

Методи та системи управління безпроводовими сенсорними мережами із мобільними сенсорами, телекомунікаційними наземними вузлами та аероплатформами у зоні надзвичайної ситуації

Методы и системы управления беспроводными сенсорными сетями с мобильными сенсорами, телекоммуникационными наземными узлами и аероплатформ в зоне чрезвычайной ситуации

Methods and Systems for Managing Wireless Sensor Networks with Mobile Sensors, Telecommunications Ground Nodes and Aerial Platforms in an Emergency Zone

1. **Номер державної реєстрації, номер реєстрації в університеті.**
0117U004282
2. **Науковий керівник** (вчений ступінь, звання). (*трьома мовами: укр., рос., англ.*).
Д.т.н., проф. Уривський Леонід Олександрович, Д.т.н., проф. Уривский Леонид Александрович, Dr.Sc., Prof. Uryvskiy Leonid O.
3. **Суть розробки, основні результати.**

(укр.)

Метою роботи є розробка методології та технічних пропозицій щодо забезпечення надійним зв'язком і своєчасною та якісною інформацією пошуково-рятувальних робіт в зоні надзвичайної ситуації на основі застосування безпроводових сенсорних мереж із мобільними сенсорами, телекомунікаційних наземних вузлів та аероплатформ і ефективного управління ними із одночасним забезпеченням структурно-функціональної зв'язності мобільних сенсорів в умовах їх швидкого та непередбачуваного переміщення.

В основу НДР покладена науково-технічна ідея, яка полягає в науковому обґрунтуванні та розробці комплексу методів, алгоритмічних і програмних засобів для реалізації багаторівневої динамічної архітектури безпроводової сенсорної мережі (БСМ), всі елементи якої є мобільними. Реалізація цієї ідеї ґрунтується на ствердженні про те, що отримання оперативної інформації має здійснюватися за мінімальний час про події, що відбуваються у зоні надзвичайної ситуації (стан оперативного ландшафту, напрямки пошуку і шляхи рятування, розташування потерпілих та об'єктів небезпеки, пріоритетність надання допомоги, тенденції розвитку надзвичайної ситуації, супроводження та захист рятувальників і медичного персоналу, локалізація мародерів та їх знешкодження, відновлення зв'язку та недопущення паніки). Система складатиметься з декількох рівнів: перший рівень – мобільна мережа безпроводових мультисенсорних платформ повітряного базування – літаючих дронів, які утворюють адаптивну мережу постачання первинної інформації; другий рівень являє собою мережі телекомунікаційних аероплатформ (ТА), що призначені для збору і наступної обробки інформації з мережі нижчого рівня та управління нею, а також для зв'язку з телекомунікаційними наземними вузлами або безпосередньо з центром управління надзвичайною ситуацією.

Обґрунтовано і розроблено нові методи, запропоновано технічні рішення щодо забезпечення надійним зв'язком і своєчасною та якісною інформацією пошуково-рятувальних робіт в зоні надзвичайної ситуації на основі застосування безпроводових сенсорних мереж із мобільними сенсорами, телекомунікаційних наземних вузлів та аероплатформ і ефективного управління ними із одночасним забезпеченням структурно-функціональної зв'язності мобільних сенсорів в умовах їх швидкого та непередбачуваного переміщення.

Розроблено **нові та удосконалені методи та протоколи взаємодії сенсорних вузлів** у безпроводовій сенсорній мережі із мобільними сенсорами (БСММС) на різних рівнях моделі OSI з урахуванням принципів побудови багаторівневої адаптивної БСММС.

Розроблено **нові методи та алгоритми поєднання систем високошвидкісного цифрового радіообладнання на основі стандартів 802.11xx** для транспортної і

розподільчої компонент мережі зв'язку та модернізованого під потреби силових відомств проводового обладнання маршрутизації цифрових потоків, комутації та розподілу інформації. Завдяки цьому виникає можливість гнучкого конфігурування комбінованих проводово-безпроводових систем передачі інформації, та їх гнучкої перебудови відповідно до ситуаційних потреб та вимог.

