

УДК 681.3.06

А. В. Соколов

*(Новосибирск)***АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА
ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И БИОУПРАВЛЕНИЯ**

Обсуждается возможность создания недорогих приборов для многоканального физиологического мониторинга и биоуправления, отвечающих требованиям по частоте опроса каналов и скорости передачи данных от прибора к ПЭВМ.

Мониторинг физиологических параметров организма — общий и самый информативный метод диагностики заболеваний. Новейшие исследования в области диагностики расширили применение многоканального мониторинга. Было показано, что анализ многочисленных параметров организма при длительном наблюдении способен дать наиболее полную картину заболевания и, что еще важнее, позволяет диагностировать болезнь на самой ранней ее стадии. Заметим, что на физиологическом мониторинге основан новый путь лечения ряда заболеваний и пограничных состояний организма — тренинг методом биологической обратной связи (БОС).

Все приборы физиологического мониторинга (далее физиологические мониторы или физиологические интерфейсы) должны удовлетворять, по крайней мере, трем основным требованиям.

1. Гарантия безопасности пациента. Часть датчиков, таких как электроэнцефалограммы, электрокардиограммы и электромиограммы, предназначены для работы в непосредственном электрическом контакте с телом пациента. Медицинские приборы, содержащие соответствующие им каналы, должны иметь схему изоляции пациента от бытовой электросети и приборов, от нее не изолированных, длительно выдерживающую напряжение с действующим значением 4000 В.

2. Соответствие количества и состава каналов физиологического монитора поставленным задачам. Например, для картирования электрической активности головного мозга нужен физиологический интерфейс, имеющий, по крайней мере, 96 каналов измерения электроэнцефалограммы.

3. Быстродействие прибора, включающее максимальную частоту опроса по каналу и скорость передачи данных ПЭВМ. Наибольшего числа измерений в единицу времени требует сигнал электромиограммы — до 700 выборок в секунду. Для канала электрокардиограммы нужно 300, а для канала электроэнцефалограммы — 70 выборок в секунду. Для каналов пневмограммы, фотоплетизмограммы и кожно-гальванической реакции достаточно скорости 10 выборок в секунду, а канал температуры требует всего 1—2 опроса в секунду. Следовательно, физиологический интерфейс, имеющий по одному из перечисленных каналов, должен обеспечивать максимальную скорость измерения и передачи данных не ниже 1100 выборок в секунду.

В настоящее время в мире существует большое разнообразие видов физиологических мониторов, основными производителями которых являются страны с развитой технологией и промышленностью, такие как США, Япония и

Германия. Однако эти приборы физиологического мониторинга еще не получили широкого распространения в России в основном из-за высокой стоимости. Так, выпущенный в 1996 году фирмой "J&J Eng." (США) 32-канальный интерфейс I-420 DSP (с цифровым сигнальным процессором) стоит более 5000 долларов.

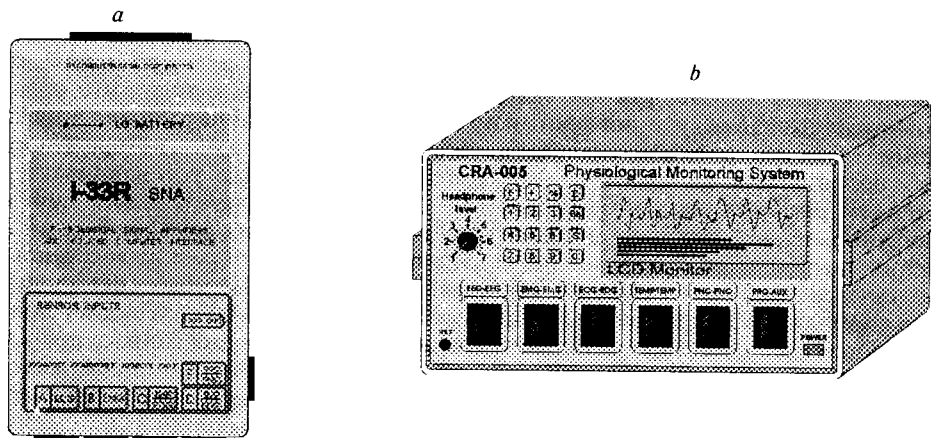
В связи с необходимостью оснащения российских медицинских лабораторий и клиник относительно недорогими физиологическими мониторами с учетом потребностей и финансовых возможностей в Институте медицинской и биологической кибернетики РАМН была поставлена задача создания семейства разнообразных по составу и назначению физиологических интерфейсов. В таблице приведены основные технические характеристики, а ниже будут рассмотрены некоторые особенности этих устройств.

