

*Посвящается Джеку и Кенди Ирвин*

---

# Предисловие

В основу четвертого издания этой книги положено описание структуры процессоров фирмы Intel, называемой IA-32, сделанное с точки зрения программиста. Материал книги может использоваться при изучении университетского курса, в основу которого положены перечисленные ниже дисциплины:

- программирование на языке ассемблера;
- основы вычислительных систем;
- основы построения вычислительных систем.

Несмотря на то, что первоначально эта книга задумывалась как учебник по программированию на языке ассемблера для студентов начальных курсов университетов, со временем она трансформировалась в нечто большее. В настоящее время ее используют во многих университетах при изучении вводных курсов, посвященных архитектуре компьютерных систем. Например, в Международном университете Флориды (Florida International University) на основе этой книги читается курс *Основы вычислительных систем*, который предшествует более сложному курсу, посвященному архитектуре вычислительных систем.

В настоящее издание книги включен материал, необходимый для изучения последующих курсов, посвященных архитектуре компьютеров, операционных систем и созданию компиляторов:

- концепция виртуальной машины;
- элементарные булевы операции;
- цикл выполнения команды;
- временные циклы обращения к памяти;
- механизмы прерывания и опроса;
- многоступенчатая конвейерная обработка;
- суперскалярная архитектура;
- многозадачность;
- загрузка программ в память и их выполнение;
- двоичное представление чисел с плавающей запятой.

Другие темы этой книги непосредственно относятся к описанию архитектуры процессоров семейства IA-32. В них используется информация, полученная из соответствующих фирменных руководств:

- адресация и страничная организация памяти в защищенном режиме (protected mode) IA-32;
- сегментация памяти в реальном режиме адресации;

- обработка прерываний;
- работы с устройствами ввода-вывода на уровне портов;
- кодирование машинных команд.

При создании некоторых примеров, рассмотренных в книге, автором был использован материал из курса информатики, который изучают студенты старших курсов:

- алгоритмы сортировки и поиска;
- структуры данных языков высокого уровня;
- теория конечных автоматов;
- примеры оптимизации кода.

Данное издание отличается некоторыми особенностями, относящимися к программированию:

- более полное и логичное описание структур определения данных;
- более подробное описание режимов адресации;
- упрощены библиотеки объектных модулей, что позволяет для выполнения практически всех процедур задавать минимальное количество входных параметров; добавлены новые процедуры, позволяющие выводить дампы содержимого регистров процессора и участков памяти, а также работать с таймером;
- всесторонне представлена методика разработки программ по принципу “сверху вниз”;
- при написании кода программ используются блок-схемы;
- приведено исчерпывающее описание директив, макрокоманд и операторов языка ассемблера; в частности, полностью описаны директивы PROC, PROTO и INVOKE и продемонстрированы примеры их использования;  
более полно описаны структуры, включая вложенные структуры и массивы структур;
- описаны операторы блочно-структурного программирования, такие как IF, WHILE и REPEAT (это одна из развитых возможностей компилятора MASM);
- приведены начальные сведения по работе с видеоадаптерами, как через прерывания BIOS, так и с помощью методик прямого отображения памяти;
- описан программный интерфейс мыши;
- рассмотрен процесс создания терминальных приложений Win32 с использованием прямых вызовов библиотечных функций ядра Windows (Kernel32);
- приведено большое количество примеров работы с массивами.

**Учебник по программированию.** Важно отметить, что материал данной книги подобран в соответствии с ее первоначальным замыслом — научить студентов писать и отлаживать программы на уровне машинных кодов. Она никогда не заменит собой полноценный учебник по архитектуре компьютеров, но позволит студентам получить из первых рук бесценный опыт в написании программ и продемонстрирует, как на самом деле работает

компьютер. Значение этого невозможно переоценить, поскольку сам процесс обучения происходит в непосредственном контакте с машиной. При изучении инженерных дисциплин студенты создают макеты, а при изучении программирования — они пишут программы. В обоих случаях они приобретают незабываемый опыт, который позволит им работать на любом компьютере под управлением любой операционной системы.

