УДК 621.396.662.072.078

Сайко В. Г., докт. техн. наук.; **Плющ О. Г.,** канд. техн. наук;
Бреславський В. О., аспірант; **Грищенко Л. М.,** аспірант

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЩІЛЬНОСТІ РАДІОВУЗЛІВ В САМООРГАНІЗОВАНИХ МЕРЕЖАХ

Sayko V. H., Plyushch O. H., Breslavskyy V. O., Hryshchenko L. M. Radio-nodes density estimation technique in self-organizing networks. The peculiarities of the modern self-organizing radio networks are analyzed. The method of the planning of such networks is considered. It implies that the three low-level-protocols of open system models interaction, namely, physic, channel and network ones, have to be closely interrelated one with each other. As a result, it leads, in the end, to the fact that they represent united protocol of establishing, supporting and executing communications. The mathematical simulation model of the required radio-installations density estimation of self-organizing networks is developed. The model is based on Lambert's function, that secures necessary information transmission quality, is presented, as well as numerical simulation results. They permit to assess required density and the number of radio-nodes depending on the distance of radio transmission within the predetermined network area under the probability of establishing communication set at 0,95% and 0,98%.

***Keywords*:** self-organizing networks, density of radio-nodes, wireless network, Lambert's function, area of radio coverage, mobile network

Сайко В. Г., Плющ О. Г., Бреславський В. О., Грищенко Л. М. Методика оцінки щільності радіовузлів в самоорганізованих мережах. У статті розглянуто відмінні особливості сучасних само організованих радіомереж. Наведено розроблену математичну модель оцінки необхідної щільності радіо засобів самоорганізованих мереж для забезпечення необхідної якісної передачі інформації, а також результати моделювання, які дозволяють оцінити необхідну щільність і кількість радіовузлів в залежності від дальності радіозв'язку на заданій площі мережі при ймовірності зв'язку 0,95% та 0,98%.

Ключові слова: самоорганізовані мережі, щільність радіовузлів, функція Ламберта,безпроводова мережа, зона радіопокриття, мобільна мережа

Сайко В. Г., Плющ А. Г., Бреславский В. А., Грищенко Л. Н. Методика оценки плотности радиоузлов в самоорганизующихся сетях. В статье рассмотрены отличительные особенности современных самоорганизующихся радиосетей. Приведена разработанная математическая модель оценки необходимой плотности радиосредств самоорганизующихся сетей для обеспечения требуемой качественной передачи информации, а также результаты моделирования, которые позволяют оценить необходимую плотность и число радиоузлов в зависимости от дальности радиосвязи на заданной площади сети при вероятности связи 0,95% и 0,98%.

***Ключевые слова*:** самоорганизующиеся сети, плотность радиоузлов, беспроводная сеть, функция Ламберта, зона радиопокрытия, мобильная сеть

1. Вступ. В даний час мобільні без проводові самоорганізовані мережі [1] будуються довільним чином і функціонують за принципом розподілу функцій управління потоками даних між всіма радіовузлами мережі. Через свою архітектуру такі мережі не мають постійних з'єднань. Передача даних реалізується через тимчасові зв'язки, які визначаються фізичними параметрами: потужністю переданого та прийнятого радіосигналів, розташуванням і рухливістю радіовузлів. Постійний рух радіовузлів призводить до труднощів при побудові маршруту і передачі даних. Маршрут встановлюється в умовах деякої невизначеності розташування і руху радіовузлів. При проектуванні алгоритму маршрутизації необхідно враховувати ці особливості для забезпечення зв'язності радіовузлів.

Самоорганізовані мережі (СОМ) , на відміну від проводових і стільникових мереж, не мають можливості управляти потоками даних через базові станції (точки доступу) внаслідок їх відсутності. Час зв'язності (знаходження радіовузла в зоні радіовидимості) можна розрахувати через відносну швидкість руху таких радіовузлів і радіус радіовидимості.

В свою чергу радіовидимість залежить від випромінюваної потужності передавача, чутливості приймача і висоти підвісу антен. Для цього зазвичай оцінюють типові розміри зони радіовидимості, а потім за простою моделлю оцінюють час, протягом якого можуть здійснюватись побудова маршруту і передача даних.

