

Санкт-Петербург 2018 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.Л. Андреев, В.В. Коротаев, Е.А. Сычева

Виртуальные и физические модели видеоинформационных систем в статистических экспериментах

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО по направлению подготовки 12.04.02 «Оптотехника» и специальности 12.05.01 «Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения» в качестве учебного пособия для реализации основных профессиональных образовательных программ высшего образования магистратуры и специалитета

ЭНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург 2018 Андреев А.Л., Коротаев В.В., Сычева Е.А. Виртуальные и физические модели видеоинформационных систем в статистических экспериментах. Учебно-методическое пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 87 с.

Рецензент: Голушко М.Н., к.т.н., заведующий лаборатории №3 ООО ЭВС

Рассматриваются основные теоретические предпосылки и общие принципы реализации виртуальных и физических моделей, которые могут использоваться при оптимизации параметров используемых алгоритмов, решающих правил, а также с целью обоснования требований к отдельным звеньям проектируемых видеоинформационных систем.

Приводится методическое руководство к комплексу лабораторных работ, основанных на конкретных примерах виртуальных и физических моделей автоматизированных видеоинформационных систем, решающих задачи обнаружения, распознавания и измерения координат объектов наблюдения.

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 Университет ИТМО _ участник программы года повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель ИТМО – Университета становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

> © Университет ИТМО, 2018 © Андреев А.Л., Коротаев В.В., Сычева Е.А., 2018

Содержание

Введение	3
1 Теоретические предпосылки реализации виртуальных моделей	
автоматизированных видеоинформационных систем	7
1.1 Обобщенная структурная схема виртуальной модели	7
1.2 Предпосылки моделирования процессов преобразования сигнала в различных звеньях ABC	10
2 Основные принципы реализации физических моделей	
автоматизированных видеоинформационных систем	22
3 Методическое руководство к лабораторным работам	28
Общие положения	28
3.1 Селекция изображения точечной цели	29
3.2 Измерение координат изображений малоразмерных объектов	41
3.3 Исследование алгоритма обнаружения подвижных объектов	49
3.4 Исследование алгоритмов распознавания деталей на основе	
геометрических признаков	67
3.5 Экспериментальное определение метрологических параметров	
оптико-электронного датчика координат точечного источника	75
Заключение	81
Литература	82
Приложение 1	83
Приложение 2	84

Введение

Применение метода статистических испытаний (известного также под названием «метод Монте-Карло») является весьма эффективным приёмом, позволяющим прогнозировать метрологические характеристики проектируемых систем в сложных условиях функционирования, особенно при наличии разнообразных случайных дестабилизирующих факторов. В таких ситуациях чисто аналитические расчётные методики зачастую чрезвычайно сложны или малоэффективны. Примером целесообразности применения метода статистических испытаний может служить проектирование автоматизированных видеоинформационных систем (АВС), решающих задачи наблюдения за объектами на пространственно неоднородном фоне. Так, при случайном расположении подвижных объектов относительно маскирующих деталей подстилающего фона может в значительных пределах изменяться относительный контраст изображения объектов, предопределяющий реальное отношение сигнал/шум на выходе фотоприёмного устройства и, следовательно, вероятностные характеристики обнаружения и распознавания объектов, а также метрологические характеристики проектируемых систем. Кроме того, статистические эксперименты помогают решать задачи, связанные с оптимизацией параметров решающих правил в составе различных алгоритмов обработки сигналов в электронном тракте АВС. Они способствуют формированию обоснованных требований к отдельным звеньям проектируемой системы.

На начальном этапе разработки ABC самым доступным, дешёвым, но вместе с тем достаточно гибким и эффективным средством представляется *математическое виртуальное (имитационное) компьютерное моделирование*. В качестве непосредственного объекта исследования оно предполагает использование некоторой программы, представляющей собой виртуальную комплексную модель проектируемой ABC. Эта модель обычно включает в себя модели основных звеньев системы, к числу которых относятся: изображение объекта, оптическая система, фотоприёмный узел (анализатор изображения), а также различные дестабилизирующие факторы (помехи) и используемые алгоритмы 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. Комплексные компьютерные модели могут использоваться для синтеза, анализа, прогнозирования работы ABC, осуществляющей наблюдения за малоразмерными подвижными объектами. С помощью таких моделей можно решать задачи оптимизации требований к функциональным узлам проектируемых систем с учетом заданных эксплуатационных параметров в реальных условиях функционирования (при различных дистанциях наблюдения, энергетических и динамических параметрах объектов и др).

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

Очевидно, что наибольшее приближение к реальным условиям функционирования проектируемой системы даёт физическое моделирование. Физическая модель АВС обычно реализуется на базе универсальтехнических средств. При ЭТОМ используются ных реальный формирователь сигнала изображения (телевизионный или тепловизионный датчик), узел предварительной обработки видеосигнала, содержащий аналого-цифровой преобразователь (АЦП), контроллер сопряжения, цифровое вычислительное устройство (например, персональный компьютер), другие необходимые 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 предъявляется особых требований минимизации габаритов, энергопотребления или каких-либо других эксплуатационных параметров, она может быть достаточно громоздкой. Важно лишь, чтобы в модели были реализованы все физические процессы, происходящие в реальной системе. Такая модель должна обеспечивать максимум функциональных возможностей и позволять получать объективные результаты испытаний, сопоставимые (при определённых условиях) с результатами математического моделирования.

К недостаткам физического моделирования можно отнести малую гибкость и меньшую информативность по сравнению с математическим моделированием. При физическом моделировании, например, не удаётся в отдельности исследовать влияние параметров различных звеньев, т.е. не удаётся исключить или хотя бы значительно уменьшить влияние отдельных видов помех или каких-либо иных дестабилизирующих факторов, предопределяющих качественные характеристики системы с целью определения наиболее существенных из них. Это связано с тем, что в физической модели используются реальные функциональные узлы, 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.

Рассмотрим вначале основные принципы реализации компьютерных виртуальных моделей, а также физических моделей некоторых видеоинформационных систем. Затем на примере конкретных лабораторных занятий оценим возможности их практического использования на начальном этапе проектирования ABC, решающих задачи обнаружения, распознавания и измерения координат объектов в сложных условиях наблюдения.

1 Теоретические предпосылки реализации виртуальных моделей автоматизированных видеоинформационных систем

1.1 Обобщенная структурная схема виртуальной модели

Ниже показана обобщённая структура виртуальной модели автоматизированной видеоинформационной системы и даны примеры основных вводимых параметров, предопределяющих условия статистического эксперимента.



Рисунок 1.1 – Обобщённая структура виртуальной модели АВС

Ввод исходных данных осуществляется в интерактивном режиме. Конкретный состав вводимых исходных данных зависит от специфики конкретной задачи. Вводимые параметры можно подразделить на следующие группы.

Параметры оптической системы:

- эффективный диаметр входного зрачка;
- коэффициент пропускания оптической системы;
- фокусное расстояние объектива;
- радиус кружка рассеяния изображения точечного объекта при выбранной аппроксимации функции рассеяния точки.
- аппроксимация функции рассеяния (импульсной характеристики) объектива.

Параметры фотоприемного устройства:

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

Параметры узла предварительного преобразования видеосигнала и используемого алгоритма цифровой обработки изображения:

- коэффициент подавления аддитивной составляющей «геометрического» шума при первичной коррекции сигнала и др.
- число разрядов АЦП, предопределяющие шумы квантования;
- относительный порог обнаружения отношение порогового уровня сигнала обнаружения к среднеквадратическому значению уровня шумов;
- размер скользящей апертуры цифрового фильтра, используемого на этапе предварительной обработки исходного массива;
- дополнительные параметры решающего правила в составе алгоритма цифровой обработки изображения.

Параметры условия наблюдения:

- угловые координаты «наблюдаемых» объектов, задаваемые в двух перпендикулярных плоскостях, проходящих через главную оптическую ось системы;
- энергетические параметры наблюдаемых объектов;
- параметры, характеризующие динамику и направление перемещения изображений объектов в поле зрения ОЭС, например, в параметрическом виде с помощью коэффициентов А, В, С полинома, аппроксимирующего изменение во времени модуля угловых перемещений объектов

$$S(t) = A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^3; \qquad (1.1)$$

 направление перемещения, например, посредством угла α между направлениями оси X и проекцией вектора скорости в плоскости анализа изображения (рисунок 1.2);



Рисунок 1.2 – Задание системы координат и направления вектора перемещения объектов в поле зрения ABC

- интервал времени между соседними отсчётами, кратный периоду смены кадров телевизионного (или тепловизионного) датчика изображения объекта;
- параметры, характеризующие детерминированную составляющую неравномерности фона в поле зрения ОЭС (первый параметр определяет относительную неравномерность фона в пределах поля зрения в % по отношению к среднему уровню; второй – крутизну фронта нарастания фона);
- параметры, характеризующие случайную составляющую неравномерности фона (интервалы пространственной корреляции фоновой составляющей вдоль направлений строк и столбцов элементов);
- средняя эффективная яркость фона или диапазон изменения яркости фона в пределах поля зрения ABC.

Параметры, определяющие режим статистической обработки полученных реализаций.

- число реализаций;
- доверительная вероятность для определения границ погрешностей результатов измерения при моделировании и др.

Предварительная обработка исходных данных предполагает преобразование вводимых величин с целью согласования размерностей, расчёт коэффициентов, необходимых для преобразования масштаба изображения, увязки угловых и линейных координат. Также на основе введённых параметров осуществляется формирование переменных и констант, используемых при моделировании.

К числу важных промежуточных задач, которые приходится решить при реализации модели, относятся:

- анализ особенностей физических процессов, протекающих в многоэлементных структурах фотоприемных устройств с учетом физических свойств различных фоточувствительных материалов;
- анализ физической природы источников помех, действующих в различных звеньях системы и др.;
- математическое описание различных алгоритмов обработки сигналов, используемых на этапе предварительной обработки изображения, а также на последующих этапах автоматического обнаружения, распознавания и измерения параметров объектов.

В соответствии с этим моделирование ABC разбивается на следующие этапы:

- моделирование сигнально-фоновой ситуации;
- моделирование различных видов помех;
- моделирование процедур предварительной обработки сигнала (с учетом искажений, связанных с квантованием сигналов при аналого-цифровом преобразовании);
- моделирование различных алгоритмов целевой обработки сигналов, связанных в общем случае с решением задач обнаружения, распознавания и оценки параметров исследуемых объектов, а также оценки метрологических параметров проектируемой системы с учетом заданных доверительных интервалов [9].

1.2 Предпосылки моделирования процессов преобразования сигнала в различных звеньях АВС

В самом общем виде процесс преобразования сигнала в ABC можно представить в следующем виде.



Рисунок 1.3 – Преобразования сигнала в АВС

Совокупность излучателей, находящихся в пространстве объектов, а также среда распространения оптических сигналов, создаваемых этими излучателями, образуют так называемую фоново-целевую обстановку (ФЦО). Приемная оптическая система (ОС) собирает поток, излучаемый наблюдаемым объектом (или отраженный от него), а также оптический поток от окружающего фона, формирует соответствующее изображение на фотоприемном устройстве (ФПУ). ФПУ выполняет функции

анализатора изображения, а также преобразователя оптического сигнала в электрический видеосигнал, представляющий собой последовательность видеоимпульсов, адекватных освещённостям различных элементов ФПУ.

Примечание.

Деление излучателей, находящихся в поле зрения ABC, на цели, помехи и фоны часто является условным. Например, при проектировании или исследовании ABC, предназначенных для визуализации или картографирования случайного неоднородного («пестрого») поля объектов, излучающих на невидимом глазу участках оптического диапазона, фоновое излучение является основным источником информации.

Оптическую систему и фотоприемное устройство в первом приближении можно рассматривать как линейные звенья с функциями преобразования $W_{\rm OC}$ и $W_{\Phi\Pi y}$, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифровое вычислительное устройство (ЦВУ) – нелинейные звенья с функциями преобразования W_{AUII} и $W_{_{ЭВМ}}$.

Моделирования сигнально-фоновой ситуации в зоне наблюдения

В зависимости от характера задач, решаемых оптико-электронной системой для каждой из целей, наблюдаемых в плоскости объектов, может использоваться та или иная аппроксимирующая функция.

При моделировании точечного объекта, например, удобно использовать пространственную дельта-функцию

 $S(x, y) = S_0 \cdot \delta(x - x_0) \cdot \delta(y - y_0),$ (1.2) где: x_0 и y_0 – координаты точечного объекта; S_0 – нормирующий множитель, непосредственно связанный с энергетическими параметрами объекта и определяемый из условия:

$$S_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} S(x, y) dx dy.$$
(1.3)

Очевидно, что при моделировании объектов конечных размеров могут использоваться другие пространственные функции. Примеры графических представлений наиболее распространённых функций, аппроксимирующих объекты наблюдения приведёны ниже.

В общем случае проявление фонового излучения в плоскости объектов целесообразно рассматривать как совокупность стационарной (с точки зрения пространственных координат) составляющей случайного поля яркости и составляющей в виде квазидетерминированной функции перепада яркости с различной шириной переходной области и с заданным направлением вектора градиента.



Рисунок 1.4 – Примеры пространственных функций, аппроксимирующих объекты наблюдения

Стационарную составляющую фона в виде облаков или рассеянного солнечного излучения (подстилающую поверхность) можно представить, как случайное поле яркости типичного площадного объекта. Ввиду того, что излучение фона определяется многими взаимно независимыми факторами, закон пространственного распределения энергетической яркости фона с достаточно хорошим приближением можно считать нормальным и эргодическим, когда среднее по множеству реализаций равно среднему по одной реализации (рисунок 1.5).

$$p(L_{\phi}) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma_{L_{\phi}}}} \cdot exp \left\{ -\frac{(L_{\phi} - \bar{L}_{\phi})^2}{2\sigma_{L_{\phi}}^2} \right\},$$
(1.4)
где: $\sigma_L \approx \frac{1}{L_{\phi}(x)} \approx \frac{1}{L_{\phi}(x)} = \frac{1}{2} L_{\phi} max$

6



Рисунок 1.5 – К пояснению модели стационарной составляющей случайного поля яркости фона

Исходным материалом для моделирования случайного поля яркости являются независимые числа, полученные подпрограммой, генерирующей случайные числа. Их совокупность можно рассматривать как случайное δ-поле – обобщение понятия дискретного белого шума на случай нескольких переменных. Моделирование δ-поля осуществляется следую-

щим образом: пространственно-временной координате x_i , y_j , t_k ставятся в соответствие выборочные значения из датчика нормальных случайных чисел с параметрами (0,1). Неограниченные реализации однородного стационарного случайного поля с различными интервалами пространственной корреляции можно получить с помощью алгоритма пространственно-временного скользящего суммирования δ -поля, более подробно описанного, например, в работе [9].

На рисунке 1.6 приведены примеры моделирования случайного поля яркости фона при различных интервалах пространственной корреляции.



Рисунок 1.6 – Примеры моделирования случайного поля яркости фона при малом (а) и большом (б) интервалах пространственной корреляции

Перепады яркости фона могут быть, например, связаны с появлением в поле зрения ОЭС границы облачного покрова. При этом может иметь место резкий скачок яркости фона. Другой причиной изменения яркости фона может быть, например, появление в поле зрения ABC, базирующейся на космическом аппарате, переходной области земляатмосфера, атмосфера-космос. В этом случае величина градиента изменения яркости фона будет меньше.

В предельном случае в качестве модели абсолютно резкого скачка яркости фона может рассматриваться ступенчатая функция вида

$$\theta \sigma(x - x_0) \cdot \sigma(y - y_0) = \theta \int_{-\infty}^{x} \int_{-\infty}^{y} \delta(u - x_0) \cdot \delta(v - y_0) \, du \, dv, \qquad (1.5)$$

где: $\sigma(z) = \begin{cases} 1 \text{ при } z \ge 0 \\ 0 \text{ при } z > 0 \end{cases}; \quad \theta - \text{масштабный коэффициент,} \end{cases}$

характеризующий величину изменения яркости $\Delta L_{\phi} = L_{\phi max} - L_{\phi min}$.

Таким образом исходная сигнально-фоновая обстановка при моделировании в общем случае задаётся в виде некоторой пространственновременной функции $S_{\Sigma(BX)}(x, y, t)$ – композиции из трёх составляющих:

– одного или нескольких объектов;

 – случайного двухмерного поля с заданной корреляционной функцией, имитирующей стационарную составляющую фона;

 – одной или нескольких ступенчатых функций, которые имитируют возможные значительные перепады в виде скачков яркости фона в зоне наблюдения.

Возможно также задание функций плавного изменения средней яркости фона с различной шириной переходной области и с заданным направлением вектора градиента.

Влияния оптической системы, фотоприёмного устройства и процедуры первичной обработки сигнала

Оптическая система в первом приближении может рассматриваться как линейное входное звено с пространственной импульсной характеристикой g(x,y) – весовой функцией объектива, например, в виде гауссоиды вращения

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi R^2} \exp\left[-\frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{2R^2}\right],$$
(1.6)

где R – радиус кружка рассеяния объектива, определяемый на уровне 0,606 (1/ \sqrt{e}); x_0 , y_0 – координаты центра пятна рассеяния.

