

УДК 007.52:004.896:004:94

АЛГОРИТМЫ СРАВНЕНИЯ ИНВАРИАНТОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧ ВИЗУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ БЛА

С.В. Кулешов*СПб ФИЦ РАН*Россия, 15267, Санкт-Петербург, 14-линия., 39
E-mail: kuleshov@iias.spb.su**А.А. Зайцева***СПб ФИЦ РАН*Россия, 15267, Санкт-Петербург, 14-линия., 39
E-mail: cher@iias.spb.su**А.Ю. Аксенов***СПб ФИЦ РАН*Россия, 15267, Санкт-Петербург, 14-линия., 39
E-mail: a_aksenov@iias.spb.su

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, визуальная навигация, инвариантное представление, алгоритмы сравнения, обработка изображений.

Аннотация: В докладе предлагается решение задачи визуальной навигации (то есть локализации места положения беспилотного летательного аппарата (БЛА) с применением только средств технического зрения) в условиях нестабильной работы средств глобального позиционирования. Предлагаются алгоритмы сравнения инвариантов представления окружающей среды, хранимых в памяти БЛА, с представлением, формируемым с использованием бортовых камер.

1. Введение

В задачах автономной визуальной навигации беспилотных летательных аппаратов без использования систем глобального и радио- позиционирования, как правило, используются разновидности специально сформированных структур данных, основанных на визуальном представлении окружающей среды, инвариантном к условиям освещения, погодным условиям и времени года [1].

В ряде работ для такого инвариантного представления используется кластеризация изображений по основным классам объектов, находящихся на земной поверхности и доступных к визуальному наблюдению в оптическом диапазоне (строения, дороги, водные поверхности, лесные поверхности, песчаные поверхности, каменистые поверхности и др.) [2-4]. Пример такого инвариантного представления приведен на рис. 1.

Актуальной проблемой при этом является разработка алгоритмов быстрого получения инвариантного представления окружающей среды, видимой с беспилотного летательного аппарата, и быстрого робастного сравнения с аналогичным инвариантным представлением карты местности в процессе движения с использованием только

бортовой аппаратуры, ограниченной, по определению, быстродействием и объемом доступной памяти.



Рис. 1. Пример карты для 2 классов объектов (строения и дороги).

В данной работе предлагается подход к сравнению инвариантных представлений окружающей среды на основе поиска признаков в фазовом пространстве, построенном на основе локализации объектов, ориентированных по некоторому направлению d_i по отношению к центру изображения камеры наблюдения БЛА. Иллюстрация процесса преобразования изображения окружающей местности в фазовое пространство приведена на рис. 2.

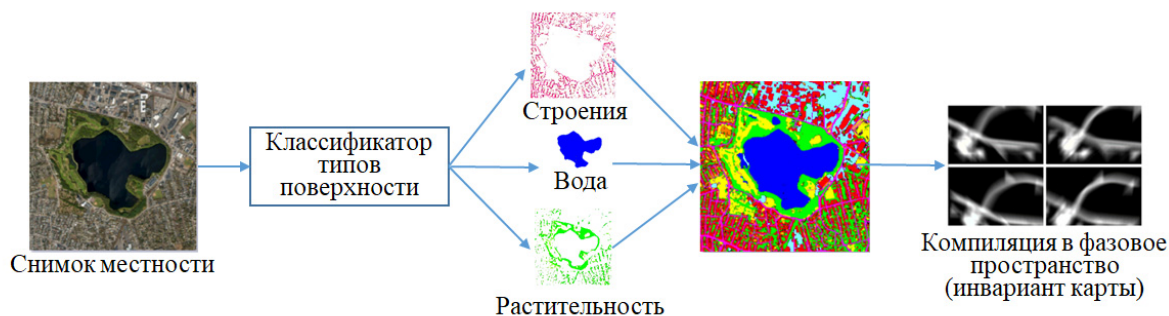


Рис.2. Иллюстрация процесса преобразования изображения окружающей местности.

