

ОПТИМІЗАЦІЯ ПОШУКУ МАРШРУТУ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ

Анотація: У статті сформульовані умови постановки задачі побудови маршруту евакуації з важкодоступних територій; обґрунтовані алгоритми та програмне забезпечення розв'язання задачі пошуку маршруту на топографічній карті у реальному часі. Поставлено обчислювальний експеримент і проведено дослідження для обґрунтування оптимальної оціночної функції для JPS алгоритму.

Ключові слова: алгоритми пошуку, A* стратегія, JPS алгоритм.

Вступ

Задача побудови маршрутів в реальному часі одна з найпоширеніших при створенні програмних систем навігації, моделювання переміщень рухомих об'єктів, а також в інших прикладних задачах, які стосуються забезпечення безпеки в багатьох сферах людської діяльності. Наприклад, на відміну від GPS-навігаторів для автодоріг, GPS-навігатори для гірської місцини та великих відкритих територій (наприклад заповідників) не надають можливості для знаходження оптимального чи найкоротшого маршруту. Крім цього можливі випадки, коли супутникового сигналу недостатньо для позиціонування. Тому розробка програмного забезпечення для формування маршруту на основі заздалегідь підготованої карти місцевості з урахуванням географічних особливостей районів і поточних даних про погодні умови і джерела небезпеки є актуальною.

Для розв'язання поставленої задачі в реальному часі необхідно використовувати такі евристичні стратегії пошуку, що є оптимальними та допущеними за своєю концепцією. Джуда Перл (Juda Pearl) розробив стратегію пошуку Перший-кращій (Best First Search, BFS) [1], Пітер Харт (Peter Hart), Нільс Нільсон (Nils Nilsson) та Бертрам Рафаель (Bertram Raphael) запропонували стратегію A* [2]. Вони є загальними стратегіями пошуку на графах, а тому підходять для пошуку маршруту на картах з координатною сіткою.

Розроблено багато алгоритмів, які базуються на зазначених стратегіях і оптимізовані за різноманітними критеріями в залежності від прикладної задачі.

Для пошуку маршрутів на картах більшість алгоритмів передбачають сканування та обробку графічної інформації безпосередньо в процесі розв'язання задачі, наприклад, алгоритм ієрархічного пошуку A* (Hierarchical Path-Finding A*, HPA*) [3].

Деніел Харабор (Daniel Harabor) та Албан Грашт'єн (Alban Grastien) оптимізували алгоритм A^* у своїй роботі про пошук на стрибкових точках (Jump point search, JPS) [4]. Алгоритм JPS – модифікація A^* , яка використовує заздалегідь підготовлені карти та не потребує додаткового використання пам'яті. Алгоритм підходить для пошуку маршруту на картах з координатною сіткою та можливим переходом у восьми напрямках (вверх, вниз, вправо, вліво та по діагоналям). Алгоритм мінімізує кількість вершин, що розглядаються, завдяки знаходженню лише “стрибкових точок”.

Проте у запропонованій роботі пошук відбувається на двовимірній карті з координатною сіткою та градацією тільки на два кольори: чорний та білий.

Постановка задачі

Метою статті є обґрунтування програмних засобів і алгоритмів програмної реалізації побудови маршруту на топографічних картах у реальному часі.

Для побудови маршруту використовується оцифрована топографічна карта, на якій заздалегідь виділяються природні перешкоди (гори, води, ліси) та інші труднопрохідні місця, а також можуть бути задані поточні перешкоди, які з'являються внаслідок надзвичайних подій.

Маршрут визначається як послідовність переходів від поточної до цільової позиції. Ціллю кожного розрахунку маршруту є визначення наступного переходу групи або підтвердження правильності поточного в нових умовах. Перехід групи може містити декілька кроків дискретизації карти. Його розмір є змінним і залежить від багатьох факторів, таких як причини евакуації, необхідний час переходу, характеристики прохідності, відстані до небезпечних ділянок. Якщо групі не загрожує безпосередня небезпека, довжина найближчого переходу приймається максимально можливою до найближчої перешкоди. Тобто маршрут постійно формується з урахуванням розвитку надзвичайної ситуації. Періодичність перерахунку також залежить від способу переміщення (наприклад, піший перехід, використання автомобіля, вертольота). Таким чином, задача пошуку доповнюється розбиттям карти на сітку з нерівномірними клітинками.

