

УДК 004.932.72:004.931.4

В.В. Авраменко¹, Р.С. Волков²¹СумГУ, г. Сумы, Украина, avr@sumdu.edu.ua²СумГУ, г. Сумы, Украина, roman-email@yandex.ru

РАСПОЗНАВАНИЕ КОНТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ИХ ФРАГМЕНТОВ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ

В статье описан метод локального распознавания фрагментов эталонных контуров на анализируемом изображении. Такие фрагменты, в частности, образуются при пересечении нескольких контурных изображений. Данный метод является инвариантным к масштабу, углу поворота и размещению этих фрагментов на распознаваемом изображении.

КОНТУРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ, ФРАГМЕНТ, ФУНКЦИИ НЕПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТЕЙ, ПОЛЯРНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ, РАДИУС-ВЕКТОР

Введение

Распознавание контурных изображений является одной из основных задач при создании систем искусственного зрения. Обычно в системе распознавания имеется конечное множество эталонных контуров, которые она должна выявить на входном изображении. Однако на практике анализируемое изображение часто содержит только лишь фрагменты этих контуров, как, например, в случае пересечения нескольких контурных изображений. Данное обстоятельство значительно усложняет задачу их распознавания.

Существуют различные подходы и методы распознавания изображений [1]. Для решения рассматриваемой задачи необходим метод локального распознавания. Это вызвано тем обстоятельством, что довольно сложно применять интегральные оценки, когда эталонный контур на анализируемом изображении представлен не полностью. К тому же, для анализа может быть доступно не всё изображение, а лишь его фрагмент. Это обстоятельство также усложняет нормализацию изображения.

В [2] описан метод локального распознавания фрагментов эталонных контуров на выпуклом анализируемом контуре. Эти фрагменты могут иметь произвольный масштаб, угол поворота и положение.

В данной работе предлагается к рассмотрению метод, который решает более общую, нежели в [2], задачу, а именно: распознавание контурных изображений произвольной формы, а также фрагментов, которые возникают при их пересечении.

Система распознавания, реализующая данный метод, представляется как система поддержки принятия решений оператором.

1. Постановка задачи

Дано конечное множество эталонных изображений и анализируемое контурное изображение. Оно состоит из фрагментов эталонных контуров. Эти фрагменты в анализируемом изображении могут отличаться от эталонных масштабом, положением

и углом поворота. Кроме того, они могут пересекаться.

Допускается, что в общем случае для анализа может быть доступным не всё изображение, а лишь его фрагмент, а также то, что эталонные контуры могут иметь одинаковые между собой фрагменты.

Для каждой точки анализируемого контура необходимо определить, принадлежит ли она фрагменту какого-либо из эталонных изображений.

2. Описание метода

В соответствии с постановкой задачи метод должен быть инвариантным к углу поворота фрагмента эталона на анализируемом изображении. Для этого контурное изображение предлагается описывать в полярной системе координат. Это позволяет описать контур как зависимость длины радиус-вектора, который соединяет начало координат с точкой на контуре, от угла θ наклона касательной в точке начала координат, как показано на рис. 1 (для удобства восприятия на всех приведенных рисунках цифрами возле контурного изображения и графика функции его параметрического описания обозначены соответствующие точки).

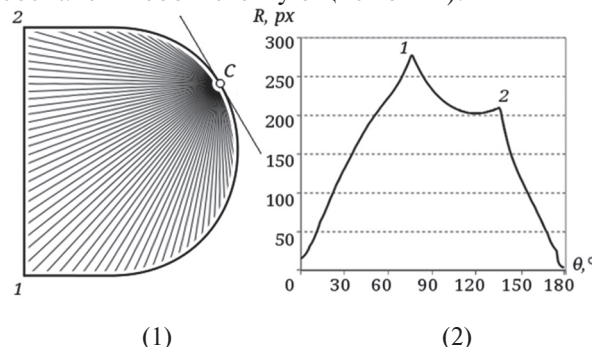


Рис. 1. Пример выпуклого анализируемого контура (1) и его представления в полярной системе координат (2)

Как видно из рис. 1, функция зависимости длины радиус-вектора от угла θ его наклона к касательной в точке начала координат задана однозначно. Однако в общем случае эта функция может быть неоднозначной, как показано на рис. 2 и рис. 3.

