

УДК 623.74.094

Современные тенденции и направления развития классической теории распознавания в ИК диапазоне

*Альков П.С., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Лазерные и оптико-электронные системы»*

*Научный руководитель: Старчак С.Л., д.т.н, профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
starchak@bmstu.ru*

Основные положения теории обнаружения целей

Общее описание

Упрощенная схема, иллюстрирующая основные компоненты обнаружения целей представлена на рис. 1. Излучение от цели представляет собой сложную функцию включающую в себя собственное и переотраженное излучение цели и излучение от фона.

Прежде чем попасть во входной зрачок системы, излучение проходит через слой атмосферы, где часть излучения поглощается или рассеивается. Турбулентность на пути во входной зрачок системы регистрации может вызвать разницу в преломлении соседних лучей, что может вызвать изменение волнового фронтаа соответственно искажения в сформированном изображении.

Оптические элементы фокусируют падающее излучение в плоскости изображения, где установлены приемники излучения (приемники, линейки, матрицы), которые преобразуют оптическое излучение в электрический сигнал.

Пройдя все стадии обработки в электронном тракте (ЭТ), готовый результат выводится на экран монитора за которым наблюдает оператор, который принимает окончательное решение о наличии или отсутствии цели.

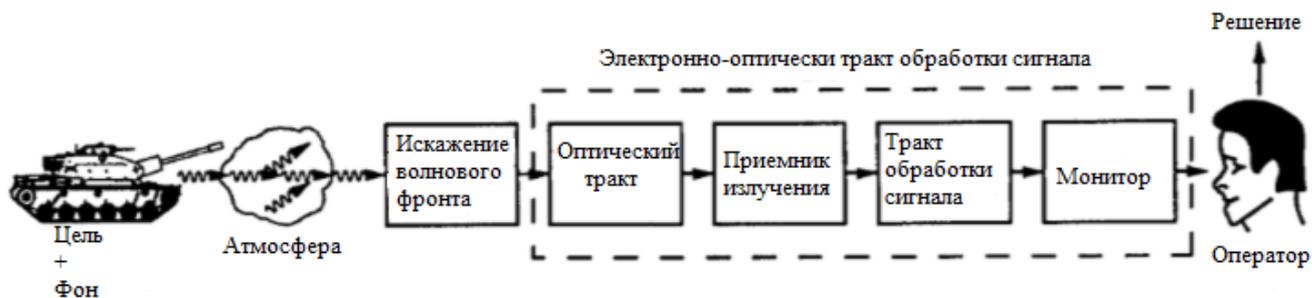


Рис. 1. Функциональная схема процесса обнаружения цели

Основные факторы влияющие на обнаружение целей

В таблице 1 представлены основные факторы и под факторы оказывающие влияние на процесс обнаружения. Ни одна модель обнаружения не может учитывать все перечисленные факторы, поэтому все модели имеют конкретную специализацию, и учитывают те факторы, которые необходимы для решения поставленных задач.

Таблица 1

Основные звенья	Факторы	
Цель и фон	Тип Размер Форма Контраст Температура Коэффициент отражения Собственное излучение	Перемещение Тень Маскировка Помехи
Окружающая обстановка	Видимость Облачность Время года Часть суток	Уровень освещенности Затухание излучения Прозрачность атмосферы Рассеяние Турбулентность
Объект	Наличие экипажа Вибрация Время экспонирования цели	Высота Скорость Направление движения
Приёмник излучения	Тип приемника Спектральный диапазон Поле зрения	Параметры отраженного излучения Частота смены кадров

	Разрешающая способность Динамический диапазон Чувствительность	Размер поля в котором осуществляется поиск
Устройство отображения	Угловой размер экрана Соотношение сторон Цвет отображения Отношение сигнал/шум Разрешение	Контраст Освещенность Частота отображения
Наблюдатель	Опыт Сосредоточенность Стрессоустойчивость Нагрузка	Острота зрения Усталость Возраст Коэффициент интеллекта(IQ)

Основные определения

Поиск цели: Процесс визуального поиска с помощью устройства отображения или невооруженным глазом.

Обнаружение целей: Выделение на окружающем фоне таких объектов или соответствующих им сигналов, которые по одному или нескольким признакам могут принадлежать к интересующему типу целей. Производится либо визуально, либо с помощью различных технических систем. Все процессы, необходимые для обнаружения цели должны обеспечить требуемый уровень видения (обнаружение, идентификация, различение). Процесс обнаружения включает в себя процесс поиска в конце, которого будет известно положение, после чего будет возможно произвести захват цели. Оператором принимается решение о наличии цели в поле зрения или нет.

Различение: Классификация по более полной системе признаков. На данном уровне оператор может точно сообщить, например, цель представляет собой гусеничную или колесную технику.

Идентификация: Предполагает проведение оператором классификации обнаруженного объекта по разной системе признаков. Например, оператор может сказать конкретную модель вооружения.

Для наглядного представления на рис 2 представлены уровни видения.



Рис. 2. Уровни видения

Звенья цепи отображения

Цель + фон.

Пространственное и спектральное распределение потока зависит от отражающих, поглощающих и излучающих характеристик объекта и цели. Для приборов, работающих в видимом и ближнем ИК диапазоне, при регистрации потока основной вклад вносит излучение, отраженное от цели и фона, например излучение солнца, луны, и других источников. В среднем ИК диапазоне основной вклад могут вносить как отраженное, так и собственное излучение фона и объекта. При работе в дальнем ИК диапазоне, учитывается только собственное излучение.

