



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Информатика и системы управления
Кафедра ИУ-5 «Системы обработки информации и управления»

РЕФЕРАТ
«Генеалогическое древо 16-битных МП Intel»

Выполнил студент: Белоусов Евгений Александрович

фамилия, имя, отчество

Группа: ИУ5-71Б

Проверил доцент кафедры ИУ-5, Нестеров И.Г.

подпись, дата

Оценка _____ Дата _____

2020 г.

Оглавление

Вступление	3
Шестнадцатитбитная архитектура	3
Шестнадцатитбитные процессоры компании Intel	4
Генеалогическое дерево 16-битных микропроцессоров Intel.	4
Корпорация Intel	6
Intel 8086	7
Технические характеристики	7
Предшественники	8
Разработка	9
Описание	9
Регистры	10
Шины	10
Работа с памятью	11
Система команд	13
Варианты микропроцессора, аналоги и конкуренты	14
Аппаратные режимы	14
Микросхемы поддержки	15
Микрокомпьютеры на основе Intel 8086	16
Intel 8088	18
Технические характеристики	18
Аналоги	18
Описание	19
Intel 80186	20
Технические характеристики	20
Описание	20
Новые компоненты	21
Семейства процессоров Intel 80186	21
Корпус	22
Новые инструкции	22
ПК на базе процессоров семейства Intel 80186	22
Intel 80188	24
Технические характеристики	24
Описание	24
Intel 80286	26

Технические характеристики	26
Описание	26
Регистры	27
Инструкции.....	27
Организация памяти	27
Режимы работы процессора Intel 80286	29
Кольца защиты.....	31
Поддержка операционными системами	31
Компьютеры на базе процессора Intel 80286	34
Конкурентные решения	34

Вступление

В настоящий момент шестнадцатибитные микропроцессоры почти не встречаются в персональных компьютерах, однако в 70-х—80-х годах прошлого века многие коммерчески-успешные компьютеры использовали процессоры данной архитектуры.

Шестнадцатибитная архитектура

Разрядность микропроцессора определяется разрядностью внутренних основных регистров микропроцессора и способностью производить операции над ними. Разрядность адресации памяти и разрядность шины на разрядность процессора не влияют. Так, например, шестнадцатиразрядные системы могут адресовать до 16 МБ ОЗУ при наличии 24-разрядной шины памяти. При этом существуют примеры шестнадцатиразрядных микропроцессоров, адресующих гораздо больший размер памяти. В то же время существуют шестнадцатиразрядные микропроцессоры, которые адресуют гораздо меньший объём памяти (меньше 1 КБ) или даже вообще не умеют работать с внешней памятью.

НР ВРС, представленный в 1975 году, был первым 16-разрядным микропроцессором в мире. Примеры известных 16-разрядных процессоров: DEC F11, J11, T11, Intel 8086, 80286, WDC 65C816, Texas Instruments TMS9900, Zilog Z8000.

16-разрядное целое может хранить 2^{16} (или 65 536) уникальных значений. В беззнаковом представлении это значения целых чисел от 0 до 65 535. Таким образом, процессоры с 16-разрядной адресацией памяти могут получить прямой доступ 64 КБ адресуемой памяти.

16-разрядные процессоры были почти полностью вытеснены в отрасли персональных компьютеров, но по-прежнему используется в самых разнообразных встраиваемых приложениях. Например, 16-разрядный процессор XAP используется во многих ASIC.

Шестнадцатититные процессоры компании Intel

- Intel 8086
- Intel 8088
- Intel 80186
- Intel 80188
- Intel 80286

Генеалогическое дерево 16-битных микропроцессоров Intel.

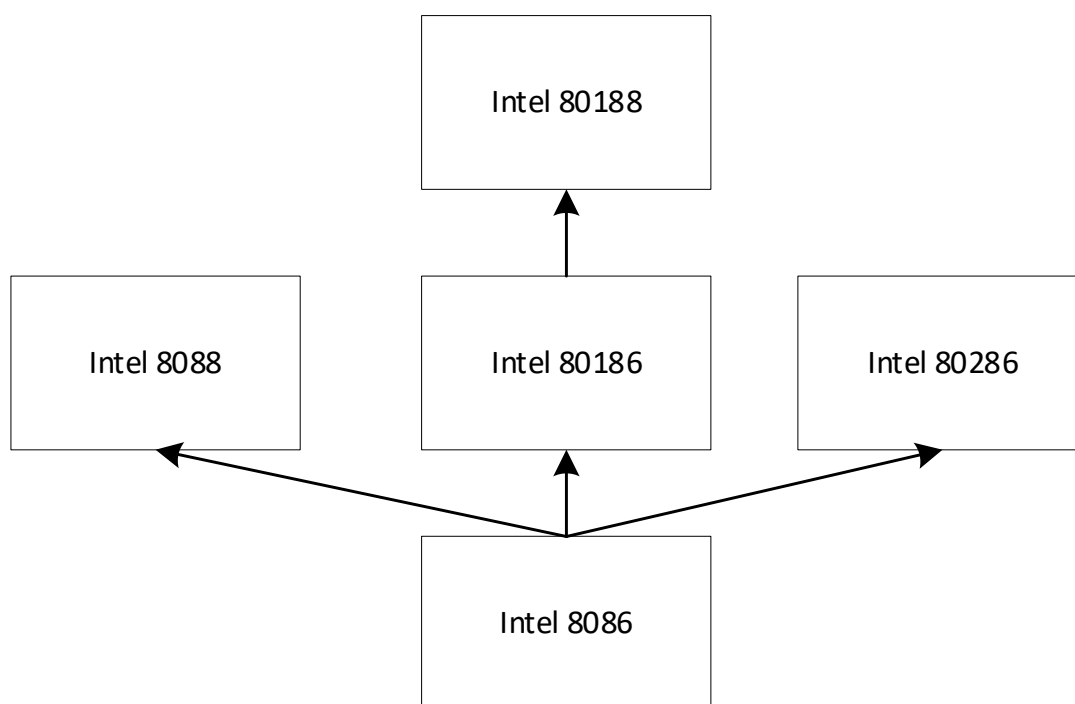


Рисунок 1. Генеалогическое дерево 16-битных мп Intel

Первым 16-битным процессором компании Intel был микропроцессор Intel 8086. Он был разработан как временная замена другого более амбициозного 32-битного проекта. Из-за высокой стоимости (в сравнении с конкурентами) и большего количества микросхем процессор не получил широкого распространения.

