

УДК 621.396.2, 621.396.669

Завадостійка електронна система керування наземним безпілотним транспортом

Курпас Д.В., Бевза О.М.

В статті розглядається система керування безпілотним наземним транспортом. Вирішується питання дистанційного керування безпілотним апаратом при різноманітних зовнішніх умовах, при можливій втрати радіоконтакту, робота системи в умовах радіозавад.

Ключові слова – Wi-Fi сигнал, GPS, інерційна система навігації, драйвер двигуна, теплові шуми, дробові шуми, спуфінг.

Вступ

Безпілотний транспорт має дуже широку сферу застосування. Це можуть бути автоматизовані складські системи, рятувальні безпілотники, системи для спостереження та збирання інформації та багато інших застосувань. Застосування безпілотних апаратів значно спрощує роботу та збільшує безпеку для людей, що приймають участь у різноманітних операціях

Система керування, залишаючись ефективною, має бути доступною за ціною. Тому при проектуванні системи керування використовувались модулі та блоки широко представлені

на ринку, що мають необхідні параметри при не високій ціні.

Конструкція та алгоритм роботи

На рис. 1 представлена структурна схема безпілотного апарату.

Пульт керування містить мікроконтролерну систему для обробки інформації, що надходить від оператора та від безпілотного апарату через два приймачі-передавачі, що працюють в різних частотних діапазонах. Основний обмін інформацією здійснюється через Wi-Fi модуль на частоті 2,4 ГГц. В разі втрати радіоконтакту по Wi-Fi каналу, що може відбутись у випадку перекриття прямої видимості між пультом керування та мобільним шасі, радіообмін починає здійснюватись через FM канал. Система також містить резервний канал для відеосигналу на випадок втрати радіоконтакту по Wi-Fi каналу. Система безпосереднього керування безпілотним пристроєм містить «Систему прийому та обробки інформації» та «Мобільне шасі».

«Система прийому та обробки інформації» складається з модулів «Мікроконтролерна система», «Wi-Fi

приймач-передавач», «Fm приймач-інерційної навігації», що містить передавач», «GPS – приймач», магнітометр, акселерометр та «Передавач відеосигналу» та «Модуль гіроскоп.

