

АППРОКСИМАЦИЯ ФУНКЦИИ ЯРКОСТИ ОБЪЕКТА ПОЛУТОНОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Владимир Калмыков, Виталий Вишнеvский,
Татьяна Романенко, Татьяна Власова

Abstract *The method, to encode the gray-scale image objects, is proposed, using canonical splines within the gray-scale image structural model. While the brightness values of object pixels are determined inside its contour, the approximation function is determined and built within rectangle which the object is circumscribed. Examples of the image encoding, initially set in a raster kind, are made.*

Keywords: *полутоновое изображение, контур, канонический сплайн.*

ACM Classification Keywords: *I.5.1 Models, I.3.5 Computational Geometry and Object Modeling.*

Введение

Обработка визуальной информации, в частности полутоновых изображений, относится к наиболее сложным задачам искусственного интеллекта и, в то же время, все более актуальным для практического использования в самых различных отраслях науки и технологий. В настоящее время в средствах искусственного интеллекта полутоновые изображения представлены в растровом виде. Такое представление исключает возможность обработки – преобразования, идентификации объектов, отличающихся аффинными преобразованиями – масштабом, положением в поле изображения, поворотом. В современных средствах обработки визуальной информации такие понятия как *контур* объектов полутоновых изображений используются в основном применительно к контурам объектов (за исключением контуров объектов предварительно бинаризованных полутоновых изображений).

В то же время одной из важнейших и наиболее естественных особенностей зрительного восприятия человека является его способность к сегментации поля зрения на объекты, которые отличаются от фона оптической плотностью, цветом, текстурой, др. Основной характеристикой любого объекта является его форма, которая определена контуром – границей между объектом и фоном и функцией оптической плотности внутри контура каждого из объектов. Эти особенности зрительного восприятия человека отражены в используемой структурной модели полутонового изображения [Калмыков,1].

Структурная модель дает возможность однообразного по форме представления произвольных полутоновых изображений. Представление изображений в структурной модели является инвариантным относительно аффинных преобразований, и позволило бы существенно повысить скорость и качество обработки визуальной информации, что, в свою очередь, обеспечило бы качественное функционирование использующих эти средства информационных технологий.

В настоящей работе рассматривается метод аппроксимации объектов полутонового изображения

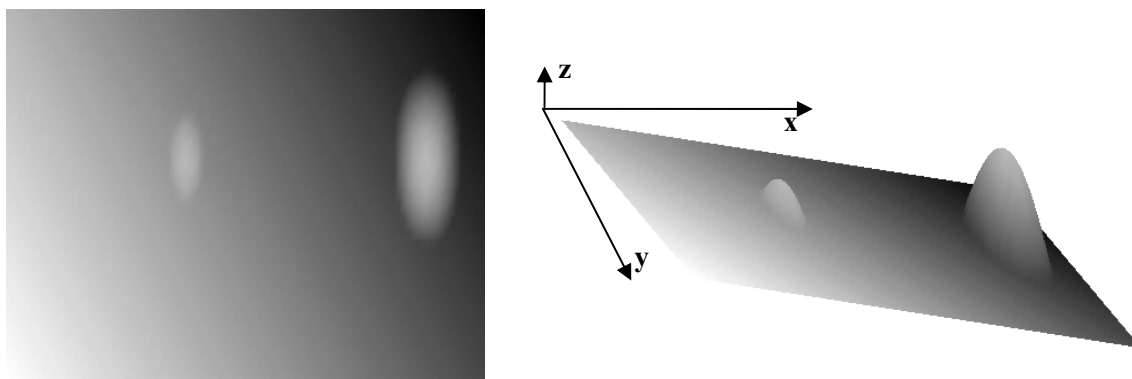


Рис.1 Полутоновое изображение (слева) и регулярная поверхность, состоящая из трех кусков простых поверхностей, соответствующая этому изображению

каноническими сплайнами в рамках структурной модели полутонового изображения. Приведены примеры кодирования изображения, изначально заданного в растровом виде.

Структурная модель полутонового изображения

Основой структурного анализа полутонового изображения является модель, которая определяет его структурные элементы. В соответствии с известными представлениями о механизмах зрительного восприятия [Hubel, 2] такими структурными элементами изображения, в частности, есть объекты, расположенные на фоне, который определяется двумерной функцией яркости. Объекты, в свою очередь, определяются контурами, которые их ограничивают, и функцией яркости в пределах объекта.

Под изображением понимают часть плоскости, ограниченную некоторой геометрической фигурой, обычно прямоугольником, каждая точка которой характеризуется определенным значением яркости. Другими словами, на части плоскости, ограниченной прямоугольником с размерами X, Y определена функция $p=f(x,y)$, ($0 \leq x \leq X; 0 \leq y \leq Y$). Этой функции можно поставить в соответствие некоторую поверхность $z = f(x,y)$ в пространстве $Oxyz$.

