

**Моделирование сенсорной сети системы «Умный дом»  
сетью массового обслуживания с несколькими классами требований**

Куанышева В.А.<sup>1</sup>, Станкевич Е.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*vikcy88@yandex.ru*, <sup>2</sup>*StankevichElena@mail.ru*

*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского*

В статье рассмотрены математическая модель сенсорной сети системы «Умный дом» и метод ее анализа, которые могут использоваться при изучении дисциплин «Модели и методы теории массового обслуживания» и «Моделирование телекоммуникационных систем и компьютерных сетей».

**Ключевые слова:** умный дом, сеть массового обслуживания, метод анализа.

На западе различают несколько значений термина «Умный дом», например, home automatization – это системы домашней автоматизации, smart home – умные дома, smart house – умные здания. В русском языке термин «Умный дом» означает способ автоматизации домашнего быта путем объединения всех электроприборов и бытовой техники в доме в одну единую экосистему. В общем случае система «Умный дом» состоит из таких групп

элементов, как датчики, центральный контроллер, устройства управления, приборы (бытовая техника) и т.п. Функционирование системы умного дома выполняется за счёт команд, получаемых центральным контроллером от пользователя или от датчиков. Для моделирования беспроводной сенсорной сети системы «Умный дом» используют системы и сети массового обслуживания [1-3].

Рассмотрим реальную сенсорную сеть системы «Умный дом», функционирующую на основе протокола ZigBee и содержащую:

- координатор;
- маршрутизаторы: выключатели, реле напряжения;
- конечные устройства: беспроводные выключатели, датчики открытия двери, датчики температуры/влажности, датчики протечки.

Структура сенсорной сети системы «Умный дом» представлена на рис. 1.

В качестве математической модели беспроводной сенсорной сети системы «Умный дом» будем использовать неоднородную замкнутую сеть массового обслуживания с  $R$  классами требований, состоящую из  $L$  систем типа  $M/M/K$

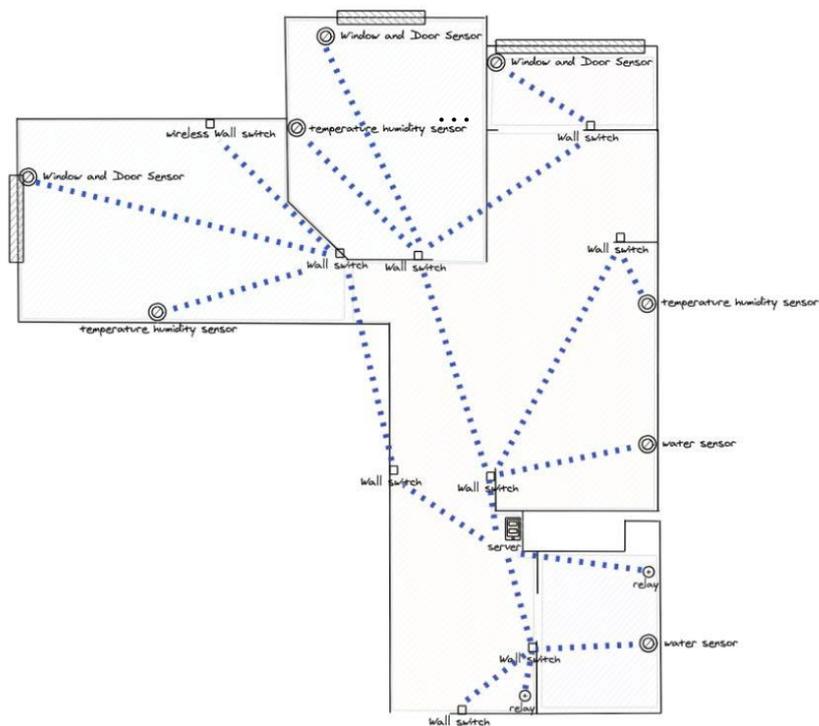


Рис. 1. Структурная схема беспроводной сенсорной сети системы «Умный дом»

Первая система массового обслуживания отображает все конечные устройства (беспроводные выключатели, датчики открытия двери, датчики температуры/влажности, датчики протечки), количество обслуживающих приборов определяется числом конечных устройств. Требованиям в сети массового обслуживания соответствуют сообщения, передаваемые между конечными устройствами, выключателями и координатором. Класс требования определяется назначением датчика, от которого пришло сообщение: сообщения, поступающие с датчика протечки, являются требованиями 1 класса, с датчика

влажности и температуры – требованиями 2 класса, с датчика открытия дверей – требования 3 класса. Так как в рассматриваемую систему включены датчики только трех видов, то  $R=3$ . Маршрутизаторам (выключатели, реле напряжения) соответствуют системы  $M/M/1$ ; координатору – система  $M/M/\kappa$ . Возможные траектории передачи сообщения отображаются в маршрутной матрице сети массового обслуживания  $\Theta = (\theta_{ir, jl})$ ,  $i, j = 1, \dots, L$ ,  $r, l = 1, \dots, R$ . Интенсивность обслуживания требований класса  $r$  в системе  $i$  – случайная величина, имеющая экспоненциальное распределение с параметром  $\mu_{ir}$ .