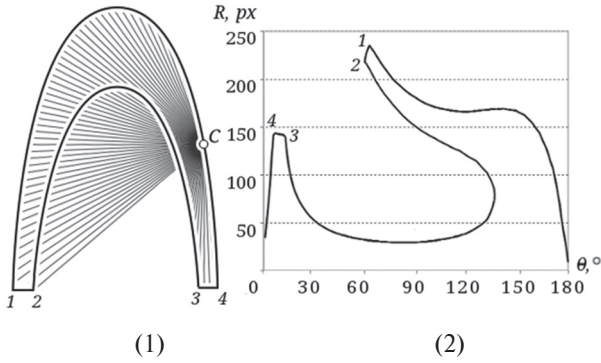


Рис. 2. Пример невыпуклого контурного изображения

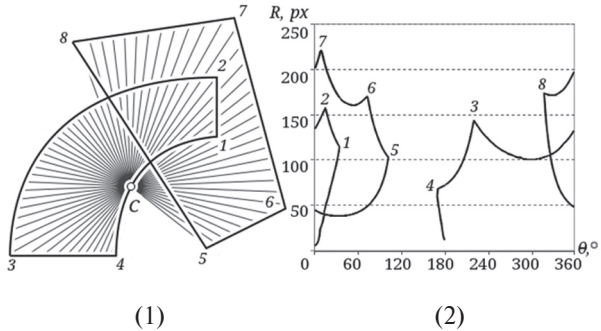


Рис. 3. Пример пересекающихся контурных изображений

Для устранения неоднозначности предлагается всё множество радиус-векторов разбить на подмножества в зависимости от количества пересечённых ими линий контура. Каждому подмножеству поставить в соответствие свою функцию зависимости длины радиус-вектора от угла наклона к касательной.

Количество таких функций будет равно максимальному числу пересечённых радиус-векторами линий контура. В результате того, что параметрическое описание контура может состоять не из одной, а одновременно из нескольких функций, каждая из них должна рассматриваться отдельно и независимо от других. Однако в процессе принятия решения о принадлежности фрагмента анализируемого контура какому-либо из эталонов, необходимо учитывать результаты распознавания по каждой из них.

Следует отметить, что инвариантность к углу поворота в [2] достигается благодаря учёту угла наклона касательной в точке начала полярной системы координат. Касательная, проведенная к любой точке контура, делит плоскость изображения на две полуплоскости. В случае, когда рассматривается выпуклый контур, он будет целиком находиться в одной из этих полуплоскостей. Вследствие этого диапазон рассматриваемых значений параметра θ лежит в пределах $0 \leq \theta \leq \pi$. Однако в случае, когда анализируются контуры произвольной формы или их пересечения, они могут находиться по обе стороны от касательной. Вследствие этого диапазон рассматриваемых значений параметра θ должен

быть $0 \leq \theta \leq 2\pi$. При этом необходимо рассматривать уже два значения угла поворота эталона относительно касательной к своему фрагменту на изображении: $\theta = 0$ и $\theta = \pi$, как показано на рис. 4.

