

О КОМПЛЕКСИРОВАНИИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

ЗАО "НПО "Мобильные Информационные Системы":

Дмитрий Владимирович Сухомлинов

Александр Николаевич Медведь

Полноту, достоверность и точность получаемых данных о положении и характере наземных и морских объектов можно значительно повысить при комплексировании информационных каналов на борту летательного аппарата. Комплексирование предполагает совместное использование этих средств и совместную обработку получаемых при этом данных от аппаратуры различных видов. В статье рассмотрены варианты комплексирования бортовых информационных систем, преимущественно оптико-электронных, приведены основы методики оценки эффективности комплексирования и некоторые результаты комплексной обработки изображений объектов.

Completeness, reliability and accuracy of the data on the position and nature of onshore and offshore facilities can be significantly increased through integrator of information channels on board the aircraft. Integration of these involves the sharing of resources and joint processing of data obtained with this apparatus from different species. The article describes the options for interconnecting in-vehicle information systems, mainly optoelectronic, some basics methodology for assessing the effectiveness of integration and some of the results of complex image processing facilities.

Ключевые слова: комплексирование данных, обнаружение и распознавание объектов, многоспектральные информационные комплексы.

Keywords: data aggregation, detection and identification of objects, multispectral information systems.

Обнаружение и распознавание объектов по данным, получаемым от информационных каналов, производится по совокупности априорно известных для каждого класса объектов опознавательных признаков, которые можно разделить на две основные группы: прямые и косвенные.

Прямые опознавательные признаки присущи самим объектам и связаны непосредственно с объектами. К ним относят геометрические, оптические и другие характеристики объектов, регистрируемые с помощью технических средств: размер, форма, общий тон (или цвет), текстура, температура поверхности и т.д. Одним из важнейших прямых опознавательных признаков объектов является форма (конфигурация) объекта. Форма объектов передается границами между участками с различной яркостью, точность воспроизведения которых определяется в основном детальностью получаемых изображений. Информативным прямым признаком является текстура объекта, являющаяся, в известной мере, комплексным опознавательным признаком.

Косвенные опознавательные признаки не связаны непосредственно с объектами наблюдения, но несут в себе информацию об объектах и их функциональном состоянии. К косвенным опознавательным признакам относятся тень, следы деятельности, взаимное расположение объектов на местности, их расположение по отношению к элементам местности и т.д. Следы деятельности объектов зачастую являются единственным признаком, по которому обнаруживаются и распознаются объекты, а также определяется их функциональное состояние.

Успешное обнаружение и распознавание объектов наблюдения достигается при комплексировании прямых и косвенных опознавательных признаков. Причем в зависимости от характера объектов наблюдения, степени их контрастности, условий их расположения на местности, времени суток и погоды информативность тех или иных признаков объектов меняется.

Многообразие вариантов комплексного распознавания многоканальной информации может быть сведено к четырем схемам, показанным на рис. 1.

Комплексирование изображений может производиться на различных уровнях обработки.

I. Комплексирование на уровне зональных решений. Принимаются поканальные (предварительные) решения об объекте по канальным изображениям с последующей выработкой окончательного решения по канальным решениям, например, методом голосова-

ния или по правилу: "Объект обнаружен, если он обнаружен хотя бы в одном из каналов".

II. Комплексирование на уровне признаков. Определяются опознавательные признаки объекта по канальным изображениям; признаки объединяются в единый (расширенный) вектор признаков, по которому и принимается решение об объекте.

III. Комплексирование на уровне элементарных сигналов датчиков изображений. Опознавательные признаки определяются по векторному, а не по скалярному, как в схеме II, полю яркости многоканального изображения.

IV. Комплексирование на уровне элементарных сигналов многоканальной оптико-электронной системы (ОЭС) с целью получения единого синтезированного изображения.

Схема I является традиционной и наиболее простой для реализации. К ней предъявляются наименее жесткие требования по взаимной привязке спектральных изображений. В ней могут использоваться традиционные опознавательные признаки изображений цели. Эффективность такой схемы для заданного набора опознавательных признаков может оцениваться по схеме оценки эффективности обработки однозонального изображения, но с учетом статистики взаимозависимости поканальных решений. Следует ожидать, что при наличии существенной взаимосвязи спектральных яркостей ландшафта эффективность схемы I может оказаться существенно ниже эффективности остальных схем, поскольку поканальные решения принимаются независимо, по данным каждого из каналов.

