

УДК 681.5.01

Олександр Ігорович Литвиненко,
Анатолій Іванович Сбітнєв

ЗАСТОСУВАННЯ РОЗМІТКИ ГРАФА ЧЕРЕЗ ФУНКЦІЮ НАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО МАРШРУТУ РУХУ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Вступ. Марш — організоване пересування військ у колонах по дорогах і колонних шляхах для своєчасного виходу у призначений район або на визначений рубіж у повній готовності до наступних дій. При здійсненні маршу гусенична техніка і техніка з малим запасом ходу можуть перевозитися на автопоїздах (трейлерах), які включаються до складу колон.

Марш може здійснюватися у передбаченні вступу в бій або без загрози зіткнення з противником, з тилу до фронту, уздовж фронту чи від фронту у тил. В усіх випадках марш відбувається потай, як правило, вночі або в інших умовах обмеженої видимості, а під час бою та у глибокому тилу своїх військ — і вдень [1, 172].

Постановка задачі. Для вирішення завдань пошуку маршрутів для переміщення військової техніки між двома пунктами найкращою моделлю є розмічений граф.

Розмічати граф можна різними показниками:

- 1) розмітка ребер відстанню (довжиною шляху по ребру);
- 2) розмітка ребер часом проходження ребра;
- 3) розмітка ребер функцією належності (функція належності вершини 2 множині $S_1^1 = \{2, 3, 4\}$ дорівнює вазі ребра $< 1, 2 >$ (рис. 1)).

При різних типах розміток можливі різні постановки задач вибору шляхів між двома заданими вершинами:

- а) найкоротший шлях — мінімізація суми ребер шляху при розмітці відстанню;
- б) "найшвидший" шлях — мінімізація суми ребер при розмітці часом, ця задача співпадає за алгоритмом із попередньою;
- в) "найбільш комфортний" шлях — максимізація результуючої функції належності шляху при розмітці функціями належності.

Дана стаття присвячена питанню вирішення задачі знаходження раціонального (в розумінні "найбільш комфортного") маршруту руху при розмітці графа результуючою функцією належності.

Результати дослідження. Для вирішення завдань (1) і (2) запропоновані різні процедури, включаючи схему лінійного програмування. Серед них алгоритм Дейкстри, алгоритм Беллмана-Форда, алгоритм пошуку найкоротших шляхів в ациклічному орієнтованому графі, симплекс-метод, метод еліпсоїдів, алгоритм Кармаркара та інші [6, 481—496].

Найпростішою у використанні та найшвидшою у виконанні є процедура знаходження найкоротшого шляху, що описана авторами: Sang M. Lee, L. J. Moore, B. W. Yaylor [10, 610—675].

Як приклад, розглянемо мережу, яка зображена на рис. 1. На рисунку зображений розмічений граф, де вершини відповідають пунктам, а на ребрах (які відповідають дорогам) позначені відстані.

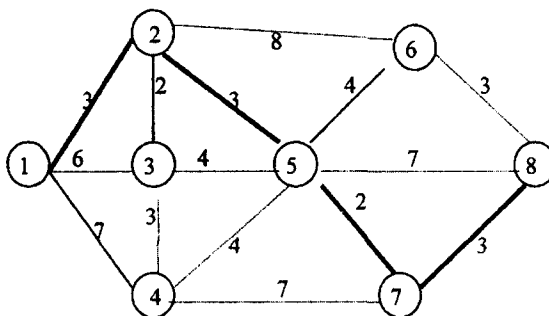


Рис. 1. Мережа для визначення найкоротшого шляху

Найкоротший шлях, знайдений методами, що описані у [6, 10], показаний на рис. 1 жирною лінією. Довжина цього шляху дорівнює $D = 11$.

Проте особливу увагу слід звернути на завдання (3), якому відповідає постановка задачі вибору "найбільш комфортного" шляху. Це поняття дозволяє врахувати вплив на визначення раціонального маршруту не лише одного фактора (довжина шляху або час про-

ходження), а багатьох факторів (величина крутизни схилу, прохідність шляхів, прохідність водних перешкод, прохідність перешкод рослинного походження і т.д.).

Як зазначалося вище, “найбільш комфортний” шлях визначається на графі, який розмічений через функції належності. Суть цього методу полягає в наступному.

Необхідно задати граф (рис. 1) у вигляді околів [9, 64—68]. Першим околком вершини S_i^1 називається множина кінцевих вершин x_i для дуг, інцидентних x_i , і сама вершина x_i .

Для такої множини істинним є вираз:

$$\forall x_j \in X \{x_j \in S_i^1 \leftrightarrow \exists < x_i, x_j, > \\ [(< x_i, x_j, > \in F < x_i, x_j, >) \vee (x_i = x_j)] \\ i \in I = \{1, 2, \dots, n\}, j \in J = \{1, 2, \dots, m\}$$

Тоді n -й окол вершини x_i за індукцією визначається:

$$S_i^n = \bigcup_{x_j \in S_i^{n-1}} S_j^1.$$

Це означає, що n -й окол вершини x_i може бути отриманий шляхом додавання до $n-1$ -го околу множини сусідства, тобто кінцевих вершин дуг, інцидентних з S_i^{n-1} . При цьому

$$S_i^1 \subseteq S_i^2 \subseteq \dots \subseteq S_i^n.$$

Подання графа зробимо через перерахування перших околів його вершин:

$$L = \{S_i^1 | x_i \in X\},$$

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

Для графа (рис. 1) маємо:

$$\begin{aligned} S_1^1 &= \{2, 3, 4\}; \\ S_2^1 &= \{1, 3, 5, 6\}; \\ S_3^1 &= \{1, 2, 4, 5\}; \\ S_4^1 &= \{1, 3, 5, 7\}; \\ S_5^1 &= \{2, 3, 4, 6, 7, 8\}; \\ S_6^1 &= \{2, 5, 8\}; \\ S_7^1 &= \{4, 5, 8\}; \\ S_8^1 &= \{5, 6, 7\}. \end{aligned}$$

Для визначення раціонального маршруту руху необхідно враховувати ряд факторів, які будуть впливати на рух техніки. До основних факторів, від яких залежить виконання поставленого бойового завдання — здійснення маршруту — відносяться наступні.

1. Величина крутизни схилу ділянок маршруту. Від крутизни схилів залежить можлива допустима швидкість руху техніки:
 - 1) до 5° — при сухому ґрунті легко долаються всіма видами машин;
 - 2) $5-10^\circ$ — ускладнюють рух транспорту, швидкість знижується;
 - 3) $10-20^\circ$ — дуже важко долаються колісними машинами, рух гусеничних машин ускладнений;

- 4) $20-30^\circ$ — є граничними для віх видів автомобілів і зі складністю долаються гусеничними машинами;
 - 5) більше 30° — практично неприступні для всіх видів колісної і гусеничної техніки [2, 7—33].
2. Прохідність шляхів за характером покриття (дороги та бездоріжжя). Всі шляхи, згідно [3, 11], поділяються на:
 - автомобільні шляхи (автостради, удосконалені шосе, шосе);
 - ґрунтові дороги (удосконалені ґрунтові дороги, ґрунтові дороги (путівці), польові і лісові дороги).

Головний чинник, що впливає на прохідність ґрунтових доріг і бездоріжжя, — це характер і тип ґрунту. Вивчаючи характеристики ґрунтів, важливо розкрити, насамперед, умови прохідності для різних видів бойової і транспортної техніки. З цією метою визначаються райони поширення основних типів ґрунтів, виявляється їх хімічний, механічний склад, твердість, курявість, прохідність по сезонах року, в умовах розмокання і промерзання і т. п. [7, 24].

3. Кількість і тип водних перешкод в залежності від пори року та метеорологічних умов. Основними даними, які необхідно враховувати при вивченні й оцінці тактичних властивостей річок, є: ширина, глибина, швидкість плину ріки, характер ґрунту дна, берегів і прилягаючої місцевості, наявність бродів і гідротехнічних споруджень [8, 20].

4. Площа та тип перешкод рослинного походження. З рослинного покриття на ведення бойових дій військ найбільший вплив має ліс. Він істотно впливає на прохідність місцевості, обмежує маневр та оглядовість, ускладнює орієнтування, організацію взаємодії і управління військами. Прохідність лісу залежить від його розмірів, форми і густоти, від породи і товщини дерев [7, 19].

Ступінь впливу вищенаведених факторів на визначення раціонального маршруту залежить від тактико-технічних характеристик бойової техніки, сезонних природних явищ і метеорологічних умов, які є джерелом невизначеності, адже ця інформація є важкопрогнозованою, неповною та неточною. Тому для розмітки графа доцільно застосовувати теорію нечітких множин і визначати функцію належності.

Для прикладу (рис. 1), задамо функцію належності для множин-околів вершин графа. Умова: колона техніки складається з автомобілів УРАЛ-4320 [5, 65] (табл. 1), метеорологічні умови — стійка суха погода.

Використовуючи дані, отримані після вивчення геоінформації про шляхи (дороги та бездоріжжя), крутизну схилів місцевості, водні перешкоди та перешкоди рослинного походження (за допомогою ГІС) по окремих ділянках шляхів, групою експертів було визначено функції належності для кожної ділянки за кожним показником прохідності (табл. 2—5).