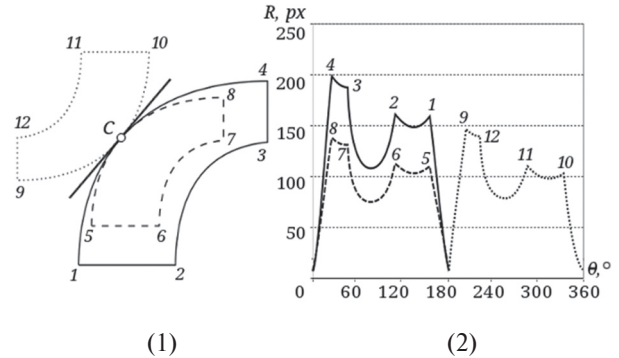


Рис. 4. Возможные положения эталонного контура относительно начала полярной системы координат и касательной в этой точке

Как видно из рис. 4, в случае, когда начала координат распознаваемого изображения и эталонного находятся в соответствующих точках эталона и его фрагмента на изображении, а с помощью касательных определён угол их поворота относительно друг друга, параметрические описания соответствующих фрагментов изображения и эталона отличаются на заранее неизвестный масштабный множитель. В этом случае имеет место уравнение вида:

$$R_{nq}(x_{nj}, y_{nj}, \theta) = k \cdot R_d(x_i, y_i, \theta), \quad (1)$$

где: $R_{nq}(x_{nj}, y_{nj}, \theta)$ — q -ая функция зависимости длины радиус-вектора с началом координат в j -ой точке (x_{nj}, y_{nj}) n -ого эталонного контура от угла наклона θ ; $R_d(x_i, y_i, \theta)$ — d -ая функция зависимости длины радиус-вектора с началом координат в i -ой точке (x_i, y_i) распознаваемого контура от угла наклона θ ; i — порядковый номер точки в анализируемом контуре, $1 \leq i \leq N$, N — количество точек анализируемого контура; j — порядковый номер точки в n -ом эталонном контуре, $1 \leq j \leq M_n$, M_n — количество точек в n -ом эталонном контуре; n — порядковый номер эталона в списке эталонов, $1 \leq n \leq G$, G — количество эталонов; d — порядковый номер функции параметрического описания анализируемого контура, $1 \leq d \leq D_i$, D_i — максимальное количество пересечённых радиус-вектором линий контура, при нахождении начала координат в точке (x_i, y_i) ; q — порядковый номер функции параметрического описания эталонного контура, $1 \leq q \leq Q_{nj}$, Q_{nj} — максимальное количество пересечённых радиус-вектором линий контура, при нахождении начала координат в точке (x_{nj}, y_{nj}) ; θ — угол наклона радиус-вектора к касательной в точке начала координат, $0 \leq \theta \leq 2\pi$; k — заранее неизвестный масштабный множитель.

В качестве меры, инвариантной к масштабному множителю, предлагается использовать функцию непропорциональности по производной первого

порядка для функций заданных параметрически [3,4]. Она равна нулю, если две функции пропорциональны, независимо от значения коэффициента пропорциональности.

$$@d_{R_{nq}}^{(1)} R_d = \frac{R_d(x_i, y_i, \theta)}{R_{nq}(x_{nj}, y_{nj}, \theta)} - \frac{d R_d(x_i, y_i, \theta)/d\theta}{d R_{nq}(x_{nj}, y_{nj}, \theta)/d\theta}, \quad (2)$$

где символ @ — обозначение операции определения непропорциональности, d — от английского derivative (производная). Целиком $@d_{R_{nq}}^{(1)} R_d$ — означает операцию взятия непропорциональности по производной первого порядка функции $R_d(x_i, y_i, \theta)$ по функции $R_{nq}(x_{nj}, y_{nj}, \theta)$, которые зависят от параметра θ .

В случае, если имеет место пропорциональная связь (1), что говорит о наличии в анализируемом изображении фрагмента рассматриваемого эталона, выражение (2) равно нулю при соответствующих значениях параметра θ .

Для i -ой точки (x_i, y_i) анализируемого контура соответствующая точка (x_{nj}, y_{nj}) на эталоне заранее неизвестна, поэтому производится последовательное перемещение начала полярной системы координат по контуру эталона.

3. Алгоритм распознавания

Входными данными для системы распознавания являются анализируемое и эталонные контурные изображения. Для их параметрического описания необходимо определить точки пересечения радиус-вектора, проведенного из начала координат, с линиями этих контуров.

