



ВЫПУСК №1(57) 2023

қаңтар-ақпан-наурыз, январь-февраль-март

ХАБАРШЫСЫ

МАНАШ ҚОЗЫБАЕВ АТЫНДАҒЫ СОЛТҮСТІК
ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІНІҢ

ВЕСТНИК

СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ МАНАША КОЗЫБАЕВА

ISSN 2958-003X (Print)
ISSN 2958-0048 (Online)
Индексі 74935
Индекс 74935

М. ҚОЗЫБАЕВ АТЫНДАҒЫ СҚУ
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК
СКУ ИМЕНИ М. КОЗЫБАЕВА

№ 1 (57)
қаңтар-ақпан-наурыз

Петропавл
2023

М. Қозыбаев атындағы СҚУ Хабаршысы
Вестник СКУ имени М. Козыбаева
Bulletin of the M. Kozybayev NKU

Басылымы I (LVII)

Выпуск I (LVII)

Volume I (LVII)

Жылына 4 рет басылып шығарылады

Выходит 4 раза в год

Published 4 times a year

Бас редактор

Шуланов Ерлан Нұрлыбекұлы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ Басқарма Төрағасы - Ректоры

Редакциялық алқа:

I. Жаратылыстану ғылымдары

Доскенова Бану Бейсеновна, жауапты хатшы, б.ғ.к., аға оқытушысы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Пашков Сергей Владимирович, г.ғ.к., математика және жаратылыстану ғылымдары факультетінің деканы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Поляков Владилен Васильевич, х.ғ.д., профессор, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Макаров Сергей Викторович, ф-м.ғ.д., профессор, Алтай мемлекеттік университеті (Барнаул, Ресей);

Вендт Ян, PhD докторы, профессор, Гданьск университеті (Гданьск, Польша).

II. Ауыл шаруашылығы ғылымдары

Тоқтар Мұрат, жауапты хатшы, PhD докторы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Шаяхметова Алтын Сейтахметқызы, а/ш.ғ.к., агротехнология факультетінің деканы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Сиволап Виктор Николаевич, а/ш.ғ.д., аға оқытушы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Ташев Александр Николов, PhD докторы, профессор, орман техникалық университеті (София, Болгария);

Го Дунвэй, PhD докторы, Солтүстік-Батыс университеті (Янлин, Қытай);

Кармело Даци, а/ш.ғ.д., профессор, Палермо университеті (Палермо, Италия);

Хань Цинь Фан, PhD докторы, Солтүстік-Батыс университеті (Янлин, Қытай);

Шань Вэйсинь, PhD докторы, Солтүстік-Батыс университеті (Янлин, Қытай);

Джузеппе Лю Папа, Ph. D., Палермо университеті (Палермо, Италия).

III. Әлеуметтік-гуманитарлық ғылымдар

Ибраева Акмарал Госмановна, жауапты хатшы, тарих ғылымдарының докторы, «Қазақстан тарихы және әлеуметтік-гуманитарлық пәндер» кафедрасының профессоры, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Алессандро Фигус, саяси ғылымдар кандидаты, PhD, профессор, Оңтүстік Лацио Кассино университеті ректорының кеңесшісі (Кассино, Италия);

Даржанова Мунира Шамсутдиновна, экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Каспий университеті (Алматы, Қазақстан);

Лыман Игорь Игоревич, тарих ғылымдарының докторы, профессор, Бердянск мемлекеттік педагогикалық университеті (Бердянск, Украина);

Мамедзаде Ильхам Рамиз Оглу, философия ғылымдарының докторы, профессор, Баку ғылым академиясы (Баку, Әзірбайжан);

Нефас Саулюс, әлеуметтану ғылымдарының докторы, профессор, Миколас Ромерис университеті (Вильнюс, Литва);

Патласов Олег Юрьевич, экономика ғылымдарының докторы, профессор, Омбы гуманитарлық академиясы (Омбы, Ресей);

Сандыбаев Жалғас Саудақасулы, философия ғылымдарының докторы, «Нұр Мұбарак» Египет ислам мәдениеті университеті (Алматы, Қазақстан);

Маликов Алексей Витальевич, «Қазақстан тарихы және әлеуметтік-гуманитарлық пәндер» кафедрасының аға оқытушысы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ.

IV. Педагогикалық ғылымдар

Нурпеисова Айгуль Хайртаевна, жауапты хатшы, PhD, «Педагогика және психология» кафедрасының аға оқытушысы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Добровольская Лиана Валерьевна, PhD, педагогикалық факультеті деканының м. а., М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Аморетти Гуидо, педагогика ғылымдарының докторы, профессор, Генуя университеті (Генуя, Италия);

Мурзалинова Алма Жакимовна, педагогика ғылымдарының докторы, «Педагогика және психология» кафедрасының профессоры, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Рогова Антонина Викторовна, педагогика ғылымдарының докторы, профессор, Забайкалье мемлекеттік университеті (Чита, Ресей);

Тагильцева Наталия Григорьевна, педагогика ғылымдарының докторы, профессор, Орал мемлекеттік педагогикалық университеті (Екатеринбург, Ресей);

Тастанбекова Куаныш, PhD, қауымдастырылған профессор, Жапон университеті (Цукуба, Жапония).

