

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ

**А.И. Алчинов**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: alchinov46@mail.ru

**Д.Н. Мостовой**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: dmitriy.mostovoi@mail.ru

**Ключевые слова:** корреляция, обработка изображения, корреляционно-экстремальная система, съемочная система, навигация, преднамеренные помехи, летательный аппарат, программное обеспечение, карта помеховой обстановки.

**Аннотация:** Рассмотрены типовые корреляционные навигационные системы. Реализован алгоритм обработки изображений, основанный на минимизации корреляции между изображением участка местности до создания преднамеренных помех и изображением того же участка местности после их создания. В результате его работы формируется карта помеховой обстановки в виде информации о необходимых изменениях характеристик яркости участков местности и тестируемого объекта. Разработано программное обеспечение, позволяющее синтезировать изображения для тестирования помехоустойчивости алгоритмов корреляционно-экстремальной навигации и отображения информации для изменения яркостных параметров тестируемого объекта путем постановки преднамеренных помех. Приведены результаты, подтверждающие эффективность предложенных решений.

## 1. Введение

Корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС) являются частным случаем обзорно-сравнительной навигации и работают автономно, что является их главным преимуществом. На разных этапах решение проблем управления движением и навигации было связано с поиском общих принципов автоматического синтеза параметров управления движущимися объектами. Уровень развития информационных технологий и достижимые характеристики бортовых вычислителей ранее сдерживали их практическую реализацию. В настоящее же время появился потенциал для их реализации. Интенсивное развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного назначения, оснащенных современными сенсорными системами и мощными бортовыми вычислителями, обусловили ускоренное развитие КЭНС.

Для исследования работоспособности КЭНС используются различные методы их тестирования в условиях помех, которые могут быть и преднамеренными. Для решения указанной задачи предложена имитационная модель КЭНС, позволяющая,

анализировать изображения с использованием попиксельных, локальных, зональных и глобальных методов моделирования помех для воздействия на съемочную систему (СС) КЭНС. Разработан алгоритм обработки изображений, основанный на минимизации корреляции между изображением до создания помех и изображением того же участка местности после создания помех. В результате его работы формируется карта помеховой обстановки (КПО), предоставляющая информацию о необходимых изменениях характеристик тестируемого объекта, размещенного на местности, в заданном диапазоне длин волн электромагнитного излучения. Тестирование выполнено для оптического диапазона.

Разработана программа для тестирования помехоустойчивости алгоритмов корреляционно-экстремальной навигации и синтеза параметров помех, позволяющих моделировать конечный результат решения навигационной задачи.

Предложенный способ имитационного моделирования КЭНС может обеспечить получение условий невыполнения КЭНС своей задачи за счет моделирования помех с использованием ЭИ. В сложной фоно-целевой обстановке, в плохих метеоусловиях, при наличии преднамеренных помех, когда контраст тестируемого объекта и фона становится незначительным, качество решения навигационной задачи резко падает.

## 2. Корреляционная обработка эталонных и текущих изображений

Технологии создания эталонных изображений (ЭИ) на районы применения КЭНС достаточно разработаны [1-3], поэтому при разработке ПО принято, что ЭИ выбираются из существующего набора эталонных изображений для конкретной СС КЭНС. Текущие изображения (ТИ) формируются аналогично с использованием выбранной СС. В качестве меры корреляции использован коэффициент корреляции Пирсона, при этом значения коэффициента корреляции всегда находятся в диапазоне от  $-1$  до  $1$  и интерпретируются так: если коэффициент корреляции близок к  $1$ , то между переменными наблюдается положительная корреляция.

На рис. 1 приведен алгоритм корреляционной обработки изображений в разработанном ПО. На вход алгоритму подается фрагмент местности *image*, содержащий ЭИ *A* объекта, для которого необходимо вычислить параметры помех, обеспечивающие снижение заметности объекта на местности. На этом этапе создается нулевая матрица КПО *X*, равная по размеру *A*, задается требуемая величина корреляции между ЭИ и изображением объекта после создания помех (ТИ) и относительная разность  $\Delta$  средней яркости пикселей фона и яркости пикселей, таким образом определяются пиксели на ЭИ, которые должны быть изменены.

