

МЕТОДОЛОГИЯ, МЕТОДЫ И ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ОБРАБОТКИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА
БОЛЬШИХ МАССИВОВ ИНФОРМАЦИИ

**ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ
В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Алчинов А.И., Мостовой Д.Н.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
alchinov@ipu.ru, dmitriy.mostovoi@mail.ru

Аннотация. Возросшие требования к корреляционно-экстремальным навигационным системам в современных условиях обусловили развитие методов их тестирования в штатном режиме и в условиях возможного стрессового воздействия на съемочные системы, что может негативно влиять на решение навигационной задачи. Предложена экспертная система в составе геоинформационной системы общего назначения для синтеза параметров стрессового воздействия, определяющих условия решения навигационной задачи по критерию взаимной корреляции изображений. Полученные результаты могут быть использованы на этапе проектирования корреляционно-экстремальных систем и при решении других задач.

Ключевые слова: экспертная система, корреляционно-экстремальная навигационная система, съемочная система, стрессовое воздействие, эталонное изображение, текущее изображение.

Введение

Корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС) являются одними из самых надежных и устойчивых систем. Функционирование КЭНС основано на совмещении эталонных и текущих изображений местности по их комплексным признакам, которые должны быть инвариантными к возможным взаимным преобразованиям. Для создания эталонных изображений (ЭИ) в КЭНС используются специальные методы обработки различных снимков и карт [1]. Свойства текущих изображений определяются используемой съемочной системой (СС).

При отсутствии стрессового воздействия на СС навигационной системы определение местоположения летательного аппарата (ЛА) осуществляется в штатном режиме. Стрессовое воздействие на СС усложняет решение навигационной задачи, что приводит к ошибкам определения местоположения ЛА. При определенных параметрах стрессового воздействия навигационная задача может не иметь решения, назовем их критическими.

Определение критических параметров стрессового воздействия, приводящих к потере эффективности системы, обуславливает необходимость совершенствования СС, бортовых алгоритмов, процедур формирования и подготовки КЭНС для решения навигационной задачи.

Исходная информация для синтеза параметров стрессового воздействия может быть получена с помощью имитационных моделей съемочных систем КЭНС [3]. Имитационная модель стрессовых воздействий на условия решения навигационной задачи КЭНС реализует процедуру совмещения ЭИ со входящими текущими изображениями [4]. Мерой сходства изображений выбран нормированный коэффициент корреляции между ними.

В данной статье предлагается создание экспертной системы для формирования параметров стрессового воздействия в различных спектрах электромагнитного излучения (координаты, их мощности) для разных вариантов стрессового воздействия на СС ЛА на маршруте его полета в составе любой ГИС общего назначения.

1. Экспертные системы в ГИС общего назначения

Экспертные системы (ЭС) для решения различных задач, связанных с обработкой геопространственной информации, представленной в виде аэрокосмических снимков, карт и планов, описаний местности.

Качество решения различных задач экспертными системами, в зависимости от используемых материалов, будет соответствовать качеству решений квалифицированными специалистами.

Способность обучения экспертных систем создает дополнительные возможности для реализации методов машинного обучения на основе искусственного интеллекта, что существенно снижает трудоемкость получения необходимых результатов.

Интерпретация различных данных является одной из основных задач, которые могут быть возложены на ЭС в составе геоинформационной системы (ГИС) общего назначения. Здесь нужно говорить об обработке изображений для использования в КЭНС, в частности: определение навигационных свойств выбранных участков местности, выбор опорных точек, линий, площадных объектов, форматы представления данных и т.д., в увязке с дальнейшей процедурой обработки информации на борту [2].

Реализацию ЭС в ГИС общего назначения можно представить в виде ее отдельных модулей [2]:

- интерфейса;
- системы поиска;
- обучающей системы;
- системы вывода данных.

Созданная ЭС может обеспечить высокое быстродействие и качественное решение задач обработки без участия программистов.

Навигационные задачи, решаемые КЭНС, относятся к классу неформализованных задач, что обусловлено следующими факторами:

- неполнотой и противоречивостью данных, представленных на изображениях, получаемых съемочной системой при формировании ГИ;
- разнородностью и избыточностью данных, используемых при создании ЭИ для записи в бортовую систему;
- большой размерностью анализируемой территории маршрута полета, связанной с поиском местоположения ЛА.

В ЭС в составе ГИС общего назначения может быть выполнено имитационное моделирование работы навигационной системы для синтеза ее параметров при решении двух задач:

- 1) строгое определение местоположения ЛА;
- 2) исключение возможности определения точного местоположения ЛА с вычислением параметров стрессового воздействия на СС навигационной системы, обеспечивающих выполнение поставленного условия и запоминание этих параметров для последующего построения карты стрессового воздействия.

