

УДК 621.391

## МОДЕЛИ ТРАФИКА ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВО ВСЕПРОНИКАЮЩИХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

А.С. Мутханна, аспирант СПб ГУТ

А.В. Прокопьев, начальник отдела ООО «ЮбиТел», к.т.н.; a.prokopiev@ubitel.ru

**Ключевые слова:** модель трафика, всепроникающие сенсорные сети, цветные и черно-белые фотографии, самоподобие, протоколы AODV и RPL.

**Введение.** В настоящее время концепция Интернета Вещей (ИВ) [1, 2] считается наиболее реальным вариантом развития сетей связи на долгосрочную перспективу. В качестве технологической базы ИВ предполагается использовать всепроникающие сенсорные сети (ВСС или USN от англ. Ubiquitous Sensor Networks) [3, 4], которые станут, по всей видимости, наиболее распространенным вариантом применения данной концепции. Уже само название этих сетей (всепроникающие) подчеркивает возможность организации на их базе сколь угодно большого числа приложений. ВСС образуются как самоорганизующиеся сети [5,6] и для них, как для всех сетей связи, также необходимо исследование характеристик трафика.

В современных сетях связи потоки трафика, как правило, самоподобны, что справедливо для приложений Skype [7], торрентов [8], IPTV [9] и т.д. В последнее время появились работы по исследованию потоков трафика в USN. Пуассоновский поток был рассмотрен как модель трафика для каждого индивидуального сенсора [10], метод ON/OFF [11] проанализирован для модели трафика USN [12]. Авторы доказали, что периоды распределения ON и OFF могут рассматриваться как обобщенное распределение Парето. Модель потока с тяжелыми хвостами распределения для мобильных сенсорных сетей предложена в [13], модели потоков в USN для приложений телеметрии – в [14], для медицинских приложений – в [15].

В статье исследуются потоки трафика для приложений передачи изображений – цветных и черно-белых. Трафик, формируемый этими приложениями, в существенной степени отличается от рассмотренных ранее и, в первую очередь, по объему передаваемой информации. Ниже на основе статистических данных определяются законы распределения для объема передаваемой информации как для цветных, так и черно-белых фотографий. Сжатие информации осуществляется по стандарту JPEG.

**Модель сети.** Для исследования трафика, а также характеристик качества обслуживания в ВСС широко применяются плоскостные (2D) модели [14–17], чем и воспользуемся при исследовании потоков трафика для приложений передачи изображений. Заметим, что использование сенсорной сети для передачи только изображений вряд ли целесообразно. Поэтому будем считать, что наряду с передачей изображений в сенсорной сети осуществляется и сбор телеметрической информации.

Узлы моделируемой сети случайным образом размещаются на сенсорном поле размером 30×30 м, причем шлюз находится в центре поля. Для сбора данных телеметрии используются 50 узлов. Узлы отправляют данные в определенные интервалы времени 15, 30, 40 и 60 с случайным образом для каждого узла. Дополнительно к узлам сбора данных на

сенсорном поле размещаются 5 узлов обработки и передачи цифровых изображений.

Пример расположения сенсорных узлов показан на рис. 1. Сенсорные узлы для телеметрии выделены зеленым цветом, для обработки и передачи цифровых изображений синим, а шлюз – красным. Для передачи информации используется широко распространенный в самоорганизующихся сетях протокол AODV.

**Плотность распределения объема передаваемых данных.** Данные, передаваемые узлом телеметрии, могут быть представлены короткой строкой, целым числом или дробью, т.е. для передачи сообщений в сенсорных сетях для данных телеметрии достаточно 4 байт. В случае же передачи цветных и черно-белых изображений объем передаваемых данных может быть значительным. Кроме того, этот объем существенно зависит от множества факторов.

Прежде всего, необходимо выбрать формат кодирования. При рассмотрении передачи несжатого изображения понадобится 3 байта для описания трех компонент каждого пикселя: красного, зеленого и синего цвета. Это означает, что для передачи изображения в 640×480 пикселей необходимо 921 600 байт. Современные методы сжатия могут уменьшить данный объем больше, чем в 10 раз. Большинство методов сжатия, позволяющих наиболее эффективно преобразовывать данные, базируются на вейвлет-анализе. Однако они требуют большой вычислительной мощности, что может привести к резкому снижению длительности жизненного цикла сенсорного узла.

