

УДК [621.391 + 512] : 004.932

Двухэтапный алгоритм выделения контуров на изображении

А.А. Жарких

*Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра радиотехники
и радиотелекоммуникационных систем*

Аннотация. В работе рассмотрен двухэтапный алгоритм выделения контуров bitmap изображения. На первом этапе выявляются фрагменты контуров в четырех различных направлениях. Этот этап является этапом без потерь, так как основан на арифметике по модулю 2^Q . На втором этапе фрагменты контуров объединяются в общий контур изображения. Этот этап является этапом с потерями, так как основан на нелинейной вещественной арифметике. Приводится пример выделения контура bitmap изображения.

Abstract. In the paper a two-stage algorithm of allocation of contours bitmap images has been considered. At the first stage fragments of contours in four various directions come to light. This stage is a stage lost-free as it is based on arithmetics on the module 2^Q . At the second stage fragments of contours are united in the general contour of the image. This stage is a stage with losses as it is based on nonlinear real arithmetics. The example of allocation of contour bitmap images has been shown.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, коммутативные кольца, линейные операторы, нелинейная алгебра
Key words: digital images processing, commutative rings, linear operators, nonlinear algebra

1. Введение

Цель данной работы – рассмотрение двухэтапного алгоритма выделения контуров bitmap изображения.

На первом этапе под действием множества четырех линейных операторов, изображение преобразуется в множество четырех изображений тех же размеров, содержащих фрагменты контуров. Каждое из изображений множества содержит всю информацию об исходном изображении и может быть в него преобразовано одним из указанных линейных операторов в -1 -й степени. На втором этапе все соответствующие пиксели четырех полученных изображений складываются без изменения границ динамического диапазона.

С математической точки зрения цифровое изображение представляет собой матрицу, либо множество матриц одинаковых размеров с элементами из конечного алфавита. Если матрица изображения не одна, то описанные нами преобразования можно применить последовательно или параллельно ко всем этим матрицам. Поэтому без ограничения общности можно считать, что изображение – это матрица

$$X = \|X(m, n)\|, m = \overline{0, M-1}, n = \overline{0, N-1}. \quad (1)$$

Элемент матрицы, то есть пиксель изображения $X(m, n)$, принадлежит кольцу классов вычетов с основанием 2^P : $Z/(2^P)$. Например, если изображение имеет формат bitmap в градациях серого, то $P=8$, а если полноцветный, то $P=24$. Предположим далее, что показатель степени $P=QT$, то есть не является простым числом. Тогда каждый элемент $X(m, n)$ может быть представлен в 2^Q -ичной системе счисления:

$$X(m, n) = \sum_{s=0}^{T-1} X_s^{(Q)}(m, n) (2^Q)^s \quad (2)$$

где

$$X_s^{(Q)}(m, n) = \sum_{L=0}^{Q-1} X_{L+SQ}(m, n) 2^L. \quad (3)$$

Такое представление позволяет рассматривать изображение как объединение слоев и соответственно по слоям проводить выделение контуров. При таком подходе каждый пиксель разбивается на T подпикселей, каждый из которых отвечает своему слою изображения. Два предельных случая соответствуют P слоям и 2-ичной арифметике или 1 слою и 2^P -ичной арифметике.

В процессе выполнения работы автор ознакомился с монографией (Фурман и др., 2002) и с ее обширным библиографическим списком. Желающие сравнить предлагаемый алгоритм с существующим многообразием алгоритмов выделения контуров могут воспользоваться этой монографией и ее ссылками.

Результаты работы докладывались на международной конференции (Zharkikh, 2007). В данный вариант работы внесены некоторые изменения, в частности, исправлены неточности и опечатки.

2. Алгоритм без потерь для выделения фрагментов контуров изображения (первый этап)

Введем простейшее семейство четырех операторов, отвечающих за выделение фрагментов контуров изображения.

Для каждого из четырех операторов выбираются множество пикселей матрицы изображения, которое не меняется данным оператором, и связанное с этим множеством направление преобразования. Из следующих формул понятно, что инвариантные множества – это нулевая или первая строка или нулевой или последний столбец изображения. В следующих формулах $X, Y^{(*,*)}, S^{(*,*)}$ – соответственно, матрица исходного изображения, матрица изображения фрагмента контура, оператор, формирующий изображение фрагмента контура из исходного изображения.

