

УДК 623-91/-94

Роман РАЧОК,
кандидат технічних наук, доцент,
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МАСКИ МІСЦЕВОСТІ НА ОСНОВІ ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АНАЛОГІЇ ІЗ ЗАЛОМЛЕННЯМ СВІТЛА

У роботі проведено аналіз підходів до визначення маски місцевості на основі швидкісних характеристик у хвильовому алгоритмі для побудови раціональних маршрутів; висунуто гіпотезу про некоректність наявних підходів до обчислення маски місцевості; обґрунтовано методика визначення маски місцевості на основі швидкісних характеристик транспортних засобів з використанням аналогії із заломленням світла.

Ключові слова: *хвильовий алгоритм, визначення раціонального маршруту, маска місцевості.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. У планах розвитку Державної прикордонної служби України (ДПСУ) передбачене зростання ролі підрозділів швидкого реагування. Використання даних підрозділів потребує їх швидкого висунення у визначений район з можливим використанням широкого парку транспортних засобів прикордонного відомства. Швидкісні характеристики цих транспортних засобів суттєво залежать від погодно-кліматичних умов та влас-

© Рачок Р.

тивостей елементів місцевості, через які буде прокладений маршрут. Потреба у мінімізації часу, який витрачається на пересування підрозділів швидкого реагування, особливим чином формує постановку завдання визначення раціональних маршрутів руху. Розрахунок таких маршрутів може бути реалізований з використанням інформаційно-телекомунікаційної системи геоінформаційного забезпечення “Гарт-17”. Однак сучасні алгоритми пошуку маршрутів передбачають використання матричного показника, який описує місцевість. Цей показник (маска місцевості) має бути визначений для розрахунку раціональних маршрутів підрозділів швидкого реагування з урахуванням залежності швидкісних характеристик транспортних засобів від типу місцевості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Питання оптимальної побудови маршрутів розглянуті у багатьох дослідженнях. У низці робіт розглядається побудова маршрутів по мережі доріг. Для опису мережі доріг використовується зважений граф. Вирішення цієї задачі, звичайно, виконується, з використанням класичних алгоритмів пошуку найкоротшого шляху в графі [1]. Побудова маршруту на довільній місцевості з урахуванням перешкод і прохідності місцевості є більш складним завданням [2]. Для її вирішення використовується алгоритм Лі (хвильовий алгоритм), алгоритм A^* та інші алгоритми [3]. Однак, використання цих алгоритмів потребує формування маски місцевості. Ця маска використовується для опису місцевості і становить собою матрицю, елементи якої описують дискретні ділянки місцевості і визначають доцільність прокладання через них маршруту.

Питання побудови маски місцевості при розрахунку маршрутів у задачах у сфері прикордонної безпеки з урахуванням багатьох факторів досліджені в [4–7]. Значна увага в цих роботах приділена урахуванню швидкісних характеристик транспортних засобів. Загальноприйнятим (для хвильового алгоритму) є використання підходу, коли більшим швидкостям руху відповідають менші значення елементів маски (окрім нульового значення, яке зарезервоване для позначення непрохідних ділянок). Одні дослідники обирають залежність між швидкісними

характеристиками транспортних засобів і елементами маски лінійною з від'ємним коефіцієнтом [7]. В інших дослідженнях ця залежність обирається обернено пропорційною. Однак обґрунтування точної залежності в цих дослідженнях не проводиться.

Метою даної роботи є вдосконалення методики визначення маски місцевості в алгоритмах побудови оптимальних маршрутів за рахунок обґрунтування залежності між швидкісними характеристиками транспортних засобів і елементами цієї маски.

Виклад основного матеріалу дослідження. Пошук раціонального маршруту підрозділу швидкого реагування на довільній місцевості можна поставити як задачу визначення множини точок місцевості, що з'єднують початкову точку маршруту A з кінцевою B (рис. 1), оминають множину перешкод Z (ділянки місцевості поза межами України, непрохідні ділянки, ділянки з відсутнім радіопокриттям) та забезпечують мінімальний час пересування.

