

УДК 621.391

А.В. Шостак

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского, Харьков

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ СВЯЗНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Проанализирована связность в беспроводных сенсорных сетях. Выполнена оценка вероятности связности беспроводной сенсорной сети в зависимости от радиуса связи сенсора и от числа сенсоров сети.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, связность, радиус действия сенсора.

Введение

Под беспроводной сенсорной сетью (БСС) понимается распределенная, самоорганизующаяся сеть множества сенсоров и исполнительных устройств, взаимодействующих между собой посредством радиоканала. Как правило, БСС применяется для сбора данных с устройств, оснащенных сенсорами: датчиком рентгеновского излучения, влажности, температуры, освещенности и т.п. По организации БСС относятся к самоорганизующимся сетям, т.е. к сетям, состоящим из случайного, постоянно меняющегося числа узлов и связей между узлами, которые должны адаптивно подстраиваться для выполнения своих функций [1, 2].

Обычно сенсорные узлы имеют ограниченные ресурсы – емкость источника питания, объем памяти, радиус действия и вычислительные возможности процессора.

Наряду с такими характеристиками как время жизни БСС и покрытие сетью территории важную роль играет связность сети сенсоров [2-5]. Очевидно, что связность сети является одним из необходимых условий обеспечения функционирования БСС. В статье оценивается вероятность связности сети в зависимости от радиуса действия сенсоров и количества покрывающих территорию сенсоров.

Основная часть

Рассмотрим множество одинаковых по своим характеристикам сенсорных узлов на плоской территории в виде квадрата со стороной L . Пусть R – радиус зоны обслуживания сенсора, т.е. сенсор узла в центре окружности радиуса R обнаруживает изменение измеряемых характеристик внутри этой окружности. r – радиус связи узла, т.е. сенсорные узлы, расстояние между которыми меньше r , являются связанными и могут непосредственно взаимодействовать друг с другом.

На рис. 1 показаны однородные сенсорные узлы i и j с одинаковыми радиусами связи $r_i=r_j=r$. Расстояние между узлами $d_{ij}>r$, поэтому отсутствует связность между узлами i и j . На рис. 2 расстояние

между узлами $d_{ij}<r$, поэтому узлы i и j связаны между собой.

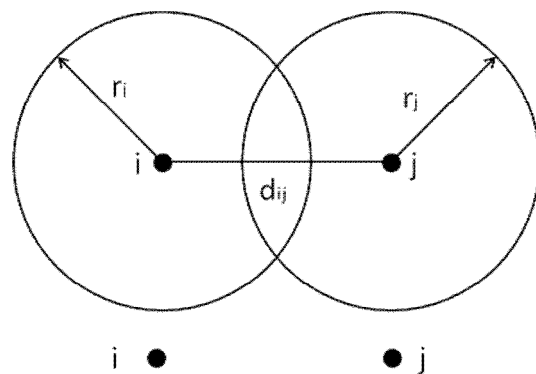


Рис. 1. Отсутствие связности между узлами i и j

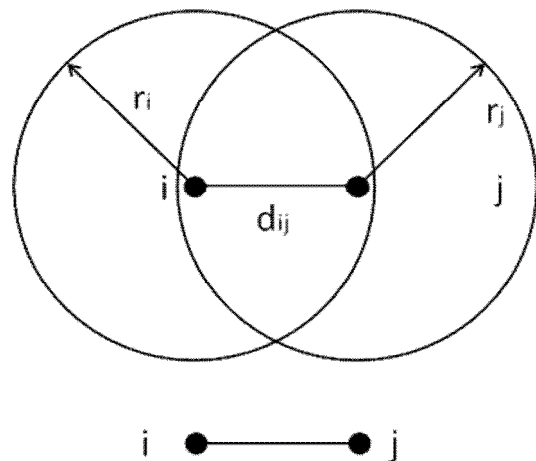


Рис. 2. Наличие связности между узлами i и j

Существует два основных способа размещения сенсорных узлов на покрываемой территории – детерминированный и случайный [2, 4, 6]. В первом случае узлы размещаются в заранее определенных точках области покрытия. При этом связность сети обеспечивается за счет выбора координат этих точек. При случайном размещении узлов последние находятся в случайных точках области, поэтому маршрут между узлами существует только при наличии связности БСС. Таким образом, ввиду слу-

чайного розположення узлов сети показатель связности сети необходимо характеризовать вероятностью связности сети, под которой понимается вероятностью существования маршрута между любыми узлами сети [2, 4].