Для удобства вычислений принято приводить разницу температур цели и фона к температуре абсолютно черного тела (АЧТ):

$$\Delta T = \frac{\Delta L}{\left(\frac{\partial L}{\partial T}\right)_{T=T_{\text{АЧТ}}}}$$

Где:

$$L = \int_{\Delta\lambda} L_{\lambda} d\lambda : \text{светимость АЧТ}$$

$\Delta\lambda$: рабочий спектральный диапазон

Обычно для описания модели объекта и фона используется два параметра: *критический размер контраст* относительно фона. В данном применении под контрастом будем понимать разницу температур объекта и фона. Под критическим размером подразумевается минимальный размер объекта $H_{\text{цель}}$, который мы хотим зарегистрировать. Таким образом, можно вычислить площадь прямоугольника, описывающего объект: $A_{\text{ц}} = H_{\text{ц}} \times L_{\text{ц}}$, где $H_{\text{ц}}, L_{\text{ц}}$ высота и длина цели соответственно. В некоторых других моделях обнаружения используют половину площади в качестве критического размера. $A_{\text{ц}}^{1/2}$. Во многих моделях принято считать температуру объекта однородной, но при этом будет невозможно различить внутреннюю структуру.

Как правило, объект делится на несколько подобластей i . Воспользовавшись следующей формулой можно рассчитать общую температуру цели:

$$\bar{T}_ц = \frac{\sum_i A_i T_i}{\sum_i A_i}$$

Средняя температура фона, прилегающего к объекту, рассчитывается аналогичным образом.

Атмосфера

При прохождении излучения через атмосферу, происходит рассеяния и поглощения молекулами газа, аэрозольными примесями, туман, пыль, и т.п. Не весь поток, который попадает во входной зрачок излучается не только объектом, но и исходит от источников находящихся не в поле зрения прибора. Случайные изменения показателя преломления, вызванные изменением температуры, давления и влажности приводят к изменению волнового фронта, что в свою очередь приводит к искажению полученного изображения. Все эти явления могут быть смоделированы в пакете прикладных программ LOWTRAN. Пропускание атмосферы рассчитывается в определенном спектральном диапазоне, который является рабочим для прибора, при помощи которого ведется наблюдение.

Оптико-электронная система обнаружения.

Нарис. 3 показана блок-схема, иллюстрирующая важные этапы обработки входного потока излучения с целью моделирования процесса обнаружения объектов.

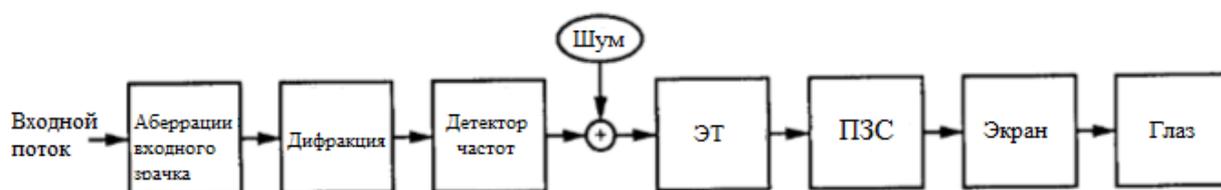


Рис. 3. Блок-схема обработки входного потока

Любой оптико-электронный прибор (ОЭП) можно характеризовать модуляционно-передаточной характеристикой (МПФ). МПФ показывает амплитудно-частотные характеристики системы или компонента системы. Для многих типичных компонентов

системы, которые действуют как фильтры нижних частот, МПФ описывает ослабление контраста с увеличением частоты. Если каждый компонент системы является линейным и инвариантным, то амплитудно-частотная характеристика системы в целом может быть смоделировано с использованием одной МПФ. При работе в частотной области для получения выходного спектра необходимо умножить входной спектр на передаточную характеристику системы, что значительно упрощает расчеты. Работая в координатной области необходимо считать свертку входного сигнала и импульсного отклика системы, что приводит к сложным расчетам.

При расчете модели обнаружения, будем считать, что основной вклад шума будет исходить от приемника излучения, так как он превосходит остальные шумы, такие как шум электронного тракта и т.п. Но существуют системы в которых в качестве основных источников шума принимаются другие компоненты ОЭП.

В сканирующих системах характеристики пространственных и временных частот связаны следующим образом:

$$f_t = \nu f_x$$

Где: ν – скорость сканирования, f_t – временная частота, f_x – пространственная частота.

При расчетах моделей обнаружения необходимо учитывать колебания положения приемного канала относительно объекта (изменение угла обзора). Из-за вибраций и колебаний происходит размытие изображение, которое можно описать функцией Гаусса:

$$H_{yo}(f_x) = \exp[-2(\pi\sigma_{yo}f_x)^2]$$

Где σ_{yo}^2 – дисперсия колебаний.

Для дифракционно-ограниченной оптической системы (ДОС) с круглым входным зрачком МПФ можно рассчитать следующим образом:

$$H_{оос}(f_x) = \frac{2}{\pi} [\cos^{-1} X - X(1 - X^2)^{1/2}]$$

Где: $X = \frac{f_x}{f_c}$

$f_c = \frac{D}{\lambda_p}$ – пространственная частота

λ_p – рабочая (основная) длина волны системы

D – диаметр входного зрачка

В дифракционно-неограниченных системах (ДНС) МПФ зависит от значения конкретных aberrаций в ОС и имеет форму гауссова распределения:

$$H_{\text{ДНС}}(f_x) = \exp[-bf_x^2]$$

Величина b связана с шириной гауссова распределения через следующее выражение:

$$b = \frac{\pi^2 \omega^2}{4}$$

ω - диаметр пятна рассеяния по уровню $1/e$.

При рассмотрении приемника излучения будем считать, что входной сигнал имеет форму гестфункции. Тогда передаточную функцию можно представить в виде:

$$H_{\text{ПИ}}(f_x) = \text{sinc}(\pi f_x \Delta x)$$

Δx - мгновенное поле зрения ПИ.

