

C-892

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

10-92-410

УДК-53.087.92+621.3.087.92

Ян СУДЕК

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ВВОДА,
ОБРАБОТКИ И ВЫВОДА ИЗОБРАЖЕНИЙ
ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ**

**Специальность: 05.13.16. - применение вычислительной
техники, математического моделирования
и математических методов в научных исследованиях**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Дубна 1992

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации.

Научный руководитель:
кандидат технических наук Приходько Валентин Иванович

Официальные оппоненты:
доктор технических наук Цупко-Ситников Всеволод Михайлович
кандидат технических наук Тишин Вячеслав Георгиевич

Ведущее научно - исследовательское учреждение:
Институт физики высоких энергий

Защита диссертации состоится "___" _____ 1992 года в _____
на заседании Специализированного совета Д-047.01.04. при Лаборатории
вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных
исследований.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1992 года.

Ученый секретарь
Специализированного совета
кандидат физико - математических наук З.М.Иванченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ. Развитие науки и техники сопровождается усложнением экспериментальных установок, ростом количества детекторов, датчиков, измерительных приборов, управляющих блоков и т.п., что требует постоянного совершенствования электронной аппаратуры и систем сбора и обработки данных. Количественное и качественное возрастание сложности управления экспериментами приводит, прежде всего, к огромному увеличению объема данных, являющихся результатами экспериментов, и к повышению сложности и комплексности математических методов, применяемых для обработки этих данных. Особенно это касается физики высоких энергий (ФВЭ), где требования к производительности и быстродействию электроники и вычислительной техники всегда были максимально жесткими, практически на пределе их возможностей. Конечно, требования экспериментаторов, как правило, не выходят за грань разумного и учитывают текущий уровень развития микроэлектроники и вычислительной техники, а в этих областях в последние годы достигнут впечатляющий прогресс.

Такое параллельное развитие техники эксперимента и сопряженных областей (электроника, вычислительная техника) приводит к своего рода "соревнованию" требований и возможностей, что заставляет физиков - экспериментаторов, инженеров и программистов вести непрерывный поиск новых решений в архитектуре вычислительных систем, методике, системотехнике, алгоритмическом и программном обеспечении.

В зависимости от сложности экспериментальной задачи используются различные методы "электронной поддержки" с разной степенью иерархического расслоения электронного оборудования - от стандартных измерительных приборов, которыми управляет сравнительно простой и медленный контроллер магистрали, например, НР-ГВ, до сложных "многослойных" систем с распределенным интеллектом на основе универсальных и специальных процессоров, сопряженных одной из современных высокопроизводительных шин (чаще всего VME) с мощным центральным компьютером (напр., в системах сбора и обработки данных в экспериментах на коллайдерах ФВЭ).

В отличие от ФВЭ, имеющей сравнительно долгую историю развития, некоторые направления науки и техники, зародившиеся 10-15 лет назад, уже с момента своего становления используют в качестве экспериментальной базы современные методы автоматизации экспериментов на основе мощной вычислительной техники. Можно даже сказать, что в некоторых случаях сами научные направления начали интенсивно развиваться только после того,

когда микроэлектроника и вычислительная техника достигли соответствующего уровня. Примером могут служить ЯМР томография или цифровая интерферометрия. Первая основана на очень сложной аппаратуре со множеством датчиков, большим объемом данных, обработка которых требует значительных вычислительных мощностей и специфического программного обеспечения; вторая является примером экспериментальной области "средней" сложности и поддается автоматизации со значительно меньшими затратами усилий и средств. Следует отметить, что бурное развитие этих экспериментальных областей совпадает с качественным скачком в развитии микроэлектроники, и, прежде всего, с появлением и распространением в начале 80-х гг. нового класса ЭВМ – персональных компьютеров (РС). Именно массовое производство РС, их сравнительно низкая стоимость и богатое программное обеспечение привлекли ученых и специалистов, ранее не знакомых с вычислительной техникой, к широкой "компьютеризации" всех сфер их деятельности. Первые компьютеры этого класса были предназначены в основном для офисов, их небольшая производительность делала их пригодными для решения узкого круга задач, но в течении одного десятилетия их вычислительная мощность возросла почти на два порядка, что постепенно привело к их использованию в качестве ядра систем автоматизации экспериментальных установок.

В настоящее время существует множество разработок вставных или сопряженных с РС модулей, выполняющих функции АЦ – преобразователей, интерфейсов, логических управляющих блоков и т.п., из которых можно собирать относительно небольшие, но достаточно универсальные комплекты для систем автоматизации экспериментов.

