



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б 833

P10-85-744

В.П.Бородюк*, В.Н.Шкунденков

ДИАЛОГОВЫЕ
СКАНИРУЮЩИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Направлено в сборник
"Автоматизация научных исследований"

* Московский энергетический институт

1985

Появление в 50-х годах телевидения и достаточно надежных и производительных ЭВМ привело к идее их соединения для решения задачи машинной обработки изображений на фотоснимках с экспериментальной информацией. Такая задача возникает во многих областях современных исследований. Наиболее интенсивно работы в этом направлении развивались в экспериментальной физике высоких энергий, где огромный поток фотоснимков с изображениями ядерных событий в различных трековых камерах потребовал принятия энергичных мер по решению этой проблемы. По оценочным данным, в течение последних 20-25 лет здесь разрабатывалось примерно 150-200 систем с общим участием порядка 3-5 тыс. специа-листов, затраты оцениваются на уровне 0,5 млрд рублей. Эти разработки нашли отражение в трудах целого ряда конференций, со-вещаний и семинаров/1-16/.

Создание первых таких систем шло в направлении полной замены человека работой ЭВМ. Однако сложность разработки программного обеспечения для полностью автоматических систем оказалась чрез-мерно высокой, что и заставило разработчиков прийти к идее по-строения системы человек - ЭВМ /диалоговой системы/. Такой под-ход позволил выполнять разработки программного обеспечения для организации действующих систем на основе сканирующих измери-тельных автоматов всего за 1-2 года, однако при этом произво-дительность упала сразу на порядок. Стало очевидным, что участие человека в работе системы целесообразно ограничить. Исходя из этого вывода, стали делать программное обеспечение для диалого-вых систем на пределе возможного, затрачивая примерно 10-30 человеко-лет в течение 3-5 лет работы. Дальнейшее форсирование работ над созданием программного обеспечения, объем которого для одной задачи стал достигать 200-300 тыс. команд ЭВМ /1500-2000 тыс. байт памяти/, оказалось малоэффективным. На этом ру-беже исследования остановились. Причем производительность в за-дачах средней сложности оказалась уже не на порядок ниже рас-четных данных о производительности автоматических систем, а толь-ко в 3-4 раза. Мы будем называть такие системы - а к ним при-надлежит большинство разработанных систем, - "форсированными".

Существует, однако, другой путь построения диалоговых систем, который, также обеспечивая высокую производительность, позво-ляет создавать простое программное обеспечение с минимальными затратами времени и ресурсов на его разработку. Этот путь свя-зан не с уменьшением участия человека в работе системы, а с по-вышением производительности его работы - путем создания спе-циальных скоростных средств диалога. Построенные на этом принци-пе системы мы будем называть в нашей статье "натуральными".

Можно сказать, что то направление работ, которое мы связываем с форсированными системами, опирается на разработки развитого программного обеспечения при создании сравнительно простой техники, а путь построения систем натурального типа предполагает специальное дополнительное развитие техники /прежде всего - диалоговых средств/ с целью снижения требований к сложности разработки программного обеспечения. Последнее при известном удорожании стоимости сканирующих устройств сокращает сроки построения конкретных действующих систем.

Отметим, что не только развитие программного обеспечения и диалоговых средств характеризует тенденции в построении той или иной конкретной системы в рамках предлагаемого нами разделения разработок на форсированные и натуральные. К форсированному направлению мы должны также отнести разработку спецпроцессоров различного вида, служащих дополнительному повышению производительности систем, а к натуральному - повышение гибкости измерений, переход к использованию современных ЭВМ с высоко развитым системным программным обеспечением и др. /т.е. все развитие техники и программного обеспечения, которое способствует сокращению сроков создания конкретных действующих систем/.

Рассматривая ниже развитие мысли разработчиков сканирующих систем, мы хотим проследить возникновение основных идей и технических решений, а также сделать некоторые выводы о путях дальнейшего развития исследуемой нами задачи построения автоматизированных систем обработки фотоизображений.

Первые попытки использовать установку типа "Бегущий луч", применяемую для передачи кинофильмов по телевидению, для ввода в ЭВМ оцифрованной информации, относятся к концу 50-х годов. Принцип действия этих установок основан на просвечивании измеряемого фотоснимка /фотоизображения/ световым пятном, сформированным на экране электронно-лучевой трубки /ЭЛТ/. Прошедший сквозь снимок свет собирается на фоточувствительном элементе /обычно это ФЭУ/, который вырабатывает электрические сигналы при встрече перемещающегося светового пятна с почернениями на измеряемом изображении. Эти сигналы используются для занесения в ЭВМ текущих кодов координат X, Y положения светового пятна на экране ЭЛТ. Применение ЭЛТ в качестве генератора светового пятна позволило организовать управляемое от ЭВМ сканирование для измерения изображений не по всей их площади, а по выборочным местам, отслеживая измеряемый образ /ядерные следы и др./ в процессе его распознавания в реальном времени с измерениями.

В то время остро стоял вопрос о возможностях ЭВМ, и создание сканирующего измерительного автомата, с помощью которого можно было бы вводить в ЭВМ оцифрованные данные от экспериментальных изображений, открывало возможность математикам-программистам непосредственно заняться исследованием этой интереснейшей проблемы. Может ли ЭВМ заменить человека при распознавании образов? Являются ли исследования с использованием ЭВМ на пути рас-

познавания образов шагами в направлении построения подлинного искусственного интеллекта? Или же здесь, как и в других сферах использования машин /паровых и пр./, существуют некоторые пределы? Ответы на эти и другие вопросы, связанные с применением ЭВМ, до конца не выяснены по настоящему времени, хотя мы и обладаем сегодня несравненно большими знаниями о возможностях и назначении ЭВМ. Тем более все эти вопросы казались интересными, когда к ним подступали впервые. Однако создание сканирующего автомата на ЭЛТ, обладающего достаточно высокими характеристиками по разрешающей способности /определяется в первую очередь размером светового пятна на экране ЭЛТ/ и точности измерений, оказалось непростой задачей. Шли годы, а математики не имели обещанного устройства и не могли начать исследования.

