

АЛГОРИТМИ ОПРАЦЮВАННЯ СЕНСОРНИХ ДАНИХ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З ІГРОВИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ЧЕРЕЗ МАТЕРІАЛЬНИЙ ІНТЕРФЕЙС

Зі зростанням популярності інтерактивних віртуальних середовищ підвищується інтерес до матеріальних інтерфейсів, які дають змогу взаємодіяти з цифровими об'єктами за допомогою фізичних дій користувача. На відміну від традиційних графічних засобів взаємодії, такий підхід забезпечує більш природне керування, підвищує рівень занурення та розширює можливості використання ігрових і навчальних систем [1]. Одним із перспективних напрямів у цій сфері є застосування інерціальних вимірювальних модулів, які дозволяють відстежувати нахили та рухи фізичного пристрою та перетворювати їх у команди керування віртуальним середовищем [2].

Сучасні інтерактивні системи, побудовані на основі сенсорів, мають не лише забезпечувати передачу даних у режимі реального часу, а й виконувати їх попереднє опрацювання. Необроблені дані, отримані з акселерометра та гіроскопа характеризуються наявністю шумів, дрейфу та короточасних сплесків, що унеможливує їх безпосереднє використання для стабільного керування. Крім того, ефективність такої системи залежить від правильного подання просторових обертань, стійкого serial-обміну між апаратною та програмною частинами та адекватного формування тактильного зворотного зв'язку [3, 4].

Метою даної роботи є підвищення стабільності та точності керування віртуальним ігровим середовищем через матеріальний інтерфейс на основі розроблення алгоритмічного та програмного забезпечення для опрацювання сенсорних даних.

Для реалізації проєкту створено апаратно-програмний комплекс, що поєднує фізичний контролер на основі інерціального сенсора, засоби тактильного зворотного зв'язку та програмний модуль, реалізований у середовищі Unreal Engine 5. Передача даних між апаратною та програмною частинами здійснюється через СОМ-порт, що забезпечує двосторонній обмін сенсорними значеннями та керувальними сигналами.

Ключовим елементом системи є алгоритм опрацювання даних інерціального сенсора. Для підвищення стабільності керування використано комплементарний фільтр, який поєднує короткострокову точність гіроскопа з довгостроковою стабільністю акселерометра. Додатково застосовано

експоненційне ковзне середнє, що дозволило зменшити ривки під час керування віртуальним лабіринтом [3].

У попередньому варіанті дослідження для точного просторового обертання об'єктів використовувався підхід на основі кватерніонів [4]. Його застосування дозволяє уникати накопичення похибок і проблеми gimbal lock, характерної для кутових представлень, що є важливим для коректної інтерпретації орієнтації об'єктів у тривимірному середовищі.

Важливою складовою роботи стало вдосконалення алгоритму serial-обміну. Було змінено логіку читування даних: замість опрацювання одного рядка за виклик реалізовано пакетне читання всіх доступних рядків. Це дозволило усунути накопичення затримки, відмовитися від періодичного очищення буфера та підвищити актуальність вхідних даних. Частоту передачі даних з мікроконтролера також збільшено до 100 Гц, що позитивно вплинуло на плавність і стабільність керування.

Окрему увагу приділено алгоритму вібраційного зворотного зв'язку. Сила зіткнення об'єкта з перешкодами визначається за імпульсом удару, нормалізується та нелінійно масштабується, а напрям удару проєціюється на напрями розміщення трьох вібромоторів. Додатково реалізовано логіку пріоритету сильнішого сигналу, що дозволило зробити тактильний зворотний зв'язок більш передбачуваним.

Результатом роботи є алгоритмічне та програмне забезпечення, а також матеріальний інтерфейс, що забезпечує стійке зчитування сенсорних даних, їх фільтрацію, перетворення у сигнали керування віртуальним середовищем та формування тактильного зворотного зв'язку в режимі реального часу. Реалізовані алгоритми дозволили підвищити стабільність системи, покращити плавність керування та забезпечити більш природну взаємодію користувача з ігровим середовищем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tangible user interfaces for enhancing user experience of Virtual Reality cultural heritage applications for utilization in educational environment / V. Hulusic et al. *Journal on Computing and Cultural Heritage*. 2023. Vol. 16, No. 2. P. 1–24.
2. Krestanova A., Cerny M., Augustynek M. Review: development and technical design of tangible user interfaces in gaming applications. *Sensors*. 2021. Vol. 21, No. 13. P. 1–41.
3. Orientation determination in IMU sensor with complementary filter / M. N. Öz et al. *Turkish Journal of Forecasting*. 2022. Vol. 6, No. 1. P. 34–39.
4. Keeping a Good Attitude: A Quaternion-Based Orientation Filter for IMUs and MARGs / R. Valenti et al. *Sensors*. 2015. Vol. 15, No. 8. P. 19302–19330.