

УДК. 62.506.6

Лисенко А.І., д.т.н.,
професор НТУУ «КПІ»;
Кірчу П.І., аспірант
НАУ, м. Київ

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНОЇ РЕТРАНСЛЯЦІЙНОЇ АЕРОПЛАТФОРМИ, ЯКА ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ БЕЗПРОВОДОВИХ ЕПІЗОДИЧНИХ МЕРЕЖ

В роботі розглянуто методика та основні етапи створення системи автоматичного керування безпілотним літальним апаратом, який використовується в якості аероплатформи для розміщення ретранслюючих вузлів безпроводової епізодичної мережі, з метою поліпшення її структурно-інформаційної зв'язності.

В работе рассмотрено методика и основные этапы создания системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом, который используется в качестве аэроплатформы для размещения ретранслирующих узлов беспроводной эпизодической сети, с целью повышения ее структурно-информационной связности

It is in-process considered a procedure and milestones of creation of an automatic-control system by the UAV is used in the capacity of air platform for the arrangement of retransmitting nodes of a wireless incidental web, for the purpose of a raise of its structurally-informational connectivity

Вступ. Основними сферами впровадження телекомунікаційних систем на основі аероплатформ являється військове застосування, а також створення локальних епізодичних мереж широкосмугового зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій, урбанізованих районів та гірської місцевості. Мобільність вузлів, безпроводної епізодичної мережі (БЕМ), швидка зміна характеру місцевості, обмежена енергетика радіоліній та енергозберігаючого ресурсу призводять до нестабільності з'єднань між вузлами та, як наслідок, до погіршення (або втрати) зв'язності БЕМ. Отже виникає потреба у підвищенні зв'язності БЕМ. Одним із способів підвищення зв'язності БЕМ може бути застосування телекомунікаційних систем на основі платформ повітряного базування (літаки, гелікоптери, дирижаблі тощо) [1,2].

Постановка задачі.

Мобільна компонента покликана забезпечити інформаційний обмін в інтересах усіх підрозділів, що діють в тактичній зоні незалежно від їхнього підпорядкування і задач, які вони виконують. Передбачається, її архітектура буде неоднорідною, ієрархічною, яка складається з трьох основних рівнів (рис. 1):

