

інтра- та інтермолекулярна взаємодія, величина якої напрямлено регулюється [2, с.67].

Представлені результати досліджень дозволяють, на рівні загальної теорії дисипативних структур, слугувати основою для розроблення принципу організації узагальненого технологічного процесу створення наповнених, пластифікованих, підданих дії електричних, механічних, радіаційних полів, гетерогенних систем на основі гнучколанцюгових полімерів [1, с. 315].

ЛІТЕРАТУРА

1. Колупаєв Б. Б. Обчислювальні методи фізикохімії процесів переносу. м. Рівне. «Волинські береги». 2023. с. 315.
2. Kolupaev B. B. Functioning of Dissipation of Metal-Nano-Dispersed Polymeric Composite. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2017. v. 53. №1. p. 67-73.

АНАЛІЗ ВИХІДНИХ СИГНАЛІВ ІНЕРЦІАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО МОДУЛЯ INVENSENSE MPU-6050

Рудик А. В.

*доктор технічних наук, професор
Національного університету водного
господарства та природокористування*

Кустовський О. С.

*здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
Національного університету водного
господарства та природокористування*

Для розв'язання задачі оцінки переміщення та орієнтації мобільного робота (МР) часто використовуються безплатформні інерціальні навігаційні системи (БІНС), до складу яких найчастіше входять триосьові акселерометри, гіроскопи і за потребою магнітометри.

Використовуючи систему гіроскопів, теоретично можна отримати всі три кути відхилення (крену, тангажу та курсу). Для наземних МР найбільш цікавим є кут повороту навколо вертикальної осі (курсу або ристання). Однак при практичній реалізації з'ясовуються нюанси використання гіроскопів на МР [1].

По-перше, на МР недоцільно встановлювати механічні гіроскопи через їх великі розміри. Тому використовуються мініатюрні гіроскопи, виконані у вигляді мікро-електромеханічних систем (МЕМС), у яких інформативним параметром є кутова швидкість, при цьому необхідно проводити інтегрування або просте сумування (для аналогового або дискретного вихідного сигналу). Тому оцінка повороту навколо осі є наближеною і залежить від частоти дискретизації сигналу [2]:

$$\alpha(t) = \int_0^t \omega(t) dt; \quad \alpha_{i+1} = \alpha_i + \omega_i \Delta t.$$

По-друге, у гіроскопів наявний дрейф нуля, що приводить до зміни кута навіть в статичному положенні. Величина дрейфу залежить від типу гіроскопа [3], а діапазони накопиченої помилки для різних типів сенсорів наведені в [4].

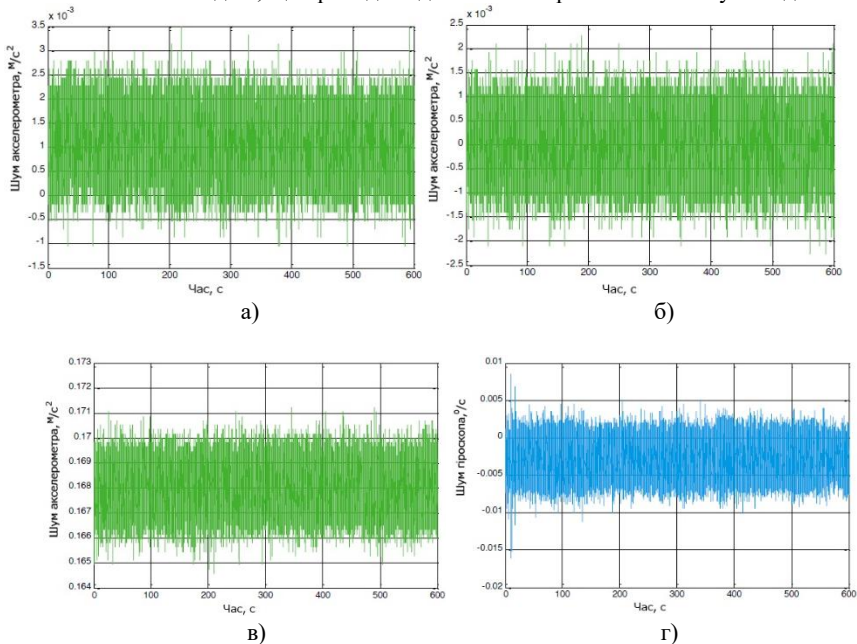
По-третє, інтегрування і обробка даних інерціального сенсора з необхідною для достатньої точності частотою створює високе обчислювальне навантаження, для якого потрібно виділяти окремий мікроконтролер.

При аналізі точнісних характеристик БНС, викликаних похибками гіроскопів, найбільша увага приділяється нестабільності (зміщенню) нуля та невиключеним систематичним похибкам.

Для оцінки зашумленості вихідних сигналів акселерометра і гіроскопа використано середовище MatLab. Зчитування відкаліброваних значень сенсора проводилось протягом 10 хв., після чого всі результати було імпортовано в одномірний масив. В MatLab для обчислення стандартного відхилення елементів масиву використано функцію `std()`. Зашумлені вихідні сигнали відкаліброваних акселерометра і гіроскопа для кожної осі наведені на рис. 1.

Аналізуючи залежності (рис. 1), робимо висновок, що вихідні сигнали за більшістю осей сенсора зміщені відносно нуля. Такі зміщення враховуються при подальших обчисленнях введенням постійних корегуючих коефіцієнтів.

Далі проведено зчитування даних з реєстрів сенсора MPU 6050 з частотою 10 Гц. Показання гіроскопа проінтегровані мікроконтролером для визначення кутових швидкостей відносно трьох осей (результати наведені на рис. 2). На рис. 2, в показано, як відбувається накопичення помилки при інтегруванні показань (так званий дрейф нуля, при цьому сенсор знаходиться в нерухомому стані, а значення кута збільшується з приблизно сталою швидкістю). На рис. 2, а видно, що показання акселерометра зашумлені високочастотною завадою, що приводить до помилок при обчисленні кутів відхилення.