Для сканирующих систем передаточная характеристика имеет вид:

$$H_{\text{СКАН}}(f_t) = [1 + (\frac{f_t}{f_t^*})^2]^{1/2}$$

f_t^* - временной отклик по уровню 3[ДБ]

В расчетах ОЭС мерой чувствительности принято считать обнаружительную способность D^{**} :

$$D^{**}(\lambda) = \eta_q(\lambda)^{1/2} \frac{\lambda}{2hc} Q_B^{-1/2} \left[\frac{cm \cdot \Gamma \mathcal{U}^{1/2}}{Bm} \right]$$

$$Q_B = \int_0^{\lambda_{co}} Q_B(\lambda, T_B) d\lambda - \text{плотность фоновых фотонов}$$

λ_{co} - предельная длинна волны ПИ

$$Q_B(\lambda, T_B) = \frac{2\pi c}{\lambda^4} (\exp \frac{ch}{\lambda k T_B} - 1)^{-1} - \text{спектральная плотность потока фотонов от фона.}$$

c – скорость света, k – постоянная Больцмана, h – постоянная Планка

Для избавления от шума происходящего в ЭТ обычно ставят простой RC фильтр высоких частот, который выполняет роль предварительного усилителя (ПРУ). ПРУ часто размещают в непосредственной близости к источнику сигнала, для минимизации наводок. Таким образом, ПРУ обеспечивает передачу сигнала по кабелю без значительного искажения сигнала. ПРУ также выполняет роль развязывающего устройства, защищающего источник сигнала от нестабильного входного импеданса и входных токов последующего тракта.

$$H_{\text{ПРЧ}}(f_t) = \frac{f_t / f_{on}}{[1 + (f_t / f_{on})^2]^{1/2}}$$

f_{on} - срез частоты на входе предусилителя.

На выходе усилительного тракта устанавливают РС-фильтр низких частот:

$$H_{\text{ФНЧ}}(f_t) = \frac{1}{[1 + (f_t / f_{off})^2]^{1/2}}$$

f_{off} - срез частоты на выходе усилительного тракта.

В основном в современных системах используются матричные приемники излучения (МПИ). Передаточная характеристика МПИ имеет вид:

$$H_{\text{МПИ}}(f) = \exp[-n \varepsilon [1 - \cos(2\pi \frac{f}{f_{\text{МПИ}}})]]$$

Где: n - число пикселей в регистре сдвига

f - частота входного сигнала

$f_{\text{МПИ}}$ - частота на выходе МПИ

ε - эффективность переноса заряда.

Наблюдатель

Человеческий глаз способен реагировать на излучение в большом динамическом диапазоне за счет различных типов рецепторов расположенных в различных частях сетчатки. Палочки расположены в окрашенном слое и являются рецепторами света низкой интенсивности. Колбочки - зрительные рецепторы в сетчатке, которые обеспечивают цветное зрение. Они более плотно располагаются в центральной ямке сетчатки и, чем ближе к периферии, тем реже. Колбочки имеют порог чувствительности выше, чем палочки, и участвуют, прежде всего, в дневном зрении (рис.4).

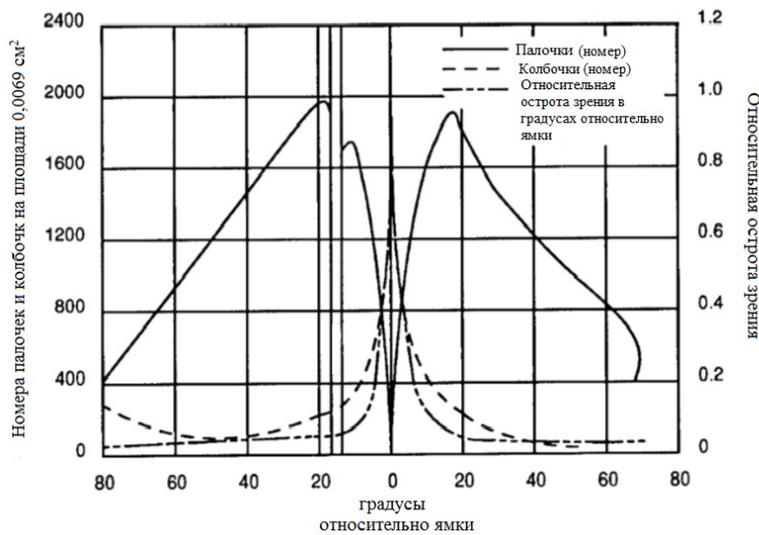


Рис. 4. Зависимость числа палочек и колбочек от угла относительно ямки и относительной остротой зрения

Острота зрения - численное выражение способности глаза воспринимать раздельно две точки, расположенные друг от друга на определенном расстоянии. Условно принято считать, что глаз с нормальной остротой зрения способен увидеть раздельно две далёкие точки, если угловое расстояние между ними равно одной угловой минуте (1/60 градуса). При расстоянии 5 метров это соответствует 1,45 миллиметра. Острота зрения зависит от концентрации колбочек на сетчатке. Концентрация в ямке больше и быстро уменьшается на периферии. По этой причине уровень яркости сильно влияет на остроту зрения, при высоком уровне освещенности мы получаем максимальное значение остроты.

