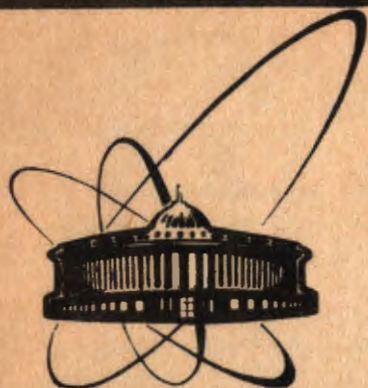


88-647



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

К90

P10-88-647 *et*

П.Кулла, А.Л.Меньшиков, А.Д.Полынцев,  
В.Н.Поляков, В.И.Приходько

АППАРАТУРА  
И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
СИСТЕМЫ СЪЕМА И ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ  
ДВУМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1988

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированные системы съема и цифровой обработки изображений (СОИ) различного вида и разной степени сложности появились более десяти лет назад. Широкое распространение таких систем в последнее время обусловлено успехами в развитии микроэлектроники и вычислительной техники (массовое производство быстродействующих высокопроизводительных ЭВМ, персональных компьютеров, специализированных СБИС) и диктуется запросами различных отраслей промышленности, науки и техники (оптические измерения, контроль, распознавание образов в робототехнике, АСУТП, системах автоматизации научных исследований и т.п.).

Качественно новый уровень в развитии СОИ был достигнут благодаря разработке и промышленному выпуску твердотельных оптико-электронных датчиков видеосигнала на базе приборов с зарядовой связью (ПЗС), основные преимущества которых по сравнению с классической телевизионной техникой заключаются в компактности, возможности работы в сильных магнитных полях и отсутствии нелинейных искажений. Использование линеек и матриц ПЗС позволяет создавать высокоточные и сравнительно простые системы регистрации и обработки одномерных (1D) и двумерных (2D) изображений.

В данной статье содержится краткое описание аппаратного и программного обеспечения разработанной в ЛВТА системы СОИ-2D, а также приведены некоторые примеры, иллюстрирующие возможности программ обработки изображений и системы в целом.

## 2. АППАРАТУРА СИСТЕМЫ СОИ-2D

Структурная схема системы показана на рис.1. В ее состав входят телевизионная камера (ТВК), системный контроллер (СК), персональный компьютер (ПК), видеомонитор (ВМ).

Телевизионная камера построена на базе фоточувствительной ПЗС-матрицы с трехфазным управлением К1200ЦМ7 (число активных строк в одном полукадре - 288, число элементов в одной строке (пикселей) - 360). ТВ камера генерирует полный видеосигнал положительной полярности, совместимый с существующим телевизионным стандартом. Синхро- и гасящие импульсы сигнала ВИДЕО жестко связаны с сигналами управления фазами выходного регистра ПЗС-матрицы,



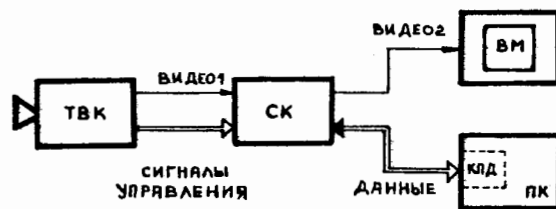


Рис.1. Структурная схема системы.

имеющими частоту 7 МГц. Сигналы управления контроллером (синхронизирующий сигнал, гасящий сигнал и сигнал второй фазы управления выходным регистром ПЗС-матрицы) вместе с видеосигналом поступают на входы СК.

Системный контроллер состоит из следующих основных блоков:

- входной видеосуилитель;
- быстродействующий восьмиразрядный АЦП типа К1107ПР2;
- системная память емкостью 96 К байт;
- быстродействующий восьмиразрядный ЦАП типа К1118ПА1;
- выходной видеосуилитель со смесителем синхронизирующего и гасящего сигналов;
- параллельный интерфейс для стыковки с каналом прямого доступа (КПД) к оперативной памяти персонального компьютера ПРАВЕЦ-16. Связь СК и ПК двухсторонняя, что обеспечивает как считывание данных из системной памяти контроллера в оперативную память ПК, так и запись данных из оперативной памяти в системную. Двухплоскостная структура системной памяти позволяет работать с полутоновыми (256 уровней яркости) и двухградационными изображениями.

