

На правах рукописи



**ЛАРИОНОВ Игорь Борисович**

**АЛГОРИТМЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ  
ГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СО СТАТИЧЕСКИМИ  
ПРОПУСКАМИ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление  
и обработка информации (в промышленности)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Уфа – 2011

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО  
«Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского»  
на кафедре информационной безопасности

**Научный руководитель:** д-р физ.-мат. наук, проф.  
**Белим Сергей Викторович**  
кафедра информационной безопасности Омского государственного университета им.Ф.М.Достоевского

**Официальные оппоненты:** д-р техн. наук, проф.  
**Валеев Сагит Сабитович**  
кафедра информатики Уфимского государственного авиационного технического университета

д-р физ.-мат. наук, проф  
**Зыкина Анна Владимировна**  
кафедра прикладной математики и фундаментальной информатики Омского государственного технического университета

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет»

Защита состоится 21 декабря 2011 г. в 10 часов 00 мин.  
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03  
при Уфимском государственном авиационном техническом университете  
по адресу: 450000, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «21» ноября 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д-р техн. наук, проф.



**В.В.Миронов**

## Общая характеристика работы

### Актуальность темы

Предварительная обработка (предобработка) данных в последнее время получило широкое распространение в системах технического зрения. Предобработка позволяет существенно повысить точность распознавания образов. Предобработка графических объектов может включать следующие операции: коррекция изображения, калибровка снимков, восстановление пропущенных пикселей, контрастирование и фильтрация. Пропущенные пиксели могут возникать во время съемки либо передачи информации. Возникновение пропущенных пикселей может носить случайный либо статический характер. Случайные пропущенные пиксели присутствуют на изображениях вследствие помех, непредсказуемо изменяющихся в течение времени, таких как изменение освещения, случайные флуктуации электро-магнитных полей, запыленность атмосферы и т. д. Случайные помехи возникают на отдельных снимках и характеризуются слабой повторяемостью. Устранение случайных пропущенных пикселей производится с помощью фильтрации изображений. Под фильтрацией понимается преобразование, которое позволяет усилить воспроизведение отдельных объектов и подавить воспроизведение других. Успешность данного подхода основывается на предположении о малой интенсивности случайных помех и большой интенсивности основного изображения. Поэтому подавляя слабые составляющие изображения можно избавиться от большинства случайных пропущенных пикселей. В последнее время широкое распространение получили усредняющие фильтры, адаптивные фильтры, режкторные фильтры, полосовые фильтры, фильтр Винера, среднегеометрический фильтр, метод главных компонент и др.

Однако кроме случайных помех часто встречаются статические испорченные пиксели, возникающие вследствие недостатков аппаратной части систем технического зрения, например, выгорания отдельных пикселей ПЗС матрицы, испорченные ячейки памяти устройств хранения информации и т. д. Для этого случая применение фильтров не дает хороших результатов, так как повреждения могут носить блочный характер, вследствие чего повреждения будут обладать высокой интенсивностью и фильтры вместо подавления будут их усиливать. В системах технического зрения статические помехи могут приводить к тому, что система распознавания образов будет идентифицировать их как дополнительные реперные точки. Появление дополнительных «ложных» реперных точек резко повышает процент ошибок как первого так и второго рода.

В связи с описанными проблемами, актуальной является задача заполнения статических пропущенных пикселей на этапе предварительной обработки изображений. Особенностью статических пропусков является то, что они могут быть однозначно локализованы на основе анализа множества изображе-

ний, получаемых с одной камеры. После этого для заполнения пропущенных пикселей могут быть применены алгоритмы обработки данных с пропусками. В последнее время широкое распространение получил ряд подобных алгоритмов: s-CLEAN, Ричардсона–Люси, метод главных кривых, аппроксимация многообразиями малой размерности, аппроксимация сплайнами, нейросетевые методы и т. д. Однако все эти методы имеют ограничения в области применимости и предполагают наличие определенных закономерностей в множестве обрабатываемых данных. В связи с чем актуальной является задача исследования применимости алгоритмов восстановления пропущенных данных для автоматической предварительной обработки графических объектов со статическими пропущенными пикселями в системах технического зрения.

**Целью работы** является повышение эффективности работы систем технического зрения с помощью заполнения статических пропусков в графических объектах на этапе предварительной обработки данных.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

1. Разработка алгоритма автоматического выявления статических пропусков в графических объектах, последовательно поступающих с одной камеры системы технического зрения.

2. Разработка алгоритма заполнения статических пропусков в графических объектах с помощью сплайнов, определяемых локальными данными.

3. Разработка алгоритма заполнения статических пропусков в графических объектах с помощью интерполяции линейными многообразиями.

4. Разработка алгоритма заполнения статических пропусков в графических объектах с помощью самоорганизующихся карт Кохонена.

5. Разработка прикладного программного обеспечения предварительной обработки графических данных на основе предложенных алгоритмов и оценка эффективности его применения в системах автоматического распознавания образов.

