27.11.2025

REVIEW

on the PhD thesis
“Improving node localization accuracy and data transmission efficiency in wireless sensor networks using machine learning”
by Zholamanov Batyrbek
Department of Electronics and Astrophysics
Al-Farabi Kazakh National University

The research work of Zholamanov Batyrbek is devoted to one of the most relevant directions in modern Internet of Things (IoT) technologies - improving the accuracy of node localization in wireless sensor networks (WSN) based on LoRa technology, as well as enhancing the energy efficiency and reliability of data transmission in LoRaWAN networks under high-density node conditions. The research integrates machine learning methods, numerical modeling, and reinforcement learning algorithms, making the study interdisciplinary and fully aligned with current scientific trends.

The relevance of the study is determined by the widespread implementation of monitoring and control systems within the concepts of smart cities and smart buildings. The accuracy of indoor node localization and the stability of data transmission play a critical role in the development of scalable and energy-efficient IoT systems. Traditional RSSI-based localization methods are sensitive to environmental changes, require extensive measurement campaigns, and often do not provide sufficient accuracy. Moreover, the standard Adaptive Data Rate (ADR) mechanism in LoRaWAN exhibits reduced efficiency in high-density network environments. Therefore, the development of new approaches that combine ML-based models, radio-propagation simulations, and adaptive algorithms is both timely and highly significant.

The structure of the dissertation, as described in the annotation, covers three main research tasks: (1) modeling signal propagation and using obtained parameters to improve the accuracy of radio-map construction; (2) applying transfer learning to build RSSI radio-maps in new indoor environments while reducing the required amount of experimental data; (3) developing and investigating a reinforcement learning–based algorithm for optimal selection of transmission parameters in LoRaWAN networks. Each of these directions addresses relevant scientific challenges in the field of wireless sensor systems and contributes to the development of intelligent localization methods and data-transmission optimization techniques.

The author obtained the following significant scientific results. First, it was demonstrated that introducing the parameter "estimated distance", derived from signal-propagation modeling, increases the accuracy of radio-map construction by 3.75% compared to models based solely on RSSI. This result, confirmed by experimental data, highlights the importance of integrating numerical radio-environment characteristics into ML-based localization models. Second, a transfer learning method was implemented, enabling the construction of an RSSI radio-map in new

indoor environments while using only 20% of experimental data, with localization accuracy remaining above 91%. This outcome shows high practical value, as it substantially reduces the labor-intensity of deploying positioning systems. Third, a DDQN-PER algorithm was developed and investigated, resulting in a 17.2% increase in the LoRaWAN packet delivery ratio compared with the standard ADR. This result is particularly important for dense IoT networks, where the stability and energy efficiency of data transmission are critically significant.

The methods applied in the research - including numerical modeling, neural-network training, LoRaWAN simulation in NS-3, and reinforcement learning - correspond to modern trends in telecommunications and intelligent systems. The author demonstrates a deep understanding of machine-learning methods, strong modeling skills, and the ability to integrate various approaches to solve complex scientific problems.

The author's publication activity, which includes three papers in Q1-Q2 Web of Science and Scopus journals, confirms the high scientific quality of the obtained results and their recognition by the international academic community. It also indicates the author's experience in preparing scientific publications and presenting results at the international level. Overall, the research work of Zholamanov Batyrbek represents a completed scientific study containing significant results in the field of node localization and LoRaWAN network optimization. The research integrates theoretical originality, practical significance, and a well-structured implementation of all stages of the study.

I conclude that the work meets the established standards for conferring the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the field of "Radio Engineering, Electronics and Telecommunications," and I fully support granting the PhD degree to the author.

Yours faithfully,



Ömer Faruk Beyca

Associate Professor of Industrial Engineering
Faculty of Management, Istanbul Technical University
beyca@itu.edu.tr
+90 551 109 4103.

İTÜ

27.11.2025

ПІКІР

PhD диссертациясына

«Сымсыз сенсорлық желілерде машиналық оқытумен түйіндерді локализациялау дәлдігін және деректерді жіберу тиімділігін арттыру»

Жоламанов Батырбек
Электроника және астрофизика кафедрасы
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті

Жоламанов Батырбектің ғылыми зерттеу жұмысы қазіргі Заттар Интернеті (IoT) технологияларындағы ең өзекті бағыттардың біріне - LoRa технологиясына негізделген сымсыз сенсорлық желілерде (ССЖ) түйіндердің локализация дәлдігін арттыруға, сондай-ақ түйіндердің жоғары тығыздығы жағдайында LoRaWAN желілерінде деректерді жіберу сенімділігі мен энергия тиімділігін жақсартуға арналған. Зерттеу жұмысы машиналық оқыту әдістерін, сандық модельдеуді және күшейтілген оқыту алгоритмдерін біріктіреді және пәнаралық сипатқа ие әрі қазіргі ғылыми тенденцияларға толық сәйкес етеді.

