

Высшее профессиональное образование

БАКАЛАВРИАТ

Н. Н. ГОРНЕЦ, А. Г. РОЩИН

ЭВМ И ПЕРИФЕРИЙНЫЕ УСТРОЙСТВА

УСТРОЙСТВА ВВОДА-ВЫВОДА

*Учебник
для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по направлению
«Информатика и вычислительная техника»*



Москва
Издательский центр «Академия»
2013

УДК 681.3(075.8)
ББК 32.97я73
Г697

Рецензент —

профессор кафедры теоретических основ электротехники
Московского института радиотехники, электроники и автоматики,
д-р техн. наук *В. А. АLEXIN*

Горнец Н. Н.

Г697 ЭВМ и периферийные устройства. Устройства ввода-вывода: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Н. Н. Горнец, А. Г. Рошин. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 224 с. — (Сер. Бакалавриат).

ISBN 978-5-7695-8722-1

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 230100 «Информатика и вычислительная техника» (квалификация «бакалавр»).

Приведены сведения о физических принципах, положенных в основу работы современных разнообразных и многочисленных периферийных устройств, методах их сопряжения с центральной частью компьютера. Подробно описаны различные интерфейсы, служащие для подключения периферийных устройств к компьютеру. Изложено назначение, принципы построения и функционирование внешней памяти, а также способы сохранения целостности информации в ней.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 681.3(075.8)
ББК 32.97я73

Учебное издание

Горнец Николай Николаевич, Рошин Алексей Григорьевич

ЭВМ и периферийные устройства. Устройства ввода-вывода

Учебник

Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*

Компьютерная верстка: *Н. В. Протасова*

Корректоры *А. П. Сизова, И. А. Ермакова*

Изд. № 101115993. Подписано в печать 28.09.2012. Формат 60 × 90/16. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага офс. № 1. Усл. печ. л. 14,0. Тираж 1 000 экз. Заказ №

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru

129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1. Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16067 от 06.03.2012.

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Home page — www.tverpk.ru Электронная почта (E-mail) — sales@tverpk.ru

Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается

© Горнец Н. Н., Рошин А. Г., 2013

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2013

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2013

ISBN 978-5-7695-8722-1

Невозможно представить компьютер без средств общения с человеком или средств сопряжения с внешними объектами управления. Такие средства необходимы для загрузки программ и данных, выгрузки получаемых результатов, хранения огромных объемов информации, коррекции работы компьютера со стороны пользователя, а также для непосредственного управления производственными процессами и объектами. Все эти функции возлагают на разнообразные периферийные устройства (ПУ), служащие для преобразования способов представления информации, пригодных для человека и используемых в компьютере, для управления вводом-выводом и организации хранения информации независимо от наличия питания. Периферийные, или внешние, устройства свое название получили в 1960-х гг., когда процессор и оперативная память размещались в шкафах-стойках, образуя своеобразный «центр», а остальные устройства, в основном электромеханические, находились на некотором расстоянии от него, т. е. «на периферии». Но современные ПУ располагаются как внутри корпуса компьютера, так и снаружи в зависимости от типа устройства и его взаимодействия с объектами внешнего мира.

Современные ПУ — это сложные устройства с микропроцессорным управлением, обмен информацией которых с центральной частью компьютера происходит через стандартные интерфейсы. Они обладают «встроенным интеллектом», позволяющим выполнять сложные функции управления и преобразования способов представления информации. Однако во многих ПУ по-прежнему используются электромеханические узлы, что делает их одним из самых слабых звеньев всей компьютерной системы. Скорость работы большинства ПУ сравнительно невелика: во-первых, эти устройства предназначены для связи компьютера с пользователем, возможности которого ограничены его органами чувств, и, во-вторых, многие ПУ основаны на электромеханическом принципе действия.

Представление информации во внешнем мире компьютера остается неизменным: человек может читать, наблюдать изображения на экране, воспринимать звуки, а также печатать, перемещать предметы и говорить, а управляемые объекты получают и выдают информацию в аналоговом или дискретном виде. Поэтому задачи, выполняемые ПУ, остаются неизменными, но развитие технологии приводит к изменению самих ПУ: они становятся компактнее, дешевле и эконо-

мичнее. Для повышения быстродействия и надежности компьютера необходимо улучшать не только характеристики самих ПУ, но и повышать эффективность всей системы ввода-вывода.