В соответствии с аппроксимацией (1.6) на рисунке 1.7 показано распределение освещенности от точечного объекта в плоскости анализа изображения вдоль оси *x* и обозначен условный радиус пятна рассеяния, который может задаваться при моделировании



Рисунок 1.7 – Распределение освещенности от точечного объекта вдоль оси *x* и определение условного радиуса изображения точечного объекта *R* в плоскости анализа изображения

Разумеется, при необходимости аппроксимирующая функция может быть усовершенствована путём введения дополнительных параметров, отражающих возможные изменения пространственной импульсной характеристики широкоугольной оптической системы при перемещении объектов в поле зрения ОЭС.

Следующий этап преобразования сигнала осуществляется ФПУ, где сигнал изображения E(x, y), представляющий собой в общем случае двумерную непрерывную функцию непрерывных пространственных аргументов, преобразуется в электрические сигналы $U(x_i, y_j)$, то есть в двумерную непрерывную функцию дискретных пространственных аргументов $x_i. y_j$:

 $E(x, y) \Rightarrow U(x_i, y_i).$

Учитывая принятую аппроксимацию весовой функции оптической системы (1.6), распределение освещенности от точечного объекта по фоточувствительной площадке определяется выражением

$$E(x,y) = \frac{\Phi}{2\pi R^2} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2R^2}\right],$$
(1.7)

где Φ – поток оптического излучения, создающего изображение точечного объекта; R – радиус кружка рассеяния объектива, определяемый на уровне 0,606 $E_{max}(E_{max}/\sqrt{e})$; x_0 , y_0 – координаты центра пятна рассеяния.

Сигнальные заряды, накапливаемые в ячейках фотоприёмной матрицы, определяются выражением

$$Q(x_i, y_j) = k \int_{x_i - d/2}^{x_i + d/2} \int_{y_j - d'/2}^{y_j + d'/2} E(x, y) dx dy.$$
(1.8)

где *k* – коэффициент, учитывающий интегральную чувствительность ФПУ при заданном времени накопления зарядов.

Соответственно, число накапливаемых элементарных зарядов

$$q(x_i, y_j) = Q(x_i, y_j) / e,$$

где *Q* – величина заряда, накопленного в фоточувствительном элементе; *е* – заряд электрона.

На рисунке 1.8 показан пример распределения освещенности на фоточувствительной площадке ФПУ от малоразмерного (точечного источника) и формирование соответствующего зарядового рельефа. Здесь R – радиус пятна рассеяния на уровне $0,606E_{max}$; d и d' – шаг элементов ФПУ по горизонтали и вертикали соответственно; δ – зазор между столбцами; x_i , y_j координаты центра *i*-того элемента *j*-той строки; $Q(x_m)$ – заряд, накопленный в ячейке максимального сигнала.

Примечание.

На выходе реального фотоприёмного устройства электрический сигнал представляет собой видеоимпульсы, адекватные сигнальным

зарядам $Q(x_{i,j})$, накапливаемым в отдельных фоточувствительных элементах. Для фотоприемника с накоплением энергии (например, матрица ФПЗС, КМОП или др.) величина напряжения сигнала видеоимпульса, снимаемого с *i*-го элемента *j*-ой строки, определяется выражением

$$U(x_i, y_j) = \int_{x_i - d/2}^{x_i + d/2} \int_{y_j - d/2}^{y_j + d/2} ST_{\mu} E(x, y) dx dy, \qquad (1.9)$$

где: S – интегральная чувствительность ФПУ, выраженная через экспозицию; $T_{\rm H}$ – время накопления зарядов.



Рисунок 1.8 – Распределение освещенности на фоточувствительной площадке ФПУ и формирование зарядового рельефа.

Как уже было сказано выше, динамику перемещения изображений наблюдаемых объектов в приборной системе координат удобно задавать в параметрическом виде с помощью коэффициентов A, B, C (первой, второй и третьей степени) полинома, аппроксимирующего изменение во времени модуля угловых перемещений объектов (ф. 1.1). Направление перемещения задается посредством угла α между направлением оси X и проекцией вектора скорости в плоскости анализа изображения (рисунок 1.2).

При формировании массива «темновых» зарядов (т.е. зарядов, накапливаемых вследствие тепловой генерации даже при отсутствии оптического облучения) в общем случае следует учитывать аддитивную составляющую так называемого «геометрического» шума, связанную с неравномерностью средней плотности темновых токов накопления по кристаллу. Среднее значение «темнового» заряда, накапливаемого в ячейке, определяется выражением:

$$\overline{Q}_T = \overline{i}_T A_{\mathfrak{I}} T_{\mathfrak{H}}, \qquad (1.10)$$

где: \overline{i}_{T} – средняя плотность темнового тока накопления заряда, характерная для данного полупроводникового материала при рабочей температуре кристалла; $A_{3л}$. – площадь электрода, под которым осуществляется накопление.

Для оценки так называемого «геометрического» шума обычно используют коэффициент относительного разброса значений плотности темнового тока и, соответственно, числа «темновых» зарядов накопления по кристаллу ФПУ $h_{\rm T}$

$$\sigma_{\rm r} = \overline{q}_{\rm r} h_{\rm r} \,, \tag{1.11}$$

где: $\bar{q} = \bar{i}_{\rm T} A_{\rm 3} T_{\rm H} / e$ – среднее по кристаллу число «темновых» электронов, накапливаемых в ячейках за счёт тепловой генерации носителей в цикле накопления;

$$h_{\rm r} = \frac{2}{3} (\overline{q}_{\rm max} - \overline{q}_{\rm min}) / (\overline{q}_{\rm max} + \overline{q}_{\rm min}). \qquad (1.12)$$

Следует, однако, заметить, что данная составляющая внутренних шумов ФПУ в принципе поддаётся эффективной алгоритмической коррекции на этапе последующей цифровой обработки сигналов, и, следовательно, влияние «геометрического» шума может быть ослаблена до существенно меньшего, чем составляющие. Это уровня, другие неравномерность распределения возможно, поскольку плотности темновых токов накопления по кристаллу является аддитивной помехой, детерминированной для каждого конкретного образца многоэлементного фотоприёмника (ФПЗС, КМОП и др). Соответствующая корректирующая матрица может быть получена на стадии калибровки ФПУ. Очевидно, что при необходимости численные значения элементов такой матрицы могут также корректироваться В соответствии С изменением рабочей температуры кристалла.

Пусть
$$[T_{\Gamma}] = \begin{bmatrix} \overline{t}_{1,1} & \overline{t}_{1,2} & \dots & \overline{t}_{1,M} \\ \overline{t}_{2,1} & \overline{t}_{2,2} & \dots & \overline{t}_{2,M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \overline{t}_{N,1} & \overline{t}_{N,2} & \dots & \overline{t}_{N,M} \end{bmatrix}$$
 – матрица, корректирующая

«геометрический» шум, формируемая на стадии калибровки системы при заданной температуре кристалла ФПУ. Каждый элемент матрицы $t_{i,j}$ вычисляется путём усреднения множества численных значений, адекватных «темновым сигналам», соответствующих данному элементу ФПУ

$$\overline{t}_{i,j} = \frac{\sum_{n=1}^{K} t_{i,j(n)}}{K} , \qquad (1.13)$$

где $t_{i,j(n)}$ — численное значение «темнового сигнала» *i* -того элемента *j* -той строки, полученного в *n*-ной реализации; *K* — число реализаций, по которым производится усреднение на этапе калибровки.

Таким образом, рассматривая неравномерность средней плотности темновых токов накопления по кристаллу $\bar{i}_{\rm r}$ как *аддитивную* помеху, процедуру коррекции можно представить в виде следующего алгоритма

 $[E^*] = [E] - [T_r] \cdot k(\Delta T).$ (1.14)

Здесь [E^{*}] – матрица цифрового изображения после коррекции «геометрического» шума; [E]_ исходная матрица цифрового изображения (до коррекции); $k(\Delta T)$ – поправочный множитель, учитывающий изменение средних значений плотности темновых токов накопления ОТ изменения температуры, характерный для полупроводникового материала данного ФПУ.

Примечание.

При реализации высокоточных приборов и систем следует, кроме вышерассмотренной аддитивной составляющее «геометрического» шума принимать во внимание коэффициент относительного разброса чувствительности отдельных элементов ФПУ в пределах кристалла

$$h_{s} = \frac{2}{3} (S_{\max} - S_{\min}) / (S_{\max} + S_{\min}), \qquad (1.15)$$

где: S_{min} и S_{max} — минимальное и максимальное значения интегральной чувствительности соответственно.

Очевидно, что неравномерность чувствительности в пределах рабочей ΦПУ площадки может причиной явиться мультипликативной составляющей «геометрического» шума, т.е. мультипликативной, хотя и детерминированной помехой, также поддающейся алгоритмической коррекции на этапе последующей цифровой обработки сигналов. Неравномерность чувствительности отдельных элементов следует также учитывать при моделировании массива фоновых зарядов, обусловленных фоновой составляющей оптического излучения, попадающего в поле зрения оптикоэлектронной системы.

При моделировании массива шумовых составляющих в ячейках ФПУ в общем случае учитывается совокупность случайных флуктуаций, обусловленных наличием сигнальной, фоновой и «темновой» составляющих зарядов, накапливаемых в каждой ячейке.

Заметим, что флуктуация числа зарядов подчиняется закону Пуассона. Однако поскольку число накапливаемых зарядов достаточно велико (n_q>>100), распределение Пуассона можно аппроксимировать нормальным законом распределения с дисперсией, равной среднему значению. Тогда среднеквадратическое значение шумовой составляющей на выходе ФПУ будет

$$\sigma_{\rm III} = \sqrt{\sigma_{\rm III(T)}^2 + \sigma_{\rm III(T)}^2 + \sigma_{\rm III(R)}^2 + \sigma_{\rm III(BY).}^2 + \sigma_{\rm III(\Phi)}^2}, \qquad (1.16)$$

где $\sigma_{\rm m(r)}$ – среднеквадратическое число зарядов в *i*-той ячейке ФПУ, характеризующее флуктуацию числа темновых зарядов; $\sigma_{\rm m(r)}$ – среднеквадратическое отклонение среднего числа темновых зарядов в различных ячейках ФПУ, характеризующее геометрический шум (если, последний не подавляется в результате алгоритмической коррекции, описанной выше); $\sigma_{\rm m(n)}$ – среднеквадратическое значение флуктуаций заряда при переносе (для ФПЗС); $\sigma_{\rm m(ву)}$ – среднеквадратическое значение шума выходного устройства, пересчитанное к числу зарядов; $\sigma_{\rm m(\phi)}$ – среднеквадратическое значение флуктуации числа зарядов, обусловленных сигнальным или фоновым излучением (фотонный шум).

Однако на практике при использовании серийно выпускаемых матричных фотоприёмников разработчики оптико-электронных систем обычно не имеют достаточных данных для раздельного учёта и моделирования первых четырёх из вышеперечисленных составляющих, определяющих внутренний шум фотоприёмника. Вместо них в паспорте фотоприёмника обычно указывается некоторый уровень пороговой освещенности, при которой уровень полезного сигнала равен суммарному уровню внутренних шумов (т.е. соответствующий отношению сигнал/шум в электрическом сигнале на выходе фотоприёмника $\mu = 1$), либо даётся «номинальный» уровень освещённости (при которой обеспечивается определённая величина отношения сигнал/шум, например, $\mu_0 = 10$). В подобных случаях среднеквадратическое значение числа шумовых зарядов, характеризующих внутренний шум фотоприёмника, может определяться через ожидаемое отношение сигнал/шум, рассчитываемое с учётом конкретной оптической схемы проектируемой системы (прибора).

Так, например, для звёздного датчика (ЗД), решающего задачу измерения угловых координат «опорной» звезды, взаимосвязь отношения сигнал/шум с основными параметрами, предопределяющими величину оптического сигнала в плоскости изображения, определяется выражением [2]:

$$\mu = \frac{D_{\text{BX.3p.}}^2 \cdot \mu_0 \cdot T_{\text{H}} \cdot \tau}{D_{\text{H3.}}^2 \cdot E_{\nu} \cdot T_{\text{H}} \cdot 10^{\frac{m_{3\phi} - m_0}{2.5}}},$$
(1.17)

где: E_v – указанный в паспорте на фотоприёмник «номинальный» уровень освещённости, соответствующий номинальному отношению сигнал/шум μ_0 ; $D_{\text{вх.зр.}}$ – эффективный диаметр входного зрачка оптической системы ЗД; $D_{\text{из.}} = 2R$ – эффективный диаметр изображения точечного объекта, т.е. «опорной» звезды (при аппроксимации функции рассеяния в соответствии с выражением 1.6, рисунок 1.7); $T_{\text{н}}$ и $T_{\text{п}}$ – реальное и паспортное время накопления (экспозиции) оптического сигнала соответственно; τ – коэффициент пропускания оптической системы; $m_{3\phi}$ – эффективное (согласованное по спектральным характеристикам с фотоприёмником)

значение звездной величины «опорной» звезды; *m*₀ – эффективное значение звёздной величины, при которой создаётся освещённость 1 лк на границе земной атмосферы (или на поверхности Земли).

Аналогично, например, для оптико-электронной системы наблюдения за малоразмерным (точечным) объектом, на расстоянии *S*

$$\mu = \frac{D_{\scriptscriptstyle BX,3p.}^2 \cdot \mu_0 \cdot I_{e_{\scriptscriptstyle H}} \cdot \tau \cdot \chi_p \cdot \chi_{\Gamma(\Pi)} \cdot K_{\lambda \, max}}{S^2 \cdot D_{\scriptscriptstyle H3.}^2 \cdot E_{\nu} \cdot T_{\scriptscriptstyle H} \cdot \chi_{\scriptscriptstyle \Pi}}, \qquad (1.18)$$

где: $I_{e \ u}$ – энергетическая сила излучения объекта наблюдения; χ_p , χ_n – коэффициенты использования фотоприёмником излучения реального и паспортного источников соответственно; $\chi_{r(n)}$ – коэффициент использования глазом излучения паспортного источника.

После определения µ рассчитывается среднеквадратическое значение числа шумовых зарядов, характеризующих внутренний шум фотоприёмного устройства (ФПУ)

$$\sigma_{\mathrm{m}(\mathrm{pny})} = \frac{Q(x_m)}{\mu \cdot e}.$$
(1.19)

Помимо внутренних шумов ФПУ при формировании виртуальной модели оптико-электронной системы следует учитывать и фотонный шум, обусловленный квантовой природой поглощения оптического излучения. Заметим, что флуктуация числа шумовых зарядов, представляющих фотонный шум, строго говоря, подчиняется закону Пуассона. Однако поскольку число накапливаемых зарядов достаточно велико, распределение Пуассона можно аппроксимировать нормальным законом распределения с дисперсией, равной среднему значению. Тогда средне-квадратическое значение шумовой составляющей на выходе ФПУ будет

$$\sigma_{\mathrm{m}(\phi)} = \sqrt{\overline{q}_{\mathrm{m}(\phi)}(x_i, y_j)}, \qquad (1.20)$$

где $\overline{q}_{\phi}(x_i, y_j)$ – среднее значение число элементарных зарядов, накапливаемых в ячейке ФПУ, пропорциональное сигнальной (или фоновой) составляющей освещенности в изображении, формируемом оптической системой на соответствующем участке фоточувствительной поверхности.

С учётом полученных величин $\sigma_{\mathrm{II}(\phi ny)}$ и $\sigma_{\mathrm{II}(\phi)}$ конкретное число шумовых зарядов в каждой накопительной ячейке $q_{\mathrm{II}(\phi ny)}(x_i, y_j)$ и $q_{\mathrm{II}(\phi)}(x_i, y_j)$ фотоприёмника определяется путем многократного задания флуктуаций по случайному закону с заданным распределением вероятностей.

После определения отдельных сигнальных, фоновых и шумовых составляющих формируется массив суммарных зарядов, представляющий собой реализацию 2-х мерного дискретного пространственного нестационарного случайного поля.

Моделирование процесса квантования сигнала в АЦП

Моделирование процесса квантования сигнала в АЦП (и связанных с этим искажений) осуществляется с учетом заданной разрядности и необходимости согласования динамического диапазона входных уровней АЦП с реальным динамическим диапазоном изменения сигнала на выходе ФПУ. При этом принимается во внимание необходимость «привязки» нижнего уровня динамического диапазона АЦП к уровню сигнала, соответствующего минимальному «темновому» заряду (уровень чёрного), а также соответствующее масштабирование видеосигнала, осуществляемое узлом предварительной обработки [1,3]. Максимальному сигналу U_{max} , поступающему на вход АЦП, должен соответствовать максимальный $2^n - 1$ уровень квантования, где n – разрядность АЦП. При этом произвольному сигналу U должен соответствовать k-тый уровень квантования:

$$k = INT \left[\frac{U \cdot \left(2^n - 1\right)}{U_{\text{max}}} \right], \tag{1.21}$$

где INT(Z) – целая часть числа Z.