Микропроцессор Intel 8088 является урезанной версией микропроцессора Intel 8086. Главное отличие в использовании 8-битной шины данных, что сделало возможным его совместное использование со старыми (дешевыми) микросхемами. Поэтому данный микропроцессор был

избран для использования в компьютерах компании IBM, получивших очень широкое распространение.

Микропроцессор Intel 80186 является развитием микропроцессора Intel 8086. В отличие от своего предшественника он включает в себя средства, для реализации которых ранее требовалось 10 отдельных микросхем.

Микропроцессор Intel 80188 представляет собой микроконтроллер Intel 80186 с 8-битной внешней шиной данных.

Микропроцессор Intel 80286 является развитием микропроцессора Intel 8086. Он разрабатывался параллельно с Intel 80186, однако имеет большую производительность.

Корпорация Intel

Intel является крупнейшим в мире производителем микропроцессоров. На протяжении многих лет корпорация производит около двух третей мирового рынка микропроцессоров. Компания была основана в Калифорнии в 1957 году.

Изначально компания специализировалась на производстве микросхем, однако с 1971 года начала выпускать микропроцессоры. В течение 10 лет компания утратила лидирующие позиции в области производства микросхем, однако это было скомпенсировано выпуском новых коммерчески-успешных микропроцессоров.

На данный момент главным конкурентом Intel на ранке микропроцессоров является компания AMD (Advanced Micro Devices). Обе компании стараются сделать все более производительные процессоры, чтобы занять большее место на рынке.

Однако в момент начала производства процессоров были и другие компании, составляющие большую конкуренцию для Intel.

Intel 8086

Intel 8086 — первый 16-битный микропроцессор компании Intel. Разрабатывался с весны 1976 года и выпущен 8 июня 1978 года. Реализованная в процессоре архитектура набора команд стала основой широко известной архитектуры x86. Процессоры этой архитектуры стали наиболее успешной линией процессоров Intel. Современные процессоры этой архитектуры сохраняют возможность выполнять все команды этого набора.

Технические характеристики

- Дата анонса: 8 июня 1978 года
- Тактовая частота: от 4 до 16 МГц
 - производительность:
 - 5 МГц (модель 8086), при частоте 4,77 МГц (IBM PC) — 0,33 MIPS
 - 8 МГц (модель 8086-2 — 0,66 MIPS)
 - 10 МГц (модель 8086-1 — 0,75 MIPS)
 - Приблизительные затраты времени на операции, процессорных циклов (ЕА — время, необходимое для расчёта эффективного адреса памяти, которое варьируется от 5 до 12 циклов):
 - Суммирование: 3—4 (регистровое), (9—25) +ЕА — при операциях с памятью
 - Умножение без знака: 70—118 (регистровое), (76—139) +ЕА — при операциях с памятью
 - Умножение знаковое: 80—154 (регистровое), (86—160) +ЕА — при операциях с памятью
 - Деление без знака: 80—162 (регистровое), (86—168) +ЕА — при операциях с памятью
 - Деление знаковое: 101—184 (регистровое), (107—190) +ЕА — при операциях с памятью
 - Перемещение данных: 2 (между регистрами), (8—14) +ЕА — при операциях с памятью

- Разрядность регистров: 16 бит
- Разрядность шины данных: 16 бит
- Разрядность шины адреса: 20 бит
- Объём адресуемой памяти: 1 Мбайт
- Адресное пространство I/O: 64 Кбайт
- Количество транзисторов: 29 000
- Техпроцесс: 3000 нм (3 мкм)
- Площадь кристалла: ~30 мм² (по другим данным, 16 мм²)
- Максимальное тепловыделение корпуса: 1,75 Вт (фактическое потребление — 0,65 Вт)
- Напряжение питания: +5 В
- Разъём: DIP-40
- Корпус: 40-контактный керамический или пластиковый DIP, позже — 56-контактный QFP и 44-контактный PLCC
- Поддерживаемые технологии: 98 инструкций
- Объём очереди команд: 6 байт (кэш-буфер команд)

Предшественники

В 1972 году Intel выпустила 8008, первый 8-битный микропроцессор, который использовал набор инструкций, разработанный корпорацией Datapoint для программируемых компьютерных терминалов, пригодный и для универсальных процессоров. Этот процессор требовал нескольких дополнительных микросхем для использования в полноценном компьютере, потому, что использовал маленький корпус всего лишь с 18 выводами, который использовался для микросхем DRAM, производимых Intel, и таким образом не мог иметь отдельную шину адресов.

Через два года, в 1974 году, был запущен 8080, в новом, 40-выводном DIP-корпусе, изначально разработанном для калькуляторов. Он имел отдельную шину адреса и расширенный набор инструкций, кодово-совместимый с 8008, дополненный несколькими 16-битными инструкциями

для удобства программирования. Процессор Intel 8080 часто называют первым по-настоящему удобным и полезным микропроцессором. В 1977 году он был заменён на Intel 8085, с одним питающим напряжением (+5 В) вместо трёх различных на предшественнике и другими усовершенствованиями. Наиболее известными конкурентами были 8-битные Motorola 6800 (1974), Microchip PIC16X (1975), MOS Technology 6502 (1975), Zilog Z80 (1976) и Motorola 6809 (1978).

Разработка

Рынок 8-разрядных микропроцессоров в конце 1970-х годов был переполнен, и Intel, вместо того чтобы попытаться закрепиться на нём, выпускает свой первый 16-битный процессор. Проект 8086 был начат в мае 1976 года и задумывался как временная замена для амбициозного и задерживающегося проекта iAPX 432 (также известного как 8800). Это была попытка, с одной стороны, противостоять менее запаздывавшим 16- и 32-битным процессорам конкурентов (таких как Motorola, Zilog и National Semiconductor), а с другой — борьбы с угрозой от Zilog Z80 (разработанного командой под руководством ушедшего из Intel Федерико Фаджина), который стал очень успешным. Первая версия архитектуры 8086 (система команд, прерывания, работа с памятью и вводом-выводом) была разработана за лето Стивеном Морзе. Потом штат разработчиков был увеличен до четырёх человек, которые представили два основных проектных документа — «8086 Architectural Specifications» и «8086 Device Specifications». Специальные CAD-программы не использовались при разработке, диаграммы были исполнены из текстовых символов. Использовались уже опробованные элементы микроархитектуры и физической реализации, в основном от Intel 8085.