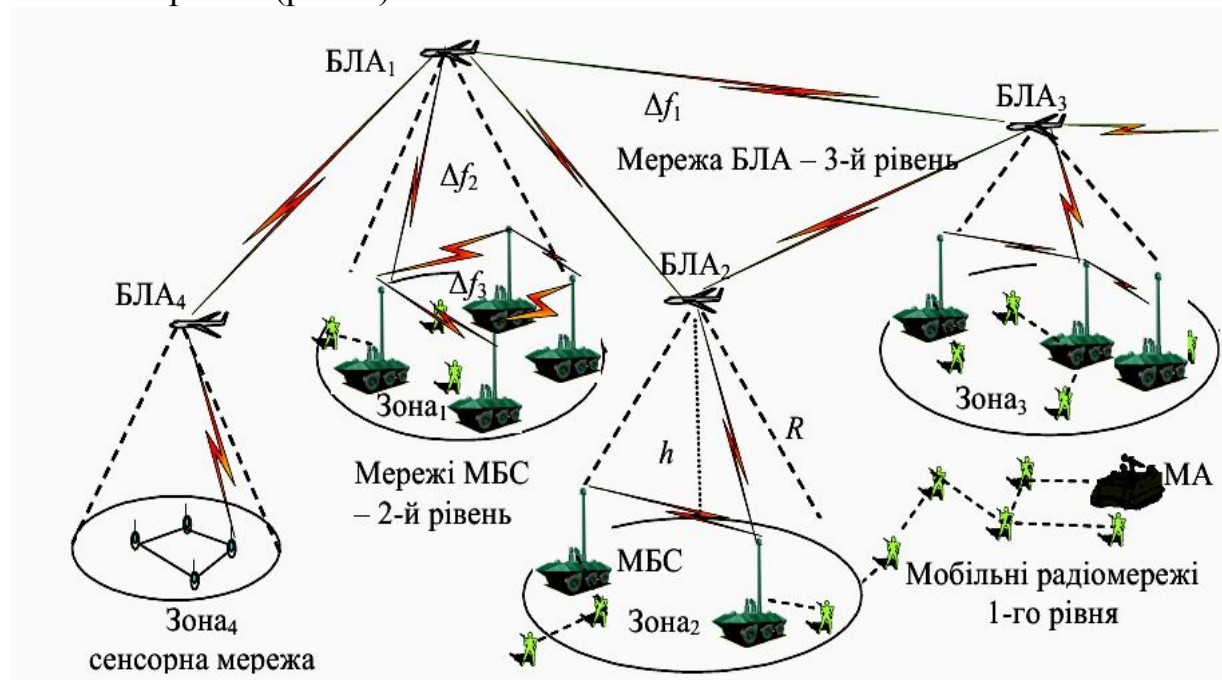


Рис. 1.2. Приклад архітектури мобільного компонента МЗВП із використанням мережі БПЛА

1-й - мобільні радіомережі низової ланки управління; 2-й - мережі мобільних базових станцій (МБС), що утворюють опорну мережу; 3-й - повітряна мережа, яка може бути реалізована на безпілотних літальних апаратах [2]. Додатковий нульовий рівень можуть утворювати сенсорні мережі (мережі телеметрії). Створення кожного рівня передбачає поліпшення показників якості функціонування всієї системи зв'язку. Кожен рівень мобільної компоненти використовує свій піддіапазон частот. Переваги мобільних радіомереж очевидні: відсутність етапу планування (можливість самоорганізації), швидке розгортання, децентралізоване управління (дуже висока живучість), робота в русі всіх елементів мережі тощо.

Для зв'язку між географічно розділеними угрупованнями військ (зонами мережі) або підвищення надійності зв'язку між МБС та продуктивності мобільної компоненти створюється верхній рівень – повітряна магістральна мережа, яка може бути реалізована на безпілотних літальних апаратах (літак, дирижабль). Пропозиції, щодо створення мережі БПЛА в інтересах всієї України можуть бути знайдені в [2]. Кожен БПЛА оснащений двома типами радіозасобів з використанням спрямованих антен: 1-й – для зв'язку з МБС або виділеними абонентами; 2-й – для

обміну інформацією із сусіднім БПЛА. БПЛА об'єднані у мережу повітряних вузлів комутації повідомлень (пакетів) з реалізацією функцій маршрутизації: збір (розсилання) маршрутної інформації, її зберігання, обчислення маршрутів, передача пакетів за маршрутами двох типів. Перший тип маршруту обумовлює ретрансляцію трафіка в межах своєї зони, другий тип – між різними (m-n) зонами.

Вузли мобільного компонента мережі зв'язку військового призначення (МЗВП) повинні швидко адаптуватися до частих змін топології та рівня трафіка, а також ефективно використовувати обмежені мережні ресурси. У таких умовах забезпечити інформаційний обмін із заданою якістю неможливо без ефективної системи управління (СУ) мобільним компонентом, складовою частиною якої є підсистема управління мережею безпілотних літальних апаратів (МБПЛА). В роботі [2] детально розглянуті класифікацію задач управління МБПЛА, однією з них є задача розгортання БПЛА та управління та їх польотом. Етап розгортання полягає в запуску заданої кількості БПЛА та управлінні їхнім польотом у задані райони баражування. При цьому задачі етапу розгортання (перепланування топології) МБПЛА можуть виконуватися й на етапі оперативного управління при значних змінах МК (його ушкодження, введенні нових угруповань військ й ін.). Контроль за польотом БПЛА та роботою його бортових систем здійснюється із центра управління мережею. Функціональна модель системи управління МБПЛА представлена на рис. 2. На етапі оперативного управління за прийнятими критеріями ефективності постійно оцінюється стан мереж МК, і приймаються міри (відповідно до плану та реальної обстановки) по втриманню показників ефективності функціонування в заданих межах або їхній оптимізації. Задачі оперативного управління (на відмінність задач планування) вирішуються змішаним способом (централізовано/децентралізовано) у режимі реального часу, а за змістом багаторазово їх повторюють. Згідно [2, 3] першочерговою метою управління топологією МБПЛА є забезпечення зв'язності всіх (певних зон) БЕМ або пріоритетних абонентів. Тому в якості головного критерію ефективності управління топологією мережі БПЛА автори пропонують вибрати зв'язність БЕМ, а інші перевести в розряд обмежень.

