

# ПСЕВДОТРОИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ И АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ

М. В. Харинов

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН  
199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39  
khar@mail.iias.spb.su

---

УДК 681.3

М. В. Харинов. Псевдотроичная система счисления и анализ изображений // Труды СПИИРАН. Вып. 1, т. 2 — СПб: СПИИРАН, 2002.

**Аннотация.** Вводится понятие псевдотроичной системы счисления и решается проблема автоматического обнаружения и идентификации объектов при изменении условий съёмки. Изменяемые условия моделируются изоморфными преобразованиями изображения, допускающими произвольные изменения перепадов яркости между соседними сегментами без нарушения исходных яркостных соотношений больше/равно/меньше. Предлагается метод выделения структурированных объектов. — Библ. 8 назв.

UDC 681.3

M. V. Kharinov. **Pseudo-ternary number system and image analysis** // SPIIRAS Proceedings. Issue 1, v. 2. — SPb: SPIIRAS, 2002.

**Abstract.** A pseudo-ternary number system which ensures the image representation of filming conditions independently is introduced. The variations of filming conditions are simulated within the framework of non-linear image transformations, which do not modify the ratios of adjacent intensities 'more', 'equal' or 'less'. The method of thresholding of segmented objects is developed. — Bibl. 8 items.

---

## 1. Псевдотроичная система счисления

Ключевой проблемой автоматизации обработки изображений является зависимость результатов распознавания от изменения освещённости, геометрии съёмки, смены окружения объектов, а также видоизменения самих объектов. Одним из способов решения является преобразование изображения к некоторому инвариантному представлению, при котором компенсируется влияние изменения тех или иных входных параметров. Обычно инвариантное представление строится с учётом сдвига, изменения масштаба и поворота или достигается с применением более общих групповых преобразований [1]. В настоящей работе инвариантное представление изображения строится независимо от произвольных преобразований яркости. Конкретный вид преобразований значения не имеет. Требуется только, чтобы они не нарушали исходных яркостных соотношений между соседними сегментами. Такие преобразования считаются изоморфными.

Формальной основой представления изображения в инвариантном виде является *псевдотроичная система счисления*<sup>\*)</sup> (рис. 1), в которой неотрицательные целые числа  $I_0$  раскладываются по степеням 2, как в обычной двоичной системе, но записываются в виде последовательности цифр  $\lambda$  от 0 до 2, как в троичной системе

---

<sup>\*)</sup> Аналогичные решения применяются в схемотехнических реализациях многозначной логики [2].

$$I_0 = \lambda_0 + 2 \cdot \lambda_1 + 4 \cdot \lambda_2 + \dots + 2^k \cdot \lambda_k + \dots,$$

где квадратные скобки обозначают «целую часть», а коэффициенты разложения  $\lambda_k$  определяются рекуррентными соотношениями

$$\lambda_k = I_k - 2I_{k+1}, I_{k+1} = \begin{cases} [I_k / 2], I_k - \text{нечётное} \\ 2[I_k / 4], I_k - \text{чётное} \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

В отличие от классических систем счисления [3], однозначность псевдотроичного представления чисел достигается тем, что допускаются не все сочетания цифр (чётные числа описываются чередованием 0 и 2, а нечётные — чередованием 0 и 2 с заключительной последовательностью из одних 1).

На рис. 1 коэффициенты разложения  $\lambda_k$  сопоставлены дугам некоторого дерева с узлами  $I_k$ , которое строится на начальном отрезке неотрицательных целых чисел.

При обработке изображения коэффициенты  $\lambda_k$  вычисляются по яркостными соотношениям смежных сегментов и определяют новые яркости, которые не зависят от изоморфных преобразований исходного изображения.

