

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра ЕОМ

Алгоритм Lazy Theta* руху "s-bot" з урахуванням
рельєфу місцевості

Кваліфікаційна робота
Другий (магістерський) рівень

Автор:

Гриценко І.К.
студ. гр. СПм-22-3

Керівник:

Токарєв В.В.
доц. каф. ЕОМ

2024

МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

2

МЕТОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ є дослідження алгоритму Lazy Theta*, для його застосування в системах навігації та управління рухом інтелектуальним мобільним "s-bot".

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ МЕТИ:

- ❖ провести огляд сучасного стану рішення задач навігації і планування маршруту руху інтелектуального "s-bot";
- ❖ провести дослідження роботи алгоритму Lazy Theta* руху інтелектуального "s-bot".

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

3

В даний час до системи навігації та управління рухом інтелектуальним мобільним "s-bot" пред'являються вимоги пов'язані з точністю та позиціонуванням інтелектуального мобільного "s-bot" у реальному режимі часу. При вирішенні завдання позиціонування тільки за даними, що надходять з відеокамери, виникають складності, пов'язані з обертальним рухом рухомого об'єкта, його підвищеною лінійною швидкістю руху, можливою відсутністю характерних точок сцен.

Тому розробка алгоритму в системах навігації та управління рухом інтелектуальних мобільних "s-bots", що входять до складу однієї "Swarm-bot" - system у physical unorganized environment є актуальною науковою задачею.

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РІШЕННЯ ЗАДАЧ НАВІГАЦІЇ І ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

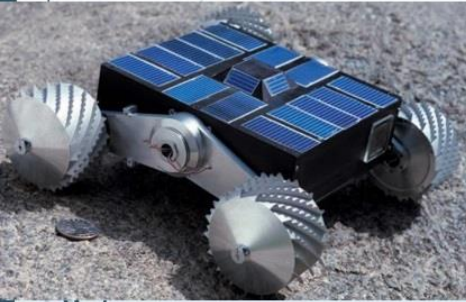
4

У загальному вигляді завдання керування рухом інтелектуальним мобільним "s-bot" можна сформулювати в такий спосіб:

- крок № 1 – визначення свого становища physical unorganized environment в режимі реального часу;
- крок № 2 – побудова чи оновлення карти physical unorganized environment в режимі реального часу;
- крок № 3 – планування маршруту руху інтелектуального мобільного "s-bot";
- крок № 4 – необхідність обходу перешкод інтелектуальним мобільним "s-bot" та запобігання зіткненню з ними.

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РІШЕННЯ ЗАДАЧ НАВІГАЦІЇ І ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

Приклад Nanover



Основна проблема автономного інтелектуального мобільного "s-bot" полягає в складності автоматичного обходу різних перешкод, автономної навігації, втрати комунікації з датчиками, які здійснюють взаємодію з physical unorganized environment та втрати комунікації з базовою платформою "Swarm-bot"- system.

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РІШЕННЯ ЗАДАЧ НАВІГАЦІЇ І ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

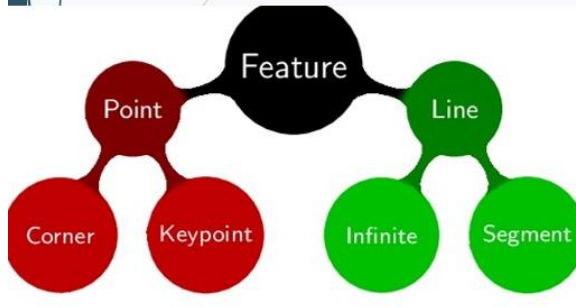
Приклад Nanover



З появою у 2006 році методу одночасної локалізації та побудови карти - simultaneous localization and mapping (SLAM) - та його подальшого розвитку стало можливо реалізувати повністю автономний режим позиціонування та навігації інтелектуальних мобільних "s-bots", що входять до складу однієї "Swarm-bot"- system.