Поворотным моментом в разработке рассматриваемой нами проблемы стал 1959 год. В этом году приехавший в Европейский центр ядерных исследований /ЦЕРН, Женева/ американский профессор П.Хаф (P.Hough) предложил отойти от работ с хотя и перспективными, но "кривыми во времени и пространстве" неподдающимися ЭЛТ, и обратиться к "старой доброй механике" - с тем, чтобы как можно скорее дать в руки математиков инструмент для исследования возможностей ЭВМ.

Последняя мысль /стремиться скорее переходить к экспериментальным исследованиям с программным обеспечением, когда та или иная выдвигаемая идея связана с применением ЭВМ/ должна рассматриваться как фундаментальная, и мы вернемся к ней еще не раз.

Профессор П.Хаф взял себе в помощники молодого специалиста из Кембриджского университета Б.Пауэлла (B.Powell), и они в короткие сроки построили прецизионное скоростное оптико-механическое сканирующее измерительное устройство HPD (Hough-Powell-Device)/17/. Идея этого устройства проста. Вращается диск с частотой 100 Гц, на котором имеются четыре радиальные прорези. Эти прорези пересекают /в проекции/ по очереди неподвижную прорезь в пластине, образуя тем самым перемещающееся по строке отверстие. За отверстием горит яркая лампа, превращая его в перемещающееся по строке световое пятно диаметром 20 мкм. Это пятно проецируется объективом на измеряемый фотоснимок и просвечивает его. Рамка с фотоснимком в процессе измерений перемещается ортогонально строке, и получается наложение раstra /множества параллельных строк/ на обрабатываемое изображение на снимке. Прошедший сквозь снимок свет собирается на ФЭУ, и оцифрованные данные от измерения почернений вводятся в ЭВМ. Коды координат измеряются с помощью эталонных штриховых решеток, связанных с перемещающимся по строке световым пятном и движущейся ортогонально строке рамкой.

Недостатком устройства HPD /который приведет со временем к вытеснению его гибкими в вопросе сканирования устройствами на ЭЛТ/ являлось большое неудобство с организацией управляемого от ЭВМ сканирования, связанное с инерционностью тяжелых механи-

ческих узлов. Однако других сканирующих устройств в это время не было, и устройству НРД предстояло сыграть важную роль в проведении первых исследований о возможностях ЭВМ. Измерительные характеристики НРД были сделаны на высоком уровне и в дальнейшем служили эталоном при создании других сканирующих устройств /в том числе на ЭЛТ/: размер измеряемых снимков - $70 \times 150 \text{ мм}^2$, точность измерений координат - 2-3 мкм, разрешающая способность 20 мкм. При сканировании типичное расстояние между строками устанавливалось 70 мкм, время сканирования одной строки - 2 мс.

В 1963 году устройство НРД было подключено к ЭВМ, и через год на основе его применения был обработан в автоматическом режиме первый эксперимент - 200 тыс снимков с искровой камеры, отличавшихся простой топологией образов. Исследования по применению ЭВМ для распознавания экспериментальных образов начались. Именно в такой постановке задачи, когда требовалось обеспечить высокую эффективность /качество/ распознавания, и последующей обработки данных при проведении массовых /а не выборочных и не на моделях/ измерений снимков и были выявлены ответы на многие вопросы о возможностях ЭВМ.

Теперь предстояло перейти к обработке снимков со сложной топологией событий, которая была характерна для пузырьковых /жидководородных и др./ камер. И здесь разработчики программного обеспечения разделились на два лагеря, которые мы будем условно называть "прагматиками" и "рыцарями науки". "Прагматики" искали пути наиболее рационального применения НРД, а "рыцари" ставили своей целью не жалеть сил и средств в исследовании наиболее заманчивой по постановке цели - полной замены человеческого интеллекта с помощью ЭВМ. В жизни, как известно, чаще побеждают прагматики, но мы не можем не отдать должное и тем, кто смело брался за самые сложные задачи, и если зачастую и не решал их до конца, то все же находил нередко частные решения по отдельным важным вопросам, которые затем играли своего рода роль "маяков", позволяющих прокладывать наиболее рациональные пути решения и ограждающих тех, кто идет к практическому успеху с созданием действующих систем, от катастрофических ошибок.

Заметим также, что термины "Прагматики" и "Рыцари" мы вводим не по внутреннему отношению к научному поиску, а исключительно по его внешнему проявлению. Иначе может сложиться мнение, что "прагматики" несут что-то неинтересное, даже низменное в науку. В действительности же именно "прагматики" больше пользуются таким важным инструментом, как интуиция.

В качестве иллюстрации приведем примеры с первым /"прагматическим"/18-20/ и вторым /"рыцарским"/21-24/ подходами к созданию программного обеспечения при построении конкретных систем. Отметим, что создание систем "натурального" типа, о которых мы будем говорить ниже /при рассмотрении систем типа АЭЛТ/, было рождено на первом пути прагматического подхода.

Прежде чем мы продолжим разговор о дальнейшей судьбе НРД, отметим зарождение "рыцарского" направления в продолжении линии построения сканирующих измерительных устройств на основе управляемой от ЭВМ электронно-лучевой трубки. Профессор Массачусетского технологического института /США/ И.Плесс объявил в 1961 г. о работах по созданию сканирующего устройства precision encoder and pattern recognition device - PEPR/25/. Поставив целью максимально использовать заложенные в ЭЛТ возможности, он предложил заменить круглое световое пятно на вращаемый под управлением ЭВМ штрих размером $20 \times 2000 \text{ мкм}^2$. Этот метод позволил осуществить распознавание элементов /коротких отрезков/ ядерных следов с помощью быстрой аналоговой схемы амплитудного дискриминатора/своего рода аналогового спецпроцессора/ и мог рассматриваться также как инструмент для исследования вопросов имитации интеллекта человека под углом зрения ассоциативного /опирающегося на накопленный опыт/ распознавания образов. Сам И.Плесс спустя десяток лет /конференция в Оксфорде, 1974/9//, когда уже было общепринято отказать ЭВМ в каких-либо "способностях" имитировать подлинный человеческий интеллект, отвечал / в частной беседе/, что он не преследовал цели при создании PEPR раскрыть тайну функционирования человеческого мозга. Однако, если вспомнить обсуждения идей, которые были распространены в среде физиков того времени, у нас остаются на этот счет определенные сомнения, немало не принимающие взгляды И.Плесса на начальном этапе его работ. В нашей стране в 60-е годы идею построения устройства типа PEPR активно развивал профессор И.И.Цуккерман /Ленинград//10/, при этом в его научных выступлениях идея исследования с помощью гибкого сканирующего устройства на ЭЛТ процессов распознавания образов человеком звучала в явном виде и привлекала многих разработчиков и заказчиков систем. И мы должны здесь отметить, что через работы И.Плесса и выступления И.И.Цуккермана к вопросу: что же такое человеческий интеллект и с чем в природе он связан? - было привлечено повышенное внимание.

