

Pointers в програмах на "МЭСМ"¹

Для Європейського віртуального комп'ютерного музею історії інформаційних технологій в Україні

Юрій Ющенко
кандидат фізико-математичних наук

Вступ

Система команд "МЭСМ" мала унікальні особливості, які вплинули на архітектуру комп'ютерів, розроблених як С.О. Лебедевим, так і тих, що розроблювались в Києві. Мало відомо про вплив системи команд "МЭСМ" на технологію програмування як на самій "МЭСМ", так і про вплив на зародження та розвиток програмування високого рівня з найпотужнішим засобом програмування: опосередкованою адресацією вищих рангів, якій подібні вказівники (Pointers).

На "МЭСМ" проводились розрахунки важливих народногосподарських задач, розв'язувались задачі оборонної та космічної галузей. Досвід, отриманий київськими програмістами під час експлуатації "МЭСМ", вплинув на виникнення програмування високого рівня та сприяв винайденню опосередкованої адресації 2-ого рангу (Pointers), яка була апаратно реалізована в системі команд комп'ютера "Київ" та увійшла в одну з найперших в світі мов програмування високого рівня – в Адресній мові програмування (1955 р).

Унікальна архітектура "МЭСМ" обумовила стрімкий розвиток радянського програмування та значні випередження українських вчених над світовими технологіями програмування. На "МЭСМ" була вперше використана технологія непрямой адресації вищих рангів, аналогом якої є вказівники (Pointers), які були винайдені закордоном Гарольдом Лоусоном лише у 1964 р. [9].

Постійна експлуатація "МЭСМ" розпочалася 25.12.1951 року. Завдовго до введення "МЭСМ" в експлуатацію її планувалося використовувати для проведення розрахунків обчислювальною лабораторією (або лабораторія "методів обчислень та розрахунків"). Цю лабораторію було створено у 1950 р. академіком О.Ю. Ішлінським для проведення розрахунків, пов'язаних з розв'язком задач навігації морських та повітряних суден за допомогою гіроскопічних систем. К.Л. Рвачову (згодом Ющенко) було призначено керівником цієї лабораторії. Умовно математики лабораторії розподілялись на тих, хто розроблював методи обчислень, надавав завдання у вигляді алгоритмів та формул та тих, хто безпосередньо проводив розрахунки. Для обчислювальної лабораторії були придбані електронні лічильні аналітичні машини (електронні арифмометри). Окрім арифмометрів та цих машин математики використовували рахівниці та логарифмічні лінійки.

¹Укр.: МЕОМ – мала електронно обчислювальна машина. Будемо використовувати назву "МЭСМ" (російською "Малая электронная счетная машина"), яка була надана комп'ютеру при його створенні, як власну назву.

Для проведення розрахунків задач зовнішньої балістики та для розрахунків траєкторій балістичних та комічних ракет, якими разом з московськими математиками займався Митропольський Ю.О., до лабораторії були переведені співробітники, серед яких був Ющенко Олександр Андронович, з яким К.Л. Рвачова згодом одружилася. Наприкінці 1951 р. математикам лабораторії, які мали допуск до державної таємниці, було надано документацію по системі команд "МЭСМ", а з самого початку 1952 р. математики лабораторії розпочали писати програми на "МЭСМ". До перших розрахунків на "МЭСМ" відносяться розрахунки траєкторій польотів балістичних та космічних ракет, розрахунки стійкості турбін Куйбишевської ГЕС та розв'язок задачі оптимізації прокладки дальніх ліній електропередач: Куйбишевська ГЕС – Москва. У 1952 р. подружжя Ющенків являло собою високопродуктивний "тандем": Олександр Андронович займався постановкою задач нелінійної механіки та сумісно з дружиною писав програми для "МЭСМ".

До 1954 року лабораторія обчислювальної техніки разом з комп'ютером МЕСМ була підпорядкована інституту електротехніки (згодом електродинаміки) АН УРСР. Інженери лабораторії відповідали за працездатність "МЭСМ", яку для проведення розрахунків здебільше використовувала обчислювальна лабораторія при математичному інституті АН УРСР.

Створення кожної програми розглядалося як розв'язання індивідуальної задачі. Програмісти шукали ощадливі рішення, майстерно використовуючи ті або інші особливості системи команд комп'ютера. Програмісти при складанні програм намагалися їх універсалізувати для поширення сфери їх використання.

У такий спосіб осмислювалися прийоми програмування і використання комп'ютера для вирішення практичних завдань.

