

Рис. 6

изводит поточечную конвейерную обработку графических примитивов с асинхронным принципом обмена информацией. При основном такте в 200 нс предельное время задержки составляет не более 20 мкс на точку для заданного класса обрабатываемых объектов. Форма представления координат трехмерных объектов — 32-разрядные двоичные числа со знаком. Все необходимые команды поступают от управляющего процессора, а атрибуты графического объекта загружаются из базы данных системы. БО работает в составе синтезирующей системы визуализации для моделирования сцен в реальном времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кларк Д. Х., Дэйвис Т. Универсальная рабочая станция инженера-конструктора // Электроника. — 1983. — 56, № 20.
2. Лагнев М. М., Хачумов В. М. Бесповторный алгоритм отсеечения плоских многоугольников // Тез. докл. VI науч.-техн. семинара «Математическое обеспечение систем с машинной графикой». — Махачкала; Ижевск: Ижевский дом техники, 1989.
3. Sutherland I. E., Hodgman G. W. Reentrant polygon clipping // Commun. of the ACM. — 1974. — 17, N 1. — P. 32.

Поступила в редакцию 17 июля 1989 г.

УДК 681.325.5.01

**В. В. БАЧУРИН, В. Я. БУДЦЕВ, А. Ю. БУЛГАКОВ,
А. Н. КАСПЕРОВИЧ**
(Новосибирск)

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ СПЕЦПРОЦЕССОР СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Одним из важных направлений современной вычислительной техники является создание технических средств статистической обработки сигналов в режиме реального времени. Непосредственное использование ЭВМ широкого назначения для этих целей в большом числе случаев оказывается невозможным, так как режим реального времени требует

© 1990 Бачурин В. В., Будцев В. Я., Булгаков А. Ю., Касперович А. Н.

высокого быстродействия для прямой обработки поступающих данных либо запоминающего устройства большого объема для предварительной записи исследуемого процесса с целью последующей обработки на ЭВМ. Поэтому приходится создавать аппаратные реализации спецпроцессоров обработки сигналов реального времени. Однако очевидно, что подобный спецпроцессор для обеспечения необходимой гибкости должен работать совместно с персональным компьютером, осуществляющим управление спецпроцессором, выполняющим вторичную обработку и визуализацию промежуточных и окончательных результатов. При этом естественным такую задачу, поступают с некоторого (не описываемого здесь) измерителя [1].

Поскольку практика часто требует накопления статистического материала в течение достаточно продолжительного времени, длина сумматора накопителя должна быть большой (в нашем случае больше 40 разрядов). В связи с этим, а также учитывая, что суммирование относительно коротких порций данных, накопленных в спецпроцессоре, может осуществляться и в ЭВМ, возникает вопрос о разумном распределении аппаратного и программного (внутри ЭВМ) накопления, т. е. об определении длины порции данных, накапливаемой в аппаратном спецпроцессоре, и длины накопителя в ЭВМ, суммирующей порции данных спецпроцессора. Необходимость такого распределения определяется еще и тем, что для повышения качества обработки желательно периодически корректировать дрейф тракта измерителя и наблюдать на мониторе промежуточные результаты накопления.

В настоящей статье излагаются результаты разработки спецпроцессора, обеспечивающего обработку сигналов с максимальной частотой появления обрабатываемых событий — 75 МГц.

При построении гистограмм на процессор поступает пара сигналов: сигнал компаратора о том, что аналоговое значение исследуемого сигнала в данный момент времени превысило некоторое определенное пороговое значение, и сигнал о том, что измеренное значение имело место при выполнении некоторого условия — состояния исследуемого случайного процесса. Таких состояний может быть много, но в каждый момент времени реализуется одно из них. По полученным данным можно построить условные гистограммы (по числу регистрируемых состояний-условий).

При определении условных средних с измерителя поступает отсчет сигнала, а спецпроцессор суммирует поступающие отсчеты отдельно по каждому условию.

Основной проблемой при разработке было обеспечение требуемого быстродействия, для чего в качестве элементной базы для построения спецпроцессора применены микросхемы серии 1500. Однако даже при использовании микросхем этой серии создание спецпроцессора достаточно затруднительно, поэтому каждый накопитель спецпроцессора выполнен на двух идентичных каналах, работающих попеременно со сдвигом. Кроме них, в накопителе имеется вентильный регистр и формирователь стробов.

Блок-схема канала накопителя представлена на рис. 1. По сравнению с накопителями, основанными на использовании счетчика для каждого условия, подобное построение позволяет резко снизить объем оборудования, хотя и имеет следствием некоторый проигрыш в быстродействии.