Описание

Процессор Intel 8086 является модернизированным процессором Intel 8080, и несмотря на то, что разработчики не ставили перед собой цель

достичь полной совместимости на программном уровне, большая часть программ, написанных для Intel 8080, могут выполняться и на Intel 8086 после перекомпиляции. Новый процессор несёт в себе большое количество изменений, которые позволили сильно (до 10 раз) увеличить производительность в сравнении с предыдущим поколением процессоров компании.

Регистры

В процессоре Intel 8086 имеется 14 16-разрядных регистров: 8 регистров общего назначения (AX, BX, CX, DX), 2 индексных регистра (SI, DI), 2 указательных (BP, SP), 4 сегментных регистра (CS, SS, DS, ES), программный счётчик или указатель команды (IP) и регистр флагов (FLAGS, включает в себя 9 флагов). При этом регистры данных (AX, BX, CX, DX) допускают адресацию не только целых регистров, но и их младшей половины (регистры AL, BL, CL, DL) и старшей половины (регистры AH, BH, CH, DH). Это не только позволило использовать новое на тот момент 16-разрядное программное обеспечение, но и сохранило обратную совместимость с 8-битными программами.

Шины

Размер шины адреса увеличен с 16 бит до 20 бит, что позволило адресовать 1 Мбайт (2^{20} байт) памяти. Шина данных была 16-разрядной. Но в микропроцессоре шина данных и шина адреса использовали одинаковые контакты на корпусе. Это привело к тому, что нельзя было одновременно подавать на системную шину адреса и данные. С помощью мультиплексирования адресов и данных во времени можно использовать всего 20 контактов корпуса, но это уменьшает скорость передачи данных. Так как, что выполнение отдельных команд меньше цикла ввода-вывода, в процессор был введён 6-байтовый буфер команд, это позволяло выполнять, например, команды сложения параллельно командам ввода-вывода.

Работа с памятью

Из-за того что регистры и АЛУ процессора 8086 - 16-битные, накладываются ограничения на операции вычисления адреса и его максимальный размер. Чтобы вычислить адрес, превышающий 16 бит, понадобились бы расширение регистров и АЛУ, и переработка системы команд, что, привело бы к увеличению числа транзисторов, усложнению и удорожанию процессора.

Тем не менее, снижающиеся цены на память делали процессор выгодным для тех применений, где требовалась обработка больших объёмов данных. Одним из требований к новому процессору было расширение адресного пространства. В результате была выбрана компромиссная схема: исполнительный блок (EU) процессора оставлен 16-разрядным, а расширение адресного пространства сделано в блоке интерфейса шины (BIU) процессора путём реализации сегментной адресации памяти, увеличивающей разрядность шины адреса до 20 бит.

Сегментная адресация памяти использует следующий факт: обращения к памяти со стороны процессора можно разделить на обращения к коду программы, обрабатываемым данным и стеку. Обращения к разным типам содержимого памяти отображаются на сегменты – независимые области памяти в расширенном адресном пространстве. В процессоре 8086 для этого используются четыре 16-битных сегментных регистра:

- CS (Code Segment) — сегмент кода
- DS (Data Segment) — сегмент данных
- ES (Extra Segment) — дополнительный сегмент
- SS (Stack Segment) — сегмент стека

Каждый сегментный регистр определяет адрес начала сегмента в памяти, при этом сегменты могут совпадать или пересекаться. По умолчанию при выборке инструкций используется регистр CS, при выполнении

операций со стеком регистр SS, при обращении к данным DS и ES регистры. В случае обращения к данным сегментный регистр по умолчанию может быть изменён путём добавления перед кодом инструкции специального префикса замены сегмента.

При этом в пределах сегмента используются 16-битные исполнительные адреса, хранящиеся в счётчике команд, указателе стека, либо вычисляемые в соответствии с видом адресации, заданном в коде инструкции. Фактически, процессору всегда доступны 4 области памяти размером 64 Кбайт каждая. В случае, если такой объём оказывается недостаточен, приходится включать логику управления сегментными регистрами в программу. Она может существенно замедлять обращение к памяти, поэтому компиляторы с языков высокого уровня для платформы x86 позволяют указывать модель памяти в соответствии с требуемыми объёмами кода и данных.

Физический 20-битный адрес, позволяющий адресовать до 1 Мбайт памяти, получается путём сложения исполнительного адреса и значения сегментного регистра, умноженного на 16. Из-за наличия умножения на 16 сегмент всегда начинается на границе блока в 16 байт, называемого параграфом. Это может приводить к потере некоторого количества памяти, если размер используемых данных сегмента не кратен параграфу. В частности, это стало одной из причин, по которой разработчики отказались от реализации 24-битного адреса в 8086, так как размер параграфа при этом возрастал до 256 байт.

Возможное переполнение при вычислении физического адреса в процессоре 8086 игнорируется. Например, инструкция безусловного перехода по адресу 0010_{16} при значении сегмента кода $FFFF_{16}$ выполнит переход по физическому адресу 0. Этого не происходит в старших моделях процессоров x86, например 80286, имевшем 24 адресных линии, поэтому в компьютерах IBM PC/AT для обеспечения совместимости был введён

специальный вентиль Gate A20, принудительно обнуляющий бит A20 системной шины адреса.

Поскольку в старших моделях процессоров x86 были введены новые способы расширения адресного пространства, способ, используемый процессором 8086, был назван «режимом реальной адресации».

Система команд

Система команд процессора Intel 8086 состоит из 98 команд (и более 3800 их вариаций): 19 команд передачи данных, 38 команд их обработки, 24 команды перехода и 17 команд управления процессором. Возможно 7 режимов адресации. Микропроцессор не содержит команды для работы с числами с плавающей запятой. Данная возможность реализована отдельной микросхемой, называемой математический сопроцессор, который устанавливается на материнской плате. Сопроцессор вовсе не обязательно должен был быть произведён Intel (модель Intel 8087), к примеру, некоторые производители микросхем, такие как Weitek, выпускали более производительные сопроцессоры, чем Intel.