Унікальність архітектури "МЭСМ"

Архітектура "МЭСМ" мала три загальновідомі унікальні особливості [4], яких не було у інших комп'ютерів тих часів:

а) арифметичній пристрій паралельної дії для прискорення виконання арифметичних дій;

б) центральне та локальне керування виконанням програм;

в) можливість динамічної модернізації програми.

Паралельна дія арифметичного процесора була узагальнена та розвинута С.О. Лебедевим у так званий "водопровід", який дозволив одночасно виконувати низку операцій комп'ютером БЭСМ-6, що вплинуло на його швидкодію. Паралельність арифметичного пристрою підказала можливість одночасного виконання дії при проектуванні великого асинхронного комп'ютера широкого призначення, "Київ". Для забезпечення асинхронної одночасної роботи вузлів були включені відповідні команди процесора, які знайшли своє відображення в Адресній мові програмування (1955 р.), в якій передбачалось одночасне виконання програми.

Центральне та локальне керування виконанням програм призначалось для зручності програмістів при використанні підпрограм.

Обмеженість внутрішньої пам'яті "МЭСМ" (200 комірок оперативної і змінно-набірної оперативної пам'яті) та повільність її роботи (100 операцій/сек), нестійкість роботи, викликана великою кількістю електронних ламп (6 тис.) змушували математиків використовувати вишукані та витончені прийоми програмування. Розрахунок однієї задачі виконувався поетапно. Деякі етапи розрахунків виконувались математиками традиційними засобами без використання "МЭСМ". Програмувались розрахунки етапів, які мали найбільшу трудомісткість, та тих, що мали проводитись багаторазово для різних вхідних даних.

Була розроблена бібліотека підпрограм підрахунку значень показникових, логарифмічних, тригонометричних та інших елементарних функцій. Бібліотеки підпрограм поповнювались підпрограмами розв'язку задач обчислювальної математики – галузі математики, яка зародилася з появою комп'ютерів. Центральне та місцеве керування виконанням програм спрощувало використання бібліотек підпрограм та дозволяло віртуально збільшувати ресурси пам'яті "МЭСМ".

Розв'язок задач на "МЭСМ" мав статус державної таємниці, що унеможлиблювало публікацію будь-яких матеріалів щодо програмування. У зв'язку з цим технології програмування на "МЭСМ" не були відомі та не були відображені в монографії [1].

Слід зауважити, що наявність центрального та місцевого виконання програм на "МЭСМ" не мала світових аналогів. Наявність центрального та місцевого керування виконанням програм призначена для використання бібліотечних підпрограм, включаючи підпрограми підрахунку значень елементарних функцій. Після завершення роботи підпрограми (місьцеве керування) вона мала передавати керування у програму, яка викликала її. Для того, щоб бібліотечну підпрограму не потрібно було змінювати після її завершення керування роботою комп'ютера поверталось центральному керуванню. Без такого підходу необхідно було б у підпрограмі записувати завершальну команду безумовного переходу, яка має передавати керування програмі, що викликала її. Основна програма могла викликати підпрограму декілька раз. Це вимагало б змінювати цю команду в залежності від того яким саме викликом (передачею керування) програма викликалась. Також підпрограма мала викликатись не однією програмою а будь-якою. Саме для запобігання зміни бібліотечних підпрограм було запроваджено передачу між центральним та місцевим керуванням.

В архітектурі комп'ютера "Київ" цей підхід було узагальнено та вдосконалено шляхом визначення безумовного переходу не на конкретну адресу, а на адресу, яка визначалась адресом 2-го рангу (вказівник, Pointer). Адрес команди, яка мала виконуватись після завершення підпрограми, розміщувався у спеціальному реєстрі "повернення" комп'ютера "Київ" [1, стор.: 12].

Спаяність змінних блоків розширення оперативної пам'яті не припускала будь-яких змін у бібліотечних підпрограмах. Використання адрес 2-го рангу

створило можливість без зміни підпрограми здійснювати передачу управління основній програмі без зміни підпрограми.

Відтак, центральне та місцеве керування виконанням програм підказало створення змінно-спаяних блоків з підпрограмами, які дозволили без використання електронних ламп "дешево" з використанням "спайки" збільшували обсяг оперативної пам'яті комп'ютера "Київ", в якій знаходились потрібні бібліотеки підпрограм, що дозволило значно економити оперативну пам'ять та суттєво прискорити розв'язок задач [1, стор.: 5-8].

