

УДК 655.26;004.92

С. В. Сипайло

Белорусский государственный технологический университет

**СОЗДАНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ УЗОРОВ
НА ОСНОВЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ КОНТУРОВ,
ОПИСЫВАЕМЫХ НЕПРЕРЫВНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ФУНКЦИЕЙ**

В статье рассмотрен процесс формирования симметричных узоров из криволинейных контуров, имеющих непрерывный характер. Такие узоры могут использоваться для оформления печатной продукции, а также для выполнения защитной функции. На допечатной стадии контурные узоры создаются в виде векторных изображений. Использование базовых инструментов программ векторной графики для создания узоров связано с высокой трудоемкостью. При этом доступны средства автоматизации работы на основе языков программирования VBA и JavaScript.

Процесс формирования узора состоит в генерации базового графического элемента максимальной длины (макроконтура) и его симметрических преобразованиях. Для математического описания формы макроконтура предложено использовать тригонометрические функции периодического типа. Использование таких макрообъектов позволяет повысить степень разнообразия узоров, а также затруднить их несанкционированное воспроизведение. Также возможно образование составных узоров на основе нескольких макроконтуров, которые описываются различными функциями. При этом для образования упорядоченных составных структур значения коэффициентов каждой функции, определяющие амплитуду, период и сдвиг по фазе, должны быть согласованы.

Синтез базовых элементов в виде макроконтуров был реализован на языке VBA в среде программы векторной графики CorelDRAW. Использование языка VBA ускоряет процесс создания векторных узоров и повышает точность их исполнения.

Ключевые слова: контурные узоры, симметрия, векторная графика, синтез изображений.

S. U. Sipaila

Belarusian State Technological University

**CREATE SYMMETRICAL TRACERIES BASED ON CURVED PATHS
DESCRIBED BY A CONTINUOUS PERIODIC FUNCTION**

The article describes the process of forming symmetrical traceries from curved contours, which have a continuous character. Such traceries can be used to decorate printed products, as well as to perform a protective function. In the prepress stage, contour traceries are created as vector images. Using basic vector graphics software tools to create traceries is labor intensive. At the same time, automation tools are available based on the VBA and JavaScript programming languages.

The process of forming a pattern consists in generating a basic graphic element of maximum length (macro-contour) and its symmetric transformations. For the mathematical description of the shape of the macro-contour, it is proposed to use periodic trigonometric functions. The use of such macro-objects makes it possible to increase the variety of traceries, as well as to hinder their illegal reproduction. It is also possible to form compound traceries based on several macro-contours, which are described by different functions. In this case, for the formation of ordered composite structures, the values of the coefficients of each function, which determine the amplitude, period, and phase shift, must be related.

The synthesis of basic elements in the form of macro-contours was implemented in VBA in the CorelDRAW vector graphics program. Using the VBA language speeds up the process of creating vector traceries and increases the accuracy of their execution.

Key words: contour traceries, symmetry, vector graphics, image synthesis.

Введение. Графическая информация, наряду с текстом, является важной составляющей печатной продукции. Она может быть представлена изображениями разных видов. При этом характер используемых изображений должен соответствовать выполняемым функциям, к которым в общем случае можно отнести дополнение и пояснение текстовой информации

в художественных или образовательных целях, а также декорирование печатной продукции и ее защиту. Одной из разновидностей изображений, характерных для полиграфической продукции, являются симметричные узоры, образованные криволинейными контурами. В такой форме могут быть исполнены как сюжетные орнаменты, с определенным семантическим содержанием,

так и абстрактные контурные узоры [1, 2]. Контурные симметричные узоры используются в полиграфическом дизайне, как правило, для решения художественно-декоративных задач, а также выполняют защитную функцию. Последнее обусловлено сложностью качественного воспроизведения таких изображений третьими лицами при отсутствии цифровых оригиналов.