Устройство PEPR было построено в 1964 году и имело следующие измерительные характеристики: размер обрабатываемых фотоснимков - около $30 \times 45 \text{ мм}^2$, точность измерений координат - 10 мкм, разрешающая способность при круглом световом пятне ЭЛТ - 30 мкм, кроме того /и это было главным/, был применен управляемый по положению в декартовой системе координат и вращаемый через 1 градус световой штрих с размерами $20 \times 2000 \text{ мкм}^2$. В применении устройства PEPR И.Плесс ставил только одну, "рыцарскую", цель - достижение полностью автоматической обработки фотоснимков с пузырьковых камер, которые, как отмечалось выше, имели достаточно сложную топологию событий.

Можно более или менее уверенно сказать, что в середине 60-х годов наибольшим вниманием пользовались "рыцарские" идеи. И потому создание в это время еще одного сканирующего устройства Spiral Reader /спиральный измеритель//26/, где на начальном

этапе обработки фотоснимка в работу системы был введен человек /которому была предоставлена возможность использовать оптическое изображение снимка для совмещения начала спиральной развертки с центром звездообразного ядерного события/, рассматривалось тогда как шаг назад в сравнении с "современными" идеями. Никто, в том числе и сами разработчики спирального измерителя, не увидели поначалу в идее использования в работе системы человека-оператора зародыша системы "Человек-ЭВМ".

Другими "прагматиками" оказались в это время некоторые из программистов ЦЕРН, работавшие с НРД. Они предложили как "временную меру" просматривать подлежащие измерениям на НРД снимки на просмотрно-измерительных столах и делать грубую оцифровку каждого ядерного следа /снимать "маску" события/. Тем самым снималась задача автоматического распознавания треков при измерении снимков на НРД, а оставались только последующие этапы обработки - фильтрация полезных измеренных данных от помех, которые "прилипают" к ядерным следам, и геометрическая реконструкция событий. Как показало последующее развитие, именно в этом варианте устройство НРД и нашло свое наиболее широкое применение. А попытки "рыцарей"-программистов запустить использование НРД в полностью автоматическом режиме обработки или близком к нему режиме с минимальным указанием /когда при просмотре снимается не вся "маска", а указывается только центр звездообразного события/ лишь подтвердили, что путь со снятием "масок" для обработки событий со сложной топологией является единственно реальным и рациональным, и что только наиболее простые события целесообразно обрабатывать с помощью автоматических методов распознавания.

В это же время возник еще один спор между программистами. К моменту создания первых сканирующих устройств были разработаны в теоретическом плане разнообразные математические методы по распознаванию образов. И теперь надо было решить: следует ли использовать разработки теоретиков, или же правильнее идти каким-то своим путем, отталкиваясь от использования конкретных возможностей сканирующего устройства и опираясь на разработку эвристических, также основанных на анализе характерных особенностей конкретной решаемой задачи, способов распознавания? В частности, французская школа /Париж, Коллеж де Франс/ была за первое решение, а специалисты Оксфорда и Кембриджа /Англия/, ЦЕРН /Женева/, ОИЯИ /Дубна/ - за второе. Этот спор длился около 10 лет и закончился победой второго направления. В результате во Франции в середине 70-х годов из-за неудачи их математиков-программистов наблюдалось существенное отставание в работах по созданию и применению сканирующих систем.

На НРД в ЦЕРН во второй половине 60-х годов сторонники "рыцарского" взгляда на науку, опираясь на прогрессивные эвристические методы в решении задачи автоматического распознавания измеряемых образов, со всей энергией, свойственной энтузиас-

там, стремились продвинуться вперед при обработке сложных событий с пузырьковых камер. Какое-то время даже казалось, что цель вот-вот будет достигнута/7/. В это время устройства НРД стали выпускать в промышленном исполнении /Англия/, и они появились во многих крупных научно-исследовательских центрах /в том числе в ОИЯИ, ИФВЭ /Серпухов/, ЕрФИ/. В Институте теоретической и экспериментальной физики /Москва/ в конце 60-х годов было построено устройство ПСП /прибор со сканирующим пятном/27/, воспроизводящее основные принципы построения НРД.

В 1970 году на конференции в Кембридже/7/ было сообщено об оригинальной разработке специалистов Кавендишской лаборатории Кембриджского университета - оптико-механическом сканирующем измерительном устройстве Sweepnik/28/. Создатели этого устройства О.Фриш, Д.Дэвис и Г.Стрит разработали метод управления положением сканирующего светового луча с помощью легких зеркал, вращаемых в магнитных полях под контролем ЭВМ. Источником света является лазер с тонким световым лучом, что позволяет сохранить фокусировку луча на достаточно большом рабочем поле. Большая интенсивность лазерного луча дала возможность работать с постоянно освещенным /лампой/ измеряемым снимком, и благодаря этому вывести его увеличенное оптическое изображение на экран перед человеком-оператором. Оператор видит на экране также сам лазерный луч в процессе сканирования. Устройство Sweepnik благодаря управляемому от ЭВМ сканированию давало значительные преимущества по сравнению с НРД, однако гибкость в управлении оказалась значительно ниже, чем при использовании электронно-лучевых трубок. И это не позволило Sweepnik занять твердые позиции в области обработки изображений. Его область применения стал вывод изображений из ЭВМ на фотоноситель /картография и др./.