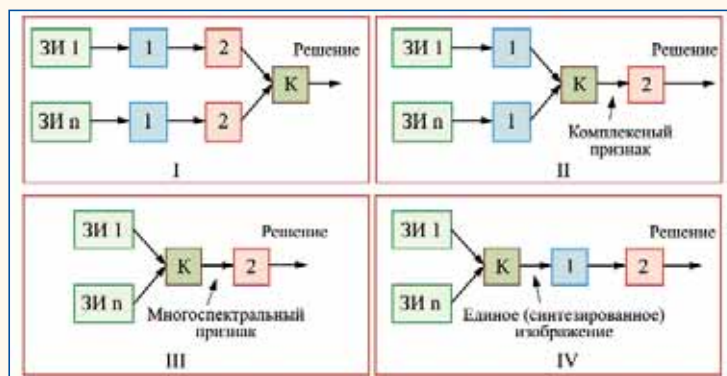


Рис. 1 Схемы комплексного дешифрирования двух изображений: ЗИ - запись изображения; 1 - оценка опознавательного признака объекта на изображении; 2 - обнаружение объекта; К - момент комплексирования данных

Существенно более эффективной может оказаться схема II, в которой опосредование взаимной связи спектральных яркостей производится в меньшей степени. В то же время, схема выглядит несколько сложнее для реализации. Во-первых, в ней предъявляются более жесткие требования к взаимной привязке полученных изображений. Во-вторых, несмотря на то, что в ней могут использоваться те же опознавательные признаки, что и в схеме I, в процедуре принятия решения участвует расширенный вектор признаков, содержащий в n_k раз больше компонентов, чем вектор признаков в схеме I. Это может значительно увеличить потребность в вычислительных ресурсах. В-третьих, данная схема обработки предъявляет повышенные требования к объему и содержанию обучающей (эталонной) информации [1].

С точки зрения возможности максимального использования многоканальной информации потенциально наиболее эффективной является схема III. Действительно, только в этом случае учет спектральной зависимости измерений может быть произведен по самим измерениям. В схеме I решения принимаются независимо, и это связано с потерей части информации. Аналогично, в схеме II часть информации о взаимосвязи спектральных яркостей теряется в процессе поканального расчета признаков объекта. Помимо схемы III только в схеме IV возможен непосредственный учет взаимозависимости спектральных яркостей. Однако редукция векторной величины яркости многозонального изображения к скалярной величине яркости синтезированного изображения приводит к потере некоторой доли многозональной информации.

Кроме того, анализ математической формализации процедур обнаружения и распознавания объектов по различным схемам показывает, что схемы комплексирования II и IV являются частными случаями схемы III. Следовательно, потенциальные возможности схемы III не могут быть превышены.

Для реализации потенциальных возможностей схемы III необходима разработка многоканальных признаков изображений объектов. Второй особенностью схемы III является требование точной (до элемента разложения) взаимной привязки отдельных изображений. Данное требование обеспечивается в многоспектральных оптико-электронных системах, обладающих единой входной оптической системой для всех зон съемки. В противном случае схема отягощается дополнительными процедурами привязки, требующими значительных вычислительных ресурсов; гарантировать надежность работы таких процедур в автоматическом режиме не представляется возможным. Как и в случае схемы II, в схеме III предъявляются повышенные требования к вычислителю и объемам обучающих выборок.

При затруднениях в использовании схемы III и при наличии существенной связи спектральных яркостей более предпочтительной становится схема IV. Она учитывает взаимную корреляцию спектральных измерений; позволяет использовать традиционные признаки скалярных изображений; существенно снижает требования к вычислителю; позволяет упростить процедуру оценки эффективности комплексной обработки. Возможная же потеря части информации при замене вектора яркости X скалярной величиной y может быть сведена к минимуму путем адекватного выбора процедуры синтеза $y = y(X)$.

Сравнительный анализ альтернативных схем автоматического выявления малоразмерных объектов на многозональных изображениях земной поверхности для относительно широкого диапазона значений параметров изображений приведен в [2]. Для многих типовых условий наблюдения при наличии статистической зависимости спектральных яркостей эффективность схемы III оказывается существенно более высокой. Это относится, в частности, к съемке в нескольких зонах отражательной области спектра, для которых коэффициент корреляции яркостей может достигать значения 0,8 и выше. Например, при фиксированной вероятности обнаружения малоразмерного объекта вероятность ложной тревоги в схемах III, IV может быть на два-три порядка ниже, чем при независимом определении опознавательных признаков и принятия решений в каналах съемки.

