

УДК 539.216:546.824-31

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ЭТАЛОНОВ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ГРАФИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБЪЕКТОВ

В.С. МУХА, А.Н. КУЗЬКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 10 июня 2016*

Выполнен анализ подходов к выбору эталонов при распознавании графических представлений объектов. Наряду с детерминированными предложено использовать также статистические эталоны. Предложены два способа получения статистических эталонов. Выполнены испытания различных эталонов и различных методов распознавания рукописных строчных букв кириллицы и листьев деревьев. В результате выявлено, что использование статистических эталонов приводит к значительному повышению достоверности распознавания.

*Ключевые слова:* Прокрустово преобразование, Прокрустово расстояние, методы распознавания, статистические эталоны.

### Введение

При распознавании графических представлений объектов важной составляющей является выбор эталонов. В различных задачах распознавания эта проблема имеет свои особенности. В некоторых случаях эталоны определяются однозначно, в некоторых имеются предположения об их выборе, а в некоторых нет даже предположений. Например, при распознавании печатного текста в качестве эталонов однозначно следует взять начертания печатных букв. При распознавании рукописного текста можно предположить, что хорошими эталонами будут начертания букв прописей. При распознавании листьев деревьев нет даже предположений относительно эталонов. По-видимому, существует лишь эмпирическое решение вопроса выбора эталонов при распознавании.

При распознавании текста находит применение Прокрустово преобразование, под которым будем понимать любое преобразование распознаваемой реализации буквы таким образом, чтобы она оказалась как можно ближе к эталону. По оставшемуся минимальному отклонению (Прокрустову расстоянию) принимается решение об отнесении реализации к тому или иному образу. В распознавании рукописных букв исследованы такие Прокрустовы преобразования, как ортогональное [1], линейное [2], линейное простое симметричное [3], линейное пропорциональное [4]. В данной работе обсуждаются различные подходы к выбору эталонов при распознавании с помощью Прокрустова преобразования.

### Подходы к выбору эталонов

Проблема выбора эталонов возникает тогда, когда предъявляемые на распознавание реализации одного и того же образа отличаются друг от друга. Такая ситуация имеет место, например, при распознавании рукописных букв или листьев деревьев. Можно выделить следующие виды эталонов: предполагаемые реалистичные эталоны, эталоны-реализации распознаваемых образов, статистические (усредненные) эталоны. В свою очередь, статистические эталоны различаются способом усреднения.

Предполагаемые реалистичные эталоны можно использовать тогда, когда имеются

реалистичные основания для их выбора, как, например, прописи при распознавании рукописных букв.

Эталоны-реализации можно использовать в случаях, когда нет реалистичных предположений об эталонах. В этих случаях можно в качестве эталонов использовать выбранные случайным образом реализации каждого образа, или наиболее типичные реализации. Здесь при выборе эталонов будут проявляться случайность или субъективизм.

Статистические эталоны можно получить усреднением множества реализаций образов. Здесь возникают вопросы как философского, так и технического характера: что такое средняя рукописная буква «а»; что такое (существует ли) средний лист клена? Как получить среднюю рукописную букву «а» или средний лист клена. В данной работе предлагаются и используются два подхода к получению статистических эталонов. Первый подход состоит в совмещении центров масс реализаций и последующем усреднении их координат. Такие эталоны будем называть средними. Для получения средних эталонов не требуется знания предполагаемых эталонов. Второй подход заключается в том, что каждая реализация подгоняется с помощью Прокрустова преобразования к предполагаемому эталону, и координаты результатов преобразований усредняются. Для подгонки используется преобразование, которое будет применяться при распознавании. Такие эталоны будем называть родственными средними. Понятно, что этот подход можно применять в случае, когда имеются предполагаемые реалистичные эталоны.

