

*Анатолій Іванович Сбітнєв (д-р техн. наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії)¹
Дмитро Анатолійович Бухал (ад'юнкт)²*

¹*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

²*Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна*

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ РАДІОСТАНЦІЙ-РЕТРАНСЛЯТОРІВ РУХОМОЇ СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Одним із найбільш ефективних способів протидії сучасним засобам радіоелектронної розвідки противника є створення рухомих систем радіозв'язку, здатних функціонувати на знижених потужностях.

В цих системах усі радіостанції мають однаковий статус і взаємодіють між собою напряму або за допомогою ретрансляції повідомлень через інші радіостанції. Однак, через рухомість радіостанцій-ретрансляторів та вплив на зв'язок дестабілізуючих факторів природного та штучного походження виникає проблема оцінювання зв'язності під час функціонування зазначених систем.

У статті запропоновано методичний підхід до оцінювання зв'язності радіостанцій-ретрансляторів за допомогою подання рухомої системи радіозв'язку у вигляді нечіткого графа через нечіткі околиці та межі вершин.

Зазначений підхід дозволяє вирішити задачу щодо оцінювання зв'язності у простому аналітичному вигляді з отриманням відповідного кількісного показника, уникнувши при цьому зайвої надмірності у розрахунках, яка притаманна традиційним методам.

Подальший розвиток методичного підходу надасть можливість вирішувати спеціальні тактичні задачі в галузі військового управління та зв'язку.

Ключові слова: рухома система радіозв'язку; зв'язність радіостанцій-ретрансляторів; функції належності; нечіткий граф; ступінь зв'язності.

Вступ

Постановка проблеми. З метою досягнення інформаційної переваги провідні у воєнному відношенні країни продовжують створення та розвиток систем зв'язку, які поєднують розосереджені органи управління, війська (сили), засоби розвідки шляхом передачі даних про бойову обстановку між абонентами в масштабі часу, наближеному до реального. При цьому радіозв'язок залишається одним із основних родів зв'язку під час організації управління військами на тактичному рівні. Він відрізняється швидкістю встановлення, гнучкістю та практично незамінний у складних маневрених умовах ведення бойових дій.

Для захисту радіозв'язку на усю глибину оборони від радіоелектронної розвідки противника досить ефективною є робота радіостанцій на малих потужностях. Найбільш перспективними для такого способу організації зв'язку на тактичному рівні є рухоми системи радіозв'язку (РСР), в яких радіостанції мають однаковий статус і взаємодіють одна з одною в зоні радіовидимості або за допомогою ретрансляції повідомлень через інші радіостанції. У цьому випадку просторовий розмах РСР обмежується тільки кількістю радіостанцій-ретрансляторів та граничною відстанню поширення радіосигналів.

Однак, своєчасність та достовірність зв'язку безпосередньо залежить від зв'язності радіостанцій-ретрансляторів між собою (під зв'язністю розуміється наявність зв'язку між будь-

якими радіостанціями-ретрансляторами РСР у заданий період часу).

Зв'язність РСР не є сталою та ускладнюється нестационарністю середовища розповсюдження, мобільністю її елементів, а також впливом значної кількості дестабілізуючих факторів природного та штучного походження. Завдяки зв'язності структура системи в один інтервал часу може бути оптимальною порівняно з іншим часовим інтервалом. Підвищення зв'язності дозволяє забезпечувати високу стійкість функціонування РСР під впливом різних вражаючих факторів та необхідний рівень розвідахищеності.

Тому задача оцінювання зв'язності радіостанцій-ретрансляторів рухомої системи радіозв'язку становить значний практичний інтерес під час розроблення перспективних систем зв'язку тактичного рівня управління та є актуальною проблемою для галузі військового управління та зв'язку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень з цієї проблематики свідчить про те, що вирішенню задачі оцінювання зв'язності різних елементів систем радіозв'язку приділяється досить велика увага.

Так, ряд закордонних авторів зосередився на розгляді зв'язності в умовах, коли кількість радіостанцій-ретрансляторів РСР наближається до нескінченності. В [1] доведено, що у випадку наближення кількості радіостанцій до нескінченності, ймовірність зв'язності системи наближається до одиниці. Також досліджується

критична відстань радіозв'язку, від якої безпосередньо залежить зв'язність між двома радіостанціями-ретрансляторами, що більш детально відображено у [2-5].