Обработка многоканальных видеоданных в контуре обработки изображений (КОИ) имеет главной целью повышение эффектив-

ности распознавания малоразмерных целей (МЦ) при автоматическом дешифрировании.

В адаптивных процедурах обнаружения объектов под признаком яркости удобно понимать меру различия яркости объекта и фона

$$\pi_n = (m_{об} - m_{\phi}) / \sigma_{\phi},$$

где $m_{об}$, m_{ϕ} - математические ожидания яркости объекта и фона;

$$\sigma_{\phi} - \text{СКО яркости фона.}$$

В схеме комплексирования на уровне признаков признаки вида π_n рассчитываются в каждом из n_x каналов съемки и объединяются в единый векторный признак

$$\pi_n = (\pi_n^{(1)}, \dots, \pi_n^{(n_x)})^T,$$

$$\text{где } \pi_n^{(i)} = (M_{об}^{(i)} - M_{\phi}^{(i)}) / \sigma_{\phi}^{(i)}, \sigma_{\phi}^{(i)} = (r_{\phi}^{(ij)})^{0,4}, i = 1, \dots, n_x;$$

$M_{об}^{(i)}$, $M_{\phi}^{(i)}$ компоненты векторов $M_{об}$, M_{ϕ} математического ожидания яркости объекта и фона в канале i ;

$r_{\phi}^{(ij)}$ - диагональные элементы дисперсионной матрицы яркости фона r_{ϕ} .

Естественным обобщением признака π_n является многозональный признак яркости π_n^M

$$\pi_n^M = (M_{об} - M_{\phi})^T (\Psi_{\phi}^0)^{-1} \cdot (M_{об} - M_{\phi});$$

где Ψ_{ϕ}^0 - дисперсионная матрица вектора M_{ϕ} при оценивании M_{ϕ} по области G площадью S_G

$$\Psi_{\phi}^0 = (S_G)^{-2} \sum_{(i,j) \in G} \sum_{(i,j) \in G} \psi_{i,j};$$

$\psi_{i,j}$ - элементы матричной корреляционной функции фона.

Здесь важно заметить, что величина π_n^M как квадратичная форма нормально распределенных случайных величин в случае отсутствия объекта имеет χ^2 -распределение с n_x степенями свободы

$$dF = \frac{1}{2^{0,5n_x} \cdot \Gamma(0,5 \cdot n_x)} e^{-0,5 \pi_n^M} (\pi_n^M)^{0,5(n_x-2)} d\pi_n^M.$$

Если не учитывать корреляцию между каналами, получим следующее выражение для признака яркости

$$\pi_n^0 = \frac{(M_{об}^{(1)} - M_{\phi}^{(1)})^2}{r_{\phi}^{(11)}} + \dots + \frac{(M_{об}^{(n_x)} - M_{\phi}^{(n_x)})^2}{r_{\phi}^{(n_x, n_x)}}.$$

Признак площади объекта введем в следующем виде:

$$\pi_n = \sum_{(i,j) \in G} y_{ij},$$

$$\text{где } y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } |x_{ij} - m_{\phi}| \sigma_{\phi}^{-1} > \alpha; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

G - область на изображении;

α - некоторый порог.

При комплексировании на уровне признаков вводится следующий векторный признак площади

$$\pi_n = (\pi_n^{(1)}, \dots, \pi_n^{(n_x)})^T,$$

$$\text{где } \pi_n^{(k)} = \sum_{(i,j) \in G} y_{ij}^{(k)},$$

$$y_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 1, & \text{если } |X_{ij}^{(k)} - M_{\phi}^{(k)}| (r_{\phi}^{(kk)})^{-0,5} > \alpha; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

Обобщением признака площади является многозональный признак π_n^M

$$\pi_n^M = \sum_{(i,j) \in G} y_{ij},$$

$$\text{где } y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (X_{ij} - M_{\phi})^T r_{\phi}^{-1} (X_{ij} - M_{\phi}) > \alpha; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Без учета корреляции яркости между каналами признак площади

$$\pi_n^0 = \sum_{(i,j) \in G} y_{ij},$$

$$\text{где } y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (X_{ij}^{(1)} - M_{\phi}^{(1)})^2 (r_{\phi}^{(11)})^{-1} + \dots + (X_{ij}^{(n_x)} - M_{\phi}^{(n_x)})^2 (r_{\phi}^{(n_x, n_x)})^{-1} > \alpha; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Модель корреляционного признака

