

# Распознавание рукописных меток на изображениях документов в реальном времени в системе компьютерного зрения

Рустем Фейзханов

Научный руководитель  
д.т.н. Местецкий Л.М.

Московский Физико-Технический Институт  
Сколковский Институт Науки и Технологий

24 Июня 2015

# Существующие способы передачи рукописных пометок и их недостатки

## Сканеры

- требуется дополнительное оборудование
- не работает в режиме реального времени

## Планшеты

- требуется дополнительное оборудование
- не может работать с карандашами

## Цель научной работы

### Цель

Разработать систему по распознаванию пометок на документе используя серию изображений с камеры ноутбука с последующим добавлением пометок на цифровую версию документа.

### Проблема

Детектирование пометок после нелинейного преобразования документа

## Обзор литературы

### Детектирование изменений

- R. B. Fisher, Change Detection in Color Images, 1999
- Lorenzo Bruzzone, Diego Prieto, Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection, 2000
- Paul L. Rosin, Thresholding for Change Detection, 1998

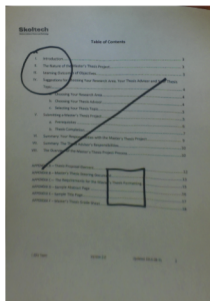
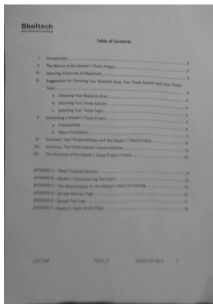
### Распознавание пометок

- Marcus Liwicki, Horst Bunke, Handwriting Recognition of Whiteboard Notes, 2009
- Alex Graves, Offline Handwriting Recognition with Multidimensional Recurrent Neural Networks, 2008
- Rahul Kala, Harsh Vazirani, Anupam Shukla, Offline Handwriting Recognition using Genetic Algorithm, 2010

## Научная новизна

### Детектирование пометок после нелинейного преобразования документа

- Нелинейность
- Соседство
- Непрерывность



# Постановка задачи

## Дано

$I^{before}$  - изображение до

$I^{after}$  - изображение после

## Найти

$M$  - пометки

$$M, H^{ver}, H^{hor} = \operatorname{argmin}(f(I^{before}, I^{after}, M, H^{ver}, H^{hor}))$$

## Терминология

- Изображение до

$$I_{ij}^{before} \in \overline{0..255}, i \in \overline{0, H}, j \in \overline{0, W}$$

- Пометки

$$M_{ij} \in \{0, 1\}, i \in \overline{0, H}, j \in \overline{0, W}$$

- Изображение после

$$I_{ij}^{after} \in \overline{0..255}, i \in \overline{0, H}, j \in \overline{0, W}$$

- Преобразование

$$H_{ij}^{ver} \in \mathbb{Z}, H_{ij}^{hor} \in \mathbb{Z}$$

- Функция ошибки

$$\begin{aligned} & f(I^{before}, I^{after}, M, H^{ver}, H^{hor}) = \\ & = \left( \sum_{i,j} (I_{i+H_{ij}^{ver}, j+H_{ij}^{hor}}^{before} * M_{i+H_{ij}^{ver}, j+H_{ij}^{hor}} - I_{ij}^{after}) \right) / (H * W) \end{aligned}$$

## Ограничения преобразования

- Нелинейность

$$H_{ij}^{ver} \in \mathbb{Z}, H_{ij}^{hor} \in \mathbb{Z}$$

- Соседство

$$|H_{ij}^{ver}| < D_{neigh}$$

$$|H_{ij}^{hor}| < D_{neigh}$$

- Непрерывность

$$|H_{ij}^{ver} - H_{i+1,j}^{ver}| < D_{cont}$$

$$|H_{ij}^{ver} - H_{i,j+1}^{ver}| < D_{cont}$$

$$|H_{ij}^{hor} - H_{i,j+1}^{hor}| < D_{cont}$$

$$|H_{ij}^{hor} - H_{i,j+1}^{hor}| < D_{cont}$$



## Алгоритм

- Найти признаки на изображениях (SURF)
- Совмещение признаков на основе локальных ограничений
- Совмещение признаков на основе глобальных ограничений
- Восстановление преобразования на основе отдельных точек

