

Літальні апарати: аеродинаміка, силові установки, обладнання, озброєння та застосування

УДК 621.391

К.С. Васюта, С.В. Озеров, А.В. Литвин, А.В. Северілов

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ХАОТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ КОМАНДНО-ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ РАДІОМЕРЕЖІ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

В роботі розглянуто можливість застосування хаотичних процесів (сигналів) в якості несучої при побудові командно-телеметричної радіомережі управління безпілотними літальними апаратами. Проведено аналіз сучасних підходів, щодо здійснення управління літальними апаратами. Наведено засоби радіоелектронної боротьби, що є на озброєнні незаконних збройних формувань та визначено особливості їх дії на БПЛА. Спираючись на спектральний, кореляційний на нелінійний аналіз спостережень здійснено оцінку скритності хаотичних процесів. Наведені пропозиції та практичні рекомендації щодо підвищення скритності командно-телеметричної радіомережі.

Ключові слова: *безпілотний літальний апарат, незаконні збройні формування, хаотичний процес, скритність, командно-телеметрична радіомережа, нелінійний аналіз спостережень, кореляційний аналіз.*

Вступ

Досвід проведення антитерористичної операції [1] свідчить, що застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в ЗС України сприяє вирішенню широкого кола актуальних бойових завдань, зокрема повітряної розвідки.

З метою здійснення управління БПЛА з наземного пункту управління організується командно-телеметрична радіомережа між наземним пунктом управління (НПУ) та БПЛА. Для передачі інформації в даній радіомережі, як правило, застосовуються складні гармонічні сигнали з різними видами модуляції [2]: COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), BPSK (Binary Phase-Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) та ін. Однак, дані типи сигналів не відповідають вимогам скритності в повній мірі, тому що вони відрізняються від шуму спостереження при кореляційному, спектральному та нелінійному аналізі. Саме тому існує суттєва небезпека, що противник розкриє факт функціонування командно-телеметричної радіомережі, що в свою чергу може призвести до здійснення деструктивних дій з боку противника на систему управління літальним апаратом: перехоплення каналу управління «дромом», його аналіз і підміна "пакетів" команд управління. Під основою деструктивних дій на системи управління слід розуміти застосування засобів радіоелектронної розвідки та радіоелектронного подавлення [3].

Аналіз літератури [4–5; 12–13] показує, що одним з перспективних підходів підвищення скритно-

сті ліній радіозв'язку є застосування хаотичних процесів, що за своїми статистичними та динамічними характеристиками подібні до шуму спостереження.

Таким чином, метою роботи є обґрунтування можливості застосування хаотичних процесів для здійснення управління безпілотними літальними апаратами під час виконання завдань.

Виклад основного матеріалу

Комплексна система керування безпілотних засобів різного призначення, як правило, являє собою сукупність функціональних вузлів (окремих систем) і містить такі засоби [2]: інерційні навігаційні; космічні навігаційні; автономного управління (за програмою); дистанційного (ручного) управління; апаратуру передавання даних. Особлива роль у комплексній системі керування відводиться системі зв'язку і передачі даних. Ця система є основою для телекерованих безпілотних засобів різного призначення і складається, як правило, з командно-телеметричного радіоканалу, утвореного відповідними радіолініями й апаратурою прийому, обробки і передачі даних.

З початком активних бойових дій на Донбасі, ЗС України розпочали широко застосовувати БПЛА для виконання бойових завдань. Це призвело до значного збільшення ефективності бойових операцій і дозволило знищити значну кількість сил і засобів незаконних збройних формувань (НЗФ). Однак, на теперішній час застосування дронів зазнало суттєвих труднощів, – почастишали випадки втрати контролю і управління над своїми БПЛА.

Основною причиною цих випадків є застосування з боку НЗФ спеціальних засобів моніторингу частотного діапазону, створення інформаційних перешкод і перехоплення безпілотних апаратів, тобто застосування засобів радіоелектронної боротьби.

На даний час, російсько-терористичні війська так званої «ЛНР-ДНР» володіють сучасними засобами радіоелектронної боротьби російського виробництва, що дозволяють здійснити перехоплення та нейтралізацію БПЛА. Найбільшої уваги заслуговують комплекс РЕР 1Л222М «Автобаза» (рис. 1) та комплекс РЕБ Р330Ж «Житель» (рис. 2).



