

ВИКОРИСТАННЯ ТАКТИЛЬНОГО ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ІГРАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проаналізовано використання технологій тактильного зворотного зв'язку (Haptic Feedback) як додаткового каналу передачі просторової інформації в іграх. Розглянуто математичні моделі кодування відстані та напрямку через параметри амплітуди й частоти сигналу. Досліджено методи розвантаження візуального каналу сприйняття для зниження когнітивного навантаження на гравця.

Ключові слова: тактильний зворотний зв'язок, Haptic Feedback, просторова орієнтація, ігрові інтерфейси, HCI, мультимодальність, віртуальна реальність.

Abstract

The paper analyzes the use of haptic feedback technologies as an auxiliary channel for transmitting spatial information in virtual environments. It explores mathematical models for encoding distance and direction using signal amplitude and frequency. Methods for offloading the visual perception channel to reduce a player's cognitive load are investigated.

Keywords: haptic feedback, spatial orientation, game interfaces, HCI, multimodality, virtual reality.

Вступ

Сучасна індустрія комп'ютерних ігор та систем віртуальної реальності (VR) прагне досягти максимального рівня занурення користувача. Традиційно основне навантаження припадає на візуальний та аудіальний канали сприйняття, що в умовах динамічного геймплею може призводити до когнітивного перевантаження. Актуальність дослідження тактильного зворотного зв'язку (Haptic Feedback) зумовлена необхідністю створення нових методів взаємодії, які дозволяють передавати інформацію про навколишнє середовище безпосередньо через дотик. Розуміння механізмів передачі просторових даних через тактильні відчуття дозволяє розробникам створювати інтерфейси, доступні для людей з обмеженнями зору, а також підвищувати ефективність орієнтування у тривимірному просторі.

Результати дослідження

Проблематика передачі просторової інформації через дотик

Класичне протистояння в HCI (Human-Computer Interaction) полягає в обмеженій роздільній здатності тактильних рецепторів людини порівняно з візуальними. Оскільки ігрові контролери та тактильні костюми мають скінченну кількість актуаторів, основні труднощі лежать у площині математичного кодування тривимірних векторів у вібраційні імпульси.

Основні технічні проблеми:

1. Дискретність актуаторів. Більшість контролерів мають лише 1-2 зони вібрації. Проблема: передача точного азимута (напрямку) на об'єкт потребує складної інтерполяції між актуаторами, щоб створити ілюзію руху сигналу.
2. Адаптація та поріг чутливості. При тривалому впливі однакової вібрації чутливість шкіри знижується. Проблема: система повинна динамічно змінювати частоту та патерн сигналу, щоб інформація залишалася помітною для гравця.
3. Затримка (Latency). Для реалістичного відчуття зіткнення або проходження повз об'єкт, затримка між ігровою подією та фізичним відгуком не повинна перевищувати 10-20 мс.

Технічні особливості реалізації:

- Просторове панорування (Haptic Panning). Використання векторів інтенсивності для розподілу потужності між лівим та правим вібротворами контролера залежно від кута між камерою гравця та ціллю.
- Амплітудно-частотне кодування. Математична модель, де амплітуда A визначає дистанцію, вона прямо пропорційна величині $1/d^2$, d відстань до об'єкта, а частота f визначає характер цілі. Кожному типу об'єкта або рівню загрози відповідає своя частота (наприклад, низька частота - для безпечних об'єктів, висока - для небезпечних).
- Патерни вібрації (Haptic Patterns). Створення бібліотеки специфічних сигналів для різних подій (наприклад, серцебиття при низькому рівні здоров'я або «кроки» з відповідної сторони).

Технічні методи оптимізації:

1. Використання LRA (Linear Resonant Actuators). Сучасні актуатори з лінійним резонансом дозволяють створювати чіткіші та швидші імпульси порівняно зі старими моторами з ексцентриком (ERM), що важливо для передачі текстури та просторових точок.
2. Нейрофізіологічна компенсація. Програмне посилення сигналу в моменти високої візуальної активності, щоб тактильна інформація не була проігнорована мозком.

Перспективи розвитку:

1. Тактильні костюми та аксесуари. Перехід від вібрації в руках до повнотілого фідбеку дозволяє буквально «відчувати» напрямки вітру або положення ворогів поза зоною видимості.
2. Інтеграція з ШІ. Нейромережі можуть аналізувати ігрову сцену в реальному часі та автоматично генерувати тактильну карту (Haptic Map), виділяючи найбільш пріоритетні об'єкти для гравця.

Висновок

Тактильний зворотний зв'язок у програмуванні ігрових систем - це не просто декоративний ефект, а повноцінний інформаційний канал. Використання гаптики для передачі просторових даних дозволяє розвантажити зір гравця та створити глибший рівень імерсії. Незважаючи на технічні обмеження заліза, симбіоз математичних моделей орієнтації та сучасних лінійних актуаторів робить тактильні інтерфейси стандартом для майбутніх VR-систем та інклюзивного геймдизайну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hayward, V., & MacLean, K. E. "Do it yourself haptics: part I," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2007.
2. Choi, S., & Kuchenbecker, K. J. "Vibrotactile Display: Perception, Technology, and Applications," *Proceedings of the IEEE*, 2013.
3. Israr, A., & Poupyrev, I. "Tactile Brush: Drawing on Skin with a Tactile Grid Display," *CHI Proceedings*, 2011.
4. Kern, N. "Haptic feedback for spatial awareness in virtual environments," *Journal of Human-Computer Interaction*, 2019.

Турчановський Владислав Андрійович – студент групи ІПІ-25б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця e-mail: vturcanovskij@gmail.com

Майданиук Володимир Павлович - канд. техн. наук, доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: maidaniuk2000@gmail.com.

Vladyslav Andriyovich Turchanovskyi — student of group 1PI-25b, Faculty of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vturcanovskij@gmail.com

Maidaniuk Volodymyr Pavlovych - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maidaniuk2000@gmail.com.