Примечание.

Очевидно, что всякое преобразование сигналов с помощью АЦП связано с нелинейными искажениями и появлением погрешности квантования, которую можно считать распределенной по равномерному закону в пределах $\pm h/2$, где h – шаг квантования. Однако величина погрешности квантования при достаточной разрядности АЦП может быть значительно меньше других составляющих.

В результате вышеописанных процедур формируется двумерный массив в виде матрицы целых чисел $[E_{i,j}]$, который подвергается дальнейшей обработке в соответствии с исследуемыми алгоритмами.

Статистическая обработка результатов моделирования на основе анализа множества реализаций может включать в себя подсчет числа ложных выбросов, числа пропусков объектов, с целью определения вероятностных характеристик при моделировании процедур обнаружения; оценку среднеквадратических погрешностей измерения и др.

2 Основные принципы реализации физических моделей автоматизированных видеоинформационных систем

Как уже говорилось, физическая модель ABC обычно реализуется на базе универсальных технических средств. В этой связи наиболее простым техническим решением представляется структура физической модели, использующей телевизионную камеру со встроенным аналого-цифровым преобразователем видеосигнала (рисунок.2.1).



Рисунок 2.1 – Структурная схема установки, использующей цифровую телевизионную камеру

Двоичные коды чисел, соответствующих уровням освещённости отдельных элементов изображения, с выхода телевизионной камеры под управлением специальной программы передаются в оперативную память компьютера через стандартный USB-порт. Дальнейшая обработка цифрового массива данных $[E_{i,i}]$, представляющего собой цифровое изображение, осуществляется в соответствии с исследуемым алгоритмом. В зависимости от конкретной методики проведения эксперимента, учитывающей специфику работы моделируемой АВС, помимо ручных методов настройки могут использоваться дополнительные связи (показаны пунктиром), обеспечивающие программное управление вспомогательными оптико-механическими узлами (узел управления поворотом или перемещением объекта, система подсветки и др.). Очевидно, что конкретный состав дополнительных оптико-механических узлов модели определяется особенностями проектируемой ABC.

Однако использование в составе установки готовой цифровой телевизионной камеры накладывает определённые ограничения на возможности физической модели. Дело в том, что в большинстве цифровых телевизионных камер общего назначения отсутствует возможность отключения или тем более перенастройки (в соответствии со спецификой решаемой задачи) стандартного режима работы узла автоматической регулировки усиления, обеспечивающего стабилизацию среднего уровня видеосигнала на входе встроенного аналого-цифрового преобразователя. В целом ряде случаев такой стандартный режим работы узла автоматической регулировки усиления не является оптимальным для функционирования ABC.

Так, например, при моделировании работы ABC, решающей задачу наблюдения за малоразмерными (или даже точечными) объектами на сложном подстилающем фоне, предпочтительней с точки зрения оптимального использования динамического диапазона аналого-цифрового преобразователя использовать режим стабилизации не среднего, а пикового (т.е. максимального) уровня видеосигнала, предварительно обеспечив «привязку» его минимального уровня к заданному значению. В некоторых случаях при моделировании работы ABC целесообразно использовать ручной режим управления уровнем «привязки» видеосигнала с целью подавления (или наоборот выделения) фоновой составляющей в цифровом изображении. Наконец, при моделировании работы ABC, решающих задачи измерения энергетических параметров и характеристик объектов наблюдения (энергетической силы излучения, коэффициента отражения, энергетической светимости и др.) может быть необходимым отключение режима автоматической регулировки уровня видеосигнала.



Рисунок 2.2 – Структурная схема установки, в которой используется специализированная телевизионная камера с модулем предварительной обработки видеосигнала.

На рисунке 2.2 показана структурная схема установки, в которой используется специально предназначенная для экспериментальных исследований аналоговая телевизионная камера, снабженная дополнительными выводами тактовых импульсов (ТИ) – сигналов синхронизации опроса отдельных элементов фотоприёмной матрицы, а также сигналов синхронизации строчной (СИ) и кадровой (КИ) развёрток. Модуль предварительной обработки и преобразования видеосигнала содержит помимо аналого-цифрового преобразователя дополнительные функциональные узлы, обеспечивающие «привязку» уровня и масштабирование видеосигнала, а также буферное запоминающее устройство для хранения одного полного кадра цифрового изображения.

Структурная схема модуля предварительной обработки видеосигнала приведена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Структурная схема модуля предварительной обработки видеосигнала.

Модуль предварительной обработки видеосигнала включает в себя следующие функциональные узлы:

 – входной видеоусилитель (ВУ), допускающей возможность ручной или автоматической регулировки усиления;

– пиковый детектор, используемый в режиме автоматической регулировки усиления (ПД);

– фиксатор уровня видеосигнала (ФУ);

– аналого-цифровой преобразователь (АЦП);

- селектор синхроимпульсов (ССИ);

– генератор тактовых импульсов (ГТИ);

- счетчик элементов;

– счетчик строк;

- коммутатор адресов;

– коммутатор данных;

- буферное запоминающее устройство (БЗУ);

– устройство управления записью;

– интерфейс связи с ЦВУ.

ВУ, ПД и ФУ необходимы для обеспечения условий оптимального согласования телевизионного датчика с нижним и верхним уровнями динамического диапазона АЦП. Это гарантирует полное использование шкалы квантования видеосигнала (более подробно назначение этих функциональных узлов описано, например, в работе [1]).

ССИ служит для выделения строчных и кадровых синхроимпульсов, а также импульсов полей из стандартного видеосигнала. ССИ выполнен на основе специализированной микросхемы LM1881 [10].

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), реализуемое, как правило, на основе микросхем статической памяти [1].

Коммутатор адресов служит для подключения адресной шины ОЗУ либо к выходным портам параллельного интерфейса ЦВУ, либо к счетчикам, в зависимости от режима работы (чтение/запись). Коммутатор данных служит для соответствующего выбранному режиму переключения направления передачи информации по внутренней шине данных.

Возможны три направления передачи данных:

от АЦП к БЗУ в режиме записи кадров;

от БЗУ к ЦВУ в режиме чтения кадров (при обращении ЦВУ к информации, записанной в БЗУ);

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

Блок 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 предполагает подачу всех синхроимпульсов непосредственно с синхрогенератора 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 – 9разрядный, что позволяет адресоваться к 512 строкам, причем старший разряд отвечает за номер поля (четный или нечетный).

Параллельный интерфейс связи с ЦВУ представляет собой схему интерфейса ISA, принятого для использования в промышленных компьютерах. Интерфейс имеет несколько 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.

Работает устройство следующим образом.

При **необходимости записи** кадра ЦВУ вырабатывает соответствующий сигнал, воспринимаемый блоком управления записью, который 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 БЗУ (чтение/запись). Тактирование и сброс счётчиков в режиме записи 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

26

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 производится программно под управлением ЦВУ. При этом ЦВУ устанавливает адрес ячейки памяти БЗУ, в которой записан цифровой код видеоимпульса, соответствующий выбранному элементу изображения. Это делается путем установки в параллельном интерфейсе четырех выходных портов адреса, указывающего номер элемента в строке и номер строки в массиве хранящихся в БЗУ. Затем производится считывание данных. ИЗ микросхемы БЗУ цифрового кода видеоимпульса, соответствующего выбранному элементу, путем чтения входного порта параллельного интерфейса. Считанные таким образом цифровые коды видеоимпульсов размещаются в специально отведённую область оперативной памяти ЦВУ и становятся доступными для дальнейшей обработки в соответствии с алгоритмом, предусмотренным программой.

3 Методическое руководство к лабораторным работам

Общие положения

Тематика лабораторных работ связана с использованием виртуальных и физических моделей автоматизированных видеоинформационных систем (ABC), решающих задачи наблюдения за объектами. Предметом изучения являются алгоритмы, используемые при обнаружении и распознавании объектов в сложных условиях наблюдения при наличии помех, а также алгоритмы измерения координат обнаруженных объектов.

Каждая лабораторная работа включает три основных этапа:

- изучение структуры, органов управления, средств отображения и возможностей установки, представляющей собой виртуальную или физическую модель;
- выполнение типовой программы исследований в соответствии с методикой, предусмотренной в рамках данной темы;
- проведение дополнительных исследований по усмотрению самого студента для получения дополнительных 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 каждой 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.

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 методическим руководством или какой-либо другой литературой.

При оформлении графических зависимостей иллюстрирующих результаты, полученные в процессе статистических испытаний, следует придерживаться следующих правил.

1. Графические зависимости, соответствующие данным, приведенным в одной таблице целесообразно приводить на одном рисунке.

- 2. Аппроксимирующие кривые, как правило, должны иметь монотонный характер и могут не проходить через точки, соответствующие результатам статистического эксперимента.
- 3. При оформлении отчёта по лабораторной работе следует придерживаться формы шаблона, приведенного в приложении 1. В приложении 2 даются также примеры правильного и неправильного оформления графических зависимостей, полученных в результате статистических испытаний виртуальной или физической модели.

3.1 Селекция изображения точечной цели

(статистический эксперимент на основе виртуальной модели)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение эффективности алгоритмов линейной и нелинейной фильтрации, на этапе предварительной обработки изображений при селекции малоразмерных (точечных) объектов в оптикоэлектронных системах обнаружения, слежения и наведения.

Описание исследуемого алгоритма и лабораторной установки

Одной из распространённых задач, решаемых на предварительном этапе обработки сигналов в ABC, является процедура выделения слабых оптических сигналов от малоразмерных (в предельном случае точечных) целей, наблюдаемых в присутствии существенно более контрастных мешающих деталей фона, которые в автоматизированных системах видеонаблюдения можно рассматривать как оптические помехи. Физическая природа таких помех может быть различной: всевозможные блики, присутствие в поле зрения системы от ярких излучающих или отражающих излучение объектов, неоднородная структура подстилающего фона и др.

В качестве рабочих признаков выделяемых целей в общем случае могут быть использованы спектральные, динамические и пространственные параметры, отличающие выделяемые объекты от маскирующих элементов фона. Очевидно, что спектральные методы селекции связаны с использованием всевозможных оптических фильтров, в то время как динамические и пространственные (пространственно-частотные) отличительные признаки могут быть задействованы в электронном тракте системы на основе алгоритмов цифровой обработки изображений. Ниже рассматриваются вопросы, связанные с использованием решающих правил, позволяющих в автоматизированных системах видеонаблюдения решать задачи обнаружения и селекции сигналов малоконтрастных и малоразмерных целей в достаточно сложной сигнально-фоновой ситуации.

На рисунке 3.1 показан пример изображения, содержащего малоразмерные объекты О₁...О₁₀, а также более крупные и, в общем случае значительно более контрастные мешающие детали фона.

Соответствующая этому примеру осциллограмма видеосигнала выделенной строки *ab* показана на рисунке 3.2а.



Рисунок 3.1 – Пример изображения, содержащего малоразмерные объекты O₁....O₁₀ и мешающие детали фона



Рисунок 3.2 – Осциллограмма выделенной строки *ab* изображения, показанного на рисунке 3.1 (а); фоновая составляющая, полученная после фильтрации видеосигнала выделенной строки (б); разностный сигнал, полученный после вычитания фоновой составляющей (в)

В приведённом примере сигналы от малоразмерных целей могут обладать как положительным (например, O₃) так и отрицательным (например, O₈) контрастом по отношению к элементам окружающего фона. Очевидно, что для успешного решения задач обнаружения и селекции необходимо, чтобы величина сигнала от наблюдаемых объектов (U_c) превышала уровень шумовой составляющей (σ_m), оцениваемой в окрестностях соответствующих прилегающих локальных областей.

Остановимся на вопросах, непосредственно связанных с практической реализацией рабочего алгоритма в АВС.

После квантования видеоимпульсов в узле АЦП элементы изображения можно представить в виде матрицы целых чисел $[E_{i,j}]$, где *i* и *j* соответственно номера столбцов и строк. Выделение слабых оптических сигналов от малоразмерных объектов (целей), наблюдаемых в присутствии мешающих деталей фона, в автоматизированной системе видеонаблюдения можно осуществлять путём реализации решающего правила, включающего следующие процедуры.

1. Для каждого элемента $E_{i,j}$ исходного массива формируется соответствующее новое значение $E_{i,j}^*$:

$$E_{i,j}^{*} = F \begin{bmatrix} E_{(i-l),(j-k)} & \dots & E_{i,(j-k)} & \dots & E_{(i+l),(j-k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{(i-l),j} & \dots & E_{i,j} & \dots & E_{(i+l),j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{(i-l),(j+k)} & \dots & E_{i,(j+k)} & \dots & E_{(i+l),(j+k)} \end{bmatrix}$$
(3.1)

где: F[*] – оператор сглаживающего фильтра; l = (m - 1)/2; k = (n - 1)/2; $m \times n$ – апертура фильтра.

Полученный таким образом массив [$E_{i,j}^*$] в дальнейшем используется для компенсации фоновой составляющей. Заметим, что в качестве сглаживающего фильтра принципиально могут применяться различные линейные или нелинейные анизотропные операторы.

Однако, как показал анализ, при наличии резких перепадов уровня фоновой составляющей в поле зрения системы наилучший эффект даёт процедура нелинейной фильтрации на основе двумерного медианного фильтра [3]. Специфическим свойством медианного фильтра (в отличие от анизотропного линейного фильтра) является способность эффективно подавлять немонотонные (в пределах апертуры) составляющие последовательности чисел и неискаженно передавать монотонные составляющие [6].

2. Для каждого элемента изображения вычисляется разностный сигнал путём сравнения значений отсчётов сглаженного и исходного массивов

$$ZE_{i,j} = E_{i,j} - E_{i,j}^*$$
(3.2)

Описанные выше процедуры проиллюстрированы также рисунком 3.2 б,в.

3. <u>В условии априорной неопределённости</u> факта наличия интересующих объектов в зоне наблюдения следующий этап – обнаружение объектов и устранение «пустых» элементов массива [ZE_{i,j}], не содержащих сигнальной составляющей

$$ZE_{i,j}^{*} = \begin{cases} ZE_{i,j}, |ZE_{i,j}| \ge \Pi_{0} \\ 0, |ZE_{i,j}| < \Pi_{0} \end{cases}$$
(3.3)

Величина решающего порога П₀ определяется по заданному критерию оптимальности с учётом допустимых значений вероятностей ошибок первого и второго рода.

<u>Если же точно известно</u>, что в зоне наблюдения присутствует один или несколько объектов (и при этом известно их число), то после процедуры 2 осуществляется непосредственный переход к процедуре 4.

4. В полученном на предыдущем этапе массиве $ZE_{i,j}(или ZE_{i,j}^*)$ осуществляется поиск локальных максимумов. При обнаружении каждого локального максимума в отведённой области памяти фиксируется небольшой сегмент, взятый из исходного массива в окрестностях элемента, соответствующего локальному максимуму. Данная процедура выполняется для всех локальных максимумов, соответствующих обнаруженным объектам (или для всех локальных максимумов, соответствующих известному числу объектов, находящихся в зоне наблюдения).

Таким образом, решающее правило представляет собой последовательность достаточно простых линейных и нелинейных процедур.

Однако практическая реализация описанного выше алгоритма связана с необходимостью уточнения отдельных параметров решающего правила и обоснования требований к отдельным звеньям аппаратной структуры автоматизированной системы видеонаблюдения. К параметрам, требующим уточнения, относятся: тип и апертура сглаживающего фильтра, габаритно-энергетические параметры оптической системы, динамический диапазон фотоприёмного устройства, достаточная разрядность АЦП др. Очевидно, что оптимизация параметров решающего правила и требований к отдельным звеньям аппаратной структуры должна проводиться с учётом множества взаимосвязанных факторов, включая условия функционирования системы (характеристики сигнальнофоновой ситуации). Эффективным методом решения подобной задачи является компьютерное моделирование.

Рассмотренная выше последовательность процедур преобразования сигнала была положена в основу компьютерной модели, выполненной в виде виртуальной лабораторной установки. С помощью подобной модели методом статистических испытаний (известным также под названием «метод Монте-Карло») еще на ранних стадиях проектирования можно получать необходимые зависимости, позволяющие прогнозировать поведе-

ние реальной системы в различных условиях наблюдения и при различных значениях отдельных параметров.

На рисунке 3.3 показана блок-схема, поясняющая логическую структуру модели, лицевая панель которой представлена на рисунке 3.4.



Рисунок 3.3 – Блок-схема, поясняющая логическую структуру модели



Рисунок 3.4 – Общий вид лицевой панели лабораторной установки

Элементы, помеченные на рисунке 3.4, имеют следующее назначение.

1 – монитор, отображающий взаимное расположение в «поле зрения» АНС, изображения фоновой помехи и объекта наблюдения в виде пятна рассеяния от точечной цели (используется при настройке).