### Совмещение признаков

$$P_k = \{(i_k^{before}, j_k^{before}, i_k^{after}, j_k^{after})\} \in \overline{0, H \times 0}, \overline{W \times 0}, \overline{H \times 0}, \overline{W}$$

## Глобальные ограничения

### Соседство

$$P_k \in P_{\text{matched}} \text{ if}$$

$$|i_k^{\text{before}} - i_k^{\text{after}}| < D_{\text{neigh}}$$

$$|j_k^{\text{before}} - j_k^{\text{after}}| < D_{\text{neigh}}$$

### Непрерывность

$$P_k \in P_{\text{matched}} \text{ if}$$

$$l \in L : \sqrt{(i_k^{\text{before}} - i_l^{\text{before}})^2 + (j_k^{\text{before}} - j_l^{\text{before}})^2} < D_{\text{thres}}$$

$$\Delta i_k^{\text{median}} = \text{median}_L(i_l^{\text{before}} - i_l^{\text{after}}), \Delta j_k^{\text{median}} = \text{median}_L(j_l^{\text{before}} - j_l^{\text{after}})$$

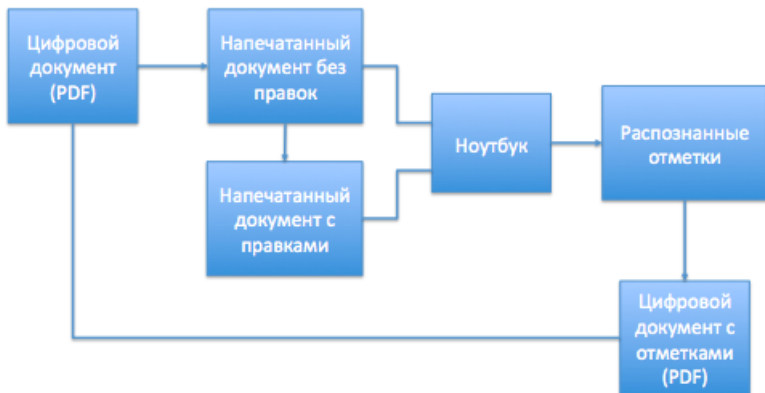
$$|(i_l^{\text{before}} - i_k^{\text{after}}) - \Delta i_k^{\text{median}}| < D_d, |(j_k^{\text{before}} - j_k^{\text{after}}) - \Delta j_k^{\text{median}}| < D_d$$



## Параметры системы

- Время работы
  - работа в реальном времени
- Качество
  - качество камеры 640x480
- Устойчивость
  - изменения в яркости
  - высокий уровень шума

## Схема системы



# Пример работы алгоритма - цифровой документ




Table of Contents

I. Introduction.....	3
II. The Nature of the Master's Thesis Project.....	3
III. Learning Outcomes of Objectives.....	3
IV. Suggestions for Choosing Your Research Area, Your Thesis Advisor and Your Thesis Topic.....	4
a. Choosing Your Research Area.....	4
b. Choosing Your Thesis Advisor.....	4
c. Selecting Your Thesis Topic.....	5
V. Submitting a Master's Thesis Project.....	5
a. Prerequisites.....	6
b. Thesis Completion.....	7
VI. Summary: Your Responsibilities with the Master's Thesis Project.....	9
VII. Summary: The Thesis Advisor's Responsibilities.....	10
VIII. The Overview of the Master's Thesis Project Process.....	10
APPENDIX A – Thesis Proposal Element.....	12
APPENDIX B – Master's Thesis Steering Document.....	13
APPENDIX C – The Requirements for the Master's Thesis Formatting.....	15
APPENDIX D – Sample Abstract Page.....	16
APPENDIX E – Sample Title Page.....	17
APPENDIX F – Master's Thesis Grade Sheet.....	18

| EDU Team                      Version 2.0                      Updated 2014-09-31                      2

