

**МЕТОД ДЕФОРМАЦИИ ФОРМЫ СИМВОЛОВ
НА ОСНОВЕ ПЛАНАРНОГО ПАТЧА БЕЗЬЕ**

Семенов А.Б.

Кафедра информационных технологий

Поступила в редакцию 27.11.2014, после переработки 10.12.2014.

В настоящей работе приводится новый способ преобразования формы рукописных символов, описанных с помощью жирных линий – однопараметрических семейств кругов переменного радиуса с центрами на гладких кривых. В качестве инструмента деформации и синтеза новых форм используется известный в компьютерной графике плоский патч Безье. Используя подобный площадной примитив возможно создание нетривиальных и замысловатых способов трансформации форм символов.

Ключевые слова: циркулярный примитив, жирная линия, рукописный символ, деформация формы, патч Безье.

Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2014. № 4. С. 105–113.

Введение

В системах компьютерного зрения, связанных с распознаванием образов и анализом форм, одной из основных проблем для исследователя выступает наличие репрезентативной базы прецедентов (эталонов). Не является исключением и задача классификации символов некоторого алфавита. Как правило, сбор подобных баз эталонных образцов ведется в ручном или полуавтоматическом режиме. Иной подход заключается в создании механизма генерации «живых» символов, когда один символ имеет несколько вариантов начертаний, отличающихся друг от друга небольшими вариациями в форме [1]. В настоящей статье предлагается новый подход к деформации формы рукописных символов с помощью планарного патча Безье.

1. Жирные линии

Исходными данными для рассматриваемой задачи распознавания, как правило, выступают изображения символов, полученные путем сканирования с бумажных носителей. Объем базы эталонов, собранный таким способом, будет весьма скромным для проведения существенных вычислительных экспериментов и исследований. В связи с этим, задача получения образцов прецедентной базы способом, отличным от ручного сбора является весьма актуальной. В качестве одного

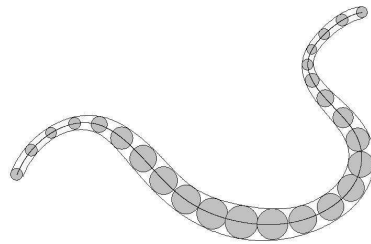


Рис. 1: Жирная линия

из возможных путей решения может быть применен метод синтеза. Идея такого подхода заключается в генерации нового начертания из исходного путем внесения небольших случайных деформаций в форму символа. Характер подобных деформаций определяется способом описания символов. Так, в данной работе для представления начертаний компьютерного рукописного шрифта используются так называемые жирные линии – однопараметрическое семейство кругов переменного радиуса с центрами на гладких кривых. Форма символа описывается набором подобных примитивов – гладких линий с переменной шириной (Рис. 1). Жирная линия представляет собой след от перемещения круга переменного радиуса вдоль гладкой траектории, называемой осью [2]. Элементарная жирная В-сплайновая кривая третьего порядка задается следующим векторным уравнением:

$$C(t) = (x(t), y(t), r(t)) = \frac{1}{6} \sum_{i=0}^3 B_i(t) H_i, \quad (1)$$

где $t \in [0; 1]$ – параметр кривой, $H_i = H_{ix}, H_{iy}, H_{ir}$ – семейство контрольных кругов с центрами в точках (H_{ix}, H_{iy}) и радиусами H_{ir} , $B_i(t)$ – базисные функции кубического В-сплайна, имеющие следующий вид:

$$\begin{aligned} B_0(t) &= (1-t)^3, \\ B_1(t) &= 3t^3 - 6t^2 + 4, \\ B_2(t) &= -3t^3 + 3t^2 + 3t + 1, \\ B_3(t) &= t^3. \end{aligned} \quad (2)$$

Элементарные кривые, как правило, объединяются в более сложные графические примитивы – составные жирные линии. Кривая γ , представленная в виде объединения элементарных В-сплайновых кривых $\gamma = \gamma^{(1)} \cup \gamma^{(2)} \cup \dots \cup \gamma^{(m-2)}$, называется составной жирной В-сплайновой кривой с общим семейством контрольных кругов $H = (H_0, \dots, H_m)$, где элементарный фрагмент-кривая $\gamma^{(l)}$ имеет контрольные круги $H = (H_{(l-1)}, H_{(l)}, H_{(l+1)}, H_{(l+2)})$ (Рис. 2). На текущий момент существуют программные решения, которые позволяют изменять форму символов путем деформации контура (небольшие смещения, повороты, масштабирование) по определенному алгоритму. Как правило, подобные изменения начертания носят локальный характер и не приемлемы для сложных структурно-топологических преобразований.