2 – монитор, отображающий изображение объекта в присутствии фоновой помехи при наличии шумов, а также сегмент изображения, выделяемый в результате выполнения алгоритма селекции точечной цели.

3 – монитор, служащий для увеличенного отображения выделенного сегмента исходного изображения.

4 – осциллограф для отображения видеосигнала выделенной строки элементов, взятых из исходного массива (до процедуры сглаживания) и видеосигнала сглаженного массива той же строки (т.е. после процедуры сглаживания в соответствии с вышеописанным алгоритмом селекции).

5 – осциллограф для отображения видеосигнала выделенной строки элементов после процедуры вычитания из исходного массива сглаженного массива.

6 – переключатель, используемый для выбора характера фоновой помехи, которая может представлять собой либо плавное изменение яркости, либо резкие границы, представляющие собой перепады яркости фона.

7 – переключатель выбора типа сглаживающего фильтра, используемого в составе решающего правила исследуемого алгоритма селекции. 8 – регулятор коэффициента усиления входного сигнала осциллографа 4.

9 – движки регуляторов, задающие координаты изображения при настройке.

10 – движок регулятора выбора строки, отображаемой на экранах осциллографов.

В модели в качестве варьируемых исходных параметров, предопределяющих условия эксперимента, используются следующие.

1. Координаты объекта (цели) относительно положения области существенного изменения фоновой составляющей в анализируемом изображении. Координаты (*X*, *Y*) выражаются числом пространственных периодов фоточувствительных элементов, отделяющих центр изображения объекта от точки начала координат, расположенной в левом нижнем углу рабочей поверхности $\Phi \Pi Y$ (0 – 255).

2. Параметр, характеризующий градиент пространственного изменения фоновой составляющей (имитирующий плавный или резкий перепад яркости фона в области наблюдения);

3. Отношение максимального перепада уровня фоновой составляющей в анализируемом изображении ($\Delta \Phi$) к величине сигнальной составляющей от объекта наблюдения (U_{c}). Диапазон возможных значений $\Delta \Phi/U_c$: 0 – 1000.

4. Отношение сигнал шум, оцениваемое как отношение пикового значения величины сигнала от объекта (U_c), наблюдаемого на соответствующем локальном участке фона к среднеквадратическому значению флуктуации шумовой составляющей ($\sigma_{\rm m}$). Диапазон возможных значений $\mu = U_c/\sigma_{\rm m}$: 0 – 1000.

5. Тип сглаживающего фильтра, используемого в составе решающего правила: линейный анизотропный (ск. среднее) или медианный;

6. Размерность апертуры фильтра $W = m \times m (m - \text{нечетные числа}):$ 3 – 15;

7. Число разрядов АЦП (*N*): 1 – 16.

Порядок выполнения работы

Перед началом практической части работы необходимо внимательно ознакомиться с описанием исследуемого алгоритма и структурой лабораторной установки, (см. выше). Рекомендуем также изучить перечень вопросов, приведенных в конце описания данной работы, что позволит более целенаправленно выполнять вторую часть практической работы. При выполнении первого этапа работы рекомендуется делать соответствующие пометки в черновике, которые в дальнейшем будут полезны при подготовке к защите.

<u>Первый этап работы</u> – изучение структуры и возможностей установки целесообразно выполнять в следующем порядке.
1. Включите непрерывный цикл выполнения программы, нажав на кнопку циклического запуска, расположенную в верхней части экрана за пределами лицевой панели лабораторной установки (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Кнопки управления программой, расположенные в верхней части экрана

Примечание.

В нажатом состоянии данная кнопка должна быть окрашена в темный цвет. В дальнейшем до полного завершения работы рекомендуется пользоваться только кнопками «ПУСК» и «СТОП», расположенными в нижней части непосредственно на лицевой панели лабораторной установки.

2. Установите величину отношения сигнал/шум $U_{\rm c}/\sigma_{\rm m}$ =10.

3. Установите величину отношения $\Delta \Phi/U_c = 5$.

4. Переключатель 6 установите в положение «Резкий».

5. Установите число разрядов АЦП не менее 8.

6. С помощью движков 9 (рисунок 3.4) установите изображение точечной цели приблизительно в середину светлой части фоновой составляющей изображения. Изображение цели имеет вид тёмной точки на мониторе 1.

7. Нажмите кнопку «ПУСК» в нижней части лицевой панели.

8. Понаблюдайте за осциллограммами, отображающими верхнюю строку.

На осциллографе 4 зелёный луч отображает выбранную строку элементов исходного массива $[E_{i,j}]$, соответствующего изображению зоны наблюдения. Красным цветом отображается та же строка после процедуры сглаживания исходного массива одним из выбранных фильтров.

На осциллографе 5 отображается соответствующая строка элементов, взятых из разностного массива $[ZE_{i,j}]$. Последний получен в результате вычитания из исходного массива сглаженного массива (см. ф.ф. 3.1 и 3.2).

9. Попробуйте несколько раз изменить тип сглаживающего фильтра с помощью переключателя 7, наблюдая при этом, как это отражается на осциллограммах.

Рекомендуется также воспользоваться переключателем «цель/фон», расположенным в нижнем левом углу монитора 2. В положении «фон» отображается двумерный массив изображения зоны наблюдения после процедуры сглаживания выбранным фильтром. В положении «цель»

отображается исходный массив, содержащий сигнал от цели, фоновую составляющую и шумы. Белый прямоугольник показывает границы выделенного сегмента. При этом в случае правильного обнаружения объекта выбранный сегмент соответствует участку зоны наблюдения, в котором расположена наблюдаемая цель.

10. Последовательно уменьшая разрядность АЦП (вплоть до n = 1), наблюдайте за работой исследуемой модели ABC: обратите внимание на изменения осциллограмм, на возможное появление ошибок при обнаружении цели и др.).

11. Верните прежнюю разрядность АЦП (*n* не менее 8). Увеличивая последовательно апертуру сглаживающего фильтра, наблюдайте, как осциллограммы выделенной строки: a) случае изменяются В фильтра использования линейного (ск. среднее); б) В случае использования медианного фильтра.

12. Нажмите кнопку «СТОП» в нижней части лицевой панели установки.

13. С помощью движка 9. расположенного под экраном монитора 1 (рисунок 3.4) переместите изображение точечной цели в область зоны наблюдения с низким уровнем фона (например, вправо приблизительно на цифру 200 или влево на цифру 20).

14. Нажмите кнопку «ПУСК» и выполните повторно действия, рекомендованные п.п. 8 – 12.

В завершение первого этапа рекомендуется по собственной инициативе выполнить некоторые действия, с целью дополнительного ознакомления с работой установки.

<u>Второй этап работы</u> заключается в использовании лабораторной установки, с целью получения ряда зависимостей, характеризующих поведение проектируемой ABC в различных условиях наблюдения за объектами при различных значениях параметров решающего правила, а также при различных требованиях к отдельным звеньям.

А) Зависимость вероятности правильного выделения сегмента от отношения $\Delta \Phi / U_c$.

1. С помощью движка 9. расположенного под экраном монитора 1 (рисунок 3.4) переместите изображение точечной цели в область зоны наблюдения с низким уровнем фона (например, вправо приблизительно на цифру 200 или влево на цифру 20).

2. Переключатель 6 установите в положение «Резкий».

3. С помощью переключателя 7 выберете линейный тип фильтра (ск. среднее).

4. Установите величину отношения сигнал/шум $U_{\rm c}/\sigma_{\rm m} = 10$.

5. Установите значение апертуры сглаживающего фильтра W = 5.

6. Установите число разрядов АЦП n = 8.

7. Последовательно изменяя величину отношения $\Delta \Phi/U_c$ в диапазоне от 0 до 2, проведите серию статистических испытаний (используя для

запуска и остановки каждого эксперимента кнопки «ПУСК» и «СТОП). При этом число реализаций, при которых данные заносятся в таблицу 3.1 (см. ниже) должно быть не менее 100.

8. Установите число разрядов АЦП n = 10 и повторите действия в соответствии с п.п. 7.

Таблица 3.1 – Зависимость вероятности правильной селекции объекта от отношения $\Delta \Phi / U_c$ при использовании линейного фильтра.

$\Delta \Phi / U_{c}$	Процент правильных обнаружений <i>Р</i> _{прав.} (%)			
	<i>n</i> = 8	<i>n</i> = 10		
0				
0,5				
1,0				
1,25				
1,5				
1,75				
2,0				

9. С помощью переключателя 7 выберете медианный тип сглаживающего фильтра в составе решающего правила.

10. Установите число разрядов АЦП n = 8.

11. Последовательно изменяя величину отношения $\Delta \Phi/U_c$ в диапазоне от 0 до 300, проведите серию статистических испытаний аналогичных описанных в пункте 7. При этом число реализаций, при которых данные заносятся в таблицу 3.2 (см. ниже) должно быть не менее 100.

12. Установите число разрядов АЦП n = 10 и повторите действия в соответствии с п.п.11.

Таблица 3.2 – Зависимость вероятности правильной селекции объекта от отношения $\Delta \Phi / U_c$ при использовании медианного фильтра.

	Процент правильных обнаружений $P_{\text{прав.}}(\%)$			
$\Delta \Psi / U_{c}$	n = 8	<i>n</i> = 10		
0				
25				
50				
100				
125				
150				
175				
200				
250				
300				

Примечание.

При больших значениях отношений ΔΦ/U_c для большей наглядности отображения осциллограмм рекомендуется воспользоваться регулятором коэффициента усиления входного сигнала осциллографа 4.

Б) Зависимость условной вероятности правильного выделения сегмента, содержащего изображение цели, от отношения сигнал/шум

1. С помощью горизонтального движка 9 (рисунок 3.4) переместите изображение точечной цели в область зоны наблюдения с низким уровнем фона (приблизительно на цифру 200 или на цифру 20).

2. Переключатель 6 установите в положение «Резкий».

3. С помощью переключателя 7 выберете медианный тип сглаживающего фильтра в составе решающего правила.

4. Установите значение апертуры сглаживающего фильтра W = 5.

5. Установите число разрядов АЦП n = 8.

6. Установите величину отношения $\Delta \Phi/U_c = 5$.

7. Последовательно изменяя величину отношения сигнал/шум U_c/σ_m в диапазоне от 3 до 8, проведите серию статистических испытаний (используя для запуска и остановки каждого эксперимента кнопки «ПУСК» и «СТОП). При этом число реализаций, при которых данные заносятся в таблицу 3.3 (см. ниже) должно быть не менее 100.

8. Установите число разрядов АЦП n = 10 и повторите действия в соответствии с п.п. 7.

9. Установите величину отношения $\Delta \Phi / U_c = 100$.

10. Установите число разрядов АЦП n = 8.

11. Последовательно изменяя величину отношения U_c / σ_{III} в диапазоне от 3 до 15 (с шагом изменения параметра $\Delta U_c / \sigma_{III} = 3$), проведите серию статистических испытаний аналогичных описанных в пункте 7. При этом число реализаций, при которых данные заносятся в таблицу 3.3 (см. ниже) должно быть не менее 100. Данные заносите в таблицу аналогичную таблице 3.2.

12. Установите число разрядов АЦП n = 10 и повторите действия в соответствии с п.п.11.

Таблица 3.3 – Зависимость вероятности правильного выделения сегмента от величины отношения сигнал/шум

	Процент правильных обнаружений <i>Р</i> _{прав.} (%)			
$U_{\rm c}/O_{\rm III}$	n = 8	n = 10		
3,0				
3,5				
4,0				
4,5				
5,0				
6				
8				

39

<u>Третий этап работы</u> предполагает проведение дополнительных исследований по усмотрению самого студента, с целью получения дополнительной информации и выявления закономерностей позволяющих ответить на вопросы, приведенные в ниже.

В отчёте по лабораторной работе полученные зависимости помимо таблиц следует оформить также в виде соответствующих графиков. Общие требования к отчётам по выполненным работам изложены в начале раздела 3 (общие положения), в приложениях даны также примеры правильного и неправильного оформления графических зависимостей, полученных в ходе статистического эксперимента.

Контрольные вопросы

1. Поясните алгоритм селекции сигнала от малоразмерной цели 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. Как объяснить результаты, полученные в процессе каждого эксперимента?

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

6. Какой из фильтров в составе исследуемого алгоритма позволяет решать задачу селекции точечного объекта при меньшем относительном контрасте изображения объекта на неоднородном фоне (т. е. при большем значении отношения $\Delta \Phi/U_c$)?

7. Какие причины помимо шумов ограничивают возможность обнаружения и селекции малоразмерных целей при больших значениях $\Delta \Phi/U_c$ в случае использования линейного анизотропного и медианного фильтров?

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?

9. Из каких соображений следует выбирать форму апертуры двумерного медианного фильтра?

3.2 Измерение координат изображений малоразмерных объектов (статистический эксперимент на основе виртуальной модели)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение интерполяционного алгоритма определения координат изображения точечной цели; получение зависимостей, позволяющих оптимизировать требования к параметрам отдельных звеньев проектируемых ABC.

Описание исследуемого алгоритма и лабораторной установки

Оценка координат объектов заключается в вычислении координат характерных точек, связанных с наблюдаемыми объектами, например, энергетических центров их изображений. Если стоит задача нахождения угловых координат объекта ψ и χ (выраженных в радианах), то пересчет координат изображения точечного объекта x и y (выраженных в числе пространственных периодов матричной структуры фотоприёмного устройства) осуществляется с учетом следующих соотношений:

$$tg\psi = x \cdot d/f \; ; \; tg\chi = y \cdot d'/f \; , \tag{3.4}$$

где: d и d' – пространственный шаг элементов матричной структуры по горизонтали и вертикали соответственно, f – расстояние от объектива до плоскости фокусировки изображения. Очевидно, что подобное соотношение устанавливает связь между среднеквадратическими погрешностями измерения координат σ_x , σ_y и соответствующими погрешностями измерения угловых координат.

Наиболее распространённым алгоритмом оценки координат изображения малоразмерного (точечного) объекта, формируемого на матричной структуре элементов фотоприёмного устройства (ФПУ), является алгоритм вычисления координат энергетического его центра

$$X_{\mathcal{Y}} = \sum_{i=1}^{M} [x_i \cdot Q_s(x_i)] / \sum_{i=1}^{M} Q_s(x_i); Y_{\mathcal{Y}} = \sum_{j=1}^{N} [y_i \cdot Q_s(y_j)] / \sum_{i=1}^{M} Q_s(y_j).$$
(3.5)

Здесь $Q_s(x_i)$ и $Q_s(y_j)$ – суммарные сигналы, полученные в результате сложения сигналов с небольшой группы элементов *i*-го столбца и *j*-й строки ФПУ в окрестностях элемента наибольшего сигнала. *N* и *M* – соответственно число столбцов и строк матрицы; x_i и y_j –координаты элементов вдоль направления строк и столбцов элементов ФПУ.

На рисунке 3.6 показано примерное распределение освещенности вдоль оси X, создаваемое оптической системой от точечного источника, и соответствующей ему зарядовый рельеф $Q(x_i)$ вдоль поверхности многоэлементной структуры ФПУ 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 гауссоидой вращения

$$E(x, y) = (\Phi_{e_{u_3}} / 2\pi R^2) \times \exp\left\{-\left[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2\right] / 2\pi R^2\right\}, \quad (3.6)$$

где R — условный радиус кружка рассеяния, определяемый на уровне $E_m/\sqrt{e} \approx 0,606 E_m$.



Рисунок 3.6 – Распределение освещенности на фоточувствительной площадке ФПУ и формирование зарядового рельефа

Поскольку реальные размеры изображения на фоточувствительной площадке ФПУ ограничены сравнительно небольшой областью в окрестностях наиболее освещенного элемента, то на практике можно существенно ограничить (до $7 \div 9$) число слагаемых под знаком суммы в выражениях (3.5).

Подобный алгоритм требует минимальных вычислительных затрат – несколько операций сложения и умножения (в зависимости от размеров изображения), а также одну операцию деления. Это позволяет его использовать в быстродействующих системах оптической пеленгации при сравнительно небольшом уровне помех. При этом, как показывает анализ, шумовая составляющая среднеквадратической погрешности измерения координат изображения σ_x (или σ_y) обратно пропорциональна отношению сигнал/шум [7]

$$\sigma_x / \Delta x ($$
или $\sigma_y / \Delta y) \cong 1/\mu,$ (3.7)

где Δx и Δy – пространственные периоды элементов вдоль направлений строк и столбцов; μ – отношение максимального (пикового) значения напряжения полезного сигнала от наблюдаемого объекта на выходе ФПУ к среднеквадратическому значению напряжения шума.

Однако, при использовании ФПУ, работающих в инфракрасном диапазоне ($\lambda > 3$ мкм), для которых характерен значительный уровень внутренних шумов, может быть предложен *трёхступенчатый алгоритм*, который включает следующие этапы. 1. Осуществляется предварительная оценка координат в соответствии с выражением (3.5).



