

based on a neural network; testing of the developed software system with visualization of the learning process and assessment of the reliability of the results.

As a result of the study, neural networks with various configurations, topology and training methods were developed, the obtained models were analyzed and compared in terms of accuracy and training time.

The recommendations of the comprehensive analysis of various topologies and principles of machine learning can be used in the development of video games built on the basis of a neural network, as well as in other scientific studies.

Keywords: *machine learning methods, machine intelligence, neural networks, game logic, formalized model, game agent, software system*

Рецензент: доц., канд. техн. наук Левицька Т. О.

Стаття надійшла 15.11.2019 р.

УДК 004.42

Левицька Т.О.¹, Бєлан Е.В.²

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ВИБОРУ НАЙКОРОТШОГО МАРШРУТУ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ ОБ'ЄКТА У ПРИМІЩЕННІ

Дана робота присвячена дослідженню проблем побудови маршрутів переміщення автономних об'єктів (роботів) в приміщеннях. Розглянуті методи пошуку оптимальних маршрутів на графах, реалізуються три алгоритми та порівнюються результати їх роботи. Алгоритми пошуку найкоротших шляхів поділяються на два типи: пошук шляху на дискретному робочому полі (лабіринті), пошук шляху на графі. Обидва класи алгоритмів мають свої переваги і недоліки, а так само свою вузьку сферу застосування.

З розвитком робототехніки актуальним завданням є оптимальне переміщення автономного мобільного робота в приміщенні. Вважаємо, що приміщення складається з залів, які з'єднуються коридорами. У залах можуть перебувати перешкоди, які необхідно обходити. Зазначимо, що в кожному прохідному залі побудовані найкоротші внутрішні маршрути, що з'єднують різні входи в приміщення. Дане завдання може вирішуватися за допомогою хвильового алгоритму або інших відомих алгоритмів, наприклад, методу графа видимості (visibility graphs) або методу декомпозиції на комірки (cell decomposition). Дослідження полягало в порівнянні алгоритмів Дейкстри, A і Contraction hierarchies для невеликого приміщення. Для порівняння роботи алгоритмів пошуку запускали процедури пошуку на різних маршрутах. Причому маршрути в вибірці були як короткі так і довгі, оскільки реалізовані алгоритми по-різному показали себе на маршрутах різної довжини. В тестових випробуваннях найкращим виявився алгоритм Contraction hierarchies, незначною мірою йому уступив алгоритм A*, але беручи до уваги складність попередньої побудови графу приміщення, вважаємо найкращим алгоритм A*. Отримані результати можуть бути використані при розробці системи **вибору та візуалізації найкоротшого маршруту** при переміщенні об'єкта у приміщенні, яка стане основою логіки роботи мобільного автономного пристрою – роботу, або ігрового об'єкту в комп'ютерній грі. Метою даної статті є публікація результатів порівняльного аналізу алгоритмів пошуку найкоротшого*

¹ кан. техн. наук, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, tlevitiisys@gmail.com

² бакалавр, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, fortatem@ukr.net

шляху (Дейкстри, A^* , *Contraction hierarchies*) для відносно невеликого приміщення з безліччю перешкод.

Ключові слова: пошук, граф, маршрут, алгоритм, шлях

Вступ. Множина завдань оптимізації пов'язані саме з пошуком найкоротших шляхів. Пошук шляху в сучасному світі використовується практично скрізь: в системах глобального позиціонування для знаходження найкоротшого маршруту серед міських вулиць і шляхів між містами, у військових і цивільних системах автопілотування, в транспортно-експедиційному обслуговуванні, в комп'ютерних іграх. Алгоритми пошуку найкоротших шляхів поділяються на два типи: пошук шляху на дискретному робочому полі (лабіринті), пошук шляху на графі. Обидва класи алгоритмів мають свої переваги і недоліки, а так само свою вузьку сферу застосування.

З розвитком робототехніки актуальним завданням є оптимальне переміщення автономного мобільного робота в приміщенні.

