

УДК 621.396:351.746.1

М. М. ШПОРТ, ад'юнкт кафедри зв'язку, автоматизації та захисту інформації Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького (м. Хмельницький)

УРАХУВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ РАДІОЗВ'ЯЗКОМ ПРИ ПОБУДОВІ РАЦІОНАЛЬНИХ МАРШРУТІВ У ХОДІ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ОПЕРАТИВНО-СЛУЖБОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ДЕРЖАВНОЇ ПРИКОРДОННОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ

У статті висвітлено дослідження, в результаті якого визначено, що для врахування наявності радіозв'язку при побудові раціональних маршрутів можна використати ймовірнісний показник. Ураховано фактори, які мають бути в запропонованому ймовірнісному показнику. Визначено математичний апарат для обчислення імовірності того, що відстань не перевищує гранично допустимої.

Ключові слова: *радіозв'язок, раціональний маршрут, зони Френеля.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Останнім часом в охороні кордону все частіше застосовуються сучасні інформаційні технології, які передбачають використання телекомунікаційних систем. У багатьох задачах оперативно-службової діяльності (ОСД) необхідно забезпечити мобільне функціонування програмно-технічних комплексів при їх пересуванні за маршрутом руху. З цієї метою використовуються різні технічні засоби зв'язку. Так, для забезпечення інформаційного обміну в автоматизованих робочих місцях (АРМ) "Патруль-М" застосовується ультратяг

кохвильова (УКХ) радіостанція “Кордон” (у початковому варіанті будови АРМ “Патруль-М”) та 3G модем у мережі мобільного зв’язку компанії “Київстар” (після модернізації). Окрім цього, 3G модеми використовуються також і в АРМ “Патруль-П” (програмний комплекс “Патруль-ВО”) та мобільному тепловізійному комплексі. Перспективними планами розвитку системи зв’язку Державної прикордонної служби України (ДПСУ), програмою розвитку телекомунікаційної мережі й інформатизації ДПСУ на період до 2015 року передбачене впровадження технології WiMax.

Відповідно до цього, було визначено [1], що одним з основних факторів, які потрібно врахувати при побудові раціонального маршруту, є забезпеченість радіозв’язком.

У зв’язку з цим **метою статті** є формування математичного апарату для врахування забезпеченості радіозв’язком при побудові раціональних маршрутів у ході вирішення задач оперативно-службової діяльності ДПСУ.

Проаналізуємо частотні діапазони, які використовують такі засоби.

З таблиці 1 випливає, що у засобах радіозв’язку зі складу програмно-технічного комплексу (ПТК) підрозділів охорони кордону використовують електромагнітні хвилі в діапазонах, які передбачають їх практично прямолінійне поширення. Унаслідок цього рельєф місцевості може перешкоджати стійкому радіозв’язку, що необхідно врахувати при побудові маски місцевості в ході вирішення задачі визначення раціонального маршруту.

Частотні діапазони засобів радіозв’язку ДПСУ

Назва засобу (технології)		Частотний діапазон, МГц
Радіостанція “Кордон”		146–174
2.5 G		900, 1800
3G		900, 1800
Wi-Max	802.16d	3500, 5000
	802.16e	2300–2500; 2500–2700; 3400–3800

Метою дослідження є введення і визначення показника наявності радіозв’язку.

Виклад основного матеріалу дослідження. При побудові маски місцевості з метою зменшення обчислювальної складності та виконання

вимог до ресурсів обчислювальної системи необхідно зменшувати роздільну здатність при дискретизації. У зв'язку з цим показник наявності радіозв'язку має описувати не конкретну точку місцевості, а характеризувати певну її ділянку, яка покривається елементом маски місцевості m_{ij} . Це вимагає провести певне узагальнення рельєфу ділянки місцевості і визначити показник для цієї ділянки загалом.

У вирішенні задач такого класу звичайно використовується статистична теорія зв'язку, у якій надзвичайно важливим є ймовірнісний підхід до одночасного врахування стохастичної природи трьох основних факторів, які впливають на вірність передачі інформації: розповсюдження радіохвиль, рельєфу місцевості і процесу взаємного розміщення кореспондентів [2; 3]. Особливості прикордонних ділянок місцевості при цьому виявляються в різних розподілах висот та інших факторів.

Відповідно до цього як показник доцільно вибрати ймовірність наявності радіозв'язку з абонентом, який знаходиться в довільному місці, у межах ділянки місцевості, з урахуванням її рельєфу.

