

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ
ДП “КИЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ”
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Wrocław University
of Science and Technology

ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2024)

СІМНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

21-22 травня 2024 р.
Київ, Україна

ЗБІРКА ТЕЗ

Київ
2024

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL AVIATION UNIVERSITY
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE
SE "KYIV OBLSTANDARTMETROLOGY"
NATIONAL UNIVERSITY OF WATER AND
ENVIRONMENTAL ENGINEERING
WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Wrocław University
of Science and Technology

INTEGRATED INTELLECTUAL ROBOTECHNICAL COMPLEXES (IIRTC-2024)

17th INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNICAL
CONFERENCE

MAY 21-22ND, 2024
KYIV, UKRAINE

COLLECTED ARTICLES

KYIV
2024

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова:

Квасніков В.П. д.т.н., проф., Заслужений метролог України, зав. каф. Комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій НАУ, м. Київ.

Члени комітету:

Васильєв А.Й. д.е.н., проф., Президент Інженерної академії України, Заслужений діяч науки і техніки України, академік Міжнародної Інженерної академії, м. Харків.

Власенко В.О. д.т.н., проф., каф. технології університету Ополя, Республіка Польща.

Древецький В.В. д.т.н., проф., зав. каф. автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, віце-президент Інженерної академії України, м. Рівне.

Черновол М.І. член-кор. Національної аграрної академії України, д.т.н., проф., професор Центральноукраїнського НТУ, м. Кропивницький.

Острофські К. д.т.н., проф., декан Краківського сільськогосподарського університету, Республіка Польща.

Мічиньські Я. д.т.н., проф., зав. каф. Краківського сільськогосподарського університету, Республіка Польща.

Хойніцкі Ю. Ph.D., проф., заст. декана Варшавського університету природничих наук, Республіка Польща.

Kovela S. MSc, PhD, MBA, Associate Professor in Project Management, New College of the Humanities / Northeastern University College of Professional Studies, England, United Kingdom.

Khraisat Yahya S.H. Ph.D., Al_Balda Applied University / Al-Huson University College, Irdan, Jordan.

Friwaldsky M. Ph.D., Prof. Ing. Head of Department Mechatronics and Electronics, University of Žilina, Slovakia.

Відповідальний редактор: Шелуха О.О., к.т.н., доц. каф. комп'ютерної інтеженії та кібербезпеки, ДУ «Житомирська Політехніка» м. Житомир.

Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2024). Сімнадцята міжнародна науково-практична конференція 21-22 травня 2024 р., Київ, Україна. – К.: НАУ, 2024. – 516 с. (збірка тез).

Містить результати наукових, експериментальних та теоретичних досліджень вчених, аспірантів та студентів.

Матеріали можуть бути корисними науковим співробітникам, інженерно-технічним працівникам, аспірантам та студентам, що спеціалізуються в галузі автоматизованих систем управління робототехнічних комплексів, інформаційних технологій та метрології.

МЕХАНІЧНА МОДЕЛЬ МЕМС – АКСЕЛЕРОМЕТРА

Рудик А.В., д.т.н., професор, Національний університет водного господарства та природокористування, a.v.rudyk@nuwm.edu.ua;

Вознюк А.С., здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня, Національний університет водного господарства та природокористування

Наявність в інерціальній системі акселерометрів дозволяє визначати величини лінійних прискорень, які діють на мобільний робот (МР). Однак на МР недоцільно встановлювати механічні акселерометри через їх великі розміри, тому використовуються мініатюрні МЕМС-акселерометри, які вимірюють проекцію уявного прискорення, що є геометричною різницею між дійсним прискоренням МР і прискоренням вільного падіння. Для визначення швидкості та переміщення (координати) проводять інтегрування прискорення або сумування відліків для дискретного вихідного сигналу. Однак така оцінка параметрів руху є наближеною, залежить від частоти дискретизації і накопичує помилки [1]. Акселерометри можуть вимірювати статичні та динамічні прискорення, тому їх використовують як сенсори прискорення, вібрації і нахилу для отримання інформації про стан МР.