Система команд процессора Intel 8086 включает в себя несколько очень мощных строковых инструкций. Если инструкция имеет префикс REP (повтор), то процессор будет выполнять операции с блоками — перемещение блока данных, сравнение блоков данных, присвоение определённого значения блоку данных определённой величины, и т. д., то есть, одна инструкция 8086 с префиксом REP может выполнять 4—5 инструкций, выполняемых на некоторых других процессорах. Подобные приёмы были реализованы и в других процессорах — Zilog Z80 имел инструкции перемещения и поиска блоков, а Motorola 68000 может выполнять операции с блоками, используя всего две команды.

В микропроцессоре Intel 8086 используется примитивная форма конвейерной обработки. Блок интерфейса с шиной подаёт поток команд к исполнительному устройству через 6-байтовую очередь команд. Таким

образом, выборка и выполнение новых команд может происходить одновременно. Это значительно увеличивает пропускную способность процессора и лишает необходимости ожидать считывание команды из памяти при занятом другими операциями интерфейсе микросхемы.

Варианты микропроцессора, аналоги и конкуренты

Процессор выпускался в керамических и пластмассовых корпусах с 40 выводами. Были доступны версии с частотами 5, 8 и 10 МГц, обозначавшиеся как 8086, 8086-2 и 8086-1.

Основными конкурентами микропроцессора Intel 8086 были Motorola 68000, Zilog Z8000, чипсеты F-11 и J-11 семейства PDP-11, MOS Technology 65C816. В некоторой степени, в области военных разработок, конкурентами являлись процессоры-реализации MIL-STD-1750A.

Аналогами микропроцессора Intel 8086 являлись такие разработки, как NEC V30, который был на 5 % производительнее Intel 8086, но при этом был полностью с ним совместим. Советским аналогом являлся микропроцессор K1810BM86, входивший в серию микросхем K1810.

Аппаратные режимы

Процессоры 8086 могут работать в двух режимах: максимальном и минимальном.

Максимальный режим используется в сложных многопроцессорных системах, он также необходим для работы с математическим сопроцессором 8087. В максимальном режиме для выработки сигналов управления системной шиной необходим системный контроллер 8288.

Минимальный режим используется в однопроцессорных системах. В этом режиме сигналы управления системной шиной процессор формирует сам.

Аппаратный режим определяется схемой включения процессора и не может быть изменён программно. Для задания режима используется вывод

33 (MN/MX), который соединяется либо с источником питания, либо с общим проводом. Изменение состояния вывода 33 меняет функции восьми других выводов процессора, отвечающих за управление системной шиной и связь с другими процессорами.

Микросхемы поддержки

Для создания микропроцессорной системы на основе процессоров 8086 компанией Intel выпускались следующие микросхемы поддержки:

- Intel 8237 — контроллер прямого доступа к памяти
- Intel 8259A — программируемый контроллер прерываний
- Intel 8284 — тактовый генератор
- Intel 8288 — системный контроллер
- Intel 8289 — арбитр системной шины Multibus

Также с процессорами могли использоваться микросхемы, ранее разработанные для процессоров 8080 и 8085:

- Intel 8251 — универсальный синхронно/асинхронный последовательный приёмопередатчик
- Intel 8253 — трёхканальный программируемый интервальный таймер
- Intel 8255 — трёхканальный параллельный интерфейс
- Intel 8257 — контроллер прямого доступа к памяти
- Intel 8271 — контроллер гибких магнитных дисков
- Intel 8273 — контроллер протокола HDLC/SDLC
- Intel 8275 — контроллер ЭЛТ дисплея
- Intel 8279 — контроллер клавиатуры и светодиодного дисплея
- Intel 8282 — 8-битный регистр-защёлка без инверсии
- Intel 8283 — 8-битный регистр-защёлка с инверсией
- Intel 8286 — 8-битный двунаправленный шинный формирователь без инверсии

- Intel 8287 — 8-битный двунаправленный шинный формирователь с инверсией

Микрокомпьютеры на основе Intel 8086

Первоначально процессор Intel 8086 использовался в промышленных системах. Его массовому применению препятствовала довольно высокая цена — 360 долларов на момент анонса. Кроме того, для 16-разрядной подсистемы памяти, используемой процессором, обычно требовалось вдвое больше микросхем по сравнению с 8-разрядной, что увеличивало размеры, сложность и стоимость печатных плат. В связи с этим, руководством Intel ещё в конце разработки Intel 8086 было принято решение о выпуске бюджетной версии. Процессор Intel 8088 на момент анонса стоил 124,8 доллара и использовал 8-разрядную подсистему памяти, что делало его экономически более привлекательным. Он стал основой одного из самых известных персональных компьютеров — IBM PC.

Процессор Intel 8086 применялся:

- в одноплатном компьютере ISBC 86/12 с шиной Multibus, анонсированном корпорацией Intel в 1978 году
- в прототипе одного из первых портативных компьютеров Xerox NoteTaker, представленном в 1978 году. Компьютер содержал три микросхемы Intel 8086 в качестве основного и графического процессоров, а также процессора ввода/вывода. Компьютер остался на стадии прототипа и не выпускался массово
- в одноплатном компьютере SCP200B с шиной S-100, выпускавшемся компанией Seattle Computer Products с ноября 1979 года
- в персональном компьютере Mucron 2000 норвежской компании Mucron, представленном в 1980 году
- в IBM PC совместимом компьютере Olivetti M24, представленном в 1983 году (позже выпускался под маркой AT&T 6300). Процессор работал на

частоте 8 МГц. В компьютер могли устанавливаться как 8-разрядные платы с шиной ISA, так и 16-разрядные платы с разъёмом собственной конструкции, несовместимым с разъёмами IBM PC AT

- в компьютере Apricot PC фирмы Apricot Computers, выпущенном в 1983 году
- в IBM PC совместимом компьютере Compaq Deskpro Model 1 фирмы Compaq, представленном 28 июня 1984 года. Процессор работал на частоте 7,14 МГц, в компьютер могли устанавливаться 8-разрядные платы с шиной ISA
- в моделях 25 и 30 компьютеров IBM PS/2, представленных в 1987 году. Процессор работал на частоте 8 МГц
- в компьютерах PC1512, PC1640, PC2086, PC3086 и PC5086 фирмы Amstrad
- в компьютерах NEC PC-9801 фирмы NEC
- в компьютерах Tandy 1000 серий SL и RL
- в текстовом процессоре IBM Displaywriter System
- в компьютере Wang Professional Computer компании Wang Laboratories
- в оборудовании для наземного обслуживания кораблей «Спейс шаттл». NASA использовало оригинальные процессоры Intel 8086 вплоть до закрытия программы «Космическая транспортная система» в 2011 году. Такое решение было принято для предотвращения возможной программной регрессии, связанной с переходом на более новые версии процессоров или использования их несовершенных клонов
- в автоматической межпланетной станции Lunar Prospector. Использовалась КМОП версия 8086
- советский компьютер марки "Искра", программно и аппаратно (но не конструктивно) совместимый с международным стандартом "IBM PC/XT"
- компьютеры болгарского происхождения: Изот-1036С и Изот-1037С

Intel 8088

Intel 8088 — 16-битный микропроцессор, выпущенный компанией Intel 1 июля 1979 года и основанный на микропроцессоре Intel 8086, но имевший 8-битную шину данных. Процессор использовался в оригинальных компьютерах IBM PC. Intel 8088 явился базой для разработки семейства малых компьютеров. Он подготовил почву для быстрого создания совместимых настольных компьютеров.

