

УДК 656.7.052

**Оценка характеристик обнаружения и распознавания объектов на
изображении от специальных оптико-электронных систем
наблюдения летного поля**

Сельвесюк Н.И.^{1*}, Веселов Ю.Г.^{2}, Гайденков А.В.^{3***}, Островский А.С.^{2****}**

¹*Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем,
ул. Викторенко, 7, Москва, 125319, Россия*

²*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
2-я Бауманская ул., 5, Москва, 105005, Россия*

³*ОАО «Бортовые аэронавигационные системы»,
ул. Большая Новодмитровская, 12, стр.15, Москва, 127015, Россия*

**e-mail: nis@gosnias.ru*

***e-mail: fukunaga@inbox.ru*

****e-mail: gaidenkov@mail.ru*

*****e-mail: aleksandr_ostrovsky@mail.ru*

Аннотация

В работе рассматриваются задачи определения зависимостей характеристик обнаружения и распознавания различных объектов в секторе наблюдения летного поля от параметров аппаратуры и условий наблюдения. Описаны методики определения априорной и апостериорной оценки показателей качества изображения, получаемого оптико-электронными системами наблюдения. Даны научно обоснованные рекомендации по приведению пространственно-частотных характеристик изображения к оптимальным значениям по критериям, которые устанавливает оператор, осуществляющий его визуальный анализ.

Ключевые слова: оптико-электронные системы, обнаружение объекта, распознавание объекта, наземные системы наблюдения, показатели качества изображения, функция передачи модуляции, зрительный анализатор.

Введение

Вероятность обнаружения и распознавания объектов на изображении зависит от параметров оптико-электронной системы (ОЭС) и условий наблюдения. Основными параметрами ОЭС при этом являются параметры оптики и приемника излучения, спектральный диапазон, параметры электронной предобработки [1, 2, 3, 4, 5]. В качестве условий наблюдения рассматриваются размер и удаление объекта, углы визирования, атмосферные условия. При этом способы оценки характеристик наблюдения (обнаружения и распознавания) можно разбить на две основные группы – апостериорные и априорные.

Апостериорная оценка основана на испытаниях, включающих объект интереса заданного класса на фоне подстилающей поверхности. Предметом подобной оценки является изображение сцены (объекта и фона). Характеристики наблюдения сцены определяются оценкой геометрических и контрастных характеристик изображения объекта интереса, размеров кадра и времени на решение задачи. Подобная оценка требует минимальной информации о параметрах ОЭС, не требует знаний условий наблюдения.

Априорная оценка основана на расчетах, включающих параметры оптико-электронной системы [6], в том числе, полученные с применением специального стендового оборудования, а также требуемые условия наблюдения.

Апостериорная оценка характеризуется простотой методического аппарата, однако требует съемки реальной сцены под заданными ракурсами (как по азимуту, так и по углу места), на заданных дальностях, а также для требуемых условий метеонаблюдений. Априорная оценка требует применения более сложного математического аппарата, использования параметров ОЭС, в том числе, получаемых на основе специальных стендовых испытаний [7]. Однако обеспечивает возможность достоверной аналитической оценки характеристик наблюдения для произвольных дальностей, размеров и контрастов объекта интереса, полей зрения ОЭС и метеоусловий. Априорная оценка характеристик наблюдения может быть проведена в лабораторных условиях в полном объеме.

Разработка и совершенствование метода достоверной априорной оценки характеристик наблюдения позволяет сократить материальные и временные затраты на проведение испытаний систем видеонаблюдения объектов летного поля и представляет важный практический интерес, однако априорная оценка (и метод) требует калибровки и верификации на основе апостериорного метода прямых полевых испытаний.

1. Апостериорный метод оценки характеристик наблюдения объектов интереса

Метод обеспечивает оценку вероятности обнаружения, согласованную с критерием Джонсона через соответствующий нормировочный коэффициент, на основе анализа изображения сцены по формуле [1, 8]

$$P_{\text{обн}} = 1 - \exp \left[- \frac{C_1 \left(\frac{K}{1+K} \right)^2 L^{0,3} d_{\text{об}}^3 t_{\text{об}}}{A_{\text{из}}} \right]; \quad (1)$$

$$d_{\text{об}} = 2 \sqrt{\frac{A_{\text{об}}}{\pi}}; \quad (2)$$

$$K = \frac{|L_{\text{ф}} - L_{\text{об}}|}{L_{\text{ф}} + L_{\text{об}}}, \quad (3)$$

где C_1 - постоянный нормировочный коэффициент, определенный в [2] как $0,763 \cdot 10^6$; L - средняя яркость наблюдаемого объекта в диапазоне градаций $0 \div 255$; $t_{\text{об}}$ - время, отведенное на обнаружение объекта, с; $A_{\text{из}}$ - площадь анализируемого изображения (всего кадра видеокамеры), пиксел²; $d_{\text{об}}$ - эквивалентный диаметр объекта, пиксел; $A_{\text{об}}$ - площадь объекта, пиксел²; $L_{\text{об}}$ - значение яркости объекта, усредненное по всем пикселям объекта и по всем цветовым каналам изображения; $L_{\text{ф}}$ - значение яркости фона, непосредственно окружающего объект в пределах 50% размера объекта, усредненное по всем пикселям окружающего фона и по цветовым каналам изображения.

