

Пожалуй, наиболее важным отличием защищенного режима от реального является иной принцип формирования физического адреса. Вспомним, что в реальном режиме физический адрес адресуемой ячейки памяти состоит из двух компонентов - сегментного адреса и смещения. Оба компонента имеют размер 16 бит, и процессор, обращаясь к памяти, пользуется следующим правилом вычисления физического адреса:

Физический адрес = сегментный адрес * 16 + смещение

И сегментный адрес, и смещение не могут быть больше FFFFh, откуда следуют два важнейших ограничения реального режима: объем адресного пространства составляет всего 1 Мбайт, а сегменты не могут иметь размер, превышающий 64 Кбайт.

В защищенном режиме программа по-прежнему состоит из сегментов, адресуемых с помощью 16-разрядных сегментных регистров, однако местоположение сегментов в физической памяти определяется другим способом.

В сегментные регистры в защищенном режиме записываются не сегментные адреса, а так называемые селекторы, биты 3...15 которых рассматриваются, как номера (индексы) ячеек специальной таблицы, содержащей дескрипторы сегментов программы. Таблица дескрипторов обычно создается операционной системой защищенного режима (например, системой Windows) и, как правило, недоступна программе. Каждый дескриптор таблицы дескрипторов имеет размер 8 байт, и в нем хранятся все характеристики, необходимые процессору для обслуживания этого сегмента. Среди этих характеристик необходимо выделить в первую очередь две: адрес сегмента и его длину (рис. 4.4).

Таблица дескрипторов сегментов

Индексы дескрипторов	0	Первый пустой дескриптор
	1	Адрес = 0 Длина = 1 Мбайт
	2	Адрес = 1 Мбайт Длина = 100 Кбайт
	3	Адрес = 8,5 Мбайт Длина = 256 Кбайт

Рис. 4.4. Дескрипторы сегментов и их селекторы.

Под адрес сегмента в дескрипторе выделяется 32 бит, и, таким образом, сегмент может начинаться в любой точке адресного пространства объемом $2^{32} = 4$ Гбайт. Это адресное пространство носит название линейного. В простейшем случае, когда

выключено страничное преобразование, о котором речь будет идти позже, линейные адреса отвечают физическим. Таким образом, процессор может работать с оперативной памятью объемом до 4 Гбайт.

Как и в реальном режиме, адрес адресуемой ячейки вычисляется процессором, как сумма базового адреса сегмента и смещения:

Линейный адрес = базовый адрес сегмента + смещение

В 32-разрядных процессорах смещение имеет размер 32 бит, поэтому максимальная длина сегмента составляет $2^{32} = 4$ Гбайт.

На рис. 4.4 приведен гипотетический пример программы, состоящей из трех сегментов, первый из которых имеет длину 1 Мбайт и расположен в начале адресного пространства, второй, размером 100 Кбайт, вплотную примыкает к первому, а третий, имеющий размер всего 256 байт, расположен в середине девятого по счету мегабайта.

Адреса, используемые программой для обращения к ячейкам памяти, и состоящие всегда из двух компонентов - селектора и смещения - иногда называются виртуальными. Система сегментной адресации преобразует виртуальные адреса в линейные. Поскольку таблица дескрипторов, с помощью которой осуществляется это преобразование, обычно недоступна программе, программа может не знать, в каких именно участках логического адресного пространства находятся ее компоненты. Фактически это сводится к тому, что, загружая программу в память, вы не знаете, в каких местах памяти будут находиться ее сегменты, и каков будет порядок их размещения. Программисту доступны только виртуальные адреса, преобразование же их в линейные и затем в физические берет на себя операционная система.

Каков объем виртуального адресного пространства? Программа указывает номер нужного ей дескриптора с помощью селектора, в котором для индекса дескриптора отведено 13 бит. Отсюда следует, что в дескрипторной таблице может быть до $2^{13} = 8$ К дескрипторов. Однако в действительности их в два раза больше, так как программа может работать не с одной, а с двумя дескрипторными таблицами - одной глобальной, разделяемой всеми выполняемыми задачами, и одной локальной, принадлежащей конкретной задаче. В селекторе предусмотрен специальный бит (бит 2), состояние которого говорит о типе требуемой программе дескрипторной таблицы. Таким образом, всего программе могут быть доступны $2^{14} = 16$ К дескрипторов, т.е. 16 К сегментов. Поскольку размер каждого сегмента, определяемый

максимальной величиной смещения, может достигать $2^{32} = 4$ Гбайт, объем виртуального адресного пространства оказывается равным $16\text{ К} * 4\text{ Кбайт} = 64\text{ Тбайт}$.