Для долговременного хранения информации предназначены «внешние» запоминающие устройства (ВЗУ), позволяющие хранить информацию в отсутствии питания; это накопители на магнитных (НМД) и оптических дисках (CD-ROM, CD-R, CD-RW, DVD), флэш-память, сетевые системы хранения данных и т. д. В последнее время в переносных компьютерах (ноутбуках и нетбуках) вместо жестких магнитных дисков применяют так называемые «твердотельные диски» SSD — особый вид флэш-памяти: в них нет подвижных деталей и они характеризуются очень малым энергопотреблением. Отсутствие подвижных частей приводит к меньшей подверженности компьютера ударным и вибрационным нагрузкам и меньшей шумности при его работе.

1.1. Назначение и классификация периферийных устройств

Преобразование информации, циркулирующей во «внешнем мире», и ввод ее в компьютер, а также вывод информации из компьютера и обратное преобразование в вид, пригодный для человека и объектов управления, осуществляется устройствами ввода-вывода текстовой, графической и речевой информации, устройствами ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов. В качестве устройств ввода наиболее известны клавиатура и мышь, а устройств вывода — дисплей и принтер. Но помимо этих ПУ существуют устройства двустороннего обмена, к числу которых принято относить накопители на магнитных и оптических дисках, флэш-память, модемы и т. п. Все перечисленные устройства различаются принципами действия и обладают разными параметрами и характеристиками. Так, принтеры могут служить для печати деловой и личной информации, ведомостей на получение заработной платы в малых и крупных предприятиях, они могут использоваться для черно-белой или цветной печати, печати фотоснимков, крупномасштабных карт, плакатов и т. д. Такие принтеры обладают различными возможностями и характеристиками. Очевидно, что также различаются между собой устройства отображения — дисплеи, предназначенные для индивидуального пользования персональным компьютером, и информационные табло с расписанием поездов на вокзалах или прилетов и отлетов самолетов в аэропортах.

Помимо собственно периферийных устройств в компьютере необходимо иметь специальные контроллеры (процессоры) ввода-вывода, предназначенные для управления операциями ввода-вывода, и устройства управления (контроллеры) одним или несколькими однотипными ПУ. Все устройства, служащие для связи компьютера с внешним миром, разбивались на функциональные группы, и каждая часть устройства получало буквенно-цифровой индекс. Цифровая часть индекса определяла принадлежность устройства к той или иной функциональной группе, т. е. его назначение, а буквенная — к тому или иному семейству ЭВМ (ЕС, СМ или Т). Но теперь надобность в такой системе обозначений отпала: любое ПУ для персонального

компьютера подключается к определенному интерфейсу, а необходимые управляющие программы, или драйверы, заранее загружаются в этот ПК.

Обычно ПУ (дисплей, клавиатура, мышь, модем, принтер и т.д.) персонального компьютера предоставляются в индивидуальное пользование каждому пользователю. Но в сетях ЭВМ, мэйнфреймах и суперкомпьютерах несколько пользователей могут использовать определенные ПУ (например, сетевой принтер, накопитель на магнитных или оптических дисках) совместно на основе разделения времени. Это позволяет существенно экономить на оборудовании, практически не снижая производительности компьютера, так как печать и обращения к дисковым накопителям производятся не постоянно. Однако такие ПУ коллективного пользования должны «закрепляться» за одной задачей до ее полного завершения (принтер) или до завершения запроса к устройству (накопителю на дисках). При одновременном выполнении задач несколькими сетевыми ПК печать результатов этих задач не должна выполняться частями, поэтому необходимо организовать очередь и принять специальные меры, исключающие возможность перемежающейся печати результатов на одном сетевом принтере.

Быстродействие ПУ оказывает решающее влияние на организацию системы ввода-вывода. Периферийные устройства являются звеном, связывающим компьютер с человеком или устройствами внешнего мира, поэтому во многих типах ПУ используется электромеханический принцип действия. Так, для ввода информации в ПК мы можем воспользоваться клавиатурой: нажимаем на клавишу, замыкая соответствующий контакт. Это приводит к формированию кода нажатой клавиши, который запоминается в регистре клавиатуры, а также сигнала прерывания, который передается в процессор и сообщает о нажатии клавиши. Затем код нажатой клавиши из регистра клавиатуры передается в процессор специальной программой-драйвером. Таким образом, для ввода символа с клавиатуры потребовалось нажать клавишу (делает человек) и передать сформированный код в компьютер (это выполняется программой). Механическое перемещение клавиши происходит достаточно медленно с позиций быстродействия компьютера, а передача сформированного кода выполняется сравнительно быстро. Такое разделение затрат времени характерно практически для всех типов ПУ:

- вначале производится подготовка кванта информации (например, на клавиатуре она сводится к нажатию на клавишу и формированию кода нажимаемой клавиши в регистре клавиатуры);
- затем подготовленный код символа из этого регистра ПУ передается в один из внутренних регистров процессора (под управлением программы);
- действия в ПУ приостанавливаются до получения подтверждения от процессора, разрешающего продолжить работу ПУ (такие ожидания характерны не для всех типов ПУ).