Зерттеудің өзектілігі «ақылды қалалар» және «ақылды ғимараттар» тұжырымдамалары аясында мониторинг және басқару жүйелерінің кең көлемде енгізілуімен айқындалады. Ғимараттарда түйіндерді локализациялау дәлдігі мен деректерді жіберудің тұрақтылығы масштабталатын және энергия тиімді IoT жүйелерін дамытуда шешуші рөл атқарады. Дәстүрлі RSSI-ге негізделген локализация әдістері ортаның өзгеруіне өте сезімтал, кең көлемді өлшеу науқандарын талап етеді және көбінесе қажетті дәлдікті қамтамасыз етпейді. Сонымен қатар, LoRaWAN желісіндегі стандартты Adaptive Data Rate (ADR) механизмі түйіндер тығыз орналасқан жағдайда тиімділігін төмендетеді. Сондықтан машиналық оқыту әдістерін, радио толқындарының таралуын сандық модельдеуді және адаптивті алгоритмдерді біріктіретін жаңа тәсілдерді әзірлеу жоғары маңызға ие.

Аңдатпада сипатталғандай, диссертацияның құрылымы үш негізгі ғылыми міндетті қамтиды: (1) сигналдың таралуын модельдеу және алынған параметрлерді радиокартаның дәлдігін арттыру үшін қолдану; (2) жаңа бөлмелерде RSSI радиокартасын құру үшін трансферлік оқытуды пайдалану және қажетті эксперименттік деректер көлемін азайту; (3) LoRaWAN желілерінде оптималды жіберу параметрлерін таңдау үшін күшейтілген оқытуға негізделген алгоритмді әзірлеу және зерттеу. Аталған бағыттардың әрқайсысы сымсыз сенсорлық жүйелер саласындағы өзекті ғылыми мәселелерді шешеді және интеллектуалды локализация әдістері мен деректерді жіберу үдерісін оптимизациялау технологияларын дамытуға елеулі үлес қосады.

Автор төмендегідей маңызды ғылыми нәтижелерге қол жеткізді. Біріншіден, сигналдың таралуын модельдеу негізінде алынған «есептелген қашықтық» параметрін енгізу радиокартаны құру дәлдігін тек RSSI-ге ғана негізделген модельдермен салыстырғанда 3,75% арттыратыны көрсетілді. Эксперименттік деректермен расталған бұл нәтиже радиокартаның сандық сипаттамаларын машиналық оқытуға негізделген локализация модельдеріне енгізудің маңыздылығын дәлелдейді. Екіншіден, трансферлік оқыту әдісі іске асырылып, жаңа бөлмелерде

İTÜ

RSSI радиокартасын тек 20% эксперименттік деректерді пайдалана отырып құруға мүмкіндік береді, ал локализация дәлдігі 91%-дан жоғары деңгейде сақталды. Бұл нәтиже жүйелерді масштабтау барысында еңбек шығынын едәуір азайтатындықтан, жоғары практикалық маңызға ие. Үшіншіден, DDQN-PER алгоритмі әзірленіп, зерттелді және оның LoRaWAN желісінде стандартты ADR механизмімен салыстырғанда пакеттерді жеткізу коэффициентін 17,2% арттырғаны анықталды. Бұл нәтиже әсіресе түйіндер тығыз орналасқан IoT желілерінде деректерді жіберудің тұрақтылығы мен энергия тиімділігі үшін аса маңызды. Зерттеуде қолданылған әдістер - сандық модельдеу, нейрондық желілерді оқыту, NS-3 ортасында LoRaWAN желісін симуляциялау және күшейтілген оқыту - телекоммуникациялар мен интеллектуалды жүйелер саласындағы қазіргі ғылыми трендтерге толық сәйкес келеді. Автор машиналық оқыту тәсілдерін терең меңгергенін, жоғары деңгейдегі модельдеу дағдыларын және күрделі ғылыми мәселелерді шешу үшін әртүрлі әдістерді біріктіру қабілетін көрсетеді.

Автордың жариялanымдық белсенділігі - Web of Science және Scopus базаларындағы Q1-Q2 санатындағы үш ғылыми мақала - алынған нәтижелердің жоғары ғылыми деңгейін және олардың халықаралық академиялық қоғамдастық тарапынан мойындалғанын дәлелдейді. Бұл сондай-ақ автордың ғылыми мақалалар даярлау және нәтижелерді халықаралық деңгейде ұсыну тәжірибесінің бар екенін көрсетеді.

Жалпы, Жоламанов Батырбектің зерттеу жұмысы түйіндерді локализациялау және LoRaWAN желілерін оптимизациялау саласында елеулі нәтижелерге ие аяқталған ғылыми зерттеу болып табылады. Жұмыс теориялық жаңалықты, практикалық маңыздылықты және зерттеу кезеңдерінің жүйелі орындалуын үйлестіреді.

Диссертациялық жұмыс «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін беру талаптарына толық сәйкес келеді деп есептеймін және авторға PhD ғылыми дәрежесін беруді толық қолдаймын.

Құрметпен,

/қолы бар/

Омер Фарук Бейса
Өнеркәсіптік инжиниринг кафедрасының доценті
Менеджмент факультеті, Стамбул техникалық университеті
beyca@itu.edu.tr
+90 551 109 4103.