Для подготовки структуры данных (инвариантного представления) для навигации в алгоритме используются бинаризованные изображения областей, содержащие объекты определенного класса (рис. 3). Затем производится расчет количества объектов, попадающий в сектор, соответствующий направлению $d = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, где n – количество плоскостей фазового пространства, содержащих инвариантное представление карты.

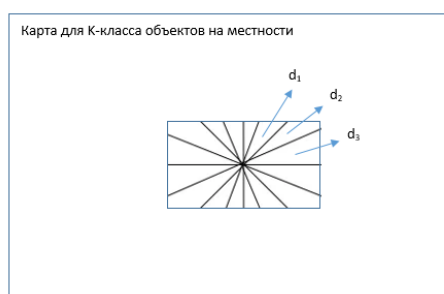


Рис.3. Иллюстрация выбора направления для построения промежуточного представления карты классов.

Результаты сохраняются в виде многомерного фазового пространства, примеры сечений которого для карты, приведенной на рис. 1, приведены на рис. 3. Технически структура данных сохраняется в виде базы данных ключ-значений для быстрого поиска местоположения в процессе работы [5].

При движении БЛА производится сравнение параметров для изображения, полученного с бортовой камеры БЛА, вычисленных аналогично алгоритму, приведенному выше, но не для каждой точки карты, а для центральной точки изображения с камеры. Затем производится поиск бинарных признаков в фазовом пространстве в базе данных с получением на выходе множества координат, соответствующих возможным точкам нахождения БЛА. Комплексирование полученных множеств с ранжированием результатов позволяет получить матрицу оценки возможного положения БЛА на карте. Мощность множества возможных координат определяется точностью работы алгоритма и зависит от условий съемки, соответствия сравниваемых инвариантных представлений (например, времени, прошедшего между получением снимков), присутствия в поле зрения камеры идентифицируемых объектов (строений и дорог). Общая схема работы системы визуальной навигации приведена на рис. 4.

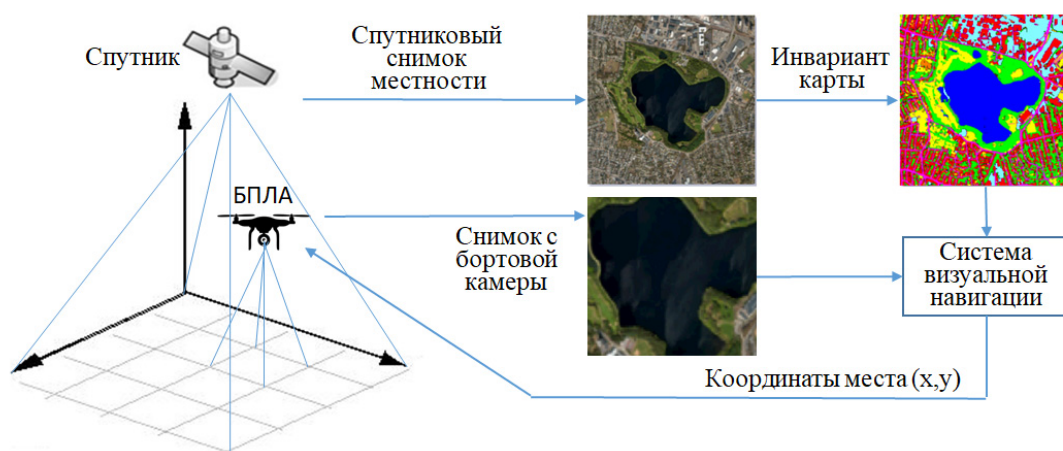


Рис.4. Общая схема работы системы визуальной навигации.

2. Алгоритм сравнения инвариантов карты, основанный на векторно-классовом представлении

Пусть на карте M имеется множество площадных объектов (имеющих сравнительно большую площадь по сравнению с другими объектами на изображении), относящихся к возможным классам C_i .