Создается копия ЭИ *B*, которая будет циклически меняться в процессе работы алгоритма и в результате преобразуется в ТИ.

На следующем этапе *A*, *B* и *X* попадают в основной цикл. Если корреляция между *A* и *B* больше требуемого значения функции корреляции ТИ и ЭИ, то яркость пикселей из *B* уменьшается на  $1$ , если относительная яркость у них изначально была больше  $\Delta$  и если их текущая яркость больше  $M$  (где  $M = M[image - A]$  – средняя яркость фрагмента местности без ЭИ). Одновременно с этим у соответствующего пикселя в *X* значение также уменьшается на  $1$ . Если условие по яркостям не выполняется, то проверяется противоположное ему условие, однако в данном случае алгоритм может повышать яркость пикселей фона, которые неминуемо попадают на ЭИ. В связи с этим в программу добавлена возможность исключения этого условия. Таким образом алгоритм проверяет и изменяет при необходимости пиксели *B*, а затем вновь проверяет условие по формуле Пирсона, пока она не достигнет требуемого значения.

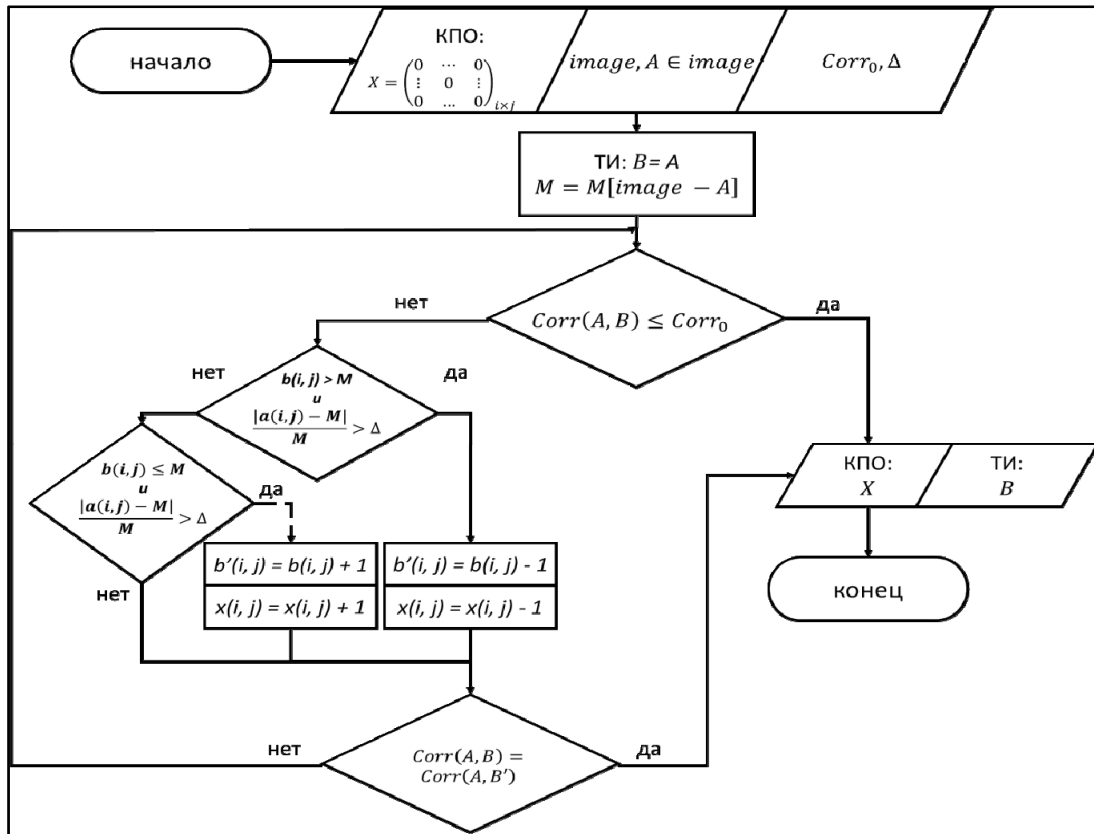


Рис. 1. Алгоритм работы программного обеспечения.