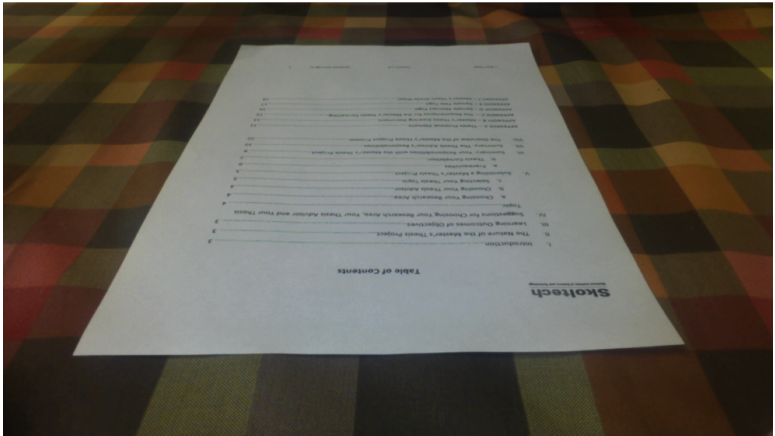
## Пример работы алгоритма - расположение ноутбука



## Пример работы алгоритма - расположение ноутбука

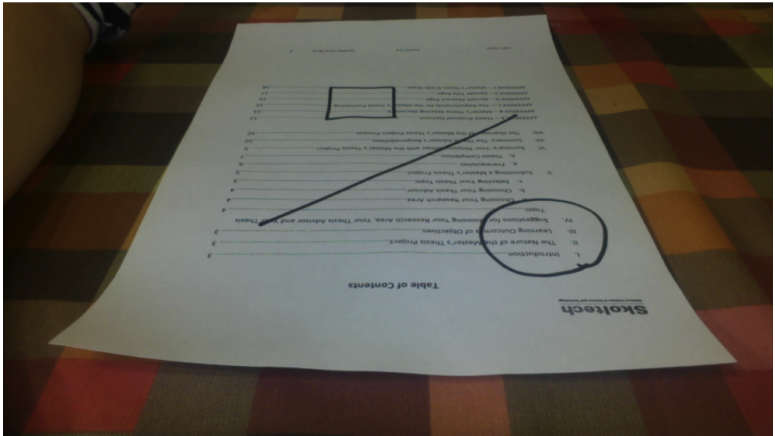


# Пример работы алгоритма - изображение с вебкамеры

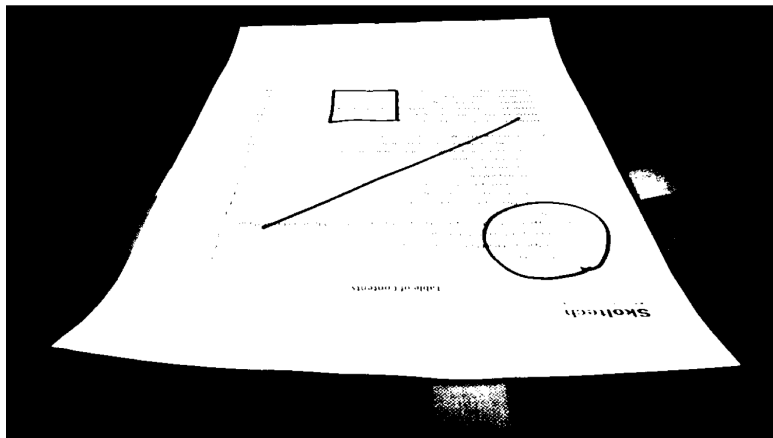




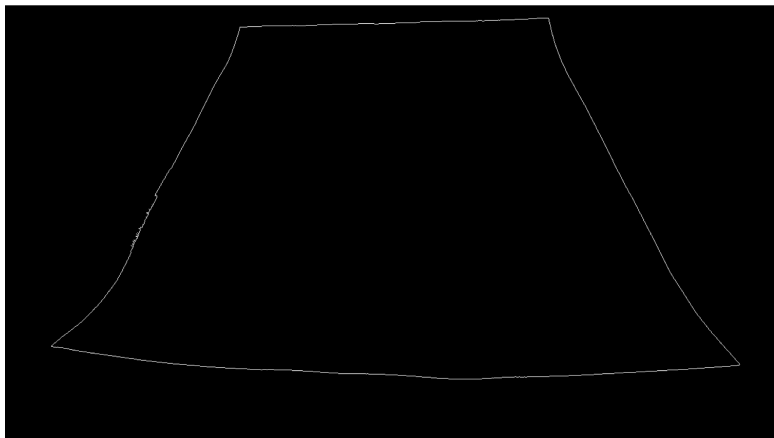
# Пример работы алгоритма - изображение с вебкамеры



