

Указатели (Pointers) в программах на компьютере "МЭСМ"

Для Европейского виртуального компьютерного музея истории информационных технологий в Украине

Юрий Ющенко

Кандидат физико-математических наук

Вступление

Архитектура "МЭСМ" (малой электронной вычислительной машины) имела уникальные особенности, которые повлияли на архитектуру ЭВМ, разработанных как С.А. Лебедевым, так и разработанных в Киеве. О том как использовались машинные команды при программировании на "МЭСМ" мало было описано. Особенности системы команд "МЭСМ" позволили использовать уникальные технологии программирования, которые оказали большое влияние на зарождение и развитие высокоуровневого программирования с помощью мощнейших возможностей, а именно: косвенной адресации высших рангов (указатели представляют собой аналог).

На "МЭСМ" проводились расчеты важнейших народнохозяйственных и экономических задач, решались задачи в оборонной и космической областях. Опыт, полученный киевскими программистами во время работы "МЭСМ", способствовал появлению высокоуровневого программирования и изобретению косвенной адресации 2-го ранга, т.е. указателей. Операции с указателями были аппаратно реализованы в системе команд компьютера "Киев", а косвенная адресация высших рангов вошла в концепцию Адресного программирования (1955) - одного из первых в мире языков программирования высокого уровня.

Уникальная архитектура "МЭСМ" обусловила раннее и бурное развитие советского программирования и способствовала значительному опережению зарубежных технологий программирования. На "МЭСМ" впервые в мире была применена технология косвенной адресации, т.е. Pointers. За рубежом косвенная адресация появилась в языке PL/1 благодаря Гарольду Лоусону только в 1964 году [9].

Постоянная эксплуатация "МЭСМ" началась 25.12.1951 года. Еще задолго до ввода в эксплуатацию планировалось "МЭСМ" использовать лабораторией методов вычислений и расчетов при Институте Математики АН УССР. Эта лаборатория была создана в 1950 году директором института, академиком А.Ю. Ишлинским для расчетов, связанных с решением навигационных задач мореплавания и авиации с использованием теории гироскопических систем, разрабатываемой А.Ю. Ишлинским. Руководителем этой лабораторией была назначена Е.Л. Рвачёва (после замужества Ющенко). В лаборатории работали разработчики методов вычислений, которые формулировали алгоритмы тем, кто непосредственно выполнял расчеты. Для вычислительной лаборатории были закуплены электронные счетные аналитические машины (электронные арифмометры). Для проведения расчетов

использовались счеты и, весьма активно - логарифмические линейки.

Для выполнения расчетов заданий внешней баллистики и для расчетов траекторий баллистических и космических ракет, которыми вместе с московскими математиками занимался Митропольский Ю.А., в лабораторию были переведены сотрудники, в том числе будущий муж Е.Л. Рвачёвой - Ющенко Алексей Андронович. В конце 1951 года математикам лаборатории, уже получившим допуск к государственной тайне, была предоставлена документация по системе команд "МЭСМ", а с 12.01.1952 г. сотрудников лаборатории прикомандировали в Феофанию, где и началась отладка программ на компьютере "МЭСМ" и его эксплуатация. Одной из первых задач был расчет траекторий баллистических (позднее и космических) ракет, расчет устойчивости турбин Куйбышевской ГЭС и решение задачи оптимизации прокладки магистральных линий высоковольтных передач: Куйбышевская ГЭС – Москва. В 1952/53 годах у семьи Ющенко был высокопродуктивный "тандем": Алексей Андронович занимался постановкой задач нелинейной механики, а жена помогала составлять и отлаживать программы.

До 1954 года лаборатория вычислительной техники совместно с ЭВМ "МЭСМ" находилась в Институте Электротехники (позже Электродинамики) АН УССР. Инженеры лаборатории отвечали за работоспособность "МЭСМ", которую, кроме вычислительной лаборатории Математического Института АН УССР, использовали московские математики и математики из КГУ.

Создание каждой программы рассматривалось как решение отдельной проблемы. Математики изыскивали способы написания маленьких по размеру программ, умело используя особенности машинных команд. Математики старались максимально универсализировать программы для расширения сферы их использования.

За годы эксплуатации МЭСМ для решения реальных задач был накоплен неоценимый опыт по применению разнообразных приёмов программирования.

