

УДК 621.384.3

Сигнатура объекта наблюдения тепловизионным прибором и алгоритм расчета дальности распознавания

М. М. Трестман, Н. И. Харькова

ФГУП «Научно-производственное объединение

"Государственный институт прикладной оптики"», г. Казань, Россия

Алгоритм расчета и значение дальности распознавания объекта наблюдения посредством тепловизионного прибора обусловлены степенью "родства" инфракрасных (ИК) сигнатур объектов, из которых осуществляют распознавание. Рассмотрен вариант алгоритма и приведен пример его расчета.

Распознавание типового объекта наблюдения (ТОН) из алфавита классов объектов (АКО) посредством тепловизионного прибора (ТВП) предполагает наличие банка данных по видеообразам ТОН и АКО в диапазоне спектральной чувствительности ТВП и опыта работы наблюдателей с их видеообразами.

В ИК-сигнатурах ТОН и АКО — в распределениях разностей радиационных температур (РРТ) по поверхностям объектов относительно окружающего фона — присутствуют низко-, средне- и высокочастотные составляющие пространственных спектров.

Обнаружение ТОН (и АКО) на фоне естественных образований отождествимо с разрешением низкочастотных составляющих пространственных спектров ИК-сигнатур.

Распознавание ТОН из АКО "неродственными" ему ИК-сигнатурами отождествимо с разрешением фрагментов видеообразов, характеризующих среднечастотные составляющие пространственных спектров ИК-сигнатур ТОН и АКО.

Распознавание ТОН из АКО "родственными" ему ИК-сигнатурами отождествимо с разрешением фрагментов видеообразов, характеризующих средне- и высокочастотные составляющие пространственных спектров ИК-сигнатур ТОН и АКО.

Разрешение фрагментов видеообразов включает в себя их обнаружение. Итак, для эффективной площади излучающей поверхности ТОН или объекта из АКО, равной $H \times L$, отношения сигнал—шум (с/ш) в зрительном анализаторе изображения наблюдателя, адекватные заданной вероятности (P), должны быть накоплены с площади ТОН или объекта АКО, равной $(H \times L)/2N$, где N — число периодов миры, эквивалентно замещающей их ИК-сигнатуры. Значение N — критерий Джонсона — зависит от сложности (уровня) решаемой задачи.

Для задачи обнаружения ТОН значения $N = N_{det}$ определяются степенью тепловой неоднородности фона. Для задачи распознавания значения $N = N_{rec}$ определяются степенью "родства" ИК-сигнатур ТОН и АКО и в общем слу-

чае заданной вероятностью правильного распознавания.

Обнаружению ТОН на равномерном фоне (предельный случай) соответствует $N_{det} = 0,5$: с/ш накапливают по всей площади $(H \times L)$. Обнаружению ТОН на фоне слабой, средней, сильной степени тепловой неоднородности соответствуют N_{det} , равные 0,75; 1,5; 3,0 [1].

При распознавании объекта авто- и бронетехники усредненное значение N_{rec} и объем (разнообразие) АКО соотносятся следующим образом: АКО объемом от 2 до 6 объектов соответствуют значения N_{rec} из ряда 2,0; 2,3; 2,7; 3,0; 3,5 (все для вероятности 0,5) [2].

Распознаванию объекта типа "танк" из АКО с шасси колесного типа соответствуют $N_{rec} = 2$, а из АКО с шасси гусеничного типа $N_{rec} = 4$ (значения приведены для $P = 0,5$).

В алгоритме расчета дальности распознавания ТОН для заданной вероятности 0,5 не различают степени "родства" ИК-сигнатур ТОН и АКО. Различие учитывают для заданной вероятности, большей, чем $P = 0,5$ [3].

Для "неродственных" ИК-сигнатур ТОН и АКО переход от $P = 0,5$ к $P > 0,5$ — преодоление дефицита с/ш, т. е. накопление с/ш, адекватного P , но на площади фрагмента ТОН той же, что и для $P = 0,5$: $(H \times L)/2N_{0,5}$.

Для "родственных" ИК-сигнатур ТОН и АКО переход от $P = 0,5$ к $P > 0,5$ — преодоление дефицита углового разрешения фрагмента ТОН, т. е. разрешение фрагмента ТОН площадью, меньшей, чем для $P = 0,5$: $(H \times L)/2N_p$.

