дрющенко // Системи обробки інформації. — 2010. — Вип. 7. — С. 134–141.

2. Пономаренко Є. В. Перспективи розвитку комп'ютерних технологій поліграфічного виробництва / Є. В. Пономаренко // Системи обробки інформації. — 2011. — Вип. 7. — С. 163–167.

3. Історія книги: становлення сучасного книгодрукарського мистецтва: навч. посіб.: у 3 кн. / В. С. Овчінніков. — Л.: Укр. акад. друкарства, 2010. — 356 с.

4. Дурняк Б. В. Видавничо-поліграфічна галузь України: стан, проблеми, тенденції. статистично-графічний огляд: моногр. / Б. В. Дурняк, А. М. Штангрет, О. В. Мельников. — Львів: УАД, 2006. — 274 с.

УДК 655.26;004.92

Сипайло С. В., доцент, канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ ВЕКТОРНЫХ СИММЕТРИЧНЫХ УЗОРОВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ БАЗОВОГО ЭЛЕМЕНТА

Симметричные узоры находят широкое применение для решения задач графического дизайна печатной продукции. Такие узоры могут быть востребованы для оформления титульных и концевых полос, форзацев, обложек и переплетных крышек. Кроме книжных изданий, симметричные узоры могут применяться для оформления разнообразной листовой продукции (открытки, листовки, пригласительные билеты и т. п.). Характер используемых узоров может отличаться в зависимости от назначения печатной продукции. В оформлении национальной художественной литературы, книг по истории, культуре, краеведению уместно использовать изображения народных орнаментов [1, 2]. В то же время для решения декоративных задач, а также в качестве средства защиты печатной продукции от фальсификации могут применяться абстрактные криволинейные узоры разнообразной формы и симметрии [1, 3]. На компьютере такие узоры целесообразно создавать средствами векторной графики в соответствующих графических редакторах. Векторный принцип кодирования двумерных изображений позволяет

точно и компактно описать криволинейный объект с четкими границами, обусловливая высокое качество полиграфического репродуцирования. В то же время базовый инструментарий универсальных программ векторной графики не избавляет пользователя от большого количества ручной работы при создании симметричных узоров.

В предыдущих работах автора, посвященных автоматизации синтеза векторных симметричных изображений [2–4], был предложен и реализован подход к синтезу, состоящий в последовательных симметрических преобразованиях базового графического элемента простой формы. В случае белорусских народных орнаментов [2] в качестве первичного базового элемента выступала дискретная ячейка орнамента квадратной формы, а в случае абстрактных симметричных узоров [3, 4] — криволинейный контур, описываемый функцией вида $y = f(x)$. Использование такой разновидности функционального описания имеет свои ограничения. В частности, функция вида $y = f(x)$ не позволяет описать криволинейные фигуры, имеющие несколько точек при одном и том же значении аргумента x. Это могут быть замкнутые конуры круглой или вытянутой формы, спиралевидные контуры и т. п. Для их описания можно использовать параметрическое представление функции, т. е. задать зависимость y от x через промежуточный параметр t:

$$x = f_x(t);\ y = f_y(t). \tag{1}$$

Описание формы векторных контуров в графических программах также производится в параметрическом виде. Для этих целей используется многочлен третьей степени Безье [1]:

$$p(t) = p_0(1-t)^3 + p_1 3t(1-t)^2 + p_2 3t^2(1-t) + p_3 t^3;\quad 0 \le t \le 1, \tag{2}$$

где p_0 и p_3 — координаты крайних точек криволинейного сегмента; p_1 и p_2 — координаты крайних точек отрезков касательных, проведенных из крайних точек сегмента.

Таким образом, для формирования контура в программе векторной графики необходимо решить задачу кусочной интерполяции исходной параметрической зависимости $f(t)$ многочленом Безье $p(t)$. При этом следует учитывать, что параметр t исходной функциональной зависимости, как правило, находится в другом числовом диапазоне, по сравнению с параметром t многочлена Безье. Для их разграничения параметр исходной

функции f будет обозначаться t_f. Связать параметр t с t_f можно следующим выражением:

$$t_f = t_{f0} + (t_{f3} - t_{f0})t. \qquad (3)$$

где t_{f0} и t_{f3} — значения t_f в крайних точках интерполируемого криволинейного сегмента.