На этапе допечатной подготовки для создания декоративных узоров, образованных криволинейными контурами, используются программные средства векторной графики. При этом базовый инструментальный векторных графических редакторов, таких как CorelDRAW и Adobe Illustrator, не позволяет создавать контурные узоры сложной формы и состава в автоматическом режиме. В то же время средства автоматизации работы указанных выше программ, базирующиеся на высокоуровневых языках программирования VBA и JavaScript, позволяют существенно расширить исходные функциональные возможности.

Основная часть. В рамках предыдущих работ автора по синтезу симметричных изображений [3–5] в среде CorelDRAW был автоматизирован процесс создания одно- и многоцветных декоративных узоров абстрактного характера по принципам геометрической и цветной симметрии. В качестве основы для формирования узора выступал фрагмент криволинейной фигуры – базовый элемент, форма которого описывалась математической функцией. Сгенерированный базовый элемент подвергался ряду симметрических преобразований для формирования более сложного узора. При этом из-за ограниченных размеров базового элемента, а также используемых типов математических функций формируемые узоры имели прерывистый характер. Симметрически размножаемые контурные участки узора разрывались пробельными областями, что не позволяло образовывать цельную линию (рис. 1).

Криволинейные узоры прерывистого типа вполне применимы для решения декоративно-художественных и защитных задач. В то же время для повышения степени разнообразия узоров и улучшения их защитных свойств в качестве базовых элементов можно использовать криволинейные непрерывные объекты максимальной протяженности. Далее в тексте статьи такие объекты будут называться макроконтурами. Макроконтуры по своим размерам должны соответствовать всей горизонтальной области будущего узора и при этом не иметь разрывов. Для математического описания объектов такого рода необходимо использовать непрерывные функции, а чтобы создаваемые узоры являлись собой упорядоченные регулярные структуры,

целесообразно задействовать функции периодического типа. Этим двум критериям отвечает ряд тригонометрических функций.

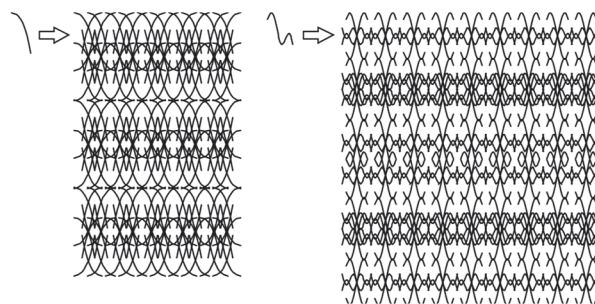


Рис. 1. Примеры криволинейных базовых элементов и образованных из них симметричных узоров прерывистого характера

В данной работе для описания формы базового элемента в виде макроконтура использовались следующие тригонометрические функции:

$$f(x) = a \cdot \sin(bx + \varphi); \quad (1)$$

$$f(x) = a \cdot \sin(b_1 \cdot \sin(b_2 x + \varphi)); \quad (2)$$

$$f(x) = a \cdot \sin(b_1 \cdot \cos(b_2 x + \varphi)); \quad (3)$$

$$f(x) = \operatorname{tg}(a \cdot \sin(bx + \varphi)); \quad (4)$$

$$f(x) = a_1 \cdot \sin(b_1 x + \varphi_1) + a_2 \cdot \cos(b_2 x + \varphi_2). \quad (5)$$

Примеры графических объектов, соответствующих функциям (1)–(5), изображены на рис. 2.