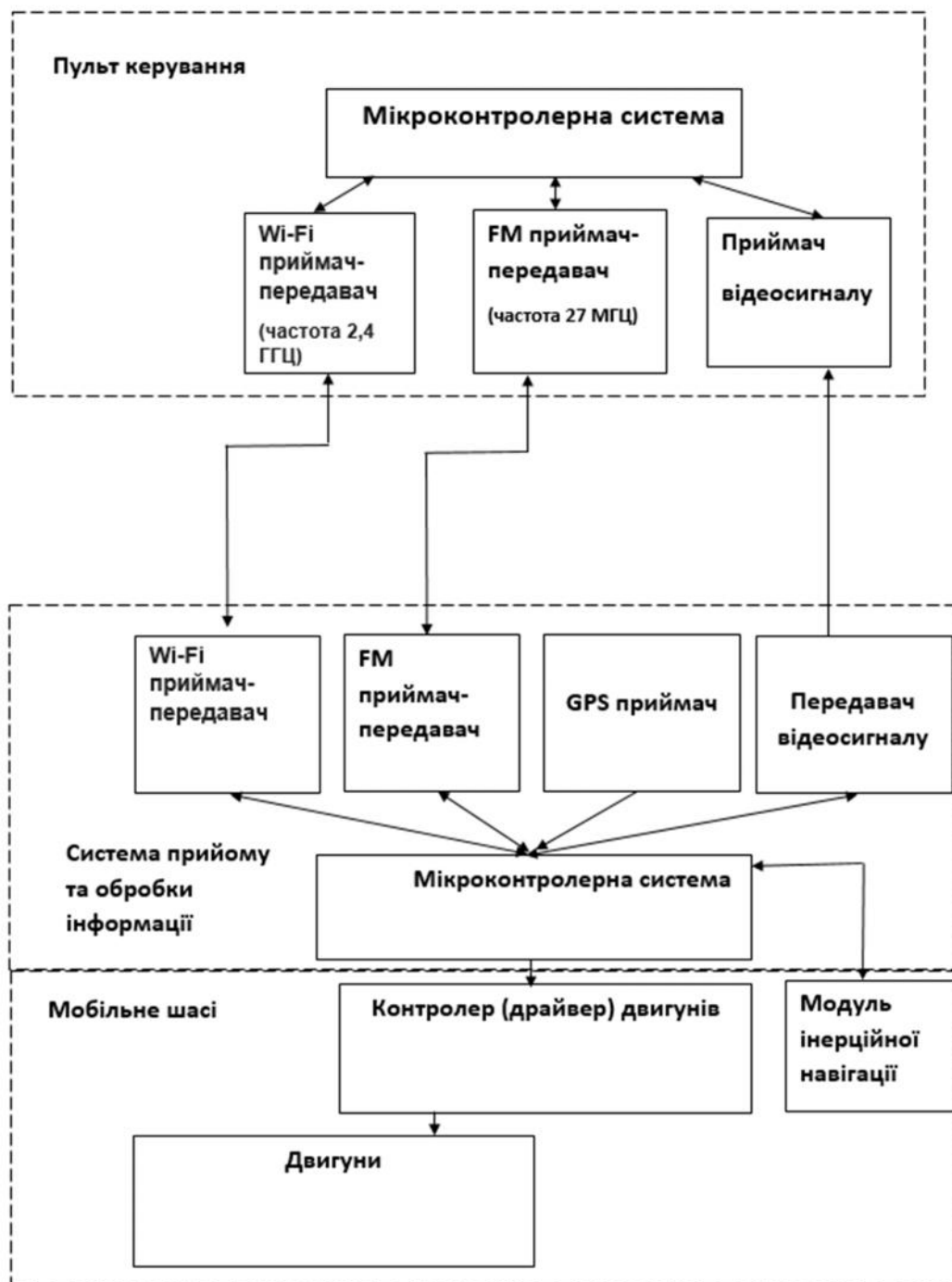


Рис. 1. Структурна схема системи керування безпілотним транспортом

Модуль «Мобільне шасі» містить «Контролер двигунів» та безпосередньо самі «Двигуни».

Сигнал Wi-Fi відносять до радіохвиль, відповідно, він має такі ж властивості, характеристики і поведінку. Головною умовою для створення бездротового зв'язку на відстань більше, ніж сотня метрів в ГГц діапазоні – фактично пряма видимість між точками встановлення обладнання. Оскільки при передачі сигналу кожен об'єкт (стіна, густе насадження дерев, багатоповерхові будинки, пагорби), що стоїть на шляху сигналу, може відбити або поглинути сигнал Wi-Fi. Найпоширенішими частотами Wi-Fi є 2,4, 3,6, 5,10 та 24 ГГц. Одним із основних параметрів радіосигналу є коефіцієнт згасання сигналу, що визначається спрощеною формулою:

$$L_p = X \log\left(\frac{4\pi df}{c}\right),$$

де X - коефіцієнт ослаблення, рівний 20 для відкритого простору, d - відстань від передавача, f - частота сигналу, c - швидкість світла.

З цієї формули безпосередньо випливає, що зі збільшенням частоти переданого сигналу збільшується і його загасання. Так, при поширенні сигналу в відкритому просторі з частотою 2,4 ГГц він слабшає на 60 дБ при видаленні від джерела на 10 м. Якщо ж частота дорівнює 5 ГГц, слабшання сигналу при видаленні на 10 м складе вже 66 дБ. Отже, при використанні частоти 2,4 ГГц сигнал передається на більшу відстань, в порівнянні з частотою 5 ГГц. Звичайно, діапазон 5 ГГц має свої

переваги, а саме менш зашумлений канал, більшу пропускну здатність та динамічний діапазон.

В таблиці 1 наведено відносні втрати електромагнітної енергії при проходженні різноманітних перешкод.

Табл. 1. Відносні втрати електромагнітної енергії

Перешкода	Додаткові втрати при проходженні (Дб)	Відсоток ефективної відстані, %
Відкритий простір	0	100
Нетоноване скло	3	70
Вікно з металізоване покриттям	5-8	50
Дерев'яна стіна	10	30
Бетонна стіна 15,2 см	15-20	15
Бетонна стіна 30,5 см	20-25	10
Бетонна підлога або стеля	15-25	10-15
Цільне залізобетон не покриття	20-25	10

На рис.2 представлений алгоритм роботи апарату

Електромагнітна хвиля здатна оминати перешкоду, але за умови, що довжина хвилі більше лінійного розміру перешкоди. Тобто для Wi-Fi сигналу з частотою 2,4 ГГц

залізобетонна перешкода з розміром радіосигналу з меншою частотою, більше 12,5 см є фактично наприклад 27 МГц, довжина хвилі непрозорою. Вирішенням даної проблеми може бути застосування якого складає 11,1 м.

