 © Авторы статьи / Authors of the article

СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ/TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS, NETWORKS AND DEVICES

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.7 EDN: OJAPPF

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ИНФОРМАЦИИ В СЕНСОРНЫХ И ЛОКАЛЬНО-РЕГИОНАЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ

Обзор

Хашагульгов З.М.[1, *]
[1] ПАО «МТС», Магас, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (zurab2010[at]mail.ru)

Предложена: 12.11.2023; Принята: 28.02.2024; Опубликована: 18.03.2024

Аннотация

Статья посвящена рассмотрению актуальных вопросов, связанных с повышением эффективности передачи пакетов информации в сенсорных и локально-региональных радиосетях. Отдельное внимание в процессе исследования уделено поддержке абонентами сети текущей скорости передачи информации. Рассмотрены условия достижения максимальной текущей скорости передачи информации. Кроме того, формализован комплекс требований и условий реализации информационно-эффективной передачи пакетов данных. Отмечено, что существенное повышение эффективности передачи информации в сенсорных и локально-региональных радиосетях достигается за счет реализации информационно-эффективных методов и алгоритмов обработки сигналов, кодирования массивов данных на основе сжатия-защиты достоверных данных, с учетом предварительно заданной степени защиты информации в сети, и путем адаптивного выбора базы шумоподобных сигналов пакетов данных.

Ключевые слова: пакет информации, сети, передача, скорость, защита.

IMPROVEMENT OF INFORMATION PACKET TRANSMISSION EFFICIENCY IN SENSOR AND LOCAL-REGIONAL RADIO NETWORKS

Review article

Khashagulgov Z.M.[1, *]
[1] MTS PJSC, Magas, Russian Federation

* Corresponding author (zurab2010[at]mail.ru)

Suggested: 12.11.2023; Accepted: 28.02.2024; Published: 18.03.2024

Abstract

The article is dedicated to the review of topical issues related to improving the efficiency of information packet transmission in sensor and local-regional radio networks. Special attention in the process of research is paid to the support of the current information transmission rate by the network subscribers. The conditions for achieving the maximum current information transmission rate are examined. Besides, the complex of requirements and conditions of implementation of information-efficient data packet transmission is formalized. It is noted that a significant increase in the efficiency of information transmission in sensor and local-regional radio networks is achieved through the implementation of information-efficient methods and algorithms of signal processing, coding of data arrays on the basis of compression-protection of reliable data, taking into account the pre-determined degree of protection of information in the network, and by adaptive selection of the base of noise-like signals of data packets.

Keywords: information packet, networks, transmission, speed, protection.

Введение

Пакетная передача информации получила широкое применение в персональных, сенсорных, локально-региональных и глобальных компьютерных сетях, независимо от типа среды передачи разнообразных данных. В свою очередь широкое применение радиосетей в промышленности, на транспорте в телемедицинских системах, в системах безопасности движения транспортных средств, видеомониторинга и дистанционного отслеживания состояний удаленных объектов требует от разработчиков информационных систем обеспечения конфиденциальной и криптостойкой передачи данных в радиоканале. Как правило, диапазоны рабочих полос радиочастот распространенных технологий построения радиосетей (ZigBee, Wi-Fi, WiMax и др.) известны многим пользователям, поэтому существует высокая вероятность доступа несанкционированных абонентов к массивам данных, передаваемых в пакетах информации, кроме того, существует высокая вероятность подмены данных и имитации работы санкционированных абонентов сети несанкционированными пользователями [1].

Повышение эффективности функционирования перспективных и действующих пакетных радиосетей достигается за счет комплексной обработки и кодирования данных (измерительных сигналов, видеоданных, различных массивов (файлов) данных) в местах их образования, то есть непосредственно на абонентских системах (станциях) компьютерных сетей. В то же время нерешенными проблемами формирования компактных, криптонадежных и помехоустойчивых пакетов достоверных и информативных данных, которые бесконфликтно и оперативно передаются в сетях связи, остается оптимизация комплекса задач, связанных с вводом, обработкой, кодированием и передачей

 © Авторы статьи / Authors of the article

информации с учетом ограничения на производительность (включая быстродействие и энергопотребление) абонентских процессоров и ограниченность рабочих частотных ресурсов радиоканала [2].