Можливість динамічної зміни програм разом з технологією передачі управління між центральним з місцевим керуваннями дозволило у подальшому в Адресній мові програмування визначити формули підпрограм – "П" та формули їх входження [стор.: 23-25 в 8, стор.: 41, 42 в 1].

Можливість динамічної модернізації програм мала особливе значення для зародження програмування та послугувала відправною точкою винаходу опосередкованої адресації вищих рангів (вказівників – Pointers).

Можливість зміни команд програмою забезпечувала так звана "команда складання команд" (КСК). Очевидним використанням програмістами цієї команди було послідовне звернення до елементів масивів, а в якості регістра індексів використовувалась звичайна комірка оперативної пам'яті. При програмуванні на "МЭСМ" було винайдено можливість опосередкованої адресації 2-го рангу, як для адресації до даних, так і для адресації до підпрограм. Зокрема опосередкована адресація до даних 2-го рангу дозволила розташовувати вхідні дані (параметри) для підпрограм у довільних комірках оперативної пам'яті. А вказівники (адресація 2-го рангу) на підпрограми дозволили однією командою, без зміни самої програми, викликати не єдину, наперед визначену, програму, а довільну, в залежності від потреби. Це дозволило створювати більш універсальні програми.

Влітку 1952 р. московський математик О.А. Ляпунов приїхав до Феофанії для дослідження можливостей програмування на "МЭСМ". Також з Москви приїжджали М.Р. Шура-Бура та Ю.Д. Шмиглевський, які разом з О.А. Ющенко та К.Л. Ющенко розв'язували на "МЭСМ" задачі зовнішньої балістики. В результаті досліджень програмування на "МЭСМ" О.А. Ляпунов розробив математичний формалізм – операторний метод програмування. У операторний метод програмування були включені можливості системи команд "МЭСМ": умовні переходи (розгалуження), арифметичні дії тощо. Особливістю операторного програмування було включення масивів. Саме можливості КСК "МЭСМ" забезпечували можливість послідовного звернення до елементів масивів. Команда складання програм для послідовної обробки елементів масивів додавала число "1" до адреси, яка була записана в тілі циклу. Тим самим при наступному виконанні зміненої команди ця команда зверталась за значенням до комірки з наступною адресою. При цьому КСК використовувала звичайні комірки оперативної пам'яті у якості "індексних реєстрів"². Операторний метод програмування О.А. Ляпунова, оприлюднений у 1953 р., по праву вважають базовою основою мов програмування високого рівня.

² Індексні реєстри були винайдені та реалізовані в архітектурі закордонних комп'ютерів.

Принципова можливість КСК модернізувати програму підказала програмістам принципову можливість створення програмуючих програм: програм, які здатні за формальними математичними позначками скласти програми у машинних кодах для виконання комп'ютером.

Унікальність КСК була використана при розв'язку задачі оптимізації прокладання дальніх високовольтних ліній електропередач. Програма розрахунку економічності варіантів прокладання ліній електропередач на вхід отримувала низку параметрів про вартість встановлення різних варіантів опор з урахуванням особливостей ландшафту. Необхідно було отримувати результати підрахунків програмою з різними послідовностями значень параметрів. Дані для програм вводились в пам'ять комп'ютера окремо від самих програм, а в програмі вказувались конкретні адреси комірок в яких знаходяться дані для програми.

Існувало два способи вирішення задачі завантаження однієї програми на різних послідовностях вхідних даних.

Перший варіант. Змінювати програму перед кожним її запуском шляхом перевизначення в ній адрес, які вказують на комірки з потрібними даними. У зв'язку з відсутністю текстових редакторів таке перевизначення, можна було зробити повторним введенням всієї програми, що вочевидь було дуже трудомістким, вимагало значних витрат часу та могло призвести до внесення помилок.

Другий варіант. Кожного разу перед запуском програми набирати у певних комірках постійно-змінній пам'яті значення потрібних даних. Це було вельми трудомістким та вимагало ретельності для уникнення помилок.

Пошук вишуканих методів використання особливостей системи команд "МЭСМ" призвів до нового, третього варіанту, який являв собою інтеграцію перших двох.

Третій Варіант. Зміна команд за допомогою КСК (можливості динамічної модифікації програм) покладалась на саму програму, а програмісту залишалось вказати послідовність адрес за якими програма має брати значення параметрів.

Цей третій варіант дозволив скласти програми, які без жодних в них змін, мали можливість отримувати вхідні значення у довільних комірках пам'яті, які визначаються програмістом перед запуском програми. Тобто програми стали незалежними від місця розташування вхідних даних. Ця можливість мала велике та принципове значення при використанні підпрограм: стало можливим передавати підпрограмам адреси, за якими знаходяться вхідні дані для програми.