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РІШЕННЯ ЗАДАЧ НАВІГАЦІЇ І ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

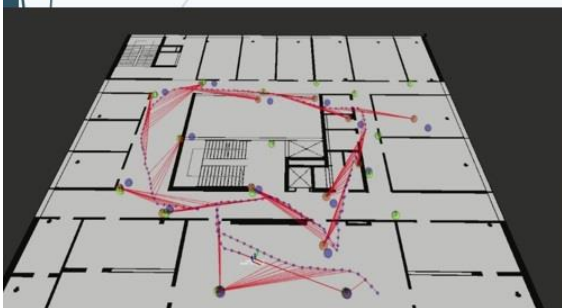
На сьогоднішній день існують наступні різновиди алгоритмів, розроблених на методі SLAM



Алгоритм № 1 – алгоритм Feature-based SLAM. Цей алгоритм використовує легко ідентифіковані сутності в physical unorganized environment і створює внутрішнє уявлення про навколишній простір з урахуванням розташування цих сутностей. Сам алгоритм заснований на розширеному фільтрі Калмана – Extended Kalman Filter (EKF).

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РІШЕННЯ ЗАДАЧ НАВІГАЦІЇ І ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

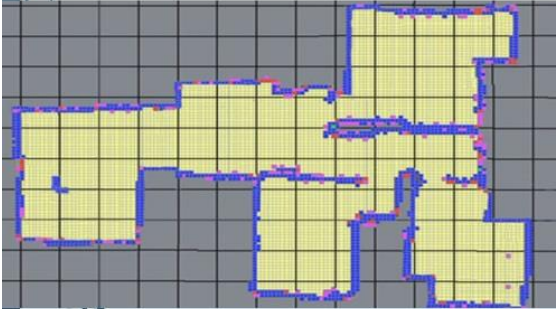
На сьогоднішній день існують наступні різновиди алгоритмів, розроблених на методі SLAM



Алгоритм № 2 – алгоритм Graph-based SLAM. Цей алгоритм заснований на теорії графів або мереж, також як попередній алгоритм, створює карту за допомогою графа, вузли якого відповідають позиціям "s-bots" у різні моменти часу, а ребра представляють собою просторові обмеження, що зв'язують положення "s-bots" разом.

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РІШЕННЯ ЗАДАЧ НАВИГАЦІЇ І ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

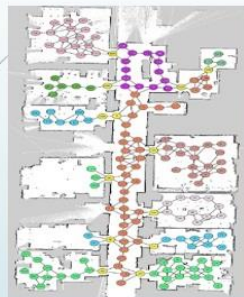
На сьогоднішній день існують наступні різновиди алгоритмів, розроблених на методі SLAM



Алгоритм № 3 – алгоритм Grid-based SLAM. Цей алгоритм є теоретично найбільш простим підходом з урахуванням сітки. Простір розбивається на сітку крапок із певним рівним кроком. Кожна точка може мати свій стан: зайнято, вільно, перешкода.

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РІШЕННЯ ЗАДАЧ НАВИГАЦІЇ І ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

На сьогоднішній день існують наступні різновиди алгоритмів, розроблених на методі SLAM



Алгоритм № 4 – алгоритм Topological SLAM. Цей алгоритм вирішує поставлені перед ним завдання за допомогою графоподібного опису навколишнього середовища, а не точної метричної карти. Під топологічним описом розуміються вузлові місця, які можна легко порівняти та відрізнити.

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РІШЕННЯ ЗАДАЧ НАВИГАЦІЇ І ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

На сьогоднішній день існують наступні різновиди алгоритмів, розроблених на методі SLAM



Алгоритм № 5 – алгоритм Semantic SLAM. У цьому алгоритмі карти представлені як моделі семантичних карт. На відміну від топологічних методів, у яких алгоритми фільтрують метричну інформацію та використовують лише розпізнавання місць-орієнтирів для визначення місця розташування, семантичне зіставлення пов'язує семантичні концепції з об'єктами в physical unorganized environment.

