

УДК 621.396

**Шилов В.А.;**  
**Прищепа Т.А.**

Институт телекоммуникационных систем;

**НАГРУЗКА, ФОРМИРУЕМАЯ УЗЛАМИ, В БЕСПРОВОДНЫХ  
СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ**

*Аннотация. В научной статье исследуются модели нагрузки для приложения сбора данных со стационарных и смешанных (стационарных и подвижных) объектов в беспроводных сенсорных сетях. Для достижения поставленной задачи проведено имитационное моделирование типовых сценариев обслуживания нагрузки в моделях беспроводных сенсорных сетей для приложений сбора данных.*

*Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, нагрузка, стационарный объект сенсорной сети, подвижный объект сенсорной сети.*

**Шилов В.О.;**  
**Прищепа Т.О.**

Институт телекоммуникаційних систем;

**НАВАНТАЖЕННЯ, ЩО ФОРМУЄТЬСЯ ВУЗЛАМИ, В  
БЕСПРОВОДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ**

*Анотація. У науковій статті досліджуються моделі навантаження для додатків збору даних зі стаціонарних і змішаних (стаціонарних та рухомих) об'єктів в беспроводних сенсорних мережах. Для досягнення поставлених завдань проведено імітаційне моделювання типових сценаріїв обслуговування навантаження в моделях беспроводних сенсорних мереж для додатків збору даних.*

*Ключові слова: беспроводна сенсорна мережа, навантаження, стаціонарний об'єкт сенсорної мережі, рухомий об'єкт сенсорної мережі.*

**Shylov V.O.;**  
**Prischepa T.A.**

Institute of Telecommunication Systems;

**LOAD FORMED BY NODES IN WIRELESS SENSOR NETWORKS**

*Annotation. In this paper examine of load models for data collection applications from fixed and mixed (fixed and mobile) objects in wireless sensor networks is present. To achieve these tasks simulation of load model scenarios in wireless sensor networks for data collection applications was performed.*

*Keywords: wireless sensor network, load, sensor network stationary object, sensor network mobile object.*

**Введение.** Передача данных является основным компонентом инфокоммуникационных систем и модели нагрузки имеют важнейшее значение для оценки их эффективности. Исследования телетрафика существующих сетей связи показали, что широко распространенные

модели не в состоянии описать самоподобный характер нагрузки. Эти модели приводят к излишне оптимистичной оценке производительности инфокоммуникационных сетей, недостаточности выделения ресурсов для передачи и обработки данных и трудностям в обеспечении качества обслуживания.

**Анализ исследований и публикаций.** Исследованию характеристик сенсорных сетей, в первую очередь алгоритмов выбора головного узла в кластерах, были посвящены работы ряда ученых: I.F. Akyildiz, L. Borsani, M. Younis, W. Heinzelman, A. Salim, А.Е. Кучерявого, Е.А. Кучерявого, Д.А. Молчанова, В.А. Мочалова. Вопросам же разработки и исследования моделей нагрузки в беспроводных сенсорных сетях не уделяется должного внимания.

**Постановка задачи.** Задачами являются разработка модели сети и формируемой сенсорными узлами нагрузки в беспроводных сенсорных сетях для приложения сбора данных со стационарных и подвижных объектов, а также имитационное моделирование типовых сценариев обслуживания нагрузки в моделях беспроводных сенсорных сетей для приложений сбора данных со стационарных и смешанных (стационарных и подвижных) объектов.

#### **Основной материал**

В процессе разработки модели сети и моделирования сценариев обмена трафика в данных сетях использовался комплекс программного обеспечения NS-2, который был доработан в части создания макета сценария и функций для описания источников нагрузки с помощью языка программирования Python.

Результат работы NS-2 представлен в виде трэйс файла, содержащего сведения обо всех пакетах, переданных в моделируемой сети. Каждая запись содержит временную метку, тип пакета, источник и приемник сообщения, а также дополнительные служебные данные.

