

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ТА ПРИСКОРЕННЯ

Рудик А.В., к.т.н., доцент, докторант, Національний авіаційний університет, andrey05011971@mail.ru

Швидкість – векторна фізична величина, що характеризує зміни положення об'єкту у вибраній системі відліку. Прискорення – векторна фізична величина, що визначає швидкість зміни швидкості об'єкта, тобто перша похідна від швидкості за часом. При вимірюваннях важливим є те, що прискорення є вектором, тобто враховується не тільки зміна величини швидкості (модуля векторної величини), але й зміна її напрямку.

На рис. 1 наведена розроблена автором класифікація відомих на даний час методів вимірювання швидкості та прискорення.



Рис. 1. Класифікація методів вимірювання швидкості та прискорення

Згідно **класичного методу** визначення швидкості переміщення на кінцевому інтервалі часу визначається різниця координат, які відносяться до кінця та початку інтервалу часу. При реалізації даного методу інтервал вимірювання може бути заданий з високою точністю, що забезпечується використанням кварцової стабілізації частоти. Тому похибка визначення середньої швидкості залежить від похибки визначення координат об'єкта.

Методи інерціальної навігації діляться на такі, в яких використовується стабілізована платформа (платформні), та безплатформні (Strapdown Inertial Navigation System). Для розв'язання задачі оцінки переміщення та його похідних використовують інерціальні вимірювальні прилади, до складу яких входять акселерометр, гіроскоп та за потребою магнітометр.

В платформних інерціальних навігаційних системах (ІНС) для приведення вимірювальних осей акселерометрів до площини горизонту та орієнта-

ції їх в азимуті використовуються гіростабілізовані платформи, до складу яких входять декілька рамок карданова підвісу, що механічно розв'язують платформу від кутових переміщень об'єкту (для стабілізації платформи використовуються гіроскопи). Інерціальні методи з використанням гіростабілізованої платформи діляться на метод обчислення географічних координат, напіваналітичний метод та геометричний метод. Однак гіростабілізована платформа, оберігаючи акселерометри від впливу кутових переміщень об'єкту, має ряд суттєвих недоліків: в зв'язку з тим, що є прецизійним електромеханічним пристроєм, споживає багато енергії, має великі габарити та масу, складна при монтажі та дорога. В безплатформних ІНС (БІНС) акселерометри та гіроскопи розміщені безпосередньо на борту мобільного робота, а функції гіростабілізованої платформи виконують бортові обчислювачі.

Різновидом методу інерціальної навігації є метод вимірювання параметрів руху **за зіткненнями з нерівностями траси**, згідно з яким акселерометр визначає інтервали часу між зіткненнями з нерівностями траси передніх і задніх коліс (на ділянках лінійного руху мобільного робота).

Одометричні методи основані на використанні даних про рух приводів для оцінки переміщення, швидкості та прискорення. Використовуються в роботах для підрахунку пройденої відстані. Одометрія не є методом визначення положення, а лише засобом його оцінки. В типових схемах одометрії роботів використовуються енкодери, які зчитують кут повороту коліс. Використовуючи різні типи енкодерів, можна відслідковувати не тільки кут, але й напрямок обертання (при використанні коду Грея). Для підвищення точності переміщення робота по нерівній поверхні, особливо для крокуючих роботів, використовується **візуальна одометрія** – процес отримання одометричної інформації при використанні послідовності зображень з камер мобільного робота. Вона дозволяє покращити навігаційну точність роботів незалежно від його способу переміщення та для більшості типів поверхні, крім водних.

Локаційні методи за діапазоном частот використовуваних зондувальних сигналів діляться на ультразвукові ((30÷50) кГц), радарні ((18÷110) ГГц) та оптичні або лідарні ((10^{13} ÷ 10^{14}) Гц). **Ультразвукові методи** основані на використанні вимірювання часової затримки відбитих від перешкоди або іншого об'єкту ультразвукових коливань. Основним вимірюваним параметром є дальність до перешкоди або іншого об'єкту, а швидкість та прискорення розраховуються за результатами декількох вимірювань відстані за деякий інтервал часу. **Оптичні методи** вимірювання параметрів руху в мобільній робототехніці реалізуються при використанні в навігаційній системі мобільного робота лідара, який є активним дальноміром оптичного діапазону. Скануючі лідари формують дво- або тримірну картину навколишнього простору. **Радарні методи** основані на використанні радара або РЛС (від Radio Detection and Ranging – радіовиявлення та вимірювання дальності) – системи для виявлення рухомих об'єктів, а також для визначення дальності до них, їх швидкості, прискорення та геометричних параметрів. Використовують метод радіолокації, оснований на випромінюванні радіохвиль і реєстрації їх відбиття від об'єктів. За принципом дії радари діляться на первинні або пасивні, вторинні або

активні та комбіновані. Працюють в діапазонах K (18÷27) ГГц та W (75÷110) ГГц (за класифікацією IEEE/ITU).

Радіонавігаційні методи відстеження переміщення та оцінки параметрів руху об'єктів проводяться за допомогою супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) типу GPS або GLONASS. Найбільш простий **дальномірний метод** при радіонавігаційних вимірюваннях оснований на вимірюванні дальності D_i між i -м навігаційним супутником (НС) та мобільним об'єктом. Використання **псевдодальномірного методу** пов'язано з тим, що внаслідок великого розкиду передавальної та приймальної позицій фіксація моментів випромінювання та приймання сигналу не може проводитися в одній шкалі часу, тому що випромінювання сигналу з борту НС визначається за бортовою шкалою часу (БШЧ), а час приймання сигналу – за шкалою часу мобільного об'єкту (ШЧМО). **Різницево-дальномірний і псевдорізницево-дальномірний методи** оснований на вимірюванні різниці дальності або псевдодальності від мобільного об'єкта до декількох НС. **Радіально-швидкісний (доплерівський) метод** призначений для визначення складових вектора швидкості мобільного об'єкту та оснований на вимірюванні доплерівських зсувів частот сигналів, прийнятих від трьох НС. В **псевдорадіально-швидкісному (псевдодоплерівському) методі**, так само, як і в різницево-дальномірному та псевдорізницево-дальномірному методах, при відсутності єдиної шкали часу в точках випромінювання та прийому радіосигналу в точці випромінювання сигналу використовується БШЧ i -го НС, а в точці прийому сигналу – ШЧМО. Сутність **різницево-радіально-швидкісного методу** полягає у визначенні трьох різниць $\Delta \dot{D}_{ij} = \dot{D}_i - \dot{D}_j$ двох радіальних швидкостей НС, при цьому перевагою його є нечутливість до нестабільності еталонів частоти та інших неконтрольованих зсувів частоти, а його недоліком – неможливість оцінки нестабільності еталонів частоти. В **комбінованих методах**, крім СРНС, використовують додаткові вимірювачі координат об'єкту (наприклад, висотомір).

Метод парціальних прискорень, за аналогією до принципу Даламбера, полягає у приведенні рівнянь динаміки до рівнянь кінематики, а не до рівнянь статички. Тому такий принцип називають принципом кінетодинаміки на відміну від традиційного принципу кінетостатички Даламбера.

Згідно з **інтегрованими методами** навігаційна система мобільного робота реалізується при інтеграції інерціальних навігаційних систем на основі мікроелектромеханічних (MEMS) інерціальних сенсорів та СРНС GPS або локаційних методів, при цьому реалізується варіант оцінювання похибок ІНС. Тут на основі методів оптимальної лінійної стохастичної фільтрації забезпечується періодичне корегування розв'язку навігаційної задачі та списання похибок ІНС за дискретною інформацією з супутникової бортової апаратури. В будь-якому випадку оптимальне рішення для навігації полягає у використанні інтеграції одразу декількох систем, які доповнюють одна одну. Конкретна комбінація залежить від задач, покладених на мобільного робота, та наявних обмежень (точність, габаритні розміри, вартість й ін.).