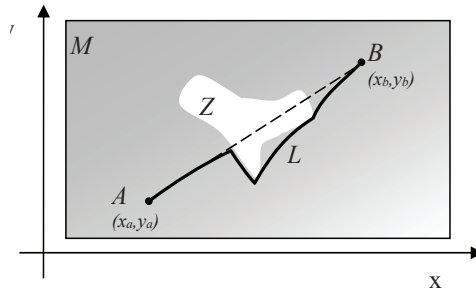


Рис. 1. Постановка задачі побудови маршрутів

Для визначення раціонального маршруту необхідний коректний опис місцевості, який у хвильовому та інших подібних алгоритмах проводиться з використанням маски місцевості $M = (m_{ij})_{sx \times sy}$. Величини s_x та s_y залежать від розміру ділянки місцевості та роздільної здатності при її описі. Елементи матриці M представляють раціональність прокладання маршруту через відповідні ділянки місцевості. Менші значення m_{ij} відповідають кращим для побудови маршруту точкам. На рис.1 наведений приклад маски, яка відповідає поступовому погіршенню прохідності від верхнього лівого до нижнього

правого кута місцевості. Ділянки, не придатні для прокладання маршруту (на рис. 1 множина Z), кодуються особливим значенням m_{ij} . Традиційно, при використанні хвильового алгоритму такі ділянки визначаються значеннями $m_{ij}=0$. За умов рівнозначності елементів місцевості для прокладання маршруту та відсутності перешкод Z , найкоротшим маршрутом, який забезпечуватиме мінімальний час пересування, буде відрізок прямої, що поєднує точки A та B (на рис. 1 зображена пунктиром). Однак, з урахуванням нерівнозначності ділянок місцевості і наявності перешкод Z раціональний маршрут визначатиметься кривою (на рис. 1 крива L), яка поєднує точки A та B , враховує значення M і не проходить через заборонену область Z . При описаному вище варіанті маски шуканий маршрут має відхилитись від прямої в бік верхнього лівого кута. Однак значне таке відхилення буде приводити до зростання довжини маршруту і збільшення часу пересування підрозділу. З метою мінімізації такого часу необхідний коректний і обґрунтований вибір величин m_{ij} на основі швидкісних характеристик транспортних засобів підрозділу швидкого реагування. У [6; 7] цей показник вибраний з використанням лінійної залежності від швидкості (у правій частині виразу (1):

$$\tilde{M}_{i,j} = \varpi_1 \cdot (254 \cdot P_{sv}(i,j) + 1) + \varpi_2 \cdot (254 \cdot (1 - \frac{\tilde{v}_{i,j}}{v_m}) + 1), \quad (1)$$

де $P_{sv}(i,j)$ – ймовірність відсутності радіозв'язку з ділянкою (i,j) ; $\tilde{v}_{i,j}$ – швидкість пересування транспортного засобу по ділянці (i,j) з урахуванням різних факторів; v_m – максимальна швидкість пересування транспортного засобу; ϖ_1, ϖ_2 – вагові коефіцієнти.

Для ділянок, по яких швидкість пересування $\tilde{v}_{i,j}$ є максимальною, права частина показника (1) є мінімальною і дорівнює 1. Зі зменшенням швидкості відбувається лінійне зростання (1) і, відповідно, погіршення значень маски місцевості.

Проте результати досліджень роботи хвильового алгоритму та інших аналогічних алгоритмів дозволяють зробити припущення, що залежність m_{ij} від швидкісних характеристик транспортних засобів має

бути нелінійною. В окремих дослідженнях така залежність обирається обернено пропорційною. Однак такий її вибір не обґрунтовується.

Для визначення залежності m_{ij} від швидкості транспортного за-
собу на ділянці (i,j) розроблена методика, яка ґрунтується на вико-
ристанні аналогії особливостей поширення хвилі у хвильовому алго-
ритмі з фізичним явищем заломлення хвильового фронту (зокрема
для електромагнітного випромінювання) на межі середовищ з різною
швидкістю її поширення.

При використанні хвильового та інших аналогічних алгоритмів для
варіанта однакових елементів маски місцевості найшвидший маршрут
має відповідати відрізу прямої (пунктирний відрізок на рис. 1).

Розглянемо випадок лінійного поділу досліджуваного простору
на дві області з різними швидкостями поширення хвилі (рис. 2). У
кожній з цих областей швидкість є фіксованою і їй відповідають фік-
совані значення маски.

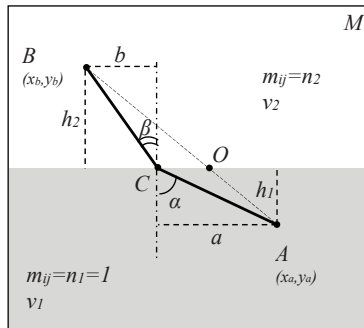


Рис. 2. Аналогія із заломленням світла

Припустимо, що у нижній частині рис. 2 швидкість є максимально
можливою $v_1 = v_{max}$ і їй відповідатимуть значення $m_{ij} = 1$ (максимальна
доцільність проведення маршруту через ці ділянки). Верхня частина
маски місцевості відповідає меншій за v_{max} швидкості поширення
 v_2 (поки невідомий) і тому містить фіксовані елементи з значенням
 $m_{ij} = n_2 > 1$. Цей варіант відповідає дещо гіршому використанню
відповідних точок місцевості в маршруті.