У роботі вводиться нова формалізація топографічної карти з урахуванням особливостей ландшафту за наступними правилами:

- карта розбита на клітинки, які мають квадратну форму;
- розмір клітинки залежить від масштабу карти і транспортного засобу, який використовується;
- елементом ландшафту заздалегідь призначенні значення вартості та позначені не прохідні місцини.

Для пошуку маршруту на топологічних картах необхідно обрати алгоритм та визначити найбільш оптимальну оціночну функцію з точки зору відстані евакуації.

Алгоритми програмної реалізації

При виборі стратегії враховуються наступні критерії:

- допущенність – гарантує знаходження рішення;
- витрати часу – характеризує швидкість знаходження рішення;
- витрати пам'яті – характеризує кількість необхідної пам'яті для збереження відомостей при знаходженні рішення;
- оптимальність – перевіряє, чи знаходить задана стратегія найкраще рішення серед усіх можливих.

За цими характеристиками для розв'язання задачі побудови маршруту в реальному часі доцільно використовувати стратегію A^* , оскільки вона базується на пошуці в ширину, використовує функцію вартості і є допустимою за своєю концепцією. Для обрання алгоритму, який базується на цій стратегії, на тестових задачах було проведено порівняльний аналіз роботи алгоритмів A^* та JPS з використанням нижче наведених евристик.

Маршрут, побудований за алгоритмом JPS, проходить лише через стрибкові точки, що гарантує оптимальність маршруту.

Стрибкові точки [4] знаходяться за рекурсивним правилом, яке визначає вибір переходу, якщо:

- він веде до кінцевої точки маршруту;
- він веде до точки, яка має хоча б одного примушеного сусіда;
- відбувається рух по діагоналі та існує така точка, яка буде стрибковою для поточної.

Вимушеним сусідом називається сусід, який знаходиться біля перешкоди в околі розгляданої точки та у напрямку руху алгоритму.

Важливим аспектом програмної реалізації поставленої задачі є вибір евристики. Були досліджені 3 класичних евристики.

Евристика є допущеною, якщо вона не переоцінює вартість маршруту. Тобто, оцінка шляху має знаходитись в проміжку $[0, k]$, де k дорівнює фактичній вартості. В задачі пошуку на картах фактичною вартістю є довжина найкоротшого шляху від поточної позиції до цільової.

Монотонна евристика h відповідає наступним умовам:

- евристика допущена;
- для кожної вершини p_{cur} та наступної p_{next} виконується нерівність:

$$h(p_{cur}, p_{last}) \leq h(p_{cur}, p_{next}) + h(p_{next}, p_{last}). \quad (1)$$

Класичні евристики, які використовують відстань між точками:

- Чебишева:

$$h(p_1, p_2) = \max(\Delta x, \Delta y), \quad (2)$$

де $\Delta x, \Delta y$ – прирости між двома вершинами у відповідності до координатних вісей.

- Євклідова:

$$h(p_1, p_2) = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}. \quad (3)$$

- Манхеттенська:

$$h(p_1, p_2) = \Delta x + \Delta y. \quad (4)$$

Тільки Євклідова відстань є допущеною оціночною функцією для поставленої задачі, але не відповідає умовам монотонності. Тому в роботі було створено середовище моделювання для вибору з них найбільш оптимальної.

Програмні засоби системи побудови маршрутів

Програмна система побудови маршруту складається з розрахункового модулю та модулю візуалізації.

Програмна система реалізована на мові програмування C#, що дозволяє виконувати програму на будь-якому обладнанні, для якого існує віртуальне середовище .NET та відповідні бібліотеки. Використання паттерну MVVM дозволяє відокремити складову візуалізації від розрахункової. Перевага такого підходу полягає у можливості створювати крос-платформенні рішення. Використання технології WPF дозволило створити сучасний візуальний інтерфейс для десктопних застосунків. Дані програми зберігаються у конфігураційних файлах XML. За допомогою XML - файлів здійснюється зберігання топографічних карт.

Постановка обчислювального експерименту

Обчислювальний експеримент ставився з ціллю порівняння ефективності класичного A* та JPS алгоритмів для вирішення поставленої прикладної задачі та вибору найбільш оптимальної оціночної функції.