С постоянным совершенствованием современных РС все больше растет спектр применений таких комплектов, и поэтому разработка специализированных вставных модулей является вполне актуальной и самостоятельной задачей.

Таким же закономерностям, как экспериментальная техника в целом, подчиняется и ее частный случай, когда данными является изображение. Машинная обработка изображений, которая включает в себя компьютерную графику (КГ) (т.е. визуализацию синтетических изображений), обработку изображений (т.е. улучшение качества реального изображения и его дальнейшая обработка) и распознавание образов, особенно пригодна для применения персональных компьютеров в качестве основы вычислительного комплекса.

Ни одна из областей автоматизации экспериментальных исследований не

может развиваться изолированно, в отрыве от других. Методические или технические разработки, выполненные для какого либо конкретного эксперимента, практически немедленно в том или ином виде находят применение в других экспериментах, хотя и не всегда по прямому назначению (напр., описанные в диссертации ПЭС – матрицы и электроника к ним, используемые в системах регистрации и обработки изображений, широко применяются также в ФВЭ, в качестве позиционно – чувствительных детекторов, для съема информации с оптических трековых детекторов и т.п.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ заключалась в создании специальных технических средств для применения вычислительной техники в решении научно – исследовательских и методических задач машинной обработки изображений, в частности, в областях оптической интерферометрии, предварительной обработки экспериментальных данных в ФВЭ и анализа медицинских рентгенограмм. Основной задачей являлось решение вопроса перехода от классических подходов, связанных с независимыми приборами для отдельных аспектов автоматизации экспериментальных и технических задач, к новым подходам, основанным на комплексном применении персональных компьютеров семейства IBM РС.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА состоит в создании и применении ряда приборов и модулей для комплексного решения задачи автоматизации измерений и обработки данных в новой области оптических измерений – цифровой интерферометрии; в получении новых результатов в исследовании характеристик ПЭС – матриц (зависимость неравномерности чувствительности от длины волны и методика учета этой зависимости и др.); в разработке оригинальных электронных блоков. Многие разработки автора выполнены впервые в ЧСФР.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ работ диссертанта по созданию и внедрению технических средств и методик для экспериментов в областях оптической интерферометрии, систем диагностики пучков ускорителей, графического представления данных и технологии полупроводников заключается в том, что полученные результаты и выполненные разработки или дополняют возможности уже известных систем, или дают качественно новые возможности в автоматизации указанных направлений научных исследований, или позволяют комплексно решать некоторые технические проблемы. Практически все разработки автора внедрены и используются в действующих экспериментальных

установках.

На защиту выносятся разработанные автором технические средства и методики, необходимые для машинной обработки изображения в области оптической интерферометрии и других областях.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные результаты работ, вошедших в диссертацию, были представлены на научных семинарах в ЛВТА, ЛВЭ ОИЯИ и ЛИ ИПИ САН, на рабочем совещании "Dni nove techniky" (Прага, ЧСФР, 1986), на конференции по электронным методам измерений "ЕЛМЕКО '86" (Брно, ЧСФР, 1986), на XIII Международном симпозиуме по ядерной электронике (Варна, Болгария, 1988), на международном рабочем совещании по информационной измерительной технике "Messinformationssysteme - 6. Tagung mit internationaler Beteiligung" (Karl-Marx-Stadt, ГДР, 1989) и на конференции с международным участием "EMISCON '91 & MEASUREMENT '91" (Смоленце, ЧСФР, 1991).

ПУБЛИКАЦИИ. Основные результаты диссертации опубликованы в 9 работах, приведенных в списке литературы.

СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем составляет 123 страницы, включая 32 иллюстрации, список литературы насчитывает 52 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВО ВВЕДЕНИИ показана актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, дано краткое содержание основных разделов диссертации.

ПЕРВАЯ ГЛАВА посвящена вводу в РС изображений при помощи устройств на основе ПЭС матриц. В первой части этой главы приводятся основные сведения о матрицах ПЭС, кратко описано развитие техники ПЭС и показаны разнообразные примеры применения этих матриц. Во второй части подробно описаны две разработки, выполненные автором и соавторами, - универсальная телевизионная лабораторная ПЭС камера (TVCCD) [1,2] и малокадровая ПЭС камера (SSCCD) [3]. В третьей части рассмотрены основные ограничивающие свойства ПЭС структур, на примере охлаждаемой малокадровой ПЭС камеры

(SSCCD) [4,5] показаны эффективные методы их преодоления и приведены результаты измерений и анализа некоторых характеристик матрицы МАВ 1256, которая применяется во всех рассмотренных разработках.

