другие известные меры сходства. Однако эта мера нуждалась в дальнейшем, более полном и всестороннем исследовании. В данной главе диссертации решены следующие задачи:

- а) Разработка быстродействующей программной системы по оцениванию параметров распределения Вейбулла и расчета меры W^2 по градиентному полю;
- б) Исследование поведения оценок параметров распределения Вейбулла и меры W^2 при воздействии различных факторов, искажающих изображение.

Для решения первой задачи в работе рассматриваются три наиболее распространенных аналитических метода: метод максимального правдоподобия, метод моментов и метод

наименьших квадратов. Далее проводится сравнительный анализ указанных методов, из которого следует, что метод моментов дает наименьшую ошибку, поэтому в программной системе параметры распределения Вейбулла оцениваются с помощью метода моментов. В работе предложен метод решения, не требующий большого числа операций.

Для решения второй задачи в этой главе приведено численное моделирование случайных шумов различного типа, процедуры изменения яркости, контрастности и других характеристик изображения, а также сжатия в спектральной области и гауссовского размытия. Исследовано их влияние на оценки параметров распределения Вейбулла.

При изменении интенсивности искажений, вызванных указанными факторами, в определенных пределах, обнаружен факт влияния этих факторов на тот или иной параметр распределения Вейбулла. В частности, показано, что параметр формы распределения Вейбулла слабо реагирует на изменение типа и уровня шумов, уровня яркости и степени гауссовского размытия. Однако параметр формы распределения Вейбулла пропорционально меняется от изменения контрастности изображения. Аналогично выявлена зависимость параметра масштаба от степени гауссовского размытия.

Обнаруженные выше закономерности могут быть с успехом использованы в задачах регистрации изображения, применяя к последнему соответствующие преобразования матрицы интенсивностей пикселей.

Модель II. Эллипс рассеивания градиентного поля. Анализ научной литературы показывает, что для исследования градиентного поля изображения эллипс рассеивания применяется впервые. Свойства градиентного поля изображения исследовались и другими авторами, используя отдельные численные характеристики поля. Однако оказалось, что значения и интерпретация параметров эллипса рассеивания градиентного поля лучше других согласуются с основными понятиями и характеристиками структуры и качества изображения.

Эллипс рассеивания определяется следующей формулой:

$$\frac{1}{1-\rho_{HV}^2} \left(\frac{(x-\mu_H)^2}{\sigma_H^2} - \frac{2\rho_{HV}(x-\mu_H)(y-\mu_V)}{\sigma_H\sigma_V} + \frac{(y-\mu_V)^2}{\sigma_V^2} \right) = 4, \quad (2)$$

где μ_H , μ_V , σ_H , σ_V - выборочные средние и среднеквадратические отклонения компонент градиентного поля, а ρ_{HV} - коэффициент корреляции между ними.

В работе вводится в рассмотрение следующие обобщенные параметры эллипса: угол наклона главной оси, площадь под кривой и коэффициент сжатия эллипса рассеивания.

В таблице 1 приведены выражения для указанных обобщенных параметров эллипса рассеивания, где $\mu_{11}, \mu_{20}, \mu_{02}$ - центральные моменты второго порядка распределения

градиентного поля, a' и b' - значения полуосей приведенного к каноническому виду эллипса.

Таблица 1.Обобщенные параметры эллипса рассеивания градиентного поля изображения.

| Параметр | Формула для определения |
|--------------------|--|
| Угол наклона | $\varphi = \arctg \left(\frac{2\rho_{HV}}{\sigma_H - \sigma_V - \sqrt{(\sigma_H - \sigma_V)^2 + 4\rho_{HV}^2}} \right)$ |
| Коэффициент сжатия | $K = \frac{\min(a', b')}{\max(a', b')}$ |
| Площадь | $S = \pi a' b'$ |

Далее в этой главе показано, каким образом можно использовать параметры эллипса рассеивания для структурного анализа изображения.

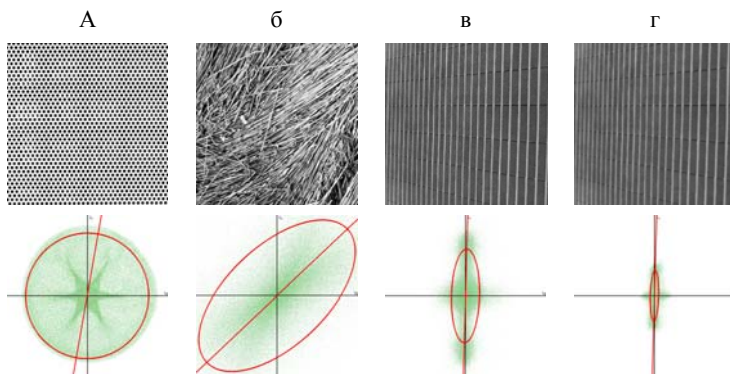


Рис. 1. Примеры эллипсов рассеивания для различных изображений.

