

# ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ В ЗАДАЧАХ ОРИЕНТАЦИИ НА МЕСТНОСТИ

---

КИМ Николай Владимирович, профессор Московского авиационного института (государственного технического университета), к.т.н.

Тел. (903) 720-89-24, e-mail: nkim2003@list.ru

КИМ Nikolay V., the Moscow aviation institute (state technical university), the professor, Ph.D.

Tel: (903) 720-89-24, e-mail: nkim2003@list.ru

---

КУЗНЕЦОВ Андрей Григорьевич, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета).

Тел. (916) 465-39-87, e-mail: kag2006@Mail.ru

KUZNETSOV Andrey G., the Moscow aviation institute (state technical university), the post-graduate student.

Tel: (916) 465-39-87, e-mail: kag2006@Mail.ru

---

КРЫЛОВ Иван Геннадьевич, инженер Московского авиационного института (государственного технического университета).

Тел. (903) 191-37-77, e-mail: krylov\_I@mail.ru.

KRYLOV Ivan G., the Moscow aviation institute (state technical university), the engineer.

Tel: (903) 191-37-77, e-mail: krylov\_I@mail.ru.

---

*Рассмотрена задача оценки ориентации малогабаритного беспилотного летательного аппарата (МБЛА) относительно наземных ориентиров с использованием систем технического зрения (СТЗ). Рассмотрены алгоритмы поиска ориентиров. Проведен анализ точности оценки координат относительно ориентиров.*

*The problem of an estimation of orientation of a small-sized unmanned vehicle concerning land reference points with by a technical vision systems is considered. Algorithms of search of reference points are considered. The analysis of accuracy of an estimation of co-ordinates concerning reference points is carried out.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, система технического зрения, внешний ориентир, система наблюдения.

**Key words:** unmanned vehicle, technical vision system, an external reference point, supervision system.

## Введение

Существующие в настоящее время навигационные системы малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (МБЛА) характеризуются высокой степенью зависимости от информации, получаемой от спутниковых навигационных систем (СНС), например GPS/ГЛОНАСС. Применение подобных систем имеет ряд ограничений, обусловленных, во-первых, необходимостью обеспечить требуемую точность определения положения, во-вторых, возможностью применения противником систем подавления сигналов СНС. В связи с этим возникает задача разработки дополнительного источника навигационной информации, который должен обеспечить возможность определения координат МБЛА в моменты времени, когда инфор-

мация от СНС недоступна или не обеспечивает требуемую точность позиционирования. Например, при решении задачи целеуказания требуемая точность позиционирования может составлять  $2\sigma < 3$  м, а на этапе посадки МБЛА —  $2\sigma < 2,6$  м на высоте 10 м.

В качестве подобного источника навигационной информации предлагается использовать СТЗ.

## Постановка и решение задачи ориентации на местности

Цель работы состоит в решении задачи внешнего ориентирования [1–3], т.е. оценки ориентации МБЛА относительно внешних ориентиров по принимаемым на борту изображениям подстилающей поверхности.

В качестве внешних ориентиров обычно используются такие объекты, как здания, автомобильные дороги с нанесенной на них разметкой, взлетно-посадочные полосы, элементы рельефа местности. Географические координаты и геометрические размеры таких объектов должны быть заранее известны [2].

В зависимости от типов ориентиров задача внешнего ориентирования может быть решена несколькими способами, в частности по линии и точке (малоразмерному или точечному ориентиру), по трем точкам, по двум линиям. На рис. 1 представлены типовые ситуации. Линейные ориентиры помечены белыми линиями, точечные — белыми кружками.

Наибольшее распространение среди корреляционных методов обработки изображений получили взаимная корреляционная функция

$$K(\Delta i, \Delta j) = M[(RI(i, j) - M[RI]) \times (CI(i + \Delta i, j + \Delta j) - M[CI])]$$

и функция среднего модуля разности

$$K(\Delta i, \Delta j) = M[|R(i, j) - CI(i + \Delta i, j + \Delta j)|],$$

где  $RI, CI$  — соответственно эталонное и текущее изображения;  $M[.]$  — символ математического ожидания;  $i, j$  — координаты ячеек изображения;  $\Delta i, \Delta j$  — смещение изображений.



Рис. 1. Различные типы ориентиров

Одной из главных задач оценки ориентации является обнаружение ориентиров на наблюдаемой сцене. Для поиска и обнаружения площадных и малоразмерных ориентиров используются корреляционные методы обработки изображений [1–3], для обнаружения линейных — методы выделения контуров, цепного кода и анализа линий и др. [3].

В основе корреляционных методов лежит сравнение изображений наблюдаемых объектов с их эталонным изображением, хранящемся в памяти. На рис. 2 показаны наблюдаемая сцена с выделенными ориентирами и набор соответствующих эталонных изображений.

Для поиска линейных ориентиров используются алгоритмы выделения отрезков прямых линий. Результаты выполнения некоторых характерных этапов этого алгоритма показаны на рис. 3 (исходное изображение, контурное и изображение выделенных границ ориентира соответственно).

