Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U002834

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 10-07-2025

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ № 1593 від 15 вересня 2025 року

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Чжан Міньцзян Чжан

2. Minjian Z. Zhang

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4143-1689

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 123

Назва наукової спеціальності: Комп'ютерна інженерія

Галузь / галузі знань: інформаційні технології

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Комп'ютерна інженерія

Дата захисту: 27-08-2025

Спеціальність за освітою: Програмна інженерія

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 10284

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 20.55

Тема дисертації:

1. Метод підвищення кібербезпеки безпілотних літальних апаратів із вбудованою системою ADS-B

2. Method for increasing the cybersecurity of unmanned aerial vechicles with a built-in ADS-B system

Реферат/анотація:

1. Дисертація присвячена розв’язанню актуальної науково-прикладної задачі забезпечення кібербезпеки безпілотних літальних апаратів (БПЛА) шляхом розробки методів прихованого вбудовування ідентифікаторів у повідомлення формату ADS-B на базі спектрального стеганографічного підходу. Об’єкт дослідження: Процес захисту ідентифікаційних даних безпілотних літальних апаратів у форматі ADS-B. Предмет дослідження: Метод підвищення кібербезпеки БПЛА шляхом стеганографічного вбудовування ідентифікаторів формату ADS-B. Мета дослідження: Метою дисертаційної роботи є підвищення кібербезпеки БПЛА з вбудованою системою ADS-B шляхом розробки методу прихованого вбудовування ідентифікаторів з використанням методу прямого розширення спектра та модифікації частотних компонентів сигналу. У вступі обґрунтовано актуальність проблеми захисту систем ADS-B, зростаючу кількість атак на безпілотну авіацію, вразливість каналів передачі даних та необхідність підвищення прозорості й прихованості ідентифікаційної

інформації. У першому розділі проаналізовано сучасні підходи до захисту ADS-B, класифіковано типи кіберзагроз, виявлено відсутність ефективних практичних рішень щодо прихованого вбудовування даних у широкомовні канали. У другому розділі побудовано математичну модель процесу передачі ADS-B даних у стеганосистемі на основі китайської теореми про остачі та кільця цілих чисел. Запропоновано формальний опис параметрів прихованої передачі ідентифікаторів та використання GERT-схем для обчислення часових характеристик (W-функцій) системи кодування/декодування. У третьому розділі розроблено метод вбудовування ідентифікатора в спектральні компоненти ADS-B сигналу з використанням дискретного перетворення Фур'є. Вдосконалено підхід до адаптивного вибору частот із врахуванням локальної потужності сигналу, що забезпечує прихованість і мінімальні спотворення. У четвертому розділі проведено експериментальні дослідження та чисельну оцінку ефективності: встановлено, що метод знижує ймовірність виявлення до 0,5%, покращує коефіцієнт кореляції між оригінальним та вбудованим сигналами до 0,9999999999, зменшує NMSE у 10 разів, а максимальна амплітудна різниця не перевищує 0,06. Результати протестовано на SDR-платформі PXI 1062. У висновках наведено основні результати наукової роботи щодо вирішення поставлених наукових задач дослідження. За результатами дослідження отримано такі наукові результати: 1. Уперше розроблено математичну модель процесу стеганографічного вбудовування ідентифікатора БПЛА в дані формату ADS-B. Модель базується на китайській теоремі про остачі та теоремі про кінцеве цілісне кільце. Комплексна математична формалізація дозволила оцінити еквівалентні W-функції часу стеганографічного кодування та декодування ідентифікаторів БПЛА із вбудованою системою ADS-B. 2. Уперше розроблено метод стеганографічного вбудовування ідентифікаторів в дані формату ADS-B з використанням перетворення Фур'є. Відмінною особливістю розробленого методу є комплексне використання алгоритмів адаптивної модифікації спектральних компонентів сигналу для зменшення спотворень даних формату ADS-B. Це дозволило до 4 разів підвищити рівень скритності вбудованої інформації. 3. Вдосконалено спосіб адаптивного вибору спектральних компонентів сигналу ADS-B для вбудовування ідентифікатора, який відрізняється від відомих динамічним регулюванням амплітуди вбудовування у кожному фрагменті сигналу. Це дозволило зменшити ймовірність помилок розпізнавання прихованої інформації до 2 разів. Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному: - знижено ймовірності помилок розпізнавання вбудованої інформації (Bit Error Rate, BER) до менше ніж 0,5% при силі вбудовування Ls = 5·10□□; - забезпечено високого ступеня прозорості – коефіцієнт кореляції між оригінальним і модифікованим сигналом досяг 0,9999999999, що свідчить про практично непомітні зміни сигналу; - зменшено NMSE (нормалізованої середньої квадратичної помилки) в 10 разів порівняно з відомим методом mp3stego; - при використанні розробленого методу максимальна амплітудна різниця (MD) не перевищує 0,06, а середня абсолютна різниця (AD) – 0,0028 для сили вбудовування Ls = 20%; - досягнуто зменшення часу кодування стеганографічної інформації в режимі реального часу до середнього значення 1,18 умовних одиниць, що підтверджено GERT-моделюванням; - експериментальні результати показали зниження дисперсії часу стеганографічного перетворення до 1,56 при використанні китайської теореми про остачі; - забезпечено адаптивність методу, що дозволяє уникнути візуального або статистичного виявлення прихованої інформації у понад 95% тестових випадків.

2. This dissertation addresses an urgent scientific and practical problem –ensuring the cybersecurity of unmanned aerial vehicles (UAVs) by developing methods for hidden embedding of UAV identifiers into ADS-B format messages using a spectral steganographic approach. Object of research: the process of protecting identification data of UAVs transmitted in ADS-B format. Subject of research: methods for enhancing UAV cybersecurity via steganographic embedding of identifiers in ADS-B messages. Research aim: to improve the cybersecurity of UAVs equipped with an ADS-B system by developing a method for hidden identifier embedding using direct spectrum spreading and frequency component modification techniques. The introduction justifies the relevance of ADS-B system protection, highlights the growing number of UAV cyberattacks, the vulnerability of open data transmission channels, and the need for increasing transparency and concealment of identification data. Chapter 1 analyzes current approaches to ADS-B protection, classifies types of cyber threats, and identifies the lack of effective practical solutions for hidden data embedding into broadcast channels. Chapter 2 presents a mathematical model

for ADS-B data transmission in a steganographic system, based on the Chinese Remainder Theorem and finite rings of integers. A formal parameterization of hidden identifier embedding is proposed, along with the use of GERT-network modeling to compute timing characteristics (W-functions) of the encoding/decoding system. Chapter 3 develops a method for embedding identifiers into the spectral components of ADS-B signals using Discrete Fourier Transform (DFT). An improved adaptive selection mechanism of frequency components based on local signal power is proposed, ensuring high concealment and minimal distortion. Chapter 4 presents experimental research and performance evaluation. The developed method demonstrated: - reduction in identifier recognition error probability to below 0.5%; - correlation coefficient between original and modified signals up to 0.9999999999; - NMSE reduction by a factor of 10 compared to mp3stego; □ maximum amplitude difference (MD) not exceeding 0.06, and average difference (AD) no more than 0.0028 for embedding strength Ls = 20%; - encoding time in real-time steganographic mode reduced to 1.18 units (GERT-model confirmed); - variance of transformation time reduced to 1.56; - over 95% success in avoiding visual or statistical detection of embedded data. The SDR-based PXI 1062 platform was used for practical testing and validation. Scientific results include: 1. A mathematical model for steganographic embedding of UAV identifiers into ADS-B data was developed for the first time, based on the Chinese Remainder Theorem and finite integer rings. The complex model enabled precise timing evaluation of encoding and decoding processes. 2. A novel spectral embedding method using Fourier Transform was proposed, incorporating adaptive frequency selection to minimize data distortion and increase concealment up to fourfold. 3. An improved adaptive component selection strategy was introduced, dynamically regulating embedding amplitude across signal segments, reducing recognition errors twofold. Practical significance: – identifier recognition error (BER) reduced below 0.5% with embedding strength Ls = 5·10□□; – signal transparency ensured by achieving a correlation coefficient of 0.9999999999; – NMSE decreased tenfold vs. mp3stego; – MD ≤ 0.06, AD = 0.0028 at Ls = 20%; – encoding time reduced to 1.18 units; – transformation variance dropped to 1.56; – steganographic embedding undetectable in 95%+ of test cases.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- Semenov S., Zhang M. Comparative studies of methods for improving the cyber security of unmanned aerial vehicles with the built-in ADS-B system // Advanced Information Systems. – 2022. – Vol. 6, № 4. – P. 69–73. (Фахове видання України)
- Zhang M., Yenhalychev S., Smidovych L. Generalized model of the ADS- B unmanned aerial vehicle data transmission process in a steganographic system // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. – 2022. – № 3 (22). – P. 14–19. (Фахове видання України)