Таблиця 1

Тактико-технічні характеристики автомобіля УРАЛ-4320

Тип техніки	Маса, т	Розміри, м			Потужність двигуна, к.с.	Макс. швидкість, км/год	Запас ходу, км	Перешкода, що долається	Макс. кут підйому, град
		Довжина	Ширина	Висота				Брід, м	
УРАЛ-4320	8,6	7,37	2,72	2,87	210	85	607	1,5	30

Таблиця 2

Функція належності за показником прохідності покриття шляхів для автомобіля УРАЛ-4320 (при умові, що ґрунт сухий)

Тип техніки	З твердим покриттям	Щебнисте	Гравійне	Крупний пісок	Середньої крупності пісок	Мілкий пісок	Пилуватий пісок	Супіщане	Суглинне	Глинне	Торф'яне
УРАЛ-4320	1,0	0,8	0,8	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3

Таблиця 3

Функція належності за показником подолання схилів різної крутизни для автомобіля УРАЛ-4320

Тип техніки	Величина крутизни схилу, град				
	До 5	5—9	10—19	20—30	Більше 30
УРАЛ-4320	1,0	0,8	0,5	0,2	0

Таблиця 4

Функція належності за показником спроможності подолання водних перешкод для автомобіля УРАЛ-4320

Тип техніки	Глибина водної перешкоди, м				
	До 0,3	0,3—0,7	0,8—1,2	1,3—1,5	Більше 1,5
УРАЛ-4320	1,0	0,7	0,5	0,3	0

Таблиця 5

Функція належності за показником спроможності подолання перешкод рослинного походження для автомобіля УРАЛ-4320

Тип техніки	Відстань між деревами, м				
	До 3,0	3,0—3,9	4,0—4,9	5,0—6,0	Більше 6
УРАЛ-4320	0,2	0,4	0,6	0,8	1

Наприклад, ГІС-аналіз показав, що ділянка (1—2) (рис. 2) має такі показники: характер покриття шляху — з твердим покриттям, крутизна схилу — 10—19°, є одна водна перешкода глибиною 0,6 м, перешкод рослинного походження немає. Застосувавши формулу:

$$\mu_A(x) = \min[\mu_{A_i}(x)],$$

де $i = 1, n$ — номер фактора впливу, маємо:

$$\mu_A(1-2) = \min[1; 0,5; 0,7; 1] = 0,5.$$

По аналогії було знайдено результуючі функції належності $\mu_A(x)$ кожної ділянки шляху:

$$S_1^1 = \{<0,5/2>, <1,0/3>, <0,9/4>\};$$

$$S_2^1 = \{<0,5/1>, <0,9/3>, <0,9/5>, <0,8/6>\};$$

$$S_3^1 = \{<1,0/1>, <0,9/2>, <0,7/4>, <0,8/5>\};$$

$$S_4^1 = \{<0,9/1>, <0,7/3>, <0,7/5>, <0,7/7>\};$$

$$S_5^1 = \{<0,9/2>, <0,8/3>, <0,7/4>, <1,0/6>, <0,5/7>, <1,0/8>\};$$

$$S_6^1 = \{<0,8/2>, <1,0/5>, <0,5/8>\};$$

$$S_7^1 = \{<0,7/4>, <0,5/5>, <0,5/8>\};$$

$$S_8^1 = \{<1,0/5>, <0,5/6>, <0,5/7>\}.$$

Розмічений через функції належності граф зображений на рис. 2.

Знайдемо функції належності для відрізків шляху методами, описаними в [4, 243—258]: для послідовних відрізків (а, б) й (б, в) з відомими $\mu(a, б)$ й $\mu(б, в)$ будемо мати

$$\mu(a, в) = \min[\mu(a, б); \mu(б, в)].$$

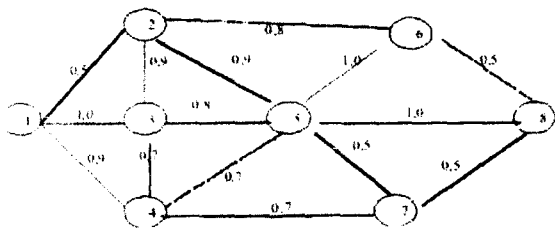


Рис. 2. Граф, розмічений через функції належності

Наприклад,

$$\begin{aligned} \mu(1, 6) &= \max[\min(1, 2, 6); \min(1, 2, 5, 6); \\ &\min(1, 3, 5, 6); \min(1, 2, 3, 5, 6)] = \\ &= \max[0,5; 0,5; 0,8; 0,8] = 0,8. \end{aligned}$$