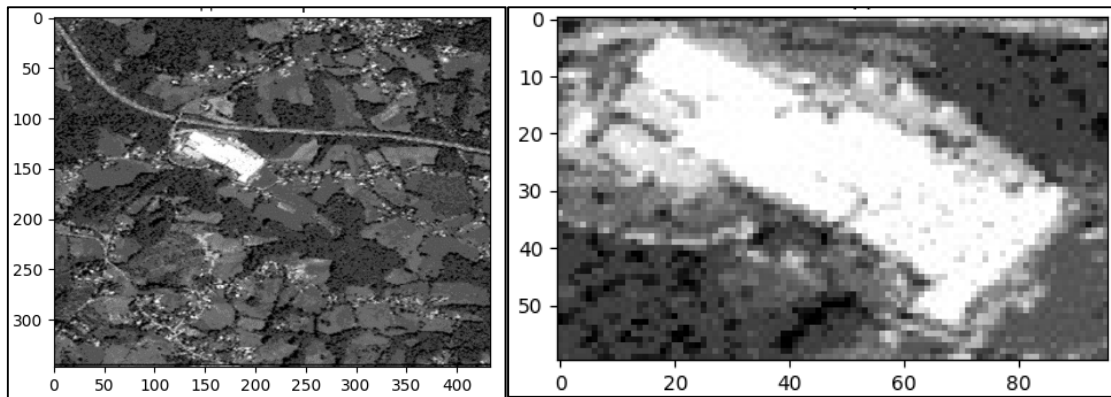
На практике может возникнуть ситуация, когда изменение яркости только выбранных по условию  $\Delta$  пикселей не позволяет достичь требуемого значения корреляции, тогда ПО выводит минимально достижимое значение корреляции. Для исключения этой ситуации в качестве опорных точек на ЭИ необходимо выбирать локальные максимумы гессианов, соответствующих локальным максимумам изменения градиента яркости. После нахождения точек локальных максимумов определяется точка истинного максимума гессиана [4] – опорные точки. Возможно, потребуется подобрать другое значение  $\Delta$ , а именно уменьшить его, для расширения зоны изменений пикселей.

В сложной фоно-целевой обстановке, в плохих метеоусловиях, при наличии преднамеренных помех, когда контраст тестируемого объекта и фона становится незначительным, качество решения навигационной задачи резко падает. Это обстоятельство взято в основу разработки алгоритма синтеза параметров карты помеховой обстановки.

### 3. Вычисление данных для создания карты помеховой обстановки

Для удобства работы с алгоритмом разработан пользовательский интерфейс, позволяющий выбирать исследуемое изображение, фрагменты с заданными геометрическими параметрами, задавать характеристики требуемой КПО и производить анализ результатов как одного эксперимента, так и множества экспериментов в табличной форме.

Проведенный вычислительный эксперимент иллюстрирует возможности описанного алгоритма для проектирования мероприятий по созданию преднамеренных помех. Для эксперимента был выбран снимок местности в оптическом диапазоне длин волн электромагнитного излучения, представленный на рис. 2.



**Рис. 2.** Космический снимок.

Алгоритм был протестирован на типовом изображении масштабного объекта с использованием исходного изображения в виде спутникового снимка, на основе которого было создано ЭИ.

От площади маскируемой поверхности и характеристик маскирующего покрытия зависят затраты на маскировку тестируемого объекта, поэтому оптимизация этих параметров является важной задачей. Разработанная программа позволяет получить количественные и качественные параметры изменения яркостей с учетом фоноцелевой обстановки в районе тестирования объектов. Приведенные цифры на рис. 3, например, 143.9 – подлежит вычету из значения того же пикселя на ЭИ.

