

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
**Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова**  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Научно-производственное объединение  
**«Информационные и сетевые технологии»**

**Институт информационных и телекоммуникационных технологий**  
БОЛГАРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ И  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ:  
УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛЕНИЕ, СВЯЗЬ  
(DCCN-2015)**

**МАТЕРИАЛЫ ВОСЕМНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**(19–22 октября 2015 г., Москва, Россия)**

*Под общей редакцией д.т.н. В.М. Вишневого*

**Москва  
ИПУ РАН  
2015**

УДК 004.7:004.4].001:621.391:007

ББК 32.973.202:32.968

Р 24

**Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2015) = Distributed computer and communication networks: control, computation, communications (DCCN-2015)** : материалы Восемнадцатой междунар. науч. конфер., 19–22 окт. 2015 г., Москва: / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук ; под общ. ред. В.М. Вишневого – М.: ИПУ РАН, 2015. – 656 с. – ISBN 978-5-91450-170-6.

В научном издании представлены материалы Восемнадцатой международной научной конференции «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь» по следующим направлениям:

- Архитектура компьютерных и телекоммуникационных сетей.
- Управление в компьютерных и телекоммуникационных сетях.
- Оценка производительности беспроводных сетей трансляции мультимедийной информации.
- Аналитическое и имитационное моделирование сетевых протоколов.
- Теория очередей и теория надежности.
- Беспроводные сети IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16 и UMTS (LTE).
- Технология RFID и ее применение в интеллектуальных транспортных системах.
- Проектирование протоколов (MAC-уровня) сантиметрового и миллиметрового диапазона радиоволн.
- Интернет, веб-приложения и услуги.
- Интеграция приложений в распределенных информационных системах.

В материалах конференции DCCN-2015, подготовленных к выпуску Козыревым Д.В. обсуждены перспективы развития и сотрудничества в этой сфере.

Сборник материалов конференции предназначен для научных работников и специалистов в области теории и практики построения компьютерных и телекоммуникационных сетей.

Текст воспроизводится в том виде, в котором представлен авторами

**Утверждено к печати Программным комитетом конференции**

ISBN 978-5-91450-170-6

© ИНСТИТУТ  
ПРОБЛЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ 2015

15. <b>Rachinskaya M.A., Fedotkin M.A. (Russia)</b> RESEARCH OF THE PROCESS OF TRAFFIC FLOWS CONTROL BY MEANS OF SIMULATION.....	136
16. <b>Nikiforov I. (France)</b> QUICKEST MULTIDECISION ABRUPT CHANGE DETECTION WITH SOME APPLICATIONS TO NETWORK MONITORING.....	144
17. <b>Efrosinin D.V., Rykov V.V. (Russia)</b> HEURISTIC SOLUTION FOR THE OPTIMAL THRESHOLDS IN A CONTROLLABLE MULTI-SERVER HETEROGENEOUS QUEUEING SYSTEM WITHOUT PREEMPTION.....	152
18. <b>Veretennikov A., Zverkina G. (Russia)</b> ON POLYNOMIAL CONVERGENCE RATE OF THE AVAILABILITY FACTOR TO ITS STATIONARY VALUE.....	168
19. <b>Krishnamoorthy A., Vishnevsky V.M., Manjunath A.S., Viswanath C.Narayanan (India, Russia)</b> ON A CLASS OF QUEUES WITH APPLICATIONS TO TELECOMMUNICATIONS.....	176
20. <b>Krishnamoorthy A., Vishnevsky V.M., Deepak T.G., Joshua V.C. (India, Russia)</b> ON A RETRIAL QUEUEING MODEL WITH ORBITAL SEARCH OF CUSTOMERS - APPLICATION TO TELECOMMUNICATION ON HIGHWAYS.....	177
21. <b>Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. (Russia)</b> SWARM OF PUBLIC UNMANNED AERIAL VEHICLES AS A QUEUEING NETWORK.....	178
22. <b>Karpov A., Voskov L.S., Efremov S. (Russia)</b> DEVELOPMENT OF WIRELESS CAMERA SENSOR NETWORK MODEL.....	188
23. <b>Karpov I., Voskov L.S., Efremov S. (Russia)</b> AUDIO-DATA TRANSMISSION MODEL FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS WITH QoS.....	196
24. <b>Kokshenev V., Mikheev P., Suschenko S., Tkachev R. (Russia)</b> HETEROGENEOUS MULTI-PACKET MESSAGE DELAY IN HETEROGENEOUS DATA TRANSMISSION PATH.....	202
25. <b>Mikheev P., Suschenko S. (Russia)</b> ON INITIAL WIDTH OF CONTENTION WINDOW INFLUENCE ON WIRELESS NETWORK STATION IEEE 802.11 CHARACTERISTICS.....	208
26. <b>Basharin G., Rusina N. (Russia)</b> PROBABILITY CHARACTERISTIC COMPUTATIONALGORITHM OF UPSTREAM TRAFFIC IN PASSIVE OPTICAL NETWORK.....	216
27. <b>Dronyuk I., Nazarkevych M., Fedevych O. (Ukraine)</b> SYNTHESIS OF NOISE-LIKE SIGNAL BASED ON ATEB-FUNCTIONS.....	223
28. <b>Fedotkin M., Kudryavtsev E. (Russia)</b> LIMITING PROPERTIES OF ADAPTIVE CONTROL SYSTEM CONFLICT FLOWS NONHOMOGENEOUS ARRIVALS.....	233