В соответствии с определениями аналитической геометрии в пространстве [Корн, 3] множество точек $P(x,y,z)$, координаты которых удовлетворяют системе уравнений

$$x=x(u,v), y=y(u,v), z=z(u,v) \quad (1)$$

называют **непрерывной поверхностью**, если правые части уравнений являются непрерывными функциями параметров u, v .

Поверхность может иметь более чем одну полость.

Простой поверхностью называют двустороннюю *непрерывную поверхность*, состоящую из одной полости и не имеющую самопересечений (кратных точек).

Точку поверхности (1) называют **регулярной точкой**, если при параметрическом задании поверхности функции (1) имеют в достаточной близости к рассматриваемой точке непрерывные частные производные первого порядка и, по меньшей мере, один из определителей

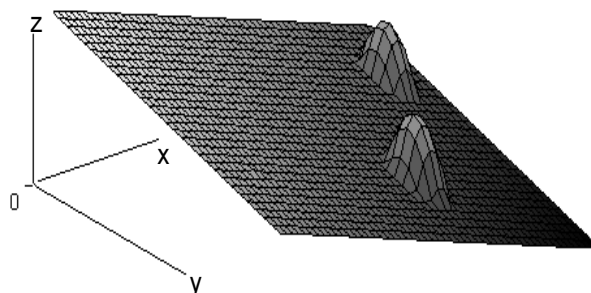


Рис.2 Дискретизованная поверхность изображения.

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial u} \\ \frac{\partial x}{\partial v} & \frac{\partial y}{\partial v} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial u} \\ \frac{\partial y}{\partial v} & \frac{\partial z}{\partial v} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \frac{\partial z}{\partial u} & \frac{\partial x}{\partial u} \\ \frac{\partial z}{\partial v} & \frac{\partial x}{\partial v} \end{pmatrix}$$

отличен от нуля. Простой кусок поверхности, ограниченный замкнутой кривой, называют **регулярным**, если все его внутренние точки регулярные. **Регулярной поверхностью** называют двустороннюю простую поверхность, составленную из конечного числа регулярных кусков с общими регулярными дугами и точками.

Таким образом, каждому полутоновому изображению можно поставить в соответствие регулярную незамкнутую поверхность в пространстве Охуr которая состоит из простых кусков поверхности рис.1.

Для поверхности, которая соответствует полутоновому изображению, справедливо следующее ограничение. Каждому значению пары координат (x,y) соответствует одно и только одно значение функции $\rho(x,y)$, то есть перпендикуляр к плоскости изображения в любой точке x,y пересекает воображаемую поверхность один и только один раз.

Контур каждого куска регулярной поверхности является замкнутой последовательностью дуг кривых и отрезков прямых. Точки контура не являются регулярными точками кусков простых поверхностей. Точки контура – это особые точки кусков простых поверхностей. Точки контура образуют особые линии поверхности, которые являются граничными, разделяющими разные куски простых поверхностей. Контур каждого куска простой поверхности вместе с функцией яркости полностью определяют регулярную поверхность и соответствующую ей область изображения.

В полутоновом изображении всегда можно выделить области, для которых значение яркости постоянно, либо меняется по определенному закону. Закон изменения яркости определяется $\text{grad } p$ – градиентом яркости. Обычно в пределах одной области $p = \text{const}$, либо $\partial p / \partial x + \partial p / \partial y = \text{const}$, либо $\partial^2 p / \partial x^2 + \partial^2 p / \partial y^2 = \text{const}$. Возможны и другие законы изменения яркости в поле изображения.

Полутоновое изображение можно рассматривать как некоторую область регулярной поверхности [3], состоящую из регулярных кусков простых поверхностей, причем каждый объект изображения соответствует одному или нескольким кускам простых поверхностей, ограниченных контуром.

Цифровая строковая модель полутонового изображения

С поверхностью в пространстве $Oxyz$, которой соответствует полутоновое изображение, совмещена решетка $N \times M \times P$, и для каждого пиксела изображения определено среднее в пределах его площади значение яркости $p(n,m)$, принимающее целочисленные значения $p(n,m) \in (0,P)$; $n \in (0,N)$; $m \in (0,M)$ рис.2. Сторона решетки с N клетками расположена вдоль оси Ox , сторона решетки с M клетками расположена вдоль оси Oy , сторона решетки с P клетками расположена вдоль оси Oz . Пусть (ynz) ; $n \in (0,N)$ – множество параллельных плоскостей, перпендикулярных оси Ox в трехмерном пространстве $Oxyz$ – соответствуют горизонтальным строкам полутонового изображения. Точно так же $(x mz)$; $m \in (0,M)$ – множество параллельных плоскостей, перпендикулярных оси Oy соответствуют вертикальным строкам полутонового изображения. Пересечение поверхности изображения с этими плоскостями образует на каждой из плоскостей ynz функцию яркости $z_n(x)$ вдоль горизонтальной строки n , а на каждой из плоскостей $x mz$ – функцию яркости $z_m(y)$ вдоль вертикальной строки m . Для случая дискретизованного изображения функциям яркости соответствуют последовательности значений яркости горизонтальных – $P_n = \{p_n(m), (m=0,M)\}$ и вертикальных – $P_m = \{p_m(n), (n=0,N)\}$ строк.

