

## СИНТЕЗ ЭТАЛОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯЦИОННО - ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.М. Гричанюк  
(представил д.т.н. В.И. Антюфеев)

*Проводится анализ особенностей синтеза эталонных изображений для радиометрических корреляционно-экстремальных систем навигации летательных аппаратов. Приводятся результаты имитационного моделирования процесса функционирования таких систем и разработанная функциональная схема процесса синтеза эталонных изображений.*

Одной из важнейших задач, возникающих при создании и эксплуатации радиометрических (РМ) корреляционно-экстремальных систем навигации (КЭСН) летательных аппаратов (ЛА) является синтез эталонных изображений (ЭИ) наземных ориентиров.

Как известно [1], ЭИ для КЭСН представляют собой двумерные растровые изображения объектов геодезической привязки (ориентиров) и окружающей их местности. Процесс функционирования КЭСН состоит в сравнении формируемых на борту ЛА текущих изображений (ТИ) с синтезированными заранее эталонными изображениями наземных ориентиров и определении координат экстремума решающей функции, реализующей тот или иной корреляционный алгоритм. От качества синтезированных ЭИ и алгоритма обработки зависит степень их корреляции с ТИ, а следовательно, вероятность правильной локализации ориентиров и среднеквадратическая погрешность определения координат ЛА.

Необходимость обеспечения ЛА навигационной информацией в сжатые сроки и без значительных материальных затрат предопределяет следующий ряд требований к ЭИ и методике их синтеза:

1. Возможность синтеза ЭИ без предварительной РМ съемки района навигационной привязки.
2. Достаточные информативность и достоверность ЭИ, обеспечивающие требуемые значения вероятности ложной привязки ТИ к ЭИ.
3. Оперативность подготовки ЭИ требуемого района навигационной привязки (до нескольких минут на синтез ЭИ).

При разработке методики синтеза ЭИ необходимо учитывать ряд особенностей, присущих ТИ, сформированных бортовыми радиометрическими датчиками КЭСН ЛА миллиметрового диапазона электромагнитных волн, а именно:

– вследствие ограничений на размеры бортовых антенных устройств линейные размеры дискрета изображения на земной поверхности состав-

ляют в зависимости от высоты визирования 10 ... 300 м;

- высокие скорости движения ЛА (100-500 м/с) ограничивают допустимое время визирования каждого элемента изображения, вследствие чего получаемые ТИ характеризуются малым отношением сигнал-шум (как правило, менее 10);

- конструктивные особенности построения бортовых антенных устройств ограничивают количество элементов в строке ТИ до 32 ... 64;

- вследствие нестабильности коэффициента излучения различных подстилающих поверхностей ТИ характеризуются значительными вариациями радиояркостей, иногда сопровождающиеся изменением знака контраста.

Для использования классических корреляционных алгоритмов при совместной обработке ЭИ и ТИ необходимо с высокой точностью предсказать значение радиояркостей земных покровов и заложить данную информацию в ЭИ.

В настоящее время известно значительное количество математических моделей, описывающих электродинамические свойства земных покровов: модель плоской поверхности, электродинамическая модель слоистых земных покровов с плоскими границами, электродинамическая модель сред с полиномиальными и экспоненциальными законами изменения и т.д. [2]. Данные модели характеризуются относительно высокой сложностью и значительным количеством параметров, влияющих на точность результатов расчетов. Из-за наличия неопределенности в данных о физических параметрах земных поверхностей в момент визирования ТИ попытки учесть возможные вариации яркости различных поверхностей и фонов при изменении погодных и сезонных условий приводят к значительному усложнению алгоритма синтеза ЭИ, но не дают существенного положительного эффекта. В результате синтезированное ЭИ слабо коррелируется с ТИ.

Для компенсации влияния флуктуаций радиояркостей объектов разработаны специальные алгоритмы, использующие зонную структуру описания объектов на изображении [3]. В одну зону при данном подходе объединяются все объекты, радиояркость которых одинакова в различных погодных-климатических условиях. При этом ЭИ может быть синтезировано для объекта, о котором известна лишь конфигурация зон, составляющих изображение, и полностью отсутствует информация о погодных и прочих условиях его визирования.

При зонном подходе к обработке изображений наиболее важной в научно - экспериментальном плане задачей становится выявление наиболее устойчивых информативных признаков объектов геодезической привязки (ориентиров). Таким образом, задача информационного обеспечения КЭСН ЛА должна решаться двумя путями одновременно:

Путем систематизации известных экспериментальных данных о коэффициентах излучения земных покровов и материалов, проведением

дополнительных измерений; результаты должны быть внесены в электронную базу данных информативных признаков для возможности использования содержащейся информации специализированным программным обеспечением, осуществляющим синтез радиометрических ЭИ по оптическим изображениям и данным цифровых карт местности.

Путем синтеза специальных алгоритмов обработки радиометрических ЭИ и ТИ, устойчивых к флуктуациям коэффициентов излучения подстилающих поверхностей и материалов.

Согласно разработанной автором методике синтеза ЭИ решение о применении того или иного алгоритма сравнения ЭИ и ТИ должно приниматься на основе анализа полноты и достоверности заложенной в ЭИ информации. В полетное задание для КЭСН, помимо собственно ЭИ, должна быть включена служебная информация о типе алгоритма, для которого ЭИ было синтезировано.

