

УДК 004.382

КОМПЬЮТЕРЫ НА ОСНОВЕ ТЕРНАРНОЙ ЛОГИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Шнип А.Д., Кассирова А.Д., студенты гр.024401, Селезнёв И.Л.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Селезнёв И.Л. – доц., канд. тех. наук

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность создания троичного компьютера, дается определение тернарной логики, затрагиваются существующие реализации троичных электронно-вычислительных машин. Анализируются перспективы применения тернарной логики в оптических и квантовых компьютерах.

Ключевые слова. Тернарная логика, троичные компьютеры, ЭВМ «Сетунь», тернарный оптический компьютер, квантовый компьютер, архитектура, оперативная память, процессор, особенности программирования.

Троичные компьютеры представляют собой электронно-вычислительные машины, основанные на тернарной логике. Они являются потенциально более мощным средством обработки информации, поскольку могут оперировать большими объемами данных по сравнению с двоичными компьютерами.

Тернарная логика представляет собой систему, основанную на трех утверждениях: «Нет», «Да», «Неизвестно» или 0, 1, 2. Вариант обозначения -1, 1, 0 принято называть симметричным. Тернарная логика включает в себя все возможности бинарной и обеспечивает ряд преимуществ:

- плотность записи информации выше в 1,58 раза;
 - наличие положительной и отрицательной цифр в тернарной симметричной логике позволяет представлять числа любого знака;
 - округление чисел с плавающей точкой путем отсечения младших разрядов;
 - обработка в 2,85 раз больше информации за один такт.
- Троичные компьютеры имеют свои аналоги единиц измерения информации:
- трит – троичный разряд в троичной системе счисления, аналог бита в двоичной системе;
 - трайт – минимальная адресуемая единица в памяти троичного компьютера, аналог байта. Один трайт равен шести тритам (возможно равенство трем или девяти тритам).

Основные проблемы построения троичных компьютеров связаны со способом хранения информации и построением специализированного процессора. Вышеперечисленные преимущества применения тернарной логики обуславливают интерес к созданию троичных компьютеров. Одним из возможных решений названных проблем может стать применение оптических и квантовых технологий [1].

Первой в мире полноценной реализацией компьютера, основанного на тернарной логике, стала машина «Сетунь», созданная под руководством советского ученого Н. П. Брусенцова в 1959 году. В таблице 1 представлены сводные характеристики электронно-вычислительной машины «Сетунь» и компьютера «IBM 7090», являвшегося ее современником, основанным на бинарной логике.

Таблица 1 – Характеристики ЭВМ «Сетунь» и IBM 7090

ЭВМ	Тактовая частота	Оперативная память	Объем жесткого диска	Число операций в секунду	Пропускная способность шины памяти
Сетунь	200 кГц	162 трайта (192 байта)	4000 трайт (4740 байт)	4000	54 трайта (64 байта)
IBM 7090	500 кГц	32 кБ	143 кБ	100000	-

Всего было выпущено порядка 50 экземпляров троичного компьютера «Сетунь», однако вскоре производство прекратилось. Одной из основных причин стала малая производительность троичного компьютера по сравнению с двоичными аналогами. Также можно отметить, что объем оперативной памяти IBM 7090 превышал объем оперативной памяти ЭВМ «Сетунь» в 166,67 раз.

Особенности программирования троичного компьютера

Программирование компьютеров, основанных на тернарной логике, имеет ряд существенных особенностей. Так, для реализации оператора троичного ветвления в двоичных машинах придется использовать две проверки и соответственно две команды двоичного ветвления. В троичном компьютере потребуется всего один оператор, имеющий сразу три ветвления -1, 0, 1, что сокращает объем кода и увеличивает производительность программы. Выигрыш, обеспечиваемый применением команд троичного ветвления, становится еще более ощутимым с возрастанием количества анализируемых вариантов продолжения программы.

Необходимое количество команд для реализации ветвления равно $\log_n P$, округленного до целого числа, где P – число вариантов, n – система счисления. Очевидно, что для любого P :

$$\log_3 P < \log_2 P. \quad (1)$$

Также следует отметить, что для обеспечения реализации цикла с условием на двоичной машине потребовалось бы использовать две проверки: одну для прекращения цикла, вторую для выбора одной из частей цикла. На троичной машине это реализуется с помощью одной команды, которая проверяет, необходимо ли завершать цикл, и при этом тут же выбирает одну из двух процедур в качестве тела цикла на случай его продолжения [2].

Троичный компьютер показывает наибольшую эффективность в задачах, которые требуют множественных сравнений величин или имеют элемент неопределенности. Например, это задачи по обработке изображений, цвет которых хранится в трех каналах, или задачи по расчету пространственных координат.