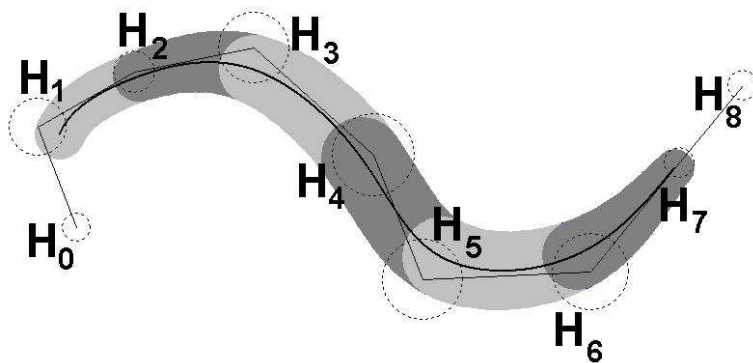


Рис. 2: Составная жирная B-сплайновая кривая

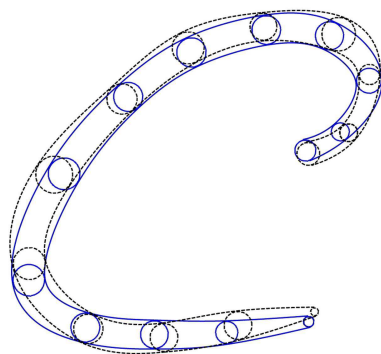


Рис. 3: Преобразование жирной линии

Редактирование жирной B-сплайновой кривой производится путем изменения положения центров и величины радиусов ее контрольных кругов [3]. Такой вид операции преобразования может быть использован для автоматической генерации новых форм. Математический аппарат описания символов с помощью жирных линий предоставляет гораздо более разнообразные и богатые возможности моделирования эффекта «случайности» и «оживления» формы. Так, одним из самых простых в реализации способом деформации формы символа является добавление небольших случайных величин к значениям радиусов контрольных кругов жирных линий: $H_{kr} = H_k + \xi_k$, где H_k – радиус контрольного круга H_k , ξ_k – некоторая случайная величина. После такого преобразования каждый контрольный круг ненамного изменит свой радиус (сдуется или надует) и тем самым форма жирной линии слегка видоизменится (Рис. 3).

2. Преобразования над жирными линиями

Другой способ деформации формы жирной линии заключается в небольших изменениях положений центров контрольных кругов. Здесь в качестве параметра

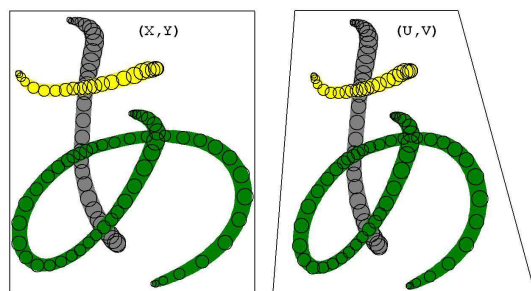


Рис. 4: Контейнерное преобразование жирных линий

метода может выступать вектор направления и величина смещения каждого контрольного круга, значения которых также задаются случайным образом. Однако, подобные «случайные» деформации формы жирной линии нацелены на изменение положения центра и величины радиуса каждого контрольного круга в отдельности и носят, попросту говоря, хаотичный и беспорядочный характер преобразования. Поэтому создание композитного подхода к преобразованию семейства жирных линий как единого целого является весьма осмысленным и актуальным подходом. К примеру, можно воспользоваться идеей ограничивающего параллелограмма (minimum bounding box), когда исходное семейство контрольных кругов «помещается» в прямоугольник минимального периметра (габаритный контейнер) и все дальнейшие преобразования осуществляется только над его четырьмя угловыми вершинами [5]. Формально задача трансформации минимального bounding box'a может быть записана следующим образом:

$$\begin{cases} u = a * x * y + b * x + c * y + d, \\ v = e * x * y + f * x + g * y + h, \end{cases} \quad (3)$$

где (x, y) – точки исходного прямоугольника, (u, v) – координаты преобразованного четырехугольника (Рис. 4).