**Реальный и защищенный режимы адресации.** Большинство преподавателей высказало свое мнение о необходимости перехода к 32-разрядному режиму программирования, в котором используется модель защищенной памяти, разработанная фирмой Intel. В этом издании книги внимание особенно акцентируется на 32-разрядном защищенном режиме работы процессора, однако в нем также сохранены главы из предыдущего издания, посвященные исключительно режиму реальной адресации процессора. В частности, отдельные главы посвящены использованию в программах прерываний BIOS для работы с клавиатурой, видеоадаптером (включая графический режим его работы) и мышью. Предусмотрена также глава, посвященная исключительно программированию в среде MS DOS с использованием вызовов его функций через программное прерывание. Это позволяет учащимся приобрести некоторый опыт в программировании, напрямую взаимодействия со встроенными программными и аппаратными средствами.

Практически все примеры, приведенные в первой части книги, являются 32-разрядными текстово-ориентированными приложениями, выполняющимися в защищенном режиме с использованием линейной (несегментированной) модели памяти (flat memory model). Здесь все упрощено до предела. Учащимся больше не нужно заботиться о сегментированной системе адресации. В книгу включены специально выделенные разделы и примечания, в которых описываются небольшие отличия при программировании в защищенном и реальном режимах адресации. Большинство различий удалось удачно нивелировать благодаря двум библиотекам объектных модулей, находящимся на прилагаемом к книге компакт-диске.

**Библиотеки объектных модулей.** На прилагаемом к книге компакт-диске записаны две библиотеки объектных модулей, которые используются учащимися для выполнения основных операций ввода-вывода в процессе выполнения примеров. 32-разрядная версия библиотеки Irvine32.lib предназначена для поддержки терминальных приложений Win32, выполняющихся в любой версии операционной системы Windows. 16-разрядная версия библиотеки Irvine16.lib используется при написании примеров для систем MS DOS, Windows и эмуляторов системы DOS в среде Linux. Все функции из этих двух библиотек будут последовательно описываться по мере изложения нового материала в главах этой книги. Таким образом, читатели при необходимости смогут самостоятельно изменять коды этих функций. Следует заметить, что библиотеки объектных модулей используются в описываемых на страницах книги примерах только ради удобства. Это отнюдь не означает, что учащиеся не должны самостоятельно изучать, как работает та или иная функция ввода-вывода.

**Прилагаемые программные проекты и примеры.** Все описанные в книге примеры программ были протестированы с помощью компиляторов Microsoft Macro Assembler (MASM) версии 6.15 и Borland TASM версий 4.0 и 5.0. Однако некоторые из используемых в них конструкций ассемблера компиляторы фирмы Borland поддерживают не полностью.

*Информация на Web-сервере.* Обновления и исправления к этой книге можно получить, посетив сопровождающий ее Web-сервер, находящийся по адресу <http://www.nuvisionmiami.com/books/asm>. Там же в разделе для преподавателей можно получить код дополнительных программных проектов, которые предложены в качестве упражнений для самостоятельного выполнения учащимися в конце каждой главы.

Если по каким-либо причинам связаться с этим Web-сервером будет невозможно, то информацию об этой книге и ссылку на действующий Web-сервер всегда можно найти на сервере издательства Prentice Hall ([www.prenhall.com](http://www.prenhall.com)), используя поиск по названию книги или по полному имени автора — **Kip Irvine**. С автором также можно связаться по адресу: [kip@nuvisionmiami.com](mailto:kip@nuvisionmiami.com).

## Цели книги

При написании книги автор ставил перед собой несколько основных целей, которые в конечном итоге должны повысить интерес у учащихся к изучению тем, относящихся к языку ассемблера. Все они перечислены ниже.

- Описать архитектуру процессоров Intel семейства IA-32 и их программирование.
- Дать сведения о директивах, макрокомандах и операторах языка ассемблера и описать структуру программ.
- Привести конкретные методики программирования и показать, как с помощью языка ассемблера можно создавать как системные, так и прикладные программы.
- Описать работу с оборудованием на уровне машинных команд.
- Описать методы взаимодействия между программами на языке ассемблера, операционной системой и другими прикладными программами.