У найпростішому випадку приміщення має прямокутну форму і розбитий на квадратні клітини (комірки) одного розміру, сторони яких паралельні координатним осям. Всі клітини поділяються на прохідні – білі і непрохідні (стіни) – чорні. З кожної клітини є можливість переміститися тільки в сусідні клітини лише по горизонталі або по вертикалі.

Класична задача проходження приміщення полягає в наступному: є виконавець – автономний об'єкт, він повинен пройти з вихідної (стартової) позиції до цільової (фінішної) (рис. 1.а). Під рішенням завдання мається на увазі пошук оптимального маршруту [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато задач для приміщень з відомою конфігурацією зводяться до базисного завдання побудови найкоротшого маршруту, що з'єднує задані точки приміщення. Для його вирішення можуть бути використані відомі результати в області планування траєкторій руху мобільних об'єктів (роботів), які досить повно висвітлені в роботах [2-4]. Це стосується і проблематики спільного планування проходження лабіринту групою агентів - тут також слід враховувати результати дослідження питань планування та координації руху для групи об'єктів [5 - 7].

Серед алгоритмів побудови найкоротшого маршруту в приміщенні [8] вельми популярним є хвильовий алгоритм (алгоритм Лі) [9]. Однак даний алгоритм виявляється трудомістким для великих приміщень і тому малоприматний для задач, в яких внаслідок динамічно мінливих обставин потрібно оперативно прокладати нові маршрути. У цьому випадку пропонується вихідну задачу для клітинного приміщення редагувати до більш простого завдання пошуку найкоротшого маршруту на зважених графах (рис. 1.б).

Ідея такого відомості полягає в наступному. Вважаємо, що приміщення складається з залів, які з'єднуються коридорами. У залах можуть перебувати перешкоди, які необхідно обходити. Покладемо, що в кожному прохідному залі побудовані найкоротші внутрішні траси, що з'єднують різні входи приміщення. Дане завдання може вирішуватися за допомогою хвильового алгоритму або інших відомих алгоритмів, наприклад, методу графа видимості (*visibility graphs*) або методу декомпозиції на комірки (*cell decomposition*) як на рисунку 1.в [2-4]. Тут можна відзначити також алгоритми, обговорювані в роботі [10].

Побудовані траси будемо розглядати як сегменти геометричного графа: його вершини відповідають точкам входу в приміщення, а ребра - побудованим трасам. Даний граф, по суті, є дорожньою картою (*roadmap*). Далі вирішується задача пошуку найкоротших маршрутів по дорожній карті будь-яким стандартним алгоритмом (Дейкстри, Флойда і ін.) [8].