Итак, при работе практически любого ПУ перечисленные действия многократно повторяются и образуют цикл, состоящий из подготовки (или использования для устройств вывода) кванта информации, передачи его в процессор (или из него) и ожидания разрешения от процессора на продолжение работы ПУ. Если подготовка кванта информации во многих ПУ осуществляется посредством электромеханических узлов, то передача выполняется исключительно электронными схемами, вследствие чего продолжительность этапа подготовки многократно превышает длительность передачи.

Особенности цикла подготовки кванта информации и его длительность существенно влияют на способ подключения ПУ к компьютеру и на всю систему ввода-вывода в целом. В соответствии с особенностями и длительностью цикла работы все ПУ принято делить на низкоскоростные, среднескоростные и высокоскоростные.

- к *низкоскоростным* относят ПУ с быстроедействием не свыше нескольких символов в секунду; они предназначены для ввода символов в ПК непосредственно пользователем (клавиатура) и указания месторасположения какой-либо точки на экране (мышь). Квантом информации для таких устройств обычно служит символ, т.е. один или два байта;

- *среднескоростные* ПУ обладают скоростью подготовки и передачи информации, составляющей около нескольких тысяч символов в секунду. К числу таких ПУ принято относить принтеры, плоттеры, дисплеи, аппаратуру передачи данных, накопители на компакт-дисках и т.д. Для таких устройств характерен обмен квантами информации из нескольких байтов, например строки или страницы в случае принтера;

- *высокоскоростные* устройства обладают быстроедействием, достигающим нескольких десятков и сотен мегабайт в секунду. Для таких ПУ, а это в основном накопители на магнитных и компакт-дисках, характерна подготовка достаточно больших квантов информации, т.е. блоков из сотен и тысяч байт, и передача их в память компьютера с большой скоростью.

Для подключения к компьютеру разнообразных ПУ служит ряд интерфейсов: для низкоскоростных ПУ используются специальные интерфейсы клавиатуры или мыши, для среднескоростных устройств — коммуникационные порты COM, VGA, USB или FireWire, а для высокоскоростных — PCI, AGP, SCSI или IDE.

Цикл ПУ может быть постоянным и переменным. Постоянный цикл присущ синхронным устройствам, и его длительность определяется только этапами подготовки и передачи данных. В асинхронных устройствах длительность цикла переменна и состоит из трех составляющих: длительности подготовки кванта информации, его передачи и ожидания подтверждения от процессора.

Таблица 1.1. Обозначения периферийных устройств и интерфейсов для подключения их к компьютеру

Символическое обозначение	Описание	Символическое обозначение	Описание	Символическое обозначение	Описание
	Игровой порт		Аудиовыход		Телефонная линия
	Монитор		Микрофон		Телефонный аппарат
	Клавиатура		Наушники		Шина SCSI
	Мышь		Последовательный порт		Шина USB
	Аудиовход		Принтер		Интерфейс IEEE 1394

Многие современные ПУ снабжают буферной памятью, позволяющей какое-то время сохранять подготовленную устройством информацию в ожидании освобождения интерфейса и готовности процессора или памяти принять очередной квант информации. Устройства, оборудованные такой памятью, принято называть *буферизованными*. При наличии такой памяти момент приема подготовленного кванта данных процессором или памятью может не совпадать с моментом его выдачи из ПУ. Периферийные устройства в зависимости от их назначения могут различаться величиной подготавливаемых или потребляемых квантов информации (бит, один или несколько байтов, блок), а также глубиной буферной памяти в них. Помимо собственно ПУ, предназначенных для преобразования видов информации, используемой в компьютере и пригодной для человека или объектов внешнего мира, к таким устройствам часто относят модемы, маршрутизаторы, мосты, шлюзы, позволяющие человеку работать по каналам связи на значительном удалении от компьютера.