# DEVELOPMENT OF WIRELESS CAMERA SENSOR NETWORK MODEL

*A. Karpov<sup>1</sup>, L. Voskov<sup>2</sup>, S. Efremov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> National Research University Higher School of Economics (HSE), Moscow, Russia,

<sup>2</sup> Moscow State Institute of Electronics and Mathematics Higher School of Economics (MIEM HSE), Moscow, Russia

## Abstract

This paper describes a model of wireless camera sensor network with autonomous power sources, taking into account the specifics of such networks. We present new approach to definition of the energy efficiency in camera sensor networks based on user requirements. We also discuss the factors which influence on the image recognition process in sensor nodes and distinguish the levels of intelligence of camera sensor network.

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ КАМЕР

*А.В. Карпов<sup>1</sup>, Л.С. Восков<sup>2</sup>, С.Г. Ефремов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия,

<sup>2</sup> Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики", Москва, Россия

karpov-av2@narod.ru, voskov@narod.ru, efremov-sg@narod.ru

## Аннотация

В данной работе представлена модель функционирования сенсорной сети камер с автономными источниками питания, учитывающая специфику ее работы. Рассматривается подход к определению энергетической эффективности сенсорной сети камер на основе учета требований пользователей. Также определяются факторы, влияющие на распознавание изображений на конечных узлах, выделяются уровни интеллектуальности сети камер.

**Ключевые слова:** сенсорная сеть камер, модель, энергетическая эффективность, требования пользователей, уровни интеллектуальности

## 1. Введение

Сенсорная сеть камер (camera sensor network, wireless image sensor network, visual sensor network, smart cameras network) – беспроводная сенсорная сеть, где в качестве основного сенсора используется маломощная видео- или фотокамера. Цель развертывания сенсорной сети камер состоит в удаленном получении информации об объектах мониторинга и ее передаче на центральный узел системы в течение длительного промежутка времени [1, 2, 3, 4].

Модель получения информации камерой по своей природе отличается от модели получения информации любого другого типа сенсора. Как правило, датчик собирает данные из окружающей среды на расстоянии срабатывания. Камера, в свою очередь, характеризуется моделью направленного получения информации - она получает изображения удаленных объектов в определенном направлении, так называемом «поле зрения» (Field of View). Благодаря этому становится возможным бесконтактное измерение видимых характеристик объекта. Например, в некоторых случаях бывает невозможно или невыгодно измерять, фиксировать наступление события каким-либо инструментом, устройством (трещина в стене, аналоговый прибор со стрелкой и т.д.), которое бы прямо, а не косвенно измеряло бы требующийся параметр. В этих случаях возможно использование камеры, которая является универсальным устройством бесконтактного измерения или датчиком, фиксирующим наступление событий.

Одно из основных отличий сенсорных сетей камер от других видов сенсорных сетей состоит в природе того, как камера получает информацию из окружающей среды. Большинство сенсоров проводят измерения одномерных сигналов. Однако матрица камеры состоит из большого числа фоточувствительных ячеек. Одно сделанное камерой измерение обеспечивает получение двумерного массива данных, который мы видим как изображение. В результате дополнительной размерности, набор данных имеет больший объем информации, а также более высокую сложность обработки и анализа по сравнению с обычными сенсорами. В связи с этим, увеличивается количество первоначально получаемой информации, поскольку объем данных, занимаемый изображением, значительно больше, чем скалярных данных (например, показания датчика температуры).

