

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА АЛГОРИТМА СЕЛЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ НА РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

А.Г. Судаков

(представил д.т.н. В.И. Антюфеев)

Предложен метод повышения надежности местоопределения радиометрических систем навигации на основе применения квазиоптимального алгоритма формирования решающей функции в результате сравнения изображений. Синтезирован алгоритм функционирования радиометрических систем навигации, позволяющий, в отличие от ранее разработанных алгоритмов, повысить эффективность селекции объектов и обеспечить требуемую величину надежности местоопределения летательных аппаратов по выбранному показателю.

Постановка проблемы. В настоящее время в системах навигации все более широкое применение находят корреляционно-экстремальные методы местоопределения летательных аппаратов. Проблема повышения надежности местоопределения летательных аппаратов остается актуальной для практического разрешения на фоне повышения системных требований к управлению движением летательных аппаратов.

Анализ литературы. Изображения в радиометрических (РМ) корреляционно-экстремальных системах навигации (КЭСН) подвержены случайным вариациям радиояркости температур покровов и материалов поверхности, что обуславливает применение вероятностного подхода к оценке качества местоопределения летательных аппаратов [9, 10]. В источниках [1, 8] обоснованы и выдвинуты требования к параметрам решающей функции (РФ), как результата сравнения текущего изображения (ТИ) с эталонным изображением (ЭИ). В результате анализа в [9] получено аналитическое выражение, позволяющее численно оценить вероятность местоопределения системы навигации. Результаты анализа в [9] показали, что параметры РФ алгоритма селекции объектов однозначно устанавливают надежность местоопределения РМ КЭСН. Анализ последних известных исследований и публикаций [2, 3, 6, 7] показал, что вопрос установления взаимосвязи между параметрами РФ и достижимой величиной надежности местоопределения в такой постановке не рассматривался. В ряде известных работ [4 – 7] подвергнуты критическому

анализу разработанные ранее алгоритмы селекции объектов на РМ изображениях. С целью повышения устойчивости алгоритмов к вариациям радиоярких температур поверхности визирования в [3, 5 – 7] предложен ряд вновь разработанных алгоритмов селекции объектов. В [2] предпринята попытка оценить влияние взаимных размеров ТИ и ЭИ на качество функционирования РМ КЭСН. Однако, как показал анализ публикаций, при разработке алгоритмов часто не учитывались особенности функционирования РМ систем навигации (СН), не установлена связь между параметрами РФ, характеристиками изображений и надежностью местоопределения СН. Опубликованные результаты оценок и статистических испытаний последних разработанных алгоритмов показывают их неустойчивость к воздействию помех.

Таким образом, разработанные в [2, 3, 5 – 7] алгоритмы селекции объектов на РМ ТИ не могут обеспечить требуемую величину надежности местоопределения СН.

Цель статьи. Разработка метода повышения надежности местоопределения РМ СН на основе учета влияния характеристик ТИ, ЭИ и их элементов на параметры РФ предлагаемого алгоритма послойной селекции объектов на изображениях. Задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

синтезировать алгоритм селекции объектов РМ СН, который, в отличие от ранее разработанных алгоритмов, основан на послойной селекции объектов на ТИ и повышает величину надежности местоопределения летательных аппаратов;

разработать метод повышения надежности местоопределения СН, который, в отличие от известных, основан на применении квазиоптимального корреляционного-экстремального алгоритма селекции объектов;

численно оценить эффект от применения алгоритма селекции объектов на РМ изображениях по сравнению с лучшими известными алгоритмами.

Разделы основного материала.

Надежность и точность местоопределения КЭСН определяется надежностью и точностью работы алгоритма сравнения ТИ с ЭИ в различных условиях навигационной обстановки.

В ряде публикаций [1, 6 – 8] показано, что в основу алгоритма селекции объектов положено зонное представление формируемого системой ТИ визируемой поверхности (ВП). Данное представление позволяет в качестве модели ТИ использовать корреляционную функцию обобщенного телеграфного процесса [1, 4] для любого участка ВП с соответствующим конкретному району интервалом корреляции. Такой подход по-

звояет на этапе формирования ТИ учесть возможность случайных вариаций радиоярких температур покровов.