Рис. 1. комплекс радіоелектронної розвідки 1Л222М «Автобаза»



Рис. 2. комплекс РЕБ Р330Ж «Житель»

Дані комплекси характеризуються наступними можливостями:

- автоматизоване проведення пошуку, виявлення, ідентифікації радіосигналів командно-телеметричної радіомережі літальних апаратів;
- перехоплення і класифікація виявлених радіосигналів;
- відтворення виявлених радіосигналів;
- визначення всіх характеристик управляючого каналу дистанційного управління літальних апаратів;
- взяття дистанційного управління літальних апаратів під свій контроль (введення в керуючий канал корекції – хибних пакетів управління).

Гармонічні сигнали є особливо вразливими для

даних комплексів (за рахунок їх недостатньої розвід захищеності), тому, для підвищення стійкості каналу дистанційного управління (командно-телеметричного) доцільно в якості несучого сигналу застосовувати складні шумоподібні сигнали. В контексті дослідження слід зазначити, що основними перевагами, які дає реалізація систем зв'язку з шумоподібними сигналами є [6]:

- підвищена енергетична скритність. Теоретично для $B \approx 100$ дальність виявлення сигналу $L_{обн}$ зменшується в 3–5 разів (порівняно з частотною модуляцією);
 - стійкість до флюктуаційної (випадкової) і імпульсної завади збільшується до 6 дБ;
 - підвищена стійкість до багатопроменевості прийому;
 - можливість кодового поділу абонентів, що дає можливість уникнути колізій при адресації інформації в разі застосування декількох незалежних груп БПЛА одночасно;
 - при великих обсягах ансамблю сигналів можлива реалізація крипто і імітозахисту радіомережі.
- Для побудови сигнально-кодових конструкцій шумоподібних сигналів використовуються:
- усічені М-последовності, 3-х рівневі последовності;
 - коди Цірлера, Пейли-Плоткіна, БЧХ-коди, РС-коди;
 - технологія об'єднання гребінчатих спектрів; рандомізовані методи формування ансамблів;
 - хаотичні последовності (процеси) та коди Лемера.

Не втрачаючи єдиної лінії міркування, розглянемо більш детально хаотичні процеси.

Успішною альтернативою гармонійним коливанням є динамічний хаос [4]. Явище динамічного хаосу полягає в тому, що рух детермінованої динамічної системи при певних умовах має всі властивості випадкового процесу. При цьому важливу особливість алгоритмів, що описують систему з динамічним хаосом, є їх нелінійність, а особливою часової реалізації процесу – його неперіодичність і можливість багаторазового його формування, що вигідно відрізняє хаотичний процес, від випадкового.

Хаотичними процесами [4] називають складні коливання, що генеруються нелінійними динамічними системами. Дані процеси, на відміну від гармонійних коливань, мають властивості, властивими звичайним випадковим процесам, такими як суцільний спектр потужності і експоненціально спадаючу кореляційну функцію [7], непередбачуваність на великих інтервалах часу (рис. 3).

Крім того, висока чутливість хаотичних процесів до точності завдання керуючих параметрів обумовлює експоненціальне зростання часу розвідки

[8–9], що значно перевищує можливу тривалість сигналу або час його передачі по каналу зв'язку.

Також слід зазначити, що хаотичні процеси, на відміну від випадкових процесів, мають такі властивості, як висока чутливість до початкових значень і експоненціальне розбігання близьких фазових траєкторій [10–11].

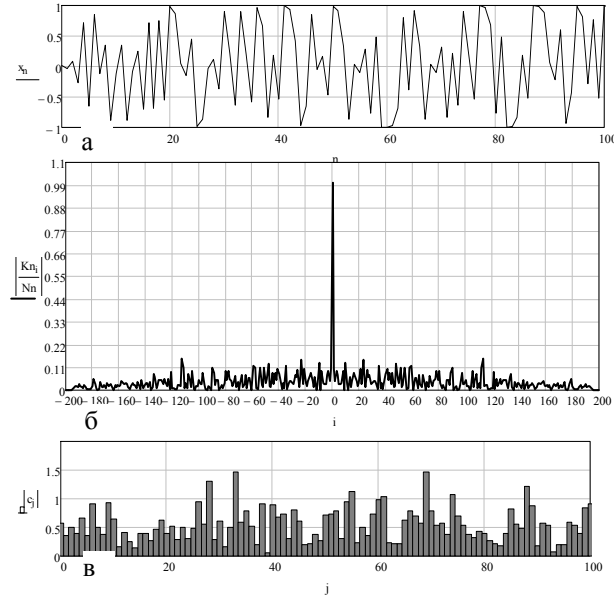


Рис. 3. Часова реалізація – а;
б – автокореляційна функція;
в – частотний спектр хаотичного процесу

На рис. 4 ілюструється залежність коефіцієнта кореляції двох хаотичних процесів, сформованих за допомогою полінома Чебишева першого роду третього порядку, від різних початкових значень $x_0 \in (0..1)$ їх формування $\Delta x = x_0^{(1)} - x_0^{(2)}$.