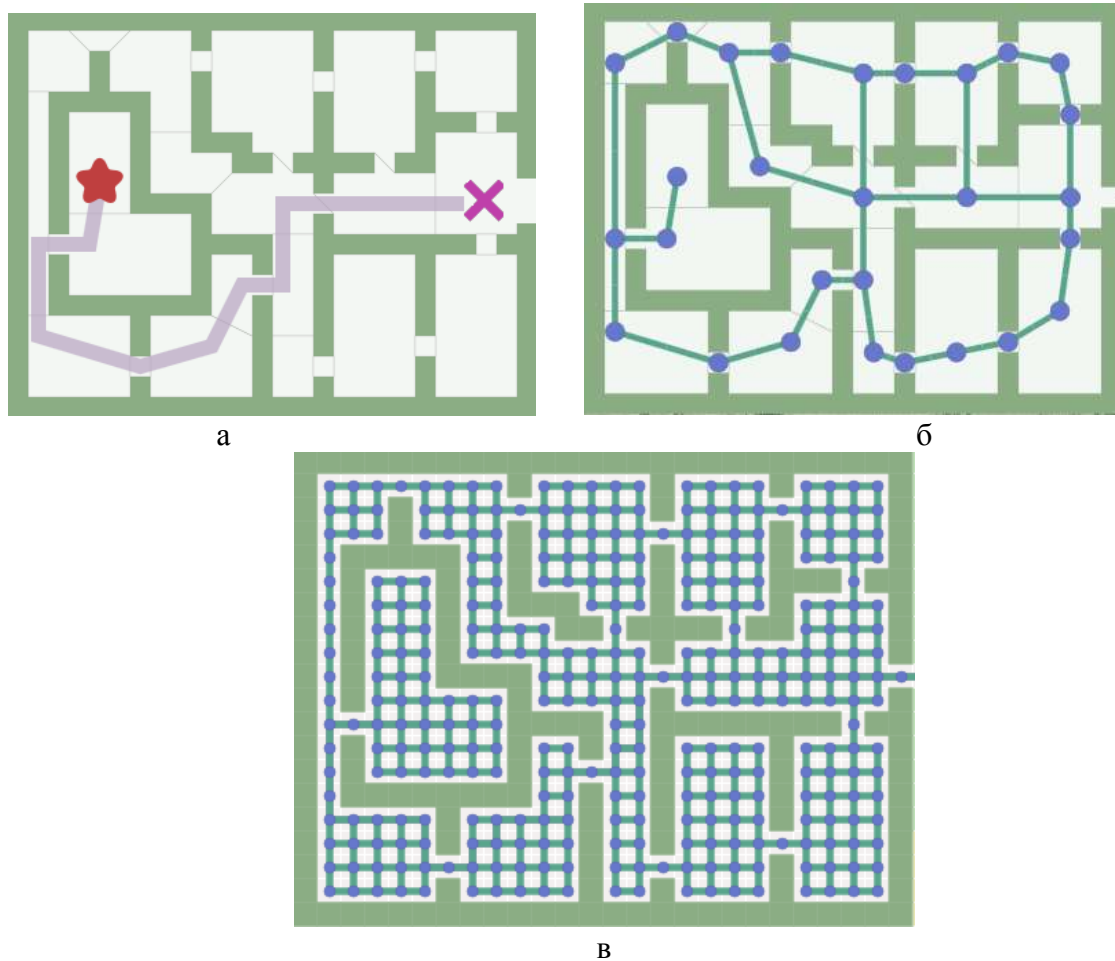


Рисунок 1 – Схема приміщення: а – заданий маршрут, б – зважений граф, в – скорегований граф, з урахування розміру комірки

Метою даної статті є публікація результатів порівняльного аналізу алгоритмів пошуку найкоротшого шляху (Дейкстри, A*, Contraction hierarchies) для відносно невеликого приміщення з безліччю перешкод.

Виклад основного матеріалу. Нехай приміщення має форму прямокутного клітинного поля розміру $M \times N$. Тоді карта задається у вигляді двовимірного бінарного масиву:

$$C = [c_{ij}]_{M \times N} \quad (1)$$

причому, якщо клітина (i, j) є порожньою, то $c_{ij} = 0$, а якщо стіною, то $c_{ij} = 1$. Шлях агента може проходити лише через порожні клітини.

Схему приміщення задамо у вигляді планарного графа:

$$G = (V, E) \quad (2)$$

де V и E – множина вершин і множина ребер відповідно. Вершини графа представляють собою прохідні клітини, причому суміжні вершини відповідають сусіднім клітинам.

Природно вважати, що граф (2) є зв'язковим і без мостів.

Завдання сформулюємо як пошук маршруту, що з'єднує дві задані вершини $v_A \in V$ і $v_B \in V$.

Віртуальний об'єкт (наприклад, автономний мобільний робот) виконує функції навігації та руху. Він за один хід може переміститися в сусідню вільну клітину в одному з чотирьох можливих напрямків: північ (n), схід (o), південь (s), захід (w). Карта приміщення не відома об'єкту до початку руху.