Для выделения контуров в работе реализован алгоритм Робертса с определением порога методом гистерезиса [1].

Поиск отрезков прямых линий основан на использовании метода цепного кода и дополнительных процедур анализа линий, таких, как проверка искривления, объединение линий.

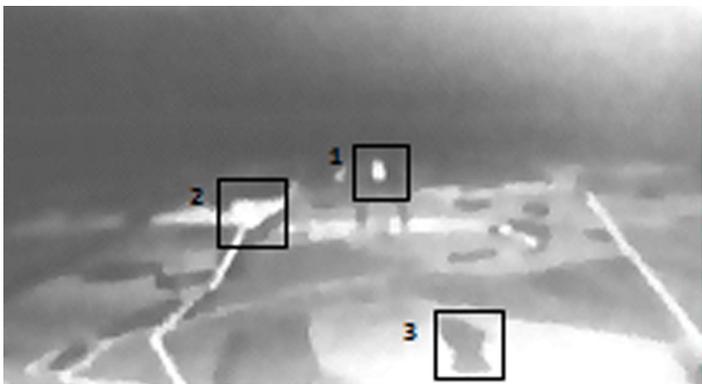


Рис. 2. Наблюдаемая сцена с выделенными ориентирами и набор соответствующих эталонных изображений



Рис. 3. Выделение отрезков прямых линий

Выделенные таким образом линии используются в алгоритме определения внешней ориентации для оценки высоты, бокового смещения и угла курса относительно объекта-ориентира.

На рис. 4 показана глобальная система координат. В плоскости  $OX_aZ_a$  расположены параллельные прямые  $A$  и  $B$ , которые можно рассматривать как границы ориентира, в частности края дороги.

На рис. 4:  $A, B$  — линии-границы проезжей части дороги;  $W_0$  — ширина проезжей части; т.  $C_c$  — центр приемной матрицы камеры;  $\Psi$  — угол курса МБЛА относительно проезжей части.

В соответствии с рис. 4 значения курса  $\Psi$ , бокового смещения  $Oa$  и высоты  $OC_c$  можно определить по формулам:

$$k = \frac{[\operatorname{tg}(\varphi_{A1}) \cdot \sin(\mu_{A1}) - \operatorname{tg}(\varphi_{A2}) \cdot \sin(\mu_{A2})]}{[\operatorname{tg}(\varphi_{A1}) \cdot \cos(\mu_{A1}) - \operatorname{tg}(\varphi_{A2}) \cdot \cos(\mu_{A2})]};$$

$$\Psi = \operatorname{arctg}(k);$$

$$OC_c = ab \{ [\operatorname{tg}(\varphi_{B1}) \cdot \sin(\mu_{B1}) - \operatorname{tg}(\varphi_{A1}) \cdot \sin(\mu_{A1})] -$$

$$- k \cdot [\operatorname{tg}(\varphi_{B1}) \cdot \cos(\mu_{B1}) - \operatorname{tg}(\varphi_{A1}) \cdot \cos(\mu_{A1})] \}^{-1};$$

$$Oa = OC_c \cdot \operatorname{tg}(\varphi_{A1}) \cdot \sin(\mu_{A1}) - k \cdot OC_c \cdot \operatorname{tg}(\varphi_{A1}) \cdot \cos(\mu_{A1}),$$

где  $OC_c$  — высота над уровнем проезжей части;  $Oa$  — боковое смещение относительно проезжей части;  $A, B$  — индексы, обозначающие линии при углах  $\varphi$  и  $\mu$ ; 1, 2 — индексы, обозначающие точки на соответствующих линиях.

Как видно из полученных формул, для вычисления искомых величин используются три точки — две на линии  $A$  и одна на линии  $B$ .

Таким образом, приведенные формулы можно использовать как для рассматриваемого случая, так и для двух других — определения ориентации по трем точечным ориентирам и по одному линейному и точечному ориентирам.