**Объектом исследования** являются растровые изображения со статическими пропущенными пикселями, возникающие в системах технического зрения вследствие постоянных во времени аппаратных сбоев. **Предметом диссертационного исследования** является набор алгоритмов восстановления пропущенных данных в объектах компьютерной графики, обрабатываемых системами технического зрения.

**Методы исследования.** Для решения поставленных в диссертационной работе задач были применены методы оптимизации, математической статистики, интеллектуального анализа данных, обработки изображений, теории нейронных сетей.

**Основные научные результаты выносимые на защиту**

1. Алгоритм автоматического выявления статических пропусков в графических объектах, поступающих последовательно с одной камеры системы технического зрения.

2. Алгоритм заполнения пропущенных пикселей в растровых изображениях с помощью сплайнов, определяемых локальными данными.

3. Алгоритм заполнения пропущенных пикселей в растровых изображениях на основе представления графического объекта таблицей с пропусками и последующей аппроксимацией полученной таблицы суммой матриц специального вида.

4. Алгоритм заполнения пропущенных пикселей в растровых изображениях с использованием самоорганизующихся карт Кохонена.

5. Прикладное программное обеспечение, реализующее предложенные алгоритмы.

6. Результаты сравнительного анализа эффективности предложенных алгоритмов.

### **Научная новизна**

1. В процессе предварительной обработки изображений в системах технического зрения применен алгоритм выявления статически неизменных объектов, позволяющий выявлять статические пропуски и автоматически строить карту поврежденных пикселей.

2. Алгоритм интерполяции сплайнами высокой степени применен для заполнения пропущенных пикселей в растровых изображениях.

3. Алгоритм восстановления таблиц с пропусками с помощью интерполяции линейными многообразиями применен к графическим объектам с поврежденными пикселями.

4. Использованы самоорганизующиеся карты Кохонена для восстановления пропущенных пикселей в графических объектах систем технического зрения.

### **Практическая и научная значимость результатов**

1. Разработанные алгоритмы вносят вклад в теорию предварительной обработки изображений. Предложенные алгоритмы являются новыми методами улучшения изображения. Критерием улучшения служит повышение эффективности распознавания образов объектов, присутствующих на изображении.

2. Практическая реализация предложенных методов, позволяет повысить эффективность автоматической обработки данных в системах технического зрения.

**Апробация работы** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: «Решетнёвские чтения» (2009 г., г. Красноярск), «Информационные технологии и автоматизация управления» (2009 г., г. Омск).

### **Публикации**

Материалы диссертации опубликованы в 7 печатных работах, из них 2 статьи в рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК.

## Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и библиографии. Общий объем диссертации 125 страниц, включая 31 рисунок и 14 таблиц. Библиография включает 101 наименование.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цель и задачи исследования, обсуждается новизна и практическая ценность выносимых на защиту результатов, даётся краткая характеристика содержания работы.

**В первой главе** проводится анализ современного состояния проблемы предварительной обработки графических объектов в системах технического зрения. Исследуются существующие методы заполнения пропущенных пикселей в графических объектах, анализируются их достоинства и недостатки, определяется область их применения. Приводятся метрики сравнения близости изображений, получившие широкое распространение при оценке потерь при сжатии и преобразовании графических объектов.

*Метрика Минковского (ММ)* вычисляется путем нахождения среднего значения разности значений пикселей сначала пространственно, а затем хроматически (т. е. по зонам):

$$\epsilon^\infty = \max_{i,j} \sum_{k=1}^K \frac{1}{K} \left| C_k(i,j) - \hat{C}_k(i,j) \right| = \max_{i,j} \| \mathbf{C}(i,j) - \hat{\mathbf{C}}(i,j) \|, \quad (1)$$

где  $C_k(i,j)$  и  $\hat{C}_k(i,j)$  – значения цветосоставляющей пикселей двух изображений,  $N$  – количество пикселей.

*Среднеквадратическая ошибка (MSE):*

$$\epsilon = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=0}^{N-1} \left( C(i,j) - \hat{C}(i,j) \right)^2. \quad (2)$$

*Метрика разницы с соседями (DON):*

$$\epsilon = \sqrt{\frac{1}{2(N-w)^2} \sum_{i,j=w/2}^{N-w/2} \left[ A^2 + B^2 \right]}, \quad (3)$$

$$A = \min_{l,m \in w_{i,j}} \left\{ d(\mathbf{C}(i,j), \hat{\mathbf{C}}(i,m)) \right\}, \quad B = \min_{l,m \in w_{i,j}} \left\{ d(\hat{\mathbf{C}}(i,j), \mathbf{C}(l,m)) \right\}.$$

где  $d(\bullet, \bullet)$  – некая функция расстояния. В данной работе рассматривается эвклидово расстояние.