Модель шаруватої структури плоского ємнісного МЕМС-акселерометра маятникового типу зображена на рис. 1 [2]. Чутливим елементом такого сенсора є шарувата пластина, під'єднана до основи за допомогою пружного підвісу (перемички). Система, що складається з рухомого чутливого елемента з обкладками, утворює конденсатор змінної ємності. При переміщенні об'єкту, на якому розміщений акселерометр, з прискоренням на чутливий елемент діють сили інерції, що зміщує чутливий елемент відносно обкладок та змінює ємність конденсатора. При дії температурного поля в чутливому елементі акселерометра виникають температурні деформації, які змінюють форму чутливого елемента і утворюють похибки вимірювання ємності конденсатора [3].

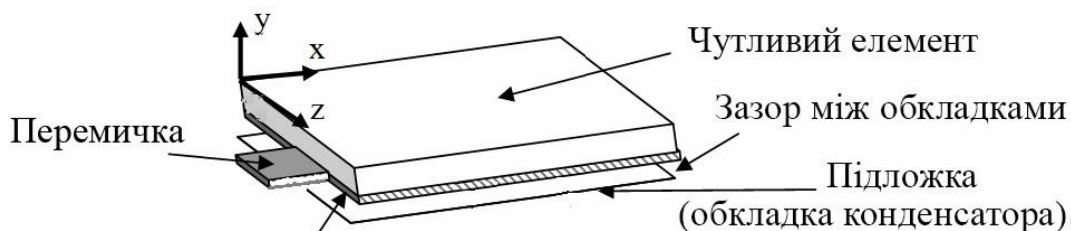


Рис. 1. Модель шаруватої структури ємнісного МЕМС-акселерометра

При роботі в широкому динамічному діапазоні прискорень для акселерометрів маятникового типу спостерігається нелінійний характер переміщень. Якщо детектувати прискорення, більші максимального, або при перевищенні напруги живлення сенсора, може виникнути незворотне зближення заряджених обкладинок мікроконденсатора, що призводить до ефекту їх “злипання” [4]. Критичні значення даних параметрів наводяться в паспортних даних акселерометра.

При розв'язанні задач навігації можна знехтувати наявністю нелінійностей, оскільки акселерометр працює в номінальному режимі, визначеному технічним завданням замовника. Тому в процесі випробувань засобів мобільної робототехніки не має виникати ситуацій перевищення динамічного діапазону прискорень.

Тому для отримання математичної формули передавальної функції акселерометра використано спрощену лінеаризовану механічну схему маятникової структури MEMC-акселерометра типу MMA7331LT (рис. 2).

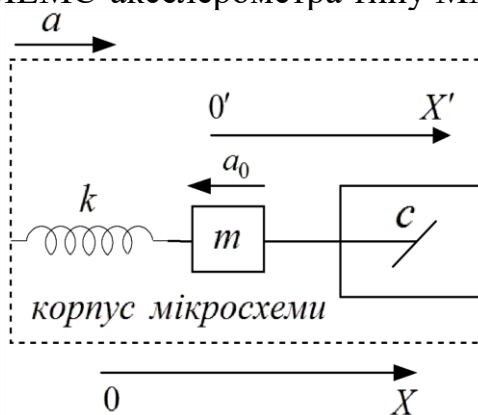


Рис. 2. Спрощена механічна модель MEMC-акселерометра MMA7331LT

На рис. 2 показані такі елементи сенсора:

- ефективна інерційна маса m , яка є мірою розміру рухомої частини і залежить від типу кріплення на кристалі;
- пружний елемент з коефіцієнтом жорсткості k , величина якого залежить від вибраного матеріалу і конструкції резонатора, а в резонансному режимі роботи й від конкретної моди коливань;
- демпферний елемент, який працює в повітряному середовищі, що має опір руху інерційної маси, при цьому коефіцієнт опору c враховує внутрішні та зовнішні втрати енергії в системі.

MEMC-акселерометр MMA7331LT (Frescale Semiconductor) може працювати в одному з двох діапазонів вимірювання $\pm 4g$ та $\pm 12g$ [4] і має три ортогональні осі чутливості для отримання просторового вектора стану, який дає повну інформацію про лінійне прискорення в інерціальному просторі.

