



Недвоичная логика запоминания информации в изображении

*(Санкт-Петербургский институт информатики и
автоматизации РАН)*

Рассматриваются элементы формализма представления видеоинформации для компьютерной обработки. Описываются системы счисления, предназначенные для точного моделирования запоминания информации.

The elements of formalism for image information computational interpretation are presented. The nonbinary number systems intended for accurate simulation of information storing are described.

Введение

Полвека назад главными характеристиками первых ЭВМ являлись объем памяти, быстродействие и надежность, которые определяли принципиальную возможность требуемых вычислений и являлись достаточными аргументами в пользу разработки и создания вычислительных устройств с недвоичными системами счисления [1–2]. При современных темпах развития вычислительных средств, когда доступная память обеспечивает комфортное программирование, а рост быстродействия ЭВМ снижает смысл усилий по ускорению расчетов в ограниченное число раз, исторические результаты [1–2] сохраняют прежнее значение, например, для портативных вычислительных устройств, которые сталкиваются с теми же проблема-

ми, что и первые ЭВМ. Однако для полноценного использования достигнутых решений в современных условиях, вероятно, требуется развитие обоснования их уникальных преимуществ в дополнительных классах приложений.

Числовые представления на основе системы остаточных классов (СОК) и тернарные числовые представления имеют общие области приложения, к которым относится цифровая обработка сигналов (ЦОС), включающая задачи автоматического распознавания и задачи защиты информации. В задачах распознавания СОК привлекательна тем, что обеспечивает логическое распараллеливание вычислений на низком уровне арифметических действий, выполняемых с возможностью компенсации нарушения данных. Тернарная логика запоминания результатов вычислений в ЦОС позволяет без дополнительных соглашений считать точнее и запоминать больше данных, чем двоичная логика. Имеется в виду, что, огрубляя результаты вычислений в тернарной логике, нетрудно воспроизвести результаты вычислений в двоичной, но не наоборот. Целью статьи является пояснение без технических деталей принципов применения тернарной логики и систем счисления в ЦОС. Термин «тернарный» употребляется в смысле обобщения термина «троичный» на случай применения, наряду с троичной, также и «псевдотроичной» системы счисления, которая описывается в следующем разделе.

Псевдотроичная система счисления.

Ключевой проблемой ЦОС, в частности, обработки изображений является зависимость ее результатов 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 [3].

Формальной основой представления изображения в инвариантном виде является псевдотроичная система счисления (рис. 1), в которой неотрицательные целые числа I_0 раскладываются по степеням 2, как в обычной двоичной системе, но записываются в виде последовательности цифр I со значениями от 0 до 2, как в троичной системе:

$$I_0 = I_0 + 2 \cdot I_1 + 4 \cdot I_2 + \dots + 2^k \cdot I_k + \dots,$$

где коэффициенты разложения I_k определяются рекуррентными соотношениями:

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

а квадратные скобки обозначают «целую часть».

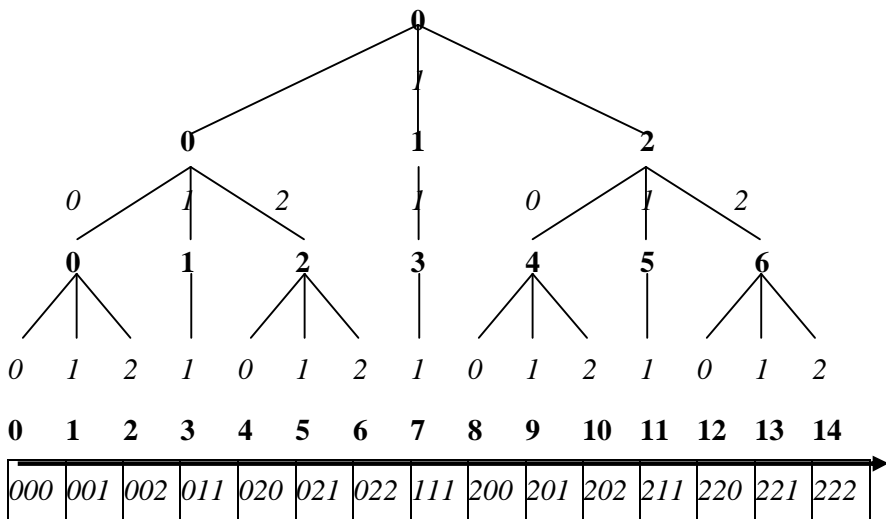


Рис. 1. Неотрицательные целые числа

На рис. 1 показана схема кодирования чисел в псевдотротиричной системе счисления. Курсивом выписаны цифровые обозначения в псевдотротиричной системе, обычным шрифтом выписаны числа в десятичной системе. Коэффициенты разложения I_k сопоставляются дугам некоторого дерева с узлами I_k , которое строится на начальном отрезке неотрицательных целых чисел. Код числа описывает путь по дугам дерева к числу, заданному на числовой оси.