После получения результатов работы NS-2 необходимо оценить изменение количества пакетов, переданных на шлюз с течением времени. Длительность моделирования разбивается на отрезки длиной в заданное количество секунд. При анализе трэйс файла выбираются пакеты с адресом шлюза и, рассматривая время поступления пакета, можно отнести его к одному из интервалов поступления. Полученные данные сохраняются для последующего использования, а также могут быть визуализированы для наглядного представления. Пример агрегации с интервалом в 1 секунду представлен на рис. 1.

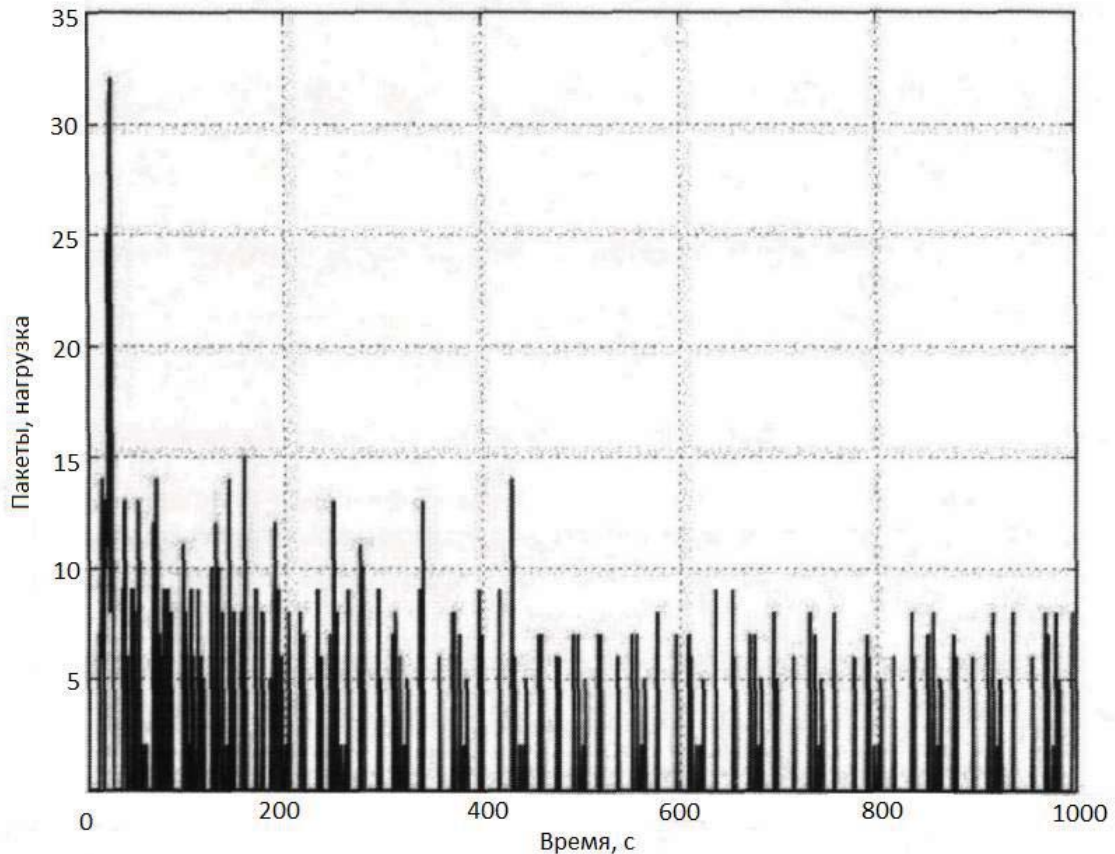


Рисунок 1. Пример агрегации данных

Агрегируя данные по разным временным интервалам, можно наблюдать нагрузку как бы на разных масштабах, при этом общая форма нагрузки остается одинаковой. Это является одним из свойств самоподобных процессов, изменение временного масштаба эквивалентно изменению пространственного масштаба состояния. Типичные реализации самоподобного процесса визуально похожи независимо от масштаба времени, на котором они рассматриваются [1, 2, 3]. Рис. 2. демонстрирует агрегацию нагрузки по различным временным интервалам.