Для воспроизведения изображений как оригинальной картины (ВИДЕО1), так и картины после дискретизации и цифровой обработки (ВИДЕО2) используется стандартный черно-белый ТВ монитор со средним разрешением (около 500 пикселей в центре экрана). Генерация сигнала (ВИДЕО2) и воспроизведение изображения на экране видеомонитора идет непрерывно и не зависит от текущих операций с данными между СК и ПК.

В системной памяти можно в цифровом виде хранить изображение одного телевизионного полукадра (первого или второго) в виде 270 x 360 однобайтовых слов. Каждое слово содержит информацию об уровне яркости одного пиксела исходного изображения или изображения после цифровой обработки. При адресации системной памяти используются известные методы вычислительной техники.

### 3. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОИ-2D

Базовое программное обеспечение системы содержит пять видов программ:

- служебные программы;
- тестовые программы;
- программы предварительной обработки изображения;
- программы специальной обработки изображения;
- программы вывода изображения на печать.

Служебные программы предназначены для обеспечения связи между персональным компьютером и системным контроллером и выполняют следующие основные функции:

- а) оцифровку выбранного полукадра изображения и запись соответствующих данных в системную память - ZFRDEF, ZDIGITZ;
- б) стирание двухградационного изображения на экране видеомонитора (очистка служебной плоскости системной памяти) - ZBWSSET;
- в) считывание из системной памяти (или запись в память):
  - пиксела с заданными координатами X, Y - ZPREAD, ZPWRT;
  - горизонтальной линии с заданными начальной точкой и длиной - ZLREAD, ZLWRT;
  - вертикальной линии с заданными начальной точкой и длиной - ZVREAD, ZVWRT;
  - "окна" с заданными координатами верхнего левого угла и длинами по горизонтали и вертикали - ZWREAD, ZWWRT;
- г) определение (считывание) координат любой точки изображения (генерация курсора) - ZLOCSM;
- д) определение (считывание) координат левого верхнего и правого нижнего углов окна любых размеров (генерация окна) - ZCRWIN.

Операции считывания или записи точки, линии и окна можно реализовать как в плоскости полутонового, так и двухградационного изображений.

системной памяти . Все вышеупомянутые программы написаны в виде подпрограмм или внешних функций на языках ФОРТРАН-77 и АССЕМБЛЕР и используются при обработке точечных , линейных и двумерных изображений . На рис.2 , полученном с экрана монитора , в качестве примера приведены результаты действия программ ZLOCSM и ZCRWIN .



Рис.2. Определение окна и точки на фоне полутонового исходного изображения после оцифровки.

Тестовые программы предназначены для проверки работоспособности системы в целом . В число этих программ входят :

- CURS - генерация курсора на экране видеомонитора ;
- PROB - стирание двухградационного изображения с экрана видеомонитора ;
- PROB1 - запись однобайтовых слов из ПК в системную память СК ;
- PROB2 - считывание однобайтовых слов из системной памяти СК в оперативную память ПК ;
- CCD1TEST - считывание из системной памяти однобайтовых слов , принадлежащих вертикальной или горизонтальной линиям изображения , и вывод осциллограммы на экран дисплея ПК .

Все перечисленные тестовые программы написаны на языке БЕЙСИК . На рис.3 показана осциллограмма , соответствующая 125-й строке исходного изображения (рис.2) .

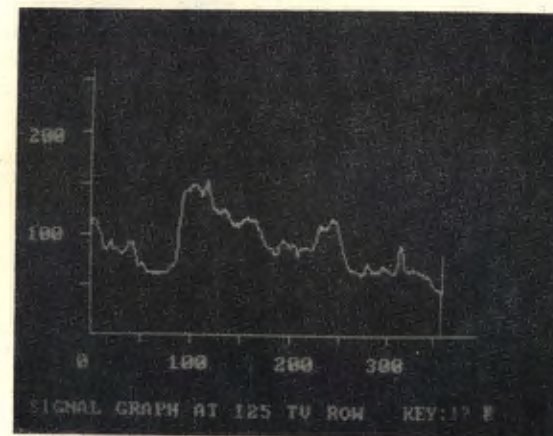


Рис.3. Осциллограмма 125-й строки изображения рис.2.

Программы предварительной обработки изображения предназначены для улучшения таких его качественных характеристик / 1 / , как разрешающая способность , резкость , контрастность , отношение сигнал / шум и т.п.

К числу этих программ, написанных в виде подпрограмм на языке ФОРТРАН-77 , прежде всего относятся :

- NECR - улучшение разрешающей способности изображения методом коррекции неэффективности переноса зарядов в ПЗС - матрице ;
- HSTEQ - улучшение контрастности изображения методом выравнивания его гистограммы ;
- GAMAC, GMC - улучшение контрастности изображения методом гамма-коррекции ;
- CONV - улучшение отношения сигнал / шум , резкости и разрешающей способности методами низкочастотной и высокочастотной фильтрации ;

МФК, FFB, EMFK — улучшение отношения сигнал / шум методом подавления импульсных помех ( медианная и модифицированная медианная фильтрация );

HVACR — улучшение разрешающей способности изображения методом периодической фильтрации гребенчатыми фильтрами .

Все упомянутые методы , кроме CONV и HVACR , относятся к нелинейным методам цифровой обработки двумерных изображений . На рис.4 показан результат высокочастотной цифровой фильтрации исходного изображения (рис.2) .

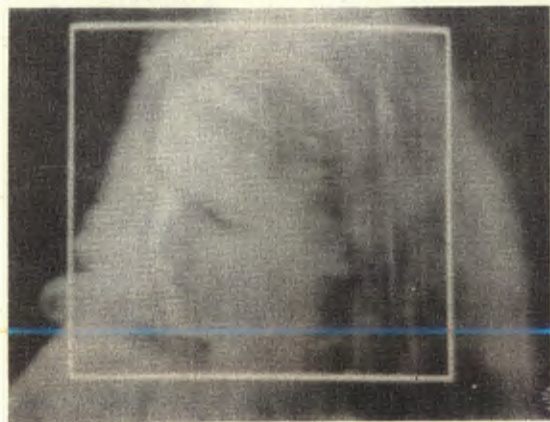


Рис.4. Изображение рис.2 после высокочастотной линейной цифровой фильтрации.

Изображение на рис.4 формируется на основе выражения для свертки двух функций / 2 / :

$$L\{j,k\} = \sum_{m=-W}^{+W} \sum_{n=-W}^{+W} I\{j-m,k-n\} \cdot h\{m,n\}, \quad (1)$$

где  $L\{j,k\}$  — отсчеты яркости изображения после фильтрации ,  
 $I\{j,k\}$  — отсчеты яркости исходного изображения ,

$h\{m,n\}$  — отсчеты импульсного отклика двумерного линейного цифрового фильтра ,

$2W+1$  — размерность квадратной матрицы импульсного отклика ,

$i,j$  пробегает значения  $(1-N)$  ,  $(1-M)$  ,

$N,M$  — размерность матрицы исходного изображения и изображения после фильтрации  $(N \times M)$  ,

и получено для импульсного отклика ВЧ-фильтра , у которого отсчеты  $h\{m,n\}$  имели следующие значения :

$$H = [h\{m,n\}] = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Фотография на рис.5б иллюстрирует действие модифицированной медианной фильтрации на искаженное случайными импульсными помехами изображение , которое приведено на рис.5а .

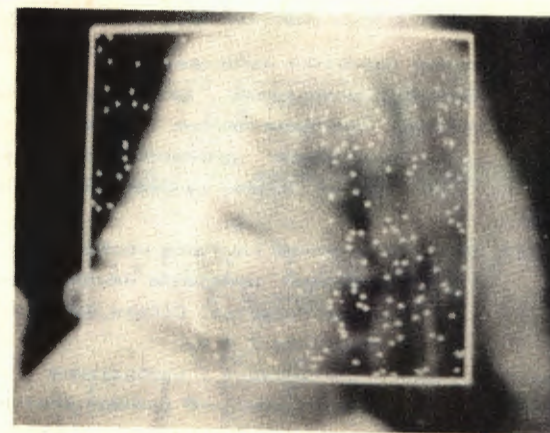


Рис.5а.Искаженное импульсными помехами изображение рис.2.