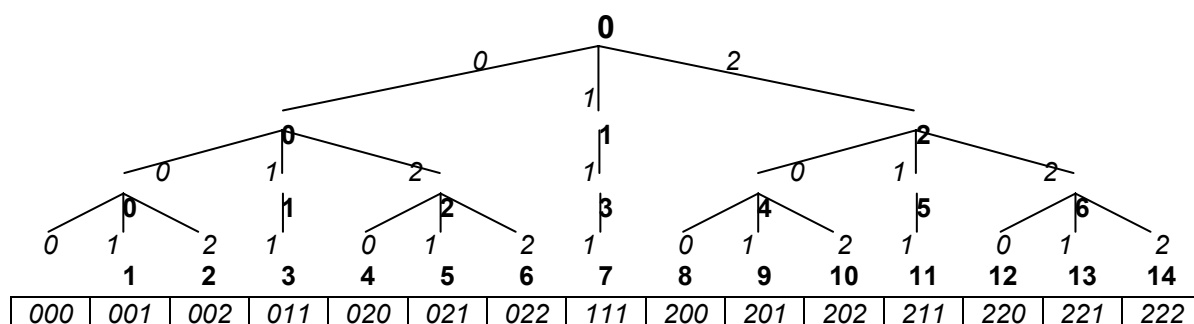


Рис. 1. Псевдотроичная система счисления неотрицательных целых чисел

## 2. Инвариантное псевдотроичное представление изображения

Не зависящее от изоморфных преобразований *псевдотроичное представление разбиения* изображения на сегменты из одинаковых пикселей вычисляется посредством построения, так называемой, карты минимумов и карты максимумов (рис. 2).

Вначале поле искомого инвариантного представления  $I_0$  заполняется значениями яркости  $d_0(x, y)$ , равными 0.

При получении карты минимумов исходные локальные минимумы заполняются нулевыми яркостными значениями, затем среди остальных находятся следующие, которые заполняются 1, и далее по порядку до тех пор, пока все точки  $x, y$  карты не окажутся помеченными некоторыми номерами  $b_0(x, y)$ , показанными на рис. 2 (b) соответствующими значениями яркости. Карта максимумов, яркостями которой служат номера локальных максимумов  $c_0(x, y)$ , строится точно так же, но для исходного изображения, инвертированного по яркости. На рис. 2 (c) она показана в негативном изображении.