Однако основная цель написания этой книги — помочь учащимся в решении поставленных перед ними программных задач на машинном уровне и выработать у них машинно-ориентированный способ мышления. С этой точки зрения очень важно, чтобы они представляли себе центральный процессор компьютера в виде некоего интерактивного средства и научились непосредственно (насколько это возможно) отслеживать каждое из выполняемых им действий. И здесь нельзя забывать об отладчике как одном из мощных средств программиста, с помощью которого можно не только выявить ошибки в программе, но и изучить работу той или иной команды процессора и даже внутреннюю структуру операционной системы. Преподавателю стоит всячески поощрять стремление у учащихся “заглянуть за ширму” языков высокого уровня. Это позволит им осознать, что большинство языков программирования создавалось в целях написания переносимых программ, не привязанных к оборудованию того компьютера, на котором они выполняются.

Кроме коротких примеров, на прилагаемом к этой книге компакт-диске содержится порядка 115 готовых программ. С их помощью продемонстрирована работа команд или проиллюстрированы идеи, описываемые в книге. В конце книги приведены различные справочные материалы, такие как описание программных прерываний системы MS DOS и мнемоник команд процессора. Находящаяся на том же компакт-диске обширная библиотека объектных модулей окажет существенную помощь учащимся при написании их

первых программ. А на основе включенной в книгу библиотеки макрокоманд учащиеся и преподаватели смогут создавать собственные конструкции языка.

**Дополнительные требования.** Читатели должны быть знакомы, по крайней мере, с одним из языков высокого уровня (предпочтительно с такими, как Pascal, Java, C или C++). В одной из глав углубленно рассматривается интерфейс языка C++, поэтому вам не помешает иметь под рукой один из компиляторов этого языка. Автор использовал эту книгу при изложении базовых курсов как по информатике и управлению информационными системами, так и при преподавании инженерных дисциплин. В тех примерах, где понадобится продемонстрировать взаимодействие между программами на языке ассемблера и программами, написанными на языке высокого уровня, используются компиляторы Microsoft Visual C++ 6.0 и Borland C++ 5.0.

## Особенности книги

**Полный текст листингов программ.** Все исходные коды примеров, приведенных в книге, помещены на прилагаемый компакт-диск. Дополнительные примеры можно также найти, посетив Web-страницу автора. В обширную библиотеку объектных модулей, описанную в книге, включено более 30 процедур, упрощающих ввод-вывод данных, целочисленные вычисления, работу с диском и файлами, а также операции со строками. На начальных этапах обучения учащиеся могут использовать эту библиотеку при разработке собственных программ. В дальнейшем, при создании собственных процедур, они могут расширять эту библиотеку. Учащимся доступен полный исходный код как 16-разрядной, так и 32-разрядной библиотек.

**Логика программирования.** В двух главах книги описаны логические операции и манипуляции с битами. В них сознательно сделана попытка связать операции языков высокого уровня с низкоуровневыми машинными командами. Это должно помочь студентам создавать более эффективные программы и лучше понять, как компилятор языка высокого уровня генерирует объектный код.

**Основные сведения по оборудованию и операционным системам.** В первых двух главах книги рассматриваются основы работы аппаратного обеспечения компьютера и способы представления данных. Здесь описана двоичная система счисления, архитектура процессора, флаги состояния и способы адресации памяти. Краткие обзоры аппаратного обеспечения и основных этапов развития семейства процессоров Intel помогут студентам лучше понять строение компьютерных систем, на которых они работают.

**Принципы структурного программирования.** Начиная с главы 5 особое внимание уделяется созданию процедур и разбиению программы на модули. Описываются более сложные задачи, для решения которых от учащегося потребуются четкое структурирование своих программ. Это позволит им решить задачу любой сложности.

**Принципы хранения данных на дисках.** Учащиеся изучат основные принципы работы подсистемы дисковой памяти компьютера IBM PC, ознакомятся с оборудованием и соответствующим ему программным интерфейсом.

**Создание библиотеки объектных модулей.** Учащиеся смогут свободно добавлять свои процедуры к описанной в книге библиотеке объектных модулей, а также создавать собственные библиотеки. Они изучат один из подходов в программировании, который заключается в использовании стандартных блоков и процедур. Учащиеся также научатся создавать универсальный программный код, который затем может использоваться во многих других программах.

**Макрокоманды и структуры.** Одна из глав книги посвящена созданию структур, объединений и макрокоманд, которые важны как в языке ассемблера, так и в языках высокого уровня. Использование в макрокомандах директив условной компиляции, а также ряда специализированных операторов, позволяет повысить их функциональные возможности и повысить свой профессиональный уровень.