В стандартных сенсорных сетях для измерения физических величин (температуры, давления, влажности и т.д.) используются датчики, которые получают скалярные данные. В этом случае полезность информации, заключенная в самом числе, для пользователя максимальна, поскольку количество информации, занимаемое числом, нельзя сократить, только если использовать методы сжатия, агрегирования данных или изменять частоту их сбора с датчика. При получении изображений объекта камерой полезная информация, которую необходимо извлечь, как бы распределяется по всему объему данных, занимаемому изображением.

Поскольку оконечные устройства в системе являются автономными, то запасы энергетических ресурсов сильно ограничены. Кроме того, объемы изображений значительно больше объемов данных, получаемых с сенсоров температуры, влажности в стандартных сенсорных сетях, в результате этого особо остро встает вопрос эффективного использования энергетических ресурсов.

Целью работы является повышение энергетической эффективности беспроводной сенсорной сети камер с автономными источниками питания.

Объектом исследования является беспроводная стационарная сеть с автономными источниками питания, в которой каждый оконечный узел включает фотокамеру.

Предметом исследования является энергетическая эффективность сенсорной сети камер.

## **2. Новый подход к определению энергетической эффективности сенсорной сети камер на основе учета требований пользователей**

Эффективность функционирования сенсорной сети камер, главным образом, определяется количеством получаемой/передаваемой информации по отношению к затратам энергетических ресурсов [5]. Как правило, энергетическая эффективность сенсорной сети камер рассматривается с точки зрения затрат на передачу одного бита информации. Однако в этом случае не рассматривается, содержит ли переданный бит полезную информацию. Для определения энергетической эффективности сенсорной сети камер предлагается рассматривать работу сети с точки зрения полезности передаваемых пользователю данных.

Предлагается новый подход к определению энергетической эффективности сенсорной сети камер с автономными источниками питания, на основе учета запросов пользователей. Например, пользователю необходимо получить информацию о цвете птицы, другому пользователю узнать ее размеры, третьему – определить вид птицы (это также может быть необходимо одному пользователю, но в разные моменты времени). Чтобы не передавать изображение целиком, можно в зависимости от запросов пользователя отправлять только запрашиваемую информацию, то есть только полезные данные. При этом в некоторых случаях может быть не энергоэффективно распознавать и отправлять данные (например, распознать вид птицы на изображении), тогда возможна передача изображения целиком или его предобработка. Предлагается оконечному узлу самостоятельно решать, передавать изображение целиком или проводить его обработку и затем передавать распознанные данные.

Для повышения эффективности использования энергетических ресурсов сети необходимо максимизировать количество передаваемой полезной информации по сети и минимизировать суммарные затраты энергии узлами сети. Локальная обработка изображений на оконечном узле сокращает

общее количество передаваемых по сети данных. Она может включать простые алгоритмы обработки изображений (вычитание фона для детектирования движения/объектов, детектирования краев), а также более сложные алгоритмы компьютерного зрения, такие как выделение характерных точек (feature extraction), классификация объектов, вплоть до распознавания образов и сцены (scene reasoning).

Факторы, влияющие на распознавание изображений на конечных узлах:

- сложность объекта наблюдения;
- используемые алгоритмы обработки и распознавания;
- условия съемки (темное время суток, погодные условия и т.д.).

Таким образом, в зависимости от приложения, конечный узел с камерой может обеспечивать разные уровни интеллектуальности, которые определяются сложностью используемых алгоритмов обработки [6].

Низкоуровневые алгоритмы обработки (такие алгоритмы как вычисление разности фреймов для детектирования движения или детектирования краев) может выполнить оконечное устройство, используя основную информацию об окружении, и помочь решить или передавать изображение другим устройствам или продолжить обработку изображения на более высоком уровне.

Более сложные алгоритмы компьютерного зрения (например, выделение признаков объекта, классификация объектов и т.д.) позволяют, например, обеспечивать базовую классификацию полученного объекта. Кроме того, камеры могут взаимодействовать между собой путем обмена информацией о полученных признаках объектов, что позволяет в дальнейшем коллективно принимать решения. С этой точки зрения сенсорная сеть камер становится независимой от пользователя, интеллектуальной системой распределенных камер, которая обеспечивает получение актуальной информации об объекте мониторинга.

### **3. Уровни интеллектуальности сети камер**

В статье [7] авторы выделяют уровни интеллектуальности видеомониторинга. Под интеллектуальным видеомониторингом авторы понимают любой мониторинг, в котором обработка видео выполняется непосредственно на стороне камер. Таким образом, проводится распределенная обработка информации, снижаются требования к пропускной способности канала.

В существующих системах видеомониторинга интеллектуальность сети отсутствует (Рис. 1). В системах видеомониторинга, в которых обработка изображений проводится на конечных модулях, можно выделить четыре уровня интеллектуальности:

- 1) На первом уровне осуществляется детектирование движения (motion detection), таким образом, пользователю передаются только кадры, в которых зафиксировано движение.



Рис. 1: Уровни интеллектуальности видео-мониторинга

- 2) На втором уровне камеры могут производить детектирование объекта (object detection), его классификацию (object classification), таким образом, пользователю передаются кадры, на которых зафиксировано какое-либо движение и включающие объект или группу объектов наблюдения.
- 3) На третьем уровне возможна организация коллективного взаимодействия нескольких камер с целью идентификации объекта и передачи пользователю его текстового описания вместе со снимком.
- 4) На четвертом уровне сеть интеллектуальных камер лишь уведомляет пользователя о наступлении интересующего его события, отправив пользователю текстово-визуальное или полностью текстовое описание события.

Таким образом, с увеличением уровня интеллектуальности при переносе процесса обработки изображений на оконченные узлы снижаются требования к пропускной способности канала, поскольку передается меньший объем данных, однако повышаются требования к вычислительным ресурсам конечных узлов, производящих обработку данных.

Для проведения дальнейших исследований необходимо разработать модель беспроводной сенсорной сети камер с автономными источниками питания, учитывающую специфику ее работы.

#### 4. Модель функционирования сенсорной сети камер с автономными источниками питания

В сети можно выделить 3 типа устройств: координатор, оконечное устройство и маршрутизатор. Далее проводится расчет потребляемой энергии каждым устройством в сенсорной сети камер.



Общая формула затрачиваемой энергии при передаче данных от окончного узла координатору через маршрутизаторы (1):

$$E_{TOTAL} = E_{ED} + E_{ROUTER} \cdot N_{ROUTER} + E_{COORD} \quad (1)$$

, где  $E_{ED}$  - энергия, затрачиваемая окончным устройством на получение, обработку и передачу изображения,

$E_{ROUTER}$  - энергия, затрачиваемая маршрутизатором на передачу данных,

$N_{ROUTER}$  - количество маршрутизаторов,

$E_{COORD}$  - энергия, затрачиваемая координатором на прием изображения.

1) окончное устройство

Общая энергия, затрачиваемая окончным устройством с камерой на получение, обработку и передачу данных координатору, составляет (2):

$$E_{ED} = P_{CamGet} \cdot t_{GET} + (P_{CamTX} + P_{active}) \cdot \frac{N_{px} \cdot bpp}{V_{TX}} + P_{active} \cdot t_{proc} + (P_{active} \cdot t_{WAIT} + P_{rx} \cdot t_{CCA} + P_{tx} \cdot t_{DATA} + P_{rx} \cdot t_{ACK}) \cdot N_{frame} \quad (2)$$

, где  $P_{CamGet}$  - мощность, затрачиваемая на получение изображения камерой,

$t_{GET}$  - время затрачиваемое на получение изображения камерой,

$P_{CamTX}$  - мощность, затрачиваемая камерой на передачу изображения микроконтроллеру,

$P_{active}$  - мощность, затрачиваемая микроконтроллером при нахождении в активном режиме,

$N_{px}$  - количество пикселей изображения, которое определяется его разрешением,

$bpp$  - глубина цвета изображения (количество бит, отводимое на кодирование одного пикселя изображения),

$V_{TX}$  - скорость передачи данных по интерфейсу, соединяющему память камеры с памятью микроконтроллера,

$t_{proc}$  - время, требующееся на обработку изображения (сжатие, извлечение части изображения, распознавание объектов и т.д.),

$t_{WAIT}$  - время, затраченное на ожидание перед проверкой занятости канала,

$P_{rx}$  - мощность, затрачиваемая микроконтроллером при нахождении в режиме приема данных,

$t_{CCA}$  - время, затраченное на проверку занятости канала,

$P_{tx}$  - мощность, затрачиваемая микроконтроллером при нахождении в режиме передачи данных,

$t_{DATA}$  - время, затраченное на передачу кадра данных,

$t_{ACK}$  - время, затраченное на прием подтверждения,

$N_{frame}$  - количество фреймов, требующих передачи.

2) маршрутизатор, ретранслятор

По алгоритму асинхронного доступа – CSMA-CA без слотов, маршрутизатор всегда должен прослушивать эфир для обнаружения новых устройств и запросов на передачу данных, поэтому он не может переходить в режим пониженного энергопотребления. Маршрутизатор должен периодически прослушивать сеть, принимать данные предназначенные ему для передачи другому устройству сети, отправлять кадр подтверждения о получении данных, передавать данные другому устройству, принимать кадр подтверждения о получении данных другим устройством. Таким образом, формула для расчета потребляемой энергии маршрутизатором при передаче данных имеет вид (3):

$$t_{RXframe} = t_{DATA} + t_{ACK}$$

$$P_{RXframe} = \frac{P_{rx} \cdot t_{DATA} + P_{tx} \cdot t_{ACK}}{t_{RXframe}}$$

$$E_{ROUTER} = (P_{RXframe} \cdot t_{RXframe} + P_{tx} \cdot t_{frame}) \cdot N_{frame} \quad (3)$$

3) координатор

В функции координатора входит управление сетью, подключение новых устройств к сети, соответственно координатор должен периодически прослушивать эфир с целью трансляции информации о сети другим устройствам, обнаружения запросов на подключение от новых устройств.

Для упрощения расчетов не будем учитывать служебные кадры, генерируемые координатором для создания сети и ее управления. Тогда общая энергия, затрачиваемая координатором при получении данных от окончного устройства или маршрутизатора, составляет (4):

$$E_{COORD} = (P_{rx} \cdot t_{DATA} + P_{tx} \cdot t_{ACK} + P_{active} \cdot t_{TX}) \cdot N_{frame} \quad (4)$$

, где  $P_{active}$  - мощность координатора, затрачиваемая на передачу данных компьютеру для последующей обработки,

$t_{TX}$  - время, затраченное координатором на передачу данных компьютеру, зависящее от пропускной способности проводного канала и объема передаваемых данных.

Как правило, если сеть является небольшой, то координатор напрямую подключается к более мощному вычислительному устройству (компьютеру) по проводному каналу связи, на котором происходит дальнейшая обработка принятой информации и питается от стационарной электросети. Таким образом, запасы энергии координатора или остаются постоянными, или зависят от запасов энергии более мощного устройства, и вопрос энергоэффективной работы координатора не стоит так остро, как с вариантом автономного устройства.

В дальнейшем, в модели планируется учитывать запросы пользователей, вычислительную сложность алгоритмов обработки изображений.

Энергия, затрачиваемая на получение изображения, анализ ситуации (передать необработанное изображение или распознать объект), обработку данных, передачу распознанных данных координатору должна быть меньше энергии, затрачиваемой на получение изображения и передачу «сырого» изображения координатору.

## 5. Заключение

В работе была представлена модель функционирования сенсорной сети камер с автономными источниками питания. Предложен новый подход к определению энергетической эффективности сенсорной сети камер на основе учета запросов пользователей. Также определены факторы, влияющие на распознавание изображений на оконечных узлах, выделены уровни интеллектуальности сети камер.

Данное научное исследование (исследовательский проект №14-05-0064) выполняется при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014/2015гг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. J. Lloret, I. Bosch, S. Sendra, A. Serrano A Wireless Sensor Network for Vineyard Monitoring That Uses Image Processing. // Sensors. 2011. Vol.11. Pages 6165-6196.
2. Kays, R., B. Kranstauber, et al. Camera traps as sensor networks for monitoring animal communities. // The 34th IEEE Conference on Local Computer Networks. 2009. Pages 811-818.
3. Bir Bhanu, Chinya V. Ravishankar, Amit K. Roy-Chowdhury, Hamid Aghajan, Demetri Terzopoulos Distributed Video Sensor Networks. // Springer-Verlag London Limited. 2011.
4. Teresa A. Dahlberg, Asis Nasipuri, Craig Taylor Explorebots: A Mobile Network Experimentation Testbed. // SIGCOMM'05 Workshops. August 22-26, 2005.
5. 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.
6. S. Hengstler, D. Prashanth, S. Fong, and H. Aghajan Mesh-Eye: a hybrid-resolution smart camera mote for applications in distributed intelligent surveillance. //in Proceedings of the 6th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'07), pp. 360-369, 2007.
7. S. Hengstler, D. Prashanth, S. Fong, H. Aghajan MeshEye: A Hybrid-Resolution Smart Camera Mote for Applications in Distributed Intelligent Surveillance. // IPSN'07, April 25-27, 2007, Cambridge, Massachusetts, 2007.