V. Техникалық ғылымдар

Демьяненко Александр Валентинович, жауапты хатшы, т.ғ.к., доцент, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;

Ивель Виктор Петрович, т.ғ.д., профессор, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;
Косых Анатолий Владимирович, т.ғ.д., профессор, Омбы мемлекеттік техникалық университеті (Омбы, Ресей);
Попов Андрей Юрьевич, т.ғ.д., профессор, Омбы мемлекеттік техникалық университеті (Омбы, Ресей);
Кошеков Кайрат Темирбаевич, т.ғ.д., профессор, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ (Алматы, Қазақстан);
Кузнецова Виктория Николаевна, т.ғ.д., доцент, Сібір мемлекеттік автомобиль-жол академиясы (Омбы, Ресей);
Савостин Алексей Александрович, т.ғ.к., профессор, М. Қозыбаев атындағы СҚУ.

VI. Филология ғылымдар

Дроботенко Юлия Борисовна, педагогика ғылымдарының докторы, ОмМПУ шет тілдері кафедрасының профессоры (Омбы, Ресей);
Ержан Петек, PhD, Түркия, Токат Газиосманпаша Университеті (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi);
Кадыров Жанбай Турарович, филология ғылымдарының кандидаты, «Қазақ тілі мен әдебиеті» кафедрасының профессоры, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;
Какимова Майра Еренгаиповна, филология ғылымдарының кандидаты, «Неміс-роман филологиясы» кафедрасының доценті, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;
Крылова Людмила Анатольевна, педагогика ғылымдарының докторы, «Орыс тілі мен әдебиеті» кафедрасының еңбек сіңірген профессоры (профессоры), М. Қозыбаев атындағы СҚУ;
Мухамеджанова Гульмира Тастемировна, PhD, «Қазақ тілі мен әдебиеті» кафедрасының доценті, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;
Сабиева Елена Викторовна, филология ғылымдарының кандидаты, «Орыс тілі және әдебиеті» кафедрасының доценті, М. Қозыбаев атындағы СҚУ;
Стодден Роберт, Маноадағы Гавайи университетінің профессоры (АҚШ, Гонолулу, Гавай аралдары);
Табакова Зинаида Петровна, филология ғылымдарының докторы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ еңбек сіңірген профессоры;
Таласпаева Жанар Серкешовна, филология ғылымдарының кандидаты, «Қазақ тілі мен әдебиеті» профессоры, М. Қозыбаев атындағы СҚУ.

Главный редактор:

Шуланов Ерлан Нурлыбекович, Председатель Правления – Ректор СКУ им. М. Козыбаева

Редакционная коллегия:

I. Естественные науки

Доскенова Бану Бейсеновна, ответственный секретарь, к.б.н., старший преподаватель, СКУ им. М. Козыбаева;
Пашков Сергей Владимирович, к.г.н., декан факультета математики и естественных наук, СКУ им. М. Козыбаева;
Поляков Владилен Васильевич, д.х.н., профессор, СКУ им. М. Козыбаева;
Макаров Сергей Викторович, д.ф-м.н., профессор, Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия);
Вендт Ян, доктор PhD, профессор, Гданьский университет (Гданьск, Польша).

II. Сельскохозяйственные науки

Токтар Мұрат, ответственный секретарь, доктор PhD, СКУ им. М. Козыбаева;
Шаяхметова Алтын Сейтахметовна, к.с/х.н., декан агротехнологического факультета, СКУ им. М. Козыбаева;
Сиволап Виктор Николаевич, д.с/х.н., старший преподаватель, СКУ им. М. Козыбаева;
Ташев Александр Николов, доктор PhD, профессор, Лесотехнический университет (София, Болгария);
Го Дунвей, доктор PhD, Северо-Западный университет (Янлин, Китай);
Кармелло Даци, д.с/х.н., профессор, Университет Палермо (Палермо, Италия);
Хан Цинфан, доктор PhD, Северо-Западный университет (Янлин, Китай);
Шань Вейсин, доктор PhD, Северо-Западный университет (Янлин, Китай);
Джозеппе Ло Папа, доктор PhD, Университет Палермо (Палермо, Италия).

III. Социально-гуманитарные науки

Ибраева Акмарал Госмановна, ответственный секретарь, доктор исторических наук, профессор кафедры «История Казахстана и социально-гуманитарные дисциплины», СКУ им. М. Козыбаева;
Алессандро Фигус, кандидат политических наук, PhD, профессор, советник ректора университета Кассино Южного Лацио (Кассино, Италия);
Даржанова Мунира Шамсутдиновна, кандидат экономических наук, ассоциированный профессор, Каспийский университет (Алматы, Казахстан);
Лыман Игорь Игоревич, доктор исторических наук, профессор, Бердянский государственный педагогический университет (Бердянск, Украина);
Мамедзаде Ильхам Рамиз Оглу, доктор философских наук, профессор, Академия наук Баку (Баку, Азербайджан);
Нефас Саулос, доктор социологических наук, профессор, университет им. Миколаса Ромериса (Вильнюс, Литва);
Патласов Олег Юрьевич, доктор экономических наук, профессор, Омская гуманитарная академия (Омск, Россия);
Сандыбаев Жалғас Саудақасұлы, доктор философских наук, Египетский университет исламской культуры «Нур Мубарак» (Алматы, Казахстан);
Маликов Алексей Витальевич, старший преподаватель кафедры «История Казахстана и социально-гуманитарные дисциплины», СКУ им. М. Козыбаева.