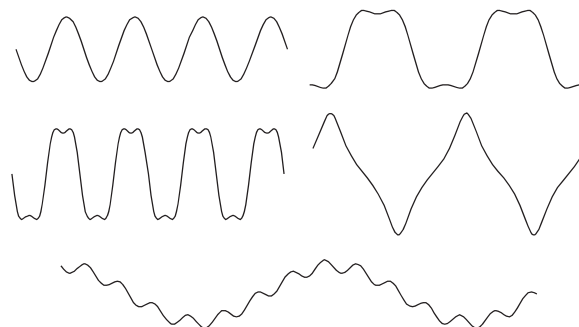


Рис. 2. Примеры базовых макроконтуров, описываемых тригонометрическими функциями

Безусловно, приведенным перечнем функций все возможные варианты формы непрерывных базовых элементов не исчерпываются. При необходимости этот перечень может быть расширен путем комбинации тригонометрических выражений в составе новых функций. Так, для описания макроконтура более сложной формы можно использовать функцию на основе тригонометрического ряда Фурье [6, с. 515]:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n \left(a_i \cdot \cos \frac{2i\pi}{T} x + b_i \cdot \sin \frac{2i\pi}{T} x \right), \quad (6)$$

где a_i , b_i – коэффициенты функции; n – количество элементов ряда Фурье; T – период функции.

Если форма базового элемента описывается простыми математическими выражениями (1)–(5), то в составе одного узора целесообразно комбинировать несколько макроконтуров, каждый из которых характеризуется отдельной функцией. При этом для образования упорядоченных составных структур значения коэффициентов каждой функции, определяющие величину периода и сдвига по фазе, должны быть согласованы друг с другом. В частности, при наличии в составе узора контуров с разным периодом необходимо обеспечить целочисленные соотношения по этому показателю. Например, для функции (1) при $b = 1$ период T составит 2π . В более общем случае $T = 2\pi/b$. При создании составного узора из n макроконтуров следует использовать значения $b_1, b_2, \dots, b_n$, кратные друг другу, взяв за основу базовый коэффициент b_0 . Тогда

$$b_i = k_i b_0, \quad (7)$$

где k_i – целочисленный коэффициент, величина которого прямо пропорциональна частоте повторения элементов i -го макроконтра.

С величиной периода T также должно быть согласовано значение фазы φ . Для гармоничного сочетания макроконтуров в составе сложного узора автор рекомендует вычислять фазу φ путем деления величины периода T на целое четное число, которое может быть как положительным, так и отрицательным. Эта рекомендация также актуальна для одиночного макроконтра.

Длину макроконтра также следует определять с учетом периодического характера создаваемого объекта. Длина должна быть кратна величине периода макроконтра, чтобы избежать зрительного ощущения незавершенности узора. Если узор состоит из нескольких макроконтуров разной периодичности, то для определения его длины необходимо использовать период, имеющих наибольшее значение.

Для получения разнообразных сочетаний контурных объектов также целесообразно варьировать значение коэффициента a , отвечающего за амплитуду периодической функции. При этом из соображений эстетичности, как правило, следует избегать ситуации, когда амплитуды макроконтуров в составе одного узора отличаются на порядок. В большинстве случаев можно рекомендовать придерживаться соотношения амплитуд, не превышающего 3, причем это число может быть дробным.

На практике в графическом дизайне встречаются узоры, образованные контуром динамической

толщины. Этот эффект применяется как с оформительской целью, так и с целью защиты печатной продукции от подделки. Последнее обусловлено тем, что узор с контуром изменяющейся толщины сложнее скопировать и качественно воспроизвести. В то же время программы векторной графики позволяют генерировать векторные объекты в виде кривых Безье, свойствами которых переменная толщина не предусмотрена. В этом случае для имитации контура переменной толщины, имеющей максимальные значения в точках экстремума периодической функции, можно синтезировать ряд объектов с возрастающей амплитудой и неизменными значениями периода и фазы. Пример такого объекта в масштабе 80% представлен на рис. 3. Объект состоит из n макроконтуров, описываемых функцией (1). В данном примере $n = 8$. Значение амплитуды для каждого макроконтра увеличивается с шагом $d = 0,1$, равным толщине одиночной кривой Безье. Составной контур имеет наименьшую толщину d в точках пересечения с горизонтальной осью. В точках же экстремума толщина составного объекта составляет $n \times d = 0,8$ мм.