Таким образом, с учетом вышеизложенного, необходимость решения задачи организации передачи пакетов в сенсорных и локально-региональных радиосетях с учетом достижения заданного уровня защиты информации, энергоэффективности и скорости предопределила выбор темы данной статьи.

Разработке методологии реализации быстродействующей комплексной обработки и кодирования данных на абонентских системах радиосетей в процессе формирования и передачи компактных, псевдохаотических и защищенных пакетов информации посвятили свои труды Ясинский С.А., Елисеев Д.И., Оранский С.В., Репин Б.Г., Григорчук А.Н., Крюков И.Н.

Разработкой и обоснованием последовательности операций по защите информации в радиосетях, с учетом достижения теоретической устойчивости защиты данных абонентами сети, занимаются такие авторы как: Пугач А.В., Степанова Д.С., Гаипов К.Э., Жебель В.А., Солдатов А.И., Лещинская Э.М.

Горяинов Р.И., Левко И.В., Шуваев Н.А. [3] отмечают, что от качества алгоритмов обработки и кодирования информации, способов формирования канальных сигналов, которые передают по радиоканалам двоичные данные и которые должны быть адаптированными к текущему энергетическому соотношению сигнал/шум в канале связи, существенно зависят характеристики всей сети передачи информации. В данном контексте авторы предлагают реализовывать интеграцию беспроводных средств «последней мили» с оптоволоконными сетями, создавать сенсорные самоорганизующиеся сети в ISM-диапазоне частот с повышенной надежностью связи, внедрять доступные для широкого использования микро-спутниковые сети передачи мониторинговых данных и ретрансляции массивов данных между удаленными и подвижными абонентами.

Вересова А.М., Овчинников А.А. [4] делают акцент на том, что важной проблемой при передаче информационных пакетов является решение их бесконфликтной передачи в режиме множественного доступа абонентов к общему ресурсу сети – радиоканалу. По мнению ученых, эффективное решение этой проблемы достигается за счет распределения абонентов на группы приоритетности и многоциклового формирования конфликтующими абонентами случайно-уменьшающих интервалов. За счет этого реализуется процедура децентрализованного управления бесконфликтной передачей информационных пакетов, при которой первыми в радиоканал передают информационные пакеты те абоненты, которые относятся к более приоритетной группе и имеют более приоритетный номер.

По мнению Есмагамбетова Б.Б.С. [5], в вопросах повышения эффективности передачи пакетов информации в сенсорных и локально-региональных радиосетях нерешенной проблемой является оптимизация комплекса задач, связанных с вводом, обработкой, кодированием и передачей информации с учетом ограничения на производительность (включая быстродействие и энергопотребление) абонентских процессоров и ограниченность рабочих частотных ресурсов радиоканала. Выходом из обозначенной ситуации может быть оптимизация на информационном уровне методов и алгоритмов фильтрации и сжатия сигналов (видео-сигналов), компактного, крипоустойчивого и помехоустойчивого кодирования двоичных данных.

В то же время, несмотря на имеющиеся труды и наработки, вопросы, связанные с поддержкой высокой информационной эффективности разветвленной радиосети сбора, обработки и передачи информации в условиях изменения энергетического соотношения сигнал/шум в радиоканале в больших пределах остаются открытыми.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении возможностей повышения эффективности передачи пакетов информации в сенсорных и локально-региональных радиосетях.

Основные результаты

Построение информационно-эффективных радиосетей широкого применения основывается на реализации в местах зарождения информации методов и алгоритмов многофункциональной обработки и кодирования данных (сигналов, видеосигналов, массивов данных) с учетом минимизации выходных потоков криптостойких и помехоустойчивых информационных пакетов [3]. Теоретической основой для построения информационно-эффективных радиосетей является теорема К. Шеннона, согласно которой при соответствующих способах кодирования и модуляции коэффициент пропускной способности канала связи $\eta = R/C$ может быть очень близким к единице ($\eta \to 1$), где R – скорость передачи информации (бит/с) при двоичном методе кодирования, C – пропускная способность канала связи (теоретическая максимальная скорость передачи информации) [3].