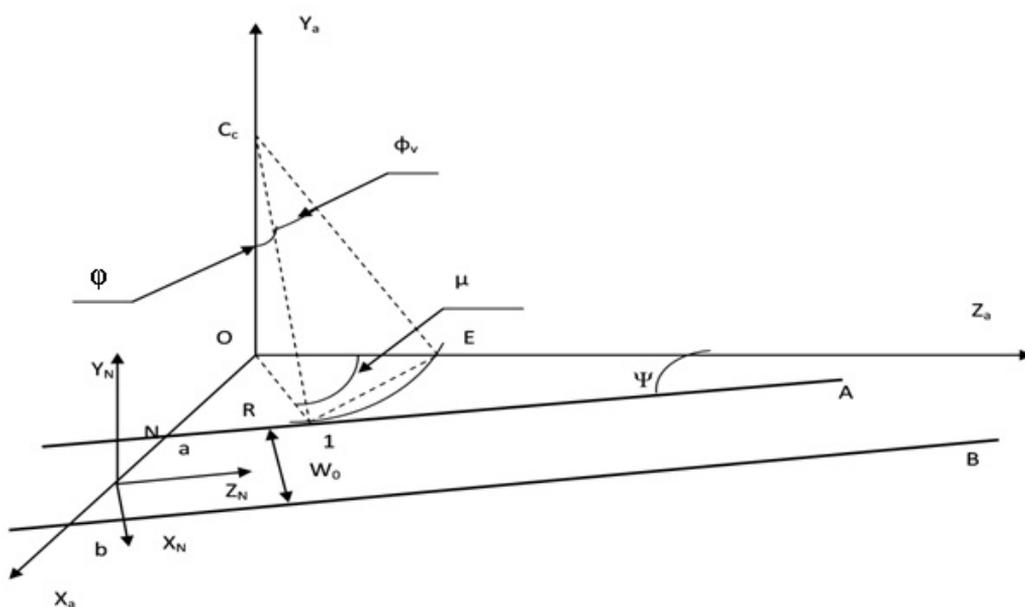


Рис. 4. Оценка ориентации относительно двух прямых

На рис. 5 представлены результаты расчета ошибок определения координат МБЛА при пиксельной ошибке оценки координат точек A1, A2, B1, в зависимости от высоты полета МБЛА и различного разрешения видеокamеры (160x120, 320x240, 640x480, 1024x768 пикселей, камера смотрит вертикально вниз), на верхних графиках  $\Delta_l$  — ошибки в продольном и боковом каналах, на нижних —  $\Delta_h$  ошибки определения высоты полета.

относительно двух линейных, линейного и точечного, а также трех точечных ориентиров.

Полученные результаты показали, что применение указанной методики оценки ориентации МБЛА позволяет решать ряд высокоточных задач, таких, как задача целеуказания, автоматическая посадка и пр.

Для решения каждой конкретной задачи выбирается свой тип камеры с соответствующей разре-

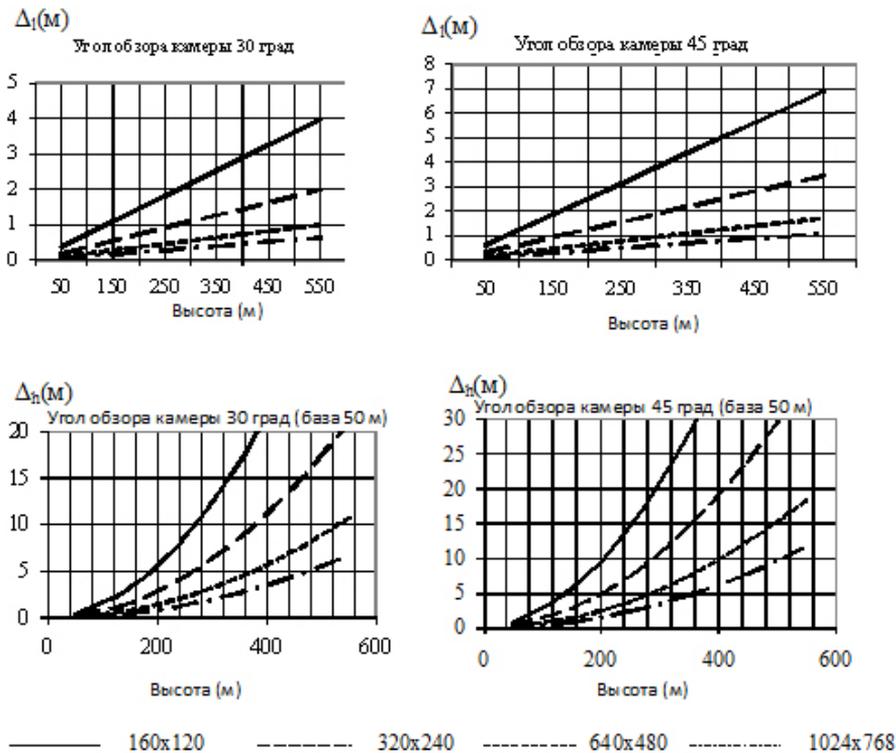


Рис. 5. Исследование точности

Из графиков видно, что с уменьшением углового разрешения, связанного с увеличением угла обзора камеры, наблюдается существенный рост ошибок вычисления координат.

Таким образом, для решения различных задач могут использоваться камеры с различной разрешающей способностью. Например, чтобы обеспечить требуемую точность целеуказания при полете на высоте 550 м, достаточно использовать камеру с разрешением 320x240 и углом обзора 30° или камеру с разрешением 640x480 и углом обзора 45°.

### Выводы

В ходе выполнения работы предложен подход к решению задачи определения ориентации МБЛА

шающей способностью в зависимости от требований к точности.

### Библиографический список

1. *Форсайт Д., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход. — М.: ИД «Вильямс», 2004.
2. *Веремеенко К.К., Желтов С.Ю., Ким Н.В.* и др. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / Под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. — М.: Физматлит, 2009.
3. *Ким Н.В.* Алгоритмы сжатия изображения. — М.: Изд-во МАИ, 2005.