Уникальность архитектуры "МЭСМ"

Архитектура "МЭСМ" имела три известные уникальные особенности [4], которые отсутствовали у всех других компьютеров тех времён:

- а) арифметическое устройство параллельного действия (для ускорения осуществления арифметических действий);
- б) централизованное и локальное управление (для использования библиотечного метода программирования и вызова программ;
- в) возможность динамической модернизации программы (будет описано ниже).

Параллельное действие арифметического процессора было обобщено и развито С.А. Лебедевым в так называемый "водопровод", что позволило одновременно выполнять ряд операций компьютером БЭСМ-6, что отразилось на его высокопроизводительности. Параллелизм арифметического устройства обуславливала возможность одновременного выполнения действия при проектировании большого асинхронного компьютера широкого назначения "Киев" и включения возможности распараллеливания в Адресном языке

программирования.

Централизованное и локальное управление выполнением программ предназначалось для удобства программистов при использовании подпрограмм и библиотек стандартных подпрограмм.

Ограниченная внутренняя память "МЭСМ" (200 ячеек оперативной и переменнo-штекерной оперативной памяти) и низкое быстродействие работы (100 операций/сек), нестабильность, вызванная большим количеством электронных ламп (6 тыс.), вынуждали математиков использовать изысканные и сложные методики программирования. Расчет одной задачи осуществлялся несколькими, а иногда и многими этапами. Некоторые этапы вычислений выполнялись математиками традиционными средствами без использования "МЭСМ". Программировались этапы, которые имели наибольшую трудоёмкость ручного расчета, а также и те, которые нужно было проводить многократно с разными исходными данными.

Были разработаны библиотеки подпрограмм для вычисления значений логарифмических, тригонометрических и других элементарных функций. Библиотеки подпрограмм пополнялись подпрограммами для решения задач вычислительной математики – области математики, которая зародилась с появлением компьютеров. Централизованное и локальное управление выполнением программ упрощало использование библиотечных подпрограмм и экономило ресурсы памяти.

Решение задач в "МЭСМ" имело статус государственной тайны, что делало невозможным публикацию каких-либо материалов, связанных с программированием. В связи с этим технологии программирования на "МЭСМ" не были известны специалистам. Спустя время, когда разработки были рассекречены потребности в таких публикациях уже не было, поскольку технология программирования ушла далеко вперёд.

Следует отметить, что наличие централизованной и локальной реализации программ на "МЭСМ" не имело в мире аналогов. Наличие центрального и локального управления выполнением программ предназначено для использования библиотечных подпрограмм, в том числе подпрограмм для вычисления значений элементарных функций. Когда подпрограмма (локальное управление) была закончена, она должна была передать управление программе, которая ее вызвала. Это позволило вызываемой подпрограмме передавать управление в то место, в котором она была вызвана, и при этом, вызываемую подпрограмму не требовалось изменять каждый раз при её использовании.

В архитектуре компьютера "Киев" такой подход был обобщен и усовершенствован путем определения безусловного перехода не на конкретный адрес, а на адрес, который определялся адресом 2-го ранга (указателем). Адрес команды, которая должна быть выполнена после завершения подпрограммы, был помещен в специальный реестр "возврата" компьютера "Киев" [1, с.: 12]. При использовании сменно-спаянных расширений оперативной памяти не требовалось производить какие-либо изменений в подпрограммах библиотек. Использование адреса 2-го ранга позволило возвращать управление основной программе без внесения изменений в подпрограммы.

Так, центральное и локальное управление исполнением программ подтолкнуло к созданию сменно-спаянных блоков с подпрограммами и константами, что позволило сократить количество электронных ламп и за счет замены их "спайкой" дешево увеличить объем оперативной памяти компьютера "Киев" [1,с.: 5-8].

Возможность динамического изменения программ вместе с технологией передачи управления между центральным и локальным элементами управления позволила в дальнейшем в языке программирования Address определять формулы подпрограмм – "*П*" и формулы их вхождения [стр.: 23-25 в 8,с.: 41, 42 в 1].

Возможность динамического обновления программ представляла особое значение для зарождения программирования и стала отправной точкой для изобретения косвенной адресации высших рангов (указателей – Pointers).