ЭС в форме готовых интеллектуально взаимодействующих модулей могут быть интегрированы в ГИС общего назначения. Опыт использования различных пространственных данных и их хранения показал, что наилучшими моделями с точки зрения минимизации затрат машинного времени являются иерархические мозаичные модели пирамид и квадротомического дерева. Модели, основанные на них, обеспечивают в ЭС выполнение различных расчетов, связанных с обработкой изображений.

Модель квадротомического дерева обеспечивает рекурсивную декомпозицию квадратной сетки до достижения некоторого заданного уровня разрешения. При этом каждой клетке сопоставляется пространственно однородная информация. Главным мотивом использования этой модели в ЭС является компактность данных по сравнению с растровой моделью.

2. Экспертная система для формирования параметров стрессового воздействия на условия автономной навигации

Рассмотрим КЭНС, на вход которой съемочная система подает изображение S участка территории, которое сравнивается с ЭИ, ранее записанным на борту. Бортовой алгоритм определяет плановые координаты $d = (X, Y)$ ЛА на момент получения изображения.

ЭИ, записанное в бортовую память КЭНС позволяет определить значения навигационных параметров ЛА с заданной точностью. Какое-либо воздействие на СС КЭНС может изменить условия автономной навигации ЛА.

Информация, используемая ЭС для имитационного моделирования КЭНС должна содержать некоторые данные для решения навигационной задачи.

1. Размеры участка коррекции маршрута движения.
2. Используемый спектр электромагнитного излучения (видимый оптический, тепловой, радиотепловой, радиолокационный, гамма-излучения и т.д.)
3. Пространственное разрешение изображений в различных спектрах электромагнитного излучения.

4. Знания об опорных точках на эталонных картах местности.

Первые три группы данных формируются на основе существующих практических сведений об использовании конкретных типов КЭНС. Знания же об опорных точках, которые являются основными при навигационных определениях, могут быть получены с помощью фреймов, которые позволяют получить решения на основе обобщений и новых знаний. Этот принцип формирования знаний является глубоким. Генерирование знаний с использованием структуры фреймов обеспечивает модульность и позволяет иметь знания относительно опорных точек, используемых при навигации. В общем виде эта задача имеет решение, однако его использование в ЭС в современных публикациях не обнаружено. Такая необходимость имеется и она очевидная. Существенно возросшие потребности в ЛА, использующих при навигации изображения физических полей Земли, обусловили необходимость создания новых видов карт, отображающих навигационные свойства местности в различных спектрах электромагнитного излучения. Такие карты позволят экспертам планировать и готовить полетные задания для большого класса ЛА, включая беспилотные летательные аппараты различного назначения.

Полученные знания по опорным точкам являются основой для синтеза параметров стрессового воздействия в местах размещения опорных точек. К параметрам стрессового воздействия следует отнести мощность сигнала в конкретном пикселе изображения и его координаты в заданной системе координат. При этом эффективность применения ЭС в ГИС зависит от организации решения задач и от наличия необходимого минимума данных и формализованных знаний.

Процесс синтеза стрессовых воздействий, обеспечивающих срыв ее работы КЭНС состоит в следующем. При тестировании КЭНС в ее бортовую память записывается ЭИ, при сравнении которой с текущей информацией, полученной от СС, решается навигационная задача по определению местоположения ЛА.

При отсутствии стрессового воздействия на СС КЭНС, бортовой вычислитель определяет значения навигационных параметров ЛА с заданной точностью. При имитационном моделировании КЭНС ЭС последовательно формирует параметры стрессового воздействия так, чтобы помешать решению поставленной навигационной задачи. Обозначим эти задачи символами **A** и **B**, соответственно.

Необходимые условия предпосылки для постановки задач **A** и **B**.

1. Функция $f(S): M \rightarrow D$ определяет условия автономной навигации, множество ТИ, получаемое СС, а D – множество местоположений в момент работы навигационной системы.
2. $S \in M$ и $d \in D$ описывают членство и связи между соответственными величинами и используются при формировании параметров стрессового воздействия.
3. Имитация работы СС определяется выражением $I_0\{f(S): M \rightarrow D\} = \hat{f}^{-1}(\theta)(d, p): D \times P \rightarrow M$, где $\theta \in \Theta$ – обобщенный параметр, значение которого постоянно для всех $d \in D$ и $p \in P$, где p обобщенный параметр стрессового воздействия, а P – область их допустимых значений при обработке изображений в выбранном спектре электромагнитного излучения.

