

МОСПАН АНТОН

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

e-mail: moltenclouds@gmail.com

КИРИЧУК ЮРІЙ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-8638-6060>e-mail: kirichuky@gmail.com

МЕТОД ПОБУДОВИ ПЛОСКОЇ КАРТИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРОСТОРУ ДЛЯ МОБІЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

В роботі запропоновано метод побудови локальної карти мобільного робота, яка за допомогою лазерного далекоміра дозволяє визначати положення об'єктів в просторі. Окрім цього, проаналізовано параметри точності зазначеного методу побудови карти середовища, що дозволяє формувати вимоги до апаратних засобів для управління мобільним роботом.

Вважається, що початкова карта відома і в ході роботи (руху робота) її лише уточнюють і доповнюють. В якості основних датчиків використані одометри (датчики швидкості коліс) і лазерний скануючий далекомір (лідар), який вимірює відстань до перешкод в площині, паралельній площині руху робота. Скануючі далекоміри в системах машинного зору формують в даному випадку двовимірну картину навколишнього простору. Кінцевим результатом лазерного сканування є визначені просторові координати точок перешкод. Сукупність точок відбиття лазерних променів утворює нерегулярну сітку з великою кількістю таких точок. За цими даними математичним способом можна, після камерального доопрацювання, отримати цифрову модель простору поверхні у вигляді регулярної сітки.

Під нездоланими перешкодами розуміють тільки виступаючі перешкоди, які потрапляють в поле зору далекоміра (тобто мають висоту не менше висоти установки далекоміра).

Пропонується сортування виміряних поточних точок на відомій карті. З моменту створення відомої карти могли відбутися зміни (карта може застаріти). Необхідно не тільки внести ці зміни в карту, але й не пропустити старі відомі перешкоди, які в процесі перевимірюють. Запропонований спосіб побудови карти добре працює тільки в нормальному середовищі, тобто в тому випадку, коли кутові розміри перешкод в кілька разів перевищують кутовий дозвіл далекоміра. При наявності великої кількості дрібних перешкод швидкість методу різко падає і збільшуються помилки при побудові карти. Великою перевагою методу є те, що завжди відома кількість збережених точок - це кількість сегментів кривої, помножена на три.

Ключові слова: робот, лазерний скануючий далекомір, лідар, карта середовища.

MOSPAN ANTON, KYRYCHUK YURIY

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

METHOD OF CONSTRUCTING A FLAT MAP OF THE SURROUNDING SPACE FOR A MOBILE ROBOTIC SYSTEM

The paper proposes a method of building a local map of a mobile robot, which allows determining the position of objects in space with the help of a laser range finder. In addition, the accuracy parameters of the specified method of building an environment map were analyzed, which allows for the formation of requirements for hardware for controlling a mobile robot.

It is assumed that the initial map is known and during the work (the movement of the robot) it is only clarified and supplemented. The main sensors used are odometers (wheel speed sensors) and a laser scanning range finder (lidar), which measures the distance to obstacles in a plane parallel to the plane of the robot's movement. Scanning rangefinders in machine vision systems form in this case a two-dimensional picture of the surrounding space. The final result of laser scanning is the determined spatial coordinates of the points of obstacles. The collection of laser beam reflection points forms an irregular grid with a large number of such points. According to these data, a digital model of the surface space in the form of a regular grid can be obtained by a mathematical method, after camera refinement.

Insurmountable obstacles mean only projecting obstacles that fall into the field of view of the rangefinder (that is, have a height not less than the height of the rangefinder installation). It is proposed to sort the measured current points on a known map. Changes may have occurred since the creation of the v-home map (the map may be out of date). It is necessary not only to make these changes to the map, but also not to miss the old known obstacles, which are remeasured in the process. The proposed method of constructing the map works well only in a normal environment, that is, in the case when the angular dimensions of obstacles are several times greater than the angular resolution of the rangefinder. In the presence of a large number of small obstacles, the speed of the method drops sharply and errors during map construction increase. The great advantage of the method is that the number of saved points is always known - it is the number of curve segments multiplied by three.

