

ПРЕДИСЛОВИЕ

fas·ci·cle \ˈfasəkl\ n ... 1: маленький пучок соцветия, состоящий из компактного зонтика и образующий маленькую головку
... 2: отдельный выпуск какого-либо издания, публикуемого по частям
— П. Б. ГОУВ (P. B. GOVE), *Вебстерский словарь международного английского языка, Третье издание* (1961)

ДАННАЯ КНИГА является первым из серии отдельных выпусков-дополнений, которые я планирую регулярно выпускать по мере завершения работы над окончательной редакцией книги *Искусство программирования*.

К работе над дополнениями меня вдохновил пример Чарльза Диккенса, который публиковал свои произведения в виде серий отдельных глав. Он напечатал десятки глав романа *Приключения Оливера Твиста* (*The Adventures of Oliver Twist*), даже не подозревая о том, что же случится с Биллом Сайксом! Меня также вдохновляет Джеймс Марри, который начал публикацию первых 350-страничных порций Оксфордского словаря английского языка в 1884 году, в 1888 году завершил работу над буквой В, а в 1888 году над буквой С. (Марри умер в 1915 году, работая над буквой Т. К счастью, моя задача гораздо проще.)

В отличие от Диккенса и Марри, для редактирования материала я использую компьютер, а потому могу легко вносить изменения в текст до получения его окончательного вида. Хотя я изо всех сил стараюсь писать так, чтобы потом не приходилось вносить исправления, но каждая страница содержит сотни потенциальных возможностей для совершения ошибок и упущения важных идей. Мои файлы заполнены заметками о новых прекрасных алгоритмах, но информатика достигла такого уровня, при котором я не могу претендовать на полный охват всего имеющегося материала. Именно поэтому мне необходимо получить отклики от читателей еще до завершения работы над всеми томами.

Иначе говоря, дополнения будут содержать достаточно Достойного Материала, и я с волнением предлагают все, что я хотел написать, тем, кто хотел бы это прочесть. Все же я надеюсь, что внимательные читатели помогут мне улучшить их. Как обычно, за каждую опечатку*, политически некорректное высказывание, а также ошибку, относящуюся к сути излагаемого материала или к приведенным историческим сведениям, я охотно заплачу \$2,56 тому, кто первым ее найдет.

Чарльз Диккенс обычно публиковал свои очередные главы ежемесячно, а Джеймс Марри стремился издавать 350-страничные выпуски каждые полтора года. Моя цель, будь на то воля Божья, ежегодно создавать по два 129-страничных отдельных выпуска. Большинство выпусков будет представлять новый материал для тома 4 и далее. Но иногда я буду выпускать дополнения к прежним томам. Например, в томе 4 потребуются обратиться к материалу из тома 3, который еще

* Имеется в виду оригинал настоящего издания. — *Примеч. ред.*

не существовал в момент выпуска тома 3. По мере выхода этих выпусков вся эта работа, в конечном итоге, приобретет законченный осмысленный вид.

Выпуск 1 посвящен MMIX, т.е. долгожданной замене MIX. Спустя 37 лет после создания компьютера MIX архитектура компьютеров претерпела значительные изменения и привела к появлению компьютеров нового типа. Именно поэтому я еще менее насыщенным “жирами”, чем его полиненасыщенный предшественник*.

В упражнениях 1.3.1–25 в первых трех изданиях тома 1 используется расширение MixMaster языка MIX, обратно совместимое с прежними версиями языка MIX. Но даже расширение MixMaster давно и безнадежно устарело. Оно способно работать с несколькими гигабайтами памяти, но не может обрабатывать код ASCII, например, для вывода символов в нижнем регистре. Более того, стандартные соглашения для вызова подпрограмм были основаны на самоизменяющихся инструкциях! Десятичная арифметика и самоизменяющийся код были очень популярны в 1962 году, но они быстро исчезли по мере увеличения размеров и скорости вычисления компьютеров. К счастью, современная архитектура RISC имеет более привлекательную структуру, а потому я воспользовался возможностью создать новый компьютер, который отвечает современным требованиям и с которым просто приятно работать.

