

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

А.Л. Андреев, С.Н. Ярышев

**Методы моделирования ОЭС
с многоэлементными анализаторами
изображения**

Методические указания к лабораторным работам



Санкт-Петербург
2006

УДК 681.78

Андреев А.Л., Ярышев С.Н. Методы моделирования ОЭС с многоэлементными анализаторами изображения. Методические указания к лабораторным работам. – СПб: СПбГУИТМО, 2006. – 52 с.

Для студентов оптических и оптоэлектронных направлений и специальностей.

Настоящий комплекс лабораторных работ ориентирован на приобретение студентами практических навыков моделирования оптико-электронных систем, с целью определения обоснованных требований к отдельным звеньям, а также с целью выявления оптимальных параметров решающих правил, используемых при цифровой обработке сигналов.

Утверждено к изданию Учёным Советом факультета оптико-информационных систем и технологий, протокол № 6 от 13.06.06

© Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики,
2006

© А.Л. Андреев, С.Н. Ярышев, 2006

Андрей Леонидович Андреев, Сергей Николаевич Ярышев

Методы моделирования ОЭС с многоэлементными анализаторами изображения

Методические указания к лабораторным работам

В авторской редакции

Компьютерный набор и верстка

Дизайн обложки

Редакционно-издательский отдел СПбГИТМО (ТУ)

Зав. редакцией

Лицензия ИД №00408 от 05.11.99

Подписано к печати 07.07.06

Тираж 100 экз.

Заказ № 963

Ю.А. Смирнов

Т.П. Крутихин

Н.Ф. Гусарова

Отпечатано на ризографе

Содержание

Введение	5
I. Общие принципы построения математической модели	7
Лабораторная работа № 1 «Исследование модели оптико-электронного датчика координат точечного объекта»	11
Лабораторная работа № 2 «Моделирование алгоритма селекции точечного объекта при наличии неоднородного фона»	21
II. Описание установки, представляющей собой физическую модель оптико-электронной системы обработки изображений	31
Лабораторная работа № 3 «Экспериментальное исследование алгоритмов выделения признаков наблюдаемых объектов»	36
Лабораторная работа № 4 «Экспериментальное определение метрологических параметров оптико-электронного датчика координат точечного источника»	42
Библиографический список	49
Приложения	50

Настоящие методические указания предназначены для студентов дневного и вечернего отделений при подготовке к лабораторным занятиям по следующему дисциплинам:

- автоматизированные телевизионно-вычислительные комплексы;
- аппаратные средства оптико-электронных приборов и систем (ОЭП и С) с телевизионными анализаторами изображения.

Все лабораторные работы рассчитаны на 4 часа. Тематика связана с проектированием и исследованием ОЭП и С различного назначения, в которых в качестве анализаторов изображения используются телевизионные датчики на ФПЗС или другие многоэлементные фотоприёмные устройства. Предметом изучения являются как аппаратные средства, так и алгоритмы, используемые в ОЭП и С обнаружения, распознавания или измерения параметров объектов наблюдения. В рамках лабораторного практикума студенты должны приобрести навыки самостоятельной постановки эксперимента и обработки полученных результатов, с целью получения необходимой информации об объекте исследования, оптимизации параметров решающих правил и обоснования требований к отдельным звеньям системы.

Каждая лабораторная работа включает два основных этапа:

- выполнение типовой программы исследований в соответствии с методикой, предусмотренной в рамках каждой темы;
- проведение дополнительных исследований по усмотрению самого студента для получения зависимостей, позволяющих ответить на вопросы, приведенные в конце каждой работы.

Независимо от состава бригад отчет по лабораторным работам оформляется и защищается каждым студентом индивидуально.

Отчёт по лабораторной работе обычно включает следующие разделы.

1. Теоретическая часть, содержащая полезные (с точки зрения студента) сведения помогающие отвечать на вопросы, касающиеся особенностей изучаемой темы и специфики конкретной работы.

2. Основной раздел, включающий полученные зависимости, оформленные в виде соответствующих таблиц и графиков, а также основные выводы, вытекающие из полученных результатов.

3. В отчёте рекомендуется также привести результаты исследований, выполненных студентом по собственной инициативе, с объяснением поставленной цели и трактовкой полученных результатов.

Заметим, что объём и содержание первого и третьего разделов отчёта определяется самим студентом. Однако следует иметь в виду, что при защите данной темы студенту **разрешается пользоваться только своим отчётом**, а не данными методическими указаниями или какой-либо другой литературой.

ВВЕДЕНИЕ

Методы математического и физического моделирования проектируемой системы помогают решать задачи, связанные с уточнением параметров решающих правил при реализации различных алгоритмов обработки сигналов в ОЭП и С. Они способствуют выявлению обоснованных требований к отдельным звеньям системы особенно в тех случаях, когда аналитические расчётные методики оказываются мало эффективными или достаточно сложными.

На начальном этапе разработки самым доступным, дешёвым, но вместе с тем достаточно гибким и эффективным средством представляется математическое (имитационное) компьютерное моделирование. В качестве непосредственного объекта исследования оно предполагает использование некоторой программы, представляющей собой комплексную математическую модель. Эта модель обычно включает в себя модели основных звеньев системы: изображения объекта, оптической системы, фотоприёмного узла (анализатора изображения), различных дестабилизирующих факторов (помех) и др., а также модель используемого алгоритма цифровой обработки сигнала.

К числу несомненных достоинств метода математического моделирования следует отнести возможность получения за короткое время и без существенных материальных затрат большого объема данных, характеризующих поведение будущей системы, её метрологические характеристики (характеристики обнаружения, распознавания объектов) в зависимости от каждого из интересующих параметров в отдельности.

Однако математическое моделирование не может полностью гарантировать от ошибок, связанных с неточным заданием исходных данных и с некоторыми упрощениями, допущенными при формировании модели.

Наибольшее приближение к реальным условиям функционирования проектируемой системы даёт физическое моделирование. Физическая модель ОЭП и С обычно реализуется на базе универсальных технических средств, включающих реальный телевизионный датчик, блок АЦП, контроллер сопряжения, ЦВУ (например, персональный компьютер), другие функциональные узлы, а также образцы наблюдаемых объектов (или хотя бы их изображений). Заметим, что физическая модель, как правило, не является конструктивной моделью, макетом или тем более опытным образцом проектируемой системы (прибора). К такой модели не предъявляются особых требований минимизации габаритов и энергопотребления, она может быть достаточно громоздкой. Важно лишь, чтобы модель обеспечивала максимум функциональных возможностей и позволяла достаточно легко получать объективные результаты испытаний, сопоставимые с результатами математического моделирования.

К недостаткам физического моделирования можно отнести меньшую гибкость и меньшую информативность по сравнению с математическим моделированием. При физическом моделировании, например, не удаётся исследовать влияние параметров различных звеньев в отдельности на качественные характеристики проектируемой системы. Не удаётся исключить или существенно уменьшить влияние отдельных дестабилизирующих факторов, влияющих на качественные характеристики системы. Это связано с тем, что в физической модели используются реальные функциональные узлы: телевизионный датчик, блок АЦП и другие, улучшить параметры которых можно только путём их замены, что часто сопряжено со значительными материальными затратами.

Однако, путём сопоставления некоторых частных результатов, полученных при физическом моделировании с соответствующими результатами, полученными при математическом компьютерном моделировании, можно с высокой степенью вероятности доказать адекватность обеих моделей. Таким образом, именно совокупность обоих методов моделирования может дать наибольший эффект с точки зрения сочетания достоверности и полноты полученной информации.

Приобретение практических навыков по применению методов моделирования ОЭП и С и является целью предложенного комплекса лабораторных работ.

I Общие принципы построения математической модели при имитационном компьютерном моделировании оптико-электронной системы (ОЭС)

Математическая модель обычно представляет собой комплексную программу, включающую головную управляющую программу и ряд взаимосвязанных подпрограмм, позволяющих имитировать в ЭВМ процедуры, адекватные физическим процессам, происходящим в отдельных звеньях реальной системы. К таким процессам относятся: входные оптические воздействия от наблюдаемых объектов и фоновых помех; формирование изображения оптической системой; процессы, связанные с формированием зарядового рельефа в фотоприемном устройстве с учетом внутренних нестационарных шумов; искажения возникающие в результате преобразования и квантования сигналов в блоке АЦП при ограниченной разрядности, а также возможные алгоритмы цифровой обработки, включая предварительную фильтрацию исходных массивов цифрового изображения, процедуры обнаружения, распознавания и оценки параметров объектов наблюдения. Очевидно, что в зависимости от характера проектируемой системы в модели могут быть допущены некоторые упрощения, которые не должны заметно повлиять на достоверность полученных результатов.

Один из вариантов структурной схемы модели показан на рис. 1. Ниже даны пояснения к отдельным модулям структуры модели.

Ввод исходных данных обычно осуществляется в интерактивном режиме. При этом вводимые переменные можно подразделить на следующие четыре группы.

Параметры оптической системы:

эффективный диаметр входного зрачка; коэффициент пропускания оптической системы; фокусное расстояние объектива; радиус кружка рассеяния изображения точечного объекта (например, при аппроксимации функции рассеяния точки гауссидой вращения).

Параметры фотоприемного устройства:

пространственный шаг элементов вдоль направления строк и столбцов; зазор между элементами вдоль строк и столбцов; время накопления зарядов; средняя плотность темновых токов по кристаллу; относительные неравномерности чувствительности и средней плотности темновых токов по кристаллу, предопределяющие уровень «геометрического» шума; интервалы пространственной корреляции «геометрического» шума вдоль направлений строк и столбцов элементов; максимальное число накапливаемых зарядов при насыщении ячейки ПЗС; экспозиция насыщения и др.

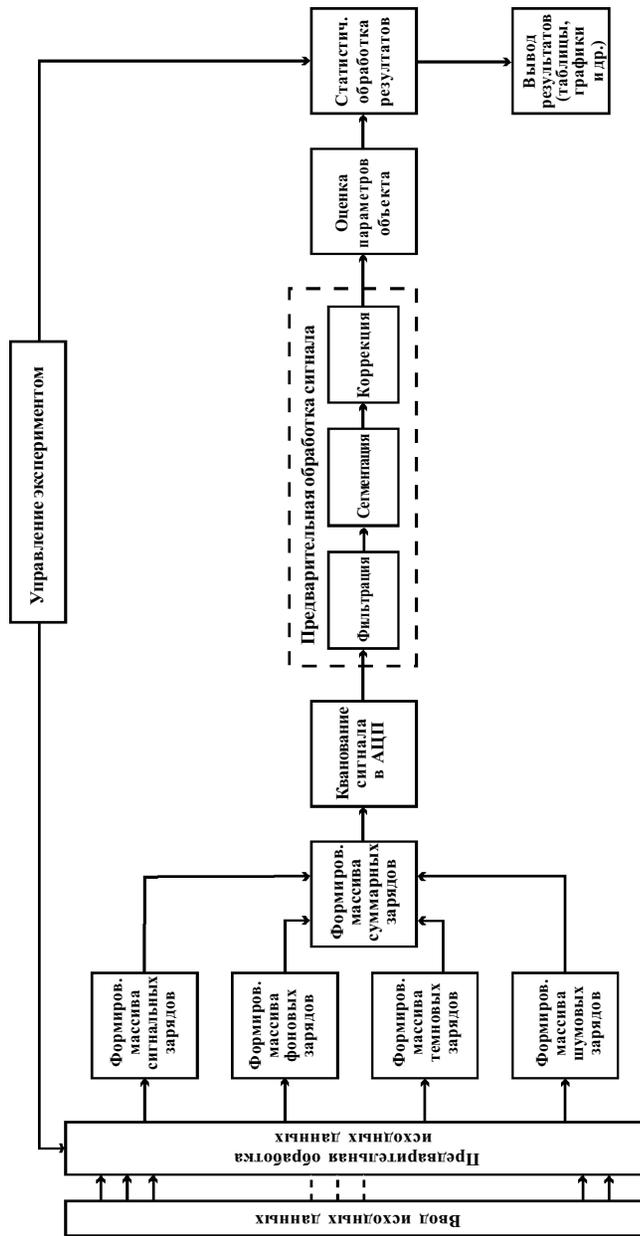


Рис. 1. Один из вариантов структурной схемы модели.