Рассмотрим пример. На Рис. 1 приведен эллипс рассеивания для четырех изображений, а в таблице 2 соответствующие значения обобщенных параметров эллипса.

Визуальный анализ Рис. 1 показывает, что ориентация линий в изображении соответствует ориентации главной оси эллипса, а площадь и соотношение полуосей эллипса характеризуют структурные свойства изображения. Об этом свидетельствуют также числовые значения параметров, приведенные в таблице 2.

Таблица 2. Параметры эллипса рассеивания для изображений Рис. 1.

| Изображение | (а) | (б) | (в) | (г) |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| S ($\times 10^4$) | 29.46 | 18.78 | 2.64 | 0.35 |
| K | 0.98 | 0.51 | 0.33 | 0.17 |
| ϕ | 27.58 | 43.63 | 88.49 | 88.48 |

Как и в случае Модели I, проведено подробное исследование влияния различных искажающих факторов на поведение обобщенных параметров эллипса. В частности показано, что параметры эллипса рассеивания слабо реагирует на изменение типа и уровня шумов, уровня яркости и степени спектрального сжатия. Однако площадь и угол наклона главной оси эллипса пропорционально меняются от степени гауссовского размытия и изменения контрастности, а коэффициент сжатия эллипса от указанных искажений практически не меняются. Указаны также возможные применения полученных результатов в задачах регистрации изображения.

Отдельный параграф второй главы посвящен описанию программной системы, реализующей предложенные процедуры определения параметров распределения Вейбулла и эллипса рассеивания градиентного поля. В ней также реализована процедура структурного сравнения и возможность пакетной обработки изображений.

Третья глава посвящена решению следующих задач:

1. Разработка методики оценивания доминирующего направления ориентации изображения и приложения к задаче оценивания угла поворота изображения;
2. Разработка методики исследования качества произвольного алгоритма или программной системы, реализующего поворот изображения на заданный угол;
3. Разработка методики исследования качества произвольного алгоритма или программной системы, реализующего масштабирование изображения.

В этих задачах понятие качества алгоритма характеризуется степенью искажений или ошибками, вносимыми ими. Решение же этих задач в существенной мере опирается на предложенные во второй главе модели, в частности – на меру структурного сходства изображений W^2 и эллипса рассеивания градиентного поля изображения со своими обобщенными параметрами.

Методика оценивания доминирующего направления ориентации. Для успешной регистрации изображения необходимо знание угла поворота между изображениями, полученными в разных сценах.

Существуют разные подходы и разные методы определения доминирующего направления ориентации изображения. С целью сопоставления различных методов по

точности, выполнено моделирование предложенного и трех наиболее известных методов, перечисленных ниже:

1. Разница углов наклона эллипсов рассеивания;
2. Разница пиков взвешенных гистограмм фазы градиентного поля;
3. Разница углов, оцененных при помощи дескрипторов SURF.
4. Разница углов, оцененных при помощи преобразования Хафа.

При моделировании или применения любой из перечисленных мер необходимо учитывать, что любой алгоритм поворота изображения предполагает использование какого-либо метода пересчета как координат вновь полученных пикселей, так и значений их интенсивностей. Кроме того, при повороте изображения, как правило, происходит смещение полей во вновь полученном изображении, как показано на рисунке, что, естественно, усложняет алгоритм обработки. Поэтому часто приходится либо вырезать средний участок данного изображения, либо дополнять исходное изображение для получения нужной конфигурации. Однако можно обойтись и без этих операций, используя меру структурного сходства W^2 .



Рис. 1. Пример смещения полей у повернутого изображения по сравнению с оригиналом.

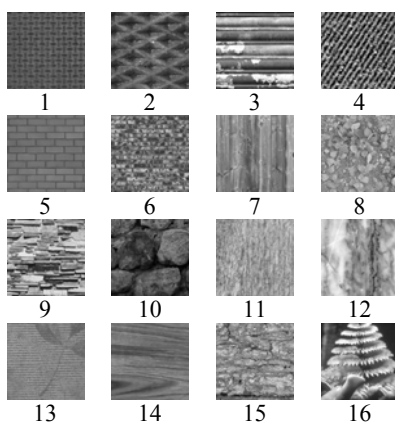


Рис. 2. Изображения, используемые для иллюстрации метода.