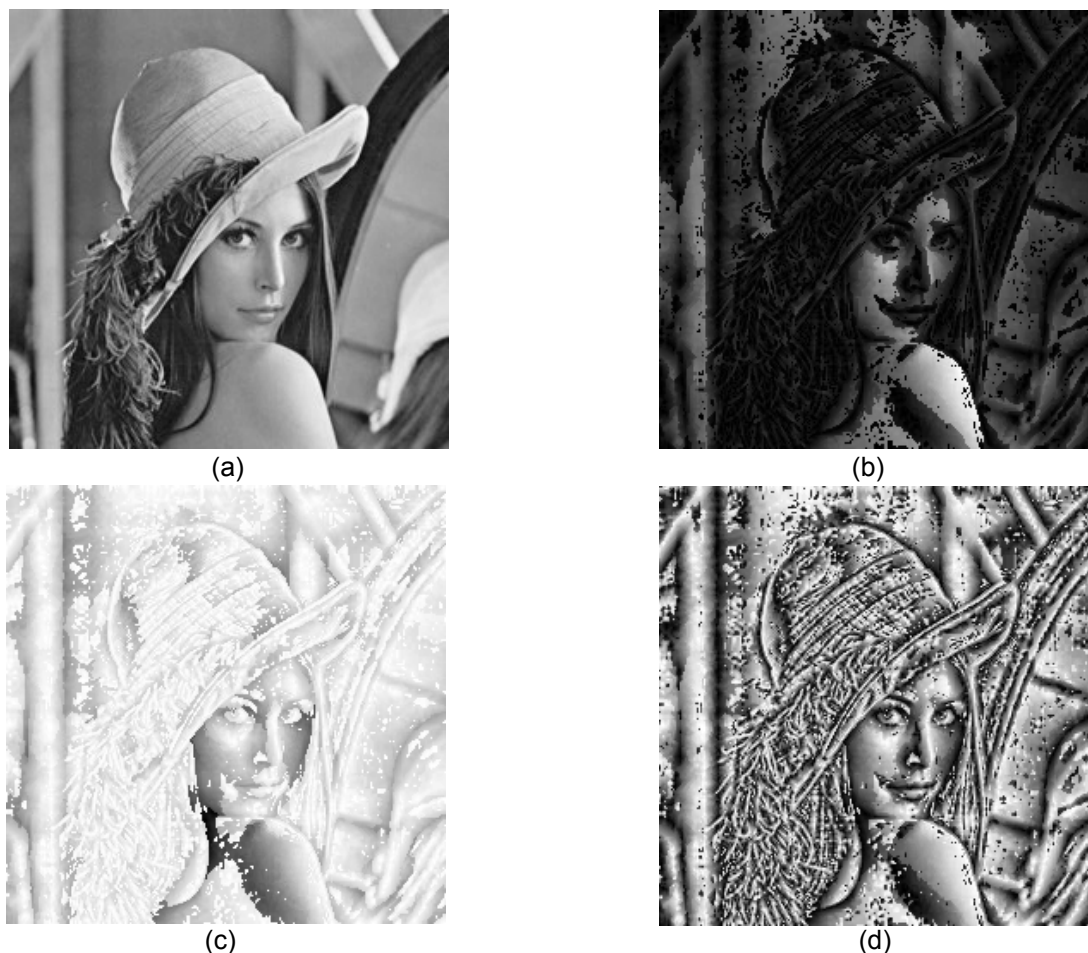


Рис. 2. Изоморфные изображения: (a) — исходное, (b) — карта минимумов, (c) — инвертированная карта максимумов, (d) — псевдотроичное представление

Псевдотроичное представление формируется итеративно. При этом на каждой итерации текущие яркостные значения  $d_i(x, y)$  удваиваются и увеличиваются на  $\lambda = 0, 1$  или  $2$  при  $b_i(x, y) < c_i(x, y)$ ,  $b_i(x, y) = c_i(x, y)$  или  $b_i(x, y) > c_i(x, y)$ , соответственно

$$d_{i+1}(x, y) = 2d_i(x, y) + \text{sign}\{b_i(x, y) - c_i(x, y)\} + 1 \quad i = 0, 1, 2, \dots,$$

где **sign** — функция знака, которая в зависимости от отрицательного, нулевого либо положительного аргумента принимает значение  $-1, 0$  либо  $1$ .

На первом шаге получается представление изображения в трёх градациях яркости, в котором чётными яркостями помечены укрупнённые локальные экстремумы, состоящие из нескольких сегментов исходного изображения, а нечётными — отдельные пограничные сегменты. Последние находятся между укрупнёнными локальными максимумами и минимумами и по сравнению со смежными сегментами имеют промежуточную яркость.

Далее каждый яркостный сегмент текущего псевдотроичного представления определяет обработку самостоятельного участка изображения. Процедура построения карт и вычисления очередных значений  $d_i(x, y)$  при  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  циклически повторяется до получения на некоторой итерации  $n$  псевдотроичного представления рис. 2 (d) с яркостями  $h_0(x, y) = d_n(x, y)$ , которое изоморфно исходному изображению. При этом обновление карт экстремумов производится только для тех сегментов изображения, которые имеют в псевдотроичном представлении чётную яркость.

### 3. Компактная иерархическая сегментация

Преобразование яркостей  $I_0(x, y)$  результирующего изоморфного псевдотроичного представления рис. 2 (d) по рекуррентным соотношениям для разложения чисел в псевдотроичной системе позволяет воспроизвести этапы построения в обратном порядке

$$d_{n-k}(x, y) = I_k(x, y) \quad k = 0, 1, 2, \dots, n$$

и аппроксимировать исходное изображение в ...31, 15, 7 и 3 яркостных градациях (рис. 3).



