

УДК 519.878, 004.02

ПЛАНИРОВАНИЕ МАРШРУТА ПОИСКА ДЛЯ АВТОНОМНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА

Н. А. Михайлов (*mikhailov.mai@gmail.com*)
Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет) (МАИ)

Аннотация. В работе представлен алгоритм планирования траектории движения автономного беспилотного летательного аппарата для решения задачи поиска объектов. Алгоритм основан на вычислении энтропийной карты поиска. Критерием выбора пути выступает максимальная информационная пропускная способность. На основе предложенных информационных моделей, было проведено компьютерное моделирование поиска. Результаты моделирования подтверждают работоспособность предложенного подхода.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, групповое применение, поиск, энтропия, информативность признака.

Введение

Задача оптимального планирования траектории движения для одиночного или группы автономных роботов (в частности, для беспилотных летательных аппаратов (БЛА)) является актуальной на сегодняшний день [Лавренов и др., 2016], [Андрейчук и др., 2016]. Сложность подобных задач связана, в первую очередь, с многокритериальной оптимизацией, учитывающей разные по своей природе факторы. Как правило при решении точка пространства, в которую следует доставить автономный робот определена. В данной работе рассматривается одно из направлений подобных задач – это планирование траектории поиска наземных объектов. Специфика задачи планирования траектории поиска состоит в том, что положение объекта поиска заранее не известно. Классические алгоритмы планирования траектории поиска учитывают лишь вероятность нахождения объекта поиска в заданной области [Абчук и др. 1977]. В работе предлагается подход, учитывающий не только вероятность нахождения объекта поиска в заданной области, но

и его наблюдаемость, определяемую аппаратурой и условиями наблюдения [Ким и др. 2002].

Постановка задачи

Пусть имеется карта местности, на которой находится объект интереса (ОИ) – o (объект – object). Для простоты представим карту в виде сетки размером $M \times N$, где M – количество строк разбиения, а N – количество столбцов. Для каждой ячейки сетки имеется, некоторая априорная информация о вероятности присутствия ОИ в ней $P(o)$, причем суммарная вероятность нахождения объекта в заданной области равна:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N P(o_{m,n}) = 1, \quad (1)$$

где m, n – координаты ОИ.

Вне зависимости от физической природы носителя сообщений и структуры признаков, оценка их информативности рассчитывается одинаково [Ким 2001]. Поэтому, для обнаружения ОИ задан набор признаков $\bar{u} = \{u_1 \in U_1, \dots, u_R \in U_R\}$, где R общее количество всех признаков ОИ (яркость, длина, цвет, форма и т.д.), а также определены условные плотности распределения вероятности возникновения признака u_r в каждой ячейке карты, при условии нахождения в этой ячейке ОИ или его отсутствия: $p(u_r | o_{m,n})$ и $p(u_r | b_{m,n})$, где за b обозначено событие отсутствия ОИ в ячейке (фон – background). Заданные плотности распределения определяют наблюдаемость объекта в некоторой области.

Требуется построить траекторию движения каждого БЛА, при которой достигается его максимальная информационная пропускная способность поиска.

1. Энтропийное описание задачи

В данной работе за количественную меру информации I принята шенноновская мера. При не равновероятных исходах P_k , где P_k – вероятность k -ого исхода из K возможных. При этом неопределенность (энтропия) H , определяется той же самой мерой, что и информация [Коган 1981]:

$$H = -\sum_{k=1}^K P_k \log_2 P_k \quad (2)$$

Количественная мера информации, приносимая сообщением y о событии x , в наиболее общем случае, определяется выражением:

$$I(y|x) = H(x) - H(x|y), \quad (3)$$

где $H(x)$ – неопределенность ситуации x до события y ;

$H(x|y)$ – неопределенность ситуации x , оставшаяся после наступления события y .

Информационная пропускная способность C обозначает скорость переработки информации I за время T :

$$C = \frac{I}{T} = \frac{H(x) - H(x|y)}{T}. \quad (4)$$

Так как T включает время полета БЛА к выбранной ячейке, то, следовательно, пропускная способность учитывает расстояние до этой ячейки.

При решении задачи поиска в заданной области количество возможных исходов $K = M \cdot N$, т.е. определяется количеством ячеек сетки.