Предлагается для увеличения быстродействия системы и точности нахождения точек пересечения все контурные изображения вначале преобразовывать из растрового формата в векторный, например с помощью линейной аппроксимации. Такое представление контурных изображений в то же время требует и меньший объем памяти для хранения.

Начало координат анализируемого изображения помещается в требуемую точку на контуре, для того чтобы установить её принадлежность какому-либо из эталонов. В свою очередь, начало полярной системы координат эталонного изображения последовательно перемещается по контуру, для того чтобы определить соответствующую пару точек эталонного и распознаваемого контуров. Вследствие того, что для каждой точки анализируемого контура необходимо каждый раз совершать обход всего эталонного контура и при этом в каждой точке нахождения начала координат также заново строить параметрическое описание контура, предлагается в начале процесса распознавания совершить некоторую подготовительную работу. Она заключается в том, что при первом проходе начала полярной системы координат по контуру

эталона в каждой точке его нахождения строится параметрическое описание контура и сохраняется в памяти. При последующих обходах эталонного контура вычисления, связанные с построением его параметрического описания, производиться не будут, а необходимые данные будут браться непосредственно из памяти.

Поскольку, в общем случае, эталонные контуры могут иметь одинаковые фрагменты, не исключается ситуация, когда одной и той же точке распознаваемого контура может быть поставлено в соответствие сразу несколько эталонов. В таком случае, требуется дополнительный критерий для получения оценки принадлежности, например по максимальному количеству значений параметра θ , в которых выражение (2) равно нулю, или по максимальной длине последовательности таких значений.

В результате, алгоритм распознавания представляет собой следующую последовательность действий:

1. Считывание всех эталонных изображений.
2. Аппроксимация линий контуров с помощью линейной интерполяции либо интерполяцией сплайнами [5].
3. Создание массива функций $R_{nq}(x_{nj}, y_{nj}, \theta)$ — параметрического описания эталонных контуров, где n — порядковый номер эталона, q — количество функций, описывающих контур, когда начало полярной системы координат помещено в точку (x_{nj}, y_{nj}) . Для создания этого массива выполняются следующие действия:
 - а) выбирается первый эталонный контур, $n = 1$;
 - б) начало полярной системы координат устанавливается в первую точку контура, $j = 1$;
 - в) начало координат соединяется радиус-векторами с каждой точкой контура;
 - г) производится подсчет количества пересеченных линий контура каждым радиус-вектором;
 - д) весь массив радиус-векторов разбивается на Q_{nj} подмассивов, Q_{nj} — максимальное число пересеченных линий контура каким-либо из радиус-векторов;
 - е) вычисляются длины всех радиус-векторов;
 - ж) подмассивы длин радиус-векторов сортируются в порядке возрастания значений параметра θ — угла наклона радиус-вектора к касательной в точке начала полярной системы координат;
 - з) начало полярной системы координат устанавливается в следующую точку контура, $j = j + 1$ и если $j \leq M_n$, то необходимо возвратиться к п. 3 в), иначе — к п. 3 и);
 - и) выбирается следующий эталонный контур, $n = n + 1$. Если выполняется условие $1 \leq n \leq G$, то переход к п. 3 б), иначе — к п. 4.
4. Считывание распознаваемого изображения. Допускается случай, когда для анализа доступно не всё изображение, а только его фрагмент.

5. Создание массивов функций $R_d(x_i, y_i, \theta)$ — параметрического описания анализируемого контура. Для этого выполняются действия, приведенные п. 2 и п. 3, но только как для одного эталона.

6. Выбор первой точки на распознаваемом контуре, $i = 1$.

7. Выбор первого эталонного контура, $n = 1$.

8. Выбор первой точки на эталонном контуре, $j = 1$.

9. Выбор первой функции из $R_d(x_i, y_i, \theta)$, $d = 1$.

10. Выбор первой функции из $R_{nq}(x_{nj}, y_{nj}, \theta)$, $q = 1$.