При решении частной задачи, например, для изображений зоны маневрирования, учитывается не более 50% анализируемого телевизионного (ТВ) изображения (коэффициент эффективной площади зоны обзора). Оператор (диспетчер) анализирует площадь изображения, ограниченную контурами взлетно-посадочной полосы (ВПП) и рулежной дорожки (РД). Для наиболее сложных условий наблюдения – на больших дальностях или вблизи торцов ВПП, площадь, ограниченная контурами ВПП и РД [7], существенно меньше площади кадра, так что коэффициент эффективной площади зоны обзора гарантированно меньше 50%;

Апостериорная оценка (1) позволяет при минимуме вычислительных затрат и специального оборудования оценить вероятность обнаружения объекта на цифровых изображениях при проведении натурных испытаний.

2. Априорный метод оценки характеристик наблюдения объектов интереса

Для решения задачи разработки метода априорной оценки характеристик наблюдения требуется разработка методического и на его основе аналитического аппарата оценки характеристик обнаружения и распознавания объектов интереса (различных размеров, форм и контрастов) на изображении, полученном специальными системами наблюдения летного поля.

Априорная оценка характеристик наблюдения базируется на аппарате функций передачи модуляции (ФПМ), а также пороговых модуляционных характеристик (ПМХ) и заключается в автоматической оценке разрешения в

лабораторных условиях с использованием экспериментально полученных ФПМ на основе тест-объектов – мир различной конфигурации.

2.1. Оценка ФПМ ОЭС с использованием штрихового тестового полигона

При съемке специального тест-объекта - мира модуляция яркости в ней преобразуется звеньями оптико-электронной системы в эффективную модуляцию изображения мира. Процесс образования изображения представляет собой результат фотографирования. Все звенья этого процесса можно считать линейными.

Эффективная модуляция изображения определяется по формуле

$$K_{\text{Э}}(N) = K_{\text{М}} \cdot T(N), \quad (4)$$

$$K_{\text{М}} = \frac{|L_{\text{б}} - L_{\text{ч}}|}{L_{\text{б}} + L_{\text{ч}}}, \quad (5)$$

где $T(N)$ - функция передачи модуляции ОЭС; $K_{\text{М}}$ - модуляция яркости в мире, считается независимой от пространственной частоты; $L_{\text{б}}$ - яркость белого штриха мира; $L_{\text{ч}}$ - яркость черного штриха мира.

Изображение мира с вероятностью не ниже заданной может быть дешифровано только в том случае, если эффективная модуляция в нем не ниже пороговой $M(N)$, т.е. $K_{\text{Э}}(N) \geq M(N)$. Для определения разрешающей способности достаточно решить уравнение

$$K_{\text{М}} \cdot T(N) - M(N) = 0. \quad (6)$$

Таким образом, для определения разрешающей способности таким методом необходимо реализовать следующую последовательность действий.

На начальном этапе определяются яркости в уровнях серого тона (УСТ) тёмных и светлых штрихов на изображении миры для всего ряда групп штрихов. Далее производится расчёт эффективного контраста рассматриваемых групп мир по оцененным на изображении яркостям в УСТ с использованием формулы

$$K_{\text{э}}(N) = \frac{L_{\text{с}}(N) - L_{\text{т}}(N)}{L_{\text{с}}(N) + L_{\text{т}}(N)}, \quad (7)$$

где $L_{\text{с}}(N)$ - яркость белого штриха миры; $L_{\text{т}}(N)$ - яркость черного штриха миры.

На следующем этапе определяется оценка ФПМ по эффективному и наложенному контрасту

$$T(N) = \frac{K_{\text{э}}(N)}{K_{\text{м}}}. \quad (8)$$

Наложённый контраст $K_{\text{м}}$ определяется объективным контрастом используемой миры (например: 0,8; 0,6; 0,4; 0,2).

Далее производится аппроксимация полученных значений ФПМ заранее определенной аппроксимирующей функцией с использованием метода наименьших квадратов (МНК). Пример аппроксимирующей функции с двумя параметрами a и b представлен ниже.

$$T_a(N) = \exp\left[-(aN)^b\right]. \quad (9)$$

Также с использованием фотографического метода имеется возможность экспериментальной оценки ПМХ $M(N)$. Построение кривой ПМХ осуществляется следующим образом.

В соответствии с определением ПМХ по снимку комплексного тест-объекта определены пространственные частоты предельно различимых групп штрихов для заданных на тестовом полигоне контрастов. Т.е. для получения экспериментальной ПМХ необходимо провести съемку штриховых тест-объектов с различными контрастами (например: 0,8; 0,6; 0,4; 0,2). Далее по результатам операторного или автоматического дешифрирования определяются пороговые эффективные контрасты.

На следующем этапе осуществляется аппроксимация с использованием МНК полученной экспериментальной кривой, например, выражением вида

$$M(N) = \sqrt{a + bN^2}. \quad (10)$$

Далее полученное выражение ПМХ может быть использовано для оценки порога импульсной характеристики ОЭС и автоматического определения разрешения системы.

Сравнение результатов апробации методики с априорной информацией и расчетом разрешения известными неавтоматизированными методами позволят судить о работоспособности методики. Надежность полученных оценок обеспечивает объем выборки измерений предельно различаемых групп штрихов для заданных на тестовом полигоне контрастов.

2.2. Особенности аппроксимации экспериментально полученных кривых ФПМ

Традиционно аппроксимация экспериментально полученных кривых ФПМ осуществляется с использованием выражения (9). При этом проведенный анализ

результатов аппроксимации показал, что использование комбинированной аппроксимационной функции обеспечивает наименьшее значение минимума суммы квадрата невязки. Кроме того, использование различных функций аппроксимации дает возможность идентификации параметров ОЭС посредством подбора параметров аппроксимирующих функций.

