

УДК 681.52

*Бобков Юрій Володимирович, к.т.н., доцент;
Савенко Лариса Олександрівна, бакалавр
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РУХОМ КВАДРОКОПТЕРА

Вступ. В останні роки безпілотні літальні апарати (БПЛА) набули широкого використання як у цивільній, так і в військовій сферах. Основу навігаційних систем БПЛА складають приймачі глобальних систем супутникової навігації (ГССН), комплексовані з блоком інерціальних датчиків просторової орієнтації. Проте інерціальні навігаційні системи мають недолік у вигляді зростання похибки визначення координат з часом, а сигнал ГССН може бути недоступним у певній місцевості.

Один із можливих підходів до вирішення цих проблем полягає у використанні систем технічного зору (СТЗ). При русі квадрокоптера за СТЗ можливе використання еталонних фотографій [1], навігаційних орієнтирів [2], стереоефекту для польоту за рельєфом [3] та алгоритму SLAM [4] (англ. «Simultaneous localization and mapping» – одночасна локалізація і картографування).

Недоліками використання еталонних фотографій є потреба в дуже великому об'ємі інформації для їх зберігання у бортовій системі, а також значних обчислювальних ресурсів для порівняння еталонних фотографій та отриманих зображень у режимі реальному часі.

Для польоту за штучними навігаційними орієнтирами необхідне створення спеціальної системи орієнтирів та підтримка її у належному стані. У разі використання природних орієнтирів або штучних об'єктів загального призначення (будівлі, дороги тощо) недоліком є вплив сезонних і погодних факторів, техногенних факторів. Недоліки польоту за рельєфом аналогічні недолікам польоту за природними орієнтирами.

Використання алгоритму SLAM потребує значної кількості додаткової

інформації та використання різних датчиків, а також потребує значних обчислювальних потужностей, що не завжди можливо для бортової системи.

Постановка проблеми. Політ за навігаційними орієнтирами (НО) при застосуванні СТЗ дозволяє зменшити обсяг інформації щодо заданого маршруту за рахунок оптимізації системи орієнтирів, розташованих на певних заданих відстанях. Це дозволяє зменшити вимоги до бортових інформаційно-обчислювальних ресурсів, в тому числі за рахунок можливості оптимізації алгоритмів розпізнавання.

Метою роботи є створення системи технічного зору для керування рухом квадрокоптера при польоті за природними та штучними НО загального призначення з відомими параметрами.

Методологія досліджень. Для вирішення поставленої задачі було розроблено структурну схему системи керування квадрокоптером (рис.1). На рис. 1 позначено: L – лінійний розмір навігаційного орієнтиру; L' – розмір відбитого на фотоматрицю зображення НО; U_i, V – напруга на вході аналого-цифрового перетворювача (АЦП); N_i, N_L, N_z – коди на виходах АЦП, мікроконтролера камери та мікроконтролера СТЗ відповідно.

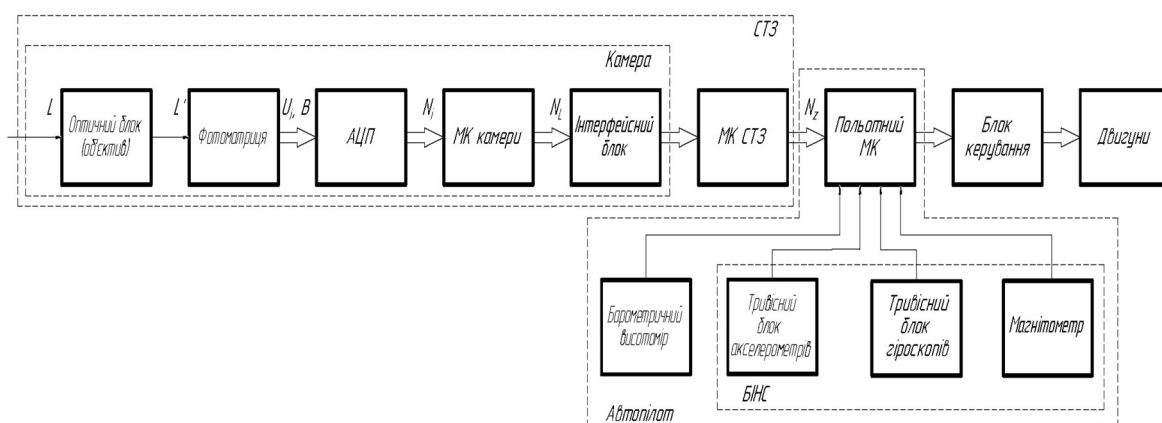


Рис. 1. Структурна схема системи керування квадрокоптером

Рівняння перетворення для каналу СТЗ:

$$N_z = L \cdot K_{OB} \cdot K_{\Phi M} \cdot K_{AЦП} \cdot K_{MKK} \cdot K_{MKCTЗ}, \quad (1)$$