Зрительная система человека представляет собой нелинейное устройство, и не может быть описана МПФ. Но для упрощения вычислений, будем описывать участок, где зрительная система подчиняется линейному закону. МПФ на линейном участке имеет вид:

$$H_{\text{глаз}}(f_x) = \exp[-(\Gamma f_x)]$$

Где Γ описывает МПФ глаза при различных уровнях освещенности (f_L – логарифмический уровень яркости) (рис. 5)

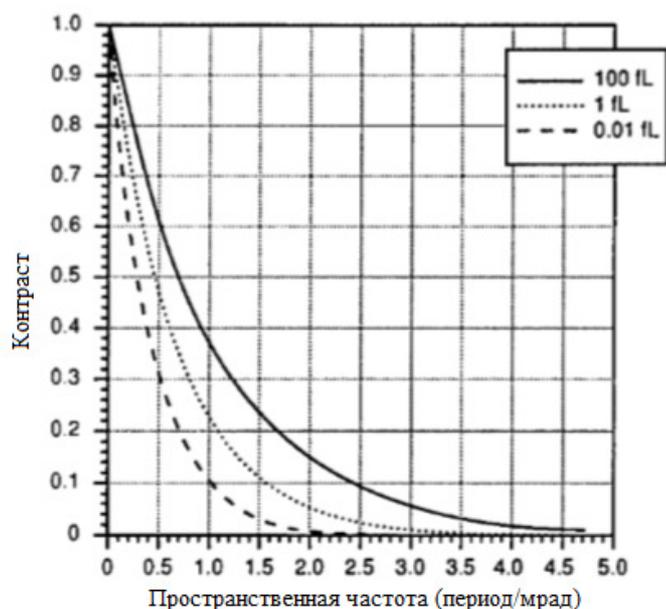


Рис. 5. Зависимость воспринимаемого глазом контраста от пространственной частоты при различных уровнях освещенности

Система измерения характеристик

Эквивалентная шумовая температура (ЭШТ)- величина, служащая относительной мерой спектральной плотности мощности электромагнитного излучения источников шумов. Понятием ЭШТ широко пользуются в радиотехнике для оценки шумовых свойств электровакуумных и полупроводниковых приборов, предназначенных для усиления и преобразования электрических сигналов, и эталонных шумовых генераторов.

$$\text{ЭШТ} = \frac{(\Delta f_n)^{1/2} 4(D/f')^2}{\pi \tau_0 \tau_a A_{\text{ПИ}}^{1/2} N_{\text{ПИ}}^{1/2} \int_{\Delta \lambda} \frac{\partial L_\lambda}{\partial T} D_\lambda^* d\lambda}$$

Где L_λ - спектральная светимость

$\frac{D}{f'}$ - относительное отверстие

τ_0 - коэффициент пропускания оптической системы

τ_a - коэффициент пропускания атмосферы

$A_{\text{ПИ}}$ - площадь чувствительного элемента ПИ

$N_{\text{ПИ}}$ - число чувствительных элементов

$\Delta \lambda$ - рабочий спектральный диапазон

D_λ^* - обнаружительная способность

Δf_n - диапазон шума ЭТ

$$\Delta f_n = \int_0^{\infty} S(f_t) H_{\text{электр}}^2(f_t) H_B^2(f_t) H_{\text{измер}}^2(f_t) df_t$$

$S(f_t)$ - нормированный спектр мощности шума

$H_{\text{электр}}$ - передаточная функция ЭТ

$$H_{\text{электр}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{f_t}{f_0}\right)^2}}$$

$H_B(f_t)$ - передаточная функция усилителя

$H_{\text{измер}}(f_t)$ - передаточная функция измерительного устройства

Обычно ЭШТ рассчитывается через пропускную способность:

$$\Delta f_n = \frac{\pi}{4\tau_D}$$

Где $\tau_D = \frac{n_p \Delta x \Delta y \eta_{\text{скан}}}{\alpha \beta F_K \eta_{\text{overscan}}}$ - время которое требуется для сканирования одним элементом в

предметной плоскости.

n_p - число чувствительных элементов находящихся на одной параллели

$\Delta x, \Delta y$ - угловой размер чувствительного элемента

$\eta_{\text{скан}}$ - эффективность сканирования

α - поле зрения ОС по горизонтальной оси

β - поле зрения ОС по вертикальной оси

F_K - частота кадров

η_{overscan} - вылет развертки (внешняя часть телевизионного раstra, не отображаемая на экране из-за наличия пустой области и возможных искажений в этой части изображения)

$$\eta_{\text{overscan}} = \frac{\Delta y}{\Delta y_{\text{sample}}}$$

$$\Delta y_{\text{sample}} = \frac{\beta}{n_p \times N_K}$$

N_K - количество кадров

ЭШП широко используется для определения чувствительности системы в пределах нижних частот, но этот показатель ряд недостатков. Эта характеристика не включает в расчет такие звенья как устройство вывода (экран) и наблюдателя.

Минимальная обнаруживаемая разность температур (МРТ) – это мера тепловой чувствительности система, которая при расчетах учитывает характеристики наблюдателя.

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/700750.html>

МРТ это разница температур между квадратной (или круговой) целью и фоном, требуемая для различения оператором, после прохождения ОЭП.

$$MPT = \frac{\text{ЭШТ} \mu_{\text{порог}}}{A_{\text{ц}} \int_{-\infty}^{\infty} H_T^2 H_D^2 d^2 f} \left[\frac{\Delta y \nu}{\eta_{\text{шум}} F_R t_E \Delta f_n} \right]^{1/2} \times \left[\int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} S(f_x) H_{\text{электр}}^2(f_x) H_{\text{экр}}^2(f_x, f_y) \times \right. \\ \left. \times H_{\text{глаз}}^2(f_x, f_y) H_B^2(f_t) H_{HD}^2(f_t) df_t \right]$$

Где $\mu_{\text{порог}}$ - пороговое отношение сигнал/шум

H_T - Фурье преобразование (круглая апертура входного зрачка)

H_D - передаточная функция прибора

$A_{\text{ц}}$ - площадь цели

Пороговое отношение сигнал/шум определяется эмпирическим путем, изменяя площадь цели и ее температуру, данная зависимость представлена на рис.6.