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РІШЕННЯ ЗАДАЧ НАВИГАЦІЇ І ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

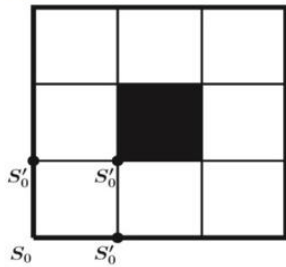
Загальна структура методу SLAM



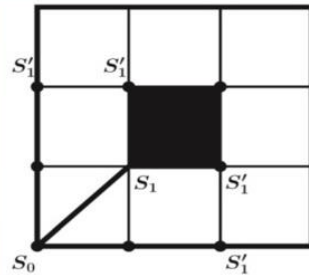
ОСНОВНІ КРОКИ АЛГОРИТМУ LAZY THETA*

13

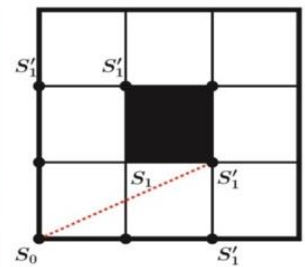
Крок № 1. Точка - s_0 є початковою вершиною, а також розглянутою вершиною. Точки s'_0 (Neighbour(s_0)) є її сусідніми вершинами розширення, як показано на рисунку. Виразуємо всі значення евристичної функції $f(s_0)$ для початкової (розглянутої) вершини s_0 .



Крок № 2. Виберемо вершину розширення s'_1 , відповідну найменшому значенню функції $f(s_0)$. Як вершина, що розглядається, приймається вершина s_1 (тобто $s'_0 = s_1$). Потім оновлюються шляхи так, як показано на рисунку. Розширивши вершину s_1 у різних напрямках, отримаємо вершини розширення s'_1 (Neighbour(s_1)) та s'_1 (вершини не були розширені на минулому етапі). Обчислимо всі значення евристичної функції $f(s_1)$ для розглянутої вершини s_1 .



Крок № 3. Для алгоритму Lazy Theta* заздалегідь передбачається, що між батьківською вершиною parent(s_1) = s_0 та вершиною розширення s'_1 має бути пряма видимість. Виберемо вершину розширення s'_1 , що відповідає найменшому значенню евристичних функцій $f(s_1)$ в якості розглянутої вершини s_1 .



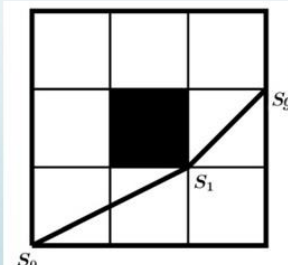
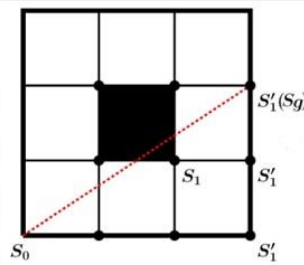
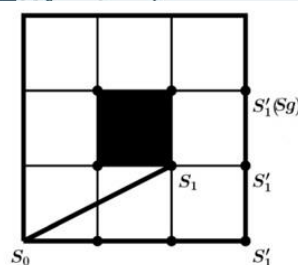
ОСНОВНІ КРОКИ АЛГОРИТМУ LAZY THETA*

14

Крок № 4. Приймаємо parent(s_1) = s_0 и $s'_0 = s_1$. Розширюємо вершину s_1 як показано на рисунку і отримуємо вершини розширення s'_1 , які не були розширені на попередньому етапі (Neighbour(s_1)) и s'_1).

Крок № 5 – цільова вершина s_g знаходиться в одній із вершин розширення s'_1 . Якщо між батьківською вершиною parent(s_1) = s_0 та цільовою вершиною s_g є пряма видимість як показано на рисунку червона пунктирна лінія, то отримуємо цільовою вершиною s_g .