Об'єкт оснащений набором локаційних сенсорів, що дозволяють виявляти об'єкти навколо. Наприклад, це може бути датчик дотику, який визначає наявність стіни спереду. У процесі руху об'єкт здійснює контроль стін: аналізує наявність стіни, і якщо стіна є (спрацював датчик торкання), то рух об'єкта до стіни блокується.

Шлях з точки А в точку В представляє собою послідовність вершин $P = (v_1, v_2, \dots, v_n) \in V \times V \times V \times \dots \times V$, таких що v_i суміжна з v_{i+1} для $1 < i < n$. Такий шлях P називається шляхом довжини n з вершини v_1 в v_n .

Нехай $e_{i,j}$ – ребро, що з'єднує дві вершини графу: v_i та v_j . Дана вагова функція $f: E \rightarrow R$, яка відображає ребра на їх ваги, значення яких виражається дійсними числами, та неорієнтований граф G . Тоді найкоротшим шляхом з вершини v до вершини v' буде називатися шлях $P = (v_1, v_2, \dots, v_n)$, де $v_1 = v$ та $v_n = v'$, який має мінімальне значення суми $\sum_{i=1}^{n-1} f(e_{i,i+1})$. Усі ребра мають одиночну вагу, тому задача зводиться до визначення найменшої кількості обійдених ребер.

До найбільш популярних алгоритмів пошуку оптимального маршруту в графі зазвичай відносять:

- алгоритм Дейкстри знаходить найкоротший шлях від однієї з вершин графа до всіх інших. Алгоритм працює тільки для графів без ребер з негативною вагою;
- алгоритм Беллмана-Форда, що знаходить найкоротші шляхи від однієї вершини графа до всіх інших у зваженому графі. Вага ребер може бути негативною;
- алгоритм пошуку A^* знаходить маршрут з мінімальною вартістю від початкової до кінцевої, використовуючи метод пошуку по першому найкращому збігу на графі;
- алгоритм Флойда-Уоршелла знаходить найкоротші шляхи між усіма вершинами зваженого орієнтованого графа;
- алгоритм Джонсона знаходить найкоротші шляхи між усіма двійками вершин графа, що має бути зваженим та орієнтованим;
- алгоритм Лі (хвильовий алгоритм) заснований на методі пошуку в ширину. Знаходить шлях між вершинами s і t графа (s не збігається з t), що містить мінімальну кількість проміжних вершин (ребер);
- алгоритм Contraction hierarchies. Алгоритм з переодбробкою графу для знаходження коротших шляхів і «віртуального» видалення вершин які можна пропустити при пошуку маршруту.

Дослідження полягало в порівнянні алгоритмів Дейкстри, A^* і Contraction hierarchies для невеликого приміщення. Для порівняння роботи алгоритмів пошуку запускали процедури пошуку на різних маршрутах. Причому маршрути в вибірці були як короткі так і довгі, оскільки реалізовані алгоритми по-різному показали себе на маршрутах різної довжини (таблиця 1).

До таблиці винесені не всі експерименти, а лише ті, які найкраще відображають характер досліджень і отримані результати.

Таблиця 1 – Результати обробки маршрутів

№	Алгоритм	Час пошук,с	Довжина, м	Кращий результат
1	Construction hierarchies	11,23	219	А*
	А*	7,25	219	
	Дейкстри	10,31	219	
2	Construction hierarchies	12,25	333	Construction hierarchies
	А*	11,44	412	
	Дейкстри	18,54	448	
3	Construction hierarchies	12,25	186	Construction hierarchies
	А*	15,34	189	
	Дейкстри	20,25	223	

ВИСНОВКИ

Тривалість створення графу для невеликого приміщення є прийнятною – 5-7 хвилин. Це операція, яка виконується лише раз, тому цей час можна вважати невеликим.

Тривалість обробки графу в алгоритмі Contraction hierarchies є надзвичайно складною в плані обчислень операцією і триває дуже довго.

З трьох розглянутих маршрутів один раз алгоритм А* виявився кращим, в інших двох випадках алгоритм Contraction hierarchies був кращим.