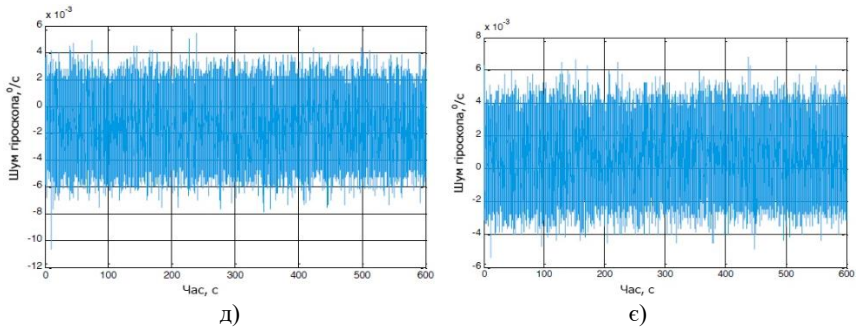


Рис. 1. Шуми вихідних сигналів акселерометра (а – вісь X, б – вісь Y, в – вісь Z) та гіроскопа (г – вісь X, д – вісь Y, е – вісь Z) сенсора MPU 6050

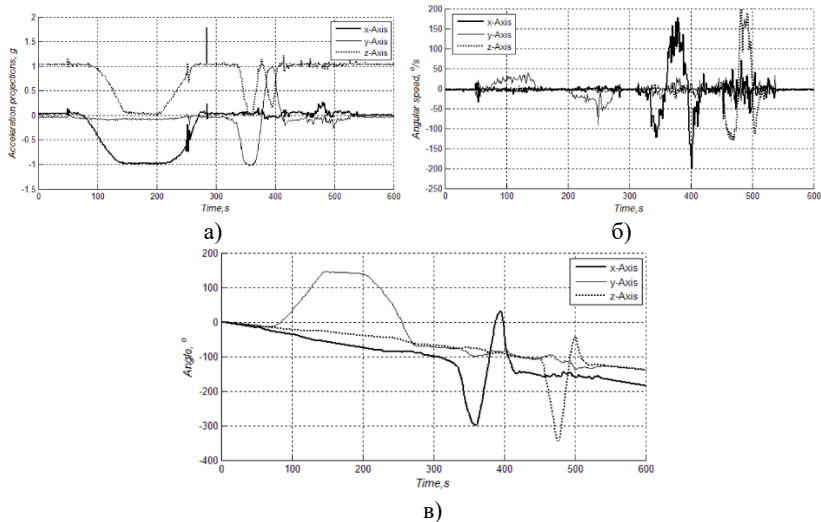


Рис. 2. Показання сенсора MPU 6050 за осями акселерометра (а), за осями гіроскопа (б) та дані про кути повороту при інтегруванні показань гіроскопа (в)

Аналіз залежностей (рис. 1) показує, що вихідні сигнали більшості осей сенсора суттєво зміщені відносно нуля та зашумлені високочастотною завадою. Такі зміщення мають бути враховані при подальших обчисленнях введенням постійних корегуючих коефіцієнтів. Визначення кута при інтегруванні кутової швидкості (рис. 2) є неточним через накопичення помилки (низькочастотний шум), а акселерометр вносить високочастотну заваду. Тому для зменшення впливу шуму необхідно є обробка даних сенсора (акселерометра та гіроскопа) альфа-бета фільтром або фільтром Калмана [5, 6].

ЛІТЕРАТУРА

1. Рудик А. В. Наукові основи та принципи побудови приладової системи вимірювання прискорення мобільного робота. Монографія. А. В. Рудик, В. П. Квасніков. Харків : Мачулін, 2018. 272 с.

2. Рудик А. В. Методи оцінки просторового положення об'єктів. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2016). Матеріали 9-ої міжнародної НПК. Київ: НАУ, 2016. С. 31-33.
3. Рудик А. В. Багатофункціональні сенсори для мобільної робототехніки. Вісник Інженерної академії України. 2016. №1. С. 30-36.
4. Голован А. А. Математические основы навигационных систем. Ч. 1. Математические модели инерциальной навигации. А. А. Голован, Н. А. Парусников. М.: МГУ, 2011. 136 с.
5. Рудик А. В. Використання медіанної та діагностичної фільтрацій 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.
6. Рудик А. В. Синтез та моделювання цифрових фільтрів програмними засобами MATLAB. А. В. Рудик. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (Хмельницький). 2017. № 3. С. 87-93.

РЕАЛІЗАЦІЯ ПАРАЛЕЛІЗМУ ПОТОКІВ КОМАНД І ДАНИХ ГРАФІЧНИХ ПРОЦЕСОРІВ

Завальнюк Є. К.

*здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
Вінницького національного технічного університету*

Романюк О. Н.

*доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри програмного забезпечення,
Вінницького національного технічного університету*

Вступ. Рендеринг [1, с. 63] є етапом графічного конвеєра, що включає застосування багатьох складних обчислень, зокрема, матричних і векторних операцій. Матричні та векторні операції рендерингу застосовуються для переходу між системами координат, здійснення проєкцій, трансформацій об'єктів, розрахунку моделей відбивної здатності поверхні. Важливою є можливість їх оптимального обчислення. Тому для реалізації трудомістких графічних операцій використовуються спеціальні архітектури графічних процесорів [2] (GPU). Архітектури GPU можуть бути класифіковані за принципом роботи складових процесорів згідно з таксономією Флінна [3].