Keywords: robot, laser scanning rangefinder, lidar, environment map.

Постановка проблеми

Мобільні роботизовані системи сьогодні використовуються в різних галузях промисловості. Для успішної навігації в просторі бортова роботизована система повинна вміти скласти маршрут, контролювати параметри руху (задавати кут повороту коліс і швидкість їх обертання), правильно інтерпретувати інформацію про навколишній світ, отриману від датчиків, і постійно контролювати власні координати. Усе це свідчить про актуальність досліджень у галузі навігації мобільних роботів [1–5].

Аналіз останніх джерел

Навігаційна система є важливою частиною системи керування рухом мобільного робота. Існує

багато невіршених завдань, особливо це стосується побудови (уточнення) карти робочого простору про час руху робота [1–5].

Під завданнями управління рухом робота ми розуміємо три завдання: визначення поточних координат робота (щодо, наприклад, його вихідної позиції), побудова траєкторій руху (для відомих і невідомих карт) і побудова (уточнення) самої карти [2, 3, 5].

Метою роботи є побудова плоскої карти навколишнього простору, мається на увазі карта як сукупність площинних точок, що обмежують непереборні перешкоди.

Виклад основного матеріалу

Будемо вважати, що початкова карта відома і в ході роботи (руху робота) ми її лише уточнюємо і доповнюємо. Є два крайніх випадки: перший – карта абсолютно невідома, припускаємо, що спочатку карта є і вона порожня, другий – карта повністю відома, тоді нічого додати або уточнити.

В якості основних датчиків ми використовуємо одометри (датчики швидкості коліс) і лазерний скануючий далекомір (лідар), який вимірює відстань до перешкод в площині, паралельній площині руху робота. Під нездоланими перешкодами ми будемо розуміти тільки виступаючі перешкоди, які потрапляють в поле зору далекоміра (тобто мають висоту не менше висоти установки далекоміра).

Таким чином, картографування виконується в три етапи:

1. Зв'язок поточних вимірювань далекоміром з картою з урахуванням поточного положення робота.
2. Розташування поточних точок на поточній карті.
3. Складання карти з урахуванням нових точок.

Перше завдання досить просте. Нехай поточні координати робота в площині виражені матрицею перетворення координат 3×3 :

$$\begin{pmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & x \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

де α – кут повороту робота відносно нуля – початкового положення;
 x і y – переміщення робота відносно нуля – початкового положення.

Тоді поточні координати точки, виміряні далекоміром, будуть такими:

$$\begin{pmatrix} x^{ran} \cos(\alpha) - y^{ran} \sin(\alpha) + x \\ x^{ran} \sin(\alpha) + y^{ran} \cos(\alpha) + y \\ 1 \end{pmatrix},$$

де x^{ran} та y^{ran} – місцеві координати точки, що вимірюються лазерним далекоміром.

Друге завдання – сортування поточних точок на відомій карті – складніше. Справа в тому, що з моменту створення відомої карти могли відбутися зміни. Необхідно не тільки внести ці зміни в карту, але й не пропустити старі відомі перешкоди, які можна перемерити.

Карта – це набір відрізків, на якому відомі три точки – дві кінцеві точки і проміжна точка. За стійкість апроксимаційного алгоритму прийнято середню точку. Щоб підвищити точність, необхідно було б запам'ятати всі точки, але це швидко призведе до того, що керуюча програма потребуватиме ресурсів, які перевищують можливості будь-якої комп'ютерної системи, оскільки кількість точок, над якими потрібно працювати одночасно, може перевищити будь-яке розумне число. Наприклад, з популярним далекоміром SICK PLS101-316 Laser Scanner кількість вимірювань за 1 хвилину роботи перевищує 20 000. За годину роботи кількість точок вже рахується мільйонами. Тому необхідно певним чином «стиснути» отриману інформацію.

