

Брусенцов Н.П., Маслов С.П., Рамиль Альварес Х., Владимирова Ю.С.
ТРОИЧНЫЕ ЦИФРОВЫЕ МАШИНЫ В МГУ

Аннотация. Кратко изложены факты, связанные с историей создания в МГУ троичных ЭВМ «Сетунь» и «Сетунь 70».

Перечислены преимущества троичных машин. Приведено краткое описание программного обеспечения ЭВМ «Сетунь». Приводятся данные о применении троичных машин и дальнейшем развитии троичной информатики в МГУ.

Ключевые слова и фразы: троичные компьютеры, троичная информатика, ЭВМ «Сетунь».

Как известно, троичная арифметика обладает по сравнению с используемой в современных компьютерах двоичной значительными преимуществами: единообразие кода чисел, оптимальное округление чисел простым отсечением младших разрядов, простота операции сравнения чисел, единственность операции сдвига, варьируемая длина операндов, элементарность трехзначного ветвления по знаку числа, взаимокompенсированность погрешностей округления в процессе вычисления. Троичный код с цифрами $-1, 0, 1$ обеспечивает в отличие от двоичного оптимальное построение арифметики. Дональд Кнут выразил в связи с этим надежду, что замена «флип-флопа» на «флип-флэп-флоп» все же произойдет [1]. Следует отметить, что эта замена способна упростить и усовершенствовать не только компьютерную арифметику, но и информатику в целом, поскольку весьма актуальное, но лишь неявно подразумеваемое в двузначной логике третье значение станет явным и непосредственно манипулируемым.

Эффективность троичной техники была подтверждена практикой создания и применения троичных ЭВМ «Сетунь» и «Сетунь 70». Обе машины были разработаны в МГУ, ЭВМ «Сетунь» до сих пор остается единственной в мире троичной ЭВМ, выпускавшейся серийно.

Разработка малой цифровой машины «Сетунь» была предпринята в ВЦ МГУ по инициативе академика С.Л.Соболева в 1956г. Была поставлена задача создания малогабаритной, недорогой, непритязательной в обслуживании и простой в использовании машины, предназначенной для учебных заведений,

исследовательских лабораторий, конструкторских бюро, а также для управления технологическими процессорами. В составе вычислительного центра университета была образована немногочисленная группа молодых специалистов под руководством Н.П.Брусенцова. Варианты решений создаваемой машины обсуждались на совместном семинаре инженеров и программистов исследовались проблемы оптимизации архитектуры и технической реализации компьютеров.

Ввиду малой надежности типичных для того времени логических элементов на электронных лампах и недоступности транзисторов было принято решение использовать магнитные элементы на миниатюрных ферритовых сердечниках и полупроводниковых диодах. Эти элементы, функционирующие по принципу управляемых трансформаторов импульсов тока, оказались эффективным средством реализации пороговой логики, в частности, ее трехзначной версии с положительными и отрицательными весами [2].

Вычислительную машину с троичной симметричной системой с цифрами -1, 0 и +1 стали разрабатывать сначала как альтернативу основному, двоичному варианту. По мере создания трёхзначных логических элементов и троичных функциональных схем оказывалось, что неизбежно возникающее на базовом уровне усложнение узлов троичной машины по сравнению с двоичной уступает простоте и естественностью устройства машины на более высоких уровнях, гармоничностью троичной архитектуры в целом. В троичном варианте обеспечивались большее по сравнению с двоичным быстродействие, существенная экономия оборудования и лучшая надежность. В конце 1956 г. было принято окончательное решение сделать машину троичной. При разработке машины ней нашли воплощение ряд оригинальных идей, относящихся к троичным логическим и запоминающим устройствам, было получено несколько авторских свидетельств на изобретения.

Машина, получившая имя «Сетунь» [3] (по названию речки, протекающей поблизости от здания МГУ на Ленинских горах), представляет собой ЭВМ с арифметическим устройством последовательного действия, с блоком быстрого умножения, благодаря чему достигнуто быстродействие 1–2 тыс./опер. в секунду (на уровне параллельных машин того времени). Небольшое (3 страницы по 54 слова) ОЗУ связано страничным обменом с основной памятью на магнитном барабане.