В последние 20 лет камеры на основе ПЭС структур нашли применение практически во всех областях науки и техники, но, благодаря своим специфическим свойствам, они особенно эффективны как датчик видеосигнала для машинной обработки изображений. TVCCD представляет собой компактный прибор, разработанный в ЛИ ИПИ САН как стандартная ТВ камера для применений в оптической интерферометрии, но ее универсальная конструкция позволила использовать эту камеру для измерений некоторых оптических и спектральных характеристик собственно ПЭС матриц МАВ 1256. TVCCD была второй камерой, разработанной в ЧСФР для упомянутой выше ПЭС матрицы, и она применялась как камера-тестер на предприятии-изготовителе этих матриц (ТЕСЛА Пиештяны).

SSCCD создана в ЛИ ИПИ исключительно как входное устройство для обработки изображений. Она имеет только цифровой выход, который подключается через интерфейсные блоки к разным компьютерам (MDS 80, СМ ЭВМ) или к видеоинтерфейсному модулю РС. Эта камера применяется в ЛИ ИПИ, прежде всего, для исследований в области цифровой интерферометрии.

Камера SSCCD разработана в ЛВЭ ОИЯИ для диагностики ускоренных пучков частиц на синхрофазотроне. Матрица МАВ 1256, несмотря на охлаждение, работала в этой установке на пределе своих возможностей, что потребовало проведения измерений и исследований характеристик этой матрицы в экстремальных условиях. Автор участвовал в испытаниях этой камеры и в анализе их результатов. Они позволили оптимизировать режим работы камеры и определить подходящие методы обработки данных. К наиболее интересным результатам относятся впервые исследованная зависимость неравномерности чувствительности матрицы от длины волны и предложенные способы учета этой зависимости. SSCCD и ее программное обеспечение являются примером сближения обработки изображения (улучшения снятого изображения путем применения различных методов) и КГ (создание наглядного 3-D представления обработанного изображения) в РС.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ подробно описан одноплатный графический контроллер высокого разрешения для IBM PC-XT (SBGDC) [6]. В первой части рассматриваются тенденции развития технических средств КГ и, в частности, графических адаптеров РС. Во второй части кратко обсуждаются некоторые основные понятия, связанные со стандартизацией графического

программирования. Наконец, в третьей части, описано ядро SBGDC - графический контроллер NEC MPD 7220A - GDC и сама плата SBGDC, встраиваемая в PC.

В настоящее время для пользователей PC компьютерная графика является совершенно естественной формой представления данных, хотя еще 15 лет назад КГ (и тем более интерактивная КГ) была весьма специфическим занятием, требующим высоких затрат на дисплейную аппаратуру и сложное программирование. В течение своей примерно 40-летней истории КГ развивалась очень интенсивно как с аппаратной, так и с программной точек зрения, но только в последние годы широкое распространение PC позволило сделать из интерактивной КГ практически рутинное занятие. Графический адаптер для IBM PC-XT, описанный в этой главе, представлял собой попытку заполнить неопределенное состояние в развитии графических адаптеров для PC в середине 80-х гг. Применение графического контроллера GDC позволило не только сравнительно просто и дешево создать графический адаптер для IBM PC-XT, который превратил его в графический терминал с 8-ми цветным изображением и с разрешающей способностью 1024*1024 пикселей, но и создать очень эффективно и просто служебные плоскости в видеоинтерфейсах FS 4 и FGR 4 (см. ниже).

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ рассмотрены проблемы создания технических средств ввода и вывода реальных изображений в ПЭВМ типа IBM PC-XT/AT - видеоинтерфейсов. В первой части показаны различные блоки, которые используются при создании видеоинтерфейсов, приведены примеры различных вариантов архитектуры видеоинтерфейсов и более подробно описана внутренняя структура специальных двухпортовых ЗУ типа Video RAM. Во второй части подробно описан модуль видеоинтерфейса FS 4 [7], разработанный в ЛИ ИПИ САН для IBM PC-XT/AT.

В системах обработки изображений видеоинтерфейс представляет собой важную часть технических средств, позволяющих принимать данные из камеры с цифровым выходом (или преобразовать непосредственно в модуле аналоговый видеосигнал в цифровую форму), хранить эти данные, обеспечить доступ к ним от процессора PC, а также осуществлять вывод исходного или обработанного изображения на растровый монитор. Перед автором стояла задача разработать такой видеоинтерфейс в форме вставной платы для PC. Модуль видеоинтерфейса FS 4 и усовершенствованный модуль фреймгреббера FGR 4 выполняют все необходимые функции для этого типа приборов. Видеоинтерфейс FS 4 позволяет подключить малокадровую камеру с цифровым

выходом SSCCD, фреймгреббер FGR 4 имеет и вход ЧБ аналогового видеосигнала по стандарту RS 170. В них одновременно хранятся 4 картинки 256*256*8 бит. Оба модуля объединяют в себе и независимый графический контроллер для служебной плоскости (для курсоров, рамок, меню), причем оба изображения - реальная картинка и плоскость синтетической графической информации - выводятся одновременно на один и тот же растровый цветной монитор.

ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА посвящена цифровым сигнальным процессорам (ЦСП), предназначенным для обработки сигналов, и, в частности, разработке модуля ЦСП для IBM PC-AT. В первой и второй частях этой главы кратко поясняются основные понятия, касающиеся сигналов и их обработки, обсуждаются специфические требования к системам цифровой обработки сигналов (ЦОС), вытекающие из разнообразия их применений, и объясняется, каким образом эти требования находят отражение в архитектуре специализированных микропроцессоров для ЦОС - ЦСП. В третьей части кратко описан ЦСП типа TMS 32020, являющийся базовой БИС в данной разработке, подробно обсуждены характеристики вставного модуля с цифровым сигнальным процессором для IBM PC-AT - платы DSP-PC [8] - и приведены результаты его испытания.

ЦОС является самым современным методом для извлечения из сигнала полезной информации относительно объекта, который является его источником, либо относительно среды, через которую сигнал распространяется. Сфера ЦОС предъявляет свои специфические требования к составу и структуре аппаратуры и алгоритмам настолько рельефно, что оказалось целесообразным создать для этих применений специализированный микропроцессор - ЦСП [9]. Для решения конкретных практических задач ЦОС, в частности, для обработки изображений в реальном или близком к реальному времени автор и соавторы разработали ускорительный модуль PC именно на основе ЦСП. В ЛИ ИПИ САН эти задачи связаны, в основном, с обработкой результатов измерений в цифровой интерферометрии, в ЛВТА ОИЯИ в настоящее время они касаются прикладных исследований (обработка ангиографических рентгенограмм и др.), а также создания рабочего места для разработки программных и технических средств ЦОС (для этих целей используется кросс - программное обеспечение, которое включает в себя программы ассемблера, линкера, отладчика и симулятора). Разработанный модуль DSP-PC имеет на плате 96 кбайт быстрой памяти SRAM для программ и данных, но т.к. он поддерживает многопроцессорную архитектуру, то может стать мастером на шине PC и имеет доступ к любой области 16 Мбайтного адресного

содержащий электронные блоки, необходимые для управления матрицами ПЗС типа TSU 324 (72*104 пикселов), МАВ 1256 (256*256 пикселов) и МАВ 1384 (384*288 пикселов) чехословацкого производства, блок формирователя стандартного ТВ видеосигнала и другие аналоговые и логические блоки. Матрица ПЗС помещена в отдельной оптической головке.

В ЛИ ИПИ САН (Братислава) камера TVSSD используется как стандартная ТВ камера для визуализации и качественной оценки результатов измерений в области оптической интерферометрии.

В Отделе Физической Электроники САН (Пиештяны) эта камера применяется в составе контрольно - измерительной аппаратуры для тестирования матриц МАВ 1256 и МАВ 1384, отработки технологии изготовления матриц и для экспериментов с цветными ПЗС камерами, построенными на основе трех матриц МАВ 1256.

В Электротехническом Институте САН (Братислава) камера TVSSD используется для измерений спектральных характеристик матрицы МАВ 1256 в технологических целях для оптимизации толщины верхнего слоя окисла кремния.

2. Разработана и создана малокадровая ПЗС камера SSCCD [3] на матрице МАВ 1256. Блок электроники для этой камеры обеспечивает управление матрицей, аналоговую обработку видеосигнала, АЦ-преобразование и сопряжение с видеоинтерфейсом персонального компьютера.

Прибор используется в ЛИ ИПИ САН как датчик изображений в экспериментах в области цифровой интерферометрии.

3. Проведены исследования основных характеристик ПЗС матрицы МАВ 1256 в режиме глубокого охлаждения. В частности, выполнены измерения зависимости темнового тока от температуры и впервые исследована зависимость неравномерности чувствительности матрицы от длины волны света, предложены также способы ее коррекции. Результаты исследований и их анализ позволили оптимизировать режим работы матрицы и определить подходящие методы обработки данных для охлаждаемой малокадровой ПЗС камеры SSCCD [4,5], разработанной и используемой в ЛВЭ ОИЯИ для диагностики пучков ускоренных частиц на синхрофазотроне.