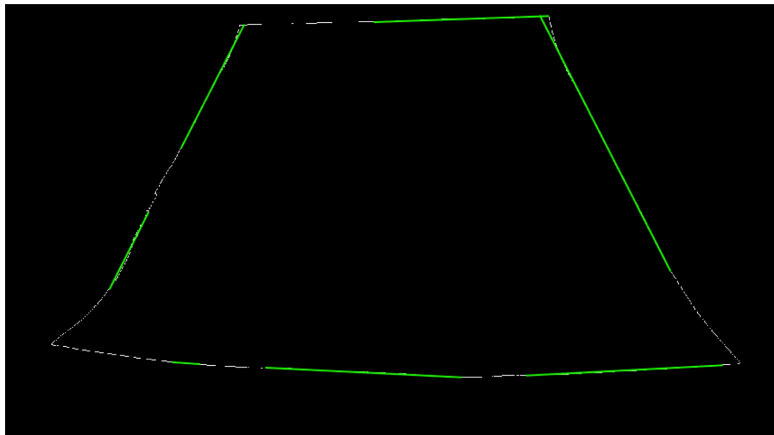
## Пример работы алгоритма - бинаризация



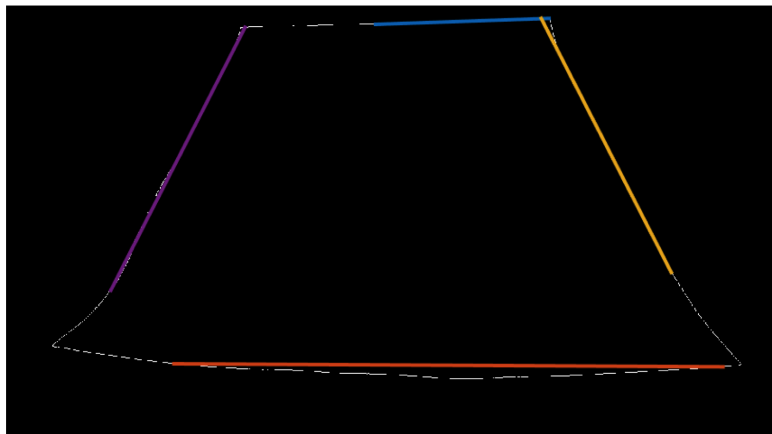
## Пример работы алгоритма - определение границы



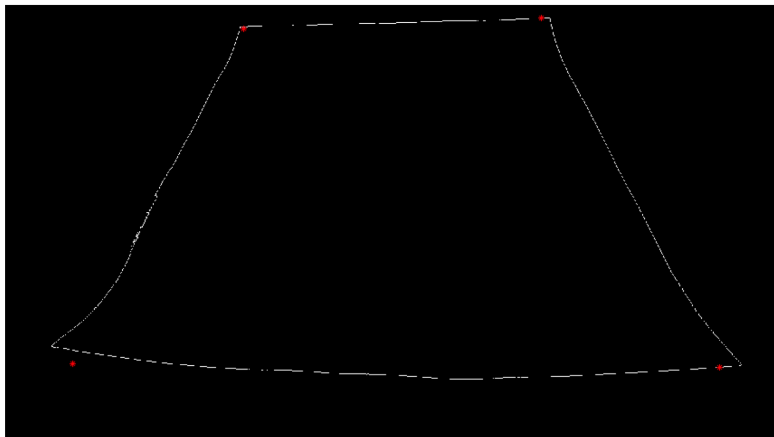
## Пример работы алгоритма - детектирование ребер



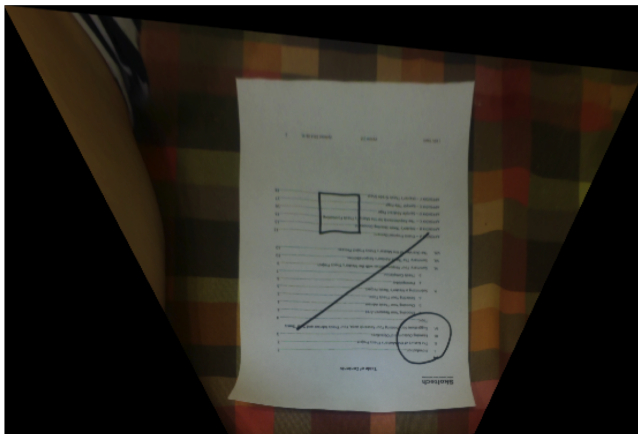
## Пример работы алгоритма - фильтрация ребер и объединение