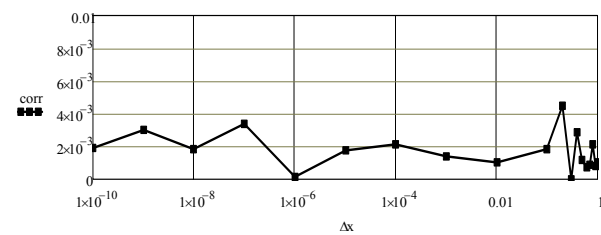


Рис. 4. Залежність коефіцієнта кореляції двох хаотичних процесів від розбіжності початкових значень на Δx при їх формуванні

Для більш детальної оцінки хаотичних несучих з ускладненим атрактором на предмет схожості з шумом спостереження скористаємося елементами кореляційного аналізу процесів запропонованих в роботі [6]. Нижче наведено кілька основних розрахункових характеристик.

Середньоквадратичне значення бічних вершин R_i , що визначається через дисперсію

$$\sigma_R^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=-(N-1)}^{N-1} R_i^2, \quad (1)$$

середнє значення модулів бічних вершин

$$m_{|R|} = \frac{1}{2N} \sum_{i=-(N-1)}^{N-1} |R_i|, \quad (2)$$

середньоквадратичне значення модулів бічних вершин, яке визначається через дисперсію

$$\sigma_{|R|}^2 = \sigma_R^2 - m_{|R|}^2, \quad (3)$$

а також значення максимальної бокової вершини R_{\max} .

Результати розрахунку що характеризують перевищення σ_R , $m_{|R|}$, $\sigma_{|R|}$, R_{\max} рівня \sqrt{N} (для $N = 127$) наведені в табл. 1 в ненормованому вигляді. У таблиці також для порівняння наведені характеристики КФ білого шуму [6].

Таблиця 1

Характеристики КФ хаотичних несучих та білого шуму

Корр. функції	$\sigma_R \sqrt{B}$	$m_{ R } \sqrt{B}$	$\sigma_{ R } \sqrt{B}$	$R_{\max} \sqrt{B}$
АКФ хаотичного процесу	0,78	0,62	0,48	2,09
ВКФ хаотичного процесу	0,65	0,51	0,4	1,99
КФ (АКФ, ВКФ) білого шуму	0,7	0,56	0,43	2,1 – 3,5

Виходячи з аналізу даних, зведених в табл. 1, робимо висновок, що характеристики АКФ та ВКФ наведеного хаотичного процесу подібні до статистичних характеристик шуму спостереження, що вигідно відрізняє хаотичні процеси від гармонічних сигналів.

Висновки

Застосування безпілотних літальних апаратів Збройними Силами України під час проведення АТО набуває все більшого розповсюдження. Наявність у незаконних збройних формувань сучасних зразків техніки РЕБ російського виробництва, суттєво підвищує вірогідність перехвату та знищення БПЛА під час виконання завдань, за рахунок вразливості командно-телеметричного каналу управління БПЛА: в якості несучих в каналі управління застосовуються гармонійні сигнали, що володіють недостатньою завадостійкістю та розвідзахисеністю (скритністю) і з легкістю можуть бути виявлені методами спектрального, кореляційного та нелінійного аналізу.

Для підвищення скритності каналу управління БПЛА пропонується застосовувати в якості несучої

хаотичні сигнали (процеси), що за своїми статистичними та динамічними характеристиками подібні до шуму спостереження, володіють високою чутливістю до початкових значень формування, можуть бути сформовані в цифровому виді в реальному масштабі часу.