Для понимания принципов действия ПУ наиболее удобно распределить их по назначению: устройства ввода, устройства вывода, внешняя память, аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи и устройства дистанционного доступа. В соответствии со спецификацией PC 98 всевозможные устройства, подключаемые к ПК, а также различные интерфейсы, обозначаются ярлычками, приведенными в табл. 1.1.

1.2. Основные функции системы ввода-вывода

Периферийные устройства формируют исходные данные при вводе их в компьютер или получают данные из компьютера при выводе, чтобы сделать их доступными для пользователя. Для ввода или вывода данных необходимо запустить ПУ в работу. Запуск производится управляющими сигналами от системы ввода-вывода компьютера, а устройство должно сообщить свое состояние, т.е. возможность или невозможность выполнения каких-либо действий. Поскольку длительность интервалов формирования исходных данных или использования данных, полученных из компьютера, а также кванты данных в ПУ и центральных устройствах различаются между собой, то необходимо согласовать моменты готовности данных и преобразовать их форматы. Эти задачи, а также задача размещения данных в памяти компьютера возлагаются на систему ввода-вывода (СВВ). Основные функции СВВ следующие:

- установление связи между ПУ и оперативной памятью, обеспечение буферизации данных;
- преобразование форматов данных, принимаемых от ПУ при вводе в компьютер, во внутренние форматы, принятые для ЦП и ОП, и обратное преобразование форматов данных при выводе;
- определение места в памяти для размещения кванта данных при вводе или места, откуда его забирают при выводе, т.е. формирование текущего адреса A . Адрес формируется СВВ для каждого кванта данных D ; и кванты данных, и адреса передаются, соответственно, в регистры данных $RгД$ и адреса $RгА$ компьютера, как показано на рис. 1.1:
- формирование синхронизирующих и управляющих сигналов S для работы ПУ и выполнения им различных действий;
- обработка информации о текущем состоянии ПУ, т.е. сигналов S для определения возможности или невозможности выполнить необходимые действия;
- получение и выполнение приказов от процессора на выполнение операций ввода-вывода, а также формирование сообщений процессору о состоянии всей системы ввода-вывода;

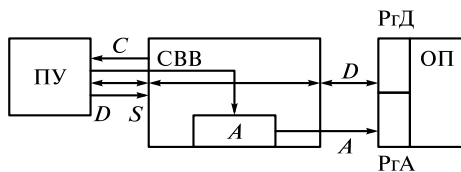


Рис. 1.1. Передача данных от ПУ в память компьютера

- согласование скоростей работы СВВ и ПУ для синхронизации процессов передачи и приема байтов данных.

Длительность решения задачи зависит не только от тактовой частоты процессора, но и от ряда других факторов, в частности связанных с затратами времени на выполнение операций ввода-вывода. Обычно оценку эффективной производительности компьютера выполняют с помощью пакета специально подобранных программ, включающих и операции ввода-вывода. Поскольку в операциях ввода-вывода участвуют ПУ, то эти операции выполняются сравнительно медленно и становятся одним из основных сдерживающих факторов повышения быстродействия компьютера.

Повысить производительность компьютера можно следующими приемами:

- увеличением скорости работы всех его устройств, в том числе и ПУ. Но электромеханические принципы действия, лежащие в основе многих ПУ, а также возможности самого пользователя, непосредственно работающего с ними, не позволяют добиться существенного повышения быстродействия;

- совмещением по времени операций обработки и ввода-вывода. Для этого в компьютере необходимо предусмотреть автономные устройства управления вводом-выводом, работающие совместно с процессором и памятью;

- одновременным выполнением нескольких операций ввода-вывода. Этот прием возможен только при наличии в компьютере нескольких устройств ввода-вывода.

Если управление передачей данных от ПУ в память компьютера выполняется центральным устройством, а сами данные передаются через арифметико-логическое устройство (АЛУ), то реализуется центрально-синхронный принцип управления. Он находил применение в самых первых ЭВМ, а также в некоторых простейших микропроцессорах. При этом все операции обработки и ввода-вывода выполнялись последовательно. В системе команд предусматривались специальные операции для управления конкретными ПУ, а каждая выполняемая команда служила для передачи лишь одного кванта информации. При центрально-синхронном управлении длительность решения задачи T определяется следующим образом:

$$T = (\alpha_a T_a + \alpha_{вв} T_{вв})n,$$

где α_a — доля арифметических операций; T_a — средняя длительность операции обработки; $\alpha_{вв}$ — доля операций ввода-вывода; $T_{вв}$ — средняя длительность операции ввода-вывода; n — общее число выполняемых команд в программе.

