

Науково-технічні засади побудови нових систем загоризонтного зв'язку із використанням ретрансляційних аероплатформ та штучних утворень

Научно-технические основы построения новых систем загоризонтной связи с использованием ретрансляционных аероплатформ и искусственных образований

Scientific and technical basis for the construction of new over-the-horizon communication systems using relay air platforms and artificial formations

1. Номер державної реєстрації - 0118U003521.

2. Науковий керівник: д.т.н., проф. Кравчук Сергій Олександрович, Кравчук Сергей Александрович, Kravchuk Serhii Olexandrovich.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.) Головним результатом є розробка концепції науково-технічних засад створення нових високошвидкісних систем загоризонтного зв'язку із змінною архітектурою із використанням опорних станцій тропосферного зв'язку і ретрансляційних інтелектуальних аероплатформ та штучних утворень. Концепція базується на застосуванні нових технологій когнітивного і програмно-визначуваного радіо, кооперативної ретрансляції, M2M, цифрової обробки сигналів, підтримки високоефективних методів адаптації до зміни умов роботи, які виникають як внаслідок складних замирань, так і внаслідок структурної організації телекомунікаційних систем 4-го та 5-го поколінь.

При цьому, зокрема, отримано наступне: структурно-функціональні принципи побудови нових гетерогенних систем загоризонтного зв'язку, структуризація об'єктів та вузлів такої системи; структурно-функціональні принципи побудови системи самоорганізації та групової взаємодії аероплатформ в сузір'ї (рої) із урахуванням підходів M2M; технічні вимоги до обладнання вузлів СЗЗ; математичні моделі пропускну здатності та завадозахищеності каналів СЗЗ, архітектура яких підтримує системну багаторівневість, ретрансляцію та mesh-структуризацію; результати досліджень специфічних закономірностей тропосферного розсіяння на неоднорідностях атмосфери та на штучних утвореннях з метою визначення меж можливого розширення робочих смуг частот радіоканалів та способів боротьби з добовими інверсіями шарів тропосфери; шляхи та методи залучення штучних пасивних завод в тропосфері для направленої відбивання радіосигналу наземної станції з метою створення ретрансляційної радіолінії великої протяжності; методи підвищення енергетичної і спектральної ефективності цифрових систем зв'язку на малих аероплатформах.

(рос.) Главным результатом является разработка концепции научно-технических основ создания новых высокоскоростных систем загоризонтной связи (СЗЗ) с изменяемой архитектурой с использованием опорных станций тропосферной связи и ретрансляционных интеллектуальных аероплатформ и искусственных образований. Концепция базируется на применении новых технологий когнитивного и программно-определяемого радио, кооперативной ретрансляции, M2M, цифровой обработки сигналов, поддержки высокоэффективных методов адаптации к изменению условий работы, которые возникают как в результате сложных замираний, так и вследствие структурной организации телекоммуникационных систем 4-го и 5-го поколений.

При этом, в частности, получено следующее: структурно-функциональные принципы построения новых гетерогенных систем загоризонтной связи, структуризация объектов и узлов такой системы; структурно-функциональные принципы построения системы самоорганизации и группового взаимодействия аероплатформ в созвездии с учетом

подходов M2M; технические требования к оборудованию узлов СЗЗ; математические модели пропускной способности и помехозащищенности каналов СЗЗ, архитектура которых поддерживает системную многоуровневость, ретрансляцию и mesh-структуризацию; результаты исследований специфических закономерностей тропосферного рассеяния на неоднородностях атмосферы и на искусственных образованиях с целью определения границ возможного расширения рабочих полос частот радиоканалов и способов борьбы с суточными инверсиями слоев тропосферы; пути и методы привлечения искусственных пассивных помех в тропосфере для направленного отражения радиосигнала наземной станции с целью создания ретрансляционной радиолинии большой протяженности; методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровых систем связи на малых аэроплатформах.

(англ.) The main result is the development of the concept of scientific and technical foundations for the creation of new high-speed over-the-horizon communication systems (SPZ) with variable architecture using reference stations for tropospheric communication and relay intelligent air platforms and artificial formations. The concept is based on the use of new technologies of cognitive and software-defined radio, cooperative relaying, M2M, digital signal processing, support of highly effective methods of adaptation to changing working conditions that arise both as a result of complex fading and as a result of the structural organization of telecommunication systems of the 4th and 5th generation.