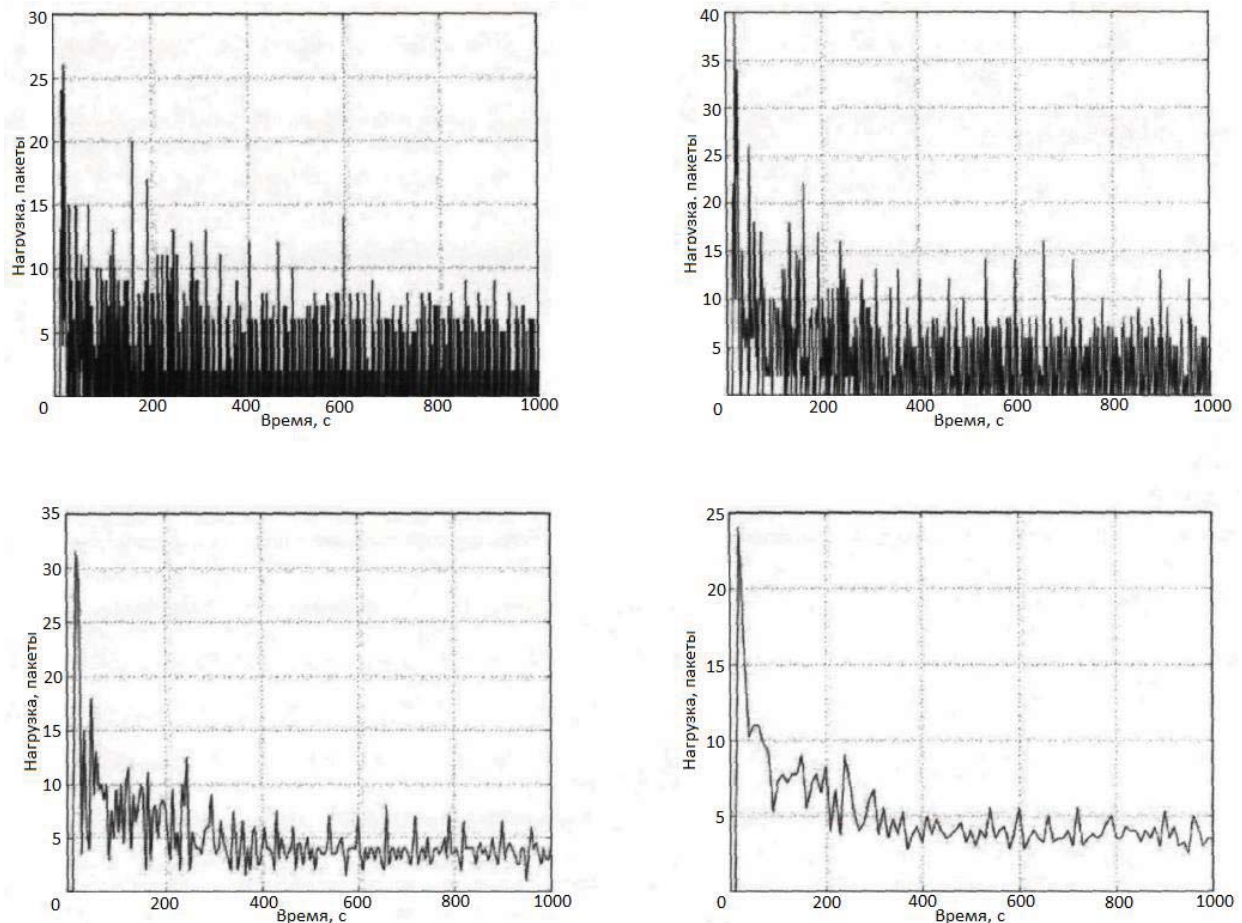


Рис. 2. Агрегированный поток по интервалам 1 с, 2 с, 5 с, 10 с

Анализируя график нагрузки несложно заметить, что поток обладает двумя фазами, переходным процессом, длящимся не более 200 секунд и стационарным процессом. Переходный процесс соответствует процессу установки первоначальных маршрутов. Характерное разделение на две фазы просматривается на всех данных, полученных в результате моделирования.