Существующие реализации элементов троичного компьютера

Примером реализации оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) троичного компьютера является ОЗУ в ЭВМ «Сетунь». Оно выполнено на основе ферритовых сердечников по схеме с прямым выбором. Устройство состоит из двух блоков:

- ферритовый куб, состоящий из 18 плат с запоминающими сердечниками и координатными трансформаторами, а также формирователи импульсов для обращения к кубу;
- блок управления кубом, состоящий из регистра адреса, дешифраторов принимаемых в этот регистр кодов, усилителей считывания, схемы, формирующей импульс, 6-разрядного регистра ОЗУ и схемы управления этим регистром.

Также имеется «панель куба», на которой размещены ключи, позволяющие заблокировать прием кода операции и прием кода в регистр адреса и осуществить периодическое выполнение принятой команды, например для отладки ОЗУ и других устройств.

Для хранения троичных разрядов 1, 0, -1 используется два ферритовых сердечника. Для хранения состояний 1 и -1 сердечники намагничиваются в противоположных направлениях. При хранении 0 внутренние и внешние слои каждого сердечника намагничены в различных направлениях так, что суммарный поток в каждом из них близок к нулю.

Вариантом реализации центрального процессора (ЦП) троичного компьютера является процессор ЭВМ «Сетунь-70». Он оборудован памятью магазинного типа, продолжением которой служит основная память компьютера. Роль магазина при этом может выполнять любая страница оперативной памяти. ЦП состоит из операционного устройства и устройства управления. Операционное устройство осуществляет выполнение арифметических и логических операций, используя в качестве магазина (стека) страницы оперативной памяти. Устройство управления включает в себя все основные регистры процессора, которые определяют режим работы компьютера. Основным элементом логических схем центрального процессора является магнитный усилитель, питаемый импульсами тока.

Перспективы реализации элементов троичного компьютера

Использование тернарной логики в электронно-вычислительных машинах дает выигрыш в оптимизации алгоритмов вычисления, однако не обеспечивает достаточной скорости обработки информации. Из-за ограничений технических возможностей электрического элемента, троичные компьютеры не смогут использовать весь потенциал тернарной логики. Принципиально новые решения проблемы дает использование оптических компьютеров, основанных на жидкокристаллических элементах, способных обеспечить необходимую скорость обработки данных.

Тернарный оптический компьютер (ТОК), использующий волоконную оптику и несимметричную тернарную логику, интерпретирует отсутствие света как 0 и две ортогональные поляризации света как 1 и 2.

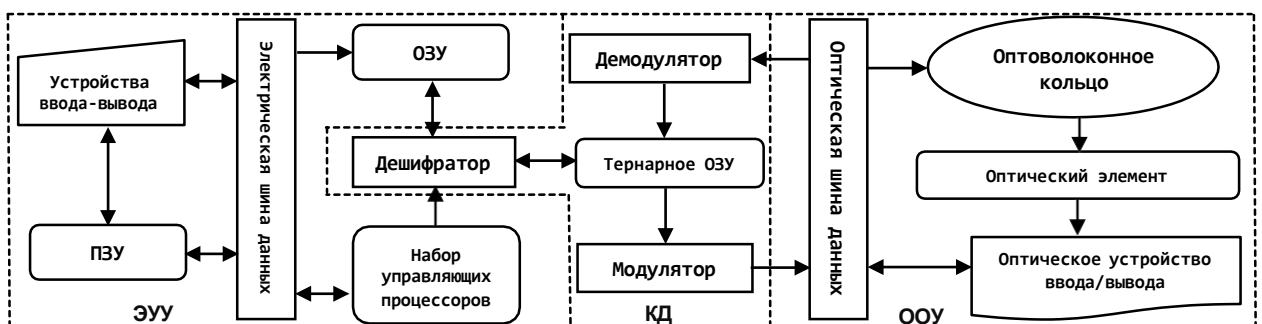


Рисунок 1 – Схема устройства оптического тернарного компьютера

Архитектура процессора ТОК, представленная на рисунке 1, состоит из оптического операционного устройства (ООУ), электрического устройства управления (ЭУУ) и контроллера данных (КД).

Оптическое операционное устройство состоит из оптической шины данных, оптоволоконного кольца, выступающего в качестве кэша, оптического элемента операций и оптического устройства ввода/вывода. В ООУ поступает оптический сигнал из модулятора контроллера данных.

Электрическое устройство управления включает в себя электрическую шину данных, набор управляющих процессоров, ПЗУ и ОЗУ, а также устройства ввода/вывода. Набор процессоров ЭУУ управляет программами, хранящимися в ПЗУ, и рассылает необработанные электрические управляющие сигналы всем элементам компьютера.

