

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО СНИЖЕНИЯ ЗАМЕТНОСТИ ОБЪЕКТА ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА, ОСНАЩЕННОГО КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

Мостовой Д.Н.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

dmitriy.mostovoi@mail.ru

Аннотация. Реализован алгоритм, позволяющий, с одной стороны, создавать изображения для тестирования помехоустойчивости алгоритмов корреляционно-экстремальной навигации, а с другой стороны предоставлять наглядно требуемое изменение яркости объекта, который необходимо замаскировать от обнаружения корреляционно-экстремальными методами.

Ключевые слова: информационно-управляющий комплекс, корреляционно-экстремальная система, навигация, маскировка, беспилотный летательный аппарат, карта помеховой обстановки.

Введение

Развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) идёт по пути повышения их эффективности и безопасности при помощи совершенствования всех аспектов их проектирования. Большая роль в этом процессе уделяется повышению надежности и точности используемых навигационных систем. В качестве альтернативы спутниковым навигационным системам (СНС), которые требуют для своего функционирования непрерывной связи между навигационной аппаратурой потребителя и созвездием навигационных спутников, предлагается использовать корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС), работающие автономно. В условиях, когда спутниковые навигационные системы могут не работать или они выведены из строя, навигационные системы на основе корреляционно-экстремальной обработки текущей и эталонной информации становятся единственным способом точного определения местоположения БПЛА.

1. Имитационная модель КЭНС

Работа систем навигации для исследования ожидаемых результатов применения БПЛА может быть исследована на основе имитационных моделей. При этом в имитационную модель необходимо включить объект доставки БПЛА какого-либо груза, траекторию движения БПЛА и съёмочную систему БПЛА.

Назовём метод создания помех съёмочной системе (СС) БПЛА противодействием БПЛА. Противодействие БПЛА будет заключаться в искажении контрастов, получаемых СС посредством создания ложных контрастов и искажающих контрастов [1]. Этот метод может быть применён в районах доставки грузов на стационарные объекты.

При использовании в качестве СС многоканальных приёмников с уплотнением канальных сигналов, из-за чего существенно повышается помехоустойчивость СС БПЛА к воздействию широкополосной помехи (в окнах прозрачности), необходим синтез специальных видов искажающих контрастов, обеспечивающих срыв работы системы навигации БПЛА [2].

Разработана имитационная модель БПЛА на выбранной траектории в конечной точке доставки груза с проверкой на вычислительном эксперименте. Далее излагается имитационная модель БПЛА, осуществляющего доставку груза на объект.

1.1. Математическая постановка имитационной модели навигационной системы БПЛА

Условия автономной навигации БПЛА на маршруте движения определяются функцией

$$f(S): M \rightarrow D. \quad (1)$$

Где M множество изображений S в заданных диапазонах длин волн электромагнитного излучения, которые могут поступить на съёмочную систему БПЛА, D – множество местоположений $d \in D$ БПЛА в момент съёмки, $d \in (x, y) \in D$ – связь между содержанием изображения (M) и местоположением

БПЛА в момент съёмки. Свойства этой связи могут способствовать точному определению местоположения БПЛА или препятствовать применению навигационной системы.

Имитация работы съёмочной системы в районе коррекции:

$$I_0\{f(S): M \rightarrow D\} = \hat{f}^{-1}(\theta)(d, p): D \times P \rightarrow M, \quad (2)$$

где $\theta \in \Theta$ – обобщённый параметр, постоянный для всех $d \in D, p \in P$.

Выбор множеств D и P возможных значений уточняемого и мешающего параметра.

\hat{f}^{-1} реализует функцию, обратную к $f(S): M \rightarrow D$, а компьютерная имитационная модель съёмочной системы реализует параметрическое семейство функций $\{\hat{f}^{-1}(\theta)\}_{\theta \in \Theta}$ [3].

Бортовой вычислитель КЭНС – техническая реализация параметрического семейства однозначных функций в бортовом вычислителе $\{\hat{f}(\alpha)(S)\}_{\alpha \in A}$.

$\hat{f}(\alpha)(S): M \rightarrow \hat{D}$ – конкретная функция из этого семейства, определяется значением обобщённого параметра $\alpha \in A$ [3].

На основе представленной имитационной модели выполнен вычислительный эксперимент СС БПЛА, результаты которого приведены в следующем разделе.