Крок № 6. На цьому робота алгоритму руху інтелектуального мобільного "s-bot", що входить до складу однієї "Swarm-bot"-system в physical unorganized environment, закінчується. Підсумковий шлях від початкової вершини до цільової вершини $s_0 - s_1 - s_g$ показаний на рисунку.



ПОКАЗНИК НЕБЕЗПЕКИ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

15

Розмах рельєфу – різниця абсолютних висот місцевості або відносне перевищення максимальних висот над мінімальними за напрямом руху "s-bot". Цей показник відображає здатність інтелектуального мобільного "s-bot" до подолання перешкод. У кваліфікаційній роботі за найбільшу висоту перешкоди, при якій "s-bot" може виконати підйом, взято параметр у 20 см. Ґрунтуючись на наведеній вище теорії, у кваліфікаційній роботі досліджується алгоритм Lazy Theta*, у якому враховується чинник загрози рельєфу місцевості.

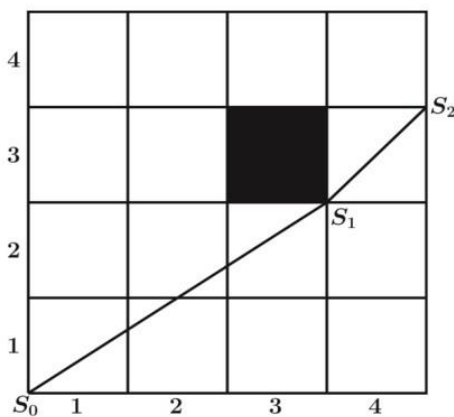
Показник небезпеки руху інтелектуального мобільного "s-bot" за маршрутом від початкової точки s_0 до цільової точки s_g визначається наступним чином:

$$c(s_0, s_g) = \sum_{s_0}^{s_g} \alpha \cdot R(i, j)$$

ОБЧИСЛОВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

16

Небезпека руху інтелектуального мобільного "s-bot" по заданому маршруту



На рисунку представлені результати моделювання в середовищі MATLAB небезпеки руху інтелектуального мобільного s-bot за заданим маршрутом. При проведенні імітаційного моделювання у середовищі MATLAB порівнювалися алгоритми: A*, Basic Theta*, Lazy Theta*. Результати моделювання алгоритмів для розмірів області на координатній сітці $50 \times 50 \text{ м}^2$ наведені у таблиці. Імітаційне моделювання в середовищі MATLAB проводилося за наступних умов:

- крок координатної сітки дорівнює 1 м;
- кількість випадкових перешкод в області – 10%;
- $L(m)$ – довжина шляху;
- $t(c)$ – час обчислення.

Результати імітаційного моделювання в середовищі MATLAB показують, що шлях, отриманий алгоритмом Lazy Theta*, є найкоротшим із усіх. Хоча час обчислення для даного алгоритму більший, ніж для алгоритму A*, однак, порівняно з часом обчислення за допомогою алгоритму планування руху в будь-якому напрямку Basic Theta* – менше. При збільшенні кількості перешкод час роботи алгоритму Lazy Theta* помітно менше, ніж у решти алгоритмів, що ще раз доводить ефективність даного алгоритму.

ПОКАЗНИК НЕБЕЗПЕКИ РУХУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО "S-BOT"

17

Розмір області на координатній сітці 50×50 м

Кількість випадкових перешкод	A*		Basic Theta*		Lazy Theta*	
	L(м.)	t(с.)	L(м.)	t(с.)	L(м.)	t(с.)
10%	70.486	0.207	70.205	0.305	70.202	0.304
20%	72.801	0.208	72.206	0.307	72.203	0.306
30%	75.307	0.209	76.207	0.309	76.204	0.308