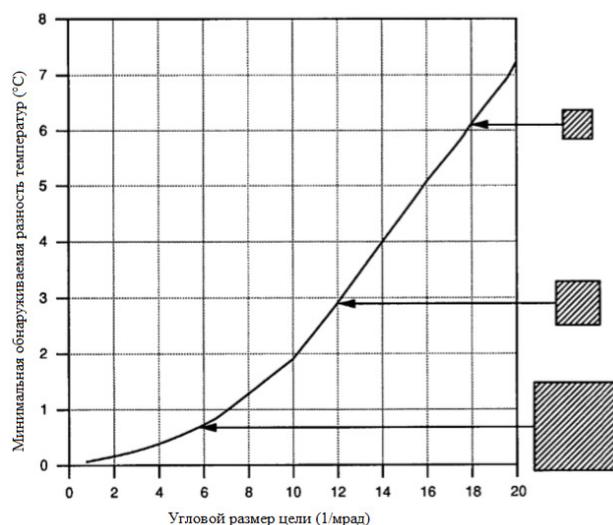


Рис. 6. Зависимость МРТ от углового размера объекта

Минимальная разрешимая разность температур (MPRT) - отношение сигнала к шуму в изображении, требуемое наблюдателю для разрешения четырехшпального стандартного тест-объекта (рис. 7) при наличии шума.

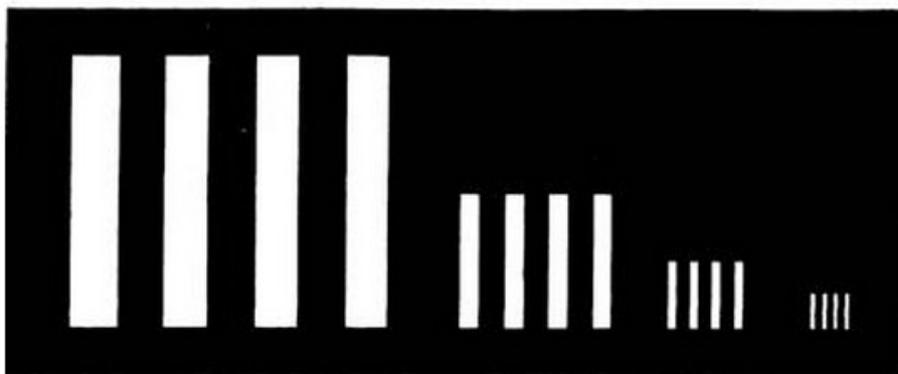


Рис. 7. Стандартный четырехшпальный тест-объект с различными пространственными частотами

Важным является случай ограничения шумами, поскольку инфракрасные системы изображения дают максимальную чувствительность, когда шумы видны наблюдателю, как это бывает, когда усиление в системе устанавливается на высоком уровне, чтобы компенсировать неблагоприятные особенности картины или внешние условия наблюдения. При расчете МРРТ принято принимать ряд допущений:

1. Мозг наблюдателя ОЭП приблизительно описывается постоянной времени, принятой равной 0,2с. Предполагается, что глаз линейно суммирует сигналы и оценивает среднеквадратичную величину шума в пределах каждого интервала 0,2с.
2. Узкополосная пространственная фильтрация в зрительном аппарате наблюдаемой периодической структуры прямоугольных полос, приближенно учитывается согласованным фильтром для одной полосы.

$$MPPT(f_x) = \mu_t \frac{\pi^2}{4\sqrt{14}} \frac{\text{ЭШТ}}{H_{\text{полн}}(f_x)} \left[\frac{\Delta y v f_x Q}{\Delta f_n F_R t_E \eta_{\text{overscan}}} \right]^{1/2}$$

Где μ_t - Отношение С/Ш при различении четырехшпального тест-объекта

$H_{\text{полн}}$ - передаточная система всей системы

v - скорость сканирования

f_x - пространственная частота тест-объекта

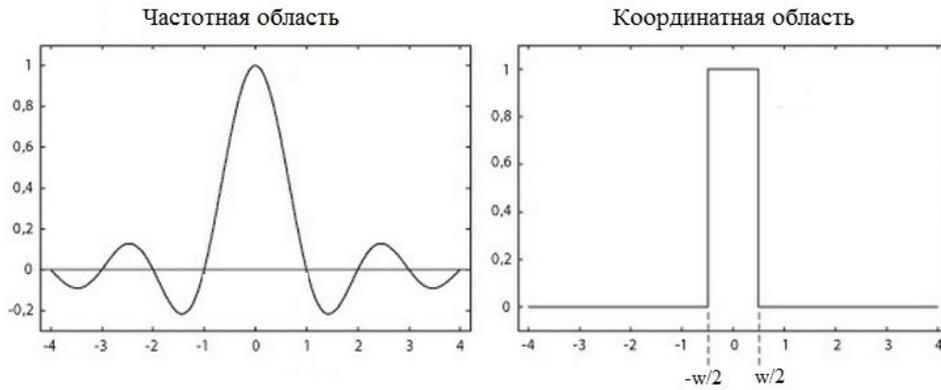
Q - параметр фильтрации шумов:

$$Q = \int_0^{\infty} S(f_x) H_N^2(f_x) H_W^2(f_x) H_{\text{глаз}}^2(f_x) df_x$$

H_N - передаточная функция фильтра в ЭТ

H_W - передаточная функция от цели представляющей собой прямоугольник шириной W :

$$\begin{aligned} \mathfrak{F}\{x\} &= \mathfrak{F}\{rect(x)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} rect(x) \cdot \exp[-j2\pi f_x x] dx = \\ &= \int_{-1/2}^{1/2} 1 - \exp[-j2\pi f_x x] dx = \frac{\sin(\pi f_x)}{\pi f_x} = \text{sinc}(\pi f_x) \\ H_W(f_x) &= \text{sinc}(\pi W f_x) \end{aligned}$$



Чем меньше размер четырехшпальной миры, тем большая разница температур необходима для различения (Рис.8).