Сглаживание экспериментальных кривых ФПМ в проведенном исследовании [2] выполнялось с использованием МНК. Аппроксимирующая ФПМ включала уравнения выражения ФПМ расфокусировки, прямоугольной апертуры, видеоусилителя, вибраций:

$$T_a(N) = \frac{\exp\left[-(aN)^b - 2(\pi f \sigma N)^2\right]}{\sqrt{1 + (2\pi \gamma N)^2}} \operatorname{sinc} \frac{\sqrt{3}\pi \Delta f d_{\text{вх}} N}{2f} \operatorname{sinc}(\pi AN). \quad (11)$$

где a, b - параметры объектива, зависящие от степени диафрагмирования и угла визирования; f - фокусное расстояние объектива; σ - параметр функции рассеяния точки, обусловленный вибрациями ОЭС; Δf - величина расфокусировки; $d_{\text{вх}}$ - диаметр входного отверстия объектива; A - размер фотоэлемента матрицы ПЗС; γ - параметр видеоусилителя зависящий от постоянной времени видеоусилителя и скорость сдвига изображения.

На рис. 1 представлены экспериментальная кривая ФПМ ОЭС (полученная в ходе натурального эксперимента), сглаживающая функция (результатирующая ФПМ) и ПМХ. Установлено, что значение минимума суммы квадратов невязок при использовании выражения (11) меньше варианта с выражением (9) на порядок. Таким образом был апробирован предложенный подход к аппроксимации

экспериментальных ФПМ с использованием комбинированной функции аппроксимации. Реализация этого подхода показала высокую точность аппроксимации и возможность идентификации параметров ОЭС. Предлагаемый метод позволяет не только определять по штриховому тест-объекту разрешающую способность исследуемой ОЭС с учетом условий применения, но и уточнять ее параметры.

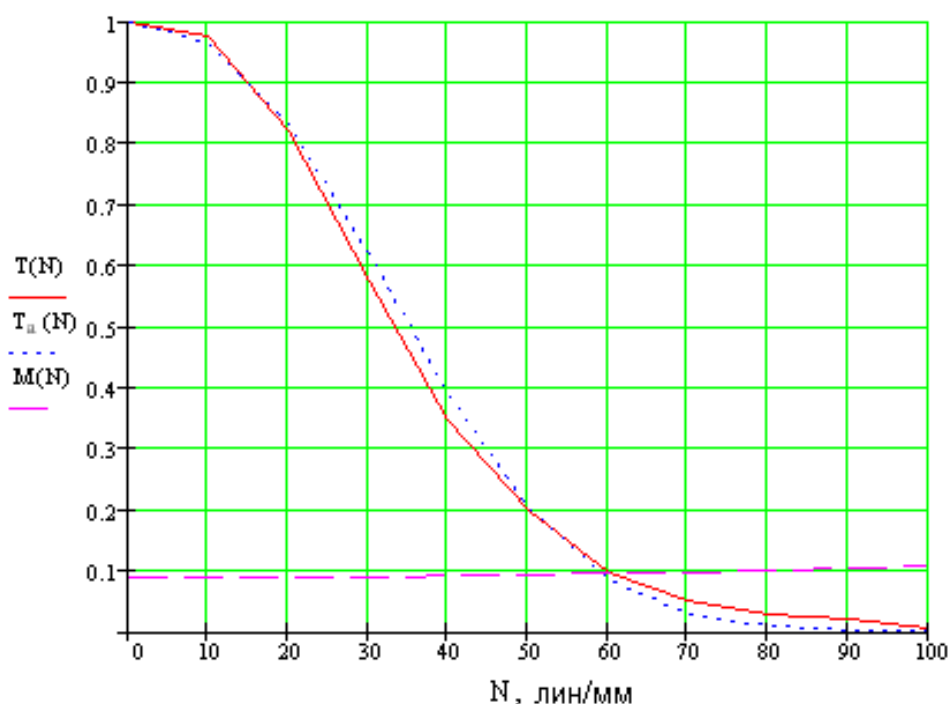


Рис. 1. Экспериментальная кривая ФПМ ОЭС, сглаживающая функция и ПМХ

2.3. Зависимость вероятностей обнаружения и распознавания объекта от параметров ОЭС, условий съемки и параметров объектов фотографирования

Для определения зависимостей вероятностей обнаружения и распознавания объекта на первом этапе необходимо рассчитать максимальный линейный размер объекта в пикселах с использованием выражения

$$l_{\text{пикс}} = 360 \frac{N \tan^{-1}\left(\frac{l_m}{2R}\right)}{k_{\text{пр}} \pi \theta}. \quad (12)$$

где l_m - максимальный линейный размер объекта в метрах; R - расстояние до объекта; N - количество элементов приемника излучения в строке матрицы; θ - угол захвата по горизонтали в градусах; $k_{\text{пр}}$ - коэффициент прогноза.

Понятие линейного размера объекта в пикселах поясняет рис. 2.

При этом необходимо определить видимый контраст объекта при заданных метеорологической дальности видимости (МДВ) и пороге контрастной чувствительности глаза K_{Π} (равен 0,05 в соответствии с Международным соглашением ИКАО-ВМО, 1973 г.) с использованием выражения

$$K = K_0 K_{\Pi}^{\frac{R}{\text{МДВ}}},$$

где K_0 - собственный контраст объекта относительно фона.