Характер изменчивости символа будет напрямую зависеть от величины смещения вершин исходного ограничивающего четырехугольника. Однако, подобные геометрические искажения не могут в полной мере «похвастаться» большим разнообразием форм генерируемых символов. В настоящей статье в качестве одной из возможных альтернатив нового инструмента трансформации и преобразования формы символов предлагается использование планарного патча Безье.

3. Планарный Безье патч

Планарный патч (поверхность) Безье определяется следующим уравнением [4]:

$$B(u, v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 P_{ij} B_i(u) B_j(v), \quad (4)$$

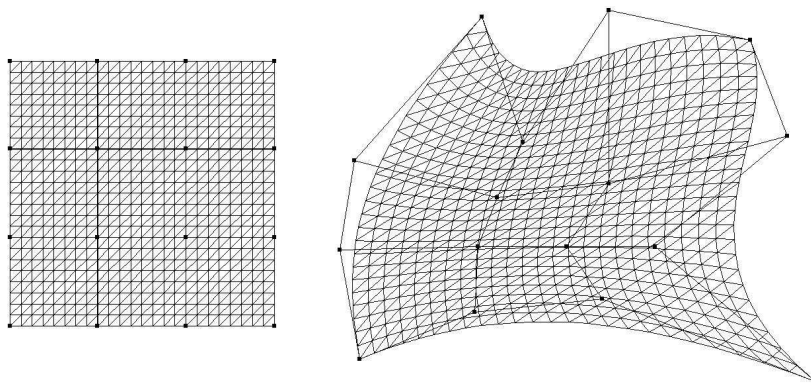


Рис. 5: Планарный патч Безье

где $u, v \in [0, 1]$ – параметры патча, $P_{ij} = (x_{ij}, y_{ij})$ – контрольные вершины патча, $B_k(t)$ – функциональные полиномы Бернштейна, имеющие вид:

$$\begin{aligned} B_0(t) &= (1 - t)^3, \\ B_1(t) &= 3(1 - t)^2t, \\ B_2(t) &= 3(1 - t)t^2, \\ B_3(t) &= t^3. \end{aligned} \tag{5}$$

Нетрудно видеть, что подобный площадной примитив имеет 16 независимых управляющих маркеров, которые могут свободно перемещаться по плоскости, видоизменяя при этом форму плоского Безье патча подобно резиновому полотну. При этом «внутренность» такого резинового холста будет вытягиваться в одних местах и сжиматься в других (Рис. 5).

4. Патч-преобразование жирных линий

Для символов, заданных в виде жирных линий, можно ввести следующее нелинейное преобразование. Вначале определим минимальный прямоугольник R_{box} , полностью содержащий в себе все контрольные круги жирных линий. Предположим $(X_{min}, Y_{min}), (X_{max}, Y_{max})$ – координаты левого верхнего и правого нижнего угла искомого прямоугольника, соответственно. Тогда:

$$\begin{aligned} X_{min} &= \min_k \{H_{kx} - H_{kr}\}, \\ Y_{min} &= \min_k \{H_{ky} - H_{kr}\}, \\ X_{max} &= \max_k \{H_{kx} + H_{kr}\}, \\ Y_{max} &= \max_k \{H_{ky} + H_{kr}\}, \end{aligned} \tag{6}$$

где (H_{kx}, H_{ky}, H_{kr}) – тройка чисел, описывающих k -й контрольный круг с центром в (H_{kx}, H_{ky}) и радиусом H_{kr} . Контрольные точки планарного патча Безье выразим через вершины ограничивающего четырехугольника с помощью следующей