2. Вычислительный эксперимент имитационной съёмочной системы

При создании навигационных систем БПЛА вычислительный эксперимент является важным средством расчёта и проектирования. Вычислительный эксперимент предполагает проведение больших комплексных расчётов, при этом такие этапы, как выбор или построение математических моделей, методов решения задач, алгоритмизация и программирование, обработка и интерпретация результатов рассматриваются как единый цикл. При предварительном и эскизном проектировании, испытаниях, задача которых – уточнение математической модели и установление степени её адекватности реальной систем, ключевым фактором рассматриваемого аппарата является высокая степень адекватности математической модели системы (класс нелинейных нестационарных систем) реальному контуру съёмочной системы навигационного блока.

Проведенный вычислительный эксперимент имитирует работу съёмочной системы в условиях стрессового воздействия и призван проиллюстрировать возможности, которые даёт разработанная модель.

На первом этапе необходимо получить ЭИ района доставки груза и ЭИ объекта доставки груза. В качестве эталонного изображения района доставки груза был взят спутниковый снимок местности (рис.1).

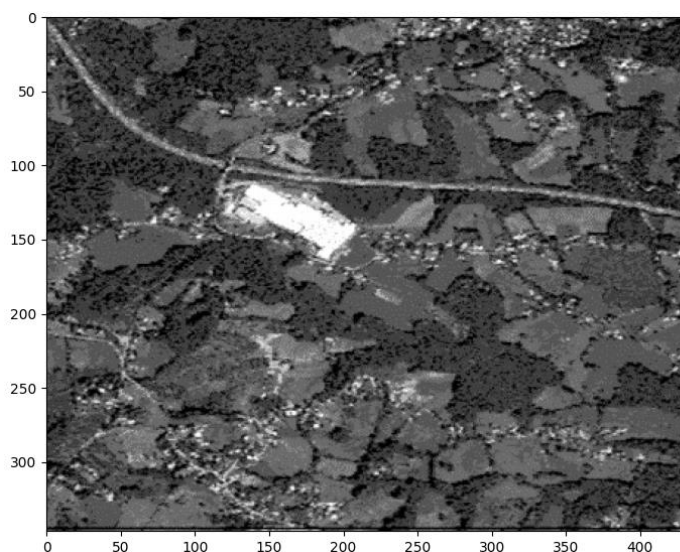


Рис.1. ЭИ района доставки груза. Размерность снимка 347 на 433 пикселей. Разрешение пикселя – приблизительно 7 метров.

Для получения эталонного изображения объекта доставки груза из данного снимка был вырезан прямоугольный фрагмент (рис.3). Предварительно ЭИ было повернуто так, чтобы габаритные оси

объекта доставки груза были параллельны осям фрагмента. Так как алгоритм работы поисковой КЭНС основан на подсчете корреляции между ЭИ и ТИ, а алгоритм противодействия работе КЭНС в общем случае изменяет яркости лишь определенных пикселей изображения, то от доли изменяемых пикселей (принадлежащих изображению объекта доставки груза) по отношению к неизменяемым пикселям (принадлежащих фону) будет зависеть минимально достижимый коэффициент корреляции между ЭИ и ТИ.

Для дальнейших исследований решено взять фрагмент, удовлетворяющий глобальному минимуму полученной зависимости (рис.2).

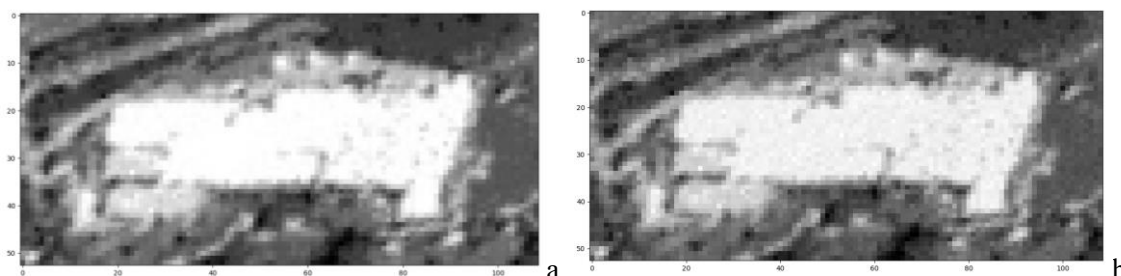


Рис.2. Выбранное ЭИ объекта доставки груза. *a* – исходное, *b* – зашумленное. Размеры фрагмента 53 на 109 пикселей

Исследуем возможность управления коэффициентом корреляции, количеством замаскированных пикселей и другими параметрами путем построения на основе ЭИ карты помеховой обстановки (рис.3) с различными входными параметрами для функции противодействия БПЛА.