За таких умов раціональний маршрут має відхилитись від відрізка прямої, що з'єднує A та B (пунктирний відрізок на рис. 2). У кожній області місцевості рис. 2, для яких умови поширення хвилі є однаковими, раціональний маршрут, що забезпечує найменший час поширення, має бути відрізком прямої. У нижній області забезпечуються кращі умови поширення (більша швидкість), тому відрізок прямої раціонального маршруту AC має бути довшим ніж AO . Загальний вигляд раціонального маршруту за такого вигляду маски місцевості буде ACB . У порівнянні з варіантом однорідної місцевості з однаковою швидкістю пересування, для якої раціональним маршрутом був відрізок прямої (показаний на рис. 2 пунктиром), точка перетину маршрутом лінії поділу середовищ з різною швидкістю пересування зміститься ліворуч. Зрозуміло, чим меншою буде швидкість v_2 порівняно з v_1 , тим більшим має бути відхилення раціонального маршруту від прямої. При цьому точка C має більше віддалятися від точки O .

Така ситуація є аналогічною до проходження променя світла через межу двох середовищ з різною швидкістю його поширення. При цьому промінь світла формує маршрут з мінімізацією часу на проходження від однієї точки до іншої. Для явища заломлення світла відношення синусу кута падіння до синусу кута заломлення дорівнює відношенню швидкостей поширення світла в середовищах. Стосовно схеми рис. 2 це співвідношення можливо записати так:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (1)$$

Оскільки (рис. 2) $\sin \alpha = \frac{a}{h_1}$ і $\sin \beta = \frac{b}{h_2}$, то

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{a \cdot h_2}{h_1 \cdot b}. \quad (2)$$

Вираз (2) дозволяє на основі моделювання поширення хвилі і визначення маршруту для варіанта маски рис. 2 встановити відношення швидкостей. Результати такого моделювання з використанням модифікованого хвильового алгоритму зображені на рис. 3.

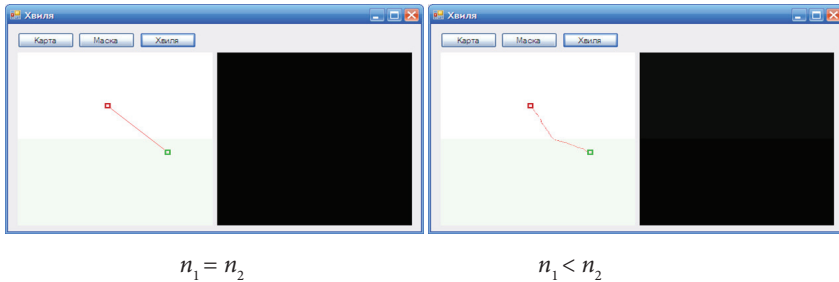


Рис. 3. Заломлення маршруту на межі середовищ з різними швидкостями поширення хвилі

У лівій частині рис. 3 досліджено випадок, коли маска місцевості є сталою і всі її елементи рівні 1. У такому однорідному середовищі був отриманий прямолінійний результуючий маршрут, що збігається з наведеними вище припущеннями. Відповідно у лівій частині на рис. 3 $\frac{a}{h_1} = \frac{b}{h_2}$ (кут падіння дорівнює куту заломлення). З виразу (2) у цьому

випадку отримуємо рівність швидкостей $v_2 = v_1$.

Варіант з різними значеннями маски в нижній і верхній її частині представлений на правій частині рис. 3. У нижній частині маски всі елементи дорівнюють 1. Це відповідає максимальній можливій швидкості ($v_1 = v_{max}$). У верхній частині маски (вище межі поділу рис. 2) встановлене значення $n_2 = 10$. У результаті моделювання отримано: $a = 50$, $b = 30$, $h_1 = 53$, $h_2 = 59$. З виразу (2), $\frac{v_1}{v_2} \approx 1,85$. Тобто при збільшенні

(погіршенні) значень маски місцевості від 1 до 10 отримане зменшення швидкості поширення хвилі лише в 1,85 разу.