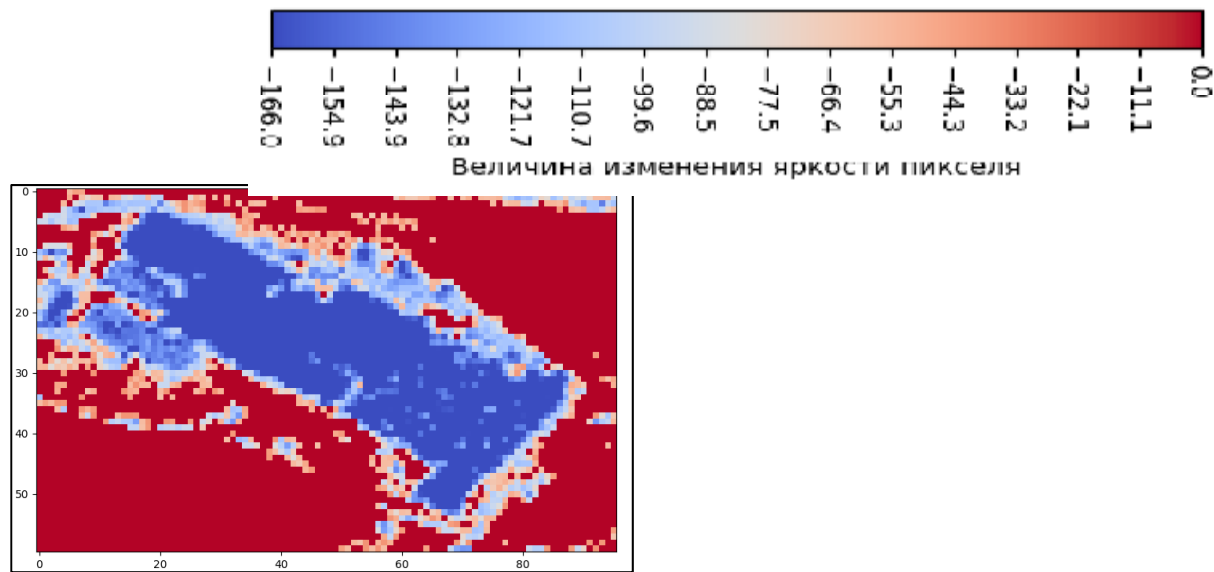


Рис. 3. Карта помеховой обстановки.

Управляемый процесс оптимизации преднамеренных помех до достижения заданной корреляции ЭИ и ТИ изображений представлен на рис. 4.

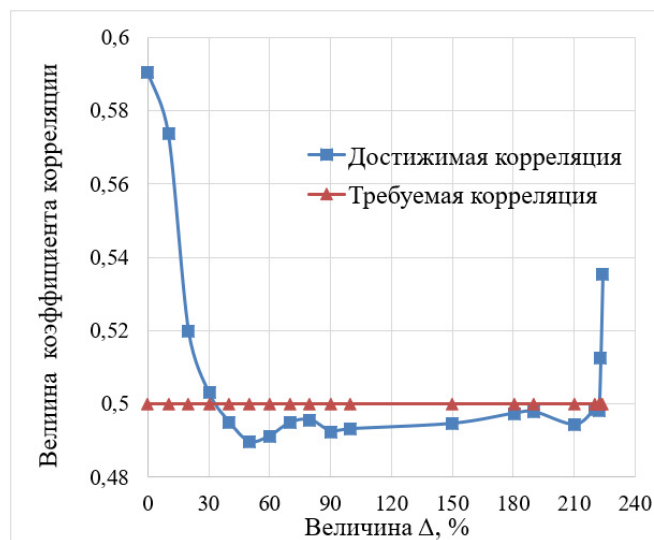


Рис. 4. Достижение требуемой величины коэффициента корреляции при изменении количества маскируемых пикселей.

## 4. Заключение

Проведенный эксперимент подтвердил возможность формирования помех съемочным системам КЭНС, снижающих эффективность работы корреляционного алгоритма в видимом диапазоне длин волн.

Разработанный алгоритм синтеза параметров карты помеховой обстановки можно использовать для поиска оптимальных параметров снижения контрастности объектов. От этих параметров, в свою очередь, зависят затраты на создание преднамеренных помех, которые будут выполняться с использованием указанной карты.

В условиях сложной фоно-целевой обстановки, когда уровень контраста тестируемого объекта в видимом диапазоне незначителен, необходимо комплексирование изображений. По этой причине необходимо развитие и расширение исследований с использованием всего спектра длин волн электромагнитного излучения, поскольку предложенный алгоритм можно распространить на системы, функционирующие и в других спектральных диапазонах.

## Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Сырямкин В.И., Шидловский В.С. Корреляционно-экстремальные радионавигационные системы. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010. 316 с.
4. Дышлюк В.О. Исследование показателей качества и быстродействия поиска опорных точек на изображениях методом SURF // Молодой ученый. 2018. № 27 (213). С. 23-26.