В отличие от классических позиционных систем счисления [4], однозначность псевдотротиричного 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). Поэтому псевдо-

троичную систему можно называть также позиционной псевдосистемой счисления.

Таким образом, число 21, например, кодируется в виде 2021, обозначающем разложение этого числа по степеням 2. Обычную двоичную запись можно трактовать как представление числа в псевдотроичной системе, если первый неустановленный бит считать разделителем между записью числа посредством 1 в младших разрядах и записью посредством 0 и 2 в старших разрядах (рис. 2)

$$21 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array} \circ \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 2 & 0 & 2 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Рис. 2.

На рис.2 показана связь кодирования в двоичной системе счисления (слева) и псевдотроичной системе (справа). Биты выписаны в порядке убывания слева направо. При этом младшее число из одних 1 представляет собой число Мерсенна (степень 2 без 1) либо 0, а старшее число, кратное соответствующей степени 2 кодируется чередованием 0 и 2, заданной последовательностью старших битов. Указанная интерпретация позволяет выполнять поразрядные действия с трехзначными элементами чисел непосредственно в битовом представлении.

Если кодирование чисел в двоичной системе выполняется на основе традиционной двузначной (бинарной) логики, то кодирование и запоминание чисел в псевдотроичной системе выполняется в вырожденной троичной логике с импликацией «из 1 следует 1». Указанная логика и система счисления без неиспользуемых кодов троичной системы счисления и ошибок округления двоичной системы счисления поддерживает выбор между равноправными альтернативами в алгоритмах разделения конечных множеств.

В обработке изображений псевдотроичная система счисления используется для преобразования изображения в некоторое новое инвариантное представление, которое коммутирует с преобразованием изображения в негатив и не зависит от его стандартных преобразований — упаковки, растяжения, эквидистантной нормировки по яркости и др. [3]. В рамках указанных преобразований компонен-

сируется изменчивость условий получения изображения и повышается надежность распознавания объектов.

Благодаря псевдотроичной системе инвариантное представление строится и запоминается как изоморфный по яркостному порядку образ изображения, который посредством арифметических преобразований яркостных значений определяет иерархическую последовательность гомоморфных образов и, в свою очередь, поддерживает вычисления в модели «виртуальной видеопамяти». Понятие виртуальной памяти вводится в классической позиционной троичной системе счисления и используется для описания обработки изображения в терминах считывания и записи информации.

Модель виртуальной видеопамяти.

В модели виртуальной видеопамяти информация изображения раскладывается на инвариантную и переменную компоненты. Обработка описывается как обратимое встраивание кодов произвольного сообщения за счет модификации переменной компоненты информации, которое не влияет на вычисление инвариантной компоненты. Встраивание сообщения описывается как его запоминание в «виртуальной» памяти, которая приписывается изображению формально, но используется для записи и считывания произвольных кодов сообщения подобно реальной компьютерной памяти. Предполагается, что виртуальная память состоит из запоминающих элементов, которые вводятся посредством обобщения понятия битов.

Разряды виртуальной памяти определяются последовательностью вложенных диапазонов шкалы яркости, которые вычисляются в алгоритме [5] итеративного разделения шкалы яркости по гистограмме на приблизительно равновесные части. Итеративное разбиение яркостной шкалы продолжается до тех пор, пока каждый диапазон не вырождается в диапазон, содержащий единственную яркость, которая сопоставляется последовательности стягивающихся к ней диапазонов и на каждой итерации принадлежит одному из них.

Полагается, что ячейки виртуальной памяти отвечают точкам изображения и состоят из последовательных запоминающих элементов. Значение очередного элемента i -й ячейки виртуальной памяти, в зависимости от номера итерации разбиения яркостной шкалы, определяется положением i -й яркости относительно центра оче-

редного диапазона яркости. При этом данному элементу ячейки виртуальной памяти приписывается положительное, отрицательное, либо нулевое значение знака разности яркости точки и центральной яркости рассматриваемого диапазона (рис. 3).

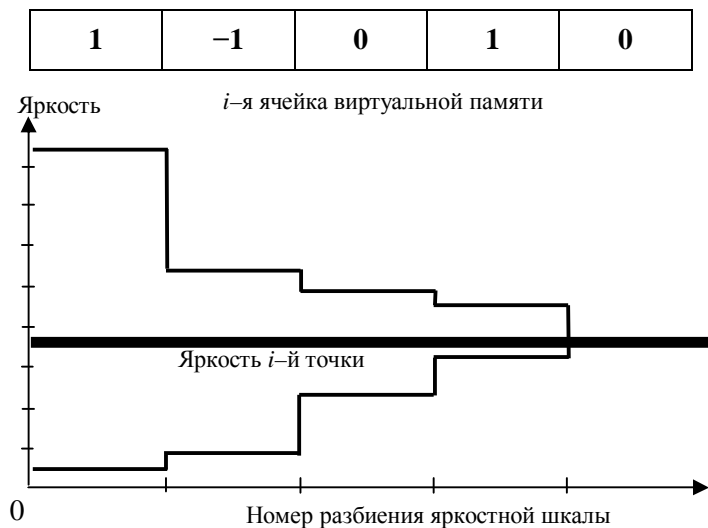


Рис. 3.