Метрика многомерного расстояния (*MDM*), которая основывается на том, что большинство изображений хранятся в больших разрешения (2000 пикселей в каждом измерении и более)

$$\epsilon = \sum_{r=1}^R \left( \frac{1}{2^r} \frac{1}{2^{2r-3}} \sum_{i,j=1}^{2^{r-1}} \left[ (g_{ij}^R - \hat{g}_{ij}^R)^2 + (g_{ij}^B - \hat{g}_{ij}^B)^2 + (g_{ij}^G - \hat{g}_{ij}^G)^2 \right]^{1/2} \right), \quad (4)$$

где  $g_{ij}^R$  – среднее значение серой составляющей  $ij$ -го блока красной составляющей, а  $r$  – относительное разрешение метрики.

Также в первой главе рассмотрены критерии, позволяющие оценить эффективность предварительной обработки изображений исходя из задач, стоящих перед системой технического зрения.

**Во второй главе** формулируется общая математическая постановка задачи заполнения статических пропущенных пикселей на этапе предварительной обработки в системах технического зрения, выделяются основные сложности и особенности её решения. Обсуждаются требования к системам предварительной обработки данных их место в системах технического зрения. Обсуждаются практические задачи, которые пока не получили эффективного решения с использованием существующих заполнения пропусков. Это, в первую очередь, задачи заполнения статических пропущенных пикселей сгруппированные в блоки. На основе проведённого анализа формулируются требования к разрабатываемым методам заполнения пропусков, включая требования к результатам заполнения, к обучению и модификации метода, к его быстрдействию. Выделяются и рассматриваются три подзадачи заполнения статических пропусков в графических объектах: заполнение единичных пикселей, заполнение одномерных пропущенных блоков (линий) и заполнение двумерных блоков (прямоугольных областей).

С учётом сформулированных требований производится методики тестирования результатов работы предлагаемых алгоритмов. Тестирование производится на основе группы изображений, на которых искусственным образом создаются статические пропуски. После отработки алгоритмов восстановленные области сравниваются с исходными, по метрикам, представленным в первой главе.

Дается общая постановка задачи заполнения пропусков в графических объектах. В общем случае, изображения состоят из точек, расположенных на узлах прямоугольной сетки. Каждой точке соответствует целочисленное значение, интерпретируемое как цвет. Современные форматы изображений подразумевают наличие некоторой палитры цветов для данного объекта. Палитра характеризуется количеством цветов, которые может принимать каждый пиксель и характеризуется количеством бит, отводимых на номер цвета из палитры. Кроме того, большинство форматов хранят цветовые компоненты каждого цвета – красный, зеленый, голубой (т. н. RGB-палитра).

Будем представлять изображение в виде трех матриц, количество элементов которых (а так же количество строк и столбцов), соответствующее количеству пикселей (ширину и высоту в пикселях) изображения. Пиксель, который считается поврежденным, представляется в каждой из трех компонентных матриц значением  $-1$ .

Для определения пропущенных пикселей вводится матрица повреждений  $E$ , в которой пропущенным пикселям соответствует значение 1, а известным пикселям значение 0. Данная матрица формируется на этапе обучения системы. То есть для первых изображений, получаемых системой технического зрения предобработка сводится к формированию матрицы  $E$ . Алгоритм состоит в побитовом выполнении конъюнкции элементов трех компонентных матриц последовательно получаемых  $K$  изображений. Если присутствует статически поврежденные символы, то соответствующий элемент будет ненулевым. Для изменяющихся пикселей логические операции будут приводить к нулевому значению. Эксперимент показывает, что значение  $K = 100$  обеспечивает правильное построение матрицы поврежденных пикселей.

**В третьей главе** описывается метод заполнения пропусков с помощью интерполяции с использованием сплайнов, использующих локальные данные. Для этого вводится предположение о существовании непрерывной функции, значения которой в узлах прямоугольной сетки совпадают с соответствующими элементами одной из компонентных матриц изображения. Для каждого изображения предполагается наличие трех таких функций по количеству компонентных матриц. Пропущенные пиксели интерпретируются как области, в которых значение функции неизвестно. Таким образом, дискретная задача сводится к непрерывной задаче интерполяции функции от двух переменных в заданной области.

Рассмотрим сначала задачу заполнения отдельно взятого пропущенного пикселя. Следует отметить, что координаты этого пикселя определяются матрицей пропусков  $C$  и его восстановление необходимо проводить для всех трех составляющих цвета.

Поставим задачу интерполяции значений функций трех составляющих в пропущенной области с помощью сплайнов вида:

$$p_r(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij}^r x^i y^j, \quad p_g(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij}^g x^i y^j, \quad p_b(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij}^b x^i y^j. \quad (5)$$

Коэффициенты  $a_{ij}^r$ ,  $a_{ij}^g$  и  $a_{ij}^b$  определяются исходя из того, что значения сплайнов должны совпадать со значениями функций вблизи поврежденных областей, что приводит к системе линейных алгебраических уравнений. Однако значений функции в точках ближайших к поврежденному не достаточно для полного определения системы, поэтому были использованы значения функ-

ции в точках, следующих за ближайшими по шаблону:

$$\begin{pmatrix} \bullet & \circ & \bullet & \circ & \bullet \\ \circ & \bullet & \bullet & \bullet & \circ \\ \bullet & \bullet & \times & \bullet & \bullet \\ \circ & \bullet & \bullet & \bullet & \circ \\ \bullet & \circ & \bullet & \circ & \bullet \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где  $\times$  – поврежденный пиксель,  $\circ$  – пиксель, который может быть как поврежденным, так и неповрежденным, а  $\bullet$  – пиксели, значение функций в котором используется для нахождения коэффициентов. Если какой-то из пикселей, представленных в шаблоне поврежден, выбирается ближайший к нему неповрежденный пиксель.