Рисунок 3.7 – Блок-схема, поясняющая логику работы модели по исследованию алгоритмов измерения координат точечных объектов

2. Полученные значения используются для определения весовых коэффициентов корректирующего квазиоптимального фильтра, в виде аналитической функции, подобной весовой функции используемой оптической системы (например, гауссоиды вращения, рисунок 3.6).

3. Осуществляется повторная оценка координат в соответствии с алгоритмом, подобным выражению (3.5), но с учётом весовых коэффициентов (определенных на предыдущем этапе), на которые умножаются соответствующие значения $Q_s(x_i)$ и $Q_s(y_i)$.

Как показывает анализ, подобный алгоритм позволяет приблизительно на 15 ÷ 20% снизить среднеквадратические погрешности измерения координат объекта при тех же значениях µ [7]. Однако при этом объем вычислительных затрат увеличивается приблизительно втрое.

При малых отношениях сигнал/шум ($\sigma_{\rm m} < 10$) в режиме слежения за объектом более эффективным является алгоритм интерполяции сигналов, снимаемых с отдельных элементов ФПУ по методу наименьшего средне-квадратического отклонения (НСКО) с помощью интерполирующей функции Q(x), адекватной непрерывной функции распределения освещённости в изображении объекта. Подобный алгоритм подробно рассмотрен, например, в работах [3,7].

На рисунке 3.7 приводится блок-схема, поясняющая логику работы виртуальной лабораторной установки – модели ABC, решающей задачу измерения координат малоразмерных (точечных) целей, выделенных на предыдущих этапах обработки изображений (см. раздел 3.1). В качестве рабочего алгоритма в модели используется алгоритм вычисления координат энергетического центра (ф.3.5).

Общий вид лицевой панели лабораторной установки приведен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Общий вид лицевой панели лабораторной установки «Измерение координат изображения точечной цели»

Элементы, помеченные на рисунке 3.8, имеют следующее назначение.

1 и 2 – мониторы для отображения полного изображения зоны наблюдения и увеличенного сегмента, содержащего изображение объекта, соответственно.

3 и 4 – осциллографы для отображения видеосигнала выбранной строки.

Примечание.

На мониторе 1 и осциллографе 3 воспроизводятся соответственно изображение и видеосигнал в исходном (аналоговом) виде (т.е. до квантования в узле АЦП). На мониторе 2 и осциллографе 4 воспроизводятся соответственно изображение и видеосигнал после процедур пороговой обработки и квантования в узле АЦП.

5 и 6 – графопостроители для отображения статических характеристик по горизонтальному (слева) и вертикальному (справа) направлениям перемещения.

7 – световые индикаторы, сигнализирующие об отсутствии сигнала от цели, т.е. о пропуске объекта при наличии значительных помех (или, например, в том случае, когда изображение точечного объекта попадает в зону нечувствительности между элементами ФПУ).

8 – световой индикатор готовности результата после завершения цикла построения статических характеристик.

9 – движок-указатель выбора строки, отображаемой на экранах осциллографов.

Остальные элементы служат для задания исходных параметров, условий эксперимента и отображения результатов моделирования в цифровой форме.

В качестве исходных параметров, предопределяющих условия эксперимента, используются следующие.

1. Исходные координаты изображения точечной цели X и Y, выраженные в числе пространственных периодов элементов ФПУ: 0 – 255.

2. Небольшие смещения изображения точечной цели ΔX , ΔY , задаваемые в ручном режиме (при настройке), с целью наблюдения на экранах монитора и осциллографа изменений формы видеосигнала в зависимости от расположения изображения объекта относительно фоточувствительных элементов ФПУ: 0 – 2,0 (целые или дробные числа).

3. Сигнал/шум – отношение пикового значения величины сигнала от объекта к среднеквадратическому значению флуктуации шумовой составляющей: 0 – 1000.

4. Фон/сигнал — отношение уровня фоновой составляющей к величине пикового значения сигнала от объекта.

5. *R*/*d* – относительный размер изображения точечной цели, определяемый как отношение условного радиуса кружка рассеяния

объектива (R) ABC к величине пространственного шага элементов ФПУ (d): 0,2 – 3,0 (целые или дробные числа).

6. Число разрядов АЦП (*N*): 1 – 16.

7. Смещение *X*, смещение *Y* – величины смещений координат изображения по горизонтали и вертикали соответственно при построении статической характеристики: 0 – 10,0 (целые или дробные числа).

8. Число реализаций в каждой точке статической характеристики: (1–1000).

Порядок выполнения работы

Перед началом практической части работы необходимо внимательно ознакомиться с описанием исследуемого алгоритма и структурой лабораторной установки, (см. выше). Рекомендуем также изучить перечень вопросов, приведенных в его конце, что позволит более целенаправленно выполнять вторую часть практической работы. При выполнении первого этапа работы рекомендуется делать соответствующие пометки в черновике, которые в дальнейшем будут полезны при подготовке к защите.

<u>Первый этап работы</u> – изучение структуры и возможностей установки целесообразно выполнять в следующем порядке.

1. Включите непрерывный цикл выполнения программы, нажав на кнопку циклического запуска, расположенную в верхней части экрана за пределами лицевой панели лабораторной установки (см. описание лабораторной работы 3.1, рисунок 3.5).

2. Установите величину отношения сигнал/шум не менее 50.

3. Установите относительный размер изображения точечной цели приблизительно равным 1 (0.9 < R/d < 1.1).

4. Установите разрядность АЦП не менее 8.

5. Для удобства наблюдения рекомендуется координаты изображения цели установить приблизительно в середину рабочей зоны, приблизительно задав координаты X = 130; Y = 130 (переключатели в нижней части монитора 1). Жёлтым цветом показан порог ограничения видеосигнала снизу перед его поступлением на вход АЦП.

6. Задайте в ручном режиме небольшие смещения изображения сначала по координате X ($\Delta X = 0,1; 0,2;....1,0$) с помощью переключателя, расположенного в нижней части монитора 2. Затем аналогичным образом по координате Y ($\Delta Y = 0,1; 0,2;....1,0$). Понаблюдайте, как при этом меняются осциллограммы, отображающие видеосигнал выбранной строки.

7. Последовательно уменьшая разрядность АЦП (вплоть до значения n = 1), наблюдайте за изменением сигналов, воспроизводимых на мониторе 2 и осциллографе 4.

8. Вновь установите значение разрядности не менее 8. Изменяя параметр R/d в диапазоне от 0,2 до 3,0, наблюдайте за изменением сигналов, воспроизводимых на мониторах 1 и 2, а также на осциллографах 3 и 4. 9. Уменьшите величину отношения сигнал/шум до значения, равного 5. Обратите внимание на происходящие изменения. Попробуйте добавить фоновую составляющую с помощью переключателя «фон/сигнал».

Назначения остальных элементов управления, расположенных на правой части лицевой панели, будет рассмотрено в процессе выполнения второго этапа работы.

<u>Второй этап работы</u> – получение ряда зависимостей в процессе статистического моделирования, которые можно использовать для обоснования требований к параметрам отдельных звеньев на этапе проектирования ABC.

А) Зависимость среднеквадратической погрешности при измерении координат изображения точечного объекта от отношения сигнал/шум

1. Установите значение разрядности n = 8 (9 или 10), величину R/d = 1 (0.9 или 1.1), величину отношения сигнал/шум $\mu = 5$.

2. Задайте величину смещения изображения по осям X и Y (с помощью переключателей, расположенных в нижней части правой половины панели управления) равными 0,1, что соответствует изменению координат изображения объекта при переходе от точки к точке статической характеристики на 0,1 пространственного шага элементов ФПУ. Задайте число реализаций при обработке каждой точки статической характеристики не менее 100.

3. Нажмите кнопку «ПУСК», расположенную в нижней части правой половины лицевой панели установки. Дождитесь завершения построения статических характеристик. Занесите в таблицу 3.4 (см. ниже) полученные в процессе моделирования значения среднеквадратических погрешностей σ_x и σ_y .

4. Последовательно изменяя величину отношения сигнал/шум U_c/σ_m в диапазоне от 5 до 1000, проведите серию статистических испытаний, заполняя соответствующие ячейки в таблице 3.4.

5. Уменьшите значение разрядности до значения n = 4 и повторите действия в соответствии с п.п. 2 - 4.

Таблица 3.4 – Зависимость среднеквадратической погрешности измерения от отношения сигнал/шум

μ	<i>n</i> = 8 (9 или 10)			<i>n</i> = 4		
	σ_x	σ_{y}	<i>N</i> _{проп.}	σ_x	σ_{y}	$N_{проп.}$
5						
10						
20						
30						
100						
300						
500						
1000						

Примечание.

Здесь и далее при определённом соотношении параметров (например, при малых отношениях сигнал/шум или малых значениях отношения R/d) возможны пропуски объектов в отдельных реализациях. В таких ситуациях загораются световые индикаторы 7 (рисунок 3.9). Зарегистрированное при этом число пропусков ($N_{проп.}$), также следует заносить в таблицу 3.4.

Б) Зависимость среднеквадратической погрешности измерения от относительных размеров пятна рассеяния

1. Установите значение разрядности n = 8 (9 или 10), величину R/d = 0,2, величину отношения сигнал/шум $\mu = 30$ (или 50).

2. Задайте величину смещения изображения по осям X и Y (с помощью переключателей, расположенных в нижней части правой половины панели управления) равными 0,1, а также число реализаций для каждой точки статической характеристики.

3. Выполните действия необходимые для заполнения таблицы 3.5.

Таблица 3.5 – Зависимость среднеквадратической погрешности измерения от относительных размеров пятна рассеяния

\mathbf{D}/\mathbf{d}	μ = 30 (или 50)		μ = 300 (или 500)			
$ \mathbf{K} / \mathbf{a} \mathbf{c}$	σ_{x}	σ_y	$N_{n \text{роп.}}$	σ_{x}	σ_{y}	<i>N</i> _{проп.}
0,2						
0,3						
0,5						
0,8						
1,0						
1,5						
2,0						
3,0						

В) Зависимость среднеквадратической погрешности измерения от числа разрядов двоичного кода

1. Установите значение разрядности n = 1, величину R/d = 1 (0,9 или 1,1), величину отношения сигнал/шум $\mu = 10$.

2. Задайте величину смещения изображения по осям X и Y (с помощью переключателей, расположенных в нижней части правой половины панели управления) равными 0,1

3. Выполните действия необходимые для заполнения таблицы 3.6.

<u>Третий этап работы</u> предполагает проведение дополнительных исследований по усмотрению самого студента, с целью выявления дополнительных закономерностей помогающих ответить на вопросы, приведенные в конце описания данной лабораторной работы.

Таблица 3.6 – За	ависимость среднеква	дратической погрешности
измерения от числа ј	разрядов двоичного к	ода

п	$\mu = 10$			$\mu = 100$		
	$\sigma_{\rm x}$	σ_{y}	<i>N</i> _{проп.}	σ	$\sigma_{\rm y}$	<i>N</i> _{проп.}
1						
2						
16						

В отчёте по лабораторной работе все полученные зависимости помимо таблиц следует оформить также в виде соответствующих графиков. Общие требования к отчётам по выполненным работам изложены в начале раздела 3 (общие положения), в приложениях даны также примеры правильного и неправильного оформления графических зависимостей, полученных в ходе статистического эксперимента.

Контрольные вопросы

1. Объясните характер полученных зависимостей.

2. Как влияет на погрешность измерения квантование сигнала в блоке АЦП при малых и больших отношениях сигнал/шум?

3. Из каких соображений (с учётом полученных зависимостей) следует выбирать достаточную разрядность АЦП при проектировании ABC?

4. Объясните характер зависимости погрешности измерения от относительного размера изображения объекта.

5. Поясните исследуемый алгоритм определения координат энергетического центра изображения малоразмерного (точечного) объекта. Укажите его достоинства и недостатки.

6. При каких положениях изображения объекта относительно расположения фоточувствительных элементов ФПУ вероятнее всего пропуски объектов и как это объяснить?

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

3.3 Исследование алгоритма обнаружения подвижных объектов

(статистический эксперимент на основе виртуальной модели)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение алгоритма, основанного на процедурах формирования и обработки межкадрового разностного сигнала (МРС), позволяющего решать задачи обнаружения подвижных объектов на фоне постилающей поверхности, представляющей собой случайное поле яркости.

Описание исследуемого алгоритма и лабораторной установки

Рассмотренный выше алгоритм обнаружения объектов на основе *внутрикадровой* обработки сигнала (лабораторная работа 3.1) может быть достаточно эффективен, в том случае, когда размеры выделяемых объектов (целей) значительно меньше отдельных деталей фона, обладающих постоянной или медленно изменяющейся яркостью. Если размеры выделяемых объектов соизмеримы с размерами окружаемых «фоновых» объектов, более эффективными могут оказаться алгоритмы *межкадровой* обработки, позволяющие в качестве идентификационного признака использовать различие динамики относительного движения выделяемых и «фоновых» объектов. Ниже рассмотрим в качестве примера случай обнаружения подвижных объектов на неподвижном фоне.

В общем виде процесс автоматического выделения информации о подвижных объектах на основе алгоритма межкадровой обработки предполагает анализ не одного, а нескольких (как минимум двух) изображений, полученных в различные моменты времени или, точнее, соответствующих им сигналов. В результате такого анализа может осуществляться не только обнаружение объектов, но и определение некоторых их информационных параметров: габариты, координаты, скорость и направление перемещения в пространстве. Основная трудность, возникающая при этом, обычно связана с тем, что подвижные объекты часто менее контрастны, чем неподвижные предметы, находящиеся в поле зрения ABC, и, следовательно, не представляется возможным посредством простой амплитудной селекции выделить полезный сигнал от подвижной цели на фоне мешающих фоновых сигналов. Поэтому процесс выделения информации о подвижных объектах распадается на два этапа:

1) формирование межкадрового разностного сигнала (MPC), в котором сосредоточена вся информация об изменениях, происходящих в изображении, и в то же время отсутствуют (или значительно подавлены) мешающие детали окружающего фона, соответствующие неподвижным объектам, находящимся в кадре;



Рисунок 3.9 – *А* – подвижный объект; *B*₁, ... *B*₅ – неподвижные предметы, находящиеся в зоне наблюдения

1) оптимальная обработка MPC с целью выделения необходимой информации с максимальной достоверностью.

Пусть, например, на некотором неоднородном фоне, содержащем неподвижные предметы, перемещается объект А (рисунок 3.9).

За время, равное периоду следования сравниваемых кадров $\Delta T_{\rm K}$, объект сместится на некоторое расстояние Δl . В общем случае $\Delta T_{\rm K} = k T_{\rm K}$, где $k = 1, 2, 3, \ldots$ целые числа натурального ряда; $T_{\rm K}$ – период следования смежных кадров. Конкретное значение k выбирается с учётом динамики перемещения объекта, исходя из оптимальных условий формирования MPC.

На рисунке 3.10 показаны осциллограммы видеосигналов, соответствующих выделенной строке «*ab*» на выходе телевизионного датчика, в двух смежных кадрах. Номера этих кадров условно обозначены индексами «*n*» и «*n*+*k*».



Рисунок 3.10 – Осциллограммы сигналов, соответствующих строке «*ab*» в двух смежных кадрах (*a*) и (б) соответственно; межкадровый разностный сигнал, полученный от строки «*ab*» (в)

Как видно из рисунка 3.10, разностный сигнал u_{ab} (р.с.), полученный при сравнении сигналов, соответствующих строке «*ab*» *n*-го и (*n*+*k*)-го кадров, представляет собой биполярные импульсы. Длительность биполярных импульсов τ связана с горизонтальной составляющей v_x скорости движения изображения объекта; интервал времени между импульсами ΔT_x – с горизонтальным размером объекта; интервал времени, отсчитываемый от момента начала прямого хода строчной развертки до появления положительного импульса T_x – с положением объекта в пространстве и т.д.

Важно отметить, что между информационными параметрами объекта (координаты, габариты, скорость и направление перемещения объекта) и

параметрами MPC, строго говоря, существует лишь вероятностная связь. Точная функциональная связь отсутствует, так как во входном сигнале всегда имеются помехи, носящие случайный характер. Поэтому в работе ABC, как и в работе любого оптико-электронной системы, всегда возможны ошибки. При решении задачи обнаружения подвижных объектов могут иметь место ошибки двух родов.

Ошибка первого рода, называемая ложной тревогой, заключается в принятии автоматическим устройством ошибочного решения о наличии сигнала об изменениях в содержании кадра, когда такой сигнал отсутствует, вследствие превышения в какой-либо момент времени напряжением шума $u_{\rm m}(t)$ порогового уровня ε (или Π_0)

$$|u_{\rm III}(t)| \ge \varepsilon \tag{3.8}$$

или после квантования в узле АЦП

$$\left| Z[E_{i,j(\mathbf{m})}] \right| \ge \Pi_0. \tag{3.8a}$$

Здесь $|Z[E_{i,j(m)}]|$ – абсолютное значение шумовой составляющей в межкадровом разностном сигнале, представленном в цифровой форме.