11. Вычисление непропорциональности (2) функции $R_d(x_i, y_i, \theta)$ по $R_{nq}(x_{nj}, y_{nj}, \theta)$.

12. Вычисление непропорциональности (2) функции $R_d(x_i, y_i, \theta)$ по $R_{nq}(x_{nj}, y_{nj}, \theta)$ со сдвигом $\Delta\theta = \pi$.

13. Если в п. 11 или п. 12 функция (2) принимает значения, равные нулю, то анализируемая точка распознаваемого контура (x_i, y_i) является фрагментом n -го эталонного контура и производится переход к п. 17, иначе — переход к п. 14.

14. Выбор следующей функции из $R_{nq}(x_{nj}, y_{nj}, \theta)$, $q = q + 1$. Если выполняется условие $q \leq Q_{nj}$, то переход к п. 11, иначе — к п. 15.

15. Выбор следующей функции из $R_d(x_i, y_i, \theta)$, $d = d + 1$. Если выполняется условие $d \leq D_i$, то переход к п. 11, иначе — к п. 16.

16. Выбор следующей точки на эталонном контуре, $j = j + 1$. Если выполняется условие $j \leq M_n$, то переход к п. 9, иначе — к п. 17.

17. Выбор следующего эталонного контура, $n = n + 1$. Если выполняется условие $n \leq G$, то переход к п. 8, иначе — к п. 18.

18. Выбор следующей точки на распознаваемом контуре, $i = i + 1$. Если выполняется условие $i \leq N$, то переход к п. 7, иначе — к п. 19.

19. Сохранение и вывод результатов распознавания.

4. Пример распознавания

Для иллюстрации работы метода на рис. 5 представлено распознаваемое изображение и эталонный контур. Необходимо определить, какие из линий анализируемого контура являются фрагментами эталона. Для наглядности рассматривается случай, когда начало полярной системы координат на распознаваемом изображении и на эталонном находятся в соответствующих точках (точки C и C' на рис. 5).

Как видно из рис. 5 б, представление распознаваемого контура в полярной системе координат задано неоднозначно. Для исключения этой неоднозначности анализируемый контур представлен одновременно двумя функциями зависимости

длины радиус-вектора от угла наклона к касательной, рис. 5 в и г.

Результаты вычисления непропорциональности функций параметрического описания распознаваемого контура и эталона представлены на рис. 5 ж и рис. 5 з. Из этих графиков видно, что фрагмент эталона на первой функции параметрического описания контура находится в диапазоне $0 \leq \theta \leq 6$ и $63 \leq \theta \leq 180$, а на втором — соответственно $7 \leq \theta \leq 62$. Этим значениям параметра θ соответствуют фрагменты изображения, представленные на рис. 5 и и рис. 5 к.

При принятии решения о принадлежности фрагментов изображения рассматриваемому эталону берутся во внимание результаты распознавания по каждой из функций параметрического описания контура, рис. 5 л.

Следует также отметить, что в точках перегиба функции параметрического описания контура функция непропорциональности (2) не вычисляется, т.к. в этих точках отсутствует первая производная.

Согласно описанному алгоритму точка C на контуре рис. 5 а, в которую помещено начало полярной системы координат, считается фрагментом рассматриваемого эталона, рис. 5 в. Далее начало координат переносится в другую точку распознаваемого контура, после чего принимается решение о принадлежности уже следующей точки рассматриваемому эталону, и т.д. Процесс распознавания заканчивается после рассмотрения всех точек распознаваемого контура.

Приведенный алгоритм можно оптимизировать, а именно: принимать решение о принадлежности не только той точки, в которой находится начало полярной системы координат, а считать фрагментами эталона и те точки, которым соответствуют нулевые значения функции непропорциональности, как это можно видеть из рис. 5 ж — к). В то же время, предложенный ранее алгоритм более надежный, т.к. менее подвержен погрешностям при вычислениях.