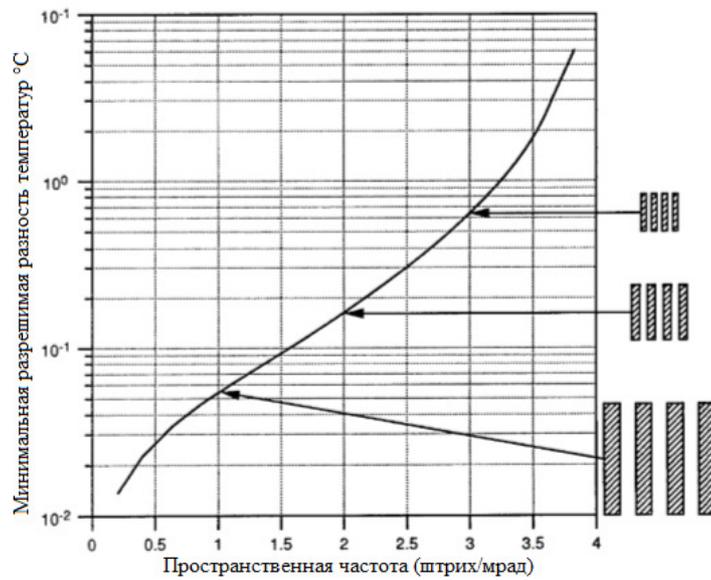


Рис. 8. Зависимость МРРТ от Пространственной частоты тест-объекта.

Методики обнаружения объектов

Обнаружение, если время просмотра не ограничено

Основной механизм обнаружения целей является различение объекта от равномерного фона. На практике расчет вероятности обнаружения объекта с известным расстоянием можно разбить на четыре этапа (рис. 9):

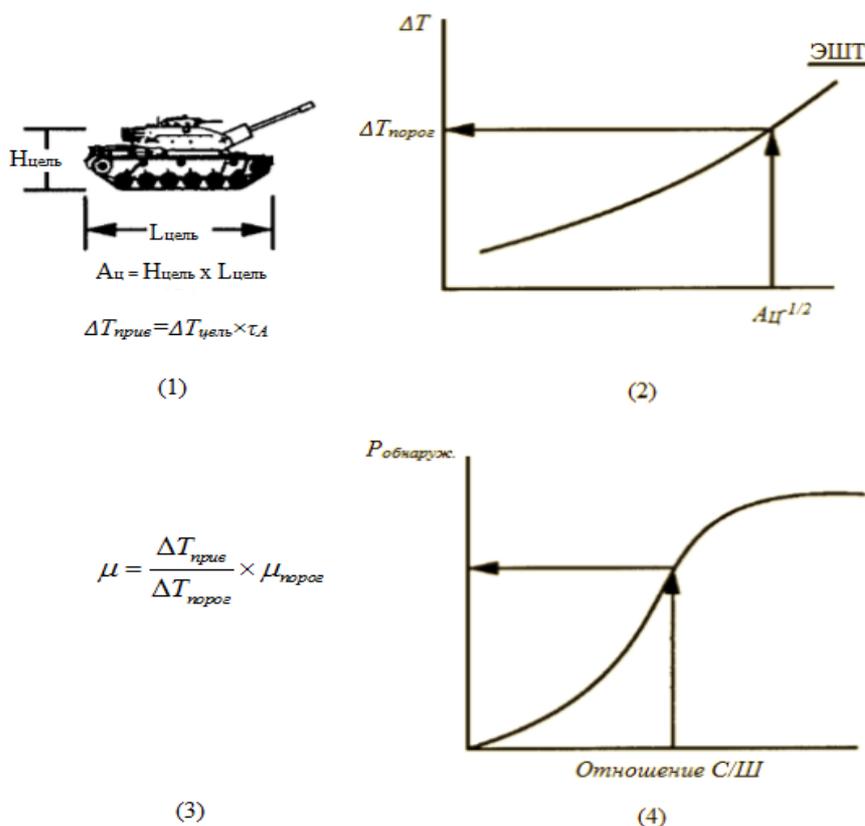


Рис. 9. Схема процесса обнаружения

1. Определение $\Delta T_{цель}$ характеризующее объект. Вычисление площади и углового размера объекта. Используя коэффициент пропускания атмосферы τ_A рассчитывается $\Delta T_{прив}$ приведенное к расстоянию до объекта R .
2. Расчет ЭШТ. Используя вычисленную ЭШТ определяют пороговую ΔT необходимую для обнаружения объекта.
3. Расчет отношения С/Ш:

$$\mu = \frac{\Delta T_{прив}}{\Delta T_{порог}} \times \mu_{порог}$$

4. Определение вероятности обнаружения. На рис. 10 изображена зависимость вероятности обнаружения от отношения С/Ш.

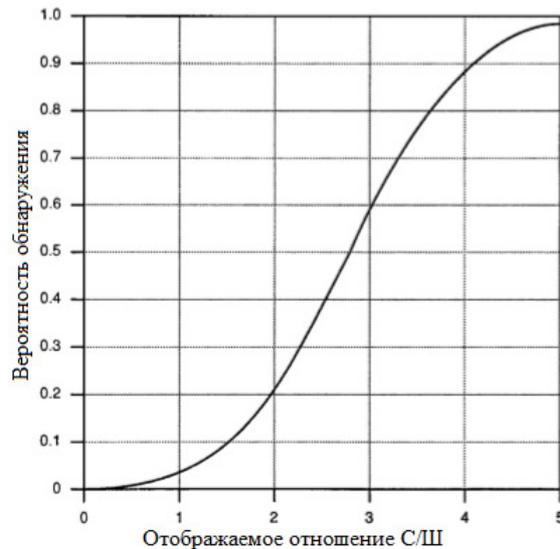


Рис. 10. Зависимость обнаружения от отображаемого С/Ш

Метод Джонсона

В конце 1950-х Джон Джонсон исследовал способность наблюдателя разрешать шпальные миры через устройство наблюдения. На примере многих исследований показано, что наиболее важным единым параметром, характеризующим возможный уровень видения объекта с помощью системы, является разрешение различных штриховых мир, эквивалентных объекту. Такой подход справедлив независимо от природы имеющегося сочетания различных дефектов изображения. Предполагается что объект характеризуется критическим размером $H_{кр}$, определяемым размерами деталей объекта, существенных для его видения. В типичном случае этот минимальный габаритный размер проекции изображения объекта на плоскость, перпендикулярную линии наблюдения. Шпальная мира, характеризуется числом периодов N , укладывающихся на размере $H_{кр}$. (рис.11)