Выделение особых точек регулярных поверхностей может быть выполнено в процессе структурного анализа последовательностей P_n и P_m [Vishnevskiy, 4]. Особые точки областей полутонового изображения (его регулярной поверхности) образуют линии контуров в плоскости xOy .

Аппроксимация функции яркости объектов полутонового изображения

Структурными элементами изображения являются объекты, расположенные на достаточно контрастном фоне. Объекты определяются ограничивающими их контурами и функцией яркости в пределах их контуров. Будем считать, что функция яркости и ее производные в пределах контура, ограничивающего объект, являются непрерывными. Также будем полагать, что поверхность, соответствующая функции яркости $z = f(x,y)$, в пределах контура объекта, является простой, то есть непрерывной, однозначной, состоит из одной полости и не имеет самопересечений. Без ограничения общности будем рассматривать простые объекты, контуры которых образованы непрерывными линиями, имеющими непрерывные производные, полагая, что сложный объект всегда можно представить как совокупность простых объектов.

Если объект полутонового изображения является простой поверхностью, то, в соответствии с цифровой строковой моделью полутонового изображения, каждой горизонтальной строке n изображения можно поставить в соответствие последовательность значений $p_n(m)$ ($m=0,M$), которые отображают зависимость яркости от координаты m . Эта последовательность может быть аппроксимирована аналитической

$$\begin{aligned} x(t) &= a_x t^3 + b_x t^2 + c_x t + d_x \\ z(t) &= a_z t^3 + b_z t^2 + c_z t + d_z \end{aligned} \quad (2)$$

параметрически заданной полиномиальной кривой. Для большинства практических случаев третий порядок полиномов является достаточным. В настоящей работе используется канонический сплайн (cardinal spline):

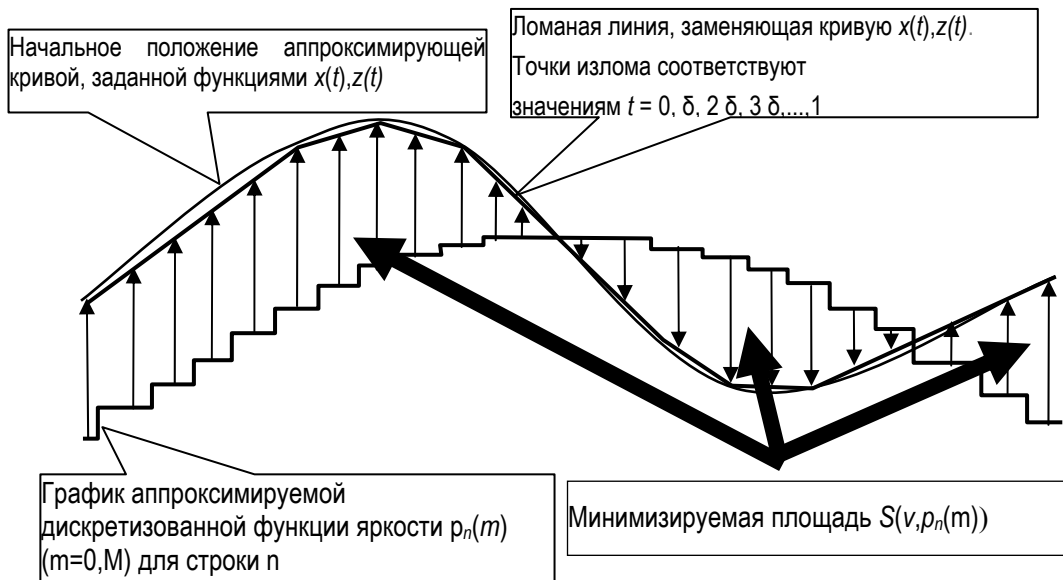


Рис.3. Аппроксимация дискретизованной функции яркости параметрически заданным сплайном

где параметр t изменяется от 0 до 1.

Коэффициенты полиномов вычисляются как:

$$\begin{aligned} a_x &= T(x_2 - x_0) + T(x_3 - x_1) + 2x_1 - 2x_2; & a_z &= T(z_2 - z_0) + T(z_3 - z_1) + 2z_1 - 2z_2; \\ b_x &= -2T(x_2 - x_0) - T(x_3 - x_1) - 3x_1 + 3x_2; & a_z &= T(z_2 - z_0) + T(z_3 - z_1) + 2z_1 - 2z_2; \\ c_x &= T(x_2 - x_0); & c_z &= T(z_2 - z_0); & d_x &= x_1; & d_z &= z_1; \end{aligned} \quad (3)$$

где T – «натяжение» (при $T = 0$ – получаем прямую линию, при увеличении T изгиб кривой возрастает, при T больше 1 или меньше 0 кривая может принять вид петли), а точки $(x_0, z_0), (x_1, z_1), (x_2, z_2), (x_3, z_3)$ определяют форму аппроксимирующей кривой [Роджерс, 5, Петцольд, 6].