**Интерфейс с языками высокого уровня.** Отдельная глава посвящена совместному использованию ассемблера и языков высокого уровня С и С++. Эта информация пригодится тем учащимся, которые в дальнейшем планируют работать с языками высокого уровня. Благодаря ей они научатся оптимизировать коды своих программ и познакомятся с реальными примерами оптимизации кода компилятора С++.

**Дополнительные материалы.** Все листинги программ, описанные в книге, находятся на прилагаемом компакт-диске или на Web-сервере автора. Автором предусмотрена также отдельная программа поддержки преподавателей. Они могут получить доступ к наборам тестовых заданий, ответам на все заданные в книге вопросы и упражнения, а также к слайдам презентации, выполненной в Microsoft PowerPoint. За подробной информацией обращайтесь на Web-сервер автора, находящийся по адресу <http://www.nuvisionmiami.com/books/asm>.

## Структура книги

Главы 1–8 нужно обязательно прочитать друг за другом; в них описаны основные понятия языка ассемблера. Автор уделил особое внимание строгости и последовательности изложения материала. Ниже представлен краткий обзор глав книги.

- **Глава 1, “Основные понятия”.** Использование языка ассемблера, основные понятия, машинный код, представление данных.
- **Глава 2, “Структура процессоров семейства IA-32”.** Основные принципы создания микропроцессорных систем, понятие о цикле выполнения команды, структура процессоров семейства IA-32, адресация памяти, компоненты микропроцессорных систем, подсистема ввода-вывода.
- **Глава 3, “Основы ассемблера”.** Введение в язык ассемблера, компоновка и отладка программ, определение констант и переменных.
- **Глава 4, “Пересылка данных, адресация памяти и целочисленная арифметика”.** Основные команды, предназначенные для пересылки данных и выполнения арифметических операций, типичный цикл разработки программы (ассемблирование, компоновка, выполнение), операторы, директивы, выражения, команды JMP и LOOP, косвенная адресация.
- **Глава 5, “Процедуры”.** Подключение внешних библиотек, описание библиотеки объектных модулей автора, команды работы со стеком, определение и использование процедур, блок-схемы алгоритмов программы и методика разработки программ по принципу “сверху вниз”.
- **Глава 6, “Условные вычисления”.** Команды сравнения и логические операции, условные переходы и циклы, логические структуры высокого уровня и теория конечных автоматов.

- **Глава 7, “Целочисленная арифметика”.** Команды простого и циклического сдвига и полезные примеры их применения, умножение и деление, расширенное сложение и вычитание, арифметические операции над числами, представленными в ASCII-виде и упакованном десятичном формате.
- **Глава 8, “Профессиональные методики программирования”.** Стековые фреймы, локальные переменные, объявление параметров, рекурсия и способы передачи параметров.

Главы 9–16 можно изучать в любом порядке, который должен определить преподаватель в зависимости от тематики излагаемого им курса.

- **Глава 9, “Строки и массивы”.** Основные операции со строками, работа с массивами символов и целых чисел, двумерные массивы, сортировка и поиск.
- **Глава 10, “Структуры и макроопределения”.** Описание структур и макроопределений, директивы условного ассемблирования и определение повторяющихся блоков.
- **Глава 11, “Создание 32-разрядных программ для Windows”.** Адресация памяти в защищенном режиме работы процессора, использование Microsoft Windows API для отображения текста и цветов на терминале.
- **Глава 12, “Интерфейс с языками программирования высокого уровня”.** Соглашение о передаче параметров, встраиваемый ассемблерный код, вызов программ, написанных на языке ассемблера, из модулей на C и C++ и наоборот.
- **Глава 13, “Создание 16-разрядных программ для MS DOS”.** Вызов функций системы MS DOS посредством программных прерываний, предназначенных для выполнения операций ввода-вывода с терминала и работой с файлами.
- **Глава 14, “Основы работы с диском”.** Дисковые подсистемы памяти, секторы, кластеры, каталоги, таблица размещения файлов, обработка кодов ошибок системы MS DOS, работа с устройствами ввода-вывода и каталогами.
- **Глава 15, “Программирование с использованием функций BIOS”.** Ввод с клавиатуры, отображение информации на экране монитора в текстовом и графическом режимах, работа с мышью.
- **Глава 16, “Программируем для MS DOS на уровне эксперта”.** Создание многосегментных программ, запуск программы на выполнение и обработка прерываний.
- **Глава 17, “Дополнительные темы”.** Работа с оборудованием на уровне портов ввода-вывода, кодирование машинных команд, двоичное представление чисел с плавающей запятой и команды для работы с ними.
- **Приложение А, “Установка и использование компилятора MASM”.** Описаны подготовительные операции по установке и работе с ассемблером.
- **Приложение Б, “Система команд процессоров Intel”.** Справочник по системе команд процессоров Intel.
- **Приложение В, “Функции прерывания BIOS и MS DOS”.** Описание прерываний BIOS и MS DOS.
- **Приложение Г, “Справочник по MASM”.** Описание компилятора MASM.
- **Приложение Д, “Справочная информация”.** Приведена таблица ASCII-кодов и скан-кодов клавиатуры.