Ошибка второго рода – пропуск сигнала. Она возникает в том случае, если в результате взаимодействия сигнала от наблюдаемого объекта с шумом на входе порогового устройства суммарное напряжение окажется меньше напряжения установленного порога

$$\left| u_{\mathrm{m}}(t_i) + u_{\mathrm{p.c.}}(t_i) \right| < \varepsilon, \tag{3.9}$$

$$|Z[E_{i,j(\mathbf{m})}] + Z[E_{i,j}]| \le \Pi_0.$$
 (3.9a)

При построении ABC возможен различный подход к решению задачи снижения вероятности ошибок обнаружения.

Если ошибки первого и второго рода являются в равной степени нежелательными, и необходимо добиться минимума полной вероятности ошибки, то величина порога ε должна выбираться из компромиссных соображений, так как для уменьшения вероятности ложной тревоги $P_{\rm лт.}$ необходимо увеличивать порог ограничения, а для уменьшения вероятности пропуска сигнала $P_{\rm проп}$, наоборот. Такой подход называется критерием «идеального наблюдателя» [4].

Во многих случаях при решении задачи обнаружения ложная тревога может являться наиболее опасной ошибкой, связанной с весьма нежелательными последствиями. Тогда более предпочтительным является иной подход, известный под названием критерия Неймана-Пирсона [4]. Он заключается в том, что вероятность ложной тревоги заранее задана, а задача разработчика сводится к принятию мер, позволяющих уменьшить вероятность пропуска сигнала.

Таким образом, на этапе обработки MPC задача обнаружения подвижного объекта в зоне наблюдения сводится к принятию автоматическим устройством решения: присутствует ли в сигнале $Z'[E_{i,i}]$,

52

поступающем для обработки, признаки, свидетельствующие о наличии подвижного объекта в зоне наблюдения, или таких признаков нет.

В общем случае $Z'[E_{i,j}]$ представляет собой смесь полезного сигнала и шума $Z[E_{i,j(m)}] + Z[E_{i,j}]$. Формальным признаком, позволяющем судить о присутствии подвижного объекта в зоне наблюдения, является превышение значения сигнала $Z'[E_{i,j}]$ (по абсолютной величине) заданного порога. Выбор порога ограничения є (или Π_0) определяется соображениями эффективного подавления помехи, присутствующей в разностном сигнале. Порог ограничения должен быть выбран настолько большим, чтобы вероятность ошибочного обнаружения подвижного объекта (вероятность ложной тревоги) была бы не выше допустимой. Если к тому же шум на входе порогового устройства имеет нормальное распределение, то вероятность ложной тревоги при двухстороннем пороге ограничения ±є может быть рассчитана по формуле

$$P_{\rm J.T.} = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\varepsilon}^{+\varepsilon} e^{-\frac{u^2}{2\sigma^2}} du, \qquad (3.10)$$

где: σ – среднеквадратическое значение шумовой составляющей в МРС. Учитывая симметричность функции, описывающей закон нормального распределения, и производя замену $u/\sigma = x$, формулу (3.10) можно записать иначе

$$P_{\text{n.t.}} = 1 - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{\varepsilon/\sigma} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = 1 - 2 \cdot \Phi[\frac{\varepsilon}{\sigma}].$$
(3.10a)

Условная вероятность правильного обнаружения (т.е. не пропуска) сигнала от объекта

$$P_{\text{прав.}} = 2\Phi[\mu_{(\text{p.c.})} - \varepsilon/\sigma], \qquad (3.11)$$

где µ_(р.с.) – отношение сигнал/шум в межкадровом разностном сигнале.

В выражениях (3.10a) и (3.11) $\Phi[\nu] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{\nu} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ – интеграл

вероятностей.

Важно отметить, что отношение сигнал/шум в межкадровом разностном сигнале $\mu_{(p.c.)}$ всегда меньше отношения сигнал/шум μ в исходных сигналах сравниваемых кадров.

Примем следующие обозначения:

v – скорость перемещения изображения объекта на фоточувствительной площадке ФПУ;

d – пространственный период элементов ФПУ;

 $T_{\rm H}$ – время накопления сигнала в ФПУ (КМОП, ФПЗС и др.);

 T_{κ} – период смены кадров;

 $\Delta T_{\kappa} = k \cdot T_{\kappa}$ – интервал времени между сравниваемыми кадрами, где k = 1, 2, 3, ... – целые числа натурального ряда.

Рассмотрим вначале случай относительно медленных перемещений, когда за время накопления изображение подвижного объекта успевает переместиться на расстояние значительно меньше одного пространственного периода элементов: $T_{\rm H} \cdot v \ll d$. Чтобы зарегистрировать максимально возможные изменения в кадре, связанные с перемещением наблюдаемого объекта, необходимо выполнение условия $k \ge 1$ (т.е. $\Delta T_{\kappa} \ge T_{\kappa}$). В этом случае шумовые составляющие в каждом из сравниваемых кадров можно рассматривать как случайные, между собой не коррелированные процессы. Тогда отношение сигнал/шум в разностном сигнале $\mu_{(p,c,l)}$ будет примерно в $\sqrt{2}$ раз меньше отношения сигнал/шум в сравниваемых кадрах (3.12)

 $\mu_{(p.c.)} \approx \mu/\sqrt{2}.$

В случае быстрых перемещений изображения наблюдаемого объекта, когда $T_{\rm H} \cdot v >> d$ фактическое время накопления $T'_{\rm H}$, определяющее величину сигнала от подвижного объекта, уменьшается пропорционально скорости $T'_{\rm H} = d/v$. Тогда величину $T_{\rm H} / T'_{\rm H} = T_{\rm H} \cdot v/d$ можно рассматривать как коэффициент дополнительного уменьшения отношения сигнал/шум при быстрых перемещениях объекта. Таким образом, фактическое отношение сигнал/шум в разностном сигнале при быстрых перемещениях можно оценивать по приближённой формуле

 $\mu_{(p,c_{-})} \approx \mu/(\sqrt{2} \cdot T_{\rm H} \cdot v/d).$ (3.13)



Рисунок 3.11 – Изображения, соответствующие МРС и осциллограммы выделенной строки при относительно медленных (а) и относительно быстрых (б) перемещениях объекта в зоне наблюдения

На рисунке 3.11 приведены примеры, иллюстрирующие процесс формирования МРС при относительно медленных и относительно быстрых перемещениях объекта в зоне наблюдения при одинаковых отношениях сигнал/шум ($\mu \approx 10$) в исходных видеосигналах.

Обычно изменения, происходящие в кадре в результате перемещения объектов, находящийся в поле зрения телевизионной системы, занимают площадь как минимум несколько раз большую, чем площадь одного элемента изображения. Поэтому на этапе обработки МРС представляется возможным использовать алгоритм *накопления сигналов по площади области изменений*, позволяющий значительно повысить чувствительность ABC к обнаружению малоконтрастных подвижных объектов при наличии значительных шумов во входном сигнале. Указанный алгоритм заключается в следующем.

Площадь кадра разбивается на большое число дискретных участков, каждый из которых анализируется отдельно и является элементарной зоной накопления. Зона накопления представляет собой прямоугольный участок кадра, состоящий из $m \times n$ элементов (рисунок 3.12).

Размеры дискретной области накопления нужно выбирать с таким расчетом, чтобы при любых изменениях в кадре, вызванных перемещением объектов, хотя бы одна из дискретных областей накопления была бы полностью расположена в области изменений (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – К пояснению выбора размеров дискретной области накопления

При интенсивных шумах, присутствующих в MPC на входе порогового устройства, и, следовательно, при высокой плотности потока ложных выбросов на выходе порогового устройства, могут иметь место ошибочные обнаружения изменений в кадре (ложные тревоги) в любой из элементарных зон накопления или в нескольких элементарных зонах. Обозначим через $P_{\pi.T.}(k)$ вероятность ложного обнаружения сигнала об изменениях в *k*-той зоне накопления. Тогда вероятность ложной тревоги при анализе сигнала целого кадра можно записать в следующем виде:

$$P_{_{\pi.T.}}(T_{_{\rm K}}) = 1 - \prod_{k=1}^{N} [1 - P_{_{\pi.T.}}(k)], \qquad (3.14)$$

где *N* – число зон накопления в кадре, равное отношению полного числа элементов изображения к числу элементов в элементарной зоне накопления

$$N = K/(m \cdot n).$$
 (3.15)

Учитывая, что ложные обнаружения в любой из зон равновероятны, выражение (3.14) можно записать иначе:

$$P_{_{\Pi,\Pi}}(T_k) = 1 - \left[1 - P_{_{\Pi\Pi}}(k)\right]^N.$$
(3.16)

Величина $P_{\pi\pi}(k)$ обычно настолько мала ($P_{\pi\pi}(k) << 1$), что выражение можно значительно упростить, ограничившись всего одним членом полинома:

$$P_{_{\Pi,\Pi}}(T_k) \approx N \cdot P_{_{\Pi,\Pi}}(k). \tag{3.17}$$

Решение об обнаружении подвижного объекта в k-той зоне накопления принимается в том случае, если число элементов (в пределах данной зоны накопления), в которых межкадровый разностный сигнал $Z'[E_{i,j}]$ (по абсолютной величине) превышает значение заданного порога больше или равно p при общем числе $q = m \times n$ элементов ($p \le q$). Иначе говоря, если выполняется условие:

$$\left| Z[E_{i,j(m)}] + Z[E_{i,j}] \right| \ge \Pi_0$$
 (3.18)

в не меньшем, чем p, числе элементов в k-той зоны накопления. При этом вероятность ложной тревоги в k-той зоне накопления можно вычислить по формуле:

$$P_{_{\Pi,\mathrm{T}.}}(k) = \sum_{l=p}^{q} C_{q}^{l} [P_{_{\Pi,\mathrm{T}.}}]^{l} \cdot [1 - P_{_{\Pi,\mathrm{T}.}}]^{q-l}, \qquad (3.19)$$

где: $P_{n.т.}$ – вероятность выполнения события, описываемого условием (3.8) или (3.8а), т.е. вероятность регистрации выброса шума за установленный порог ограничения, которая может быть рассчитана по формуле (3.10 а); $q = m \times n$ – общее число элементов в зоне накопления (рисунок 3.12); C_a^l – число сочетаний из q по l.

Вероятность ошибки второго рода – вероятность пропуска объекта при использовании рассмотренного алгоритма накопления

$$P_{\text{проп.}}^{(\text{H})} = 1 - P_{\text{прав.}}^{(\text{H})} = \sum_{l=q-p+1}^{q} C_{q}^{l} [P_{\text{проп.}}]^{l} \cdot [1 - P_{\text{проп.}}]^{q-l}, \qquad (3.20)$$

где $P_{\text{проп.}}$ – вероятность выполнения события, описываемого условиями (3.9) (или 3.9a), т.е. условная вероятность пропуска сигнала в одном из элементов зоны накопления, $P_{\text{проп}} = 1 - P_{\text{прав}}$.

В свою очередь *Р*_{прав} может быть рассчитана как. формуле (3.11).

Разумеется, что когда размеры подвижных объектов в кадре соизмеримы с размерами одного элемента изображения, применять методы накопления по площади области изменений не удается, и тогда

единственной возможностью снижения вероятности ложной тревоги при обнаружении является использование методов оптимальной фильтрации, при которой достигается максимальное отношение сигнал/шум на входе порогового устройства.



Рисунок 3.13 – Логика работы модели при условии наличия объекта в зоне наблюдения ABC



Рисунок 3.14 – Логика работы модели при условии отсутствия объекта в зоне наблюдения АНС

На рисунках 3.13 и 3.14 приводится блок-схемы, поясняющие логику работы виртуальной лабораторной установки – модели ABC, решающей задачу обнаружения подвижного объекта на фоне постилающей поверхности, представляющей собой случайное поле яркости. Рисунок 3.13 поясняет логику работы при условии наличия, а рисунок 3.14 – при условии отсутствия объекта в зоне наблюдения ABC.

На рисунке 3.15 показан общий вид лицевой панели лабораторной установки.



Рисунок 3.15 – Общий вид лицевой панели лабораторной установки «Обнаружение подвижных объектов»

Элементы, помеченные на рисунке 3.15, имеют следующее назначение.

1 – вспомогательный монитор для отображения начальных координат объекта, задаваемых с помощью движков-регуляторов, прилегающих к монитору; на экране этого монитора также в виде направленных отрезков отображаются горизонтальная и вертикальная проекции скорости перемещения изображения объекта относительно неподвижного фона. 2 и 3 – мониторы, отображающие изображения предыдущего и последующего сравниваемых кадров при формировании межкадрового разностного сигнала (MPC) в процессе перемещения объекта.

4 – монитор, отображающий изображение, соответствующее меж-кадровому разностному сигналу.

5 и 6 – осциллографы, служащие для воспроизведения выбранной строки предыдущего и последующего сравниваемых кадров.

7 – осциллограф, предназначенный для воспроизведения выбранной строки в межкадровом разностном сигнале.

8 – световой индикатор, напоминающий о фактическом отсутствии объекта в зоне наблюдения (при проведении статистического эксперимента по определению относительного числа ложных обнаружений объекта).

9 – световые индикаторы, сигнализирующие о факте пропуска сигнала от объекта в текущем кадре или о ложном обнаружении объекта (т.е. ложной тревоги) в случае его отсутствия в зоне наблюдения.

10 – кнопки переключения на следующий (или предыдущий) этап функционирования лабораторной установки.

11 – кнопка, используемая для продолжения эксперимента путем добавления числа реализаций в случае достижения движущимся изображением объекта границ поля зрения ABC; при этом осуществляется переход на второй этап («наблюдение»), генерируется следующий фрагмент поля зрения AHC (с новым фрагментом случайного поля фона), и эксперимент продолжается при ранее установленных исходных данных.

12 – движок-регулятор выбора строки, отображаемой на мониторах 2 – 4 (выбранная строка подсвечивается).

Остальные элементы служат для задания исходных параметров и отображения результатов моделирования в цифровой форме.

В рассматриваемой модели в качестве варьируемых исходных параметров, предопределяющих условия эксперимента, используются следующие.

1. Исходные координаты изображения объекта задаются путём перемещения движков в верхней части лицевой панели (модуль «Установки»). Исходные координаты (*X*, *Y*) выражаются числом пространственных периодов фоточувствительных элементов, отделяющих центр изображения объекта от точки начала координат, расположенной в левом нижнем углу рабочей поверхности ФПУ (0 – 511).

2. Относительная скорость перемещения объекта задаётся горизонтальной и вертикальной составляющими вектора скорости $v_x = L_x/(d_x \cdot T_\kappa); v_y = L_y/(d_y \cdot T_\kappa): 0 - 10,0$ (целые и дробные числа). Здесь L_x , L_y – величины перемещений изображения объекта на фоточувствительной поверхности многоэлементного ФПУ (КМОП, ФПЗС или др.) по горизонтали или вертикали соответственно; d_x , d_y – пространственный шаг элементов ФПУ по горизонтали или вертикали соответствен; *T*_к – период следования кадров.

Примечание.

Фактически v_x и v_y соответствуют величинам перемещения изображения объекта в плоскости анализа изображения за время смены кадров, выражаемым числом пространственных периодов элементов ФПУ.

3. Максимальный (минимальный) относительный уровень фоновой составляющей $U_{f max} / U_{max}$ ($U_{f min} / U_{max}$): 0 – 1,0. Здесь $U_{f max}$ и $U_{f min}$ – максимальный и минимальный уровни сигнала от фоновой составляющей соответственно; U_{max} – максимальный уровень сигнала, соответствующий верхнему уровню динамического диапазона ФПУ.

4. Относительное значение интервала пространственной корреляции фоновой составляющей (по горизонтали и вертикали) $\tau_{x,y}/d_{x,y}$: 0 – 8.

5. Относительный уровень сигнала от объекта $U_{s max} / U_{max} : 0 - 1, 0.$ Здесь $U_{s max}$ – максимальное (пиковое) значение сигнала от наблюдаемого объекта.

6. Относительные размеры изображения объекта квадратной формы $D_{x,y}/d_{x,y}$: 0 – 8. Здесь $D_{x,y}$ – размер стороны квадрата, моделирующего изображение объекта.

7. Уровень насыщения $N_{max \ \Phi\Pi Y}$ – максимальное число зарядов, накапливаемых в фоточувствительных ячейках $\Phi\Pi Y$, близкое к насыщению, при котором ещё сохраняется линейность характеристики накопления зарядов: $10^3 - 10^6$. $N_{max \ \Phi\Pi Y}$ фактически определяет верхнюю границу динамического диапазона $\Phi\Pi Y$.

8. Уровень внутреннего шума ФПУ $N_{\sigma \ \rm m \ \Phi \Pi \rm y}$ – среднеквадратическое число «шумовых» зарядов, учитывающее все виды флуктуаций зарядов, характеризующих шум ФПУ: 0 – 10³. $N_{\sigma \ \rm m \ \Phi \Pi \rm y}$ фактически определяет нижнюю границу динамического диапазона ФПУ.