### **Испытания эталонов при распознавании рукописных букв**

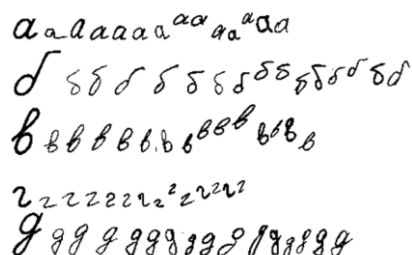
Использование различных эталонов проверялось при распознавании рукописных букв на примере четырех Прокрустовых преобразований. Набор распознаваемых букв содержал 511 рукописных строчных букв кириллицы, примерно по 16 реализаций каждой буквы, написанной различными людьми. Фрагмент используемого для распознавания набора букв представлен на рисунке. На этом рисунке собраны графические файлы букв, так что разброс букв по высоте обусловлен тем, что файлы имеют различные размеры. Первыми в каждой строке на рисунке представлены буквы прописей. В таком виде буквы считывались для распознавания. Распознаваемая буква подгонялась к каждой букве эталона с помощью Прокрустова преобразования. Результатом распознавания считался эталон, на котором достигнуто минимальное Прокрустово расстояние. Техника распознавания подробно описана в [2, 5]. Использовались эталоны-реализации, эталоны-прописи и статистические эталоны (эталон-средние и эталоны-родственные-средние). Эталон-реализации выбирались случайным образом из имеющегося набора букв. Статистические эталоны рассчитывались усреднением имеющихся реализаций. Для расчета эталонов-родственных-средних использовались эталоны-прописи. Результаты распознавания при различных эталонах приведены в табл. 1. Столбцы таблицы соответствуют используемым преобразованиям, а строки – используемым эталонам. В клетках таблицы указано число правильно распознанных букв и доля правильных распознаваний.

Анализ данных табл. 1 показывает, что распознавание на эталонах-реализациях имеет низкую достоверность для всех преобразований. Использование эталонов-прописей несколько повышает достоверность распознавания по сравнению с эталонами-реализациями, однако достоверность распознавания остается на достаточно низком уровне в 53–61 %. Использование статистических эталонов приводит к существенному повышению достоверности на 10–15 %. При этом заметной разницы между эталонами-средними и эталонами-родственными-средними не обнаруживается.

Наибольшую достоверность распознавания на статистических эталонах показывают ортогональное и пропорциональное Прокрустовы преобразования (75 % и 76 % соответственно), а среди них следует отдать предпочтение пропорциональному Прокрустову преобразованию (76 %). Хорошую достоверность на статистических эталонах показывает также линейное простое симметричное Прокрустово преобразование (71 %).

В табл. 2 приведены примеры эталонов-прописей и соответствующих им эталонов-средних. Несмотря на то, что некоторые эталоны-средние имеют достаточно экзотический вид, в совокупности они составляют систему эталонов, повышающую достоверность распознавания рукописных букв. Отметим, что замена одного или нескольких эталонов в этой системе на

предполагаемые лучшие эталоны приводит к нарушению системы в целом и не дает ожидаемого улучшения достоверности распознавания. Так, в системе эталонов-средних приведенные в табл. 2 эталоны-средние для букв «з, т, ц, щ, ы» заменялись их эталонами-прописями. Это привело к уменьшению достоверности распознавания пропорциональным Прокрустовым преобразованием с  $390/511 = 0,7632$  до  $363/511 = 0,7104$ .



Фрагмент набора букв для распознавания

Таблица 1. Результаты распознавания 511 рукописных строчных букв кириллицы с помощью различных преобразований при различных эталонах

Преобразование \ Эталон	Линейное [2]	Линейное простое симметричное [3]	Ортогональное [1]	Пропорциональное [4]
Эталоны-реализации	$208/511 = 0,4070$	$260/511 = 0,5088$	$292/511 = 0,5714$	$289/511 = 0,5656$
Эталоны-прописи	$271/511 = 0,5303$	$303/511 = 0,5930$	$300/511 = 0,5871$	$310/511 = 0,6067$
Эталоны-родственные-средние	$336/511 = 0,6575$	$352/511 = 0,6888$	$379/511 = 0,7417$	$390/511 = 0,7632$
Эталоны-средние	$323/511 = 0,6321$	$361/511 = 0,7065$	$385/511 = 0,7534$	$390/511 = 0,7632$

Таблица 2. Примеры эталонов-прописей (верхняя строка) и соответствующих им эталонов-средних (нижняя строка) при распознавании рукописных строчных букв кириллицы

