

КОМБИНИРОВАННЫЙ ЗОННЫЙ АЛГОРИТМ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ НА РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

д.т.н. В.И. Антюфеев, А.М. Гричанюк

В статье разработан комбинированный зонный алгоритм локализации объектов геодезической привязки на радиометрических изображениях, оптимальный при заданном уровне вариаций радиояркостей зон. Приведённые результаты статистических испытаний показывают, что при наличии на изображении вариаций радиояркостей и аддитивного нормально распределённого белого шума существует оптимальное значение параметра λ , при котором эффективность комбинированного зонного алгоритма превосходит эффективность корреляционного и классического зонного алгоритмов.

Изображения в радиометрических (РМ) корреляционно-экстремальных системах навигации подвержены вариациям радиояркостей отдельных зон вследствие изменения погодных и сезонных условий во время сеанса коррекции траектории летательного аппарата. Поэтому алгоритмы локализации объектов геодезической привязки (ОГП) на радиометрических изображениях должны быть по возможности устойчивыми к таким вариациям. В работе [1] показано, что при отсутствии указанного эффекта оптимальным по критерию вероятности локализации объекта является квадратичный разностный алгоритм, соответствующий представлению эталонного изображения (ЭИ) в числовой шкале, а при очень больших вариациях, когда возможны инверсии контрастов яркостей зон, оптимальным является классический зонный алгоритм (КЗА), соответствующий представлению ЭИ в номинальной шкале.

Целью работы является разработка алгоритма локализации объектов на радиометрических изображениях, оптимального для заданного уровня вариаций радиояркостей зон, который может быть определен в результате экспериментальных исследований.

Алгоритм локализации ОГП основан на последовательном сравнении текущего изображения (ТИ) $\{T_{ij}\}_{i \in I, N_1; j \in J, N_2}$ со всеми сдвинутыми фрагментами ЭИ $\{E_{ij}\}_{i \in I, M_1; j \in J, M_2}$, имеющими такие же размеры, и выявлении наиболее "похожего" на ТИ фрагмента, а также определении его параметра сдвига (\mathbf{k}_0, l_0) по положению экстремума решающей функции (РФ). Развернем ТИ и каждый (\mathbf{k}, l) -й фрагмент ЭИ по строкам: $\{T_i\}_{i \in I, n}$,

$\{E_i^{kl}\}_{i \in \overline{1, n}}$, где $n = N_1 N_2$. Выберем нумерацию зон на ЭИ и обозначим через L_j^{kl} множество номеров элементов (k, l) -го фрагмента ЭИ, принадлежащих j -й зоне. Ясно, что $\bigcup_{j=1}^N L_j^{kl} = \overline{1, n}$, где N - число зон ЭИ.

Решающие функции (РФ) квадратичного разностного алгоритма и КЗА определяются выражениями [1]:

$$\Lambda_{kl}^{KP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - E_i^{kl})^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N \sum_{i \in L_j^{kl}} (T_i - E_i^{kl})^2; \quad (1)$$

$$\Lambda_{kl}^{KZA} = \frac{1}{n_j^{kl}} \sum_{i \in L_j^{kl}} n_j^{kl} D_j^{kl}, \quad (2)$$

где $D_j^{kl} = \frac{1}{n_j^{kl}} \sum_{i \in L_j^{kl}} n_j^{kl} (T_i - \bar{T}_j^{kl})^2$, $\bar{T}_j^{kl} = \frac{1}{n_j^{kl}} \sum_{i \in L_j^{kl}} T_i$ - выборочные дисперсия и среднее значение по элементам j -й зоны (k, l) -го фрагмента ЭИ; n_j^{kl} - число элементов j -й зоны. Из (2) следует, что КЗА учитывает только информацию о конфигурациях зон ЭИ и не учитывает информацию об их яркостях.

На практике, как правило, используются центрированные и нормированные ТИ и фрагмент ТИ, т.е.:

$$t_i = \frac{T_i - \tilde{T}}{\sigma}; \quad \tilde{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i; \quad \sigma = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (T_i - \tilde{T})^2 \right]^{1/2}, \quad i \in \overline{1, n};$$

$$e_j^{kl} = \frac{E_i^{kl} - \tilde{E}^{kl}}{\sigma^{kl}}; \quad \tilde{E}^{kl} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i^{kl}; \quad \sigma^{kl} = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (E_i^{kl} - \tilde{E}^{kl})^2 \right]^{1/2}, \quad i \in \overline{1, n}.$$

Тогда РФ (1), (2) принимают вид:

$$\Lambda_{kl}^{KP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - e_i^{kl})^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N \sum_{i \in L_j^{kl}} (t_i - e_i^{kl})^2; \quad (3)$$

$$\Lambda_{kl}^{KZA} = \frac{1}{n_j^{kl}} \sum_{i \in L_j^{kl}} n_j^{kl} (t_i - e_j^{kl})^2, \quad (4)$$

где $D_j^{kl} = \frac{1}{n_j^{kl}} \sum_{i \in L_j^{kl}} n_j^{kl} (t_i - \bar{t}_j^{kl})^2$, $\bar{t}_j^{kl} = \frac{1}{n_j^{kl}} \sum_{i \in L_j^{kl}} t_i$.