Каждый канал состоит из ОЗУ, комбинационного сумматора, регистра фиксации, входного и выходного буферов. Шестиразрядный признак

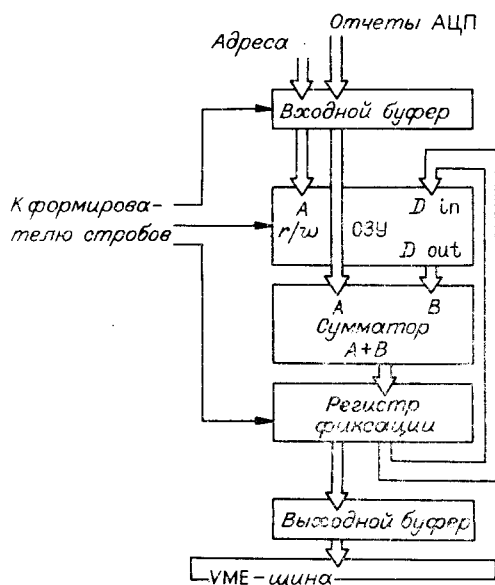


Рис. 1

регистра плюс 2 нс — предустановка памяти) в ОЗУ посылается строб записи длительностью 5 нс. При этом происходит запись содержимого регистра в память по предыдущему адресу. По заднему фронту строба записи во входной буфер канала осуществляется запись новых адреса и данных. Через 9 нс (2 нс — время срабатывания входного буфера и 7 нс — время выборки) на выходе ОЗУ появляется содержимое по новому адресу. Это содержимое поступает в сумматор, где складывается с новыми данными. Суммирование выполняется в течение 6 нс. После этого, выждав дополнительное время предустановки (1 нс), результат суммирования можно записывать в регистр фиксации в новом цикле накопления. С учетом дополнительных задержек, вызванных длиной проводников и паразитной емкостью (до 1,5 нс), минимальное время цикла составит $4 + 5 + 2 + 7 + 6 + 1 + 1,5 = 26,5$ нс. Такое быстродействие позволяет работать всему накопителю на частотах до 75 МГц. Заметим, что для минимизации вышеупомянутых задержек весьма важной оказалась тщательность разводки печатной платы.

В двухканальном накопителе циклы каждого канала в отдельности делятся по два периода тактовой частоты исследуемого сигнала, а их относительный сдвиг составляет один период.

Оптимизация временной диаграммы накопителя — моментов стробирования буферов, регистров и ОЗУ каждого канала — достигнута благодаря тщательному выбору значений задержек стробов.

Длина слова накопителя (счетчика) выбрана в 24 разряда. Подобная длина обеспечивает, с одной стороны, значительное число накапливаемых отсчетов, а с другой — приемлемое значение мертвого времени, необходимого для переписи порции данных в ЭВМ. Заметим, что при накоплении отсчетов АЦП допустимое число событий, не вызывающее переполнения накопителя, определяется статистическими характеристиками накапливаемого сигнала (матожиданием и дисперсией). Так, при значении матожидания, не превышающего одного кванта АЦП, допустимое число событий в порции составит 2^{24} по каждому признаку.

Для обеспечения требуемой разрядности каждый канал содержит пять микросхем ОЗУ (K1500PY073), четыре регистра (K1500IP151) и четыре сумматора (K1500IM180) со схемой ускоренного переноса (K1500IM179). Заметим, что в накопителе имеется дополнительный вход, запрещающий запись в ОЗУ в тех случаях, когда исследуемый

состояния исследуемого процесса поступает на адресную шину ОЗУ. Соответствующий ему исследуемый сигнал подается на сумматор и складывается там с результатом предыдущих накоплений, считываемым из ОЗУ. Затем новый результат записывается обратно в память по тому же адресу. Как указывалось выше, в качестве исследуемого сигнала используются либо 6-разрядный отсчет внешнего АЦП, либо бит его старшего разряда (когда АЦП используется в качестве компаратора).

По положительному фронту тактового строба в первую очередь регистр фиксации запоминает результат предыдущих вычислений сумматора. Спустя 4 нс (2 нс — задержка