Запропоновано методи та методики **визначення взаємної зв'язності сенсорних вузлів та шлюзів багаторівневої адаптивної БСММС** з урахуванням технічних характеристик їх приймально-передавачів та реальних топографічних умов оперативного ландшафту.

Запропоновано методи та методики **енергозбереження сенсорних вузлів**, обладнаних батареями електроживлення.

Запропоновані **рекомендації для протоколів** програмно-визначених радіосистем (SDR) шляхом використання покращених алгоритмів прийняття рішення щодо використання певної сигнально-кової конструкції (СКК) та виду модуляції, завадостійкого кодування, числа піднесучих OFDM.

Розроблено пропозиції щодо використання спеціалізованого під потреби силових відомств обладнання криптографічного захисту інформації в цифрових мережах, що забезпечить необхідний рівень захисту інформації від втручання сторонніх осіб у зміст передаваної інформації.

Результати апробації отриманих теоретичних та конструктивних пропозицій отримано на базі Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту, Інституту проблем математичних машин і систем НАН України, ПАТ НПО «ЕЛМІЗ».

(рос.)

Целью работы является разработка методологии и технических предложений по обеспечению надежной связью и своевременной и качественной информацией поисково-спасательных работ в зоне чрезвычайной ситуации на основе применения беспроводных сенсорных сетей с мобильными сенсорами, телекоммуникационными наземными узлами и аэроплатформами и эффективного управления ими с одновременным обеспечением структурно-функциональной связности мобильных сенсоров в условиях их быстрого и непредсказуемого перемещения.

В основу НИР положена научно-техническая идея, которая заключается в научном обосновании и разработке комплекса методов, алгоритмических и программных средств для реализации многоуровневой динамической архитектуры беспроводной сенсорной сети (БСС), все элементы которой являются мобильными. Реализация этой идеи основывается на утверждении о том, что получение оперативной информации должно осуществляться за минимальное время о событиях, происходящих в зоне чрезвычайной ситуации (состояние оперативного ландшафта, направления поиска и пути спасения, расположение потерпевших и объектов опасности, приоритетность оказания помощи, тенденции развития чрезвычайной ситуации, сопровождение и защиту спасателей и медицинского персонала, локализация мародеров и их обезвреживания, восстановление связи и недопущения паники). Система будет состоять из нескольких уровней: первый уровень - мобильная сеть беспроводных мультисенсорным платформ воздушного базирования - летающих дронов, которые образуют адаптивную сеть поставок первичной информации; второй уровень представляет собой сети телекоммуникационных аэроплатформ (ТА), предназначенные для сбора и последующей обработки информации из сети низкого уровня и управления ею, а также для связи с телекоммуникационными наземными узлами или непосредственно с центром управления чрезвычайной ситуацией.

Усовершенствованы и разработаны новые методы и протоколы взаимодействия сенсорных узлов в беспроводной сенсорной сети с мобильными сенсорами (БССМС) на разных уровнях модели OSI с учетом принципов построения многоуровневой адаптивной БССМС.

Разработаны **новые методы и алгоритмы объединения систем высокоскоростного цифрового радиооборудования** на основе стандартов 802.11xx для

транспортной и распределительной компонент сети связи, а также **модернизированного** под нужды силовых ведомств **проводного оборудования** маршрутизации цифровых потоков, коммутации и распределения информации. Благодаря этому появляется возможность гибкого конфигурирования комбинированных проводно-беспроводных систем передачи информации и их гибкой перестройки в соответствии с ситуационными потребностями и требованиями.

Предложены методы и методики **определения взаимной связности сенсорных узлов и шлюзов** многоуровневой адаптивной БСММС с учетом технических характеристик их приемо-передатчиков и реальных топографических условий оперативного ландшафта.

Предложены методы и методики **энергосбережения сенсорных узлов**, оборудованных батареями электропитания.

Предложенные **рекомендации для протоколов** программно-определяемых радиосистем (SDR) путем использования улучшенных алгоритмов принятия решения об использовании определенной сигнально-кодовой конструкции (СКК) и вида модуляции, помехоустойчивого кодирования, числа поднесущих OFDM.

Разработаны предложения по использованию специализированного под нужды силовых ведомств оборудования криптографической защиты информации в цифровых сетях, что обеспечит необходимый уровень защиты информации от вмешательства посторонних лиц в содержание передаваемой информации.

Результаты апробаций полученных теоретических и конструктивных предложений получены на базе Украинского научно-исследовательского института гражданской обороны, Института проблем математических машин и систем НАН Украины, ПАО НПО «ЭЛМИЗ».

(англ.)

The Goal of the research work is to develop methodology and technical proposals for providing reliable communication and timely and high-quality information of search and rescue works in the emergency area on the basis of the use of wireless sensor networks with mobile sensors, telecommunication ground nodes and aero platforms and their efficient management while providing structures-functional connectivity of mobile sensors in conditions of their fast and unpredictable movement.

The research is based on scientific and technical idea, which consists in the scientific substantiation and development of a set of methods, algorithmic and software tools for realization of multilevel dynamic architecture of wireless sensor network (WSN), all elements of which are mobile. The realization of this idea is based on the statement that the receipt of the operative information should be carried out in a minimum time about the events occurring in the emergency area (state of the operational landscape, directions of search and ways of rescue, location of the victims and objects of danger, priority of rendering of assistance, trends of emergency, support and protection of rescuers and medical personnel, localization of looters and their neutralization, restoration of communication and prevention of panic). The system will consist of several levels: the first level - a mobile network of wireless multisensor platforms of airborne platforms - flying drones, which form an adaptive network of primary information supply; The second tier is the Telecommunication Aerial Platforms (TAs) designed to collect and subsequently process and manage information from the lower tier network, as well as to communicate with telecommunication ground nodes or directly with the Emergency Management Center.

New and improved methods and protocols for the interaction of sensor nodes in the wireless sensor network with mobile sensors (WSNMS) at different levels of the OSI model, taking into account the principles of building a multi-level adaptive WSNMS, is developed.

New methods and algorithms for combining high-speed digital radio equipment based on 802.11xx standards for transport and distribution components of the communication network and upgraded for the needs of power departments of wired equipment of digital flow routing, switching and information distribution have been developed. This makes it possible to flexibly

configure combined wired and wireless information transmission systems and to adapt them flexibly to suit your needs and requirements.

Methods and techniques for **determining the interconnectivity of sensor nodes and gateways** of multilevel adaptive WSNMS are proposed, taking into account the technical characteristics of their transceivers and the actual topographic conditions of the operational landscape is suggested.

Methods and techniques of **energy saving of sensor units** equipped with power batteries are proposed.

Recommendations for software-defined radio systems (SDR) protocols are proposed by using advanced decision-making algorithms for the use of a particular signal-code structure (SCS) of modulation type, noise-coding, OFDM subcarrier number.

Proposals have been developed on the use of specialized cryptographic information security equipment for use in digital networks, which will provide the necessary level of protection of information against the interference of third parties in the content of transmitted information.

The results of the approbations of the received theoretical and constructive proposals were made on the basis of the Ukrainian Research Institute of Civil Defense, the Institute of Problems of Mathematical Machines and Systems of NAS of Ukraine, PJSC SIA "ELMIZ".