ЭВМ «Сетунь» – одноадресная машина с одним индекс-регистром, содержимое которого в зависимости от значения тритамодификации адресной части команды прибавляется к адресу либо вычитается из него. Число команд – 24, среди которых имеются команды нормализации мантиссы числа при вычислениях с плавающим масштабом, команды сдвига и команды комбинированного умножения со сложением. Три зарезервированных кода операций остались неиспользованными – в пополнении набора команд на протяжении 15-ти лет разнообразных применений машины не возникло необходимости.

К началу 1960г. машина обладала достаточным программным оснащением, чтобы предъявить ее на государственные испытания, которые она успешно выдержала, продемонстрировав соответствие всем заявленным параметрам и высокую надежность. По рекомендации Междуведомственной комиссии Совмин СССР принял в 1960 г. постановление о ее серийном производстве на Казанском заводе математических машин. При активном участии разработчиков в короткий срок был начат выпуск машин.

Благодаря своей надежности, универсальности, простоте в освоении и обслуживании, а также рекордно низкой цене (27,5 тыс. рублей), «Сетунь» была востребованной многими организациями. Всего до 1965г. было произведено 50 машин, из которых 30 приобрели университеты и технические вузы, а остальные – промышленные и исследовательские организации. Интерес к покупке машины проявил ряд зарубежных стран, в связи с чем Внешторг перевел ее документацию на английский язык. Чехословакия выразила желание купить лицензию и организовать у себя выпуск «Сетуней». Несмотря на явный успех, по решению чиновников в передаче лицензии было отказано, а серийный выпуск «Сетуни» прекращен.

Выпущенные за пять лет «Сетуни» использовались в вузах, на промышленных предприятиях и в НИИ. Благодаря простоте и естественности архитектуры, а также разработанной в ВЦ МГУ под руководством Е.А.Жоголева системе программирования, включающей интерпретирующие системы для действий над действительными числами с плавающей запятой с различной точностью вычислений, над комплексными числами, автокод ПОЛИЗ с операционной системой и библиотекой стандартных подпрограмм [5, 6], они оказались эффективным средством решения практически значимых задач в различных областях, от моделирования и конструкторских расчетов до прогноза погоды и оптимизации управления предприятием.

Географически машины были разбросаны по всему СССР от Калининграда до Новосибирска и от Душанбе до Якутска. Несмотря на практически полное отсутствие технического обслуживания, в подавляющем большинстве «Сетуни» были успешно освоены и нашли применения.

Разработчики взяли на себя программное сопровождение выпущенных машин. Издаваемая ВЦ МГУ серия выпусков «Математическое обслуживание машины «Сетунь» с описанием алгоритмов и текстами программ служила отличным пособием по программированию и способствовала созданию пользователями своих программ [5, 6]. Для распространения опыта использования машин в разных городах проведены три семинара пользователей. ЭВМ «Сетунь» оказалась универсальным, несложно программируемым и эффективным вычислительным инструментом, зарекомендовавшим себя, в частности, как средство обучения вычислительной математике.

На основе приобретенного опыта в 1970 г. силами того же коллектива был разработан еще один троичный компьютер со стековой архитектурой, получивший название «Сетунь 70» [7]. В ЭВМ «Сетунь 70» достоинства троичности воплощены с более глубоким пониманием и полнотой: установлен троичный формат для кодирования алфавитных символов (аналог двоичного байта) – трайт из шести тритов, пополнен набор операций трехзначной логики и «троичных» команд управления ходом выполнения программы, увеличены возможности операций с числами различной длины: один трайт, два трайта, три трайта, с допустимой длиной результата до шести трайтов.

В ЭВМ «Сетунь 70» отсутствует традиционное понятие команды как слова, содержащего код операций и адреса операндов. Программа представляет собой последовательность трайтов-операций и трайтов-адресов, выполнимые сочетания которых можно рассматривать как виртуальные команды. Однако программисту думать о командах не приходится – он конструирует постфиксные выражения непосредственно из операндов и операций подобно тому как это делается в алгебре.

ЭВМ «Сетунь 70» имеет два стека: стек операндов является развитием регистра-аккумулятора одноадресной машины, стек адресов возврата составляет основу автомата, управляющего вложенностью подпрограмм. В дальнейшем была произведена модификация этой структуры [7] с целью аппаратной реализации предложенного Э. Дейкстрой структурированного

программирования [8]. Для этого были введены операционные трайты позволяющие конструировать команды:

JSR A – вызов подпрограммы-процедуры A;

BRT A1 A2 A3 – альтернативный вызов одной из трех процедур в зависимости от знака текущего значения вершины стека операндов;

DOW A – циклический вызов процедуры A, пока текущее значение вершины стека не равно нулю.