Многие читатели могут спросить: “Зачем Кнут заменил MIX другим компьютером, а не перешел к языку программирования высокого уровня, ведь в наши дни мало кто использует языки ассемблера в своей работе?” Они, несомненно, имеют право на такую точку зрения и могут пропустить ту часть книги, в которой описывается машинный язык. Однако причины, по которым я создал описание машинного языка, были перечислены еще в 1960-х годах в предисловии к тому 1 и до сих пор остаются в силе.

- Одна из основных целей данной книги — показать, как конструкции высокого уровня реализуются, а не применяются в компьютерах. Таким образом, с самого начала рассматриваются связь сопрограмм, древовидные иерархические структуры, генерирование случайных чисел, арифметика высокой точности, преобразование системы счисления, упаковка данных, комбинаторный поиск, рекурсия и многие другие проблемы.
- Все нужные нам программы, написанные на машинно-ориентированном языке, за редким исключением будут иметь небольшой размер, чтобы можно было легко уловить их суть.
- Программист должен иметь, по крайней мере, представление об архитектуре компьютера, ибо в противном случае созданные им программы могут быть чрезвычайно неэффективными и запутанными.
- Некоторое знание машинного языка необходимо в любом случае, чтобы разобраться в выходных данных программ, приведенных во многих примерах.
- Выражая на машинном языке базовые алгоритмы, например для сортировки и поиска, можно изучать влияние кэш-памяти, ОЗУ и других параметров аппаратного обеспечения (скорости оперативной памяти, конвейеризации, множественной выдачи команд, буфер ассоциативной трансляции, размеров блоков в кэш-памяти и многих других) при сравнении разных схем.

* Аналогия с полиненасыщенными жирами, широко рекламируемыми сегодня по всему миру. — *Примеч. ред.*

Более того, если бы я решился использовать язык высокого уровня, то какой из них следовало бы выбрать? В 1960-х годах я, вероятно, выбрал бы Algol W, в 1970-х годах я был бы вынужден переписать мою книгу на языке Pascal, в 1980-х годах все пришлось бы изменить для языка C, а в 1990-х годах надо было бы переключиться на C++ или Java.

Вне всяких сомнений, в 2000-х годах еще какой-то язык станет de rigueur*. Я не могу позволить себе тратить время на переписывание книги в угоду моде, поскольку не сам язык программирования является сутью книги, а что можно сделать с его помощью, например с помощью вашего любимого языка программирования. Основное внимание в книге уделяется “вечным истинам”.

Следовательно, в книге *Искусство программирования* в качестве языка высокого уровня я использую английский**, а язык низкого уровня будет использоваться для описания механизмов работы компьютеров. Читателям, которых интересуют алгоритмы, уже реализованные в виде готовых подключаемых модулей на основе ультрамодных языков программирования, рекомендуется обратиться к другим книгам.

Хотел бы успокоить читателей: программирование для MMIX представляет собой приятное и простое занятие. В этом выпуске представлены следующие темы:

- 1) вводное описание архитектуры MMIX (заменяет раздел 1.3.1 третьего издания тома 1);
- 2) описание языка ассемблера MMIX (заменяет раздел 1.3.2);
- 3) новые сведения о подпрограммах, сопрограммах и программах-интерпретаторах (заменяет разделы 1.4.1, 1.4.2 и 1.4.3).

Конечно, компьютер MIX присутствует во многих местах существующих изданий томов 1-3, и десятки программ нужно переписать для использования их вместе с компьютером MMIX в новых изданиях этих томов. Читатели, которые хотели бы принять участие в этом процессе переписывания, могут присоединиться к группе добровольцев-создателей MMIX, обращаясь к Web-узлу по адресу mmixmasters.sourceforge.net.

