



$$\begin{aligned}\Delta V_x &\leq \frac{\partial V_x}{\partial V_\Sigma} \Delta V_\Sigma + \frac{\partial V_x}{\partial \Delta P_1} \Delta(\Delta P) + \frac{\partial V_x}{\partial \Delta P_2} \Delta(\Delta P) + \frac{\partial V_x}{\partial \Delta P_\Sigma} \Delta(\Delta P); \\ \Delta V_z &\leq \frac{\partial V_z}{\partial V_\Sigma} \Delta V_\Sigma + \frac{\partial V_z}{\partial \Delta P_2} \Delta(\Delta P) + \frac{\partial V_z}{\partial \Delta P_\Sigma} \Delta(\Delta P).\end{aligned}\quad (9)$$

Полученные соотношения позволяют обоснованно решать задачи анализа и синтеза системы измерения параметров вектора ветра на основе неподвижного комбинированного приемника с ионно-меточными и аэрометрическими измерительными каналами.

Литература

- [1] Руководство полетной эксплуатации вертолета Ми8 (издание 4-е). М.: Авторитет, 1996. 554 с.
- [2] Ерусалимский М.А., Егоров В.Н. Экипажам вертолетов информационную поддержку // Авиасоюз. – 2011. – №2. – С. 24-26.
- [3] Патент РФ на изобретение №2587389 С1, МПК В64D 43/00. Бортовая система измерения параметров вектора скорости ветра на стоянке, стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета / В.М. Солдаткин, В.В. Солдаткин, Ф.А. Ганеев, Е.О. Арискин, Н.Н., Макаров, В.П. Деревянкин, О.И. Кузнецов, Д.А. Истомин. Заявл. 12.12.2014. №2014150161/11. Опубл. 20.08.2016. Бюл. №14.
- [4] Арискин Е.О., Кузнецов О.И., Никитин А.В., Солдаткин В.В., Солдаткин В.М. Система измерения параметров вектора ветра на вертолете на основе ионно-меточных и аэрометрических измерительных каналов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2015. №1 (309). С. 122-132.
- [5] Браславский Д.А., Петров В.В. Точность измерительных устройств. М.: Машиностроение, 1976. 320 с.

А.Е. Артемьев

ДИСТАНЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ КОНТУРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

В докладе предлагаются способы дистанционного определения углов ориентации и расположения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или иных объектов в трехмерном пространстве с использованием наземной системы машинного зрения. Основой предлагаемых методов является вычисление дескриптора дискретного преобразования Фурье (ДПФ) контура наблюдаемого объекта с последующим его сравнением с эталонной моделью объекта. В качестве эталона используются данные ДПФ или двумерного ДПФ. Показывается



теоретическая возможность определения углов ориентации объекта по его контуру с использованием ДПФ. Представлены результаты экспериментального применения одного из методов определения ориентации с помощью цифровой видеокамеры и разработанного программного обеспечения.

Введение

Один из способов увеличения времени автономного функционирования БЛА это периодическая автоматическая посадка на сервисные станции с целью выполнения подзарядки, замены бортовых источников питания, восполнения расходных материалов. Для подзарядки и дозаправки целесообразно использовать специальные ангары, в которых будут созданы необходимые условия для хранения топлива, реактивов, сыпучих грузов и.т.д. Однако использование ангаров требует получения более точной навигационной информации внутри помещений, где информация от систем глобального позиционирования может быть недоступна. Наиболее привлекательным устройством для задач высокоточной навигации в таких условиях является видеокамера, точность позиционирования которой составляет 0.1-10 мм.

Определение углов ориентации объекта с использованием дискретного преобразования Фурье

Для определения ориентации БПЛА используется свойство ДПФ (теорема сдвига [1, с. 36]) позволяющее определить угол поворота наблюдаемого контура БПЛА относительно эталонного контура,

Если эталонный контур приближенно описать с помощью коэффициентов Фурье следующим образом:

$$C_0(k) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X(m)W^{km} \quad (1)$$

а контур наблюдаемого объекта:

$$C_z(k) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} Z(m)W^{km} \quad (2)$$

где C_0, C_z - коэффициенты ДПФ, $k = 0, 1, \dots, N-1$; $W = e^{\frac{-i2\pi}{N}}$; $X(m), Z(m)$ - последовательность действительных или комплексных чисел, которые являются координатами точек контуров эталонного и реального объектов; $m = 0, 1, \dots, N-1$; N - количество точек контура взятых для ДПФ. И при этом считать, что контур наблюдаемого объекта повернут на угол $\varphi = \frac{h2\pi}{N}$ (где $h = 0, 1, \dots, N-1$) относительно эталонного контура. То точки эталонного контура и контура наблюдаемого объекта связаны соотношением

$$Z(m) = X(m+h)$$

Используя теорему сдвига [1, с. 36] можно определять угол поворота контура объекта относительно эталонного контура при условии, что вращение объекта происходит относительно оси параллельной оптической оси видеокамеры. Если вместо коэффициентов Фурье, использовать нормализованные дескрипторы Фурье реального и эталонного контуров, то метод становится инвариантным



к масштабированию. Использование нулевых гармоник ДПФ позволяет определить расстояние от объекта до камеры с использованием одной камеры.