При решении задачи поиска БЛА имеет на борту комплексную систему наблюдения и решает с ее помощью задачу обнаружения. Задача обнаружения является частным случаем задачи распознавания, она характеризуется наличием двух различных классов объектов: ОИ и фон ($\Omega = 2$).

Если дискретизировать область значений некоторого r -ого признака на Q отсчетов, то общее количество полезной информации при распознавании Ω классов, которое может быть получено при измерении всех значений r -ого признака в некоторой ячейке с координатами m, n равно [Ким 2001]:

$$I_{m,n} = H_0(\Omega) - H(\Omega|U_r) = -\sum_{k=1}^K \sum_{\omega=1}^{\Omega} P_k(\omega) \log_2 P_k(\omega) + \\ + \sum_{\alpha=1}^{\Omega} P(\alpha_{m,n}) \sum_{\beta=1}^{\Omega} \sum_{q=1}^Q P(u_{r,q} | \alpha_{m,n}) \cdot P(\beta_{m,n} | u_{r,q}) \log_2 P(\beta_{m,n} | u_{r,q}) \quad (5)$$

где $P_k(\omega)$ – априорная вероятность k -ого исхода ω класса;

$P(\alpha_{m,n})$ – априорная вероятность наличия (присутствия) класса α в ячейке с координатами m, n ;

$P(u_{r,q} | \alpha_{m,n})$ – вероятность приема q -ого значения r -ого признака при условии наличия класса α в ячейке с координатами m, n ;

$P(\beta_{m,n} | u_{r,q})$ – апостериорная вероятность наличия класса β в ячейке с координатами m, n при условии приема q -ого значения r -ого признака, может быть рассчитана по формуле Байеса:

$$P(\beta_{m,n} | u_{r,q}) = \frac{P(\beta_{m,n})P_j(u_{r,q} | \beta_{m,n})}{\sum_{\omega=1}^{\Omega} P(\omega_{m,n})P_j(u_{r,q} | \omega_{m,n})}, \quad (6)$$

Соотношение (5) позволяет связать априорную информацию о вероятности нахождения ОИ в заданной области, и его наблюдаемость в каждой конкретной ячейке. Причем, если в ячейке условные плотности распределения признака для всех классов Ω не пересекаются, то $I_{m,n}$ полностью определяется начальной энтропией $H_0(\Omega)$.