Для применения в моделях ВСС были выбраны методы сжатия JPG и PNG. Формат JPG использует метод сжатия с потерями и изменяемым уровнем качества от 0 до 100. Формат PNG в отличие от JPG использует метод сжатия без потерь. Форматы JPG с качеством 25 для цветных изображений и PNG для черно-белых при всей своей энергетической эффективности для ВСС позволяют получить вполне приемлемое качество изображений на уровне шлюза сенсорной сети.

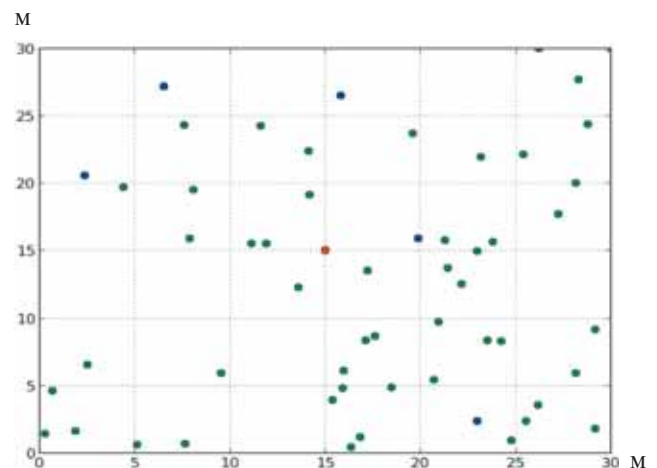


Рис. 1. Размещение датчиков на плане

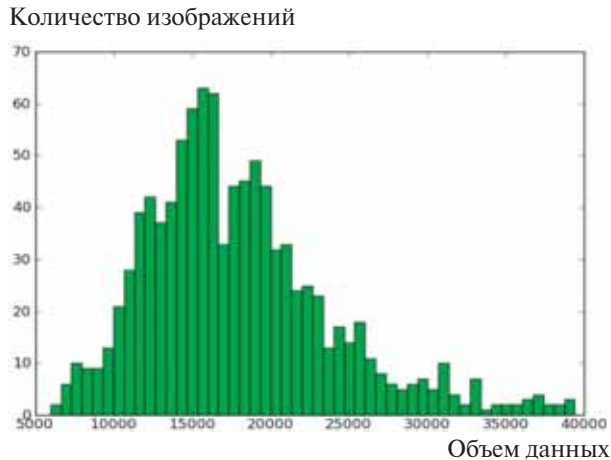


Рис. 2. Гистограмма распределения объема данных для цветных изображений

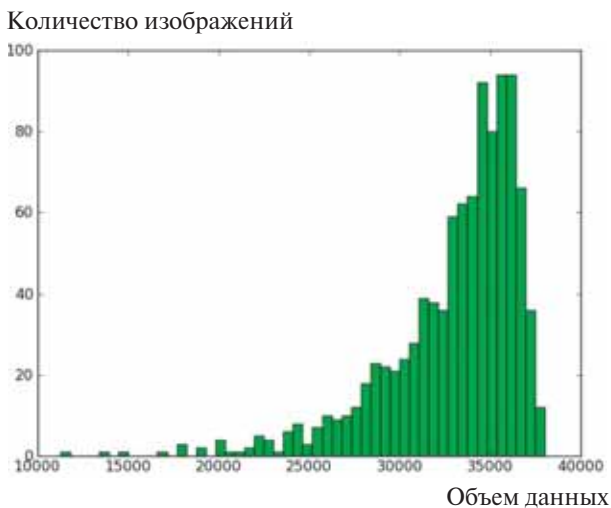


Рис. 3. Гистограмма распределения объема данных для черно-белых изображений

Для оценки требуемого объема данных для передачи были выбраны по тысяче разных цветных и черно-белых снимков с различными сценами, снятыми на разные камеры. Все изображения были сжаты до  $640 \times 480$ . Гистограмма распределения объема данных для цветных изображений формата JPG приведена на рис. 2, для черно-белых изображений PNG – на рис. 3.