Параметры алгоритма первичной обработки сигнала:

количество снимаемых отсчетов; относительный порог обнаружения; размер скользящей апертуры цифрового фильтра; число разрядов АЦП, предопределяющие шумы квантования; коэффициент подавления аддитивной составляющей «геометрического» шума при первичной коррекции сигнала; коэффициент использования ёмкости накопительных ячеек ПЗС и др.

Условия наблюдения:

координаты «наблюдаемых» объектов; параметры, характеризующие динамику и направление перемещения изображения объектов в поле зрения ОЭС; интервал времени между соседними отсчётами; параметры, характеризующие неравномерность и среднюю эффективную яркость фона в поле зрения и др.

Предварительная обработка исходных данных заключается в преобразовании численных значений входных параметров с целью согласования размерностей; выполняется расчет коэффициентов необходимых для преобразования масштаба изображения, а также вычисление значений переменных и констант, которые будут использованы в программе при моделировании.

Формирование массива сигнальных зарядов осуществляется с учётом неравномерности чувствительных элементов по кристаллу, которая представляет собой мультипликативную составляющую «геометрического» шума. «Карта» случайного распределения темновых токов и чувствительности по кристаллу ФПЗС с заданными интервалами корреляции «геометрического» шума формируется с помощью специальной вспомогательной подпрограммы.

Формирование массива фоновых зарядов осуществляется в предположении, что в пределах моделируемого фрагмента поля зрения ОЭС, отсутствуют мелкоструктурные детали фона. В модели неравномерность фона в пределах поля зрения может задаваться в виде монотонной функции перепада яркости с различной шириной переходной области, а также в виде случайного поля яркости с заданной корреляционной функцией. При моделировании фоновой составляющей может учитываться заданная неравномерность чувствительности отдельных элементов.

При **формировании массива темновых зарядов** учитывается заданная неравномерность темновых токов накопления зарядов в пределах кристалла фотоприёмного устройства. Неравномерность темновых токов приводит к возникновению аддитивной составляющей «геометрического» шума, а также к разбросу среднеквадратических значений флуктуаций темновых зарядов в различных ячейках.

При **моделировании массива шумовых составляющих** в ячейках фотоприёмного устройства (например, ФПЗС) учитывается совокупность сигнальной, фоновой и темновой составляющих зарядов в каждой ячейке.

При этом шумовая составляющая в каждой ячейке определяется путем разыгрывания флуктуации заряда с учетом влияния всех перечисленных составляющих.

В результате выполнения описанных выше процедур *формируется массив суммарных зарядов* представляющий собой реализацию двумерного нестационарного случайного процесса.

Квантование сигнала в блоке АЦП осуществляется с учетом заданной разрядности и необходимости согласования динамического диапазона входных уровней АЦП с реальным динамическим диапазоном изменения сигнала на выходе фотоприёмного устройства. При этом моделируется процедура «привязки» нижнего уровня динамического диапазона АЦП к уровню сигнала, соответствующего минимальному темновому заряду.

Предварительная обработка сигнала обычно заключается в сглаживании помех путём фильтрации исходного массива. Кроме того на этом этапе осуществляется процедура *сегментации* изображения, с целью выделения подмассивов чисел, соответствующих областям полезного сигнала и удалению элементов исходного массива, содержащих только фоновую составляющую. При необходимости может выполняться *коррекция* выделенных подмассивов, с целью уменьшения искажений полезного сигнала путём компенсации сигнала от фона, который в общем случае может быть неоднородным.

Процедура *оценки параметров* зависит от характера решаемых задач и может заключаться, например, в измерении размеров или текущих координат объектов при моделировании, а также в определении ошибок путём сопоставления данных отдельных оценок с параметрами, задаваемыми моделью.

Статистическая обработка результатов моделирования на основе анализа множества реализаций может состоять в определении вероятностных характеристик обнаружения, в вычислении среднеквадратических погрешностей измерения координат объектов и др.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ДАТЧИКА КООРДИНАТ ТОЧЕЧНОГО ОБЪЕКТА

(работа рассчитана на 4 часа)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение структуры оптико-электронного датчика координат малоразмерных (точечных) объектов на основе многоэлементного фотоприёмного устройства на приборе с зарядовой связью (ФПЗС); исследование и оптимизация параметров интерполяционного алгоритма определения координат энергетического центра изображения точечного объекта с учетом реальных параметров отдельных звеньев датчика.

Краткие теоретические сведения

Появление твердотельных матричных фотопреобразователей на ПЗС открыло широкие перспективы создания высокоточных измерительных приборов и систем телевизионного типа, предназначенных для определения пространственной ориентации контролируемых объектов. По сравнению с другими видами телевизионных преобразователей (видиконами, диссекторами и др.) для ПЗС характерна жёсткая геометрическая привязка фоточувствительных элементов растра к приборной системе координат, что существенно облегчает задачу построения измерительной аппаратуры с высокой стабильностью метрологических характеристик. Несмотря на дискретный характер ПЗС-структуры, в плоскости анализа изображения принципиально возможна регистрация линейных смещений изображения с погрешностью до десятых и сотых долей пространственного периода элементов.

Очевидно, что угловые координаты бесконечно удаленного точечного источника однозначно связаны с линейными координатами его изображения на фоточувствительной площадке ПЗС:

$$X = f \cdot \operatorname{tg} \psi \approx f \cdot \psi; \quad Y = f \cdot \operatorname{tg} \chi \approx f \cdot \chi, \quad (1)$$

где ψ и χ – угловые координаты; X и Y – линейные координаты центра изображения в плоскости анализа; f – фокусное расстояние объектива. Позиционную чувствительность можно повысить за счет интерполяции сигналов, снимаемых со смежных элементов ПЗС.

Одним из наиболее простых интерполяционных алгоритмов является алгоритм определения энергетического центра («центра тяжести») распределения освещенности $E(x,y)$ в плоскости анализа изображения.

На рис. 2 показано примерное распределение освещенности вдоль оси X , создаваемое оптической системой от точечного источника, и соответствующей ему зарядовый рельеф $Q(x_i)$ вдоль поверхности ПЗС-структуры как функция пространственной координаты положения элементов. Как известно, в случае использования линзовой оптической системы при малых (до единиц градусов) углах падения лучей на плоскость входного зрачка весовая функция объектива может аппроксимироваться гауссидой вращения с условным радиусом кружка рассеяния R на уровне $E_m/\sqrt{e} \approx 0,606 E_{max}$.

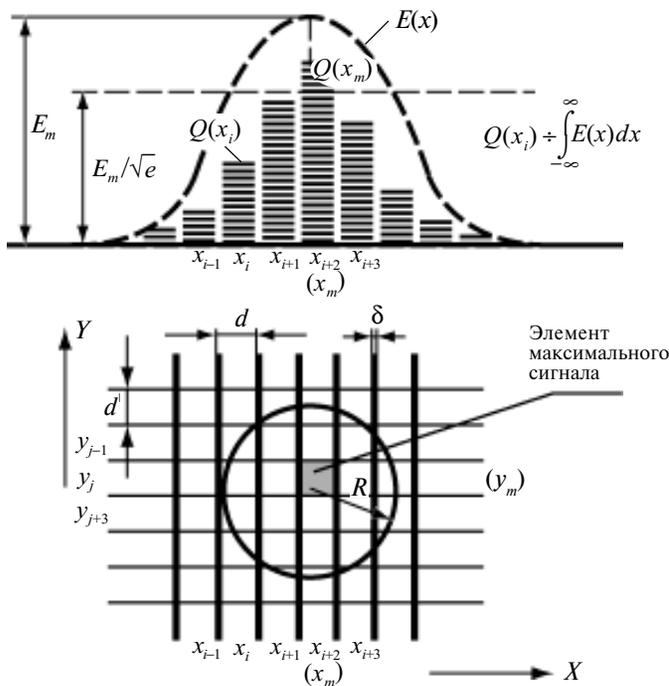


Рис. 2. Распределение освещенности на фоточувствительной площадке ФПЗС $E(x)$ и формирование зарядового рельефа $Q(x_i)$; R – радиус пятна рассеяния на уровне $0,606E_{max}$; d и d' – шаг элементов ФПЗС по горизонтали и вертикали соответственно;

Под энергетическим центром изображения объекта следует понимать точку в плоскости анализа изображения, координаты которой определяются выражениями

$$X_{цз} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x,y)x dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x,y) dx dy} = \frac{1}{\Phi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x,y)x dx dy, \quad (2)$$

$$Y_{цз} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x,y)y dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x,y) dx dy} = \frac{1}{\Phi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x,y)y dx dy,$$

где Φ – поток оптического излучения, падающего на фоточувствительную поверхность ПЗС.

Учитывая дискретный характер сигналов, снимаемых с выхода ФПЗС, алгоритм оценки координат энергетического центра принимает вид

$$X_{цз}^* = \frac{\sum_{i=1}^M [Q_s(x_i) \cdot x_i]}{\sum_{i=1}^M Q_s(x_i)}; \quad Y_{цз}^* = \frac{\sum_{j=1}^N [Q_s(y_j) \cdot y_j]}{\sum_{j=1}^N Q_s(y_j)}. \quad (3)$$

Здесь $Q_s(x_i)$ – суммарный заряд, полученный в результате сложения элементарных зарядов со всех элементов i -го столбца матрицы ПЗС; $Q_s(y_j)$ – суммарный сигнал от всех элементов j -й строки; N и M – соответствующие числа столбцов и строк матрицы; x_i и y_j – дискретные значения условных координат элементов вдоль направления строк и столбцов, выраженные целым числом пространственных периодов ПЗС-структуры. Очевидно, что абсолютные координата x и y связаны с условными координатами x_i и y_j через соотношения $x = x_i \cdot d$; $y = y_j \cdot d'$; $X_{цз} = X_{цз}^* \cdot d$; $Y_{цз} = Y_{цз}^* \cdot d'$.

Поскольку реальные размеры изображения на фоточувствительной площадке ПЗС ограничены сравнительно небольшой областью в окрестностях наиболее освещенного элемента, то на практике можно существенно ограничить число слагаемых под знаком суммы в формулах (3).

При этом окончательный алгоритм, используемый в реальной системе, имеет вид

$$\hat{X}_{цз}^* = \frac{\sum_{i=x_m-m}^{x_m+m} [U_s(x_i, y_m) \cdot x_i]}{\sum_{i=x_m-m}^{x_m+m} U_s(x_i, y_m)}; \quad \hat{Y}_{цз}^* = \frac{\sum_{j=y_m-n}^{y_m+n} [U_s(x_m, y_j) \cdot y_j]}{\sum_{j=y_m-n}^{y_m+n} U_s(x_m, y_j)} \quad (4)$$

Здесь x_m и y_m – координаты элемента, с которого получен наибольший сигнал; $m = INT(4R/d)$; $n = INT(4R/d')$; $INT(Z)$ – целая часть числа Z ; $U_s(x_m, y_j)$ – выраженный в числовой форме суммарный электрический сигнал с i -х элементов, расположенных на $2n+1$ строках в окрестностях элемента максимального сигнала; $U_s(x_m, y_j)$ – выраженный в числовой форме суммарный электрический сигнал с j -х элементов, расположенных на $2m+1$ столбцах в окрестностях элемента максимального сигнала.

Величина сигнала, снимаемого с каждого элемента, связана с распределением освещенности на данном элементе следующим соотношением:

$$U(x_i, y_j) = \int_{x_i}^{x_i+d} \int_{y_j}^{y_j+d} ST_n E(x, y) x dx dy = \int_{x_i}^{x_i+d} \int_{y_j}^{y_j+d} K E(x, y) x dx dy, \quad (5)$$

где S – интегральная чувствительность, В/лк; T_n – интервал времени накопления при постоянной освещенности, с; $K = ST_n$ – коэффициент преобразования свет/сигнал, В/лк.

В данном случае численные значения S , T_n , K не имеют значения, так как указанные коэффициенты входят как в числитель, так и в знаменатель каждого выражения (4).