Таким образом, каждая горизонтальная строка полутонового изображения может быть представлена в виде вектора $v = \{x_0, z_0, x_1, z_1, x_2, z_2, x_3, z_3\}$, компоненты которого определяют коэффициенты полиномов канонического сплайна. Строку полутонового изображения можно представить в виде ломаной линии, образованной последовательностью значений яркости P_n . В качестве сходства строки изображения с аппроксимирующей кривой используется значение площади $S(v, P_n)$ – фигуры, ограниченной кривой, определяемой коэффициентами v , и ломаной, образованной значениями яркости. Тогда поиск сплайна с

коэффициентами v_{opt} , который наилучшим образом аппроксимирует заданную строку изображения, можно рассматривать как определение коэффициентов сплайна, которые минимизируют значение $S(v, P_n)$:

$$v_{opt} = \operatorname{argmin} S(v, P_n) \quad (4)$$

Непосредственное вычисление $S(v, P_n)$ не представляется возможным из-за того, что данный контур не является односвязным. Ломаная P_n и аппроксимирующая кривая с коэффициентами v неоднократно пересекаются. Вычисление координат точек пересечения затруднено параметрическим заданием сплайна.

Наиболее простым решением представляется замена аппроксимирующей кривой ломаной линией V_t , (рис.3) точки излома которой (x_t, z_t) принадлежат кривой и вычислены для значений $t = 0, \delta, 2\delta, 3\delta, \dots, 1$. Значение δ выбрано достаточно малым, чтобы обеспечить достаточно точное для практических вычислений отображение ломаной линией V_t исходного сплайна. В результате замены параметрически заданного сплайна ломаной линией, отрезки которой являются явно заданными функциями, появляется возможность вычислить для каждого значения $p_n(m)$ значение $V_t(m)$, которое соответствует паре значений

$$S(v, P_n) = \sum_{m=0}^{m=M} |V_t(m) - p_n(m)| \quad (5)$$

$x(t), z(t)$. Тогда площадь $S(v, P_n)$ может быть вычислена как

Значение v_{opt} , соответствующее минимальному значению $S(v, P_n)$, может быть получено путем использования метода градиентного спуска.

Пусть задан некоторый простой объект, образованный частями строк $\{m_b(n), m_e(n), n_b \leq n \leq n_e\}$, где

– $m_b(n), m_e(n)$ – соответственно начальный и конечный (слева направо) пиксели части n -ной горизонтальной строки изображения, находящейся внутри контура объекта;

– n_b, n_e – соответственно начальный и конечный (сверху вниз) номера строк изображения, части которых находятся внутри контура объекта.

В результате аппроксимации сплайнами функций яркостей частей всех строк изображения, находящихся внутри контура данного объекта, определены значения $v_{opt}(n) = \{x_0(n), z_0(n), x_1(n), z_1(n), x_2(n), z_2(n), x_3(n), z_3(n)\}$ для всех $n_b \leq n \leq n_e$. Отметим, что $x_0(n) = m_b(n), x_3(n) = m_e(n)$ – граничные точки строк, определяемые контуром объекта.

Вследствие непрерывности куска поверхности, соответствующего рассматриваемому объекту, каждое из множеств точек $\{x_0(n), z_0(n), n_b \leq n \leq n_e\}, \{x_1(n), z_1(n), n_b \leq n \leq n_e\}, \{x_2(n), z_2(n), n_b \leq n \leq n_e\}, \{x_3(n), z_3(n), n_b \leq n \leq n_e\}$ образует пространственную кривую, которая, в свою очередь, может быть аппроксимирована пространственными каноническими сплайнами $r_0(t) = \{x_0(t), y_0(t), z_0(t)\}, r_1(t) = \{x_1(t), y_1(t), z_1(t)\}, r_2(t) = \{x_2(t), y_2(t), z_2(t)\}, r_3(t) = \{x_3(t), y_3(t), z_3(t)\}$. Для простоты рассматриваются проекции сплайнов на плоскости xOy : $p_0(t) = \{x_0(t), y_0(t)\}, p_1(t) = \{x_1(t), y_1(t)\}, p_2(t) = \{x_2(t), y_2(t)\}, p_3(t) = \{x_3(t), y_3(t)\}$ и zOy : $q_0(t) = \{y_0(t), z_0(t)\}, q_1(t) = \{y_1(t), z_1(t)\}, q_2(t) = \{y_2(t), z_2(t)\}, q_3(t) = \{y_3(t), z_3(t)\}$ (рис.5). Обозначим i -ю управляющую точку j -го пространственного сплайна как $w_{ij} = \{x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}\}$. В результате аппроксимации для каждого из пространственных, так же как и для плоских сплайнов, определены значения $v_{opt}(r_0) = (w_{00}, w_{01}, w_{02}, w_{03}); v_{opt}(r_1) = (w_{10}, w_{11}, w_{12}, w_{13}); v_{opt}(r_2) = (w_{20}, w_{21}, w_{22}, w_{23});$

$v_{opt}(r_3) = (w_{30}, w_{31}, w_{32}, w_{33})$. Таким образом, выбранный объект полутонового изображения, при аппроксимации его сплайнами третьей степени, может быть определен 16 пространственными точками рис.5.

