

**И. И. Ц и т о в и ч** (Москва, ИППИ РАН). Математическая модель беспроводной сети мониторинга с существенно неоднородными объектами.

УДК 519.872

*Резюме:* Рассматривается математическая модель беспроводной сети мониторинга редких событий, состоящей из существенно неоднородных объектов, различающихся количеством сенсоров на объектах. Приводятся характеристики качества алгоритма обнаружения чрезвычайных ситуаций на объектах при использовании сенсорами общего канала связи с ситуационным центром и групповым опросом сенсоров.

*Ключевые слова:* беспроводная сеть мониторинга, сенсор для обнаружения чрезвычайной ситуации, групповой опрос, неоднородные объекты.

В [1] рассматривается задача построения системы сигнализации в беспроводной сети мониторинга (БСМ), состоящей из разнородных объектов и содержащей сотни тысяч и миллионы сенсоров для обнаружения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на объектах. На основании исследований [1]–[3] предложены три способа организации доступа сенсоров к общему каналу связи с ситуационным центром о возникновении ЧС на объекте. Для проведения исследований качества предлагаемого метода доступа, основанного на групповом опросе сенсоров, необходимо построить математическую модель БСМ мониторинга, позволяющую моделировать основные ситуации на таких сетях для определения характеристик качества обнаружения ЧС на основании сигнала в общем канале.

Предложенный в [1] механизм кодирования сигналов сенсора предполагает различные способы кодирования: для малых объектов, содержащих до 5 сенсоров, средних объектов с числом сенсоров до  $A$  единиц и крупных объектов, где число сенсоров больше  $A$  и может достигать нескольких тысяч сенсоров. Согласно [1] величина  $A$  может быть порядка нескольких сотен. Для сенсоров малых объектов используется метод кодирования сигнала, описанный в [1], для сенсоров средних объектов — описанный в [3], для сенсоров крупных объектов — описанный в [1] с использованием Wi-Fi HaLow технологии установления связи между сенсором и точкой доступа подсети, описанной в [4].

Число малых объектов, обслуживаемых БСМ, обозначим через  $B_s$ , число средних объектов обозначим через  $B_m$ , число крупных объектов — через  $B_l$ . Тогда общее число объектов  $B = B_s + B_m + B_l$ . Если  $n_j$  — число сенсоров на  $j$ -м объекте, то общее число обслуживаемых БСМ сенсоров  $t = \sum_{j=1}^{B_s} n_j + \sum_{j=1}^{B_m} n_j + \sum_{j=1}^{B_l} n_j = t_s + t_m + t_l$ .

Пусть  $p_s$  — вероятность возникновения ЧС на малом объекте,  $p_m$  — вероятность возникновения чрезвычайной ситуации на среднем объекте,  $p_l$  — на крупном объекте, тогда среднее число активных сенсоров  $s = B_s p_s \bar{n} + B_m p_m + B_l p_l$ , где  $\bar{n}$  — среднее число активных сенсоров на малом объекте при возникновении на нем чрезвычайной ситуации. Отметим, что из-за существенных различий в размерах объектов значения величин  $p_s$ ,  $p_m$ ,  $p_l$  могут значительно различаться.

Основными характеристиками качества работы БСМ являются: длина интервала времени передачи сигнала об обнаружении ЧС  $T$  и вероятность пропуска ЧС

из-за неправильной расшифровки сигнала в общем канале передачи данных  $P$ . Вероятность обнаружения ложных активных сенсоров не является существенным параметром, поскольку предполагается, что после обнаружения активного сенсора с ним устанавливается связь для определения типа ЧС [1].

Если  $N = N(t) = 18 + c(3 + 4p^0(1 - p^0))s_0 \log(t)$  — длина кода сенсора из множества, содержащего  $t$  сенсоров (см. [3]), то длительность передачи сигнала равна  $N\Delta$ , где  $\Delta$  — продолжительность передачи одного символа. Здесь  $s_0$  — предполагаемое максимальное число активных сенсоров в сети. Время обработки сигнала для идентификации сенсора является линейной функцией  $Ns_r$ , где  $s_r$  — количество одновременно активных сенсоров [3], и регулируется вычислительной мощностью ситуационного центра.

Следовательно, для сенсоров малых объектов время посылки сигнала  $T_s = N_s\Delta = N(t_s)\Delta$ , для сенсоров средних объектов —  $T_m = N_m\Delta = N(B_sA)\Delta$  и для сенсоров крупных объектов —  $T_l = T_1 + N_l\Delta = T_1 + N(B_l)\Delta$  (см. [1]), где  $T_1$  — время установления связи между сенсором и точкой доступа к БСМ, остальные величины — параметры алгоритма кодирования сенсора [2]. Значит для  $T$  можно использовать оценку  $T = (T_s B_s p_s \bar{n} + T_m B_m p_m + T_l B_l p_l) s^{-1}$ .

Если  $P_s$  — вероятность пропуска активного сенсора на малом объекте,  $P_m$  — вероятность пропуска активного сенсора на среднем объекте,  $P_l$  — на большом объекте, то  $P = (P_s B_s p_s \bar{n} + (P_m + \beta_1^2 A) B_m p_m + P_l B_l p_l) s^{-1}$ , где  $\beta_1$  — вероятность искажения символа о наличии сигнала в общем канале связи [1]. Анализ характеристик  $P_s$ ,  $P_m$ ,  $P_l$  приведен в [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tsitovich I.* Two Ways of Group Polling Method Application for Sensors Detecting in Unsynchronized Structured. — CCIS, 2020, v. 1337, p. 286–298.
2. *Malikova E. E., Tsitovich I. I.* Group Polling Upon the Independent Activity of Sensors in the Monitoring Networks. — J. Commun. Technology and Electronics, 2011, v. 56, p. 1556–1563.
3. *Tsitovich I.* Group Polling Method Upon the Independent Activity of Sensors in Unsynchronized Wireless Monitoring Networks. — CCIS, 2019, v. 1141, p. 436–448.
4. *Khorov E., Lyakhov A., Krotov A., Guschin A.* A survey on IEEE 802.11 ah: An enabling networking technology for smart cities. — Comput. Commun., 2015, v. 58, p. 53–69.

УДК 519.872

***Tsitovich I. I.*** (Moscow, Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich Institute) RAS). **Mathematical model of wireless sensor network with essentially heterogeneous objects.**

*Abstract:* A mathematical model of the wireless monitoring network of rare events consisting of essentially heterogeneous objects, varying in the number of sensors on objects, is considered. There are presented characteristics of the quality of the emergency detection algorithm when sensors use the common communication channel with the situation center and group polling of sensors is used.

*Keywords:* wireless sensors network, sensor for an alarm signalization, group polling, heterogeneous objects.