Технические характеристики

- Дата анонса: 1 июля 1979 года;
- Тактовая частота, МГц: 5 (модель 8088), 8 (модель 8088-2), 10 (модель 8088-1);
- Разрядность регистров: 16 бит;
- Разрядность шины данных: 8 бит;
- Разрядность шины адреса: 20 бит;
- Объём адресуемой памяти: 1 Мбайт;
- Количество транзисторов: 29 000;
- Техпроцесс: 3 мкм;
- Площадь кристалла: ~30 мм²;
- Напряжение питания: +5 В;
- Разъём: панель DIP-40;
- Корпус: 40-контактный керамический или пластиковый DIP;
- Количество поддерживаемых инструкций: 98 инструкций.

Аналоги

Конкурентами микропроцессора Intel 8088 являются такие разработки, как NEC V20, который был на 5 % производительнее Intel 8088, но при этом был полностью с ним совместим. Советским аналогом является микропроцессор K1810BM88, входивший в серию микросхем K1810.

Описание

Микропроцессор Intel 8086, вышедший за год до выхода Intel 8088, был полностью 16-разрядным и для его работы требовался новый набор 16-разрядных микросхем поддержки (например, микросхемы памяти), которые тогда ещё стоили слишком дорого. Поэтому многие производители отказывались использовать Intel 8086 в новых системах и продолжали использовать 8-разрядные микропроцессоры Intel 8080/Intel 8085. Тогда Intel решает выпустить модифицированную версию процессора Intel 8086, обладающего 8-разрядной шиной данных, который мог работать со старыми (и дешёвыми), 8-битными, микросхемами поддержки. Процессор был, своего рода, переходным звеном между 16- и 8-битными микропроцессорами, и предназначался для перевода аппаратных конфигураций на базе микропроцессоров Intel 8080/8085 на программную среду микропроцессора Intel 8086 с целью повышения производительности этих 8-битных систем.

Однако не только разрядность шины данных отличала Intel 8086 и Intel 8088, Intel также внесла ещё некоторые изменения в архитектуру. В частности, в микропроцессоре Intel 8088 используется очередь упреждающей выборки длиной 4 байта, а не 6 байт, как в микропроцессоре Intel 8086. Причина заключается в том, что микропроцессор Intel 8088 может считывать данные из памяти только побайтно и следующее отсюда увеличение времени выборки следующей команды не позволяет процессору полностью использовать 6-байтную очередь.

Intel 80186

Intel 80186 — 16-битный микропроцессор, выпущенный компанией Intel во второй половине 1982 года, и представляющий собой усовершенствованный вариант микропроцессора Intel 8086. В состав нового микропроцессора вошли средства, которые ранее реализовывались 10 отдельными микросхемами. Применялся, главным образом, в работе с управляющими приложениями и в высокоинтеллектуальных периферийных адаптерах, например сетевых.

Технические характеристики

- Год анонса: 1982
- Тактовая частота, МГц*: 6, 8, 10, 12, 13, 16, 20, 25
- Разрядность регистров: 16 бит
- Разрядность шины данных: 16 бит
- Разрядность шины адреса: 20 бит
- Объём адресуемой памяти: 1 Мбайт
- Количество транзисторов: 55,000
- Техпроцесс, нм: 3000
- Напряжение питания: 2,9~5 В
- Разъём: микросхема припаивалась к плате

Описание

К разработке нового микропроцессора Intel приступила сразу после выхода процессоров Intel 8086/Intel 8088. Процессоры Intel 8086 и 8088 требовали большого количества микросхем поддержки, и Intel решает разработать микропроцессор, уже содержащий на кристалле все необходимые модули. Новый процессор включал в себя множество компонентов, ранее выпускавшихся в виде отдельных микросхем, это бы позволило резко сократить количество микросхем в компьютере, а, следовательно, и уменьшить его стоимость. Кроме того, была расширена система внутренних команд (инструкций).

Новые компоненты

- Два контроллера прямого доступа к памяти (DMA) со схемами прерываний
- Дешифраторы адреса (программируемые схемы выбора кристалла)
- Трёхканальный программируемый таймер/счётчик
- Генератор синхронизации
- Программируемый контроллер прерываний

Семейства процессоров Intel 80186

В 1982 году Intel выпускает встраиваемый процессор Intel 80186, который, помимо улучшенного ядра Intel 8086, содержал также дополнительные модули, заменяющие некоторые микросхемы поддержки; процессор производился с использованием NMOS-технологии.

В связи с развитием технологии, в 1987 году Intel выпускает процессоры Intel 80186 второго поколения — Intel 80C186. Эти процессоры производились по улучшенному CHMOS III техпроцессу, что позволило увеличить тактовую частоту процессоров вдвое, а потребляемую мощность снизить в 4 раза. Что немаловажно, была сохранена совместимость в расположении выводов со старыми процессорами.

В 1990 году Intel выпускает новое семейство процессоров Intel 80186 — Intel 80C186EB. Новые процессоры содержали множество изменений по сравнению с предыдущим поколением процессоров Intel 80186. Во-первых, было перепроектировано ядро процессора, которое теперь стало модульным и называлось «Модульное ядро 80C186» (*80C186 Modular Core*). Во-вторых, семейство микросхем поддержки микропроцессора было также перепроектировано в модули со стандартными интерфейсами. Процессоры 80C186EB и оригинальный 80186 имеют различные наборы микросхем поддержки. В связи с переходом на новый техпроцесс (CHMOS IV) и модульную структуру удалось снизить потребляемую мощность. Процессор

Intel 80C186EB нашёл применение в переносной аппаратуре (например, сотовые телефоны).

