

# ПЛОТНОСТЬ АКТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ УЗЛОВ

И. А. Богданов<sup>1</sup>, А. И. Парамонов<sup>1\*</sup>, А. Е. КучерявыЙ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\* Адрес для переписки: alex-in-spb@yandex.ru

## Аннотация

**Предмет исследования.** Предметом исследования является зависимость плотности активных узлов самоорганизующейся сети от времени в условиях воздействия на эту сеть потоков ложных событий. **Метод.** При проведении исследований используются методы теории телетрафика и теории массового обслуживания. При воздействии потоков ложных событий узлы самоорганизующейся сети могут досрочно прекратить функционирование. **Основные результаты.** Основным результатом работы является зависимость плотности активных узлов самоорганизующейся сети от времени. **Практическая значимость.** Практическая значимость статьи заключается в возможности использования результатов при проектировании устойчивых к потокам ложных событий самоорганизующихся сетей.

## Ключевые слова

беспроводные сенсорные сети, потоки событий, плотность сенсорного поля, вероятность обнаружения.

## Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 27.06.16, принята к печати 26.08.16.

**Ссылка для цитирования:** Богданов И. А., Парамонов А. И., КучерявыЙ А. Е. Плотность активных беспроводных сенсорных узлов // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 3. С. 15–21.

# THE DENSITY OF SELF-ORGANIZING NETWORK ACTIVE NODES

I. Bogdanov<sup>1</sup>, A. Paramonov<sup>1\*</sup>, A. Koucheryavy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\* Corresponding author: alex-in-spb@yandex.ru

**Abstract—Research subject.** The density of self-organizing network active nodes versus time is the paper object. **Method.** This density is investigated under the impact of spurious events flows. The nodes of self-organizing networks can stop functioning prematurely in this case. **Core results.** The most important result is a function of the network active nodes in dependence of versus time. **Practical relevance.** The investigation results can be used for planning of self-organizing networks which will be resistant to spurious events flows.

**Keywords**—Self-organizing network, spurious events flows, nodes density, probability of detection.

### Article info

Article in Russian.

Received 27.06.16, accepted 26.08.16.

**For citation:** Bogdanov I., Paramonov A., Koucheryavy A.: The Density of Self-Organizing Network Active Nodes // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 3. pp. 15–21 (in Russian).

## Введение

Концепция Интернета Вещей в течение достаточно длительного времени является основной в области развития сетей и систем связи [1, 2]. Основные исследования в данном направлении в последнее время сосредоточены в области приложений Интернета Вещей, сети для которых, как правило, являются самоорганизующимися [3, 4]. Узлы в таких сетях могут обладать ограниченными энергетическими и вычислительными возможностями [5, 6]. Поэтому для атаки на такие сети, например, беспроводные сенсорные сети используются новые технологии, предусматривающие, в том числе, атаки на энергетическую систему сетей [7, 8]. Одним из новых видов атак на самоорганизующиеся сети является создание потоков ложных событий [9, 10], которые используются для уменьшения эффективности мер по обеспечению сетевой безопасности<sup>1</sup> путем вторжения на сетевом уровне модели взаимодействия открытых систем. Каждое из ложных событий приводит к уменьшению жизненного цикла узла самоорганизующейся сети. При этом с течением времени плотность активных узлов, выполняющих свои функции в рамках функционирования самоорганизующейся сети, уменьшается за счет выхода из строя тех узлов, которые потеряли необходимый для штатного функционирования уровень энергии. В настоящей статье на основе разработанной авторами модели сети, находящейся под воздействием потока ложных событий, определена зависимость плотности активных узлов от времени.

## Модель длительности жизни сети

Передача каждого сообщения влечет расход энергии узлами сети. При этом расход энергии зависит не только от числа передаваемых сообщений, но и от способа организации сети, т. к. в процессе передачи сообщения, в общем случае, участвует несколько узлов сети (узлы, образующие маршрут от источника сообщения до шлюза сети). Будем полагать, что на доставку одного сообщения сетью расходуется энергия  $\varepsilon_0$ . Запас энергии в узле сети конечен и при передаче некоторого числа сообщений (пакетов) снижается до нуля или величины недостаточной для функционирования узла, тогда узел исключается

---

<sup>1</sup> Recommendation ITU-T Y.2701. Security Requirements for NGN Release 1. 2007.