Представим яркость точки многоканального изображения в виде

$$X_{ij} = \begin{cases} M_{\phi} + \delta X_{ij}^{\phi} + \delta X_{ij}^{\psi}, & \text{если } (i, j) \notin G_{об}; \\ M_{об} + \delta X_{ij}^{\psi}, & \text{если } (i, j) \in G_{об}; \end{cases}$$

где δX_{ij} - флуктуационные составляющие яркости изображения (от фона и шума датчика изображения, соответственно);

$G_{об}$ - область изображения, в которой находится объект;

$$X_{ij} = (X_{ij}^{(1)}, \dots, X_{ij}^{(n)})^m.$$

Для k -го диапазона ($k = 1, \dots, n$) и произвольной точки (p, q) изображения рассчитываются скалярные признаки $Z_{pq}^{(k)}$

$$Z_{pq}^{(k)} = \sum_{(i,j) \in G} X_{ij}^{(k)} X_{p+i, q+j}^{(k)},$$

которые сопоставляются с граничным значением k -го диапазона. Если это значение превышено, то принимается решение о наличии объекта, причем эталонное изображение $\{X_{ij}^{(k)\exists}\}$ в k -том канале воспроизводит форму объекта на нулевом фоне. Результирующее решение принимается методом голосования.

В схеме комплексирования на уровне признаков $Z_{pq}^{(k)}$ вычисляются аналогично, однако затем для точек (p, q) формируется векторный признак

$$Z_{pq} = (Z_{pq}^{(1)}, \dots, Z_{pq}^{(n)})^T,$$

по которому принимается решение в зависимости от положения Z_{pq} относительно заданной границы в n -мерном признаковом пространстве.

Обобщением корреляционного признака является многозональный признак Z_{pq}^M . Это скалярный признак, он вычисляется с использованием всех компонентов вектор-яркости X

$$Z_{pq}^M = \sum_{(i,j) \in G} (X_{ij}^{\exists})^T X_{p+i, q+j}.$$

Определим оптимальное многозональное эталонное изображение $\{X_{ij}^{\exists}\}$. Полагаем

$$X_{ij}^{\exists} = \begin{cases} X^{\exists}, & \text{если } (i, j) \in G_{об}; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Математические ожидания z^M (при наличии объекта - $m_{z,об}$ и в отсутствие объекта - $m_{z,ф}$) определяются формулами

$$m_{z,об} = \sum_{(i,j) \in G_{об}} (X_{ij}^{\exists})^T < X_{ij} / \omega_{об} > = S_{об} (X^{\exists})^T M_{об},$$

$$m_{z,ф} = \sum_{(i,j) \in G_{об}} (X_{ij}^{\exists})^T < X_{ij} / \omega_{ф} > = S_{об} (X^{\exists})^T M_{ф}.$$

Дисперсия z^M в отсутствие объекта:

$$\sigma_z^2 = \left\langle \sum_{(i,j) \in G_{об}} (X_{ij}^{\exists})^T (X_{ij} - M_{TM}) \sum_{(i',j') \in G_{об}} (X_{i'j'})^T (X_{i'j'} - M_{TM}) \right\rangle = S_{об}^2 (X^{\exists})^T \Psi_{ф}^0 X^{\exists},$$

$$\Psi_{ф}^0 = \frac{1}{S_{об}^2} \sum_{(i,j) \in G_{об}} \sum_{(i',j') \in G_{об}} \Psi_{i-i', j-j'};$$

Ψ_{ij} - матричная корреляционная функция текстуры изображения в окрестности объекта.

Вектор X^{\exists} определяется путем максимизации отношения

$$X^{\exists} = \xi^{\exists} (\Psi_{ф}^0)^{-1} (M_{об} - M_{ф}),$$

где ξ^{\exists} - произвольная скалярная величина.

Заметим, что при отсутствии сведений о яркости объекта вектор X^{\exists} определяется выражением

$$X^{\exists} = U \psi (\lambda_{min}),$$

где $U \psi (\lambda_{min})$ - собственный вектор матрицы $\Psi_{ф}^0$, соответствующий ее минимальному собственному числу.

Для реализации описанных выше моделей многоспектральных обнаружительных признаков объектов на местности исходное многозональное изображение просматривается двумя вложенными окнами $G_{об}$ и G_0 (рис. 2).