IV. Педагогические науки

Нурпеисова Айгуль Хайртаевна, ответственный секретарь, PhD, старший преподаватель кафедры «Педагогика и психология», СКУ им. М. Козыбаева;
Добровольская Лиана Валерьевна, PhD, и.о. декана педагогического факультета, СКУ им. М. Козыбаева;
Аморетти Гуидо, доктор педагогических наук, профессор, Университет Генуи (Генуя, Италия);
Мурзалинова Алма Жакимовна, доктор педагогических наук, профессор кафедры «Педагогика и психология», СКУ им. М. Козыбаева;
Рогова Антонина Викторовна, доктор педагогических наук, профессор, Забайкальский государственный университет (Чита, Россия);

Тагильцева Наталия Григорьевна, доктор педагогических наук, профессор, Уральский государственный педагогический университет (Екатеринбург, Россия);

Тастанбекова Куаныш, PhD, ассоциированный профессор, Японский университет (Цукуба, Япония).

V. Технические науки

Демьяненко Александр Валентинович, ответственный секретарь, к.т.н., доцент, СКУ им. М. Козыбаева;

Ивель Виктор Петрович, д.т.н., профессор, СКУ им. М. Козыбаева;

Косых Анатолий Владимирович, д.т.н., профессор, Омский государственный технический университет (Омск, Россия);

Попов Андрей Юрьевич, д.т.н., профессор, Омский государственный технический университет (Омск, Россия);

Кошеков Кайрат Темирбаевич, д.т.н., профессор, АО «Академия гражданской авиации» (Алматы, Казахстан);

Кузнецова Виктория Николаевна, д.т.н., доцент, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (Омск, Россия);

Савостин Алексей Александрович, к.т.н., профессор, СКУ им. М. Козыбаева.

VI. Филологические науки

Дроботенко Юлия Борисовна, доктор педагогических наук, профессор кафедры иностранных языков (межфак) ОмГПУ (Омск, Россия);

Ержан Петек, PhD, Турция, Университет Токат Газизосманпаша (Tokat Gaziosmanpasa Üniversitesi);

Кадыров Жанбай Турарович, кандидат филологических наук, профессор кафедры «Казахский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева;

Какимова Майра Еренгаиповна, кандидат филологических наук, доцент кафедры «Германо-романская филология», СКУ им. М. Козыбаева;

Крылова Людмила Анатольевна, доктор педагогических наук, заслуженный профессор (профессор) кафедры «Русский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева;

Мухамеджанова Гульмира Тастемировна, PhD, доцент кафедры «Казахский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева;

Сабиева Елена Викторовна, кандидат филологических наук, доцент кафедры «Русский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева;

Стодден Роберт, профессор Гавайского университета в Маноа (США, Гонолулу, Гавайские острова);

Табакова Зинаида Петровна, доктор филологических наук, заслуженный профессор «Русский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева;

Таласпаева Жанар Серкешовна, кандидат филологических наук, профессор «Казахский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева.

Editor-in-Chief:

Yerlan Shulanov, Chairman of the Management Board - Rector of M. Kozybayev NKU

Editorial Board:

I. Natural Sciences

Banu Doskenova, Executive Secretary, Candidate of Biological Sciences, Senior lecturer, M. Kozybayev NKU;

Sergey Pashkov, Candidate of Geographical Sciences, Dean of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences, M. Kozybaev NKU;

Vladilen V. Polyakov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, M. Kozybaev NKU;

Sergey Makarov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Altai State University (Barnaul, Russia);

Wendt Jan, PhD, Professor, University of Gdansk (Gdansk, Poland).

II. Agricultural Sciences

Toktar Murat, Executive Secretary, PhD Doctor, M. Kozybayev NKU;

Altyn Shayakhmetova, Candidate of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty of Agrotechnology, M. Kozybaev NKU;

Viktor Sivolap, Doctor of Agricultural Sciences, Senior lecturer, M. Kozybaev NKU;

Alexander Tashev, PhD, Professor, Forestry Engineering University (Sofia, Bulgaria);

Guo Dongwei, PhD, Northwestern University (Yangling, China);

Carmello Dazzi, PhD, Professor, University of Palermo (Palermo, Italy);

Han Qingfang, PhD, Northwestern University (Yangling, China);

Shan Weixin, PhD, Northwestern University (Yangling, China);

Joseppe Lo Papa, PhD, University of Palermo (Palermo, Italy).