из сети. Таким образом, во время функционирования сети происходит уменьшение числа узлов сети, т. е. уменьшение плотности узлов  $\rho$  в зоне обслуживания. Соответственно уменьшается вероятность обнаружения объекта, проходящего через сеть. Этот процесс следует учитывать при построении сети, рассчитанной на определенное время функционирования, выбирая заведомо большее значение плотности узлов, чем это требуется для обеспечения заданной вероятности обнаружения объектов сети. Однако большая плотность узлов сети приводит к увеличению числа сообщений, что в свою очередь ускоряет процесс расхода энергии.

Рассмотрим модель сети с учетом расхода энергии.

Запас энергии узла сети равен  $\varepsilon_0$ , на передачу одного сообщения расходуется энергия  $e$ . Таким образом, один узел способен обслужить  $\frac{\varepsilon_0}{e}$  сообщений.

Будем полагать, что события, связанные с расходом энергии равновероятны для всех узлов сети. При интенсивности поступления объектов  $\lambda$  интенсивность расхода энергии сетью составит:

$$E = \bar{m} \cdot e \cdot \lambda, \text{ Дж/ед. времени}, \quad (1)$$

где  $\bar{m}$  – среднее число сообщений, вырабатываемое в сети при прохождении объекта. Методика определения среднего числа сообщений приведена в [11].

Тогда доля расходуемой энергии (или доля израсходовавших энергию узлов) за интервал времени  $\Delta t$  может быть вычислена как:

$$\zeta = \frac{E}{n_0 \varepsilon_0} \Delta t,$$

где  $n_0$  – общее число узлов в сети в начальный момент ее функционирования.

Изменение числа активных узлов сети за короткий интервал времени  $\Delta t$  можно выразить следующим образом:

$$\Delta n = -n \cdot \frac{E}{n_0 \varepsilon_0} \Delta t,$$

где  $n$  – число узлов в сети в текущий момент времени.

При  $\Delta t \rightarrow 0$  получим дифференциальное уравнение следующего вида:

$$\frac{dn}{dt} = -n \cdot \frac{E}{n_0 \varepsilon_0}.$$

Подставляя  $E$  из (1) и используя для определения  $\bar{m}$  [11] получим:

$$\frac{dn}{dt} = -n \cdot \frac{2r\rho \cdot \tilde{w} \cdot e \cdot \lambda}{n_0 \varepsilon_0},$$

где  $r$  – радиус круга, в зоне действия которого сенсорный узел может детектировать объекты потока,

$\rho$  – плотность узлов сети,

$\lambda$  – интенсивность потока объектов,

$v$  – скорость перемещения объектов,

$$\tilde{w} = \frac{1}{2\rho \cdot r} + \tau \cdot v,$$

где  $\tau$  – интервал времени, после которого объект считается обнаруженным.

Раскрыв в соответствии с результатами [11]  $\rho$ :

$$\frac{dn}{dt} = -n \cdot \frac{2r \frac{n}{L \cdot h} \cdot \tilde{w} \cdot e \cdot \lambda}{n_0 \varepsilon_0} = -n^2 \frac{2r \cdot \tilde{w} \cdot e \cdot \lambda}{n_0 \varepsilon_0 L \cdot h}$$

получаем общее дифференциальное уравнение вида:

$$\frac{dn}{dt} = -k \cdot n^2,$$

$$\text{где } k = \frac{2r \cdot \tilde{w} \cdot e \cdot \lambda}{n_0 \varepsilon_0 L \cdot h},$$

$L$  – длина поля, на котором расположены узлы самоорганизующейся сети,  
 $h$  – ширина этого поля.

### **Зависимость плотности активных узлов от времени**

Решением данного уравнения является функция, выражающая зависимость числа узлов от времени:

$$n(t) = \frac{1}{k \cdot t + C},$$

где  $C$  – константа интегрирования.

