

ISSN 1992-7185

ИКА  
журнал в журнале

# Датчики и Системы

11 • 2016



SENSORS & SYSTEMS



## УЧРЕДИТЕЛИ

ФГБУ науки  
Институт проблем управления  
им. В. А. Трапезникова РАН,  
НП "Национальная технологическая  
палата",  
ООО "Сенсидат-Плюс" (издатель)

|                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| Гл. редактор         | <b>Ф. Ф. Пашенко</b>   |
| Зам. гл. редактора   | <b>Н. Н. Кузнецова</b> |
| Зам. гл. редактора   | <b>А. Ф. Каперко</b>   |
| Гл. редактор ИКА     | <b>В. Ю. Кнеллер</b>   |
| Отв. секретарь       | <b>Г. М. Баранова</b>  |
| Выпускающий редактор | <b>С. В. Суханова</b>  |

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р. Р. Бабаян, д. т. н., проф.,  
Г. М. Баранова,  
С. Н. Васильев, акад. РАН,  
Г. И. Джанджава, д. т. н., проф.,  
А. Н. Житков, к. т. н., доц.,  
Э. Л. Ицкович, д. т. н., проф.,  
С. И. Касаткин, д. т. н., проф.,  
А. М. Касимов, д. т. н.,  
А. Ф. Каперко, д. т. н., проф.,  
В. Ю. Кнеллер, д. т. н., проф.,  
Л. Н. Коломиец, к. т. н.,  
Н. Н. Кузнецова,  
Б. В. Лункин, к. т. н.,  
В. П. Морозов, д. т. н.,  
Д. А. Новиков, чл.-корр. РАН,  
П. П. Пархоменко, чл.-корр. РАН,  
Ф. Ф. Пашенко, д. т. н., проф.,  
Г. А. Пикина, д. т. н., проф.,  
Б. И. Подлепецкий, к. т. н., доц.,  
В. В. Поляков,  
Н. Л. Прохоров, д. т. н., проф.,  
О. С. Сироткин, чл.-корр. РАН,  
В. А. Шахнов, чл.-корр. РАН,  
М. С. Шкабардия, д. т. н., проф.,  
И. Б. Ядыкин, д. т. н., проф.

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ РЕДСОВЕТЫ

(руководители)

### Санкт-Петербург

В. Г. Кнорринг, д. т. н., проф. — (812) 297-60-01

### Нижний Новгород

С. М. Никулин, д. т. н., проф. — (831) 436-78-40

### Екатеринбург

С. В. Поршнев, д. т. н., проф. — (343) 375-97-79

### Новосибирск

Ю. В. Чугуй, д. т. н., проф. — (383-3) 33-73-60

### Красноярск

В. Г. Патюков, д. т. н., проф. — (391-2) 912-279

### Бийск

Ю. А. Галенко, д. т. н., проф. — (3854) 43-25-69

В. А. Абанин, д. т. н., проф. (3854) 43-25-71

### Пенза

М. А. Шербаков, д. т. н., проф. — (841-2) 56-37-08

### Рязань

С. Н. Кириллов, д. т. н., проф. — (491-2) 92-04-55

### Ульяновск

Н. Г. Ярушкина, д. т. н., проф. — (842-2) 43-03-22

### Ижевск

В. А. Алексеев, д. т. н., проф. — (341-2) 21-29-33

### Оренбург

М. Г. Кучеренко, д. т. н., проф. — (353-2) 77-34-19

### Владимир

В. Н. Устюжанинов, д. т. н., проф. —  
(492-2) 33-59-67

### Тула

В. Я. Распопов, д. т. н., проф. — (487-2) 35-19-59

### Воронеж

В. К. Битюков, д. т. н., проф. — (473-2) 55-36-94

### Курск

В. С. Титов, д. т. н., проф. — (471-2) 58-71-12

### Тамбов

С. В. Мищенко, д. т. н., проф. — (475-2) 72-10-19

### Астрахань

И. Ю. Петрова, д. т. н., проф. — (851-2) 25-73-11

### Минск

И. С. Манак, к. ф.-м. н. — (417) 278-13-13

### Уфа

В. Г. Гусев, д. т. н., проф. — (347-2) 23-77-89

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕОРИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

*Представляет Нижегородский региональный редакционный совет*

- Никулин С. М., Терентьев А. А.** Новый подход к измерению S-параметров методом переменной пространственно удаленной нагрузки ..... 3
- Кузин А. А., Мьякинков А. В., Смирнова Д. М.** Повышение точности измерения координат целей в просветных радиолокационных системах ..... 8
- Букварев Е. А., Огурцов А. Г., Рындык А. Г.** Многопроцессорный модуль цифровой обработки сигналов ..... 14
- Мельников В. И., Иванов В. В., Тепляшин И. А.** Волноводный акустозондовый прибор контроля концентрации свободного газа в жидкости ..... 19