Центрально-синхронный принцип управления не требует значительных аппаратных затрат, но и не позволяет добиться высокой производительности компьютера, так как при выполнении операций ввода-вывода его процессор практически простаивает.

В современных компьютерах находит применение асинхронный принцип управления, при котором операции по обработке данных в процессоре и операции ввода-вывода выполняются одновременно, а точнее, параллельно. При асинхронном управлении возможно совмещение операций обработки и ввода-вывода, но для этого необходима сложная СВВ, принимающая на себя работу по управлению подготовкой данных в ПУ и установлению связи ПУ с процессором или памятью на время передачи подготовленных данных. Время решения задачи T сокращается, и его можно определить следующим образом:

$$T = [\alpha_a T_a + \alpha_{вв}(1 - K_{п}) T_{вв}] n,$$

где $K_{п}$ — «коэффициент перекрытия», характеризующий долю времени одновременно производимых операций обработки в ЦП и операций ввода-вывода с участием ПУ.

В случае отсутствия перекрытия, т. е. при $K_{п} = 0$, обработка и ввод-вывод выполняются последовательно, а при $K_{п} = 1$, т. е. при полном перекрытии, они выполняются совершенно независимо и не влияют друг на друга. В реальных условиях этот коэффициент принимает значения от 0 до 1 в зависимости от организации и архитектуры компьютера, а для повышения степени совмещения операций обработки и ввода-вывода необходимо следующее:

- при подготовке (или использовании полученных из памяти) данных в ПУ управление устройством должно выполняться автономными схемами самого ПУ;
- передача подготовленных в ПУ данных в память компьютера должна осуществляться, минуя АЛУ, для чего необходимы специальные средства управления ПУ и дополнительные входные регистры ОП;
- должна быть обеспечена синхронизация асинхронных процессов обработки информации в ЦП и подготовки квантов информации в ПУ, для чего необходимо предусмотреть дополнительные аппаратные средства.

Независимость работы ПУ достигается выделением специальных средств управления и доступа к памяти. Структурная схема компьютера с асинхронным управлением операциями обработки в процессоре и операциями ввода-вывода в ПУ приведена на рис. 1.2, а пример временной диаграммы, иллюстрирующей их параллельную работу, показан на рис. 1.3. На структурной схеме показаны дополнительные тракты передачи данных между ОП и ПУ, которые проходят, минуя АЛУ. Управление работой ПУ, формирование запросов и текущих адресов ОП выполняется *каналом ввода-вывода* (КВВ).

Для организации параллельной работы ЦП и ПУ процессор формирует команду запуска ПУ. Для этого текущая программа прерывается, он передает ПУ необходимую управляющую информацию; никакого совмещения обработки и ввода-вывода пока нет. После

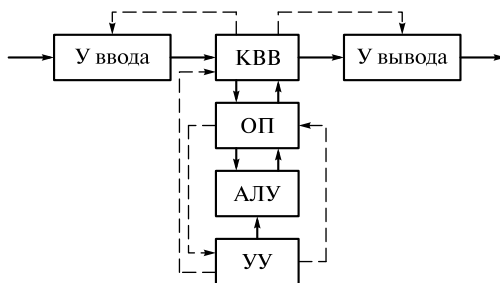


Рис. 1.2. Асинхронное выполнение операций в процессоре и ПУ

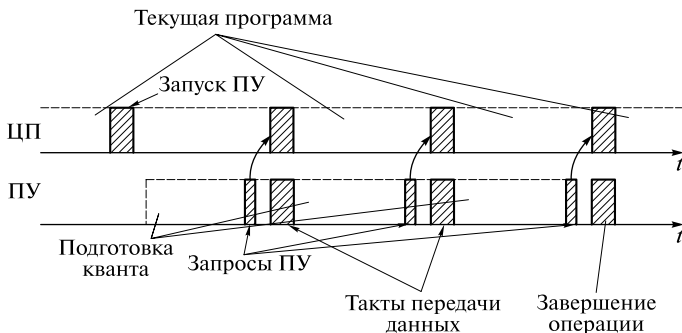


Рис. 1.3. Временная диаграмма, иллюстрирующая параллельную работу процессора и ПУ

приема необходимой управляющей информации ПУ начинает работать по подготовке кванта данных, а ЦП возвращается к выполнению отложенной программы; операции обработки и ввода-вывода совмещены во времени. После завершения подготовки кванта информации ПУ передает сигнал процессору, получив который ЦП опять приостанавливает выполнение текущей программы для получения подготовленных данных от ПУ, т.е. вновь отсутствует совмещение операций обработки и ввода-вывода. Получив данные от ПУ, процессор передает их в память, а затем возвращается к выполнению прерванной программы. По окончании работы ПУ сообщает об этом процессору.