Питання зв'язності таких мереж радіозв'язку досліджуються в багатьох роботах, що стосуються нескінченного числа радіовузлів, тоді як у випадку мереж з обмеженим числом радіовузлів виникають серйозні проблеми. Для відомої топології завжди можна визначити параметри, що гарантують прийнятну зв'язність в радіомережі. Велике значення для визначення зв'язності в мережах з великим числом вузлів грає вид функції загасання потужності. Для підтримки задовільної зв'язності в такій радіомережі необхідно або знижувати відношення сигнал/завада, або обмежувати число радіовузлів, які розпочинають передавати інформацію в один і той же час, в залежності від повного числа вузлів мережі. В обох випадках зв'язність можна підтримувати, але за рахунок втрати продуктивності. Тому існує оптимальне співвідношення (суперечливий вибір параметрів) між ємністю мережі (продуктивністю) і її зв'язністю [1, 2].

Метою статті є розробка методики оцінки необхідної щільності радіовузлів в самоорганізованих мережах з урахуванням забезпечення якості обслуговування абонентів.

2. Математична модель оцінки "необхідної" щільності радіовузлів мережі. Під "необхідною" мається на увазі така щільність радіо засобів СОМ, яка забезпечує зв'язність радіостанцій мережі з потрібною ймовірністю P_n.

Ймовірність знаходження N сусідніх радіовузлів на площі S при Пуассонівському розподілі радіозасобів визначається наступним виразом [3]:

$$P_n = \frac{e^{-\rho_S S}\left(\rho_S S\right)^N}{N!}\ , \tag{1}$$

де $\rho_S = \dfrac{N}{S}$ – щільність радіозасобів мережі.

Тоді ймовірність відсутності N сусідніх радіовузлів в зоні радіопокриття окремого радіозасобу буде дорівнювати:

$$\bar{P}_n = \left(1 - P_n\right) = e^{-\rho_S S} \tag{2}$$

При середніх втратах розповсюдження радіохвиль зона радіопокриття окремого радіозасобу без урахування швидких і повільних завмирань сигналу є колом площею, тобто.:

$$S = pR_{cp}^2, \tag{3}$$

де R_{cp}^2 – середня дальність радіозв'язку.

З урахуванням швидких і повільних завмирань радіосигналу вираз (2) буде мати наступний вигляд:

$$\bar{P}_n = e^{-\rho_S \pi m[R_{cp}^2]}, \tag{4}$$

де $m\left[R_{cp}^2\right]$ – математичне очікування квадрата середньої дальності радіозв'язку.

Як відомо, ймовірність зв'язку залежить від $m\left[R_{cp}^2\right]$ таким чином:

$$P_c = \frac{m[R_{cp}^2]}{R_{cp}^2}\ . \tag{5}$$

З іншого боку, ймовірність успішного прийому радіосигналу з урахуванням повільних і швидких завмирань визначається наступним виразом [4]:

$$P_c = \frac{2}{\infty}\Gamma\left(\frac{2}{\infty}\right)e^{\left(\frac{\sqrt{2}\sigma}{\infty}\right)^2}\ , \tag{6}$$

де $\Gamma(\bullet)$ – гамма функція;

σ – середнє квадратичне відхилення потужності прийнятого сигналу;

∞ – показник загасання потужності прийнятого сигналу.

Тоді, після відповідних перетворень і для зручності подальших досліджень, вираз (4) запишемо в наступній формі:

$$\bar{P}_n = e^{-\rho_s \pi R^2 \gamma}, \tag{7}$$

де γ –показник впливу завмирання сигналу на ймовірність відсутності N сусідніх радіовузлів, що дорівнює:

$$\gamma = \frac{2}{\infty} \Gamma\left(\frac{2}{\infty}\right) e^{\left(\frac{\sqrt{2}\sigma}{\infty}\right)^2}, \tag{8}$$

Згідно з [5,6], ймовірність зв'язності визначається як:

$$P_{cb} = e^{-N\bar{P}_n}, \tag{9}$$

Значення ρ_S має інтерес для побудови початкового наближення СОМ, коли відома площа зони дії СОМS і визначена необхідна дальність радіозв'язку R.

Для оцінки необхідної щільності радіозасобів СОМ необхідно визначити ρ_S. Для цього перетворимо вираз (7) у вигляд:

$$\rho_S e^{-\rho_S \pi R^2 \gamma} = -\frac{\ln P_{cb}}{S}. \tag{10}$$

З точки зору шуканого параметра ρ_S вираз (10) є трансцендентним рівнянням, що набуває вигляду

$$y \cdot e^{by} = a, \tag{11}$$

де $y = \rho_S$, $b = -\pi R^2 \gamma$ та $a = -\frac{\ln P_{cb}}{S}$.

Рішенням рівняння (11) є вираз

$$y = \frac{W(ab)}{b},\ b \neq 0 \tag{12}$$

де $W(x)$ – W-функція Ламберта [7].

