

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра ЕОМ

БАГАТОАГЕНТНИЙ АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ОРІЄНТАЦІЇ НА МІСЦЕВОСТІ «S-BOTS» - SYSTEMS

Кваліфікаційна робота
Другий (магістерський) рівень

Автор:

Кравець В.Є.
студ. гр. СПм-21-2

Керівник:

Токарев В.В.
доц. каф. ЕОМ

2023

МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

2

МЕТОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ є дослідження багатоагентного алгоритму розв'язання задачі simultaneous localization and mapping для «S-bots» - systems на базі методу Демпстера-Шафера.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ МЕТИ:

- ❖ провести огляд та аналіз існуючих одноагентних алгоритмів, що вирішують задачу simultaneous localization and mapping;
- ❖ провести огляд та аналіз багатоагентних алгоритмів що вирішують задачу simultaneous localization and mapping.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

3

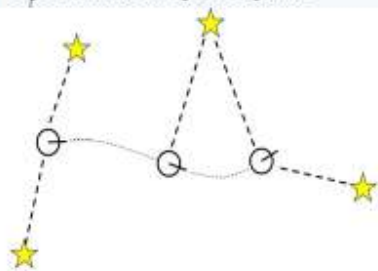
Одним із глобальних завдань, які необхідно вирішувати при проектуванні «s-bots» – визначення своєї локації, тобто орієнтація на місцевості. Від того, наскільки точна карта місцевості, яка знаходиться в пам'яті embedded комп'ютера автопілотованих «S-bots» - systems і згідно з якою рухаються «s-bots», залежить, наскільки безпечно для людей вони будуть рухатися. Тому завдання орієнтації на місцевості формулюється таким чином, щоб забезпечити точність свого положення до сантиметрів. На сьогоднішній день жодна супутникова система локалізації на це не здатна. Для забезпечення такої точності визначення локації «s-bots», дослідники запропонували застосовувати алгоритми, що вирішують завдання – simultaneous localization and mapping.

Тому розробка масштабованих алгоритмів для «S-bots» - systems з обмеженими обчислювальними ресурсами при вирішенні задачі simultaneous localization and mapping, на сьогоднішній день є актуальною проблемою.

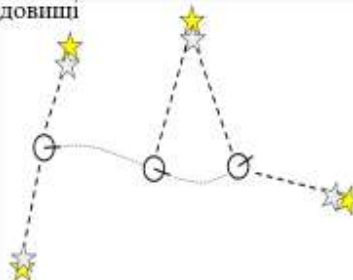
ОПИС ЗАДАЧІ SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING

4

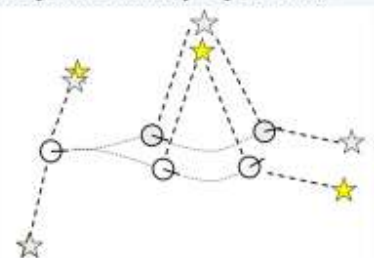
Виявлення позицій «s-bot» у фізичному неорганізованому середовищі за орієнтирами



Запам'ятовування позицій орієнтирів щодо позицій «s-bot» у фізичному неорганізованому середовищі



Одночасне обчислення позицій «s-bot» та побудова карти оточення у фізичному неорганізованому середовищі



ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ОДНОАГЕНТНИХ АЛГОРИТМІВ, ЩО ВИРІШУЮТЬ ЗАДАЧУ SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING

5

I. Огляд алгоритму виділення особливих точок для вирішення задачі simultaneous localization and mapping

Історично першими з'явилися алгоритми, які виділяли особливі точки на оточенні і будували карту, що складається з таких орієнтирів. Ідея дуже близька до людського сприйняття світу. Орієнтуючись у незнайомому місті, людина відзначає собі, наприклад, високі вежі і визначає приблизну відстань з-поміж них, а далі використовує їх, як орієнтир. Для автономних обчислювальних «s-bot» можна реалізувати подібний алгоритм. Робота алгоритму поділена на кілька етапів, серед яких можна виділити зняття вимірювань (скан, кадр та ін.), скан-матчинг (порівняння вимірювання та карти) та оновлення карти. На черговому етапі алгоритму вхідними даними є:

- вбудована до поточного моменту карта;
- гіпотеза про становище «s-bot»;
- ще одне спостереження.