## Дополнительные материалы

На своих курсах по языку ассемблера я обычно использую различные вспомогательные материалы, такие как справочники, списки вопросов, электронные презентации, слайды и рабочие тетради. Поэтому я попытался создать программу поддержки преподавателей. Если вы сочтете, что мной пропущено что-то важное, пожалуйста, свяжитесь со мной и, возможно, я смогу вам помочь. Ниже перечислены дополнительные материалы, которые вы можете найти в книге, на прилагаемом к ней компакт-диске либо на моем Web-сервере.

**Справочные материалы по языку ассемблера.** На прилагаемом к книге компакт-диске находится интерактивный материал, в котором описаны такие важные темы, как преобразование чисел, режимы адресации, использование регистров процессора, отладка программ и двоичное представление чисел с плавающей запятой. Он оформлен в виде документов HTML, что облегчает работу с ним и позволяет учащимся и преподавателям добавлять собственный материал. Этот же справочник находится и на моем Web-сервере.

**Средства отладки.** Руководства по использованию Microsoft CodeView, Microsoft Visual Studio и Microsoft Windows Debugger (WinDbg).

**Справочник по прерываниям BIOS и MS DOS.** В приложении В приведен краткий перечень функций часто используемых прерываний для работы с видео (INT 10h), клавиатурой (INT 16h) и системой MS DOS (INT 21h).

**Система команд процессора.** В приложении Б описано большинство непривилегированных команд процессоров семейства IA-32. Для каждой команды приведен список выполняемых ею действий, описан синтаксис и перечислены флаги, которые она изменяет.

**Презентации в формате PowerPoint.** На моем Web-сервере в разделе для преподавателей находится полный комплект презентаций, выполненных в формате Microsoft PowerPoint, который взят из моего курса лекций.

**Ответы на вопросы.** Ответы на все вопросы с нечетными номерами находятся на моем Web-сервере. Ответы на вопросы с четными номерами могут получить только преподаватели опять же через мой Web-сервер.

## Благодарности

Выражаю огромную благодарность Петре Ректер (Petra Recter), старшему редактору отдела литературы по информатике издательства Prentice Hall, которая оказывала мне дружескую помощь и поддержку во время написания четвертого издания этой книги. Также хочу поблагодарить:

- Ирвина Цукера (Irwin Zucker) — за координацию работы над этой книгой;
- Боба Инглхардта (Bob Englehardt) — за большую помощь, оказанную при подготовке прилагаемого к книге компакт-диска;
- Камиллу Трентакосте (Camille Trentacoste) — за руководство проектом.

Я хочу выразить особую признательность и поблагодарить трех преподавателей, которые постоянно морально поддерживали меня при работе над книгой, дали мне ряд ценных педагогических указаний и скрупулезно прочитали всю книгу. Это:

- **Джеральд Кахилл** (Gerald Cahill) из колледжа Antelope Valley, который высказал много ценных замечаний и внес огромное количество исправлений в рукопись книги. В этой книге я постарался реализовать практически все его идеи.
- **Джеймс Бринк** (James Brink) из университета Pacific Lutheran, давший мне много ценных советов. Он автор собственной 32-разрядной библиотеки объектных модулей. Это, кстати, вдохновило меня на создание аналогичной библиотеки при написании четвертого издания моей книги.
- **Мария Колатис** (Maria Kolatis) из колледжа графства Моррис (County College of Morris), давшая весьма резкую рецензию на мою книгу. Это заставило меня переосмыслить систему подачи материала по многим темам.