Если на изображении пропущен блок пикселей размером  $W \times H$ , то для учета информации о значении функции в точках соседних с поврежденным блоком, необходимо увеличить степень сплайна. Функции компонент цветности будут аппроксимироваться сплайнами:

$$p_r(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij}^r x^i y^j, \quad p_g(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij}^g x^i y^j, \quad p_b(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij}^b x^i y^j. \quad (7)$$

Выберем степень сплайна  $n$  таким образом, чтобы количество коэффициентов  $a_{ij}^R$  превышало количество пикселей соседних с поврежденным блоком и при этом было минимальным. Откуда получаем выражение:

$$n = \sqrt{2W + 2(H - 1)} - 1. \quad (8)$$

Для определения всех коэффициентов в выражении для сплайнов в большинстве случаев приходится использовать значения функции в пикселях, следующих за ближайшими. Такие пиксели выбирались случайным образом.

Данный подход позволяет получать заполненные области расположенные достаточно близко к оригинальному изображению с точки зрения описанных выше метрик. Однако результат работы алгоритма хорошо заметен визуально для блоков поврежденных пикселей.

Пример восстановления пропущенного блока пикселей представлен на рисунке 1.

**В четвертой главе** рассмотрен метод заполнения пропусков, основанный на линейных многообразиях малой размерности. В данном подходе графический объект с пропусками рассматривается как таблица с пропущенными значениями. При этом предполагается, что таблица задает значения некой функции от двух переменных в узлах прямоугольной сетки. Для нахождения пропущенных значений строится приближение исходной таблицы значений пикселей  $a$  суммой матриц специального вида  $A_{i,j}^{(k)} = x_i^{(k)} y_j^{(k)} + b_j^{(k)}$ , где



Рисунок 1 – Поврежденное и восстановленное с использованием сплайнов изображения

$x^{(k)}$ ,  $y^{(k)}$ ,  $b^{(k)}$  –  $n$ -мерные векторы, задающие линейное многообразие. Окончательно, приближение исходной матрицы определяется суммой  $a = \sum A^{(k)}$ . Нахождение координат векторов  $x^{(k)}$ ,  $y^{(k)}$ ,  $b^{(k)}$  происходит итерационно.

Для построения линейного многообразия необходимо минимизировать квадратичную форму, задающую среднеквадратичное отклонение построенной матрицы от исходной таблицы:

$$\Phi = \sum_{i,j,a_{ij} \neq 0} (a_{ij} - x_i^{(1)} y_j^{(1)} - b_j^{(1)}) \rightarrow \min. \quad (9)$$

Данная задача может быть решена методом последовательных приближений. Первоначально произвольно фиксируются координаты вектора  $y^{(1)}$ , а значения координат векторов  $x^{(1)}$  и  $b^{(1)}$  может быть найдено из решения системы линейных алгебраических уравнений:  $\partial\Phi/\partial x_i^{(1)} = 0$ . Данная система решалась методом Горнера. После этого для найденных значений координат вектора  $x^{(1)}$  решалась система уравнений  $\partial\Phi/\partial x_i^{(1)} = 0$  для поиска координат вектора  $y^{(1)}$ . Критерием остановки итерационного процесса является малое изменение значения квадратичной формы  $\Phi$ .

Найденные значения  $x^{(1)}$  и  $y^{(1)}$  определяют матрицу  $A^{(1)}$ . После этого необходимо найти матрицу  $a_1 = a - A^{(1)}$ . Далее методом последовательных итераций строится приближение  $a_1$  матрицей  $A^{(2)}$ , и так далее. Приближение исходной матрицы, как уже было указано выше определяется суммой найденных матриц  $a = \sum A^{(k)}$ .

В рамках работы были проведены эксперименты с использованием измененной формы (9) в сторону увеличения размерности линейного многообразия. При этом необходимо минимизировать следующее выражение:

$$\Phi = \sum_{\substack{i,j \\ a_{ij} \neq -1}} (a_{ij} - \sum_n x_{ni} y_{nj} - b_j)^2 \rightarrow \min. \quad (10)$$

Как показали компьютерные эксперименты увеличение размерности линейного многообразия не дает существенного увеличения точности нахождения

пропущенных элементов, при заметном росте объема вычислений и затрат машинного времени.

