

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЗОРНО- СРАВНИТЕЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

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

Е.В. Акифьева

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: lenatalka1@mail.ru

Ключевые слова: геоинформационная система, съемочная система, корреляционно-экстремальная система, вычислительная система, стрессовое воздействие, физическое поле Земли, летательный аппарат.

Аннотация: На основе геоинформационной системы (ГИС) общего назначения предлагается создать прикладную ГИС с организацией параллельных вычислений задач, решаемых при имитационном моделировании навигационных систем летательных аппаратов (ЛА), использующих изображения физических полей Земли (ФПЗ). В качестве примера таких систем рассмотрены корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС) как альтернатива спутниковым навигационным системам, которые могут не работать при определенных условиях, например, при блокировке или имитации сигналов (спуфинге) от навигационных спутников или их физическом уничтожении.

1. Введение

В воздушной навигации для определения местоположения используются три метода: обзорно-сравнительный, счисления координат и позиционный. Обзорно-сравнительная навигация заключается в оценке сходства изображения участка местности, получаемого на борту летательного аппарата, с соответствующими картами местности. Часто она реализуется в виде корреляционно-экстремальной навигации по физическим полям Земли.

Рассмотрены КЭНС, использующие тепловые, радиотепловые, оптические и радиолокационные изображения местности. Исследованы возможности моделирования съемочных систем (СС) для получения изображений в указанных длинах волн

электромагнитного излучения с учетом возможных помех, а также преднамеренного стрессового воздействия на СС.

Сформулирована общая задача моделирования КЭНС, приведено ее решение и способы реализации с использованием ГИС с минимизацией затрат.

Показана возможность реализации различных задач, решаемых при навигации с использованием параллельных вычислений на основе ГИС общего назначения, дополненного специальными приложениями и коммуникационными решениями.

2. Исходные условия для моделирования КЭНС

При моделировании КЭНС соблюдены следующие условия.

1. Эффективность вычислительной системы (ВС), выбранной для реализации прикладной ГИС при моделировании КЭНС, может быть обеспечена в том случае, если ее характеристики выбраны с учетом параметров исходных данных и алгоритмов компьютерного моделирования процессов настройки навигационной системы.

2. При решении навигационной задачи возможно воздействие преднамеренных помех на съемочную систему КЭНС. Для моделирования указанных помех необходимы большие вычислительные ресурсы, что обуславливает необходимость распараллеливания задач имитационного моделирования КЭНС.

3. Задача моделирования КЭНС включает ряд подзадач, причем некоторые из них могут решаться параллельно, а другие – только последовательно, передавая результаты решения предыдущей задачи в качестве исходных данных для последующей задачи. Ранее разработанные математические модели позволили выполнить требуемую декомпозицию решения общей задачи ГИС [1,2].

3. Имитационная модель КЭНС

Пусть в КЭНС съемочная система фиксирует изображение S сцены на участке местности в любом диапазоне длин волн электромагнитного излучения. Бортовой алгоритм навигационной системы уточняет плановые координаты $d = (X, Y)$ ЛА в момент съемки. Имеем множество M изображений S , которые могут поступить на вход бортового алгоритма КЭНС в момент съемки. Тогда КЭНС, настроенную на решение задачи автономной навигации, можно рассматривать как вычислитель значений фиксированной в процессе настройки функции $\hat{f}(S): M \rightarrow \hat{D}$ для любой полученной от СС реализации $S \in M$.

При получении S , КЭНС вычислит значение функции $\hat{f}(S) = \hat{d} \in \hat{D}$ и выдаст его в качестве ответа, где \hat{d} – это оценка текущих координат ЛА. Конечное множество \hat{D} объединяет все варианты ответов вычислителя на вопрос о местоположении ЛА в момент получения изображения S . Для обобщенных ступенчатых функций, распределенных на иерархических разбиениях множества M на непересекающиеся классы, для каждого уровня разбиения могут применяться предварительные преобразования изображений [3,4]. Ограничим число r уровней иерархического разбиения на классы и подклассы двумя. Этого достаточно для декомпозиции общей задачи и выявления специфики параллельности вычислений.