Функции плотности вероятности этих распределений соответствуют гамма-распределению, что было установлено при использовании критерия Колмогорова-Смирнова.

**Результаты моделирования.** Для моделирования использовано программное обеспечение с открытым исходным кодом. Программное обеспечение основывается на пакете NS-2 и языке программирования Python. Это универсальный язык, имеющий богатую стандартную библиотеку (включая NumPy и SciPy) и позволяющий использовать большое количество дополнительных модулей. Для визуализации процессов применялся Matplotlib. Преобразование цифровых изображений, а также расчет параметров функций распределения выполнены с помощью библиотек Python по работе с изображением.

В качестве базового выбран шаблон сценария NS-2, описывающий конфигурации беспроводных каналов, все не-

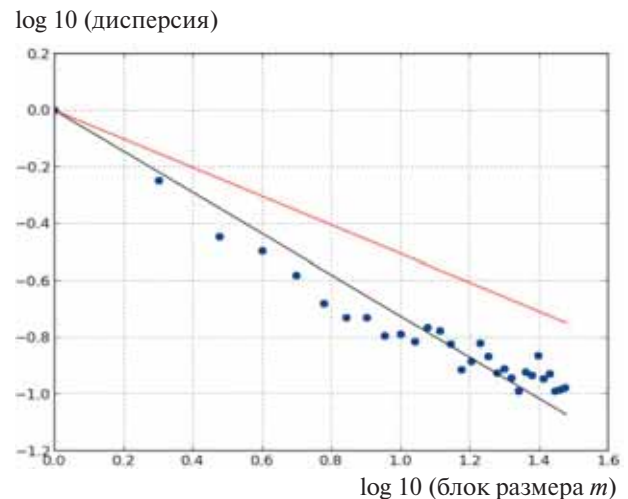


Рис. 4. Определение параметра Херста для потока цветных изображений

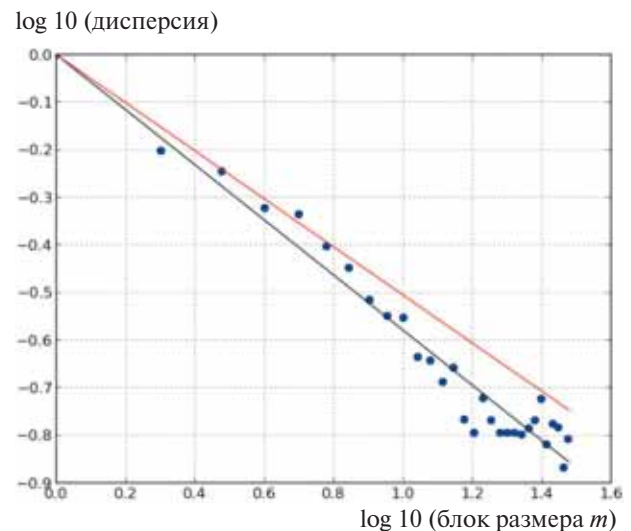


Рис. 5. Определение параметра Херста для потока черно-белых изображений

обходимые функции и служебные команды. Для передачи телеметрических данных и цифровых изображений дополнительно разработаны процедуры для ускоренного соединения между двумя узлами и трафика с необходимыми параметрами.

Скрипт языка программирования Python разработан для автоматизации процессов и генерирования случайных данных, таких как координаты местоположения узлов, время начала телеметрического соединения, интервал между сообщениями, размер передаваемого изображения и т.д. Как только все данные в Python сгенерированы, последний сценарий импортирует их в интерпретатор NS-2 для непосредственного выполнения.

Результаты работы NS-2 представлены в виде файла Trace, содержащего информацию обо всех пакетах, отправленных в моделируемую сеть. Каждая запись содержит информацию о временной метке, типе пакета, адресе источника, пункте назначения сообщения, а также другую дополнительную информацию. Анализируя файл строка за строкой, можно получить всю необходимую информацию для определения параметров потоков трафика.