Определение углов ориентации объекта с помощью двумерного ДПФ

Случай, когда вращение происходит относительно оси перпендикулярной оптической оси камеры. При таких условиях задача усложняется, т.к. вращение объекта невозможно описать простым поворотом контура, поскольку в этом случае мы будем наблюдать различные контуры объекта при разных углах поворота.

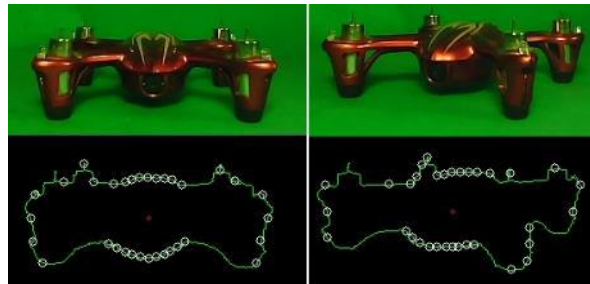


Рис. 10 Сверху квадрокоптер Hubsun x4, снизу его контур, при углах поворота 0° – слева, $22,5^\circ$ – справа. Белыми окружностями отмечены точки, взятые для вычисления коэффициентов ДПФ.

Как видно из рис. 10 даже при небольшом повороте наблюдаемый контур существенно изменяется. В этом случае для определения угла поворота предлагается создать набор дескрипторов Фурье, получаемых при повороте объекта N_2 раз на угол $\frac{2\pi}{N_2}$ относительно оси z . При этом чтобы получить инвариантность к масштабированию. Коэффициенты дескрипторов будем нормализовывать по отношению к $C(0)$. Таким образом, мы получим N_2 дескрипторов

$$D(m_2) = \left[\frac{C(m_1, m_2)}{C(0, m_2)}, \dots, \frac{C(N_1 - 1, m_2)}{C(0, m_2)} \right] \quad (\text{где } m_1 = 0, \dots, N_1 - 1 - \text{номер точки в контуре,}$$

$m_2 = 0, \dots, N_2 - 1$ - номер контура), которые соответствуют углам

$$\psi = \frac{2\pi}{N_2} m_2. \quad (3)$$

Идея метода заключается в отыскании угла ψ при наличии дескриптора контура наблюдаемого объекта (обозначим как D_z) и набора эталонных дескрипторов $D(m_2)$. Для решения поставленной задачи предлагается составить систему из N_1 (количество точек ДПФ наблюдаемого контура) полиномиальных уравнений порядка $N_2 - 1$ (N_2 - количество эталонных дескрипторов). Система уравнений выглядит следующим образом:



наблюдаемого объекта, окружностями на контуре отмечены точки, взятые для ДПФ. Результаты эксперимента представлены по ссылке [3].

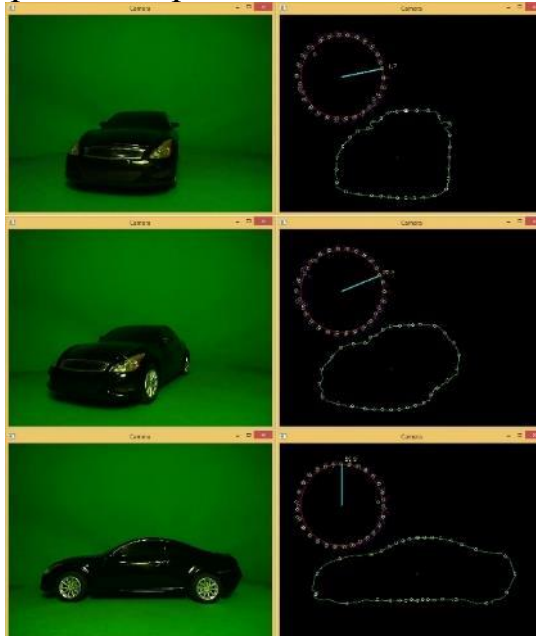


Рисунок 11 Практическое определение угла ориентации объекта по изображению его контура. Значения определенных углов сверху-вниз в градусах: 11.7, 22.5, 89.9.

Данный доклад написан по материалам опубликованной статьи автора [4]

Литература

1. Ахмед Н., Рао К. Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов: Пер. с англ./Под ред. И. Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248 с., ил.
2. D. Arthur, S. Vassilvitskii. k-means++: The Advantages of Careful Seeding: Conference. – Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms. – New Orleans, 2007. – 11 p.
3. Артемьев А. Е. Определение ориентации объекта с помощью наземной навигационной системы на основе машинного зрения. [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/uiQK9J1k4xY> (дата обращения: 15.12.16)
4. Артемьев А. Е. Дистанционное определение ориентации и расположения беспилотных летательных аппаратов и других объектов по изображению контура с использованием дискретного преобразования Фурье. // Авиакосмическое приборостроение. 2017. № 6. С. 23...3