О. Супрун, Ж. Дейнеко

МУЛЬТИМОДАЛЬНА СЕНСОРНА ІМЕРСІЯ В XR-СЕРЕДОВИЩАХ

O. Suprun, Zh. Deineko

MULTIMODAL SENSORY IMMERSION IN XR ENVIRONMENTS

Сучасні системи віртуальної та доповненої реальності поступово переходять від відтворення зображення до моделювання комплексного сенсорного досвіду. Традиційна VR-взаємодія переважно спирається на зір і слух, тоді як фізична взаємодія людини зі світом додатково включає дотик, пропріоцепцію, вестибулярні та інші сигнали. Саме тому реалістичність цифрового середовища визначається не лише якістю графіки, а й узгодженістю різних каналів сприйняття. Огляд 105 досліджень мультимодальної VR показав позитивний вплив додаткових сенсорних стимулів у 84,8 % проаналізованих праць, а хаптика була найчастіше застосованим додатковим стимулом у 86,6 % досліджень.

Мультимодальна сенсорна інтеграція — це процес, за якого нервова система об'єднує інформацію від різних органів чуття для побудови узгодженого уявлення про подію або об'єкт. У цифровому середовищі цей принцип відтворюється штучно: система генерує кілька сигналів, які мають сприйматися як прояв однієї події. Тому удар по віртуальному предмету може одночасно супроводжуватися зміною зображення, коротким звуковим імпульсом і вібрацією контролера.

Дослідження мультимодального зворотного зв'язку демонструють, що візуальний, аудіальний і тактильний канали мають різну інформаційну природу та різні вимоги до кодування. Візуальний канал ефективний для просторової структури, форми, кольору й руху; слуховий — для подій, напрямку та часової динаміки; тактильний — для контакту, удару, вібрації, тиску та опору. У сукупності вони можуть формувати більш переконливу модель події, ніж кожен канал окремо (рис. 1).



Рис. 1. Концептуальна модель мультимодальної сенсорної імерсії.

Зоровий канал формує основну просторову модель цифрового середовища: положення об'єктів, перспективу, глибину, освітлення, рух та зміни стану сцени. У VR він також забезпечує візуальну відповідність між рухами голови й зміною точки огляду. Проте навіть високоякісна графіка не відтворює повністю фізичні характеристики об'єктів. Обмеження стосуються, зокрема, глибини, масштабу та взаємодії з поверхнями.

Аудіальний супровід виконує щонайменше три функції: сигналізує про подію, передає просторову інформацію та підтримує відчуття безперервності середовища. Просторовий звук дає змогу створювати враження джерела, розташованого позаду, збоку або на певній висоті від користувача. Особливо важливою є синхронізація звуку з візуальною подією. Якщо зображення удару та його звук мають помітну затримку, мозок може сприймати їх як різні події. Аудіальний канал також може компенсувати частину навантаження на зір, повідомляючи про зміни поза центральним полем зору. У мультимодальних сценаріях це створює додатковий інформаційний контур, який особливо корисний у тренажерах, іграх, навігаційних системах та інтерактивному навчанні.

Тактильний канал є принципово важливим для моделювання контакту. Вібрація, тиск, сила опору та короткі імпульси можуть повідомляти користувачу про зіткнення, натискання, захоплення, зміну поверхні або фізичний опір. Сучасні хаптичні пристрої розвиваються від простих вібромоторів до рукавичок, екзоскелетних елементів і м'яких актуаторів. Наприклад, нові двомодові системи поєднують високочастотну вібрацію з низькочастотним пневматичним тиском, розширюючи діапазон тактильних відчуттів (таблиця 1).

Табл. 1.