Из начальных условий  $C = \frac{1}{n_0}$ , с учетом последнего:

$$n(t) = \frac{n_0}{n_0 \cdot k \cdot t + 1}.$$

Зависимость плотности активных узлов от времени составит:

$$\rho(t) = \frac{n(t)}{L \cdot h} = \frac{n_0}{(n_0 \cdot k \cdot t + 1)Lh}.$$

Зависимость плотности активных узлов от времени приведена на рисунке.

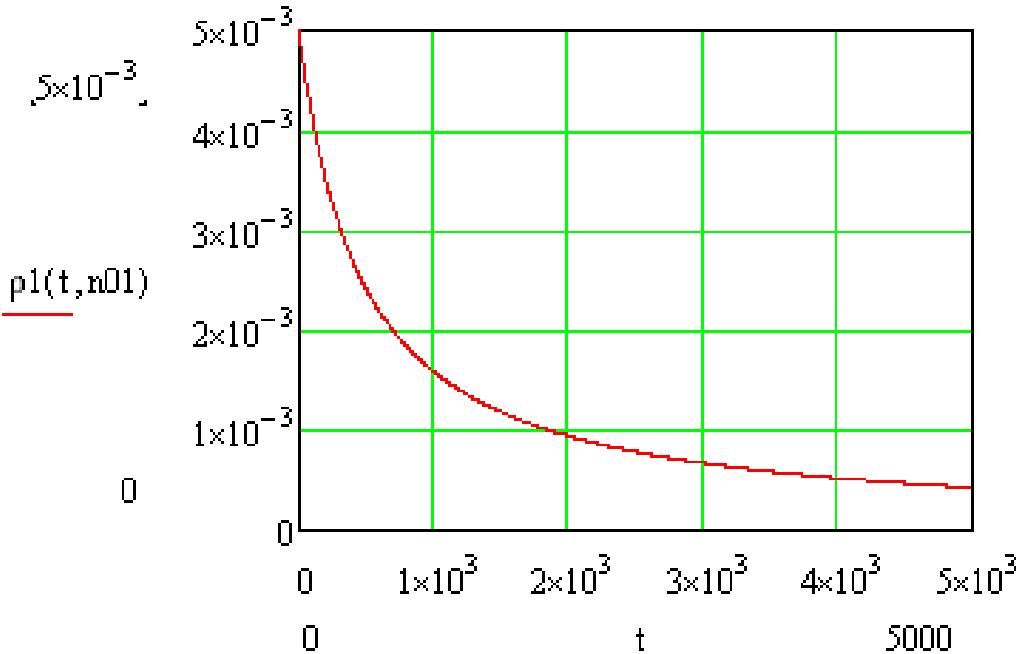


Рисунок. Зависимость плотности активных узлов от времени

### Заключение

Использование потоков ложных событий является одной из современных технологий, направленных на уменьшение эффективности мер по поддержанию сетевой безопасности в самоорганизующихся сетях. Потоки ложных событий способствуют исчерпанию энергетических ресурсов самоорганизующейся сети, например, беспроводной сенсорной. При этом узлы самоорганизующейся сети могут досрочно прекратить выполнение своих функций. В статье определена зависимость плотности активных узлов самоорганизующейся сети, подвергающейся воздействию ложных событий, от времени.

### Литература

- Кучерявый А. Е. Интернет Вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
- Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 160 с. ISBN 978-5-9775-0900-8.
- Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011. 310 с. ISBN 978-5-86983-318-1.
- Кучерявый А. Е. Самоорганизующиеся сети и новые услуги // Электросвязь. 2009. № 1. С. 19–23.
- Кучерявый А. Е., Кучерявый Е. А. От е-России к и-России: тенденции развития электросвязи // Электросвязь. 2005. № 5. С. 10–11.
- Кучерявый А. Е., Парамонов А. И., Кучерявый Е. А. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта. М.: ФГУП ЦНИИС. 2008. 296 с.