Мы рассказали о наиболее значительных работах, доминировавших на начальном этапе развития методов автоматизированной обработки фотоснимков в 60-е гг. Тогда же, в тени изложенных работ и идей, развивались и те работы, которые должны были привести в 70-х и 80-х годах к созданию "второго поколения" сканирующих измерительных систем. Это были начаты в середине 60-х годов разработки устройств на электронно-лучевой трубке в ЦЕРН /Женева/29/, ОИЯИ /Дубна/30,31/ и устройства СНЛОЕ в Аргоннской национальной лаборатории /Чикаго, США/. Несколько позже, во второй половине 60-х годов, в Институте физики высоких энергий /Серпухов/ начались разработки устройства на ЭЛТ при ведущем авторстве Б.А.Уточкина, Е.В.Крютченко и С.Г.Никитина - четвертой работы, к рассмотрению которой мы обратимся ниже/48/. Основные "философские" принципы первых двух разработок /Х.Андерс, Т.Линггарде, Д.Вискотт - ЦЕРН/29/; В.Н.Шкунденков, В.Н.Шагаев - ОИЯИ /30,31// хорошо известны: они строились на изложенной выше идее П.Хафа о том, что при работе с ЭВМ надо как можно скорее переходить к экспериментальным исследованиям с разработкой программной обеспечения. Весьма похоже, что и авторы треть-

ей разработки /Д.Ходжес, Дж.Локен/. Придерживались той же концепции. Поэтому все три устройства строились как сравнительно простые, цель этих работ с явно выраженным прагматическим характером заключалась в стремлении получить в сжатые сроки практический опыт работы с ЭЛТ и ЭВМ. Работы по созданию четвертого устройства тяготели к подходу, который мы охарактеризовали как "рыцарский".

Из третьей разработки в 1968 году родилась первая система, построенная по принципу "Человек-ЭВМ", знаменитая POLLY/32,33/. Авторы, по их словам, заимствовали опыт создания HPD и PEPR /взяли круглое световое пятно и применили с его использованием управляемый от ЭВМ мини-растр на экране ЭЛТ, заменивший штрих и оказавшийся значительно более удобным инструментом для измерения и качественного анализа данных/, а также Spiral Reader /взяли оптический экран для человека-оператора/, и добавили к этому подключенный к ЭВМ дисплей с шаром-целуказателем /трекбол/, замкнув тем самым систему и предоставив возможность человеку оказывать помощь ЭВМ на всех этапах обработки.

Идею построения диалоговой системы вскоре воспроизвели в Оксфордском университете, куда перешел один из главных авторов системы POLLY - Дж.Локен/23/. При этом за основу построенной здесь системы был взят PEPR с его штрихом на экране ЭЛТ, позволяющим значительно поднять производительность системы при обработке ядерных следов в отсутствие большого количества помех. И действительно, при обработке событий средней сложности благодаря созданию форсированного программного обеспечения, которое позволило ограничить участие человека-оператора в работе системы, была достигнута высокая производительность /до 400 событий/ч/.

Разработки систем POLLY и Oxford PEPR показали на практике значительные преимущества использования диалоговых систем, позволяющих с одной установки /одного захода/ обрабатывать фотографии с требуемой высокой эффективностью /качеством обработки/ даже при отсутствии доведенного до высокой степени развития программного обеспечения /что в данном случае влияет на производительность, но не на качество обработки/. При этом использование ЭЛТ позволяло обращаться за помощью к человеку-оператору непосредственно в процессе возникновения того или иного затруднения с измерениями изображения или обработкой измеряемых данных, что не только значительно упрощало задачу создания программного обеспечения, но также повышало возможность автоматического прослеживания большей части ядерных следов. Перед диалоговыми системами на основе ЭЛТ открывались большие перспективы, но у них по-прежнему был один существенный недостаток: по сравнению с оптико-механическими сканирующими системами они обладали значительно более низкими показателями основных измерительных характеристик, из-за чего их нельзя было использовать для обработки наиболее сложных изображений - таких, как получаемые с больших пузырьковых камер и др.

И вот в 1969 году специалисты ЦЕРН и ОИЯИ в сжатые сроки решили в комплексе задачу обеспечения высоких измерительных характеристик сканатора на ЭЛТ - в вопросах точности измерений координат/34/ и разрешающей способности/35/. Было показано, что точность измерений координат может быть сделана около 2 мкм, а разрешающая способность на большом рабочем поле 70x140 мм² - лучше 20 мкм; то есть для ЭЛТ были достигнуты показатели, не уступающие характеристикам оптико-механического устройства HPD. Это позволило снова обратиться к ЭЛТ с ее возможностями гибкого управления измерениями, чтобы на данной основе создавать системы для обработки наиболее сложных изображений. С использованием идеи построения диалоговой системы, разработанной при создании POLLY, в ЦЕРНе и в ОИЯИ были построены диалоговые сканирующие системы с управляемой от ЭВМ электронно-лучевой трубкой ERASME/36/ и АЭЛТ-2/160/37,38/. С этого времени диалоговые устройства на ЭЛТ стали вытеснять широко распространенные оптико-механические сканирующие устройства, и в 1974 году на конференции в Оксфорде даже было запрещено делать доклады по оптико-механическим системам. Разрешались только доклады с использованием сканаторов на ЭЛТ.

И все же один доклад по применению HPD на конференции в Оксфорде был разрешен/39/. Его автор - американец М.Томсон считался наиболее убежденным сторонником "рыцарского" подхода, и довел оперативную память управляющей ЭВМ примерно до 2,5 Мбайт. Эта память была вся заполнена разработанными программами распознавания измеряемых событий, и все же желаемого успеха /автоматического распознавания сложных образов/ после многих лет работы добиться не удалось. Как следствие, М.Томсон объявил на конференции, что он "складывает оружие": он ввел в состав своей системы дисплей. Этот опыт можно рассматривать как характеристику предельных возможностей по объему разрабатываемого программного обеспечения.

На конференции в Оксфорде профессор И.Плесс объявил, что он также ввел в состав своего PEPR дисплей.

На этой же конференции был сделан доклад о первой разработанной и внедренной в эксплуатацию в СССР диалоговой сканирующей измерительной системе с управляемой от ЭВМ электронно-лучевой трубкой - АЭЛТ-1/40-42/. Основные принципы построения диалоговых систем мы изложили в начале нашей статьи. Там же мы отметили, что общепринятое направление в развитии таких систем заключено в форсированном развитии программного обеспечения с целью уменьшения участия в работе системы человека-оператора, что позволяет получить повышенную производительность системы. Но при создании системы АЭЛТ-1 был применен новый подход: вместо создания сложного и трудоемкого программного обеспечения, позволяющего ограничить обращение за помощью к человеку, было уделено особое внимание разработке специальных скоростных диалоговых средств для повышения производительности работы челове-

ка в составе системы. Так, в частности, было разработано комбинированное средство диалога дисплей - монитор, позволяющее эффективно оказывать помощь не только на этапе обработки измеренных данных /режим дисплея/, но и на этапе самих измерений /мониторный режим/. При работе в режиме дисплея оператор использует скоростной световой карандаш, который позволяет видеть ярче, чем другие, ту точку на экране визуальной ЭЛТ, на которую фактически направлен карандаш; это исключает сбой в работе оператора и повышает производительность его работы при мечении точек по меньшей мере в 3 раза по сравнению с применением широко распространенного трекбола. Особое внимание было уделено также решению задач с организацией оптического вывода измеряемого снимка и созданием специальной функциональной клавиатуры. В результате, на основе использования этих разработок с развитием диалоговых средств, и была получена высокая производительность системы при создании относительно простого программного обеспечения.