Сначала проведем сравнение оценки угла наклона эллипса рассеивания (мера 1) с известным значением угла поворота изображения. Для этого проведем следующий эксперимент: возьмем несколько изображений (Рис. 2) с размерами 256x256 пикселей и повернем их на углы 10, 20, 30 и 40 градусов. В таблице 3 приведены оценки угла наклона эллипса рассеивания по каждому изображению, в зависимости от известного значения угла поворота. Приведены также СКО разницы оценки угла наклона от известного значения угла поворота по всем изображениям.

Таблица 3. Оценки углов поворота и СКО углов относительно известного значения.

| Изображение | Угол | | | | Изображение | Угол | | | |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 1 | 8.79 | 18.00 | 28.14 | 39.11 | 9 | 8.83 | 18.15 | 28.43 | 39.42 |
| 2 | 9.16 | 19.06 | 28.76 | 38.66 | 10 | 10.57 | 20.71 | 30.5 | 37.18 |
| 3 | 9.26 | 19.22 | 29.18 | 39.55 | 11 | 8.35 | 17.93 | 28.86 | 40.66 |
| 4 | 9.99 | 20.84 | 31.33 | 41.68 | 12 | 9.1 | 17.14 | 27.04 | 38.52 |
| 5 | 8.44 | 17.54 | 27.81 | 39.20 | 13 | 8.9 | 18.17 | 28.07 | 38.78 |
| 6 | 9.30 | 18.53 | 28.32 | 38.86 | 14 | 9.01 | 18.77 | 29.3 | 40.46 |
| 7 | 8.74 | 17.53 | 27.94 | 38.6 | 15 | 9.57 | 19.19 | 29.65 | 40.78 |
| 8 | 9.35 | 16.72 | 30.49 | 40.37 | 16 | 13.75 | 23.88 | 30.57 | 37.31 |
| | | | | | СКО | 1.35 | 2.07 | 1.52 | 1.37 |

Из Таблицы 3 видно, что СКО углов практически не зависят от угла поворота изображения и принимают достаточно маленькие значения (1-2 градуса). Таким образом, мера 1 позволяет решать как задачу оценивания неизвестного значения угла поворота изображения относительно исходного, так и задачу оценивания результата поворота изображения на заданный угол.

Мера 2, как и предыдущая, использует градиентное поле изображения, однако вместо эллипса рассеивания она использует фазовую гистограмму градиентного поля, взвешенную по магнитудам градиента, в соответствии со следующей формулой

$$H(\alpha') = \begin{cases} \sum_i \sum_j \sqrt{(G_V(i, j) - m_V)^2 + (G_H(i, j) - m_H)^2}, & \alpha(i, j) = \alpha' \\ 0 & \alpha(i, j) \neq \alpha' \end{cases},$$

где фаза градиента определяется формулой

$$\alpha(i, j) = \arctg\left(\frac{G_V(i, j) - m_V}{G_H(i, j) - m_H}\right),$$

$\alpha(i, j) \in [\alpha_k, \alpha_{k+1})$, где $k = 0, 1, \dots, n-1$.

В завершение решения задачи 1 проведен анализ и сравнение точности перечисленных выше мер. Сравнение мер проведено на изображении текстуры, путем моделирования ситуации с поворотами изображения. На Рис. 3а показано исходное изображение с размерами 256x256, а на Рис. 3б-д изображения, повернутые на 10, 20, 30 и 40 градусов относительно исходного при помощи одного и того же алгоритма поворота. Для того, чтобы избавиться от влияния новообразованных границ, взяты вырезки центральной части повернутого изображения.

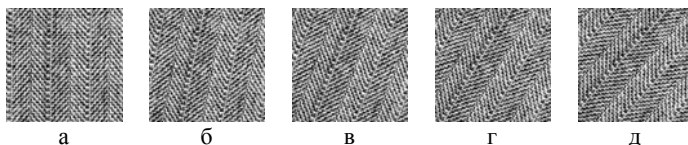


Рис. 3, а – исходное изображение, б-д – изображения после поворотов 10-40 град с шагом в 10.

Таблица 4. Оценки, полученные различными мерами.

| Алгоритм | | Угол, град. | | | | |
|----------|-----------------------------|-------------|-------|-------|-------|------|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | СКО |
| 1 | Эллипс рассеивания | 10.08 | 19.39 | 27.53 | 41.24 | 1.42 |
| 2 | Взвешенная гистограмма фазы | 5.03 | 17.09 | 28.15 | 34.19 | 4.2 |
| 3 | SURF | 8.8 | 18.6 | 29.13 | 42.14 | 1.48 |
| 4 | Преобразование Хафа | - | - | 22 | 36 | - |

В Таблице 4 приведены оценки углов поворота, полученные с помощью различных методов, а в последнем столбце таблицы приведены СКО оценок для четырех значений углов. Из таблицы видно, что для меры 1 значения СКО являются наименьшими, что положительно характеризует методику, основанную на наклоне эллипса рассеивания.