Наведемо найпростіші властивості W-функції Ламберта для дійсних значень x.

Дійсна W-функція Ламберта визначається як рішення функціонального рівняння $W(x)e^{W(x)} = x$. Розуміння того, що W-функція Ламберта є функцією, оберненою до функції $x = e^W$, дозволяє представити графік функції (Рис. 1) і встановити її найпростіші властивості.

W-функція Ламберта визначена в інтервалі $[-1/e; \infty)$, де приймає значення від $-\infty$ до ∞, причому для негативних x функція є двозначною. Точка А з координатами $(-1/e; -1)$ ділить графік функції на дві гілки, верхню W_0(x) і нижню $W_{-1}(x)$ таким чином, щоб обидві гілки в точці А мали вертикальну дотичну.

Верхня гілка $W_0(x)$, яка часто називається основною, проходить через початок координат і більше не має особливостей. Нижня ж гілка $W_{-1}(x)$ має точку перегину В з координатами $(-2/e^2; -2)$ та вертикальну асимптоту при $x = 0$.

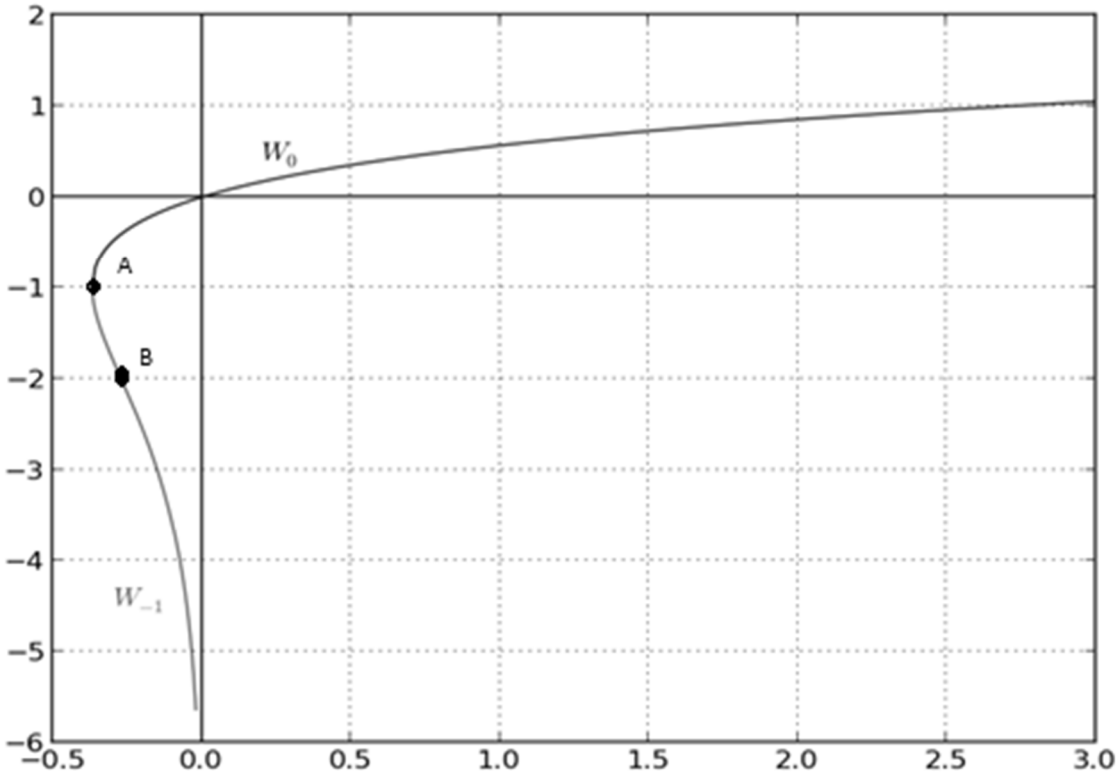

Рис. 1. Графік *W*-функції Ламберта

Для того, щоб визначити, яка з двох гілок *W*-функції Ламберта є рішенням рівняння (11) щодо щільності радіостанцій ρ_S, підставимо параметри $y = \rho_S, b = -\pi R^2\gamma$ і $a = -\dfrac{\ln P_{cb}}{s}$ у вираз (12):

$$\rho_S = -\frac{1}{\pi R^2\gamma}\mathrm{W}\left(\frac{\ln P_{cb}}{S}\pi R^2\gamma\right), \tag{13}$$

де множник $W(\bullet)$ повинен приймати негативні значення, тобто:

$$W\left(\frac{\ln P_{cb}}{S}\pi R^2\rho_S\right) \le 0, \tag{14}$$

а знаменник є площею зони радіопокриття радіостанції $S = \left(\pi R^2\rho_S\right)$.