Пример восстановления пропущенного блока пикселей представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Поврежденное и восстановленное с использованием многомерных линейных многообразий изображения

Данный метод показал малую ошибку при оценке восстановления с помощью метрик. Однако, низкое быстродействие метода препятствует применению данного метода для восстановления изображений «на лету», т.к. требует больших вычислительных мощностей.

**В пятой главе** описана модель восстановления графической информации, основанная на самоорганизующихся картах Кохонена. В силу того, что изображение является прямоугольным, и глаз воспринимает не отдельные точки, а некоторую совокупность, следует рассматривать не последовательный набор пикселей, а некоторую совокупность, сгруппированную вокруг определенной, заранее выбранной точки. Кроме того, палитра, как набор значений цветов не удовлетворяет модели с поврежденными пикселями, поэтому необходимо ее расширить, путем добавления цвета поврежденного значения, обозначаемого ниже символом  $\sharp$ .

Саморганзирующиеся карты Кохонена требуют векторного представления блоков пикселей. В данной работе было выбрано следующее представление:

$$x[i](x, y) = P[l + i \oplus S, t + i \div S], \quad l = x - \lfloor S/2 \rfloor, \quad t = y - \lfloor S/2 \rfloor, \quad (11)$$

где  $S \in \mathbb{Z}$  – размер блока,  $x, y \in \mathbb{Z}$  – координаты пикселя, для которого строится вектор наблюдения.

Соответственно при использовании описанного метода построения векторов, необходимо учитывать следующие ограничения:

$$\lfloor S/2 \rfloor \leq x \leq W_p - \lfloor S/2 \rfloor, \quad \lfloor S/2 \rfloor \leq y \leq H_p - \lfloor S/2 \rfloor, \quad (12)$$

а также  $S$  должно быть нечетным.

Первые два условия вводятся в силу того, что размер рассматриваемого блока больше одного пикселя и, соответственно, количество таких блоков

будет меньше, чем количество пикселей в изображении. Второе условие накладывается для более точного описания окружности пикселя, а именно для симметричности окружности пикселя.

Введем следующие обозначения:  $x$  – вектор наблюдаемых данных. В применении к восстановлению мультимедийной информации это может быть какой-то набор пикселей (сэмплов, набор блоков сжатия изображений), сгруппированных по определенному правилу.  $m$  – вектор веса нейрона (по определению, должен быть одной размерности с  $x$ ).  $h_{ci}(t)$  – мера соседства нейронов (некоторая функция, возвращающая расстояние между нейронами и зависящая от номера итерации  $t$ ). Мера соседства нейронов при определенных условиях может определять и топологию поверхности, на которую нанесена карта.  $d(x(t), m_i(t))$  – мера отклонения, показывающая, насколько вектор  $x(t)$  не «похож» на вектор  $m_i(t)$ .

Мера соседства нейронов  $h_{ci}(t)$  представляет собой функцию от индексов нейронов и номера итерации. В дальнейшем для меры соседства нейронов выбрано следующее представление:

$$\begin{aligned} h_{ci}(t) &= h(c, i, t) = \alpha(t) \cdot \exp\left(-\frac{d(c, i)^2}{2\delta(t)}\right), \\ \alpha(t) &= \begin{cases} 1, & \text{если } t < 10, \\ (t - 9)^{-0.2}, & \text{если } t \geq 10, \end{cases} \\ \delta(t) &= 5 \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt{t}}. \end{aligned} \quad (13)$$

где  $h$  – видоизмененную функцию Гаусса,  $c$  – индекс первого нейрона,  $i$  – индекс второго нейрона,  $t$  – номер итерации, функция  $d(c, i)$  имеет вид:

$$d(c, i) = \min_{\substack{d_x \in \{-Q_x, 0, Q_x\} \\ d_y \in \{-Q_y, 0, Q_y\}}} \sqrt{(m_c\{x\} - m_i\{x\} + d_x)^2 + (m_c\{y\} - m_i\{y\} + d_y)^2}, \quad (14)$$

Функция  $\alpha(t)$  является «коэффициентом влияния», т. е. она отражает силу влияния очередного вектора  $x$  на нейрон-победитель и его соседей. На первых 9 итерациях функция имеет значение 1. Это сделано для того, чтобы максимально равномерно инициализировать карту в начале обучения. На каждой последующей итерации коэффициент равномерно уменьшается, снижая влияние каждого последующего наблюдения на карту.

Функция  $d(c, i)$  является функцией расстояния. Ее вид выбран таким образом, чтобы карта имела топологию тора. Выбор такой топологии вытекает из требования равномерного учета всех данных изображений. В противном случае появляются выделенные точки по краям изображения.

Функция  $\delta(t)$  является «функцией радиуса», т. е. она отражает, насколько указанные нейроны являются соседями. С каждой итерацией, происходит

уменьшение радиуса, ограничивающего нейроны, на которые оказывает влияние очередное наблюдение. Данный вид функции позволяет ввести прямую зависимость радиуса от количества пикселей на изображении ( $\mathbb{Q}$ ) и номера итерации. Коэффициент 5 был введен для увеличения радиуса.