Таким образом, на практике алгоритм определения координат энергетического центра изображения точечного объекта распадается на два этапа:

- определение координат элемента наибольшего сигнала X_m^* , Y_m^* .
- вычисление оценок $\hat{X}_{цз}^*$ и $\hat{Y}_{цз}^*$ в соответствии с выражениями (4).

При этом значения m и n могут быть определены заранее для заданных параметров оптической системы и ПЗС-преобразователя. Для вычисления каждой из координат за заданное время измерения ЦВУ должно выполнить лишь небольшое количество операций сложения и умножения переменных, а также одну операцию деления, что является несомненным достоинством исследуемого алгоритма.

Однако следует понимать, что данный алгоритм не единственный. При малых отношениях сигнал/шум наиболее предпочтительными являются другие алгоритмы, заключающиеся в определении максимума освещенности в плоскости анализа изображения [2]. Сущность таких алгоритмов

после определения координат наибольшего сигнала сводится к следующему :

1) путем интерполяции осуществляется восстановление непрерывной функции $U(x, y)$, адекватной распределению освещенности в плоскости анализа $E(x, y)$;

2) производится вычисление частных производных $dU(x, y)/dx$ и $dU(x, y)/dy$ с последующим вычислением оценок в результате решения уравнений

$$dU(x, y)/dx = 0; \quad dU(x, y)/dy = 0. \quad (6)$$

Отметим, что наиболее точные оценки \hat{X} и \hat{Y} получаются при использовании на первом этапе метода наименьших квадратов. Однако в этом случае за заданное время измерения приходится выполнять как минимум несколько десятков операций умножения и деления [2], что необходимо учитывать при выборе вычислительных средств, входящих в состав оптико-электронной системы.

Структурная схема оптико-электронного датчика приведена на рис 3.

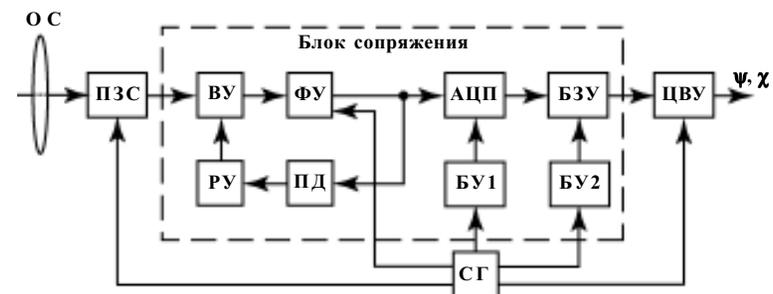


Рис. 3. Структурная схема оптико-электронного датчика

С помощью оптической системы (ОС) изображение объекта строится на фоточувствительной поверхности телевизионного преобразователя на ПЗС. Видеоусилитель (ВУ) служит для усиления видеосигнала до заданного уровня, определяемого рабочим диапазоном аналого-цифрового преобразователя (АЦП). При этом управление ВУ обеспечивается блоком регулировки усиления (РУ). В свою очередь РУ управляется от пикового детектора (ПД), на вход которого поступает сигнал с выхода фиксатора уровня (ФУ). ФУ необходим для «привязки» уровня видеосигнала, соответствующего фоновому заряду, к нижнему уровню рабочего диапазона АЦП. Максимальное пиковое значение сигнала на выходе ФУ должно соответствовать верхнему уровню рабочего диапазона АЦП. При выполнении этого условия обеспечивается полное

использование рабочего диапазона АЦП (более подробно назначение функциональных узлов ВУ, РУ, ПД и ФУ в структуре оптико-электронного датчика рассмотрено, например, в [1]).

С выхода АЦП сигнал в виде параллельного двоичного кода поступает на вход буферного запоминающего устройства (БЗУ), емкость которого определяется размерностью матрицы ПЗС. Благодаря наличию БЗУ, в ЦВУ возможен ввод сигналов в произвольном порядке, определяемом рабочим алгоритмом функционирования ОЭД.

Блоки управления БУ-1 и БУ-2 управляют работой АЦП и БЗУ соответственно. Синхрогенератор (СГ) обеспечивает синхронную работу всех звеньев.

Особенности программы, реализующей математическую модель

В настоящей лабораторной работе непосредственным объектом исследования является математическая модель оптико-электронного датчика на базе линейного или матричного ФПЗС, который может входить в состав различных приборов и систем для бесконтактного измерения угловых и линейных перемещений. Модель представляет собой программу, допускающую многократный ввод варьируемых исходных параметров: координаты изображения; радиуса кружка рассеяния объектива; разрядности аналого-цифрового преобразователя; отношения сигнал/шум. В модели учтены особенности работы всех основных звеньев реальной измерительной системы, наиболее существенно влияющих на точность измерения: параметры фотоприёмного устройства, узла предварительной обработки сигнала (ВУ, РУ, ФУ, АЦП), а также различные источники погрешностей, связанные с влиянием шумов, с дискретностью структуры ФПЗС, с процессом квантования сигнала.

Вместе с тем в модели допущены некоторые упрощения. В частности не учитывается возможность изменения весовой функции объектива по полю зрения, что характерно для широкоугольных систем; не учитываются отдельные виды искажений сигнала, проявляющиеся при больших скоростях опроса элементов вследствие неэффективности переноса зарядов в ПЗС-структуре и др. В данной модели рассматривается одномерный вариант исследуемого алгоритма, т. е. производится оценка лишь одной координаты – координаты X при условии, что обработка сигнала ведется вдоль строки или столбца матрицы, включающей элемент максимального сигнала (см.рис.2).

Указанные упрощения вполне оправданы, поскольку основная цель работы – исследование возможностей интерполяционного алгоритма обработки сигнала и влияния параметров отдельных звеньев ОЭД, а не конкретной измерительной системы в целом.

Порядок выполнения работы

Перед тем как приступить к практической части работы, необходимо до конца ознакомиться с настоящими методическими указаниями.

Практическая часть работы состоит из трех этапов.

Первый – ознакомление с исследуемой моделью путем задания различных значений исходных параметров и наблюдения полученных результатов. Рекомендуется записывать результаты (или зарисовывать наиболее характерные изображения), которые могут быть полезны при подготовке ответов на вопросы в процессе защиты Вашего отчета. При необходимости обратитесь за советом и пояснениями к преподавателю или его ассистенту. (Время, отводимое на первый этап – $7 \div 10$ мин).

Второй этап выполняется под руководством преподавателя. При разных условиях эксперимента заполняется форма 1, в которую заносятся ошибки измерения при трехкратном повторении каждого измерения и их среднеквадратические значения. Исходные координаты центра изображения задаются в трёх-четырёх точках: в центре любого из 256 элементов (например, $X = 50.5$); на границе между элементами (например, $X = 50$) и одной-двух промежуточных точках (например, $X = 50.25$ или $X = 50.75$). (Радиус кружка рассеяния R ; отношение сигнал/шум Q и разрядность АЦП N задаются преподавателем).

Форма 1

Условия эксперимента: $R = \dots; N = \dots; Q = \dots$				
Координата X	Ошибки измерения			Среднеквадратическое значение σ_x
	1 изм.	2 изм.	3 изм.	
50				
50.25				
50.5				
50.75				

Третий этап заключается в получении статических характеристик оптико-электронного датчика при различных значениях параметров его звеньев. (Для ускоренного получения статических характеристик следует пользоваться дополнительной программой, которая вводится преподавателем или его ассистентом по Вашей просьбе). В результате выполнения третьего этапа должны быть получены две зависимости среднеквадратических погрешностей измерения от отношения сигнал/шум для различных значений R или N (выбор варьируемого параметра следует согласовать с преподавателем). Кроме того, по согласованию с преподавателем следует

получить еще 1–2 зависимости среднеквадратических погрешностей от разрядности N или от радиуса кружка рассеяния R при двух значениях отношения сигнал/шум Q . Промежуточные результаты измерений следует заносить в таблицы, формы которых представлены ниже.

Форма 2

Отношение сигнал/шум Q	Среднеквадратические погрешности при $N = \dots$ ($R = \dots$)	
	$R = \dots$ ($N = \dots$)	$R = \dots$ ($N = \dots$)
5		
10		
20		
50		
100		
300		
1000		

Форма 3

Число разрядов АЦП N	Среднеквадратические погрешности при $R = \dots$	
	$Q = \dots$	$Q = \dots$
1		
2		
3		
...		
16		

Форма 4

Радиус кружка рассеяния R	Среднеквадратические погрешности при $R = \dots$	
	$Q = \dots$	$Q = \dots$
0.3		
0.35		
0.4		
0.5		
0.7		
1		
1.5		
2.5		

Если после выполнения п.3 остается время, рекомендуется проделать ряд дополнительных экспериментов с исследуемой моделью по усмотрению студентов для получения более полной информации об исследуемом объекте. Самостоятельно продумайте порядок задания исходных данных для получения результатов, которые будут полезны при оформлении отчетов и подготовке ответов на поставленные вопросы.

Содержание отчета

1. Краткий теоретический раздел. По усмотрению студента в него можно включать сведения об исследуемом алгоритме, его модели либо сведения, поясняющие принцип работы матричного ПЗС-преобразователя в составе оптико-электронного датчика. Рекомендуется также привести некоторые результаты, полученные на первом этапе исследований. Таким образом, объём и содержание первого раздела отчёта определяется самим студентом. Однако следует иметь в виду, что при защите лабораторной работы и при ответах на вопросы разрешается пользоваться только собственным отчетом, а не текстом настоящего руководства или какой-либо другой литературой.

2. Результаты моделирования, полученные на втором и третьем этапах в виде таблиц по формам 1,2,3 и 4, а также соответствующие им графики зависимостей среднеквадратических погрешностей измерения координаты X от различных параметров: $\sigma_x = f(Q)$; $\sigma_x = f(N)$; $\sigma_x = f(R)$ и т.д. Однотипные зависимости следует приводить на одном графике для удобства их сопоставления. Отношения сигнал/шум на графиках рекомендуется откладывать в логарифмическом масштабе. На всех графиках должны быть указаны параметры, определяющие условия эксперимента ($X, R, N, Q \dots$).

3. Результаты, полученные при выполнении исследований по собственной инициативе (см. порядок выполнения работы п.4), в произвольной, но достаточно наглядной форме с кратким пояснением поставленной задачи.

Контрольные вопросы

1. Объясните характер полученных зависимостей.
2. Как влияет на погрешность измерения координат весовая функция объектива, как это объяснить?
3. Как и почему влияет на погрешность измерения квантование сигнала в блоке АЦП при малых и больших отношениях сигнал/шум? Ваши рекомендации по выбору разрядности АЦП?
4. Поясните структурную схему датчика и назначение всех его звеньев. Какие звенья структурной схемы нашли отражение в математической модели, с какими вводимыми параметрами они связаны?

6. Поясните исследуемый алгоритм определения координат энергетического центра изображения точечного источника. Определите достоинства и недостатки исследуемого алгоритма.

7. Какие другие алгоритмы оценки координат изображения точечного объекта на дискретной структуре многоэлементного фотоприёмника Вам известны? Назовите их достоинства и недостатки.

Рекомендуемые значения при выборе исходных данных

Координата центра изображения –	$X = 1 \dots 256$
Рассеяние –	$R = 0.3 \dots 10$
Разрядность АЦП –	$N = 1 \dots 16$
Отношение сигнал/шум –	$Q = 3 \dots 1000$

Примечание.

1. Невыполнение указанных рекомендаций может привести к получению ошибочных результатов.

2. При выборе X и R рекомендуется соблюдать дополнительные условия: $X - 3 \cdot R > 0$; $X + 3 \cdot R < 256$. Это позволит избежать краевых эффектов на границах поля зрения.

3. При задании дробных значений исходных величин целую и дробную части следует разделять точкой, а не запятой (например $X = 125.25$; $R = 1.3$).

4. Для завершения ввода каждого значения исходных данных нажмите [Enter].

Лабораторная работа № 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА СЕЛЕКЦИИ ТОЧЕЧНОГО ОБЪЕКТА ПРИ НАЛИЧИИ НЕОДНОРОДНОГО ФОНА

(работа рассчитана на 4 часа)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение алгоритмов линейной и нелинейной фильтрации, используемых на этапе предварительной обработки изображений при селекции точечных объектов в оптико-электронных системах обнаружения, слежения и наведения.