III. Social and humanitarian sciences

Akmaral Gosmanovna Ibrayeva, Executive Secretary, Doctor of Historical Sciences, Professor of the Department of History of Kazakhstan and Social and Humanitarian Disciplines, M. Kozybaev NKU;

Alessandro Figus, Candidate of Political Sciences, PhD, Professor, Advisor to the Rector of the University of Cassino South Lazio (Cassino, Italy);

Darzhanova Munira Shamsutdinovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Caspian University (Almaty, Kazakhstan);

Lyman Igor Igorevich, Doctor of Historical Sciences, Professor, Berdyansk State Pedagogical University (Berdyansk, Ukraine);

Mammadzade Ilham Ramiz Oglu, Doctor of Philosophy, Professor, Baku Academy of Sciences (Baku, Azerbaijan);

Nefas Saulius, Doctor of Sociology, Professor, University. Mykolas Romeris (Vilnius, Lithuania);

Oleg Yurievich Patlasov, Doctor of Economics, Professor, Omsk Humanitarian Academy (Omsk, Russia);

Sandybayev Zhalgas Saudakasuly, Doctor of Philosophy, Egyptian University of Islamic Culture "Nur Mubarak" (Almaty, Kazakhstan);

Malikov Aleksey Vitalievich, senior lecturer of the department "History of Kazakhstan and social and humanitarian disciplines", M. Kozybaev NKU.

IV. Pedagogical Sciences

Nurpeisova Aigul Khairtaevna, Executive Secretary, PhD, Senior Lecturer at the Department of Pedagogy and Psychology, M. Kozybaev NKU;

Dobrovolskaya Liana Valerievna, PhD, acting Dean of the Faculty of Education, M. Kozybaev NKU;
Amoretti Guido, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, University of Genoa (Genoa, Italy);
Alma Zhakimovna Murzalinova, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Pedagogy and Psychology Department, M. Kozybaev NKU;
Rogova Antonina Viktorovna, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Transbaikalian State University (Chita, Russia);
Tagiltseva Natalia Grigoryevna, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Ural State Pedagogical University (Yekaterinburg, Russia);
Tastanbekova Kuanysh, PhD, Associate Professor, University of Japan (Tsukuba, Japan).

V. Technical Sciences

Alexander Demyanenko, Executive Secretary, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Kozybaev NKU;
Viktor Ivel, Doctor of Technical Sciences, Professor, M. Kozybaev NKU;
Anatoly Kosykh, Doctor of Technical Sciences, Professor, Omsk State Technical University (Omsk, Russia);
Andrey Popov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Omsk State Technical University (Omsk, Russia);
Kairat Koshekov, Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC "Academy of Civil Aviation" (Almaty, Kazakhstan);
Kuznetsova Victoria, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian State Automobile and Road Academy (Omsk, Russia);
Alexey Savostin, Candidate of Technical Sciences, Professor, M. Kozybaev NKU.

VI. Philological Sciences

Drobotenko Yulia Borisovna, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Foreign Languages (Interfaculty) of OmSPU (Omsk, Russia);
Yerzhan Petek, PhD, Turkey, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi University;
Kadyrov Zhanbai Turarovich, candidate of philological sciences, professor of the department "Kazakh language and literature", M. Kozybaev NKU;
Kakimova Mayra Erengapovna, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of the Department of German-Romance Philology, M. Kozybaev NKU;
Krylova Lyudmila Anatolyevna, Doctor of Pedagogical Sciences, Honored Professor (Professor) of the Department of Russian Language and Literature, M. Kozybaev NKU;
Mukhamedzhanova Gulmira Tastemirovna, PhD, Associate Professor of the Department of Kazakh Language and Literature, M. Kozybaev NKU;
Sabieva Elena Viktorovna, candidate of philological sciences, associate professor of the department "Russian language and literature", M. Kozybaev NKU;
Robert Stodden, Professor at the University of Hawaii at Manoa (USA, Honolulu, Hawaiian Islands);
Tabakova Zinaida Petrovna, Doctor of Philology, Honored Professor of Russian Language and Literature, M. Kozybaev NKU;
Talaspayeva Zhanar Serkeshovna, candidate of philological sciences, professor of "Kazakh language and literature", M. Kozybaev NKU.

М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университетінің Хабаршысы / Вестник Северо-Казакхстанского университета им. М. Козыбаева.

Шығарылым № 1 (57). – Петропавл: М. Қозыбаев атындағы СҚУ, 2023. – 168 б. / Выпуск № 1 (57). – Петропавловск: СКУ им. М. Козыбаева, 2023. – 168 с.

Журнал РҒНИ (eLIBRARY) деректер базасына енгізілген / Журнал включен в базу данных РИНЦ (eLIBRARY).

ISSN 2958-003X (Print)
ISSN 2958-0048 (Online)

© М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,
2023 ж., Петропавл қ.

DOI 10.54596/2958-0048-2023-1-100-106

УДК 330.341.1

МРНТИ 06.54.31

**ТЕХНОЛОГИЯ LoRa КАК СРЕДСТВО ЦИФРОВОЙ РАДИОТЕЛЕМЕТРИИ
ДЛЯ IoT УСТРОЙСТВ****Карманов А.А.^{1*}, Савостин А.А.²**** НАО «Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева», Петропавловск,
Республика Казахстан***E-mail: loginmoc.liamg@gmail.com***Аннотация**

Термин IoT, (Интернет вещей), подразумевает коллективную сеть, которая обеспечивает связь устройств с Интернетом, а также устройств друг с другом [1]. Благодаря разнообразию современных цифровых микросхем, датчиков и исполнительных устройств существуют десятки миллиардов устройств, подключенных к сети Интернет.

Взаимодействие этих устройств друг с другом и с сетью Интернет было бы невозможным без цифровых средств радиотелеметрии, комплексному обзору одного из которых посвящена настоящая статья.