Алгоритм обучения носит итерационный характер. На начальном этапе веса всех нейронов имеют значение 0. Далее выполняются следующие шаги:

1. Выбирается случайный вектор  $x(t)$  из набора входных значений.

2. Вычисляются расстояния до всех векторов весов всех нейронов карты. Для данной операции была выбрана метрика среднеквадратичного отклонения. Ищем нейрон, наиболее близкий ко входному значению  $x(t)$ :

$$d_{x(t)_{n \neq \#}, m_i(t)_{n \neq \#}}(x(t), m_c(t)) \leq d_{x(t)_{n \neq \#}, m_i(t)_{n \neq \#}}(x(t), m_i(t)), \quad (15)$$

где  $m_c(t)$  – вектор веса нейрона победителя  $M_c(t)$ ,  $m_i(t)$  – вектор веса  $i$ -го узла в карте,  $d(x(t), m_i(t))$  – метрика среднеквадратической ошибки. Следует заметить, что метрика  $d$  вычисляется по известным компонентам всех используемых векторов. В случае, если вышеуказанному условию удовлетворяет несколько нейронов, победитель выбирается случайным образом.

3. Вектора весов изменяются по формуле:

$$m_i(t) = m_i(t-1) + h_{ci}(t)(x(t) - m_i(t-1)) \quad (16)$$

Таким образом, все узлы, являющиеся соседями нейрона-победителя, приближаются к рассматриваемому наблюдению.

Критериями остановки выбраны следующие:

1. Алгоритм останавливается, если было произведено обучение по всем известным входным значениям.

2. Алгоритм останавливается в случае, если  $\alpha(t) < 256$ , т. е., если очередное изменение веса значения будет меньше, чем шаг квантования цветовой составляющей.

3. Алгоритм останавливается, если  $\delta(t) < 1$ , т. е., если радиус, на который влияет очередное наблюдение будет меньше, чем минимальное расстояние между нейронами.

После остановки процесса обучения можно приступать к самой процедуре восстановления, которое производится итерационно, как и обучение. При восстановлении, из наборов векторов наблюдаемых данных выбирается случайный вектор, в котором поврежденным является только один пиксель. Для данного вектора ищется нейрон-победитель. Однако метрика поиска в этом случае изменяется:

$$d(x(t), m_i(t)) = \sum_{x(t)[l] \neq \#}^l (m_i(t)[l] - x(t)[l])^2. \quad (17)$$

Таким образом, из всех векторов весовы выбирается наиболее «похожий», без учета компоненты, соответствующей поврежденному пикселю. После того, как нейрон-победитель найден, поврежденный пиксель на изображении заменяется на соответствующий из вектора веса нейрона. Данная процедура повторяется до тех пор, пока на исходном изображении не будет ни одного поврежденного пикселя.

Компьютерный эксперимент показал малые метрические отклонения и низкое быстродействие метода на фоне высокого качества заполнения пропусков «на глаз».

На рисунке 3 представлен пример восстановления поврежденной области изображения.



Рисунок 3 – Поврежденное и восстановленное с использованием карт Кохонена изображения

Эффективность предварительной обработки изображений с поврежденными областями была проверена в двух компьютерных экспериментах по распознаванию лиц и распознаванию текста. Результаты сравнительного эксперимента по распознаванию лиц представлены на графике, показанном на рисунке 4. По оси абсцисс отложен размер поврежденной области, а по оси ординат количество верно распознанных лиц.

Как хорошо видно каждый из предложенных методов предварительной обработки приводит к повышению процента верно распознанных лиц. Наиболее эффективным является метод с использованием карт Кохонена, наименее эффективным приближение с помощью линейных многообразий. Однако при учете времени выполнения наиболее применимым в системах технического зрения является приближение с помощью сплайнов.

На графике, показанном на рисунке 5, представлены результаты распознавания текста с линейными повреждениями (выпадение строки пикселей). Как хорошо видно, сравнительная эффективность методов такая же как и при распознавании лиц.

Аналогичные результаты дает численное сравнение близости восстановленных изображений к неповрежденному оригиналу, рассчитанное по различным метрикам.