9. Относительный порог $U_{\Pi}/U_{\sigma \ III}$ – отношение уровня порогового напряжения к среднеквадратическому уровню эквивалентного шумового напряжения (учитывающего кроме внутреннего шума ФПУ также «фотонный шум» от фоновой и сигнальной составляющих): 0 – 10,0 (целые или дробные числа).

10. Параметр решающего правила Р: 1 – 9.

Примечание.

Решающее правило «P из 9-ти» используется при принятии решения об обнаружении объекта. Положительное решение о наличии объекта в зоне наблюдения принимается, если превышения порогового уровня U_{Π} абсолютным значением межкадрового разностного сигнала происходит не менее чем в P смежных элементах сегмента размером 3×3 элемента. 11. Относительный временной интервал $\Delta T/T_{\kappa}$: 1 – 10 (целые числа). Здесь ΔT – интервал времени между сравниваемыми кадрами при формировании межкадрового разностного сигнала; T_{κ} – период следования кадров.

Более подробно алгоритм обнаружения подвижного объекта, включающий решающее правило «*P* из 9-ти» поясняет структурная схема на рисунке 3.16.



Рисунок 3.16 – Алгоритм обнаружения подвижного объекта, включающий решающее правило «*P* из 9-ти»

Порядок выполнения работы

Перед началом практической части работы необходимо внимательно ознакомиться с описанием исследуемого алгоритма и структурой лабораторной установки, (см. выше).

<u>Первый этап работы</u> – изучение структуры и возможностей установки целесообразно выполнять в следующем порядке.

1. Включите непрерывный цикл выполнения программы, нажав на кнопку циклического запуска, расположенную в верхней части экрана за пределами лицевой панели лабораторной установки (см. описание лабораторной работы 3.1, рисунок 3.5).

2. Задайте следующие значения исходных параметров, предопределяющих условия моделирования:

– граничные значения, определяющие диапазон изменения относительного уровня фоновой составляющей $U_{fmax}/U_{max} = 0.9$; $U_{fmin}/U_{max} = 0.1$;

– относительная величина сигнала от подвижного объекта в зоне наблюдения $U_{s max} / U_{max} = 0,6$ (соответствует положительному контрасту изображения объекта на среднем уровне фоновой составляющей);

– максимальное число зарядов, соответствующих уровню насыщения накопительных ячеек ФПУ $N_{max \ bmy} = 10000;$

– эквивалентное число «шумовых» зарядов в ячейках ФПУ $N_{\sigma_{\rm III}\phi_{\rm III}} = 100$ (отношение $N_{max \phi_{\rm III}}/N_{\sigma_{\rm III}\phi_{\rm III}}$ определяет динамический диапазон ФПУ);

– относительная скорость перемещения объекта по горизонтали и вертикали $L_x/(d_x \cdot T_\kappa) = L_y/(d_y \cdot T_\kappa) = 0,9;$

– интервал пространственной корреляции фоновой составляющей $\tau_{x,y}/d_{x,y} = 8;$

– относительные размеры изображения объекта $D_{x,y}/d_{x,y}=3$;

– величина относительного порога обнаружения $U_n / U_{\sigma m} = 3,7;$

– параметр P = 3 (предопределяющий решающее правило «P из 9», см. рисунок 3.16);

– относительный временной интервал между сравниваемыми кадрами при формировании MPC $\Delta T / T_{\kappa} = 1$;

– исходные координаты объекта, установленные по умолчанию в левом нижнем углу зоны наблюдения, вначале целесообразно оставить без изменений, в дальнейшем, при необходимости, их можно изменять с помощью горизонтального и вертикального движков, расположенных рядом со вспомогательным монитором первой (верхней) секции «Установка» панели управления.

3. Нажмите кнопку [2], расположенную справа.

4. Спустя некоторое время, необходимое для моделирования реализации двумерного случайного поля (имитирующего случайное поле яркости подстилающего фона в плоскости объектов), наблюдайте промежуточные результаты на мониторах второй (средней) секции. Левый монитор отображает изображение предшествующего кадра, средний – по-

следующего кадра, а правый изображение, соответствующее межкадровому разностному сигналу (MPC).

5. Когда изображение объекта достигнет приблизительно средины зоны наблюдения, остановите процесс моделирования динамики перемещения и формирования MPC, нажав на кнопку [3↓], расположенную справа.

6. После загорания зелёного индикатора в нижней секции «Результаты» на экранах осциллографов отображаются видеосигналы выбранной строки, соответствующие изображениям, воспроизводимым на мониторах. Переместив в нужное положение движок выбора строки, расположенный с правой стороны правого монитора, обратите внимание, как выглядят осциллограммы видеосигналов сравниваемых кадров и MPC.

Примечание

Кнопка [2↑], расположенная с левой стороны нижней секции служит для добавления числа реализаций, участвующих в статистическом эксперименте, при сохранении ранее установленных исходных параметрах. Она удобна, например, в случаях относительно быстрых перемещений изображения объекта, когда объект достигает границы зоны наблюдения при недостаточном числе реализаций.

7. Нажмите кнопку [1↑] (когда горит индикатор нижней секции «Результаты»). В верхней секции «Установка» уменьшите величину относительного порога ограничения до значения 1,7 или 2,0. Нажмите кнопку [2↓] и наблюдайте за ходом эксперимента. Обратите внимание на возможные появления сигналов о пропуске объекта наблюдения (так называемая ошибка второго рода в задачах обнаружения).

8. Когда вновь загорится зелёный индикатор третьей (нижней) секции нажмите кнопку [1 \uparrow] и, не изменяя других параметров, задайте значение относительного размера изображения объекта $D_{x,y}/d_{x,y} = 0$ (это соответствует отсутствию объекта в зоне наблюдения). Повторите действия, рекомендованные п.п. 3 и 4. Обратите внимание на возможные появления сигналов о ложных обнаружениях объекта в зоне наблюдения (так называемая ошибка первого рода в задачах обнаружения).

Примечание.

Задание относительной величины сигнала от объекта $U_{smax}/U_{max}=0$ при $D_{x,y}/d_{x,y} \neq 0$ не устраняет возможность реального обнаружения объекта на светлом участке подстилающего фона.

После выполнения рекомендованных выше шагов можно некоторое время продолжить изучение установки, действуя по собственному усмотрению и руководствуясь определённой логикой.

<u>Второй этап работы</u> – получение ряда зависимостей в процессе статистического моделирования по методу «Монте-Карло», которые можно использовать для оптимизации параметров решающего правила и обоснования требований к параметрам отдельных звеньев на этапе проектирования ABC.

А) Зависимость числа ложных обнаружений $N_{n.m.}$ от величины относительного порога $U_n/U_{\sigma u.}$

Используя навыки управления лабораторной установкой, полученные в процессе выполнения первого этапа, проведите серию статистических испытаний и заполните таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Зависимость числа ложных обнаружений $N_{n.r.}$ от величины относительного порога $U_n/U_{\sigma_{III}}$.

Относительный	$N_{\rm л.т.}$ (%) (процент «ложных тревог»)			
порог $U_{ m \pi}/U_{ m \sigma m}$	P = 1	P=2	<i>P</i> = 3	<i>P</i> = 4
1,5				
2,0				
6,0				

Испытания проведите при следующих исходных данных

 $D_{x,y} / d_{x,y} = 0; U_{f max} / U_{max} = 0,9; U_{f min} / U_{max} = 0,8; \tau_{x,y} / d_{x,y} = 8;$ $\Delta T / T_{\kappa} = 1; N_{max \Phi \Pi Y} = 10^4; N_{\sigma \Pi I} \Phi_{\Pi Y} = 10^2$

(число реализаций при каждом испытании не менее 100)

Б) Зависимость числа пропусков от относительной скорости перемещения объекта

В результате выполнения соответствующей серии статистических испытаний заполните таблицы 3.8 и 3.9.

Испытания проводите при следующих исходных данных:

 $U_{fmax} / U_{max} = 0.9; U_{fmin} / U_{max} = 0.8; U_{smax} / U_{max} = 0.92; \tau_{x,y} / d_{x,y} = 8;$

 $D_{x,y}/d_{x,y} = 4$; $\Delta T/T_{\kappa} = 1$; $N_{\sigma III} \Phi_{\Pi Y} = 10^2$; P = 3; $U_{\Pi}/U_{\sigma III} = 3,7$;

(число реализаций при каждом испытании не менее 100).

Заметим, что при относительно быстрых перемещениях объекта для получения нужного числа реализаций следует пользоваться кнопкой [2[†]] (см. выше примечание п. 6).

Таблица 3.8 – Зависимость числа пропусков от относительной скорости при относительно медленных перемещениях объекта.

	· *	<i>N</i> _{проп.} (%) (процент пропусков)			
$V_x = V_y$	у	$N_{\text{max} \Phi \Pi Y} = 3 \times 10^3$	$N_{\max \Phi \Pi \Sigma}$	$y = 10^4$	$N_{\max \Phi \Pi Y} = 3 \times 10^4$
0,1					
0,9					

Здесь и далее: $V_x^* = V_y^* = L_x / (d_x \times T_\kappa) = L_y / (d_y \times T_\kappa).$

Таблица 3.9 – Зависимость числа пропусков от относительной скорости при относительно быстрых перемещениях объекта.

U * U *	N _{проп.} (%) (процент пропусков)				
$V_x \equiv V_y$	$N_{\text{max} \Phi \Pi \text{y}} = 3 \times 10^3$	$N_{\max \Phi \Pi Y} = 10^4$	$N_{\max \Phi \Pi Y} = 3 \times 10^4$		
1,0					
2,0					
8,0					

В) Зависимость числа пропусков при медленных перемещениях объекта от величины относительного временного интервала между сравниваемыми кадрами $\Delta T / T_{\kappa}$

Проводите серию статистических испытаний и заполните таблицу 3.10 при следующих исходных данных:

 $U_{fmax} / U_{max} = 0.9; U_{fmin} / U_{max} = 0.8; U_{smax} / U_{max} = 0.92; \tau_{x,y} / d_{x,y} = 8;$ $D_{x,y} / d_{x,y} = 4; N_{max \Phi \Pi Y} = 10^4; N_{\sigma III \Phi \Pi Y} = 10^2; U_{\Pi} / U_{\sigma III} = 3.7;$ $V_x^* = V_y^* = 0.1;$

(число реализаций при каждом испытании не менее 100).

Таблица 3.10 – Зависимость числа пропусков от величины относительного временного интервала $\Delta T/T_{\kappa}$

	<i>N</i> _{проп.} (%) (процент пропусков)				
$\Delta I / I_{\rm K}$	<i>P</i> = 3	P = 4	<i>P</i> = 5		
1,0					
2,0					
10,0					

<u>Третий этап работы</u> предполагает проведение дополнительных исследований по усмотрению самого студента, с целью получения дополнительной информации и выявления закономерностей, позволяющих лучше понять и уметь объяснить результаты, полученные при выполнении второго этапа работы, а также помогающих ответить на вопросы, приведенные ниже.

В отчёте по лабораторной работе полученные зависимости помимо таблиц следует оформить также в виде соответствующих графиков. Общие требования к отчётам по выполненным работам изложены в начале раздела 3 (общие положения), в приложениях даны также примеры правильного и неправильного оформления графических зависимостей, полученных в ходе статистического эксперимента.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях в задачах обнаружения объектов ABC целесообразно использовать алгоритмы, включающие формирование MPC? 2. Как зависит от скорости перемещения объекта реальная величина отношения сигнал/шум в МРС?

3. Как объяснить снижение «обнаружительной способности» ABC при очень малых и при больших скоростях перемещения объектов?

4. Изменяя значение какого из параметров исследуемого алгоритма, можно при данном уровне шумов в исходном видеосигнале повысить «обнаружительную способность» АВС в случае очень медленных перемещений объектов в зоне наблюдения?

5. В чём заключается дополнительное решающее правило «*P* из 9-ти» в составе исследуемого алгоритма?

6. Как связана эффективность применения дополнительного решающего правила «*P* из 9-ти» с относительными размерами объектов, а также с относительными скоростями их перемещения в зоне наблюдения?

7. Как влияет значение параметра «*P*» на вероятности регистрации ошибок первого и второго рода в задаче обнаружения объектов ABC? Как это объяснить?

8. Чем определяется реальный динамический диапазон работы ФПУ?

9. Каким образом «обнаружительная способность» ABC связана величиной реального динамического диапазона ФПУ?

10. Объясните характер всех полученных вами зависимостей.

3.4 Исследование алгоритмов распознавания деталей на основе системы геометрических признаков

(статистический эксперимент на основе физической модели автоматизированной видеоинформационной системы технического зрения)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение принципов функционирования обучаемой автоматизированной видеоинформационной системы технического зрения (СТЗ), использующей геометрические признаки объектов наблюдения.

Краткие сведения об алгоритме обработки изображений в СТЗ

Предварительное выделение геометрических признаков изображений наблюдаемых объектов позволяет подойти к последующему этапу распознавания (или идентификации) объектов. Путем выделения геометрических признаков удается создать сжатое описание объекта. После этого в качестве непосредственных элементов сравнения могут использоваться не отдельные элементы, а обобщённые признаки изображений объекта и эталона. При выборе наиболее информативных признаков необходимо учитывать как свойства самих объектов, так и возможности видео датчиков – формирователей сигналов изображений 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 [5]:

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

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:

$$A = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} S_{i,j}; \qquad S_{i,j} = \begin{cases} 1, (i,j) \in L \\ 0, (i,j) \notin L \end{cases}, \qquad (3.21)$$

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

Периметр изображения объекта вычисляется после того, как на предварительном этапе выделены границы объекта [5]

$$P = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} K_{i,j}; \ K_{i,j} = \begin{cases} 1, (i,j) \in a_{\text{rp.}} \\ 0, (i,j) \notin a_{\text{rp.}} \end{cases},$$
(3.31)

где *а*_{гр.} – множество граничных (контурных) точек изображения объекта.

В свою очередь A и P могут использоваться для формирования обобщенного нормированного признака $U = A/(P \cdot P) = A/P^2$, который является инвариантным к масштабу изображения

Процедура определения *радиусов вписанных и описанных окружностей* складывается из двух этапов (рисунок 3.17).

 Определение координат геометрического центра изображения объекта

$$X_{\rm ur} = \frac{\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} S_{i,j} \cdot x_{i,j}}{\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} S_{i,j}}; \quad Y_{\rm ur} = \frac{\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} S_{i,j} \cdot y_{i,j}}{\sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} S_{i,j}}, \quad (3.32)$$

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



Рисунок 3.17 – Определение радиусов описанной R_{max} и вписанной R_{min} окружностей

2. Вычисление минимального и максимального расстояний от центра до граничных (контурных) $x_{i,j}$ и $y_{i,j}$ элементов изображения объекта, которые должны быть выделены на предварительном этапе [5]

$$r_{i,j} = \sqrt{(x_{i,j} - X_{ur})^2 + (y_{i,j} - Y_{ur})^2};$$

$$R_{max} = r_{i,j(max)}; R_{min} = r_{i,j(min)}, \text{где } i, j \in a_{rp}.$$
(3.33)

Очевидно, что нормированный признак $V' = R_{max}/R_{min}$ всегда является инвариантным к масштабу изображения объекта, независимо от его формы.

В реальных условиях наблюдения выделение признаков объектов всегда осуществляется с некоторой погрешностью. Путём статистического моделирования работы ABC с помощью физической модели на этапе обучения-калибровки системы можно выявить характер и степень возможного рассеяния оценок используемых признаков для каждого из ожидаемых объектов и получить соответствующие гистограммы распределения признаков. Это даёт возможность оптимизировать конкретные параметры решающих правил, используемых на этапе автоматического распознавания объектов ABC.



 $h_1, h_2, \dots h_{n-1}$ – границы диапазонов значения признака, соответствующие областям опознавания объектов 1, 2,...*n* На рисунке 3.18 показан примерный вид гистограмм, характеризующих распределение одного из гипотетических рабочих признаков (*u*) для различных объектов.

С учётом вида полученных гистограмм устанавливаются оптимальные границы диапазонов значений того или иного признака, которые используются при формировании решающего правила. Очевидно, что подобные семейства гистограмм должны быть заблаговременно получены на этапе моделирования (или на этапе обучения) АВС для каждого из рабочих признаков, используемых при идентификации объектов.

В данной лабораторной работе при моделировании процедуры распознавания объектов в качестве рабочих используются вышерассмотренные нормированные признаки *U* и *V*. Алгоритмы выделения других видов геометрических признаков описаны, например, в работах [3.5].

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 (или его ассистента) включите и предварительно отрегулируйте систему подсветки рабочей поверхности поворотного диска лабораторной установки.

3. Расположите приблизительно в центре диска поворотного устройства первый (тестовый) объект из числа объектов, предложенных для проведения эксперимента.