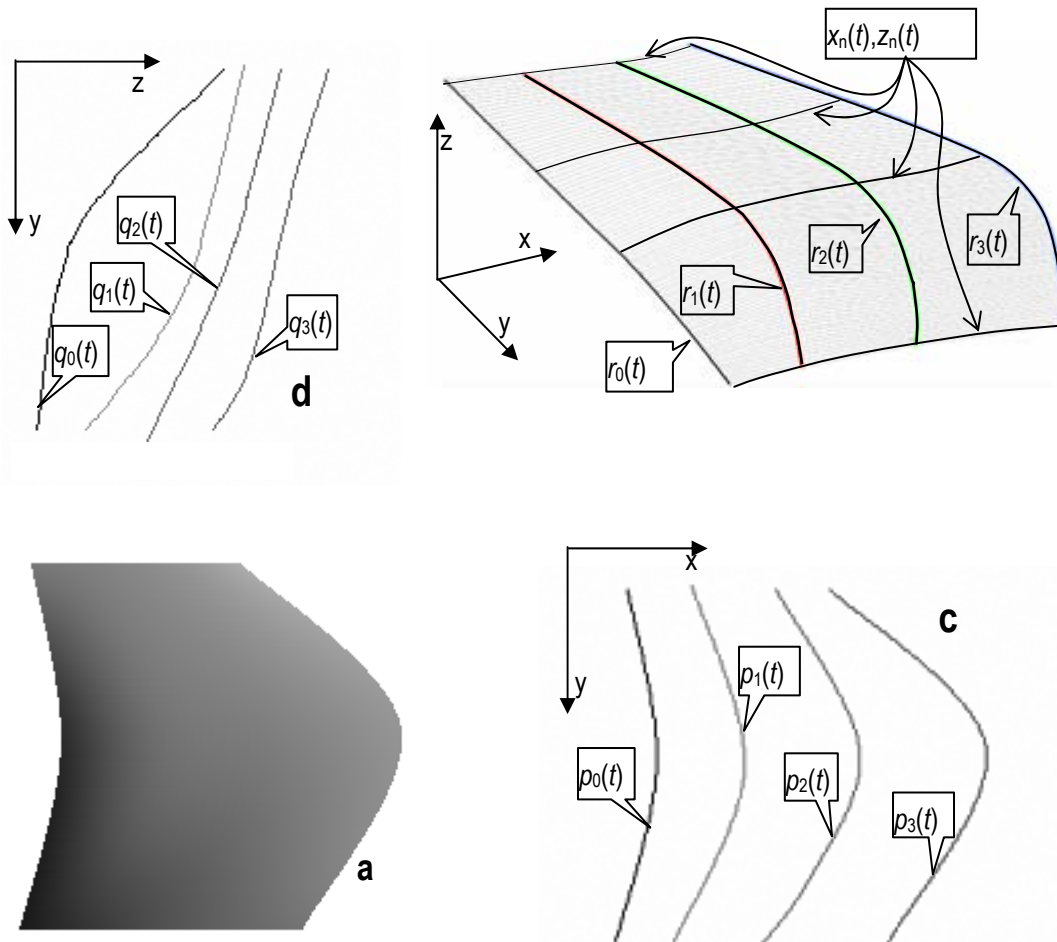


Рис.4 Аппроксимация простого объекта пространственными сплайнами.

a – объект полутонового изображения $\{m_b(n), m_e(n), n_b \leq n \leq n_e\}$;

b – представление объекта в виде куска простой поверхности; $x_n(t), z_n(t)$ – примеры сплайнов, аппроксимирующих функции яркости горизонтальных строк в плоскостях xOz для различных значений n ; $r_0(t), r_1(t), r_2(t), r_3(t)$ – пространственные сплайны, аппроксимирующие последовательности параметров плоских сплайнов $\{x_0(n), z_0(n), x_1(n), z_1(n), x_2(n), z_2(n), x_3(n), z_3(n)\}$ для всех $n_b \leq n \leq n_e$.

c – проекции пространственных сплайнов на плоскость xOy : $p_0(t) = \{x_0(t), y_0(t)\}$, $p_1(t) = \{x_1(t), y_1(t)\}$, $p_2(t) = \{x_2(t), y_2(t)\}$, $p_3(t) = \{x_3(t), y_3(t)\}$; кривые $p_1(t)$ и $p_1(t)$ отображают контур объекта;

d – проекции пространственных сплайнов на плоскость zOy : $q_0(t) = \{z_0(t), y_0(t)\}$, $q_1(t) = \{z_1(t), y_1(t)\}$, $q_2(t) = \{z_2(t), y_2(t)\}$, $q_3(t) = \{z_3(t), y_3(t)\}$.