Четвертое издание тома 1 не будет готово до тех пор, пока не будет завершена работа над томами 4 и 5. Поэтому две разные версии разделов 1.3.1, 1.3.2, 1.4.1, 1.4.2 и 1.4.3 будут сосуществовать в течение нескольких лет. Во избежание путаницы, новые версии этих разделов будут иметь нумерацию “простых чисел” со штрихами: 1.3.1', 1.3.2', 1.4.1', 1.4.2' и 1.4.3'.

Я очень благодарен всем людям, которые помогли мне создать компьютер MMIX. Особую благодарность заслуживают Джон Хэннесси (John Hennessy) и Ричард Л. Сайтс (Richard L. Sites) за их активное участие и существенный вклад. Благодарю Владимира Ивановича (Vladimir Ivanović) за добровольную помощь в поддержке Web-узла группы добровольцев-создателей MMIX.

*Станфорд, Калифорния
май 1999*

Д. Э. К.

Переписывать можно вечно, если нужно.

— НЭЙЛ САЙМОН (NEIL SIMON), *Перезапись: мемуары* (1996)

* Модным. — *Примеч. ред.*

** Имеется в виду оригинал настоящего издания. — *Примеч. ред.*

1.3'. MMIX

В ЭТОЙ КНИГЕ очень часто встречаются упоминания о внутреннем машинном языке компьютера. Причем использовать мы будем гипотетический компьютер под названием “MMIX”. MMIX — произносится *эм-микс* — практически ничем не отличается от любого другого компьютера с 1985 года, за исключением того, что он, вероятно, более изящен. При разработке языка для компьютера MMIX преследовалась цель сделать его достаточно мощным, позволяющим для большинства алгоритмов писать короткие программы, и в то же время достаточно простым, чтобы его операции можно было легко запомнить.

Настоятельно рекомендую читателю внимательно изучить этот раздел, так как язык для компьютера MMIX используется в очень многих разделах книги. Отбросьте все сомнения по поводу того, стоит ли изучать машинный язык. Автор однажды понял, что нет ничего необычного в том, чтобы в течение одной недели заниматься написанием программ на нескольких различных машинных языках! Каждый, кто серьезно интересуется компьютерами, должен рано или поздно изучить по крайней мере один машинный язык. Машинный язык помогает программисту понять, что фактически происходит внутри компьютеров. Зная основы одного машинного языка, можно легко освоить характеристики любого другого. Информатика во многом связана с механизмами достижения целей высокого уровня на основе работы с компонентами низкого уровня.

Программное обеспечение для MMIX практически для любого реального компьютера можно загрузить с Web-узла этой книги (см. ii). Весь авторский исходный код для MMIX приводится в книге *MMIXware [Lecture Notes in Computer Science 1750 (1999)]*. Далее эта книга называется “документация *MMIXware*”.

1.3.1'. Описание MMIX

MMIX — это полиненасыщенный и на 100% натуральный органический компьютер*. Как и у большинства компьютеров, у него есть идентификационный номер — 2009. Этот номер получен следующим образом: взяли 14 очень похожих на MMIX реальных компьютеров, на которых можно легко имитировать MMIX, а затем нашли среднее значение их номеров, взятых с равными весовыми коэффициентами:

$$\begin{aligned} & (\text{CrayI} + \text{IBM801} + \text{RISCII} + \text{ClipperC300} + \text{AMD29K} + \text{Motorola88K} \\ & \quad + \text{IBM601} + \text{IntelI960} + \text{Alpha21164} + \text{POWER2} + \text{MIPSR4000} \\ & \quad + \text{HitachiSuperH4} + \text{StrongARM110} + \text{Sparc64})/14 \\ & = 28126/14 = 2009. \end{aligned} \tag{1}$$

Это же число можно получить значительно проще — прочитать слово MMIX как римское число.

Биты и байты. MMIX работает с последовательностями нулей и единиц, которые называются двоичными цифрами, или *битами*. Обычно MMIX обрабатывает сразу по 64 бита. Вот пример типичной последовательности 64 битов.

$$\underline{100111100011011101111001101110010111111010010100111110000010110} \tag{2}$$

* Аналогия с полиненасыщенными жирами, широко рекламируемыми сегодня по всему миру. — *Примеч. ред.*