1582 сегмента



7198 сегментов



20768 сегментов



34194 сегмента

Рис. 3. Представления изображения в 3, 7, 15 и 31 градациях псевдотроичной яркости (контрастированы)

Псевдотроичное представление при этом задаёт *иерархическую сегментацию* изображения в виде последовательности разбиений на вложенные сегменты, в которой отсутствуют пересекающиеся сегменты, за исключением случая, когда один из них включает другой. Составные сегменты в различных разбиениях не повторяются, укрупняясь от «нижнего» разбиения к «верхнему». В терминологии [4] такая иерархическая сегментация называется *компактной*, поскольку по сравнению с *многоуровневой* сегментацией [5] содержит ограниченное число разбиений. Число разбиений в данном случае не превышает количества битовых разрядов, в которых записывается яркость. Поэтому псевдотроичное пред-

ставление строится за относительно небольшое количество итераций и особенно перспективно в методах распознавания (выделения и идентификации) объектов с обучением на основе иерархической сегментации.

Как показывает опыт, иерархия разбиений псевдотроичного представления изображения (рис. 3) обеспечивает новую возможность выделения объектов. Согласно рекуррентным соотношениям псевдотроичной системы с уменьшением градаций число пикселей чётной яркости, очевидно, монотонно растёт. Обычно на изображениях с фоном чётные пиксели на некотором шаге заполняют область объектов (либо фона), что позволяет формализовать понятие *информативных* зон изображения и представляет самостоятельный интерес. Кроме того, для таких изображений удаётся обобщить стандартную постановку задачи выделения объектов.

#### 4. Выделение структурированных объектов

Представление изображения в трёх яркостных градациях (рис. 3) строится без использования управляющих параметров и обеспечивает результат, подобный результату обычной бинаризации, которая проводится для выделения объектов посредством порогового преобразования по яркости [6]. Отсутствие управляющих параметров снимает проблему выбора пороговых яркостных значений и обеспечивает автоматическое повторение преобразования к трём градациям до получения результирующего инвариантного псевдотроичного представления изображения. При этом, в отличие от гистограммных методов с вычислением порога яркости, результаты выделения объектов определяются только их ближайшим окружением и не зависят от распределения яркости по всему полю изображения, неравномерности фона и пр.

Для стандартного разделения изображения на “объекты” и “фон” достаточно в псевдотроичном представлении установить порог на половине яркостного интервала от 0 до  $2(2^n - 1)$ , полученном в результате  $n$  итераций. В более общем случае для выделения *структурированных* [7] объектов применяется представление изображения  $I_0^{(m)}(x, y)$  с заданным числом  $m$  градаций яркости, которое достигается некоторым линейным преобразованием указанного интервала. Конкретное линейное преобразование подбирается по контексту задачи. Например, если фон идентифицируется максимальной яркостью, то удобно использовать формулу

$$I_0^{(m)}(x, y) = \left[ \frac{(m-1) \cdot I_0(x, y)}{2(2^n - 1)} \right] \quad 0 \leq I_0(x, y) \leq 2(2^n - 1) \quad m = 1, 2, 3, \dots, 2^{n+1} - 1.$$

Это простейшее преобразование приводит к сегментации объектов, при которой они проявляют тенденцию разделяться на геометрически эквидистантные составные части, что в задаче анализа хромосом [8] обеспечивает получение топологически эквивалентного представления парных объектов, которые генетики считают одинаковыми, но сходство которых достаточно сложно установить средствами компьютерной обработки (рис. 4). Характерно, что редукция яркостных значений  $I_0$  по рекуррентным соотношениям псевдотроичной системы слабо влияет на результат сегментации объектов.

## 5. Заключение

По сравнению с пороговыми методами выделения объектов бинаризация изображения посредством инвариантного псевдотроичного представления занимает большее время из-за неоднократного сканирования изображения при нахождении локальных экстремумов. Кроме того, с ростом разрешения в псевдотроичном представлении начинают проявляться случайные локальные экстремумы, игра светотени на неровностях поверхности объектов и пр., что приводит к характерным текстурным искажениям изображения. При современном быстродействии ПЭВМ указанные недостатки преодолеваются методами [4], в которых ускорение вычислений обеспечивается специальной структурой данных, а подавление локальных экстремумов с небольшими яркими перепадами достигается предварительной сегментацией изображения.