На рис. 1 позначено точки: 1 і 2 – кінцеві точки відрізка, m – середня точка, 3 – нова, впорядкована точка, L_{ij} – відстань між точками i та j , товстою лінією позначено сам відрізок. Якщо точка знаходиться «ліворуч» або «праворуч» від сегмента, вона може або вказувати на сам сегмент, або належати сусідньому сегменту, якщо такий існує. Якщо точка належить сусідньому сегменту, то цю точку потрібно впорядкувати в цьому сегменті.

Коли точка впорядкована, ви можете дізнатися, чи належить вона сегменту чи є новою точкою перешкоди. Це можна зробити просто: знайти відстань від нього до відрізка:

$$X = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x & y & 1 \end{pmatrix},$$

де (x_1, y_1) і (x_2, y_2) – координати двох кінців відрізка; x, y – координати нової точки.

Якщо відстань X перевищує певний поріг (цей поріг пов'язаний з точністю лідара), то точка належить новій перешкоді.

Отже, точки впорядковані. Це означає, що існує набір точок, які необхідно включити до відрізків.

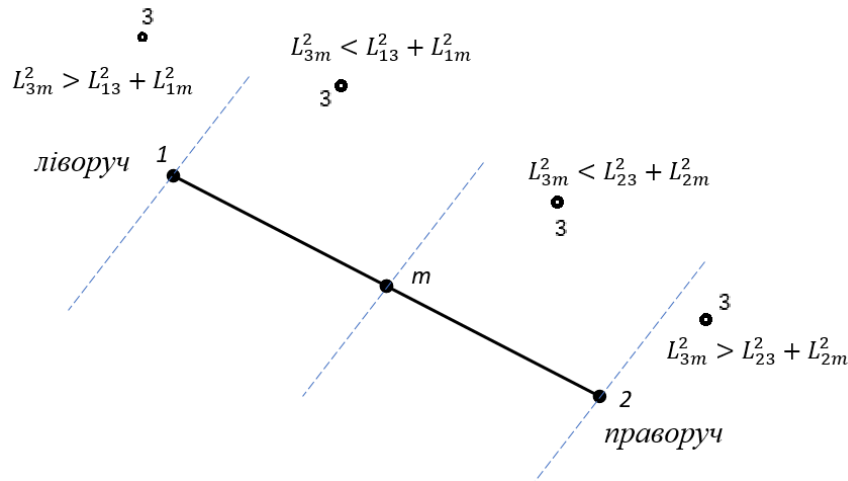


Рис. 1. Ілюстрація впорядкування точок

Апроксимація відрізками виконується методом найменших квадратів [6]. Самі відрізки задаються звичайним рівнянням прямої з кутовим коефіцієнтом: $y = a \cdot x + b$.

Це рівняння має два параметри a та b , тому для їх знаходження потрібні два рівняння. Тому для методу найменших квадратів використовується система двох рівнянь:

$$\begin{cases} \partial_a \left(\sum_{i=0}^{n/2} a \cdot x_{2i} + b - y_{2i} \right)^2 = 0 \\ \partial_b \left(\sum_{i=0}^{n/2} a \cdot x_{2i+1} + b - y_{2i+1} \right)^2 = 0 \end{cases}$$

де ∂_k – оператор похідної за змінною k ; i – шуканий нахил лінії; b – шуканий коефіцієнт зміщення прямої; n – кількість вимірювань; x_k, y_k – k -й відрізок і ордината (виміряна).

