

УДК 681.2.083

Ікальчик Ю.М.,  
студент факультету електроніки,  
НТУУ «КПІ»,  
Київ, Україна

**SLAM — КОНЦЕПЦІЯ ОДНОЧАСНОЇ НАВІГАЦІЇ ТА  
ПОБУДОВИ МАПИ**

**Розглянуто один з найважливіших компонентів систем комп'ютерного зору, пов'язаних з орієнтацією в просторі — концепція SLAM одночасної навігації та побудови мапи в невідомому просторі.**

**Ключові слова:** *SLAM, навігація, мапа, далекомір, аналіз.*

В робототехніці важливе місце займає питання навігації робота в просторі. Проблема в тому, що для навігації потрібно мати мапу, а для її побудови знати місцезнаходження робота. Ці дві проблеми неможливо вирішити незалежно одна від одної. Перед тим як робот зможе зобразити зовнішнє середовище, він має знати де ці спостереження були зроблені, в той же час важко оцінити місцезнаходження без карти. Це являється типовою проблемою курки та яйця, яку вирішує SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) — метод одночасної навігації та побудови карти використовуваний роботами і автономними транспортними засобами для побудови карти в невідомому просторі або для оновлення карти в заздалегідь відомому просторі з одночасним контролем поточного місця розташування і пройденого шляху.

SLAM — це не якийсь певний алгоритм або набір програмного забезпечення — це концепція, яка пов'язує два незалежних процеси в безперервний цикл послідовних обчислень, при якому результати одного процесу беруть участь в обчисленнях іншого процесу.

Головними аспектами в побудові мапи являється представлення даних про зовнішнє середовище та інтерпретація даних з сенсорів.

Навпаки, локалізація - це проблема визначення місця розташування робота на карті. Локалізацію можна розділити на два види - локальна і глобальна. Локальна локалізація дозволяє відстежити місце розташування робота на мапі, коли його початкове місце розташування відомо, а глобальної локалізація - це визначення місця розташування робота на незнайомому місці.

Принциповий момент - SLAM не передбачає будь-яких знань про середовище - ні міток на місцевості, ні попередньої мапи немає - всі рішення будуються тільки на результатах вимірювань сенсорів.

У загальному випадку SLAM можна описати як повторення послідовності кроків:

1. сканування навколишнього простору;
2. визначення зміщення на основі порівняння поточного кадру з попереднім;
3. виділення на поточному кадрі особливостей-міток;
4. зіставлення міток поточного кадру з мітками отриманими за всю історію спостережень;
- 5.1. оновлення на основі цієї інформації стану робота за всю історію спостережень;
- 5.2. перевірка на петлі – чи не проходимо повторно по одній і тій же місцевості;

5.3. вирівнювання загальної мапи (відштовхуючись від положення міток та робота за всю історію спостережень);

На кожному кроці алгоритму маємо припущеннями про структуру навколишнього середовища (є мапа) та історією руху робота в ньому.

Реалізації SLAM поділяються на дві великі групи – SLAM frontend и SLAM backend.

Завдання SLAM-fronted зводиться до оцінки просторових відносин між особливостями сцени і позиціонуванням робота з деякою імовірністю. SLAM-fronted - набір методів для перетворення отриманих даних від сенсорів до уніфікованого представлення, яке подається на вхід безпосередньо SLAM-ядра. В даний час, для цих цілей використовуються графи спеціального виду (варіюються від зваженого, заснованого на результатах вимірювань, до динамічної мережі Байеса, яка відштовхується від ймовірнісної моделі положення робота в середовищі).

Розглянемо SLAM-fronted детальніше, розбивши задачу на кроки:

1) Аналіз та інтеграція нових даних. На цьому етапі проводиться виділення особливостей на отриманих даних. Особливості - це такі характеристики, які легко можуть бути виділені в середовищі і використовуватися надалі для орієнтації в просторі. Бажано щоб їх можна було розпізнати під різним "кутом зору" з точки зору використовуваних сенсорів. Критично щоб вони були стаціонарні. Бажано щоб їх можна було розрізнати один від одного - для того щоб зрозуміти - зустрічали ми їх раніше. Найпростіший приклад особливостей - геометричні - кути, прями.