Це були перші використання непрямої адресації 2-го рангу, якій аналогічні вказівники (Pointers).

Адресація 2-го рангу була використана для універсализації програм. Програма в машинних кодах "МЭСМ", без будь-яких в ній змін, мала можливість звертатися до різних підпрограм: програма отримувала адресу підпрограми, яку необхідно викликати. У сучасних технологіях програмуванні цьому відповідає використання вказівника, який вказує на підпрограму, з

можливістю викликати підпрограму за значенням вказівника, тобто використовуючи опосередковану адресацію до підпрограми.

Використання шаблонів циклічних фрагментів програм

Всі програми які писались та виконувались на "МЭСМ" містили в собі цикли. Для прискорення складання програм з циклами були розроблені так звані шаблони циклування.

Умовно можна класифікувати цикли на дві категорії:

- 1) з використанням значень елементів масиву (наприклад: підрахунок суми елементів масиву чи середнього арифметичного його елементів);
- 2) без використання масивів, але з використанням підпрограми функцій (наприклад для визначення значень числових рядів, включаючи ряди Фур'є).

Для першої категорії кількість повторів виконання тіла циклу заздалегідь відома та дорівнює розміру масиву.

Дані для шаблону першої категорії (циклування по послідовно розміщеним значенням елементів масивів) мали наступний вигляд:

- 1) в комірку оперативної пам'яті заносилось значення лічильника кількості виконаних повторів тіла циклу (ця комірка використовується командою складання програм у якості індексного реєстру);
- 2) в наступну комірку оперативної пам'яті заносилось значення розміру масиву (кількість елементів) - n ;
- 3) у наступних n комірках розміщувались значення елементів масиву.

Програма шаблону циклування по послідовно розміщеним значенням (елементам масивів) мала наступну структуру:

- 1) в комірку оперативної пам'яті для програм першою командою шаблону циклічного фрагменту була команда складання команд, яка змінювала значення адреси в команді тіла циклу шляхом додавання 1 до відповідного операнду;
- 2) в наступних комірках розміщувались команди тіла циклу, в яких була команда, в якій модернізувався операнд: адреса поточного елемента списку;
- 3) передостанньою командою шаблону була команда збільшення лічильника кількості повторів на 1;
- 4) шаблон циклування завершувала команда умовного переходу, яка порівнювала значення лічильника зі значенням кількості елементів масиву та передавала керування на першу команду шаблону циклування або на наступну команду після шаблону.

Для другої категорії кількість повторів виконання тіла циклу визначається умовою.

Дані для шаблону другої категорії розміщувались лише в одній комірці зі значенням лічильнику кількості виконаних повторів. Ця комірка використовувалась у якості параметра для функції підпрограми, яка викликала в тілі циклу.

Програма шаблону циклування (друга категорія циклування) без використання масивів, але з використанням підпрограми функцій починалась з

тіла циклу в якому була команда передачі керування (можна було передавати на місцеве керування), тобто виклик підпрограми функції з параметром – лічильником кількості повторів циклу. Передостанньою командою шаблону була команда збільшення лічильника кількості повторів на 1, а останньою відповідна команда умовного переходу.

Програмісти, при запису програми у мнемонічних кодах, мали можливість вказувати один зі шаблонів циклічного фрагменту, а обчислювачі вміли перетворювати їх у фрагменти двійкової програму.

Відтак використання шаблонів циклування спрощувало програмістам складати програми.

Досвід використання шаблонів циклування суттєво вплинув на подальший розвиток технологій програмування. Зокрема, в систему команд комп'ютера "Київ" були включені групові операції модернізації адрес 2-го рангу [стор.: 53-67 в 1], а в Адресній мові програмування шаблони циклування були узагальнені в формули циклування – "Ц" (назва у сучасних імперативних мовах програмування високого рівня: оператори циклу) [стор.: 43-45 в 1].