В 1991 году Intel представляет процессоры 80C186XL, 80C186EA и 80C186EC, которые также были основаны на модульном ядре Intel 80C186. Процессор Intel 80C186XL обладает высокой производительностью и низким энергопотреблением. Процессор Intel 80C186EA объединяет в себе процессор Intel 80C186 с новыми возможностями управления энергопотреблением. Процессор Intel 80C186EC включал в себя дополнительные элементы, которые не имели другие процессоры семейства Intel 80C186.

Корпус

Ввиду увеличения количества компонентов в процессоре, было увеличено количество контактов на корпусе микропроцессора. В оригинальном процессоре Intel 80186 число контактов составляло 68. Процессор теперь выпускался в корпусах типа «держатель кристалла» (Chip Carrier) и «матрица выводов» (PGA). В следующих поколениях процессора Intel 80186 применялись и другие типы корпусов, причём количество контактов увеличивалось. Для отличия процессоров в разных типах корпусов и с разным числом контактов применялись идентификаторы в виде латинских букв, которые ставились в начало названия процессора.

Новые инструкции

В процессорах семейства Intel 80186 был расширен набор команд. Были добавлены дополнительные команды работы со стеком (PUSHA, POPA, PUSH «immediate»), с портами ввода-вывода (INS, OUTS), арифметические команды (IMUL, ROL/ROR, RCL/RCR, SAL/SAR, SHL/SHR с непосредственно указанным числом бит сдвига) и команды реализации языков высокого уровня (ENTER, LEAVE, BOUND).

ПК на базе процессоров семейства Intel 80186

Процессоры семейства Intel 80186 практически не применялись в компьютерах, лишь некоторые фирмы выпустили такие ПК: Mindset, Compis

(шведский школьный компьютер), RM Nimbus (британский школьный компьютер), Unisys ICON (канадский школьный компьютер), HP 2001x (handheld PC), и настольный ПК Tandy 2000.

Intel 80188

Intel 80188 — 16-битный микропроцессор, выпущенный компанией Intel в 1982 году, и представляющий собой вариант микропроцессора Intel 80186 с 8-битной внешней шиной данных.

Технические характеристики

- Дата анонса: 1982 год
- Тактовая частота (МГц)*: 6**, 8, 10, 12, 13, 16, 20
- Разрядность регистров: 16 бит
- Разрядность шины данных: 8 бит
- Разрядность шины адреса: 20 бит
- Объём адресуемой памяти: 1 Мбайт
- Количество транзисторов: ~55 000
- Напряжение питания: 2,9~3,3 В
- Разъём: микросхема припаивалась к плате

Описание

Причины выпуска процессора Intel 80188 были такими же, как и при выпуске его предшественника, микропроцессора Intel 8088, — возможность использования новейших технологий, в лице Intel 80186 при этом используя дешёвые 8-битные микросхемы поддержки. Ввиду того, что процессор был построен на основе Intel 80186, он обладал всеми его достоинствами и недостатками, так как внутренняя архитектура не подверглась изменениям, и соответствовала архитектуре микропроцессора Intel 80186.

Как и все предыдущие процессоры семейства x86, данный микропроцессор обладал 14-ю 16-разрядными регистрами: 4 регистра общего назначения (AX, BX, CX, DX), 2 индексных регистра (SI, DI), 2 указательных (BP, SP), 4 сегментных регистра (CS, SS, DS, ES), программный счётчик или указатель команды (IP) и регистр флагов (FLAGS, включает в себя 9 флагов). При этом регистры данных (AX, BX, CX, DX) допускали адресацию не только целых регистров, но и их младшей половины (регистры AL, BL, CL,

DL) и старшей половины (регистры AH, BH, CH, DH), что позволяло использовать не только новое 16-разрядное ПО, но сохраняло совместимость и со старыми программами.

Процессор Intel 80188 был выпущен в тех же модификациях, что и процессор Intel 80186 — 80188, 80C188, 80C188XL, 80C188EA, 80C188EB и 80C188EC. Процессор Intel 80188 использовал одинаковую с процессором Intel 80186 маркировку, где первая буква обозначала тип корпуса.

Intel 80286

Intel 80286 (также встречаются обозначения i80286, i286, жарг. двойка) — 16-битный x86-совместимый микропроцессор второго поколения компании Intel, выпущенный 1 февраля 1982 года. Представляет собой усовершенствованный вариант процессора Intel 8086 и обладает в 3—6 раз большей производительностью. Процессор применялся в основном в IBM PC-совместимых персональных компьютерах.

Технические характеристики

- Дата анонса: 1 февраля 1982 года
- Тактовая частота (МГц): зависит от маркировки: 80286-6 — 6 МГц, 80286-8 — 8 МГц, 80286-10 — 10 МГц, 80286-12 — 12,5 МГц
- Разрядность регистров: 16 бит
- Разрядность шины данных: 16 бит
- Разрядность шины адреса: 24 бит
- Объём адресуемой памяти: 16 Мбайт
- Объём виртуальной памяти: 1 Гбайт (в защищённом режиме)
- Количество транзисторов: 134 000
- Техпроцесс (нм): 1500 (1,5 мкм)
- Площадь кристалла: 49 мм²
- Напряжение питания: +5 В
- Разъём: 68-pin
- Корпус: 68-контактный керамический LCC (R80286), пластиковый LCC (N80286), керамический PGA (CG80286 или A80286)

Описание

Процессоры Intel 80286 разрабатывались параллельно с процессорами Intel 80186/80188, однако в нём отсутствовали некоторые модули, имевшиеся в процессоре Intel 80186. Процессор Intel 80286 выпускался в точно таком же корпусе, как и Intel 80186 — LCC, а также в корпусах типа PGA с 68 выводами. В новом процессоре было увеличено количество регистров,

добавлены новые инструкции, добавлен новый режим работы процессора — защищённый режим. Процессор имел 6-байтовую очередь (как и Intel 8086). Шины адреса и данных в нём не мультиплексируются (то есть адреса и данные передаются по разным выводам). Шина адреса увеличена до 24 бит, таким образом объём ОЗУ может составлять 16 Мбайт. Для более быстрого выполнения операций над числами с плавающей запятой необходим математический сопроцессор Intel 80287.