Вітчизняні автори розглядають питання щодо підвищення зв'язності РСР через вирішення задачі Штейнера для відповідної кількості вузлів графа. Рішення цієї задачі полягає у введенні у структуру системи додаткового вузла, що забезпечує найкраще з'єднання з найближчими вузлами. Також для рішення задачі Штейнера використовуються наближені алгоритми Злотова А.В.-Хачатурова В.Р. [6], евристичні алгоритми Лотарьова Д.Т. [7] та асимптотично оптимальний алгоритм Єрзіна А.І. [8].

Крім того, проблемам оцінювання зв'язності систем радіозв'язку присвячені роботи радянських вчених Додонова А.Г., Кузнецова М.Г., Вишневського В.М., Білоцерківського В.М., Мельникова Ю.Є., Малашенка Ю.Є. та інших. У деяких з них розроблені аналітичні моделі, які дозволяють проводити розрахунки зв'язності РСР за умови знаходження системи у стаціонарному положенні.

Загалом можна зазначити, що дослідження в даній області ведуться із середини 20 століття, створено багато імовірнісних поліноміальних моделей та моделей, побудованих за допомогою методів штучного інтелекту. Однак, значна частина досліджень має досить формальне відношення до проблеми визначення зв'язності та обтяжена великою кількістю обчислень. До того ж багатьма дослідниками РСР переважно представляється у вигляді графа, вузлами якого є радіостанції-ретранслятори, а його ребрами – зв'язки між вузлами.

Подання графів при цьому зазвичай здійснюється за допомогою матриць суміжності та багатозв'язних списків з використанням покажчиків. Але таке подання під час оцінювання зв'язності між будь-якими вузлами графа виявляється суттєво надмірним, оскільки для матриць суміжності має місце велика розрідженість матриць, а для багатозв'язних списків – застосування додаткових спеціальних програмних засобів.

Враховуючи визначені проблемні питання, метою статті є розроблення методичного підходу щодо оцінювання зв'язності радіостанцій-ретрансляторів РСР. Під час рішення цієї задачі необхідно отримати інший метод опису РСР, вільний від перелічених недоліків.

Методи дослідження

У ході дослідження було застосовано метод околів та меж для нечітких графів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Дослідження організації зв'язку РСР на тактичному рівні свідчать про те, що існує багато факторів, які складно піддаються формалізації, але значною мірою впливають на зв'язність системи

(сезонні природні явища та метеорологічні умови, вихід радіостанцій-ретрансляторів за межі радіобачення, наявність перешкод місцевості, які можуть суттєво змінювати умови розповсюдження радіохвиль тощо). Зазначене є джерелом невизначеності наявності зв'язності між радіостанціями-ретрансляторами РСР через важкопрогнозованість, неповноту та неточність встановлення і підтримання зв'язку. В свою чергу, це викликає появу нечіткостей під час створення графових моделей РСР.

Вирішення задачі оцінювання зв'язності радіостанцій-ретрансляторів РСР пропонується здійснити за допомогою подання нечітких графів через нечіткі околи та межі вершин (вузлів). При цьому найкращою моделлю вирішення зазначеної задачі є розмічений граф. Тому для розмітки графа доцільно застосовувати теорію нечітких множин і визначати функцію належності, яка відображає ступінь зв'язності радіостанцій-ретрансляторів РСР між собою.

Суть методу околів та меж полягає в тому, що необхідно задати граф у вигляді околів (рис. 1).

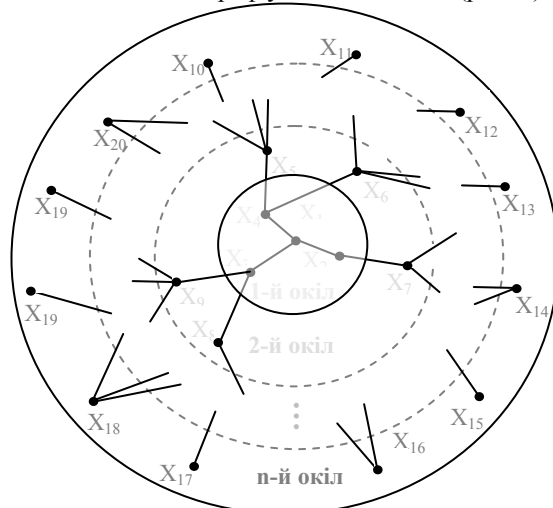


Рис. 1. Околи та межі вузлів графу рухомої системи радіозв'язку

Першим околом S_i^1 вузла x_i називається множина кінцевих вузлів для ребер, інцидентних x_i , і сам вузол x_i .

