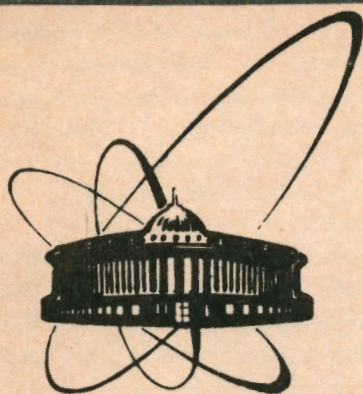


92-182



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P10-92-182

А.Л.Меньшиков, В.И.Приходько, Я.Судек

**МОДУЛЬ ЦИФРОВОГО  
СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА  
ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ЭВМ**

Направлено в Оргкомитет XVIII Конференции  
по микропроцессорам и микропрограммированию  
ЕВРОМИКРО'92, Париж, 14—17 сентября 1992 г.

**1992**

Цифровые сигнальные процессоры (ЦСП), по сравнению с универсальными микропроцессорами и арифметическими сопроцессорами, применяемыми в персональных ЭВМ, являются более мощным средством для реализации многих алгоритмов цифровой обработки сигналов, в частности для обработки изображений (цифровые фильтры, свертка, быстрое преобразование Фурье и др.).

Высокая производительность ЦСП достигается благодаря:

- специальной внутренней архитектуре с большой степенью параллелизма и конвейеризации, оптимизированной для решения этих задач (наличие в ЦСП сумматора, умножителя, адресного АЛУ, параллельных и последовательных портов, таймера, быстрой памяти отдельно для программ и для данных, множества внутренних шин);

- быстрой и удобной связи с окружающей средой (большое адресное пространство, немultipлексированные шины, возможности создания многопроцессорной системы);

- программному обеспечению, которое позволяет эффективно управлять этим мощным аппаратным средством (широкий набор команд, специальный ассемблер, библиотеки стандартных подпрограмм, отладчики, симуляторы, компиляторы языков высокого уровня).

В настоящей работе описан модуль ЦСП, выполненный в виде четырехслойной печатной РС-платы для персональных ЭВМ типа РС-АТ и РС-386 и предназначенный для цифровой обработки сигналов и изображений, поступающих с соответствующих РС-модулей оцифровки (например, из модуля видеопамати - фреймгреббера). Модуль позволяет выполнять в реальном времени обработку сигналов звуковых частот: БИХ- и КИХ- фильтрации, адаптивную фильтрацию, сжатие и кодирование сигналов, ортогональные преобразования сигналов (Фурье, косинусное и др.). Он может быть использован также как ускоритель вычислений при обработке изображений и данных и как основа для построения рабочего места разработчика аппаратуры на базе ЦСП.

Модуль основан на ЦСП типа TMS 32020 фирмы Texas Instruments [1]. Его основные характеристики: длина цикла 200 нс, 32-разрядный умножитель-аккумулятор с фиксированной запятой. Внутренняя память - 288 слов для данных и 256 слов для программ или программ, внешнее адресное пространство для программ 64К \* 16 слов и столько же для данных. ЦСП располагает мощной системой адресации данных благодаря наличию вспомогательных регистров и адресного АЛУ, а также отдельных шин адреса и шин данных, внутренней памяти программ и памяти данных (при работе с внешней памятью используются одна шина адреса и одна шина данных). Макроассемблер содержит более 200 команд как