Регистры

К 14 регистрам процессора Intel 8086 были добавлены 11 новых регистров, необходимых для реализации защищённого режима и других функций: регистр слова состояния машины, 16 бит (MSW); регистр задачи, 16 бит (TR); регистры дескрипторной таблицы, один 64-битный и два 40-битных (GDTR, IDTR, LDTR) и 6 регистров расширения сегментных регистров, 48 бит.

Инструкции

Процессор имел тот же набор инструкций, что и процессор Intel 80186, к которому добавили 16 новых команд (LGDT, LIDT, LLDT, LMSW, LTR, SGDT, SIDT, SLDT, SMSW, STR, ARPL, CLTS, LAR, LSL, VERR, VERW), необходимых для работы со средствами управления памятью. Команда PUSH теперь могла сохранять в стеке константы. Инструкции в Intel 80286 выполняются в среднем за 4,5 такта.

Организация памяти

Шина адреса разрядностью 24 бита позволяет адресовать 16 Мбайт физической памяти, но в реальном режиме доступен только 1 Мбайт (640 КБайт обычной памяти и 384 КБайт расширенной), начинающийся со младших адресов. С программной точки зрения память так же, как и в 8086, организуется в виде сегментов, но управление сегментацией имеет существенные различия для реального и защищённого режимов.

В реальном режиме по адресации памяти декларируется полная совместимость с процессором 8086, который своей 20-битной адресной шиной охватывает пространство физической памяти в 1 Мбайт. На самом деле, на радость разработчикам программного обеспечения PC, 80286 имеет ошибку, «узаконенную» и в следующих поколениях процессоров. При вычислении физического адреса возможно возникновение переполнения, которое с 20-битной шиной адреса просто игнорируется. Если, например, $\text{Seg}=\text{FFFFh}$ и $\text{EA}=\text{FFFFh}$, физический адрес, вычисленный по формуле $\text{PA}=16 \times \text{Seg} + \text{EA}=\text{10FFEF}$, процессором 8086 трактуется как 0FFEF — адрес, принадлежащий первому мегабайту. Однако на выходе A20 процессора 80286 в этом случае установится единичное значение, что соответствует адресу ячейки из второго мегабайта физической памяти. Для обеспечения полной программной совместимости с 8086 в схему PC был введён специальный вентиль Gate A20, принудительно обнуляющий бит A20 системной шины адреса. Не оценив потенциальной выгоды от этой ошибки, управление вентилем узаконили через программно-управляемый бит контроллера клавиатуры 8042. Когда оперативная память подешевела, а «аппетит» программного обеспечения вырос, в эту небольшую область (64К-16 байт) стали помещать некоторые резидентные программы или даже часть операционной системы, а для ускорения управления вентилем появились более быстрые способы (Gate A20 Fast Control).

В отличие от 8086 процессор 80286 имеет средства контроля за переходом через границу сегмента, работающие и в реальном режиме. При попытке адресации к слову, имеющему смещение FFFFh (его старший байт выходит за границу сегмента), или выполнения инструкции, все байты которой не умещаются в данном сегменте, процессор вырабатывает прерывание — исключение типа 13 (0Dh) — Segment Overrun Exception. При попытке выполнения инструкции ESCAPE с операндом памяти, не умеющимся в сегменте, вырабатывается исключение типа 9 — Processor Extension Segment Overrun Interrupt.

В защищённом режиме работают все режимы адресации, допустимые для 8086 и реального режима 80286. Отличия касаются определения сегментов:

- сегментные регистры CS, DS, SS и ES хранят не сами базовые адреса сегментов, а селекторы, по которым из таблицы, хранящейся в ОЗУ, извлекаются дескрипторы сегментов;
- дескриптор описывает базовый адрес, размер сегмента (1 — 64 Кбайт) и его атрибуты;
- базовый адрес сегмента имеет разрядность 24 бита, что и обеспечивает адресацию 16 Мбайт физической памяти.

Режимы работы процессора Intel 80286

В процессоре Intel 80286 было реализовано два режима работы — защищённый режим и реальный режим. В реальном режиме работы процессор был полностью совместим с процессорами x86, выпускавшимися до этого, то есть процессор мог выполнять программы, предназначенные для Intel 8086/8088/8018x, без повторного ассемблирования или с переассемблированием с минимальными модификациями. В формировании адреса участвовали только 20 линий шины адреса, поэтому максимальный объём адресуемой памяти в этом режиме остался прежним — 1 Мбайт. В защищённом режиме процессор мог адресовать до 1 Гбайт виртуальной памяти (при этом объём реальной памяти составлял не более 16 Мбайт), за счёт изменения механизма адресации памяти. Переключение из реального режима в защищённый происходит программно и относительно просто, однако для обратного перехода необходим аппаратный сброс процессора, который в IBM PC-совместимых машинах осуществлялся обычно с помощью контроллера клавиатуры. Для отслеживания текущего режима работы процессора используется регистр слово состояния машины (MSW). Программы реального режима без модификаций в защищённом режиме исполняться не могут, так же как и программы BIOS машины.

Суть защищённого режима заключается в следующем. Программист и разрабатываемые им программы используют логическое адресное пространство (виртуальное адресное пространство), размер которого может составлять 1024 Мбайт (для Intel 80286). Логический адрес преобразуется в физический адрес автоматически с помощью схемы управления памятью (MMU). В защищённом режиме в памяти можно хранить только ту часть программы, которая необходима в данный момент, а остальная часть могла храниться во внешней памяти (например, на жёстком диске). В случае обращения к той части программы, которой нет в памяти в данный момент, операционная система может приостановить программу, загрузить требуемую секцию кода из внешней памяти и возобновить выполнение программы. Следовательно, становятся допустимыми программы, размер которых больше объёма имеющейся памяти. Другими словами, пользователю кажется, что он работает с большей памятью, чем на самом деле. Однако реализация системы виртуальной памяти была ещё далека от совершенства. Для использования защищённого режима необходима многозадачная операционная система, например Microsoft Windows 2.0, IBM OS/2 или UNIX.

Физический адрес формируется следующим образом. В сегментных регистрах хранится селектор, содержащий индекс дескриптора в таблице дескрипторов (13 бит), один бит, определяющий, к какой таблице дескрипторов будет производиться обращение (к локальной или к глобальной) и два бита запрашиваемого уровня привилегий. Далее происходит обращение к соответствующей таблице дескрипторов и соответствующему дескриптору, который содержал начальный, 24-битный, адрес сегмента, размер сегмента и права доступа. После этого вычислялся необходимый физический адрес путём сложения адреса сегмента со смещением, хранящемся в 16-разрядном указательном регистре.

