

УДК 621.396.96

В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, Т.Д. Бережная, А.М. Гричанюк, В.А. Краюшкин

Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБНАРУЖЕНИЯ ГРУППОВОЙ НАЗЕМНОЙ ЦЕЛИ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

В рамках имитационного моделирования оценена вероятность обнаружения групповой наземной цели. Статистические испытания корреляционного алгоритма совмещения изображений по методу Монте-Карло подтвердили, что для малоразмерных изображений корреляционный алгоритм менее чувствителен к искажениям текущего изображения типа разворота относительно эталонного изображения и различия масштабов, но более чувствителен к уровню аддитивного шума в текущем изображении.

групповая наземная цель, радиометрическая корреляционно-экстремальная система миллиметрового диапазона, текущее изображение, эталонное изображение

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы.

Пассивные радиометрические корреляционно-экстремальные системы миллиметрового диапазона волн (РМ КЭС ММД) находят широкое применение при решении задач дистанционного зондирования Земли, используются для навигации высокоскоростных летательных аппаратов (ЛА) по наземным ориентирам, а также для высокоточного наведения ЛА на широкий класс наземных целей [1 – 8].

Навигация и наведение ЛА на площадные и протяженные объекты (природные образования и искусственные сооружения) с помощью РМ КЭС осуществляется путем сравнения и анализа, в реальном масштабе времени, двумерных текущих и эталонных изображений (ТИ и ЭИ) объектов. Этот процесс в настоящее время достаточно хорошо изучен [1 – 4].

В случае визирования информационным датчиком КЭС (в данном случае РМ датчиком ММД) малоразмерного наземного объекта, размеры которого соизмеримы с размерами одного пикселя изображения, речь может идти о возможности обнаружения данного объекта с определенной вероятностью. Идентифицировать данный объект, то есть принять решение о принадлежности объекта к тому или иному классу объектов (целей), возможно лишь на такой дальности до объекта, на которой его изображение становится многоэлементным (многопиксельным) для применяемого информационного датчика КЭС.

Представляет интерес оценить возможность обнаружения с последующей идентификацией нескольких малоразмерных объектов, объединяемых в, так называемую, групповую цель (например, колонны авто- и бронетехники) [9]. Анализ процесса

обнаружения групповой цели предопределяет учет таких факторов, как порядок построения, скорость передвижения групповой цели, характеристики применяемых систем навигации или наведения. Ответ на перечисленные вопросы может дать имитационное моделирование процесса обнаружения групповой наземной цели.

Целью статьи является моделирование процесса обнаружения групповой наземной цели, состоящей из малоразмерных объектов, с борта высокоскоростного летательного аппарата с помощью радиометрической корреляционно-экстремальной системы миллиметрового диапазона.

Основной материал

Постановка задачи моделирования. В качестве групповой цели выбрана колонна автомобилей на марше в количестве 14 единиц. На рис. 1 приведен типичный порядок следования колонны в условиях бездорожья.

На рис. 1 элементам изображения присвоены следующие значения радиояркости: автомобили – 0 К, земная поверхность – (230 – 240) К, лесной массив (240 – 255) К, шоссе – 200 К, водоем – 80 К, промышленные здания – 0 К.

За основу взята цифровая карта местности (ЦКМ) с числом строк и столбцов 1250×1250 элементов. Один элемент изображения $(1,25 \times 1,25) \text{ м}^2$.

В качестве системы навигации (наведения) принята КЭС с матричным радиометрическим датчиком, в состав которого входят многолучевая (матричная) антенна и многоканальный РМ приемник ММД.

Ширина одного луча диаграммы направленности (ДН) матричной антенны выбрана в соответствии с размерами визируемого элемента ЦКМ и рав-

на $\theta_{0,5}^0 = 1,25^0$. Коэффициент пересечения соседних ДН при этом равен 1,5. Угол обзора визируемой поверхности составляет по углу места и азимуту $\alpha = \beta = 10^0$.

Такой выбор параметров антенны соответствует апертурной антенне диаметром $d = 200$ мм на длине волны $\lambda = 3,2$ мм. Время интегрирования РМ датчика принято равным $\tau = 0,1$ с.

