

**УДК 004.93'12**

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ НАВИГАЦИИ АВТОНОМНЫХ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ  
КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ РАЗНОРОДНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ  
ДАННЫХ**

В.Е. Дементьев(*vitawed@mail.ru*),  
Д.С. Кондратьев(*kondratev.dmitriy@gmail.com*)  
УлГТУ, Ульяновск

В работе описывается применение алгоритмов поиска объектов на изображении, полученном с инфракрасного дальномера, а также комплексирование этой информации с бортовыми инерциальными системами в целях определения собственного местоположения.

**Введение**

Современные системы управления предназначены для управления сложными многофункциональными объектами, действующими в постоянно меняющейся окружающей обстановке. Это в полной мере относится и к системам управления современными автономными беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). В состав современных БПЛА в настоящее время входят множество датчиков, потенциально способных в каждый момент времени с разной степенью достоверностью определять местоположение БПЛА. Среди таких датчиков можно отметить инерциальные системы (ИНС), способные с большой точностью определять относительное смещение БПЛА, системы спутниковой навигации, видеокамеры, позволяющие получать визуальную информацию об окружающей БПЛА обстановке, ИК датчики, с помощью которых возможно определение расстояний до рядом расположенных объектов и т.д. Несмотря на разнообразие датчиков, при отсутствии сигнала от спутниковых навигационных систем аппарат теряет возможность определять собственное положение, и может опираться только на автономные навигационные системы. Но до последнего времени не существовало эффективных решений связанных с комплексированием и автоматической обработкой информации получаемой с них. Это во многом объясняется несовершенством измерительной аппаратуры и непреодолимыми трудностями, возникающими при обработке большого объема данных в режиме реального времени. Однако появление нового поколения датчиков и

быстрой вычислительной техники привело к идее автоматизации ряда традиционных функций по обработке информации, ранее считавшихся принципиально недоступными для автоматических систем.

## **1. Алгоритм комплексирования навигационных данных**

Одним из датчиков, потенциально применимых на БПЛА является инфракрасный дальномер. Как было отмечено, ИК датчик используется для формирования массива расстояний до объектов. Эта информация, представляющая своеобразное полутоновое изображение, является объектом цифровой обработки, в ходе которой должно быть выполнено распознавание объектов, находящихся впереди автономного аппарата. При этом необходимо принять решение о потенциальной опасности объекта и возможности его использования в процессе определения собственного местоположения.

В качестве ИК датчика возможно использование контроллера Microsoft Kinect. Данный контроллер позволяет формировать массив расстояний до объектов с высокой точностью. В своем составе Kinect имеет инфракрасный лазерный проектор, который создает в пространстве сетку из точек и камеру, снимающая в инфракрасном спектре, которая регистрирует изображение этой сетки. Принцип формирования изображения следующий.

Излучатель(проектор) создает очень короткую равнонаправленную световую вспышку (по длительности эквивалентную расстоянию в несколько метров, что определяет максимально дальность камеры, например 7.5 метров при длительности вспышки  $t_0 = 50$  нс). Отраженный от сцены свет возвращается обратно и фокусируется оптической системой так, что бы падать на цифровую матрицу(камеру). Эта матрица имеет специальный тип и состоит из фотодиодов. При попадании света на фотодиод, он начинает вырабатывать ток, который через ключ передается на накопительные элементы (конденсаторы). В простейшем случае можно использовать два конденсатора.

Согласно заявленным техническим характеристикам, контроллер Kinect поддерживает рабочий диапазон дальностей от 1 до 6 метров и имеет поле зрения примерно 50 угловых градусов в обоих направлениях. Разрешение дальномерной матрицы невелико и составляет 320 x 240 пикселей.



Рис.1.Пример изображения, полученного с контроллера Microsoft Kinect

Для обработки данного изображения с целью поиска объектов и последующей навигации возможно использование следующего алгоритма, состоящего из 2-х этапов.