Ключевые слова: IoT, радиотелеметрия, LoRa, интернет, частота, чувствительность, CSS, FEC, синхронизация.

**LoRa ТЕХНОЛОГИЯСЫ ІОТ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ ҮШІН
ЦИФРЛІК РАДИОТЕЛЕМЕТРИЯ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ****Карманов А.А.^{1*}, Савостин А.А.²****КЕАҚ «М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті», Петропавл,
Қазақстан Республикасы***E-mail: loginmoc.liamg@gmail.com***Аңдатпа**

IoT термині (Internet of Things) құрылғылардың Интернетке қосылуына, сондай-ақ құрылғылардың бір-біріне қосылуына мүмкіндік беретін ұжымдық желіні білдіреді [1]. Заманауи сандық схемалардың, сенсорлардың және жетектердің әртүрлілігіне байланысты Интернетке ондаған миллиард құрылғылар қосылған.

Бұл құрылғылардың бір-бірімен және Интернетпен өзара әрекеттесуі сандық радиотелеметриясыз мүмкін емес еді, олардың біреуіне жан-жақты шолу осы мақаланың тақырыбы болып табылады.

Түйінді сөздер: IoT, радиотелеметрия, LoRa, ғаламтор, жиілік, сезімталдық, CSS, FEC, синхрондау.

**LoRa TECHNOLOGY AS A DIGITAL RADIO TELEMETRY TOOL
FOR IoT DEVICES****Karmanov A.A.^{1*}, Savostin A.A.²****Non-profit limited company "M. Kozybayev North Kazakhstan University", Petropavlovsk,
Republic of Kazakhstan***E-mail: loginmoc.liamg@gmail.com***Abstract**

The term IoT, (Internet of Things), implies a collective network that allows devices to connect to the Internet, as well as devices to each other [1]. Due to the variety of modern digital circuits, sensors and actuators, there are tens of billions of devices connected to the Internet.

The interaction of these devices with each other and with the Internet would be impossible without digital radio telemetry, a comprehensive review of one of which is the subject of this article.

Keywords: IoT, radio telemetry, LoRa, internet, frequency, sensitivity, CSS, FEC, synchronization.

Введение

Анализ технических возможностей современных технологий беспроводной связи (LTE-M, NB-IoT, EC-GSM-IoT, LoRa, Symphony Link, Sigfox и др.) позволяет сделать вывод, что с точки зрения оптимального баланса между энергопотреблением, скоростью обмена, используемым спектром частот, бюджетом канала связи и доступностью аппаратных решений, наиболее предпочтительным средством радиотелеметрии для IoT устройств является технология LoRa (далее – LoRa, технология). Ниже изложены аргументы в пользу заявленного утверждения.

На сегодняшний день LoRa является одной из самых универсальных технологий, принадлежащей к категории несотовых стандартов. Технология поддерживается консорциумом LoRa Alliance, состоящим более чем из 500 компаний, включая Cisco, IBM, SK Telecom и др., что обеспечивает разработчику средств радиотелеметрии широкий выбор доступных аппаратных решений, реализующих технологию, а также её непрерывное развитие и совершенствование [2].

Рассматриваемая технология и способ модуляции LoRa характеризуется рядом преимуществ: высокой чувствительностью приёмного устройства, низкой восприимчивостью к эфирному шуму и толерантностью к дрейфу опорных частот, формируемых кварцем или осциллятором [3]. Последнее преимущество позволяет применять бюджетные формирователи опорной частоты.

Все эти преимущества достигаются за счёт двух основных особенностей построения сигнально-кодовой конструкции:

- CSS – алгоритм линейной частотной модуляции (далее – ЛЧМ (CSS));
- FEC – алгоритм исправления ошибок, интегрированный на физическом уровне (на этапе формирования сигнально-кодовых конструкций).

В отличие от аналогичных технологий беспроводной связи, использующих различные вариации частотной модуляции, для корректной работы которых уровень сигнала на входе приёмника должен быть на несколько децибел выше уровня эфирного шума, LoRa позволяет безошибочно демодулировать сигнал, принимаемый с уровнем в 100 раз ниже шума (около 20 дБ).

Обеспечиваемый LoRa физический уровень радиointерфейса позволяет применять его для построения различных моделей сетевого взаимодействия: Mesh сеть, точка-точка, точка-многоточка с логическим делением на виртуальные подсети [2].

Высокая устойчивость к помехам и точность временной синхронизации радиосигнала достигается за счёт его частотной избыточности и узкой корреляционной функции.

Синхронизация передатчика и приёмника определяет границы передачи-приёма целых блоков данных и отдельных символов. Технология передачи LoRa использует асинхронный режим, в котором передатчик может начать отправку радиосигнала в любой момент времени. Для обнаружения активности передатчика и выполнения символьной синхронизации приёмник использует преамбулу, содержащую последовательность символов.

От продолжительности преамбулы зависит время, в течение которого приёмное устройство находится в энергосберегающем режиме. Настраиваемый период преамбулы

должен быть не менее суммы двух периодов поиска преамбулы и времени нахождения приёмника в состоянии энергосбережения.

После отправки преамбулы последовательно передаются байт синхронизации и полезная нагрузка, состоящая от одного до восьми байт.