4. Разработан и создан одноплатный графический контроллер SVGDC [6] для IBM PC-XT, выполненный в виде вставной платы PC. Контроллер основан на графическом процессоре GDC-MFD 7220A и обеспечивает 8-ми цветное

изображение при разрешении 1024*1024 пикселов. Модуль был разработан в ЛВТА ОИЯИ для высококачественного воспроизведения изображений, в частности, получаемых при обработке экспериментальных данных в ФВЭ и в цифровой ангиографии.

5. Разработан и создан модуль видеоинтерфейса FS 4 [7], представляющий собой вставную плату PC и обеспечивающий прием оцифрованного изображения из камеры SSCCD, хранение 4-х кадров с разрешением 256*256*8 бит, вывод одного из них на экран монитора и доступ PC к данным изображений. В составе модуля имеется служебная плоскость, которая используется для вывода вспомогательной графической и текстовой информации - курсора, рамок, меню и т.п..

Модуль используется в ЛИ ИПИ САН на экспериментальном оборудовании в исследовательских работах в области цифровой интерферометрии.

6. Разработан и создан вставной модуль фреймгреббера FGR 4 для PC, обеспечивающий прием стандартного аналогового видеосигнала, оцифровку и хранение 4-х картинок с разрешением 256*256*8 бит, вывод изображения вместе со служебной плоскостью на экран цветного монитора и доступ PC к данным изображений.

В ЛИ ИПИ САН модуль применяется в системе ввода и обработки изображений в области цифровой интерферометрии.

В фирме VAREZ (Банска Быстрица) прибор используется в работах, связанных с разработкой ПЗС матриц для инфракрасной области, а в Отделе Физической Электроники САН (Пиештяны) - для исследовательских работ в области технологии ПЗС матриц.

7. Разработан и создан модуль цифрового сигнального процессора DSP-PC для IBM PC-AT [8], основанный на процессоре TMS 32020 и предназначенный для решения конкретных практических задач цифровой обработки сигналов, в частности, для обработки изображений в реальном или близком к реальному времени. Модуль выполнен в качестве вставной платы в PC.

В ЛВТА ОИЯИ модуль используется в прикладных исследованиях для решения задач, связанных с обработкой ангиографических рентгенограмм, а также для создания рабочего места для разработки программных и технических средств цифровой обработки сигналов.

В ЛИ ИПИ САН модуль предназначен, в основном, для обработки результатов измерений в цифровой интерферометрии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] V.Cambel, J.Sudek: Электроника для ПЭС матриц. In: Труды рабочего совещания Digitální zpracování obrazu '86, Прага, 1986, стр. 209-217 (на словацком языке).
- [2] V.Cambel, J.Sudek: Камера на ПЭС матрице. In: Труды конференции ELMЕКО '86 - 11. konference o elektronické měřicí technice, Brno, 1986, стр. 146-149 (на словацком языке).
- [3] P.Andris, J.Sudek: Single - shot Kamera mit dem CCD Flachensensor. In: Труды конференции Messinformationssysteme. 6. Tagung mit internationaler Beteiligung. Karl-Marx-Stadt, Technische Universität, 1989, стр. 30-34.
- [4] V.Cambel, J.Sudek et al.: Simple Cooled CCD Camera for Beam Diagnostics. Rev. Sci. Instrum. 62, 2723 (1991).
- [5] V.Cambel, J.Sudek et al.: CCD camera for accelerator applications. In: Труды конференции EMISCON '91 & MEASUREMENT '91. Bratislava, Ústav merania SAV, 1991, стр. 133-135.
- [6] Д. Крушински, А. Д. Полянцев, В. И. Приходько, Я. Судек: Графический контроллер для ПЭВМ типа IBM PC-XT. In: Труды XIII международной конференции по ядерной электронике, Варна, Болгария, 1987 (ОИЯИ, Дубна, 1988), стр. 113-117.
- [7] D.Krusinsky, J.Sudek: Videomemory module FS 4 for personal computers IBM PC XT (AT). Сообщение ОИЯИ, Е10-90-487, Дубна, 1990.
- [8] А. Л. Меньшиков, В. И. Приходько, Я. Судек: Модуль цифрового сигнального процессора для IBM PC. Сообщение ОИЯИ, P10-92-182, Дубна, 1992.
- [9] В. И. Приходько, Я. Судек: Цифровые сигнальные процессоры. Сообщение ОИЯИ, P10-90-515, Дубна, 1990.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 октября 1992 года.