\* \* \*

- Карпов А. В., Восков Л. С., Ефремов С. Г.** Метод повышения энергоэффективности беспроводной сенсорной сети фотокамер ..... 23

### КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

*Системы автоматизированного проектирования  
коммутиационных структур электронных средств*

- Власов А. И., Гриднев В. Н., Жалнин В. П., Емельянов Е. И.** Методика автоматизированного проектирования электронных коммутиационных структур в среде Altium Designer. Топологическое проектирование ..... 28

\* \* \*

- Кулагин В. П., Кузнецов Ю. М., Львов С. А. и др.** Оценка возможности применения металлооксидных сенсоров в устройствах типа "электронный нос" ..... 39
- Юрин А. И., Неборский А. Ю.** Коррекция нелинейности и гистерезиса функции преобразования индуктивных измерительных преобразователей перемещения ..... 48
- Мецлер Э. А., Титов С. С., Жирнов А. А., Павленко А. А.** Установка для исследования динамики среднего размера частиц субмикронных аэрозольных сред ..... 52
- Совлуков А. С., Терешин В. И.** Радиочастотный концентратор сыпучего материала в трубопроводе ..... 58

### ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ (журнал в журнале)

- Ицкович Э. Л.** Требуемые меры защиты информации от несанкционированного доступа в АСУ потенциально опасных объектов ..... 62
- Конференции, симпозиумы, семинары (январь—октябрь 2017 г.) ..... 75

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых изданий ВАК и в RSCI на базе Web of Science

**Подписные индексы:** 79363 в каталоге Роспечати; 40874 в каталоге "Пресса России"

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:** 117997, ГСП-7, Москва, ул. Профсоюзная, 65, к. 383. Тел./факс: (495) 330-42-66  
www.datsys.ru. E-mail: datsys@mail.ru

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены ИП Прохоров О. В.  
Отпечатано в типографии "Техинпресс". Заказ 62/11. Подписано в печать 15.11.2016.  
Журнал перерегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций 26.12.2013.  
ПИ № ФС 77-56548

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). На сайте Научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru) доступны полные тексты статей.

FOUNDERS

V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences,  
Russian Academy of Sciences,  
Non-commercial partnership  
“National technological house”,  
LLC “Sensidat-Plus” (publisher)

Editor-in-Chief  
Deputy Editor-in-Chief  
Deputy Editor-in-Chief  
Editor-in-Chief of MCA  
Executive Secretary  
Managing editor

**Pashchenko, F. F.**  
**Kuznetsova, N. N.**  
**Kaperko, A. F.**  
**Kneller, V. Yu.**  
**Baranova, G. M.**  
**Sukhanova S. V.**

EDITORIAL BOARD

Babayan R. R., D. Sc. (Tech.), Prof.,  
Baranova G. M.,  
Vasilyev S. N., Acad., RAS,  
Dzhandzhigava G. I., D. Sc. (Tech.), Prof.,  
Zhitkov A. N., Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,  
Itskovich E. L., D. Sc. (Tech.), Prof.,  
Kasatkin S. I., D. Sc. (Tech.), prof.,  
Kasimov A. M., D. Sc. (Tech.),  
Kaperko A. F., D. Sc. (Tech.), Prof.,  
Kneller V. Yu., Prof., D. Sc. (Tech.), Prof.,  
Kolomiets L. N., Ph. D. (Tech.),  
Kuznetsova N. N.,  
Lunkin B. V., Ph. D. (Tech.),  
Morozov V. P., D. Sc. (Tech.),  
Novikov D. A., Corr. mem., RAS,  
Parkhomenko P. P., Corr. mem., RAS,  
Pashchenko, F. F., D. Sc. (Tech.), Prof.,  
Pikina G. A., D. Sc. (Tech.), Prof.,  
Podlepetskiy B. I., Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,  
Polyakov V. V.,  
Prokhorov N. L., D. Sc. (Tech.), Prof.,  
Sirotkin O. S., Corr. mem., RAS,  
Shakhnov V. A., Corr. mem., RAS,  
Shkhabardnya M. S., D. Sc. (Tech.), Prof.,  
Yadykin I. B., D. Sc. (Tech.), Prof.