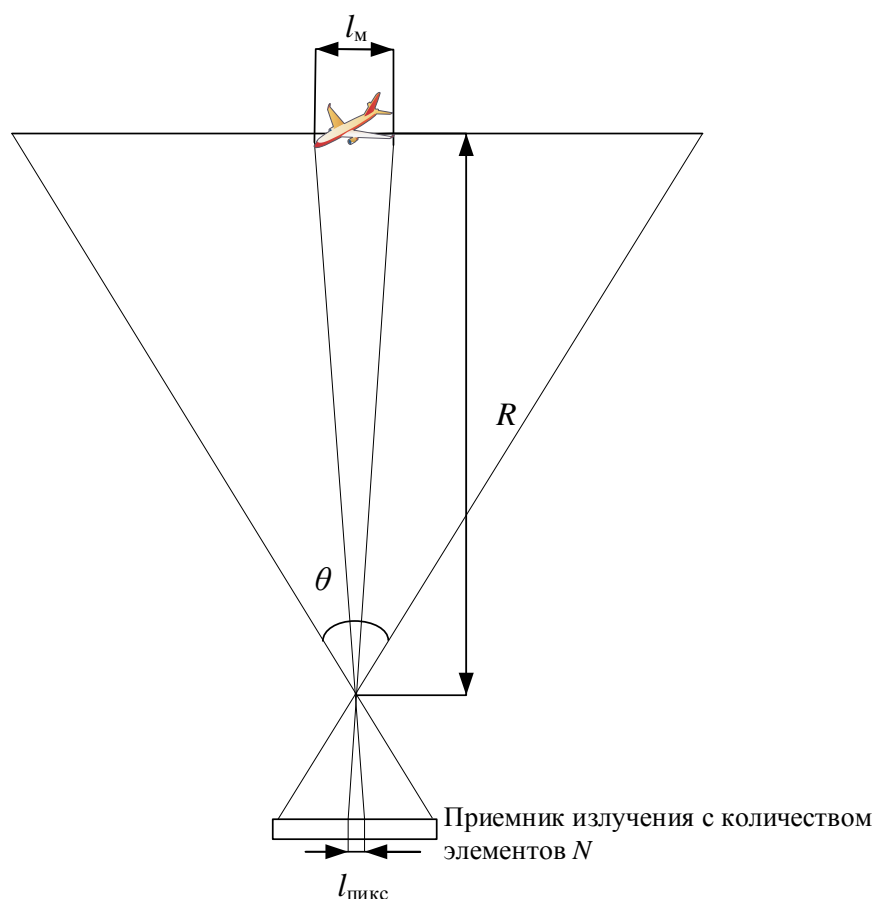


Рис. 2. К понятию линейного размера объекта в пикселях

Следующий этап заключается в вычислении предельного разрешения видеокамеры [6, 9, 10, 11]. Оно рассчитывается как значение пространственной частоты, на которой передаточная функция достигает значения пороговой чувствительности глаза. Значение предельного разрешения имеет размерность пар линий на пиксел, но при наличии прочих сведений может быть пересчитано как в угловые, так и линейные величины.

Далее используется подход, предложенный А.Н. Живичиным и В.С. Соколовым [12, 13], основанный на зависимости вероятности распознавания от разрешения видеокамеры, максимального линейного размера, формы и контраста объекта. Учитывая тот факт, что, согласно Джонсону, для достижения равенства

вероятностей обнаружения и распознавания размер распознаваемого объекта должен быть в 4 раза больше, чем обнаруживаемого, используются следующие выражения для определения вероятностей обнаружения и распознавания:

$$P_{\text{обн}} = \exp \left\{ - \left(\frac{BL}{4l_{\text{пикс}} \sqrt{K}} \right)^2 \right\}; \quad (12)$$

$$P_{\text{расп}} = \exp \left\{ - \left(\frac{BL}{l_{\text{пикс}} \sqrt{K}} \right)^2 \right\}, \quad (13)$$

где K - видимый контраст объекта относительно фона; L - предельное разрешение видеокамеры; B - коэффициент распознавания, согласно [5] вычисляемый по формуле

$$B = \sqrt{\frac{G(R_{\text{в}} + R_{\text{о}})}{2S}}, \quad (14)$$

где G - периметр объекта; $R_{\text{в}}$, $R_{\text{о}}$ - радиусы окружностей, вписанной в контур и описанной вокруг контура объекта, соответственно; S - площадь объекта.

Коэффициент распознавания определен для ряда геометрических фигур: круг – 1,42; квадрат – 1,55; угол – 1,6; треугольник – 1,74; вытянутый объект – 2,61.

Рис. 3 иллюстрирует расчет коэффициента распознавания для прямоугольного объекта со сторонами a и b . Выполним промежуточные расчеты для определения коэффициента.

$$G = 2(a + b); \quad R_{\text{о}} = \frac{a}{2}; \quad R_{\text{в}} = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2}; \quad S = ab. \quad (15)$$

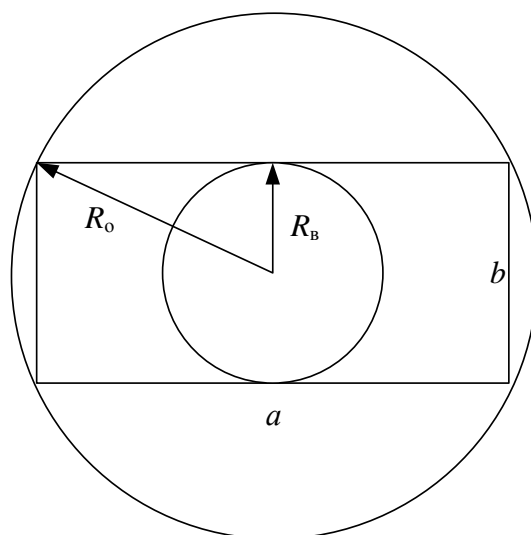


Рис. 3. К понятию коэффициента распознавания объекта

Выражение для определения коэффициента распознавания для прямоугольника имеет вид

$$B = \sqrt{\frac{(a+b)(a + \sqrt{a^2 + b^2})}{2ab}}. \quad (16)$$

Анализ полученного выражения показывает, что коэффициент распознавания зависит от отношения длин сторон и не зависит от их абсолютных значений.