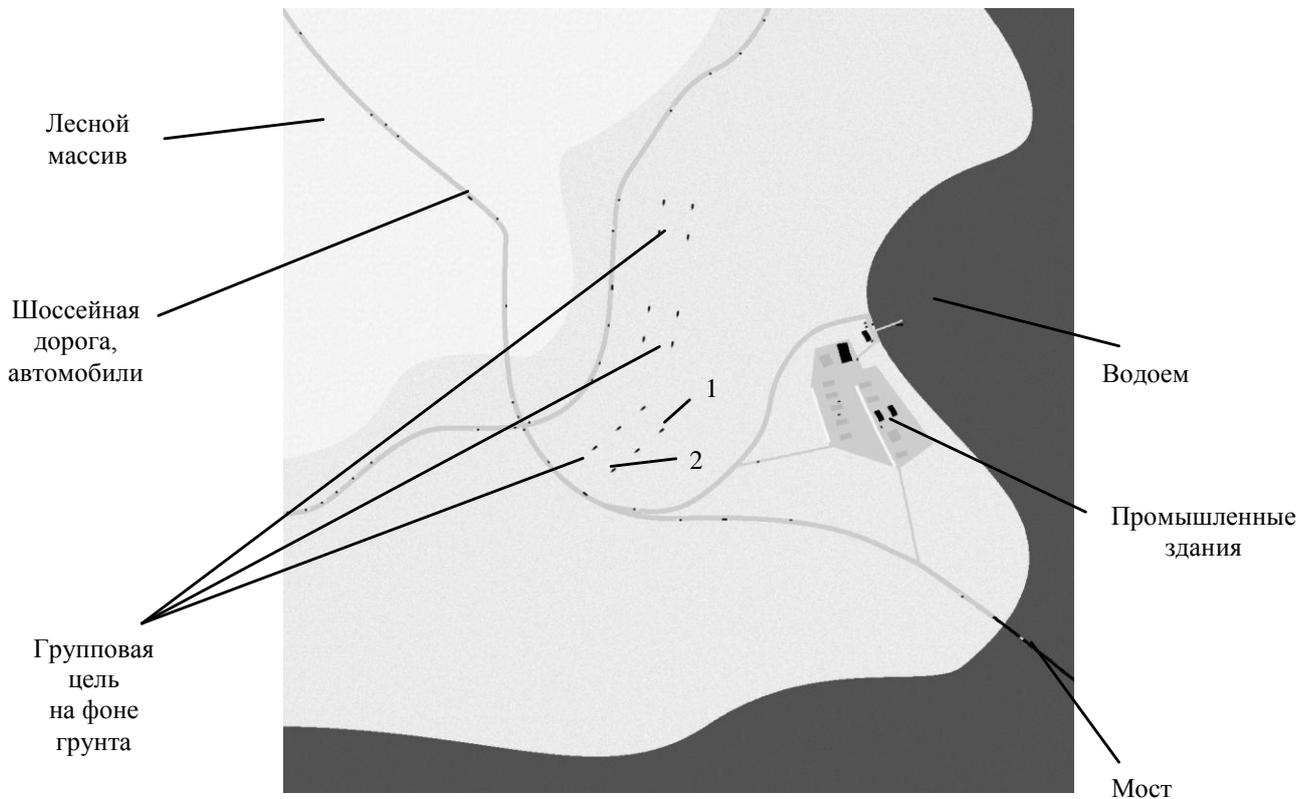


Рис. 1. Групповая цель (автоколонна)

Для расчета вероятности правильного совмещения изображений выбирается точка прицеливания, координаты точки совпадают с координатами одного из элементов групповой цели – отдельного автомобиля.

Вокруг этой точки формируется эталонное изображение. Затем строится текущее изображение с размерами в четыре раза меньшими размеров эталонного изображения. Размеры ЭИ выбираются равными $M_1 \times M_2 = 20 \times 20$ элементов, размеры ТИ $N_1 \times N_2 = 10 \times 10$ элементов, что соответствует практически реализуемым матричным РМ датчикам миллиметрового диапазона.

Затем на ТИ (по пространственным координатам) накладывается реализация белого гауссовского шума с нулевым средним значением и среднеквадратическим отклонением $\sigma_{ш}$, имитирующая шумовые компоненты на выходах радиометрических каналов.

Оцениваемые параметры. В качестве алгоритма совмещения изображений используется корреляционный алгоритм. Затем осуществляются статистические испытания алгоритма по методу Монте-Карло [10 – 12] путем многократного запуска

($N \geq 100$) при различных реализациях шумовой компоненты ТИ. В процессе многократного запуска алгоритма определяются следующие параметры:

- оценка \tilde{P} вероятности совмещения изображений как отношение количества правильных исходов к общему количеству запусков N ;

- выборочные значения среднеквадратических отклонений (СКО) координат ТИ.