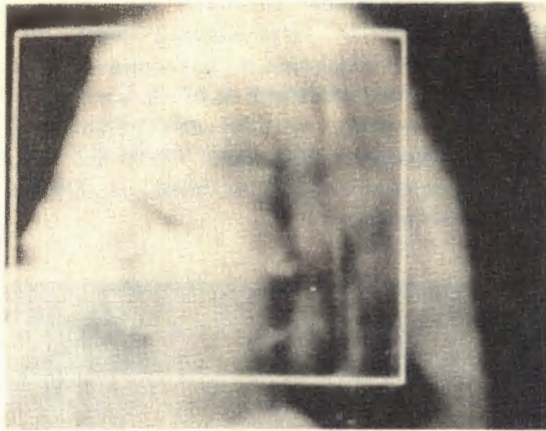


Рис. 5б. Изображение, показанное на рис. 5а, после модифицированной медианной фильтрации.

Программы специальной обработки изображений в принципе обеспечивают такую обработку изображений, которая в конечном счете ведет к вычислению основных пространственных параметров подлежащих измерению объектов или к обнаружению решающих признаков для их распознавания. На существующем этапе разработки в число этих программ включены:

EGRB, EGSB, EBPW, EGLP, EGRF - обнаружение контуров изображения объектов, подлежащих измерению или распознаванию (по методам Робертса, Собеля, Превитта, Лапласа, Розенфельда / 2 /,

THRSH - пороговая фильтрация ( сегментация ) изображения,  
 TRACER - обход выделенного контура ( описание границы контура ),  
 GCSFD - вычисление основных пространственных параметров анализируемого объекта.

На рис. 6 показан результат обработки исходного изображения (рис. 2) по программе EGSB.



Рис. 6. Обнаруженные контуры в изображении из рис. 2.

Результирующее изображение получено с использованием формулы Собеля

$$L\{j,k\} = \left[ G_1^2(j,k) + G_2^2(j,k) \right]^{1/2}, \quad (3)$$

где отсчеты функций  $G_1$ ,  $G_2$  вычисляются из выражений:

$$G_1\{j,k\} = \sum_{m=-W}^{+W} \sum_{n=-W}^{+W} 1(j-m,k-n) \cdot h_1(m,n), \quad (4)$$

$$G_2\{j,k\} = \sum_{m=-W}^{+W} \sum_{n=-W}^{+W} 1(j-m,k-n) \cdot h_2(m,n). \quad (5)$$

Величины  $h_1$ ,  $h_2$  принадлежат отсчетам масок ( по Собелю ) и имеют следующие значения:

$$H_1 = \begin{bmatrix} h_1(m,n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} h_2(m,n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Все программы специальной обработки изображений написаны в виде подпрограмм на языке ФОРТРАН-77.

Программы вывода на печатающее устройство PRT-80 позволяют получить полутоновые копии регистрируемых ПЗС-камерой изображений. Имеются четыре основных программы:

SLIDE - печать картинки в восьмиуровневом коде (одиночная печать),

SLIDE\$ - печать картинки в девятиуровневом коде (одиночная печать),

DSLIDE - печать картинки в девятиуровневом коде с наложением (дублированная печать),

SSLIDE - печать картинки в десятиуровневом коде (одиночная печать).

На рис.7 показано изображение (рис.2), напечатанное с помощью программы DSLIDE. Программы для вывода изображения на бумажную печать написаны на языке БЕЙСИК.

#### 4. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОИ-2D

Рассмотрим постановку и решение задачи оптического измерения основных характеристик объектов на примере простого объекта треугольной формы (см.рис.8). Основные характеристики треугольника вычисляются для весовой функции  $f(x,y) = 1$  по формулам:

Периметр : 
$$P = \int_{(l)} dl \quad (8a)$$

Площадь : 
$$S = \int_{(S)} f(x,y) dx dy \quad (8b)$$



Рис.7. Распечатка изображения рис.2.

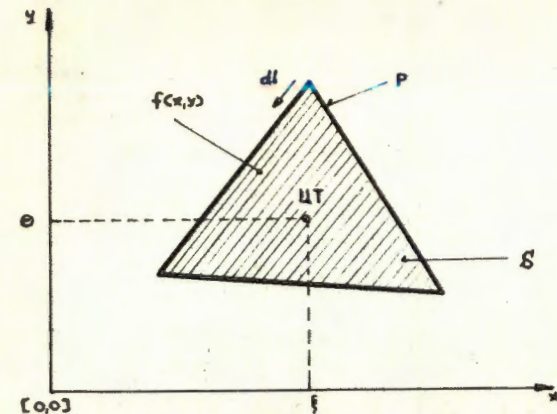


Рис.8. Определение основных пространственных характеристик анализируемого объекта.

Первые моменты площади :

$$M_x = \int_{(S)} \int_{(S)} x f(x,y) dx dy \quad (8в)$$

$$M_y = \int_{(S)} \int_{(S)} y f(x,y) dx dy$$

Координаты центра тяжести:

$$\xi = M_y / S, \quad (8r)$$

$$\eta = M_x / S$$

На основе формул (8a-8r) для решения задачи была создана программа MEAMENT, блок-схема которой приведена на рис.9.

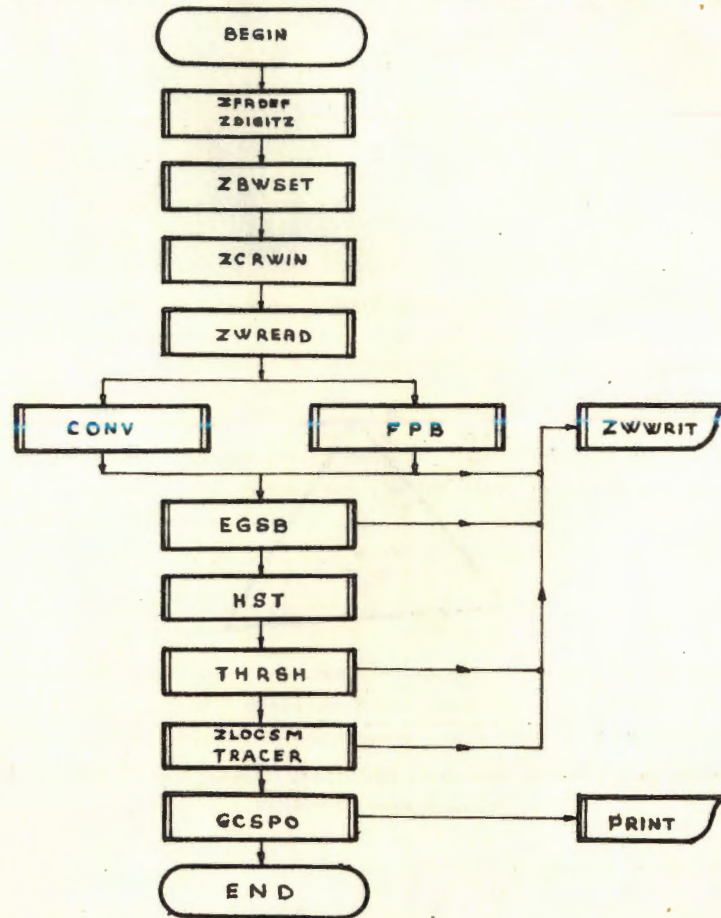


Рис.9. Блок-схема программы MEAMENT.

Нетрудно заметить, что эта программа целиком скомпонована из отдельных программ, рассмотренных в предыдущих частях данной работы. Программа MEAMENT написана на языке ФОРТРАН-77 в виде интерактивной программы, и в оперативной памяти персонального компьютера занимает объем около 140 Кбайт. Работа программы MEAMENT на отдельных этапах цифровой обработки исходного изображения анализируемого объекта иллюстрируется рис.10 - 13.



Рис.10. Полутоновое исходное изображение анализируемого объекта после оцифровки.