REGIONAL EDITORIAL COUNCILS

(leaders)

**Saint-Petersburg**

Knorrin, V. G., D. Sc. (Tech.), Prof. — (812) 297-60-01

**Nizhny Novgorod**

Nikulin, S. M., D. Sc. (Tech.), Prof. — (831) 436-78-40

**Ekaterinburg**

Porshnev, S. V., D. Sc. (Tech.), Prof. — (343) 375-97-79

**Novosibirsk**

Chuguy, Yu. V., D. Sc. (Tech.) — (383-3) 33-73-60

**Krasnoyarsk**

Patyukov, V. G., D. Sc. (Tech.), Prof. — (391-2) 912-279

**Biysk**

Galenko, Yu. A., Dr. Sci. (Tech.) — (3854) 43-25-69

Abanin, V. A., D. Sc. (Tech.) — (3854) 43-25-71

**Penza**

Shcherbakov, M. A., D. Sc. (Tech.), Prof. —  
(841-2) 56-37-08

**Ryazan**

Kirillov, S. N., D. Sc. (Tech.), Prof. — (491-2) 92-04-55

**Ulyanovsk**

Yarushina, N. G., D. Sc. (Tech.), Prof. —  
(842-2) 43-03-22

**Izhevsk**

Alekseev, V. A., Dr. D. Sc. (Tech.), Prof. —  
(341-2) 21-29-33

**Orenburg**

Kucherenko, M. G., D. Sc. (Phys.-Math.), Prof. —  
(353-2) 77-34-19

**Vladimir**

Ustyuzhaninov, V. N., D. Sc. (Tech.), Prof. —  
(492-2) 33-59-67

**Tula**

Raspopov, V. Ya., D. Sc. (Tech.), Prof. —  
(487-2) 35-19-59

**Voronezh**

Bituykov, V. K., D. Sc. (Tech.), Prof. — (473-2) 55-36-94

**Kursk**

Titov, V. S., D. Sc. (Tech.), Prof. — (471-2) 58-71-12

**Tambov**

Mishchenko, S. V., D. Sc. (Tech.), Prof. —  
(475-2) 72-10-19

**Astrakhan**

Petrova, I. Yu., D. Sc. (Tech.), Prof. — (851-2) 25-73-11

**Minsk**

Manak, I. S., Ph. D. (Phys.-Math.), Assoc. Prof. —  
(417) 278-13-13

**Ufa**

Gusev, V. G., D. Sc. (Tech.), Prof. — (347-2) 23-77-89

# SENSORS and SYSTEMS

№ 11 (208)

NOVEMBER  
2016

## CONTENT

### THEORY AND CONSTRUCTION PRINCIPLES OF SENSORS, DEVICES AND SYSTEMS

*Nizhny Novgorod Regional Editorial Council presents*

- Nikulin S. M., Terentev A. A.** A novel approach to scattering parameters measuring using method of variable spatially remote load: description and perspectives ..... 3
- Kuzin A. A., Miakinkov A. V., Smirnova D. M.** The improvement in accuracy of target coordinate measurement in forward scatter radar ..... 8
- Bukvarev E. A., Ogurtsov A. G., Ryndyk A. G.** Multiprocessor digital signal processing module ..... 14
- Melnikov V. I., Ivanov V. V., Tepljashin I. A.** The waveguide acoustic device for gas-content control in the liquid flow ..... 19

\* \* \*

- Karpov A. V., Voskov L. C., Efremov S. G.** A method for improving energy efficiency of wireless camera sensor networks ..... 23

### DESIGN AND PRODUCTION OF SENSORS, DEVICES AND SYSTEMS

*Computer-aided design of electronic means of connection structures*

- Vlasov A. I., Gridnev V. N., Zhalnin V. P., Yemelyanov E. I.** Techniques of electronic design automation of switching structures in Altium Designer environment. Physical design ..... 28

\* \* \*

- Kulagin V. P., Kuznetsov Yu. M., Lvov S. A., et al.** Assess the feasibility of metal oxide sensors in devices such as “electronic nose” ..... 39
- Yurin A. I., Neborsky A. Yu.** Correction of non-linearity and hysteresis of conversion function of inductive measuring transducers ..... 48
- Metsler E. A., Titov S. S., Zhirnov A. A., Pavlenko A. A.** A setup of study dynamics of the mean particle diameter of submicron aerosols ..... 52
- Sovlukov A. S., Tereshin V. I.** Radiofrequency device for concentration measurement of particulates in a pipeline ..... 58

### MEASUREMENT, CONTROL, AUTOMATION (Journal in journal)

- Itskovich E. L.** Action required for information protection against unauthorized access to automatic control systems of potentially hazardous objects ..... 62
- Conferences, symposiums, seminars (January—October 2017)** ..... 75

The journal is included into the list of the leading reviewed by Higher Attestation Commission's periodicals, publishing basic results of doctoral and candidate dissertations (2015) and into RSCI based on Web of Science (2015).

**Subscription codes:** 79363 in the Russian press catalogue; 40874 in the catalogue “The Press of Russia”

**EDITORIAL ADDRESS:** 65 Profsoyuznaya st., office 383, Moscow, 117997. Tel./fax: (495) 330-42-66  
www.datsys.ru E-mail: datsys@mail.ru

The layout and the electronic version are prepared by IE Prokhorov O. V.