Аналогічне моделювання було проведене для значень маски n_2 у діапазоні [2...20]. Отримані результати представлені на графіку рис. 4.

Результати моделювання було апроксимовано з використанням експоненціальної залежності. У результаті отриманий емпіричний вираз (3), який для швидкості транспортного засобу $\frac{v_{max}}{2.15} < v < v_{max}$ дозволяє визначити відповідне значення маски n_2 . Слід відмітити, що

показник помилки апроксимації R^2 лише в третьому знаку після коми відхиляється від значення 1.

$$n_2 = 0,064 \cdot e^{2,6909 \cdot \frac{v_{max}}{v}} \quad (3)$$

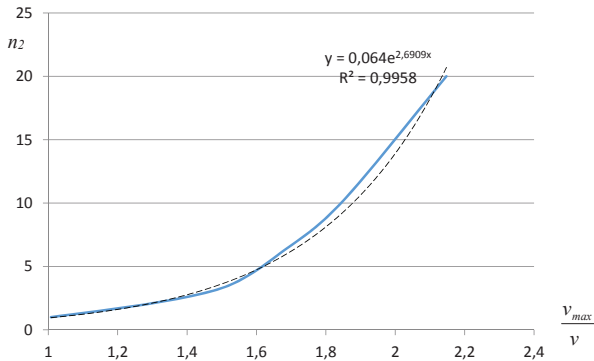


Рис. 4. Залежність між відношенням $\frac{v_{max}}{v}$ та відповідним значенням маски n_2

Вираз (3) дає можливість розрахувати маску для швидкостей у діапазоні $\left[\frac{v_{max}}{2,15}, v_{max} \right]$. Для розширення даного діапазону необхідне

використання описаного вище підходу для інших значень n_2 . При цьому може бути доцільним графічне представлення отриманої залежності.

З урахуванням вищевикладеного пропонується методика визначення залежності між швидкісними характеристиками і елементами маски місцевості для різних методів побудови маршрутів:

Максимальній швидкості транспортного засобу ставиться у відповідність значення 1.

Для інших можливих значень маски n_2 (при однобайтному кодуванні [2..255]) проводиться моделювання явища заломлення (рис. 2). Елементом маски у нижній частині присвоюється значення 1 (що відповідає максимальній швидкості). У верхній частині маски

встановлюється значення n_2 , для якого визначається співвідношення швидкостей. У результаті моделювання визначаються параметри, що описують явище заломлення, a , b , h_1 , h_2 . З використанням цих параметрів за (2) обчислюється $\frac{v_{max}}{v}$.

На основі знайдених $(\frac{v_{max}}{v}, n_2)$ з використанням апроксимації будується функціональна або графічна залежність значень маски від відношення $\frac{v_{max}}{v}$.

З використанням отриманої залежності відповідно до визначеної для кожної точки місцевості швидкості отримується значення маски.

Для порівняння результатів використання запропонованого методу і правої частини (1), з метою уникнення нелінійних спотворень, використано інше представлення даних по осі абсцис (замість $\frac{v_{max}}{v}$ застосу-

ємо $\frac{v}{v_{max}}$). Порівняння результатів використання запропонованого ме-

тоду і правої частини (1) дозволяє оцінити помилку в [6, 7] при визначенні маски місцевості на основі швидкісних характеристик (рис. 5).

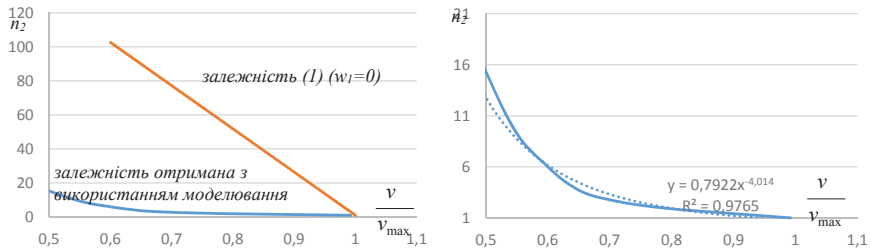


Рис. 5. Некоректність лінійного визначення залежності маски місцевості від швидкісних характеристик

У правій частині рис. 5 наведена апроксимація досліджуваної залежності при такому представленні степеневою функцією, яка забезпечила мінімальну похибку апроксимації. Отримана функціональна

залежність показує, що обчислення маски на основі оберненої пропорційності до швидкості є більш доцільним, у порівнянні з використанням лінійної залежності. Однак і такий підхід потребує коригування (використання степеневі функції).

