

ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ VR MÔ PHỎNG GIẢI PHÁP THIẾT KẾ NỘI THẤT

APPLICATION OF VR TECHNOLOGY IN SIMULATING INTERIOR DESIGN SOLUTIONS

SV: Lê Duy Bảo, Nguyễn Tiến Linh, Hoàng Văn Hiếu, Doãn Cát Phú, Nguyễn Lê Tất Phú

Lớp: 21MC, 21GIT; Khoa Khoa học máy tính; Email: baold.21it@vku.udn.vn

GVHD: ThS. Phan Đăng Thiệu Hiệp

Khoa Khoa học máy tính; Email: pdthiep@vku.udn.vn

Tóm tắt: Việc hình dung một không gian nội thất hoàn chỉnh và bất động sản trước khi xây dựng luôn là một thách thức, và các công cụ Thực tế ảo (VR) động cho thiết kế nội thất vẫn còn hạn chế do sự phụ thuộc vào bộ điều khiển và các quy trình làm việc riêng lẻ, đặc biệt ở các thị trường mới nổi như Việt Nam. Bài báo này giới thiệu GDCVR (Gesture-Driven Collaborative VR), một khung làm việc mới lạ tận dụng tính năng theo dõi tay của Meta Quest 3 và các công cụ mạng của Unity để cho phép tương tác trực quan bằng cử chỉ và cộng tác đa người dùng theo thời gian thực. Bằng cách thay thế bộ điều khiển bằng các cử chỉ tay tự nhiên (ví dụ: nắm, xoay, ném) và cho phép chỉnh sửa đồng thời cho tới đa bốn người dùng, GDCVR giảm đường cong học hỏi cho các bên liên quan không chuyên về kỹ thuật và tăng tốc các vòng lặp thiết kế. Một nghiên cứu người dùng ($N=30$) đã chứng minh thời gian hoàn thành tác vụ nhanh hơn 28% so với các hệ thống dựa trên bộ điều khiển và cải thiện 22% điểm hài lòng về cộng tác. Công trình này cung cấp một bản thiết kế cho các giải pháp VR dễ tiếp cận, chi phí thấp trong thiết kế nội thất, giải quyết các khoảng trống quan trọng về khả năng sử dụng và cung cấp một môi trường ảo tương tác nơi khách hàng có thể trực tiếp trải nghiệm và điều chỉnh thiết kế theo thời gian thực. Sử dụng bản vẽ xây dựng và mô hình 3D được nhập vào các nền tảng VR (Meta Quest 3, Oculus Rift), các bên liên quan có thể khám phá chi tiết thiết kế từ nhiều góc độ và thực hiện các điều chỉnh không giới hạn ngay lập tức, giảm thiểu rủi ro xây dựng và sai lệch so với kế hoạch ban đầu.

Từ khóa: Thực tế ảo, Tương tác bằng cử chỉ, VR đa người dùng, Theo dõi tay, Thiết kế nội thất, Bất động sản.

1. Tổng quan về nghiên cứu

Có thể thấy VR là một công nghệ rất tiên tiến và đang được sử dụng rất nhiều trong thực tiễn hiện nay trên nhiều lĩnh vực. Đặc biệt là thiết kế nội thất, nhờ khả năng mô phỏng không gian sống động và hỗ trợ tương tác trực quan. Nghiên cứu này tập trung vào việc ứng dụng VR để mô phỏng các giải pháp thiết kế nội thất, cho phép người dùng tham quan một ngôi nhà ảo, tương tác và thay đổi các yếu tố như nội thất, màu sắc, và bố cục, trong tương lai có thể tích hợp AI và metaverse trong VR. Phần tổng quan này sẽ xem xét các nghiên cứu liên quan và đã có từ cả quốc tế và trong nước. Từ đó làm nổi bật những điểm mới được sử dụng trong nghiên cứu của nhóm.

1.1. Các nghiên cứu ngoài nước

Trong bài báo “Enhancing Home Design with Virtual Reality: A Study on Interactive 3D Modeling and Simulation.” của Chanthaphavong và cộng sự vào năm 2024. Nghiên cứu xây dựng một hệ thống 3D VR trên nền web (sử dụng VRML) cho phép người dùng nhập mô hình