Значительное внимание при создании АЭЛТ-1 было уделено также вопросу организации управления сканированием от ЭВМ. Был разработан метод оперативного управления сканированием /43,44/, который позволил перейти от измерений мини-растром /метод, применяемый в POLLY и др./ к управлению каждой строкой сканирования. Это расширило возможности создания программ измерения и распознавания образов и способствовало упрощению задачи разработки программного обеспечения создаваемых систем.

Разработанные при создании АЭЛТ-1 принципы построения диалоговых систем были затем применены при создании сканирующих устройств АЭЛТ-1М в ЦАГИ/45/, АЭЛТ-2/160 в ОИЯИ/37,38/ и АЭЛТ-МЭИ в Московском энергетическом институте/15/ с разработкой для них в общей сложности 10 управляющих программных комплексов. При этом была выделена одна характерная особенность /46/: создавая за 1-2 года относительно простое программное обеспечение и запуская систему в эксплуатацию, как правило, удается обрабатывать в автоматическом режиме 80-90% информации на снимках. Увеличивая объем и сложность программного обеспечения даже в 5-10 раз и доводя его до предела возможного /создавая форсированные системы/, удается повысить этот показатель до 90-95%. Однако дальнейшее продвижение при обработке сравнительно сложных событий всегда оказывается невозможным.

Отсюда, с одной стороны, было выведено важнейшее правило поэтапного создания действующей системы /47/, когда в процессе работ на первом этапе должно строго соблюдаться требование: "Ничего сложного для ЭВМ". При этом уже обеспечивается автоматическая обработка 80-90% информации на изображениях, а сроки создания программного обеспечения минимальны. На втором этапе, при необходимости, ведется развитие системы с целью дальнейшего повышения ее производительности /что делается теперь уже в условиях работающей системы и с наличием практического опыта по ее применению/. Отметим, что данное правило отвечает изложенной

выше идее П.Хафа о необходимости скорее переходить к экспериментальным исследованиям с программным обеспечением при использовании ЭВМ.

Вместе с тем, с другой стороны, возникает вопрос: что является "управляющим началом" в устойчивом проявлении указанных показателей, которые позволяют оптимизировать процесс разработки и поэтапного развития диалоговых систем обработки изображений? По нашему мнению, эта устойчивость в наличии около 90% простой для автоматической обработки информации на изображениях, получаемых в процессе эксперимента с трековыми камерами, может быть связана с известной природной целесообразностью /красотой, гармонией/, которая улавливается человеком на интуитивном уровне и переносится на разработку организуемых им исследований с созданием экспериментальных установок /в данном случае - трековых камер в физике высоких энергий, с которых экспериментаторы получают изображения ядерных реакций на фотоснимках, и в процессе "доводки" создаваемой камеры стремятся сделать эти изображения "вроде бы уже неплохими", после чего процесс развития дорогостоящей камеры прекращают/. Здесь мы сталкиваемся, возможно, с проявлением неизвестной еще закономерности в природе, из которой, приняв отмеченную устойчивость за рабочую гипотезу, мы можем сделать определенные практические выводы. А именно: использование ЭВМ в системах обработки изображений, которые мы получаем через организованный человеком /физиком-экспериментатором/ научный эксперимент, носит ограниченный характер. И мы можем назвать разумные пределы этих ограничений, которые в наших задачах связаны с тем, что около 10% подлежащей обработке информации на изображениях должны обрабатываться человеком-оператором со свойственной ему производительностью. Конкретные выводы о требованиях к ЭВМ приведены в заключении этой статьи.

Не исключено также, что сам факт установления данной закономерности может быть использован для решения задачи построения подлинного искусственного интеллекта.

Однако вернемся к сканирующим системам. Одновременно с запуском в 1973 году в производственную эксплуатацию системы АЭЛТ-1 и проведением разработки системы АЭЛТ-2/160 в ОИЯИ, работы над которыми с точки зрения создания программного обеспечения и решения других вопросов мы связываем с натуральным подходом, в Институте физики высоких энергий /Серпухов/ создавалось сканирующее устройство на основе электронно-лучевой трубки МЭЛАС/48/. Характерной особенностью этой разработки является своеобразное сочетание форсированного и натурального подходов к построению системы. Уступая примерно в 3-4 раза системам ERASME /ЦЕРН/ и АЭЛТ-2/160 /ОИЯИ/ по показателям измерительных характеристик сканатора на ЭЛТ, устройство МЭЛАС вместе с тем получило два направления технического развития, заслуживающих особого внимания. Одно из них может рассматриваться как дальнейшее развитие идеи PEPR по созданию на экране ЭЛТ светового

пятна в виде вытянутого штриха, но только здесь /МЭЛАС/ этот подход к созданию быстрого аналогового спецпроцессора по распознаванию измеряемых ядерных следов нашел решение в сканировании каждого следа с помощью круглого светового пятна вдоль /а не поперек, как в других устройствах/ самого следа. Подбирая с помощью ЭВМ кривизну линии сканирования /ядерные следы в первом приближении выглядят в виде дуги окружности/, удастся быстро и эффективно целиком выделять /распознавать/ измеряемые следы. Существенным недостатком в данном методе, однако, является то, что схема довольно сложного спецпроцессора, включающего свыше 1000 элементов, строится специально под решение конкретной задачи, и трудно представить /хотя мы и не исключаем/, что такую схему можно сделать легко адаптируемой для решения широкого класса задач.