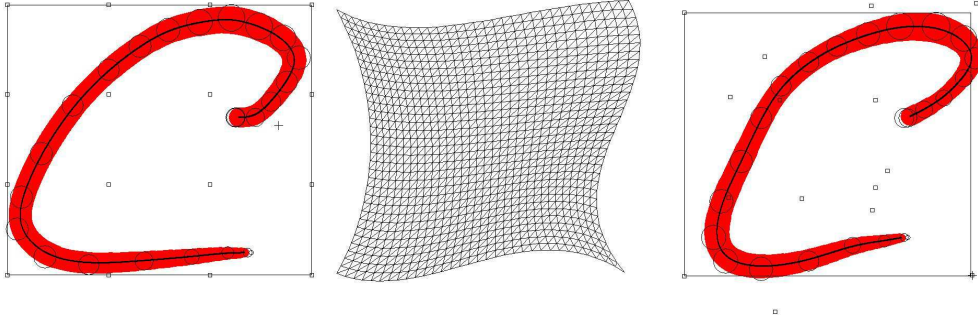


Рис. 6: Патч-преобразование жирной линии

формулы:

$$P_{ij} = (X_{min} + \frac{i}{3}(X_{max} - X_{min}), Y_{min} + \frac{j}{3}(Y_{max} - Y_{min})), \quad (7)$$

$$i, j = \overline{0..3}.$$

Затем каждому контрольному кругу H_k припишем два параметра $H_{ku}, H_{kv} \in [0, 1]$ путем линейной интерполяции между вершинами исходного bounding box'a:

$$H_{ku} = \frac{H_{kx} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}},$$

$$H_{kv} = \frac{H_{ky} - Y_{min}}{Y_{max} - Y_{min}}. \quad (8)$$

Результатом такой билинейной параметризации является возможность нелинейной трансформации центров контрольных кругов. Перемещая теперь любую контрольную вершину P_{ij} построенного планарного патча Безье, координаты центра каждого контрольного круга H_k будут пересчитываться по следующей формуле:

$$C_k = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 P_{ij} B_i(H_{ku}) B_j(H_{kv}), \quad (9)$$

где $C_k = (H_{kx}, H_{ky})$ – новые координаты центра k -го контрольного круга. Пример подобной патч-деформации одной жирной линии, содержащей несколько контрольных кругов, представлен на Рис. 6. Для автоматической генерации символов, немного различающихся начертаниями формы, может быть предложен метод случайной деформации плоского патча Безье, заключающийся в следующем. Для каждой из 16-ти контрольных вершин P_{ij} введем две случайные переменные $\alpha_{ij} \in [0..2\pi]$ и ρ_{ij} – угол, отвечающий за направление, и величина смещения, соответственно. Далее, сгенерировав случайным образом значения для величин α_{ij} и ρ_{ij} , получим новые координаты контрольных вершин, исходя из формулы:

$$P_{ij}^{new} = (x_{ij}^{new}, y_{ij}^{new}) = (x_{ij}^{old} + \rho_{ij} \cos(\alpha_{ij}), y_{ij}^{old} + \rho_{ij} \sin(\alpha_{ij})), \quad (10)$$

где $(x_{ij}^{old}, y_{ij}^{old}), (x_{ij}^{new}, y_{ij}^{new})$ – старые и новые координаты P_{ij} , соответственно. Модифицировав, таким образом, планарный патч Безье и тем самым синхронно изменив положение контрольных кругов жирных линий, мы смогли подвергнуть