4. **Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

- Патент України на корисну модель: «Спосіб вибору завадостійкого коду за критерієм максимального наближення до границі Шенона» № UA-112916-U від 10.01.2017 / Автор: Уривський Л.О.
<http://uapatents.com/12-112916-sposib-viboru-zavadostijjkogo-kodu-za-kriteriehm-maksimalnogo-nablizhennya-do-granici-shenona.html>
- Патент України на корисну модель: «Спосіб досягнення максимальної продуктивності в дискретному каналі зв'язку із завадостійким кодуванням» № UA-117164-U від 26.06.2017 / Автори: Вергун С.Н., Мошинська А.В., Осипчук С.О., Пешкін А.М., Уривський Л.О..
<http://uapatents.com/10-117164-sposib-dosyagnennya-maksimalno-produktivnosti-v-diskretnomu-kanali-zvyazku-iz-zavadostijkim-koduvannyam.html>
- Патент України на корисну модель № 130356 «Спосіб визначення координат сенсорів бездротової сенсорної мережі» Автори: Лисенко О.І., Цуканов О.Ф., Якорнов Є.А., Новіков В.І. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.12.2018.
https://vkursi.pro/Card/Patents?patentNumber=130356_2
- Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір № 79720 від 13.06.2018 р. «Комп'ютерний програмний код для IoT девайсів на базі ESP8266 з використанням трьох датчиків» Автори: Уривський Л.О., Осипчук С.О., Осипчук І.С., Чекунов Н.В., Киращук В.В.

5. **Порівняння зі світовими аналогами.**

Розробка відповідає світовому рівню. Вперше у світі запропоновано методи інтелектуального управління безпроводовими сенсорними мережами із мобільними сенсорами, телекомунікаційними наземними вузлами та, адаптивного оптимального та квазіадаптивного управління

В НДР досягається підвищення безпеки та обороноздатності країни завдяки створенню вдосконаленої системи передачі інформації із транспортною і розподільчою компонентами на основі стандартів безпроводового зв'язку IEEE 802.11xx, цифрових засобів розподілу інформації та вдосконалення алгоритмів їх функціонування, організації транспортної компоненти мережі із можливістю гнучкого її конфігурування на основі

організації безпроводових ліній передачі, ретрансляції на основі кількох ліній точка-точка і розподілом потоків інформації в точках ретрансляції. Результати НДР є новими, що достатньо обґрунтовано порівнянням зі світовими аналогами, а саме – реалізація протоколів «розумного радіозв'язку» (Software Defined Radio – SDR), використання типового, спеціалізованого під потреби силових відомств, обладнання криптографічного захисту інформації в цифрових мережах.

6. Економічна привабливість для просування на ринок (*вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники*).

Результати роботи сприятимуть створенню нових макетних зразків вузлів адаптивних БСМ, а також експериментальних зразків інтелектуальних роботизованих платформ для базування та доставки сенсорів в район моніторингу. Можливими користувачами результатів НДР можуть бути: Міністерство оборони України; Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Міністерство екології та природних ресурсів України, вищі учбові заклади Міністерства освіти і науки України, зокрема КПІ імені Ігоря Сікорського.

Потенційні замовники та їх зацікавлення у використанні результатів, що підтверджується офіційним листом з зазначенням можливих обсягів та термінів впровадження:

- Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Планується на 2020-2021 р.р. розробка технічної документації для виготовлення експериментальних мобільних сенсорів та зразків модулів бортового обладнання ТА для підтримання інформаційного обміну із мобільними сенсорами. Можливий обсяг впровадження – 300 тис. грн.
- Інститут проблем математичних машин і систем НАН України. Планується на 2020-2022 р.р. розробка технічної документації для виготовлення експериментальних зразків БСМ для моніторингу параметрів навколишнього середовища поблизу небезпечних техногенних та промислових об'єктів. Можливий обсяг впровадження – 300 – 400 тис. грн.

7. Потенційні користувачі (*галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації*).

Використання результатів НДР можливе для вирішення задач Міністерства оборони України (спостереження за боєм, оцінка збитків від протистоянь, дистанційний моніторинг стану здоров'я та боєздатності особового складу військових підрозділів Збройних Сил України, стан і наявність обладнання та боєприпасів на полі бою, орієнтація на місцевості), Державної прикордонної служби України (покращення контролю та охорони державного кордону, берегової лінії та морських акваторій України), в системі авіаційного пошуку і рятування Державної служби України з надзвичайних ситуацій (для оперативного моніторингу зони надзвичайної ситуації та організації зв'язку в мобільних наземних підрозділах при виконанні пошуково-рятувальних робіт) та ін.