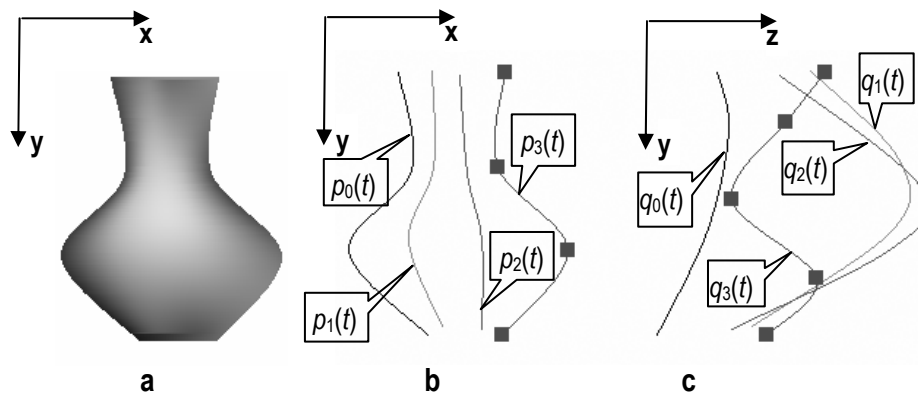


Рис.5 Кодирование объекта полутонового изображения

а) Исходное изображение;

б) Проекция $p_0(t)$, $p_1(t)$, $p_2(t)$, $p_3(t)$ пространственных сплайнов $r_0(t)$, $r_1(t)$, $r_2(t)$, $r_3(t)$ на плоскость xOy ; проекция $p_0(t)$, $p_3(t)$ отображают кривые контура объекта.

с) Проекция $q_0(t)$, $q_1(t)$, $q_2(t)$, $q_3(t)$ пространственных сплайнов $r_0(t)$, $r_1(t)$, $r_2(t)$, $r_3(t)$ на плоскость yOz .

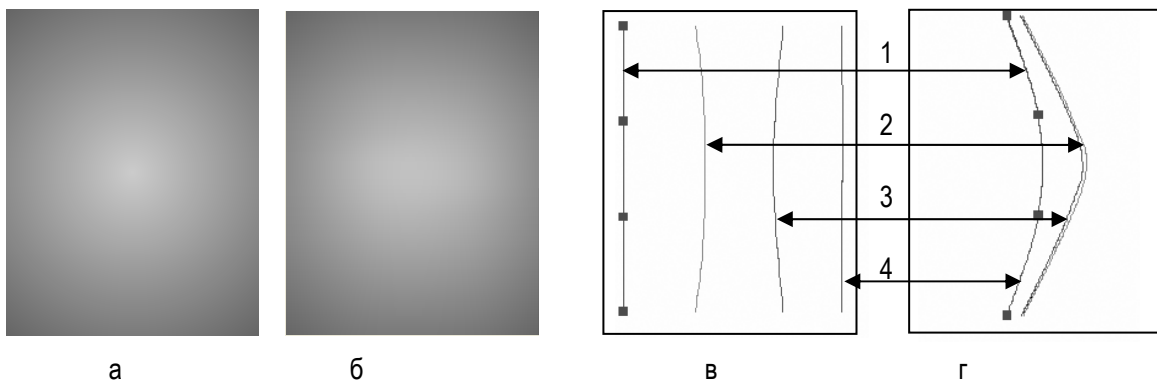


Рис.6. Изображение куска простой поверхности, ограниченное прямоугольником – а, аппроксимация проекциями пространственных кривых – в,г и отображение аппроксимированного изображения – б.

Порядок определения параметров непрерывной области – объекта полутонового изображения сводится к следующему.

1. Для каждой из частей строк изображения $\{m_b(n), m_e(n), n_b \leq n \leq n_e\}$, принадлежащих объекту определяют параметры сплайна третьей степени $v_{opt}(n) = \{x_0(n), z_0(n), x_1(n), z_1(n), x_2(n), z_2(n), x_3(n), z_3(n)\}$.

2. Каждое из множеств точек $\{x_0(n), z_0(n), n_b \leq n \leq n_e\}$, $\{x_1(n), z_1(n), n_b \leq n \leq n_e\}$, $\{x_2(n), z_2(n), n_b \leq n \leq n_e\}$, $\{x_3(n), z_3(n), n_b \leq n \leq n_e\}$ аппроксимируют пространственными каноническими сплайнами третьей степени $r_0(t) = \{x_0(t), y_0(t), z_0(t)\}$, $r_1(t) = \{x_1(t), y_1(t), z_1(t)\}$, $r_2(t) = \{x_2(t), y_2(t), z_2(t)\}$, $r_3(t) = \{x_3(t), y_3(t), z_3(t)\}$, каждый из которых, в свою

очередь, полностью определяется четырьмя управляющими точками, то есть кусок простой поверхности, соответствующий объекту – области полутонового изображения определяется 16 управляющими точками.