Данные о количестве пакетов использованы для расчета коэффициента Херста  $H$ , характеризующего степень само-

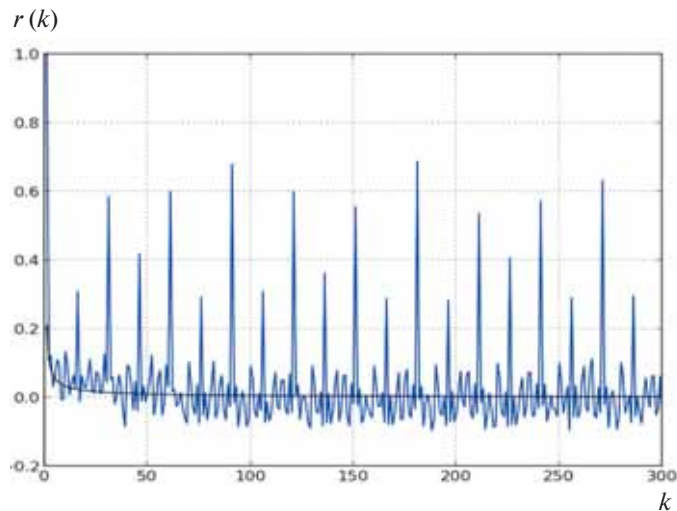


Рис. 6. Автокорреляционная функция для приложения передачи цветных изображений

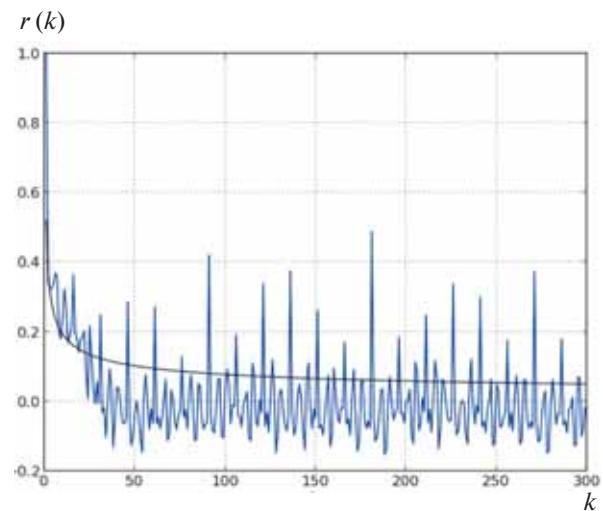


Рис. 7. Автокорреляционная функция для приложения передачи черно-белых изображений

подобия потоков трафика. Существует несколько способов расчета. Здесь выбран самый распространенный — метод анализа графика изменения дисперсии. Суть его заключается в исследовании медленно затухающей дисперсии самоподобного агрегированного процесса. Для определения параметра Херста необходимо вычислить наклон прямой, аппроксимирующей полученные результаты.

Определение параметра Херста для потока цветных изображений проиллюстрировано на рис. 4, для потока черно-белых — на рис. 5

По результатам моделирования установлено, что коэффициент Херста для цветных изображений составляет  $H=0,768$ , для черно-белых  $H=0,785$ . Таким образом, потоки трафика в ВСС для приложений передачи цветных и черно-белых изображений являются самоподобными со средней степенью самоподобия.

На рис. 6 и 7 показаны автокорреляционные функции для приложений передачи цветных и черно-белых изображений, соответственно. Как видно из рисунков, автокорреляционные функции имеют характер медленно убывающих зависимостей, что также подтверждает самоподобный характер потоков в ВСС для приложений передачи цветных и черно-белых изображений.

**Новый протокол маршрутизации RPL.** Как было отмечено, для исследования потоков трафика в предложенных моделях использовался протокол AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector). Следует заметить, что ВСС можно классифицировать не только по типам приложений, но и по плотности расположения сенсорных узлов.

Сегодня в рамках рабочей группы IETF ROLL для повышения эффективности функционирования ВСС в условиях большой плотности размещения узлов разрабатывается новый протокол RPL (Routing Protocol for Low energy and Lossy networks). Ниже приводится информация об этом протоколе, а в будущем авторы предполагают оценить формирование потоков трафика в сетях с использованием RPL и сравнить результаты с данными, приведенными в настоящей работе.

Каждое соединение в RPL-сети описывается набором таких показателей, как скорость, энергопотребление, поддержка шифрования и т.д., Они лежат в основе ациклических графов (Destination Oriented Directed Acyclic Graph — DODAG).