$$N = H_{кр} \cdot f_x$$

f_x - наибольшая разрешимая пространственная частота.

В таблице 2 приведены экспериментальные значения числа периодов шпальной миры для различных уровней видения.

Цель	Период шпальной миры		
	Обнаружение	Различение	Идентификация
Грузовой автомобиль	0.90	4.5	8.0
Танк Т-72	0.75	3.5	6.0
Внедорожный автомобиль	1.2	4.3	5.5
Солдат	1.5	3.8	8.0

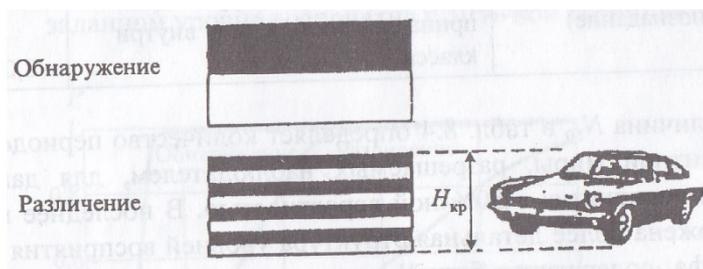


Рис. 11. Пример штриховой миры эквивалентной объекту

Проведя эксперимент, можно вычислить плотность вероятности обнаружения (Рис. 12)

$$P = \frac{(N / N_{50})^E}{1 + (N / N_{50})^E}$$

Где $E = 2.7 + 0.7(N / N_{50})$

N_{50} - Период шпальной миры необходимый для задачи разрешения объекта (С 50% вероятностью).

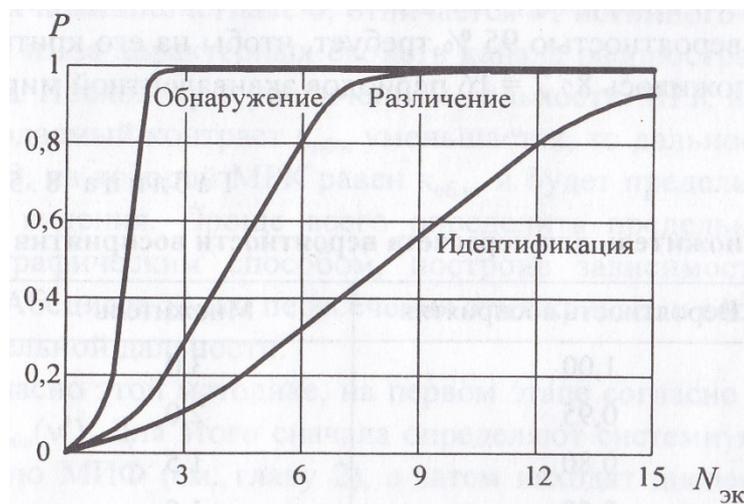


Рис.12. Плотность вероятности обнаружения в зависимости от периода шпального тест-объекта

Основные этапы обнаружения по методу Джонсона(рис13):

1. Так же как и в предыдущем случае. Определение $\Delta T_{цель}$ характеризующее объект. Вычисление площади и углового размера объекта. Используя коэффициент пропускания атмосферы τ_A рассчитывается $\Delta T_{прив}$ приведенное к расстоянию до объекта R .
2. Расчет МРРТ. С учетом известной $\Delta T_{прив}$ и МРРТ необходимо определить максимальную разрешающую способность ПИ.
3. Используя значения углового и критического размера цели, необходимо определить число периодов шпальной миры.

$$N = \frac{H_{кр}}{R} f_x$$

4. Определение вероятности выполнения поставленной задачи.