З	Т	Ц	Щ	Ы

### Испытания эталонов при распознавании листьев деревьев

Использование различных эталонов проверялось также при распознавании листьев деревьев с помощью четырех Прокрустовых преобразований. Набор распознаваемых листьев содержал 459 листьев 15 деревьев: березы, дуба, ели, ивы, каштана, клена, липы, лозы, ольхи, орешника, осины, рябины, сирени, сосны, тополя, примерно по 30 листьев разных размеров каждого дерева. Использовались изображения листьев без черенков (с маленькими черенками), уложенные по возможности вертикально черенками вниз. Исследовались эталоны-реализации, эталоны-средние и эталоны-родственные-средние. В качестве эталонов-реализаций были отобраны примерно симметричные листья средних размеров без изъянов. Статистические эталоны рассчитывались усреднением 20 реализаций. Для расчета статистических эталонов использовались случайно выбранные листья разных размеров из имеющегося набора листьев. При расчете эталонов-родственных-средних использовались отобранные эталоны-реализации. Результаты распознавания при различных эталонах приведены в табл. 3. Структура и содержание табл. 3 аналогичны структуре и содержанию табл. 1. По результатам распознаваний листьев деревьев можно сделать выводы, аналогичные выводам по результатам распознавания рукописных букв. Наблюдается то же соотношение между используемыми преобразованиями (методами распознавания) и используемыми эталонами. Однако

достоверность распознавания листьев заметно выше. Так, пропорциональное Прокрустово преобразование на эталонах-средних дает 91 % правильных распознаваний листьев по сравнению с 76 % правильных распознаваний рукописных букв.

Таблица 3. Результаты распознавания 459 листьев деревьев с помощью различных преобразований при различных эталонах

Преобразование \ Эталон	Линейное [2]	Линейное простое симметричное [3]	Ортогональное [1]	Пропорциональное [4]
Эталон				
Эталон-реализации	235/459 = 0,5120	241/459 = 0,5251	306/459 = 0,6667	304/459 = 0,6623
Эталон-родственные-средние	300/459 = 0,6536	310/459 = 0,6754	410/459 = 0,8932	393/459 = 0,8562
Эталон-средние	313/459 = 0,6819	325/459 = 0,7081	409/459 = 0,8911	418/459 = 0,9107

В табл. 4 для сравнения приведены примеры эталон-реализаций листьев и соответствующих им эталон-средних. Здесь отличие эталон-средних от эталон-реализаций не столь значительное, как это было для рукописных букв. В табл. 4 можно увидеть «средние листья» дуба и клена. Хотя и не доказано существование этих средних листьев, зато показали целесообразность их отыскания.

Таблица 4. Примеры эталон-реализаций (верхняя строка) и соответствующих им эталон-средних (нижняя строка) при распознавания листьев деревьев

Береза	Дуб	Клен	Липа	Осина

## STATISTICAL APPROACH TO CHOICE OF TEMPLATES AT RECOGNITION OF THE OBJECTS GRAPHIC PRESENTATIONS

V.S. MUKHA, A.N. KUZKOU

### Abstract

The analysis of approaches to choice of templates at recognition of the graphic presentations of objects is executed. It is offered to use the statistical templates alongside with deterministic templates. Two ways of the statistical templates creation are offered. The testing of different templates and different methods of the recognition of the handwritten small letters and tree's sheets is performed. As a result the significant increasing of authenticity of recognition with statistical templates is discovered.

**Keywords:** Procrustean transformation, Procrustean distance, method of recognition, statistical standard.

### Список литературы

1. *Crosilla Fabio*. Procrustes Analysis and Geodetic Sciences // Technical report. Part 1. 1999. P. 69–78.
2. *Муха В.С.* // Автоматика и вычислительная техника. 2012. № 3. С. 36–48.
3. *Муха В.С., Кузьков А.Н.* // Докл. БГУИР. 2015. № 5 (91). С. 25–28.
4. *Муха В.С., Кузьков А.Н.* // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. 2015. № 4. С. 38–45.
5. *Муха В.С., Кузьков А.Н.* // Матер. Междунар. научн. конф. «Информационные технологии и системы». Минск, Беларусь, 23 октября 2013. С. 298–299.