7. Bhattacharjee T., Chaki R. A Survey of Recent Intrusion Detection Systems in Wireless Sensor Networks // Communications in Computer and Information Science. 2011. Vol. 196. pp. 268–280. DOI: 10.1007/978-3-642-22540-6\_27.
8. Bhattacharjee T., Chaki R., Sanyal S. Sleep Deprivation Attack Detection in Wireless Sensor Networks // International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 40. Iss. 15. pp. 19–25. DOI: 10.5120/5056-7374.
9. Богданов И. А., Парамонов А. И., Кучерявыи А. Е. Характеристики жизненного цикла мобильной сенсорной сети при различных потоках ложных событий // Электросвязь. 2013. № 1. С. 32–33.
10. Koucheryavy A., Bogdanov I., Paramonov A. The Mobile Sensor Network Life-Time under Different Spurious Flows Intrusion // Lecture Notes in Computer Science. 2013. Vol. 8121. pp. 312–317. DOI: 10.1007/978-3-642-40316-3\_27.
11. Богданов И. А. Структурный метод защиты беспроводной сенсорной сети от потоков ложных событий // Электросвязь. 2014. № 11. С. 14–17.

## References

1. Koucheryavy, A. E. Internet of Things // Electrosvyaz'. 2013. No. 1. pp. 21–24.
2. Goldstein, B. S., Koucheryavy, A. E. Post-NGN Communication Networks. SPb: BHV-Peterburg. 2013. 160 p. ISBN 978-5-9775-0900-8.
3. Koucheryavy, A. E., Prokopiev, A. V., Koucheryavy, Y. A. Self-Organizing Networks. SPb.: Lyubavich. 2011. 310 p. ISBN 978-5-86983-318-1.
4. Koucheryavy, A. E. Self-Organizing Networks and New Services // Electrosvyaz'. 2009. No. 1. pp. 19–23.
5. Koucheryavy, A. E., Koucheryavy, Y. A. From e-Russia to u-Russia: Communications Development Trends // Electrosvyaz'. 2005. No. 5. pp. 10–11.
6. Koucheryavy, A. E., Paramonov, A. I., Koucheryavy, Y. A. The Public Communication Network. Trends in the Development and Calculation Methods. M.: FGUP ZNIIS. 2008. 296 p.
7. Bhattacharjee, T., Chaki, R. A Survey of Recent Intrusion Detection Systems in Wireless Sensor Networks // Communications in Computer and Information Science. 2011. Vol. 196. pp. 268–280. DOI: 10.1007/978-3-642-22540-6\_27.
8. Bhattacharjee, T., Chaki, R., Sanyal, S. Sleep Deprivation Attack Detection in Wireless Sensor Networks // International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 40. Iss. 15. pp. 19–25. DOI: 10.5120/5056-7374.
9. Богданов, И. А., Парамонов, А. И., Кучерявыи, А. Е. Characteristics of the Life Cycle of a Mobile Sensor Networks with Different Flows of False Events // Electrosvyaz'. 2013. No. 1. pp. 32–33.
10. Koucheryavy, A., Bogdanov, I., Paramonov, A. The Mobile Sensor Network Life-Time under Different Spurious Flows Intrusion // Lecture Notes in Computer Science. 2013. Vol. 8121. pp. 312–317. DOI: 10.1007/978-3-642-40316-3\_27.
11. Богданов, И. А. The Wireless Sensor Network Bulwark Method of Spurious Event Flows // Electrosvyaz'. 2014. No. 11. pp. 14–17.

**Богданов Игорь Александрович** – аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, [seti\\_sviazi@bk.ru](mailto:seti_sviazi@bk.ru)

**Парамонов Александр Иванович** – доктор технических наук, профессор, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, [alex-in-spb@yandex.ru](mailto:alex-in-spb@yandex.ru)

**Кучерявыи Андрей Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, [akouch@mail.ru](mailto:akouch@mail.ru)

**Bogdanov Igor**

– postgraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232,  
Russian Federation, [seti\\_sviazi@bk.ru](mailto:seti_sviazi@bk.ru)

**Paramonov Alexander**

– D.Sc., professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232,  
Russian Federation, [alex-in-spb@yandex.ru](mailto:alex-in-spb@yandex.ru)

**Koucheryavy Andrey**

– D.Sc., professor, head of the Department, SPbSUT,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation,  
[akouch@mail.ru](mailto:akouch@mail.ru)