

## МЕТОДИ ОЦІНКИ ПРОСТОРОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ

**А.В. Рудик**, к.т.н., доцент, докторант,  
Національний авіаційний університет,  
[andrey05011971@mail.ru](mailto:andrey05011971@mail.ru)

Починаючи з кінця ХХ сторіччя робототехніка розвивається прискореними темпами за рахунок появи нових та розвитку старих технологій і алгоритмів, які дозволили здешевити виробництво роботів та надати їм широкого спектру можливих дій. Одним з найбільш поширених видів роботів є мобільні роботи, зокрема автономні, які можуть вільно переміщуватися у просторі. Однак для переміщення такого типу вони мають отримувати інформацію про навколишнє середовище та дані про власне положення у ньому, для чого використовується ряд методів. У наш час найбільш поширеними є такі підходи до оцінки переміщення: використання енкодерів; використання інерціальних вимірювальних приладів; візуальна одометрія; відстеження переміщення за допомогою супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) типу GPS або GLONASS.

Метою даної роботи є аналіз зазначених раніше підходів до оцінки переміщення та формулювання рекомендацій щодо їх використання у різних ситуаціях як окремо, так і комбіновано для компенсації виявлених недоліків.

Типовою схемною реалізацією підходу до оцінки переміщення є **використання енкодерів** (давачів кута повороту) – пристроїв, призначених для перетворення кута повороту об'єкта в електричні сигнали.

Використовуючи різні типи енкодерів, можна відстежувати не тільки величину кута повороту, але й напрямок обертання.

Цей підхід характеризується простотою реалізації, низькими вимогами до обчислювальних пристроїв та дешевизною, однак має ряд недоліків:

- неможливість врахування просковзування коліс;
- низька точність, пов'язана з похибками вимірювання діаметрів коліс та низькою розділовою здатністю енкодерів, що з часом накопичується;
- потребує високої частоти обробки інформації про переміщення для відстеження навіть мінімальних відмінностей у переміщенні коліс;
- неможливість реалізації даного методу для літальних, плаваючих та крокуючих мобільних роботів.

Тому виникає необхідність вводити для таких мобільних роботів “опорні точки”, в яких можна враховувати або компенсувати накопичені похибки. Однак такий підхід не можна реалізувати у незнайомій обстановці, а підходить він лише для позиціонування на заздалегідь відомій території.

Для розв'язання задачі оцінки переміщення можна використовувати **інерціальні вимірювальні прилади**, до складу яких входять акселерометр, гіроскоп та за потребою магнітометр.

Для мобільних наземних роботів найбільш цікавим є кут повороту навколо вертикальної осі. Однак, по-перше, на мобільних роботах недоцільно

встановлювати механічні гіроскопи через їх великі розміри. Тому використовуються мініатюрні гіроскопи, виконані у вигляді мікроелектромеханічних систем (МЕМС), у яких інформативним параметром є вже не кут повороту, а кутова швидкість. При цьому виникає необхідність проводити інтегрування або просте сумування (для аналогового або дискретного вихідного сигналу). Тому виходить, що оцінка повороту навколо осі буде наближеною та залежить від частоти дискретизації сигналу.

По-друге, у гіроскопів наявний дрейф нуля, що приводить до зміни кута навіть в статичному положенні. Величина такого дрейфу залежить від типу гіроскопа (мініатюрні реалізації менш точні).

По-третє, інтегрування та обробка даних давача з необхідною для достатньої точності частотою створює високе обчислювальне навантаження, для якого може виникнути потреба у виділенні окремого мікроконтролера.

Наявність в інерціальній системі акселерометрів дозволяє визначати величини лінійних прискорень, які діють на мобільного робота. Чисельне інтегрування прискорення дозволяє перейти до швидкості, а повторне інтегрування – до переміщення. Однак інтегрування приводить до накопичення помилки. Крім того, акселерометри чутливі до високочастотних високоамплітудних завад, для боротьби з якими використовуються складні фільтри різних типів (фільтр Калмана, “альфа-бета” фільтр та ін.)

Максимально точних результатів при інерціальній навігації досягають при використанні акселерометра, гіроскопа та магнітометра при компенсації похибок одного давача показаннями інших (такі системи складні та дорогі).