Оскільки число сусідів окремої радіостанції $N = \rho_S S$ не може бути менше одиниці, для щільності радіостанцій ρ_S повинна виконуватись умова

$$\rho_S \ge \frac{1}{\pi R^2\gamma}. \tag{15}$$

Для виконання умов (14) і (15) у виразі (13) слід використовувати нижню гілку W-функції Ламберта $W_{-1}(x)$, яка приймає значення від $-\infty$ до 1.

Таким чином, необхідну щільність радіостанцій ρ_S можна визначити за формулою:

$$\rho_S = -\frac{1}{\pi R^2\gamma}\mathrm{W}_{-1}\left(\frac{\ln P_{cb}}{S}\pi R^2\gamma\right), \tag{16}$$

На Рис. 2 і 3 представлено результати моделювання залежності ρ_S при $P_{cb} = 95\%$ і 98% відповідно.

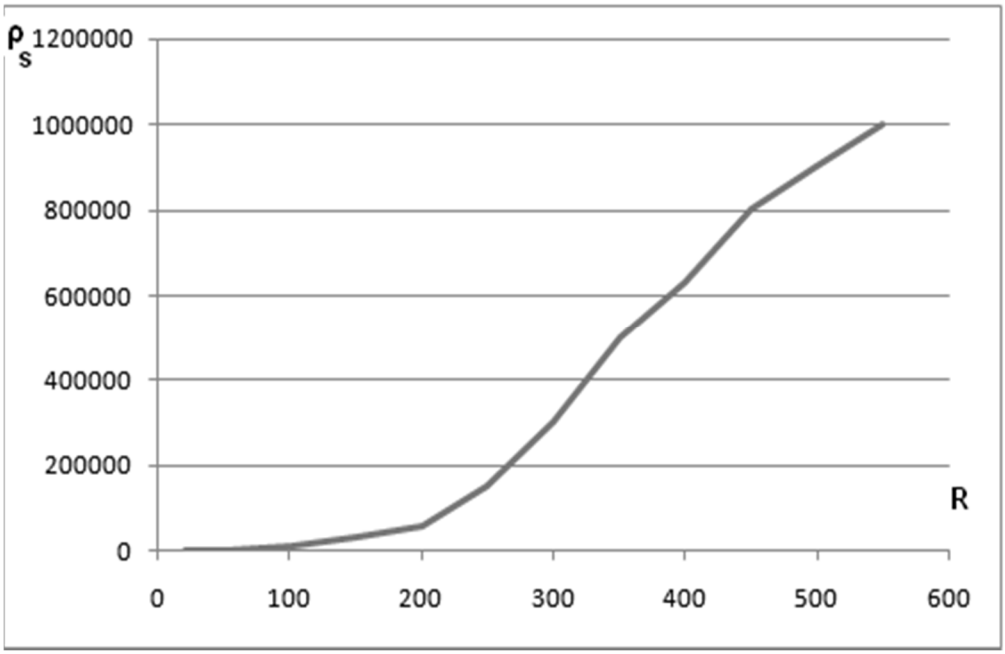

Рис.2 Залежність необхідної густоти радіо засобів ρ_S при $\infty = 3; \sigma = 8; S = 10^7; P_{cb} = 0.95$