Постановка задачи A. Математическую модель, описывающую алгоритмы выделения признаков на изображениях, описания сцен и их классификации представим в виде обобщенных ступенчатых функций $\{\hat{f}(\gamma)(S)\}_{\gamma \in G}$. Найти $\gamma^* \in G$, такое, чтобы $\rho_M(\hat{f}(\gamma^*)(S), f(S)) \leq \varepsilon$, где ε – положительное число, ρ_M метрика в пространстве функций на M и принимающих значения D . Если выполняется условие $\rho_M(\hat{f}(\gamma^*)(S), f(S)) \leq \varepsilon$ и вычислено значение функции $\hat{f}(\gamma^*)(S) = \hat{d}$ – получен правильный ответ d .

Если для всех полученных ТИ (S) выполняется условие $\rho(\hat{d}, d) > \varepsilon$, тогда стрессовое воздействие будет критическим, и навигационная задача не имеет решения. Здесь ε – расстояние между двумя точками плоскости R^2 и $D \subset R^2$ [4].

Функцию $f(S): M \rightarrow D$ предлагается использовать для формирования параметров стрессового воздействия, решение же о значениях параметров стрессового воздействия определяются обратной функцией $\hat{f}^{-1}(\theta)(d, p): D \times P \rightarrow M$.

Задача **B** формулируется как задача синтеза функции, определяющей условия выполнения навигационной задачи. Пусть функция $f(S): M \rightarrow D$ задана обратной к ней функцией $\hat{f}^{-1}(\theta)(d, p): D \times P \rightarrow M$, где $\theta \in \Theta$ параметр, значение которого известно. Известно решение $\hat{f}(\gamma^*)(S): M \rightarrow \hat{D}$ задачи A. Найти такой оператор R , что

$$\rho\left(\hat{f}\left(\gamma^*\right)\left(\hat{f}^{-1}(\theta)(d, p)\right), \hat{f}\left(\gamma^*\right)\left(R \cdot \hat{f}^{-1}(\theta)(d, p)\right)\right) > \varepsilon \text{ для } \forall (d, p) \in D \times P. \quad (1)$$

Полученный в работе [5] оператор (1) может быть реализован в ЭС для получения необходимых параметров на текущей карте местности в виде карты помеховой обстановки, которая может быть воспроизведена средствами стрессового воздействия (рис.2 – 4). В развитие полученного оператора разработана программа на языке *Python*, интерфейс которой представлен на рисунке 1.

Входными данными для получения указанного оператора (1) являются:

- изображение местности *image*, содержащий ЭИ *A* объекта, для которого необходимо синтезировать критическое стрессовое воздействие;
- требуемая величина *C* коэффициента корреляции между *A* и изображением объекта, полученным после стрессового воздействия;
- относительная разность Δ средней яркости пикселей фона и яркости пикселей, выделенных для стрессового воздействия.

Затем создаётся нулевая матрица карты стрессового воздействия *X*, равная по размеру *A*, и *B* – копия *A* – которая будет меняться в процессе работы алгоритма и в результате преобразуется в ТИ.