Байт синхронизации также определяет принадлежность следующего за ним блока данных: публичный (0x34), приватный (0x12) или индивидуальный.

Другим, не менее важным параметром технологии LoRa, является коэффициент расширения спектра (SF). От этого коэффициента зависит время, затрачиваемое на передачу одного символа данных.

SF может принимать значения от 7 до 12. Чем больше значение коэффициента, тем лучше помехозащищённость передаваемого сигнала, но, как следствие, ниже скорость передачи.

На Рисунке 1 представлен сигнал с линейной частотной модуляцией на амплитудно-временной шкале, а на Рисунке 2 и Рисунке 3 показан его спектр при различных значениях коэффициента расширения [4].

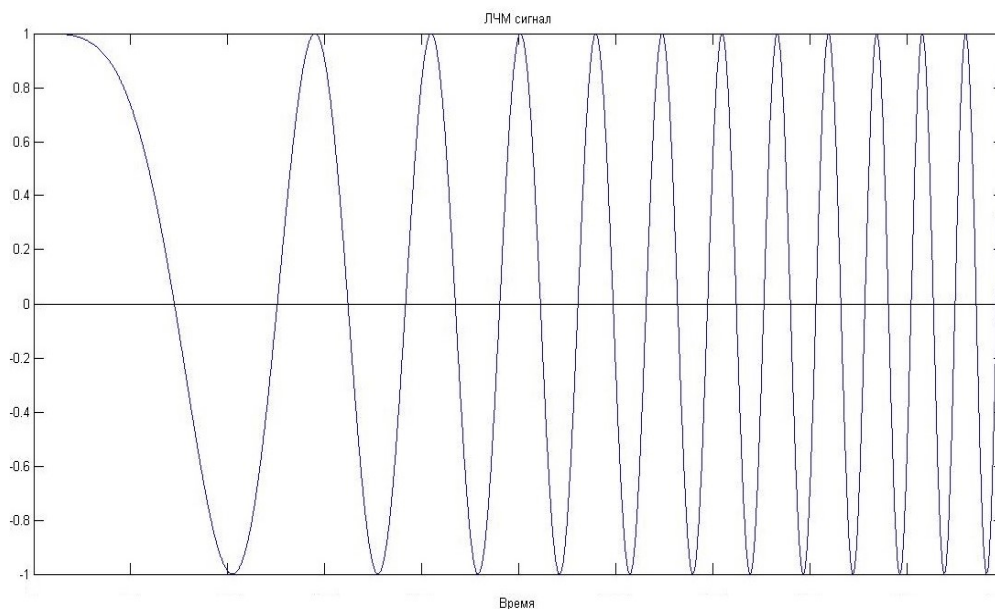


Рисунок 1. Сигнал ЛЧМ (CSS)