Зависимость N от вероятности N_p определяется из [1]

$$P = n^{3,8} / (1 + n^{3,8}), \quad n = N_p / N_{0,5}, \quad (1)$$

где $N_{0,5}$ — значение N для вероятности 0,5.

Так, для P , равной 0,7; 0,8; 0,9, параметр n принимает значения 1,25; 1,45; 1,8, соответственно.

Вычисление дальности распознавания (D) ТОН — решение относительно D уравнения баланса минимальной разрешаемой разности тем-

ператур (МРРТ) ТВП и РРТ "мира-фон", эквивалентно замещающей ИК-сигнатуру ТОН, с учетом ослабления оптического излучения атмосферой.

Уравнение баланса определяет пространственную частоту (ω_m) разрешаемой миры, а через нее — дальность распознавания, используя соотношение $\omega_m = D \cdot N_p / h$, где h — критический размер эквивалентной миры

$$\begin{aligned} & NETD \cdot K_s(P) \{ A + B(a\kappa D N_p / h) + \\ & + C \cdot \exp [F(a\kappa D N_p / h)] \} = \quad (2) \\ & = \Delta T (N_p \varepsilon / 3,5)^{0,5} \tau_a(D), \end{aligned}$$

где левая часть уравнения баланса — уравнение для МРРТ (по П. Мозеру), оно модифицировано введением учета величины углового разрешения оптической системы (ОС) ТВПК на МРРТ — параметр (κ);

правая часть уравнения баланса — уравнение для РРТ "мира-фон", K ;

D — искомое значение дальности распознавания ТОН, км;

$NETD$ — разность температур, эквивалентная шуму ТВП, К;

$K_s(P)$ — нормированное значение с/ш для заданной вероятности (P);

$K_s(P = 0,5) = 1$, A, B, C, F — константы уравнения П. Мозера;

a — номинальное значение мгновенного поля зрения, мрад;

$\varepsilon = L/H$ — формат площади $H \times L$;

h — наименьшее из значений H, L и как вариант — $(H \times L)^{0,5}$, при этом $\varepsilon = 1$;

ΔT — усредненное по площади $H \times L$ значение РРТ "ТОН-ФОН", К;

$\tau_a(D)$ — ослабление оптического излучения атмосферой в диапазоне спектральной чувствительности ТВП на трассе протяженностью D , рассчитываемое по программам LOWTRAN, MODTRAN либо по [4];

N_p — число периодов эквивалентной миры, адекватное степени "родства" ИК-сигнатур ТОН и АКО и заданной вероятности распознавания, определяется по уравнению (1),

$$\kappa^2 = [(\Delta_0/a)^2 + (\Delta_1/a)^2] / [(\Delta_0/a = 2)^2 + (\Delta_1/a)^2],$$

где Δ_0, Δ_1 — эквивалентная шумовая апертура ОС (Δ_0) и — остальной части ТВП — (Δ_1), мрад [5], $\kappa(\Delta_0/a = 2) = 1$.

Уравнение (2) разрешают итерационным методом.

Вычисление значения D при неизвестном составе ИК-сигнатуры ТОН ($\Delta T, h$) позволяет прогнозировать диапазон значений D : максимальное — из условия преодоления дефицита с/ш, минимальное — из условия преодоления дефицита углового разрешения фрагментов ИК-сигнатуры ТОН.

При известном составе АКО альтернатива при вычислении D разрешается обращением к банку данных по ИК-сигнатурам ТОН и АКО. При этом распознавание ТОН можно отождествить с обнаружением и разрешением i -фрагментов ИК-сигнатуры ТОН, определяющих отличие его видеообраза от видеообразов АКО. Вместо усредненных значений ИК-сигнатуры ТОН уравнение (2) разрешают относительно D , используя значения параметров ИК-сигнатур i -фрагментов ($\Delta T_i, h_i$), а значение N_{rec} заменяют на $N_{det,i}$, соответствующие степени тепловой неоднородности фона [6].

Такая ситуация имеет место при проведении натурных испытаний ТВП по определению дальности распознавания, когда ее значение приводят (пересчитывают) к нормированным условиям распознавания ТОН (D_{norm}).

ИК-сигнатуры ТОН и АКО определяют термографированием, и их реструктурируют на i -фрагментов, определяющих их видеообразы.

Пример расчета дальности распознавания рассмотрен для наблюдения цели типа "танк" (с параметрами ИК-сигнатуры и атмосферы по стандарту НАТО) посредством ТВП Catherine-FC фирмы Thales Optronique в поле зрения $3 \times 2,25^\circ$.