Объединенный институт  
передних исследований  
БИИМОТЕНА

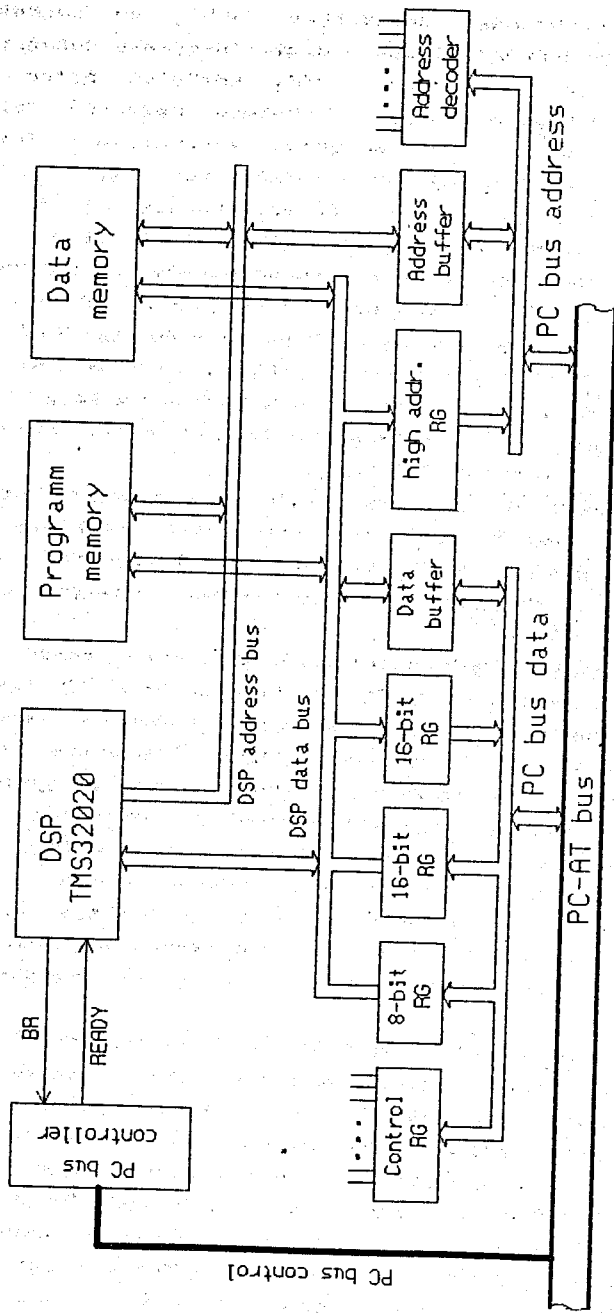


Рис.1. Структурная схема модуля ЦСП

специфических для ЦСП (например, умножение и суммирование в одном цикле), так и универсальных. В ЦСП на аппаратном уровне поддерживается организация циклического повторения команд. В ЦСП встроен 16-разрядный таймер, по переполнении которого инициируется запрос прерывания.

На рис.1 представлена структурная схема модуля ЦСП. Модуль содержит, кроме самого ЦСП, память для программ (16К 16-разрядных слов) и данных (32К \* 16), 3 коммуникационных регистра, контроллер шины PC, селекторы адресов портов и памяти, а также некоторые вспомогательные логические схемы.

ОЗУ, помещенное на плате, служит, в основном, как рабочая память ЦСП. Центральный процессор PC может обращаться к этому ОЗУ как к своей оперативной памяти: для этого он должен перевести ЦСП в состояние HOLD. В адресном пространстве компьютера (16 Мбайт) память модуля занимает один блок 128 кбайт. Память доступна только по словам. Данные или другие сообщения PC может передавать в ЦСП через один 16-разрядный и один 8-разрядный коммуникационные порты. PC может также выполнить сброс ЦСП, установить его в состояние HOLD, вывести из состояния HOLD, вызвать в ЦСП 4 прерывания и сброс.

ЦСП имеет возможность вызывать в PC прерывание и передавать сообщения или данные посредством одного 16-разрядного порта. Кроме того, ЦСП может стать мастером на шине PC и получать таким образом доступ в любую область оперативной памяти PC. Это возможно благодаря тому, что модуль ЦСП поддерживает многопроцессорную архитектуру так же, как и шина PC-AT. Доступ ЦСП к памяти PC позволяет, например, при обработке изображений читать / записывать блоки данных из / в видеопамять фреймгреббера без вмешательства PC. Во время такого доступа центральный процессор переводится в состояние HOLD и шина PC находится в полном распоряжении ЦСП.

Модуль работает следующим образом. После включения питания ЦСП устанавливается в состояние HOLD (сигнал HOLD\_RQ), что гарантирует отсутствие попыток выхода на шину PC со стороны ЦСП. Это позволяет провести инициализацию модуля ЦСП. При инициализации производится загрузка памяти программ и памяти данных модуля, а также программный сброс ЦСП, при котором, в частности, устанавливается в ноль счетчик команд (по нулевому адресу памяти программ записывается команда перехода на начало программы). После сброса сигнала HOLD\_RQ модуль начинает выполнение записанной программы.

Система команд ЦСП ориентирована на то, что исходные данные и результаты вычислений располагаются в памяти данных.