При добавлении мобильности для части узлов переходные процессы более низкого порядка возникают в течении всего времени моделирования. Это вызвано процессами перестроения маршрута вследствие изменения топологии сети. Данный процесс продемонстрирован на рис. 3.

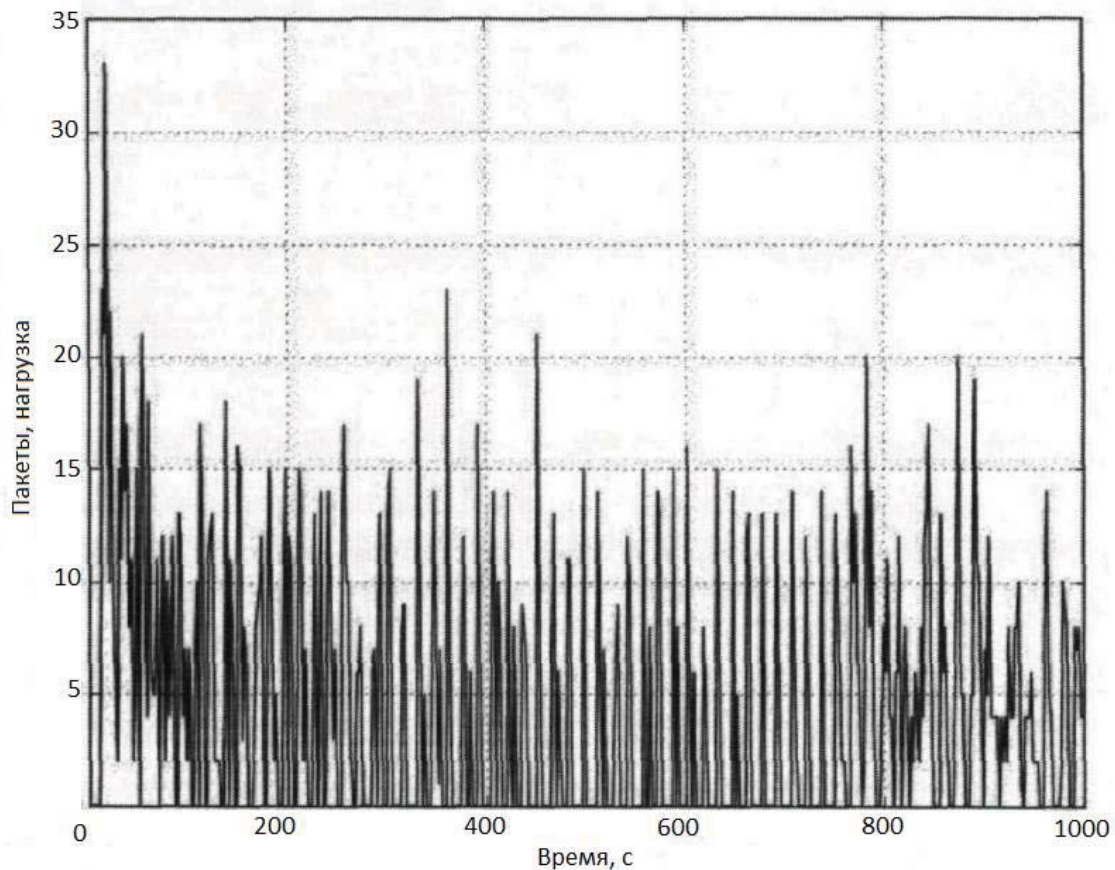


Рисунок 3. Пример агрегации данных со смешанных узлов

Данные о количестве пакетов, полученные ранее, используются для расчета коэффициента Херста, характеризующего степень самоподобия нагрузки в сети.