Основой для эффективного функционирования радиосетей является поддержка абонентами сети текущей скорости передачи информации $R_i \to R_{max}$ в условиях изменения соотношения сигнал/шум в канале связи в больших пределах, где $R_max = 2F/k_s = 1/(T_b \bullet k_s)$, R_{max} – максимальная скорость передачи информации (бит/с); F – величина рабочей полосы частот радиоканала; k_s>1.4-1.8 – коэффициент, учитывающий качество восстановления фронтов цифровых (импульсных) сигналов; T_b – продолжительность двоичного символа (с).

Текущая скорость передачи информации в промежуточных каналах связи с рабочей полосой $F_k(k = 1, ..., m + 1)$ зависит от длительности каждого битового символа

k-го информационного пакета, где $T_b^k = 1/2F_k$, $F_k(k = 1, \dots, m + 1)$, суммарного коэффициента сжатия данных K_c^i i-й абонентской системы, формирующей и передающей информационные пакеты, а также от величины базы B_s^k s-го битового символа k-го информационного пакета, где $s = 1, ..., N^k$, N^k – максимальное количество битовых символов k-го информационного пакета, включая символы синхропоследовательности, начала информационного пакета, поля адреса, поля управления, информационного кадра, проверочного кода и признака завершения информационного пакета.

Достижение максимальной текущей скорости передачи информации R_i в радиолинии с рабочей полосой частот F при условии поддержания необходимого энергетического соотношения $(E_b/J_0)_n$ в радиоканале (E_b энергия сигнала для одного бита (удельная энергия одного бита), $J_0 = J/F \gg N_0$, где J – средняя мощность суммарных

 © Авторы статьи / Authors of the article

помех, N_0 – плотность мощности шума на один бит (спектральная плотность мощности шума)) осуществляется путем адаптивного выбора минимально необходимой базы канальных сигналов *B* с учетом текущего соотношения сигнал/шум, максимального сжатия данных на информационном уровне и путем повышения информативности радиотехнических средств абонентских систем за счет реализации многопозиционных методов модуляции, передачи данных с использованием ортогональных поднесущих, многолучевых антенных систем [4].

Для построения портативных сетевых средств широкого применения целесообразно использовать радиомодули ISM-диапазона известных компаний (SEMTECH (Xemics – DP1203F и др.), Chipcon, Freescale, Jen-nic и др.), дополненных микроконтроллерами (ARM7, ARM9, Cortex A8 и др.), сигнальными процессорами, например, семейства Blakfin компании Analog Devices (ADSP BF52x, 53x, 54x) и средствами формирования, передачи и приема шумоподобных сигналов с адаптивной базой (*B=1, ..., B_{max}*). При использовании шумоподобных сигналов (ШПС) скорость передачи информации в таких радиосетях определяется выражением:

$R_i = (K_c \bullet L)/(k_s \bullet T_b \bullet B)$, где $K_c = K_i \bullet K_r t$ – суммарный коэффициент сжатия данных; K_i – коэффициент сжатия данных на информационном уровне; $K_r t$ – коэффициент сжатия данных на радиотехническом уровне;

L – количество ортогональных ШПС, которые асинхронно передаются в общем радиоканале $(L \le B/4)$ (величина *L* согласована с количеством независимых кодовых моноканалов, находящихся в полосе частот *F*).

Анализ вышеприведенной формулы показывает, что при ограниченной рабочей полосе частот *F* радиоканала и использовании упрощенных радиотрактов абонентских систем осуществление информационно-эффективной передачи информационного пакета ($R_i \to R_{max,\eta} \to 1$) достигается за счет максимального компактного кодирования данных на информационном уровне средств абонентских систем, выбора минимально необходимой базы B_{min} канальных сигналов для поддержания необходимого энергетического соотношения $(E_b/J_0)_n$, реализации эффективных способов помехоустойчивого кодирования данных информационных пакетов, параллельной передачи информационных пакетов независимыми *L* кодовыми каналами [5].

Комплекс требований и условий реализации информационно-эффективной передачи пакетов данных описывается такой системой выражений:

$$P_n c = f(N_c, n_p) \to 1$$
$$P_z = max[2^(L_p pi)] \ge 2^2048$$
$$S/J) \bullet B_m in \ge (E_b/J_0)_n$$
$$R^j = (K_c \bullet L)/(k_s \bullet T_b \bullet B_m in^j)$$
$$t_d r + T_i p + T_p k \to t_d rmin + T_i pmin + T_p kmin$$

, где $P_n c$ – вероятность бесконфликтной передачи пакетов информации в процессе множественного доступа абонентов сети к общим ресурсам (моноканалов, абонентов); N_c – максимальное количество конфликтующих абонентов сети; n_p – количество уровней приоритетности абонентов радиосети; P_z – величина степени защиты информации на абонентских системах радиосети; $L_p pi$ – длина одноразовой криптостойкой псевдослучайной последовательности, которая используется для гаммирования компактных массивов данных; *S* – мощность канального сигнала; *J* – средняя мощность суммарных помех в радиоканале; $B_m in^j$ – минимально необходимая база канальных сигналов для поддержания требуемого энергетического соотношения в точке приема для *j*-го пакета; R^j – максимальная скорость передачи информации $R_m ax^j = I_I P/t_z = I_I P/(t_d r + T_i p + T_p k) R_m ax^j$, которую определяют как количество информации $I_I P$ в битах, передаваемой на протяжении продолжительности текущего интервала занятости канала связи t_z; $t_d r$ – интервал доступа абонентов к общим ресурсам сети; $T_i p$ – продолжительность информационного пакета; $T_p k$ – продолжительность пакета-квитанции.

Комплексная обработка и кодирование мониторинговых данных на абонентских системах радиосетей предусматривает выполнение последовательности алгоритмов, включая: фильтрацию и сжатие сигналов с допустимыми потерями данных; сжатие данных без потерь; защиту компактных массивов данных; помехоустойчивое кодирование информационных пакетов с учетом текущего соотношения сигнал/шум в канале связи [6].

Таким образом, реализация надежной и высокоскоростной передачи информационных пакетов в радиосетях без существенного усложнения радиотехнического оборудования абонентских систем достигается за счет ретрансляции пакетов с учетом наличия альтернативных маршрутов передачи данных, компактного, криптостойкого и помехоустойчивого кодирования данных непосредственно в местах их возникновения. При этом в процессе установления связи соседние абоненты должны определять состояние канала и выбирать необходимую величину $B_m in$ [7].

В большинстве приложений сенсорных сетей датчики размещаются в регионе для получения данных об окружающей среде. После того как данные собраны несколькими источниками (например, датчиками вблизи интересующего события), они пересылаются, возможно, через несколько переходов к одному месту назначения (стоку). Это обстоятельство, а также тот факт, что информация, собранная соседними датчиками, часто избыточна и сильно коррелирует между собой, а энергия значительно ограничена (поскольку после развертывания большинство сенсорных сетей работает в необслуживаемом режиме), обусловливает необходимость объединения данных. Вместо того чтобы передавать все данные на централизованный узел для обработки, они обрабатываются на месте и в сжатом виде передаются (возможно, через несколько переходов) на поглотители. Объединение данных позволяет сократить количество пакетов, передаваемых между датчиками, и, следовательно, снизить затраты на пропускную способность и энергию. Преимущества такого подхода становятся очевидными, особенно в крупномасштабных сетях.

В процессе сжатия данных с допустимыми потерями в наиболее быстродействующем алгоритме кодирования сигналов (видеосигналов) определяют амплитудно-временные характеристики существенных отсчетов экстремумов (СО-Э) и промежуточных СО, которые вычисляются на пологих участках сигналов через определенный интервал

 © Авторы статьи / Authors of the article

времени, величина которого зависит от минимально необходимого коэффициента сжатия данных K_{cmin}. При этом для более компактного кодирования СО-Э и промежуточных СО, в зависимости от прикладных задач и требований к точности восстановления огибающих сигналов (видеосигналов), соответствующие СО целесообразно кодировать с использованием минимального q_{min} или максимального q_{max} количества бит отсчетов СО. При наличии соседних СО-Э некоторые из них могут игнорироваться. В более точном алгоритме определяют СО-Э и точки перегиба, а также промежуточные СО.

Заключение

Таким образом, резюмируя результаты проведенного исследования, отметим, что пакетная передача информации получила широкое применение в персональных, сенсорных, локально-региональных и глобальных компьютерных сетях, независимо от типа среды передачи различных данных. Средой может быть оптоволоконный или кабельный канал связи, радиоканал, лазерный канал, гидроканал, энергетические линии и др. В процессе исследования установлено, что существенное повышение эффективности передачи информации в сенсорных и локально-региональных радиосетях достигается за счет реализации информационно-эффективных методов и алгоритмов обработки сигналов, кодирования массивов данных на основе сжатия-защиты достоверных данных, с учетом предварительно заданной степени защиты информации в сети, и путем адаптивного выбора базы шумоподобных сигналов пакетов данных.

Также установлено, что достижение высокоскоростной и надежной передачи информационных пакетов в сенсорных и локально-региональных радиосетях без существенного усложнения радиотехнического оборудования абонентских систем достигается за счет ретрансляции пакетов с учетом наличия альтернативных маршрутов передачи данных, компактного, криптостойкого и помехоустойчивого кодирования данных непосредственно в местах их возникновения. Повышенная помехоустойчивость передачи информации при низком соотношении сигнал/шум в радиоканале достигается за счет реализации помехоустойчивого кодирования и перемешивания данных, путем передачи шумоподобных информационных пакетов с оперативно определенной минимально необходимой базой. Перспективным способом помехоустойчивого кодирования данных информационного пакета является применение рекурсивного кодирования последовательностей битов с использованием кодов поля Галуа и формирования сигнальных корректирующих последовательностей, которые передаются в радиоканале.

Дальнейшим направлением повышения эффективности функционирования радиосетей является реализация абонентами сети сверхвысокой сжатия-защиты данных.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Чернигова К.И. Совершенствование системы защиты информационных каналов / К.И. Чернигова // Молодежь. Наука. Инновации. — 2023. — Т. 1. — С. 271-274.

2. Крюков И.Н. Оценка эффективности механизмов управления трафиком в каналах связи территориально распределенных систем охраны / И.Н. Крюков, Н.В. Онуфриев // Радиотехника. — 2023. — Т. 87. — № 3. — С. 174-179.

3. Горяинов Р.И. Метод распределения информационных потоков в автоматизированных системах специального назначения / Р.И. Горяинов, И.В. Левко, Н.А. Шуваев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2022. — № 10. — С. 18-22.

4. Вересова А.М. Применение низкоплотностных кодов в каналах с памятью при различной кратности пакетов ошибок / А.М. Вересова, А.А. Овчинников // Наукоемкие технологии. — 2021. — Т. 22. — № 8. — С. 41-49.

5. Есмагамбетов Б.Б.С. Оптимизация служебной информации и помехоустойчивость в информационноизмерительных системах со сжатием данных / Б.Б.С. Есмагамбетов // Труды университета. — 2021. — № 3 (84). — С. 221-226.

6. Белозубова А.И. Пропускная способность бинарных скрытых каналов по времени в различных условиях распределения времени следования пакетов в сети / А.И. Белозубова, А.В. Епишкина, К.Г. Когос // Системы высокой доступности. — 2021. — Т. 17. —№ 1. — С. 41-50.

7. Дудин И.С. Адаптивные алгоритмы маршрутизации пакетов в сетях связи автоматизированных систем управления / И.С. Дудин // Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны. — 2022. — № 2 (17). — С. 89-95.

8. Астахова Т.Н. Модель управления ресурсами взаимодействия кибертехнических систем ресурсов / Т.Н. Астахова, М.О. Колбанёв, А.А. Романова // XII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция «Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2021). СПб, 27-29 окт. 2021. — С. 210–211.

9. Astakhova T. Estimation of the Sensor Devices Characteristics in Three-dimensional Space of Agriculture / T. Astakhova, M. Kolbanev // In the collection: The Majorov International Conference on Software Engineering and Computer Systems. — 2020. — P. 154–157.

 © Авторы статьи / Authors of the article

10. Колбанёв М.О. О построении умного поля / М.О. Колбанёв, А.А. Романова // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий материалы IV межрегиональной научно-практической конференции. Севастопольский государственный университет; под науч. ред. Б.В. Соколов. — Севастополь, 2018. — С. 77–78.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chernigova K.I. Sovershenstvovanie sistemy zashchity informacionnyh kanalov [Improving the System for Protecting Information Channels] / K.I. CHernigova // Molodezh'. Nauka. Innovacii [Youth. Science. Innovation]. — 2023. — Vol. 1. — p. 271-274. [in Russian]

2. Kryukov I.N. Ocenka effektivnosti mekhanizmov upravleniya trafikom v kanalah svyazi territorial'no raspredelennyh sistem ohrany [Assessing the Effectiveness of Traffic Control Mechanisms in Communication Channels of Geographically Distributed Security Systems] / I.N. Kryukov, N.V. Onufriev // Radiotekhnika [Radio Engineering]. — 2023. — Vol. 87. — No. 3. — P. 174-179. [in Russian]

3. Goryainov R.I. Metod raspredeleniya informacionnyh potokov v avtomatizirovannyh sistemah special'nogo naznacheniya [Method for Distributing Information Flows in Automated Systems for Special Purposes] / R.I. Goryainov, I.V. Levko, N.A. SHuvaev // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [News of the Tula State University. Technical Science]. — 2022. — No. 10. — p. 18-22. [in Russian]

4. Veresova A.M. Primenenie nizkoplotnostnyh kodov v kanalah s pamyat'yu pri razlichnoj kratnosti paketov oshibok [Application of Low-density Codes in Channels with Memory with Different Multiplicities of Error Packets] / A.M. Veresova, A.A. Ovchinnikov // Naukoemkie tekhnologii [Science-intensive Technologies]. — 2021. — Vol. 22. — No. 8. — P. 41-49. [in Russian]

5. Esmagambetov B.B.S. Optimizaciya sluzhebnoj informacii i pomekhoustojchivost' v informacionnoizmeritel'nyh sistemah so szhatiem dannyh [Optimization of Service Information and Noise Immunity in Information-measuring Systems with Data Compression] / B.B.S. Esmagambetov // Trudy universiteta [Proceedings of the University]. — 2021. — No. 3 (84). — p. 221-226. [in Russian]

6. Belozubova A.I. Propusknaya sposobnost' binarnyh skrytyh kanalov po vremeni v razlichnyh usloviyah raspredeleniya vremeni sledovaniya paketov v seti [Time throughput of Binary Covert Channels under Various Conditions of Packet Travel Time Distribution in the Network] / A.I. Belozubova, A.V. Epishkina, K.G. Kogos // Sistemy vysokoj dostupnosti [High Availability Systems]. — 2021. — Vol. 17. — No. 1. — P. 41-50. [in Russian]

7. Dudin I.S. Adaptivnye algoritmy marshrutizacii paketov v setyah svyazi avtomatizirovannyh sistem upravleniya [Adaptive Algorithms for Routing Packets in Communication Networks of Automated Control Systems] / I.S. Dudin // Vestnik YAroslavskogo vysshego voennogo uchilishcha protivovozdushnoj oborony [Bulletin of the Yaroslavl Higher Military School of Air Defense]. — 2022. — No. 2 (17). — p. 89-95. [in Russian]

8. Astakhova T.N. Model' upravleniya resursami vzaimodejstviya kibertekhnicheskih sistem resursov [Management Model Resources for the Interaction of Cybertechnical Resource Systems] / T.N. Astahova, M.O. Kolbanyov, A.A. Romanova // HII Sankt-Peterburgskaya mezhregional'naya konferenciya «Informacionnaya bezopasnost' regionov Rossii (IBRR-2021) [XII St. Petersburg Interregional Conference “Information Security” Regions of Russia (IBRD-2021)], St. Petersburg, October 27-29. 2021. — p. 210–211. [in Russian]

9. Astakhova T. Estimation of the Sensor Devices Characteristics in Three-dimensional Space of Agriculture / T. Astakhova, M. Kolbanev // In the collection: The Majorov International Conference on Software Engineering and Computer Systems. — 2020. — P. 154–157.

10. Kolbanev M.O. O postroenii umnogo polya [About Building a Smart Field] / M.O. Kolbanyov, A.A. Romanova // Perspektivnye napravleniya razvitiya otechestvennyh informacionnyh tekhnologij materialy IV mezhregional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii [Promising Directions for the Development of Domestic Information Technologies Materials of the IV Interregional Scientific and Practical Conference]. Sevastopol State University; under scientific ed. B.V. Sokolov. — Sevastopol, 2018. — p. 77–78. [in Russian]