4. Загрузите программу управления статистическим экспериментом и включите непрерывный цикл выполнения программы, нажав на кнопку циклического запуска, расположенную в верхней части экрана за пределами лицевой панели лабораторной установки (см. описание лабораторной работы 3.1, рисунок 3.5).

5. После запуска программы на экране дисплея ПК воспроизводится изображение виртуальной лицевой панели установки управления экспериментом (рисунок 3.19).

6. Постепенно, поворачивая на 360 диск с расположенным на нём тестовым объектом и наблюдая изображение на экране монитора 1 (виртуальной лицевой панели), убедитесь, что при любом угле поворота диска тестовый объект полностью находится в рабочей зоне телевизионной камеры.

Примечание.

На рисунке 3.19 показан примерный вид изображений, воспроизводимых на лицевой панели в процессе проведения эксперимента при оптимальной настройке всех параметров установки. В начальный момент (до окончательной настройки установки) изображение на экране дисплея может отличаться от приведённого на рисунке.



Рисунок 3.19 – Лицевая панель виртуальной установки управления физической моделью

7. Переведите в правое положение движок-переключатель, расположенный под монитором (1) и проконтролируйте качество бинарного (чёрно-белого) изображения тестового объекта. При необходимости с помощью преподавателя (или ассистента) отрегулируйте уровень подсветки объекта и фокусировку объектива телевизионной камеры до получения оптимального результата. 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). При необходимости рекомендуется воспользоваться дополнительной ручной подстройкой порога для достижения оптимального качества бинарного изображения тестового объекта.

Примечание.

На мониторе (2) воспроизводится гистограмма распределения уровней освещённости в изображении, формируемом цифровой телевизионной камерой. Правая область гистограммы соответствует уровням сигнала от подстилающего фона, левая – уровням сигнала от объекта. Пунктирная линия соответствует автоматически установленному порогу разграничения сигналов от фона и объекта.

8. Понаблюдайте за качеством изображения, воспроизводимого на мониторе (3). Оно представляет выделенные контурные точки, соответствующие границам изображения объекта. На том же мониторе воспроизводятся вычисляемые программой (при каждой смене кадров) значения
площади (A), периметра (P), радиусов вписанной (R_{min}) и описанной (R_{max}) окружностей, а также соответствующие значения рабочих признаков ($U = A/P^2$, $V = R_{max}/R_{min}$), которые будут использоваться при автоматической идентификации объектов. Совместите нулевую риску на поворотном устройстве с указателем угла поворота.

После завершения настройки можно приступить к этапу «обучения» исследуемой модели СТЗ.

9. Переведите в верхнее положение движок «Пуск», расположенный в нижней секции лицевой панели над индикатором счетчика числа реализаций.

10. При регистрации счетчиком не менее 15 реализаций быстро поверните диск с расположенным на нем тестовым объектом приблизительно на 45°. В дальнейшем повторяйте повороты диска после регистрации не менее 15 дополнительных реализаций, пока не будет достигнут приблизительно полный оборот диска на 360°.

11. Нажмите кнопку «Стоп», расположенную в левом нижнем углу лицевой панели. Изучите гистограммы, воспроизводимые в средней секции лицевой панели и характеризующие степень рассеяния полученных значений каждого из рабочих признаков.

Примечание.

Точность установки угла и точность регистрации числа реализаций не имеют существенного значения для проведения статистического эксперимента. Очевидно, что чем больше число положений объекта и число реализаций, тем выше достоверность полученных гистограмм, характеризующих степень рассеяния значений рабочих признаков, однако, естественно, это связано с увеличением времени эксперимента.

12. В первом (левом) сегменте нижней секции лицевой панели введите численные значения границ рассеяния рабочего признака *U* в соответствии с гистограммой, воспроизведённой на мониторе (4). Переведите движок переключателя выбора решающего правила в положение «ИЛИ». При этом должен загореться индикатор с надписью «Объект №1».

13. Переведите движок переключателя выбора решающего правила в положение «И». Индикатор с надписью «Объект №1» должен погаснуть.

14. В том же сегменте нижней секции лицевой панели введите численные значения границ рассеяния рабочего признака V в соответствии с гистограммой, воспроизведённой на мониторе (5). При этом должен опять загореться индикатор с надписью «Объект №1».

Примечание.

При перемещении движка выбора решающего правила в положение «ИЛИ» необходимым и достаточным условием принятия положительного решения об идентификации объекта является «попадание» значений любого из двух рабочих признаков ($U \underline{unu} V$) в соответствующие установленные границы. В положении «И» для положительного решения об идентификации объекта необходимо «попадание» значений обоих признаков ($U \underline{u} V$) в соответствующие установленные границы.

15. Выберите другой объект из предложенного набора и замените им первый тестовый объект на поворотном диске.

16. Аналогичным образом повторите действия, описанные в п.п. 9 – 14, вводя численные значения границ рассеяния значений рабочих признака в средний сегмент нижней секции лицевой панели.

17. Выберите третий объект из предложенного набора, заменив им предыдущий объект на поворотном диске. Аналогичным образом повторите действия, описанные в п.п. 9 – 14, вводя численные значения границ рассеяния значений рабочих признака в правый сегмент нижней секции лицевой панели.

Третий этап работы – проверка результата калибровки («обучения»). После завершения этапа «обучения» следует проверить работоспособность модели СТЗ в режиме автоматического распознавания использованных объектов. Для этого в любой последовательности и при произвольных углах поворота предъявляя модели различные объекты из числа использованных на этапе «обучении», убедитесь в правильности её функционирования. При необходимости следует повторить выше описанные этапы настройки и обучения для достижения удовлетворительного результата.

В заключении рекомендуется повторить эксперимент для другой группы из числа предложенных объектов или 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. Однако следует иметь в виду, что при защите результатов работы и ответах на контрольные вопросы <u>разрешается пользоваться</u> только собственным отчетом, а не текстом настоящего описания или какими-либо другими материалами.

2. Результаты экспериментальных исследований в виде гистограмм с указанием оптимальных границ задания решающих правил распознавании

объектов по каждому из исследованных признаков. Анализ полученных результатов.

3. В качестве дополнительного раздела в отчёте могут содержаться постановка задачи, результаты и выводы, относящиеся к исследованиям, выполняемым по инициативе студента.

Общие требования к отчётам по выполненным работам изложены в начале раздела 3 (общие положения), в приложениях даны также примеры правильного и неправильного оформления графических зависимостей, полученных в ходе статистического эксперимента.

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 («И», «ИЛИ»), 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.

?. 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?

3.5 Экспериментальное определение метрологических параметров оптико-электронного датчика координат точечного источника

(статистический эксперимент на основе физической модели)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – изучение методики экспериментального определения метрологических параметров оптико-электронного датчика на базе лабораторной установки, представляющей собой соответствующую физическую модель.

Краткое описание вспомогательной управляющей программы

Программные средства установки используются для автоматизации процесса статистической обработки результатов отдельных измерений и формирования соответствующих статических характеристик модели проектируемого оптико-электронного датчика. При каждом положении микрометрического винта, управляющего перемещением имитатора точечного объекта, программные средства установки обеспечивают выполнение следующих процедур.

1. Многократный ввод массива $[E_{i,j}]$, 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 (см. раздел 2, а также рисунки 2.2 и 2.3). При этом ячейки памяти БЗУ после завершения ввода становятся доступными для программных средств, т.е. не требуется дополнительная перезапись массива данных в основную память ПК.

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

3. Обработка массива $[E_{i,j}]$ в соответствии с выражением

$$X_{\rm изм} = \frac{\sum_{m=X_{\rm max}}^{X_{\rm max}+9} \sum_{n=Y_{\rm max}}^{Y_{\rm max}+1} \left(E_{m,n}^* \cdot x_{m,n}\right)}{\sum_{m=X_{\rm max}}^{X_{\rm max}+9} \sum_{n=Y_{\rm max}}^{Y_{\rm max}+1} E_{m,n}^*}, \quad Y_{\rm изM} = \frac{\sum_{m=X_{\rm max}}^{X_{\rm max}+1} \sum_{n=Y_{\rm max}}^{Y_{\rm max}+9} \left(E_{m,n}^* \cdot y_{m,n}\right)}{\sum_{m=X_{\rm max}}^{X_{\rm max}+1} \sum_{n=Y_{\rm max}}^{Y_{\rm max}+1} E_{m,n}^*}. \quad (3.34)$$

Здесь $E_{m,n}^* = \begin{cases} E_{m,n} - E_{\rm nop}, \ \Pi pu \ E_{m,n} < E_{\rm nop} \\ 0, \ \Pi pu \ E_{m,n} < E_{\rm nop} \end{cases}, \quad E_{\rm nop} - \ \Pi oporobili ypobehb$

ограничения сигнала снизу, устанавливаемый перед началом эксперимента; X_{max} , Y_{max} – координаты элемента наибольшего сигнала; $x_{m,n}$, $y_{m,n}$ – координаты опрашиваемого элемента. (Координаты элементов представляют собой номерами соответствующих строки и столбцов).



Рисунок 3.20 – Блок-схема алгоритма обработки сигнала



Рисунок 3.20 (продолжение)



Рисунок 3.20 (окончание)

4. Вычисление средних по множеству реализаций значений оценок $\overline{X}_{_{\rm H3M}}, \overline{Y}_{_{\rm H3M}}$ 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 рисунке 3.20 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 ($M_{ycr} = 10 \div 15$); число реализаций ($N_{ycr} = 15 \div 20$) 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); пороговый уровень E_{nop} , обеспечивающий ограничение сигнала снизу при вычислении координат энергетического центра в соответствии с формулой (3.34). Рекомендуемое значение порога для первого эксперимента $E_{nop} = 0.7$ от Q_{max} .

5. Задавая координаты X_{ycr} , снимите первую статическую характеристику. Помните, что цена одного деления на подвижной шкале 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 $X_{_{\rm VCT}} = 10 \div 20$ мкм.

7. Кроме перечисленных в пп. 1...6 действий предлагается по своему усмотрению провести серию экспериментов с целью выявления какихлибо 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.

Общие требования к отчётам по выполненным работам изложены в начале раздела 3 (общие положения), в приложениях даны также примеры правильного и неправильного оформления графических зависимостей, полученных в ходе эксперимента.

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 данной модели. В чем состоят его достоинства и недостатки?

4. Какие ещё алгоритмы обработки сигнала могут быть использованы для решения подобной задачи. Оцените их преимущества и недостатки по сравнению с алгоритмом, использованным в данной физической модели.

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

6. 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?

Заключение

Рассмотренные в данной работе принципы реализации виртуальных и физических моделей могут быть использованы не только в учебном процессе, но и в инженерной практике особенно на ранних стадиях проектирования, с целью оптимизации параметров решающих правил и обоснования требований к отдельным звеньям автоматизированных видеоинформационных систем. Хорошим практическим руководством для приобретения навыков разработки виртуальных моделей различных систем является, например, работа [8].

Тематика лабораторных работ на основе приведённых конкретных примеров моделей различных автоматизированных видеоинформационных систем имеет, главным образом, практическую направленность. Более подробное изложение теоретических вопросов, касающихся методов описания и преобразования сигналов дискретных изображений, можно найти в других источниках (см. например, [1, 5, 9]).

Литература

1. Андреев А.Л., Коротаев В.В. Элементы и узлы электронных и оптико-электронных приборов, Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 150 с.

2. Андреев А.Л. Моделирование и расчет автоматизированных видеоинформационных систем наблюдения за объектами. Методические указания к лабораторным работам. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 82 с.

3. Андреев А.Л. Автоматизированные видеоинформационные системы. – СП.: НИУ ИТМО, 2011. – 120 с.

4. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Сов. Радио, 1974 – 1976.

5. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение)/А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. - Чернявского. – Л.: Машиностроение, 1088. – 424 с.

6. 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. –224 с.

7. Андреев А.Л. Сравнение алгоритмов интерполяции сигнала при измерении координат объектов с помощью многоэлементного фотоприёмника. – Сборник трудов VII Международной конференция «Прикладная оптика-2006». Том 3. Компьютерные технологии в оптике СПб, 2006. с. 223 – 227.

8. Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. - ДМК Пресс, 2007, – 400 с.

9. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: в 2 кн. М.: Мир, 1982.– 790 с.

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

Приложение 1

Форма шаблона при оформлении отчёта по лабораторной работе

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ»	 1. Краткие теоретические сведения Содержание и объем данного раздела определяется самим студентом с учётом перечня вопросов, предложенных в конце описания данной работы. При формировании данного раздела не предполагается простое копирование значительной части описания данного методического руководства. 2. Результаты основных исследований
Кафедра оптико-электронных приборов и систем (название дисциплины)	Приводятся результаты исследований, проведённых в соответствии с методическими указаниями в виде таблиц и графических зависимостей с обязательным указанием значений использованных исходных параметров. В конце каждого этапа должны содержаться выводы, объясняющие характер полученных зависимостей.
Отчет по лабораторной работе (название темы лабораторной работы) Цель работы:	3. Результаты дополнительных исследований Данный раздел не является обязательным, он может содержать результаты дополнительных исследований, проведённых по инициативе самого студента с указанием поставленной цели. Наличие результатов дополнительных исследований, а также выводов сформулированных на их основе учитывается при оценке работы студента во время лабораторного практикума.
Санкт-Петербург 201_ г.	Общие выводы по работе Приводятся обобщённые выводы по всем этапам выполненной работы с формулировкой предложений возможного практического применения полученных результатов при проектировании оптико- электронных систем.

Примечание: отчёт по лабораторной работе оформляется в формате А4 индивидуально каждым студентом независимо от состава бригады.

Приложение 2



Примеры правильного и неправильного представления графических материалов, полученных в процессе статистических экспериментов

Зависимость величины среднеквадратической погрешности измерения угловых координат от диаметра кружка рассеяния при различных значениях эффективного диаметра входного зрачка объектива.

Примечание.

1. Аппроксимирующие кривые должны обязательно носить усредняющий характер и могут не проходить через точки, полученные в процессе статистического эксперимента.

2. Обязательным является обозначение координатных осей с указанием (при необходимости) размерности соответствующих величин.

ЭНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ И ЕЕ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ШКОЛА

Кафедра создавалась в 1937-38 годах и существовала под следующими названиями:

с 1938 по 1958 год - кафедра военных оптических приборов;

с 1958 по 1967 год - кафедра специальных оптических приборов;

с 1967 по 1992 год - кафедра оптико-электронных приборов;

с 1992 года - кафедра оптико-электронных приборов и систем.

Кафедру возглавляли:

с 1938 по 1942 год - профессор К.Е. Солодилов;

с 1942 по 1945 год профессор А.Н. Захарьевский (по совместительству);

с 1945 по 1946 год - профессор М.А. Резунов;

с 1947 по 1972 год - профессор С.Т. Цуккерман;

с 1972 по 1992 год - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор Л.Ф. Порфирьев;

с 1992 по 2007 год - заслуженный деятель науки РФ, профессор Э.Д. Панков.

с 2007 года по настоящее время - почетный работник высшего профессионального образования, профессор В.В. Коротаев.

1938 по 1970 кафедра входила в состав оптического факультета.

В 1970 году кафедра вошла в состав факультета оптико электронного приборостроения, который в 1976 году был переименован в инженерно-физический факультет.

В 1998 г кафедра вошла в состав факультета оптико-информационных систем и технологий.

В 2015 году кафедра вошла в состав факультета лазерной и световой инженерии

Кафедра оптико-электронных приборов и систем (ОЭПиС) осуществляет подготовку профессионалов в области создания оптикоэлектронных и видеоинформационных приборов и систем, а также в области разработки их программного обеспечения.

Результаты научных исследований кафедры докладываются на ведущих мировых научных форумах, публикуются в виде научных статей и монографий.

Приборы, разработанные на кафедре, поставляются на предприятия России и на предприятия других стран.

Этот уникальный опыт передается нашим студентам.

На кафедре работают 6 докторов наук, профессоров, однако большую часть коллектива составляют молодые люди в возрасте от 18 до 35 лет, в том числе 11 молодых кандидатов наук.

Коллектив кафедры Оптико-электронных приборов и систем (ОЭПиС) – сформировавшаяся научная и научно-педагогическая школа, существующая с 1938 года.

За эти годы были подготовлены более тысячи специалистов, более ста докторов и кандидатов наук.

С 2007 г. заведующим кафедрой является почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, профессор В.В. Коротаев.

В 2012 году научно-педагогическая школа кафедры ОЭПиС «Оптико-электронное приборостроение» была внесена в реестр ведущих научных и научно-педагогических школ Санкт-Петербурга.

В период с 2016 по 2018 год на кафедре были защищены 11 диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Подробная информация о кафедре ОЭПиС имеется на сайте кафедры: http://oep.ifmo.ru/

Андрей Леонидович Андреев Валерий Викторович Коротаев Елена Александровна Сычева

Виртуальные и физические модели видеоинформационных систем в статистических экспериментах

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО Зав. РИО Н.Ф. Гусарова Подписано к печати Заказ № Тираж Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО 127101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49