У випадках коли Contraction hierarchies виявлявся гіршим, різниця була малою, і результати отримані при його роботі були майже такими ж якісними як і в алгоритму, що був кращим.

Час роботи алгоритму А* та Дейкстри росте зі збільшенням довжини маршруту, а в алгоритму Contraction hierarchies час роботи майже константний, оскільки згідно з ним завжди обробляються всі можливі вершини для вершин початку і кінця. Це є великою перевагою алгоритму.

Але треба зазначити складність технічної реалізація алгоритму Contraction hierarchies, якщо врахувати тривалість створення графу приміщення, на відміну від нього алгоритм А* дуже простий в реалізації хоч і не завжди дає скоріший результат, але точніший і наближений до найкращого.

Список використаних джерел:

1. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: «Вильямс», 2007. – 1408 с.
2. Siegwart R. Introduction to Autonomous Mobile Robots / Siegwart R., Nourbakhsh I. R. Massachusetts: Bradford Book, 2004. 340 p.
3. LaValle S. M. Planning Algorithms. Cambridge. / LaValle S. M. U. K.: Cambridge University Press, 2006. 1007 p.
4. Coenen S. A. M. Motion Planning for Mobile Robots: a Guide. / Coenen S. A. M., Steinbuch M., van de Molengraft M. J. G., Lunenburg J. J. M., Maus G. J. L. Eindhoven, Eindhoven University of Technology. 2012. 79 p.
5. Parker L. E. Path Planning and Motion Coordination in Multiple Mobile Robot Teams. / Parker L. E. Encyclopedia of Complexity and System Science. R. A. Meyers (ed.). Springer Verlag, 2009. P. 5783–5800.

6. *Desaraju V. R.* Decentralized Path Planning for Multi-Agent Teams with Complex Constraints / *Desaraju V. R., How J. P.* // *Autonomous Robots*. January 2012. P. 1–19.
7. *Alonso-Mora J.* Collaborative Motion Planning for Multi Agent Systems. / *Alonso-Mora J.* Eidgenossische Technische Hochschule ETH Zurich. No 21705. 2014. 176 p.
8. *Кормен Т. Х.* Алгоритмы: построение и анализ. / *Кормен Т. Х., Лейзерсон Ч. И., Ривест Р. Л., Штайн К. М.*: Вильямс, 2013. 1328 с.
9. *Rubin F.* The Lee path connection algorithm / *Rubin F.* // *IEEE Transactions on Computers*. 1974. Vol. C-23, Iss. 9. P. 907–914.
10. *Алдошкин Д. Н.* Поиск пути мобильного робота в условиях наличия препятствий и неполноты информации о среде / *Алдошкин Д. Н., Царев Р. Ю.* // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2016. № 7. С. 465–470.

Левицкая Т.А., Белан Э.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ВЫБОРА КРАТЧАЙШЕГО МАРШРУТА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ОБЪЕКТА В ПОМЕЩЕНИИ

Данная работа посвящена исследованию проблем построения маршрутов перемещения автономных объектов (роботов) в помещениях. Рассмотрены методы поиска оптимальных маршрутов на графах, реализуются три алгоритма и сравниваются результаты их работы. Алгоритмы поиска кратчайших путей делятся на два типа: поиск пути на дискретном рабочем поле (лабиринте), поиск пути на графе. Оба класса алгоритмов имеют свои преимущества и недостатки, а также свою узкую сферу применения.