Для визначення цього ймовірнісного показника побудуємо статистичну модель, яка враховує основні фізичні фактори, що перешкоджають прийому аналогових сигналів.

Ефективність прийому радіосигналів будемо описувати забезпеченням в точці прийому необхідного співвідношення сигнал/шум. Будемо вважати, що пряма радіовидимість існує тоді, коли на радіотрасі немає перешкод, які повністю перекривають першу зону Френеля [2]. При цьому наявність зв'язку є імовірністю події [2]

$$P_{зв} = P\{R < R_{гран}\} \cdot P\{\gamma < \varepsilon_1\} \cdot P\left\{U_{сиг} > U_{зав} \mid \begin{matrix} R < R_{гран} \\ \gamma < \varepsilon_1 \end{matrix}\right\}, \quad (1)$$

де $U_{сиг}$ – рівень сигналу; $U_{зав}$ – рівень завади ($U_{зав} = \Omega U_{вх}$); $U_{вх}$ – чутливість приймача; Ω – задане перевищення $U_{сиг}$ над $U_{вх}$; $P\{R < R_{гран}\}$ – ймовірність того, що відстань не перевищує гранично допустимої $R_{гран}$ (для рівної поверхні), обумовленої кривизною земної кулі; $P\{\gamma < \varepsilon_1\}$ – ймовірність того, що випадковий рельєф між кореспондентами не перекриває першої зони Френеля; $P\left\{U_{сиг} > U_{зав} \mid \begin{matrix} R < R_{гран} \\ \gamma < \varepsilon_1 \end{matrix}\right\}$ – ймовірність перевищення за рівнем сигналу в точці прийому рівня U_3 при виконанні попередніх умов.

Для обчислення $P\{U_{сиг} > U_{зав}\}$ необхідно знайти закон розподілу висот H випадкового рельєфу, який залежить від ділянки місцевості, що розглядається, і визначається (i, j) .

Аналіз рельєфу прикордонних регіонів з урахуванням типових розмірів ділянок дискретизації хвильового алгоритму дозволяє зробити висновок про те, що для опису можливо використати рівномірний закон розподілу висот

$$W(H) = \frac{1}{(H_{\max} - H_{\min})}, \quad (2)$$

де H_{\min} , H_{\max} – граничні значення висот випадкового рельєфу.

Визначимо закон розподілу віддалення рухомого абонента в системі рухомого зв'язку (рис. 1).

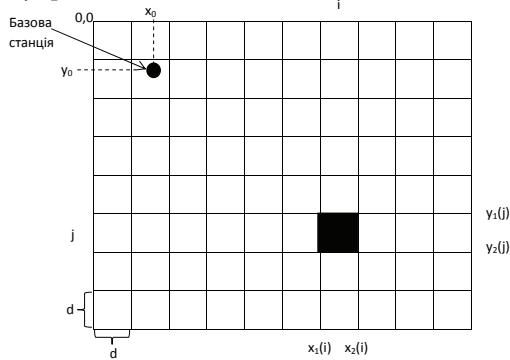


Рис. 1. Схема розташування елементів системи рухомого зв'язку

Для визначення відстаней будемо використовувати декартову систему координат з початком координат у верхньому лівому куті карти. Проведемо моделювання закону розподілу відстаней для різних варіантів взаємного розташування базової станції і дискретної ділянки місцевості.

При розташуванні базової станції на незначному віддаленні (співмірному з розмірами кроку дискретизації) або в межах ділянки місцевості закони розподілу відстаней мають певний вигляд (рис. 2).

Однак в окремих випадках, навіть за незначного віддалення досліджуваної ділянки від базової станції, закон розподілу відстаней наближається до рівномірного (рис. 3). Це відбувається при розташуванні базової станції на вертикальній або горизонтальній осі ділянки місцевості.

При віддаленні від базової станції вже на 7–10 кроків дискретизації функція розподілу вирівнюється і стає практично рівномірною (рис. 4).