Достигнутая тем самым реализация идей Дейкстры, названная процедурным программированием, полностью оправдала его надежды радикально усовершенствовать программирование: трудоемкость создания, обслуживания и модификации программ на «процедурной машине» уменьшилась в 3-5 раз по сравнению с программированием на языке машин традиционной архитектуры, при гарантируемой их надежности.

ЭВМ «Сетунь 70» оказалась последним троичным компьютером. Работы в этом направлении были прекращены.

На «Сетуни 70» был реализован начальный вариант автоматизированной системы обучения «Наставник» [9], используемый на факультете ВМК МГУ по настоящее время. Заложенные в «Сетуни 70» идеи нашли воплощение в Диалоговой Системе Структурированного Программирования (ДССП), программно эмулирующей архитектуру машины [10].

Преемник коллектива, создавшего «Сетуни», лаборатория Троичной информатики, работает в настоящее время на факультете ВМК МГУ. Направления исследований лаборатории связаны с упорядочением логических взаимосвязей посредством трехзначного обобщения булевой алгебры, с разработкой троичных вычислительных алгоритмов и изысканием возможностей экономной технической реализации троичных компьютеров.

Один из значимых результатов состоит в выявлении трехзначности основного в логике отношения необходимого следования. Для его выразимости требуются три истинностных значения: наряду с необходимостью и исключенностью должна быть также возможность. Например, отношение следования $x \Rightarrow y$ представляется трехзначным методом индексов Льюиса Кэрролла в виде конъюнкции $x_1 \wedge x_0' \wedge y_1$, в котором индексом 1, приписанным к особенности обозначается необходимое ее существование, а индексом 0 – невозможность [11].

Кроме того, продолжают исследования вычислительных алгоритмов в троичной симметричной системе счисления. В

частности, рассмотрены алгоритмы деления и вычисления квадратного корня [12].

Для поддержки исследований троичных алгоритмов была разработана имитационная модель троичного процессора двухстековой архитектуры, получившая название ТВМ – троичная виртуальная машина. В качестве основного средства разработки программ для неё реализован троичный вариант языка ДССП [13, 14].

Еще один важнейший результат связан с отысканием путей осуществления троичного компьютера в настоящее время. ЭВМ «Сетунь» создавалась, используя современную терминологию, в «предкремнии». Тогда не было ясности, в каком направлении будет развиваться цифровая техника. Хорошие перспективы выделялись в электромагнитной технике – дешевые, миниатюрные, надежные и устойчивые к радиации ферритовые сердечники, от природы имели дискретные состояния намагниченности. Обе «Сетуни» были сделаны на таких элементах.

Дальнейшее развитие цифровой техники пошло по пути отказа от электромагнитных техник в пользу полупроводниковых, где используются не индуктивные, а кондуктивные связи. В этой среде не существует аналогов сердечников с изолированными обмотками – главного компонента логических элементов «Сетуней».

В этих условиях надежды на воссоздание троичной машины основывались на следующем. Транзисторы имеют комплементарные пары. Для любой схемы существует ее симметричная реплика на комплементарных транзисторах, в которой напряжения и токи противоположны по полярности и направлению. Не это ли многообещающая основа для воплощения замечательной симметрии троичной системы!

В лаборатории Троичной информатики создан и запатентован Пороговый Элемент Троичной Логики (ПЭТЛ) [15] - функциональный аналог элемента «Сетуней». ПЭТЛ реализуем в среде интегральной полупроводниковой схемотехники. Для осуществления троичных устройств на ПЭТЛ

Также был разработан специальный инструмент - Троичная Схемотехника (ТС) [16,17]. С ее использованием созданы и запатентованы: Устройство Троичной Схемотехники (УТС) [18], троичный полусумматор, дешифраторы, мультиплексоры и демультиплексоры, триггеры, счетчики, троичные D-Триггеры [19] и т.д.

Кроме того, продолжают исследования вычислительных алгоритмов в троичной симметричной системе счисления. В частности, рассмотрены алгоритмы деления и вычисления квадратного корня [17].