Мера, основанная на дескрипторах SURF, также показала неплохие результаты, однако, как показано в диссертации, алгоритм и соответственно программная система в несколько раз медленнее меры 1.

Мера 2 дала относительно плохие результаты, однако они лучше, чем данные, полученные с помощью преобразования Хафа, которая, как видно из таблицы, не работает для некоторых углов. Это связано с тем, что данное изображение является сложным для данного алгоритма, т.к. содержит большое количество разломов.

Методика исследования качества произвольного алгоритма или программной системы, реализующего поворот изображения. Оценивание качества алгоритма поворота изображения является важной задачей, так как выбор хорошего алгоритма поворота улучшает процесс регистрации.

Предлагаемая методика оценивания качества алгоритма поворота основана на подсчете “люфта” алгоритма поворота. В данной работе предлагается новое понятие – “люфт алгоритма поворота”. Под люфтом алгоритма поворота понимается разница оценок угла наклона эллипса рассеивания после поворота, и угла наклона эллипса исходного изображения.

Для подсчета “люфта” проведем следующие действия: сначала повернем изображение на угол α с помощью рассматриваемого конкретного алгоритма. Затем полученное изображение повернем в обратном направлении на угол $-\alpha$ с помощью того же алгоритма. Результатом вычитания оценки угла ориентации полученного изображения от оценки угла ориентации исходного изображения и будет “люфт” данного метода поворота изображения.

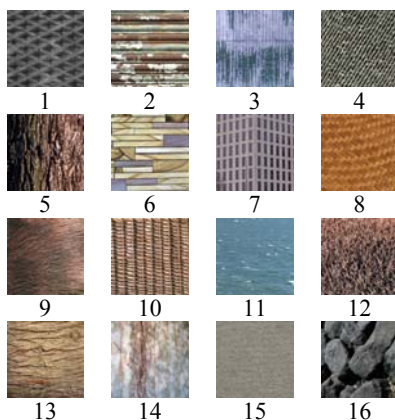


Рис. 4. Изображения, используемые для определения качества алгоритма поворота.

Проведен следующий эксперимент: 16 тестовых изображений (Рис. 4) повернуты с применением следующих алгоритмов интерполяции:

1. Modified B531 Spline;
2. Bilinear;
3. Cubic.

На Рис. 5 приведен график зависимости “люфта” каждого из алгоритмов от угла поворота от 5 до 45 град. с шагом в 5 град.

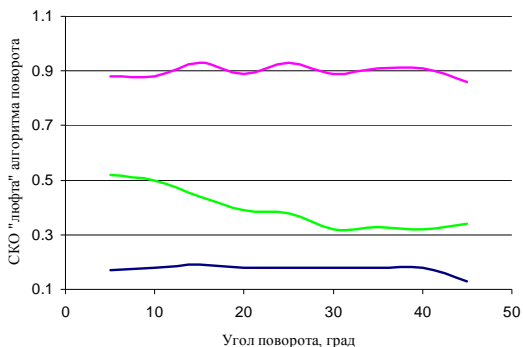


Рис 5. SKO “люфта” алгоритмов поворота.

Из Рис. 5 видно, что алгоритм 1 имеет наименьшее воздействие на качество изображения, а алгоритм 2 - наибольшее. Поскольку в проведенной серии экспериментов размеры повернутого изображения совпадают с размерами исходного, то сравнение можно проводить и при помощи меры PSNR.

Методика исследования качества масштабирования изображения. Задача разработки эффективных методов масштабирования одна из наиболее сложных, поскольку разнообразие типов изображений, областей приложений и требований к качеству весьма велико.

Любая методика оценивания качества алгоритма масштабирования основывается на сравнении исходного изображения (оригинала) и масштабированного изображения. Однако, как анализировано в Главе 1 диссертации, формальные методы сравнения оригинала и масштабированного изображения, основанные на вычислении среднеквадратического критерия или критерия пикового отношения сигнал/шум (PSNR) не применимы к изображениям с различными размерами. Известно, что в настоящее время качество масштабированного изображения и самих алгоритмов масштабирования оценивается посредством визуального анализа.

В работе предложены методики оценивания качества масштабированного изображения и оценивания качеств алгоритма масштабирования, которые основаны на подсчете “люфта”.

Под “люфтом” понимается результат сравнения исходного и полученного после кратного масштабирования изображений с помощью какой - либо меры сходства, например W^2 или, если их размеры совпадают, меры PSNR.