Это условие описывается следующим выражением:

$$M = \bigcup_{i=1}^l K_i, \text{ где } K_m \cap K_n = \emptyset \text{ для } \forall m, n \in [1, l], m \neq n,$$

$$\bigcup_{j=1}^{l_i} K_{ij}, \text{ где } K_{im} \cap K_{in} = \emptyset \text{ для } \forall i = 1, \dots, l \text{ и } m, n \in [1, l_i], m \neq n.$$

Тогда в обобщенной векторной форме (1), в которой угловыми скобками обозначена операция скалярного произведения двух векторов, функция $\hat{f}(S)$ имеет вид:

$$(1) \quad \hat{f}(S) = \langle \chi(S), (\langle \chi_1(S), \hat{\mathbf{d}}_1 \rangle, \langle \chi_2(S), \hat{\mathbf{d}}_2 \rangle, \dots, \langle \chi_l(S), \hat{\mathbf{d}}_l \rangle) \rangle,$$

где $\chi(S) = (\chi_1(S), \chi_2(S), \dots, \chi_l(S))$, $\chi_i(S)$ – характеристическая функция класса K_i , $i = 1, \dots, l$, $\chi_i(S) = (\chi_{i1}(S), \chi_{i2}(S), \dots, \chi_{il_i}(S))$, $\langle \chi_i(S), \hat{\mathbf{d}}_i \rangle = \sum_{j=1}^{l_i} \chi_{ij}(S) \hat{\mathbf{d}}_{ij}$, $\chi_{ij}(S)$ – характеристическая функция класса K_{ij} $i = 1, \dots, l$, $j = 1, \dots, l_i$, $\hat{\mathbf{d}}_i = (\hat{\mathbf{d}}_{i1}, \hat{\mathbf{d}}_{i2}, \dots, \hat{\mathbf{d}}_{il_i})$.

Учитывая возможные предварительные преобразования $\pi(S), \pi_i(S)$ входного изображения S на первом и втором уровне разбиения, тот факт, что алгоритмы вычисления значений вектор-функций $\chi(\pi(S))$ и $\chi_i(\pi_i(S))$ решают именно задачи определения класса, которому принадлежит изображение S , а также фундаментальную теорему о представлении любого алгоритма распознавания через последовательное выполнение распознающего оператора и решающего правила, получим [4]:

$$\chi(S) = C(B(\pi(S))),$$

где $B(\pi(S)) = (b_1(\pi(S)), b_2(\pi(S)), \dots, b_l(\pi(S)))$, $b_i(\pi(S))$ – числовая мера близости изображения к классу $K_i \in M$, $C(b_1(\pi(S)), b_2(\pi(S)), \dots, b_l(\pi(S))) = (c_1, c_2, \dots, c_l)$, где $c_i \in \{0, 1\}$, $i = 1, \dots, l$, $\chi_i(S) = C_i(B_i(\pi(S)))$, B_i и C_i описываются аналогично.

Тогда выражение (1) для функции $\hat{f}(S)$ вычислителя КЭНС приобретает вид:

(2)

$$\hat{f}(S) = \langle C(B(\pi(S))), (\langle C_1(B_1(\pi_1(S))), \hat{\mathbf{d}}_1 \rangle, \langle C_2(B_2(\pi_2(S))), \hat{\mathbf{d}}_2 \rangle, \dots, \langle C_l(B_l(\pi_l(S))), \hat{\mathbf{d}}_l \rangle) \rangle$$

Из выражения (2) следует, что общая задача включает задачи вычисления «значений» предварительных преобразований, входящих в данное выражение (далее задачи типа π). Результаты решения задачи типа π являются исходными данными для соответствующей задачи вычисления вектора числовых мер близости к классам разбиения $M = \bigcup_{i=1}^l K_i$ (далее задачи типа B). Результаты решения подзадачи B являются исходными данными для соответствующей задачи типа C , определяющей по результатам анализа вектора меры близости класс, к которому принадлежит изображение.

После принятия решения о принадлежности изображения к некоторому классу первого уровня разбиения, процедура повторяется для разбиения этого класса с решением задач типов π, B, C . Процесс завершается выборкой из памяти вычислителя значения $\hat{\mathbf{d}}_{ij}$, соответствующего классу разбиения, выбранному решающим правилом второго уровня разбиения [3].