Тем самым определяется считывание троичных единиц информации, которые согласно Н.П. Брусенцову называются тритами [2]. Триты, вычисленные для данного разбиения шкалы яркости, составляют каналы виртуальной памяти и считаются упорядоченными по уменьшению вложенных диапазонов яркости. При этом самый старший трит каждой ячейки виртуальной памяти вычисляется по рабочему диапазону яркости, который содержит яркости всех точек изображения. Запись сообщения в триты виртуальной памяти связывается с отражением яркостного значения относительно центра соответствующего диапазона и выполняется последовательно от старших тритов — к младшим. Яркостное значение, оказавшееся в центре диапазона, очевидно, при отражении не меняется. Поэтому триты с нулевыми значениями при записи сообщения не подлежат модификации и считаются неактивными. К неактивным относятся также триты, изменение которых влечет модификацию предшествующих тритов.

Основные принципы встраивания сообщения в виртуальную память включают следующие требования инвариантности:

§ Инвариантность изображения с сообщением относительно повторного встраивания сообщения (идемпотентность встраивания);

§ Инвариантность исходного изображения относительно обратного встраивания извлеченного из него сообщения;

§ Инвариантность сообщения относительно линейных и нелинейных изоморфных (по яркости) преобразований изображения с сообщением;

§ Инвариантность объема сообщения относительно преобразования исходного изображения в негатив.

Избыточность изображения выражается повторениями тритов по координатам и каналам виртуальной памяти. Искажение кодов сообщения в процессе передачи компенсируется их простым суммированием с последующим вычислением знака полученной суммы. Для учета случая равновесного распределения альтернативных значений битов сообщения, в качестве запоминающих элементов виртуальной памяти необходимо использовать именно триты, а не биты. Особенности единиц представления информации в виртуальной памяти, по сравнению с исходным битовым представлением в компьютерной памяти отражены в таблице.

Таблица.

Единицы представления и запоминания видеоинформации

Атрибуты	Единицы	
	Биты	Триты
Порядковый номер	0, 1, 2, ..., 7	0, 1, 2, ..., Ch
Состояние	0, 1	$\pm 1, 0$
Статус	RW	R, RW

где Ch — число каналов виртуальной памяти, R и RW — обозначения неактивных и активных значений яркости.

Заключение.

Практическим обоснованием модели виртуальной памяти служит реализация на ее основе метода многоканальной адаптивной стеганографии [6], в котором достигается повышение объема встраиваемых сообщений до 20–30% от объема исходного изображения за

счет их наложения по координатам. Теоретическое обоснование опирается на комбинаторный подход А. Н. Колмогорова к определению понятия количества информации [7]. При этом, однако, вопреки сложившимся стереотипам алгоритмы строятся не в бинарной, а в тернарной логике.

Противопоставление двоичной, троичной или иной системы счисления другим системам, вероятно, ограничивает возможности формализации понятия информации для компьютерного вычисления. Общей проблемой для позиционных и отличных от них систем счисления остается оптимизация переходов из одной системы в другую [4]. Возможно, сопоставление различных систем счисления со временем приведет к новым способам оптимизации представления чисел.

Литература

1. *Малашевич Б. М.* ЭЦВМ «5Э53», 2005.
<http://www.computer-museum.ru/histussr/5e53.htm>
2. *Брусенцов Н.П.* Вычислительная машина «Сетунь» Московского государственного университета. — В кн.: Новые разработки в области вычислительной математики и вычислительной техники. — Киев, 1960. — С. 226–234.
<http://www.computer-museum.ru/histussr/setun2.htm>
3. *Харинов М. В., Горохов В. Л.* Псевдотроичная система счисления и анализ изображений // Известия вузов. Радиоэлектроника / Вып. 2, — СПб, 2003. — С. 49–53.
4. *Кнут Д.* Искусство программирования для ЭВМ. Получисленные алгоритмы, — М.: Мир, 1977. — т.2, — С. 201–224.
5. *Прэнт У.* Цифровая обработка изображений. Том 1–2. — М.: Мир, 1982. — 1200 с.
6. *М. V. Kharinov.* Representation of Image Information for Machine Computation // Pattern Recognition and Image Analysis / Vol. 15. No 1, 2005. — pp. 212–214.
7. *Колмогоров А. Н.* Три подхода к определению понятия «Количество информации» // Проблемы передачи информации. — 1965. — Вып. 1, — том 1. — С. 3–8.