Для каждого пиксела (x_0, y_0) карты M предварительно рассчитываются характеристики области I с центром в точке (x_0, y_0) , соответствующей по размеру кадру с бортовой камеры. Характеристиками области I будем считать множество радиус-векторов, направленных из точки (x_0, y_0) в точки, соответствующие центрам масс объектов, попавших в область I . В случае, когда объект класса C_i попадает в область I частично, он ограничивается теми пикселями, которые полностью находятся внутри области I (на рисунке 5 радиус-вектор R_3 направлен в центр масс сокращенной области C_3). Объекты, не попадающие в область I хотя бы частично, не рассматриваются.

Данная процедура повторяется для всех точек карты M , формируя двумерный массив списков радиус-векторов для каждой точки карты M .

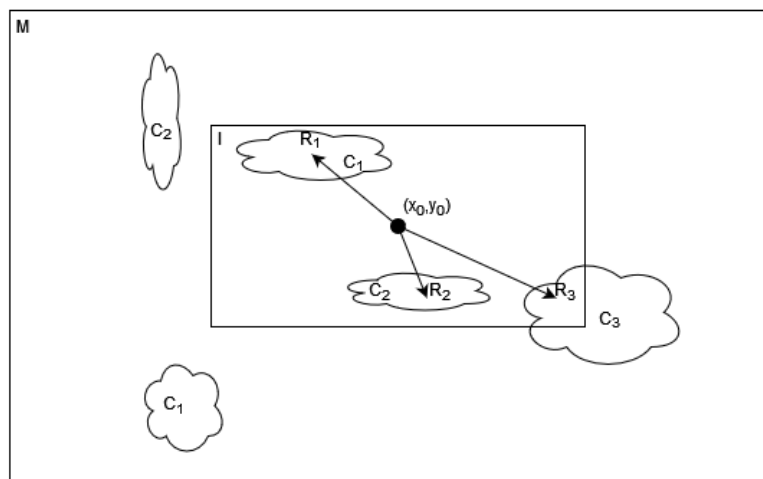


Рис.5. Иллюстрация алгоритма сравнения инвариантов карты на основе радиус-векторов, ориентированных в центр области класса.

Разрабатываемый алгоритм предполагает сравнение характеристических величин изображения I^* , полученного с камеры с характеристиками области I в точке (x_i, y_i) с вычислением меры различия d между данными характеристическими величинами и формирования списка потенциально возможных точек расположения изображения I^* на карте M , упорядоченными по увеличению меры d .

Применение данного алгоритма возможно при сравнении изображений I^* того же размера и в той же пространственной ориентации, что и на этапе подготовки.

3. Алгоритм циклического кругового сравнения инвариантов карты

От указанного выше ограничения свободен алгоритм циклического кругового сравнения.

Пусть на карте M имеется множество площадных объектов, относящихся к возможным классам C_i (рис. 6). Для каждого пиксела (x_0, y_0) карты M предварительно рассчитываются характеристики области I с центром в точке (x_0, y_0) , соответствующей по размеру кадру с бортовой камеры. Характеристиками области I для точки (x_0, y_0) будем считать двумерную матрицу H размером $K \times N$, где K – число классов объектов, N – число выделенных секторов S круга с центром в точке (x_0, y_0) . Значение элемента $H_{c,j}$ данной матрицы соответствует количеству пикселей класса C_c , находящихся в секторе S_j . Данная структура вычисляется однократно при предполетной подготовке.

Операция сравнения производится путем вычисления величины отклонения

$$\Delta_{x,y} = \sum_{c=1}^K \sum_{j=0}^{N-1} |H_{c,j} - h_{c,j}|$$

для каждой точки (x,y) карты M , где $H_{c,j}$ элемент инварианта карты M , $h_{c,j}$ – элемент инварианта изображения I . Результатом сравнения является список точек (x,y) , упорядоченный по возрастанию значения $\Delta_{x,y}$ для $\Delta_{x,y} < const$.