Порівняльна характеристика сенсорних каналів

Канал	Основна функція	Тип сигналу	Перевага	Типове обмеження
Зоровий	Просторова модель	Зображення, рух, глибина	Висока інформаційна місткість	Візуальні конфлікти, втома
Слуховий	Події та напрямок	Мова, шум, просторовий звук	Швидке попередження	Маскування, складність локалізації
Тактильний	Контакт і взаємодія	Вібрація, тиск, сила	Фізична переконливість	Обмеження актуаторів і точності
Комбінований	Цілісна подія	Синхронний мультимодальний сигнал	Вища присутність і керованість	Потреба у синхронізації

Ключовим параметром мультимодальної системи є не кількість стимулів, а їхня узгодженість. Візуальна, аудіальна й тактильна події повинні мати спільну часову мітку, просторову прив'язку та зрозумілу причинно-наслідкову структуру. Платформи для дослідження мультимодальної інтеграції спеціально забезпечують часову когерентність стимулів, оскільки вона є критичною умовою кросмодального об'єднання. Таким чином, архітектура системи має передбачати єдиний механізм керування подіями, який розподіляє відповідний сигнал між каналами (рис. 2). Це дає змогу уникати ситуації, коли користувач бачить контакт раніше, ніж відчуває його, або чує звук із неправильного напрямку.

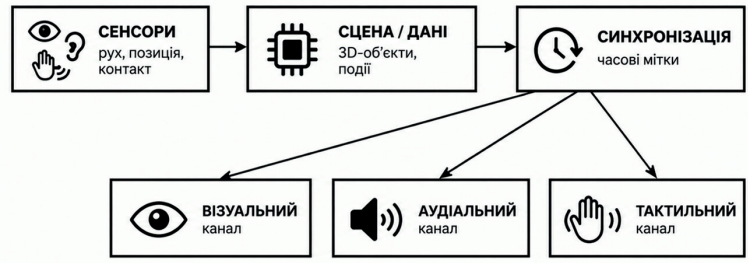


Рис. 2. Узагальнена архітектура мультимодальної сенсорної системи.

Основними технологічними проблемами залишаються точність часової синхронізації, просторове позиціонування, затримка системи, комфорт носимих пристроїв, енергоспоживання та масштабованість хаптичних рішень. Додатковою проблемою є сенсорне перевантаження: збільшення кількості стимулів не завжди означає покращення досвіду. Система має відбирати лише ті сигнали, які доповнюють один одного.

Перспективним напрямом є адаптивна мультимодальність, у якій інтенсивність кожного каналу змінюється залежно від контексту, дій користувача та рівня навантаження. Важливу роль можуть відіграти алгоритми машинного навчання, здатні прогнозувати необхідність тактильного або аудіального підсилення. Паралельно розвиваються нові хаптичні актуатори, здатні створювати комбінації вібрації, імпульсу та сили. Мультимодальна сенсорна імерсія є переходом від «віртуального зображення» до комплексного цифрового середовища, у якому різні сенсорні канали формують єдину подію. Найвищий потенціал виникає не від простого додавання каналів, а від їхньої синхронізації та семантичної узгодженості. Тому перспективи розвитку VR/AR значною мірою пов'язані з переходом до адаптивних систем, які керують сенсорними стимулами як єдиним інформаційним комплексом.

К. Прокоф'єва, О. Решетілова

ПУБЛІКАЦІЯ АРХІВНИХ ДОКУМЕНТІВ ЯК ДОДАТКОВА МОЖЛИВІСТЬ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІСТОРИЧНОЇ ПАМ'ЯТІ ТА СПРИЯННЯ КУЛЬТУРНОМУ РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА

K. Prokofieva, O. Reshetilova

PUBLICATION OF ARCHIVAL DOCUMENTS AS AN ADDITIONAL OPPORTUNITY FOR PRESERVING HISTORICAL MEMORY AND PROMOTING THE CULTURAL DEVELOPMENT OF SOCIETY

Публікаторська діяльність архівів є важливою складовою їх роботи, адже вона забезпечує доступ до документів і матеріалів, що зберігаються в архівах, а також сприяє популяризації історичної пам'яті та культури. Основні аспекти публікаторської діяльності архівів включають передусім видання документів. Архіви часто випускають збірники документів, які можуть містити як оригінальні матеріали, так і їхні коментарі, аналізи та дослідження. Це допомагає розширити