На первом этапе выполняется выделение в получаемых с ИК датчика эхо изображениях объектов, потенциально подходящих для использования при последующем позиционировании. Рассмотрим процедуры, выполняемые в рамках данного этапа, более подробно.

1. Считая, что датчик установлен ровно в горизонтальной плоскости (нет крена влево/вправо, а если он есть его можно компенсировать по данным встроенных гироскопов), рассчитаем медиану каждой строчке изображения. Медиана рассчитывается следующим образом: массив данных составляющих каждую строчку сортируется, медианой считается элемент с номером  $n/2$  (где  $n$  число элементов в строке – т.е. число столбцов). Таким образом, получим  $m$  медиан (где  $m$  – число строк, обычно при этом  $m=n$ )

2. Определим линию горизонта, то есть фактически разделим изображение на две области «верхнюю», где объектов заведомо нет (там все «темно») и нижнюю, потенциально содержащие объекты. Определение линии горизонта осуществляется достаточно просто. Для этого достаточно пробежаться «сверху-вниз» по каждому столбцу. Как только значение яркости станет достаточно большим, то данная точка будет входить в линию горизонта (рис 2. серая линия).

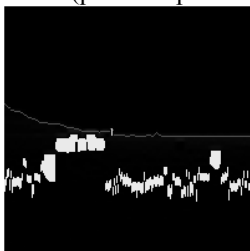


Рис.2.Определение линии горизонта

3. Определим области постоянного уровня яркости. Важность этих областей обуславливается тем, что искомые на эхо изображениях объекты как правило имеют вертикальные поверхности. Эти поверхности на эхо изображениях представляются как области с близким к постоянному яркостному заполнению.

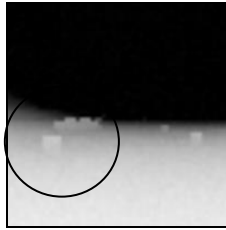


Рис.3 обведены области, обладающие постоянным уровнем яркости

Для определения указанных областей выполним постолбцовый анализ от линии горизонта вниз до нижней границы изображения. Если на протяжении достаточно протяженного (больше 5 точек) участка яркость меняется не значительно (например не более чем на 5 единиц), то считаем, что эта область является зоной потенциального расположения объекта. На следующем рисунке эта область помечена светло серым цветом(одна из областей выделена серой окружностью)

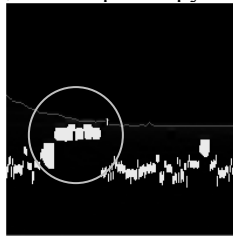


Рис.4 Белым цветом выделены области являющиеся зоной потенциального расположения объектов

4. Определим зоны вертикальных границ объектов. Для этого аналогично предыдущему пункту анализируем составляющие изображения столбцы. В случае если разница между соседними (или через один) пикселями больше некоторого порога, можно считать, что выделенная точка часть верхней границы объекта. При этом в зависимости от этой разницы и величины, на которую текущая точка превосходит, медиану строки эту точку содержащую область возможного расположения объекта может быть разной. Так если разница между точками в столбце невелика, то можно ожидать малый объект под этой точкой, если разница значительна, то объект большой. Если точка на потенциальной границе превосходит по яркости точки на текущей строчке (больше чем медиана строки), то это также показатель размера объекта. В ходе большого количества экспериментов была получена следующая оценка потенциального размера объекта:  $(d \div 8) + (m \div 8)$ , где  $d$  – вертикальная разница на границе потенциального объекта,  $m$  – разница между значением яркости на границе и медианы строки. На

следующем рисунке показаны области возможного расположения объектов.

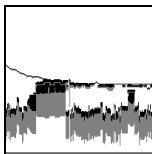


Рис.5 определение зон вертикальных границ

5. Определяем горизонтальные границы объекта аналогично п. 4. При этом для каждого объекта определяем и вертикальную и горизонтальную границу объекта. На следующем рисунке показаны области горизонтальных границ объекта. При этом такой границ может быть затруднен малыми значениями разностей яркости «у основания объекта» (потому что у своей «нижней границы» объект для эхолота практически растворяется на фоне поверхности). В связи с этим на рисунке правая граница объекта в некоторых местах не найдена (объект ложно растянут до правого края изображения).