Одним из аргументов выражения (12) является коэффициент прогноза [14]. Коэффициент прогноза соотносит размер проекции элементарного приемника излучения на местности и разрешение на местности цифровой ОЭС. Коэффициент прогноза учитывает попадание трех элементов изображения на период штрихового тест-объекта, что исключает зависимость распознавания от сдвига элемента изображения поперек штриха тест-объекта и согласуется с теоремой отсчетов. Значение коэффициента прогноза, равное 1, соответствует равенству проекции элемента изображения половине периода тест-объекта. В этом случае при сдвиге

проекция элемента изображения относительно штриха тест-объекта его изображение не будет разрешаться из-за усреднения сигнала.

Проведенные лабораторные и натурные эксперименты [14] показали, что значение коэффициента прогноза не зависит от расстояния до плоскости объектов, существуют зависимости значения коэффициента прогноза от размера элементарного приемника излучения и диафрагменного числа объектива. При уменьшении размера элементарного приемника излучения разрешающая способность ОЭС увеличивается, но различие между значением проекции элемента изображения и разрешением системы на местности растет, так как система становится более чувствительной к свойствам атмосферы и вибрациям.

Также в ходе этих экспериментов установлено, что значения коэффициента прогноза в зависимости от конструктивных особенностей ОЭС и особенностей реализованных в них схем формирования изображения, а также применяемых алгоритмов цифровой обработки [15, 16, 17] лежат в диапазоне от 1,2 до 1,8. Теоретический предел передачи пространственной частоты в цифровом изображении установлен теоремой отсчетов. Согласно этой теореме в цифровом изображении могут быть представлены все частоты не выше половины частоты дискретизации – предел Найквиста. В телевизионных системах экспериментальные измерения различимости отдельных синусоидальных гармоник показали, что в изображении сохраняются частоты только в диапазоне 0,64-0,85 (зависит от типа устройства, характеристик развертки и преобразований) предела Найквиста. Коэффициенты 0,64-0,85 носят название коэффициентов Келла (выведен Келлом и группой инженеров в 1933 году). При решении задачи, обратной эксперименту

Келла, получим: $1/0,64 \cong 1,6$; $1/0,85 \cong 1,2$. Примерно в этом же диапазоне лежат экспериментально полученные значения коэффициента прогноза для цифровых ОЭС (1,1 – 1,6), т.е. согласуются со значениями коэффициента Келла – общепринятым для аппроксимации реального разрешения в телевидении.

Приведенные доводы показывают, что коэффициент прогноза может быть использован для оперативной оценки разрешения цифровых ОЭС. Однако эффективность прогноза зависит от объемов выборки наблюдений для различных условий применения и параметров ОЭС.

2.4. Методический аппарат определения характеристик обнаружения и распознавания объектов летного поля

Применение указанных выше положений позволило разработать методический аппарат и создать программный комплекс определения характеристик обнаружения и распознавания объектов. Определение указанных характеристик происходит посредством использования параметрического подхода к оценке ОЭС, а также трудов А.Н. Живичина и Дж. Джонсона [12].

Программный комплекс предназначен для определения характеристик обнаружения и распознавания объектов на изображении видеокамер. Программный комплекс может работать в двух режимах:

- определение вероятностных характеристик обнаружения и распознавания объекта по заданной дальности до объекта;
- определение дальностных характеристик обнаружения и распознавания объектов по заданным вероятностям обнаружения и распознавания объектов.

Исходными данными для выполнения расчетов являются: изображение, содержащее миру; данные об объекте (максимальный линейный размер, контраст, коэффициент формы объекта и расстояние до него или вероятности его обнаружения и распознавания); данные о видеокамере и условиях съемки (угол захвата по горизонтали, количество пикселей в строке, МДВ).

Методической аппарат, используемый программным комплексом определения характеристик обнаружения и распознавания объектов на изображении видеокамер, детально рассмотрен в работах [18, 19]. Кратко рассмотрим три ключевые методики из его состава.

2.4.1. Методика построения передаточной функции ОЭС (видеокамеры)

Для определения контрастов групп полос миру используется следующая методика.

1. Расчет пространственных частот групп полос с использованием выражения

$N_{гр} = \frac{n_{гр}}{L}$, где $N_{гр}$ – пространственная частота группы полос, пары линий на пиксел;

$n_{гр}$ – количество пар темно-серых и светло-серых полос в группе полос, единицы;

L – количество пикселей, приходящихся на строку группы полос.

Далее исключение групп полос, пространственная частота которых превышает предельную пространственную частоту 0,5 пар линий на пиксел.

Далее для каждой не исключенной в п.1 группы полос выполняются п.п. 2-4.

2. Перевод каждой строки группы полос в частотную область посредством дискретного преобразования Фурье.

3. Расчет значений контрастов для каждой строки группы полос с использованием выражения

$$K_{\text{гр}i} = \frac{\sin \pi N_{\text{гр}}}{I_{\text{max}} M} \left| F_i(N_{\text{гр}}) \right|, \quad (17)$$

где i - номер строки в группе полос; $\left| F_i(N_{\text{гр}}) \right|$ - значение модуля Фурье – спектра i -ой строки на частоте, соответствующей пространственной частоте группы полос $N_{\text{гр}}$; I_{max} - максимальное значение яркости светло-серой полосы; M - количество полос в группе.