Однако защищённый режим в процессоре Intel 80286 обладал и некоторыми недостатками. Он был несовместим с программами, написанными для реального режима MS-DOS. Для перехода из защищённого режима в реальный требовался аппаратный сброс процессора.

Кольца защиты

Для защиты от выполнения привилегированных команд, которые могут кардинально изменить состояние всей системы, для защиты доступа к данным и для защиты сегментов кода в процессоре Intel 80286 была введена защита по привилегиям. Было выделено 4 уровня привилегий, так называемые кольца (Ring) защиты — от самого привилегированного 0 уровня (Ring 0), предназначенного для ядра системы, до наименее привилегированного 3 уровня (Ring 3), предназначенного для прикладных программ.

Поддержка операционными системами

Несмотря на анонс в 1982 году, защищённый режим 80286 в персональных компьютерах долгое время использовался ограниченно. Главной причиной этого стала несовместимость с защищённым режимом программ, написанных для процессора 8086. Одна из проблем была связана с тем, что используемая 8086 сегментная адресация памяти позволяла сформировать один и тот же адрес множеством комбинаций «сегмент+смещение», и формированием такой комбинации занимались программы, а не операционная система. Например, если программе для 8086 требовался блок памяти, она должна была взять сегмент и смещение первого свободного байта памяти, разделить смещение на 16 и прибавить его к значению сегмента, формируя таким образом новый, не использованный сегмент. Однако в 80286 значение сегмента используется как индекс в таблице дескрипторов. Если сегмент выбран произвольно, соответствующего дескриптора в таблице может не оказаться, либо дескриптор будет иметь

неподходящие параметры. Модифицировать же таблицу дескрипторов из-за наличия защиты может только операционная система.

Другой проблемой являлось разделение сегментов кода и данных. В защищённом режиме программа не может модифицировать сегменты кода или выполнять код, помещённый в сегмент данных, хотя в программах для 8086 такие приёмы использовались.

Ещё одной проблемой стало игнорирование разработчиками BIOS IBM PC рекомендаций Intel и использование зарезервированных номеров прерываний. Например, арифметический сопроцессор 80287 при возникновении ошибки генерирует прерывание 10_{16} . Однако в IBM PC прерывание 10_{16} используется для управления дисплеем.

Все эти проблемы требовали значительной модификации существующих программ. Разработчики операционных систем были поставлены перед выбором — создавать относительно простую систему, работающую только в защищённом режиме, но несовместимую с большинством ранее написанных программ, либо создавать систему, содержащую компоненты для работы и в реальном и в защищённом режимах и переключающуюся между ними по мере необходимости (что возможно только через сброс процессора и значительно снижает производительность), обеспечивая таким образом совместимость с ранее написанными программами.

В январе 1985 компания Digital Research анонсировала Concurrent DOS 286 — операционную систему, созданную совместно с Intel. Продукт должен был использовать только защищённый режим 80286, обеспечивая пользователям все преимущества этого режима по обеспечению многопользовательского, многозадачного выполнения программ, при одновременной поддержке эмуляции 8086. Заявленные возможности были работоспособны на использовавшемся в начале разработки прототипе процессора степпинга В-1, но в мае Digital Research обнаружила проблемы с

эмуляцией на серийном процессоре степпинга C-1, которые не позволяли Concurrent DOS 286 запускать программы для 8086 в защищённом режиме. Выпуск Concurrent DOS 286 был задержан, а Intel начала разработку новой версии чипа. В августе, после интенсивного тестирования образцов 80286 степпинга E-1, Digital Research подтвердила, что Intel исправила все документированные ошибки, но заявила, что остаются недокументированные проблемы с производительностью на пре-релизной версии Concurrent DOS 286. Intel заявила, что выбранный Digital Research подход к эмуляции программ для 8086 в защищённом режиме отличается от начальных спецификаций. Тем не менее Intel внесла незначительные изменения в микрокод процессоров степпинга E-2, которые позволили Digital Research выполнять эмуляцию значительно быстрее. Компания IBM в 1986 году выбрала Concurrent DOS 286 (переименовав её в IBM 4680 OS) операционной системой для компьютера IBM 4680, использованного в системе розничной торговли в качестве POS-терминала. Те же ограничения затронули версию 1.0 FlexOS 286, операционной системы наследницы Concurrent DOS 286, разработанной Digital Research в 1986 и представленной в январе 1987. (Эта система позже была использована IBM как основа IBM 4690 OS).

Из-за указанных проблем Билл Гейтс окрестил 80286 «чипом с мёртвым мозгом», так как было очевидно, что новая операционная система Microsoft Windows не сможет выполнять несколько приложений MS-DOS одновременно на 80286. Возможно, это стало причиной раскола между Microsoft и IBM, так как IBM настаивала, чтобы OS/2, изначально — совместная разработка IBM и Microsoft, поддерживала защищённый режим 80286.

Поддержка защищённого режима также была реализована в операционных системах Coherent, Xenix, NetWare 286, iRMX, OS/2, Windows 3.0.

Компьютеры на базе процессора Intel 80286

В 1984 году компания IBM представила свой ПК, основанный на процессоре Intel 80286 с частотой 6 МГц — IBM PC AT, который вызвал большой интерес к архитектуре x86 вообще и к ПК IBM PC в частности. В 1987 году IBM выпускает новые модели ПК — IBM PS/2-50 и IBM PS/2-60. К моменту выпуска ПК IBM PS/2 IBM уже не была монополистом рынка персональных компьютеров, многие фирмы выпускали аналогичные модели, зачастую более дешёвые.

Конкурентные решения

Так как Intel продавала лицензии на производство микропроцессоров 80286, многие фирмы выпускали фактически клоны данного микропроцессора — AMD, Siemens AG и HARRIS. С помощью обратной разработки были созданы клоны 80286:

- U80601 — в ГДР
- КФ1847ВМ286 (позднее ЭКФ1847ВМ2) — в СССР (опытные образцы выпускались заводом имени Дзержинского (разработчик НТЦ «Белмикросистемы») НПО «Интеграл»)

Также выпускались и процессоры, разработанные независимо от Intel, таковые выпускали Zilog, Motorola и другие.