Другим нововведением явилось создание для МЭЛАС комбинированного диалогового устройства в виде дисплея-телевизора/48/, на экран визуальной ЭЛТ которого выводятся одновременно два изображения - телевизионное изображение участка обрабатываемого снимка и отображение данных из памяти ЭВМ. Кроме того, виден сам бегающий по снимку световой луч от измерительной ЭЛТ /подобно решению с оптическим экраном в устройстве Sweepnik/, что достигается здесь выводом телевизионного изображения измеряемого участка снимка с помощью видикона, работающего при красном освещении /сканирующая ЭЛТ имеет синее свечение, и световой поток от нее выделен на ФЭУ специальным светофильтром/. Это позволяет оператору хорошо ориентироваться в процессе обработки, обеспечивая высокую производительность при разборе особо сложных ситуаций с распознаванием. Эта разработка является весьма эффективным средством диалога, хотя мы должны отметить и определенные недостатки данного прибора. Прежде всего, - это отсутствие скоростного целеуказателя, что делает невыгодным его применение при создании простого программного обеспечения в объеме работ первого этапа построения системы /см. выше/. Кроме того, отсутствие мониторного отображения измеряемых данных /непосредственно в процессе измерений/ снижает эффективность его применения при обработке снимков с низкой контрастностью изображений.

Рассматривая создание специальных диалоговых средств, мы должны также отметить создание для устройства ERASME в Женеве рефреш-дисплея К.Люслина и Дж.Уоллеса/49/. В отличие от разработки Б.А.Уточкина/48/, здесь для вывода изображения на экран дисплея-телевизора используется не видикон, а сама сканирующая ЭЛТ в измерительном канале устройства. Это существенно упрощает создание дисплея-телевизора, однако не позволяет видеть луч от сканирующей ЭЛТ.

С точки зрения высказанных замечаний, по нашему мнению, достаточно хорошие результаты при сравнительно простых технических решениях могут быть достигнуты при создании комплекса диа-

логовых средств в составе дисплея-телевизора /типа рефреш-дисплея/ с трекболом и дисплея-монитора со скоростным световым карандашом. Дальнейшее развитие этого комплекса нами видится в создании устройства типа дисплея-монитора-телевизора с автономной памятью для телевизионного изображения.

Большое значение для обеспечения высокой производительности работы человека-оператора имеет также построение функциональной клавиатуры, используемой для передачи приказов в ЭВМ. В составе системы АЭЛТ-2/160 разработана многофункциональная клавиатура с малым числом специальным образом сгруппированных клавиш, функции которых меняются по ходу процесса обработки фотоснимка под управлением символьного дисплея. Оператор довольно быстро изучает "партитуру" текстов символьного дисплея и начинает работать с клавиатурой бегло, подобно пианисту. Эта разработка является важной составной частью в развитии идеи построения системы натурального типа.

По опыту создания и применения целого ряда сканирующих систем также большое значение для организации диалога имеет наличие оптического вывода стоящего на измерении фотоснимка с осуществлением целеуказаний под управлением трекбола. Такая идея для сканирующих устройств впервые была реализована при создании оптико-механического устройства Spiral Reader/26/, где снимок постоянно освещен, а сканирование осуществляется щелью /что делает простой задачу оптического вывода снимка в процессе измерений/. В устройствах АЭЛТ, в отличие от других сканирующих устройств "Бегущий луч", также реализована возможность оптического вывода стоящего на измерении снимка /без целеуказаний/. Здесь эта задача решена за счет специального подбора конденсорной линзы, позволяющей выполнять две функции - сбора света на ФЭУ или освещения снимка.

Выше мы затронули вопрос создания аналоговых спецпроцессоров с цифровым управлением, разработанных для устройств РЕЕР и МЭЛАС и позволяющих поднять производительность системы на этапе измерения и распознавания образов. Теперь мы обратимся к разработкам цифровых спецпроцессоров, ориентированных на выполнение с большой скоростью массовых однотипных вычислений при обработке измеряемых данных с целью распознавания элементов образов. К числу первых разработчиков здесь относятся О.П.Федотов /ИТЭФ, Москва/, Т.Лингъярде и Д.Вискотт /ЦЕРН, Женева/, начавшие свои разработки в середине 60-х годов/50-53/. Опыт работы этих исследователей, как и опыт работы И.Плесса, Б.А.Уточкина и других, показывает, что такой подход к созданию системы форсированного типа является чрезвычайно сложным и приводит к успеху, как правило, только после многих лет упорной работы над одной задачей. Например, эффективное внедрение спецпроцессора в работу системы МЭЛАС заняло больше 10 лет. Это связано с тем, что при создании автоматизированных систем возникают большие трудности с обеспечением высокой эффективности /качества/ обработки изме-

ряемых данных, а внедрение "негибких" спецпроцессоров дополнительно усложняет решение этой проблемы. По-видимому, наиболее перспективным направлением в применении спецпроцессоров будет использование высокопроизводительных программируемых /т.е. гибких/ вычислителей, создаваемых для выполнения ограниченных функций и работающих параллельно с управляющей ЭВМ. Такие спецпроцессоры будут целесообразно применять для повышения производительности систем при решении задач обработки изображений в "долгоживущих" задачах, а также для задач с большим числом измеряемых данных.

Мы подошли вплотную к проблеме применения сканирующих измерительных систем для обработки полутонных изображений. Именно здесь объем измеряемых данных резко возрастает в сравнении с задачами измерения так называемой штриховой информации /ядерных следов, графиков и др./. Например, при считывании полутонной информации на небольшой площади $10 \times 10 \text{ мм}^2$ в режиме поточечного сканирования с шагом 10 мкм мы получим /в приложении к системе АЭЛТ-2/160/ $25 \cdot 10^6$ байт измеренной информации, которую надо не только разместить в памяти ЭВМ, но затем еще и решить проблему обработки этого огромного объема данных. Поэтому здесь особую актуальность приобретают системы с управляемым от ЭВМ сканированием, которые позволяют экономным образом организовать измерения данных и которые сегодня строятся на основе использования "безинерционной" ЭЛТ. Работы в этом направлении проводятся в ОИЯИ с конца 70-х годов как развитие системы АЭЛТ-2/160/54/. Принцип организации измерений полутонных изображений основан на выставлении светового пятна в точку с заданными координатами X, Y и последующем измерении амплитуды сигналов на выходе ФЭУ в измерительном канале /измерении коэффициента пропускания света в выбранной точке/. ЭВМ может управлять измерением в каждой точке и сразу проводить обработку измеренной информации или организовывать измерения группой строк, расположенных по заданному программой закону /поточечное оперативное управление измерениями/. Подход к обработке измеряемых данных может опираться как на восстановление визуального трехмерного образа /с помощью изолиний, что позволяет применять к последующей обработке известные методы распознавания, фильтрации и геометрической реконструкции для штриховых образов/, так и путем непосредственного извлечения интересующих нас параметров об образе на измеренных данных. Последний подход развивается в трудах Ю.П.Пытьева/15/.