На рис. 2 и рис. 3 представлены зависимости оценки вероятности совмещения изображений для высот визирования $H = 2$ км; 1 км; 0,5 км для целей 1 и 2 (рис. 1), соответственно. В качестве параметра выступает среднеквадратическое отклонение шума радиометрического канала, обозначенное на рисунках цифрами:

$$1 - \sigma_{ш} = 1\text{К}, 2 - \sigma_{ш} = 10\text{К}, 3 - \sigma_{ш} = 50\text{К}.$$

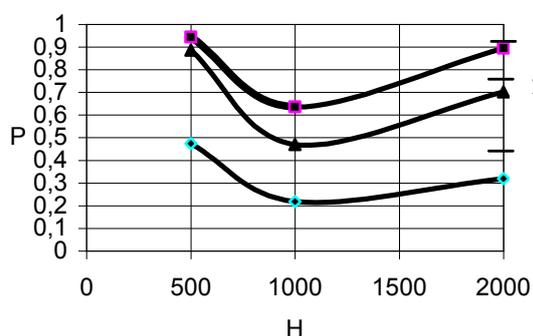
В качестве исходной точности визирования с заданных высот приняты следующие величины СКО. Для рассматриваемых высот эти величины составляют значения:

- для $H = 2$ км $\sigma = 15$ м,
- для $H = 1$ км $\sigma = 8$ м,
- для $H = 0,5$ км $\sigma = 4$ м.

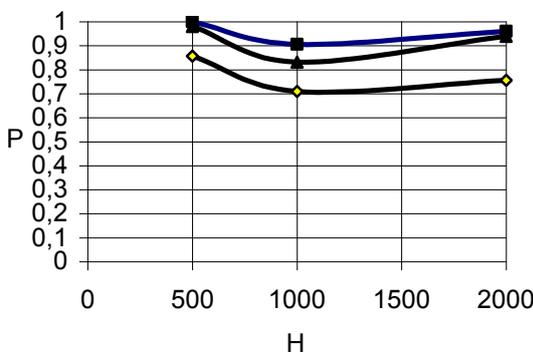
Результаты моделирования. Результаты оценки вероятности совмещения изображений показывают следующее.

На рис. 2, а, рис. 3, а показаны зависимости для «окна» оценивания значения вероятности 2×2 пикселя, на рис. 2, б и рис. 3, б – для окна размерностью 4×4 пикселя. Значения вероятности для большего окна выше, но при этом увеличиваются значения оценки среднеквадратического отклонения координат цели на ТИ от истинных.

Так, значения СКО для окна 4×4 пикселя $\sigma_x \approx \sigma_y \approx 2\text{м}$, в то время как для окна 2×2 значения СКО не превышают 1 м.



а



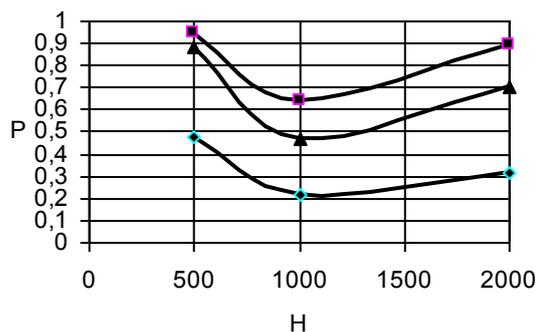
б

Рис. 2. Зависимость $P=f(H, \sigma_{\text{ш}})$

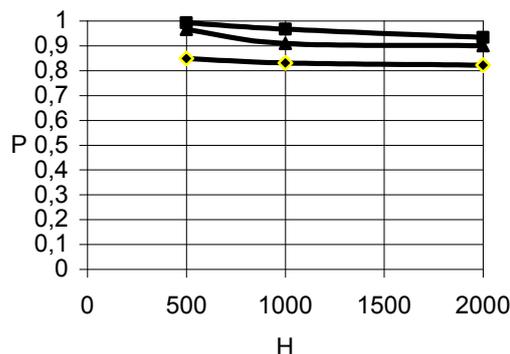
Выбор точки прицеливания также играет важную роль при оценивании вероятности совмещения. Так, величины вероятности для высоты визирования $H=1\text{км}$ ниже, чем для максимальной и минимальной высоты. Это объясняется тем, что на изображении с высоты визирования $H=2\text{км}$ присутствует лесная зона, а лес обладает наиболее высокой радиояркостью температурой и, соответственно, наибольшим контрастом «лес – грунт (трава)». На высоте $H=1\text{км}$ лесной массив не попадает в контуры изображения, а размеры автомобилей еще малы и

занимают малую часть кадра. На минимальной высоте $H=500\text{м}$ размеры визируемых объектов уже достаточно велики и занимают значительную часть кадра.

Для цели 2 и окна 4×4 пикселя абсолютное значение вероятности для высоты $H=2\text{км}$ сохраняется достаточно большим в связи с тем, что, хотя в кадр изображения попадает меньше лесного массива, зато попадает часть водоема с высоким контрастом «берег – вода».



