

УДК 621.396

Г.В. ХУДОВ¹, И.Н. БУТКО², А.Н. МАКОВЕЙЧУК³¹ Харьковский университет Воздушных Сил, Украина² Национальная академия обороны Украины³ ЗАО «Авикос-Электрон», Украина

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫБОРА РЕПЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ВИДОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В работе проводится анализ существующих методов привязки видовых изображений. Существующая точность привязки не удовлетворяет требованиям, выдвигаемым рядом специфических задач. В работе дается теоретическое обоснование новой методики выбора реперных объектов на видовых изображениях.

реперный объект, видовое изображение, привязка, неравенство Рао-Крамера

Постановка проблемы в общем виде

В настоящее время для привязки видовых изображений используются протяженные реперные объекты [1, 2]. Протяженность указанных реперных объектов составляет несколько элементов разрешения. В связи с этим точность (среднеквадратическая ошибка) измерения координат реперных объектов также составляет несколько элементов разрешения. Это не всегда удовлетворяет предъявленным требованиям к точности измерения, что показано в работах [3 – 6].

В работе приводится теоретическое обоснование методики выбора реперных объектов на видовых изображениях с целью повышения точности координатной привязки изображений.

Анализ последних достижений и публикаций

Обоснование информационных признаков для определения реперных объектов, представленное в работах [1, 2], является эвристическим. Такой выбор нельзя считать научно-обоснованным. К научно-обоснованным признакам реперных объектов на видовых изображениях будем относить такие при-

знаки, которые обеспечивают получение оптимальных (максимально эффективных) оценок координат изображений реперных объектов.

Постановка задачи и изложение материалов исследований

Из классической теории оценок [7 – 9] следует, что максимально эффективными являются такие оценки, которые удовлетворяют неравенству Рао-Крамера и являются его нижними оценками. В частности, матрицу точности C_y , обратную корреляционной матрице ошибок регулярного измерения векторного параметра в отсутствие априорных данных, можно найти из известного [8] соотношения

$$C_y = \left\| -\frac{\partial^2}{\partial \alpha_1 \partial \alpha_2} \ln(l(y/\hat{\alpha})) \right\|, \quad (1)$$

где α_i – измеряемый параметр;

$\hat{\alpha}$ – истинное значение измеряемого векторного параметра;

$l(y/\hat{\alpha})$ – отношение правдоподобия.

В рассматриваемом случае измеряемый векторный параметр α соответствует декартовым координатам изображения x_1 и x_2 .

Применительно к задаче оптимизации измере-

ния координат изображения реперного объекта отношение правдоподобия может быть вычислено с использованием нормированного весового интеграла [6]:

$$l(y/\hat{\alpha}) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u(\alpha)u_0(\hat{\alpha})}{N_0} d\Delta\alpha, \quad (2)$$

где $\Delta\alpha = \alpha - \hat{\alpha}$;

$u(\alpha)$ – функция распределения яркости изображения реперного объекта по векторной координате α ;

$u_0(\hat{\alpha})$ – эталонное значение яркости изображения реперного объекта;

N_0 – спектральная (по пространственной координате) плотность мощности яркости мешающего шума.

Яркости изображений реперного объекта по двум декартовым координатам являются независимыми функциями. Для такого случая задача измерения координат изображения реперного объекта вырождается сначала в задачу измерения двух независимых координат

$$C_y = \begin{vmatrix} 1/\sigma_1 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2 \end{vmatrix}, \quad (3)$$

а затем – в две самостоятельные задачи измерения независимых координат x_1 и x_2 :

$$C_{x_1} = \frac{1}{\sigma_1}; \quad (4)$$

$$C_{x_2} = \frac{1}{\sigma_2}, \quad (5)$$

где σ_i^2 – дисперсия ошибки измерения i -й координаты изображения реперного объекта.