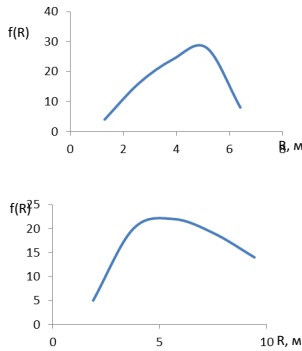


Рис. 2. Вигляд функції розподілу відстаней до базової станції на незначному віддаленні від базової станції

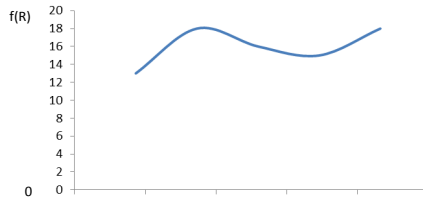


Рис. 3. Вигляд функції розподілу відстаней до базової станції на незначному віддаленні від базової станції при її розташуванні на осі ділянки

Слід зауважити, що у разі невеликих відстаней від базової станції апріорно забезпечується стійкий зв'язок [4]. Через це при незначному віддаленні відстані є настільки малими, що не впливатимуть на ймовірнісний показник. Отже, для спрощення подальших досліджень можливо використати рівномірний закон розподілу відстаней до базової станції.

Відповідно до рис. 1 координати центру ділянки визначатимуться таким чином:

$$x_c(i) = \frac{x_2(i) + x_1(i)}{2},$$

$$y_c(j) = \frac{y_2(i) + y_1(i)}{2}.$$

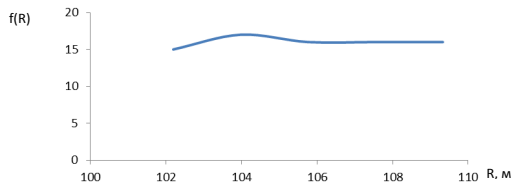


Рис. 4. Вигляд функції розподілу відстаней до базової станції на значному віддаленні від базової станції

Відстань R_0 від базової станції до центру ділянки визначається, виходячи з евклідової метрики,

$$R_0 = \sqrt{(x_0 - x_c)^2 + (y_0 - y_c)^2}.$$

У межах ділянки дискретизації можливе відхилення від R_0 на відстань

$$R = \frac{\sqrt{d^2 + d^2}}{2} = \frac{d}{\sqrt{2}}.$$

При використанні рівномірного закону розподілу отримуємо такий його вигляд:

$$W(R) = \begin{cases} W_1(R), R_{\min} \leq R \leq R_{\max} \\ 0, R \leq R_{\min} \cup R_{\max} \leq R \end{cases},$$

$$W_1(R) = \frac{1}{(R_{\max} - R_{\min})} = \frac{1}{R_0 + \frac{d}{\sqrt{2}} - R_0 - \frac{d}{\sqrt{2}}} = \frac{1}{d \cdot \sqrt{2}},$$

де $R_{\min} = R_0 + \frac{d}{\sqrt{2}}$; $R_{\max} = R_0 - \frac{d}{\sqrt{2}}$.

Розглянемо при цьому законі розподілу відстаней перший співмножник у (1).

$$P(R < R_{\text{спин}}) = \int_{R_{\min}}^{R_{\text{спин}}} W(R) dR = \int_{R_{\min}}^{R_{\text{спин}}} \frac{dR}{d \cdot \sqrt{2}},$$

$$P(R < R_{гран}) = \begin{cases} 0, R_{3\sigma} < R_{m.in} \\ \frac{R_{гран} - R_{m.in}}{d \cdot \sqrt{2}}, R_{m.in} \leq R_{гран} \leq R_{m.in} \\ 1, R_{гран} > R_{m.in} \end{cases}, \quad (3)$$

де $R_{гран} = 3,57 \cdot 10^3 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$ – гранична дальність зв’язку, м (h_1, h_2 – висоти антен, м)

[4]. Розкриємо у (3) вираз для $R_{min} \leq R_{гран} \leq R_{min}$.

$$\begin{aligned} \frac{R_{гран} - R_{m.in}}{d \cdot \sqrt{2}} &= \frac{3,57 \cdot 10^3 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) - R_0 + \frac{d}{\sqrt{2}}}{d \cdot \sqrt{2}} = \\ &= \frac{3,57 \cdot 10^3 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) - R_0}{d \cdot \sqrt{2}} + 0,5 = \\ &= \frac{3,57 \cdot 10^3 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) - \sqrt{(x_0 - x_c(i))^2 + (y_0 - y_c(j))^2}}{d \cdot \sqrt{2}} + 0,5. \end{aligned} \quad (4)$$

Побудуємо графік залежності (3) від $R_{гран}$ (рис. 5).