4. Оценка математического ожидания контраста группы полос, формирующая отсчет передаточной функции на пространственной частоте группы полос. Полученная передаточная функция подвергается сглаживанию. На первом этапе количество отсчетов передаточной функции уменьшается в 4 раза посредством передискретизации, далее исходное количество отсчетов восстанавливается путем использования кубической интерполяции. Далее значения передаточной функции делятся на значение контраста группы полос на минимальной пространственной частоте (считается нулевой).

Рис. 4 иллюстрирует полученную передаточную функцию видеокамеры.

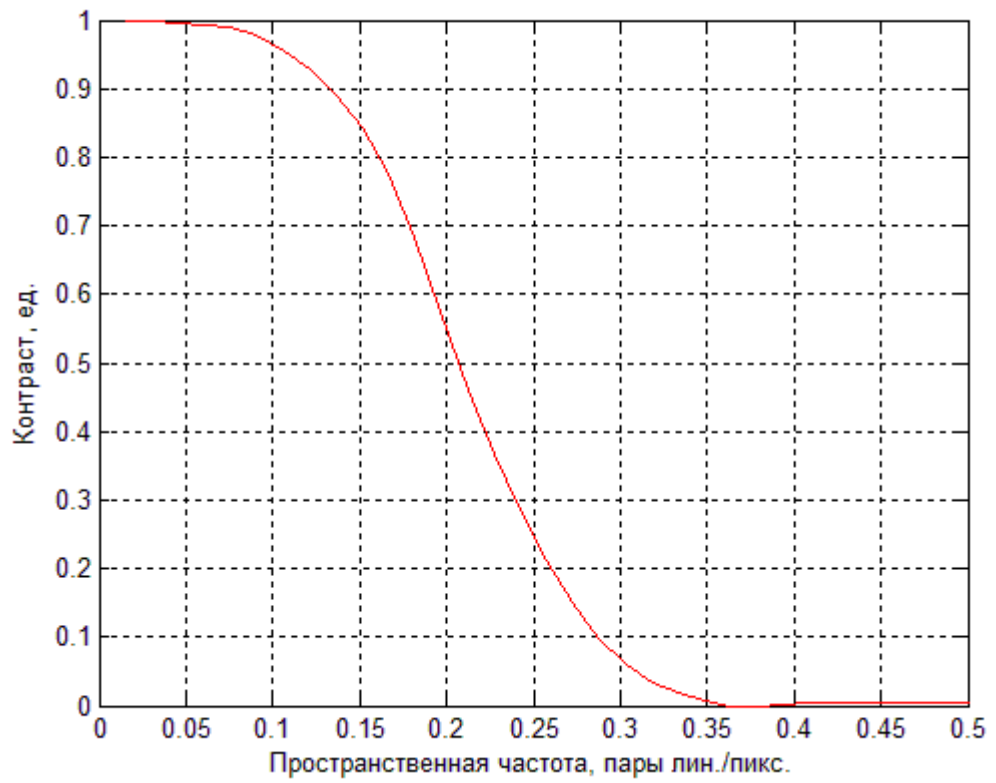


Рис. 4. Передаточная функция видеокамеры

Содержание методики построения передаточной функции видеокамеры представлено на рис. 5.

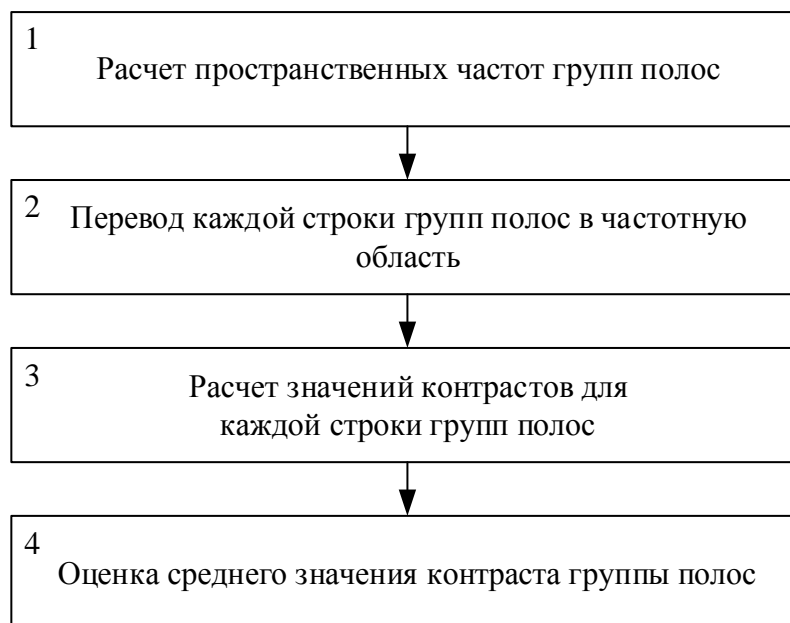


Рис. 5. Содержание методики построения передаточной функции видеокамеры

2.4.2. Методика определения вероятностных характеристик обнаружения и распознавания объекта летного поля

Содержание методики определения вероятностных характеристик обнаружения и распознавания объекта детально описано в разделе 2.3 настоящей работы и представлено на рис. 6.