Случайный характер воздействия факторов обстановки на процесс сравнения ТИ с ЭИ, и как следствие на надежность местоопределения РМ СН определяют стохастический характер результатов реализаций РФ. Понятно, что выбор в качестве показателя надежности местоопределения РМ СН вероятности местоопределения – P_{MO} , является обоснованным.

В [9] показано, что величина P_{MO} определяется

$$P_{MO} = f(M, P_{PC}, q), \quad (1)$$

где M – число независимых отсчетов РФ; P_{PC} – вероятность правильной селекции объектов; q – отношение сигнал/шум.

Очевидно, что показатели в (1) определяются характеристиками конкретных ТИ, ЭИ [1,2, 4, 5, 8 – 10] (относительные размеры ТИ и ЭИ, размер и форма объекта, отсутствие объектов-дублеров на ТИ).

В свою очередь величина M не в полной мере характеризует результат сравнения изображений. Легко увидеть [9, 10], что надежность местоопределения прямо зависит от количества и уровней побочных выбросов РФ. Функционирование РМ СН всегда происходит в условиях помех [1, 3 – 5, 7], поэтому достижение максимальной величины P_{MO} происходит только при формировании унимодальной РФ и низком уровне побочных выбросов.

Величина P_{PC} также определяется рядом параметров

$$P_{PC} = \sum_{j=0}^{I_3-1} C_{I_3}^j P_{01}^j (1-P_{01})^{I_3-j} \left[\sum_{k=0}^{I_3-1-j} C_{I_3}^k P_{02}^k (1-P_{02})^{I_3-k} \right]^{M-1}.$$

К ним следует отнести: число независимых отсчетов M РФ; относительные размеры ТИ и объекта; отсутствие объектов-дублеров; форму представления элементов изображений; количество элементов объекта I_3 ; интенсивность и уровень помех – p_{01} , p_{02} .

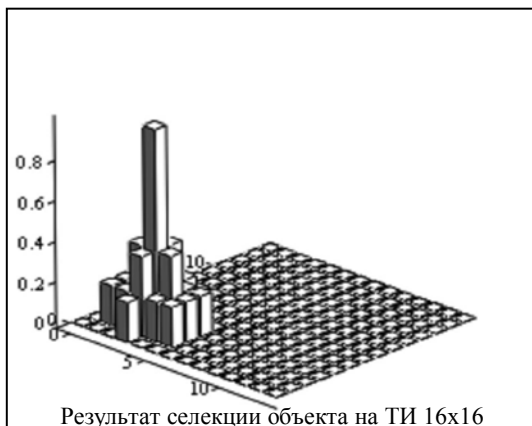
Анализ публикаций [2, 3, 5 – 7] показал, что, как правило, ранее разработанные алгоритмы селекции объектов не в полной мере учитывают степень влияния рассмотренных факторов на результат местоопределения РМ СН.

Учет указанных выше факторов позволил в условиях принятых ограничений и допущений синтезировать алгоритм [10] селекции объектов на РМ изображениях, в котором учтены условия функционирования системы навигации, параметры сравниваемых изображений и влияние помеховой обстановки. Алгоритм предполагает формирование производных сцен ТИ по выбранному правилу. Каждая производная сцена приводится

к бинарному изображению, в пределах которого осуществляется селекция объекта. В результате формируется результирующая РФ, учитывающая итог послойной селекции объектов. На следующих шагах работы алгоритма ТИ адаптируется к ЭИ в соответствии с процедурой, которая ввиду ее очевидности не приводится.



SR



SR

Рис. 1. Примеры реализации РФ селекции объектов на ТИ ($q = 5$; 80 % фоновых элементов искажено помехами)

Статистические испытания алгоритма проводились при следующих исходных данных:

размерность ТИ 8×8 и 16×16 элементов;
размерность объекта 3×3 элемента ($I_3 = 5$);
помеховая обстановка задана отношением сигнал/шум – q ($q = 0,7$;
 $1; 2,3$).

Результаты испытаний показали устойчивость алгоритма к зашумлению $70 - 80$ % фоновых элементов и нечувствительность к изменению знака контраста радиоярких температур фон (помеха – объект). На рис. 1 показаны реализации РФ для селекции объектов на ТИ.