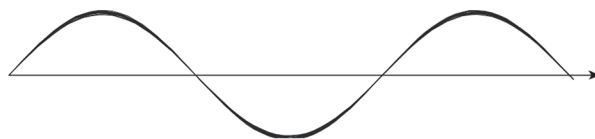


Рис. 3. Составной объект с динамической толщиной

Генерация векторных объектов на основе функций (1)–(6) требует преобразования этих функций в совокупность параметрических многочленов Безье третьего порядка, используемых для описания формы контуров в программах векторной графики. Решение этой задачи по существу представляет собой кусочную интерполяцию исходной зависимости $y = f(x)$ многочленами Безье $x = p_x(t)$, $y = p_y(t)$.

Каждый сегмент кривой Безье описывается следующей системой из двух параметрических функций:

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= x_0(1-t)^3 + x_1 3t(1-t)^2 + \\ &\quad + x_2 3t^2(1-t) + x_3 t^3; \\ y(t) &= y_0(1-t)^3 + y_1 3t(1-t)^2 + \\ &\quad + y_2 3t^2(1-t) + y_3 t^3. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Для определения коэффициентов многочлена Безье использовались формулы из [3], полученные аналитически в результате разделения интерполируемой области на три части и выражения координат двух внутренних точек кривой с использованием исходной функции.

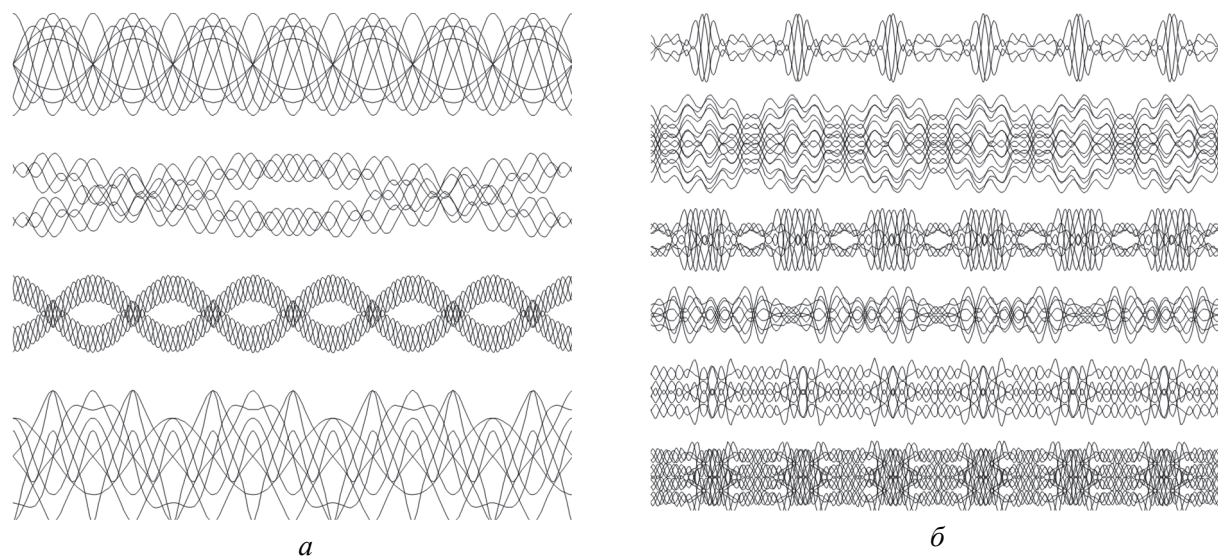


Рис. 4. Примеры симметричных узоров, сформированных на основе макроконтуров, описываемых непрерывными тригонометрическими функциями:

а – составные узоры на основе макроконтуров, описанных функциям (1)–(5);

б – узоры на основе макроконтура, описанного тригонометрическим рядом Фурье

Реализация синтеза базовых элементов в виде макроконтуров осуществлялась на языке VisualBasic for Applications (VBA) в среде CorelDRAW. Математические выражения, описывающие базовые макроконтуров, были представлены в кодах VBA в виде функций. Также в виде функций на языке VBA были закодированы параметрическое выражение Безье и формулы для определения коэффициентов функции Безье при интерполяции исходного функционального описания. Кроме того, на языке VBA были написаны подпрограммы (процедуры) для расчета значений коэффициентов функции Безье и синтеза векторных контуров по расчетным данным.