Для такої множини істинним є вираз:

$$\forall x_j \in X \left\{ \begin{array}{l} x_j \in S_i^1 \leftrightarrow \exists \langle x_i, x_j \rangle \\ \left[\langle x_i, x_j \rangle \in F \langle x_i, x_j \rangle \vee (x_i = x_j) \right] \end{array} \right\}, \quad (1)$$

де $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$, $j \in J = \{1, 2, \dots, m\}$.

Тоді n-й окіл вузла x_i за індукцією визначається як:

$$S_i^n = \bigcup_{x_j \in S_i^{n-1}} S_j^1. \quad (2)$$

Це означає, що n-й окіл вузла x_i може бути отриманий шляхом додавання до (n-1)-го околів множини сусідства, тобто кінцевих вузлів ребер, інцидентних з S_i^{n-1} . При цьому $S_i^1 \subseteq S_i^2 \subseteq \dots \subseteq S_i^n$.

Подання графа робиться через перерахування перших околів його вузлів:

$$L = \{S_i^1, x_i \in X\}, \quad (3)$$

де $S_i^1 = \{x_i\}$, $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$, $j \in J = \{1, 2, \dots, m\}$.

При цьому функції належності для множин-околів вузлів графа задаються за формулою:

$$\mu_A(x) = \min_i [\mu_{A_i}(x)], \quad (4)$$

де $i = \overline{1, n}$ – номер фактора впливу на зв'язність РСР.

Для прикладу проведемо оцінювання зв'язності між вузлами 1 та 6 графа РСР (рис. 2). Ступінь зв'язності радіостанцій-ретрансляторів РСР між собою буде відображатися функціями належності $\mu_A(x)$ між вузлами нечіткого графа для кожної ділянки шляху.

Для варіанта організації РСР, відображеної на рис. 2, припустимо, що було встановлено такі результуючі функції належності для кожної ділянки шляху:

- $S_1^1 = \{ < 0,9/2 > \};$
- $S_2^1 = \{ < 0,9/1 >, < 0,8/3 >, < 0,8/6 > \};$
- $S_3^1 = \{ < 0,8/2 >, < 0,7/4 >, < 0,6/5 >, < 0,8/6 >, < 0,3/8 > \};$
- $S_4^1 = \{ < 0,7/3 > \};$
- $S_5^1 = \{ < 0,6/3 >, < 0,5/7 >, < 0,9/8 > \};$
- $S_6^1 = \{ < 0,8/2 >, < 0,8/3 >, < 0,9/8 >, < 0,7/9 > \};$
- $S_7^1 = \{ < 0,5/5 >, < 0,4/8 >, < 0,5/10 > \};$
- $S_8^1 = \{ < 0,3/3 >, < 0,9/5 >, < 0,9/6 >, < 0,4/7 >, < 0,4/9 > \};$
- $S_9^1 = \{ < 0,7/6 >, < 0,4/8 > \};$
- $S_{10}^1 = \{ < 0,5/10 >, < 0,7/11 > \};$
- $S_{11}^1 = \{ < 0,7/11 > \}.$

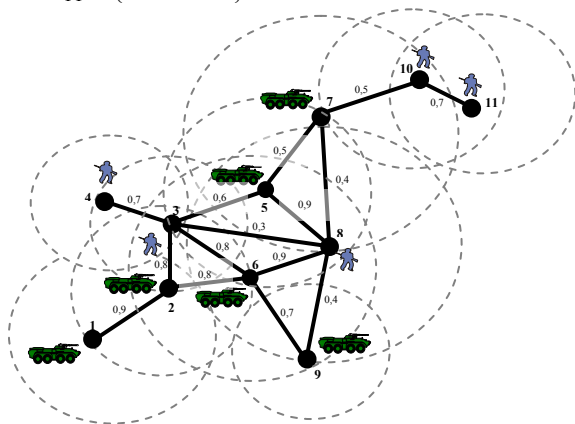


Рис. 2. Граф рухомої системи радіозв'язку, розмічений через функції належності

Далі знаходяться функції належності для послідовних відрізків (а,б) і (б,в) з відомими