Теоретическое обоснование методики и оценки потенциальной точности измерения независимых параметров представлено в ряде работ. Например, в работе [9] показано, что при оценке неизвестного времени запаздывания радиолокационного сигнала потенциальная точность (среднеквадратическая

ошибка) измерения времени запаздывания вычисляется согласно выражению [9]:

$$\sigma_\tau = \frac{1}{qP_{эф}}, \quad (6)$$

где q^2 – параметр обнаружения (энергетическое отношение сигнал/шум);

$P_{эф}$ – эффективная ширина спектра сигнала.

Известно, что эффективная ширина энергетического спектра стационарного случайного процесса, к которому можно отнести и видовое изображения, и эффективная ширина его автокорреляционной функции (τ_0) связаны между собой в соответствии с теоремой Хинчина-Винера [10] известным соотношением

$$P_{эф}\tau_0 = 1. \quad (7)$$

Установлено, что с повышением значения энергетического отношения сигнал/шум q^2 и остроты пика функции рассогласования (увеличении ширины спектра сигнала) дисперсия и среднеквадратическое значение ошибки измерения времени запаздывания уменьшаются.

Повторяя вычисления, приведенные в работе [8] для видовых изображений реперных объектов, формулы (4), (5) можно преобразовать так:

$$\sigma_{x_1} = \frac{1}{q_{x_1} P_{x_1}}; \quad (8)$$

$$\sigma_{x_2} = \frac{1}{q_{x_2} P_{x_2}}, \quad (9)$$

где q_{x_i} – энергетический контраст яркости реперного объекта на изображении;

P_{x_i} – широкополосность реперного объекта по координате x_i как протяженного изображения.

Из соотношений (8), (9) следует, что повышение точности определения координат реперного объекта можно оценить как

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_x} = \frac{q_x P_x}{q_0 P_0} = \frac{q_x}{q_0} \frac{P_x}{P_0} = K_q K_P, \quad (10)$$

где σ_0 – среднеквадратическая ошибка измерения координат реперного объекта при $q = 1$ и $P = 1$;

K_q – превышение энергетической яркости объекта по сравнению с фоном;

K_P – превышение широкополосности рекомендуемого реперного объекта по сравнению с известным.

Следовательно, с повышением значения контраста яркости реперного объекта на изображении q_x и увеличением ширины спектра сигнала от реперного объекта P_x среднеквадратическое значение ошибки измерения координат реперного объекта на изображении уменьшается, что приводит к увеличению точности привязки видовых изображений.

Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, методика выбора реперных объектов на видовых изображениях может быть сформулирована следующим образом:

– на видовом изображении отыскиваются участки с максимальной шириной спектра и устойчивым изображением;

– среди выбранных участков находится наиболее яркий (имеющий наибольший энергетический контраст);

– производится селекция участков изображения по критерию совместного выполнения двух условий (широкополосности и яркости);

– найденный участок принимается за реперный объект.

В дальнейших исследованиях необходимо оценить потенциальную точность измерения координат реперных объектов и разработать рекомендации по

сокращению времени поиска изображений реперных объектов и определению их широкополосности.

Литература

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Т. 2 – М.: Мир, 1982. – 790 с.
2. Карпович И.Н. Военное дешифрирование аэроснимков. – М.: Воениздат, 1990. – 544 с.
3. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності. Досвід, проблемні питання і тенденції / Л.М. Артюшин, С.П. Мосов, Д.В. П'ясковський, В.Б. Толубко. – К.: НАОУ, ЖВІРЕ, 2002. – 207 с.
4. Аналитический обзор. Некоторые итоги боевых действий авиации НАТО в Югославии. – М.: ИТАР, 2000. – 22 с.
5. Дорофеев В. Взгляды американского военного руководства на формы применения космических сил // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – № 8. – С. 25 – 32.
6. Спутники видовой разведки // НТБ НЦУИ КС. – 1998. – № 8. – С. 8 – 11.
7. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. – М.: Наука, 1984. – 831 с.
8. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения: Пер. с англ. / Под ред. Ю.В. Линника и А.М. Когана. – М.: Мир, 1974. – 491 с.
9. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
10. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 654 с.

Поступила в редакцию 21.01.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.В. Голкин, Харьковский университет Воздушных Сил, Харьков.