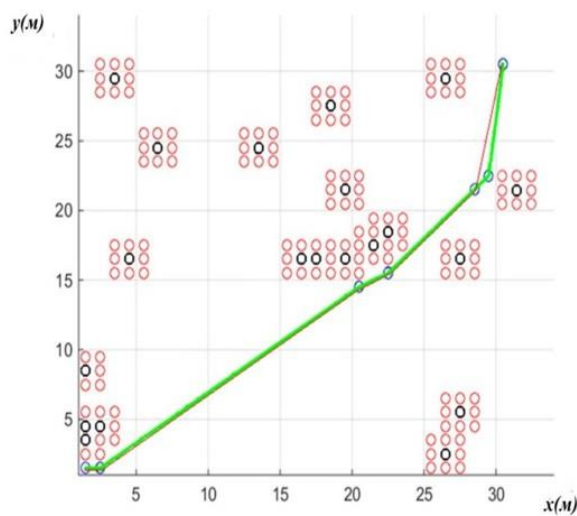
ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

18

Результати роботи алгоритмів Basic Theta* та Lazy Theta* з урахуванням перешкод, нанесених на координатну сітку, показано на рисунку.

На рисунку позначено:

- чорне коло – реальні перешкоди;
- червоні кола – межі віртуальних перешкод (збільшення розмірів перешкод необхідно для їх гарантованого обходу та запобігання зіткненню);
- синє коло – розширена визначена точка (s);
- зелена безперервна лінія – шлях, побудований за допомогою алгоритму Basic Theta*;
- червона безперервна лінія – шлях, побудований за допомогою алгоритму Lazy Theta*.



АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

19



Control, Navigation and Communication Systems. 2023. No. 4

ISSN 2073-7394

УДК 519.7004.3

doi: 10.26906/SUNZ.2023.4.110

В. В. Токарєв¹, І. В. Льїна¹, І. І. Шевченко², І. К. Гриценко¹¹ Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна² Науково-дослідний, проектно-конструкторський та технологічний інститут мікрографії, Харків

ПРО ОДИН ПІДХІД ДО РІШЕННЯ АСИМЕТРИЧНОЇ TSP - ЗАДАЧІ ПРИ B2C ДОСТАВКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАТФОРМИ "SWARM-BOT" - SYSTEM У ФІЗИЧНОМУ НЕОРГАНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Анотація. На сьогоднішній день у сфері надання послуг, після проведеного аналізу ринку пошиттів та пропозицій, проводяться дослідження з метою визначення можливості застосування платформи "Swarm-bot" - system для доставки замовлень кінцевим користувачам. У ролі "s-bots", що входять до складу однієї "Swarm-bot" - system, активно застосовуються дроне. Доставка замовлень та кореспонденції з використанням платформи "Swarm-bot" - system передбачає наявність спеціалізованого контейнера, розміщеного на корпусі дроне. Дослідження проводяться для того, щоб з'ясувати чи зможуть дроне замінити поштові повідомлення до якого ми всі звикли. При впровадженні платформи "Swarm-bot" - system в реальну експлуатацію, людина бере участь у процесі доставки як оператор, а дроне переміщуються за заданим запрограмованим маршрутом. На сьогоднішній день найбільш оптимальним для вирішення проблеми зменшення відстані доставки замовлення є рішення асиметричної TSP - задачі (travelling salesman problem). Ця стаття присвячена дослідженню можливості застосування алгоритму, заснованого на методі "гілок та меж", для вирішення асиметричної TSP - задачі при B2C доставках за допомогою платформи "Swarm-bot" - system у physical unorganized environment.

Ключові слова: "Swarm-bot" - system, "s-bot", embedded systems, business-to-business, business-to-consume, drones, комунікація, метод "гілок та меж", асиметрична TSP - задача.

ВИСНОВКИ

20

ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ було досліджено алгоритму Lazy Theta*, для його застосування в системах навігації та управління рухом інтелектуальним мобільним "s-bot"

В КВАЛІФІКАЦІЙНІЙ РОБОТІ ВИРІШЕНІ ТАКІ ЗАДАЧІ:

- ❖ проведено огляд сучасного стану рішення задач навігації і планування маршруту руху інтелектуального "s-bot";
- ❖ дослідження роботи алгоритму Lazy Theta* руху інтелектуального "s-bot".