2. Алгоритм построения маршрута

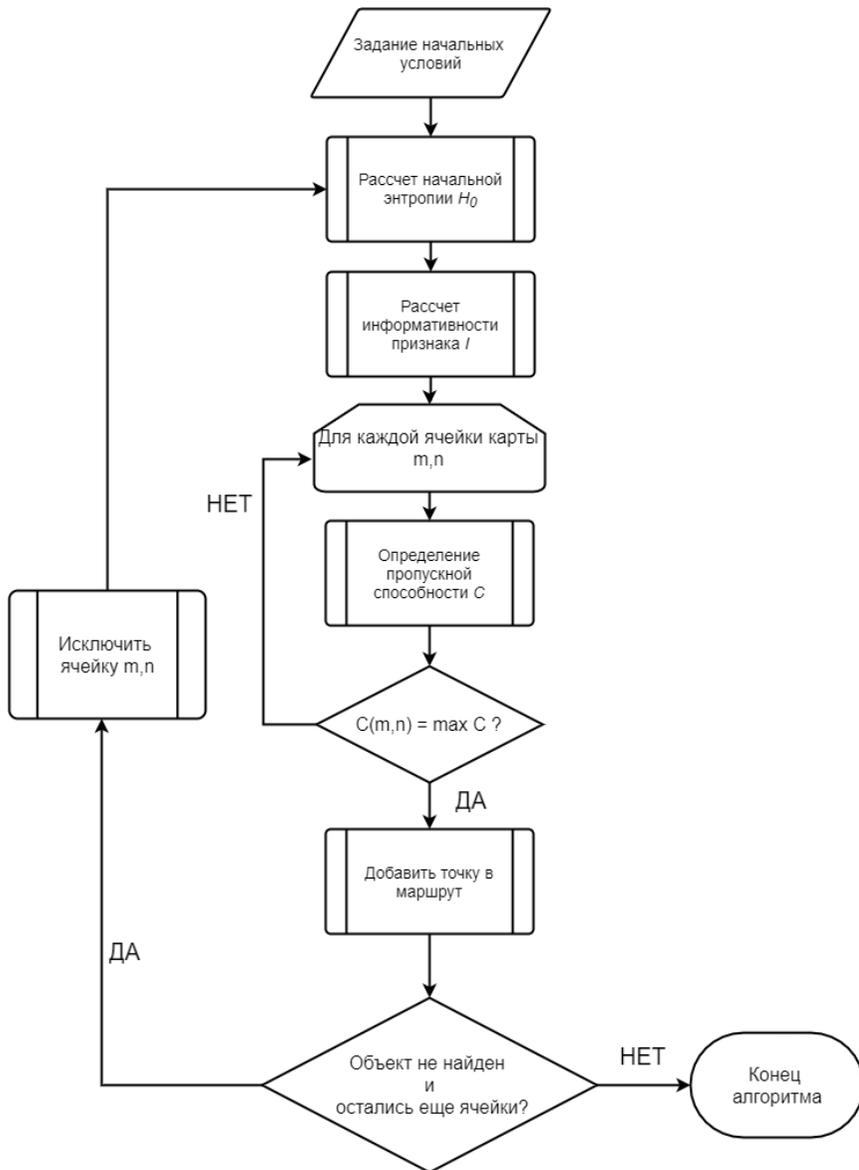


Рис. 1. Блок схема алгоритма построения маршрута

С учетом вышеописанных выражений алгоритм построения маршрута для одного БЛА будет следующим:

1. Задать начальные значения вероятностей нахождения ОИ и его отсутствия, условных плотностей распределения вероятности появления каждого признака для каждого класса в каждой ячейке карты;
2. Рассчитать начальную энтропию H_0 по формуле (1);
3. В соответствии с выбранным поисковым признаком u_i рассчитать информативность каждой ячейки карты по формуле (5);
4. На каждом последующем шаге, с учетом информативности из п. 3, рассчитать пропускную способность.
5. Выбрать следующим пунктом маршрута ту ячейку, которая имеет максимальную пропускную способность.
6. Если в ячейке не находится ОИ, то эту ячейку исключить из дальнейшего поиска, путем обнуления априорной вероятности нахождения объекта в этой ячейке и перейти к п.2, иначе перейти к п. 7.
7. Работа алгоритма заканчивается если не осталось не обследованных ячеек или объект был найден.

3. Результаты математического моделирования

Для проверки работоспособности алгоритма было проведено математическое моделирование процесса поиска (на карте поиска размером $M = 30, N = 30$, состоящей из условных элементарных участков). Вероятность наличия ОИ $P(o)$ представляет из себя сглаженную поверхность (рис. 2). Вероятность отсутствия ОИ определяется как $P(b) = 1 - P(o)$.

На борту БЛА имеется измерительное устройство, для которого известна плотность распределения вероятности приема некоторого значения признака, при условии наличия ОИ в зоне видимости измерителя. Данная плотность является гауссовской. Также известна плотность распределения вероятности приема некоторого значения, того же признака, при условии отсутствия объекта поиска в зоне видимости измерителя. Статистические характеристики условных плотностей (математическое ожидание и дисперсия) определены случайным образом, для каждой ячейки области поиска (рис.3):