Список літератури

1. Алімпієв А.М. Застосування досвіду АТО для підготовки фахівців зв'язку, РТЗ, А та ІС: навч. посіб. / А.М. Алімпієв, О.І. Кушнір, К.С. Васюта та ін. – Х.: ХУПС, 2016. – 326 с.
2. Слюсар В. Передача даних з борта БПЛА: стандарти НАТО / В. Слюсар // ЕЛЕКТРОНИКА: НТБ. – 2010. – № 3. – С. 80-86.
3. Макаренко С.И. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты / С.И. Макаренко, М.С. Иванов, С.А. Попов – СПб.: Свое издательство, 2013. – 166 с.: ил.
4. Васюта К.С. Анализ эвристических моделей информационных систем на хаотической несущей / К.С. Васюта // Межведомственный научно-технический сборник – Х.: Радиоэлектроника, 2009. – № 156. – С. 17-22.
5. Костенко П.Ю. Повышение скрытности сигналов на основе усложнения аттрактора хаотического процесса с использованием линейного преобразования с ядром Мандельброта / П.Ю. Костенко, К.С. Васюта, С.Н. Симоненко // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2010. – Т. 53. – № 12. – С. 14-23.
6. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
7. Васюта К.С. Анализ корреляционных свойств хаотических радиосигналов / К.С. Васюта, А.А. Малышев, Ф.Ф. Зоц // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2012. – Вып. 3 (101). Т. 2. – С. 22-25.

8. Новый подход к непараметрическому обнаружению хаотических сигналов на фоне белого шума с использованием «нелинейной динамической статистики» / П.Ю. Костенко, К.С. Васюта, А.Н. Барсуков и др. // Збірник наукових праць ХУПС. – Х., 2010. – № 3 (25). – С. 108-116.

9. Барсуков А.Н. Методы повышения скрытности хаотических сигналов и их обработки: дис. канд. техн. наук: 05.12.17 / Барсуков Александр Николаевич. – Х., 2010. – 148 с.

10. Васюта К.С. Метод повышения пропускной способности и скрытности системы радиосвязи путем применения ММО-технологии на хаотических несущих / К.С. Васюта, С.В. Озеров, Ф.Ф. Зоц и др. // Системы управління, навігації і зв'язку. – К., 2012. – Вип. 3(23). – С. 223-227.

11. Васюта К.С. Анализ методов обнаружения хаотических сигналов / К.С. Васюта, А.И. Кушнір, С.В. Озеров // Прикладная радиоэлектроника. – 2013. – Т. 12. – № 4. – С. 553-558.

12. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2. – С. 19-25.

13. Степаненков М.М. Шляхи вдосконалення методів отримання і обробки інформації у засобах повітряної радіотехнічної розвідки / М.М. Степаненков, А.В. Кобзев, В.В. Романенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2. – С. 121-123.

Надійшла до редколегії 6.06.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.В. Лемешко, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХАОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ КОМАНДНО-ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ РАДИОСЕТИ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

К.С. Васюта, С.В. Озеров, А.В. Литвин, А.В. Северилов

В работе рассмотрена возможность применения хаотических процессов (сигналов) в качестве несущей при построении командно-телеметрической радиосети управления беспилотными летательными аппаратами. Проведен анализ современных подходов, по осуществлению управления летательными аппаратами. Приведены средства радиоэлектронной борьбы имеющихся на вооружении незаконных вооруженных формирований и определены направления их действия. Опираясь на спектральный, корреляционный на нелинейный анализ наблюдений осуществлена оценка скрытности хаотических процессов. Приведены предложения и практические рекомендации по повышению скрытности командно-телеметрической радиосети.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, незаконные вооруженные формирования, хаотичный процесс, скрытность, командно-телеметрическая радиосеть, нелинейный анализ наблюдений, корреляционный анализ.

ANALYSIS OF POSSIBILITIES TO USING CHAOTIC PROCESS FOR ORGANIZING COMMAND AND TELEMETRY RADIO NETWORK FOR CONTROL UNMANNED AERIAL VEHICLES

K. Vasyta, S. Ozerov, A. Litvin, A. Severilov

The paper considers the applicability of random processes (signals) as a carrier in the construction of radio telemetry command and control unmanned aircraft. The analysis of modern approaches to implement control aircraft. An electronic warfare equipment that is in service with illegal armed groups and identified areas of action. Based on spectral, correlative observations on nonlinear analysis the estimation stealth chaotic processes. These suggestions and practical recommendations to improve the stealth command and telemetry radio network.

Keywords: unmanned aerial vehicle illegal armed groups, chaotic process, secrecy, command and telemetry radio network, nonlinear analysis observations, correlation analysis.