2) Обчислення зсуву. На основі зіставлення нового набору особливостей з особливостями, отриманими на попередньому кроці можна визначити як змінилося їхнє розташування. Так як особливості самі по собі стаціонарні - очевидно що цей зсув - результат зміни положення камери (робота). На основі цієї інформації можна виразити координати камери через систему лінійних рівнянь для вирішення якої використовуються різні методи і їх комбінації.

3) Оновлення структури, яка зберігає історію переміщень, де кожний стан являє собою глобальне положення робота і взаємне розташування особливостей на певному проміжку часу. Останнім часом крім безпосередньо даних про положення, зберігаються також і імовірнісні оцінки для кожного значення. На даному етапі проводиться аналіз і додавання отриманих раніше даних в загальну структуру для зберігання інформації про світ за весь час дослідження.

Розглянутий компонент специфічний для робота (оскільки залежить від того, які в нього сенсори, як організовано перетворення вхідної інформації тощо), а тому якоїсь універсальної бібліотеки, що реалізує весь функціонал поки що немає. Хоча, наприклад, список підтримуваних сенсорів ROS (robot operating systems) вражає.

SLAM-backend (SLAM-ядро) - безпосередня реалізація рішення задачі SLAM - оптимізація отриманих від frontend просторових особливостей з метою максимізації ймовірності. Дане завдання відокремлене від того, яким чином отримані вхідні дані - головне, щоб формат представлення (граф, мережа, матриця, список і т.д.) інформації про середовище і положення робота в ньому співпадали.

Розглянемо SLAM-backend детальніше, розбивши задачу на кроки:

1) Порівняння даних локального зсуву та особливостей. Тепер маємо наявні з одного боку результати локального зсуву, на основі якого можна обчислити нове

положення робота. З іншого боку - так само можна визначити позицію робота щодо особливостей середовища. В силу похибок сенсорів і використовуваних алгоритмів дані позиції не збігатимуться між собою (і, швидше за все, також і з реальним місцем розташування робота). Отримана різниця має бути відображена у всіх попередніх вимірах особливостей як коригуючий коефіцієнт - ймовірність.

2) Оновлення загального уявлення про мапу середовища і траєкторії робота. На основі знову отриманих даних проводиться уточнення поточних уявлень про середовище — перерахунок позицій робота, особливостей і їх ймовірностей. Додатково проводиться пошук замикань (коли робот повертається в ті місця де вже побував). Після всіх обчислень оновлюється загальне уявлення середовища - пози робота і координати особливостей.

На основі глобальної структури, що зберігає всі переміщення робота і уявлення світу в будь-який момент часу можливо відтворити карту світу з траєкторією руху робота. Для візуалізації використовуються сторонні методи, які до методів SLAM особливого відношення не мають.

