



МАТЕРІАЛИ
XIII Міжнародної
науково-технічної конференції
“АВІА-2017”
19-21 квітня

Київ 2017

Міністерство освіти і науки України
Національна академія наук України
Національне космічне агентство України
Національний авіаційний університет
ДП «АНТОНОВ»
Національна Академія Авіації ЗАТ «Азербайджан Хава Йоллари»,
Азербайджан
Грузинський авіаційний університет, Грузія
Міжнародний університет логістики і транспорту у Вроцлаві, Польща
Польсько-український дослідний інститут, Польща
Технологічний університет Нінгбо, Китай
Коледж економіки та менеджменту Технологічного університету
Нінгбо, Китай
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва
Нанчангський авіаційний університет, Китай

МАТЕРІАЛИ

ХІІІ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ “АВІА-2017”

19-21 квітня

Київ 2017

Вимірювання прискорення та розрахунок швидкості рухомого об'єкта і пройденого шляху

Розглянуто принципи вимірювання прискорення та обробки даних сенсорів мобільного пристрою. Оцінено вплив прискорення вільного падіння на результати вимірювань акселерометрів. Як за основу використано дані вимірювань трьох проекцій прискорення на вісі системи координат пристрою. Результат обробки даних представлено у локальній ENU системі координат.

Вступ

Електронні кишенькові прилади є широко поширеними сьогодні. Більшість сучасних персональних пристроїв обладнана достатньою кількістю сенсорів для орієнтування та навігації у просторі. Зокрема система супутникової навігації, гіроскопи, акселерометри та магнітометри є стандартним набором сенсорів. Обробка даних від сенсорів є вкрай важливою задачею оскільки, виміряні дані мають бути переведені до відповідної системи числення, відфільтровані аномальні значення параметри, зведені до єдиної системи часу оскільки певні сенсори мають різну частоту видачі інформації [1,2]. Точність вимірювань має бути підвищена шляхом застосування фільтра Калмана. Крім того виміряні дані можуть бути використанні для обрахунку похідних параметрів. Наприклад за прискореннями можна оцінити швидкості та пройдений шлях.

Вимірювання прискорення

Акселерометри – це пристрої для вимірювання проекцій прискорень об'єктів, до яких вони прикріплені. За виміряним значенням прискорення обчислюють швидкості та положення рухомого об'єкта у просторі [3].

Відповідно до другого закону Ньютона ($F=mA$) датчик для вимірювання прискорення A будується на основі визначення сили F , що діє на певну масу m . Нульове прискорення виникає, коли сила F не діє на масу. Прискорення прямо пропорційне у випадку сталої маси величині сили. Методів побудови акселерометрів багато, проте загальним для них є наявність у їхній будові інерційної маси [3].

Розглянемо принцип дії акселерометра за допомогою спрощеної моделі акселерометра з інерційним чутливим елементом. Корпус акселерометра сполучений з корпусом приладу. Чутливим елементом є інерційна маса, що зафіксована між пружинами чи іншою пружною речовиною. Під дією сили інерції рухома маса відхиляється від початкового положення. Відхилення фіксується за величиною зміни ємності між двома пластинами конденсатора.

Вимірювання прискорення відбувається за вимірюванням його проєкцій на пов'язану з приладом Body систему координат, та перераховується для подальшого використання у локальній ENU системі координат. Перерахунок систем координат здійснюється аналогічно з використанням орієнтації рухомого об'єкта у просторі (кутів крену φ , ривання ψ та тангажа θ) за рівнянням [4]:

$$A_{ENU} = \begin{bmatrix} \sin \psi \cos \theta & \cos \varphi \cos \psi + \sin \varphi \sin \psi \sin \theta & -\sin \varphi \cos \psi + \cos \varphi \sin \psi \sin \theta \\ \cos \psi \cos \theta & -\cos \varphi \sin \psi + \sin \varphi \cos \psi \sin \theta & \sin \varphi \cos \psi + \cos \varphi \cos \psi \sin \theta \\ \sin \theta & -\sin \varphi \cos \theta & -\cos \varphi \cos \theta \end{bmatrix} \times A_b$$

де

$$A_b = \begin{bmatrix} A_{xb} \\ A_{yb} \\ A_{zb} \end{bmatrix} \text{ – матриця прискорення за осями у Body системі координат;}$$

$$A_{ENU} = \begin{bmatrix} A_{xENU} \\ A_{yENU} \\ A_{zENU} \end{bmatrix} \text{ – матриця прискорення за осями у ENU системі координат.}$$

Особливістю використання даних з акселерометрів є те, що результати вимірювання прискорення рухомого об'єкта будуть містити прискорення вільного падіння, що для поверхні Землі буде мати значення: $g = 9,8 \text{ м/с}$.

Тоді, для отримання значень прискорення рухомого об'єкта треба відняти величину прискорення вільного падіння від результатів вимірювання. У системі координат ENU це зробити досить легко, оскільки вісь Z направлена перпендикулярно вгору до поверхні еліпсоїда та приблизно співпадає з дією сили тяжіння Землі. Тобто:

$$A_{ENUG} = \begin{bmatrix} A_{xENU} \\ A_{yENU} \\ A_{zENU} - g \end{bmatrix}.$$

Загальне прискорення рухомого об'єкта може бути обчислене за формулою:

$$A_{ENUG} = \sqrt{A_{xENU}^2 + A_{yENU}^2 + A_{zENUG}^2}.$$

Оцінювання швидкості руху за прискоренням ґрунтується на використанні часу спостереження. Вимірювання прискорення відбувається у певний момент часу. Тоді можна записати, що

$$A_{ENUG} \ t_i = \begin{bmatrix} A_{xENU} \ t_i \\ A_{yENU} \ t_i \\ A_{zENUG} \ t_i \end{bmatrix}.$$

Оцінювання швидкості та пройденого шляху

Інтегруючи виміряні прискорення у певний момент часу t за відомими початковими значеннями параметрів ($V_{xENU}(t_{i-1})$, $V_{yENU}(t_{i-1})$, $V_{zENU}(t_{i-1})$), оцінюють швидкості:

$$V_{xENU} t_i = V_{xENU} t_{i-1} + \int_{t_{i-1}}^{t_i} A_{xENU} t dt ;$$

$$V_{yENU} t_i = V_{yENU} t_{i-1} + \int_{t_{i-1}}^{t_i} A_{yENU} t dt ;$$

$$V_{zENU} t_i = V_{zENU} t_{i-1} + \int_{t_{i-1}}^{t_i} A_{zENUG} t dt .$$

Чи у матричному вигляді:

$$V_{ENU} t_i = V_{ENU} t_{i-1} + \int_{t_{i-1}}^{t_i} A_{ENUG} t dt ,$$

де $V_{ENUG} t_i = \begin{bmatrix} V_{xENU} t_i \\ V_{yENU} t_i \\ V_{zENUG} t_i \end{bmatrix}$ – матриця швидкостей за осями ENU системи

координат.

Для рівноприскореного руху можна записати:

$$V_{ENU} t_i = V_{ENU} t_{i-1} + t_i - t_{i-1} A_{ENUG} t_i .$$

Загальну швидкість руху можна обчислити, знайшовши суму проєкцій:

$$V_{ENUG} = \sqrt{V_{xENU}^2 + V_{yENU}^2 + V_{zENUG}^2} .$$

Шлях, що проходить рухоме тіло, можна визначити через прискорення таким чином:

$$S_{ENU} t_i = S_{ENU} t_{i-1} + \int_{t_{i-1}}^{t_i} A_{ENUG} t dt^2 ,$$

де $S_{ENUG} t_i = \begin{bmatrix} S_{xENU} t_i \\ S_{yENU} t_i \\ S_{zENUG} t_i \end{bmatrix}$ – матриця пройденого шляху за осями ENU

системи координат на час t_i .

Для розрахунку пройденого шляху використовується формула:

$$S_{ENU} t_i = S_{ENU} t_{i-1} + t_i - t_{i-1} V_{ENU} t_{i-1} + \frac{t_i - t_{i-1}}{2} A_{ENUG} t_i .$$

Загальний шлях, що пройшов рухомий об'єкт обчислюється за формулою:

$$S_{ENUG} = \sqrt{S_{xENU}^2 + S_{yENU}^2 + S_{zENUG}^2} .$$

Результати обчислень

Для проведення експерименту було використано планшет «3Q»TS1010C з програмним забезпеченням «Data recording» для фіксації показань навігаційних сенсорів. На рис.1 наведено результати розрахунку загального прискорення з дією прискорення вільного падіння та на рис.2. без цього впливу.

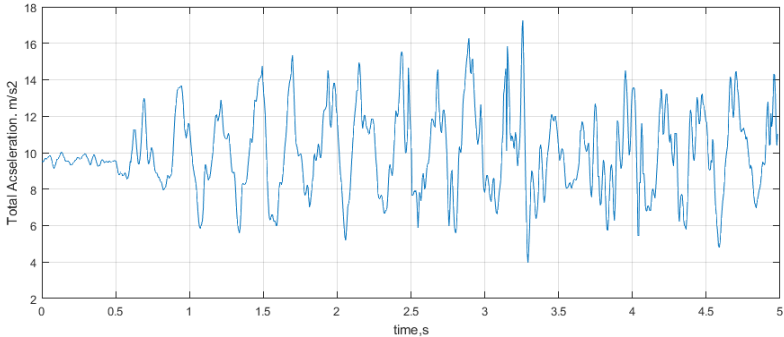


Рис.1. Результати вимірювання прискорювання

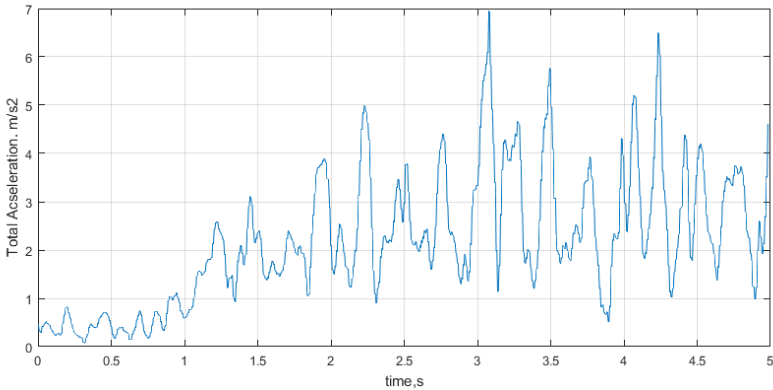


Рис.2. Прискорення без впливу Землі

Висновки

Виконано вимірювання параметрів прискорення за трьома його проекціями на вісі системи координат зв'язної з пристроєм. З результатів вимірювань видалено складову пов'язану з впливом прискорення вільного падіння та обчислено вектор швидкостей та пройдених шляхів за координатами. Оцінено загальну швидкість руху та пройдений шлях у ENU системі координат.

Список літератури

1. Mironyuk O.O. Tablet location tracking by inertial sensors / O.O. Mironyuk, M.V. Nychak, V.I. Zaporozhets, I.V. Ostroumov // III National Scientific Conference of young scientists and students «Problems and prospects of Aeronautics and Astronautics» 23 – 24 October 2014 y – Kyiv, 2014. – P. 13.
2. Nychak M.V Real time sensors data processing/ M.V. Nychak, V.I. Zaporozhets, I.V. Ostroumov // Polit. Challenges of science today: XIV International Scientific and Practical Conference of Young Researchers and Students, April 2–3, 2014 : theses. – К., 2014. – 35р.
3. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов – К.: НАУ, 2012 – 281с.
4. Навігаційні системи. Методи навігаційних визначень із використанням характеристик природних явищ: лабораторний практикум/ уклад.: В.Г. Мелкумян, І.В. Остроумов, Т.Л.Малютенко – К.: НАУ, 2016. – 70 с.



Наша адреса:
Національний авіаційний університет
проспект Космонавта Комарова, 1, кім. 1.238
03058, Київ-058,
тел.: (044) 406-71-56
факс: (044) 406-79-21
e-mail: avia@nau.edu.ua
<http://avia.nau.edu.ua>