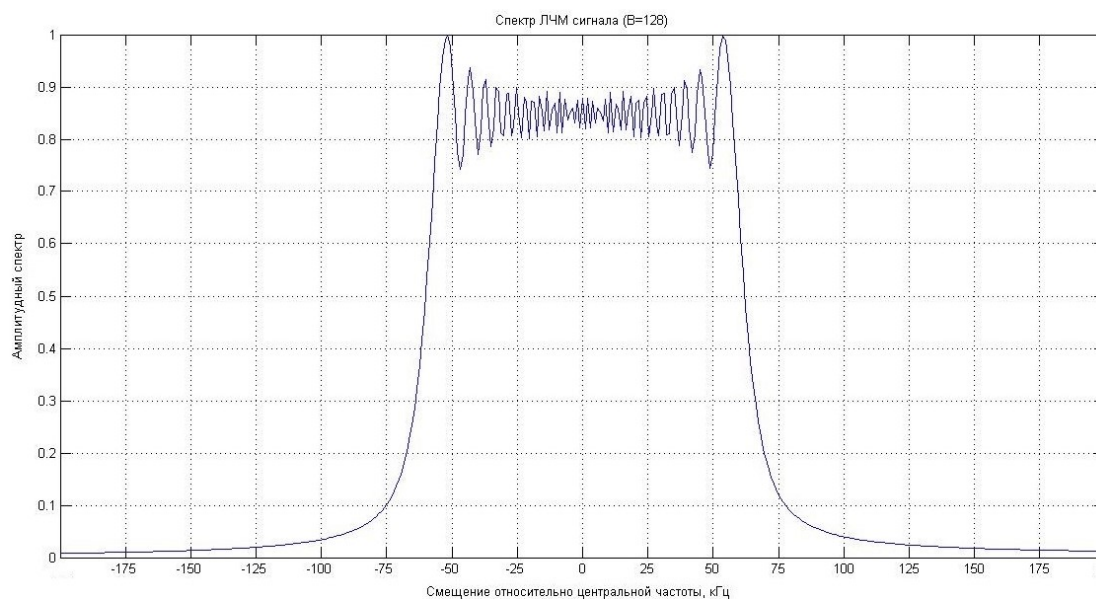


Рисунок 2. ЛЧМ спектр при SF = 7

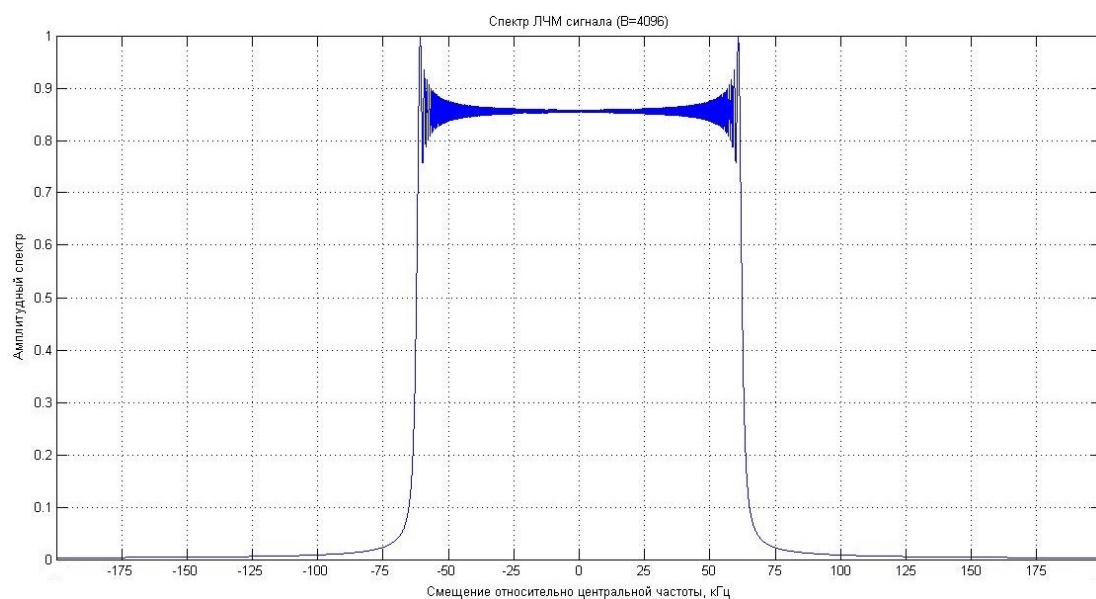


Рисунок 3. ЛЧМ спектр при SF = 12

На Рисунках 4 и 5 продемонстрирована работа детектора в условиях белого гауссовского шума.

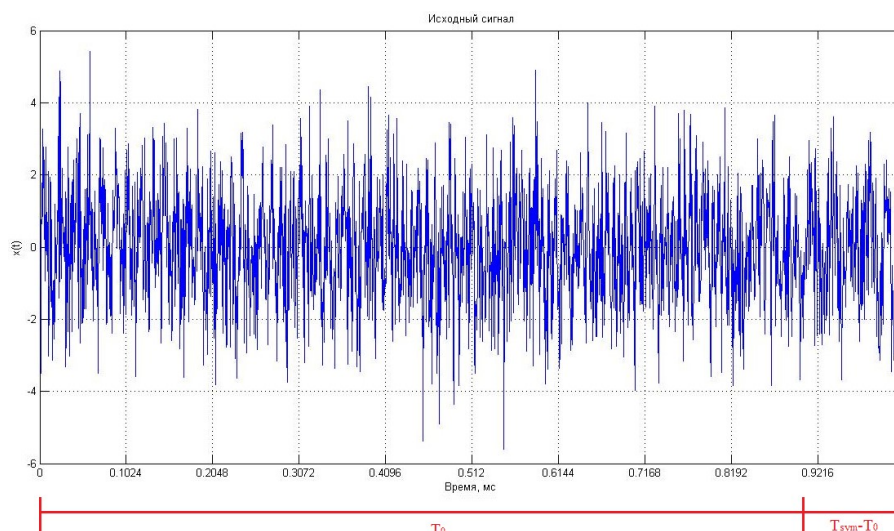


Рисунок 4. Исходный сигнал в условиях белого гауссовского шума

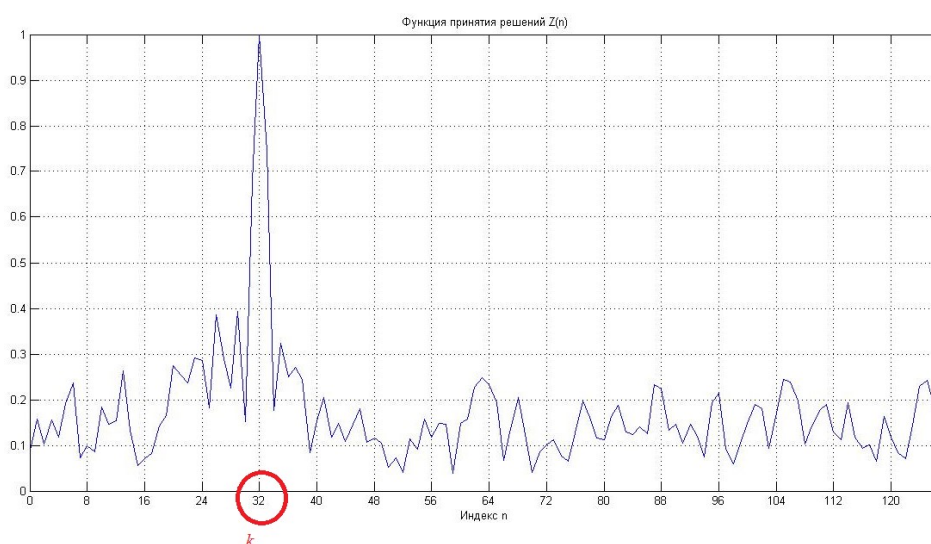


Рисунок 5. Функция принятия решения

В ходе сравнительного анализа доступных аппаратных решений для реализации LoRa радиолинии рассмотрены наиболее распространённые микросхемы от ведущих производителей: «Analog Device», «Maxim», «Microchip», «RF Monolithics Inc.», «Semtech».