Физиологический интерфейс должен представлять собой отдельное устройство в корпусе, имеющее изоляцию по линиям связи с ПЭВМ, а если питание прибора осуществляется от сетевого преобразователя, то вышеописанные требования предъявляются и к нему. Все интерфейсы, рассматриваемые далее, отвечают этому требованию.

Если в первую очередь ставится задача разработки недорогого физиологического монитора, то необходимо сразу отказаться от идеи использования платы цифрового сигнального процессора как средства связи прибора с ПЭВМ. В то же время персональный компьютер имеет хорошее средство для обмена данными — это стандартный последовательный порт. При описании разработок будет показано, что он позволяет получить необходимую скорость передачи данных от физиологического интерфейса к ПЭВМ.

Несколько лет назад были разработаны три различные по составу модификации 8-канальных интерфейсов типа I-33R (см. рисунок). В них использована микросхема последовательного 12-разрядного 8-канального АЦП LTC1290 [1], имеющая время преобразования 20 мкс и хорошую точность при невысокой стоимости. Тактирование АЦП осуществляется ПЭВМ, причем для получения малых временных задержек драйвер выполняет программные циклы, измеряя при каждом запуске производительность ПЭВМ. Для работы физиологических интерфейсов I-33R реализован синхронный протокол получения данных, использующий линии управления модемом RTS, DTR и DCD [2] последовательного порта нестандартным образом. Такой протокол позволяет получать от устройства до 5000 измерений в секунду по единственному каналу.

В настоящее время значительная часть программного обеспечения, в том числе и приложений для физиологического мониторинга, разрабатывается под операционную систему (ОС) Windows, которая предоставляет пользователю интуитивно простой и наглядный графический интерфейс. С другой стороны, Windows не обеспечивает необходимые для задач физиологического



Физиологические интерфейсы I-33R (a) и CRA-005 (b)

Конструктивно-технические характеристики

Типы интерфейсов	Количество каналов	Разрядность АЦП	Встроенный микропроцессор	Максимальное число выборки/с	Возможность автономной работы	Дополнительные средства управления и отображения
I-33R	8	12	Нет	5000	Нет	Нет
CRA-005T	13	12	i8051	1000	Есть	Клавиатура, текстовый ЖК-дисплей: две строки по 16 символов
CRA-007G	15	12	i8051	3000	Есть	Клавиатура, графический ЖК-дисплей: 128 × 64 точки
PMI-4E	4	12	PIC16C56	3000	Нет	Нет

мониторинга функции реального времени. Так, протокол обмена, реализованный для физиологического интерфейса I-33R и основанный на временных задержках, в названной ОС не даст синхронных измерений. Для работы Windows-приложению физиологического мониторинга требуется прибор, который сам обеспечивает функции измерения сигналов в реальном времени.

Эту задачу решает микропроцессорный физиологический монитор CRA-005 (см. рисунок), в котором микроконтроллер i8051 [3] выполняет функции счета реального времени, управления АЦП и обмена с ПЭВМ по последовательному порту в стандарте асинхронного протокола RS-232 со скоростью 57,6 Кбод. Передача данных ПЭВМ осуществляется пакетами, состоящими из заголовка, битов синхронизации, данных преобразования одного или нескольких каналов и контрольной суммы. Максимальная скорость опроса составляет 1000 измерений в секунду по единственному каналу. Физиологический монитор CRA-005 отличается от интерфейсов I-33R модульной конструкцией, позволяющей собрать прибор требуемого назначения, имеющий до 13 каналов. Кроме того, прибор может работать без управления ПЭВМ и отображать текстово-цифровую информацию на встроенном ЖК-дисплее.