В сети можно создать несколько графов. Узел выбирает граф, подходящий для передачи данных, в зависимости от типа данных или приложения, где они востребованы. Например, в такой сети можно организовать граф для передачи сигнальных сообщений с минимальной задержкой и граф для телеметрических данных с наиболее энерго-эффективным способом передачи.

Протокол RPL поддерживает несколько типов сообщений: точка-точка, точка-мультиточка, мультиточка-точка. С точки зрения передачи данных, из-за отличия возможностей узлов, а именно: наличия полнофункциональных узлов (маршрутизаторы или конечные устройства), узлов с ограниченными возможностями (конечные устройства), а также различия в вычислительных способностях узлов и возможности хранить данные, протокол RPL также поддерживает дополнительный параметр — режим функционирования. Выделяют четыре режима функционирования: отсутствие нисходящих маршрутов, без сохранения, с сохранением, с сохранением и поддержкой мультикаст-сообщений.

После рассмотрения различных сценариев приложений ВСС было установлено, что в течение функционирования сети основной объем данных узлы передают на один узел — головной (чаще всего шлюз между сенсорной сетью и Интернетом). Поэтому построение ациклического графа с корневым узлом в качестве шлюза позволяет решить проблему маршрутизации в сенсорной сети. DODAG создается корневым узлом. С помощью рассылки мультикаст-сообщения DODAG Information Solicitation (DIS) сторонний узел может присоединиться к существующему графу. Узел этого графа отвечает с помощью сообщения DODAG Information Object (DIO), после чего вновь подключенный узел присоединяется к графу.

Для защиты от создания петель при автоматическом построении графа введен механизм ранжирования, предполагающий, что вновь подключаемые узлы должны иметь ранг ниже, чем родительские узлы. При необходимости преобразовать граф (в следствии выхода узла из строя или мобильности узлов) часть графа просто отключается и начинается процедура повторного подключения узлов к графу.

Каждое соединение в RPL-сети описывается набором таких показателей, как скорость, энергопотребление, поддержка шифрования и т.д. На их основании создаются ациклические графы. Данные же показатели используют



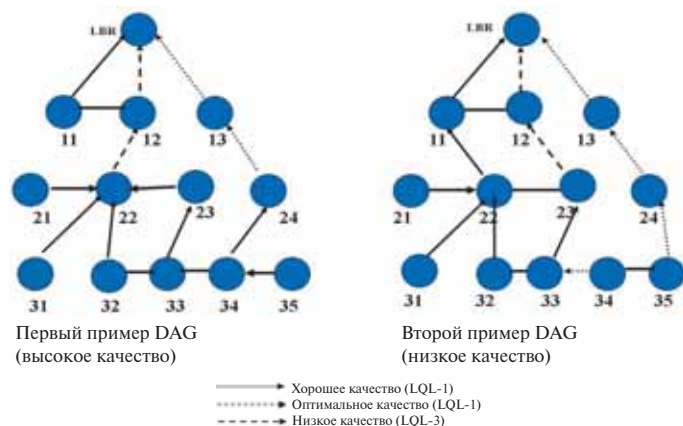


Рис. 8. Множественный граф с использованием протокола маршрутизации RPL

ся для оптимизации графа в зависимости от требований приложения.

Маршруты для сообщений от узла к корню задаются непосредственно при построении графа. Если узел хочет передать сообщение корневому узлу, то он просто посылает его родительскому узлу, который транслирует его дальше. Нисходящие же сообщения разнятся в зависимости от режима функционирования. В зависимости от выбранного режима маршрутизация может выполняться как иерархически через головной узел (при использовании типов функционирования без хранения данных), так и с помощью кратчайшего пути между двумя узлами.

Благодаря концепции DODAG, протокол RPL дает возможность поддерживать несколько топологий маршрутизации. Идея состоит в том, чтобы построить и определить несколько графов в одной и той же физической топологии. Это позволяет обеспечить оптимальные пути на основе различных задач. Узел может присоединиться к нескольким графам и выбрать, какой из них использовать непосредственно перед отправкой сообщения. Например, некритический трафик от датчиков телеметрии должен следовать по пути, в котором наименьшее количество узлов с аккумуляторным питанием, в то время как тревожные сообщения должны передаваться по пути с минимальной задержкой.