In this case, in particular, the following was obtained: structural and functional principles of building new heterogeneous over-the-horizon communication systems, structuring of objects and nodes of such a system; structural and functional principles of building a system of self-organization and group interaction of air platforms in the constellation, taking into account the M2M approaches; technical requirements for the equipment of the SPZ units; mathematical models of bandwidth and noise immunity of SPZ channels, the architecture of which supports system layering, retransmission and mesh-structuring; the results of studies of specific patterns of tropospheric scattering on atmospheric inhomogeneities and on artificial formations in order to determine the boundaries of a possible expansion of the operating frequency bands of radio channels and ways to combat daily inversions of tropospheric layers; ways and methods of attracting artificial passive interference in the troposphere for directional reflection of the radio signal of a ground station in order to create a long-range relay radio link; methods of increasing the energy and spectral efficiency of digital communication systems on small air platforms.

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

–Впровадження модифікації протоколу TCP в широкосмугових мережах радіодоступу / С.О. Кравчук, Д.А. Міночкін, А.В. Єрмаков, А.В. Кривошеїна // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 76886 від 15.02.2018 р.

–Патент на корисну модель UA № 136128, Бюл. № 15 від 12.08.2019, Цифровий модем для систем радіорелейного загоризонтного зв'язку / М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук, М.М. Кайденко, Д.В. Роскошний, Л.О. Афанасьєва, І.М. Кравчук. (МПК H04L 27/20, H04L 27/22)

–Патент на корисну модель UA № 140040, Бюл. № 3 від 10.02.2020, Система забезпечення зв'язку між двома радіорелейними станціями / М.Ю. Ільченко, Є.А. Якорнов, Г.Л. Авдєєнко, О.Ф. Цуканов (МПК H04B 7/14).

–Патент на корисну модель UA № 138430, Бюл. № 22 від 25.11.2019, Електромагнітна випромінююча система субтерагерцового діапазону / М.Ю. Ільченко, В.І. Корсун, Т.М. Наритник (МПК H05B 6/80).

–Патент на корисну модель UA № 136467, Бюл. № 16 від 27.08.2019, Приймальний пристрій імпульсних надширокосмугових сигналів з підвищеною завадостійкістю / М.Ю. Ільченко, В.І. Корсун, Т.М. Наритник (МПК H04L 27/34).

– Патент на корисну модель UA № 132739, Бюл. № 5 від 11.03.2019, Система визначення дальності до джерела радіовипромінювання в зоні Френеля / М.Ю. Ільченко, О.І. Лисенко, Є.А. Якорнов, Г.Л. Авдеєнко, О.Ф. Цуканов (МПК G01S 5/00).

– Патент на корисну модель UA № 135153, Бюл. № 12 від 25.06.2019, Мікросмужковий смугопр пропускаючий фільтр / О.В. Захаров, М.Ю. Ільченко, С.М. Літвінцев, Пінчук Л. С. (МПК H01P 1/203).

– Патент на корисну модель UA № 125314, Бюл. № 9 від 10.05.2018, Мікросмужковий фільтр / О.В. Захаров, М.Ю. Ільченко, С.О. Розенко, Пінчук Л. С. (МПК H01P 1/203).

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Загалом, наукова новизна роботи базується на використанні нових методів розв'язання поставлених завдань проекту через застосування нових оригінальних підходів, алгоритмів і моделей та технічних рішень, більшість з яких до теперішнього часу не застосовувалась і тому не мають аналогів у світі.

Відповідність результатів роботи світовому рівню підтверджують, зокрема, наступні положення. Розробка структурно-функціональних принципів побудови нових гетерогенних систем загоризонтного зв'язку, структуризація об'єктів та вузлів такої системи є подальшим розвитком науково-технічних принципів створення сучасних високоефективних телекомунікацій. Результати досліджень специфічних закономірностей тропосферного розсіяння на неоднорідностях атмосфери та на штучних утвореннях з метою визначення меж можливого розширення робочих смуг частот радіоканалів та способів боротьби з добовими інверсіями шарів тропосфери, дослідження шляхів та методів залучення штучних пасивних завад в тропосфері для направленою відбивання радіосигналу наземної станції з метою створення ретрансляційної радіолінії великої протяжності Одним із важливих положень даних досліджень стала розробка нової моделі тропосферного розсіяння на основі техніки трасування променів Ray tracing.