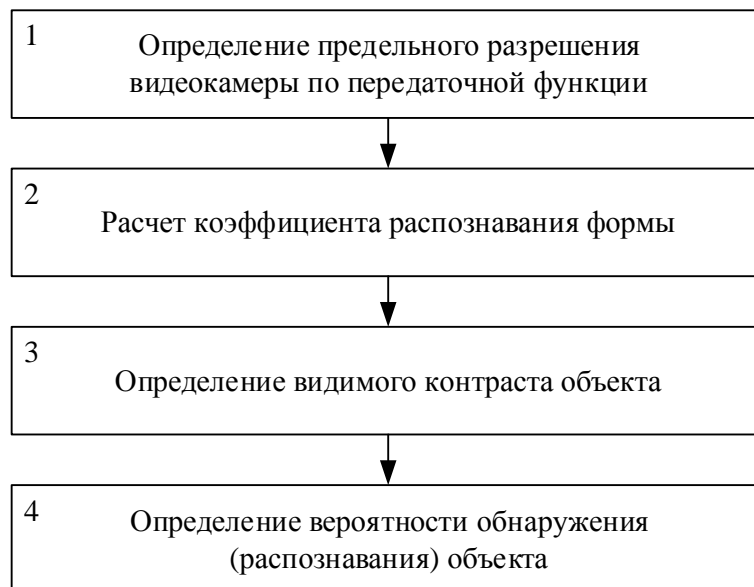


Рис. 6. Содержание методики определения вероятностных характеристик обнаружения и распознавания объекта

2.4.3. Методика определения дальностных характеристик обнаружения и распознавания объекта летного поля

Задача определения дальностных характеристик по своей сути является обратной задачей определения вероятностных характеристик. По этой причине для ее решения используются одинаковые принципы и подходы.

На первом этапе определяется предельное разрешение видеокамеры. Оно рассчитывается как значение пространственной частоты, на которой передаточная функция достигает значения пороговой чувствительности глаза. Значение предельного разрешения имеет размерность пар линий на пиксел, но при наличии прочих сведений может быть пересчитано как в угловые, так и линейные величины.

Далее необходимо получить и использовать выражения для зависимостей дальностей обнаружения и распознавания объекта от видимого контраста объекта соответственно:

$$R_{\text{обн}}(K) = \frac{l_M}{2 \tan \left(\frac{\pi \theta B L}{1440 N} \sqrt{\frac{1}{-K \ln P_{\text{обн}}}} \right)}; \quad R_{\text{расп}}(K) = \frac{l_M}{2 \tan \left(\frac{\pi \theta B L}{360 N} \sqrt{\frac{1}{-K \ln P_{\text{расп}}}} \right)}.$$

Учитывая зависимость видимого контраста объекта от искомых дальностей, предлагается решать следующие уравнения приближенным методом.

$$R_{\text{обн}}(K_0) = \frac{l_M}{2 \tan \left(\frac{\pi \theta B L}{1440 N} \sqrt{\frac{1}{-K_0 K_{\Pi} \frac{R_{\text{обн}}(K_0)}{\text{МДВ}} \ln P_{\text{обн}}}} \right)};$$

$$R_{\text{расп}}(K_0) = \frac{l_M}{2 \tan \left(\frac{\pi \theta B L}{360 N} \sqrt{\frac{1}{-K_0 K_{\Pi} \frac{R_{\text{обн}}(K_0)}{\text{МДВ}} \ln P_{\text{расп}}}} \right)}.$$

Обозначим

$$R_{\text{обн}}(K_0) = x; \quad g(x) = x; \quad f(x) = \frac{l_M}{2 \tan \left(\frac{\pi \theta B L}{1440 N} \sqrt{\frac{1}{-K_0 K_{\Pi} \frac{x}{\text{МДВ}} \ln P_{\text{обн}}}} \right)}.$$

Учитывая, что при увеличении аргумента x функция $g(x)$ растет, а $f(x)$ уменьшается, существует единственное значение x , при котором $g(x) = f(x)$. Тогда искомой $R_{\text{обн}}(K_0)$ является $x_1: g(x_1) = f(x_1)$. Аналогичным образом рассчитывается $R_{\text{расп}}(K_0)$.

Содержание методики определения дальностных характеристик обнаружения и распознавания объекта представлено на рис. 7.

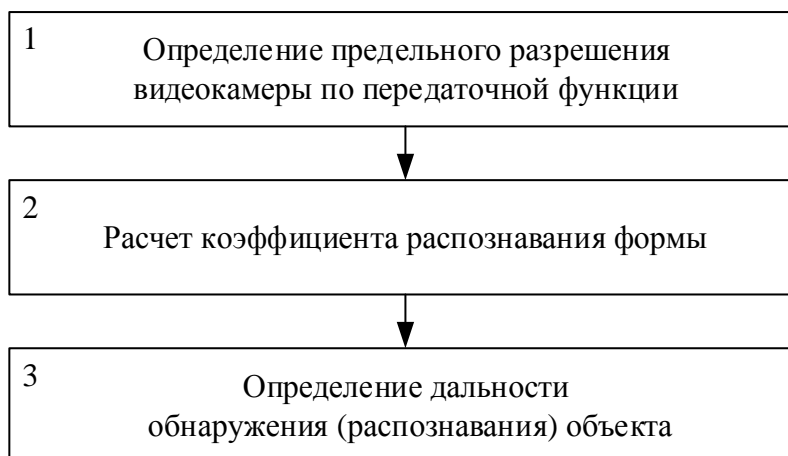


Рис. 7. Содержание методики определения дальностных характеристик обнаружения и распознавания объекта

2.5. Экспериментальное определение характеристик обнаружения и распознавания объектов летного поля с использованием методического аппарата

Экспериментальное определение характеристик обнаружения и распознавания объектов с использованием методического аппарата производится последовательно следующим порядком.

1. Оценка передаточных функций видеокамер, заключающаяся в выборе изображений видеокамеры, содержащих миры, проведении промежуточных расчетов и коррекции геометрических искажений.