Printed by “Tekhinpress” print house Order 62/11. Signed for press on 15.11.16.

The journal is reregistered in the Federal service for supervision in the sphere of communication and mass communications 26.12.2013. PI № FS 77-56548

The journal is included into the Russian Science Citation Index (RSCI in Web of Science). On the website of the Scientific electronic library (www.elibrary.ru) articles' full-texts are available.

по диаметру трубы имеет максимум по центру и нулевое на поверхности трубы. При горизонтальном течении газовые фракции собираются у верхней внутренней поверхности трубопровода.

Заметим, что установка нескольких приборов позволяет измерять распределение газосодержания по сечению потока, по которому несложно определить среднее по сечению газосодержание.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые разработанный ультразвуковой зондовый прибор контроля газосодержания (паросодержания) потока предназначен для применения в различных областях техники, в частности, для контроля паросодержания в парогенераторах и испарителях, газосодержания буровых растворов, в барботажных установках химических производств и в других технологических процессах. Важной особенностью прибора является то, что в нем благодаря применению волноводов излучатель и приемник ультразвука вынесены из зоны воздействия потока среды, он может устойчиво работать в средах с криогенной или крайне вы-

сокой температурой ( $-200...+400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и давлении среды до 20 МПа.

Серийное производство осуществляется компанией “Акустические Измерительные Системы-НН” ([www.ais-nn.ru](http://www.ais-nn.ru)).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников В. И. Диагностика двухфазных потоков методом акустического зондирования // Промышленная теплотехника. — 1981. — Т. 3, № 2. — С. 110—116. [Mel'nikov V. I. Diagnostics of two-phase flows by the method of acoustic sounding // Industrial heat engineering. — 1981. — Vol. 3, N 2. — P. 110—116. (In Russian)]
2. Мельников В. И., Дробков В. П., Контелев В. В. Акустические методы диагностики газожидкостных потоков. — М.: Энергоатомиздат, 2006. — 351 с. [Mel'nikov V. I., Drobkov V. P., Kontelev V. V. Acoustic methods of diagnosis of gas-liquid flows. — Moscow: Energoatomizdat, 2006. — 351 p. (In Russian)]
3. Махин В. А., Мельников В. И., Шатров В. А. Оценка точности измерения паросодержания методом акустического зондирования // Промышленная теплотехника. — 1981. — Т. 3, № 4. — С. 83—86. [Mahin V. A., Mel'nikov V. I., Shatrov V. A. Evaluation of the accuracy of the measurement of void fraction by means of acoustic sensing // Industrial heat engineering. — 1981. — Vol. 3, N 4. — P. 83—86. (In Russian)]

\* \* \*

УДК 004.75.535.241

§ frsh j toj Odr<sup>5</sup>

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ФОТОКАМЕР

## A METHOD FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF WIRELESS CAMERA SENSOR NETWORKS

<sup>1)</sup> Карпов Алексей Викторович

аспирант

E-mail: [karpov-av2@yandex.ru](mailto:karpov-av2@yandex.ru)

<sup>1)</sup> Восков Леонид Сергеевич

канд. техн. наук, доцент, профессор

E-mail: [lvoskov@hse.ru](mailto:lvoskov@hse.ru)

<sup>2)</sup> Ефремов Сергей Геннадьевич

канд. техн. наук, ст. преподаватель

E-mail: [sefremov@hse.ru](mailto:sefremov@hse.ru)

<sup>1)</sup> Московский институт электроники и математики  
Национального исследовательского университета  
“Высшая школа экономики”, Москва

<sup>2)</sup> Национальный исследовательский университет  
“Высшая школа экономики”, Москва

<sup>1)</sup> Karpov Alexey V.

Postgraduate

E-mail: [karpov-av2@yandex.ru](mailto:karpov-av2@yandex.ru)

<sup>1)</sup> Voskov Leonid S.

Ph. D. (Tech.), Associate Professor, Professor

E-mail: [lvoskov@hse.ru](mailto:lvoskov@hse.ru)

<sup>2)</sup> Efremov Sergey G.

Ph. D. (Tech.), Senior Lecturer

E-mail: [sefremov@hse.ru](mailto:sefremov@hse.ru)

<sup>1)</sup> Moscow Institute of Electronics and Mathematics  
of National Research University Higher School  
of Economics, Moscow

<sup>2)</sup> National Research University Higher School  
of Economics, Moscow

**Аннотация:** На основе анализа существующих подходов к определению энергетической эффективности беспроводной сенсорной сети камер с автономными источниками питания и методов ее повышения предлагается адаптивный подход, учитывающий запросы пользователей. Согласно предлагаемому методу степень обработки изображений оконечными устройствами изменяется таким образом, чтобы минимизировать затраты энергии на передачу информации. Приведены характеристики разработанного макета оконечного устройства.

**Ключевые слова:** сенсорные сети камер, энергетическая эффективность, централизованная и локальная обработка изображений.

## ВВЕДЕНИЕ

Сенсорные сети камер находят свое применение во многих областях, в том числе в качестве беспроводных датчиков. В подобных приложениях, как правило, не требуется непосредственной передачи изображений, пользователю необходима только информация, содержащаяся в самих изображениях.

В качестве основного датчика в беспроводных сенсорных сетях камер используются миниатюрные маломощные видеокамеры. Основная задача таких сетей — визуальный мониторинг объектов [1–4]. Они также применяются в качестве универсальных оптических датчиков, способных отслеживать перемещение и изменения состояний объектов, проводить измерения их характеристик, например, считывать показания с различных аналоговых приборов учета, не имеющих внешних цифровых интерфейсов.

Отличие сенсорных сетей камер от стандартных сенсорных сетей, где в качестве сенсоров используются датчики физических величин, заключается в больших объемах обрабатываемой информации, поскольку изображение, получаемое камерой, представляет собой матрицу чисел, в то время как информация с датчиков представляется скалярной величиной. Однако вычислительные мощности и запасы энергетических ресурсов остаются такими же, как в стандартных сенсорных сетях, поэтому актуальной является проблема повышения энергетической эффективности функционирования сенсорной сети камер путем предварительной обработки данных до того, как они будут переданы в сеть. Таким образом, поиск новых методов обработки информации в сенсорных сетях камер позволит повысить эффективность функционирования не только сенсорных сетей камер, но и датчиков, а также других устройств, подключенных к глобальной сети Интернет.

**Abstract:** On the base of the existing approaches study to the energy efficiency determining and increasing for wireless camera sensor networks with autonomous power sources an approach is offered that takes into account users' requests. In proposed approach the degree of image processing by the terminal devices changes so that the energy cost of transmitting data is minimal. Some characteristics of the developed system prototype are given.

**Keywords:** camera sensor networks, energy efficiency, energy efficiency functioning, centralized and local image processing.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕНСОРНОЙ СЕТИ КАМЕР

Для количественной оценки энергоэффективности вводится понятие коэффициента энергоэффективности. Согласно [5] термин “эффективность” используется для того, чтобы обозначить достигнутое качество (эффективность) осуществления целенаправленных действий и технологических процессов, а также дается следующее определение коэффициента энергоэффективности:

$$\Theta = \frac{W_{\text{п}}}{W_{\text{п}} + W_{\text{нп}}},$$

где  $W_{\text{п}}$  — полезно использованная энергия,  $W_{\text{нп}}$  — непроизводительные расходы.

В работах, посвященных проблеме повышения энергетической эффективности беспроводных сенсорных сетей понятие эффективности работы зачастую неотличимо от понятия времени автономной работы [6, 7]. Считается, что чем дольше сеть функционирует, тем эффективнее она работает. В качестве противоречащего примера можно привести сеть, в которой отсутствует передача полезных данных, а энергия затрачивается на паразитные процессы, такие, как передача служебной информации. В подобной сети время автономной работы будет значительно выше, чем в сети, где происходит передача требующихся данных, хотя коэффициент эффективности такой системы равен нулю.

В статье [8] энергоэффективность рассматривается с точки зрения перерасхода ресурсов сети, например, запасов энергии устройств. Показатель эффективности за интервал времени  $(t - \Delta t, t)$  авторы рассчитывают как отношение числа эффективно функционирующих устройств к общему

числу устройств сети:  $\psi_d(t) = \frac{\sum_{i=1}^n |\psi_i(t)|}{n}$ , где  $n$  — число узлов.

При этом

$$\psi_{de}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } N_{de} - L_{de} \geq 0; \\ 0, & \text{если } N_{de} - L_{de} < 0, \end{cases}$$

где  $e$  — индекс ресурса энергии;  $N_{de}$  — остаточные ресурсы  $e$  узла  $d$  в момент времени  $t - \Delta t$ ;  $L_{de}$  — расход ресурса  $e$  узла  $d$  в момент времени  $t - \Delta t$ .

Под эффективно функционирующими устройствами в [5] понимаются устройства, не допускающие перерасхода ресурсов, т. е. расхода энергии за интервал времени  $t - \Delta t$  большего, чем его остаточный ресурс ( $\psi_{de}(t) = 0$ ). Однако отсутствие перерасхода ресурса в сенсорных сетях камер не является показателем эффективности функционирования сети, а может говорить об удовлетворении качеству предоставляемого сервиса.

Под полезной передаваемой информацией в [5] подразумевается количество бит, передаваемых узлом по сети, без учета накладных расходов, добавляемых конкретными протоколами (заголовки, служебная информация и дополнительные сообщения, специфичные для каждого протокола). Таким образом, данный подход, как и предыдущий, не учитывает запросы пользователей.

Предлагаемый подход к определению энергетической эффективности сенсорной сети камер позволяет учитывать запросы пользователей. Как правило, пользователю необходима информация, содержащаяся на изображении, а не непосредственно само изображение. Таким образом, под полезной информацией будем понимать количество бит информации, необходимой пользователю, например, информация о показании счетчика, информация о наличии или отсутствии объекта наблюдения в кадре и др.

Коэффициент энергоэффективности для сенсорных сетей камер предлагается рассчитывать следующим образом:

$$C = \left( \sum_{j=1}^n \frac{E_{ij}}{E_{rj}} \right) \cdot 100 \%, \quad E_{rj} > 0, \quad E_{rj} < E_{ij},$$

где  $E_{ij}$  — затраты энергии на передачу полезных данных, необходимых пользователю за время  $\Delta t$ ;  $E_{rj}$  — фактические затраты энергии на передачу данных за время  $\Delta t$ ;  $n$  — число конечных устройств, передающих информацию.

*Пример.* Считывание показаний с аналогового прибора учета потребления воды. Емкость

указателя счетного механизма примем равной  $99\,999,999 \text{ м}^3$ , и для кодирования информации со счетчика необходимо 27 бит, т. е. данное количество полезной информации необходимо получить пользователю с одного оконечного устройства. В случае передачи необработанного изображения размером  $640 \times 480$  пикселей с глубиной цвета 8 бит/пиксель необходимо передать 300 Кбайт информации. В результате, фактически затраченная энергия  $E_{rj}$  будет больше, чем энергия, затраченная на передачу полезных данных  $E_{ij}$ .

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Для повышения эффективности функционирования сенсорной сети камер и, как следствие, увеличения времени автономной работы устройств, применяются следующие методы: синхронизация работы устройств в сети, построение гетерогенной сети [9], агрегирование данных [10]. Методы, связанные с обработкой изображений на оконечном узле [11] — одни из наиболее перспективных, поскольку основная энергия в сенсорных сетях затрачивается на передачу и прием информации [12].

Возможны следующие варианты сокращения объема передаваемой информации на оконечном узле:

- использование алгоритмов сжатия изображений с потерями (JPEG, и т. д.) [13];
- предобработка изображений (субдискретизация, вычитание фона, бинаризация, детектирование краев, передача части изображения, где находится предполагаемый объект и т. д.) [14];
- распознавание объектов на изображении [15].

Метод распознавания объектов на изображении сокращает количество передаваемой оконечным узлом информации, ее объемы становятся сравнимыми с объемами полезных данных в стандартных сенсорных сетях, но на распознавание и обработку изображений также затрачивается энергия. Поэтому, если распознавание на оконечном узле будет длительным, энергетическая эффективность сети может снизиться. В связи с этим возникает проблема баланса между степенью локальной обработки изображений, получаемых на оконечном узле, и их централизованной обработкой на устройстве управления, которое, как правило, имеет постоянный источник питания.

Предлагаемый метод повышения энергоэффективности сенсорной сети камер заключается в изменении степени обработки изображений в сети камер в зависимости от ряда факторов.

Рассмотрим беспроводную сенсорную сеть камер с автономными источниками питания, в которой камеры расположены на фиксированных позициях. Цель — повысить энергетическую эффективность такой сети.

Предложенный адаптивный подход [16] состоит в том, что перед тем, как оконечный узел сенсорной сети камер инициирует передачу данных координатору, система определяет оптимальный метод обработки изображения. Критерием оптимальности является минимизация энергетических затрат на передачу данных.

Формула общей затрачиваемой энергии на получение и передачу информации от оконечного узла координатору имеет вид:

$$E_{TOTAL} = E_{ED} + E_{ROUTER} \cdot N_{ROUTER} + E_{COORD}, \quad (2)$$

где  $E_{TOTAL}$  — общая энергия, затрачиваемая на передачу данных от оконечного узла координатору;  $E_{ED}$  — энергия, затрачиваемая на обработку информации оконечным узлом;  $E_{ROUTER}$  — энергия, затрачиваемая маршрутизатором на передачу данных;  $N_{ROUTER}$  — количество маршрутизаторов, через которых передаются данные;  $E_{COORD}$  — энергия, затрачиваемая координатором при получении информации.

Таким образом, необходимо минимизировать общие затраты по всей сети на передачу и обработку данных:  $E_{TOTAL} \rightarrow \min$ .