Для выполнения операции ввода-вывода необходимо прервать выполнение текущей программы ЦП, перейти к выполнению программы загрузки необходимой управляющей информации в контроллер ПУ и, по мере готовности данных в ПУ, осуществлять их передачу в ОП. Поскольку операции ввода-вывода реализуются сравнительно медленными ПУ, то на их выполнение уходит больше времени, чем на выполнение арифметических и логических операций. Затраты вре-

мени на формирование кванта данных в ПУ и на передачу его в оперативную память можно представить в виде следующей суммы:

$$T_{\text{подг}} + T_{\text{прд}} + T_{\text{ож}},$$

где $T_{\text{подг}}$ — длительность подготовки кванта данных в ПУ; $T_{\text{прд}}$ — длительность передачи этого кванта данных в ОП; $T_{\text{ож}}$ — длительность ожидания обслуживания со стороны КВВ.

Если подготовка очередного кванта информации в ПУ начинается сразу же по окончании подготовки предыдущего кванта, то длительность интервалов между выдачей последовательных квантов данных постоянна и равна $T_{\text{подг}} + T_{\text{прд}}$; такие устройства называют синхронными. Но, если подготовка очередного кванта данных начинается только по окончании времени ожидания обслуживания со стороны КВВ (т.е. $T_{\text{ож}} \neq 0$), выдача данных происходит не с постоянными интервалами; такие ПУ называют *асинхронными*.

Подготовка квантов данных в любых ПУ выполняется медленнее, чем их передача в память, т.е. $T_{\text{подг}} \gg T_{\text{прд}}$. Это позволяет организовать совмещение обработки и операций ввода-вывода, когда подготовка данных выполняется ПУ автономно без участия процессора, а связь между процессором и ПУ осуществляется только для передачи подготовленных данных.

1.3. Организация систем ввода-вывода

Помимо собственно периферийных устройств необходимо иметь средства для передачи подготовленных данных в память компьютера или из нее на устройство вывода, т.е. необходимо создать канал ввода-вывода (КВВ). Канал ввода-вывода — это функциональный элемент компьютера, реализованный в виде совокупности аппаратных и программных средств и предназначенный для установления связи между ПУ и ОП, т.е. к образованию «канала» передачи данных между устройством и памятью. Он также позволяет организовать завершение операции ввода-вывода и отключение ПУ. При передаче данных из ПУ в ОП канал назначает адреса памяти и определяет количество еще не переданных слов. Для подключения ПУ к каналу, независимо от его физической реализации, служат специальные аппаратные средства, называемые средствами интерфейса.

Каналы ввода-вывода бывают выделенными и встроенными.

Выделенный КВВ, реализованный аппаратными средствами, служит в ПК для обмена данными с быстрой внешней памятью, а остальные устройства подключают к встроенному, или программному, каналу.

Встроенный КВВ представляет собой специальную программу процессора (так называемый драйвер), а также некоторую интер-

фейсную аппаратуру для физического подключения ПУ. Встроенные КВВ занимают аппаратуру процессора на все время выполнения операции ввода-вывода и, следовательно, не позволяют повысить производительность компьютера; они служат для стандартизации процедур обмена и упрощения программирования процедур ввода-вывода.

Посредством встроенного канала ввода-вывода могут быть реализованы совмещенный и несовмещенный режимы. При программном несовмещенном режиме все операции обработки и управление ПУ выполняются процессором исключительно последовательно. Его особенностью является наличие «петли ожидания», возникающей при тестировании процессором бита готовности ПУ к передаче или приему данных. Если ПУ не готово выполнить операцию, то такая петля обеспечивает синхронизацию работы процессора и ПУ. Такой режим используют в простейших компьютерах.