Висновки. Запропонована у роботі методика дозволила обґрунтувати визначення елементів маски місцевості на основі швидкісних характеристик. Проведені дослідження показали некоректність обчислення маски місцевості для хвильового алгоритму на основі лінійної залежності від швидкості пересування підрозділів швидкого реагування.

Перспективами подальших розвідок у даному напрямі автором вбачається вдосконалення програмного забезпечення визначення раціональних маршрутів підрозділів швидкого реагування.

Список використаної літератури

1. Сопіжук Б. В. Дослідження комп'ютерної системи пошуку оптимального маршруту з динамічним вибором алгоритму / Б. В. Сопіжук, М. А. Демидюк // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2013. - № 12. – С. 70–74.
2. Шаповалова С. І. Оптимізація пошуку маршруту на топографічних картах / С. І. Шаповалова, Д. К. Радченко // Адаптивні системи автоматичного управління : міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2013. – № 1(22). – С. 60–65. – Бібліогр.: 4 назви.
3. Online Graph Pruning for Pathfinding on Grid Maps [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://users.cecs.anu.edu.au/~dharabor/data/papers/harabor-grastien-aaai11.pdf>
4. Катеринчук І. С., Рачок Р. В., Мул Д.А. Використання хвильового алгоритму для визначення раціонального маршруту руху в геоінформаційних системах // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. – Хмельницький : НАДПСУ, 2007. № 40. – Ч. 2. – С. 29–30.
5. Катеринчук І. С. Алгоритм для визначення раціонального маршруту руху в геоінформаційних системах / І. С. Катеринчук, Р. В. Рачок // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного

університету ім. Т. Шевченка; [гол. ред. Ленков С.В.]. – К. : Видавництво ВІКНУ, 2010. – №28. – С. 320–322.

6. Шпорт М. М. Визначення підходів до побудови раціональних маршрутів при розв'язанні задач ОСД [Електронний ресурс] / М. М. Шпорт // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 1. – С. 155–157.

7. Шпорт М. М. Методика побудови маски хвильового алгоритму для пошуку раціональних маршрутів, необхідних для розв'язання завдань оперативно-службової діяльності Державної прикордонної служби України. [Електронний ресурс] / М. М. Шпорт // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2014. – Вип. 2. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNTUV_2014_2_10

Рецензент – доктор технічних наук, професор Андрощук О. С.

Рачок Р. Методика определения маски местности на основе скоростных характеристик транспортных средств с использованием аналогии с преломлением света

В работе проведен анализ подходов к определению маски местности на основе скоростных характеристик в волновом алгоритме для строения рациональных маршрутов; допущена гипотеза, о некорректности существующих подходов к вычислению маски местности; обоснована методика определения маски местности на основе скоростных характеристик транспортных средств с использованием аналогии с преломлением света.

Ключевые слова: *волновой алгоритм, определение рационального маршрута, маска местности.*

Rachok R. The method of determining the mask area on the basis of the speed characteristics of vehicles using the analogy with refraction of light

The development plans of the State border service of Ukraine provided by the increasing role of rapid response units. The use of these units requires rapid advancement in a particular area, possibly using a wide fleet of vehicles border agencies. Speed performance of these vehicles is significantly dependent on the climatic conditions and the properties of the

elements of the terrain through which the route will be laid. The need to minimize time spent on the movement of rapid response units, the special way forms the problem definition of a rational route of movement. The calculation of such routes can be implemented with the use of information and telecommunication systems geoinformation system software “Garth 17”. However, modern search algorithms routes involve the use of matrix indicator, which describes the area. This figure, the mask area must be defined to calculate efficient routes of rapid response units based depending on the speed characteristics of vehicles type of terrain. The standard (for the wave algorithm) is the use of the approach when large velocities correspond to smaller values of the mask elements (except for null values, which is reserved to denote impassable areas). Some researchers choose the correlation between speed characteristics of vehicles and elements of the mask is linear with a negative coefficient. In other studies, this dependence is chosen inversely proportional. However, justification the exact dependence in these studies is not possible.

We used the analogy between the propagation of waves of electromagnetic radiation and wave propagation in the wave algorithm. Based on analogy with the phenomenon of refraction of electromagnetic radiation, the technique for determining mask areas. The study shows significant inaccuracy of using a linear law for the calculation of the mask. Inverse proportional relationship is more close, but also inaccurate.

The study’s methodology allows you to upgrade the software determining efficient routes for the rapid response units of the border Agency.

Keywords: *the wave algorithm, the definition of a rational route, mask areas.*