8. Стан готовності розробки (*лабораторний або промисловий зразок, технічна документація, бізнес-план, готова до впровадження*).

Результати НДР використовуються спільно з Українським науково-дослідним інститутом цивільного захисту Державної служби України з надзвичайних ситуацій у рамках виконання робіт за договором про співпрацю №17-2003 від 25 грудня 2013 р. для макетування процесів конфігурації мереж зв'язку із використанням сучасних протоколів.

9. Існуючі результати впровадження.

Реалізовано Ліцензію на використання Патенту на корисну модель № UA-117164-U от 26.06.2017 «Спосіб досягнення максимальної продуктивності в дискретному каналі

зв'язку із завадостійким кодуванням» на користь ПАТ «Елміз» (Договор № Пп17-2 від «24» жовтня 2017 р., 16 000 грн.).

Виготовлено експериментальний зразок фрагменту радіолінії з використання обладнання стандарту 802.11a та 802.11n діапазонів 5ГГц та 2ГГц з підключення користувачьких ПК (Протокол № 1 від 20.09.2019 р.)

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІТС, НДІ Телекомунікацій,
пров. Індустріальний, 2, м. Київ, 03057,
тел.: (044) 204-98-10. Email: Leonid_uic@ukr.net.

11. Фото (обов'язково) або кілька слайдів презентації з фото розробки в електронному вигляді (рекламного характеру). Якщо фото надається окремим файлом, бажано використовувати JPEG формат.

Фото з місця випробувань

Вузол Б, Київ, вул. Польова, 19/8: в даній зоні знаходидись 4 кінцевих клієнта мережі, зокрема 1 використовується для тестування VoIP зв'язку, 1 для Vlynk IoT, та ноутбук з серверною частиною ПЗ iperf для тестування трафіку і швидкостей в мережі. Нафото мачти видно прийомопередавачі точка-точка та точка-багатоточка.



На фото нижче показано автономне живлення засобів безпроводового зв'язку та маршрутизатор для підключення прийомопередавачів точка-точка і точка-багатоточка:

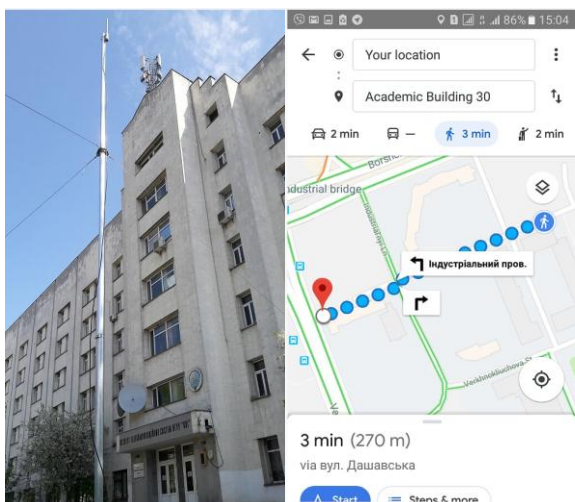


Вузол А за адресою Польова, 19/8: в даній зоні було 2 кінцевих клієнта мережі, зокрема 1 використовується для тестування VoIP зв'язку, та ноутбук з Vlynk-сервером та

VoIP-сервером, сервер Apache та клієтська частина ПЗ iperf для тестування трафіку і швидкостей передавання даних в мережі.



Аналіз віддалення кінцевого абонента від точки доступу сайтів А і Б показав, що максимальне віддалення абонента від БС можливе на відстань 270м, після чого зв'язок між абонентським терміналом та БС переривається:



В той же час, для високошвидкісного зв'язку такий результат є цілком прийнятним, та дає можливість будувати безпроводову мережу на основі компонент точка-точка та точка-багатоточка довільної конфігурації та з покриттям як завгодно великої необхідної території/

Отже, спроектовано, розгорнуто та проведено дослідження параметрів автономної мережі зв'язку "точка-точка" оперативного розгортання подвійного призначення в польових умовах та налаштування безпроводових зон зв'язку виду «точка-багатоточка» з інфокомунікаційними компонентами в кінцевих вузлах мережі на основі стандартів IEEE 802.11xx.