Для организации совмещенного режима каждое ПУ должно обладать автономными схемами подготовки данных, а переключение ЦП на программу управления передачей данных от ПУ выполняется по сигналу прерывания. Как только ПУ подготовит данные (или будет готово их принять из ОП) и разместит их в своем регистре, устройство передает в процессор сигнал запроса прерывания. Процессор прерывает текущую программу и переходит на выполнение программы-драйвера. Под управлением драйвера подготовленное слово из регистра ПУ передается в процессор, откуда и записывается в ОП. Адрес памяти, куда заносится слово, определяется драйвером. Затем производится модификация содержимого регистров процессора и осуществляется возврат процессора к его текущей программе. Такие действия приводят к значительным затратам времени ЦП. Встроенный канал для доступа к памяти использует общие с процессором регистры, т. е. реализует *косвенный доступ* к памяти.

Во встроенном канале все операции по управлению обменом выполняются программным путем (ЦП определяет адрес ячейки памяти, следит за количеством переданных байт, выполняет контроль и преобразование форматов). Естественно, такой канал неприменим для работы с ПУ, которые формируют очередной байт до того, как канал освободится от передачи предыдущего, например устройствам быстрой внешней памяти.

В ПК выделенные каналы реализуют в виде специальных контроллеров, управляющих работой ПУ и осуществляющих передачу данных между ОП и устройствами в режиме прямого доступа. При работе контроллера в режиме прямого доступа приостановки процессора происходят только при одновременном обращении ЦП и канала к ОП, что позволяет совместить во времени обработку в процессоре и ввод-вывод данных в память от ПУ. Для организации прямого доступа в память контроллер должен обладать аппаратными средствами для определения текущего адреса памяти, куда или откуда передается

байт данных, преобразования форматов этих данных, а также средствами для определения моментов начала и завершения обмена.

Помимо этих функций необходимо устанавливать связь с устройством и проверять возможность выполнения требуемой работы, т.е. состояния канала; эти функции можно выполнять программным путем с привлечением аппаратуры ЦП, а также дополнительной аппаратуры контроллера. В современных ПК образование и настройка канала прямого доступа в память осуществляются программно: процессор прерывает текущую программу для загрузки управляющих регистров контроллера прямого доступа, а после завершения загрузки продолжает ее выполнение. После загрузки регистров контроллера передача в память (или из нее) каждого байта от ПУ происходит без вмешательства процессора. Возможные конфликты из-за одновременного обращения в ОП процессора и контроллера разрешаются с помощью приостановок.

В системах команд ПК отсутствуют специальные команды ввода-вывода. Для выполнения ввода-вывода в этом случае необходимо, чтобы каждое ПУ обладало несколькими адресуемыми регистрами. Адреса этих регистров, наряду с адресами ячеек ОП, входят в общее адресное пространство компьютера и, следовательно, могут быть использованы обычными командами пересылок, т.е. коды операции в таких командах обращения к ПУ и ОП совершенно одинаковы, а отличие команд определяется исключительно адресами. Совокупность адресов регистров всех ПУ в адресном пространстве образует область адресов периферийных устройств, а совокупность адресов ячеек памяти — область адресов памяти; естественно, что эти области не пересекаются.

Каждое ПУ, а точнее его контроллер имеет несколько таких адресуемых регистров, но у большинства ПУ число таких регистров не менее двух. Регистры каждого устройства имеют последовательные адреса, занимая непрерывную область в адресном пространстве. Регистр с наименьшим адресом используют в качестве регистра команд и состояния (РКС), а его адрес приписывается ПУ в качестве его номера, или «имени». Адрес следующего регистра может быть найден обычным путем — добавлением длины РКС (в байтах) к его адресу. Если в контроллере всего два адресуемых регистра, то второй используется в качестве регистра данных для ввода или вывода, но если регистров несколько, то для выдачи или приема данных служит регистр со старшим адресом, а остальные — для приема управляющей информации.

В суперЭВМ и мэйнфреймах функции канала ввода-вывода выполняет специально выделенный *процессор ввода-вывода*, работающий под управлением центрального процессора. В системе команд ЦП компьютера предусматривают ряд специальных команд, позволяющих запустить в работу процессор ввода-вывода, проверить его состояние (состояние канала) и закончить ввод-вывод. Процессор

ввода-вывода обладает собственной системой команд для чтения и записи данных и передачи их между ПУ и ОП. В компьютерах третьего поколения (ЕС ЭВМ и IBM/370) использовались селекторные и мультиплексные каналы. Селекторные каналы предназначены для работы с быстрыми ПУ — накопителями на МД и МЛ. Средства такого канала монополюсно используются одним устройством до полного завершения операции ввода-вывода. Мультиплексные каналы служат для выполнения ввода-вывода от нескольких устройств, осуществляемого на основе разделения времени. Такие каналы бывают байт- и блок-мультиплексными. Байт-мультиплексные каналы предназначены для работы с медленными ПУ (например, устройствами ввода с перфокарт, устройствами печати и т. д.), а блок-мультиплексные каналы — для одновременной работы с несколькими устройствами внешней памяти.