а



б

Рис. 3. Зависимость $P=f(H, \sigma_{\text{ш}})$

Поворот ТИ относительно ЭИ в сильной степени сказывается на ухудшении вероятности с больших высот ($P \leq 0,2$), когда в ТИ попадает большое количество объектов и поворот даже на малые углы $\varphi \leq 10^0$ существенно изменяет изображение и ухудшает качество процесса совмещения. Поворот ТИ при визировании с малых высот в меньшей степени сказывается на ухудшении вероятности совмещения, т.к. коэффициент заполнения луча одним объектом достаточно большой.

Изменение масштаба текущего изображения по отношению к масштабу ЭИ даже в 2 раза снижает вероятность совмещения до недопустимо малых значений $P \leq 0,2$.

Выводы

Таким образом, проведенные статистические испытания подтвердили практическую возможность обнаружения малоразмерных объектов, представляющих групповую цель на фоне земной поверхности, с высокой требуемой вероятностью. С уменьшением высоты визирования цель становится более контрастной, больше заполняет площадь луча групповой диаграммы направленности антенны, вероятность совмещения растет.

Испытания также подтвердили, что для малоразмерных изображений корреляционный алгоритм совмещения менее чувствителен к искажениям текущего изображения типа разворота относительно эталонного изображения и различия масштабов, но более чувствителен к уровню аддитивного шума в текущем изображении. Точку прицеливания целесообразно выбирать в районе геометрического центра групповой цели.

В ходе статистических испытаний осуществлялось совмещение изображений неподвижной групповой цели. В связи с тем, что маршевая скорость передвижения групповой цели значительно меньше средней скорости полета летательного аппарата на участке навигации (наведения), подвижность цели учитывалась в виде возможности изменения местоположения цели за время полета летательного аппарата. Считается, что разведка за целью ведется постоянно наземными или воздушными средствами, данные о направлении и скорости передвижения цели оперативно передаются на командный пункт, где формируется полетное задание для навигационного летательного аппарата.

В данное полетное задание закладываются требуемые размеры зоны обзора информационного датчика корреляционно-экстремальной системы, высоты и дальности визирования, необходимое время, затрачиваемое на измерение координат цели, эталонное изображение цели.

Таким образом, для конкретного временного интервала и условий визирования групповая цель является квазистатической и может быть обнаружена с требуемой вероятностью.

Список литературы

1. Красовский А.А., Белоглазов И.Н., Чигин Г.П. *Теория корреляционно-экстремальных навигационных систем*. – М.: Наука, 1979. – 448 с.

2. *Корреляционно-экстремальные системы: Под ред. В.П. Тарасенко*. – Томск: Изд-во Том. ун-та. – 1986. – Вып. 8. – 134 с.

3. *Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации / В.К. Баклицкий, А.М. Бочкарев, М.П. Мусьяков*. – М.: Сов. радио, 1986. – 216 с.

4. Ржевкин В.А. Автономная навигация по картам местности // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1981. – № 10. – С. 3-28.

5. Голдмис П.Ф. и др. Системы формирования изображений в фокальной плоскости в миллиметровом диапазоне длин волн // *ТИИЭР*. – 1993. – Т. 41, № 10. – С. 1-24.

6. Радзиховский В.Н., Горишняк В.Н., Кузьмин С.Е., Шевчук Б.М. Многоканальная радиометрическая система формирования изображений 8 мм диапазона волн // *Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника*. – 1999. – Т. 42, №4.

7. Gorishniak V.P., Denisov A.G., Kuzmin S.E., Radzikhovskiy V.N., Shevchuk B.M. *Passive multichannels millimeter-waves imaging system // The Fifth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, millimeter and Submillimeter Waves. Symposium Proceedings*. – V.I. Kharkov, Ukraine, June 21-26, 2004. – P. 202-204.

8. Антюфеев В.И., Быков В.Н., Макаренко Б.И. *Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов по наземным ориентирам // Арсенал XXI сторіччя: Науково-виробничий журнал*. – 2002. – № 1. – С. 37-41.

9. Саблин В.Н., Викулов О.В., Меркулов В.И. *Авиационные многопозиционные радиолокационные системы многоканального наведения. Разведывательно-ударные комплексы // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники*. – 1998. – № 9. – С. 3-31.

10. Бахвалов Н.С. *Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения)*. – М.: Наука, 1975. – 632 с.

11. *Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) / Н.П. Бусленко, Д.И. Голенко, И.М. Соболев*. – М.: Наука, 1962. – 331 с.

12. Орловский С.А. *Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации*. – М.: Наука, 1981. – 208 с.

Поступила в редколлегию 26.07.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Е.Л. Казаков, Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков.