

ВИШНЯКОВ В.А., САЙЯ Б.Х.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ПРОТОКОЛА СЕТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Предметом исследований является выбор протокола в сети Интернета вещей (ИВ – IoT) для контроля и анализа звуковой информации. Цель статьи – оптимизировать процесс выбора протокола сети мониторинга звуковой информации на основе IoT и оценить результаты. Авторы разработали структуру IoT для мониторинга и анализа звуковой и голосовой информации. Сеть IoT включает в себя датчик звука (микрофон), блок для анализа полученной от него информации и модуль принятия решений. Приведено описание протоколов в сети ИВ для оценки уровня звука: стандарт *Wireless USB*, узкополосный стандарт Интернета вещей *NB-IoT*.

Для выбора лучшего протокола использован метод анализа иерархий. Приведены методика и основные его формулы для расчета лучшего варианта. Приведена таблица четырех выбранных протоколов для сети ИВ. В качестве характеристик протоколов рассмотрены: скорость нисходящей линии связи, задержка, пропускная способность устройства, мощность передачи устройства. Сформирована матрица парных сравнений показателей параметров протоколов на основе экспертных оценок. Построены четыре матрицы парных сравнений вариантов стандартов передачи по отношению к показателю скорости, задержки, пропускной способности устройств, мощности передачи устройств. Для этих четырех матриц выполнены расчеты локальных векторов и векторов приоритетов показателей качества. Затем рассчитана матрица векторов глобальных приоритетов путем вычисления суммы произведений локальных векторов матриц парных сравнений вариантов стандартов передачи на соответствующие вектора приоритетов показателей качества матрицы парных сравнений показателей параметров протоколов. Из полученных результатов по максимальному значению определен лучший вариант протокола для сети ИВ мониторинга звука.

**Ключевые слова:** сеть ИВ, протоколы передачи, экспертные оценки, метод анализа иерархий

### Введение

Важным компонентом, требующим выбора, являются типы протоколов сбора данных, используемых для передачи данных между элементами сети Интернета вещей (ИВ – IoT). Коммуникационные протоколы должны использоваться для обеспечения низкого энергопотребления, а также низкой пропускной способности сети [1]. Данные, собранные с датчиков, подключенных к платформе IoT, должны быть проанализированы в интеллектуальном режиме, для того, чтобы получить значимые результаты. Для оценки звуковой информации окружающей среды авторы предложили применение многоагентной системы ее мониторинга [2]. В работе [3] представлена реализация такой системы на базе сети. В данной работе приведены результаты по оптимизации выбора протокола передачи сети ИВ мониторинга звуковой информации.

### Стандарты передачи данных

В настоящее время существует несколько стандартов передачи данных в сетях Интернета вещей. Рассмотрим некоторые из них подробнее [4, 5].

1. Стандарт *Wireless USB* – это стандарт беспроводной передачи данных, разработанный компанией *Wireless USB Promoter Group*. При разработке

большое внимание уделялось повышению энергоэффективности. Устройства, изготовленные в соответствии со спецификацией 1.1, потребляют меньше энергии в режиме холостого хода. *Wireless USB 1.1* поддерживает технологию *NFC*, которая упрощает настройку и эксплуатацию беспроводных *USB*-устройств.

Стандарт *Wireless USB* предназначен для того, чтобы стать заменой традиционным *USB*-накопителям. Типичные устройства включают клавиатуру, мышь, камеру, принтер, внешние накопители и т. д. Беспроводной *USB* также может быть использован для простого совместного использования принтеров, которые не имеют стандартного сетевого интерфейса или не подключены к серверу печати [5].

Параметры передачи соответствуют стандартному *USB* версии 2.0, но пропускная способность зависит от расстояния между устройствами. На расстоянии до 3 метров скорость передачи данных теоретически может достигать 480 Мбит/с. На расстоянии 10 метров – только до 110 Мбит/с (при оптимальных условиях). Беспроводной *USB* предназначен для работы в диапазоне частот от 3,1 ГГц до 10,6 ГГц. Передача данных шифруется с помощью *AES-128 / CCM* [6].

2. Узкополосный стандарт Интернета вещей (*NB-IoT*) – это стандарт мобильной связи для теле-

метрических устройств с низкими объемами обмена данными. Он был разработан консорциумом 3GPP в рамках работы над стандартами мобильных сетей нового поколения. Первая рабочая версия спецификации была представлена в июне 2016 года. Он предназначался для подключения к цифровой сети связи широкого спектра автономных устройств, например медицинских датчиков, счетчиков потребления ресурсов, устройств умного дома и т. д. NB-IoT – один из трех стандартов IoT, разработанных компанией 3GPP для мобильной связи: eMTC (enhanced machine-type communication), NB-IoT и EC-GSM-IoT [4]. Стандартный eMTC обладает самой высокой пропускной способностью и построена на основе оборудования стандарта LTE. Стандарт NB-IoT может использоваться как на мобильных устройствах LTE, так и отдельно, включая GSM. Стандарт EC-GSM-IoT обеспечивает самую низкую пропускную способность и выходит за пределы сети GSM. Среди преимуществ NB-IoT можно выделить следующие [6]:

- flexible гибкое управление питанием устройств (до 10 лет в сети от аккумулятора емкостью 5 Вт\*ч);
- огромная емкость сети (сотни тысяч подключенных IoT-устройств на базовую станцию);
- низкая стоимость IoT-устройств;
- оптимизирован для повышения чувствительности модуляции сигнала.

### Метод анализа иерархий для выбора протокола

В настоящее время известно несколько методов экспертной оценки и выбора протокола IoT [7], в частности, метод аналитической иерархии (МАИ), метод Delphi.

Согласно различным исследованиям рассмотрим использование следующих важных (основных) критериев при выборе протокола IoT [8]: скорость нисходящей линии связи, задержка, пропускная способность устройства, мощность передачи устройства.

Используем метод анализа иерархий для оптимизации выбора облачной платформы. Алгоритм МАИ включает в себя шаги [9, 10]:

1. Выделение проблемы и формулирование цели.
2. Определение основных критериев и альтернатив.
3. Построение иерархии: от цели через критерии к альтернативам.
4. Построение матрицы попарных сравнений критериев с целью выбора альтернатив по критериям.
5. Применение метода анализа полученных матриц вычислением локальных векторов и векторов приоритетов показателей качества.

6. Определение весов альтернатив в соответствии с значениями компонент вектора глобальных приоритетов.

7. Выбор из них максимального.

Важность различных вариантов систем (на уровне 3) и различные показатели качества (на уровне 2) сравниваются попарно. Результаты парных сравнений элементов сводятся к матричной форме:

$$A = \|a_{ij}\| \quad (1)$$

где  $a = w_i/w_j$  – оценки парных сравнений элементов выбора  $w_i$  и  $w_j$ . Диагональ этой матрицы заполняется единичными значениями, а элементы матрицы, лежащие ниже диагонали, заполняются обратными значениями, например, для значения 2 будет  $1/2$ , для значения 3 –  $1/3$  и т. д.

Компоненты главного собственного вектора  $P_j$  (локальных векторов) матрицы парных сравнений (1) показателей качества вычисляются как корень  $n$ -й степени из среднего геометрического значения в строке матрицы парных сравнений  $V_j$ , деленные на сумму средних геометрических  $S$  и вектора приоритетов показателей качества  $P_j$  по формулам 2-4:

$$\begin{aligned} V_j &= n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}}, j = \overline{1, n}, \\ p_j &= \frac{V_j}{S}, j = \overline{1, n}, \\ S &= \sum_{j=1}^n V_j. \end{aligned} \quad (2-4)$$

Аналогично находятся оценки матриц парных сравнений для вариантов системы на уровне 3 в отдельности по отношению к каждому показателю качества системы. На основе этих матриц вычисляются компоненты соответствующих локальных собственных векторов приоритетов показателей качества  $Q_{ij}$  по отношению к отдельным показателям качества систем.

С использованием полученных данных вычисляются значения компонент вектора глобальных приоритетов  $C_i$  согласно формуле:

$$C_i = \sum_{j=1}^n P_j Q_{ij}, i = \overline{1, N}, \quad (5)$$

где  $P_j$  – локальные приоритеты альтернатив,  $Q_{ij}$  – локальные оценки важности показателей.

По максимальному значению компонент вектора глобальных приоритетов (5) выбирается соответствующий предпочтительный вариант системы.

### Анализ протоколов для сети ИВ мониторинга звука

Для сравнительного анализа выберем четыре протокола для сети ИВ мониторинга звука. Названия протоколов передачи данных с выбранными характеристиками для сети ИВ мониторинга звука приведен в таблице 1.

В таблице 2 дана матрица парных сравнений показателей параметров протоколов на основе экспертных оценок. В двух последних столбцах приведены данные расчетов компонент главного собственного вектора  $V_j$ , вектора приоритетов показателей качества для протоколов передачи ИВ  $P_j$  по формулам 2–4.

Таблица 1

Сравнительный анализ протоколов передачи данных *LTE Cat 0*, *eMTC*, *NB-IoT*, *EC-GSM-IoT*

Характеристики / протоколы	<i>LTE Cat 0</i>	<i>eMTC</i>	<i>NB-IoT</i>	<i>EC-GSM-IoT</i>
Скорость нисходящей линии связи	1 Mbit/s	1 Mbit/s	250 kbit/s	474 kbit/s or 2 Mbit/s
Задержка	не развернутый	10 ms–15 ms	1.6 s–10 s	700 ms–2 s
Пропускная способность устройства	1.4–20 MHz	1.4 MHz	180 kHz	200 kHz
Мощность передачи устройства	23 dBm	20/23 dBm	20/23 dBm	23/33 dBm

Таблица 2

Матрица экспертных оценок, соответствующих важности 4 показателям сетевых протоколов

Цель состоит в том, чтобы выбрать подходящий сетевой протокол	Скорость линии связи	Задержка	Пропускная способность	Мощность передачи	Компоненты главного собственного вектора $V_j$	Вектора приоритетов показателей качества $P_j$
Скорость линии связи	1	2	1/3	1/2	0,759	0,167
Задержка	1/2	1	1/2	1/3	0,536	0,118
Пропускная способность	3	2	1	3	2,059	0,453
Мощность передачи	2	3	1/3	1	1,189	0,261

В таблицах 3–6 приведена матрицы парных сравнений 4-х протоколов по отношению к показателям качества: скорость нисходящей линии связи ( $N_1$ ); задержка ( $N_2$ ); пропускная способность устройства ( $N_3$ ); мощность передачи устройства ( $N_4$ ). Приведены вычисленные компоненты

соответствующих локальных собственных векторов и векторов приоритетов согласно формулам (2–4).

В таблице 7 приведены результаты вычисления главного вектора глобальных приоритетов вариантов протоколов по формуле 5.

Таблица 3

Матрица парных сравнений вариантов стандартов передачи ( $N_1$ – $N_4$ ) по отношению к показателю скорости

	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$V_1$	$Q_{ij}$
$N_1$	1	1	1/3	2	0,904	0,274
$N_2$	1	1	1/3	2	0,904	0,274
$N_3$	3	3	1	1/5	1,15	0,454
$N_4$	1/2	1/2	5	1/3	0,343	0,104

Таблица 4

Матрица парных сравнений вариантов стандартов передачи по отношению к показателю задержки

	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$V_1$	$Q_{2j}$
$N_1$	1	2	1/3	1/5	0,601	0,122
$N_2$	1/2	1	1/5	1/7	0,346	0,07
$N_3$	3	5	1	2	2,340	0,473
$N_4$	5	7	1/2	1	1,655/4,942	0,335

Таблица 5

Матрица парных сравнений вариантов стандартов передачи по отношению к показателю пропускной способности

	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$V_1$	$Q_{2j}$
$N_1$	1	1/5	1/8	1/7	0,244	0,042
$N_2$	5	1	1/5	1/4	0,707	0,122
$N_3$	8	5	1	1/2	2,115	0,365
$N_4$	7	4	2	1	2,736/5,802	0,472

Таблица 6

Матрица парных сравнений вариантов стандартов передачи по отношению к показателю мощности

	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$V_1$	$Q_{2j}$
$N_1$	1	1	1	2	1,189	0,286
$N_2$	1	1	1	2	1,189	0,286
$N_3$	1	1	1	2	1,189	0,286
$N_4$	1/2	1/2	1/2	1	0,595/4,162	0,143

Таблица 7

Результаты вычисления итогового вектора глобальных приоритетов

Варианты протоколов	$Q_{1j}$	$Q_{2j}$	$Q_{3j}$	$Q_{4j}$	$C_i$
$N_1$	0,274	0,122	0,042	0,286	0,151
$N_2$	0,274	0,07	0,122	0,286	0,133
$N_3$	0,454	0,473	0,365	0,286	0,367
$N_4$	0,104	0,335	0,472	0,143	0,311
$P_j$	0,167	0,118	0,453	0,261	–

Анализируя результаты заключаем, мониторинга звука является вариант  $N_3$  по что предпочтительным вариантом протокола максимальному значению  $C_i$  . 0,367. Это протокол для организации коммуникаций в сети ИВ NB-IoT.

### Заключение

1. Для выбора лучшего протокола в сети ИВ мониторинга звука использован метод анализа иерархий. В качестве характеристик протоколов рассмотрены: скорость нисходящей линии связи, задержка, пропускная способность устройства, мощность передачи устройства. Сформирована матрица парных сравнений показателей параметров протоколов на основе экспертных оценок. Постро-

ены четыре матрицы парных сравнений вариантов стандартов передачи по отношению к показателю скорости, задержки, пропускной способности устройств, мощности передачи устройств. Рассчитана матрица векторов глобальных приоритетов.

2. Предпочтительным вариантом протокола для организации коммуникаций в сети ИВ мониторинга звука является вариант  $N_3$  по максимальному значению  $C_i$ . 0,367. Это протокол *NB-IoT*.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Keramidas, G.** Components and Services for IoT Platforms / G. Keramidas, N. Voros, M. Hubner. – Cham: Springer, 2017. – 383 p.
2. **Visniakou, U.A.** Approach to distributed multi-agent system for processing sound information of the environment / U.A. Vishniakou, B.H. Shaya // Системный анализ и прикладная информатика, 2019, № 3. – С. 47-53.
3. **Visniakou, U.A.** Modeling the internet of things network for monitoring audio information on IoT Amazon platform / U.A. Visniakou, B.H. Shaya // Системный анализ и прикладная информатика, 2021, № 2. – С. 28-33.
4. **Ogai, H.** Experiments of Wireless Transfer Technology for Communication / H. Ogai, B. Bhattacharya // Pipe Inspection Robots for Structural Health and Condition Monitoring. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering. Vol. 89, 2017. – Pp. 61-78.
5. **Mottola, L.** [et al] From the desk to the field: Recent trends in deploying Wireless Sensor Networks for monitoring civil structures / IEEE Sensors Proceedings // October 2011. – Pp. 62-65.
6. **Massink, M.** Model checking dependability attributes of wireless group communication / M. Massink, D. Latella, J. Katoen // International Conference on Dependable Systems and Networks. June 2004. – Pp. 711-720.
7. **Keckskemeti, G.** Modelling and Simulation Challenges in Internet of Things / G. Keckskemeti, G. Casale, D. Jha // IEEE Cloud Computing. – 2017. – Vol. 4, no. 1. – P. 62-69.
8. **Hussain, F.** Internet of Things: Building Blocks and Business Models / F. Hussein. – Cham: Springer, 2017. – 73 p.
9. **Saati, T.** Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
10. **Безрук, В.М.** Многокритериальный анализ и выбор средств телекоммуникаций / В.М. Безрук, Д.В. Чеботарев, Ю.В. Скорик. – ХНУЭ, Харьков, 2017. – 268 с.

### REFERENCES

1. **Keramidas G.** Components and Services for IoT Platforms / G. Keramidas, N. Voros, M. Hubner. – Cham: Springer, 2017, 383 p.
2. **Visniakou, U.A., Shaya B.H.** Approach to distributed multi-agent system for processing sound information of the environment. SA&AI, 2019, № 3, pp. 47-53.
3. **Visniakou, U.A., Shaya B.H.** Modeling the internet of things network for monitoring audio information on IoT Amazon platform. SA&AI, 2021, № 2, pp. 28-33.
4. **Ogai H., Bhattacharya B.** Experiments of Wireless Transfer Technology for Communication. Pipe Inspection Robots for Structural Health and Condition Monitoring. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering, 2017, vol. 89, pp. 61-78.
5. **Mottola, L.** [et al] From the desk to the field: Recent trends in deploying Wireless Sensor Networks for monitoring civil structures. IEEE SENSORS Proceedings. October 2011. – Pp. 62-65.
6. **Massink M., Latella D., Katoen J.** Model checking dependability attributes of wireless group communication. International Conference on Dependable Systems and Networks. June 2004. – Pp. 711-720.
7. **Keckskemeti G., Casale G., Jha D.** Modelling and Simulation Challenges in Internet of Things. IEEE Cloud Computing, 2017, vol. 4, no. 1, pp. 62-69.
8. **Hussain, F.** Internet of Things: Building Blocks and Business Models. Cham: Springer, 2017, 73 p.
9. **Saati, T.** Decision-making. Method of hierarchy analysis. –M.: Radio and Communications, 1993, 320 p.
10. **Bezruk, V.M., Chebotarev D.V., Skorik Yu.V.** Multicriteria analysis and choice of telecommunication means. KhNUU, Kharkiv, 2017, 268 p.

VISHNYAKOV V.A., SHAYA B.H.

## OPTIMIZATION OF THE IOT NETWORK PROTOCOL CHOOSING FOR MONITORING AUDIO INFORMATION

*Belarusian state University of Informatics and Radioelectronics  
Minsk, Republic of Belarus*

*The subject of research is the choice of a protocol in the Internet of Things (IoT) network for monitoring and analyzing audio information. The purpose of the article is to optimize the process of choosing a protocol for monitoring audio information based on IoT and evaluate the results. The authors have developed an IoT framework for monitoring and analyzing audio and voice information. The IoT network includes a sound sensor (microphone), a unit for analyzing the information received from it and a decision-making module. The description of protocols in the IoT network for assessing the sound level is given: the Wireless USB standard, the narrowband standard of the NB-IoT.*

*The hierarchy analysis method was used to select the best protocol. The methodology and its main formulas for calculating the best option are given. A table of the four selected protocols for the IB network is given. As characteristics of the protocols, the following are considered: downlink speed, latency, device bandwidth, device transmission power. A matrix of paired comparisons of protocol parameter indicators based on expert assessments has been formed. Four matrices of paired comparisons of transmission standards variants in relation to the indicator of speed, delay, bandwidth of devices, transmission power of devices are constructed. Calculations of local vectors and priority vectors of quality indicators were performed for these four matrices. Then the matrix of vectors of global priorities is calculated by calculating the sum of the products of local vectors of matrices of paired comparisons of transmission standards variants on the corresponding priority vectors of quality indicators of the matrix of paired comparisons of protocol parameters. From the results obtained, the best protocol option for the network and sound monitoring was determined by the maximum value.*

**Keywords:** IoT network, transmission protocols, expert assessments, hierarchy analysis method



**Вишняков Владимир Анатольевич** – д.т.н., профессор, профессор БГУИР, кафедра ИКТ. Область научных интересов: информационное управление и безопасность, электронный бизнес, интеллектуальные системы управления, сети ИВ. Член 2-х докторских Советов по защите диссертаций. Автор более 470 научных работ, в том числе 6 монографий (1 на английском языке), 4-х учебных пособий с грифом Министерства образования, 8-и томного учебного комплекса «Информационный менеджмент», 175 научных статей.

**Vishnyakou Uladzimir Anatolyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of BSUIR, Department of ICT. Research interests: information management and security, electronic business, intelligent control systems, IoT network. Member of 2 doctoral Councils for the defense of dissertations. Author of more than 470 scientific papers, including 6 monographs (1 in English), 4 textbooks with the stamp of the Ministry of Education, 8-volume educational complex "Information Management", 175 scientific articles.

**E-mail:** vish2002@list.ru

**Сайя Бахаа** – магистр технических наук, аспирант кафедры ИКТ БГУИР. Область научных интересов: информационное управление и интеллектуальные системы управления.

**Shaya Bahaa**, master of technical science, PhD-student of ICT department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.