Зазначимо, що визначення оптимальної з точки зору паливних витрат траєкторії виводу БПЛА в задані точки простору та оптимальних з точки зору енергозатрат законів керування для стабілізації аероплатформи на заданій траєкторії при підтримці обмежень, які накладаються для забезпечення критеріїв якості функціонування телекомунікаційних систем, ще не розглядалися. Хоча підсистема керування польотом являється однією з основних при створенні телекомунікаційних систем на основі аероплатформ.

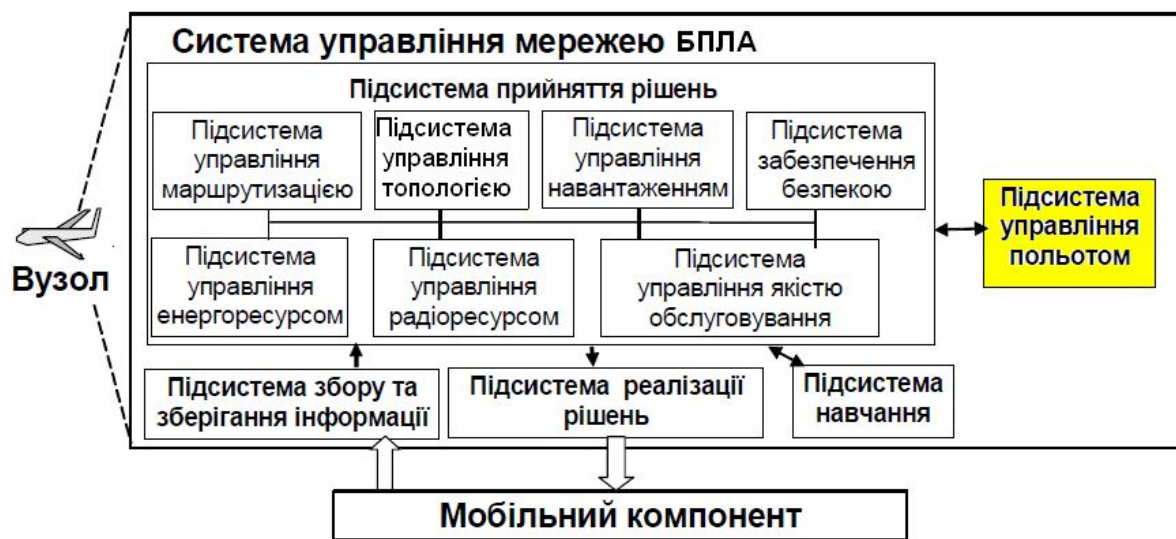


Рис. 2. Функціональна модель системи оперативного управління МБПЛА

Отже постає **актуальна наукова задача** - науково-методичне обґрунтування та розробка метода вирішення задачі оперативного синтезу оптимального по енергозатратам закону керування БПЛА легкого класу, який виконує функції аероплатформи для телекомунікаційних систем, в залежності від зміни зовнішньої обстановки (метеорологічних умов, рельєфу місцевості, потреб просторової ре конфігурації мережі) та підтримки з високою точністю параметрів бездротових епізодичних мереж.