С развитием робототехники актуальной задачей является оптимальное перемещение автономного мобильного робота в помещении. Считаем, что помещение состоит из залов, которые соединяются коридорами. В залах могут находиться препятствия, которые необходимо обходить. Отметим, что в каждом проходном зале построены кратчайшие внутренние маршруты, соединяющие разные входы в помещение. Данная задача может решаться с помощью волнового алгоритма или других известных алгоритмов, например, метода графа видимости (*visibility graphs*) или метода декомпозиции на ячейки (*cell decomposition*). Исследование заключалось в сравнении алгоритмов Дейкстры, A^* и *Contraction hierarchies* для небольшого помещения. Для сравнения работы алгоритмов поиска запускали процедуры поиска на разных маршрутах. Причем маршруты в выборке были как короткие так и длинные, поскольку реализованы алгоритмы по-разному показали себя на маршрутах разной длины. В тестовых испытаниях лучшим оказался алгоритм *Contraction hierarchies*, незначительно ему уступил алгоритм A^* , но принимая во внимание сложность предварительной построения графу помещения, считаем лучшим алгоритм A^* . Полученные результаты могут быть использованы при разработке системы выбора и визуализации кратчайшего маршрута при перемещении объекта в помещении, которая станет основой логики работы мобильного автономного устройства - роботу, или игрового объекта в компьютерной игре. Целью данной статьи является публикация результатов сравнительного анализа алгоритмов поиска кратчайшего пути (Дейкстры, A^* , *Contraction hierarchies*) для относительно небольшого помещения с множеством препятствий.

Ключевые слова: поиск, граф, маршрут, алгоритм, путь

Levitskaya T., Belan E.**INVESTIGATION OF THE METHOD OF CHOOSING THE SHORTEST ROUTE WHEN MOVING AN OBJECT IN THE ROOM**

This paper is devoted to the research of problems of construction of routes of movement of autonomous objects (robots) in premises. Methods of finding optimal routes on graphs are considered, three algorithms are implemented and their results are compared. Algorithms for finding the shortest paths are divided into two types: finding a path on a discrete workspace (maze), finding a path on a graph. Both classes of algorithms have their advantages and disadvantages, as well as their narrow scope.

*With the development of robotics, the urgent task is to optimally move an autonomous mobile robot indoors. We believe that the room consists of halls that connect the corridors. There may be obstacles in the halls that need to be avoided. It should be noted that in each passage hall, the shortest internal routes are constructed, connecting different entrances to the premises. This problem can be solved by using a wave algorithm or other known algorithms, such as the visibility graphs method or the cell decomposition method. The study was to compare Dijkstra, A * and Contraction hierarchies algorithms for a small room. To compare the work of search algorithms, search procedures have been run on different routes. Moreover, the routes in the sample were both short and long, since the implemented algorithms showed themselves differently on routes of different lengths. In the test trials, the Contraction hierarchies algorithm was the best, to a small extent it was replaced by the algorithm A *, but considering the complexity of preliminary construction of the space graph, we consider the best algorithm A *. The results obtained can be used to develop a system of choice and visualization of the shortest route when moving an object in the room, which will become the basis of the logic of mobile autonomous device - work, or game object in a computer game. The purpose of this article is to publish the results of a comparative analysis of the shortest path search algorithms (Dijkstra, A *, Contraction hierarchies) for a relatively small room with many obstacles.*

Keywords: search, graph, route, algorithm, path

Рецензент: доцент, канд. техн. наук Міроненко Д.С.

Статья поступила

УДК 004.93

Левицька Т.О., Гінтер О.О., Хоногбей О.В.**РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЄМНОСТІ З ЕЛІПТИЧНИМИ ДНИЩАМИ**

Розрахунок техніко-економічних параметрів великих ємностей для широкої номенклатури продуктів є невід'ємною частиною будь якого інженерного проекту таких конструкцій. Важливим компонентом розрахунку вважається поінтервальне калібрування внутрішнього об'єму посудини, результатом якої є таблиця рівня наповнення з відповідним йому об'ємом наповнення.

У роботі розглянуті теоретичні і практичні питання що до розрахунку техніко-економічних параметрів та поінтервального калібрування вертикальної ємності з еліптичними днищами. Методика калібрування горизонтальних ємностей існує і з успіхом використовується у виробництві, наприклад, транспортних засобів. Розробка формули для калібрування вертикальних ємностей – окреме питання, вирішення якого може базуватися