II. Огляд алгоритму із застосуванням розширеного фільтра Калмана для вирішення задачі simultaneous localization and mapping

Алгоритм складається з багатьох ітерацій, кожна з яких включає кілька кроків:

Крок №1. «S-bot» проводить чергове спостереження, виділяє особливі точки. Відповідно до поточної апріорної оцінки позиції «s-bot» (виходячи з розташування орієнтирів щодо «s-bot») обчислюється розташування орієнтирів у глобальних координатах;

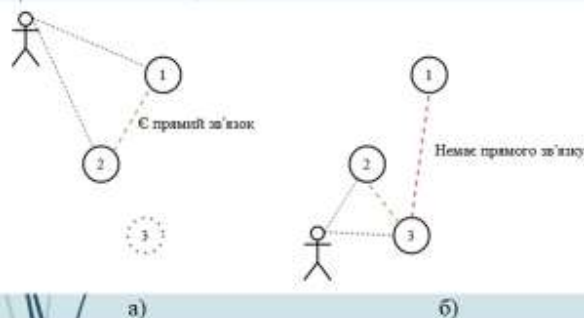
Крок №2. Координати знайдених орієнтирів порівнюються з координатами орієнтирів, які були включені в карту на попередніх кроках. Цей крок дозволить уточнити позицію орієнтирів, які спостерігалися раніше, або змінити дисперсію похибки розташування орієнтирів. Якщо знайдений орієнтир відсутній у карті, він додається в карту;

Крок №3. Виходячи з уточненої карти (у тому числі уточнених позицій орієнтирів, що спостерігаються) будується апостеріорна оцінка позиції «s-bot».

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ОДНОАГЕНТНИХ АЛГОРИТМІВ, ЩО ВИРІШУЮТЬ ЗАДАЧУ SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING

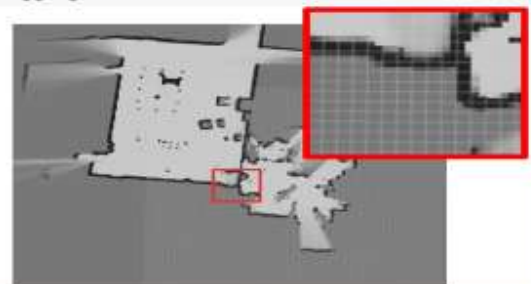
6

III. Огляд алгоритму «швидкого simultaneous localization and mapping»



Процес визначення перешкод спостерігачем: а) спостерігач бачить перешкоди 1 і 2, і запам'ятовує їхнє взаємне розташування; б) спостерігач бачить перешкоди 2 та 3, але зв'язок між 1 і 3 безпосередньо не будується.

IV. Огляд алгоритму, побудованого на Байєсівській теорії для вирішення задачі simultaneous localization and mapping

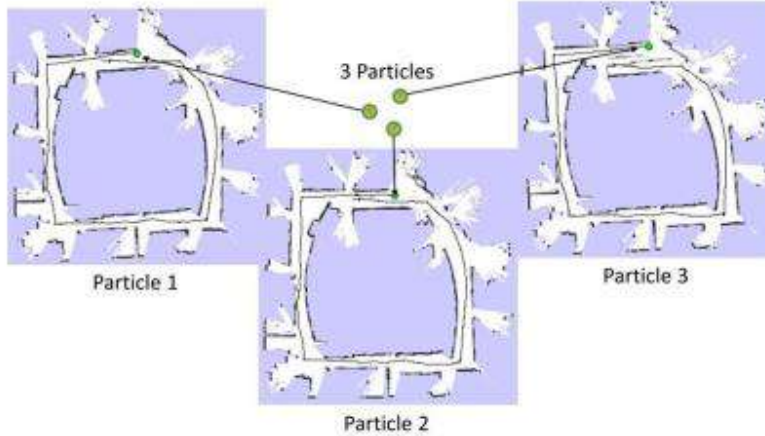


Йдеться про двовимірний масив, кожен елемент якого – це «клітина», що відповідає області простору. Інакше кажучи, карта є двовимірний план довкілля, розділений на комірки. Кожна комірка такої карти містить число – можливість бути зайнятою.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ОДНОАГЕНТНИХ АЛГОРИТМІВ, ЩО ВИРІШУЮТЬ ЗАДАЧУ SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING

7

V. Огляд алгоритму, побудованого на методі Фільтру частинок для розв'язання задачі simultaneous localization and mapping



Припустимо, що мобільний «s-bot» перебуває в одній з двох присутніх на карті вертикальних колон. Також припустимо, що інших орієнтирів у мобільного «s-bot» немає. Отже, мобільному «s-bot» необхідно виконати локалізацію, використовуючи лише дані про перебування перед однією з колон і невідомо, перед якою саме. У цей момент можна зробити дві рівно ймовірні гіпотези про поточне положення мобільного «s-bot». Саме такий алгоритм використовує метод Фільтру частинок.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ОДНОАГЕНТНИХ АЛГОРИТМІВ, ЩО ВИРІШУЮТЬ ЗАДАЧУ SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING

8

VI. Огляд алгоритму, з графовим поданням карти для вирішення задачі simultaneous localization and mapping

Найбільш популярним на даний момент є графовий підхід до побудови карти. При такому підході початкові виміри поєднуються у вузли графа, а ребрами служать трансформації між позиціями, з яких можна ці виміри зняти. Докладніше простий графовий алгоритм можна описати так. Коли мобільний «s-bot» отримує новий вимір, він додає в граф нову вершину, в яку записує цей вимір. Нова вершина з'єднується одним ребром із попередньою доданою вершиною. Вага цього ребра – це сукупність координат: переміщення та поворот між позиціями мобільного «s-bot» на поточному та попередньому кроці. Цю вагу можна отримати, використовуючи одометрію або скан карти, можлива комбінація цих методів. Через деякий час після початку роботи алгоритму буде побудовано граф з певної кількості вершин, кожна з яких з'єднана тільки з сусідніми вершинами. Такий граф є картою. Для того, щоб побудувати карту в звичайному її розумінні, необхідно пройти по всіх вузлах графа і, використовуючи позицію мобільного «s-bot» і позиції точок у вимірах, нанести їх на карту.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ БАГАТОАГЕНТНИХ АЛГОРИТМІВ, ЩО ВИРІШУЮТЬ ЗАДАЧУ SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING

9

I. Огляд багатоагентного алгоритму з графовим поданням розв'язання задачі simultaneous localization and mapping

Така ідея може бути ефективно використана у графовому алгоритмі для обчислення взаємного розташування «s-bots». Структуру графового алгоритму можна без змін застосувати для цього завдання. Якщо перший і другий «s-bot» відвідували одне й те саме місце, то після отримання виміру з цього місця від другого «s-bot» можна буде виконати замикання циклів і визначити місце, з якого були зняті ці вимірювання.

Таким чином, для графового підходу можна виділити дві основні переваги:

- простота в масштабуванні;
- можливість глобальної зміни карти в процесі роботи алгоритму.

Графовий підхід має той самий недолік, яким володіли одноагентні алгоритми з графовим представленням розв'язання задачі simultaneous localization і mapping алгоритми: зниження швидкості роботи алгоритму з часом, коли граф накопичує велику кількість вершин.

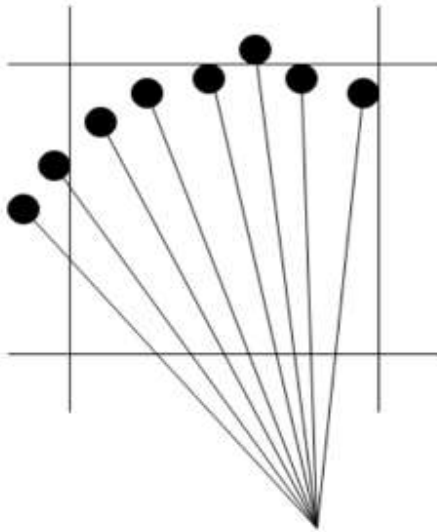
ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ БАГАТОАГЕНТНИХ АЛГОРИТМІВ ЩО ВИРІШУЮТЬ ЗАДАЧУ SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING

10

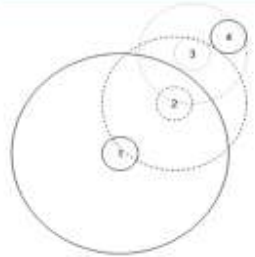
II. Огляд багатоагентного алгоритму з неграфовим поданням розв'язання задачі simultaneous localization and mapping

Ідея цього алгоритму полягає в тому, що передбачається запуснути одноагентний алгоритм алгоритму «швидкого» simultaneous localization and mapping на кожному окремому «s-bot». У кваліфікаційній роботі запропоновано архітектуру мережі з router, проте алгоритм зможе добре працювати і в архітектурі з розподіленою мережею. Аналогічно одноагентному підходу тут використовується метод Фільтра частинок, тобто одночасно враховуються і вираховуються ймовірності одразу кількох можливих наявних карт і позицій «s-bot». Як і в будь-якому алгоритмі на базі методу Фільтра частинок виникає питання, як створити два набори частинок, побудованих різними «s-bot». Прямолінійний варіант - порівнювати кожен частку один з одним - займає дуже багато обчислювального часу. Тому зазвичай йдуть шляхом відомого погіршення точності в обмін на швидкість роботи алгоритму. Дослідниками розроблено методика, яка пропонує об'єднати всі частинки з урахуванням їхньої ваги та побудувати усереднену карту на кожному «s-bot», а потім об'єднати усереднені карти.