Определение самоподобия дается через автокорреляционную функцию [4, 5]. Пусть процесс задан последовательностью  $X = (X_1, X_2, \dots, X_t)$ , где  $t = 1, 2, \dots$ . При моделировании сетевого трафика значения  $X_t$  интерпретируются как число пакетов, поступивших в канал в течении интервала времени.

Его автокорреляционная функция

$$r(k) = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X})}{(N-k)\sigma^2} \quad (1)$$

где  $N$  – число элементов последовательности,  
 $\sigma^2$  – дисперсия.

Под агрегированным процессом понимается процесс, заданный последовательностью, элементы которой получены из элементов исходного процесса путем усреднения по блокам из  $m$  последовательных элементов.

Агрегированный процесс по блокам длины  $m$

$$X^{(m)} = (X_1^{(m)}, X_2^{(m)}, \dots, X_t^{(m)} \dots) \quad (2)$$

Где  $X_i^{(m)}$  - его автокорреляционная функция:

$$X_i^{(m)} = \frac{1}{m}(X_{i-m+1} + K + X_{im}) \quad (3)$$

Процесс  $X$  называется строго самоподобным в широком смысле, если

$$r_m(k) = r(k) \text{ где } m = 2, 3, \dots \quad (4)$$

Иными словами, процесс строго самоподобен в широком смысле, если при его агрегировании по блокам любой длины автокорреляционные функции исходного процесса и агрегированных процессов равны, т.е. коэффициент корреляции не изменяется при усреднении по блокам.

Процесс  $X$  называется строго самоподобным в узком смысле, если

$$m^{t-H} X^{(m)} = X \quad (5)$$

где  $H$  - коэффициент Херста.

Коэффициент Херста  $H$  изменяется в интервале от 0.5 до 1 и определяет степень самоподобия процесса. Чем ближе этот параметр к единице, тем более ярко проявляются фрактальные свойства. Однако, равенство  $H=0.5$  свидетельствует об отсутствии самоподобия.

Самоподобие в узком смысле означает, что функции распределения исходного и агрегированных процессов одинаковы, а степень самоподобия характеризуют коэффициентом Херста.

Для дисперсий процессов

$$D(X^{(m)}) = m^{2(H-1)} D(X) \quad (6)$$

Существует несколько способов для расчета коэффициента Херста, в данной работе был выбран метод анализа графика изменения дисперсии. Суть метода заключается в исследовании медленно затухающей дисперсии самоподобного агрегированного процесса. Для оценки коэффициента Херста используют следующее выражение

$$\ln\left(\frac{D(X^{(m)})}{D(X)}\right) = (2H - 2) \ln(m) \quad (7)$$

Здесь скобка  $2H-2$  имеет геометрический смысл коэффициента наклона прямой, которая аппроксимирует функцию

$$\ln\left(\frac{D(X^{(m)})}{D(X)}\right) = f(\ln(m)) \quad (8)$$

Данное выражение следует из утверждения, что для самоподобного процесса связь между дисперсией объединенного процесса  $X^{(m)}$  и размером блока  $m$  представляется следующим образом:

$$\sigma^2(X_i^{(m)}) \sim \alpha m^{-\beta} \text{ при } m \rightarrow \infty \quad (9)$$

где  $\alpha$  - конечная положительная константа. Взяв логарифм от обеих частей, мы получаем зависимость:

$$\log(\sigma^2(X_i^{(m)})) \sim -\beta \log(m) + \log(\alpha) \text{ при } m \rightarrow \infty \quad (10)$$

Вычислив  $\log(\sigma^2(X_i^{(m)}))$  для различных значений  $m$  и графически отображая зависимость от  $\log(m)$ , можно получить значение  $\beta$ .  $\beta$  определяется как отрицательный наклон прямой, подобранной по методу наименьших квадратов. Для связи коэффициента Херста  $H$  с полученным  $\beta$  используется следующая формула:

$$H = 1 - \beta / 2 \quad (11)$$

Рассмотренный метод анализа продемонстрирован на рис. 4:

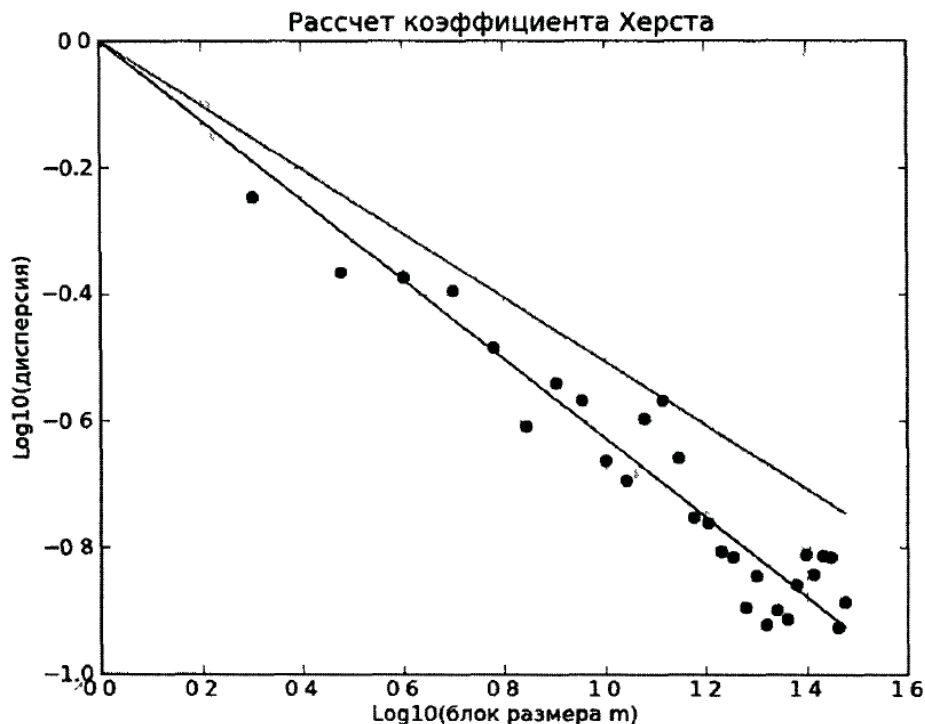


Рисунок 4. Метод анализа графика изменения дисперсии

**Использованные источники информации:**

1. A. Koucheryavy, A.Prokopiev. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Telemetry Applications, The 11th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking NEW2AN 2011, Springer LNCS 6869. August 2011 Saint-Petersburg.
2. И. А. Зюльков. Самоподобные свойства трафика систем с повторными вызовами. Воронежский государственный университет, Вестник ВГУ, Серия физика, математика, 2002, №1.
3. W.Willinger, M.Taqqu, R.Sherman, D.Wilson. Self similarity through high- variability. IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 1, 1997
4. Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М., «Высшая школа», 2000 г.
5. Smart Ubiquitous Networks (SUN). TD PLEN193, SG13 ITU-T meeting, January 17-28, 2011.

**References:**

1. A. Koucheryavy, A.Prokopiev. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Telemetry Applications, The 11th International Conference on Next Generation

- Wired/Wireless Networking NEW2AN 2011, Springer LNCS 6869. August 2011 Saint-Petersburg.
2. I. A. Zjul'kov. Samopodobnye svojstva trafika sistem s povtornymi vyzovami. Voronezhskij gosudarstvennyj universitet, Vestnik VGU, Serija fizika, matematika, 2002, №1.
  3. W. Willinger, M. Taqqu, R. Sherman, D. Wilson. Self similarity through high- variability. IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 1, 1997
  4. E.S. Ventcel', L.A. Ovcharov. Teorija sluchajnyh processov i ee inzhenernye prilozhenija. M., «Vysshaja shkola», 2000 g.
  5. Smart Ubiquitous Networks (SUN). TD PLEN193, SG13 ITU-T meeting, January 17-28, 2011.

*Рецензент: д.т.н., проф. Лысенко А.И.*