Задачи типа C решаются только после решения соответствующей задачи типа B , которая может решаться только после решения задачи типа π . Координаты векторов в этом процессе могут вычисляться параллельно, скалярные произведения – только последовательно по мере готовности значений операндов. Такова специфика параллельности задачи моделирования работы КЭНС. Уровень параллельности ВС для ее решения по классификации, приведенной в работе [3], относится к уровню потоков. При этом ускорение выполнения программы за счет распараллеливания ее инструкций на множестве вычислителей ограничено временем, необходимым для выполнения ее последовательных инструкций.

Отметим, что предложенная математическая модель дает возможность реализовать прикладную ГИС моделирования КЭНС с максимальным использованием готовых компьютерных компонент из предметных областей, ориентированных на решение задач типа π и типа $\chi(S) = C(B(\pi(S)))$, а также задач сбора и обобщения исходных данных для решения задач настройки КЭНС на автономную ориентацию обзорно-сравнительными методами в районе ее тестирования.

Опираясь на математическую модель, удалось также выявить компоненты прикладной ГИС моделирования КЭНС, имеющие аналоги в смежных предметных областях. При наличии требуемых вариантов доступа к таким компонентам могут быть минимизированы затраты на реализацию ГИС для моделирования КЭНС.

Для анализа готовых компонентов (программ и баз данных) при реализации алгоритмов моделирования поисковых КЭНС сделан обзор и анализ облачных технологий и облачных геоинформационных систем, которые могут быть использованы в прикладных ГИС для моделирования поисковых КЭНС. Облачные технологии были исследованы с целью выявления существующих приложений, которые можно применить для решения задач моделирования в поисковых ГИС, в частности, для моделирования съемочных систем КЭНС. По результатам анализа таких приложений не найдено.

Математические модели компонентов ГИС для моделирования КЭНС могут быть реализованы в виде отдельных задач с использованием параллельных и распределенных вычислений.

Исходная информация об условиях навигации в районе проведения сеанса автономной навигации обзорно-сравнительным методом в виде реляционных данных – представительного набора N «отсчетов», находится в хранилищах, доступ к которым может быть организован. Для распределенных ГИС это уже организовано, для облачных – необходимо разработать соответствующие приложения для организации доступа.

Исходная информация об условиях ориентирования в районе проведения сеанса автономной навигации мобильного автомата обзорно-сравнительным методом в форме компьютерной модели функционирования СС представляется в виде:

1. Моделей местности в районах проведения тестов.
2. Имитационных моделей СС.
3. Математических моделей стрессовых воздействий на различные СС КЭНС.

Первые две модели в распределенных ГИС и облачных ГИС уже реализованы, математические модели преднамеренных помех на СС разработаны в виде отдельного программного модуля.

4. Заключение

Приближающие функции из параметрического семейства ступенчатых функций решаются ВС и включают компоненты двух типов:

1. Компоненты известных видов цифровой обработки изображений (фильтрация, выделение границ, описание сцен на участках, попавших в кадр, сегментация, выбор опорных точек на изображениях и т.д.).
2. Компоненты используемых распознающих операторов в составе семейств алгоритмов распознавания образов (потенциальных функций, разделяющих поверхностей, голосования и т.д.).

Указанные компоненты в разной степени реализованы в распределенных вычислительных средах. Возможность их реализации в облачных ГИС в настоящее время исследуется.

Прикладная ГИС, созданная на основе, например, ГИС «Панорама», может стать ядром для организации вычислений с использованием распределенных и облачных ГИС.

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. Алчинов А.И., Гороховский И.Н. Направления расширения функционала прикладной геоинформационной системы моделирования поисковых корреляционно-экстремальных навигационных систем // Проблемы управления. 2023. № 5. С. 78-90.
4. Журавлёв Ю.И., Гуревич И.Б. Распознавание образов и распознавание изображений. // Распознавание, классификация, прогноз. Математические методы и их применение: Ежегодник / Под ред. Ю.И. Журавлева. М.: Наука, 1989. Вып. 2. С. 5-72.