В результате сделан вывод о том, что наиболее оптимальными по критерию отношения цена/функционал являются микросхемы приёмопередатчиков компании «Semtech» и их аналоги, построенные с использованием гибридных технологий и имеющие в своём составе модем и встроенный усилитель мощности.

Эти микросхемы имеют большую базу данных программного обеспечения с открытым исходным кодом для разработки приложений. Диапазон рабочих частот включает частоты 137-175 МГц, 410-525 МГц, 862-1020 МГц.

Имеется возможность выбора видов модуляции и кодовых конструкций. Используются стандартные типы последовательных интерфейсов.

Экспериментальные радиолнии испытаны на микросхемах SX1276 с параметрами, рассчитанными с использованием фирменного ПО производителя SX1276 «Semtech Calculator» для оптимальных значений выходной мощности, вида модуляции, ширины полосы пропускания и скорости передачи данных (Таблица 1).

Таблица 1. Расчётные параметры экспериментальной радиолнии

Параметр SX1276	Значение	
	для диапазона 137 – 175 МГц	для диапазонов 410-525 и 862-1020 МГц
Spreading Factor (SF)	7	9
Bandwidth (BW)	125 кГц	500 кГц
Coding Rate (CR)	2	
Payload Length	32	
Low Data Rate Optimize (DE)	0	
Preamble Length (PL)	10 (total 14.25)	
Implicit Header Mode On (IH)	0	
Sync Word	0 – широковещательный ID 1...51; 53...255 – избирательный ID 52 – зарезервирован производителем	
CRC On Payload	1	
Rx Payload CRC On	1	
Рассчитанные выходные результаты (на основе вышеуказанных настроек):		
Техническая скорость	~ 4,55729 кбит/с	~ 5,85938 кбит/с
Информационная скорость	~ 3,278 кбит/с	~ 3,891 кбит/с
Чувствительность приёмника	минус 123 дБ	
Бюджет канала связи (при мощности 1 Вт)	~150 дБ	

Результаты экспериментальных прогонов тестового массива данных через экспериментальную модель радиолнии при различных комбинациях отношения сигнал/шум и коэффициентах расширения спектра представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Результаты обнаружения ошибок детектирования сигнала

ОСШ (SNR), дБ	Коэффициент расширения (Spread Factor), %					
	7	8	9	10	11	12
0	0.9	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0
Минус 3,0	0.9	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0
Минус 6,0	2.0	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0
Минус 9,0	6.9	1.5	0.2	0.1	0.1	0.0
Минус 12,0	18.0	5.8	1.3	0.1	0.0	0.0
Минус 15,0	42.2	17.6	5.4	0.6	0.1	0.0
Минус 18,0	68.9	44.2	18.0	5.1	1.1	0.1
Минус 21,0	87.5	73.7	49.3	18.9	5.2	0.8

Заклучение

Вышеприведённые данные обмена тестовым трафиком при коэффициенте расширения спектра равном 12 свидетельствуют о возможности корректной обработки сигнала, принимаемого на 21 дБ ниже уровня шума (уровень полезного сигнала более чем в 100 ниже уровня шума).

Подобным результатом не может похвастаться ни одна из других, существующих на сегодняшний день технологий беспроводной передачи данных.

Литература:

1. Литвинов, А.В. (2018). Интернет вещей. - Новосибирск: Новосибирский государственный университет.
2. Марков, А.А. (2020). Применение LoRaWAN технологии в Интернете вещей. - Красноярск: Сибирский федеральный университет.
3. Карташов, С.В., Гуржий, А.С., & Смирнов, М.В. (2017). Исследование технологий беспроводной связи в системах Интернета вещей. - Сборник трудов Международной конференции «Управление развитием сложных систем», с.168-173.
4. Литвинов, А.В. (2019). Моделирование и анализ алгоритмов модуляции и коррекции ошибок в системах радиотелеметрии Интернета вещей. - Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, №17(2), с.89-95.

References:

1. Litvinov, A.V. (2018). Internet veshchej. - Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj universitet.
2. Markov, A.A. (2020). Primenenie LoRaWAN tekhnologii v Internetе veshchej. - Krasnoyarsk: Sibirskij federal'nyj universitet.
3. Kartashov, S.V., Gurzhij, A.S., & Smirnov, M.V. (2017). Issledovanie tekhnologij besprovodnoj svyazi v sistemah Interneta veshchej. - Sbornik trudov Mezhdunarodnoj konferencii "Upravlenie razvitiem slozhnyh sistem", с.168-173.
4. Litvinov, A.V. (2019). Modelirovanie i analiz algoritmov modulyacii i korrekcii oshibok v sistemah radiotelemetrii Interneta veshchej. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. - Seriya: Informacionnye tekhnologii, №17(2), с.89-95.