Етапи синтезу системи автоматичного керування безпілотної аероплатформи

Для вирішення вказаної загальної наукової задачі необхідно поставити та вирішити комплекс **часткових науково-методичних задач**

- 1) Аналіз функціонування БЕМ на основі БПЛА та вивід основних обмежень на просторовий рух аероплатформи
- 2) формулювання критеріїв оптимальності;
- 3) розробка математичної моделі об'єкта;
- 4) визначення оптимальної з точки зору паливних витрат траєкторії маневрування БПЛА
- 5) синтез законів оптимального керування;
- 6) розробка алгоритмів адаптації (настройка) законів керування по режимам функціонування об'єкта;
- 7) відтворення та аналіз отриманих законів за допомогою керуючих цифрових обчислювальних машин (ЦОМ).

Об'єднання чотирьох останніх етапів дозволяє створити на базі ЦОМ керуючу систему, яка реалізує синтез оптимального керування і саме керування практично одночасно в процесі функціонування об'єкта.

Розглянемо детальніше декілька етапів синтезу САК. Одними з основних являється перших два етапи, які мають на увазі визначення

основних обмежень на параметрі просторового руху БПЛА, які обумовлені критеріями задовільної роботи телекомунікаційної компоненти системи.

При баражуванні БПЛА змінює своє положення в рамках визначеної кубічної зони, при цьому головна вісь ДН бортової антени відхиляється від визначеного напрямку в деяких межах, що в свою чергу впливає на якість зв'язку з АТ, у якого антенна система не має спеціальних юстувальних механізмів для компенсації цієї девіації. Для оцінки впливу відходу головної осі ДН бортової антени на параметри руху БПЛА, необхідно побудувати наближену модель баражування аероплатформи.

Для забезпечення руху аероплатформи по колу радіуса R_{BIP} з сталою висотою, необхідно щоб БПЛА рухався без ковзання з заданим кутом крену γ . Так як антена на боту БПЛА закріплена жорстко без використання юстувального механізму (для мінімізації ваги конструкції), то кут крену γ буде вносити додаткову складову в загальний кут девіації головної осі ДН бортової антени, а саме. Результируючий кут девіації ϕ_S осі головного пелюстка ДН бортової антени виражається в залежності від радіусу баражування R_{BIP} , та зміни висоти польоту аероплатформи Δh , може бути записаний як:

$$\phi_S = \arccos \left(\frac{h + \Delta h}{\sqrt{(h + \Delta h)^2 + 2R_{BIP}^2}} \right) + \arccos \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{V^2}{R_{BIP}^2 g^2} + 1}} \right). \quad (1)$$

Варіації коефіцієнту підсилення (КП) бортової антени внаслідок руху аероплатформи можуть бути розраховані з ДН для конкретного кута девіації[4,5].

Наступний етап це безпосередній синтез законів керування БПЛА. Так як параметри БПЛА змінюються з часом то постає необхідність синтезу адаптивної системи керування з метою забезпечення необхідної якості процесів керування[6].

Послідовність дій при синтезі оптимальної адаптивної системи керування польотом складається із наступних етапів.

Етап 1. Постановка задачі синтезу.

Постановка задачі включає:

- опис об'єкта керування математичною моделлю;
- формалізація цілі керування шляхом вибору підходящої цільової невязки між дійсною і бажаною траєкторією руху об'єкта керування $q = q(E(t), t)$, $E(t) = X(t) - X_M(t)$. Бажана поведінка системи задається за допомогою еталонної моделі (2.37).

Математичну модель об'єкту треба привести до вигляду

$$\dot{X} = F(X, U, t, \xi) + N(X, U, t, \xi), \quad (2)$$

де $\xi \in \Xi$ - набір невідомих параметрів ОК, функція $N(X, U, t, \xi)$ відображає дію малих не вимірюваних збурень і завад, про які відомі лише оцінки їх рівня і які відкидаються при початковому синтезі.

Етап 2. Синтез оптимальної еталонної моделі.

Синтез оптимальної еталонної моделі для аероалатформи на базі БПЛА здійснюється шляхом коректування динаміки БПЛА оптимальним квадратичним регулятором. Отримана замкнена система розглядається як бажана еталонна модель.

