

ПРОКРУСТОВО ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В РАСПОЗНАВАНИИ РУКОПИСНЫХ БУКВ

Муха В. С., Кузьков А. Н.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: mukha@bsuir.by, aliaksandr.kuzkou@gmail.com

Предложен подход и разработаны алгоритмы использования Прокрустова преобразования для распознавания рукописных букв. Приведены результаты распознавания.

ВВЕДЕНИЕ

Прокрустово преобразование (Procrustes transformation) находит широкое применение для сравнения различных родственных множеств данных во многих предметных областях: химии, биологии, психологии, географии, антропологии, геодезии и др. [1–5]. Классической считается ортогональная Прокрустова задача. Она состоит в отыскании преобразования вида

$$D = GJ^T + cBX \quad (1)$$

из условия

$$\rho = \text{tr}((Y - D)^T(Y - D)) \rightarrow \min_{G, B, c}, \quad (2)$$

где X и Y – две известные $(k \times n)$ -матрицы, B – ортогональная $(k \times k)$ -матрица, $G^T = (g_1, g_2, \dots, g_k)$, $J^T = (1_1, 1_2, \dots, 1_n)$ – векторы, c – скаляр. Матрица B называется матрицей вращения-отражения, вектор G – вектором смещения или сдвига, а скаляр c – коэффициентом растяжения-сжатия или масштабирования. Математическое решение этой задачи приводится в [4].

Прокрустово преобразование относится к математической проблеме сравнения матриц [2]. Содержательный смысл Прокрустова преобразования (1) состоит в следующем. Столбцы $(k \times n)$ -матриц X и Y представляют собой упорядоченные k -векторы, т.е. упорядоченные точки в k -мерном Евклидовом пространстве E^k . Две матрицы как два упорядоченных набора точек представляют в этом пространстве две конфигурации точек (фигуры). При $k = 2$ это фигуры на плоскости, при $k = 3$ – в трехмерном пространстве и т.д. Задача состоит в том, чтобы с помощью Прокрустова преобразования подогнать фигуру X как можно ближе к фигуре Y и по остаточному расстоянию ρ_{min} (Прокрустову расстоянию) ответить на вопрос, представляют ли эти наборы точек одну и ту же фигуру, но в различных формах, или же они представляют две различные фигуры. Иначе говоря, Прокрустово преобразование используется для сравнения форм представления различных пространственных фигур. Полученная в результате преобразования (1) фигура D пропорционально увеличена-уменьшена, смещена и повернута либо отражена

по сравнению с исходной фигурой X и узнается человеком как исходная фигура. Ортогональное Прокрустово преобразование связано с необходимостью выполнения сингулярного разложения (singular value decomposition, SVD) матрицы YX^T . Алгоритм сингулярного разложения матрицы не является тривиальным. Достаточно сказать, что разработчики открытой системы программирования Matlab не предоставили доступа к коду программы `svd.m`, выполняющей сингулярное разложение.

1. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОКРУСТОВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ К РАСПОЗНАВАНИЮ РУКОПИСНЫХ БУКВ

Прокрустово преобразование может быть использовано для распознавания рукописных букв. Для этого распознаваемые буквы и буквы-эталонны необходимо представить в виде упорядоченных наборов точек (матриц). Решение при распознавании выносится в пользу той буквы-эталона, Прокрустово расстояние от которой до распознаваемой буквы наименьшее по сравнению с другими буквами-эталонами. Алгоритм представления буквы в виде упорядоченного набора точек можно назвать алгоритмом векторизации буквы, так как он определяет векторное описание растрового изображения буквы. Наиболее естественным представляется выбор точек на внешнем контуре черно-белого изображения буквы. Алгоритм векторизации буквы заключается в выборе последовательных черных точек контура буквы и последующем равномерном их прореживании для оставления определенного и одинакового для каждой буквы числа точек. Алгоритм должен работать автоматически и обеспечивать единообразный выбор начальной точки для всех букв независимо от их размеров. Этим требованиям удовлетворяет следующий алгоритм, использующий центр массы буквы.

1. Находим центр массы буквы (x_0, y_0) по формулам

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad y_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i,$$

где $x_i, y_i, i = \overline{1, n}$, – координаты черных пикселей в пределах растрового пространства, содержащего букву, n – количество черных пикселей.

2. Организуем движение вправо от центра массы до достижения черного пикселя на внешнем контуре буквы. Если такой пиксел не обнаружен, то организуем движение влево от центра массы. Полученная в результате выполнения этого пункта алгоритма точка является первой точкой векторного представления буквы.

3. Организуем движение от первой точки против часовой стрелки, фиксируя координаты каждого последующего черного пикселя внешнего контура буквы до достижения первой точки.

4. Выполняем равномерное прореживание полученных точек для оставления требуемого их количества.