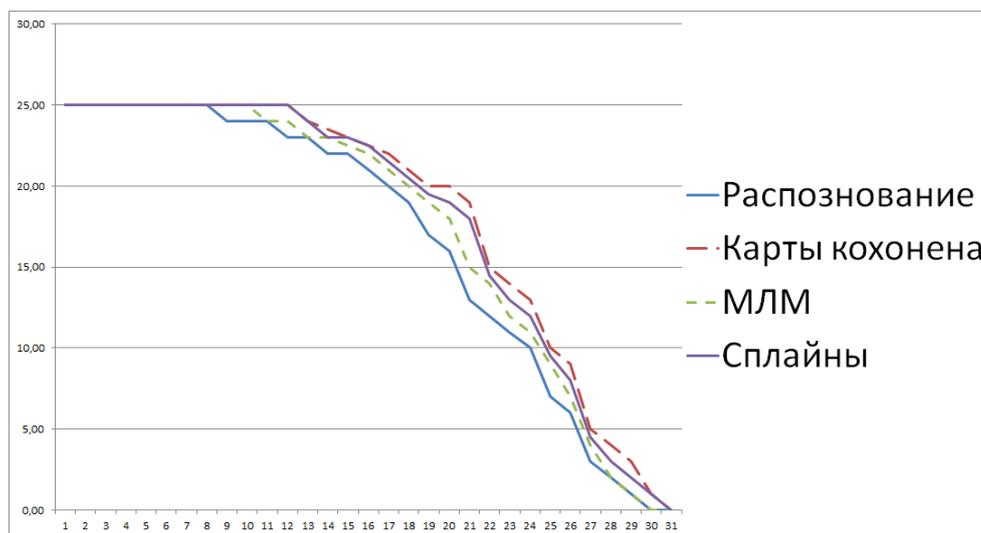


Рисунок 4 – График количества распознанных лиц при восстановлении различными методами

Таким образом, наилучшие результаты были получены с помощью самоорганизующихся карт Кохонен, однако этот метод обладает наибольшим временем работы и может использоваться только в режиме сохранения изображений с последующей обработкой при отсутствии жестких ограничений по времени. Метод кластеризации матриц с пропусками линейными многообразиями дает визуально хорошие результаты, однако также обладает не очень высоким быстродействием, вследствие чего использование его в режиме реального времени вызывает серьезные трудности. Интерполяция двумерными сплайнами больших порядков обладает достаточным быстродействием для использования в системах реального времени, дает хорошие показатели по используемым метрикам, одна заполнение пропущенных областей визуально легко различимо.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе содержится решение научной задачи разработки алгоритмов заполнения статических пропущенных пикселей на этапе предварительной обработки изображений в системах технического зрения. В ходе исследования получены следующие результаты:

1. Разработан алгоритм автоматического выявления статических пропусков в графических объектах, последовательно поступающих с одной камеры системы технического зрения. Предложенный алгоритм автоматически определяет статически поврежденные пиксели на достаточно небольшом наборе кадров. В проведенных экспериментах достаточно было 30 кадров.

2. Разработан алгоритм заполнения пропущенных пикселей в растровых изображениях с помощью сплайнов, определяемых локальными данными,

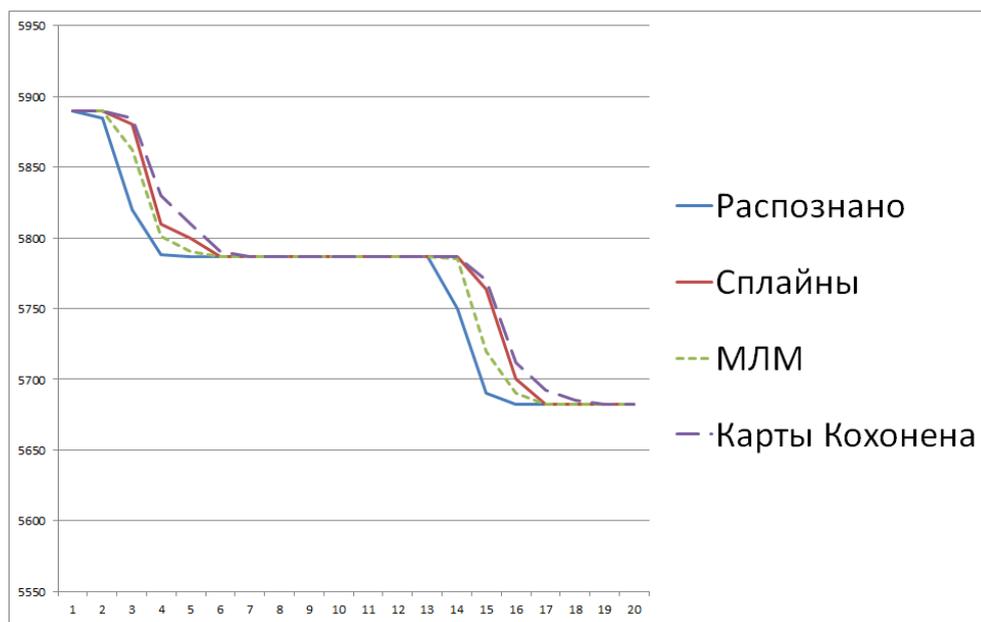


Рисунок 5 – График количества распознанного текста при восстановлении различными методами

новизна которого состоит в использовании только информации о ближайших с поврежденной областью соседях и построении трехмерного сплайна высокой размерности. Разработанный алгоритм обладает достаточно высокой скоростью работы, вследствие малого объема обрабатываемых данных по сравнению с традиционным методом, в котором используется вся статистическая выборка и строится бикубический сплайн в пространстве высокой размерности. Однако восстановленные области легко различимы визуально, что является следствием малого количества входных данных извлекаемых из неповрежденной области изображения.