2. Валидация и калибровка специального программного обеспечения, заключающаяся в оценке дальностных характеристик обнаружения и распознавания

и проведение сравнительного анализа результатов с результатами апостериорного метода оценки характеристик наблюдения объектов интереса.

Результаты апостериорных оценок характеристик наблюдения, полученные в полевых условиях в различное время года, а также результаты валидации разработанного СПО предполагается опубликовать в следующей статье.

3. Перспективы развития методического аппарата определения характеристик обнаружения и распознавания объектов

Перспективным направлением развития предлагаемого методического аппарата является разработка методик оценки характеристик «звона» видеокамеры, которая связанная с оценкой меры схожести передаточной функции (функции рассеяния точки) видеокамеры и передаточной функции (функции рассеяния точки) глаза. При этом лучшее значение характеристик звона видеокамеры означает, что получаемое ею изображение больше соответствует изображению, воспринимаемому глазом при визуальном анализе фоноцелевой обстановки (картинка, близкая к «виду из окна») [20].

В настоящее время разработаны следующие алгоритм и методика, предполагаемые к использованию в составе методического аппарата определения характеристик обнаружения и распознавания объектов: алгоритм поиска передаточной функции глаза, соответствующей передаточной функции видеокамеры; методика оценки характеристик звона видеокамеры.

Заключение

В работе в прикладном контексте описан методический аппарат оценки характеристик обнаружения и распознавания различных объектов интереса на изображении, полученном специальными ОЭС.

При оценке вероятности вскрытия учтены характеристики объекта (фотометрические и геометрические), условия съемки (прозрачность атмосферы, углы визирования и др.), параметры ОЭС, определяющие ее возможности.

Даны рекомендации по практическому применению разработанного методического аппарата, показаны альтернативы, а также перспективы развития.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты №16-08-00311
и №18-08-00486.*

Библиографический список

1. Коваленко В.П. Оптико-электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1990. - 182 с.
2. Веселов Ю.Г., Островский А.С., Сельвесюк Н.И., Красавин И.В. Оценка предельного разрешения цифровых оптико-электронных систем дистанционного зондирования земли с использованием теории линейных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3 (140). С. 84 - 89.
3. Smit J.T. Manual of Color Aerial Photography, Virginia, American Society of Photogrammetri, 1968, 550 p.

4. de Jong A.N., Winkel H., Ghauharali R.I. IR sensor performance testing with a double-slit method // Proc. SPIE 4372, Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing XII, 2001. Doi: 10.1117/12.439141.
5. Soel M.A., Irwin A., Gaultney P., White S.G., McHugh S.W. High-end infrared imaging sensor evaluation system // Proc. SPIE 4719, Infrared and Passive Millimeter-wave Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing, 2002. Doi: 10.1117/12.477456.
6. Harvey J.E., Rockwell R.A. Performance characteristics of phased arrays and thinned aperture optical telescopes // Reflective Optics, Proc. SPIE, 1987, vol. 751, pp. 62 – 71.
7. Горбулин В.И., Ходор М.А. Методика распределения полей зрения средств наблюдения в зоне ответственности // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=93426>
8. Травникова Н.П. Эффективность визуального поиска. - М.: Машиностроение, 1985. – 128 с.
9. Mitra Sanjit K. Digital Signal Processing: A Computer-Based Approach, Mcgraw Hill, 1997, 864 p.
10. Battiato S., Gallo G., and Stanco F. A locally-adaptive zooming algorithm for digital images // Image and Vision Computing, 2002, vol. 20, pp. 805 – 812.
11. Chen M., Huang C. and Lee W. A fast edge-oriented algorithm for image interpolation // Image and Vision Computing, 2005, vol. 23(9), pp. 791 - 798.
12. Живичин А.Н., Соколов В.С. Дешифрирование фотографических изображений. - М.: Недра, 1980. – 253 с.

13. Живичин А.Н., Поддубный С.И. Определение коэффициентов распознавания формы топографических объектов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1978. № 1. С. 34 - 41.
14. Веселов Ю.Г., Данилин А.А., Карпиков И.В., Тихонычев В.В. Прогнозирование разрешающей способности цифровых аэрофотосъемочных систем // Проблемы безопасности полетов. 2009. № 2. С. 21 - 25.
15. Li X., Orchard M. T. New edge-directed interpolation // IEEE Transactions on Image Processing, 2001, vol. 10 (10), pp. 1521 - 1527.
16. Muresan D., Parks T. Adaptively quadratic (aqua) image interpolation // IEEE Transactions on Image Processing, 2004, vol. 13 (5), pp. 690 - 698.
17. Hou H., Andrews H. Cubic splines for image interpolation and digital filtering // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1978, vol. 26 (6), pp. 508 – 517.
18. Гайденков А.В., Веселов Ю.Г., Островский А.С., Сельвесюк Н.И. Непараметрический подход к оценке оптико-электронных систем // Юбилейная всероссийская научно-техническая конференция «Авиационные системы в XXI веке». Сборник тезисов докладов. (Москва, 26 - 27 мая 2016). - М.: ГосНИИАС, 2016. С. 197.
19. Гайденков А.В., Веселов Ю.Г., Островский А.С. Определение характеристик обнаружения и распознавания объектов на изображении // XIII Всероссийская научно-техническая конференция «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского». Сборник докладов. – М.: Издательский дом Академии Н.Е. Жуковского, 2016. С. 371 - 375.

20. Зиновьев Ю.С., Мишина О.А., Глущенко А.А. Перспективы развития оптических телескопов наземного и космического базирования // Труды МАИ. 2018. № 101.

URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=96976>