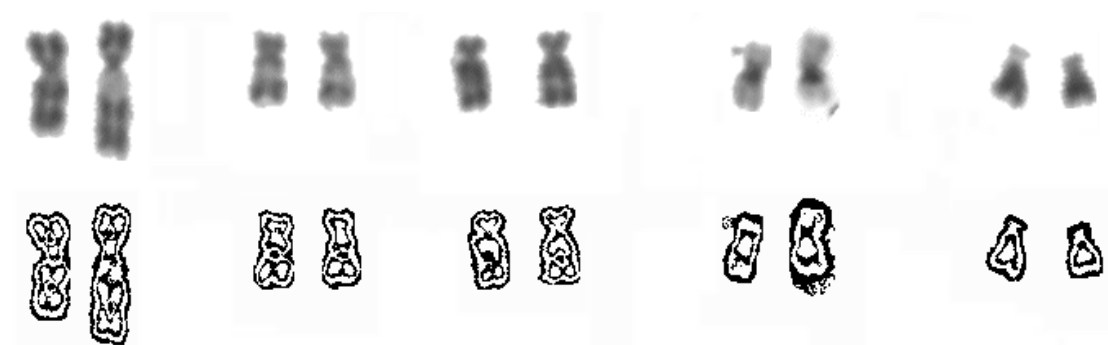


Рис. 4. Структурированные объекты: сверху — исходное изображение, снизу — изображение объектов в 5 градациях (яркости 1 и 3 окрашены чёрным цветом, остальные — белым)

Таким образом, инвариантное псевдотроичное представление изображения обеспечивает новую возможность обнаружения структурированных объектов, а также применимо вместо пороговой бинаризации для решения ряда других задач, например, для автоматической бинаризации изображений с унимодальной гистограммой. В задачах бинаризации изображения с автоматическим вычислением порога по гистограмме псевдотроичное представление позволяет исключить интерактивный выбор метода вычисления порога и предварительную обработку изображения с целью «улучшения» гистограммы. Последнее упрощает задачу автоматизации обнаружения объектов с обучением, поскольку обучающие данные зависят от предварительной обработки.

Самостоятельный интерес представляет использование псевдотроичного представления для автоматизации распознавания объектов на основе компактной иерархической сегментации изображений [4]. Целью при этом является создание обучаемой программы автоматического обнаружения и идентификации искусственных и природных объектов на различного типа дистанционных изображениях (аэрокосмических, глубоководных, биомедицинских и др.). Для эффективного распознавания таких изображений решение проблемы инвариантного представления имеет принципиальное значение, что определяет перспективу внедрения результатов исследований.

## Литература

- [1] *Wood J.* Invariant pattern recognition: a review // *Pattern Recognition*. — v. 29, — № 1, 1996. — p.1–17.
- [2] *Кузнецов В. Ф., Мезенцев Н. С., Соловьёв А. М.* Ферритовые логические элементы. — М.: Энергия, 1975. — 120 с.
- [3] *Кнут Д.* Искусство программирования для ЭВМ. Получисленные алгоритмы, — М.: Мир, 1977. т.2, — с. 201–224.
- [4] *Kharinov M. V., Nesterov M. M.* Intelligent Program for Automatic Image Recognition based on Compact Object-Fitting Hierarchical Image Representation in terms of Dynamic Irregular Rami-fied Trees // *Международная Академия: Вестник* / — СПб:МАИСУ, 1997. № 12 с, — с. 1–35. (Шифр БРАН: I 06481)
- [5] *Alexandrov V. V., Kharinov M. V.* Dynamic Adaptive Data Structure in Image Recognition // *Международная Академия: Вестник* — СПб: МАИСУ, 1997. № 12-с, — с. 36–44. (Шифр БРАН: I 06481)
- [6] *Прэнтт У. К.* Цифровая обработка изображений. — М.: Мир, 1982. т. 2. — с. 555–563.
- [7] *Александров В. В.* Развивающиеся структуры и проблемно-ориентированные среды // *Проблемы информатизации: теоретич. и научно-практич. журнал* / Российская академия наук, Мин. науки и технологий РФ. — М., 2000. т. 1, — с. 41–51.
- [8] *Charters G. C., Graham J.* Trainable grey-level models for disentangling overlapping chromo-somes // *Pattern Recognition*. — v. 32, 1999 — P. 1335–1349.