

## **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 радиояркостных 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 –  $p_{01}$ ,  $p_{02}$ .

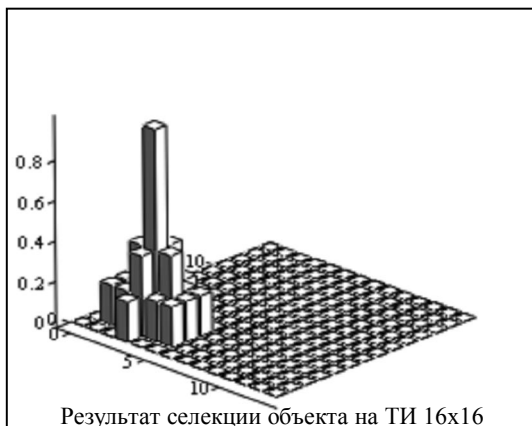
Анализ публикаций [2, 3, 5 – 7] показал, что, как правило, ранее разработанные алгоритмы селекции объектов не в полной мере учитывают степень влияния рассмотренных факторов на результат местоопределения РМ СН.

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  $8 \times 8$  и  $16 \times 16$  элементов;  
размерность объекта  $3 \times 3$  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.