Возможность динамической модернизации программы обеспечивалась так называемой "командой сложения команд" (КСК). Простым использованием этой команды заключалось в последовательном доступе к элементам массива, а обычные ячейки памяти использовались в качестве индексных регистров, которых в "МЭСМ" не было. При программировании на "МЭСМ" были использованы косвенная адресация 2-го ранга (указатели), как для адресации к данным, так и для адресации к подпрограммам. В частности, косвенная адресация 2-го ранга к данным позволила разместить входные данные (параметры) для подпрограмм в произвольных ячейках оперативной памяти без изменения кода самой программы. А указатели (адресация 2-го ранга) на подпрограммы позволяли командой, без её изменения, вызывать произвольную программу, адрес которой находился по адресу, указанному в команде. Такой подход позволил внести универсальность в программы.

Летом 1952 года московский математик А.А. Ляпунов приехал в Феофанию исследовать возможности программирования на "МЭСМ". Также из Москвы приезжали М.Р. Шура-Бура и Ю.Д. Шмыглевский, которые вместе с О.А. Ющенко и К.Л. Ющенко решали проблему внешней баллистики на "МЭСМ". В результате исследования программирования на "МЭСМ" А.А. Ляпунов разработал математический формализм - метод операторного программирования. Метод операторного программирования включал в себя возможности командной системы "МЭСМ": условные переходы (ветвление), арифметические действия и многое другое. Особенностью операторного программирования было включение в него понятия массива. Именно возможности КСК "МЭСМ" обеспечили возможность последовательного доступа к значениям элементов массивов. Команда сложения команд, для последовательной обработки элементов массива добавила число "1" к адресу операнда команды, которая находится в теле цикла. Таким образом, при каждом последующем выполнении команда использовала следующую ячейку. При этом КСК использовала ячейки оперативной памяти в качестве еще не

существующих в то время регистров модернизации адреса¹.

Принципиальная способность КСК модернизировать программу навевала идеи создавать программируемые программы, т.е. программы, которые меняя содержимое памяти компьютера, по некоторым описанным математиком действиям, создаст в памяти компьютера программу в машинных кодах.

Уникальность КСК была использована при решении задачи оптимизации прокладки магистрали высокого напряжения электропередачи. Программа определения оптимального варианта прокладки дальних линий электропередач на входе получила ряд параметров о стоимости монтирования высоковольтных столбов различной высоты, стоимости их установки в зависимости от особенностей ландшафта. Необходимо было получить результаты расчетов программой с различными последовательностями значений входных параметров, т.е. осуществить перебор входных данных. Данные для программ вводились в память компьютера отдельно от самих программ, а в программе указывались адреса ячеек, в которых расположены адреса с данными. Для запуска программы с разными комбинациями входных данных сами данные каждый раз не вводились, а изменялись ячейки памяти, содержащие адреса по которым находятся данные.

Такой подход позволял создавать программы, которые без каких-либо изменений имели возможность получать входные значения в произвольных ячейках памяти, которые наперед в программе не заданы и могут определяться программистом непосредственно перед запуском программы. То есть программы стали независимыми от местоположения исходных данных. Эта особенность сыграла принципиальную роль: стало возможным передавать подпрограммам вместо самих исходных данных адреса, где они находятся.

Так были созданы первые программы, использующие уникальные возможности косвенной адресации 2-го ранга (указателей).

Использование шаблонов циклических фрагментов программы

Все программы, которые были написаны и исполнены в "МЭСМ", содержали циклы. Для ускорения сборки программ с циклами разработаны так называемые шаблоны циклов.

Условно можно классифицировать циклы на две категории:

- 1) использование значений элементов массива (например: вычисление суммы элементов массива или его средних элементов);
- 2) без использования массивов, но с использованием подпрограммы функций (например, для определения значений числовых рядов, включая ряд Фурье).

Для первой категории количество повторений тела цикла известно заранее и равно количеству элементов массива.

Данные для шаблона первой категории (цикл по последовательно

¹ Регистры модернизации адреса компьютера "Киев" имеют более широкое предназначение, чем широко известные индексные регистры.