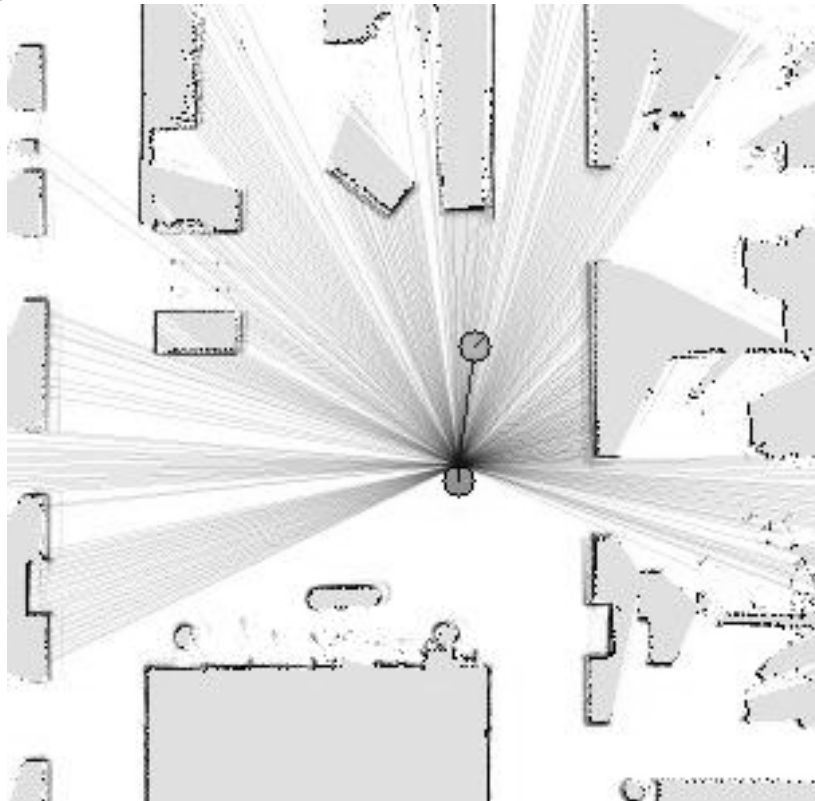


Рис.1. Приклад візуалізації роботи методу

На цей час вже реалізовано багато алгоритмів SLAM, в тому числі на ROS. Оскільки метою статті не є огляд методів, про них написано тут не буде, але хотілося б написати про метод *hector mapping*. Він призначений для платформ без одометрії, тобто для навігації використовує лише далекомір. Також метод дозволяє оцінювати положення зі швидкістю сканування сенсорів.

Найдешевшим зараз є лазерний далекомір в основі якого лежить триангуляція — метод вимірювань за допомогою побудови системи трикутників. Це дає змогу зменшити

затрати на апаратуру, оскільки потрібно мати лазер, камеру та систему обробки, яка в будь-якому випадку, при вимірюванні будь-який способом потрібна. Також зменшується обсяг розрахунків.

Комбінації такого далекоміра з hector mapping дає відносно недорогою та швидкодіючу систему. Це дає широкі можливості для використання такої системи в роботах широкого призначення.

### Висновки:

SLAM — це шлях вирішення проблеми навігації в невідомому середовищі. Методи SLAM постійно покращуються та паралельно з'являються нові реалізації описаної концепції. Перспективним є використання комбінації методу hector mapping з далекоміром, працюючим на основі триангуляції, що дає в сукупності просту систему навігації.

### Список літератури:

1. Noonv. SLAM [Електронний ресурс]. 2012. — Режим доступу до статті.: <http://robocraft.ru/blog/technology/724.html> .
2. Delphi. Сканующий лазерный дальномер [Електронний ресурс]. – 2012. — Режим доступу до статті.: <http://www.3dxmy.com/bbs/forum.php?mod=viewthread&tid=100>.
3. Hector\_mapping [Електронний ресурс]. – 2014. — Режим доступу до ресурсу.: [http://wiki.ros.org/hector\\_mapping#ROS\\_API](http://wiki.ros.org/hector_mapping#ROS_API).
4. DIY 3D (3D) — [Електронний ресурс]. – 2014. — Режим доступу до статті.: <http://www.3dxmy.com/bbs/forum.php?mod=viewthread&tid=100>.

### Аннотация

Рассмотрен один из важнейших компонентов систем компьютерного зрения, связанных с ориентацией в пространстве - концепция SLAM одновременной навигации и построения карты в неизвестном пространстве.

Ключевые слова: *SLAM, навигация, карта, дальномер, анализ.*

### Annotation

One of the most important points of the computer vision systems, related to orientation in space - SLAM system of simultaneous navigation and mapmaking in unknown space is reviewed.

Key words: *SLAM, navigation, map, finder, analysis.*