Целью первой методики является проверка степени применимости меры W^2 к задаче оценивания качества масштабированного изображения. Для этого проводится следующий

эксперимент. Исходное изображение сначала масштабируется в сторону уменьшения с фиксированным коэффициентом β . Затем проводится масштабирование в противоположную сторону с коэффициентом $1/\beta$. Вновь полученное изображение сравнивается с уменьшенным при помощи меры W^2 . Предположим, что в результате получается приемлемое значение W^2 . Возникает вопрос: а насколько близко это изображение с исходным? Для этого проводится сравнение при помощи мер W^2 и PSNR. Эксперименты с изображением Blonde Woman дали следующие результаты.

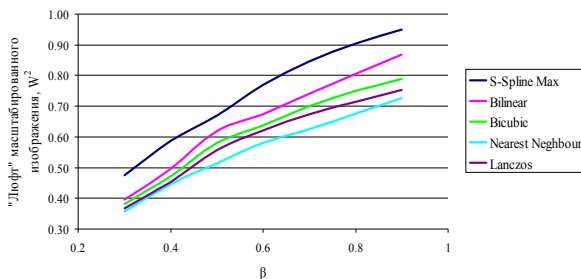


Рис. 6. Зависимость W^2 между исходным и масштабированным изображением.

На Рис. 6 приведены кривые зависимости W^2 от коэффициента масштабирования β с применением различных алгоритмов масштабирования. Мы видим, что даже при масштабировании с коэффициентом $\beta = 0.3$ значения W^2 принимает приемлемо высокие значения.

Вторая часть эксперимента дает результаты, изображенные на Рис. 7, на котором приведены кривые зависимости PSNR между исходным и масштабированным изображениями. Значения PSNR показывают, что двукратное масштабирование не искажает существенно исходное изображение.

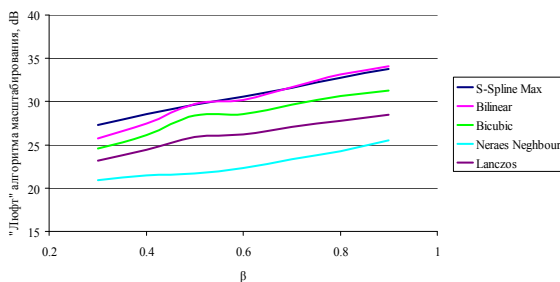


Рис. 7. Зависимость PSNR между исходным и двукратно масштабированным изображением.

Вторая методика предназначена для оценивания качества алгоритмов и программных систем масштабирования изображения. Методика основана на подсчете “люфта” между исходным и дважды масштабированным изображением (т.е. сначала с коэффициентом $\beta < 1$, затем с коэффициентом $1/\beta$).

Для подтверждения эффективности предложенной методики проведем ее моделирование и экспериментальное исследование. Эксперименты проводились на следующих стандартных изображениях: *Cameraman*, *House*, *Lenna*, *Peppers*, *Blonde Woman* с размерами 512x512. Масштабирование проводилось при помощи программной системы Photo Zoom Pro 4, в котором реализованы наиболее известные алгоритмы интерполирования. В данной серии экспериментов были выбраны следующие методы интерполирования: *S-Spline Max*, *Bilinear*, *Bicubic*, *Nearest Neighbour* и *Lanczos*.

В таблице 5 приведены средние и СКО рассчитанных мер сходства изображений PSNR и W^2 , характеризующих “люфт” для всех рассмотренных изображений и алгоритмов масштабирования, при $\beta \in [0.3, 0.9]$ с шагом 0.1.

Таблица 5. Значения PSNR (в дБ) и W^2 для рассмотренных изображений и алгоритмов.

| Изображение | | Cameraman | | House | | Lenna | | Peppers | | Blonde Woman | |
|----------------------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|--------------|-------|
| Мера сходства | | PSNR | W^2 | PSNR | W^2 | PSNR | W^2 | PSNR | W^2 | PSNR | W^2 |
| S-Spline Max | Среднее | 33.85 | 0.87 | 36.90 | 0.81 | 34.04 | 0.93 | 33.14 | 0.87 | 30.60 | 0.87 |
| | СКО | 2.18 | 0.08 | 1.49 | 0.12 | 1.78 | 0.07 | 1.27 | 0.10 | 2.12 | 0.06 |
| Bilinear | Среднее | 34.87 | 0.86 | 39.86 | 0.90 | 33.81 | 0.91 | 32.95 | 0.91 | 30.28 | 0.84 |
| | СКО | 3.19 | 0.03 | 2.19 | 0.01 | 2.66 | 0.04 | 2.24 | 0.02 | 2.76 | 0.05 |
| Bicubic | Среднее | 31.95 | 0.71 | 36.88 | 0.76 | 31.10 | 0.74 | 30.89 | 0.71 | 28.46 | 0.67 |
| | СКО | 2.19 | 0.01 | 1.92 | 0.04 | 1.94 | 0.02 | 1.85 | 0.06 | 2.23 | 0.03 |
| Lanczos | Среднее | 24.88 | 0.62 | 29.18 | 0.69 | 24.74 | 0.56 | 24.42 | 0.46 | 22.80 | 0.48 |
| | СКО | 2.31 | 0.08 | 2.57 | 0.10 | 1.81 | 0.04 | 1.49 | 0.06 | 1.54 | 0.05 |
| Nearest Neighbour | Среднее | 29.87 | 0.61 | 35.55 | 0.67 | 28.76 | 0.60 | 28.58 | 0.52 | 26.15 | 0.51 |
| | СКО | 1.97 | 0.04 | 2.31 | 0.03 | 1.67 | 0.03 | 1.47 | 0.04 | 1.72 | 0.03 |