БАГАТОАГЕНТНИЙ МАСШТАБОВАНИЙ АЛГОРИТМ РІШЕННЯ ЗАВДАННЯ SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING ДЛЯ «S-BOTS» - SYSTEMS 11



При дослідженні було встановлено, що для того, щоб алгоритм працював стійко, необхідно в якості вхідних даних отримувати дані лазерного скана та дані одометрії. Скан-матчер обчислює різницю між апіорною та справжньою оцінкою позиції «s-bots». Справжньою позицією називається та, з якої можна виконати лазерний скан. Тоді ймовірність позиції обчислюється як середня сума ймовірностей усіх точок скану, накладеного на карту із заданої позиції. Кожна точка скана означає перешкоду, і в ідеальних умовах кожна точка повинна потрапити до зайнятої клітини карти. Однак недостатньо ввести бінарний поділ на зайняті та вільні клітини.



Візуалізація ітераційного алгоритму стохастичного пошуку позиції з найбільшою ймовірністю

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ДЕМПСТЕРА - ШАФЕРА ЗБІЛЬШЕННЯ ТОЧНОСТІ РОБОТИ АЛГОРИТМУ 12

Згідно з Байєсовським підходом у кожному осередку карти міститься число від 0 до 1, що визначає ймовірність клітини бути зайнятою. Однак, у реальних умовах слід також запровадити змінну, яка описує стан «невідомо». Таким чином, клітина описується трьома ймовірностями:

- можливість бути зайнятою - p ;
- можливість бути вільною - q ;
- можливість бути невідомою - u .

Ці три ймовірності пов'язані між собою тотожністю $p + q + u = 1$.

Постає питання, як поєднувати клітини, дотримуючись цих правил.

Для відповіді на це питання застосовується теорія Демпстера-Шафера.

Для цього застосовується правило поєднання ймовірностей, що описується формулою:

$$m_{1,2}(A) = \frac{1}{1-K} \sum_{B \cap C = A \neq \emptyset} m_1(B) \cdot m_2(C)$$

Значення K обчислюється за такою формулою:

$$K = \frac{1}{1-K} \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \cdot m_2(C)$$

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ДЕМПСТЕРА - ШАФЕРА ЗБІЛЬШЕННЯ ТОЧНОСТІ РОБОТИ АЛГОРИТМУ

13

Об'єднання ймовірностей клітин бути зайнятими згідно з теорією Демпстера-Шафера

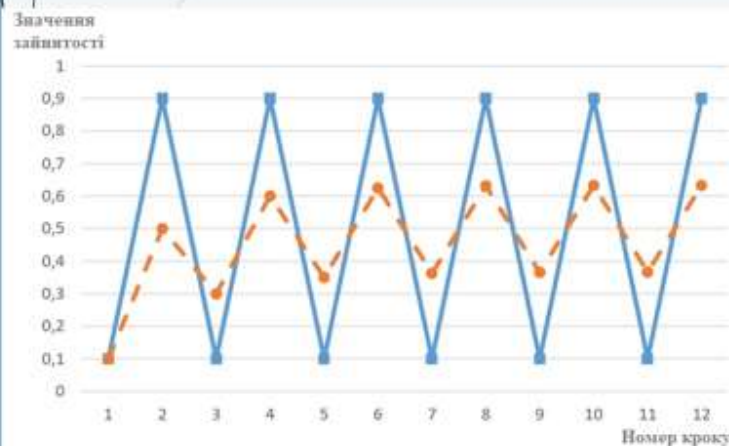
Ймовірності	Клітина 1 (m ₁)	Клітина 2 (m ₂)	Об'єднана клітина (m ₁₂)
Зайнята (p)	0.35	0.11	0.33
Вільна (q)	0.25	0.31	0.40
Невідомо (u)	0.4	0.58	0.27

У випадку Байєсовської теорії комірка містить одне число – можливість бути зайнятою. Після завершення роботи скан-матчера, коли обчислена справжня позиція «s-bot», що спостерігає конкретний лазерний скан, необхідно оновити це число для кожної комірки. Тоді можна в одній системі координат, центр якої знаходиться в поточній позиції «s-bot», розмістити і поточну карту, і спостереження. У цей момент скан буде накладено на карту так само, як і на етапі роботи скан-матчера.