Поскольку ТИ центрировано и нормировано, то

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N \sum_{i \in L_j^{kl}} t_i^2 = 1. \quad (5)$$

РФ квадратичного разностного алгоритма при этом совпадает с РФ корреляционного алгоритма.

В [2] показано, что (5) можно представить в виде

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^N n_j^{kl} \bar{D}_j^{kl} + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N n_j^{kl} (\bar{t}_j^{kl})^2 = 1. \quad (6)$$

Из формулы (6) следует выражение для РФ КЗА:

$$\Lambda_{kl}^{KZA} = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N n_j^{kl} (\bar{t}_j^{kl})^2, \quad (7)$$

в соответствии с которым вычисления выполняются быстрее, чем по алгоритму (4).

Выражение (3) с учетом (6) принимает вид

$$\Lambda_{kl}^{KP}(\theta_i) = \Lambda_{kl}^{KZA} + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N n_j^{kl} \bar{t}_j^{kl} (\bar{t}_j^{kl} - e_j^{kl}). \quad (8)$$

Таким образом, в РФ корреляционного алгоритма выделено слагаемое, соответствующее КЗА. Если теперь второму слагаемому в (8) приписать вес λ , изменяющийся в интервале $[0, 1]$, то РФ такого алгоритма с учётом (6) описывается выражением

$$\Lambda_{kl}^{KP} = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N n_j^{kl} \bar{t}_j^{kl} \left[(1-\lambda) \bar{t}_j^{kl} - \lambda e_j^{kl} \right].$$

Отбрасывая несущественные для определения положения экстремума постоянные множители и слагаемые, окончательно получим

$$\Lambda_{kl}^{KP} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N n_j^{kl} \bar{t}_j^{kl} \left[(1-\lambda) \bar{t}_j^{kl} - \lambda e_j^{kl} \right], \quad (9)$$

причём решение принимается по максимуму РФ (9). Назовем алгоритм с такой РФ комбинированным зонным. В случае $\lambda = 0$ этот алгоритм эквивалентен КЗА, а при $\lambda = 1$ – корреляционному.

Для оценки эффективности предложенного алгоритма, критерием которой является вероятность локализации ОГП, были проведены статистические испытания при наличии вариаций радиояркостей зон и аддитивного нормального шума со среднеквадратическим значением σ .

Моделировалось ЭИ зонной структуры (рис. 1), имеющее размеры $N_1 = N_2 = 20$ и число зон $N = 3$, фиксированная радиояркость которых составляла $E_1 = 50$ К, $E_2 = 190$ К и $E_3 = 250$ К соответственно. ТИ моделировалось путём вырезания из ЭИ фрагмента с размерами

$M_1 = M_2 = 10$. Для имитации вариаций яркостей зон при формировании ТИ яркость элементов, принадлежащих второй и третьей зонам ЭИ, изменялась случайным образом в соответствии с выражением

$$T_i = E_j^{k'} + v_j, \quad i \in L_j^{k'}, \quad (10)$$

где $v_j \in N(0, \chi_j)$. Аддитивная шумовая составляющая в изображении, обусловленная собственными шумами радиометрических каналов, имитировалась путём добавления к каждому значению яркости элемента смоделированного изображения нормально распределенной случайной величины с нулевым средним и дисперсией σ^2 (для простоты дисперсии шума всех каналов выбраны одинаковыми). Общее количество обрабатываемых в серии реализаций, используемых для расчета одного значения эффективности P_L , составляло $N_z = 5000$.

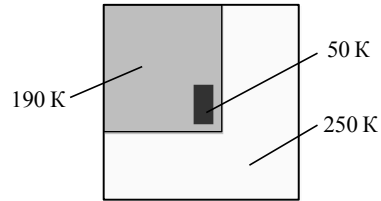


Рис. 1. Пространственное расположение зон на ЭИ

Результаты статистических испытаний алгоритмов в случае использования такой модели ТИ приведены на рис. 2. Значение весового коэффициента λ для зонного алгоритма в данном случае принималось равным 0,1.