Данный алгоритм был запрограммирован и использован для векторизации рукописных букв русского алфавита. В результате работы алгоритма каждая выделенная из черно-белого текста буква может быть сохранена в памяти как числовая матрица из двух строк: в первой строке находятся абсциссы точек буквы, во второй – ординаты. Каждая буква представлялась матрицей размером 2×40 , т. е. в каждой букве удерживалось 40 точек на ее внешнем контуре.

Был запрограммирован также алгоритм распознавания с помощью Прокрустова преобразования. Прокрустово преобразование было реализовано с помощью программы Matlab `procrustes.m`. Эталонной буквой считалась матрица Y в (2), а распознаваемой – матрица X в (1), т. е. распознаваемая буква подгонялась ко всем эталонным и фиксировались Прокрустовы расстояния.

В данной работе в качестве эталонных взяты буквы русских прописей, по которым обучается письму каждый школьник. Результаты распознавания характеризуются следующим.

Если множества эталонных и распознаваемых букв совпадают, то наблюдается стопроцентное распознавание. Чем больше распознаваемый почерк подобен прописям, тем больше процент правильных распознаваний. В частности, на рис. 1 представлены распознаваемые буквы одного из почерков. Из 33 строчных букв данного почерка, предъявленных на распознавание, правильно распознаны 27 (82%). Неверно распознанными оказались 6 букв: ц распознано как у (ц – у), а также ч – с, ё – ф, к – а, л – я, з – д. Сущность Прокрустова распознавания иллюстрирует рис. 2. На данном рисунке изображена в векторном представлении буква б: эталонная из прописей, распознаваемая и распознаваемая, преобразованная с помощью Прокрустова преобразования. Видно, что эталонная и распознаваемая буквы значительно отличаются как по размерам, так и по форме. Тем не менее распознаваемая буква достаточно хорошо подгоняется

под эталонную, в результате чего она распознается верно.

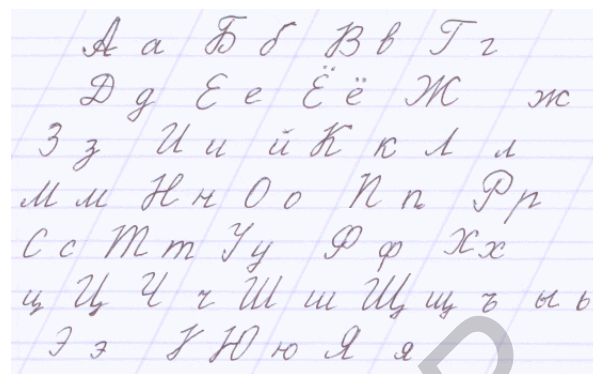


Рис. 1 – Распознаваемые буквы

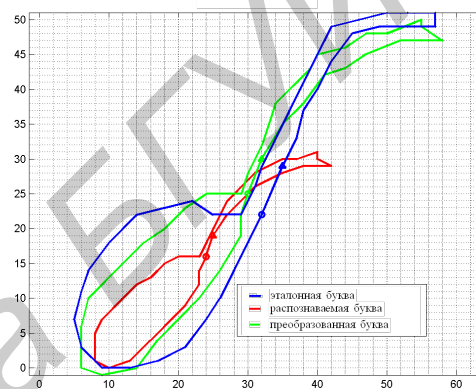


Рис. 2 – Эталонная, распознаваемая и преобразованная буквы

Следует отметить, что мировой лидер в распознавании текста программа FineReader [6] практически не распознает рукописный текст.

II. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Andrade, J. M. et al. Procrustes rotation in analytical chemistry, a tutorial / J. M. Andrade et al. // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. – 2004. – № 72. – P. 123–132.
- Schneider, W. Jesper. Matrix comparison, part 2: Measuring the resemblance between proximity measures or ordination results by use of the mantel and procrustes statistics / W. Jesper Schneider, Borlund Pia // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Volume 58, Issue 11, September 2007, Pages: 1596–1609.
- Hurley, J. R. The Procrustes program: Producing direct rotation to test a hypothesized factor structure / J. R. Hurley, R. B. Cattell // *Behavioral Sciences*. – 1962. – № 7. – P. 258–262.
- Crosilla, Fabio. Procrustes Analysis and Geodetic Sciences. Technical report. Part 1 / Fabio Crosilla. – Stuttgart, Germany: Univ. of Stuttgart, Dept. of Geodesy and Geoinformatics. – 1999. – P. 69–78.
- Kroonenberg, P. M. Consensus molecular alignment based on generalized procrustes analysis / P. M. Kroonenberg, W. J. Dunn III, J. J. F. Commandeur // *Journal of chemical information and computer sciences*. – 2003. – Vol. 43. – Pp. 2025–2032.
- Корнеев, А. П. Программа FineReader. Руководство / А. П. Корнеев, А. А. Иванова, Р. Г. Прокиди. – Санкт-Петербург: Наука и техника, 2010. – 83 с.