Система поддержки принятия решений для исключения случайных совпадений может учитывать как общее число нулевых значений функции непропорциональности, так и длины цепочек таких значений. Например, точка, в которой находится начало координат, может быть фрагментом рассматриваемого эталона в случае, если функция непропорциональности принимает последовательно как минимум три нулевых значения.

Процесс распознавания фрагментов эталонов на анализируемом контуре может проходить одновременно для многих точек. Поэтому для решения задачи можно использовать системы параллельных вычислений, что позволит существенно увеличить быстродействие системы распознавания.

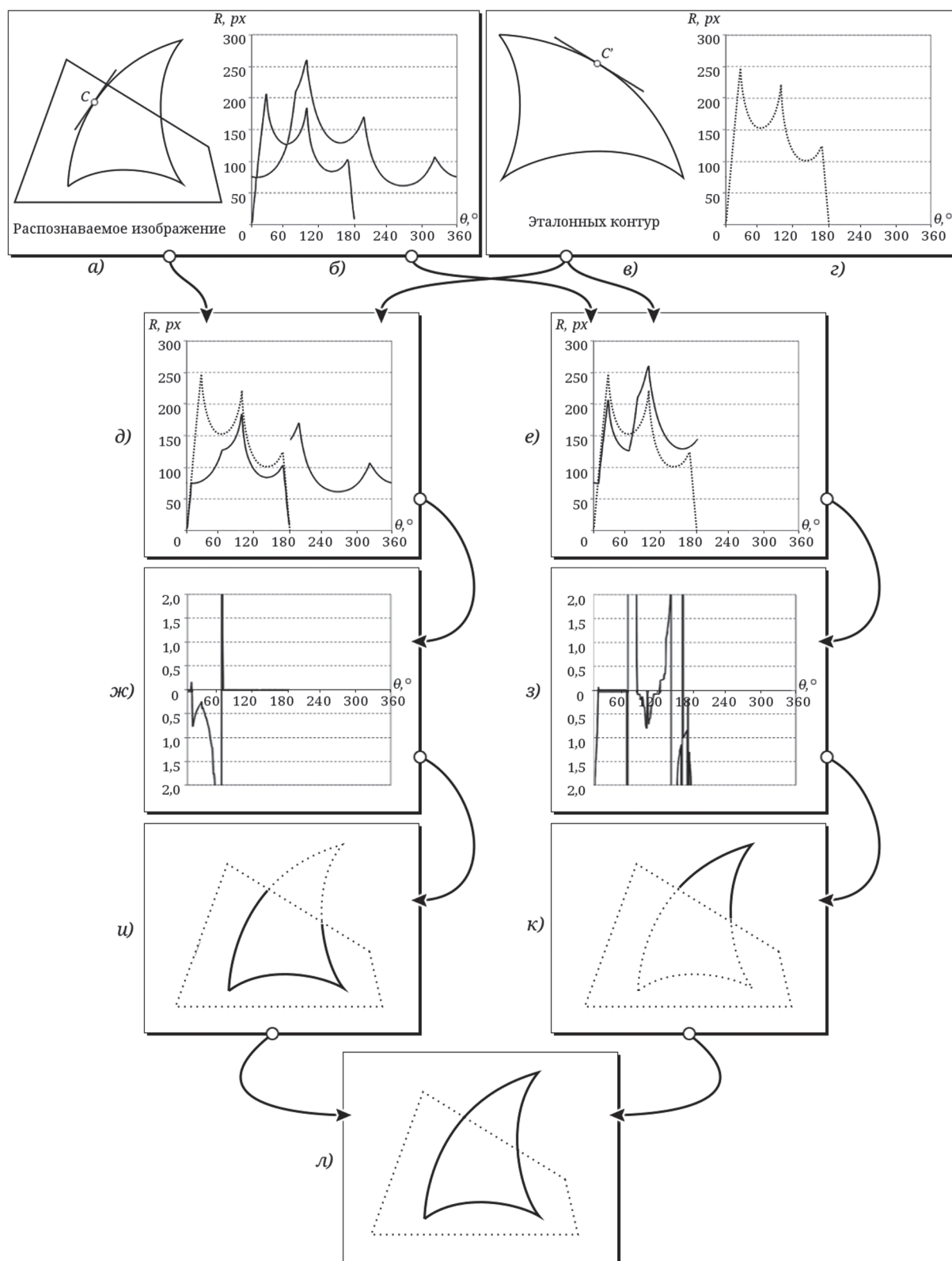


Рис. 5. Пример распознавания фрагментов эталонного контура (в) на анализируемом контуре (а) при нахождении начала полярной системы координат в соответствующих точках С и С'