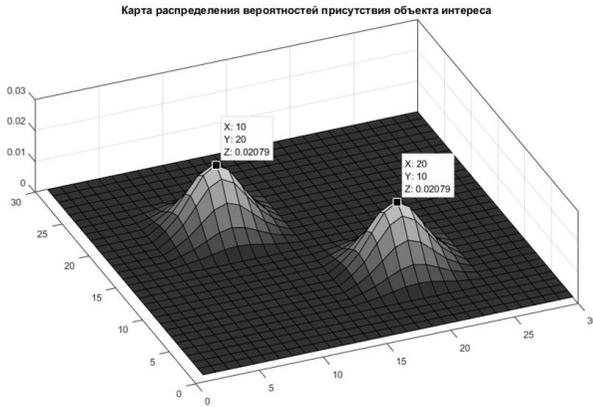


Рис. 2. Поверхность вероятностей наличия ОИ – $P(o)$

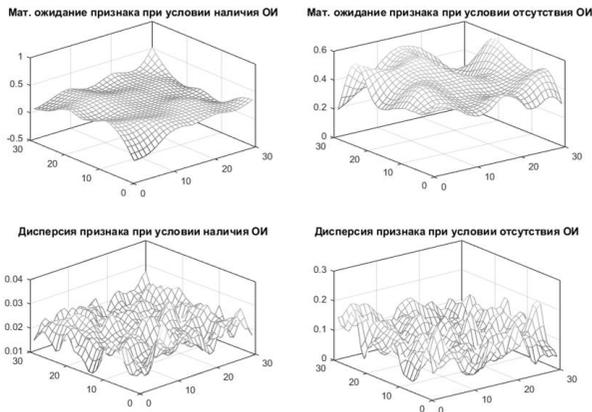


Рис. 3. Поверхности значений статистических характеристик условных плотностей вероятности приема значений признака

Из предложенного алгоритма следует, что БЛА должен выбирать те ячейки, которые обладают максимальной информативностью. Из рис. 2 видно, что в области поиска имеются две области, в которых вероятность нахождения ОИ выше. Это ячейки с координатами $cell_1 = [x = 10; y = 20]$, $cell_2 = [x = 20; y = 10]$. Так как в этих ячейках одинаковые вероятности и расстояние от точки старта, то определяющим фактором будет наблюдаемость объекта поиска в этих ячейках.

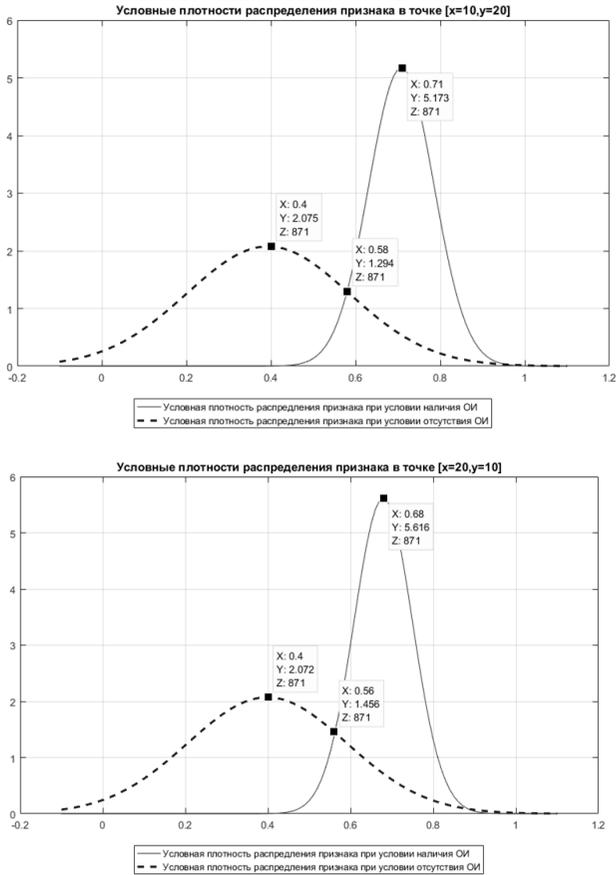


Рис. 4. Реализации условных плотностей распределения

На рис. 4 представлены реализации условных плотностей распределения, откуда видно, что плотности распределения для второй ячейки ($cell_2$) имеют меньшую общую площадь пересечения, что говорит о меньшем количестве возможных ошибок и большей информативности данной ячейки.

На рис. 5 представлена поверхность распределения начальной информативности. Видно, что информативность второй ячейки больше.

Принято допущение о том, что БЛА движется с постоянной скоростью, условно равной $v_{БЛА} = 1$. Отсюда следует, что критерий пропускной

способности учитывает, только расстояние между текущей позицией маршрута и следующей информативной ячейкой.

Результаты работы алгоритма представлены на, рис. 6. ОИ располагался в ячейке с координатами $[x = 12, y = 20]$. Как видно из графиков БЛА решил задачу обнаружения ОИ за 71 итерацию.