Етап 3. Синтез оптимального спостерігача стану (фільтра Калмана).

Так як вибраний алгоритм адаптації повинен залежати тільки від вимірюваних чи обчислюваних на основі вимірювань параметрів, а вектор стану БПЛА повністю не вимірюється, то постає задача синтезу оптимального спостерігача стану. Для цього необхідно отримати математичну модель зовнішніх збурень (турбулентного вітру, як основного зовнішнього збурення, що діє на БПЛА в процесі польоту) та включити її в структуру об'єкту керування.

Етап 4. Вибір структури регулятора (синтез основного контуру).

На цьому етапі здійснюється вибір алгоритму основного контуру із сімейства алгоритмів (2.39)

$$U(t) = U_r(X(t), U(t), \Theta(t), R(t)), \quad (3)$$

де Θ – скінченновимірний вектор.

Алгоритм основного контуру керування при ідеальних параметрах регулятора $\Theta = \Theta_*(\xi)$ і $N(X, \Theta, t) \equiv 0$ повинен забезпечувати досягнення поставленої цілі керування для будь-якого набору параметрів ($\xi \in \Xi$).

Етап 5. Вибір настроюваних параметрів.

На даному етапі невідомі параметри регулятора основного контуру замінюються настоюваними. Так як компоненти вектору $\Theta_*(\xi)$ являються функціями параметрів об'єкту керування, то відповідно до прямого підходу синтезу адаптивних систем керування, в якості настроюваних параметрів вибирається безпосередньо вектор параметрів регулятора Θ .

Етап 6. Вибір алгоритму адаптації.

Для отриманого на етапі 5 описанні узагальненого налаштовуваного об'єкта формується нова ціль адаптації, яка при прямому підході співпадає з ціллю керування. Потім здійснюється вибір форми базового алгоритму: алгоритм заснований на використанні функцій Ляпунова, або із сімейства алгоритмів заснованих на використанні схеми швидкісного градієнту.

Етап 7 Загублення (у випадку вибору на етапі 6 форми базового алгоритму заснованому на використанні схеми швидкісного градієнту)

При наявності невимірюваних збурень чи завад, які діють на узагальнений налаштовуваний об'єкт і адаптер, а також при дискретизації алгоритму адаптації, необхідно провести загублення базового алгоритму, вибраного на етапі 6.

Етап 8. Налаштування адаптера.

Налаштування контуру адаптації полягає у виборі параметрів алгоритму адаптації: коефіцієнтів підсилення, які впливають на швидкість зміни налаштовуваних параметрів, параметрів регуляризуючого зворотного зв'язку, які впливають на завадостійкість системи. Вибір вказаних параметрів тісно пов'язаний зі специфікою об'єкту керування, умовами його функціонування и визначається виходячи з якості процесу самоналаштування методом математичного моделювання.

На рис.3 зображено структурну схему оптимальної адаптивної системи керування БПЛА