Значения коэффициентов тригонометрических функций вводились самим пользователем в ручном режиме с учетом рекомендаций и принципов, изложенных выше. В случае образования составных узоров из нескольких макроконтуров значения их коэффициентов, определяющих величину амплитуды, периода и сдвига по фазе, были согласованы друг с другом.

Для создания узоров, более сложных по структуре, сгенерированные макроконтуров подвергались симметрическим преобразованиям – отражению и переносу. В частности, такие преобразования применялись в случае макроконтура, полученного на основе тригонометрического

ряда Фурье. Это позволяло придать узору более упорядоченный характер и тем самым улучшить его декоративные свойства.

На рис. 4 приведены примеры узоров, которые были сформированы в автоматизированном режиме из объектов, описываемых непрерывными тригонометрическими функциями.

Заключение. Использование макрообъектов, описываемых непрерывными тригонометрическими функциями, для формирования декоративных изображений позволяет повысить степень разнообразия получаемых узоров, а также затруднить их несанкционированное воспроизведение при отсутствии цифровых оригиналов. Реализация синтеза непрерывных контурных макрообъектов на языке VBA ускоряет процесс создания узоров в среде программы векторной графики CorelDRAW и повышает точность их исполнения. В рамках дальнейшего развития программных средств синтеза криволинейных контурных изображений целесообразно разработать элементы пользовательского интерфейса для оперативной корректировки числовых параметров генерируемых контуров. Кроме того, в будущем целесообразно реализовать программный синтез составных узоров с согласованными параметрами периодических подструктур в автоматическом режиме.

Список литературы

1. Дубина Н. Орнамент в декоративном оформлении книги // КомпьюАрт. 2000. № 8. С. 78–83.
2. Кузьма А. С., Сипайло С. В. Систематизация и типизация декоративных изображений для автоматизации процесса их создания на стадии допечатной подготовки // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2019. № 1. С. 17–23.

3. Сипайло С. В. Автоматизация синтеза векторных криволинейных контуров со свойствами симметрии в CorelDRAW // 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 // Труды БГТУ. 2016. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 115–119.
5. Сипайло С. В. Реализация синтеза изображений на основе неклассических видов симметрии с помощью программных средств векторной графики // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2018. № 2. С. 24–30.
6. Зорич В. А. Математический анализ. В 2 ч. Ч. II. М.: Наука, 1984. 640 с.

References

1. Dubina N. Ornament in the decoration of the book. *Komp'yutArt* [Komp'yutArt], 2000, no. 8, pp. 78–83 (In Russian).
2. Kuz'ma A. S., Sipaila S. U. Systematization and typification of decorative images to automate the process of their creation at the prepress stage. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 4: Print- and Mediatechnologies, 2019, no. 1, pp. 17–23 (In Russian).
3. Sipaila S. U. Automation of synthesis of vector curved contours with symmetry properties in CorelDRAW. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 9: Publishing and Printing, pp. 3–7 (In Russian).
4. Sipaila S. U. Synthesis of images with color symmetry by coupling of color rearrangements to geometrical transformations. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 9: Publishing and Printing, pp. 115–119 (In Russian).
5. Sipaila S. U. Implementation of image synthesis on the basis of non-classical types of symmetry using vector graphics software. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 4: Print- and Mediatechnologies, 2018, no. 2, pp. 24–30 (In Russian).
6. Zorich V. A. *Matematicheskiy analiz* [Mathematical analysis]. In 2 parts. Part II. Moscow, Nauka Publ., 1984. 640 p.

Информация об авторе

Сипайло Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: svsip@tut.by

Information about the author

Sipaila Siarhei Uladzimiravich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svsip@tut.by

Поступила 25.08.2020