

Распознавание типов объектов на радиотепловых изображениях в системе нескольких радиометров

С.М. Гудков

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязань, ул. Гагарина, 59/1, РГРТУ,
Email: s.m.gudkov@yandex.ru

В распределенных системах радиотеплового обнаружения и распознавания наземных объектов с помощью нескольких пассивных радиометров миллиметрового диапазона, возникает необходимость распознавания полученных радиометрами изображений по их соответствию тем или иным объектам.

Цель работы - предложить оптимальный подход к решению задачи распознавания изображений и дать вычислительный алгоритм последовательного перебора вариантов.

Введение

Пассивная система дистанционного наблюдения за наземными объектами с помощью нескольких радиометров миллиметрового диапазона длин волн [1] применяется для повышения надежности и обладают преимуществом скрытности. Из-за большого разнообразия типов объектов на подстилающей поверхности возникает необходимость их распознавания и сопровождения, в случае их движения.

В работе рассматривается система, состоящая из нескольких, разнесенных на различные расстояния между собой, сканирующих радиометров или радиометров с антенной решеткой. Такая система применяется для обнаружения и распознавания наземных объектов по их тепловому контрасту на фоне местности, а также сопровождения обнаруженных объектов [2].

Постановка задачи и критерий оптимальности

Система из Q пространственно распределенных радиометров сканирует K объектов на участке земной поверхности. Все объекты попадают в участок, перекрывающийся диаграммами направленности антенн со всех радиометров. Антенны q -го радиометра ($q = \overline{1, Q}$) принимают электромагнитное излучение от каждого k -го объекта ($k = \overline{1, K}$), расположенного в исследуемой зоне. В результате сканирования исследуемой зоны формируется радиотепловое изображение (РТИ) в виде матрицы $Y_{q,k} = \{y_{q,k}(i, j)\}$, $i, j \in D_{q,k}$, где $D_{q,k}$ – область РТИ k -го объекта в матрице РТИ зоны обзора q -го радиометра; $y_{q,k}(i, j)$ – радиояркостьная температура k -го объекта. Элементы изображения $Y_{q,k} = \{y_{q,k}(i, j)\}$ удовлетворяют модели, отражающей интегральный характер измерений по ширине диаграммы направленности антенны (ДНА):

$$y_{q,k}(i, j) = \sum_{i_1=-m}^m \sum_{j_1=-n}^n \alpha(i_1, j_1) x_{q,k}(i+i_1, j+j_1) + p_q(i, j), \quad (1)$$

где $\alpha(i, j)$ – общая для всех радиометров аппаратная функция (АФ);

$X_{q,k} = \{x_{q,k}(i, j)\}$ – ненаблюдаемое изображение объекта;

$p_k(i, j)$ – внутренние шумы аппаратуры k -го радиометра, обусловленные его собственной конструкцией.

В результате формируются матрицы наблюдений K объектов в Q радиометрах и пользователи ЭВМ с помощью специального программного обеспечения вручную или

автоматически [2] помещают полученные РТИ $Y_{q,k}$ в прямоугольные области D одинакового размера, совмещая центры $Y_{q,k}$ с центром D . В результате формируются множества наблюдений G_1, G_2, \dots, G_Q , где $G_q = \{Y_{q,k}, k = \overline{1, K}\}$, $Y_{q,k} = \{y_{q,k}(i, j)\}$, $i, j \in D$, $q = \overline{1, Q}$.

Предварительно сформированы множества $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_M$ эталонных изображений M типов объектов ($M \geq K$). Каждое ρ -е множество Ω_ρ состоит из s -х эталонных изображений $X_{\rho,s}^* = \{x_{\rho,s}^*(i, j)\}$, $i, j \in D$, объекта ρ -го типа ($\rho = \overline{1, M}$), полученных в зависимости от L ракурсов его наблюдения ($s = \overline{1, L}$, $L > Q$).

Задача заключается в распределении РТИ $Y_{q,k}$, $q = \overline{1, Q}$, $k = \overline{1, K}$, по их принадлежности эталонным изображениям объектов $X_{\rho,s}^* = \{x_{\rho,s}^*(i, j)\}$, $\rho = \overline{1, M}$, $s = \overline{1, L}$.

Оптимальный подход к решению задачи

Подход основан на переборе вариантов выборок и сводится к следующему.

Из множеств наблюдений G_1, G_2, \dots, G_Q мощности K выбираются изображения по одному из каждого множества. Формируется g -я выборка $Y_{q,kq}(g)$, $k_q \in \{1, 2, \dots, K\}$, $q = \overline{1, Q}$. Количество таких выборок определяется числом размещений из K по Q с повторениями: $\tilde{A}_K^Q = K^Q$.

Каждой g -й выборке наблюдаемых изображений $Y_{q,kq}(g)$, $q = \overline{1, Q}$, ставится в соответствие t -я выборка эталонных изображений $X_{\rho,sq}^*(t)$, $q = \overline{1, Q}$, взятая из каждого множества Ω_ρ числом размещений из L по Q : $A_L^Q = L \cdot (L-1) \cdot (L-2) \cdot \dots \cdot (L-Q+1)$.

Правдоподобие соответствия двух выборок совмещаемых изображений одному объекту в g -м, t -м варианте перебора характеризуется суммарным показателем вида:

$$J(g, t) = \sum_{q=1}^Q \mu_q I_q(Y_{q,kq}(g), X_{\rho q, sq}^*(t)), \quad (2)$$

где $k_q \in \{1, 2, \dots, K\}$.