В соответствии с [4] нижняя граница вероятности связности сети P_{con} определяется таким образом:

$$P_{con} = \left(\left(1 - \exp\left(-\frac{n\pi r^2}{L^2} \right) \right) \times \right)^{4\pi R(L-r)/L^2} \times \left(1 - \exp\left(-\frac{n\pi r^2}{L^2} \right) \right) \quad (1)$$

где n – число случайно расположенных узлов квадратного региона сети с длиной стороны L , r – радиус связи сенсора узла.

В табл. 1 на основании (1) для различных размеров сети L и для радиуса связи $r=40$ приведена зависимость между числом узлов n и вероятностью

связности сети P_{con} . Т.е., например, для $L = 100$ и $r=40$ сеть из $n=11$ узлов имеет вероятность связности 0,482.

При размере сети $L = 100$ 32 узла обеспечивают вероятность связности сети 0,99, эту же вероятность связности для сети размера $L = 200$ обеспечат 146 узлов, а для сети с $L = 300$ – 347 узлов.

На рис. 3 приведена зависимость числа узлов n (ось OY) от вероятности связности сети P_{con} (ось OX) для различных L , построенная в соответствии с данными из табл. 1.

В табл. 2 для различных размеров сети L и для радиуса связи $r=40$ приведена зависимость оценки вероятности связности P_{con} от того же числа узлов сети n , что были получены в таблице 1, а также приведено значение разности вероятности связности ΔP_{con} из табл. 1 и данной оценки вероятности связности P_{con} .

Таблица 1

Зависимость между числом узлов n и вероятностью связности сети P_{con}

P_{con}	$L = 100$	P_{con}	$L = 200$	P_{con}	$L = 300$
0,482	11	0,504	66	0,501	170
0,545	12	0,554	69	0,547	176
0,605	13	0,602	72	0,597	183
0,66	14	0,646	75	0,651	191
0,709	15	0,7	79	0,7	199
0,754	16	0,747	83	0,748	208
0,793	17	0,799	88	0,803	220
0,856	18	0,848	94	0,851	233
0,902	21	0,903	103	0,9	251
0,946	24	0,95	116	0,95	281
0,99	32	0,99	146	0,99	347

Таблица 2

Зависимость вероятности связности сети P_{con} от числа узлов n сети

P_{con}	ΔP_{con}	$L = 100$	P_{con}	ΔP_{con}	$L = 200$	P_{con}	ΔP_{con}	$L = 300$
0,403	0,079	11	0,593	-0,089	66	0,684	-0,183	170
0,51	0,035	12	0,646	-0,092	69	0,742	-0,195	176
0,582	0,023	13	0,714	-0,112	72	0,772	-0,175	183
0,644	0,016	14	0,753	-0,107	75	0,817	-0,166	191
0,689	0,02	15	0,799	-0,099	79	0,829	-0,129	199
0,754	0	16	0,848	-0,101	83	0,87	-0,122	208
0,808	-0,015	17	0,876	-0,077	88	0,902	-0,099	220
0,849	0,007	18	0,92	-0,072	94	0,922	-0,071	233
0,915	-0,013	21	0,947	-0,044	103	0,94	-0,04	251
0,962	-0,016	24	0,966	-0,016	116	0,947	0,003	281
0,993	-0,003	32	0,991	-0,001	146	0,994	-0,004	347

Значення вероятності связности сети P_{con} в табл. 2 оцінялись на основанні вычислительного експеримента. Для оцінки кожного значення вероятності связности (табл. 2) 1000 раз генерировалась сеть из n узлов с координатами, равномерно распределенными в квадрате со стороной L . Узлы i и j такой сети связаны, если между ними существует ребро. Между узлами i и j существует ребро, если расстояние между этими узлами d_{ij} меньше или равно радиуса связи r (рис. 2). На основании этого правила для каждой из 1000 сетей строилась матрица смежности сети, по которой, с использованием алгоритма поиска в глубину, определялась связность сгенерированного варианта сети. Физический смысл значения $P_{\text{con}}=0,403$ для числа узлов $n=11$ (размер сети $L=100$, радиус связи узла $r=40$) из таблицы 2 таков – из 1000 сгенерированных вариантов сетей 403 сети оказались связными.