Как уже было отмечено, Windows не является операционной системой реального времени. Это проявляется, в частности, в том, что ядро ОС может задержать отражение [4] аппаратного прерывания в системную виртуальную машину, на которой работают все Windows-приложения. При скоростях обмена по последовательному порту, превышающих 19,2 Кбод, и при использовании логики прерываний эта задержка может привести к тому, что обработчик прерывания, установленный приложением, не получит управления до момента поступления следующего байта данных. Это приведет к потере одного или более байтов данных в пакете, и факт такой ошибки устанавливается чтением регистра состояния линии [2] адаптера последовательного порта. Восстановление единственного потерянного в пакете байта возможно по значению контрольной суммы, иначе ошибочный пакет не подлежит восстановлению и должен быть отброшен как недействительный. Поэтому специально для нормальной работы физиологического монитора CRA-005 с Windows-приложением был написан виртуальный драйвер. При получении запроса прерывания от адаптера последовательного порта драйвер немедленно считывает принятые данные в свой буфер, приводя этим адаптер в состояние готовности к новому приему. После этого он выставляет запрос прерывания в системную виртуальную машину и удерживает его до тех пор, пока приложение не вы-

физиологических интерфейсов

Программное обеспечение	Гальваническая развязка 4000 В	Питание прибора	Габариты прибора, мм
БОСлаб	Есть	Батарея типа «Крона» или изолированный источник питания 9 В	160 × 95 × 35
Medlab для Windows	Есть	Изолированный источник питания 9 В	152 × 158 × 82
Medlab для Windows	Есть	То же	160 × 200 × 110
Medlab для Windows	Есть	Две батареи типа ААА по 1,5 В	160 × 95 × 35

полнит операцию чтения базового регистра ввода-вывода [2] адаптера. При чтении драйвер перехватывает обращение к регистру и возвращает приложению данные из своего буфера. Кроме того, драйвер эмулирует состояние и поведение всех остальных регистров адаптера для корректной работы приложения, используя обращение к последовательному порту.

Протокол передачи данных, реализованный для физиологического монитора CRA-005, при опросе единственного канала дает снижение скорости обмена данными на 60 % по сравнению с упрощенным протоколом и становится оптимальным лишь при измерении четырех и более каналов. Поэтому в 4-канальном физиологическом интерфейсе PMI-4E был использован упрощенный протокол работы по принципу «посылка байта (номера канала) в устройство и последующий прием двух байтов данных». Скорость обмена по последовательному порту определена в 115,2 Кбод — это максимальное значение для стандарта RS-232. Благодаря вышеописанным мерам, достигнута частота опроса устройства 3000 выборок в секунду по единственному каналу. Синхронизацию посылок запросов к устройству, контроль реального времени и прием данных обеспечивает специально написанный виртуальный драйвер.

Новый 15-канальный микропроцессорный физиологический монитор CRA-007 будет отличаться от своего предшественника CRA-005, прежде всего, встроенным графическим ЖК-дисплеем, что значительно расширит его возможности как автономного прибора. При проектировании нового монитора учтены особенности обмена данными, характерные для интерфейсов CRA-005 и PMI-4E. Улучшенный протокол обмена будет учитывать количество одновременно мониторируемых каналов, требуемые скорости опроса и перестраиваться в зависимости от них. Кроме того, в физиологическом мониторе CRA-007 применена микросхема 12-разрядного АЦП AD7870 [5] с 8-битным параллельным интерфейсом, что позволяет сэкономить до 100 мкс времени микропроцессора i8051 на каждом измерении.

В настоящее время разработанные приборы физиологического мониторинга находятся в опытной эксплуатации, которая показала правильность и эффективность созданных принципов и устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Linear Technology Databook: Linear Technology Corp., 1990. P. 13(62).
2. Библиотека системного программиста. Т. 2. Ч. 1. М.: Диалог-МИФИ, 1995. С. 138.
3. Однокристальные микроЭВМ: Техн. описание и руководство по применению. М.: МП «Бином», 1992.
4. Шульман Э. Неофициальная Windows 95. Киев: Диалектика, 1995.
5. Design-In Reference Manual: Analog Devices, Inc., 1994. P. 2(316).

Поступила в редакцию 7 октября 1996 г.

Реклама продукции в нашем журнале — залог Вашего успеха!