3. Разработан алгоритм заполнения пропущенных пикселей в растровых изображениях на основе представления графического объекта таблицей с пропусками и последующим применением метода интерполяции матриц с пропусками линейными многообразиями. Данный метод дает визуально хорошие результаты, однако обладает не очень высоким быстродействием, вследствие чего использование его в режиме реального времени вызывает серьезные трудности. Однако данный метод строится на матричных операциях и в хорошей степени допускает распараллеливание, что существенно повышает возможности его использования.

4. Разработан алгоритм заполнения пропущенных пикселей в растровых изображениях с использованием самоорганизующихся карт Кохонена, обучаемых на неиспорченной части изображения. Предложен алгоритм обучения карты Кохонена для изображений с пропущенными пикселями. Использование данного метода обладает малым быстродействием, однако дает луч-

шие из трех предложенных методов результаты для поврежденных блоков небольшого размера. Для достаточно больших блоков наблюдается накопление ошибки от краев поврежденной области к центру, вследствие чего снижается качество восстановления. Также метод дает не достаточно хорошие результаты при наличие четких цветовых границ между частями изображения.

5. Разработано прикладное программное обеспечение на базе языка C++ для предварительной обработки растровых изображений со статическими пропущенными пикселями, решающее задачу заполнения пропусков на основе трех предложенных алгоритмов. Экспериментальная апробация разработанного программного обеспечения в системах автоматического распознавания образов показало повышение эффективности работы системы при использовании всех трех методов. Сравнение результатов различных методов показало, что наилучшие результаты были получены с помощью самоорганизующихся карт Кохонен, однако этот метод обладает наибольшим временем работы и может использоваться только в режиме сохранения изображений с последующей обработкой при отсутствии жестких ограничений по времени. Метод интерполяции матриц с пропусками линейными многообразиями дает визуально хорошие результаты, однако также обладает не очень высоким быстродействием, вследствие чего использование его в режиме реального времени вызывает серьезные трудности. Интерполяция двумерными сплайнами больших порядков обладает достаточным быстродействием для использования в системах реального времени, дает хорошие показатели по используемым метрикам, одна заполнение пропущенных областей визуально легко различимо.

**ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ*****В рецензируемых журналах из перечня ВАК***

1. Карты Кохонена как способ восстановления мультимедийной информации / И. Б. Ларионов // Журнал радиоэлектроники [Электронный ресурс]. 2010. №10. 29 с. (URL: <http://jre.cplire.ru/jre/oct10/3/text.html>).

2. Алгоритм автоматизированного восстановления поврежденных графических файлов / И. Б. Ларионов // Вестник Омского университета. 2011. №2. С. 176–177.

***В других изданиях***

3. Использование самоорганизующихся карт Кохонена для восстановления графической информации / И. Б. Ларионов, С. В. Белим // Решетневские чтения: материалы XIII междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та имени академика М. Ф. Решетнева (10–13 нояб. 2009, г. Красноярск): в 2 ч.; под общ. Ред. Ю. Ю. Логинова / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. Ч. 2. С. 437.

4. Кластеризация матриц с пропусками как метод восстановления графической информации / И. Б. Ларионов // Математические структуры и моделирование. Омск: ООО «УниПак», 2009. - Вып. 20. С. 97–106.

5. Многомерные линейные многообразия как способ восстановления графической информации / И. Б. Ларионов // Математические структуры и моделирование. Омск: «Омское книжное издательство», 2010. Вып. 21. С. 24–31.

6. Восстановление изображений при помощи многомерных линейных многообразий / И. Б. Ларионов // Проблемы обработки и защиты информации. Книга 2. Анализ графической и текстовой информации: коллективная монография / Под общей ред. д-ра физ.-мат. наук С. В. Белима. Омск: ООО «Полиграфический центр КАН», 2010. С. 43–57.

7. Восстановление изображений с использованием самоорганизующихся карт Кохонена / И. Б. Ларионов // Проблемы обработки и защиты информации. Книга 2. Анализ графической и текстовой информации: коллективная монография / Под общей ред. д-ра физ.-мат. наук С. В. Белима. Омск: ООО «Полиграфический центр КАН», 2010. С. 58–74.



Диссертант

**И. Б. Ларионов**

ЛАРИОНОВ Игорь Борисович

АЛГОРИТМЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ГРАФИЧЕСКИХ  
ОБЪЕКТОВ СО СТАТИЧЕСКИМИ ПРОПУСКАМИ В СИСТЕМАХ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации (в промышленности).

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 17.11.2011 Формат 60 × 84/16  
Бумага офсетная. Печать оперативная. Гарнитура Times New Roman.  
Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1,0.  
Тираж 100 экз. Заказ №314

Отпечатано в «полиграфическом центре КАН»  
644122, г. Омск, ул. Красный Путь, 30  
тел.(3812) 24-70-79, 8-904-585-98-84  
E-mail: ps\_kan@mail.ru  
Лицензия ПЛД №58-47 от 21.04.97