**Візуальна одометрія** – процес отримання одометричної інформації (пройденої відстані та напрямку руху) при використанні послідовності зображень з камер робота. Типовий алгоритм візуальної одометрії складається з таких операцій: отримання зображення з камери/стереокамери/ панорамних камер; корекція зображення (усунення дисторсії та ін.); детектування ключових точок зображення; перевірка векторів оптичного потоку на потенціальні похибки; визначення руху камери за оптичним потоком; періодичне оновлення набору ключових точок для відстеження.

Перевагою такого алгоритму є його універсальність, а недоліки є такі:

- алгоритм практично не працює з однотипними зображеннями;
- необхідність високої швидкості захоплення зображення (при використанні систем з частотою отримання кадрів порядку десятків кГц);
- високе обчислювальне навантаження та висока вартість камер.

Основним принципом **використання СРНС** є формування оцінок координат, складових швидкості мобільного об'єкту та поточного часу в результаті обробки радіосигналів, прийнятих від навігаційних супутників (НС). Відстань (дальність) обчислюється за часовою затримкою поширення сигналу від моменту випромінювання його супутником до моменту приймання антеною GPS-приймача [1]. Для підвищення точності визначення дальності та координат використовується псевдодальномірний метод, який реалізується або за результатами чотирьох одночасних вимірювань за чотирма НС, або за результатами декількох послідовних вимірювань за декількома НС (реаліза-

ція так званих комбінованих методів) [2].

Очевидною перевагою такого підходу є те, що він безпосередньо показує поточне положення у просторі, тобто зникає потреба проводити додаткові обчислення. Однак такий підхід має і ряд недоліків:

- неможливість визначення орієнтації нерухомого об'єкта;
- неможливість визначення місцезнаходження в закритих приміщеннях через низьку якість навігаційного сигналу;
- при тривалій відсутності сигналу потрібний час для визначення поточної позиції (для зменшення часу “теплого старту” використовується спеціальна технологія A-GPS [3], однак вони ускладнює і здорожує систему);
- низька точність роботи СРНС у приполярних районах Земної кулі;
- порівняно низька точність визначення координат (останні типи НС можуть визначати місцезнаходження з точністю не вище (0.6÷0.8) м).

### **Комбіновані методи оцінки просторового положення об'єкту**

Тому що на літальних та водних апаратах використання енкодерів обмежене, а використання візуальної одометрії на водних апаратах дає низькі результати за рахунок особливостей навколишнього середовища, то в цьому випадку доцільно використовувати інерціальні системи разом з СРНС.

Колісні платформи можуть суміщати всі розглянуті підходи до визначення місцезнаходження. Для визначення раціональної комбінації методів оцінки просторового положення необхідно визначити коло розв'язуваних задач та обмежень, що накладаються навколишнім середовищем, а також вартістю та габаритами системи. При використанні мобільного об'єкту переважно всередині приміщень доцільним є використання методів візуальної одометрії, а системи супутникової навігації є неефективними. Якщо є можливість заздалегідь “розмітити” приміщення, для навігації буде достатньо даних з енкодерів та гіроскопів невисокого класу точності, помилки яких будуть обнулятися у спеціальних контрольних точках, для яких задані дійсні значення напрямку та просторових координат.

Найскладнішими є навігаційні системи крокуючих роботів, які використовуються у закритих приміщеннях. Особливості їх конструкції, принцип дії та наявність перешкод для сигналів від НС приводять до неможливості використання методів класичної одометрії на енкодерах та супутникової навігації, а використання інерціальних вимірювальних приладів ускладнено через специфіку пересування крокуючих роботів. Тому залишається фактично один метод навігації – візуальна одометрія.

### **Література**

1. Яценков, В. С. Основы спутниковой навигации : системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС / В. С. Яценков. – М., 2005. – 272 с.
2. Рудик А.В. Огляд методів вимірювання координат та параметрів руху мобільних об'єктів з використанням супутникових радіонавігаційних систем // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №4. – С. 51-56.
3. Frank Van Diggelen. A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS. – Artech House, 2009. – 380 p.p. ISBN 9781596933743.