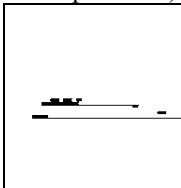


Рис.6 Определение горизонтальных границ объекта

6. Определяем пересечения найденных в предыдущих трех пунктах областей путем проверки простейших условий (если точка попала и в область 1 и в область 2 и в область 3, то считаем, что эта точка принадлежит объекту)

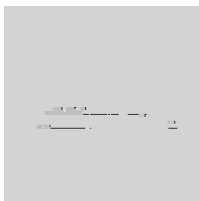


Рис.7 Результат пересечения областей

7. Исключаем отдельные точки в областях не имеющие вертикальных и горизонтальных «соседей» (фильтруем выбросы). На предыдущем рисунке такие точки показаны черным цветом.

8. Определяем центры полученных областей. Для этого последовательно бежим по точкам изображения, если «натыкаемся» на точку принадлежащую области сигнала рекуррентно определяем соседей

этой точки, и их вертикальные и горизонтальные координаты записываем в специальный массив чисел. Как только распространятся «заливке» становится больше некуда, рассчитаем средние по этим двум массивам. Эти средние и будут координатами формируемого точками объекта. На рисунке они показаны белыми точками. Это и есть центры тяжести объектов.

Вторым этапом обработки получаемых данных является собственно позиционирование аппарата относительно выделенных объектов. Предположим при этом, что имеется информационный массив, содержащий характеристики объектов, обнаруженных алгоритмом обнаружения объектов на эхо изображениях.

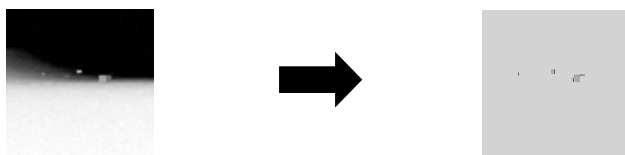


Рис.8 Обнаруженные объекты на гидроакустическом изображении

Каждому найденному объекту на изображении соответствует расстояние от БПЛА до центра этого объекта. Зная это расстояние и смещение центра объекта относительно центра эхо изображения становится возможным определение расстояния до плоскости, которая проходит через данный центр объекта и расположена перпендикулярна лучу сканирующему окружающую обстановку в центре гидроакустического изображения. При этом мы считаем, что БПЛА всегда имеет тангаж  $0^\circ$  и каждый пиксел гидроакустического изображения соответствует смещению луча сканирования на  $1^\circ$ .

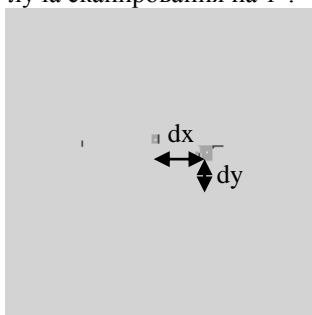


Рис.9 Определение смещения объекта относительно центра главного(центрального) луча эхолота

Определим угол между лучом направленным к объекту и лучом, находящемся в центре гидроакустического изображения

$$dh = \sqrt{dx^2 + dy^2},$$

и расстояние до плоскости, содержащий данный объект

$$R = r * \cos(dh),$$

где r это расстояние до объекта.