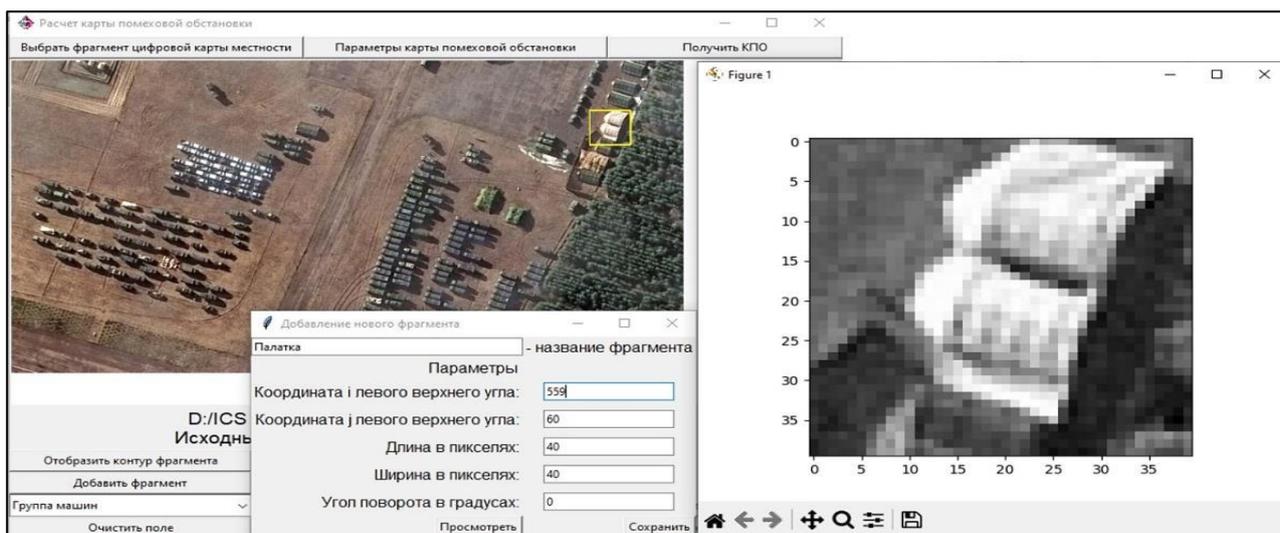


Рис. 1. Пользовательский интерфейс



Рис. 2. Входное изображение местности



Рис. 3. Изображение местности после стрессового воздействия

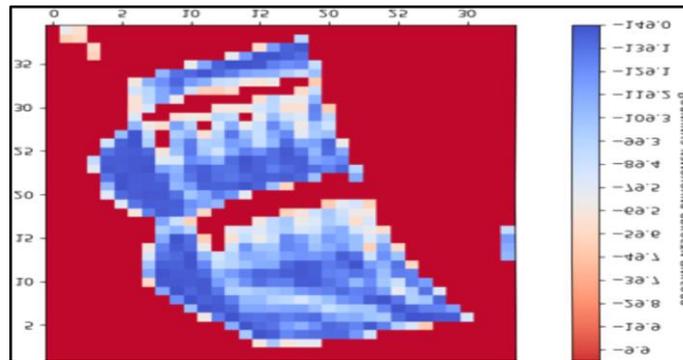


Рис. 4. Карта стрессового воздействия

Для реализации экспертной системы в составе ГИС необходимо также использовать программные компоненты для предварительных преобразований, описания сцен и классификации, имеющиеся в составе ГИС общего назначения[6].

Экспертная система позволяет:

- задавать меру сходства ЭИ и ТИ и определять параметры средств стрессового воздействия и координаты местоположения ЛА;
- сделать управляемым процессом влияния средств стрессового воздействия на меру сходства ЭИ и ТИ в заданных спектрах электромагнитного излучения;
- последовательно выбирать ЭИ и формировать ТИ с результатами стрессового воздействия на ЭИ в заданном спектре электромагнитного излучения;
- использовать множество формируемых ТИ по мере их накопления при имитационном моделировании КЭНС как база данных для обучения.

3. Заключение

Основным преимуществом экспертных систем в составе ГИС общего назначения является возможность оптимизации задач по обработке изображений и получения новых результатов при решении навигационных задач. Возможность накопления знаний за счет машинного обучения делают экспертную систему более выгодным средством для получения достоверных и квалифицированных управленческих решений.

Экспертная система является хорошим инструментом для получения различных навигационных условий по уровню критичности стрессового воздействия на съемочные системы КЭНС.

Процесс навигации ЛА на основе КЭНС представлен управляемым. ЭС в составе ГИС, реализующая процедуру формирования различных видов стрессового воздействия на СС навигационных систем, может обеспечить разработку и создание современных высокоэффективных КЭНС.

Каждое средство стрессового воздействия должно быть установлено в соответствии с их характеристиками и вычисленными координатами в соответствии с представленной картой стрессового воздействия.

Дальнейшие исследования по разработке экспертной системы должны быть направлены на установление соответствия значений яркостей пикселей фактическим их значениям и параметрами средств стрессового воздействия по их воспроизведению в разных спектрах электромагнитного излучения.

Литература

1. Джозеф Джарратано, Гари Райли. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. / Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1152 с. с илл.
2. Питер Джексон. Введение в экспертные системы = Introduction to Expert Systems. 3-е изд. М.: Вильямс, 2001. С. 624. ISBN 0-201-87686-8.
3. Алчинов А. И., Гороховский И. Н., Акифьева Е. В. Состояние и тенденции развития географических информационных систем // М. Проблемы управления. 2024. № 2. С. 3-22.

4. *Алчинов А.И., Гороховский И.Н.* Направления расширения функционала прикладной геоинформационной системы моделирования поисковых корреляционно-экстремальных навигационных систем // М. Проблемы управления. 2023. № 5. С. 78-90.
5. *Алчинов А.И., Гороховский И.Н.* Анализ стрессовых воздействий на условия автономной навигации поисковых корреляционно-экстремальных навигационных систем // М. Проблемы управления. 2022. № 6. С. 42-58.
6. *Алчинов А.И., Гороховский И.Н.* Концепция создания прикладной географической информационной системы моделирования поисковых корреляционно-экстремальных систем автономной навигации //М. Проблемы управления. 2022. №1. С. 55-66.