Память данных состоит из внутренней памяти данных ( на кристалле ЦСП ), внешней памяти данных ( располагающейся на плате модуля ) и глобальной памяти, представляющей собой часть памяти компьютера. Распределение адресного пространства памяти данных представлено на рис.2. Смещение адреса глобальной памяти задается соответствующим регистром модуля, оно модифицируется ЦСП и может иметь произвольное значение, кратное  $2^{15}$ . ЦСП имеет отдельные внутренние шины команд и данных ( Гарвардская архитектура ), что обеспечивает быструю обработку данных из внутренней памяти данных. Команды чтения операнда из внутренней памяти данных, его модификации и записи результата в аккумулятор и команды передачи данных из аккумулятора во внутреннюю память занимают один цикл ЦСП, равный 200 нс. При обработке данных, находящихся во внешней памяти данных, скорость вычислений снижается из-за совмещенной внешней шины команд и данных. Кроме

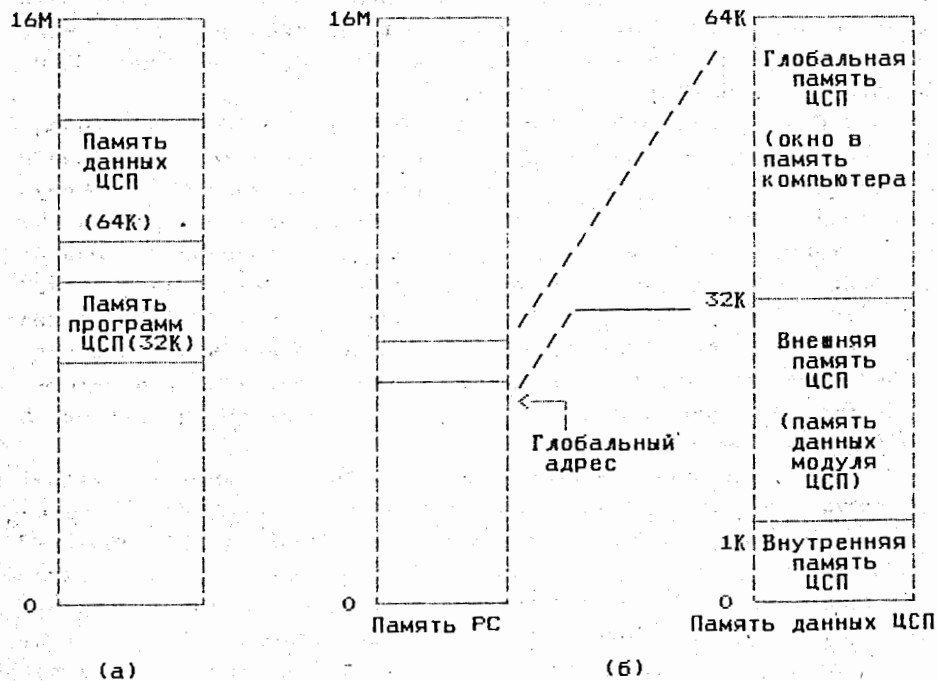


Рис.2. Распределение адресного пространства ЦСП

(а) адресное пространство РС; (б) адресное пространство ЦСП

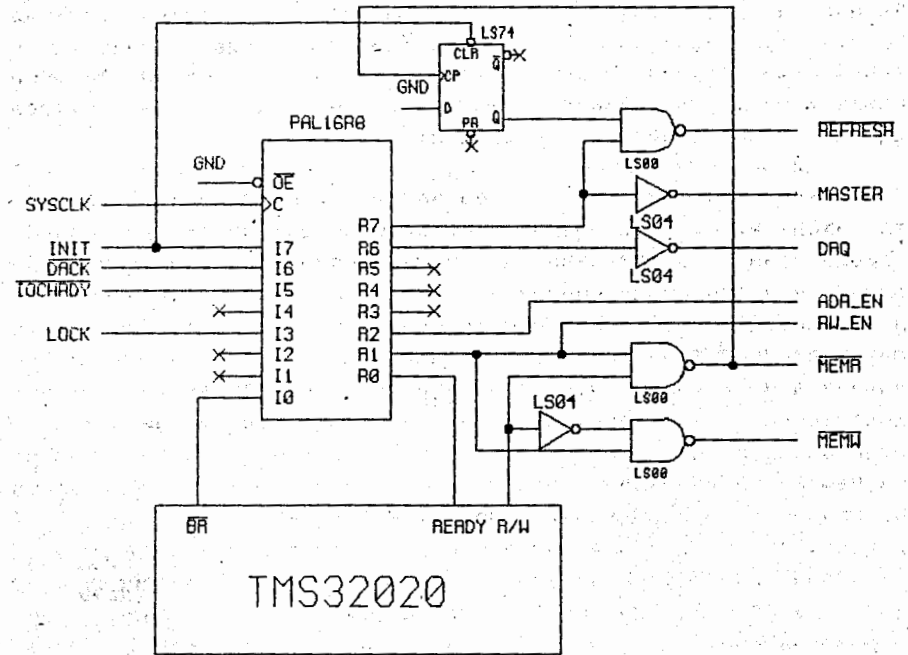


Рис.3. Структурная схема контроллера шины РС

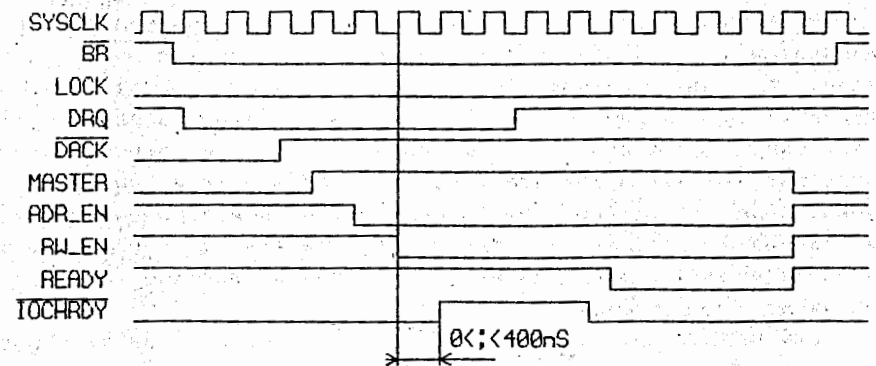


Рис.4. Диаграммы работы контроллера шины РС

этого, скорость работы с внешней памятью зависит от быстродействия используемых микросхем памяти: если время доступа микросхем  $T_{acc}$  превышает 85 нс, то каждая команда обращения к внешней памяти данных будет состоять из одного цикла выборки команды и нескольких циклов ожидания данных. Количество циклов ожидания  $N$  определяется выражением:

$$85 \text{ нс} + (N-1) * 200 \text{ нс} < T_{acc} \Rightarrow 85 \text{ нс} + N * 200 \text{ нс}$$

Компьютеры типа PC/AT позволяют модулям на шине PC выполнять захват шины, который заключается в приостановке центрального процессора PC и получении доступа ко всем ресурсам компьютера (память и порты ввода/вывода). Эта возможность использована для организации глобальной памяти ЦСП (см. рис. 2). Глобальную память целесообразно использовать для хранения больших массивов исходных данных и результатов обработки, для размещения которых недостаточно емкости внешней памяти ЦСП, а также для организации многопроцессорной обработки, когда данные обрабатываются одновременно центральным процессором PC и одним или