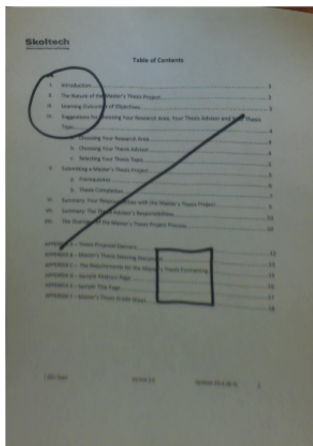
## Пример работы алгоритма - расчет углов документа



## Пример работы алгоритма - гомография

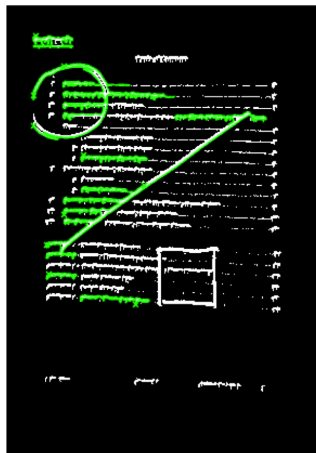


# Пример работы алгоритма - обрезание и вращение

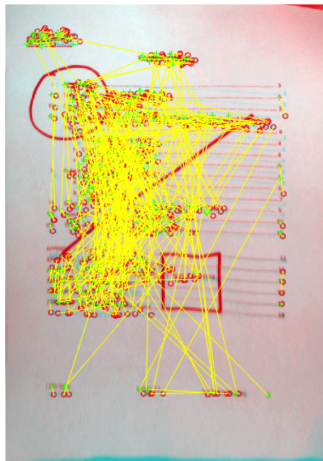




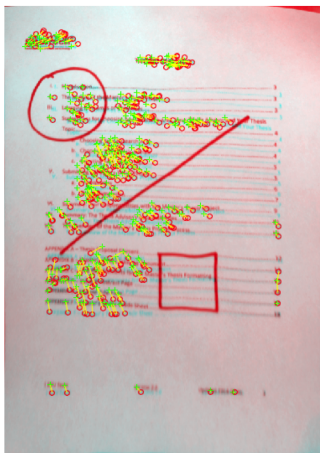
## Пример работы алгоритма - бинаризация



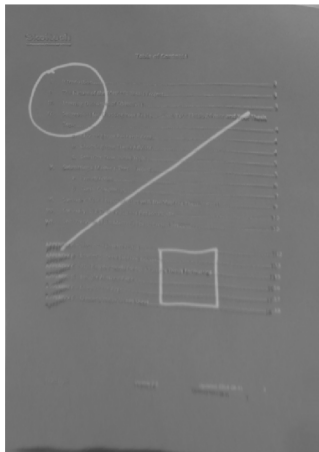
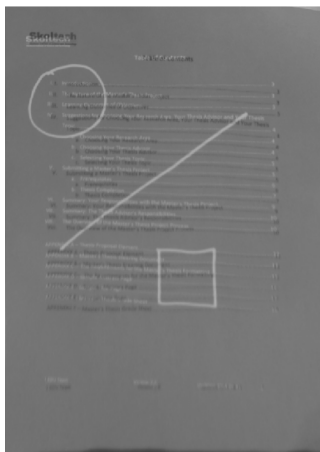
## Пример работы алгоритма - совмещение признаков



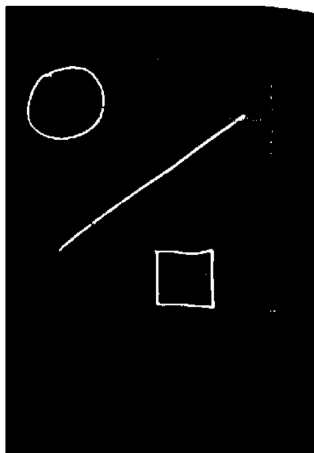
# Пример работы алгоритма - фильтрация похожих признаков