Для поддержки исследований троичных алгоритмов была разработана имитационная модель троичного процессора двухстековой архитектуры, получившая название ТВМ – троичная виртуальная машина. В качестве основного средства разработки программ для неё реализован троичный вариант языка ДССП [18, 19].

Список литературы

- [1] Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Получисленные алгоритмы. Т.2. - М.: МИР, 1977. С.218.
- [2] Брусенцов Н.П. Пороговая реализация трехзначной логики электромагнитными средствами // Вычислительная техника и вопросы кибернетики. Вып.9. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. С.3-35.
- [3] Малая цифровая вычислительная машина "Сетунь" / Н.П.Брусенцов, С.П.Маслов, В.П.Розин, А.М.Тишулина. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1965.
- [4] Брусенцов Н.П., Жоголев Е.А., Маслов С.П. Общая характеристика малой цифровой машины "Сетунь 70" // Вычислительная техника и вопросы кибернетики. Вып.10. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. С.3-20.
- [5] Аннотированный указатель программ для вычислительной машины "Сетунь" / Н.П.Брусенцов, В.А.Морозов. - М.: ОНТИ ВЦ МГУ, 1968.
- [6] Аннотированный указатель программ для вычислительной машины "Сетунь" / Н.П.Брусенцов, В.А.Морозов. - М.: ОНТИ ВЦ МГУ, выпуск 2, 1971.

- [7] Брусенцов Н.П., Рамиль Альварес Х. Структурированное программирование на малой цифровой машине // Вычислительная техника и вопросы кибернетики. Вып.15. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. С.3-8.
- [8] Dijkstra E.W. Notes on structured programming. EWD 249 - Technical University, Eindhoven, Netherland, 1969.
- [9] Брусенцов Н.П., Маслов С.П., Рамиль Альварес Х. Микрокомпьютерная система обучения "Наставник". - М.: "Наука", 1990.
- [10] Диалоговая система структурированного программирования ДССП-80 / Н.П.Брусенцов, В.Б.Захаров, И.А.Руднев, С.А.Сидоров // Диалоговые микрокомпьютерные системы. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. С.3-21.
- [11] Брусенцов Н.П. Усовершенствование логики умозаключений. - М., Фонд «Новое тысячелетие», 2012.
- [12] Рамиль Альварес Х. Алгоритмы троичной арифметики. - М., Фонд «Новое тысячелетие», 2012.
- [13] Сидоров С.А., Владимирова Ю.С. Троичная виртуальная машина. // Программные системы и инструменты. Тематический сборник № 12. М.: Изд-во факультета ВМиК МГУ, 2011. С. 46-55.
- [14] Бурцев А. А., Рамиль Альварес Х. Кросс-система разработки программ на языке ДССП для троичной виртуальной машины. // Программные системы и инструменты. Тематический сборник № 12. М.: Изд-во факультета ВМиК МГУ, 2011. С. 183-193.
- [15] Маслов С.П. Пороговый элемент троичной логики и устройства на его основе. Патент РФ на изобретение RU № 2394366 С1. Зарегистрирован: 10.07.2010
- [16] Маслов С.П. Об одной возможности реализации троичных цифровых устройств. Тематический сборник № 12

"Программные системы и инструменты", М.: Изд-во факультета
ВМиК МГУ, 2011.С.222-227.

[17] Маслов С.П. Троичная схемотехника. Тематический
сборник № 13 "Программные системы и инструменты", М.: Изд-во
факультета ВМиК МГУ, 2012.С.152-158.

[18] Маслов С.П. Узел троичной схемотехники и
дешифраторы - переключатели на его основе. Патент РФ на
изобретение RU № 2461122 С1. Зарегистрирован: 10.09.2012

[19] Маслов С.П. Троичный D-триггер (варианты). Патент
РФ на изобретение RU № 2510129 С1. Зарегистрирован: 20.03.2014

Опубликовано:

Троичные цифровые машины в МГУ / Н. П. Брусенцов,
С. П. Маслов, А. Х. Рамиль, Ю. С. Владимирова // Сборник тезисов
докладов Национального суперкомпьютерного форума (НСКФ-
2014, Переславль-Залесский). — Институт программных систем
им. А.К. Айламазяна РАН Переславль-Залесский, 2014. — С. 108–
117.