размещенным значениям элементов массива) были следующими:

- 3) значение счетчика количества повторений тела цикла было введено в ячейку оперативной памяти (эта ячейка используется командой сложения команд в качестве индексного регистра);
- 4) количество элементов массива - n содержала следующая ячейка памяти;
- 5) в следующих n ячейках размещались значения элементов массива.

Шаблон цикла по последовательно размещенным значениям элементов массива имел следующую структуру:

- 1) первой командой шаблона циклического фрагмента была команда сложения команд, которая изменяла значение адреса в команде тела цикла добавлением 1 к соответствующему операнду;
- 2) в следующих ячейках размещались команды тела цикла, в которых была команда с изменяемым операндом на адрес текущего элемента;
- 3) предпоследней командой шаблона была команда увеличения на 1 счетчика произведенных повторов;
- 4) шаблон заикливания завершала команда условного перехода, которая сравнивала значение счетчика с количеством элементов массива и передавала управление первой команде цикла или следующей после шаблона команде.

Для второй категории количество повторений тела цикла определяется условием.

Данные для шаблона второй категории помещались только в одну ячейку со значением счетчика количества выполненных повторений. Эта ячейка использовалась в качестве параметра для подпрограммы функции, вызываемой в теле цикла. В остальном суть этого варианта шаблона соответствует первой категории шаблона цикла.

Программисты, при написании программы в мнемонических кодах, имели возможность указать один из циклических шаблонов фрагментов, а вычислители умели преобразовать их в двоичные коды программ.

Использование шаблонов циклов облегчило программистам составлять программы в мнемонических кодах.

Опыт использования циклических шаблонов существенно повлиял на дальнейшее развитие программирования. В частности, система команд компьютера "Киев" включала групповые операции модернизации адресов 2-го ранга [с.: 53-67 в 1], а в Адресном языке программирования шаблоны циклов были обобщены и развиты в формулы циклирования — "С" (которым аналогичны "операторы цикла" в современных императивных языках программирования высокого уровня) [с.: 43-45 в 1].

Использование "МЭСМ"

В 1952/1953 гг. на "МЭСМ" были решены следующие задачи (цитата из воспоминаний Е.Л. Ющенко):

"- составление таблиц для статистического приемочного контроля (постановка задачи Б.В. Гнеденко, исполнитель Е.Л. Ющенко);

- динамические задачи теории упругости (постановка А.Ю. Ишлинского, Институт математики АН УССР, исполнитель А.А. Ющенко);

- выбор оптимальных параметров шахтных канатов (постановка Г.И. Савина и А.Ю. Ишлинского, исполнитель А.А. Ющенко);
- определение областей устойчивости электроэнергосистем, в частности, Куйбышевской ГЭС (постановка Л.В. Цукерника, Институт электротехники АН УССР, исполнители В.С. Королук, Е.Л. Ющенко);
- расчет тепловых напряжений строительных конструкций (постановка А.Д. Коваленко, Институт механики АН УССР, исполнитель Е.Л. Ющенко);
- обработка геодезических наблюдений (постановка Н.И. Якубецкой, исполнитель Е.Л. Ющенко);
- расчет задач синтеза аммиака (исполнитель Л.Н. Иваненко);
- оценка объемов земляных работ при проектировании автодорог (постановка А.К. Хавкина, Киевский автодорожный институт, исполнители Е.Л. Ющенко, Л.Н. Иваненко, А.М. Сибирко)."

К задачам, которые решались на "МЭСМ", относятся также следующие задачи [5, 6, 7]:

задачи оптимизации прокладки магистральных высоковольтных линий электропередач, в частности: Куйбышевская ГЭС – Москва (Гнеденко Б.В., Ющенко Е.Л.) – 1952 г.;

внешней баллистики, поставлена М.В. Келдышем, в разработке методов решения принимали участие Ю.А. Митропольский и его ученик Ющенко А.А., а программы расчета составлялись Ющенко Е.Л. в сотрудничестве с известными московскими учеными и программистами М.Р. Шура-Бура, Ю.Д. Шмыглевским;

нелинейная механика (Ю.А. Митропольский, исполнитель Ющенко А.А. программирование Ющенко Е.Л.);

расчет тепловых напряжений строительных конструкций (постановка А.Д. Коваленко, Институт механики АН УССР, программирование Е.Л. Ющенко).