Все це підтверджує інноваційну новизну і світовий рівень результатів даної роботи.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Необхідне проведення ДКР на суму 3...7 млн. грн., впровадження на підприємстві (наприклад «Меридіан») – відпрацювання технологій виробництва -ще на суму 4 млн. грн. Окупність очікується за 3-5 років.

7. Потенційні користувачі.

Потенційними користувачами можуть бути вітчизняні та закордонні підприємства радіотехнічного і телекомунікаційного профілю, науково-дослідні та проектно-конструкторські організації при створенні нових систем, комплексів та засобів зв'язку в мікрохвильовому діапазоні довжин хвиль. Також, Міністерство освіти і науки України, вищі навчальні заклади при підготовці фахівців та наукових кадрів телекомунікаційного профілю.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені та виготовлені макети обладнання, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо ефективного застосування експериментального обладнання. Можлива розробка дослідно-промислових зразків нового устаткування, які повністю адаптовані до існуючого основного силового обладнання і можуть бути впроваджені у промислове виробництво.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи були впроваджені в ВАТ "Меридіан" ім. С.П. Корольова при створенні вітчизняного БПЛА "Spectator" та в НВП "Сінко" при створенні приймально-передавального обладнання різного призначення.

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, науково-дослідний інститут телекомунікацій, (044) 204-83-13, sakravchuk@ukr.net

11. Фото



Зображення зависання квадрокоптера із модулем ADALM-Pluto Radio



Зависання рою дронів на висоті 10...15 м

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання .

Монографії:

–Advances in Information and Communication Technologies. Processing and Control in Information and Communication Systems. UKRMICO 2018. Eds: M. Ilchenko, L. Uryvsky, L. Globa. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. Springer, Cham, 2019 – 300 p. (DOI: 10.1007/978-3-030-16770-7).

–Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 152. Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds), Springer, Cham. (<https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0>).

–Досягнення в телекомунікаціях 2019 / за наук. ред. М.Ю. Ільченка, С.О. Кравчука: монографія. – К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. – 336 с. (ISBN 978-617-7734-12-2) // Advanced in the telecommunications 2019: monograph / by edited M.Y. Ilchenko, S.O. Kravchuk, Kyiv, 2019, 336 p. (ISBN 978-617-7734-12-2) (реком. Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського прот. № 10 від 04.11.2019 р.)

Підручник:

Поширення радіохвиль в зоні покриття безпроводових мереж зв'язку. Теоретичні основи та приклади розв'язання задач [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. С.О. Кравчук, Л.О. Афанасьєва, Д.А. Міночкін, І.М. Кравчук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 107 с. – Назва з екрана. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36935>).

Статті в Сконус:

–Zakharov A., Ilchenko M. Circuit Function Characterizing Tunability of Resonators // IEEE Transactions on Circuits and Systems I. – 2020. -Volume: 67, Issue: 1. – p. 98 – 107 (DOI: 10.1109/TCSI.2019.2940066)

–Zakharov A., Ilchenko M. Coupling Coefficients Between Resonators in Stripline Compline and Pseudocompline Bandpass Filters // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2020. – Volume: 68, Issue: 7. – p. 2679 – 2690 (DOI: 10.1109/TMTT.2020.2988866).

–Ilchenko M., Kravchuk S., Kaydenko M. Combined Over-the-Horizon Communication Systems // In: Advances in Information and Communication Technologies. Processing and Control in Information and Communication Systems. UKRMICO 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. Springer, Cham, 2019 - P. 121-145. DOI: 10.1007/978-3-030-16770-7 (https://doi.org/10.1007/978-3-030-16770-7_6)

–Afanasieva L., Kravchuk S. Wireless Systems with New Cooperative Relaying Algorithm // In: Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 152. Springer, Cham., pp. 274-288 (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_15

–Kaidenko M., Kravchuk S. Autonomous Unmanned Aerial Vehicles Communications on the Base of Software-Defined Radio // In: Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 152. Springer, Cham. pp. 289-302 (2019) https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_16

–Zakharov A.V., Ilchenko M. Varactor-Tuned Microstrip Bandpass Filter with Loop Hairpin and Compline Resonators // IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs. Published 1.10.2018. DOI: 10.1109/TCSII.2018.2873227.

–Zakharov A.V., Ilchenko M. Two types of trisection bandpass filters with mixed cross-coupling // IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett, vol. 28, no. 7, pp. 585-587, Jul.2018. DOI: 10.1109/LMWC.2018.2837905.