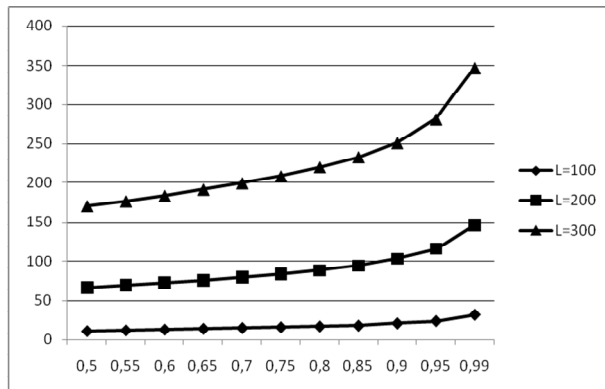


Рис. 3. Зависимость между числом узлов n и вероятностью связности сети P_{con}

На рис. 4 приведена зависимость величины ΔP_{con} от числа узлов n для размера сети $L = 200$, построенная в соответствии с данными табл. 2.

Выводы

Результаты проведенного вычислительного эксперимента позволяют выполнить оценку вероятности связности БСС. Полученная в результате вычислительного эксперимента оценка вероятности связности (табл. 2) в основном превышает вероятность связности сети из [4] (табл. 1). Абсолютная величина разности ΔP_{con} вероятности связности из

табл. 1 и оценки вероятности связности из табл. 2 с ростом числа узлов сети n имеет тенденцию к убыванию (рис. 4). Перспективным направлением дальнейших исследований может являться оценка вероятности связности БСС в зависимости от закона распределения координат узлов сети.

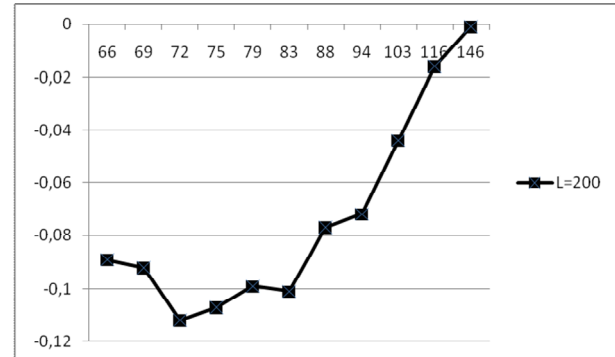


Рис. 4. Зависимость между числом узлов n и величиной ΔP_{con}

Список литературы

1. Кучерявый А.Е. Самоорганизующиеся сети / А.Е. Кучерявый, А.В. Прокопьев, Е.А. Кучерявый. – СПб.: Любавич, 2011. – 312 с.
2. Обеспечение связности беспроводных сенсорных узлов гетерогенной сети / А.Е. Кучерявый, И.Н. Нуриллоев, А.И. Парамонов, А.В. Прокопьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 1 (9). – С. 115-122.
3. Махров С.С. Исследование связности в иерархических протоколах беспроводных сенсорных сетей / С.С. Махров // Материалы Межд. научно-технической конференции INTERMATIC, Москва, 2-6 декабря 2013. – С. 186-189.
4. Xing X., Wang G., Li J. A square-based coverage and connectivity probability model for WSNs, *International Journal of Sensor Networks*, 2015, Vol. 19, No. 3/4, pp.161 – 170.
5. Sun Z., Li H., Chen H., Wei W. Optimization coverage of wireless sensor networks based on energy saving, *International Journal of future generation communication and networking*, 2014, Vol. 7, No. 4, pp. 35-48.
6. Денисенко В.С. Модификация алгоритма построения кратчайшего остовного дерева для беспроводной сенсорной сети / В.С. Денисенко, А.В. Шостак // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 2 (83). – С. 75 – 77.

Надійшла до редколегії 15.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF CONNECTIVITY OF A WIRELESS SENSOR NETWORK

A.V. Shostak

Analyzes connectivity in wireless sensor networks. Estimation of the probability of connectivity wireless sensor networks depending on the range (connection) of the sensor and the number of sensors in the network.

Keywords: wireless sensor networks, connectivity, the range of the sensor.

ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ ЗВ'ЯЗНОСТІ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

A.V. Shostak

Проаналізовано зв'язність в бездротових сенсорних мережах. Виконана оцінка ймовірності зв'язності бездротової сенсорної мережі в залежності від радіуса зв'язку сенсора і від кількості сенсорів мережі.

Ключові слова: бездротові сенсорні мережі, зв'язність, радіус зв'язку сенсора.