Реально, однако, оперативная память компьютера с 32-разрядной адресной шиной не может быть больше 4 Гбайт, т.е. при сделанных выше предположениях (16 К сегментов размером 4 Гбайт каждый) в памяти может поместиться максимум один сегмент из более чем 16 тысяч. Где же будут находиться все остальные?

Полный объем виртуального пространства может быть реализован только с помощью многозадачной операционной системы, которая хранит все неиспользуемые в настоящий момент сегменты на диске, загружая их в память по мере необходимости. Разумеется, если мы хотим полностью реализовать возможности, заложенные в современные процессоры, нам потребуется диск довольно большого объема - 64 Тбайт. Однако и при нынешних более скромных технических средствах (память до 100 Мбайт, жесткий диск до 10 Гбайт) принцип виртуальной памяти используется всеми многозадачными операционными системами с большой эффективностью. С другой стороны, для прикладного программиста этот вопрос не представляет особого интереса, так как сброс сегментов на диск и подкачка их с диска осуществляются операционной системой, а не программой, и вмешательство эту процедуру вряд ли целесообразно.

Как уже отмечалось, адрес, вычисляемый процессором на основе селектора и смещения, относится к линейному адресному пространству, не обязательно совпадающему с физическим. Преобразование линейных адресов в физические осуществляется с помощью так называемой страничной трансляции, частично реализуемой процессором, а частично - операционной системой. Если страничная трансляция выключена, все линейные адреса в точности совпадают с физическими; если страничная трансляция включена, то линейные адреса преобразуются в физические в соответствии с содержимым страничных таблиц (рис. 4.5).

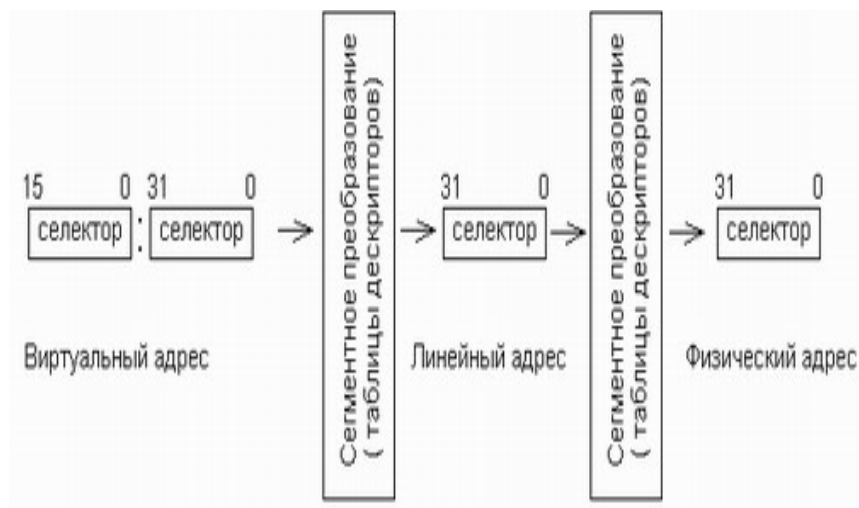


Рис. 4.5. Цепочка преобразований виртуального адреса в физический.

Страницей называется связный участок линейного или физического адресного пространства объемом 4 Кбайт. Программа работает в линейном адресном пространстве, не подозревая о существовании страничного преобразования или даже самих страниц. Механизм страничной трансляции отображает логические страницы на физические в соответствии с информацией, содержащейся в страничных таблицах. В результате отдельные 4х-килобайтовые участки программы могут реально находиться в любых несвязных друг с другом 4х-килобайтовых областях физической памяти (рис. 4.6). Порядок размещения физических страниц в памяти может не соответствовать (и обычно не соответствует) порядку следования логических страниц. Более того, некоторые логические страницы могут перекрываться, фактически сосуществуя в одной и той же области физической памяти.

Страничная трансляция представляет собой довольно сложный механизм, в котором принимают участие аппаратные средства процессора и находящиеся в памяти таблицы преобразования. Назначение и взаимодействие элементов системы страничной трансляции схематически изображено на рис. 4.7.

Система страничных таблиц состоит из двух уровней. На первом уровне находится каталог таблиц страниц (или просто каталог страниц) - резидентная в памяти таблица, содержащая 1024 4х-байтовых поля с адресами таблиц страниц. На втором уровне находятся таблицы страниц, каждая из которых содержит так же 1024 4х-байтовых поля с адресами физических страниц памяти. Максимально возможное число таблиц страниц определяется числом полей в каталоге и может достигать до 1024. Поскольку размер страницы составляет 4 Кбайт, 1024 таблицы

по 1024 страницы перекрывают все адресное пространство (4 Гбайт).