Представленный алгоритм реализован в программе, посредством которой можно закодировать полутоновое изображение аппроксимирующими кривыми, а также выполнить обратную операцию по восстановлению изображения. На рис. 5 представлен пример кодирования объекта полутонового изображения, включая кривые достаточно сложного контура. В приведенном примере проекции пространственных кривых $p_0(t)$, $p_3(t)$ отображают форму частей контура объекта. Однако задача аппроксимации объектов изображений в общем случае с учетом как пространственной функции яркости так и формы контура только проекциями кривых является очень сложной, и далеко не всегда удовлетворительно решается использованием кривых третьего порядка.

Отметим, что аппроксимация простой поверхности, ограниченной прямоугольным контуром (рис.6) не вызывает затруднений по причине простоты формы контура. Поместим объект полутонового изображения произвольной формы в прямоугольник минимально возможных размеров (рис.7а) и будем искать аппроксимирующую пространственную функцию яркости объекта в пределах этого прямоугольника.

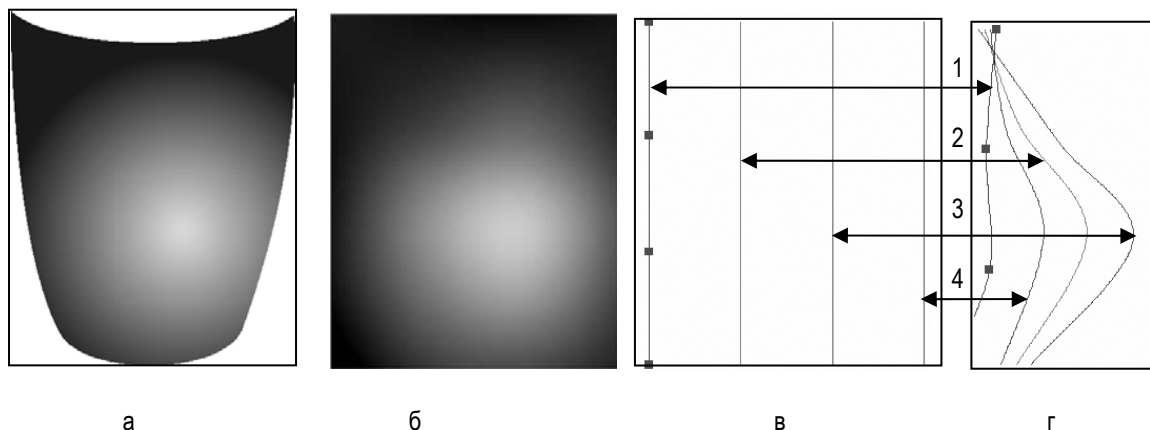


Рис. 7. Аппроксимация объекта полутонового изображения а; б – аппроксимирующая поверхность; в, г – проекции пространственных аппроксимирующих кривых.

Значения аппроксимирующей функции за пределами контура объекта могут быть произвольными. Доопределение этих значений происходит в процессе вычисления параметров аппроксимирующей кривой для каждой строки объекта полутонового изображения по части этой строки между точками $m_b(n)$ и $m_e(n)$, принадлежащими объекту, и может быть выполнено с использованием формул (4) и (6), которые

$$S(v, P_n) = \sum_{m=m_l}^{m=m_r} |V_i(m) - p_n(m)| \cdot \lambda, \quad (6)$$

являются модификацией формулы (5) для описываемого случая:

где m_l , m_r – соответственно левая и правая граничные точки прямоугольника, содержащего объект;

$\lambda=1$, при $m_b(n) \leq m \leq m_e(n)$, иначе $\lambda=0$.

Изображение аппроксимирующей поверхности представлено на рис. 7б. Проекция пространственных аппроксимирующих кривых изображены на рис. 7в,7г. Для предлагаемого метода форма контура объекта полутонового изображения практически не влияет на форму аппроксимирующих кривых. Форма аппроксимирующей поверхности достаточно проста и удовлетворительно описывается пространственными кривыми третьего порядка. Форма контура может быть описана, как было предложено