Проведенные исследования показали, что с помощью сканатора на ЭЛТ могут измеряться снимки в диапазоне контрастности до 3D /отношение между уровнями "черного" и "белого" соответствует 1:1000, что характерно для видимых изображений/, при этом коэффициент пропускания света может измеряться с точностью около 1,5%. Затраты времени на измерение в одной выбранной точке не превышают 100 мкс. Такие измерительные характеристики позволяют

применять систему АЭЛТ-2/160 для обработки полутонных изображений в широком классе задач в таких областях, как авиация, атомная энергетика, космические исследования, медицина и многие другие.

Решая задачу внедрения в смежные области опыта автоматизированной обработки фотоизображений, накопленного в ОИЯИ, мы построили в Московском энергетическом институте аналог системы АЭЛТ-2/160 /систему АЭЛТ-МЭИ//37,38/ и планируем организовать на основе применения этих систем измерительный центр коллективного пользования.

Подводя итоги и опираясь на изложенный анализ и собственный опыт создания и применения сканирующих систем, мы сформулируем некоторые условия построения "идеальной" диалоговой сканирующей измерительной системы на основе управляемой от ЭВМ электронно-лучевой трубки, предназначенной для обработки полутонных фотоизображений в широком классе задач:

1. Используемая в составе системы управляющая ЭВМ должна иметь оперативную память до 2-3 Мбайт и производительность около 3-5 миллионов операций в секунду. Это позволит даже при создании наиболее сложных программных комплексов /с объемом до 2-3 Мбайт информации/ практически не замечать управляющему работой системы человеку-оператору затрат времени на автоматическую обработку около 90% доступной для такой обработки информации. Производительность системы при этом почти полностью будет определяться затратами времени человека-оператора на выполнение диалога с ЭВМ при обработке оставшейся около 10% сложной информации.

В дополнение к управляющей ЭВМ целесообразно использовать также программируемый специализированный вычислитель с производительностью порядка 100 миллионов операций в секунду. Такой вычислитель будет особенно полезен при обработке полутонных изображений.

2. Измерительная установка с управляемой от ЭВМ электронно-лучевой трубкой должна иметь рабочее поле по экрану измерительной ЭЛТ порядка $100 \times 100 \text{ мм}^2$, разрешающую способность 15-20 мкм, точность измерений координат около 2 мкм, точность измерений коэффициента пропускания при обработке изображений в диапазоне контрастности до 3D около 1,5%. При необходимости обрабатывать снимки большего формата /например, $200 \times 300 \text{ мм}^2$ / в работе измерительного устройства должен использоваться перемещаемый измерительный стол, что позволит вести измерения снимка частями. Быстродействие перемещений такого измерительного стола может быть сделано достаточно высоким, если компенсировать ошибки в его остановах с помощью коррекции центровки рабочего поля на экране измерительной ЭЛТ.

3. Состав диалоговых средств системы должен включать:
- оптический экран для вывода изображения стоящих на обработке снимков /с увеличением в 10-20 раз и 50-100 раз/, снабженный целеуказателем типа трекбол;
 - дисплей-телевизор с трекболом; разрешающая способность дисплея-телевизора должна быть порядка 1000 линий;
 - дисплей-монитор со скоростным световым карандашом; разрешающая способность должна быть свыше 1000 линий, число выводимых на экран произвольно позиционируемых точек - до 4000;
 - многофункциональную переменную клавиатуру, работающую под управлением символьного дисплея.

Такое построение развитого комплекса диалоговых средств в сочетании с оперативным управлением измерениями /допускающим обработку данных на ЭВМ после выполнения единичных измерений/ отвечает требованиям создания системы натурального типа, которая даже при разработке относительно простого программного обеспечения позволяет получать высокую производительность.

4. Методика создания действующей системы должна быть ориентирована на выделение первого этапа работ, на котором должно выполняться условие: ничего сложного для ЭВМ. При необходимости, для долгоживущих задач целесообразно планировать также второй этап работ с форсированным развитием программного обеспечения для дальнейшего повышения производительности. Построенные по этой методике системы могут быть отнесены к форсированным натуральным системам, обеспечивающим наибольшую производительность.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Conference on Programming for HPD and Other Flying Spot Devices. College de France, Paris, 1963.
2. Международная конференция по физике высоких энергий. Дубна, 1964. Атомиздат, М., 1966.
3. International Conference on Programming for Flying Spot Devices. Centro Nazionale Analisi Fotogrammi. INFN, Bologna, 1964.
4. International Conference on Programming for Flying Spot Devices. Columbia University, New York, 1965.
5. International Conference on Programming for Flying Spot Devices. Munich, 1967.
6. International Conference on Advances Data Processing for Bubble and Spark Chambers. Argonne National Laboratory, ANL-7615, Argonne, 1968.
7. International Conference on Data Handling System in High-Energy Physics. Cavendish Laboratory, Cambridge, 1970.
8. Международный симпозиум по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. Дубна, 1971. ОИЯИ, Д10-6142, Дубна, 1972.
9. Oxford Conference on Computer Scanning. Nuclear Physics Laboratory. University of Oxford, Oxford, 1974.
10. Семинар по обработке физической информации. Агверан, 1975. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1976.
11. International Conference on Computer Assisted Scanning. Instituto di Fisica dell'University and Sezione INFN, Padova, 1976.
12. II Всесоюзный семинар по обработке физической информации. Ереван, 1977. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1978.
13. II Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике. Алма-Ата, 1978. "Наука", Алма-Ата, 1978.
14. VI Всесоюзная конференция по планированию и автоматизации эксперимента в научных исследованиях. Изд-во МЭИ, М., 1980.
15. I Всесоюзная конференция "Автоматизированные системы обработки изображения". "Наука", М., 1981.
16. VI Всесоюзная конференция "Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ". Изд-во СО АН СССР, Новосибирск, 1981.
17. Hough P.V., Powell B.W. Nuovo Cimento, 1960, 18, p.1184.
18. Blair W.M. Full Guidance Measurement with the CERN HPD-2. International Conference on Advance Data Processing for Bubble and Spark Chambers. Argonne, 1968, p.130.
19. Шигаев В.Н. ОИЯИ, 10-4513, Дубна, 1969.
20. Blair W.M., Powell B.W. Bubble Chamber Film Measurement on HPDs at CERN. International Conference on Data Handling Systems in High-Energy Physics, Cambridge, 1970, p.813.
21. Altaber J. et al. The Status of the HPD Minimum Guidance Programs at CERN. International Conference on Data Handling Systems in High-Energy Physics. Cambridge, 1970, p.737.
22. Flavell A.J. et al. BRUSH - A Zero-Guidance System with On-Line HPD Analysis. International Symposium on Data Handling of Bubble and Spark Chambers. JINR, D10-8142, Dubna, 1971, p.248.
23. Berge J.P., Harris J.F., Loken J.G. Oxford PEPR System. International Conference on Data Handling System in High-Energy Physics. Cambridge, 1970, p.61.
24. Толкачев Д.А., Федотов О.П. В кн.: II Всесоюзный семинар по обработке физической информации. Ереван, 1977. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1978, с.277.
25. Pless I., Rosenson L. Proposal to the U.S. Atomic Energy Commission for the Development of a Precision Encoder and Pattern Recognition Device (PEPR) in the MIT Laboratory for Nuclear Science, February, 1961.
26. Alvarez L.M. Results Obtained with the Spiral Reader. Informal Meeting on Track Data Processing. CERN, 62-67, Geneva, 1962.