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (вагомі монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації).

1. Л.О.Уривський, С.О. Осипчук. Концептуальные аспекты организации IoT сетей в Украине / Научные технологии в инфотелекоммуникациях: обработка информации, кибербезопасность, информационная борьба. **Монография**. Под общ. ред. В.М. Безрук, В.В. Баранник. - Харьков: Харьков: ФОП Бровін О.П., 2018. – с. 89-112.
2. L. Uryvsky, A. Moshynska, S.Osypchuk „Productivity Increase of Multiservice Duplex System Using the DVB-T2 Standard/ The Actual Problems of the World Today/ **Monograph**. – London, SCIENCE (2019) – pp. 279-296.
3. L. Uryvsky, A. Moshynska, S.Osypchuk, B. Shmihel Comparison of methods for determining noise immunity indicators of a multiservice transmission system / Advances in Information and Communication Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. / **Monograph**. Springer, Cham, 2019 – p.p. 167-185. <https://www.springer.com/gp/book/9783030167691>
4. L. Uryvsky, V.Solyanikova. Research of the Control Algorithms for a State of Duplex Communication Channel in the Conditions of Multipath/ Advances in Information and Communication Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. / **Monograph**. Springer, Cham, 2019- p.p. 186-204. <https://www.springer.com/gp/book/9783030167691>
5. Уривський Л.О. Методи та засоби забезпечення пропускної здатності та безпеки інфокомунікаційних систем в умовах динамічного середовища/ Забезпечення функціональної безпеки критичних інформаційно-керуючих систем / **Монографія**. – Харків: Константа, 2019. – 272 с.
6. Ильченко, М.Е., Назаренко О.И., Уривський Л.О., Мошинська А.В. **Англо-український словник** аббревіатур «Супутникові телекомунікації»/ **Інформаційний ресурс** (елемент) дистанційного курсу «Радіорелейні та супутникові системи»]: для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіоелектроніка»/ Електронні текстові дані (1 файл: 2, 0 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 128 с. <https://do.ipk.kpi.ua/course/index.php?categoryid=228>
7. Ilchenko, M.Y., Developing Telecommunication Strategies Based on Scenarios in the Information Community / Ilchenko, M.Y., Uryvsky, L.A., Moshinskaya, A.V. // Cybernetics and Systems Analysis. November 2017, Volume 53, Issue 6, pp. 905–913. **Scopus** <https://doi.org/10.1007/s10559-017-9992-9>
8. Zakharov, A. V. Stripline bandpass filters with alternating coupling coefficients / A. V. Zakharov, M.Y. Ilchenko, O. Lysenko, L.S. Pinchuk // Radioelectronics and Communications Systems. – 2017. - V. 60, № 4. - С. 173-180 **Scopus** <http://radioelektronika.org/article/view/S0735272717040033>
9. Uryvsky, L.A Comparison of methods for determining noise immunity indicators of a multiservice transmission system / Uryvsky, L.A., Moshynska, A.V., Osypchuk, S.A., Shmihel, B.O. // Lecture Notes in Electrical Engineering. [Advances in Information and Communication Technologies](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_8) pp 167-185 **Scopus**. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_8
10. Uryvsky, L Research of the control algorithms for a state of duplex communication channel in the conditions of multipath / Uryvsky, L., Osypchuk, S., Solyanikova, V. // Lecture Notes in Electrical Engineering. [Advances in Information and Communication Technologies](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_9) pp 186-204. **Scopus**. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_9