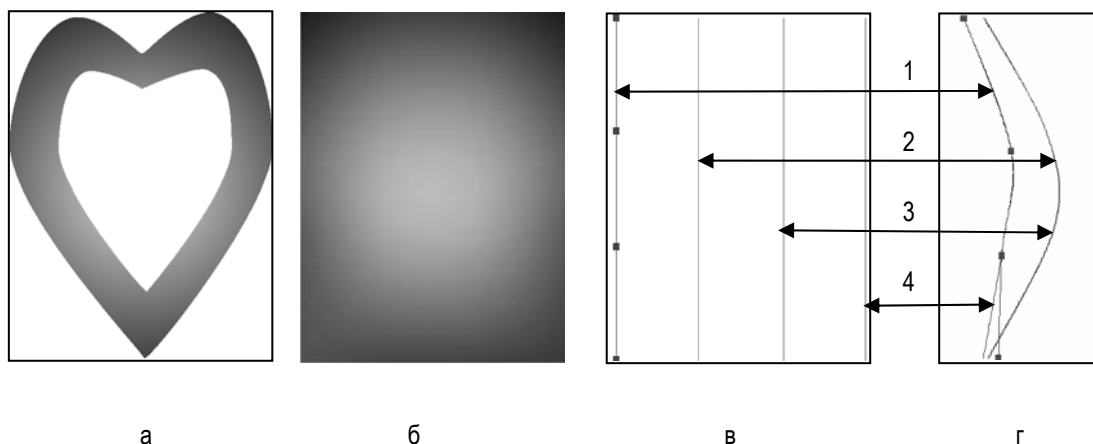


Рис. 8. Аппроксимация объекта полутонового изображения а; б – аппроксимирующая поверхность; в г – проекции пространственных аппроксимирующих кривых

ранее [Kalmykov, 7], в виде последовательности отрезков прямых и дуг кривых. Всякий объект полутонового изображения может считаться полностью определенным, если определена форма его контура в плоскости изображения и пространственная функция яркости, что и имеет место в рассматриваемом случае. Поскольку функция яркости, так же как и контур, описывается полиномиальными кривыми, можно утверждать, что представление объекта полутонового изображения является инвариантным относительно аффинных преобразований.

На рис. 8а для более сложного объекта, ограниченного двумя вложенными контурами определена функция яркости рис. 8б, проекции аппроксимирующих ее пространственных кривых изображены на рис. 8в,8г.

Заключение

Основным результатом данной работы является программно реализованный метод аппроксимации функции яркости объекта полутонового изображения пространственными кривыми. В сочетании с описанием контура полутонового изображения в виде замкнутой последовательности отрезков цифровых прямых и дуг цифровых кривых имеется новая возможность инвариантного относительно аффинных преобразований представления объектов полутоновых изображений. При наличии надежных методов сегментации полутонового изображения эта возможность распространяется и на все полутоновое изображение.

Библиография

1. Калмыков Владимир, Вишневецкий Виталий, Власова Татьяна. Структурная модель полутонового изображения и ее использование в задаче сегментации изображений. // International Journal "Information Technologies and Knowledge". – Sofia. – 2008. - v. 2, №5 – P. 153.
2. David H. Hubel Eye, brain, and vision New York : Scientific American Library : Distributed by W.H. Freeman, 1988. – 240 p. : ill.
3. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – Москва: Наука, 1974. – 831 с.
4. Vitaliy Vishnevskiy, Vladimir Kalmykov, Tatyana Romanenko. Approximation of experimental data by Bezier curves. // International Journal "Information theories & applications". – Sofia. – 2008. – v. 15, № 3 – P. 235.
5. Д. Роджерс, Дж. Адамс. Математические основы машинной графики. – Москва: Мир, 2001. – 604 с.
6. Ч. Петцольд. Программирование для Microsoft Windows на C#. В 2-х томах Том 2/ Пер. с англ. – М.: Издательско-торговый дом "Русская Редакция", 2002 – 624 с.: ил.
7. V. Kalmykov. Structural Analysis of Contours as the Sequences of the Digital Straight Segments and of the Digital Curve Arcs// International Journal Information Theories & Applications. – 2007. vol. 14 P.237-242

Authors' Information



Vladimir Kalmykov - senior researcher, candidate of engineering sciences, Institute of problems of mathematical machines and systems, prosp. akad. Glushkova 42, 03680, Kiev 187, Ukraine; e-mail: vl.kalmykov@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: Image retrieval, Data bases, Multimedia data bases, Information systems



Vitaly Vishnevsky - head of division, senior researcher, candidate of engineering sciences, Institute of problems of mathematical machines and systems, prosp. akad. Glushkova 42, 03680, Kiev 187, Ukraine; e-mail: vitaly@immsp.kiev.ua

Major Fields of Scientific Research: General theoretical information research, Education on informatics



Tatyana Romanenko - researcher, Institute of Mathematical Mashines and Systems, 42 Academician Glushkov St., 03680, Kiev 187, Ukraine; e-mail: romanenko@immsp.kiev.ua

Major Fields of Scientific Research: Business informatics, Software technologies, Information systems and data bases



Tatyana Vlasova - researcher, Institute of Mathematical Mashines and Systems, 42 Academician Glushkov St., 03680, Kiev 187, Ukraine; e-mail: chery@immsp.kiev.ua

Major Fields of Scientific Research: Business informatics, Software technologies, Information systems and data bases