$\mu(a, b)$ та $\mu(b, v)$ [9]:

$$\mu(a, v) = \min[\mu(a, b); \mu(b, v)]. \quad (5)$$

Наприклад, за моделлю з розміткою графа РСР функціями належності зв'язність між вузлами 1 та 6 (рис. 3) буде дорівнювати:

$$\mu(1,6) = \max \left[\begin{array}{l} \min(1, 2, 6); \\ \min(1, 2, 3, 8, 6); \\ \min(1, 2, 3, 6); \\ \min(1, 2, 8, 9, 6); \\ \min(1, 2, 3, 5, 8, 6); \\ \min(1, 2, 3, 5, 7, 8, 6); \\ \min(1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 6) \end{array} \right] = \max[0,8; 0,3; 0,8; 0,3; 0,6; 0,4; 0,4] = 0,8.$$

У результаті отримуємо найбільш зв'язні шляхи між вузлами 1 та 6 (рис. 2):

$$\mu(1,6) = \mu(1,2,6) = 0,8;$$

$$\mu(1,6) = \mu(1,2,3,6) = 0,8.$$

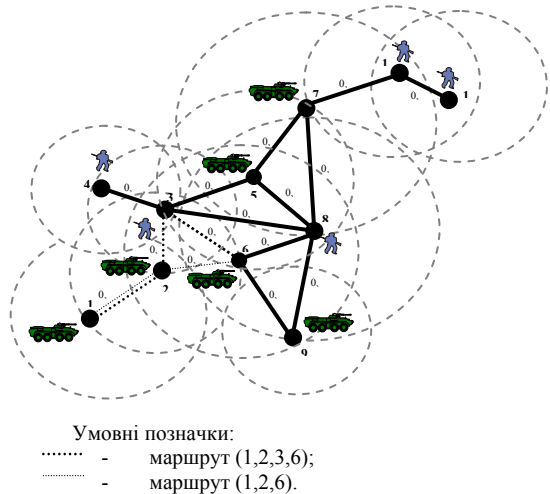


Рис. 3. Найбільш зв'язні шляхи між 1 та 6 вузлами графа рухомої системи радіозв'язку

Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті запропоновано методичний підхід щодо оцінювання зв'язності радіостанцій-ретрансляторів РСР. На основі методу околів та меж отримані відповідні залежності, що дозволило на наведеному прикладі розрахувати кількісну величину зв'язності між визначеними радіостанціями-ретрансляторами. Зазначений підхід дозволяє вирішити задачу щодо оцінювання зв'язності у простому аналітичному вигляді, уникнувши при цьому зайвої надмірності, що притаманна традиційним способам подання графів.

Напрямом подальших досліджень вважається пошук оптимального критерію обрання найкращого маршруту між радіостанціями-ретрансляторами РСР у випадку однакової їх зв'язності, що надасть можливість вирішувати спеціальні тактичні задачі в галузі військового управління та зв'язку.

Література

1. Piret, P. On the connectivity of radio networks [Текст] : IEEE Transactions on Information Theory 37, 5 (1991), pp. 1490–1492. 2. Gupta, P. Kumar P.R., Critical power for asymptotic connectivity in wireless networks [Текст] : P. Gupta, and P.R. Kumar. – Stochastic Analysis, Control, Optimization and Applications, 1998. 3. Philips, Thomas K Connectivity Properties of a Packet Radio Network Model [Текст] : Thomas K Philips, Shivendra S. Pandwar, Asser N. Tantawi IEEE Transactions on Information Theory, p.1044-1047, September 1989. 4. Yuan-Chieh Cheng, Critical Connectivity Phenomena in Multihop Radio Models [Текст] : Yuan-Chieh Cheng, Thomas G. Robertazzi, IEEE Transactions on Communications, vol.37. 5. Gilbert, E. N. Random plane networks [Текст] : JSoc. Indust. Appl.Math, vol.1.9, pp.533-543, December 1961.
6. Злотов, А.В. Применение аппроксимационно-комбинаторного метода для решения задач построения оптимальных сетей с нелинейными функциями стоимости ребер. [Текст] : А.В. Злотов, В.Р. Хачатуров, Сообщения по прикладной математике. М.: ВЦ АН СССР, 1984. 7. Лотарев, Д. Т. Задача Штейнера для транспортной сети на поверхности, заданной цифровой моделью [Текст] : АИТ. 1980. № 10. С. 104-115. 8. Ерзин, А. И. Асимптотический подход к решению задачи Штейнера с вогнутой функцией стоимости потока. [Текст] : Препринт № 4. Новосибирск: Ин-т мат. СО АН СССР, 1983. 9. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ СВЯЗНОСТИ РАДИОСТАНЦИЙ-РЕТРАНСЛЯТОРОВ ПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ

Анатолій Іванович Сбитнев (д-р техн. наук, професор, ведучий научний співробітник науково-дослідницької лабораторії)¹
Дмитрій Анатольєвич Бухал (ад'юнкт)²

¹*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

²*Центральний науково-дослідницький інститут Збройних Сил України, Київ, Україна*

Одним из наиболее эффективных способов противодействия современным средствам радиоэлектронной разведки противника является создание подвижных систем радиосвязи, функционирующих на пониженных мощностях.