Как видно из таблицы, имеется значительное расхождение значений PSNR и W^2 для различных методов масштабирования. Наблюдается также чувствительность этих мер к типу изображения. При этом их значения в целом позволяют примерно одинаково классифицировать по качеству примененные методы масштабирования. Обращают на себя внимание достаточно высокие значения средней меры W^2 и малый разброс при методе S-

Spline Max, получаемые для всех рассмотренных изображений, что свидетельствует о высокой степени сохранности структурных свойств при масштабировании этим методом.

Таким образом, предложенная методика исследования качества масштабированных изображений и алгоритмов масштабирования, основанная на вычислении “люфта”, позволяет по-новому оценивать методы и программные средства масштабирования изображения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Предложен подход к задаче регистрации изображения опирающийся на методы структурного анализа; [1]

2. Разработаны алгоритмы анализа градиентного поля и оценивания качества изображения с использованием вейбуллиевской математической модели. Показана эффективность алгоритмов для анализа изображений с произвольными размерами и ориентацией; [4]

3. Предложена математическая модель двумерного градиентного поля изображения, основанная на эллипсе рассеивания. Исследовано и выявлено соответствие обобщенных параметров и свойств эллипса к типичным задачам регистрации изображения; [1]

4. Разработана методика оценивания доминантной ориентации изображения с применением обобщенных параметров эллипса рассеивания; [2]

5. Введено понятие “люфта” алгоритмов поворота и масштабирования изображения, характеризующего их качество. Разработана методика исследования и оценивания качества существующих и вновь создаваемых алгоритмов и программных средств; [3 – 4]

6. Создан комплекс программ для структурного анализа и оценивания качества, расчета и визуализации важнейших свойств и параметров изображения; [1 – 4]

7. Сформулирован ряд практических задач регистрации изображения и предложены варианты решения с использованием предложенного комплекса. [2]

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Куркчиан В., Статистическая интерпретация и техника оценивания качества изображения, Труды пятой годичной научной конференции РАУ, сс. 205-211, 2010.
2. Asatryan D., Egiazarian K., Kurkchiyan V., Orientation Estimation with Applications to Image Analysis and Registration, International Journal “Information Theories and Applications”, Vol. 17, No 4, pp 303-311, 2010.
3. Асатрян Д.Г., Куркчиан В.В., Баграмян М.М., Сравнительный анализ качества алгоритмов масштабирования изображения. Вестник Государственного инженерного университета Армении: Моделирование, оптимизация, управление, Вып. 14, т. 2, сс. 70-76, 2011.
4. Asatryan D., Kurkchiyan V., Bagramyan M., A Method for Quality Assessment of Image Resizing Algorithms. Mathematical Problems of Computer Science, Vol. 36, pp. 128-132, 2012.

ՊՍԿԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ԵՎ ԾՐԱԳՐԵՐԻ ՀԱՄԱԼԻՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Պատկերների մշակման բնագավառի կարևոր և դժվարին խնդիրներից է պատկերի գրանցումը, որի էությունն է՝ տարբեր պայմաններում, տարբեր մեթոդներով կամ տարբեր տեսանկյուններից միևնույն օբյեկտից ստացված պատկերների համատեղումը: Այդ խնդրի լուծումը հիմնականում պահանջում է երկու գործողություն, այն է՝ պատկերների նմանության կամ տարբերության գնահատումը և պատկերների այնպիսի ձևափոխություն կատարելը, որպեսզի հնարավոր լինի դրանք համատեղել:

Պատկերների նմանության գնահատման հայտնի և տարածված չափանիշները, որոնք հենված են դրանց միջին քառակուսային տարբերությունների հաշվարկի վրա, չեն կարող լայնորեն կիրառվել գրանցման խնդրում, քանի որ պատկերները, որպես կանոն, ունեն տարբեր չափսեր կամ պտտված են միմյանց հանդեպ: Խնդրի լուծումը հանգում է այնպիսի մեթոդների ստեղծմանը, որոնք հենվում են ոչ թե պատկերների կետ-առ-կետ համեմատման, այլ դրանց կառուցվածքային հատկությունների վերլուծության վրա:

Գիտական գրականության վերլուծությունը ցույց է տվել, որ այս խնդիրը **կարևոր է և արդիական:**

Ատենախոսության **նպատակն է՝** պատկերի կառուցվածքային վերլուծության և որակի գնահատման արդյունավետ մեթոդների և համապատասխան մաթեմատիկական մոդելների մշակումը, ինչպես նաև դրանց կիրառումը գրանցման խնդիրներում:

Գիտական նորությունը: Աշխատանքում ստացվել են հետևյալ արդյունքները, որոնք առանձնանում են գիտական նորությով.

- Առաջարկվել է մոտեցում՝ գրանցման խնդրում կառուցվածքային վերլուծության մեթոդների կիրառմամբ:
- Մշակվել են վեյբուլյան մոդելի կիրառմամբ պատկերի գրադիենտային դաշտի վերլուծության և որակի գնահատման ալգորիթմներ: Ցույց է տրվել դրանց արդյունավետությունը կամայական չափսերի և պտտվածության պատկերների վերլուծության խնդիրներում:
- Առաջարկվել է պատկերի երկչափանի գրադիենտային դաշտի մաթեմատիկական մոդել՝ հենված ցրվածության էլիպսի վրա: Հետազոտվել և բացահայտվել է ցրվածության էլիպսի ընդհանրացված պարամետրերի և հատկությունների համապատասխանությունը պատկերի գրանցման խնդիրներին:
- Մշակվել է պատկերի գերիշխող ուղղվածության գնահատման մեթոդիկա՝ ցրվածության էլիպսի ընդհանրացված պարամետրերի օգտագործմամբ:
- Առաջարկվել է պատկերի պտտման և մասշտաբավորման ալգորիթմների որակը բնորոշող նոր գաղափար՝ «խաղացք»: Դրա հիման վրա մշակվել է գոյություն ունեցող և նոր ստեղծվող ալգորիթմների և ծրագրային միջոցների որակի գնահատման մեթոդիկա:

Ատենախոսության **կիրառական նշանակությունը** բնորոշվում է հետևյալ դրույթներով.

- Ստեղծվել է պատկերի կառուցվածքային վերլուծության և որակի գնահատման, ինչպես նաև դրա կարևորագույն հատկությունների ու պարամետրերի հաշվարկի ծրագրային համալիր:

- Ստեղծվել է երկրաչափական ձևափոխություններ կատարող, գործող և նոր մշակվող ալգորիթմների և ծրագրային միջոցների որակի գնահատման մեթոդիկա:

- Ձևակերպվել են պատկերի գրանցման մի շարք խնդիրներ և առաջարկվել են մշակված համալիրի կիրառմամբ դրանց լուծման տարբերակներ:

Պաշտպանության են ներկայացվում **հետևյալ դրույթները:**

- Գրադիենտային դաշտին առնչվող մաթեմատիկական մոդելները, որոնք հիմնված են Վելբուլի բաշխման և ցրվածության էլիպսի վրա, դրանց բացահայտված հատկությունները և առաջարկված մեթոդների ու պարամետրերի համապատասխանությունը պատկերի գրանցման խնդիրներին:

- Պատկերի գերիշխող ուղղվածության գնահատման մեթոդիկան:

- «Խաղացքի» գաղափարի օգտագործմամբ պատկերի պտտման և մասշտաբավորման ալգորիթմների որակի գնահատման մեթոդիկան:

- Պատկերի պտտման և մասշտաբավորման գործող և նոր ստեղծվող ալգորիթմների և ծրագրային միջոցների որակի վերաբերյալ հանձնարարականները:

Ատենախոսության շրջանակներում ստացվել են հետևյալ **հիմնական արդյունքները.**

1. Առաջարկվել է մոտեցում պատկերի գրանցման խնդրին՝ հիմնված կառուցվածքային վերլուծության վրա: [1]

2. Մշակվել են վեյբուլյան մոդելի կիրառմամբ պատկերի գրադիենտային դաշտի վերլուծության և որակի գնահատման ալգորիթմներ: Ցույց է տրվել դրանց արդյունավետությունը կամայական չափսերի և պտտվածության պատկերների վերլուծության խնդիրներում: [4]

3. Առաջարկվել է պատկերի երկչափանի գրադիենտային դաշտի մաթեմատիկական մոդել՝ հենված ցրվածության էլիպսի վրա: Հետագոտվել և բացահայտվել է ցրվածության էլիպսի ընդհանրացված պարամետրերի և հատկությունների համապատասխանությունը պատկերի գրանցման խնդիրներին: [1]