## ЭКСПЕРИМЕНТ

С целью проведения натурального эксперимента были разработаны макеты устройств, входящих в систему: оконечного устройства, маршрутизатора и координатора сети. Оконечное устройство выполняет функции получения изображений и передачи их в сеть. Запасы энергетических ресурсов координатора, выполняющего функции приема и обработки данных со всей сети и подключаемого к персональному компьютеру, можно считать неограниченными.

Оконечное устройство сенсорной сети камер имеет, как минимум, пять функциональных блоков: блок получения изображений (камера), блок

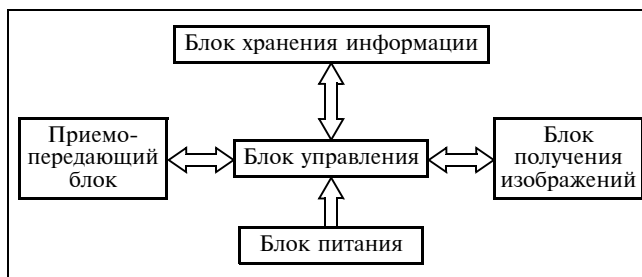


Рис. 1. Структурная схема оконечного устройства

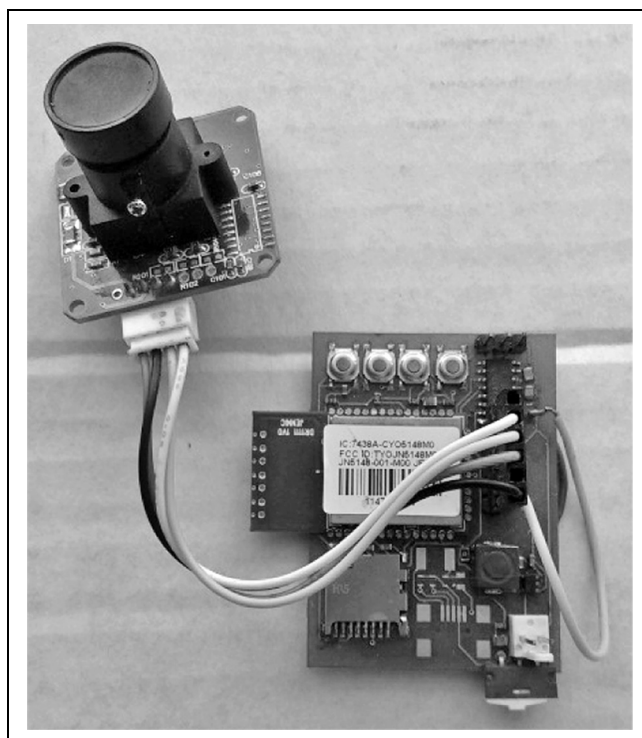


Рис. 2. Макет оконечного устройства

управления (микроконтроллер), блок хранения информации (память), блок беспроводной связи, блок питания (рис. 1).

С помощью САПР была разработана принципиальная электрическая схема оконечного устройства и спроектирована печатная плата в среде Altium Designer (P-CAD). Подключение камеры проводится по UART интерфейсу. Макет оконечного устройства показан на рис. 2.

### Основные технические характеристики макета

|                                        |                                                                                    |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Матрица камеры . . . . .               | Цветная                                                                            |
| Разрешение изображений, пикселей . . . | От 80 × 60<br>до 640 × 480                                                         |
| Формат изображений . . . . .           | RAW (2-бит, 4-бит,<br>8-бит оттенки серого;<br>8-бит, 12-бит,<br>16-бит RGB), JPEG |

|                                                            |                                  |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Частота кадров, fps                                        | До 10                            |
| Процессор                                                  | 32-бит RISC                      |
| Частота работы процессора, МГц                             | До 32                            |
| Объем памяти ROM/RAM, Кбайт                                | 128/128                          |
| Интерфейсы модуля                                          | 2×UART, USB                      |
| Частотный диапазон приема-передатчика, ГГц                 | 2,4...2,4835                     |
| Скорость передачи данных, Кбит/с                           | До 667 (по стандарту 250 Кбит/с) |
| Напряжение питания модуля, В                               | 3,0; 5                           |
| Поддержка работы устройств по стандарту сетей сбора данных | IEEE 802.15.4.                   |
| Возможность подключения SD-карты памяти                    | Да                               |

