

ІЄРАРХІЧНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ І ТЕЛЕМЕТРІЇ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Кравчук С.О., Афанасьєва Л.О., Кравчук І.М.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: sakravchuk@ukr.net

Hierarchical control system and telemetry for intelligent unmanned aerial vehicles

A hierarchical flight control system for intelligent UAVs is proposed that provides autonomy, allowing coordination between members of the swarm team. The UAV dynamics is identified by applying the parametric identification method to the collected flight data. A control method based on a multi-cyclic proportional-integral-differential controller and controller of a non-linear model of intelligent tracking is presented.

Запропоновано ієрархічну систему управління польотом для інтелектуальних БПЛА, що забезпечує автономію, дозволяючи координацію між членами команди рою. Динаміка БПЛА ідентифікується шляхом застосування методу параметричної ідентифікації до зібраних польотних даних. Представлено метод управління, що базується багатocyкловому пропорційно-інтегрально-диференціальному контролері і контролері нелінійної моделі інтелектуального відстеження [1-4].

Такий метод є відносно новим підходом, який дуже ефективний при адресній нелінійності, пов'язуванні, вхідному і насиченому стані.

Низький ступінь стабілізації аероплатформи підключається до планувальника стратегій вищого рівня за допомогою мови керування транспортним засобом VCL (vehicle control language), інтерфейсу мови сценарію для автономних агентів, а також операторів-людей, які керують приймаючою аероплатформою. Кожен автономний агент є частиною безпроводової мережі зв'язку, за допомогою якої складні завдання можуть виконуватися узгоджено.

В якості орієнтирних завдань розглядаються наступні сценарії: спосіб навігації по всьому шляху, ухилення від переслідування, відстеження наземних цільових місць та посадка. Ці сценарії є прикладом однієї або декількох функцій ієрархічної багатоагентної системи. Погоня-ухилення розглядається як імовірнісні міркування для планування стратегії, мультиагентної координації по безпроводовій мережі, динамічної роботи VCL, і бачення на основі зондування. Наземне цільове спостереження та зорієнтовані експерименти на посадку включають високошвидкісне управління відстеженням положень,

технологію визначення та цільового призначення бортового модуля обробки зору (відео-інформації) як планувальника стратегії.

«Інтелектуальний агент» безперервно (рис. 1. 1) сприймає умови в своєму середовищі, що динамічно змінюються, (рис. 1. 2) причини, щоб інтерпретувати сприйняту інформацію, для вирішення проблеми і визначення відповідні дії, і (рис. 1. 3) діє належним чином щоб вплинути на умови в його оточенні. На основі цих атрибутів описується кожен шар в ієрархічній системі управління польотом, представленої на (рис. 1. 7, 2).