Кінцевий результат вибору шляху за моделлю з розміткою графа за функціями належності (рис. 3), які мають фізичний зміст у ступені "легкості" проходження маршруту, має вигляд:

$$\max \mu(1, 8) = \mu(1, 3, 2, 5, 8) = 0,9.$$

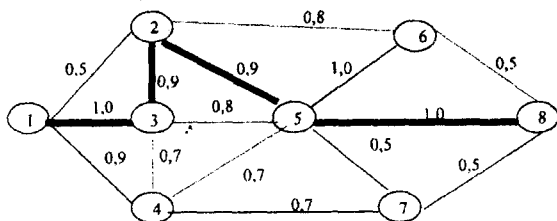


Рис. 3. Кінцевий результат вибору шляху за моделлю з розміткою графа за функціями належності

Висновки

1. Як апарат формалізованого вирішення задачі знаходження раціонального маршруту пропонується використовувати чіткі та нечіткі графові моделі.
- Реалізація запропонованих моделей вимагає використання інструментальних програмних засобів, які дозволяють автоматизувати процес проектування. Це, у свою чергу, вимагає розроблення відповідних способів аналітичного подання графів. Підхід до задання графів через околиці і межі вершин дозволив вирішити цю задачу, уникнувши при цьому надмірності, притаманній традиційним способам подання.

На вибор маршрута руху, по якому буде здійснюватися марш військ, в значительній мере впливають такі фактори, як проходимость путей, величина крутизны склона, проходимость водных препятствий, проходимость препятствий растительного происхождения и т. д. Через зависимость этих факторов от метеорологических условий и характеристик техники для определения "наиболее комфортного" пути — маршрута, который по показателю проходимости является рациональным — целесообразным является применение элементов теории нечетких множеств.

Ключевые слова: окрестности вершин, функция принадлежности, граф.

2. Для вирішення задачі про найкоротший шлях запропоновані різні процедури; найпростішою у використанні та найшвидшою у виконанні є М. Lee, L. J. Moore, В. W. Yaylor.
3. Сучасним математичним апаратом, що дозволяє врахувати невизначеність вихідної інформації, є теорія нечітких множин.
4. Розмітка ребер графа через функції належності дозволяє визначити "найбільш комфортний" шлях. Це поняття дозволяє врахувати вплив на вибір раціонального маршруту не лише одного фактора (довжина шляху або час проходження), а багатьох факторів (величина крутизни схилу, прохідність шляхів, прохідність водних перешкод, прохідність перешкод рослинного походження і т. д.).
5. На графі, який розмічений через функції належності, для умовної колони техніки (УРАЛ-4320) при певних погодних обмеженнях (стійка суха погода) визначено "найбільш комфортний" шлях.
6. Дослідження показало, що для руху умовної колони техніки необхідно обирати саме "найбільш комфортний" шлях, адже найкоротший шлях, з точки зору прохідності, не є раціональним, а його вибір в якості маршруту руху може призвести до несвоєчасного виконання або повного зриву поставленого бойового завдання через низьку спроможність техніки долати певні ділянки шляху.

Література

1. Войновий статут Сухопутних військ. Ч. 2. Батальйон, рота. — К. : Командування Сухопутних військ ЗС України, 2005. — С. 172.
2. Военная топография / Ляхин А. Ф., Бызов Б. Е., Прищепа И. М. и др. — М. : Воениздат, 1973. — С. 7—33.
3. Класифікатор. — К. : ГУТКК, 2002. — С. 11.
4. Кофман А. В. Введение в теорию нечетких множеств / Пер. с франц. — М. : Сов. радио, 1982. — С. 243—258.
5. Освоєння підрозділів Сухопутних військ Збройних сил України (у схемах і таблицях) / Упоряд.: О. Ю. Казанцев, В. К. Шваб. — К. : ВПЦ "Київський університет", 2004. — С. 65.
6. Основи моделювання бойових дій військ : підруч. / Колектив авторів. — К. : Вид. НАОУ, 2005. — С. 481—496.
7. Повшедний В. А. Военная география : навч. посіб. / В. А. Повшедний. — К. : НАОУ, 2000. — С. 19—24.
8. Повшедний В. А. Щодо вивчення місцевості при організації загальновійськового бою у водній перешкоді : навч. посіб. / В. А. Повшедний. — К. : НАОУ, 2000. — 20 с.
9. Толубко В. Б., Сбитнев А. І., Пермяков О. Ю. Методологічні основи проектування прикладного програмного забезпечення для АСУ воєнного призначення : Монографія. — К. : НАОУ, 2004. — С. 64—68.
10. Sang M. Lee, L. J. Moore, В. W. Yaylor III. Management Science. Allyn and Bacon, Inc. Boston. 1985. — P. 610—675.

To choice of route of motion which moving of army will be carried out on, such factors influence to a great extent, as ability to travel of ways, size of steepness of slope, ability to travel of water obstacles, ability to travel of obstacles of vegetable origin etc. Through dependence of these factors of meteorological terms and descriptions of technique for determination of the "most comfort" way — route which on the index of ability to travel is rational, application of elements of theory of fuzzy sets is expedient.

Key words: environs of tops, function of belonging, graph.