Кроме того, я хочу поблагодарить еще троих человек, приложивших массу усилий в процессе вычитывания корректуры этой книги и подготовки примеров:

- **Тома Джойса** (Tom Joyce), главного инженера фирмы Premier Heart, LLC;
- **Джеффа Уотке** (Jeff Wothke) из университета Purdue Calumet.
- **Тима Доунью** (Tim Downey) из Международного университета Флориды (Florida International University).

Рукопись этой книги прочитали несколько моих лучших студентов из Международного университета Флориды и сделали весьма ценные замечания. Это: Сильвия Майнер (Sylvia Miner), Эрик Кобрин (Eric Kobrin), Хосе Гонсалес (Jose Gonzalez), Ян Меркел (Ian Merkel), Пабло Маурин (Pablo Maurin) и Хьен Нгуэн (Hien Nguyen). Решения большинства упражнений по программированию выполнил Андре Альтамирано (Andres Altamirano).

**Рецензенты.** Выражаю огромную благодарность перечисленным ниже людям, выполнившим чтение корректуры отдельных глав этой книги. Почти все из них являются преподавателями. Это:

- Кортни Эймор (Courtney Amor), студент математического факультета Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе (UCLA);
- Рональд Дэвис (Ronald Davis) из колледжа Kennedy-King;
- Ата Элахи (Ata Elahi) из Южного университета штата Коннектикут (Southern Connecticut State University);
- Лери Хайсмит (Leroy Highsmith) из Южного университета штата Коннектикут;
- Саид Икбал (Sajid Iqbal) из Фаранского технологического института (Faran Institute of Technology);
- Чарльз Джонс (Charles Jones) из колледжа Maryville;
- Винсент Кайс (Vincent Kayes) из колледжа Mount St. Mary, Ньюбург, Нью-Йорк;
- Барри Микер (Barry Meaker), инженер-конструктор из корпорации Boeing;
- М. Навац (M. Nawaz) из колледжа по информатике OPSTEC;
- Кам Энг (Kam Ng) из Китайского университета в Гонконге;

- Эрни Филипп (Ernie Philipp) из государственного колледжа Северной Вирджинии (Northern Virginia Community College);
- Бойд Стивенс (Boyd Stephens) из UGMO Research, LLC;
- Захар Тейлор (Zachary Taylor) из Колумбийского колледжа (Columbia College);
- Виржиния Уэлш (Virginia Welsh) из государственного колледжа графства Балтимор (Community College of Baltimore County);
- Роберт Воркман (Robert Workman) из Южного университета штата Коннектикут;
- Тянь Жень Ву (Tianzheng Wu) из колледжа Mount Mercy;
- Мэтью Жукоски (Matthew Zukoski) из университета Lehigh.

Благодаря необычайной щедрости компании Microsoft, прилагаемый к этой книге компакт-диск содержит копию программы Macro Assembler.

Фирма Helios Software Solutions Inc. разрешила мне поместить на компакт-диск пробную версию текстового редактора TextPad.

## От издательства

Вы, читатель этой книги, и есть главный ее критик и комментатор. Мы ценим ваше мнение и хотим знать, что было сделано нами правильно, что можно было сделать лучше и что еще вы хотели бы увидеть изданным нами. Нам интересно услышать и любые другие замечания, которые вам хотелось бы высказать в наш адрес.

Мы ждем ваших комментариев и надеемся на них. Вы можете прислать нам бумажное или электронное письмо, либо просто посетить наш Web-сервер и оставить свои замечания там. Одним словом, любым удобным для вас способом дайте нам знать, нравится или нет вам эта книга, а также выскажите свое мнение о том, как сделать наши книги более интересными для вас.

Посылая письмо или сообщение, не забудьте указать название книги и ее авторов, а также ваш обратный адрес. Мы внимательно ознакомимся с вашим мнением и обязательно учтем его при отборе и подготовке к изданию последующих книг. Наши координаты:

E-mail: [info@williamspublishing.com](mailto:info@williamspublishing.com)  
WWW: <http://www.williamspublishing.com>

Информация для писем из:

России: 115419, Москва, а/я 783  
Украины: 03150, Киев, а/я 152