4. Մշակվել է պատկերի գերիշխող ուղղվածության գնահատման մեթոդիկա՝ ցրվածության էլիպսի ընդհանրացված պարամետրերի օգտագործմամբ: [2]

5. Առաջարկվել է պատկերի պտտման և մասշտաբավորման ալգորիթմների որակը բնորոշող նոր գաղափար՝ «խաղացք»: Դրա հիման վրա մշակվել է գոյություն ունեցող և նոր ստեղծվող ալգորիթմների և ծրագրային միջոցների որակի գնահատման մեթոդիկա: [3-4]

6. Ստեղծվել է երկրաչափական ձևափոխություններ կատարող, գործող և նոր մշակվող ալգորիթմների և ծրագրային միջոցների որակի գնահատման մեթոդիկա: [1-4]

7. Ձևակերպվել են պատկերի գրանցման մի շարք խնդիրներ և առաջարկվել են մշակված համալիրի կիրառմամբ դրանց լուծման տարբերակներ: [2]

DEVELOPMENT OF THE COMPLEX OF THE ALGORITHMS AND PROGRAMS FOR IMAGE STRUCTURAL ANALYSIS AND QUALITY MEASURE

V.V. Kurkchiyan

One of the most important and difficult tasks of the image processing is an image registration and the main point of it is to combine images of the same object received in different conditions, with the use of different methods or from different points of views. For the implementation of this task there are two main steps to be done: first is to assess similarity or difference of the images, and second is to transform the images in a way that allow combining them.

Well known and common criteria to assess similarity of the images that are based on the calculation of the mean square difference cannot be applied in the registration task since the images usually have different sizes or they are rotated towards each other. The challenge is to create methods that are based not on the point-to-point comparison of the objects, but on the analysis of their structural features.

Based on the scientific literature review one can say that this is **important** and **urgent** task.

The aim of this dissertation is to develop efficient methods of the structural analysis and quality assessment of the image and respective mathematical models. It also aims to apply them in registration tasks.

Scientific novelty of the topic. The following results received in the process of work can be referred as scientific novelty:

- An approach to image registration problem based on structural analysis is proposed.
- Algorithms for image quality assessment and analysis of the gradient field were developed using the Weibull model. The algorithm efficiency is demonstrated for images with arbitrary sizes and directions.
- Two-dimensional gradient field mathematical model based on the scattering ellipse is proposed. Correspondence of the features and generalized parameters of the scattering ellipse to image registration problem is investigated.
- A methodology of the assessment of the dominating orientation of the image generalized parameters of the scattering ellipse is developed.
- A new conception of «backlash» characterizing the quality of the image rotation and scaling algorithms is introduced. A quality assessment methodology of the existing and newly created algorithms and software complexes is developed.

Applicability of the dissertation can be described through following statements:

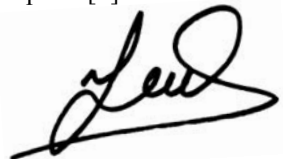
- Software complex for structural image analysis, quality assessment and calculation of the image's most important features and parameters is developed.
- Methodology for two-dimensional transformations as well as quality assessment of existing and newly-created algorithms and software complex is developed.
- Several problems of the image registration were formulated and ways to solve them were indicated with the use of the developed complex.

The following **statements** of the thesis are presented for defense:

- Mathematical models associated with scattering ellipse of the gradient fields and Weibull distribution, as well as models features and their correspondence to the image registration problems.
- Methodology of the dominating orientation determination of an image.
- Methodology for image rotation and scaling algorithms quality assessment based the «backlash» conception.
- Recommendations concerning the quality assessment of existing and newly created software complexes and algorithms designed for image rotation and scaling .

The **main results** produced in the framework of the dissertation.

1. An approach to image registration problem based on structural analysis is proposed. [1]
2. Algorithms for image quality assessment and analysis of the gradient field were developed using the Weibull model. The algorithm efficiency is demonstrated for images with arbitrary sizes and directions. [4]
3. Two-dimensional gradient field mathematical model based on the scattering ellipse is proposed. Correspondence of the features and generalized parameters of the scattering ellipse to image registration problem is investigated. [1]
4. A methodology of the assessment of the dominating orientation of the image generalized parameters of the scattering ellipse is developed. [2]
5. A new conception of «backlash» characterizing the quality of the image rotation and scaling algorithms is introduced. A quality assessment methodology of the existing and newly created algorithms and software complexes is developed. [3-4]
6. Methodology for two-dimensional transformations as well as quality assessment of existing and newly-created algorithms and software complex is developed. [1-4]
7. Several problems of the image registration were formulated and ways to solve them were indicated with the use of the developed complex. [2]

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'L. L. L.', is located in the bottom right corner of the page.