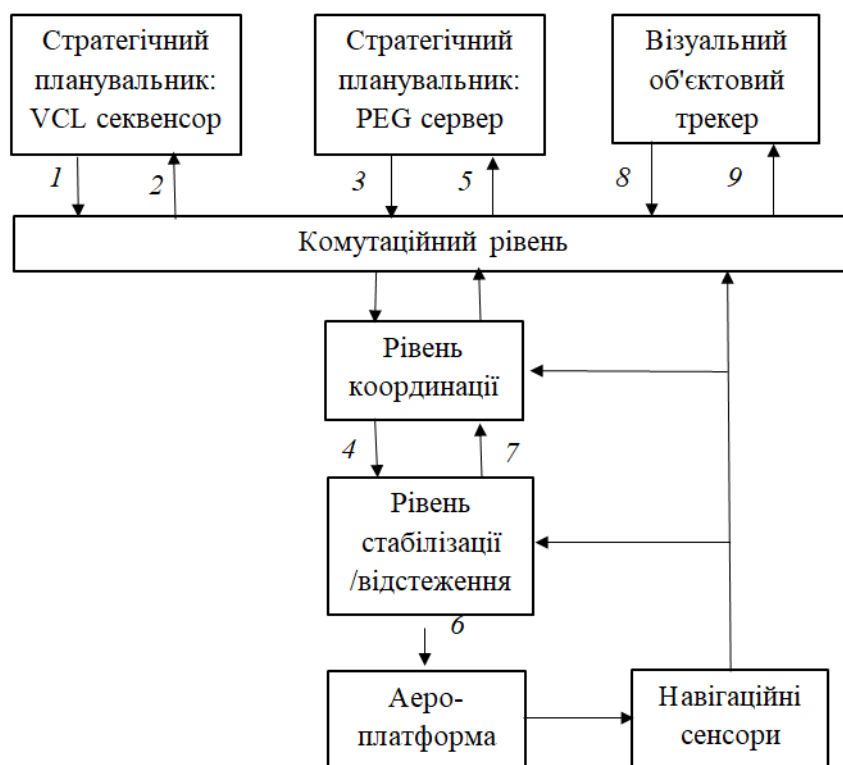


Рис. 1. Багатоциклічна ієрархічна система управління БПЛА:
1, 3, 8 - пункти призначення; 2, 5, 9 - повідомлення про конфлікт;
4 - довідкова траєкторія режиму польоту; 6 – контрольний вхід (ввід управління);
7 - помилка відстеження (VCL - vehicle control language, PEG - pursuit-evasion game)

Комп'ютер бортового польоту є центральним елементом управління, навігації та керування основним БПЛА. Він відповідає за керування аероплатформи у режимі реального часу, інтеграцію з датчиками та зв'язок між агентами. Програмне забезпечення для управління польотом може бути реалізовано в операційній системі QNX в реальному часі. Вхід в систему керування сервоприводом обчислюється на частоті 50 Гц за допомогою алгоритмів керування польотом. QNX базується на ідеї роботи основної частини своїх компонентів (сервіси) поза ядром. Це відрізняє її від традиційних монолітних ядер, в яких ядро операційної системи — це одна велика програма, яка складається з багатьох «частин». Використання мікроядра в QNX дозволяє

відключати будь-яку непотрібну в поточній ситуації функціональність без зміни ядра.

QNX призначена для застосування в автоматизованих системах, що пред'являють до операційних систем підвищені вимоги з безпеки і захищеності: глибина контролю відсутності декларованих можливостей, наявність вбудованих механізмів захисту інформації від несанкціонованого доступу (НСД), можливість створення прикладних засобів захисту інформації від несанкціонованого доступу.

Система навігації побудована на основі INS (asinertial navigation system) і GPS (global positioning system). INS забезпечує розташування, швидкість, кути повороту та ставки за будь-якої високої швидкості. Недоліком INS є необмежена помилка, яка швидко зростає з часом. Це може бути ефективно виправлено датчиком зовнішньої позиції таким як GPS. Через природу додаткових INS і GPS, поєднання цих датчиків стала стандартною конфігурацією для безпілотних літальних апаратів. Для того, щоб отримати інформацію про навколишнє середовище, таку як відносна відстань від землі або до сусідніх об'єктів, мають місце лазерні далекоміри, ультразвукові датчики та датчики зору.

Запропонований контролер складається з трьох циклів: (рис. 1. 1) контролер внутрішніх відносин, (рис. 1. 2) регулятор швидкості лінійного середнього контуру, і (рис. 1. 3) регулятор положення зовнішнього контуру.