Выводы

Предложен метод локального распознавания фрагментов эталонных контуров на анализируемом изображении, которые могут иметь произвольный угол поворота, положение и масштаб относительно друг друга, а также пересекаться. Допускается

также случай, когда для анализа доступно не всё изображение, а только его часть. Такие свойства метода достигаются благодаря:

- параметрическому описанию контуров в полярной системе координат как зависимости длины радиус-вектора от угла наклона к касательной

в точке начала координат. Радиус-вектор соединяет начало координат, которое помещается в точку на контуре, поочередно со всеми остальными точками этого контура;

— использованию функций непропорциональностей [3,4] в качестве меры, инвариантной к масштабному множителю.

Программная реализация предложенного алгоритма показала свою эффективность при распознавании фрагментов эталонов на анализируемом изображении, которые образуются при пересечении нескольких контурных изображений.

Список литературы: 1. *Путятин, Е.П.* Нормализация и распознавание изображений [Электронный ресурс] / Сумский гос. ун-т, летняя научно-практическая школа «Интеллектуальные системы». — Режим доступа: <http://sumschool.sumdu.edu.ua/is-02/rus/lectures/pytyatin/pytyatin.htm/> — 14.12.2011 г. — Загл. с экрана. 2. *Авраменко, В.В.* Распознавание фрагментов выпуклых контурных изображений [Текст] / В. В. Авраменко, Р. С. Волков // Вестник сумского гос. ун-та. — 2011. — № 2. — С. 7 — 12. 3. *Авраменко, В.В.* Характеристики непропорциональности числовых функций и их применение. — Деп. в ГНТБ Украины 19.01.98, № 59 — Ук 98. 4. *Авраменко, В.В.* Характеристики непропорциональности числовых функций и их применение при решении задач диагностики [Текст] / В. В. Авраменко // Вісник СумДУ. — 2000. № 16. — С.12 — 20. 5. *Авраменко, В.В.*

Аппроксимация контуров сплайнами в процессе их распознавания [Текст] / В. В. Авраменко, Р. С. Волков: тез. докл. научн.-техн. конф. ИММ-2011 / отв. ред. Т. В. Лютий. — Сумы : СумГУ, 2011. — С. 38.

Поступила в редколлегию 31.01.2012

УДК 004.932.72:004.931.4

Розпізнавання контурних зображень та їх фрагментів при перетині / В.В. Авраменко, Р.С. Волков // Біоніка інтелекту : наук.-техн. журнал. — 2012. — № 1 (78). — С. 72-77.

Запропоновано метод локального розпізнавання фрагментів еталонних контурів на зображенні, що аналізується. Такі фрагменти зазвичай утворюються при перетині декількох контурних зображень. Описаний у статті метод являється інваріантним до масштабу, куту повороту та розміщенню цих фрагментів на зображенні, що розпізнається.

Іл. 5. Бібліогр.: 5 найм.

UDC 004.932.72:004.931.4

Crossing Contour Images and its Fragments Recognition / V.V. Avramenko, R.S. Volkov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2012. — № 1 (78). — P. 72-77.

A novel method for recognition of contour fragments in an image being analyzed is proposed. Such fragments usually appear when contour images overlap each other. Using proposed method it is possible to recognize contour fragments which has arbitrary size, position and angle of rotation with respect to their corresponding fragments in etalons.

Fig. 5. Ref.: 5 items.