Оператор $S^{(Q,L)}, Y^{(Q,L)} = S^{(Q,L)}X$:

$$Y_s^{(Q,L)}(m, n) = \begin{cases} X_s^{(Q)}(m, n), n = 0 \\ (X_s^{(Q)}(m, n) - X_s^{(Q)}(m, n - 1)) \bmod(2^Q), n \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Оператор $S^{(Q,R)}, Y^{(Q,R)} = S^{(Q,R)}X$:

$$Y_s^{(Q,R)}(m, n) = \begin{cases} X_s^{(Q)}(m, n), n = N - 1 \\ (X_s^{(Q)}(m, n) - X_s^{(Q)}(m, n + 1)) \bmod(2^Q), n \neq N - 1 \end{cases} \quad (5)$$

Оператор $S^{(Q,A)}, Y^{(Q,A)} = S^{(Q,A)}X$:

$$Y_s^{(Q,A)}(m, n) = \begin{cases} X_s^{(Q)}(m, n), m = 0 \\ (X_s^{(Q)}(m, n) - X_s^{(Q)}(m - 1, n)) \bmod(2^Q), m \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Оператор $S^{(Q,B)}, Y^{(Q,B)} = S^{(Q,B)}X$:

$$Y_s^{(Q,B)}(m, n) = \begin{cases} X_s^{(Q)}(m, n), m = M - 1 \\ (X_s^{(Q)}(m, n) - X_s^{(Q)}(m + 1, n)) \bmod(2^Q), m \neq M - 1 \end{cases} \quad (7)$$

Параметры в записи операторов и выходных значений слоев пикселей обозначают следующее: Q – число бит в слое пикселя, L – движение слева (LEFT), R – движение справа (RIGHT), U – движение сверху (ABOVE), D – движение снизу (BELOW). Так условно можно представить перемещение вычислительной процедуры по слою пикселей изображения при действии соответствующего оператора.

Представленные операторы однозначно определены для заданного изображения и допускают возведение в любую целую степень и перемножение в любом количестве и любом порядке. Каждый из операторов с движением вдоль строк коммутирует с каждым оператором с движением вдоль столбцов. Операторы с параллельным движением попарно некоммутируют.

3. Алгоритм с потерями для объединения фрагментов контуров изображения (второй этап)

Первоначально автор обратил внимание на удобство использования конформных преобразований единичного круга для описания аналоговых сигналов с ограниченным динамическим диапазоном (Жарких, 1999а; Лаврентьев, Шабат, 1987). В работах (Жарких, 1999а; 1999b; 2001) анонсировалась возможность использования такой алгебры в задачах защиты информации.

Как показали теоретические расчеты и программная реализация, алгебраические операции, основанные на гомоморфизме $X = th(x)$ (Жарких, 2005а), могут быть использованы для защиты звуковых сигналов (Жарких, 2003а; 2003b; 2005а; 2005с) и изображений (Zharkikh, Kolpakchi, 2004; 2006).

Рассмотрим гомоморфное отображение $X = th(x)$ поля вещественных чисел на интервал $(-1;1)$. Это отображение является изоморфизмом при подходящем выборе операций сложения и умножения. (Жарких, 2005а; Кириллов, 1978; Кострикин, 2000; Лаврентьев, Шабат, 1987). В данной работе операция умножения нас интересовать не будет, а операция сложения задается соотношениями (8) и (9):

$$\oplus_p : (-1;1)^2 \rightarrow (-1;1), \quad (8)$$

$$\forall X, Y \in (-1;1) Z = X \oplus_p Y = \frac{X + Y}{1 + XY} \in (-1;1). \quad (9)$$

Операция (8) обладает гибридными свойствами. При малых значениях аргументов это обычная операция сложения, а на любом из двухэлементных множеств $\{0;+1\}$ или $\{-1;0\}$ – это операция "логическое или" (Жарких, 2005а). В силу того, что значения пикселей изображения неотрицательные и целые, операция (8)-(9) на основе масштабирования и взятия целой части преобразуется к виду (10):

$$Z = \left\lfloor \frac{(2^P - 1)^2 (X + Y)}{(2^P - 1)^2 + XY} \right\rfloor \in Z / (2^P) \quad (10)$$

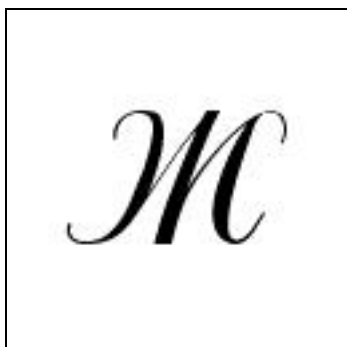


Рис. 1. Исходное изображение



Рис. 2. Фрагмент, вычисленный с помощью оператора (4) (слева)



Рис. 3. Фрагмент, вычисленный с помощью оператора (5) (справа)



Рис. 4. Фрагмент, вычисленный с помощью оператора (6) (сверху)



Рис. 5. Фрагмент, вычисленный с помощью оператора (7) (снизу)



Рис. 6. Объединение на основе (10) рис. 2 и 3



Рис. 7. Объединение на основе (10) рис. 4 и 5



Рис. 8. Объединение на основе (10) всех четырех фрагментов

При сложении соответствующих пикселей двух изображений согласно (10), изображения как бы склеиваются. Алгоритм объединения четырех фрагментов в один контур сводится к сложению их соответствующих пикселей согласно (10) в произвольном порядке.