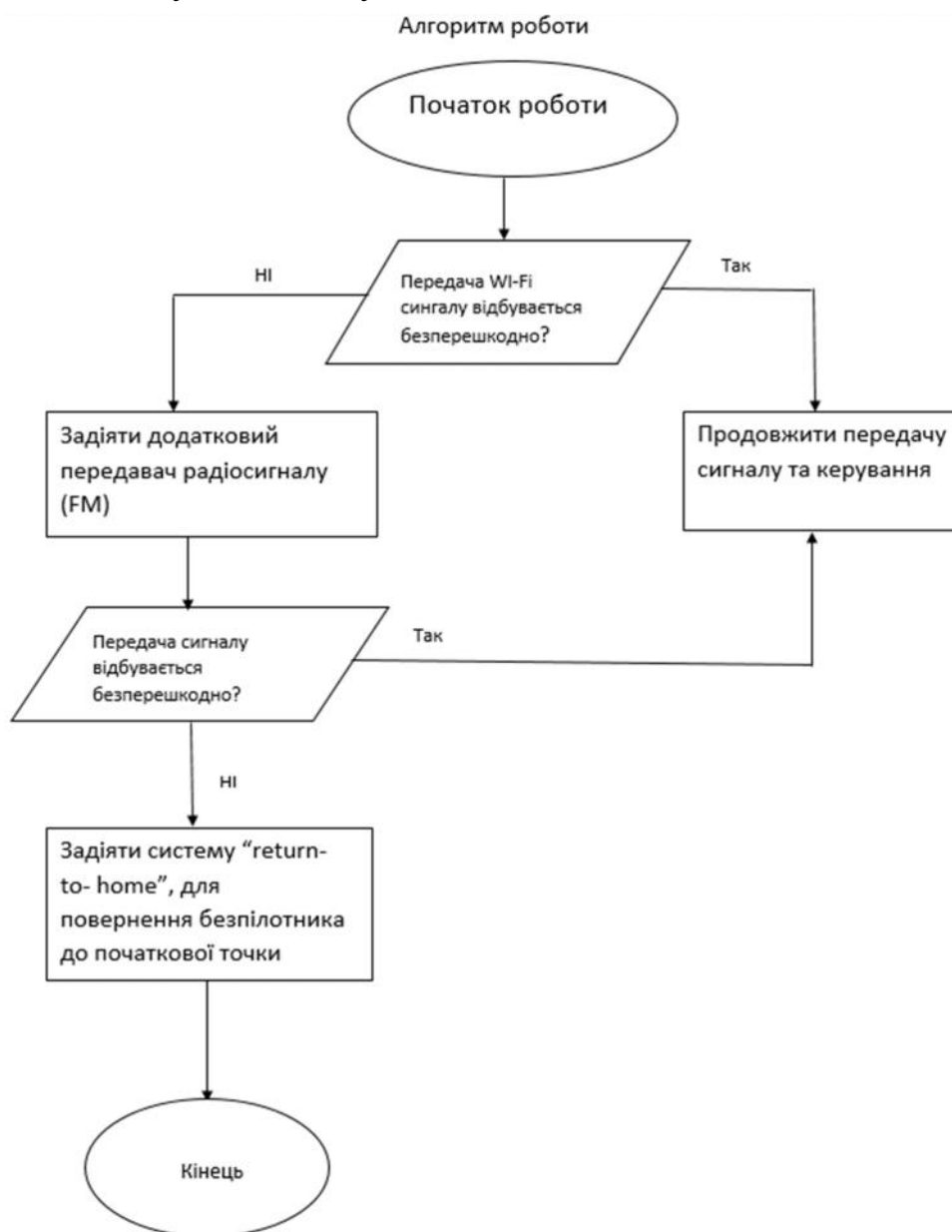


Рис. 2. Алгоритм керування безпілотним транспортом

Проте сигнал з такою частотою має значно меншу пропускну здатність в порівнянні з 2,4 ГГц. Однак цієї пропускну здатності досить для передачі команд керування без

відеосигналу, який в такій ситуації передається по окремому каналу.