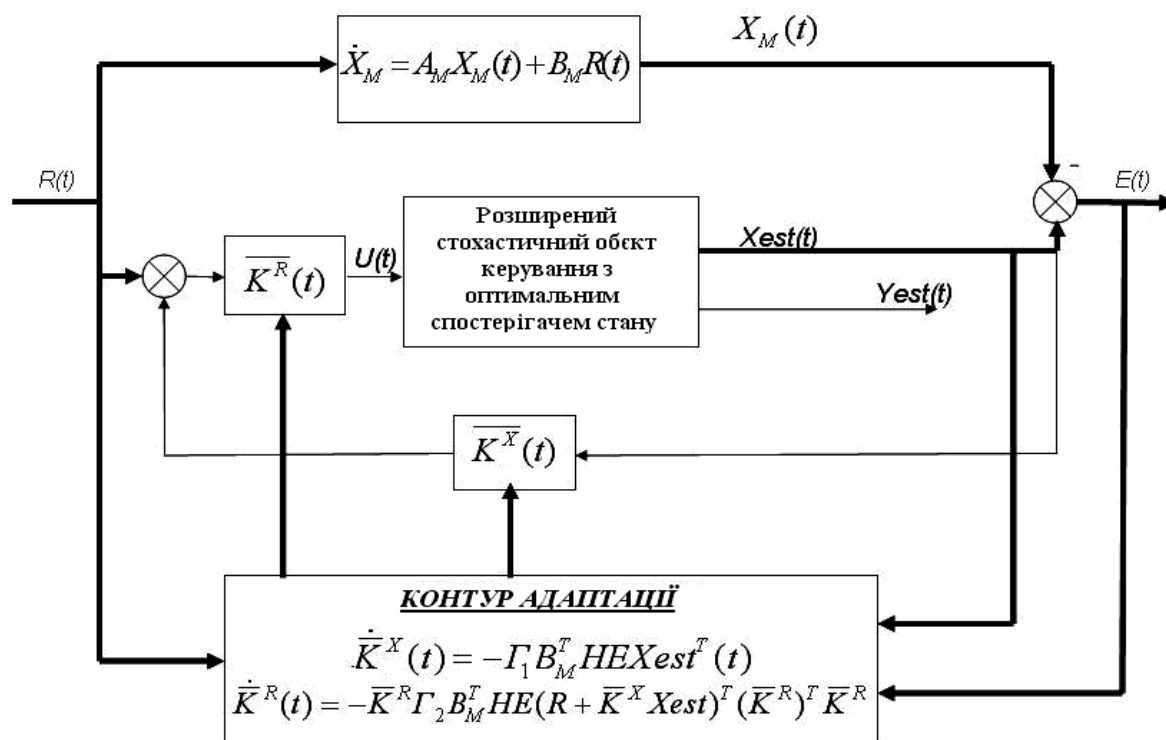


Рис.3 Структурна схема оптимальної адаптивної системи керування

Висновки.

В роботі наведено методику та основні етапи створення оптимальної адаптивної системи керування безпілотним літальним апаратом, який використовується в якості аероплатформи для телекомунікаційних систем. Визначена узагальнена процедура синтезу адаптивного алгоритму керування аероплатформою з еталонною моделлю. Дана задача вирішується за умови, якщо структура об'єкту керування відома і незмінна, а поведінка залежить від ряду невідомих параметрів. Ця задача вирішується в класі самоналаштовуючихся систем, в яких структура регулятора задана (вибрана зарані) і необхідно визначити алгоритм налаштування його коефіцієнтів(алгоритм адаптації).

Використані джерела інформації:

1. Ильченко М.Е., Кравчук С.А. Телекоммуникационные системы на основе высотных аэроплатформ. – К.: Наукова думка, 2008. – 580с.

2. Міночкін А.І., Романюк В.А. Задачі управління топологією мережі безпілотних літальних апаратів мобільного компоненту мереж зв'язку військового призначення // Збірник наукових праць № 2. – К.: ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2005. – С. 83 – 90.
3. Лисенко О.І., Валуйський С.В., Кірчу П.І. Метод управління топологією мережі повітряних ретрансляторів для підвищення структурно-інформаційної зв'язності безпроводових епізодичних мереж // . Збірник наукових праць №1– К.: ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2011. – С. 117 – 126.
4. Лисенко О.І., Кірчу П.І. Визначення основних обмежень параметрів руху БПЛА, які використовуються в якості аероплатформ для безпроводових тимчасових мереж // Збірник тез 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій - 2011». – К.: Інституттелекомунікаційних систем НТУУ «КПІ». – 2011. . – С. 33
5. Han Z., Swindlehurst A.L., and Liu K.J.R. Smart deployment/movement of unmanned air vehicle to improve connectivity in MANET // in Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf., 2006, pp. 252–257.
6. Соколов Н. И., Рутковский В. Ю., Судзиловский Н. Б. Адаптивные системы автоматического управления летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1988. – 207 с.

Рецензент: д.т.н. Асланян А.Е.