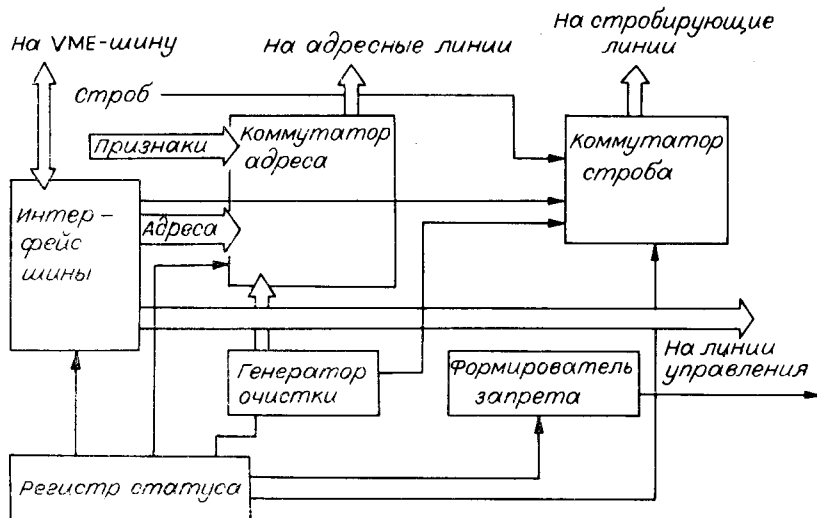


Рис. 2

сигнал почему-либо не удовлетворяет пользователя (не выполняется некоторое дополнительное условие).

Спецпроцессор реализован в крейте конструктива «Евромеханика» и работает через адаптер [2] в тесной связи с ПЭВМ PC/AT. Крейт имеет две магистрали: одна реализует VME-магистраль, другая — специализированная скоростная магистраль — служит для соединения модулей спецпроцессора между собой посредством согласованных линий связи. Сигналы по ним передаются преимущественно в уровнях серии 1500.

Созданный образец спецпроцессора с целью достижения требуемой производительности содержит четыре однотипных модуля накопителя, дополнительный модуль счетчика событий, подсчитывающий единое для всех каналов число событий, и модуль управления.

Накопители получают данные и признаки по специализированной магистрали. Результаты накопления считываются в ЭВМ через VME-магистраль. Сигналы управления на накопители (в том числе и считывания по командам ЭВМ) поступают с блока управления по специализированной магистрали.

Счетчик событий устроен так же, как и накопители. В отличие от них в счетчике в каждом цикле всегда происходит прибавление единицы по адресу, соответствующему признаку события.

Все управляющие функции спецпроцессора сосредоточены в модуле управления. Этот модуль формирует сигналы управления режимами накопителей в соответствии с командами ЭВМ, поступающих через VME-магистраль. Кроме того, модуль генерирует сигналы, осуществляющие аппаратную очистку ОЗУ накопителя перед накоплением очередной порции данных. (Отметим, что аппаратная очистка выполняется быстрее, чем эквивалентное ей программное вычитание двух последовательных порций накопленных сигналов.) Необходимость в отдельном модуле управления вызвана нецелесообразностью многократного повторения управляющих цепей в накопителях (из-за недостатка места).

Блок-схема модуля управления представлена на рис. 2. Основными его элементами являются: интерфейс VME-шины, регистр статуса, коммутаторы адреса и строба. Коммутаторы управляются регистром статуса и позволяют при считывании и очистке ОЗУ использовать те адресные и стробирующие линии, по которым в режиме накопления передавались коды состояния и тактовая частота исследуемого сигнала.

Предусмотрены два способа останова накопления и считывания содержимого накопителей спецпроцессора: по заполнению памяти, когда блок управления запрещает запись в накопители и инициирует запрос

на прерывание по VME-магистральной, и по заданному времени накопления (по внутреннему таймеру ЭВМ). Вызвано это тем, что в связи с широким диапазоном частот регистрируемых событий (1 кГц — 75 МГц) время заполнения памяти спецпроцессора может меняться от нескольких секунд до десятков минут. В последнем случае необходимо периодически убеждаться в правильности процесса накопления.

Накопленные спецпроцессором порции данных переписываются в ОЗУ ПЭВМ. Общий объем одной порции, переписываемой из спецпроцессора в ЭВМ, 1,25 Кбайт. Время переписи для ПЭВМ с тактовой частотой 8 МГц около 1,5 мс. При общей (для аппаратной и программной частей) длине накапливаемой суммы по каждому признаку, равной 40, число порций, периодически сбрасываемых из накопителя в ЭВМ, может равняться 2^{16} .

После достаточно простой обработки данные из ОЗУ ПЭВМ переписываются на электронный диск ПЭВМ в виде единого файла. Емкость виртуального электронного диска в используемой конфигурации ПЭВМ 3 Мбайта. После заполнения электронного диска файл данных (макропорция) с него переписывается на винчестер также в виде единого файла.

Важной при создании спецпроцессора является проверка правильности его функционирования, что само по себе — достаточно сложная задача. С одной стороны, следует с точностью до одного события проверять правильность работы каждого счетчика в отдельности, а с другой — для исключения влияния счетчиков друг на друга (эффект «перетекания») необходима комплексная проверка спецпроцессора в целом. Это потребовало создания не только программных, но и специальных аппаратных средств тестирования.