4. Результаты применения алгоритма

На рис. 1-8 представлены результаты применения рассмотренного алгоритма. Все вычисления и визуализация выполнялись в пакете Matlab7.0. Каждая цветовая компонента каждого пикселя рассматривалась как элемент кольца $Z/(256)$, и вычисления проводились по модулю 256. Операторы (4) и (5) применялись к каждой паре соседних строк, а (6) и (7) – к каждой паре соседних столбцов. Масштаб преобразования был выбран равным 2.

Представленные иллюстрации хорошо отражают основные шаги алгоритма. На рис. 1 представлено исходное изображение. Это цифровая фотография рукописной буквы Ж каллиграфического текста. Изображение сохранено в формате полноцветного BMP. Его размеры 128 строк и 128 столбцов. Рис. 2-5 соответствуют первому этапу. Так как масштаб преобразования равен 2, инвариантные множества содержат 2 строки или 2 столбца. Это два начальных столбца, два конечных столбца, две

начальные строки и две конечные строки для рис. 2, 3, 4 и 5 соответственно. Рис. 6-8 соответствуют второму этапу. Они визуализируют результат применения к изображению нелинейной операции сложения (10).

Этот, как и другие результаты работы алгоритма, подтверждают возможность его применения для выделения контуров на изображении.

5. Заключение

Алгоритм имеет линейную сложность по числу пикселей в изображении. Области применения и ограничения на использование рассмотренного алгоритма требуют дальнейшего изучения. По-видимому, он может эффективно использоваться в таких системах обработки и распознавания изображений, как медицинские, криминологические, геофизические, радиотехнические и др.

Литература

- Zharkikh A.A., Kolpakchi S.S.** A randomizing algorithm for the conformal steganography of image in image. *Pattern Recognition and Image Analysis*, v.16, N 1, p.131-135, 2006.
- Zharkikh A.A., Kolpakchi S.S.** Randomizing algorithm of conformal steganography of the image in the image. *In: 7th International conference on pattern recognition and image analysis (New information technologies), October, St. Petersburg*, v.III, p.988-992, 2004.
- Zharkikh A.A.** Two stage algorithm of contour allocation in the image. *In: Pattern Recognition and Image analysis: New Information Technologies: Conference Proceedings, Yoshkar-Ola*, v.3, p.47-50, 2007.
- Жарких А.А.** Аналоговый метод стеганографии звукового сигнала в звуковом сигнале. *Сборник докладов XI Междунар. научно-техн. конференции "Радиолокация, навигация, связь", Воронеж, ВГУ, т.2, с.624-639, 2005а.*
- Жарких А.А.** Идентификация линейных стационарных систем при гомоморфных отображениях сигналов. *Труды IV Междунар. конференции "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO'05. Москва, 25-28 января 2005 г. М., Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, с.321-332, 2005b.*
- Жарких А.А.** Конформная стеганография звукового сигнала в звуковом сигнале. *Сборник докладов XI Всеросс. конференции "Математические методы распознавания образов", М., ВЦ РАН, с.305-307, 2003а.*
- Жарких А.А.** Конформное гаммирование звукового сигнала хаотическим сигналом. *Труды российского НТО РЭС им. А.С. Попова: LX сессия, посвященная Дню Радио. М., Радиотехника, т.LX-1, с.146-147, 2005с.*
- Жарких А.А.** Конформное преобразование формы сигнала для защиты аналоговых сообщений. *Сборник тезисов и докладов Междунар. научно-техн. конференции Калининградского ГТУ. Калининград, КГТУ, ч. 4, с.123, 1999а.*
- Жарких А.А.** Проблемы криптоанализа как проблемы распознавания образов. *Сборник докладов X Всеросс. конференции "Математические методы распознавания образов", М., ВЦ РАН, с.209-212, 2001.*
- Жарких А.А.** Распознавание звуковых сигналов на основе конформного анализа. *Сборник докладов XI Всеросс. конференции "Математические методы распознавания образов", М., ВЦ РАН, с.308-310, 2003b.*
- Жарких А.А.** Система шифрования с бегущим ключом. *Тезисы докладов V Междунар. конференции "Радиолокация, навигация, связь", Воронеж, ВГУ, т.3, с.1886-1894, 1999b.*
- Кириллов А.А.** Элементы теории представлений. М., Наука, 343 с., 1978.
- Кострикин А.И.** Введение в алгебру. Ч. 1. Основы алгебры. М., ФМЛ, Лаборатория базовых знаний, 272 с., 2000.
- Лаврентьев М.А., Шабат Б.В.** Методы теории функций комплексного переменного. М., Наука, 688 с., 1987.
- Фурман Я.А., Кревецкий А.В., Передреев А.К., Роженцов А.А., Хафизов Р.Г., Егошина И.Л., Леухин А.Н.** Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов. *Под общ. ред. Я.А. Фурмана. М., Физматлит, 592 с., 2002.*