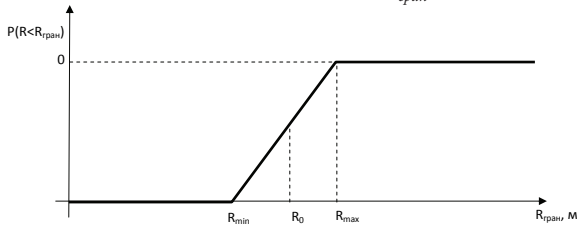


Рис. 5. Вигляд залежності ймовірності неперевищення відстані до абонента від гранично допустимої

Оскільки для більшості ділянок дискретизації $(R_{max} - R_{min}) \ll R_0$, при виконанні цієї умови можна наближено прийняти

$$P(R < R_{гран}) = \begin{cases} 0, R_{гран} < R_0 \\ 1, R_{гран} > R_0. \end{cases} \quad (5)$$

Побудуємо (5) для $h_1 = 1 \text{ m}$, $h_2 = 10 \text{ m}$ для регіону місцевості розмірами (50 км, 50 км) і координатами базової станції (15 км, 11 км).

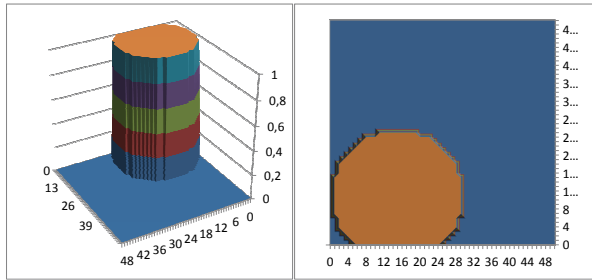


Рис. 6. Видяк залежності ймовірності неперевищення відстані до абонента від гранично допустимої для регіону місцевості

Висновок. У результаті проведених досліджень визначено, що для врахування наявності радіозв'язку при побудові раціональних маршрутів можна використати ймовірнісний показник (формула 1). У запропонованому ймовірнісному показнику мають бути враховані такі фактори: ймовірність того, що відстань не перевищує гранично допустимої; ймовірність того, що випадковий рельєф між кореспондентами не перекриває першої зони Френеля; ймовірність перевищення рівнем сигналу в точці прийому рівня U_z за виконання попередніх умов. У роботі визначено математичний апарат для обчислення ймовірності того, що відстань не перевищує гранично допустимої. У подальших дослідженнях доцільно визначити інші ймовірності у (1).

Список використаної літератури

1. Рачок Р. В. Окремі питання побудови систем стільникового радіозв'язку ПВ України / Р. В. Рачок // Збірник наукових праць. – Хмельницький : Видавництво НАПВУ, 2003. – № 24. Ч. 2. – С. 205–209.
2. Шарапов И. П. Функция распределения высот рельефа. Рельеф Земли и математика / И. П. Шарапов. – М. : Мысль, 1982. – С. 72–79.
3. Калинин А. И. Распространение радиоволн и работа радиoliniй / А. И. Калинин, Е. А. Черенкова. – М. : Связь, 1971. – 440 с.
4. Рачок Р. В. Оцінка завадостійкості системи зв'язку при урахуванні різних законів розподілу висот місцевості і відстані між абонентами / Р. В. Рачок // Вимі-

рювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький : Видавничий відділ ТУП, – 2002. – С. 186–188.

Рецензент – доктор технічних наук, професор Катеринчук І. С.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2013.

Шпорт Н. Н. Учет обеспеченности радиосвязи при построении рациональных маршрутов в ходе решения задач оперативно-служебной деятельности ГНСУ

В статье проведены исследования, в результате которых определено что для учёта наличия радиосвязи при построении рациональных маршрутов возможно использование вероятностного показателя. Учтены факторы в предложенном вероятностном показателе. В статье определён математический аппарат для вычисления вероятности того, что расстояние не превышает гранично возможное.

Ключевые слова: *радиосвязь, рациональный маршрут, зоны Френеля.*

Shport M. M. Consideration of supply of radio communication while constructing rational routes in the process of solving of tasks of operation and service activity of the State Border Guard Service of Ukraine

In the article the research resulted in determination of the fact that for consideration of existence of radio communication while constructing rational routes it is possible to use probability index. The factors composing offered probability index have been considered. In the article the mathematical apparatus for calculation of probability of figure indicating that distance does not exceed alarm level has been detremined.

Keywords: *radio communication, rational route, Fresnel zone.*