На макете проводится верификация предложенного подхода.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход к определению энергетической эффективности сенсорной сети камер позволяет учесть запросы пользователя. Для повышения энергетической эффективности сенсорной сети камер необходимо сокращать объемы передаваемой по сети информации, производя обработку изображений вплоть до распознавания объектов непосредственно на конечных узлах. Однако это не всегда повышает энергоэффективность работы сети, поскольку на распознавание и какую-либо обработку изображений также затрачивается энергия. Таким образом, предложенный метод повышения энергоэффективности сенсорной сети камер заключается в определении оптимального способа обработки изображения перед тем, как конечный узел инициирует передачу данных координатору. Критерием оптимальности выступает минимизация энергетических затрат на передачу данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lloret J., Bosch I., Sendra S., Serrano A. A wireless sensor network for vineyard monitoring that uses image processing // *Sensors*. — 2011. — Vol. 11. — P. 6165–6196.
2. Kays R., Kranstauber B. et al. Camera traps as sensor networks for monitoring animal communities // *The 34<sup>th</sup> IEEE Conference on Local Computer Networks*, 2009. — P. 811–818.
3. Bir B., Ravishankar C., Roy-Chowdhury A. et al. *Distributed Video Sensor Networks*. — Springer-Verlag London Limited, 2011.
4. Dahlberg T. A., Nasipuri A., Taylor C. Explorebots: A Mobile Network Experimentation Testbed // *SIGCOMM'05 Workshops*, 2005. — P. 76–81.
5. Ефремов В. В., Маркман Г. З. “Энергосбережение” и “энергоэффективность”: уточнение понятий, система сбалансированных показателей энергоэффективности // *Известия Томского политехнического университета*. — 2007. — Т. 311, № 4. — С. 146–148. [Efremov V. V., Markman G. Z. Energy saving and energy efficiency concepts clarifying, a system of balanced energy efficiency indices // *News of Tomsk polytechnic university*. — 2007. — Vol. 311, № 4. — P. 146–148. (In Russian)]
6. Ferrigno L., Marano S., Paciolo V., Pietrosanto A. Balancing computational and transmission power consumption in wireless image sensor networks // *IEEE International Conference on VECIMS*. — 2005. — P. 61–66.
7. Kenchannavar H. H., Kudtarkar S. S., Kulkarni U. P. Energy Efficient Data Processing In Visual Sensor Network // *International Journal of CS & IT*. — 2010. — Vol. 2, N 5. — P. 151–160.
8. Пилипенко Н. А., Восков Л. С., Ефремов С. Г. Динамическое назначение протоколов взаимодействующих интеллектуальных датчиков в промышленном интернете // *Датчики и системы*. — 2016. — № 3. — С. 3–8. [Pilipenko N. A., Voskov L. S., Efremov S. G. Dynamic protocol assignment for communicating smart sensors in industrial internet // *Sensors and Systems*. — 2016. — N 3. — P. 3–8. (In Russian)]
9. Charfi Y., Canada B., Wakamiya N., Murata M. Challenging Issues in Visual Sensor Networks // *IEEE Wireless Communications*. — 2009. — P. 44–49.
10. King-Shan L., Lam E., Image Transmission in Sensor Networks // *IEEE*. — 2005. — P. 726–730.
11. Карпов А. В. Энергетическая эффективность в беспроводных сенсорных сетях камер // *Качество. Инновации. Образование*. — 2013. — № 12. — С. 76–82. [Karpov A. V. Energy efficiency in wireless camera sensor networks // *Quality. Innovation. Education*. — 2013. — № 12. — P. 76–82. (In Russian)]
12. Восков Л. С., Ефремов С. Г. Задача увеличения времени автономной работы беспроводных сенсорных сетей в системах сбора данных и способ ее решения // *Датчики и системы*. — 2013. — № 4 (167). — С. 2–9. [Efremov S., Voskov L. A method for increasing lifetime of wireless sensor networks in data acquisition systems // *Sensors and Systems*. — 2013. — № 4. — P. 2–9. (In Russian)]
13. Karthikeyan A., Shankar T., Srividhya V., et al. Energy efficient distributed image compression using JPEG2000 in Wireless Sensor Networks (WSNS) // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. — 2013. — Vol. 47, N 2. — P. 860–869.
14. Zilan R., Barcelo-Ordinas J. M., Tavli B. Image Recognition Traffic Patterns for Wireless Multimedia Sensor Networks // *Wireless Systems and Mobility in Next Generation Internet*. — 2008. — P. 49–59.
15. Redondi A., Baroffio L., Canclini A. et al. A Visual Sensor Network for Object Recognition: Testbed Realization // *Digital Signal Processing*. — 2013. — P. 1–6.
16. Карпов А. В. Исследование метода адаптивного функционирования беспроводной сенсорной сети камер с автономными источниками питания // *Качество. Инновации. Образование*. — 2015. — № 9 (124). — С. 29–33. [Karpov A. V. Investigation of the adaptive operation principle in wireless camera sensor network with autonomous power source // *Quality. Innovation. Education*. — 2015. — № 9 (124). — P. 29–33. (In Russian)]