Для наладки модулей спецпроцессора разработан модуль имитатора измерителя, совместимого с ним по разъемам. Имитатор содержит набор счетчиков и генератор регулируемой частоты (от 100 кГц до 80 МГц). Коды с отдельных счетчиков имитируют признаки и отсчеты. С помощью имитатора легко задавать известные коды отсчетов по известным признакам и тем самым контролировать правильность работы спецпроцессора.

Как было указано выше, спецпроцессор выполняет только часть работы по вычислению статистик, остальная — вторичная обработка — должна производиться на компьютере. Для этого разработано необходимое программное обеспечение. При помощи вложенных меню оно объединено в комплекс, представляющий собой интегрированную среду по сбору и обработке данных.

Для повышения производительности комплекса и удобства пользования им решено загрузить ПЭВМ во время накопления спецпроцессора так называемой «фоновой задачей». Основной тип фоновой задачи — визуализация промежуточных данных. Визуализируются условные гистограммы, графики вероятности в зависимости от номера признака с указанием всех режимов и т. п. При этом обработка поступающих данных производится конвейерным образом, т. е. каждая порция данных обрабатывается и визуализируется во время накопления следующей порции. Там, где это требуется, предусмотрена возможность масштабирования графиков; кроме того, все изображения можно распечатать или записать в файл на диске.

Программное обеспечение спецпроцессора написано на языке Паскаль с учетом особенностей и с использованием библиотек транслятора TURBO PASCAL V5.0 [3]. Кроме того, использована программа генерации и поддержки меню из пакета TURBO PROFESSIONAL. Подпрограммы, требующие максимального быстродействия (считывание данных из накопителя, загрузка регистров спецпроцессора), выполнены на Ассемблере.

В заключение следует подчеркнуть, что во всех режимах работы спецпроцессора при любом виде фоновой задачи все регистрируемые

данные помещаются в файл на винчестере, что дает возможность их последующей обработки при помощи любых статистических критериев и методов. Описанная организация комплекса позволяет оптимальным образом сочетать осмысленный эксперимент по накоплению данных в режиме реального времени с последующей тщательной обработкой результатов.

Подводя итоги, можно сказать, что создан аппаратно-программный спецпроцессор статистической обработки сигналов, имеющий высокую производительность (работа в режиме реального времени при частотах до 75 МГц) и позволяющий накапливать и анализировать весьма большую выборку объемом более 10^{12} событий.

Спецпроцессор в составе комплекса успешно прошел испытания и находится в опытной эксплуатации. Весь спецпроцессор питается напряжениями -2 , $-4,5$ и $+5$ В, потребляет мощность порядка 200 Вт и требует воздушного охлаждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касперович А. Н., Шалагинов Ю. В. Двухканальный регистратор широкополосных сигналов // Автометрия.— 1990.— № 6.
2. Вьюхин В. Н., Тани Ю. Л. Адаптер шины PC/AT — VME // Автометрия.— 1990.— № 6.
3. Turbo Pascal: Reference Guide. V 5.0.— Borland International, 1988.

Поступила в редакцию 7 февраля 1990 г.

УДК 621.391 : 53.08

Б. А. КРАВЦОВ, Р. Ф. МИНЕНКОВА
(Красноярск)

О РЕСТАВРАЦИИ СИГНАЛОВ И СВЕРХРАЗРЕШЕНИИ

Введение. Работа посвящена реставрации сигнала — классической проблеме, поставленной Рэлеем свыше ста лет назад. Повышенный интерес к ней сегодня объясняется, по-видимому, внедрением ряда новых перспективных теоретических методов [1—4].

Измеряемый сигнал взаимодействует с физическим прибором (без такого взаимодействия измерение вообще невозможно) и как следствие искажается. Задача состоит в восстановлении исходного сигнала на входе прибора по искаженному выходному сигналу и характеристикам прибора.

Дается постановка проблемы реставрации в частном случае линейного прибора. Обсуждаются прикладные аспекты формулы аналитического продолжения, предложенной Л. А. Айзенбергом, и показывается конструктивность этого подхода к проблеме реставрации. Основные идеи продемонстрированы в вычислительном эксперименте.

Основные теоретические положения. Обозначим через $x(t)$ входной сигнал, измеряемый прибором, а через $y(t)$ выходной сигнал или отклик, фиксируемый экспериментатором. Для простоты и определенности рассматриваются действительные одномерные сигналы, зависящие от времени.

Введем $h(t, \tau)$ — отклик прибора на единичный импульс, поданный на вход в момент времени τ . Функция $h(t, \tau)$ исчерпывающе характеризует поведение линейного прибора и в зависимости от предметной области именуется по-разному: весовая функция, аппаратная функция,