В механічній схемі прискорення об'єкту a спрямовано вздовж осі $0X$ інерціальної системи відліку (ІСВ), зв'язаної з Землею. Прискорення a_0 зв'язано з системою координат $0'X'$, прив'язаної до корпусу сенсора, а вісь чутливості акселерометра направлена вздовж осі $0X$ інерціальної системи відліку.

Підсумкове прискорення інерційної маси в ІСВ визначається як $\vec{A} = \vec{a} + \vec{a}_0$, а рух інерційної маси з прискоренням виникає за рахунок сили $\vec{F} = m \cdot \vec{A}$.

Для рис. 2 при русі з прискоренням a на інерційну масу діють сили пружності $F_{II} = k \cdot x'$ та опору $F_O = c \cdot \frac{dx'}{dt}$, а рівняння руху інерційної маси

$$m \cdot (a - a_0) = k \cdot x' + c \cdot \frac{dx'}{dt}. \quad (1)$$

В зв'язаній з сенсором системі відліку $0'X'$ модуль прискорення є другою похідною переміщення $a_0 = \frac{d^2 x'}{dt^2}$, тому (1) можна переписати так:

$$m \cdot \frac{d^2 x'}{dt^2} + k \cdot x' + c \cdot \frac{dx'}{dt} = m \cdot a. \quad (2)$$

Формула (2) є диференціальним рівнянням відносно координати x' , при використанні до якого прямого перетворення Лапласа при нульових початкових умовах, де $X'(p)$ та $a(p)$ – зображення за Лапласом переміщення інерційної маси і прискорення об'єкту, отримують диференціальне рівняння в операторній формі:

$$m \cdot p^2 \cdot X'(p) + k \cdot X'(p) + c \cdot p \cdot X'(p) = m \cdot a(p), \quad (3)$$

Для спрощеної механічної системи передавальна функція за каналом “прискорення – зміщення інерційної маси” визначається як [5]

$$W_c(p) = \frac{X'(p)}{a(p)} = \frac{m}{m \cdot p^2 + c \cdot p + k}. \quad (4)$$

Останнє рівняння і є механічною моделлю МЕМС-акселерометра у формі передавальної функції.

Список використаних джерел

1. Рудик, А. В. Використання медіанної та діагностичної фільтрації в мобільних робототехнічних комплексах для попередньої обробки сигналів / А. В. Рудик // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2016. – № 1 (8). – С. 73-78.
2. Рудик, А. В. Акселерометричні інерціальні мікросистеми орієнтації / А. В. Рудик // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП-17-2017). Матеріали 17-ої міжнародної НТК. – Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2017. – С. 103-105.
3. Hol, J. D. Pose Estimation and Calibration Algorithms for Vision and Inertial Sensors / J. D. Hol // Division of Automatic Control Department of Electrical Engineering Linköping University, SE-581 Linköping, Sweden. – May 2005. – 107 p.
4. Corke, P. An introduction to inertial and vision sensing / P. Corke, J. Lobo, J. Dias // International Journal of Robotics Research. – June 2007. – Volume 26, Issue 6. – P. 519-535.
5. Рудик, А. В. Використання фільтрів Калмана для обробки шумових процесів / А. В. Рудик, А. О. Семенов, О. О. Семенова // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2013). Матеріали 6-ої міжнародної НПК. – Київ : НАУ, 2013. – С. 202-204.

УДК 004

Наукове видання

ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2024)

СІМНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

21-22 травня 2024 р.

Київ, Україна

Збірка тез

Тези надруковані в авторській редакції на одній із двох робочих мов конференції

Оригінал-макет

підготовлено на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Аерокосмічного факультету

Національного авіаційного університету

Комп'ютерна верстка:

Шелуха О.О.

Підп. до друку 20.05.24. Формат 60x84/16.

Папір офс. Гарн. Times New Roman.

Ум. друк. арк. 24,5. Тираж 100 прим. Замовлення № 5

Віддруковано у СПД «Андрієвська Л.В.»

м. Київ, вул. Бориспільська, 9,

Свідоцтво серія ВОЗ № 919546 від 19.09.2004 р.