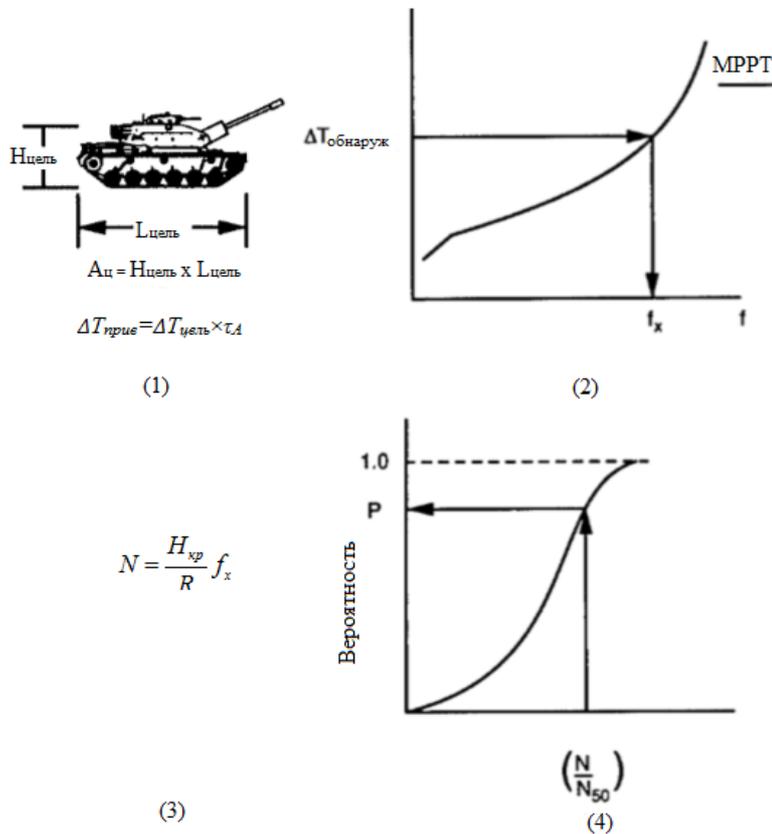


Рис 13. Основные этапы обнаружения объекта по методу Джонса

Процесс обнаружения в системах в которых время является критическим параметром

Рассмотренные выше методики обнаружения объектов, предполагали, что время необходимое для выполнения поставленной задачи не играет особой роли. Далее будет описана методика, в которой вероятность обнаружения будет зависеть от времени выполнения поиска, поскольку в реальной боевой обстановке время имеет строго ограниченные рамки. Вероятность обнаружения от времени наблюдения можно описать формулой:

$$P(t) = P_{\infty} [1 - \exp[-\frac{t}{\tau_{II}}]]$$

Где $P_{\infty} = \frac{[N / N_{50}]^E}{1 + [N / N_{50}]^E}$ - статистическая вероятность обнаружения

$$E = 2.7 + 0.7[N / N_{50}]$$

τ_{II} - среднее время поиска цели

$$\tau_{II} = \frac{t_f}{P_0}$$

P_0 - вероятность обнаружения цели вна быстро промелькнувшей картине (определяется индивидуально для каждого оператора)

$$\text{Если } P_{\infty} \leq 0.9 \text{ то } \frac{1}{\tau_{II}} = \frac{P_0}{t_f} = \frac{P_{\infty}}{3.4}$$

$$\text{Если } P_{\infty} > 0.9 \text{ то } \frac{1}{\tau_{II}} = \frac{P_0}{t_f} = \frac{1}{6.8} \cdot \frac{N}{N_{50}}$$

t_f - Среднее время фиксации глаза

Можно составить алгоритм процесса обработки (рис. 14):

1. Используя значения углового и критического размера цели, необходимо определить число периодов шпальной миры.

$$N = \frac{H_{kp}}{R} f_x$$

2. Расчет статистической вероятности обнаружения

$$P_{\infty} = \frac{[N / N_{50}]^E}{1 + [N / N_{50}]^E}$$

3. Определение время поиска

$$\frac{P_0}{t_f} = \frac{1}{\tau_{II}} = \begin{cases} \frac{P_\infty}{3.4} & P_\infty \leq 0.9 \\ \frac{1}{6.8} \cdot \frac{N}{N_{50}} & P_\infty > 0.9 \end{cases}$$

4. Вычисление вероятности обнаружения в зависимости от времени просмотра:

$$P(t) = P_\infty [1 - \exp[-\frac{t}{\tau_{II}}]]$$

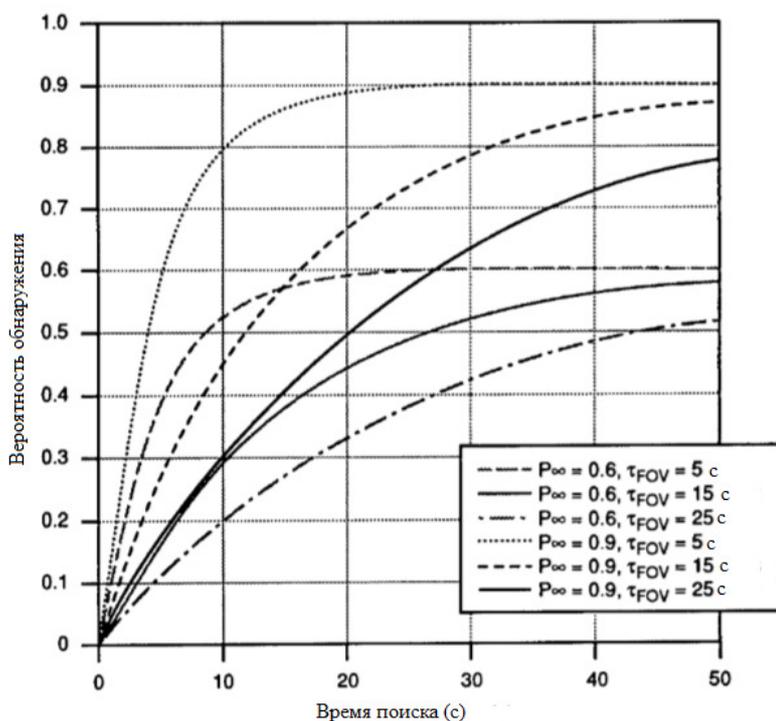


Рис. 14. Вероятность обнаружения объекта от времени поиска

Список литературы

1. Локационные лазерные системы видения. В.Е. Карасик, В.М. Орлов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 478, [2] с. : ил.
2. Карасик В.Е., Орлов В.М.. Лазерные системы видения: Учебное пособие. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с., ил.
3. Теория оптико-электронных систем: Учебник для студентов вузов по оптическим специальностям / Г.М. Мосягин, В.Б. Немтинов, Е.Н. Лебедев.-.:Машиностроение 1990.-432с.:ил.

4. Michael C. Dudzik, Joseph S. Accetta, David L. Shumaker. The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook. Environmental Research Institute of Michigan 1993, C.55-117.
5. Richard H. Vollmerhausen, Eddie Jacobs. The Targeting Task Performance Metric a New Model for Predicting Target Acquisition Performanc. 2004. C. 10-69.