Из результатов статистических испытаний следует, что в интервале значений χ от 35 до 125 К наилучшей эффективностью обладает зонный алгоритм.

Для определения оптимального значения весового коэффициента λ был проведен цикл статистических испытаний комбинированного зонного алгоритма. Отличие условий проведения испытаний от выше описанных заключалось в том, что были исследованы два варианта помеховой обстановки с фиксированными значениями параметра χ . В первом случае принималось, что $\chi = 30$ К, а среднеквадратическое значение шума на ТИ составляло $\sigma = 60$ К. Во

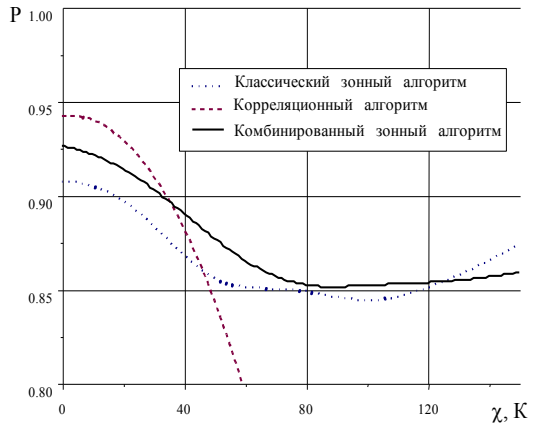


Рис. 2. Результаты статистических испытаний алгоритмов при среднеквадратическом значении шума $\sigma = 80$ К

втором случае принималось, что $\chi = 50$ К, а $\sigma = 80$ К.

проведения испытаний от выше описанных заключалось в том, что были исследованы два варианта помеховой обстановки с фиксированными значениями параметра χ . В первом случае принималось, что $\chi = 30$ К, а среднеквадратическое значение шума на ТИ составляло $\sigma = 60$ К. Во

По результатам статистических испытаний комбинированного зонного алгоритма, приведённым на рис. 3, можно сделать вывод, что при наличии на изображении вариаций радиояркости и аддитивного нормально распределённого белого шума существует оптимальное значение параметра λ , при котором эффективность комбинированного зонного алгоритма достигает наивысшего значения и превосходит

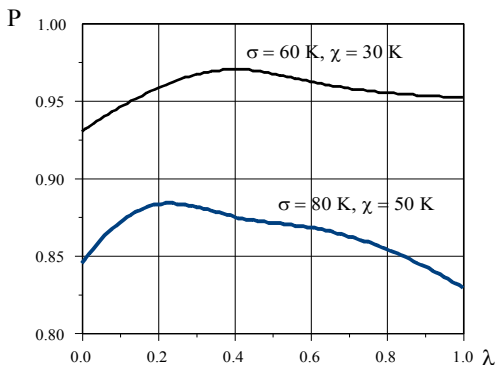


Рис. 3. Результаты статистических испытаний комбинированного зонного алгоритма локализации объектов геодезической привязки

эффективность корреляционного и КЗА. Для первого варианта помеховой обстановки оптимальное значение весового коэффициента равно 0,4; для второго варианта – 0,22 (при этом вероятность локализации цели зонным алгоритмом оказалась выше на 4,4 %, чем классическим зонным, и на 6,2 % выше, чем корреляционным алгоритмом).

ЛИТЕРАТУРА

1. Антюфеев В.И., Макаренко Б.И., Султанов А.С. Синтез устойчивых к вариациям яркости изображения алгоритмов локализации целей в двумерных КЭСН. Часть 2. Выбор эталона максимального сходства и синтез оптимальных алгоритмов // Электромагнитные волны и электронные системы – 1999. – Т. 4. – № 4. – С. 65 - 71.
2. Антюфеев В.И., Быков В.Н., Гричанюк А.М. Модификация зонного алгоритма обработки радиометрических изображений // Сб. научн. тр. МОУ (ХВУ). – 1997– Ч.3, Вып. 11. – С. 82 - 89.

Поступила 15.08.2002

АНТЮФЕЕВ Валерий Иванович, доктор техн. наук, ст. научный сотрудник, главный научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1969 году окончил ХГУ. Область научных интересов – корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов, радиометрические системы, цифровая обработка изображений.

ГРИЧАНЮК Александр Михайлович, зам. нач. НИО научного центра при ХВУ. В 1990 году окончил ХВВКИУ РВ. Область научных интересов – радиометрические корреляционно-экстремальные системы навигации, цифровая обработка изображений.