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ДЕМПСТЕРА - ШАФЕРА ЗБІЛЬШЕННЯ ТОЧНОСТІ РОБОТИ АЛГОРИТМУ

14

Очевидним недоліком такого підходу буде висока чутливість комірки карти до похибок лазерного далекоміра.



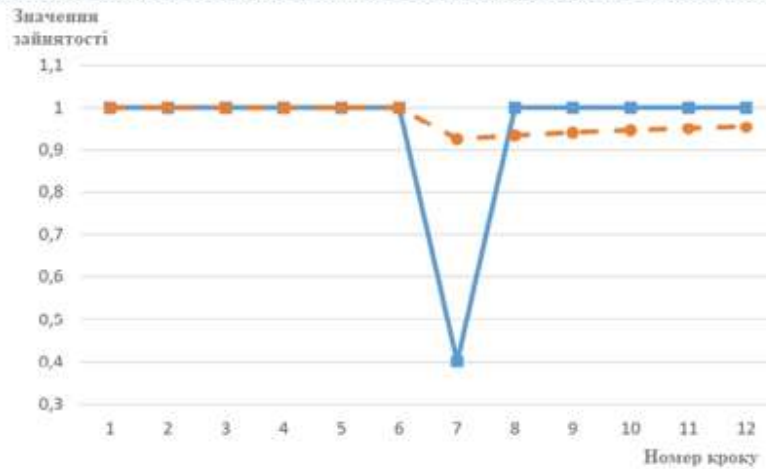
Для того, щоб позбавитися такої високої локальної чутливості, але зберегти адекватність моделі, застосовується оцінка зайнятості комірки відповідно до середнього арифметичного всіх значень, накопичених на попередніх кроках.

$$P_C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ДЕМПСТЕРА - ШАФЕРА ЗБІЛЬШЕННЯ ТОЧНОСТІ РОБОТИ АЛГОРИТМУ

15

Такий підхід зменшує чутливість до промахів далекоміра, і графік залежності зайнятості клітини карти від зайнятості точки, за наявності промаху, згладжується сильніше



АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

16



Control, Navigation and Communication Systems. 2023, No. 1

ISSN 2073-7394

УДК 519.7004.3

doi: 10.26906/SUNZ.2023.108

Г. Ф. Кривуля, В. В. Токарев, І. В. Ільїна, В. С. Кравець

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ВЗАЄМОДІЯ МІЖ «S-BOTS» ОДНІЄЇ «SWARM-BOT» SYSTEM У ФІЗИЧНОМУ НЕОРГАНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Анотація. З появою принципово нових «Swarm-bot» systems, з перебудованою структурою та програмованою логікою, виникла необхідність урахування факторів, які взаємодіють з фізичним неорганізованим середовищем, збільшенням числа елементів, що входять до їх складу, а також, числом внутрішніх зв'язків. Особливістю нових «Swarm-bot» systems є те, що їх функції, параметри, структури та поведінка при впливі внутрішніх або зовнішніх факторів на різних часових інтервалах життєвого циклу можуть змінюватися або програмним, або апаратним способом. В даний час доведено, що вирішення складних завдань є більш ефективним тоді, коли застосовуються «Swarm-bot» systems в цілому, а не окремі елементи, що входять до їх складу, наприклад, окремі «s-bots», так як при застосуванні «Swarm-bot» systems значно збільшується радіус дії за рахунок розосередження «s-bots», що входять до складу цієї «Swarm-bot» system по всій заданій поверхні, що значно підвищує шанси покрити всю поверхню без зон пропуску (так званих сліпих зон), у яких Drones не зможуть здійснити комунікацію між собою. Ця стаття присвячена вирішенню задачі покриття заданої поверхні регулярними багатокутниками, вписаними в коло.

Ключові слова: «Swarm-bots» system, «s-bot», embedded systems, локальна взаємодія, комунікація, система обробки інформації, система формування команд.

ВИСНОВКИ

17

ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ було досліджено багатоагентний алгоритм розв'язання задачі simultaneous localization and mapping для «S-bots» - systems на базі методу Демпстера-Шафера.

В МАГІСТЕРСЬКІЙ КВАЛІФІКАЦІЙНІЙ РОБОТІ ВИРШЕНІ ТАКІ ЗАДАЧІ:

- ❖ проведено аналіз існуючих одноагентних алгоритмів, що вирішують задачу simultaneous localization and mapping;
- ❖ проведено аналіз багатоагентних алгоритмів, що вирішують задачу simultaneous localization and mapping.