Подтверждена эффективность работы алгоритма, в том числе для типовых вариантов обстановки ($q = 5$).

Относительная эффективность алгоритма послойной селекции объектов на РМ изображениях по сравнению с лучшими известными алгоритмами [3, 5 – 7] составляет для различных вариантов обстановки $1,5 \dots 2,5$ раза.

Выводы. 1. Разработан метод повышения надежности местоопределения РМ СН летательного аппарата, который, в отличие от существующих, учитывает особенности функционирования СН, однозначно определяет связь между параметрами РФ, характеристиками изображений и надежностью местоопределения СН.

2. Синтезирован алгоритм функционирования РМ СН, позволяющий в отличие от ранее разработанных алгоритмов, повысить эффективность локализации целей и обеспечить повышение величины надежности местоопределения летательного аппарата по выбранному показателю.

3. Результаты численного аналитического определения показателей надежности местоопределения РМ СН использованы при обосновании тактико-технических требований к образцам летательных аппаратов.

4. Предложенный показатель надежности местоопределения объектов РМ СН позволяет, с учетом особенностей применения СН, получить численные оценки выигрыша в повышении надежности местоопределения по отношению к известным алгоритмам селекции объектов.

5. Выигрыш в надежности местоопределения РМ СН с применением квазиоптимального алгоритма формирования РФ сигнала ошибки составляет не менее 50 % по сравнению с лучшими известными корреляционно-экстремальными алгоритмами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сотников А.М., Судаков А.Г., Омелаенко В.А. Выбор статистической модели изображения района для различных систем навигации // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2000. – Вып. 3(9). – С. 146 – 150.

2. В.Н. Быков, А.М. Гричанюк. Анализ влияния размеров эталонного и текущего изображений на функционирование корреляционно-экстремальных систем навигации летательных аппаратов // *Радиотехника*. – Х.: ХНУРЭ. – 1998. – Вып. 105. – С. 122 – 125.
3. Антюфеев В.И., Макаренко Б.И., Султанов А.С. Синтез устойчивых к вариациям яркости алгоритмов локализации целей в двумерных корреляционно-экстремальных системах навигации. Сообщение 1 // *Электромагнитные волны & электронные системы*. – 1999. – Т. 2., № 6. – С. 12 – 21.
4. Судаков А.Г. Алгоритмы сравнения изображений, используемые в корреляционно-экстремальных системах определения положения объекта // *1 наукова конференція молодих вчених ХВУ (м. Харків, 13 – 14 листопада 2002 р.)*. Збірник тез доповідей. – Х.: ХВУ – 2002. – С. 70.
5. Антюфеев В.И., Макаренко Б.И. Теоретическая оценка эффективности алгоритмов локализации целей в двумерных КЭСН // *Электромагнитные волны & Электронные системы*. – 1997. – Т. 2., № 6. – С. 83 – 89.
6. Антюфеев В.А., Гричанюк А.М. Комбинированный зонный алгоритм локализации объектов геодезической привязки на радиометрических изображениях // *Системи обробки інформації*. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2002. – Вып. 4(20). – С. 228 – 232.
7. Антюфеев В.А., 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.
8. Сотников А.М., Судаков А.Г., Белимов В.В. Обоснование требований к сравнению изображений в автономных системах навигации // *Системи обробки інформації*. – Х.: ХВУ, ХФВ “Транспорт України” – 2001. – Вып. 1(11). – С. 104 – 109.
9. Судаков А.Г. Оценка надежности местоопределения систем навигации // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 2001. – № 3. – С. 42 – 43.
10. Судаков А.Г. Оценка надежности местоопределения систем навигации с использованием алгоритма локализации элементов поверхности // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті (Спец. випуск: за результатами роботи 63-ї НТК Харківської державної академії та фахівців залізничного транспорту, 28 – 30 листопада 2001 р., м. Харків)*. – 2001. – № 5. – С. 123 – 124.

Поступила 25.02.2003

СУДАКОВ Александр Геннадьевич, зам. нач. факультета Харьковского военного университета. В 1995 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – применение алгоритмов обработки информации в системах навигации.