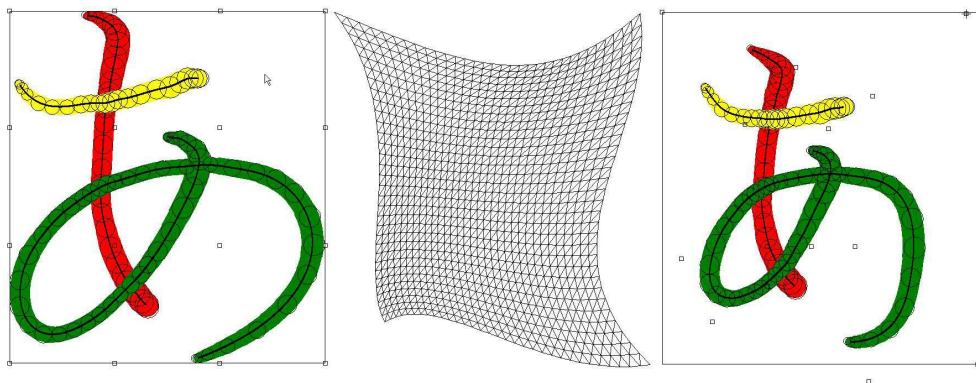


Рис. 7: Патч-преобразование рукописного символа

ФИСВУАТТРШОЛДЬТЩЗ
ЙКЫЕГМЦЧНЯ 0123456789

Рис. 8: Эталонный шрифт

случайной деформации форму исходного символа. Такая «хаотическая» модель трансформации планарного патча Безье путем рандомизации смещений его контрольных вершин позволяет сгенерировать необходимое количество изображений символов, имеющих небольшие различия в начертании и вариации в форме. Значение параметра ρ_{ij} будет характеризовать степень схожести или отличия символов между собой. Чем больше диапазон изменения величины ρ_{ij} , тем более существенными будут смещения контрольных кругов и соответственно более случайными и переменными будут получаться результирующие формы. При малых же значениях параметра смещения отличия в форме символов будут несущественными и малозаметными. На Рис. 7 представлен пример патч-преобразования символа, составленного из жирных линий. Слева показан исходный символ с семейством контрольных кругов, посередине – деформированная сетка планарного патча Безье, справа – результат преобразования символа.

Для проведения вычислительных экспериментов и тестирования разработанного алгоритма деформации была собрана база кириллических символов, каждый из которых описывался конечным набором жирных B-сплайновой кривых. В качестве эталонного образца для создания базы был выбран компьютерный шрифт *hetagotia*, визуально напоминающий рукопечатные символы (Рис. 8).

Полученные в работе результаты показывают, что метод трансформации формы символов на основе планарного патч-преобразования, является простым и удобным инструментом деформации. С его помощью можно создавать сложные и замысловатые формы и преобразования.

Заключение

Традиционными способами синтеза новых форм, как правило, выступают методы и подходы генерации случайного шума и внесения его в описание фигуры. В настоящей статье был предложен иной подход к созданию стохастических начертаний рукописных символов. В качестве механизма деформации очертаний фигуры используется математический аппарат плоских кривых Безье в двумерном пространстве.

Список литературы

- [1] Барышников Г.М., Бизяев А.Ю., Ефимов В.В., Моисеев А.А., Почтарь Э.И., Ярмола Ю.А. Шрифты. Разработка и использование. М.: Издательство ЭКОМ, 1997. 291 с.
- [2] Клименко С.В., Местецкий Л.М., Семенов А.Б. Моделирование рукописного шрифта с помощью жирных линий // Труды международной конференции по компьютерной графике «ГРАФИКОН-2006». Новосибирск, 2006.
- [3] Семенов А.Б. Новый подход в конструировании рукописных шрифтов // Труды 18-й международной конференции «ГРАФИКОН-2008». Москва: МГУ, 2008.
- [4] Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. 604 с.
- [5] Семенов А.Б. Методы моделирования «живого» персонального почерка // Труды международной конференции «ГРАФИКОН-2009». Москва: МГУ, 2009. С. 390–391.

Библиографическая ссылка

Семенов А.Б. Метод деформации формы символов на основе планарного патча Безье // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2014. № 4. С. 105–113.

Сведения об авторах

1. Семенов Андрей Борисович

доцент кафедры информационных технологий Тверского государственного университета.

Россия, 170100, г. Тверь, ул. Желябова, д. 33, ТвГУ. E-mail: semenov@tversu.ru.

ON METHOD OF SYMBOLS FORM DEFORMATION BASED ON PLANAR BEZIER PATCH

Semenov Andrey Borisovich

Associate professor of Information Technology department, Tver State University
Russia, 170100, Tver, 33 Zhelyabova str., TSU. E-mail: semenov@tversu.ru

Received 27.11.2014, revised 10.12.2014.

We propose a new method of transformation of handwritten characters described by fat curves – one-parameter families of variable radius circles centred on the smooth curves. We use Bezier patches as a tool for deformation and synthesis of new forms.

Keywords: circular primitive, bold line, handwritten character, form deformation, Bezier patch.

Bibliographic citation

Semenov A.B. On method of symbols form deformation based on planar Bezier patch. *Vestnik TvGU. Seriya: Prikladnaya matematika* [Herald of Tver State University. Series: Applied Mathematics], 2014, no. 4, pp. 105–113. (in Russian)