Разработка протокола RPL является важным шагом в развитии беспроводных сенсорных сетей. В ближайшее время можно будет наблюдать массовое внедрение решений на базе технологии адаптации IPv6 сетей для сенсорных сетей 6LoWPAN совместно с протоколом маршрутизации RPL.

**Выводы.** 1. Потоки трафика в ВСС для приложений передачи цветных и черно-белых изображений являются самоподобными со средней степенью самоподобия. Параметр Херста для приложения передачи цветных изображений составляет  $H=0,768$  и для приложения передачи черно-белых изображений  $H=0,785$ .

2. Потоки трафика изучены для ВСС с помощью широко распространенного протокола AODV. После формирования требований к протоколу RPL необходимо сравнить характе-

ристики потоков трафика при использовании протоколов AODV и RPL.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sorensen L., Skouby K.E. Use scenarios 2020 – a worldwide wireless future. Visions and research directions for the Wireless World / Outlook. Wireless World Research Forum. – July 2009, №4.
2. Waldner J.-B. Nanocomputers and Swarm Intelligenc / ISTE, Wiley&Sons, London, 2008. – P.212.
3. Recommendation Y.2060. Overview of Internet of Things. ITU-T, February 2012, Geneva.
4. Iera A., Floerkemeier C., Mitsugi J., Morabito G. The Internet of Things // IEEE Wireless Communications. – Dec. 2010. – Vol.17, №6.
5. Tang S. An Analytical Traffic Flow Model for Cluster-Based Wireless Sensor Networks / 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing. – 2006.
6. Willinger W., Taqqu M., Sherman R., Wilson D. Self-similarity through High-variability // IEEE/ACM Transaction on Networking. – 1997. – Vol.15, №1.
7. Wang Q., Zhang T. Source Traffic Modelling in Wireless Sensor Networks for Target Tracking / Proceedings 5th ACM International Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor and Ubiquitous Networks (PEWASUN'08), Vancouver, Canada. – 27-31 October 2008
8. Wang P., Akyildiz I.F. Spatial Correlation and Mobility Aware Traffic Modelling for Wireless Sensor Networks / Proceedings IEE Global Communications Conference (GLOBECOM'09), Honolulu, Hawaii, USA. – 30 November–4 December 2009.
9. Koucheryavy A., Prokopiev A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Telemetry Applications / The 11th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking NEW2AN 2011. Saint-Petersburg. Springer LNCS 6869. – August 2011.
10. Koucheryavy A., Vybornova A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Medical and Tracking Applications / The 12th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking NEW2AN 2012. Saint-Petersburg. Springer LNCS 7469. – August 2012.
11. Recommendation Y.2062. Framework of object-to-object communication using ubiquitous networking in NGN. ITU-T. – Feb. 2012. Geneva.
12. Hussain S.A., Razzak M.I., Minhas A.A. Energy Efficient Image Compression in Wireless Sensor Networks / International Journal of Recent Trends in Engineering. – Nov. 2009. – Vol.2, №1.
13. Wu H., Abouzeid A.A. Energy Efficient Distributed JPEG 2000 Image compression in Multihop Wireless Networks. / 4th Workshop on Applications and Services in wireless Networks (AWSN), Boston University, USA. – Aug. 8-11, 2004.
14. Wu M., Chen C.W. Collaborative Image Coding and Transmission Over Wireless Sensor Networks. // EURASIP Journal on Advanced in Signal Processing. – 2007.
15. Chow K.-Y., Lui K.-S., Lam E.Y. Efficient On-Demand Image Transmission in Visual Sensor Networks / EURASIP Journal on Advanced in Signal Processing, 2007.
16. Shuai Z., Oh S., Yang M.-H. Traffic Modeling and Prediction Using Camera Sensor Networks / ICDSC 2010, Atlanta, USA. – 31 August – 4 September, 2010.
17. Chen T.M. Network Traffic Modeling / Chapter in The Handbook of Computer Networks. Ed. H.Bidgoli. Wiley. – 2007.

Получено 21.11.12