Контроллер данных состоит из дешифратора, тернарного ОЗУ, модулятора и демодулятора. Дешифратор предназначен для перевода данных из двоичной системы в троичную и наоборот. Модулятор преобразует электрический сигнал тернарного ОЗУ в оптический сигнал и посылает его в оптическую шину данных ООУ. Демодулятор конвертирует оптический сигнал в электрический. Тернарное ОЗУ состоит из ряда полупроводниковых микросхем и используется для хранения тернарных кодов данных, световых сигналов разной полярности и данных чувствительных световых элементов, получающих поляризованные сигналы.

На рисунке 2 представлена схема сумматора ТОК.

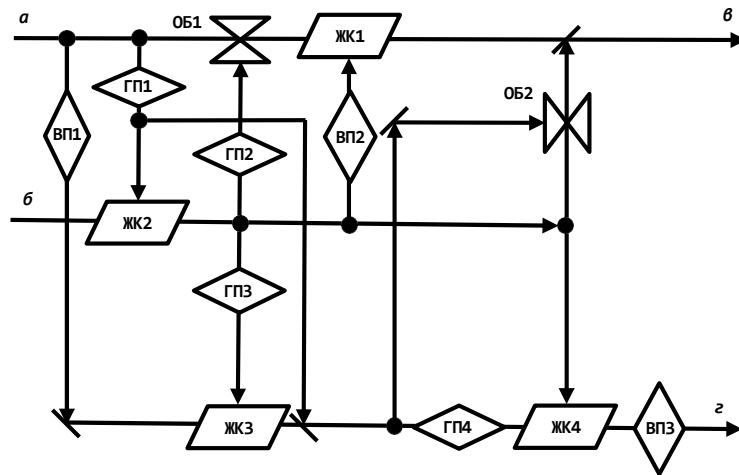


Рисунок 2 – Сумматор тернарного оптического компьютера

Сумматор основан на следующих элементах:

- жидких кристаллах (ЖК1...4), предназначенных для изменения поляризации света при воздействии на него другим сигналом;
- вертикальных (ВП1...3) и горизонтальных (ГП1...4) поляриметров, по которым может проходить только вертикально поляризованный или горизонтально поляризованный свет соответственно;
- оптических блокираторов (ОБ1...2), препятствующих прохождению сигнала через него при воздействии другого сигнала.

Устройство работает с данными на входах *a* и *б*, результат операции передается на выход *в*. Если результат сложения выходит за пределы разряда, организуется его перенос в выход *з* [3].

Тернарная логика применима и в квантовых компьютерах. Они используют явления квантовой механики и основывают свои вычисления на кубитах – аналогах бита в обычных компьютерах. Наиболее важный для квантовых компьютеров управляемый вентиль Тоффли, который способен выполнить любую из операций NOT, AND и XOR, можно существенно упростить, используя тернарную логику. Для построения подобного вентиля с n управляющими кубитами на основе бинарной логики потребовалось бы $12n - 11$ двухкубитных вентилях и $n - 1$ вспомогательных кубита. Использование тернарной логики требует не более $2n - 1$ двухкубитных вентилях без использования вспомогательных кубит [4].

На сегодняшний день в открытых источниках не упоминается об использовании троичных компьютеров. Однако, перспективными направлениями в применении тернарной логики являются разработка квантовых и оптических компьютеров на основе троичной системы счисления. Троичные компьютеры могут использоваться в ситуациях, где требуется большое количество вычислений, например, прогнозирование погоды, предсказание землетрясений, сложная обработка графики и изображений, поиск в больших базах данных, взлом шифров и т.д. Помимо этого, одно из возможных применений троичных устройств – специализированные сопроцессоры в суперкомпьютерах, помогающие в сложных математических расчетах.

Список использованных источников:

1. История создания троичного компьютера / Н.А. Краснянский // Молодой исследователь Дона, 2021.
2. Особенности программирования троичной машины: новые возможности и новые задачи / А.А. Бурцев // Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук, 2020. – С. 49-60.
3. Ternary Optical Computer Architecture / Jin Yi [et al.] // School of Computer and Technology, Shanghai University, 2005.
4. Simplifying quantum logic using higher-dimensional Hilbert spaces / Benjamin P. Lanyon [et al.] // Nature Physics, 2008.

UDC 004.382

COMPUTERS BASED ON TERNARY LOGIC AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPMENT

Shnip A.D., Kassirova A.D., Seleznev I.L.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Seleznev I.L. – Associate Professor, candidate of technical sciences

Annotation. This article discusses the ability to build a ternary computer, defines three-valued logic, discusses existing implementations of ternary computers. The prospects for the use of three-valued logic in optical and quantum computers are analyzed.

Keywords. Ternary logic, ternary computer, computer "Setun", ternary optical computer, quantum computer, architecture, random access memory, processor, programming features.