Среди N вариантов выбираются K непересекающихся пар выборок, соответствующих K объектам в смысле минимума суммарного показателя $J = \sum_{k=1}^K J(g_k, t_k)$. Для этого требуется перебрать варианты с числом сочетаний из N по K : $C_N^K = N! / (K!(N-K)!)$ с проверкой несовпадения номеров элементов выборок.

Вычислительный алгоритм

Алгоритм позволяет упростить перебор вариантов и сводится к следующему:

1. В наиболее значимом q_1 -м радиометре с коэффициентом μ_1 выбирается k_1 -е изображение Y_{q_1, k_1} с наилучшим контрастом.

2. Выбранному изображению Y_{q_1, k_1} ставятся в соответствие s -е эталонные изображения объекта 1-го типа ($\rho = 1$) $X_{1, s}^*$, $s = \overline{1, L}$. Сопоставляются пары изображений Y_{q_1, k_1} и $X_{1, s}^*$ по критерию наилучшей близости $I_q(Y_{q_1, k_1}, X_{1, s}^*)$, $s = \overline{1, L}$, и запоминаются значения показателей I_q . Среди L вариантов соответствия сохраняется один вариант с наименьшим значением показателя I_q .

3. Далее РТИ Y_{q_1, k_1} ставятся в соответствие эталонные изображения $X_{2, s}^*$, $s = \overline{1, L}$, объекта 2-го типа ($\rho = 2$) и после сопоставлений изображений запоминаются показатели

$I_q(Y_{q_1, k_1}, X_{2, s}^*)$, $s = \overline{1, L}$. Запоминаются номера ρ, s в функции ρ , отвечающие наименьшему значению I_q , а также сам показатель: $\rho_{\min}, s_{\min}(\rho), I_{\min}$.

4. Аналогичные операции продолжаются для $\rho = 3, \dots, M$. После чего заполняются массивы: $N\rho(q_1, k_1) = \rho_{\min}$, $Ns(q_1, k_1) = s_{\min}(\rho_{\min})$.

5. Затем выбирается k_2 -е изображение Y_{q_1, k_2} , имеющее значение в порядке приоритета. РТИ Y_{q_1, k_2} сравнивается с s -ми эталонными изображениями $X_{\rho, s}^*$, $s = \overline{1, L}$, взятыми из множеств с номерами $\rho = 1, 2, \dots, M$, причем пара номеров ρ, s не должна совпадать с парой запомненных номеров $N\rho(q_1, k_1), Ns(q_1, k_1)$, что обеспечивает точность сравнений.

6. Из всех вариантов сравнений $Y_{q_1, k_2} \sim X_{\rho, s}^*$, $\rho = \overline{1, M}$, сохраняется вариант с наименьшим значением показателя I_q . Запоминаются номера: $N\rho(q_1, k_2) = \rho_{\min}$, $Ns(q_1, k_2) = s_{\min}(\rho_{\min})$.

7. Далее выбираются остальные изображения $Y_{q_1, k_3}, \dots, Y_{q_1, k_K}$ в q_1 -м радиометре. Запоминаются номера соответствий $N\rho(q_1, k_3), Ns(q_1, k_3), \dots, N\rho(q_1, k_K), Ns(q_1, k_K)$.

8. Действия повторяются для всех оставшихся радиометров. В результате в массиве $N\rho(q, k)$, $q = \overline{1, Q}$, $k = \overline{1, K}$, запоминаются номера ρ -х объектов, к которым отнесены наблюдения $Y_{q, k}$. При отсутствии ошибок распознавания каждый номер ρ должен встречаться Q раз в массиве $N\rho(q, k)$ при $q = \overline{1, Q}$.

Экспериментальное исследование алгоритма показало, что вероятность правильной классификации (расознавания) наблюдаемых изображений зависит как от правила перебора вариантов, так и от используемых показателей близости (схожести) пар изображений.

Заключение

Предложен оптимальный подход к решению задачи распознавания РТИ, основанный на суммарном показателе правдоподобия соответствий наблюдаемых и эталонных изображений, и дан вычислительный алгоритм, позволяющий сократить перебор вариантов. Результаты исследования могут найти применение как в существующих, так и в перспективных разработках радиометрических систем [3, 4].

Работа выполнена при методической поддержке профессора кафедры АИТУ РГРТУ Ключко В.К. Программное обеспечение эксперимента осуществлялось инженером Кошелевым А.А.

Литература

1. Пассивная радиолокация: методы обнаружения объектов / Под ред. Р. П. Быстрова и А. В. Соколова. М.: Радиотехника, 2008. 320 с.
2. Математические методы восстановления и обработки изображений в радиотеплооптоэлектронных системах / В. К. Ключко. Рязань: РГРТУ, 2009. 228 с.
3. Ключко В.К., Гудков С.М., Кошелев А.А. Алгоритмы формирования изображений объектов в радиометре с двумя антеннами // Цифровая обработка сигналов. 2017. № 1. С. 18 – 21.
4. Ключко В.К., Гудков С.М. Повышение эффективности формирования изображений в радиометре со сканирующими антеннами // Радиотехника. 2017. № 5. С. 158 – 165.