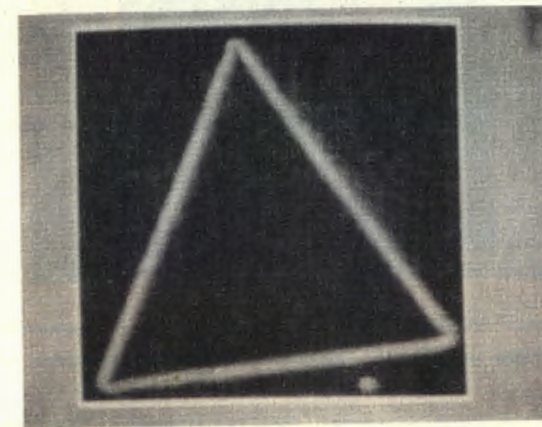


Рис.11. Обнаруженные контуры анализируемого объекта (полутоновое изображение).



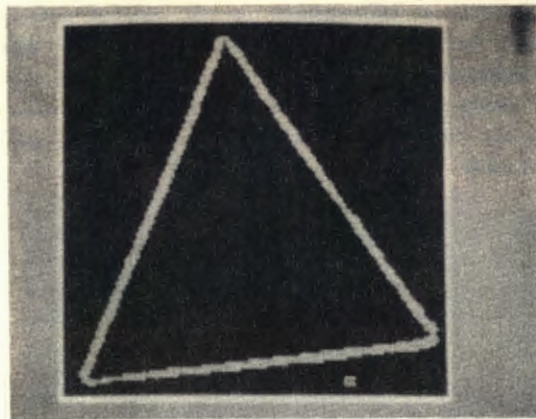


Рис.12. Изображение рис.11 после пороговой фильтрации (двухградационное изображение).

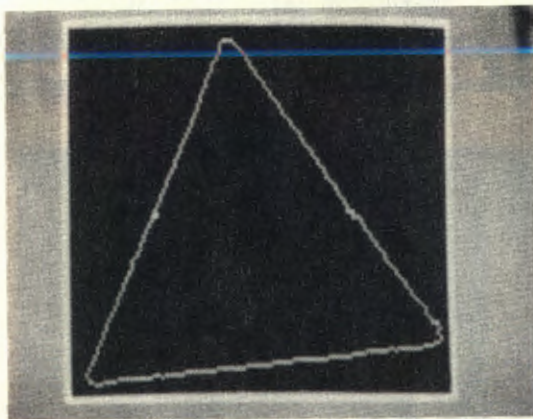


Рис.13. Граница контура анализируемого объекта, выделенная обходом контура на рис.12 (двухградационное изображение).

Результаты вычисления основных пространственных параметров объекта треугольной формы (рис.10) приведены в относительных единицах (пикселах относительно начала координатной системы [0,0] в левом нижнем углу экрана монитора) в таблице.

По этим значениям могут быть вычислены метрические параметры измеряемого объекта в плоскости ПЗС-матрицы или найдены основные признаки для его распознавания.

Таблица Значения пространственных параметров анализируемого треугольного объекта

P	S	$M_x$	$M_y$	$\xi$	$\theta$
333	8273	1.04E6	1.32E6	160	126

#### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны аппаратура и базовое программное обеспечение системы СВИ-2D для съема, а также для предварительной и специальной цифровой обработки двумерных изображений. В качестве примера приведено описание программы MEAMENT, предназначенной для обработки изображения и вычисления основных пространственных параметров анализируемого объекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. КУЛЛА П.. Лекции по телевизионной и картинной технике. ЗФ СВШТ, Братислава, 1983 - 1988гг.
2. PRATT W.K.. Digital Image Processing. John Wiley & Sons, New York, Toronto, 1978

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 августа 1988 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Кулла П. и др.

P10-88-647

Аппаратура и программное обеспечение системы съема и цифровой обработки двумерных изображений

Дано краткое описание аппаратного и программного обеспечения автоматизированной системы съема и цифровой обработки двумерных изображений. В качестве примера приводятся некоторые результаты, достигнутые при решении проблемы измерения основных пространственных характеристик простых объектов.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод авторов

Kulla P. et al.

P10-88-647

Hardware and Software of the Two Dimensional Image Acquisition and Digital Processing System

The acquisition and digital processing system hardware and software for two dimensional image treatment is described. Some results on solving the problem of the simple object recognition and measurement are considered.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988