Для вычисления стационарных характеристик сети массового обслуживания будем использовать алгоритм, который является расширением алгоритма MVA для замкнутых однородных сетей массового обслуживания [4, 5]:

Шаг 1. Для  $i = 1, \dots, L$ ,  $r = 1, \dots, R$ ,  $j = 1, \dots, \kappa_i - 1$ , полагаем математическое ожидание (м.о.) числа требований класса  $r$  в системе  $i$

$$\bar{K}_{ir}(0, \dots, 0) = 0,$$

вероятности

$$\pi_i(0 | \mathbf{0}) = 1 \text{ И } \pi_i(j | \mathbf{0}) = 0.$$

Шаг 2. Итерации  $\mathbf{k} = 0, \dots, \mathbf{K}$ .

Шаг 2.1. Для  $i = 1, \dots, L$ ,  $r = 1, \dots, R$ , вычисляем м.о. длительности пребывания требований класса  $r$  в системе  $i$

$$\bar{T}_{ir}(\mathbf{k}) = \begin{cases} \frac{1}{\mu_{ir} \left[ 1 + \sum_{s=1}^R K_{is}(\mathbf{k} - \mathbf{1}_r) \right]}, & \text{если } \kappa_i = 1, \\ \frac{1}{\mu_{ir} \left[ 1 + \sum_{s=1}^R K_{is}(\mathbf{k} - \mathbf{1}_r) + \sum_{j=0}^{\kappa_i - 2} (\kappa_i - j - 1) \pi_i(j | \mathbf{k} - \mathbf{1}_r) \right]}, & \text{если } \kappa_i > 1, \end{cases}$$

где  $\mathbf{k} = (k_1, \dots, k_r - 1, \dots, k_R)$  – вектор числа требований различных классов в сети, а  $\mathbf{k} - \mathbf{1}_r = (k_1, \dots, k_r - 1, \dots, k_R)$ .

Вероятность того, что в системе  $i$  находится  $j$ ,  $j = 1, \dots, \kappa_i - 1$ , при условии что число требований в сети различных классов определяется вектором  $\mathbf{k}$  вычисляется по формуле

$$\pi_i(j | \mathbf{k}) = \frac{1}{j \prod_{r=1}^R \mu_{ir}} \left[ \sum_{r=1}^R \omega_{ir} \lambda_r(\mathbf{k}) \pi_i(j-1 | \mathbf{k} - \mathbf{1}_r) \right],$$

для  $j = 0$ :

$$\pi_i(0 | \mathbf{k}) = 1 - \frac{1}{\kappa_i} \left[ \sum_{r=1}^R \frac{\omega_{ir}}{\mu_{ir}} \lambda_r(\mathbf{k}) + \sum_{j=1}^{\kappa_i - 1} (\kappa_i - j) \pi_i(j | \mathbf{k}) \right],$$

где  $\omega_{ir}$ ,  $i = 1, \dots, L$ ,  $r = 1, \dots, R$ , являются решением системы уравнений

$$\omega_{ir} = \sum_{j=1}^L \sum_{s=1}^R \omega_{js} \theta_{js, ir}.$$

Шаг 2.2. Для  $r = 1, \dots, R$  вычисляем пропускную способность

$$\lambda_r(\mathbf{k}) = \frac{r}{\sum_{i=1}^L \omega_{ir} \bar{T}_{ir}(\mathbf{k})}.$$

Шаг 2.3. Для  $i = 1, \dots, L$ ,  $r = 1, \dots, R$ , вычисляем м.о. числа требований класса  $r$  в системе  $i$

$$\bar{K}_{ir}(\mathbf{k}) = \lambda_r(\mathbf{k})\bar{T}_{ir}(\mathbf{k})\omega_{ir}.$$

Конец алгоритма.

Предложенная математическая модель и метод ее анализа могут применяться при изучении дисциплин «Модели и методы теории массового обслуживания» и «Моделирование телекоммуникационных систем и компьютерных сетей» для решения задач моделирования, анализа и оптимизации беспроводной сети системы «Умный дом».

#### Список литературы

- [1] Zhang J., Zhou Z., Li Sh., Gan L., Zhang X., Qi L., Xu X., Dou W. Hybrid computation offloading for smart home automation in mobile cloud computing // *Personal and Ubiquitous Computing*, 2018. – vol. 22(1). – pp. 121–134.
- [2] Gustavo B.C.S., Flávio H.T.V., Cláudio R.L., Getúlio A.J.D., Marcelo S.C., Sérgio G.A., Thiago L.V. Developing Smart Grids Based on GPRS and ZigBee Technologies Using Queueing Modeling–Based Optimization Algorithm // *ETRI Journal*, 2016. – vol. 38(1). – pp. 41–51.
- [3] Attia M.B., Nguyen K., Cheriet M. Dynamic QoE/QoS-Aware Queueing for Heterogeneous Traffic in Smart Home // *IEEE Access*, 2019. – vol. 7. – pp. 58990–59001.
- [4] Reiser M., Laveiiberg S. Mean-Value Analysis of Closed Multichain Queueing Networks // *Journal of the ACM*, 1980. – vol. 27(2). – pp. 313–32.
- [5] Bolch G., Greiner S., De-Meer H. and Trivedi K.S. *Queueing Networks and Markov Chains*. – New Jersey: John Wiley & Sons. – 2006. – 896 p.