11. Lysenko, A. Monitoring System and Fixed Communication on the Basis of Nanosatellites / A. Lysenko, V. Yavisiya, I. Alekseeva, A. Tureichuk // 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 - Proceedings. – 2019. - C. 132 – 134 **Scopus**. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8632097>
12. Tachinina, O.M. Algorithm of Stabilization of UAV on a Given Trajectory of Motion with Allowance for Possible Retargeting/ O.M. Tachinina, >O.I. Lysenko<, >I.V. Alekseeva<, A.M. Tureichuk // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control, MSNMC 2018 - Proceedings. – 2018. - C. 132 – 134 **Scopus**. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8576272>
13. Tachinina, O.M. Algorithm for Operational Optimization of Two-Stage Hypersonic Unmanned Aerial Vehicle Branching Path / O.M. Tachinina, >O.I. Lysenko<, >I.V. Alekseeva< // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control, MSNMC 2018 - Proceedings. – 2018. - C. 11 – 15 **Scopus**. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8576319>
14. Tachinina, O.M. Path constructing method of unmanned aerial vehicle / O.M. Tachinina, O.I. Lysenko, I.V. Alekseeva // 2017 IEEE 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2017 - Proceedings. – 2018. - C. 254 – 258 **Scopus**. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8308823>
15. Tachinina, O.M. Algorithm of smart prompter for operator of UAVs group / O.M. Tachinina, O.I. Lysenko, >I.V. Alekseeva // 2017 IEEE 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2017 - Proceedings. – 2018. - C. 250 – 253 **Scopus**. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8308822>
16. Uryvsky, L.A. Applied research of modulation-coding schemes selection algorithms effectiveness in 802.11 equipment / Uryvsky, L.A., Moshynska, A.V., Osypchuk, S.A. // 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings. **Scopus**. DOI: [10.1109/INFOCOMMST.2017.8246427](https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246427)
17. Uryvsky, L.A. Efficiency analysis of signal-code sequences selection algorithms on IEEE 802.11 equipment / Uryvsky, L.A., Moshynska, A.V., Osypchuk, S.A. // 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings. **Scopus**. DOI: [10.1109/AIACT.2017.8020090](https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020090)
18. Uryvsky, L. Assessment of information efficiency of error-correcting codes in Plotkin bound / Uryvsky, L., Pieshkin, A. // 2nd International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2017 – Proceedings. **Scopus**. DOI: [10.1109/UkrMiCo.2017.8095413](https://doi.org/10.1109/UkrMiCo.2017.8095413)
19. Uryvsky, L.A. Analysis of digital signal quality indicators based on analytic and stochastic modeling / Uryvsky, L.A., Moshynska, A.V., Osypchuk, S.A. // 2nd International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2017 – Proceedings. **Scopus**. DOI: [10.1109/UkrMiCo.2017.8095414](https://doi.org/10.1109/UkrMiCo.2017.8095414)
20. Empirical and analytical energy thresholds of Modulation-Coding Schemes research in IEEE 802.11n devices / Ilchenko, M.Y., Uryvsky, L.A., Moshynska, A.V., Osypchuk, S.A. // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018 – Proceedings. **Scopus**. DOI: [10.1109/TCSET.2018.8336361](https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336361)
21. Пешкін А. М. Формування сигнально-кодових конструкцій на основі кодів, забезпечуючих максимальне наближення до границі Шеннона : дисс. канд. техн. наук: 05.12.02– Телекомунікаційні системи та мережі / А. М. Пешкін. - К., 2018. Захищено в 2018 р
22. Тачиніна О. М. Методи синтезу оптимального керування детермінованими складеними динамічними системами із розгалуженими траєкторіями руху: дисс. докт. техн. наук: 05.13.03 – Системи та процеси керування / О. М. Тачиніна. - К., 2018. Захищено в 2018 р.

13. Надати ключові слова до розробки

Безпроводові сенсорні мережі із мобільними сенсорами, телекомунікаційні наземні вузли, телекомунікаційні аероплатформи, стандарт іеее 802.11, sdr, лабораторні дослідження, польові випробування, адаптивний алгоритм вибору сигнально-кової конструкції.