Для коректного порівняння були обрані 2 карти з різними статичними перешкодами. Для кожної з карт були визначені початкові та кінцеві точки маршруту.

Тестові задачі складаються з наступних даних:

- карта ландшафту у вигляді XML - файлу;
- опис статичних перешкод з прив'язкою до карти;
- відомості про поточне місцезнаходження;
- кінцевий пункт евакуації.

Задачею тестування є побудова маршруту.

Карту “Двері” (рис. 1) можна характеризувати, як сукупність окремих обмежених територій, які поєднані лише одними дверима одна з одною.

Карта “Озера” представляє собою відкриту територію зі статичними перешкодами, які направляють можливий розв'язок задачі побудови маршруту у необхідному напрямку.

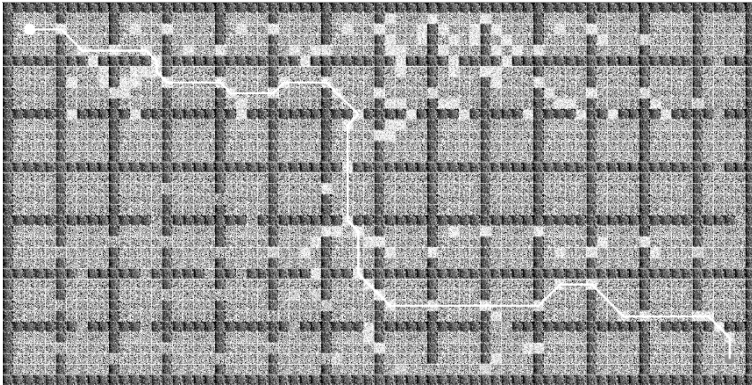


Рис. 1 – Карта “Двері” з алгоритмом JPS та Чебишевою евристикою

Результати побудови маршрутів за алгоритмами A* та JPS з використанням 3 класичних евристик: чебишевої, евклідової та манхеттенської відстаней – представлено в таблиці 1, де зібрано інформацію про кількість відкритих та закритих вершин графу пошуку, які були використані для роботи кожного алгоритму.

При дослідженні результатів було отримано такі висновки:

- алгоритм JPS потребує розглядання меншої кількості вершин у всіх розглянутих випадках;
- найоптимальнішою евристикою для розглянутих випадків є манхеттенська відстань.

Слід зазначити, що манхеттенська відстань не потребує багато розрахунків, що підвищує швидкість при знаходженні оптимального маршруту.

Порівняння характеристик розв'язання тестових задач

Використана карта та евристика	Евристичні алгоритми			
	A*		JPS	
	відкрито	закрито	відкрито	закрито
Карта "Двері"				
Чебишева відстань	56	908	11	137
Евклідова відстань	65	877	10	134
Манхеттенська відстань	113	427	14	67
Карта "Озера"				
Чебишева відстань	90	422	9	35
Евклідова відстань	59	321	8	25
Манхеттенська відстань	63	261	7	21

Висновки

Проведено аналіз стратегій пошуку для побудови маршрутів, обґрунтовано використання A* стратегії та її модифікації Jump Point Search (JPS), орієнтованої на використання на двомірних картах, представлених у дискретизованому виді.

Обґрунтовано вибір технологій і програмних засобів для реалізації A* і JPS. Розроблено програмну систему побудови маршрутів на основі зазначених алгоритмів з використанням в якості оціночних функцій чебишевої, евклідової та манхеттенської відстаней.

Розроблено і проведено обчислювальний експеримент для двох карт місцевості з використанням A* і JPS алгоритмів за трьома вищезазначеними евристичними функціями. Доведено доцільність використання JPS і манхеттенської відстані в якості оцінювальної функції.

Бібліографічний список

1. Best First Search [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.macs.hw.ac.uk/~alison/ai3notes/subsubsection2_6_2_3_2.html
2. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг, 2-е изд. — М.: "Вильямс", 2006. — 1408 с.
3. Near Optimal Hierarchical Path-Finding [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://webdocs.cs.ualberta.ca/~mmueller/ps/hpstar.pdf>
4. 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>

Отримано 06.02.2013