Але залишається досить висока вірогідність втрати зв'язку між оператором та транспортом, що може

бути пов'язано з потраплянням безпілота у «радіотінь» або з появою таких шумів, які унеможливають керування транспортом. У такому разі потрібно забезпечити повернення апарату у початкову точку відправлення. Для вирішення цієї задачі в системі керування присутні «GPS приймач» та «Модуль інерційної навігації». Під час руху безпілота транспорту в нормальному режимі, за допомогою GPS приймача та модуля інерційної навігації (акселерометр, магнітометр, гіроскоп) відбувається «запам'ятовування» траєкторії, по якій рухався безпілотник. Через певні проміжки часу (наприклад, 3 секунди) відбувається обчислення кутів відхилення від початкової точки, прискорення, координати по довготі, широті та висоти на рівнем моря. В разі втрати радіоконтакту пульта керування та безпілота транспорту ці дані використовуються для обчислення траєкторії зворотного шляху.

Шуми та методи їх протидії

Перешкодою називають стороннє електричне коливання, що заважає нормальному прийому сигналів. Причиною і джерелами перешкод можуть бути різні фактори і вони можуть бути класифіковані за різними ознаками. Залежно від місця виникнення сторонні електричні коливання можна розділити на зовнішні і внутрішні перешкоди. Внутрішні перешкоди виникають у вузлах апаратури і трактах систем зв'язку. Зовнішні перешкоди обумовлені дією джерел перешкод,

зовнішніх по відношенню до системи зв'язку і не пов'язаних з її функціонуванням. За ступенем можливості ліквідації перешкод останні можуть бути класифіковані на усунні і неусунні перешкоди. Принципово неусунним видом перешкод є внутрішні перешкоди. Вони з'являються відразу ж після включення апаратури. За природою виникнення внутрішні перешкоди поділяються на теплові та дробові шуми. Теплові шуми обумовлені хаотичним рухом електронів в провідниках і притаманні практично всім елементам електричного кола. Одним з найбільш ефективних прийомів зменшення цієї складової перешкод є зниження температури елементів цього ланцюга. Дробові шуми характерні для так званих активних приладів електричного кола (біполярні і польові транзистори та прилади, що на них основані) і виникають в підсилювачах, перетворювачах, модуляторах і т.д. Для зменшення частки дробових перешкод використовують прилади з поліпшеними шумовими характеристиками. Найбільший вплив на характеристики зв'язку мають шуми приймальної антени і вхідних каскадів приймача. Це обумовлено тим, що шуми каскадів, розташованих ближче до входу приймача, отримують таке ж посилення, як і прийняті сигнали. Шуми наступних каскадів посилюються в меншій мірі, тому їх внесок в результуючий шум на виході приймача значно менше, ніж шумів, що надходять з вхідних пристроїв. Внутрішні шуми

електронних пристроїв виявляються в усіх частотних діапазонах, що використовуються в радіозв'язку. Питома вага внутрішніх шумів зростає зі збільшенням частоти, і в діапазоні надвисоких частот їх значення стає переважаючим, так як частка інших видів перешкод може бути значно знижена. Зовнішні перешкоди обумовлені дією джерел перешкод, які не викликані функціонуванням даного каналу зв'язку.

Ще одним джерелом перешкод радіозв'язку є побічні випромінювання радіоприладів. Причина їх виникнення полягає в наступному. Кожному засобу радіозв'язку для його нормального функціонування в загальному частотному діапазоні виділяється певна смуга частот. Ця смуга частот визначається державними органами з урахуванням міжнародних угод. Ці органи визначають не тільки діапазон дозволених для роботи частот, але і визначають рівні поміжсмугового випромінювання, тобто ті рівні побічного випромінювання, які можуть вироблятися цим пристроєм поза смуги дозволених частот. У реальних пристроях побічне випромінювання практично завжди існує і може впливати на характеристики радіозв'язку інших систем.

Прийоми боротьби з перешкодами полягають в забезпеченні такого рівня сигналу в місці прийому, який би забезпечив необхідну якість сигналу. Однією з найважливіших характеристик сигналу є відношення потужності

сигналу до потужності шуму. Цей параметр так і називається - відношення сигнал / шум ($\frac{P}{P}$). Це відношення в місці прийому може бути збільшена різними способами, наприклад, збільшенням потужності передавача системи зв'язку, застосуванням передавальної або приймальної антени з спрямованими властивостями (якщо це дозволяють умови експлуатації для даної системи зв'язку). Відношення сигнал / шум можна збільшити при зниженні рівня шумів з використанням різних типів фільтрів. Також, частку внутрішніх шумів можна зменшити, застосовуючи у вхідних каскадах приймача малошумні підсилювачі. Інші методи підвищення якості прийнятих сигналів пов'язані із застосуванням складних сигналів і методів їх обробки, що забезпечують збільшення відносини сигнал / шум на виході приймального пристрою.

