

І. А. МАРИНИЧ, канд. тех. наук, доц., А. В. МАКОГОНОВ, аспірант
Криворізький національний університет

СИМПЛІЦІАЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМНИХ ЗВ'ЯЗКІВ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АППАРАТУ

Застосування симпліціального підходу дозволяє виявити приховані топологічні особливості системи керування БПЛА, кластеризацію компонентів за функціональними ознаками, ієрархічну організацію зв'язків та потенційні вразливості в архітектурі системи. В ході дослідження було розроблено структурну схему керування БПЛА, що включає в себе наступні елементи: інерційний вимірювальний модуль - акселерометри, гіроскопи, магнітометри (1); глобальна навігаційна супутникова система (2); системи технічного зору - камери (3); датчики зовнішнього середовища - барометри (4); модуль аналізу даних про середовище та перешкоди (5); модуль планування траєкторії (6); адаптивний регулятор/контроллер (7); блок оптимізації керуючих впливів (8); двигуни/мотори (9); сервоприводи камер (10); енергоживлення та розподіл потужності (11); польотний контролер (12); оператор (13); зовнішнє середовище (14).

Використовуючи розроблену структуру було створено матрицю інцидентності і розраховано структурну збитковість, яка склала 0,77, Оскільки $R_k = 0,77 > 0$, то система є зв'язаною (без обривів) та має збитковість (тобто потенційно надійна). Ієрархічна організація структури керування БПЛА підтверджується однотипними функціональними характеристиками значень максимальної розмірності симплексів (де у фігурних дужках зазначається номер симплексу і потім у круглих – множина блоків, що входять до нього; $\emptyset$ – пуста множина), які згруповано таким чином:

$$q_c = -1: \{\emptyset\};$$

$$q_c = 0: \{3, (14)\}, \{10, (11)\};$$

$$q_c = 1: \{12, (11)\}, \{13, (6)\};$$

$$q_c = 2: \{2, (6, 14)\}, \{4, (6, 14)\}, \{5, (6, 13)\}, \{7, (6, 8, 11)\}, \{8, (7, 11, 12)\}, \{11, (7, 8, 12)\};$$

$$q_c = 3: \{1, (6, 9, 14)\}, \{6, (1, 7, 8, 9, 14)\}, \{9, (1, 6, 14)\}, \{14, (1, 2, 4, 6, 9)\};.$$

На найвищому рівні ($q_c=3$) виділяються чотири ключові елементи системи: інерційний вимірювальний модуль, модуль планування траєкторії, двигуни/мотори та зовнішнє середовище. Ці елементи формують головні інтеграційні вузли системи керування БПЛА, забезпечуючи взаємодію між підсистемами збору даних, обробки інформації та виконавчими механізмами. Таке це показує високу залежність блоку IMU, від різних факторів, на відміну від GPS. На рівні $q_c=2$ знаходяться шість функціональних елементів: GNSS/GPS, датчики зовнішнього середовища, модуль аналізу даних, адаптивний регулятор, блок оптимізації керуючих впливів та енергоживлення. Ця група елементів відповідає за обробку даних та прийняття рішень щодо керування БПЛА, створюючи функціональний міст між сенсорами та виконавчими механізмами. Рівні $q_c=1$ та $q_c=0$ містять по два елементи з найнижчим ступенем зв'язності: польотний контролер та оператор на рівні $q_c=1$, системи технічного зору та сервоприводи камер на рівні $q_c=0$. Ці елементи, незважаючи на їх важливість, мають обмежені прямі зв'язки з іншими компонентами системи. В той же час функціональна кластеризація свідчить про модульну організацію системи, що сприяє її гнучкості та можливості модифікації окремих компонентів без суттєвого впливу на загальну архітектуру.

Застосування симпліціального аналізу дозволило виявити ієрархічну та модульну структуру системи керування БПЛА, що свідчить про її зв'язність, гнучкість та потенційну надійність. Аналіз структурного вектора підтвердив наявність чіткої організації зв'язків між компонентами, що забезпечує ефективне функціонування системи в різних умовах.