Краткие теоретические сведения

Самым первым этапом обработки изображений в любой современной ОЭС является, квантование по уровню отсчетных значений яркости или освещенности его отдельных элементов, а также дискретизация исходных изображений по пространственным координатам. Таким образом двумерная непрерывная функция $E(x, y)$, описывающая распределение освещенности в плоскости анализа изображения, прежде всего заменяется телевизионным анализатором на дискретную функцию $E(x_i, y_j)$. Квантование по уровню происходит в результате преобразования значений освещенности в точках с координатами x_i, y_j в двоичный код в блоке АЦП. Таким образом, еще до ввода данных в ЦВУ выполняется преобразование

$$E(x, y) \Rightarrow E(x_i, y_j) \Rightarrow [E_{ij}]$$

где $[E_{ij}]$ – матрица квантованных по уровню отсчетов освещенности в равноотстоящих точках, координаты которых задаются номерами строк j и столбцов i .

Дальнейший процесс цифровой обработки изображений обычно делится на два этапа:

- предварительная обработка массива $[E_{ij}]$;
- собственно целевой этап – обнаружение, распознавание, измерение параметров объектов, определение их пространственного положения и др.

Это разбиение носит условный характер, так как бывает трудно провести четкую границу между такими этапами. Однако, как правило, на этапе при предварительной обработке изображений решаются следующие задачи:

– **сокращение объема информации**, предназначенной для дальнейшей обработки;

– **фильтрация помех**, затрудняющих последующую обработку;

– **выделение признаков** контролируемых объектов для упрощения дальнейшей процедуры распознавания.

Ниже перечислены некоторые из способов решения этих задач (подробнее см., например [2]):

– замена значения освещенности в некоторой точке изображения функцией освещенности в пределах «окна» из n элементов, центр которого совпадает с этой точкой;

– переход от кодирования сигнала всех элементов к кодированию длин отрезков и групп строк элементов, занятых изображением объекта;

– уменьшение числа уровней квантования видеосигнала (в предельном случае до двух) с учетом информативности отдельных участков или изображения в целом;

– использование интегральных алгоритмов выделения обобщенных параметров и характеристик изображения;

– использование дифференциальных алгоритмов выделения контуров в изображении объекта;

– использование режима слежения за выделенным объектом, т.е. сокращение массива $[E_{ij}]$ за счет исключения отсчетов сигнала от фона;

– использование алгоритмов сглаживания для подавления некоррелированных шумов;

– применение методов трансформирования двумерных массивов исходных изображений в двумерные массивы коэффициентов на основе ортогональных преобразований (для последующей фильтрации, выделения признаков наблюдаемых объектов и т.д.).

Рассмотрим здесь лишь некоторые из указанных способов предварительной обработки изображений, а именно алгоритмы предварительной фильтрации, которые могут использоваться при решении задачи обнаружения и селекции точечных объектов при наличии неоднородного фона.

Простой пороговый метод нелинейной фильтрации импульсных помех

Сигнал от каждого из элементов матрицы $[E_{ij}]$ анализируемого изображения сравнивается со средним значением \bar{E}_{ij} сигнала для небольшой группы элементов $m \times n$ в окрестностях данного элемента:

$$\bar{E}_{ij} = \frac{\sum_{k=(m-1)/2}^{(m-1)/2} \sum_{l=(n-1)/2}^{(n-1)/2} E_{(i+k),(j+l)}}{m \cdot n} . \quad (7)$$

Здесь m и n – нечётные числа. Если значение сигнала E_{ij} превышает \bar{E}_{ij} на заданную пороговую величину ξ , то значение сигнала заменяется на среднее значение сигнала группы. Если – нет, то сохраняется прежнее значение. Таким образом, формируется новый массив

$$E_{ij}^* = \begin{cases} \bar{E}_{ij}, & \text{при: } E_{ij} \geq \bar{E}_{ij} + \xi \\ E_{ij}, & \text{при: } E_{ij} < \bar{E}_{ij} + \xi \end{cases} , \quad (8)$$

в котором устранены одиночные «выбросы», т.е. помехи, некоррелированные с соседними элементами.

Анизотропная фильтрация относится к категории линейных процедур цифровой обработки массива $[E_{ij}]$. Это более совершенный, теоретически более обоснованный, но вместе с тем и более сложный алгоритм пространственной фильтрации. Он заключается в выполнении операции свёртки исходного массива изображения формата $M \times N$ со скользящим сглаживающим массивом $[W]$ меньшего формата $m \times n$ (ядро свёртки). Иначе говоря, реализуется процедура программного сканирования исходного изображения скользящей апертурой меньшего формата и вычисление свёртки на каждом шаге сканирования. В результате формируется новый массив $[E_{ij}^*]$, имеющий (также как и исходный) формат $M \times N$, но представляющий собой «сглаженное» изображение, подвергнутое низкочастотной пространственной фильтрации

$$E_{ij}^* = \sum_{k=-(m-1)/2}^{(m-1)/2} \sum_{l=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} E_{(i+k),(j+l)} \cdot W_{k,l} . \quad (9)$$

Каким образом следует выбирать размерность сглаживающего массива $m \times n$? Размерность массива, очевидно, должна быть согласована с интервалом пространственной корреляции исходного изображения.

Естественно, что для изображений с плавным изменением освещённости от элемента к элементу, т.е. изображений, не содержащих мелкие детали в своей структуре, целесообразно увеличивать размер сглаживающей матрицы. При этом повышается эффективность фильтрации с точки зрения подавления импульсных помех. Однако, следует иметь ввиду, что время обработки исходного изображения при программной реализации алгоритма растёт пропорционально m^2 .

Ниже даны примеры различных видов сглаживающих массивов, рекомендуемых с учётом свойств оптических систем.

$$[W_1] = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; [W_2] = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; [W_3] = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Заметим, что нормирующие множители $1/9, 1/10, 1/16$ (значения которых обратно пропорциональны соответствующим суммам весовых коэффициентов сглаживающих матриц) позволяют сохранить масштаб чисел, представляемых двоичным кодом после процедуры фильтрации.

Более рациональным, с точки зрения использования оперативной памяти ЦВУ, является **рекуррентный алгоритм анизотропной фильтрации**. Математическая форма записи рекуррентного алгоритма практически не отличается от формы записи рассмотренного выше алгоритма анизотропной фильтрации

$$E_{ij}^* = \sum_{k=-(m-1)/2}^{(m-1)/2} \sum_{l=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} E_{(i+k),(j+l)}^* \cdot W_{k,l} \quad (10)$$

Однако, здесь при вычислении дискретной свертки могут использоваться как элементы массива $[E_{ij}]$, так и элементы, взятые из уже сглаженного массива E_{ij}^* . Благодаря этому, одни и те же ячейки оперативной памяти могут использоваться вначале для хранения исходных значений E_{ij} , а затем новых значений E_{ij}^* , полученных после обработки данных. Если сканирование исходного массива $[E_{ij}]$ осуществляется, например, слева-направо и сверху-вниз, то в пределах программного окна форматом $m \times n$ используются элементы из нового массива $[E_{ij}^*]$ для всех $k = -(m-1)/2; \dots; -1, 0$ и $l = -(n-1)/2; \dots; -1$, а для всех остальных – из исходного массива $[E_{ij}]$.

Можно добавить, что благодаря вторичному использованию при вычислении свертки элементов, уже прошедших процедуру фильтрации, рекуррентный алгоритм анизотропной фильтрации может давать лучшие результаты сглаживания, чем алгоритм, рассмотренный выше (ф. 9).

Медианная фильтрация осуществляется посредством замены значения каждого элемента массива $[E_{ij}]$, находящегося в центре окна скользящей апертуры, медианой исходных значений, находящихся внутри апертуры. В результате такой обработки на выходе медианного фильтра получается как бы сглаженное изображение, в котором отсутствуют малоразмерные, например, точечные детали, занимающие малое (по сравнению с размерами апертуры) число элементов.

Приведём несколько определений.

Медианой (med) последовательности X_1, X_2, \dots, X_n при нечётном n является средний член ряда, получающегося при упорядочении последовательности по возрастанию (или по убыванию). При чётном n медиана определяется как среднее арифметическое двух средних членов упорядоченного ряда.

Одномерный медианный фильтр с апертурой n для одномерной последовательности $\{X_i; i \in Z\}$ при нечётном n определяется как

$$Y_i = \text{med}(X_{i-v}, \dots, X_i, \dots, X_{i+v}), i \in Z, \quad (11)$$

где: $v = (n - 1)/2; Z$ – множество всех натуральных чисел.

Двумерный медианный фильтр с апертурой L для двумерного массива $\{E_{ij}; (i, j) \in Z^2\}$ определяется как

$$E_{ij}^* = \text{med}[E_{i+r,j+s}; (r, s) \in L]; i, j \in Z^2. \quad (12)$$

На практике могут использоваться различные формы сглаживающих апертур L : линейные сегменты, кресты, квадраты и др. (рис. 4).

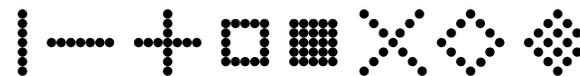


Рис. 4. Примеры апертур медианных фильтров.

Оптимальный выбор формы сглаживающей апертуры зависит от специфики решаемой задачи и формы объектов, находящихся в поле зрения АТСН.

Примечание. Вблизи граничных точек конечных изображений нужно находить медиану только для тех точек, которые вписываются в пределы апертуры. Таким образом, при обработке точек изображения вблизи границ кадра медианы могут определяться для меньшего, чем в L (четного или нечётного) числа точек.

Следует отметить, что алгоритм медианной фильтрации обладает явно выраженной избирательностью по отношению к элементам массива, представляющим собой немонотонную составляющую последовательности чисел в пределах апертуры. В то же время на монотонную составляющую последовательности медианный фильтр не действует, оставляя её без изменений. Благодаря этой особенности, медианные фильтры при оптимально выбранной апертуре могут, например, сохранять без искажений резкие границы объектов, эффективно подавляя некоррелированные или слабо коррелированные помехи и малоразмерные детали. В то же время при аналогичных условиях алгоритм линейной анизотропной фильтрации, осуществляя сглаживание помех, неизбежно «смазывает» резкие границы и контуры объектов.

Более подробно со свойствами медианных фильтров можно познакомиться, например, в работах [2, 3].

Особенности программы, реализующей математическую модель

Непосредственным объектом исследования является математическая модель ОЭС на многоэлементном ПЗС или ПЗИ фотоприемнике. Подобная ОЭС описана в предыдущем разделе. Однако в данном случае моделируются не алгоритмы измерения координат точечного объекта, а алгоритмы предварительной селекции сигнала от точечного объекта при наличии неоднородного фона.

Рабочая программа, реализующая математическую модель, предусматривает введение с клавиатуры в диалоговом режиме следующих исходных данных (параметров):

координата $X = (-40 \dots 40)$;
рассеяние $R = (0.5 \dots 5)$;
отношение сигнал/шум $Q = (5 \dots 1000)$;
разрядность АЦП $N = (1 \dots 16)$;
параметр фронта нарастания фона $F = (1 \dots 50)$;
координата скачка яркости фона $XG = (-40 \dots 40)$;
отношение перепад/сигнал $W = (0 \dots 100)$;
тип фильтра: медианный (1), скользящее среднее (2);
апертура фильтра L (только целые нечетные положительные числа).

Перечисленные параметры имеют следующий смысл:

X – координата центра изображения точечного объекта, выраженная в числе пространственных периодов от середины строки элементов ПЗС (ПЗИ);

Q – отношение пикового значения полезного сигнала к среднеквадратическому значению шума в ячейках ПЗС (ПЗИ);

N – разрядность АЦП, определяющая число уровней квантования сигналов в ОЭС;

F – коэффициент, характеризующий крутизну фронта нарастания фона. Численное значение равно отношению верхней граничной частоты пространственного спектра полезного сигнала к верхней граничной частоте пространственного спектра фона;

XG – характеризует положение точки наибольшего градиента изменения яркости фона;

W – отношение абсолютного значения разности максимального и минимального уровней фона к абсолютной величине пикового значения полезного сигнала;

L – число элементов ПЗС (ПЗИ) - структуры, попадающих в скользящее окно апертуры фильтра на каждом шаге обработки.