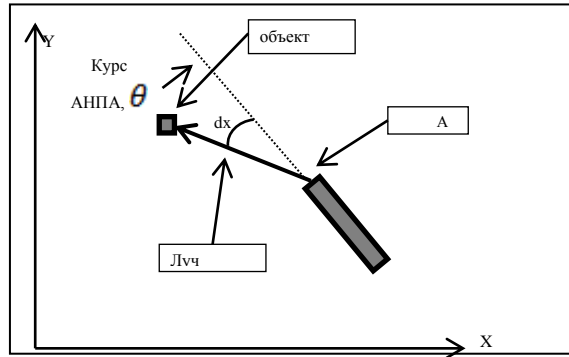


Рис.10 Вычисление глобальных координат объекта

Считывая глобальные координаты и курс БПЛА с его инерциальных систем, определим приближенно глобальные координаты найденных объектов. На основе курса БПЛА( $\Theta$ ) и смещения объекта относительно центра гидроакустического изображения в горизонтальной плоскости(угол  $dx$ ) найдем направление луча от эхолота к объекту в глобальных координатах.

$$dR = dx + \Theta,$$

где  $dR$  направление луча к объекту в глобальных координатах

2. Вычислим глобальные координаты объекта

$$X = R * \cos dR \quad Y = R * \sin dR$$

### Заключение

Таким образом, имея последовательность эхо изображений совместно с информационным массивом относительно выделенных на них объектов можно организовать траекторное слежение за объектами, определять координаты этих объектов с заданной точности, оценить его пригодность для использования в навигации, а также определить является ли он неподвижным. В случае успешной идентификации объекта, пригодного для позиционирования (т.е. неподвижного и обнаруживаемого в последовательности эхо изображений), система сможет скорректировать свои координаты по координатам объекта, полученных на предыдущих

кадрах. На рис.11 представлена реализация такого подхода, выполненная в рамках разработанного в Ульяновском государственном техническом университете, комплекса моделирования и управления автономными объектами.

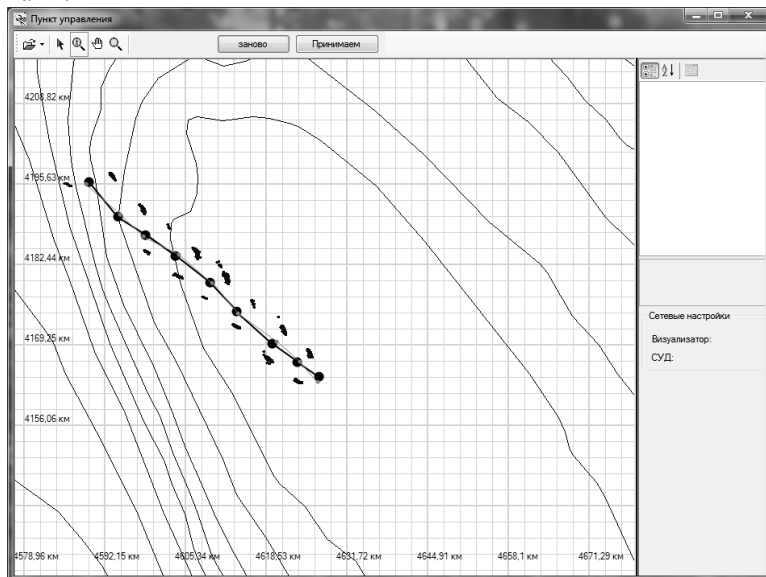


Рис.11 Реализация алгоритма в виде программного модуля (черным цветом отмечен истинный путь аппарата, серым координаты и путь определенные представленным алгоритмом, точки около маршрута – обнаруженные объекты)

Впоследствии БПЛА может составить детализированную карту воздушного пространства, и с каждым разом добавлять в нее новые корректировки.

## Список литературы

- [Васильев 1995] Васильев К.К. Методы обработки сигналов и полей // Межвузовский сборник научных трудов. - Ульяновск, 1995 г.
- [Коуэн и др 1988] Адаптивные фильтры: Пер. с англ./Под ред. К. Ф. Н. Коуэна и П. М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
- [Крашенинников 2003] Крашенинников В. Р. Основы теории обработки изображений // Учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2003г. – 150 с.
- [habrahabr.ru 2010] Игровой контроллер Kinect – первое на рынке устройство для прямого трехмерного измерения - <http://habrahabr.ru/post/109337>