В этих системах радиостанции имеют одинаковый статус и взаимодействуют между собой напрямую или с помощью ретрансляции сообщений через другие радиостанции. Однако, из-за подвижности радиостанций-ретрансляторов и воздействия на связь дестабилизирующих факторов естественного и искусственного происхождения возникает проблема оценивания связности во время функционирования указанных систем.

В статье предложен методический подход к оцениванию связности радиостанций-ретрансляторов с помощью подачи подвижной системы радиосвязи в виде нечеткого графа через нечеткие окрестности и границы вершин.

Этот подход позволяет решить задачу оценивания связности в простом аналитическом виде с получением соответствующего количественного показателя, избегнув при этом чрезмерности в расчетах, которая присуща традиционным методам.

Последующее развитие методического подхода даст возможность решать специальные тактические задачи в области военного управления и связи.

Ключевые слова: подвижная система радиосвязи; связность радиостанций-ретрансляторов; функции принадлежности; нечеткий граф; степень связности.

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE ESTIMATING RADIO TERMINAL-RETRANSMITTERS CONNECTIVITY OF MOBILE RADIO SYSTEM

Anatolii I. Sbitniev (Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Research Fellow of Research Laboratory)¹

Dmytro A. Bukhal (Postgraduate Military Student)²

¹*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

²*Central Scientific Research Institute of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

One of the most effective technique to counteract enemies modern electronic reconnaissance facilities is creation mobile radio communication systems which can function with reduce power.

In these systems radio terminals have equal status and interact with each other directly or via relaying messages thought other ones. However, mobility radio terminal-retransmitters and existing destabilizing natural and manufactured factors with an influence on communication give a problem to estimate connectivity during functioning these systems.

In this paper it is proposed the methodological approach to estimate radio terminal-retransmitters connectivity of mobile radio systems using fuzzy graphs through fuzzy neighborhoods and boundaries.

The approach allows solving the problem of estimating connectivity in simple analytic form. This form gets corresponding quantitative rate and avoids excessiveness in calculations which are inherent in traditional methods.

Subsequent progress with the methodological approach will give us an chance to solve special tactical tasks in military control and communication area.

Keywords: mobile radio system; radio terminal-retransmitters connectivity; membership functions; fuzzy graph; degree of connectivity.

References

- 1. Piret P.** (1991), On the connectivity of radio networks, IEEE Transactions on Information Theory 37, pp. 1490–1492.
- 2. Gupta P. Kumar P.R.** (1998), Critical power for asymptotic connectivity in wireless networks. – Stochastic Analysis, Control, Optimization and Applications, p. 115
- 3. Philips, Thomas K** (1989) Connectivity Properties of a Packet Radio Network Model, IEEE Transactions on Information Zlieory, p.1044-1047.
- 4. Yuan-Chieh Cheng,** Critical Connectivity Phenomena in Multihop Radio Models, IEEE Transactiorvls on Communications, vol.37.
- 5. Gilbert E. N.** (1961) Random plane networks JSoc. Indust. Appl.Math, vo1.9, pp.533-543,
- 6. Zlotov A.V.** Application of approximation-combinative method for solution a problem of creation optimal networks with non-linear functions value ribs. [*Primenenie aproksimatsionno-kombinatornogo metoda dlya resheniya zadach postroeniya optimalnyh setey s nelineynymy funktsiyami stoimosti reber*], CC AS USSR, M., 1984.
- 7. Lotar'ov D. T.** (1980) Stainer problem for transport network surface specified of digital model [*Zadacha Sheynera dlya trasportnoy seti na poverhosti, zadannoy tsifrovoy model'yu*], AIT, № 10, pp.104-115.
- 8. Yerzin, A. I.** (1983) Asymptotic approach to solution Stainer problem with concave function stream value [*Asimptoticheskiy podhod k resheniyu zadachi Steynera s vognutoy funktsiey stoimosti potoka*]. N, № 4, MI CO AS USSR.
- 9. Kofman A.** (1982) Introduction to theoty of fазzy sets [*Vvedenie v teoriyu nechetkih mnozhestv*]. Radio and communication, M 1982, p. 432.

Отримано: 19.09.2014 року