несколькими ЦСП. Кроме этого глобальная память может быть использована для обращения ЦСП к памяти фреймгреббера. В модуле ЦСП захват шины PC и ее управление осуществляет контроллер шины, реализованный на микросхеме PAL16R8. На рис. 3 представлена структурная схема контроллера шины, а на рис. 4 — диаграмма захвата шины. Захват инициируется либо сигналом BUS\_RQ, генерируемым ЦСП при обращении к глобальной памяти, либо битом LOCK управляющего регистра модуля (бит LOCK находится под программным управлением ЦСП). При отсутствии сигнала LOCK процесс захвата и возврата шины производится при каждом обращении к глобальной памяти, что приводит к дополнительным временным затратам, составляющим примерно 1-1,5 мкс для PC-386 (20 МГц) на каждое обращение к памяти. Сигнал LOCK позволяет минимизировать эти непроизводительные затраты путем захвата шины на произвольный промежуток времени, определяемый программой работы ЦСП. При передаче массива из глобальной памяти во внутреннюю память ЦСП с помощью команды пересылки блока данных BLKD можно достичь скорости передачи до 1 мкс/слово.

Если модуль захватывает шину PC на время, значительно превышающее 15 мкс, то во избежание искажения содержимого памяти компьютера сам модуль должен организовывать регенерацию памяти. Для проведения регенерации необходимо каждые 2 мс выполнять 128 циклов регенерации. В модуле ЦСП инициирование цикла регенерации производится сигналом RFR\_RQ (см. рис. 3) по команде записи в порт 2. Для организации временной последовательности циклов регенерации используются внутренний таймер ЦСП и

```
TIMER  b      >300
        aarg   >300
        out   BUFR,PA14
        eint
        ret
```

Программа инициализации:

```
.....
.....
lalk    >15
sac1    3      * programming the timer
lalk    >15
sac1    2
lalk    >8
sac1    4      * set mask Timer-INT
.....
.....
```

Рис. 5. Программа инициализации таймера и обслуживания прерывания

программа обслуживания запроса прерывания от таймера. Текст программы представлен на рис. 5. На инициирование цикла регенерации при выполнении этой программы ЦСП затрачивает 6 циклов, что составляет 1,2 мкс. Это означает, что необходимость программной реализации регенерации памяти компьютера при захвате на длительное время шины PC модулем ЦСП приводит к снижению скорости работы ЦСП с глобальной памятью на 8%.