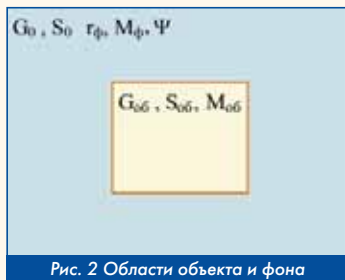


Рис. 2 Области объекта и фона

Меньшее окно $G_{об}$ должно быть по возможности вписанным в объект при совмещении системы окон с объектом. Большее окно G_0 должно иметь размер, не менее чем в четыре-шесть раз превышающий реальный размер объекта на изображении. Ограничение размера сверху определяется условием однородности выборки вектор-яркостей X из области, образованной пересечением областей $G_{об}$ и G_0 .

При каждом фиксированном положении центра окон на изображении (p, q) оцениваются следующие параметры:

- $M_{об}$ - по яркостям пикселей в окне $G_{об}$;

- $M_{ф}$ и $\Psi_{ф}^0$ - по яркостям пикселей в области пересечения окон $G_{об}$ и G_0 .

Интерпретация и иллюстрация типовых ситуаций

Рассмотрим ситуацию, когда на борту летательного аппарата имеются две оптико-электронные системы (ОЭС1 и ОЭС2). Пусть ОЭС1 плохо воспроизводит мелкие детали местности, однако имеет низкий уровень шума. Наоборот, ОЭС2 воспроизводит мелкие детали значительно лучше, чем ОЭС1, но при этом имеет больший уровень шума. Такое положение типично, например, при использовании двух инфракрасных датчиков изображений, линейные размеры чувствительных элементов приемников излучения которых отличаются в несколько раз: датчик с меньшим чувствительным элементом лучше воспроизводит детали при худшем отношении "сигнал-шум".

На рисунке 3 приведены сечения функций q_1 и q_2 , показывающие, во сколько раз гармонические составляющие полезного сигнала в каналах съемки (ОЭС1 и ОЭС2, соответственно) превышают соответствующие составляющие шума.

Видно, что на частотах, меньших 0,4 отн. ед., отношение "сигнал - шум" у ОЭС1 больше, чем у ОЭС2, а на частотах, больших 0,4 отн. ед., - наоборот. Здесь же приведены кривые $q_{\Sigma-}$ и $q_{\Sigma+}$, показывающие диапазон отношений "сигнал-шум" синтезированного изображения.

Таким образом, синтезированное изображение обладает достоинствами обоих датчиков, имея максимальное отношение сигнал-шум во всем спектральном диапазоне.

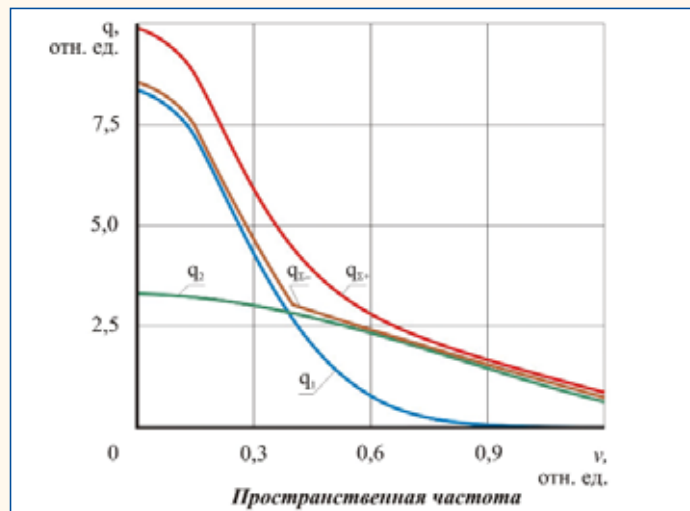


Рис. 3 Вид сечений q_1, q_2 и пределов ($q_{\Sigma-}$ и $q_{\Sigma+}$) расположения q_{Σ}

Представленные оценки иллюстрируют возможность существенного повышения эффективности обнаружения малоразмерной цели при комплексной обработке многозональных изображений местности. Описанные подходы могут использоваться при наличии ограничений на располагаемое время поиска морских объектов. Их достоинством является оптимальность математических моделей комплексирования и адаптируемость параметров моделей к локальным характеристикам яркости подстилающей поверхности. При некоторых допущениях яркостной подход позволяет реализовать потенциальные возможности метода многозональной съемки земной поверхности в диапазонах отражательной области спектра оптического излучения.