де K_{OB} – коефіцієнт перетворення оптичного блоку; $K_{\Phi M}$ – коефіцієнт перетворення фотоматриці; $K_{AЦП}$ – коефіцієнт перетворення АЦП; K_{MKK} – коефіцієнт перетворення мікроконтролера камери, $K_{MKCTЗ}$ – коефіцієнт перетворення мікроконтролера СТЗ.

Вираз для сумарної приведенної похибки системи матиме вигляд (2):

$$\gamma_{N_z} = \gamma_{OB} + \gamma_{\Phi M} + \gamma_{AЦП} + \gamma_{MKK} + \gamma_{MKCTЗ}, \quad (2)$$

де γ_{OB} – похибка оптичного блоку; $\gamma_{\Phi M}$ – похибка фотоматриці; $\gamma_{AЦП}$ – похибка АЦП; γ_{MKK} , $\gamma_{MKCTЗ}$ – похибки обчислень у мікроконтролерах камери та СТЗ відповідно.

Розглянемо модель оптичного блоку (ОБ) як тонку лінзу. Тоді розмір H зображення, відбитого на фотоматрицю (ФМ), обчислюватиметься за відомою в оптиці формулою:

$$H = \frac{h}{\frac{d}{f} - 1}, \quad (3)$$

Формула (3) дозволяє отримати вираз для визначення параметрів як самого ОБ, так і ФМ.

Було отримано наступний вираз для визначення кількості пікселів по вертикалі за умови, що максимальний розмір зображення об'єкта H_{\max} становитиме 50% від розміру ФМ по вертикалі:

$$N_v = \frac{2d_{\max}}{d_{\min} \cdot \gamma_{\Phi M}}, \quad (4)$$

де d_{\max} та d_{\min} – максимальна та мінімальна відстань від ОБ до НО.

Для кадру зі співвідношенням 16:9 кількість пікселів по горизонталі:

$$N_z = \frac{16}{9} b. \quad (5)$$

Загальна кількість пікселів фотоматриці:

$$N = N_g \cdot N_z, \quad (6)$$

Результати. За результатами аналізу структурної схеми СТЗ (рис.1) були складені рівняння перетворення, рівняння похибок та отримані необхідні співвідношення та розрахувати основних параметрів камери СТЗ.

Так за умови, що $d_{\min} = 100\text{м}$, $d_{\max} = 1500\text{м}$, $\gamma_{\text{ФМ}} = 2\%$, було визначено, що необхідна ФМ з кількістю пікселів 2688×1520 , що відповідає загальній кількості 4 Мп.

Висновки. В роботі розроблено структурну схему системи керування рухом квадрокоптера з використанням системи технічного зору для польоту за навігаційними орієнтирами та отримано вирази для розрахунку основних характеристик камери СТЗ, виходячи з заданих вимог щодо точності визначення положення квадрокоптера.

Джерела

1. G. Conte, P. Doherty. An Integrated UAV Navigation System Based on Aerial Image Matching. Aerospace Conference, Montana, USA, 1–8 March 2008. 10р.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/AERO.2008.4526556> (дата звернення: 31.05.2023)
2. T. Zhang, Y. Kang, M. Achtelik, K. Kühnlenz, M. Buss. Autonomous Hovering of a Vision-IMU Guided Quadrotor. Proceedings of the International Conference on Mechatronics and Automation, Changchun, China, 9–12 August 2009. 6 р. DOI: [10.1109/ICMA.2009.5246422](http://dx.doi.org/10.1109/ICMA.2009.5246422) (дата звернення: 28.05.2023)
3. K. V. Stefanik, J. C. Gassaway, K. Kochersberger, A. L. Abbott. UAV-Based Stereo Vision for Rapid Aerial Terrain Mapping. GIScience & Remote Sensing. 2011. 48, №1 р. 24–49. DOI: [10.2747/1548-1603.48.1.24](http://dx.doi.org/10.2747/1548-1603.48.1.24) (дата звернення: 28.05.2023).