Функція багатocyклічного управління задається системою рівнянь

$$\begin{aligned} u_{a1s} &= -K_\phi \phi - K_v v - K_y e_{yS} - K_{Iy} \int e_{yS} dt, \\ u_{b1s} &= -K_\theta \theta - K_u u - K_x e_{xS} - K_{Ix} \int e_{xS} dt, \\ u_{\theta_M} &= -K_w w - K_z e_{zS} - K_{Iz} \int e_{zS} dt, \\ u_{ref} &= -K_\psi \psi - K_{I\psi} \int e_\psi dt, \end{aligned}$$

де e_{xS} , e_{yS} і e_{zS} – помилки позиціонування по осям (x ; y ; z), відповідно; e_ψ - помилка заголовку. Тут і далі: S і B - просторові координати і координати корпусу планера; x^B , y^B і z^B (u ; v ; і w відповідно, буде використовуватися для простоти запису) позначимо швидкість щодо координат рами кузова; θ , ϕ і ψ - крен, тангаж, нишпорення, а p , q і r – їх швидкості, відповідно; параметри a_{1s} і b_{1s} - поздовжні і бічні кути відбивання; u_{a1s} і u_{b1s} – сигнали управління бічного і поздовжнього циклічного кроку, відповідно.

Живучість каналу визначає спроможність зберігати працездатність в умовах ненавмисних і навмисних завод. Методи, що базуються на каналних параметрах, для покращення живучості були наведені раніше. В даному випадку досліджуються відхилення параметрів польотного управління як

результат дії ненавмисних і навмисних завад на канал управління і телеметрії. Таким чином, аналіз живучості каналу управління і телеметрії при використанні запропонованого багатоциклічного методу полягає в оцінці потенційних можливостей даного методу при внесенні збурень до параметрів курсу польоту утримувати останні в межах допусків з подальшим автоматизованим отриманням показників надійності для конкретного досліджуваного варіанту системи. Такий аналіз також дозволяє визначити рівні ризику експлуатації БПЛА.

При моделюванні системи для каналу телеметрії і управління випадковим чином (скважність 0,1 с) ставились навмисні завади плоского типу, що погіршували відношення сигнал/(шум+завада) на бортовому приймачі до порогового рівня декодування модуляції ФМ4. Це дозволяло моделювати підвищення коефіцієнту помилок каналу до рівня коли зв'язок присутній, але величина помилок (BER більше 10^{-2}) може викликати втрату інформації управління.

Для моделювання використано програмне середовище Matlab/Simulink, та його бібліотеку AeroSim Blockset. Необхідні параметри та моделі Simulink польоту та радіоканалу наведені в [5].

Результати моделювання продемонстрували високу стабільність по відношенню до референтних значень з точністю ($\pm 0,5$; $\pm 0,5$; $\pm 0,2$ м; $\pm 2,5$ град) по осях (x; y; z; ψ). В цілому параметри крену, тангажу, нишпорення по всіх осях регулюються дуже точно як через канал телеметрії, так і через бортову інтелектуальну систему контролера управління. Наявність останньої зменшує вимоги на завадостійкість каналу телеметрії, виконуючи автономне корегування параметрів управління, що значно підвищує живучість системи управління.

Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
2. Prospects of using of aerial stratospheric telecommunication systems / M. Zgurovsky, M. Ilchenko, S. Kravchuk, V. Kotovskyi, T. Narytnik, L. Cybulskiy // Proceedings of the 2016 IEEE International Scientific Conference "RadioElectronics & InfoCommunications" (UkrMiCo'2016), 11-16 September 2016, Kyiv, Ukraine. IEEE Conference Publications, 2016. – P. 20-23.
3. Kravchuk S., Kaidenko M. Features of creation of modem equipment for the new generation compact troposcatter stations // Proceedings of the International Scientific Conference "RadioElectronics & InfoCommunications" (UkrMiCo'2016), 11-16 September 2016, Kyiv, Ukraine. – IEEE Conference Publications (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo.2016.7739634), 2016.– P. 365-368.
4. Kravchuk S.O., Kaidenko M.M. Modem equipment for the new generation compact troposcatter stations // Information and telecommunication sciences. – 2016. – Vol. 7. – Nu. 1. – P. 5–12.
5. Lindberg H. Modelling and Control of a Fixed-wing UAV for Landings on Mobile Landing Platforms: Master's Thesis in Systems Engineering, Master Programme in Aerospace Engineering. - Royal Institute of Technology, Sweden. - Stockholm, 2015. – 82 p.