Використання "МЭСМ"

У 1952 р. на "МЭСМ" були розв'язані наступні задачі [5, 6, 7]:

- визначення областей стійкості електроенергосистем, зокрема Куйбишевської ГЕС (постановка Л.В. Цукерника, Інститут електротехніки АН УРСР, виконавці В.С. Королюк, К.Л. Ющенко);

- задачі оптимізації прокладання дальніх ліній високовольтних електропередач, зокрема: Куйбишевська ГЕС – Москва (Гнеденко Б.В., Ющенко К.Л.) – 1952 р.;

- зовнішньої балістики, поставленої М.В. Келдишем, у розробці методів її розв'язання приймали участь Ю.О. Митропольський та його учень Ющенко О.А., а програми розрахунків склалися Ющенко К.Л. сумісно з відомими московськими вченими та програмістами М.Р. Шурую-Бурою, Ю.Д. Шмиглевським;

- динамічних завдань теорії пружності (керівники О.Ю. Ішлінський та Ю.О. Митропольський, виконавець Ющенко О.А., програмування Ющенко К.Л.);

- нелінійної механіки (Ю.О. Митропольський, виконавець Ющенко О.А. програмування Ющенко К.Л.);

До задач, які було розв'язано на "МЭСМ" відносяться також наступні задачі:

- складання таблиць для статистичного приймального контролю якості виробництва деталей (постановка завдання Б.В. Гнеденко, виконавець К.Л. Ющенко);

- вибір оптимальних параметрів шахтних канатів (постановка Г.І. Савина та О.Ю. Ішлінського, виконавець О.А. Ющенко, програмування Ющенко К.Л.);

- розрахунок теплових напруг будівельних конструкцій (постановка А.Д. Коваленко, Інститут механіки АН УРСР, програмування К.Л. Ющенко);

- обробка геодезичних спостережень (постановка Н.І. Якубецької, виконавець К.Л. Ющенко);

- розрахунок задач синтезу аміаку (програмування Л.Н. Іваненко під керівництвом К.Л. Ющенко);

- оцінка об'ємів земляних робіт при проектуванні автодоріг (постановка А.К. Хавкіна, Київський автодорожний інститут, програмування К.Л. Ющенко, Л.Н. Іваненко, А.М. Сибірко).

На "МЭСМ" К.Л. Ющенко було розроблено дослідницьку програмуючу програму, яка по закодованій арифметичній формулі складала програму її підрахунку у машинних кодах "МЭСМ". Ця програмуюча програма мала велике значення для реалізації компілятора Адресної мови - ПП-АК (програмуюча програма Адресної мови на комп'ютері "Київ").

Висновки

Під час розв'язку зазначених задач оборонної промисловості, космічної галузі та народногосподарських було отримано досвід використання вишуканих прийомів програмування, зокрема використання опосередкованої адресації 2-го рангу, які було покладено в систему команд асинхронного комп'ютера "Київ" та втілено в одну з найперших мов програмування високого рівня: Адресну мову програмування (1955 р.).

Комп'ютер "МЭСМ" мав величезне значення для розв'язку найважливіших задач народного господарства, оборонної та космічних галузей СРСР, а його унікальна архітектура вплинула на архітектуру інших комп'ютерів, сприяла виникненню програмування високого рівня та винаходу найпотужнішого засобу всіх сучасних технологій програмування – опосередкованої адресації вищих рангів (вказівників – Pointers).

Джерела

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) [Електронний ресурс] – Режим доступу: [kak_eto_nachinalos.pdf \(computer-museum.ru\)](http://www.computer-museum.ru/kak_eto_nachinalos.pdf) (дата звернення: 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. [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://elib.ict.nsc.ru/jspui/bitstream/ICT/545/1/Malinovskiy.pdf> (дата звернення 29.06.2021), http://www.icfct.kiev.ua/MUSEUM/TXT/Malinovsky_history_ukr.pdf (дата звернення 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] – Режим доступу:

http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/m1956-1958-4_u.pdf (дата звернення: 29.06.2021),
<https://cyberua.info/novyny/ik-nanu-vse-pochynalosja-u-feofaniji-spohady-ch1-nadija-mishchenko/>

– Назва з екрана (дата звернення: 29.06.2021).

7. Сергієнко І.В., Інформатика в Україні: становлення, розвиток, проблеми / І. В. Сергієнко ; відп. ред.: Ю.В. Капітонова, Т.Т. Лебедєва ; 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 [Електронний ресурс] A Computer of One’s Own – Pioners of the Computing Age [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://medium.com/a-computer-of-ones-own/kateryna-l-yushchenko-inventor-of-pointers-6f2796fa1798?fbclid=IwAR3fcqmC0COfy5EqyIHBrIQhCpno5MUFZjCUQ-SM-v-xhD0g3xbj_P2SRCM (дата звернення: 02.05.2021).

Оригінал http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/TXT/YuriYushchenko_u.pdf