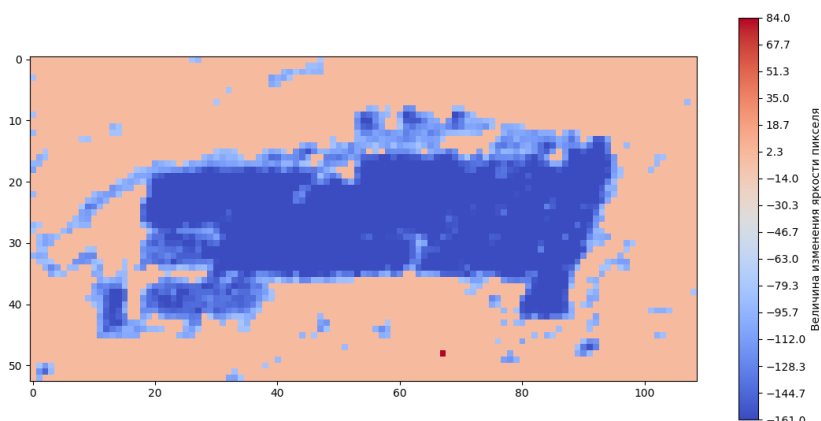


Рис.3. Карта помеховой обстановки. Отражает требуемую величину изменения яркости каждого пикселя

Если неизменяемым входным параметром будет требуемый коэффициент корреляции, равный 0,2, а изменяемым – относительная разность яркости пикселей, подвергаемых искажению, и средней яркости пикселей фона, получаемой по ЭИ района доставки груза, то получится следующая зависимость (рис.4),

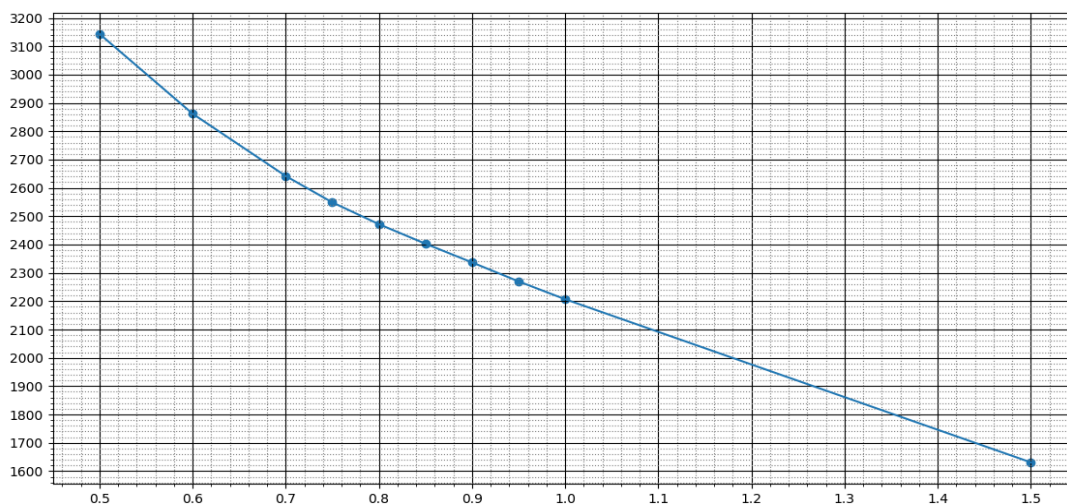


Рис.4. Зависимость количества замаскированных пикселей от относительной разности яркостей маскируемых пикселей и яркости пикселей фона при неизменном коэффициенте корреляции, равном 0,2. По оси Y откладывается полученное количество замаскированных пикселей, по оси X – относительная разность яркостей

От количества маскируемых пикселей зависят затраты на ресурсы, необходимые для обеспечения достаточной маскировки рассматриваемого объекта, поэтому оптимизация этого количества является важной задачей.

3. Заключение

На основе имитационного моделирования датчика съёмочной системы БПЛА получены условия, при которых БПЛА не сможет произвести определение своего местоположения в связи с отсутствием на местности тех опорных контрастных ориентиров, которые имеются на эталонных изображениях. Вычислительный эксперимент СС БПЛА показал, что полученную имитационную модель можно использовать для поиска оптимальных параметров противодействия БПЛА. От этих параметров в свою очередь зависят затраты на выполнение мероприятий противодействия, которые должны быть сведены к оптимуму.

Литература

1. Белоглазов И. Н., Джанжгава Г. И., Чигин Г. П. Основы навигации по геофизическим полям. – М.: Наука, 1985. -328 с.
2. Алчинов А.И., Гороховский И.Н. Концепция создания прикладной географической информационной системы моделирования поисковых корреляционно-экстремальных систем автономной навигации // Проблемы управления. 2022. №1. С. 54-66.
3. Алчинов А.И., Гороховский И.Н. Анализ стрессовых воздействий на условия автономной навигации поисковых корреляционно-экстремальных навигационных систем // Проблемы управления. 2022. № 6. С. 42-58.