Порядок выполнения работы

Перед началом практической части работы необходимо внимательно ознакомиться с описанием. Рекомендуем также изучить перечень вопросов, приведенных в его конце, что позволит более целенаправленно выполнять вторую часть практической работы.

Первая часть практической работы заключается в определении оптимального типа и параметров фильтра при решении задачи селекции полезного сигнала от точечного объекта на неоднородном фоне. Для начала преподаватель предлагает ввести ряд конкретных значений исходных параметров X, R, Q, N, F, XG и W , при которых могут быть получены наиболее характерные результаты.

Студент вводит с клавиатуры указанные параметры, а также варьирует тип фильтра (1) или (2) и значение апертуры L в соответствии с таблицей (см. формулу 5).

После ввода последнего параметра на экране дисплея воспроизводится графическое изображение в виде четырех осциллограмм (рис. 5):

- пространственное распределение сигналов $Q_1(X_i)$ вдоль строки элементов в исходной реализации (исходный массив);
- пространственное распределение сигнала после фильтрации $Q_2(X_i)$ (сглаженный массив);
- распределение $Q_3(X_i) = Q_1(X_i) - Q_2(X_i)$ (разностный массив);
- выборка из исходного массива $Q_1(X_i)$ небольшой группы элементов, координаты которых соответствуют координатам наибольшего сигнала в разностном массиве $Q_3(X_i)$.

Результат селекции считается положительным, если на четвертом графике выделен в точности тот участок исходного массива, где находится полезный сигнал. Этот факт фиксируется путем записи знака «+» в соответствующем столбце таблицы (см. формулу 5). В противном случае заносится знак «-». Однако для вынесения окончательного решения, необходимо оценить устойчивость результата селекции путем статистического анализа серии полученных результатов при одних и тех же исходных данных.

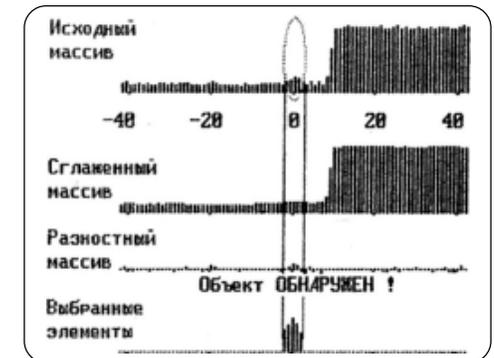


Рис. 5. Пример изображения на экране дисплея.

Форма 5

Номер реализации	Параметры сглаживающего фильтра											
	Медианный фильтр (1)						Анизотропный фильтр (2)					
	3	5	7	9	11	13	3	5	7	9	11	13
1	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
2	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-
4	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
...
Окончательный результат	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-

Это можно сделать следующим образом.

1. После выхода в главное меню следует нажать клавишу [F3], чтобы повторить эксперимент при тех же исходных данных. При этом программой будет сформирована новая исходная реализация $Q_1(X_i)$ и получен новый результат обработки данных. Получив, таким образом, не менее 10-ти результатов, следует их занести в тот же столбец таблицы.

2. Окончательный результат фиксируется в последней строке таблицы. При этом знак «+» заносится только при отсутствии отрицательных результатов в данном столбце. При наличии хотя бы одного отрицательного результата заносится знак «-».

Примечание.

Разумеется, такой упрощённый вариант статистического анализа не позволяет определить численное значение вероятности правильного решения. Однако он даёт возможность сделать вывод об относительной устойчивости процедуры селекции при данном сочетании параметров.

Для заполнения остальных частей таблицы следует после выхода в главное меню воспользоваться клавишей [F2]. При этом каждый раз будет предложено изменить только параметры или тип фильтра, сохранив неизменными другие параметры, предопределяющие исходную реализацию $Q_1(x)$.

При необходимости изменить другие параметры эксперимента следует использовать клавишу [F1].

В рамках выполнения первой части практической работы заполнение таблицы по форме 5 следует выполнить дважды при различных значениях параметра F , определяющего величину нормы градиента изменения яркости фона. Первый раз значение F следует задавать близким к 1, второй – при значении F не менее 10. Это соответствует двум различным условиям

наблюдения, отличающимся степенью сложности сигнально-фоновой ситуации.

Вторая часть практической работы заключается в проведении дополнительных исследований по усмотрению самого студента, с целью получения достаточной информации для ответов на вопросы, приведенные в конце описания. Эта часть работы является обязательной, хотя допускается произвольная форма представления результатов. Разумеется студент может проконсультироваться у преподавателя о целесообразности выбора того или иного направления исследования и о наиболее рациональном способе получения результатов.

Содержание отчета

Отчет оформляется индивидуально каждым студентом и содержит следующие разделы.

1. Теоретические сведения, которые могут быть полезны при защите отчета и ответах на вопросы. Конкретное содержание первого раздела определяется самим студентом, однако следует иметь в виду, что при защите лабораторной работы разрешается пользоваться только собственным отчеты, а не текстом настоящего пособия или какими либо другими источниками.

2. Результаты исследования (таблицы по форме 5) и выводы-рекомендации по выбору оптимальных параметров и типа фильтра,

3. Результаты самостоятельного исследования по второй части практической работы.

Контрольные вопросы

1. Поясните алгоритм селекции полезного сигнала при обработке исходной реализации содержащей сигнальную, фоновую и шумовую составляющие. Из каких процедур складывается исследуемый алгоритм?

2. Какие виды сглаживающих цифровых фильтров используются в исследуемом алгоритме. Какой из используемых фильтров является линейным? В чем заключаются основные свойства линейных и нелинейных звеньев?

3. Какой из рассматриваемых фильтров обладает более высоким быстродействием при больших значениях апертуры?

4. Как объяснить результаты, полученные Вами в ходе эксперимента?

5. Из каких соображений следует выбирать оптимальный размер апертуры сглаживающего фильтра? Как размер апертуры влияет на пространственную разрешающую способность ОЭС наблюдения?

6. Какой из фильтров в составе исследуемого алгоритма позволяет решать задачу селекции точечного объекта при меньшем относительном контрасте объекта на неоднородном фоне (т. е. при большем значении

параметра W)? Какие причины ограничивают возможность увеличения параметра W при использовании фильтров № 1 и № 2?

7. В каких случаях (при каких видах подстилающего фона) можно использовать одномерный фильтр для обработки двумерного массива, с целью селекции малоразмерных объектов на неоднородном фоне?

8. В каких случаях предпочтительнее использовать двумерный пространственный медианный фильтр? Из каких соображений следует выбирать форму апертуры двумерного медианного фильтра?

II

Описание установки, представляющей собой физическую модель оптико-электронной системы обработки изображений

Установка предназначена для физического моделирования процесса цифровой обработки изображений. Она построена по схеме системы технического зрения (СТЗ) с использованием буферного запоминающего устройства (БЗУ) и позволяет исследовать различные алгоритмы обработки изображений. При этом изображения различных объектов (деталей, слайдов, имитаторов звезд и т.д.) создаются на фоточувствительной площадке телевизионного датчика с помощью сменных оптических модулей, а алгоритмы обработки заложены в программах для цифрового вычислительного устройства (ЦВУ).

В качестве ЦВУ в данной установке выбран персональный компьютер. Для получения оцифрованных кадров используется специальный видеоконтроллер. Установка способна вводить в буферную память емкостью 512 Кб один полный кадр изображения (два соседних поля) форматом 1024×512 элементов в течение 40 мс.

Буферная память доступна для записи и считывания со стороны ЦВУ, что облегчает ее тестирование, а также позволяет использовать ее в режиме считывание-модификация-запись для хранения обработанного в ЦВУ изображения. Схема установки построена таким образом, что запись в буферную память со стороны телевизионного датчика осуществляется независимо от ЦВУ, освобождая последнюю для выполнения каких-либо других вычислительных операций.

Структурная схема видеоконтроллера приведена на рис. 6.

Видеоконтроллер включает в себя следующие функциональные узлы:

- входной согласующий видеоусилитель (ВУ);
- фиксатор уровня черного видеосигнала (ФУ);
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- селектор синхроимпульсов (ССИ);
- генератор тактовых импульсов (ГТИ);
- счетчик элементов;

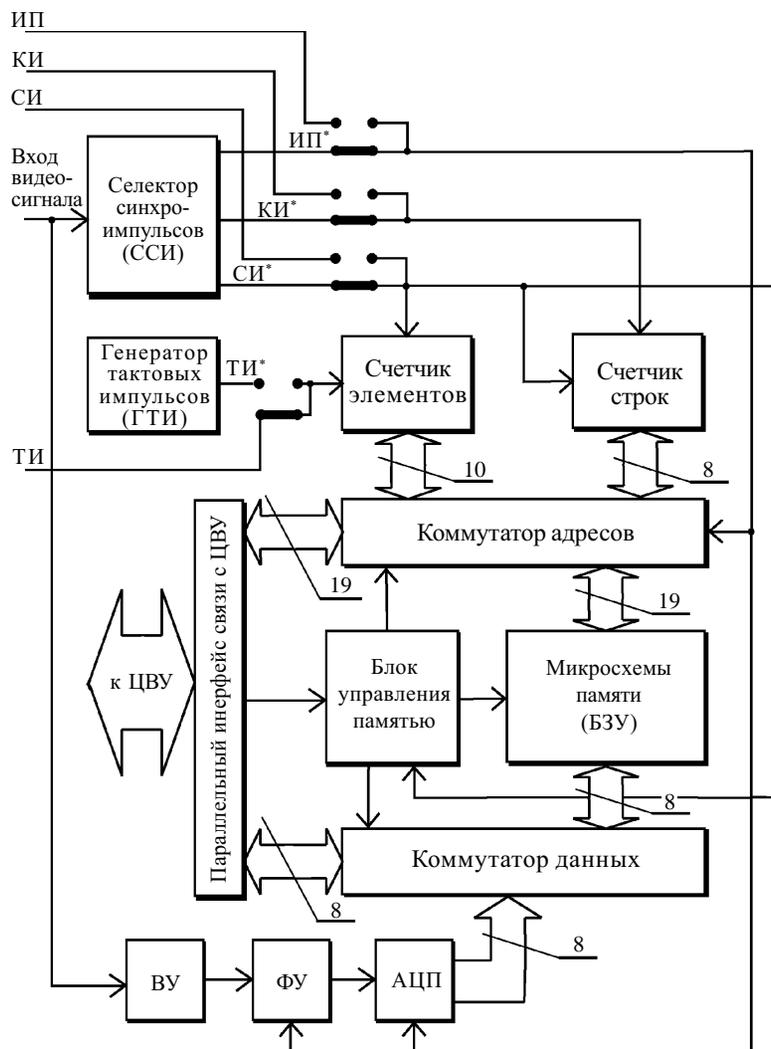


Рис. 6. Структурная схема видеоконтроллера.

- счетчик строк;
- коммутатор адресов;
- коммутатор данных;
- буферное запоминающее устройство (БЗУ);
- устройство управления записью;
- интерфейс связи с ЦВУ.

ВУ и ФУ необходимы для обеспечения условий оптимального согласования телевизионного датчика с нижним и верхним уровнями динамического диапазона АЦП, что гарантирует полное использование шкалы квантования видеосигнала (более подробно назначение этих функциональных узлов описано, например в [1]). ВУ, ФУ и собственно АЦП выполнены на основе специальной микросхемы AD9280 фирмы Analog Devices, предназначенной для работы с видеосигналом (см. приложение 1). В состав микросхемы входит 8-разрядный АЦП с максимальной частотой преобразования 32 МГц.

ССИ служит для выделения строчных и кадровых синхроимпульсов, а также импульсов полей из стандартного видеосигнала. ССИ выполнен на основе специализированной микросхемы LM1881 (см. приложение 2).

ГТИ служит для формирования тактовых импульсов элементов в строках. Генератор выполнен на основе кварцевого резонатора и имеет частоту 13,5 МГц, которая является стандартной для цифрового видеосигнала.