–Zakharov A.V., Ilchenko M.E. Mixed Coupling on Stripline and Microstrip Bandpass Filters // Journal of Communications Technology and Electronics, 2018, Vol. 63, No. 6, pp. 596–606. DOI: 10.1134/S1064226918060268.

–Zakharov A., Ilchenko M. Unloaded Quality Factor of Transmission Line Resonators With Capacitors // IEEE Transactions on Circuits and Systems I. – 2020. – Volume: 67, Issue: 7. – p. 2204 – 2215 (DOI: 10.1109/TCSI.2020.2971112)

–Kravchuk S., Afanasieva L. "Best" relay selection algorithm for wireless networks with cooperative relaying // IEEE 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 9-13 Sept. 2019, p. 1-4. (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165410).

–Kaidenko M., Kravchuk S. Creation of communication system for unmanned aerial vehicles using SDR and SOC technologies // IEEE 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 9-13 Sept. 2019, p. 1-4. (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165422)

–Ilchenko M., Uryvsky L. World trends of modern information and telecommunication technologies development // IEEE 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) (DOI: 10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165461)

Φαxοοι cμαmmi:

–Troposcatter communication link model based on ray-tracing / M. Ilchenko, S. Kravchuk, D. Minochkin, L. Afanasieva // Information and Telecommunication Sciences. - 2018. - No 2. - 15-20 p. DOI: https://doi.org/10.20535/2411-2976.22018.15-20

–Kravchuk S., Afanasieva L. Formation of a wireless communication system based on a swarm of unmanned aerial vehicles // Information and Telecommunication Sciences. - 2019. - No 1. - 11-18 p. DOI: https://doi.org/10.20535/2411-2976.12019.11-18

–Kravchuk S., Afanasieva L. Wireless cooperative relaying without maintaining a direct connection between the source and target receiver terminals // Information and Telecommunication Sciences. - 2019. – Vol. 10, No 2. - 5-11 p.

–Testing of the drone swarms as a communication relay system, S. Kravchuk, M. Kaidenko, L. Afanasieva, I. Kravchuk, Information and Telecommunication Sciences, Vol. 11, Number 1, pp. 92-101 (2020) (DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.92-101>).

–M. Pchenko, S. Kravchuk, Mobile infocommunication systems, Information and Telecommunication Sciences, Vol. 11, Number 1, pp. 11-19 (2020), (DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.11-19>)

–Кравчук С.О., Кравчук І.М., Явіся В.С. Формування системної структури підготовки кадрів телекомунікаційного профілю: розділ в кн. Досягнення в телекомунікаціях 2019 / за наук. ред. М.Ю. Ільченка, С.О. Кравчука. – К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. – С. 38-55.

–Міночкін Д.А., Кравчук С.О. Використання необробленої навігаційної інформації в операційній системі Android: розділ в кн. Досягнення в телекомунікаціях 2019 / за наук. ред. М.Ю. Ільченка, С.О. Кравчука. – К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. – С. 108-133.

–Ільченко М.Ю., Кравчук С.О., Кайденко М.М. Системи загоризонтного зв'язку: розділ в кн. Досягнення в телекомунікаціях 2019 / за наук. ред. М.Ю. Ільченка, С.О. Кравчука. – К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. – С. 182-199.

–Кравчук С.О., Афанасьєва Л.О., Кравчук І.М., Міночкін Д.А. Телекомунікаційні сервіси для віддалених поселень – критичні телекомунікації: розділ в кн. Досягнення в телекомунікаціях 2019 / за наук. ред. М.Ю. Ільченка, С.О. Кравчука. – К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. – С. 200-219.

Дисертації:

кандидатська дисертація: «Методи розрахунку пропускну здатності та продуктивності гілок мережі MPLS при обслуговуванні голосових повідомлень» В. Б. Маньківського за спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі». Захист дисертаційної роботи відбувся 22.01.2018 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.002.14 у КПІ ім. І. Сікорського;

докторська дисертація «Стратегії передачі інформації в мультисервісних телекомунікаційних системах» А. В. Мошинської за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі». Захист дисертаційної роботи відбувся 21.09.2020 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.002.14 у КПІ ім. І. Сікорського.

13. Надати ключові слова до розробки

Системи загоризонтного зв'язку, тропосферне розсіювання, безпілотний літаючий апарат, штучні утворення, завадостійкість, пропускна здатність