Останнім і найнебезпечнішим видом перешкод є активно імітуючі перешкоди, головним прикладом якого є спуфінг радіосигналів. Особливо легко піддається спуфінгу система навігації GPS, що використовується в даному проекті. Для захисту супутникової навігації від спуфінг атаки можна використати наступні методи:

1) Криптографічні методи. Дають змогу користувачам «задокументувати» сигнали на льоту. З одного підходу, наприклад, цивільні приймачі використовуватимуть коди PRN, які є повністю або частково

непередбачуваними, подібними до тих, що використовуються військовими, тому спуфер не може синтезувати коди заздалегідь. Але щоб перевірити кожен новий сигнал, кожен цивільний приймач повинен був мати ключ шифрування, аналогічний тому, що зберігається військовими приймачами, і було б важко змусити зловмисників отримати такі широко розподілені ключі.

2) Виявлення спотворень, яке може попереджати користувачів про підозрілу активність на основі короткого, але помітного спотворення, яке відбувається, коли сигнал GPS підроблено. Як правило, приймач GPS використовує кілька різних стратегій для відстеження спау амплітуди вхідного сигналу. Коли сигнал копіювання передається, приймач бачить поєднання оригінального сигналу та помилкового, і ця комбінація призводить до вирівнювання в амплітудному профілі під час перетягування.

Виявлення спотворень полягає в тому, щоб додати більше каналів обробки сигналів і, можливо, більшу кількість обладнання, щоб користувачі могли відслідковувати амплітудний профіль сигналу з більшою точністю. Ця техніка шукає неприродні риси - наприклад, ширина амплітуди за певною висотою або шириною. Однак детектор викривлення працює, тільки якщо він спіймав сигнал між початком атаки та кінцем перетягування - процес, який може тривати всього кілька хвилин.

3) Зондування напрямку прильоту використовує той факт, що спуфер може знаходитись лише в одному місці за раз. Спуфер передає помилковий сигнал для кожного супутника GPS, який оператор хоче імітувати. Це відбувається шляхом виготовлення кодів PRN для кожного супутника в околицях цілі. Схоже, що оператор посилає всі ці сигнали з однієї антени, і вони надходять з того ж напрямку. Оригінальні сигнали GPS, з іншого боку, надходять з декількох супутників, а значить, з кількох кутів. Принцип методу заснований на порівнянні різниць фазових швидкостей (дисперсії) усіх сигналів супутників. Кожен супутник має свої координати в просторі, а значить, кожна хвиля має свою фазову швидкість. Якщо різниця в фазі носіїв, виміряна між двома антенами детектора, широко варіювалася від супутника до супутника, то це означає, що сигнали надходять з кількох напрямків. Але якщо в системі виявлено незначну різницю між різницею фази носія, то це означало, що він збирає набір сигналів, що походять від одного передатчика.

Висновки

При розробці безпілотних систем існує багато задач, що потрібно вирішити. Одна з них ефективна передача сигналів керування в умовах пересіченої місцевості так і в умовах постановки завад.

Вирішити передачу сигналів керування в умовах пересіченої місцевості можливо шляхом передачі сигналів по декільком радіоканалам з

різними частотами. А в разі втрати радіоконтакту для повернення безпілотного транспорту, пропонується використовувати GPS систему навігації та інерційну систему навігації.

Література

1. Абилов А.В. Распространение радиоволн в сетях подвижной связи : *Теоретический материал и задачи для практических занятий* / А.В. Абилов. – Ижевск: ИЖГТУ, 2001. – 24 с.: ил.
2. Ли У. Техника подвижных систем связи ;[*Пер. с англ.*]. – М. : Радио и связь, 1985. – 392 с.
3. Смирнова Е.В. Технология современных беспроводных

сетей Wi-Fi : *учебное пособие* / Е.В. Смирнова, Пролетарский А.В., Ромашкина Е.А. ; [*Под ред. А.В. Пролетарского*] . — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 446, [2] с. : ил. — ISBN 978-5-7038-4620-9

4. Ю. Д. Украинцев. История связи и перспективы развития телекоммуникаций: *учебное пособие* / Ю. Д. Украинцев, М. А. Цветов. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – 128 с.
5. Сомов А.М. Спутниковые системы связи : *учебное пособие для вузов* / А.М. Сомов, С.Ф. Корнев. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2012. – 244 с. : ил. — ISBN 978-5-9912-0225-1.