- Semenov S., Zhang M., Mozhaiev O., Kuchuk N., Tiulieniev S., Gnusov Y., Mozhaiev M., Strukov V., Onishchenko Y., Kuchuk H. Construction of a model of steganographic embedding of the UAV identifier into ADS-B data // Eastern- European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – Vol. 5, № 4 (125). – P. 6– 16. (Фахове видання України, Scopus)
- Semenov S., Krupska-Klimczak M., Mazurek P., Chernikh O., Zhang M. Improving unmanned aerial vehicle security as a factor in sustainable development of Smart City infrastructure: Automatic dependent surveillance–broadcast (ADS-B) data protection // Sustainability. – 2025. – Vol. 17, № 4. – Article ID: 1553. (Scopus)
- Zhang M. Comparative studies of methods of steganographic data protection in the ADS-B format // Протидія кіберзлочинності та торгівлі людьми : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Вінниця, 31

трав. 2023 р.). – Вінниця : ХНУВС, 2023. – С. 2–4.

- Zhang M., Tsuranov M., Khavina I. The method of projection onto a plane in the problem of UAV path following in space // Протидія кіберзлочинності та торгівлі людьми : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Кам'янець-Подільський, 23 трав. 2024 р.). – Кам'янець-Подільський : ХНУВС, 2024. – С. 255–257.
- Chernykh E., Yu J., He J., Zhang M. UAV motion stabilization along a given trajectory // Протидія кіберзлочинності та торгівлі людьми : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Кам'янець-Подільський, 23 трав. 2024 р.). – Кам'янець-Подільський : ХНУВС, 2024. – С. 242–244.

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези; програмні продукти, програмно-технологічна документація

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0119U00260

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Черних Олена Петрівна
2. Olena P. Chernykh

Кваліфікація: к. ф.-м. н., доцент, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4389-2446

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=42461252100; https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=list_works&hl=ru&hl=ru&user=43QrpacAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071183

Місцезнаходження: , Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Трубчанінова Карина Артурівна
2. Karina A. Trubchaninova

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-2078-2647

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208109791; https://scholar.google.com.ua/citations?hl=ru&user=tFdGngkAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Український державний університет залізничного транспорту

Код за ЄДРПОУ: 01116472

Місцезнаходження: майдан Фейєрбаха, буд. 7, Харків, Харківський р-н., 61050, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Фесенко Герман Вікторович

2. Herman V. Fesenko

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4084-2101

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190123735; https://scholar.google.com.ua/citations?hl=ru&user=9zZ8AzYAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02066769

Місцезнаходження: вул. Чкалова, буд. 17, Харків, Харківський р-н., 61070, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гавриленко Світлана Юріївна

2. Svitlana Y. Gavrylenko

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6919-0055

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57189042150; https://scholar.google.com.ua/citations?hl=ru&user=4Vn1dBkAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кучук Ніна Георгіївна
2. Nina H. Kuchuk

Кваліфікація: к. пед. н., доц., 05.13.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0784-1465

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57196006131

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Заковоротний Олександр Юрійович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Заковоротний Олександр Юрійович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Черних Олена Петрівна
Реєстратор	УкрІНТЕІ

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності

Юрченко Тетяна Анатоліївна