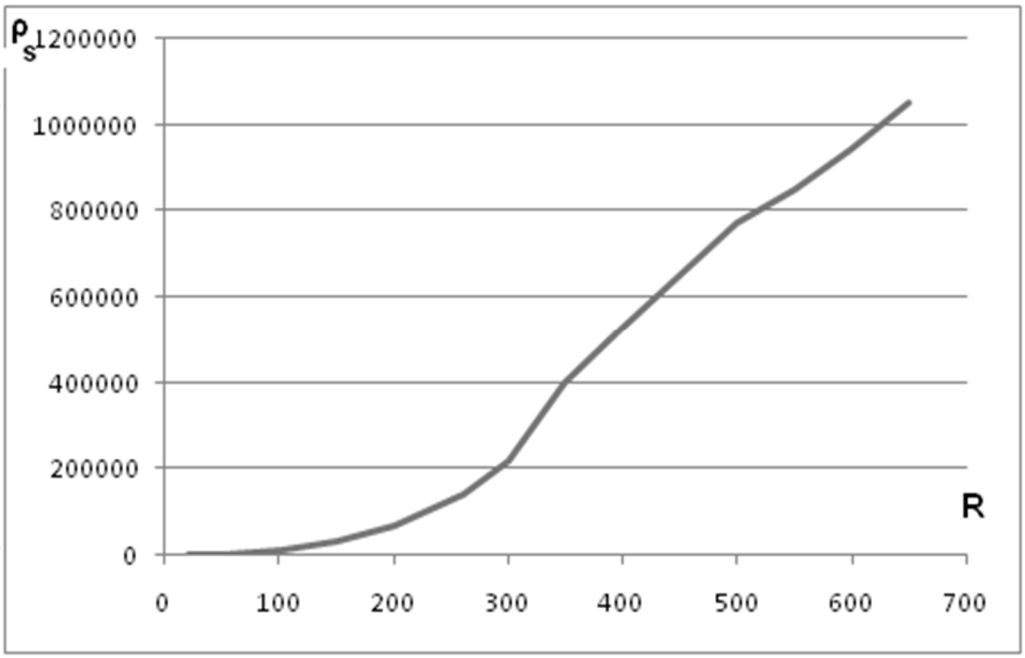

Рис. 3 Залежність необхідної густоти радіозасобів ρ_S при $\infty = 4; \sigma = 8; S = 10^8; P_{cb} = 0.98$

Підставивши $\rho_S = \frac{N}{S}$ у вираз (15), можна визначити число радіозасобів СОМ *N,* як функцію дальності радіозв'язку *R* і площі території СОМ *S*:

$$N = -\frac{S}{\pi R^2 \gamma} \mathrm{W}_{-1}\left(\frac{\ln P_{cb}}{S} \pi R^2 \gamma\right).$$

3. Висновки. При підвищенні вимог до якості зв'язку відповідно підвищуються вимоги до показників зв'язності само організованих радіомереж. При фіксованій дальності радіозв'язку R зі збільшенням площі території СОМ S, необхідна щільність радіостанцій СОМ збільшується. Пояснюється це тим, що для збереження зв'язності мережі з заданою ймовірністю P_{cb} при збільшенні S число радіо засобів, розташованих навколо одного (відокремленого) з них, повинне бути збільшене.

Література

1. Бунин С. Г. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами / С. Г. Бунин, А. П. Войтер, М. Е. Ильченко, В. А. Романюк. – Київ : НПП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2012. – 444 с.

2. Кучерявый А. Е. Самоорганизующиеся сети и новые услуги / А. Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2009. – № 1. – С. 19-23.

3. Палий А. И. Радиоэлектронная борьба / А. И. Палий. – Москва : Воениздат, 1989. – 350 с.

4. Сайко В. Г. Системи бездротового цифрового радіозв'язку нового покоління : монографія / В. Г. Сайко. – Київ: ПП «Золоті ворота», 2011. – 300 с.

5. Доровских А. В. Сети связи с подвижными объектами / А. В. Доровских, С. С. Сикарев. – Київ : Техніка, 1989. – 158 с.

6. Вишневский В. М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – Москва : Техносфера, 2005. – 455 с.

7. Дубинов А. Е. W-функция Ламберта и ее применение в математических задачах физики : учеб. пособие для вузов / А. Е. Дубинов, И. Д. Дубинова, С. К. Сайков. – Саров : ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2006. – 160 с.

Автори статті

Сайко Володимир Григорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380 (44) 249 25 04. E-mail: vgsaiko@gmail.com.

Плющ Олександр Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380(44)249-25-04. E-mail: opliusch@ yahoo.com.

Бреславський Вячеслав Олександрович – аспірант кафедри радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380(99)9352392. E-mail: port@ukr.net.

Грищенко Людмила Миколаївна – аспірант кафедри радіотехнологій, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел. +380(93)6726540. E-mail: mila_1956@mail.ru.

Authors of the article

Sayko Volodymyr Hryhorovych – doctor of sciences (technical), professor, chief of radio technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (44) 249 25 04. E-mail: vgsaiko@gmail.com.

Plyushch Oleksandr Hryhorovych – candidate of sciences (technical), associate professor at radio technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380(44)249-25-04. E-mail: opliusch@ yahoo.com.

Breslavskyy Vyacheslav Oleksandrovych – postgraduate student of radio technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380(99)9352392. E-mail: port@ukr.net.

Hryshchenko Lyudmyla Mykolaivna – postgraduate student of radio technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380(93)6726540. E-mail: mila_1956@mail.ru.

Дата надходження в редакцію: 16.01.2016 р. Рецензент: д.т.н., проф. М. М. Климаш