Для характеристики канала ввода-вывода приняты следующие показатели:

- номинальная пропускная способность, т. е. максимальное число байт, которые передаются между ПУ и ОП за единицу времени, если никакие другие устройства не мешают передаче;
- нагрузочная способность, т. е. наибольшее число ПУ, которые может обслуживать канал, не вызывая потери информации и не снижая скорости работы устройств.

Реальная пропускная способность канала всегда ниже номинальной, так как необходимо выполнять настройку канала. При работе канала ввода-вывода снижается и производительность ЦП — доля времени, затрачиваемая на выполнение программ пользователя, уменьшается. Для оценки снижения производительности ЦП используют коэффициент работоспособности программы. Его значение зависит от организации системы ввода-вывода, количества одновременно работающих ПУ, а также их быстродействия.

Пропускную способность канала ввода-вывода можно оценить, если представить канал в виде буфера, заполняемого через интерфейс ввода-вывода и освобождаемого при передаче кванта данных в ОП (при операциях ввода). Чтобы не происходило потерь информации, необходимо выполнить условие, при котором средняя скорость заполнения буфера не превышает скорость его освобождения, т. е.

$$W_{\text{вв}}/T \leq W_{\text{оп}}/T_{\text{квб}},$$

где $W_{\text{вв}}$ — величина кванта данных, передаваемых через интерфейс; T — наименьший допустимый интервал времени между поступлениями квантов данных через интерфейс ввода-вывода; $W_{\text{оп}}$ — величина кванта данных при записи в ОП; $T_{\text{квб}}$ — средняя длительность обработки кванта в канале.

Канал при вводе осуществляет прием каждого кванта данных из ПУ, запоминание его в буферной памяти, модификацию управляющей информации для приема следующего кванта данных, передачу

данных в ОП и задержку обработки из-за занятости ОП обслуживанием другого устройства. Предполагая, что канал обслуживает только одно ПУ, и что другие устройства не мешают его работе, получим следующее выражение для пропускной способности канала $V_{\text{КВВ}}$:

$$V_{\text{КВВ}} = W_{\text{вв}}/T \leq W_{\text{оп}}/\sum \tau_i,$$

где $\sum \tau_i$ — затраты времени на выполнение перечисленных действий.

Если канал обслуживает несколько ПУ в режиме разделения времени (такой режим называют мультиплексным), то период поступления квантов данных от каждого ПУ должен быть больше времени обслуживания *всех* данных, поступивших в канал до этого момента, т.е. суммарная загрузка канала не должна превышать его пропускной способности.

Для оценки нагрузочной способности канала ввода-вывода положим, что все ПУ обладают одинаковыми характеристиками быстрогодействия, и тогда получим:

$$N_{\text{max}} \leq T/\sum \tau_i.$$

Задержка в обслуживании ПУ зависит от его приоритета, и, следовательно, в наихудших условиях находится устройство с наименьшим приоритетом. При назначении приоритетов устройствам необходимо учитывать допустимую длительность ожидания — нетерпеливость ПУ. Обычно самым высоким приоритет назначают накопителям на магнитных дисках, так как превышение допустимого времени ожидания приводит к необходимости повторного чтения информации и, следовательно, к снижению быстрогодействия всего компьютера.

1.4. Понятие интерфейса ввода-вывода

Для организации и управления передачами информации между процессором и памятью, процессором и ПУ, ПУ и памятью, а иногда и от одного ПУ к другому служат различные интерфейсы. Различают аппаратные и программные интерфейсы (interface — среда, соединяющая два различных устройства, например, процессор и память, память и устройства ввода-вывода и т.д., или объединяющая две программы). В первой части настоящего учебного пособия были рассмотрены особенности аппаратных интерфейсов, призванных обеспечить сопряжение ЦП и ОП. Но непосредственное подключение к компьютеру разнообразных ПУ выполняется с помощью целого ряда аппаратных интерфейсов. Такие интерфейсы часто в ПК называют *шинами* (bus), *портами* (port) или *стыками*; последние служат для подключения аппаратуры передачи данных (АПД).