БЗУ, представляет собой внешнее оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), выполненное на основе микросхемы статической памяти (SRAM) 62C4000 объемом 512Кx8 (см. приложение 3). Микросхема имеет байтовую архитектуру, т.е. шина данных у нее параллельная восьмиразрядная. Адресная шина 19-разрядная, что необходимо для адресации 512К слов.

Коммутатор адресов служит для подключения адресной шины ОЗУ либо к выходным портам параллельного интерфейса, либо к счетчикам, в зависимости от режима работы. Коммутатор данных служит для переключения направления передачи информации по внутренней шине данных.

Возможны три направления передачи данных:

от АЦП к БЗУ при записи кадров;

от БЗУ к ЦВУ при обращении последней к информации, записанной в БЗУ;

от ЦВУ к БЗУ при записи информации в БЗУ, поступающей из ЦВУ после обработки.

Устройство управления записью служит для управления процессом записи кадра. Запись ближайшего полного кадра осуществляется по команде ЦВУ. При этом устройство блокирует всякое обращение ЦВУ к БЗУ на время записи кадра.

Счетчики элементов и строк служат для выработки адресов БЗУ при записи кадра. Счетные импульсы и импульсы сброса могут поступать на счетчики двумя способами. Первый способ предполагает использование встроенного селектора синхроимпульсов и генератора тактовых импульсов. Второй способ – подача всех синхроимпульсов непосредственно с камеры, если такая возможность есть. Второй способ более предпочтителен в измерительных системах, поскольку обеспечивает поэлементное тактирование видеосигнала. Счетчик элементов является 10-разрядным, что дает возможность записывать до 1024 элементов в строке. Счетчик строк – 9-разрядный, что позволяет адресоваться к 512 строкам, причем старший разряд отвечает за номер поля (четный или нечетный).

Параллельный интерфейс представляет собой схему интерфейса *ISA*, принятого для использования в промышленных компьютерах. Интерфейс имеет пять выходных байтовых портов – двухбайтовые порты адресов строк и элементов, однобайтовый порт передачи данных от ПВМ к БЗУ и один входной порт, используемый для передачи данных от БЗУ к ПЭВМ. Кроме того, контроллер обеспечивает необходимые входные сигналы устройства управления записью.

Схемотехнически устройство выполнено всего на пяти микросхемах: АЦП с интегрированным ВУ и ФУ, селекторе синхроимпульсов, микросхеме ОЗУ, микросхеме тактового генератора и микросхеме программируемой логики *Altera*. Последняя представляет собой микросхему программируемой логики, на которой может быть реализована практически любое цифровое устройство, содержащее до 1250 базовых цифровых вентилях. В данном случае на ПЛИС *Altera* выполнена большая часть функциональных блоков устройства, описанных выше. (Подробнее о микросхемах программируемой логики *Altera* можно прочесть, например, в специальной литературе [4, 5]).

Работает устройство следующим образом.

При необходимости записи кадра ЦВУ вырабатывает соответствующий сигнал, воспринимаемый устройством управления записью, которое активизируется и начинает ожидание момента появления первого полного кадра, т.е. сочетания кадрового синхроимпульса и сигнала нечетного поля. В результате формируется сигнал записи, который остается активным в течение всего кадра, который требуется записать.

Счетчики строк и элементов имеют постоянное тактирование и сброс, поэтому работают всегда, независимо от режима работы. Тактирование и сброс производятся кадровыми, строчными и тактовыми импульсами, которые приходят либо от микросхем тактового генератора и селектора синхроимпульсов, либо непосредственно с ТВ камеры. В последнем случае обе микросхемы отключены.

В режиме записи с выхода счетчика элементов сигналы подаются через коммутатор адресов на младшие 10 разрядов микросхемы БЗУ, а с выхода счетчика строк через коммутатор адресов – на 8 старших адресов микросхемы БЗУ. На самый старший адрес подается импульс полей, определяющий нечетное и четное поле записываемого кадра.

Одновременно с подачей адресов со счетчиков на адресную шину БЗУ, с АЦП оцифрованные реализации видеосигнала поступают через коммутатор данных на входы данных микросхемы БЗУ.

Запись данных по указанным адресам осуществляется в моменты подачи импульсов записи на соответствующий вход микросхемы БЗУ в течение всего периода записи кадра.

Чтение оцифрованного кадра ЦВУ производится программно. При этом устанавливается адрес ячейки памяти, в которую записан необходимый отсчет видеосигнала. Это делается путем установки в параллельном интерфейсе четырех выходных портов адреса, указывающего номер элемента в строке и номер строки в массиве данных, хранящихся в БЗУ. Затем производится считывание из микросхемы БЗУ соответствующего отсчета путем чтения входного порта параллельного интерфейса.

Лабораторная работа № 3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ
ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ НАБЛЮДАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ
В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

(работа рассчитана на 4 часа)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение алгоритмов выделения признаков изображений объектов на базе физической модели автоматизированной телевизионной системы технического зрения (СТЗ).

Краткие теоретические сведения

Выделение признаков позволяет подойти к последующему этапу – этапу распознавания или идентификации объектов. Таким образом удается создать сжатое описание объекта. После этого в качестве непосредственных элементов сравнения могут использоваться не отдельные элементы, а признаки изображений объекта и эталона. При выборе наиболее информативных признаков необходимо учитывать как свойства самих объектов, так и возможности телевизионных датчиков с точки зрения их разрешающей способности. Необходимо также принимать во внимание степень сложности процедуры выделения признаков за ограниченное время анализа. В СТЗ наиболее предпочтительны следующие геометрические признаки объектов:

- площадь и периметр изображения;
- число отверстий в теле объекта;
- размеры вписанных и описанных геометрических фигур;
- число и взаимное расположение углов;
- моменты инерции изображений объектов.

Важным свойством большинства геометрических признаков является их *инвариантность относительно разворота* изображения объекта. Кроме того, путем соответствующего нормирования геометрических признаков достигается их *инвариантность относительно масштаба*.

Площадь изображения объекта вычисляется путем простого подсчета числа элементов, относящихся к объекту. Очевидно, что на предварительном

этапе должны быть определены те элементы исходного массива, которые относятся к объекту:

$$A = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S_{ij}; \quad S_{i,j} = \begin{cases} 1, & (i,j) \in L \\ 0, & (i,j) \notin L, \end{cases} \quad (13)$$

где L – множество координат массива $[E_{ij}]$, принадлежащих объекту.

Периметр изображения объекта вычисляется после того, как на предварительном этапе выделены границы изображения. Как известно, наиболее просто осуществляется выделение границ бинарных изображений [2]:

$$P = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N K_{ij}; \quad K_{i,j} = \begin{cases} 1, & (i,j) \in a_{\text{гп}} \\ 0, & (i,j) \notin a_{\text{гп}}, \end{cases} \quad (14)$$

где $a_{\text{гп}}$ – множество координат точек массива $[E_{ij}]$, принадлежащих контурам изображения объекта.

В свою очередь из A и P может быть сформирован обобщенный признак $U = A/(P \cdot P) = A/P^2$, который является инвариантным к масштабу изображения.

Определение радиусов вписанных и описанных окружностей.

Процедура складывается из двух этапов (рис. 7).

1. Определение координат геометрического центра изображения объекта

$$X_{\text{цр}} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S_{ij} \cdot x_{ij}}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S_{ij}}; \quad Y_{\text{цр}} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S_{ij} \cdot y_{ij}}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S_{ij}} \quad (15)$$

где $x_{ij}; y_{ij}$ – координаты точек изображения объекта, которые могут быть заменены соответствующими номерами столбцов и строк, содержащих данный элемент $x_{ij} = i; y_{ij} = j$.

2. Вычисление минимального и максимального расстояний от центра до границ изображения объекта, выделенных на предварительном этапе обработки [2].

$$r_{ij} = \sqrt{(x_{ij} - X_{\text{цр}})^2 + (y_{ij} - Y_{\text{цр}})^2} \quad (16)$$

$$R_{\text{max}} = r_{ij(\text{max})}; \quad R_{\text{min}} = r_{ij(\text{min})}, \quad \text{где: } ij \in a_{\text{гп}}$$

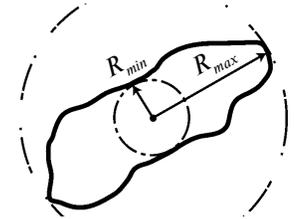


Рис. 7. Определение радиусов описанной и вписанной окружностей.

Очевидно, что нормированный признак $V = R_{max}/R_{min}$ всегда является инвариантным к масштабу при любой форме изображения объекта.

В данной работе при моделировании процедуры распознавания объектов используются вышерассмотренные нормированные признаки U и V . Алгоритмы выделения других видов геометрических признаков описаны, например, в [2].

Порядок выполнения работы

1. Перед тем, как приступить к практической части работы, необходимо до конца ознакомиться с настоящими методическими указаниями, включая последний раздел «Контрольные вопросы».

2. В присутствии преподавателя включите видеоконтрольное устройство, блок преобразования стандартов и осветитель телевизионной установки. Загрузите программное обеспечение.

3. Расположите приблизительно в центре диска поворотного устройства первый из объектов. Совместите нулевую риску на поворотном устройстве с указателем угла поворота.

4. Ознакомьтесь с краткой инструкцией по пользованию программным обеспечением, воспроизведенной на экране дисплея после загрузки программы. Нажмите любую клавишу для продолжения.

5. Программой осуществляется вычисление и построение гистограммы распределения уровней освещенностей в исходном изображении. Наблюдая гистограмму, постарайтесь определить оптимальное значение порога для бинаризации изображения. Введите значение порога. При необходимости, пользуясь меню, Вы можете повторить построение гистограммы и ввод порога до получения удовлетворительного результата.

6. По запросу программы введите число ракурсов наблюдения (число положений) объекта, при которых будут определяться исследуемые признаки, а также число реализаций, получаемых при каждом положении (рекомендуемое число положений от 4 до 8, а число реализаций при каждом положении от 2 до 6). Очевидно, что чем больше число положений объекта и число реализаций будут заданы, тем выше достоверность результатов, однако, естественно, это приводит к увеличению времени эксперимента.

7. Наблюдая на экране дисплея формирование бинарного изображения, убедитесь в том, что порог выбран удачно (т.е. в бинарном изображении сохранены все детали объекта и отсутствуют элементы фона). В случае необходимости можно, пользуясь меню, изменить значение порога до получения оптимального результата. Затем следует перейти ко второму этапу «Начало эксперимента».

8. Второй этап заключается в многократном (по числу заданных реализаций) автоматическом вводе кадра. При этом каждый раз осуществляется бинаризация изображения, вычисление площади A , выделение контурных элементов $a_{тр}$, определение периметра P и отношения $U = A/P^2$, которое является первым из рабочих признаков объекта, независящим от масштаба изображения. Кроме того, для каждой из полученных реализаций бинарного изображения осуществляется вычисление координат геометрического центра изображения объекта, значений радиусов R_{min} и R_{max} в соответствии с выражениями (15) и (16), а также отношения $V = R_{min}/R_{max}$, которое используется в качестве второго рабочего признака, независящего от масштаба изображения объекта.

Следя за запросами программы, поворачивайте объект, обеспечивая все возможные ракурсы наблюдения. Следите за тем, чтобы после очередного поворота изображение объекта не вышло за поле зрения. (При необходимости перед продолжением статистического эксперимента после очередного поворота можно сместить объект, введя его в поле зрения, но сохраняя заданное угловое положение).

9. После задания всех возможных угловых положений первого объекта по запросу программы предъявите второй объект и повторите действия по п. 8.

10. После завершения второго этапа статистического эксперимента на экране дисплея воспроизводятся гистограммы распределений сначала первого признака $U = A/P^2$, а затем второго признака $V = R_{min}/R_{max}$ для каждого из обоих объектов. Зарисуйте гистограммы или попросите сделать их распечатку. Подумайте, какие решающие границы по какому из признаков U и V следует установить для наиболее надежного автоматического различения двух объектов.

11. После запроса управляющей программы уточните решающее правило, выбрав один из трёх предложенных вариантов. Попытайтесь разобраться в чём заключается разница между ними. При необходимости обратитесь за разъяснениями к преподавателю.

12. Третий этап работы заключается в проверке надёжности распознавания используемой пары объектов. Для этого несколько раз предъявите в произвольном порядке каждый из объектов, задавая различные угловые положения. Убедитесь в правильном результате идентификации объектов. Если результат оказался неудачным, можно изменить параметры решающего правила и вновь повторить попытку.

13. Повторите эксперимент для другой пары объектов, в соответствии с пп. 6 – 11.

14. После этого рекомендуется провести дополнительные исследования по своему усмотрению для более глубокого освоения темы, с целью получения ответов на вопросы, сформулированные в конце описания.

Требования к отчету

Отчет оформляется индивидуально каждым студентом независимо от состава бригады. Он должен состоять из следующих разделов.

1. Краткие теоретические сведения. В этот раздел рекомендуется включить сведения об алгоритмах предварительной обработки изображений в СТЗ, в частности об алгоритмах выделения геометрических признаков контролируемых объектов. Конкретное содержание и объём материала, представленного в этом разделе определяется самим студентом. При этом следует иметь в виду, что при защите результатов работы и ответах на контрольные вопросы разрешается пользоваться только собственным отчетом, а не текстом настоящего описания или какими-либо другими материалами.

2. Результаты экспериментальных исследований в виде гистограмм или таблиц с указанием оптимальных границ задания решающих правил при распознавании объектов по каждому из исследованных признаков. Анализ полученных результатов.

3. Постановка задачи, результаты и выводы, относящиеся к исследованиям, выполняемым по инициативе студента.

Контрольные вопросы

1. Поясните некоторые алгоритмы вычисления интегральных параметров дискретных изображений (гистограмма отсчетов освещенности, средняя освещенность, среднеквадратическое отклонение освещенности от среднего уровня и др.).

2. Что такое норма градиента? В чём заключаются процедуры автоматического выделения контуров объектов в полутоновых и бинарных изображениях?

3. Каким образом достигаются условия устойчивости признаков при решении задач идентификации и классификации объектов? В чем состоят способы нормирования геометрических признаков?

4. Какой смысл имеет дополнительное уточняющее правило принятия решения, используемое автоматизированной системой наблюдения в сложных условиях идентификации объектов (при наличии противоречий по признакам)?

5. Каким образом выбор уточняющего правила влияет на расстановку приоритетов в принятии решения в пользу того или иного объекта?

6. Объясните полученные Вами результаты.

7. Каким образом можно определить основное решающее правило при использовании исследованных Вами (или других) признаков в автоматизированной системе наблюдения при распознавании более чем двух объектов?

8. Поясните, в чём заключаются методы идентификации объектов, которые не требуют предварительного выделения геометрических признаков. Укажите достоинства и недостатки каждого из них. Укажите условия, соблюдение которых необходимо при использовании этих методов.

9. В чём заключаются преимущества методов идентификации и классификации объектов, основанных на выделении геометрических признаков?

10. В чём состоит принцип реализации многоступенчатого (иерархического) алгоритма распознавания объектов на основе использования геометрических признаков? Каким образом следует распределять используемые признаки на различных уровнях многоступенчатого алгоритма распознавания?

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ДАТЧИКА КООРДИНАТ
ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА**

(работа рассчитана на 4 часа)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение методики экспериментального определения метрологических параметров оптико-электронного датчика на базе универсальной установки для физического моделирования алгоритмов цифровой обработки изображений.

Краткое описание программного обеспечения

Программные средства установки обеспечивают получение статических характеристик модели проектируемой измерительной оптико-электронной системы. При каждом положении микрометрического винта, управляющего перемещением имитатора точечного объекта программные средства обеспечивают выполнение следующих процедур.

1. Многократный ввод массива $[E_{ij}]$, соответствующего оцифрованному изображению текущего кадра в БЗУ. Следует отметить, что, хотя процесс ввода инициируется программой, сам ввод происходит под управлением аппаратных средств контроллера, расположенного на той же плате, что и БЗУ. При этом ячейки памяти БЗУ после завершения ввода становятся доступными для программных средств, т.е. не требуется дополнительной перезаписи массива данных в основную память ПЭВМ.

2. Определение координат элемента наибольшего сигнала X_{max}, Y_{max} путем сравнения элементов массива $[E_{ij}]$.

3. Обработка массива $[E_{ij}]$ в соответствии с выражением

$$X_{изм} = \frac{\sum_{m=X_{max}-9}^{X_{max}+9} \sum_{n=Y_{max}-1}^{Y_{max}+1} [E_{m,n}^* \cdot x_{m,n}]}{\sum_{m=X_{max}-9}^{X_{max}+9} \sum_{n=Y_{max}-1}^{Y_{max}+1} E_{m,n}^*}, \quad Y_{изм} = \frac{\sum_{m=X_{max}-9}^{X_{max}+9} \sum_{n=Y_{max}-1}^{Y_{max}+1} [E_{m,n}^* \cdot y_{m,n}]}{\sum_{m=X_{max}-9}^{X_{max}+9} \sum_{n=Y_{max}-1}^{Y_{max}+1} E_{m,n}^*}, \quad (17)$$

где:

$$E_{m,n}^* = \begin{cases} E_{m,n} - E_{пор}, & \text{при } E_{m,n} \geq E_{пор} \\ 0, & \text{при } E_{m,n} < E_{пор} \end{cases};$$

$E_{пор}$ – пороговый уровень ограничения сигнала снизу, устанавливаемый перед началом эксперимента; X_{max}, Y_{max} – координаты элемента наибольшего сигнала (номера строки и столбца); $X_{m,n}, Y_{m,n}$ – координаты опрашиваемого элемента.

4. Вычисление средних по множеству реализаций значений оценок $X_{изм}, Y_{изм}$ и среднеквадратических отклонений от среднего значения для каждой точки статической характеристики. Полученные значения оформляются в виде таблиц.

5. Вычисление коэффициента, с помощью которого значения оценок и погрешностей пересчитываются из масштаба координат изображения к масштабу координат объекта. Полученные значения также оформляются в виде таблиц.

6. Строятся графики и вычисляются коэффициенты полиномов, аппроксимирующих статические характеристики.

На рис. 8 приведена упрощенная блок-схема алгоритма обработки сигнала, реализованная в данной работе.

Порядок выполнения работы

1. Перед тем, как приступить к практической части работы, необходимо до конца ознакомиться с настоящими методическими указаниями.

2. После включения установки и загрузки программного обеспечения (в присутствии преподавателя или лаборанта) запустите программу управления экспериментом. На экране дисплея должна воспроизводиться осциллограмма строки, содержащей элемент наибольшего сигнала.

3. Следует убедиться в том, что пиковое значение сигнала Q_{max} не менее 70% от величины, соответствующей верхнему уровню квантования сигнала блоком АЦП. При необходимости можно изменить размер диафрагмы.

4. По запросу программы введите: число точек статической характеристики ($M_{уст} = 10 \div 15$); число реализаций ($N_{уст} = 15 \div 20$) для вычисления средних значений и среднеквадратических погрешностей измерения в каждой точке; шаг перемещения имитатора объекта по горизонтали ($\Delta X = 100 \div 200$ мкм); шаг перемещения имитатора объекта по вертикали ($\Delta Y = 100 \div 200$ мкм, если устройство перемещения объекта оснащено соответствующим микрометрическим винтом, в противном случае следует установить $\Delta Y = 0$); пороговый уровень $E_{пор}$, обеспечивающий ограничение сигнала снизу при вычислении координат энергетического центра в соответствии с формулой (17). Рекомендуемое значение порога для первого эксперимента $E_{пор} = 0.7$ от Q_{max} .

5. Задавая координаты $X_{уст}$, снимите первую статическую характеристику. Помните, что цена одного деления на подвижной шкале

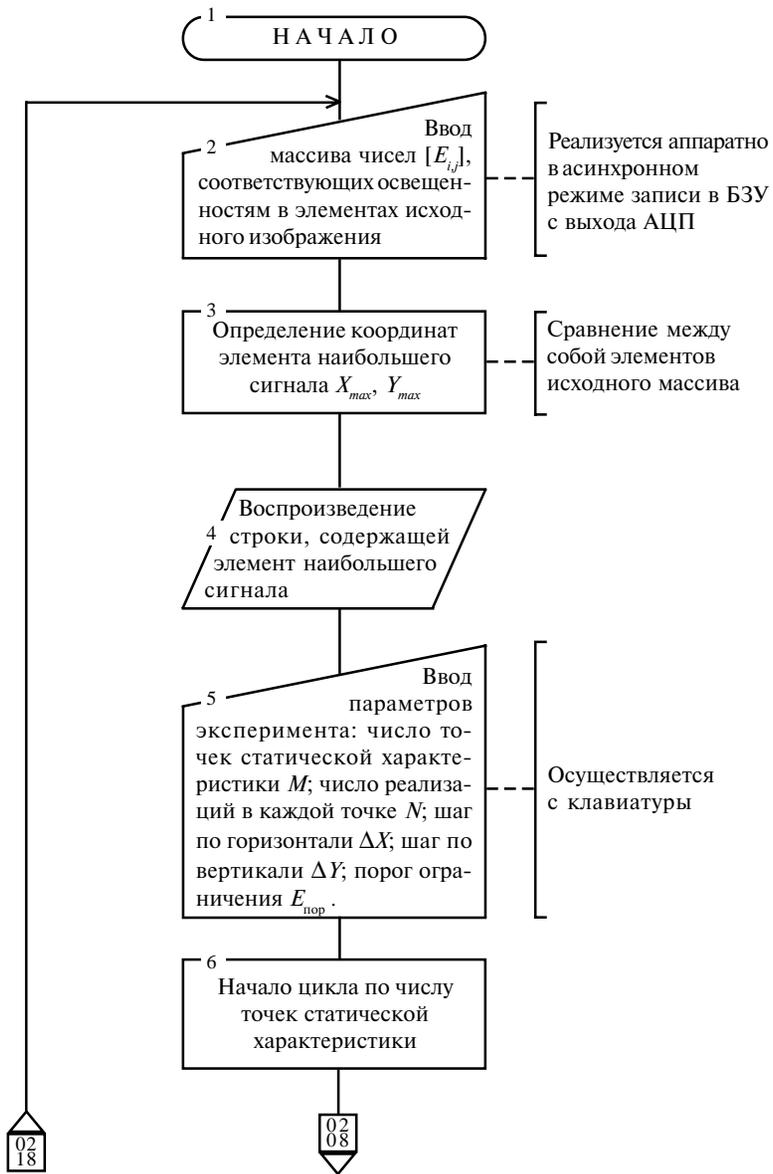


Рис. 8. Блок-схема алгоритма обработки сигнала

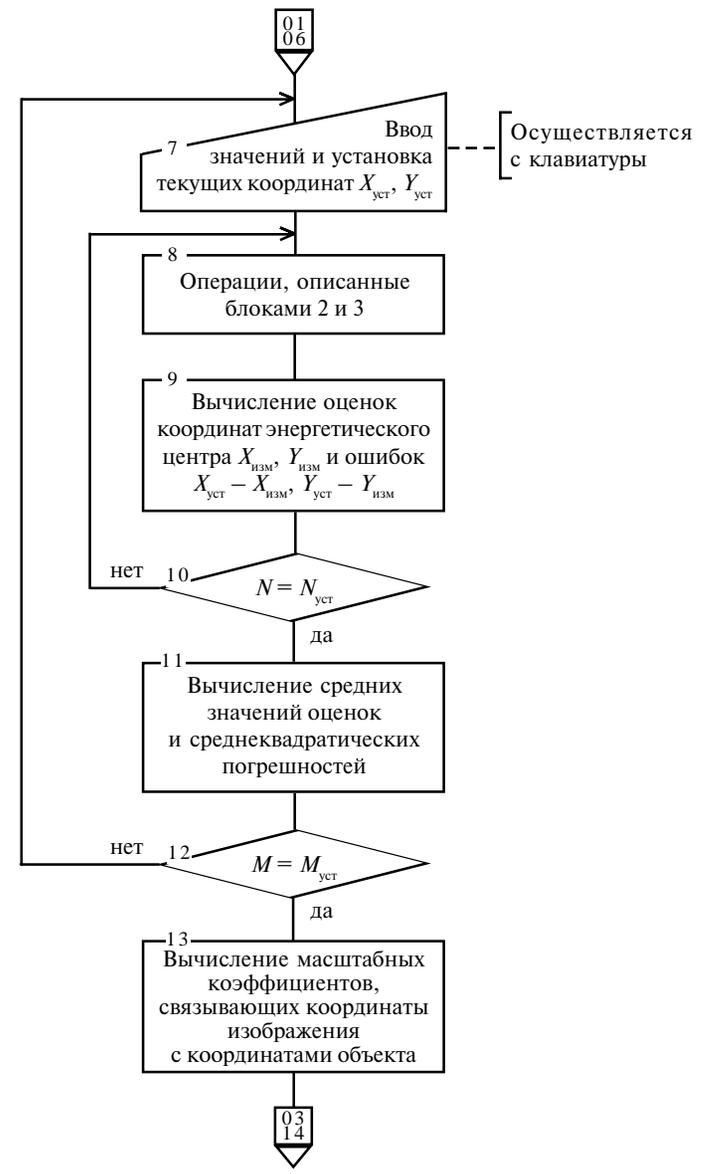


Рис. 8. (продолжение)



Рис. 8. (окончание)

микрометра – 10 мкм. Первое значение рекомендуется принять за ноль, а винт микрометра вращать в одном направлении, избегая возврата. Полученную в результате эксперимента таблицу и значения масштабных коэффициентов следует занести в отчет по лабораторной работе.

6. Снимите еще одну статическую характеристику при меньшем шаге смещений $X_{уст} = 10 \div 20$ мкм.

7. Кроме перечисленных в пп. 1...6 действий предлагается по своему усмотрению провести серию экспериментов с целью выявления каких-либо закономерностей, важных при проектировании реальной измерительной системы. Например, можно повторить измерения по п. 6, но при увеличенном и уменьшенном на 40... 50% значениях порога. Однако очевидно, что величина порога не должна превышать пиковое значение сигнала Q_{max} и не должна быть ниже уровня шумов. Обратите внимание на характер и степень нелинейности статической характеристики в каждом эксперименте. При необходимости рекомендуется повторить эксперименты для определения оптимального порога. Результаты исследований следует также отразить в отчете наряду с результатами по пп. 1...6.

Содержание отчета

1. Краткий теоретический раздел. По усмотрению студента в него целесообразно включать сведения об исследуемом алгоритме обработки сигнала, о структуре аппаратных и программных средств установки для физического моделирования, о способах обмена информацией между ЦВУ и видеодатчиком и др. Следует иметь в виду, что на этапе защиты разрешается пользоваться только собственным отчетом.

2. Таблицы и графики полученных зависимостей с указанием условий каждого эксперимента, а также краткие сведения о метрологических параметрах модели оптико-электронной системы (максимальные и средние значения среднеквадратических погрешностей оценок координат в различных точках статических характеристик, максимальное отклонение точек статических характеристик от возможной линейной аппроксимации и др.).

Контрольные вопросы

1. Поясните структурную схему лабораторной установки, представляющей собой физическую модель оптико-электронной системы обработки изображений. Поясните работу видеоконтроллера в режимах накопления данных в БЗУ и передачи в ЦВУ.

2. Поясните методику проведения экспериментов и дайте анализ полученных результатов.

3. Поясните алгоритм обработки сигнала, используемый для определения координат изображения. В чем состоят его достоинства и недостатки?

4. Каким образом вычисляются значения масштабных коэффициентов, связывающих координаты изображения и координаты объекта?

5. Каким образом связаны метрологические параметры модели оптико-электронной системы с параметрами реальной проектируемой системы (например, звездного датчика) при заданных значениях поля зрения, размерах рабочей площадки, числе и шаге элементов фотоприёмного устройства?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

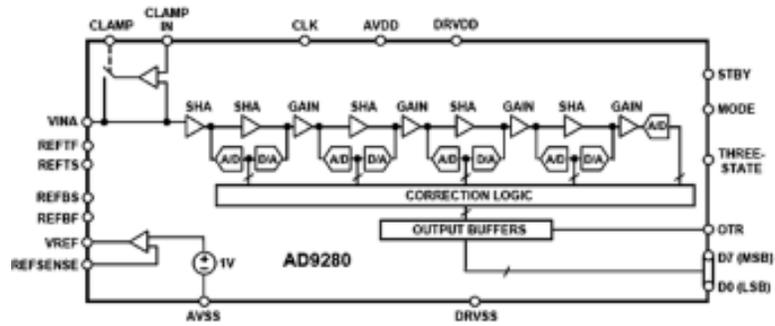
1. Андреев А.Л. Автоматизированные телевизионные системы наблюдения. Часть I. Аппаратные средства и элементная база. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. – СПб: СПбГУИТМО, 2005. – 88с.

2. Андреев А.Л. Автоматизированные телевизионные системы наблюдения. Часть II. Арифметико-логические основы и алгоритмы. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. – СПб: СПбГУИТМО, 2005. – 88с.

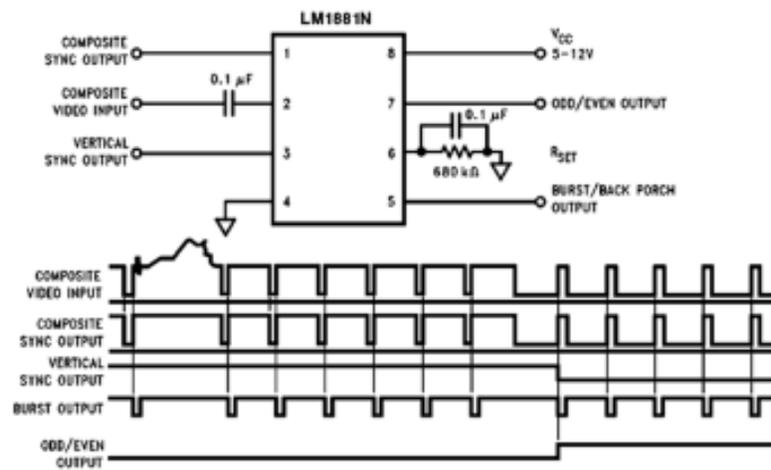
3. Быстрые алгоритмы цифровой обработки изображений/Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др.; Под ред. Т.С. Хуанга: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 224с., ил.

4. Стешенко В.Б. ПЛИС фирмы ALTERA: проектирование устройств обработки сигналов. – М.: ДОДЕКА, 2000, - 128 с.

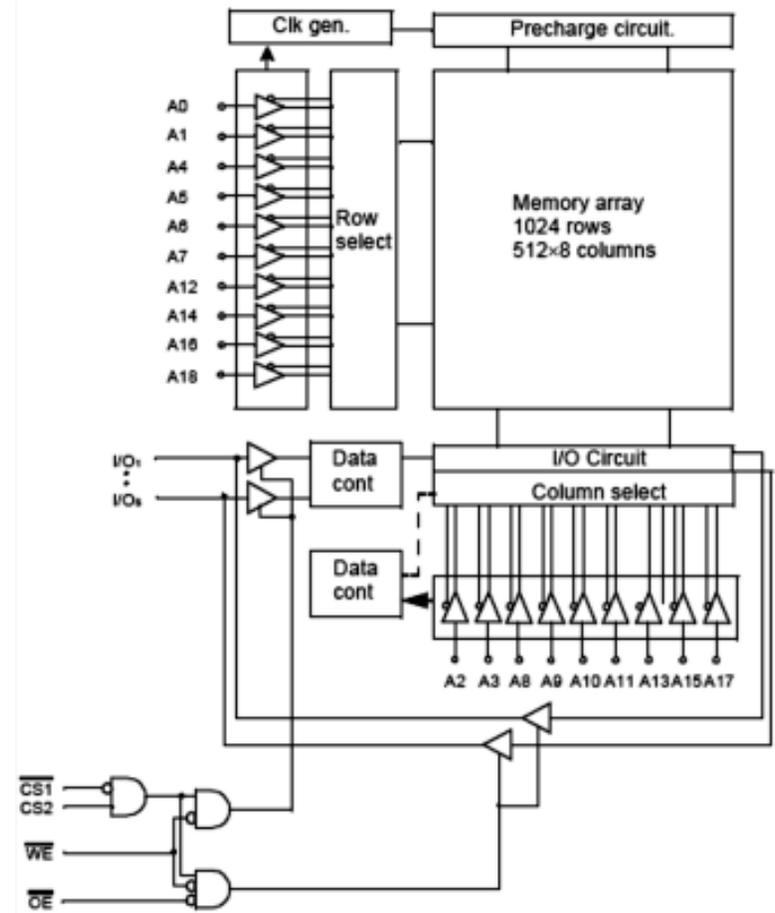
5. Антонов А.П. Язык описания цифровых устройств AlteraHDL. Практический курс. – М.: ИП РадиоСофт, 2001. – 224 с.



Структурная схема АЦП AD9280



Селектор синхроимпульсов LM1881



Структурная схема микросхемы SRAM 62C4000



ИЗ ИСТОРИИ КАФЕДРЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

История кафедры началась в 1936 году с организации в ЛИТМО кафедры военных оптических приборов. Первым заведующим кафедрой был К.Е. Солодилов, до этого возглавлявший ЦКБ ВООМП. В годы Великой Отечественной войны кафедра была эвакуирована в Черепаново, где ее объединили с кафедрой оптико-механических приборов под руководством профессора А.И. Захарьевского.

В начале 1947 года кафедру возглавил профессор С.Т. Цуккерман, который руководил ею до 1972 года. В 1958 году кафедра была реорганизована в кафедру специальных оптических приборов, а в 1967 году – в кафедру оптико-электронных приборов (ОЭП).

В 1965 году на кафедре под руководством Г.Г. Ишаниным разработаны теория и методы проектирования приемников на основе термоупругого эффекта. Приемники на термоупругом эффекте внедрены в серийное производство.

Значительное влияние на подготовку специалистов и тематику научных исследований оказал член-корреспондент РАН, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии профессор М.М. Мирошников, который, работавший на кафедре ОЭП с 1969 года по 1976 год в должности профессора по совместительству.

С 1972 по 1992 год кафедрой ОЭП заведовал Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор Л.Ф. Порфирьев. В 70-90 годах под руководством Л.Ф. Порфирьева был разработан ряд астродатчиков, а также систем астроориентации и космической навигации. В этих работах активное участие приняли кандидаты технических наук В.И. Калинин, А.Л. Андреев, С.Н. Ярышев.

Г.Н. Грязин, с конца 60-х годов, проводил работы в области прикладного телевидения, в частности, по разработке систем наблюдения за быстродвижущимися объектами и быстропротекающими процессами. Благодаря этим работам были заложены основы телевидения быстропротекающих процессов.

С 1975 года заведующим отраслевой лабораторией стал А.Н. Тимофеев, который руководит группой сотрудников, занимающихся разработкой методов и средств контроля пространственного положения объектов для машиностроения, энергетики, строительства, судостроения и железнодорожного транспорта.

С 1975 года, после увольнения в запас, из ЛВИКА им. А.Ф. Можайского на кафедру пришел работать в должности профессора С.П. Авдеев, известный специалист в области ОЭПИС космических аппаратов.

В 70-80 годах под руководством Е.Г. Лебедько был создан комплекс для лазерной локации морских объектов сложной конфигурации и водной поверхности. В этих работах принимали участие доценты О.П. Тимофеев и С.Б. Лукин.

С 1992 г. заведующим кафедрой является Заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор Э.Д. Панков. Под его руководством в 70-90-х годах был разработан ряд оптико-электронных приборов и систем специального и гражданского применения, нашедших практическое внедрение и способствующих научно-техническому прогрессу, укреплению обороноспособности нашей страны.

В 1992 году кафедра была переименована в кафедру оптико-электронных приборов и систем (ОЭПИС).

По результатам научных работ сотрудниками кафедры ОЭПИС выпущено в свет более 30 монографий, учебников и учебных пособий, получены авторские свидетельства СССР и патенты Российской Федерации на более чем 200 изобретений. Наибольший вклад в изобретательскую деятельность внес Э.Д. Панков – автор 123 изобретений, из которых 33 внедрены в промышленности.

За все время существования кафедры подготовлено более 3000 инженеров.