В "МЭСМ" Е.Л. Ющенко разработала экспериментальную програмирующую программу, составляющую по простым арифметическим выражениям программы в машинных кодах, которые вычисляют их значение. При разработки этой программы был приобретён опыт, который использован при реализации компиляторов Адресного языка программирования.

Выводы

В ходе решения этих задач оборонной промышленности, космической промышленности и народного хозяйства был накоплен опыт применения изысканных методов программирования, в частности использования указателей (косвенной адресации 2-го ранга). Эти методы сыграли важную роль при проектировании системы команд асинхронного компьютера широкого назначения "Киев" и воплощены в одном из самых первых языков программирования высокого уровня: Адресном языке программирования (1955).

Использование компьютера "МЭСМ" имело большое значение для решения важнейших задач народного хозяйства, оборонной и космической промышленности СССР, а его уникальная архитектура повлияла на архитектуру других компьютеров, способствовала появлению

высокоуровневого программирования и изобретению мощнейшего средства всех современных технологий программирования — косвенной адресации высших рангов (указателей).

Литература

1. Глушков В.М., Вычислительная машина "Киев". Математическое описание / В.М. Глушков, Е.Л. Ющенко. // К. : – Гостехиздат УССР, 1962. – 183 с. : ил.
2. Дашевский Л.Н., Шкабара Е.А., Как это начиналось: Воспоминания о создании первой отечественной электронно-вычислительной машины "МЭСМ" / Дашевский Л.Н., Шкабара Е.А. — М.: 1981. — 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. Математика, кибернетика; № 1) [Электронный ресурс] – https://computer-museum.ru/books/kak_eto_nachinalos.pdf (дата обращения: 02.05.2021).
3. Китов А.И., Криницкий Н.А., Комолов П.Н., Элементы программирования (для электронных цифровых машин). Отв. ред. Китов А.И. М.: изд-во Артиллерийской академии им. Дзержинского, 1956.– 288 с.
4. Лебедев С.А., Дашевский Л.Н., Шкабара Е.А., Малая электронная счетная машина. — М.: Из-во АН СССР, 1952. — 162 с.
5. Малиновский Б.Н., История вычислительной техники в лицах. — Киев: "КИТ", ПТОО "А.С.К.". — 1995; 306 с. [Электронный ресурс] – <http://elib.ict.nsc.ru/jspui/bitstream/ICT/545/1/Malinovskiy.pdf> (дата обращения 29.06.2021), http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/Malinovsky_history_ukr.pdf (дата обращения 29.06.2021).
6. Міщенко Н.М, Інститут кібернетики НАНУ: все починалося у Феофанії... (1956–1958) : спогади. Ч. 1 [Електронний ресурс] / Надія Міщенко // Кібернетика, інформатика і довкола... : наукові праці, повідомлення, спогади. [Електронний ресурс] – http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/m1956-1958-4_u.pdf (дата обращения: 29.06.2021), <https://cyberua.info/novyny/ik-nanu-vse-pochynalosja-u-feofaniji-spohady-ch1-nadija-mishchenko/> –(дата обращения: 29.06.2021).
7. Сергієнко І.В., Інформатика в Україні: становлення, розвиток, проблеми / І. В. Сергієнко ; відп. ред.: Ю.В. Капітонова, Т.Т. Лебедева ; рец.: Н.З. Шор, О.В. Палагін, К.Л. Ющенко ; НАН України, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова. — Київ : Наукова думка, 1999. — С. 9, 11, 20, між с.20–21 : фотоіл., с. 113, 220, 226, 312. — ISBN 966-00-0540-7.
8. Ющенко Е.Л., Адресное программирование // К. : – Гос. издательство технической литературы, УРСР, 1963. – 287 с.
9. Alvaro Videla, (Dec 8, 2018), Kateryna L. Yushchenko — Inventor of Pointers. A Computer of One's Own — Pioners of the Computing Age [Электронный ресурс] – https://medium.com/a-computer-of-ones-own/kateryna-l-yushchenko-inventor-of-pointers-6f2796fa1798?fbclid=IwAR3fcqmC0COfy5EqyIHBr1QhCpno5MUFZjCUQ-SM-v-xhD0g3xbj_P2SRCM (дата обращения: 02.05.2021).

Оригинал http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/YuriYushchenko_r.pdf