Нормированные значения параметров ИК-сигнатуры ТОН: $\Delta T = 2$ К, $H \times L = 2,3 \times 2,3$ м, $h = 2,3$ м. Ослабление оптического излучения атмосферой в спектральном диапазоне 8—12 мкм принято удовлетворяющим экспоненциальной зависимости от дальности с показателем степени 0,2 км⁻¹. Согласно рекламной информации по ТВП $NETD = 0,14$ К, $a = 0,13$ мрад.

Для вероятности распознавания $P = 0,5$ при эквивалентной шумовой апертуре оптической системы ТВП, равной $\Delta_0 = 0,26$ мрад и $\Delta_1 = \Delta_0$, расчетное значение $D = 4,4$ км (наблюдатель высокой квалификации $N_{rec} = 2,5$) и $D = 3,8$ км (наблюдатель средней квалификации $N_{rec} = 3,0$) при АКО до 5 объектов.

При неизвестном уровне "родства" ИК-сигнатур ТОН и АКО для заданной вероятности распознавания 0,8 максимальное значение $D = D_{max} = 4$ (3,5) км — при дефиците с/ш ($N_{rec} = 2,5$ (3,0)). Минимальное значение $D = D_{min} = 3,1$ (2,7) км — при дефиците углового разрешения фрагментов ИК-сигнатуры ТОН ($N_{rec} = 3,6$ (4,3)), соответственно, для наблюдателя высокой (средней) квалификации.

При известном уровне "родства" ИК-сигнатур $D = D_{max}$ для "неродственных" и $D = D_{min}$ для "родственных" ИК-сигнатур ТОН и АКО.

Отождествляя распознавание ТОН с обнаружением и разрешением, например, трех фрагментов его ИК-сигнатуры (на фоне со средней степенью тепловой неоднородности, $N_{det,i} = 1,5$), вычислены гипотетические значения параметров ИК-сигнатуры фрагментов ($\Delta T_i, h_i$). Так, для $D = D_{max}$: если $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 2\Delta T$, то $h_1 = h_2 = 0,53$ (0,45) h , и если $\Delta T_3 = \Delta T$, то $h_3 = 0,65$ (0,55) h .

Для $D = D_{\min}$: если $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 2\Delta T$, то $h_1 = h_2 = 0,39$ (0,33) h , и если $\Delta T_3 = \Delta T$, то $h_3 = 0,47$ (0,40) h .

Заключение

Процедура распознавания объекта наблюдения из АКО интерпретирована с использованием различий пространственных спектров их ИК-сигнатур.

Степень "родства" пространственных спектров ИК-сигнатур объекта наблюдения и АКО определяет алгоритм расчета и значение дальности его распознавания ТВП.

Учет пространственных спектров ИК-сигнатур АКО позволяет мотивированно интерпретировать результаты натурных испытаний ТВП и приводить (пересчитывать) дальности распознавания к нормированным условиям визирования объекта наблюдения.

Литература

1. Driggers R. G. et al. Laboratory measurement of sampled infrared imaging system performance//Opt. Eng. 1999. V. 38. № 5. P. 852–861.
2. Алеев Р. М., Иванов В. П., Овсянников В. А. Основы теории анализа и синтеза воздушной тепловизионной аппаратуры. — Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2000.
3. Rotman S. R., Gordon E. S., Kowalczyk M. L. Modeling human search and acquisition performance//Opt. Eng. 1991. V. 30. № 6. P. 824–829.
4. Иванов В. П. Прикладная оптика атмосферы в тепловидении. — Казань: Новое знание, 2000.
5. Ллойд Дж. Системы тепловидения. — М.: Мир, 1978.
6. Трестман М. М., Харьковская Н. И. Сигнатура объекта наблюдения тепловизионным прибором и алгоритм расчета дальности распознавания//Тез. докл. XVII Международной научно-технической конференции по фотозлектронике и приборам ночного видения. — М., 2002.

Статья поступила в редакцию 24 мая 2004 г.

Signature of the object observed with thermal imaging device and algorithm of recognition distance calculation

M. M. Trestman, N. I. Kharkova

Federal state unitary enterprise «Scientific and Production Association "State Institute of Applied Optics"», Kazan, Russia

Algorithm of calculation and the value of the recognition distance of the observed object by means of the thermal imaging device are stipulated by a "relation" degree of IR objects signatures, from which one realizes a recognition. The variant of algorithm is given here and the example of calculation is presented.

* * *