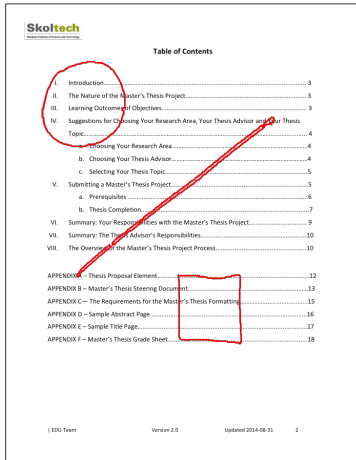
# Пример работы алгоритма - сравнение разности изображений без и с использованием трансформации



## Пример работы алгоритма - бинаризация разности изображений



# Пример работы алгоритма - цифровой документ с пометками



**Skoltech**  
Skolkovo Institute of Science and Technology

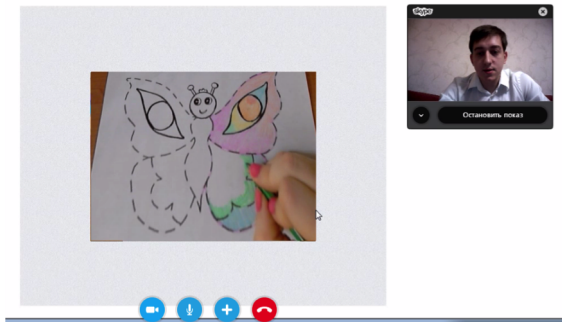
**Table of Contents**

I. Introduction	3
II. The Nature of the Master's Thesis Project	3
III. Learning Outcomes of Objectives	3
IV. Suggestions for Choosing Your Research Area, Your Thesis Advisor and Your Thesis Topic	4
a. Choosing Your Research Area	4
b. Choosing Your Thesis Advisor	4
c. Selecting Your Thesis Topic	5
V. Submitting a Master's Thesis Project	5
a. Prerequisites	6
b. Thesis Completion	7
VI. Summary: Your Responsibilities with the Master's Thesis Project	9
VII. Summary: The Thesis Advisor's Responsibilities	10
VIII. The Overview of the Master's Thesis Project Process	10
APPENDIX A - Thesis Proposal Element	12
APPENDIX B - Master's Thesis Steering Document	13
APPENDIX C - The Requirements for the Master's Thesis Formatting	15
APPENDIX D - Sample Abstract Page	16
APPENDIX E - Sample Title Page	17
APPENDIX F - Master's Thesis Grade Sheet	18

| EDU Team      Version 2.0      Updated 2014-08-31      2

## Тестирование на реальных пользователях

- Javascript реализация  
([www.studycam.ru](http://www.studycam.ru) + [www.vk.com/app4663273](http://www.vk.com/app4663273))
- Три онлайн школы согласилось протестировать
- Одна школа решила использовать в дальнейшем



## Результаты тестирования

- Количество протестированных пользователей - 50
- Среднее время работы - 5 minutes
- Средняя частота кадров - 25 FPS
- Браузеры - Chrome 50%
- Вебкамеры - 640x480 70%



## Обратная связь от компаний

### Конкурентные преимущества

- Дети могут использовать карандаши и ручки для рисования
- Дети могут дольше заниматься, так как есть ограничения на максимальное время работы за компьютером
- Не требуется установки
- Очень высокий уровень интерактивности по сравнению с обычным домашним заданием

### Текущие недостатки

- Ограничения на тип браузера
- Низкое качество в случае камеры с низким разрешением
- Неочевидный интерфейс

## Результаты

- сформулирована модель задачи нелинейной трансформации
- сформулирована проблема в рамках модели
- разработан алгоритм распознавания краев документа
- разработан алгоритм экстраполяции трансформации
- разработан алгоритм сегментации пометок для дальнейшей классификации

## Результаты

- построен алгоритм, который может быть использован для детектирования пометок после нелинейного преобразования
- Разработана система с использованием Matlab
- Разработан прототип с использованием Javascript для тестирования на реальных пользователях
- Публикация на конференции SPIE Imaging and Multimedia Analytics in a Web and Mobile World 2014  
<http://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.2041189>