Одной из важных практических задач информационного обеспечения КЭСН ЛА должна быть разработка критериев, позволяющих на основе анализа имеющейся информации об объекте ориентации (ориентире) и условиях его визирования обосновано выбрать наиболее эффективный алгоритм локализации ориентира. Решение данной задачи позволит значительно сократить время подготовки полетных заданий для КЭСН ЛА и обеспечить максимально возможный уровень вероятности правильного распознавания наземных ориентиров.

Эффективность разработанной методики синтеза ЭИ и алгоритмов обработки изображений проверялась путем имитационного моделирования процесса функционирования КЭСН ЛА. В качестве модели земной поверхности использовалось изображение группы промышленных зданий с инфраструктурой (дороги, трубопровод) на фоне естественных земных покровов (водоемы, заболоченный участок) (см. рис. 1). В процессе моделирования характеристики радиометрической аппаратуры соответствовали приведенным в каталоге продукции, производящейся в НПО «Сатурн», г. Киев. Моделировались сложные погодные условия: дождь интенсивностью 4 мм/ч, высота облачности 900 м, мощность облачного слоя 900 м.

В процессе моделирования производилась имитация функционирования радиометрической КЭСН на высотах 4800, 2400 и 1200 м (по 1000 итераций на каждой из высот). По результатам работы имитационной модели регистрировалась ошибка определения координат ЛА по осям абсцисс и ординат. Ориентиры считались правильно локализованными, если ошибка не превышала линейный размер одного дискрета.

Для снижения ошибок определения координат экстремума решающей функции, возникающих из-за дискретизации изображений и несовпадения их координатных сеток, применялась междискретная аппроксимация значений решающей функции в районе глобального экстремума поверхностью второго порядка. Результаты моделирования представлены в табл. 1.

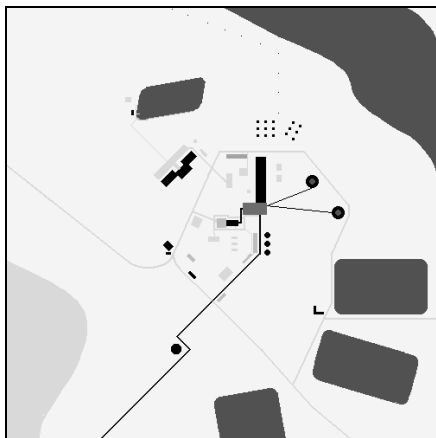


Рис. 1. Распределение радиояркости в районе геодезической привязки

ентах излучения данных объектов и фонов в погодных условиях, соответствующих предполагаемому времени пролета ЛА.

По результатам моделирования можно сделать вывод о принципиальной возможности реализации радиометрической КЭСН на отечественной элементной базе и о том, среднеквадратическая ошибка навигации ЛА на высоте полета 1200 м может составить величину менее 10 м.

Для синтеза ЭИ без предварительной РМ съемки необходимо располагать информацией о составе и геометрическом расположении подстилающих поверхностей и объектов в районах коррекции координат ЛА, а также о коэффициентах

Таблица 1

Результаты имитационного моделирования процесса функционирования радиометрической КЭСН ЛА

|  |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|
| Высота визирования ТИ, м                                   | 4800  | 2400  | 1200  |
| Вероятность правильной локализации ориентиров по оси ОХ    | 0,962 | 0,976 | 0,973 |
| Вероятность правильной локализации ориентиров по оси ОУ    | 0,99  | 0,986 | 1,0   |
| Среднеквадратическая ошибка определения координаты х ЛА, м | 50,5  | 20,0  | 9,5   |
| Среднеквадратическая ошибка определения координаты у ЛА, м | 59,9  | 23,3  | 6,2   |

Источниками информации для синтеза ЭИ могут быть:

- 1) электронная база данных информативных признаков земных покровов и материалов;
- 2) географические и цифровые карты местности;
- 3) аэро- и космические снимки районов геодезической привязки;
- 4) математические электродинамические модели земной поверхности.

Следует отметить, что процесс синтеза эталонных изображений является неразрывно связанным с функционированием корреляционно - экстремальных систем навигации в целом.

На рис. 2 в виде функциональной схемы представлена разработанная с учетом современных



Рис. 2. Функциональная схема процесса синтеза эталонных изображений достижений геоинформационной технологии методика синтеза эталонных изображений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ржевкин В.А. Автономная навигация по картам местности // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1981. – № 10. – С. 3 - 28.
2. Волосюк В.К., Кравченко В.Ф. Математические методы физических процессов в задачах дистанционного зондирования Земли // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 2000. – № 8. – С. 3 - 80.
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, 2 // *Электромагнитные & электронные системы*. – 1999. – Т. 2, № 6. – С. 12 - 21.

Поступила 10.01.2002

**ГРИЧАНЮК Александр Михайлович**, зам. нач. научно-исследовательского отдела Харьковского военного университета. В 1990 году закончил Харьковское высшее военное командно-инженерное училище ракетных войск. Область научных интересов – корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов, радиометрические системы, цифровая обработка изображений.

Тел. (0572) 76-33-24, E-mail: freddie@sky.net.ua