Каждый сегмент кривой Безье будет характеризоваться координатами x, y крайних точек, соответствующих интерполируемой функции f, и координатами крайних точек касательных. Таким образом, решение задачи интерполяции сводится к нахождению координат двух точек касательных p_1 и p_2 (пар значений x_1, y_1 и x_2, y_2 для двумерных фигур).

Для расчета коэффициентов x_1, y_1 и x_2, y_2 параметрической функции Безье, необходимо, кроме координат крайних точек отрезка кривой, иметь значения функции f в двух точках внутри сегмента.

Разделив область значений параметра t функции Безье на три равные части, в качестве промежуточных значений t можно взять $t_{1/3} = 0{,}33$ и $t_{2/3} = 0{,}66$. На их основе можно по формуле (3) найти значения параметра t_f исходной параметрической функции, а затем рассчитать значения функций $f_x(t_f)$ и $f_y(t_f)$ в качестве координат внутренних точек сегмента.

Подставив значения координат двух промежуточных точек в формулу Безье (2), нужно для каждой координатной оси решить систему из двух уравнений относительно искомых коэффициентов функции Безье p_1, p_2 (x_1, x_2 для оси x и y_1, y_2 для оси y).

Система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} f(t_f(t_{1/3})) &= f(t_{f0})(1 - t_{1/3})^3 + p_1 3t_{1/3}(1 - t_{1/3})^2 + \\ &+ p_2 3t_{1/3}^2(1 - t_{1/3}) + f(t_{f3})t_{1/3}^3; \\ f(t_f(t_{2/3})) &= f(t_{f0})(1 - t_{2/3})^3 + p_1 3t_{2/3}(1 - t_{2/3})^2 + \\ &+ p_2 3t_{2/3}^2(1 - t_{2/3}) + f(t_{f3})t_{2/3}^3, \end{aligned} \qquad (4)$$

где p — значение искомой координаты по оси x или y.

В результате аналитического решения системы уравнений получены следующие равенства:

$$p_1 = K_1(t_{1/3}) - K_2(t_{2/3})p_2; \; p_2 = \frac{K_1(t_{1/3}) - K_1(t_{2/3})}{K_2(t_{1/3}) - K_2(t_{2/3})}. \qquad (5)$$

При этом

$$K_1(t) = \frac{p(t) - f(t_{f0}) \cdot (1-t)^3 - f(t_{f3})t^3}{3t(1-t)^2}; \; K_2(t) = \frac{t}{1-t}. \qquad (6)$$

Предложенное решение задачи воспроизведения произвольной параметрической функции в виде кривой Безье было реализовано на языке VBA в среде редактора векторной графики CorelDRAW для создания базовых элементов симметричных узоров. Код программы включает функции для расчета промежуточных коэффициентов, 4 параметрических функции, подлежащие воспроизведению в виде кривой Безье, а также подпрограммы синтеза симметричных узоров на основе базового элемента [3, 4]. Синтез узоров осуществляется автоматически на основе генератора случайных чисел.

Результаты работы программы показали, что описание базового элемента криволинейной формы с помощью параметрических функций позволяет расширить разнообразие генерируемых симметричных узоров и тем самым дает больше возможностей для графического оформления печатной продукции. Кроме того, преобразование исходной параметрической зависимости в кривую Безье может использоваться для автоматизации процесса создания технических иллюстраций средствами программ векторной графики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машинное орнаментирование / Т. В. Кочева [и др.]. — Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1999. — 160 с.

2. Сипайло, С. В. Автоматизированное проектирование орнаментов для оформления книжных изданий. Скориновские чтения 2015: книгоиздание и книгораспространение в контексте кросскультурных коммуникаций XXI века: материалы Международного форума, Минск, 3–6 сентября 2015 г. — Минск: БГТУ, 2015. — С. 64–69.

3. Сипайло, С. В. Автоматизация синтеза векторных криволинейных контуров со свойствами симметрии в CorelDRAW / С. В. Сипайло. — Труды БГТУ. — 2014. — № 9: Издат. дело и полиграфия. — С. 3–7.

4. Сипайло, С. В. Синтез изображений с цветной симметрией путем сопряжения цветовых перестановок с геометрическими преобразованиями / С. В. Сипайло. — Труды БГТУ. — 2016. — № 9: Издат. дело и полиграфия. — С. 115–119.