Авторами проведена оценка производительности модуля при выполнении некоторых задач обработки сигнала. Так, КИХ-фильтр 80-го порядка (свертка с 80-точечным ядром) позволяет в реальном времени обрабатывать сигналы при частоте их поступления до 50 кГц, а двухкаскадный БИХ-фильтр — при 110 кГц. Преобразование Фурье 1024-точечной последовательности выполняется модулем за 60 мс (на выполнение такой операции PC-386 затрачивает около 300 мс). Это позволяет производить обработку цифровых сигналов, поступающих с частотой до 15 кГц, в реальном времени. Отметим, что точность вычислений прямого и обратного 1024-точечных преобразований Фурье в модуле DSP-PC позволяет проводить обработку 6-разрядных сигналов в спектральной области (для 8-разрядных сигналов допустима обработка в спектральной области при 256-точечном преобразовании).

Кросс-программное обеспечение разработки и отладки программ модуля DSP-PC, работающее на PC-XT/AT, включает программы ассемблера, линкера, отладчика и симулятора. Симулятор, ассемблер и линкер дают возможность разрабатывать программное обеспечение для модуля DSP-PC, не имея самого модуля. Кроме этого симулятор существенно облегчает создание программ для ЦСП тем,

что дает возможность симулировать аппаратные прерывания и операции ввода/вывода, позволяет выполнять программу в пошаговом режиме и обрабатывает различные программные прерывания (например, при обращении к портам или памяти, при считывании/записи определенного слова или при обращении к памяти по определенному адресу и др.).

В ближайшем будущем авторы планируют расширить возможности модуля путем размещения на плате модуля параллельного и последовательного портов для приема данных непосредственно с измерительных устройств и передачи результатов вычислений на устройства управления или отображения. Кроме этого планируется увеличить память программ и память данных ЦСП. Разрабатывается также плата модуля ЦСП в стандарте Евромеханики с шиной Multibus (AMS), имеющего характеристики, аналогичные модулю DSP-PC.

Рынок ЦСП ежегодно составляет свыше 1 млрд. долларов и продолжает расти примерно на 30% в год. Область применения ЦСП необычайно широка и распространяется от игрушек до космической техники. В последнее время практически во всех экспериментальных установках физики высоких энергий используются ЦСП в триггерных системах, системах сбора и обработки данных [2,3]. Именно для этих систем, а также для некоторых прикладных задач (в первую очередь, в медицинских исследованиях) с помощью описанного выше модуля ведется разработка алгоритмов и программ цифровой обработки сигналов, изображений и данных.

Авторы выражают признательность М.Кепперту за адаптацию программного обеспечения, В.А.Бутенко за разработку печатной платы и А.С.Кириллову за разработку демонстрационной программы.

#### Литература

1. S.S.Magar et al. - Digital Signal Processor Borrowing from MP to Step up Performance, Electronic Design, Feb.21,1985.
2. D.Crosetto. - Digital Signal Processing in High Energy Physics. CERN 91-05, 14 May 1991, pp.263-292.
3. В.И.Приходько, Я.Судек. - Цифровые сигнальные процессоры. Сообщение ОИЯИ P10-90-515, Дубна, 1990.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 апреля 1992 года.

Меньшиков А.Л., Приходько В.И., Судек Я.  
Модуль цифрового сигнального процессора  
для персональных ЭВМ

P10-92-182

Описан модуль цифрового сигнального процессора (ЦСП), выполненный в виде PC-платы для персональных ЭВМ типа PC-AT/386/486 и предназначенный для цифровой обработки сигналов и изображений, в первую очередь в системах сбора и обработки данных, в триггерных системах экспериментальных установок, а также в прикладных областях (в частности, в медицине). Модуль основан на ЦСП типа TMS 32020. Он может быть использован как ускоритель вычислений при обработке изображений и данных, а также как основа для построения рабочего места разработчика аппаратуры на базе ЦСП TMS 32020.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод авторов

Menshikov A.L., Prikhodko V.I., Sudek J.  
The Digital Signal Processor Module for Personal Computers

P10-92-182

Digital Signal Processor (DSP) module for digital signal and image processing realized as one plug-in printed circuit board for PC-AT/386/486 is described. It is used mainly for data acquisition and processing system, trigger system of experimental devices and for other application areas (e.g. medicine). The module is based on DSP chip TMS 32020. It can be used as accelerator module for signal and image processing and as development tool for designing other TMS 32020 based devices.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1992