Рішення цієї системи виглядає так

$$\begin{cases} a = \frac{n \sum_{i=0}^{n/2} x_{2i} \cdot y_{2i} - 2 \sum_{i=0}^{n/2} x_{2i} \sum_{i=0}^{n/2} y_{2i+1}}{n \sum_{i=0}^{n/2} x_{2i}^2 - 2 \sum_{i=0}^{n/2} x_{2i} \sum_{i=0}^{n/2} x_{2i+1}}, \\ b = 2 \frac{\sum_{i=0}^{n/2} x_{2i}^2 \sum_{i=0}^{n/2} y_{2i+1} - \sum_{i=0}^{n/2} x_{2i+1} \sum_{i=0}^{n/2} x_{2i} y_{2i}}{n \sum_{i=0}^{n/2} x_{2i}^2 - 2 \sum_{i=0}^{n/2} x_{2i} \sum_{i=0}^{n/2} x_{2i+1}}, \end{cases}$$

Тепер для кожного уточненого відрізка необхідно знайти крайні точки. Для кожного з них це робиться шляхом знаходження точки на лінії, яка є якомога ближчою до попередньої крайньої точки:

$$\begin{cases} x = \frac{x^{kp} + a(y^{kp} - b)}{1 + a^2}, \\ y = a \cdot x + b \end{cases}$$

де x^{kp}, y^{kp} – координати колишньої крайньої точки.

На закінчення слід сказати, що даний спосіб побудови карти добре працює тільки в нормальному середовищі, тобто в тому випадку, коли кутові розміри перешкод в кілька разів перевищують кутовий дозвіл далекоміра. При наявності великої кількості дрібних перешкод швидкість методу різко падає і збільшуються помилки при побудові карти. Великою перевагою методу є те, що завжди відома кількість збережених точок - це кількість сегментів кривої, помножена на три.

Розглянемо інший спосіб побудови карти. У цьому методі проблема «стиснення» інформації вирішується просто. На карті будується сітка, розмір клітинок якої не повинен перевищувати допустимої похибки. Наприклад, для випадку, коли немає необхідності заздалегідь вирішувати проблеми пересування у вузькому просторі, доцільно вибрати розмір комірки в половину ширини робота, можливо, розширений на розмір зони безпеки.

Комірка вважається зайнятою, якщо в неї потрапляє хоча б одне вимірювання далекоміром. Якщо

осередки досить великі, то неточність у визначенні координат перешкод буде компенсована цими розмірами.

Висновки

Навігаційна система є важливою частиною системи керування мобільним роботом. Метод побудови локальної карти мобільного робота, яка за допомогою лазерного далекоміра дозволяє визначити положення об'єктів в просторі. Окрім цього, проаналізовано параметри точності зазначеного методу побудови карти середовища, що дозволяє формувати вимоги до апаратних засобів для управління мобільним роботом.

References

1. Springer Handbook of Robotics. Editors. Bruno Siciliano, Oussama Khatib, "Springer". 2008. 1611 p.
2. Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyasagar. Robot Modeling and Control, Wiley, 2006. 478 p.
3. Kevin M. Lynch, Frank C. Park. Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge University Press, 2017. 624 p.
4. Lyashin A.M., Vasilyev I.A. Localization and trajectory motion control of a mobile robot with tank-like chassis setup, equipped with laser rangefinder and machine vision system. Mechatronics & Robotics 2004: Aachen, Germany, September 13-15, 2004. P. 469-470.
5. Borenstein J., Everett H.R., Feng L., Wehe D. Mobile Robot Positioning. Sensors and Techniques. Invited paper for the Journal of Robotic Systems, Special Issue on Mobile Robots. (1997) Vol. 14 No. 4, pp. 231–249.
6. KHAZANOVICH Yurii, MOSPAN Anton, KYRYCHUK Yurii, NAZARENKO Natalia. OVERVIEW OF NAVIGATION SYSTEMS OF MOVING OBJECTS. MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES, 2023. (1), 58–65. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-73-1-9>
7. Khazanovych Yu. Yu., Cherepanska I. Yu., Kiryuchuk Yu. V. Algorithm of Determining the Position of the Extremities of a Stepping Mobile Robot in Space. Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute. Issue 3. 2023. P. 84–89.