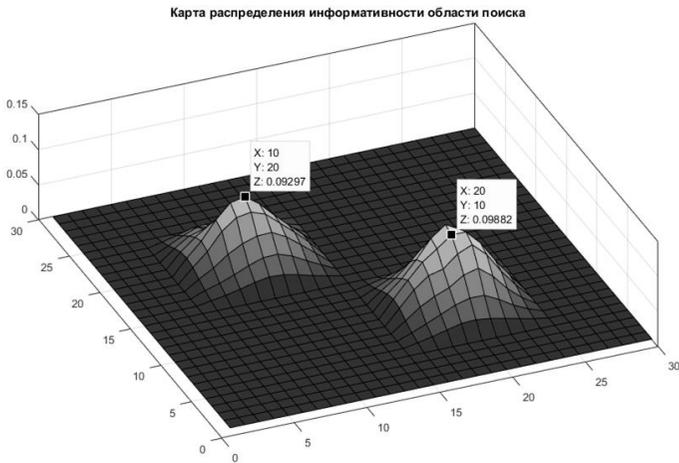


Рис. 5 Начальное распределение информативности

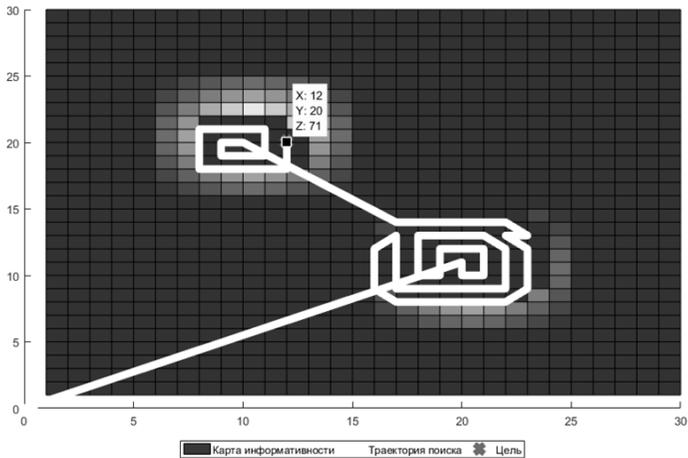


Рис. 6. Траектория поиска и траектория поиска на фоне поверхности распределения информативности

Заключение

Компьютерное моделирование показало работоспособность предложенного алгоритма.

Основное преимущество данного подхода заключается в том, что при выборе очередной точки маршрута, учитывается не только вероятность присутствия ОИ, но и наблюдаемость конкретного признака, а также расстояние (которое может быть заменено на некоторую функцию затрат) до данной точки.

К недостаткам алгоритма можно отнести сложность определения условных плотностей распределения признака на реальных задачах.

Следующими шагами в исследовании данной проблемы будут:

- сравнительный анализ эффективности с классическими алгоритмами (регулярный поиск, случайный поиск);
- адаптация алгоритма к изменяющимся во времени вероятностям обнаружения ОИ и характеристикам условных плотностей распределения признаков.

Список литературы

- [Абчук и др. 1977] Абчук, В.А., Суздаль, В.Г. "Поиск объектов", М.: Сов. радио; 1977. 336 с.
- [Андрейчук и др. 2016] А.А. Андрейчук, К.С. Яковлев "Метод разрешения конфликтов при планировании пространственных траекторий для группы беспилотных летательных аппаратов" // БТС-ИИ-2016, 22-23 сентября 2016, Иннополис, университет Иннополис. С. 31-40.
- [Ким 2001] Ким Н.В. "Обработка и анализ изображений в системах технического зрения": Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001 – 164 с.: ил.
- [Ким и др. 2002] Ким Н.В., Степанов Н.В. "Слежение за несколькими подвижными целями на основе информационного подхода"// Тез. 3-й научно-практ. конф. Современные проблемы фотограмметрии и дистанционного зондирования. – 2002.
- [Коган 1981] Коган И.М. "Прикладная теория информации" – М.: Радио и связь. 1981. —216 с.
- [Лавренов и др. 2016] Р.О. Лавренов, И.М. Афанасьев, Е.А. Магид "Планирование маршрута для беспилотного наземного робота с учетом множества критериев оптимизации" // БТС-ИИ-2016, 22-23 сентября 2016, Иннополис, университет Иннополис. С. 10-20.