27. Журкин В.В. и др. В кн.: Труды Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. Дубна, 1971. ОИЯИ, Д10-6142, Дубна, 1972, с.158.
28. Frisch O.R., Davies D.J.M., Street G.S.B. SWEEPNIK. II. International Conference on Data Handling System in High-Energy Physics. Cavendish Laboratory, Cambridge, 1970, p.285.
29. Anders H., Lingjaerde T., Wiskott D. "Luciole", a Cathode Ray Tube Flying Spot Digitizer for Measurement of Spark Chamber Electronics. International Symposium on Nuclear Electronics. Paris, Nov., 1963, p.349.
30. Шкунденков В.Н. ОИЯИ, Р-2057, Дубна, 1965.
31. Борисовский В.Ф. и др. ОИЯИ, Р10-3631, Дубна, 1967; ДАН СССР, 1969, т.185, № 2.
32. Barr R. et al. POLLY I: an Operator Assisted Bubble Chamber Film Measurement System. International Colloquium on PEPR, Nijmegen, 1968.
33. Allison W.W. et al. Automatic Scanning and Measurement of Bubble Chamber Film on POLLY II. Nuclear Instr. and Meth., 1970, 84, p.129.
34. Anders H. et al. LUCY, a CRT Film Measurement Device - a Brief Description of the Prototype and Results of Detailed Hardware Performance Measurement. International Conference on Data Handling System in High-Energy Physics. Cambridge, 1970, p.427.
35. Anders H. et al. Dynamic Astigmatism and Focus Correction of the Cathode Ray Tube of ERASME. Oxford Conference on Computer Scanning. Oxford, 1974, p.605.
36. Gouache J.C. Description and Status Report of the ERASME System. Oxford Conference on Computer Scanning. Oxford, 1974, p.11.
37. Баранчук М.К. и др. Мониторный сканирующий автомат. Агверан, 1975. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1976, с.314.
38. Байла И. и др. ОИЯИ, Р10-80-430, Дубна, 1980.
39. Thomson M.A., Lackey J.L. A Flexible Three Dimensional Display for SATR. Oxford Conference on Computer Scanning. Oxford, 1974, p.675.
40. Burov A.S. et al. AELT-1 and AELT-2 CRT Scanning Devices. Oxford Conference on Computer Scanning. Oxford, 1974, p.111.
41. Барашенкова Н.В. и др. В кн.: Труды семинара по обработке физической информации. Агверан, 1975. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1976, с.322.
42. Алакоз А.В. и др. Комплекс обработки на сканирующем автомате АЭЛТ-1 графической информации о скоростях, высотах и перегрузках самолетов. а/ ОИЯИ, Р10-10317, Дубна, 1976; б/ CERN, Trans. 77-06, Geneva, May, 1977.
43. Ермолаев В.В. и др. ОИЯИ, 10-3483, Дубна, 1967.
44. Шкунденков В.Н. Тезисы докладов V Всесоюзной конференции по планированию и автоматизации эксперимента в научных исследованиях. Москва, 1976. Изд-во МЭИ, М., 1976, с.79.
45. Алакоз А.В. и др. В кн.: Труды II Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Ереван, 1977. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1978, с.538.
46. Шкунденков В.Н. В кн.: Труды III Совещания по использованию ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. ОИЯИ, Р18-12147, Дубна, 1979; с.352; CERN, Trans., 79-02, Geneva, 1979.
47. Шкунденков В.Н. В кн.: Труды II Всесоюзного семинара по обработке физической информации. Ереван, 1977. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1978, с.458.
48. Жигунов В.П. и др. Семинар по обработке физической информации. Агверан, 1975. Изд-во ЕрФИ, Ереван, 1976, с.293.
49. Ljuslin C., Wolles J.C. Graphic Refresh Display with Video Overlay. CERN/ERASME Note 75-1, 4 Febr., 1975.
50. Fedotov O.P. A Device for Filtering Information from Bubble Chamber Pictures. CERN-DD/67/10, Geneva, May, 1967.
51. Lingjaerde T., Wiskott D. A Method of Track Element Search Using Special Purpose Digital Hardware. CERN-DD/DH/67/7, Geneva, July, 1969.
52. Fedotov O.P., Wiskott D. LER, a Device for Line Element Recognition from Digitized Points Output from Flying-Spot Scanners. CERN-DD/71/2, Geneva, January, 1971.
53. Крупнов В.Е., Семенов Ю.А., Федотов О.Р. Препринт ИТЭФ-29, М., 1980.
54. Лапчик Э.Д., Шкунденков В.Н. Тезисы докладов I Всесоюзной конференции "Автоматизированные системы обработки изображений". "Наука", М., 1981, с.133.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 октября 1985 года.