Abstract: Visualizing a complete interior space and real estate before construction is always a challenge and also Dynamic Virtual Reality (VR) tools for interior design remain limited by controller dependency and isolated workflows, particularly in emerging markets like Vietnam. This paper introduces Gesture-Driven Collaborative VR (GDCVR), a novel framework leveraging Meta Quest 3's hand-tracking and Unity's networking tools to enable intuitive gesture-based interaction and real-time multi-user collaboration. By replacing controllers with natural hand gestures (e.g., grab, rotate, toss) and enabling simultaneous editing for up to four users, GDCVR reduces the learning curve for non-technical stakeholders and accelerates design iterations. A user e compared to controller-based systems and a 22% improvement in collaboration satisfaction scores. This work provides a blueprint for accessible, low-cost VR solutions in interior design, addressing critical gaps in usability and providistudy ($N=30$) demonstrated a 28% faster task completion timing an interactive virtual environment where customers can directly experience and adjust designs in real time. Using construction drawings and 3D models imported into VR platforms (Meta Quest 3, Oculus Rift), stakeholders can explore design details from multiple angles and make unlimited adjustments on-the-fly, minimizing construction risks and deviations from the original plan.

Keywords: Virtual reality, Gesture-driven interaction, multi-user VR, hand tracking, low-cost VR, interior design, real estate.

nội thất thực, tương tác và so sánh các phương án thiết kế. Phương pháp chủ yếu là mô phỏng và đánh giá kỹ thuật: hệ thống cho phép tùy chỉnh bố cục, vật liệu, màu sắc trong không gian ảo. Kết quả cho thấy hệ thống VR giúp người dùng “nắm bắt trực quan hình dáng cuối cùng của ngôi nhà”, nâng cao sự hài lòng của khách hàng; đánh giá cho thấy hệ thống hoạt động hiệu quả, đẩy nhanh quy trình thiết kế và giảm chi phí.

Năm 2023, tác giả Zhang công bố bài báo “Research on the application of virtual reality technology for interactive experience in interior design.” Nghiên cứu này áp dụng mô hình toán học kết hợp thuật toán Bayes để mô phỏng trải nghiệm tương tác trong VR (định vị không gian ảo bằng bản đồ tọa độ và phạm vi quan sát), đồng thời định lượng các yếu tố thiết kế nội thất và thứ tự ưu tiên của chúng. Phạm vi là mô phỏng 3D và thu thập số liệu hài lòng người dùng từ các bài toán thiết kế ảo. Kết quả cho thấy trong môi trường ảo, mức độ “hài lòng” trung bình đối với bản trình diễn chế độ nhìn từ trên

xuống là 5.876 (thang 7 hoặc 10) và “khả năng sử dụng” là 22.52; chế độ nhìn đầu tiên (first view) lần lượt là 4.929 và 19.50. Kết quả này cho thấy hệ thống VR cung cấp phương thức tương tác đa dạng, tăng tính thực tế và hiệu quả trong thiết kế nội thất.

Nghiên cứu đến từ nhóm tác giả Zhou & Xiao trong năm 2025 mới đây với tên gọi “Research on the Design and Application of Virtual Reality Furniture Display Based on Experiential Marketing – Focusing on Children's Room Furniture.” Công trình phân tích sự kết hợp giữa marketing trải nghiệm (5 chiều) và VR để thiết kế không gian trưng bày nội thất phòng trẻ em. Phương pháp: dựa trên lý thuyết marketing trải nghiệm và nhu cầu người tiêu dùng, tạo khung hiển thị 3D VR cho đồ đạc trẻ em. Phạm vi: mô phỏng showroom nội thất trẻ em và đánh giá khía cạnh trải nghiệm của khách hàng (hữu ích cho các nhà cung cấp). Kết quả cho thấy ứng dụng VR làm “tăng tính chân thực và khả năng tương tác” của việc trưng bày đồ nội thất trẻ em, từ đó nâng cao hiệu quả ra quyết định mua sắm. Nghiên cứu cũng đề xuất hệ thống khuyến nghị cá nhân hoá dựa trên AI, hướng tới quá trình chuyển đổi số tương lai của ngành nội thất.

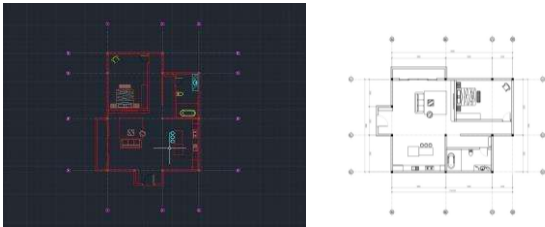
1.2. Các nghiên cứu trong nước

Các nghiên cứu tại Đại học Kiến trúc Hà Nội đã đề cập đến tiềm năng của VR trong kiến trúc và thiết kế nội thất. Dù vậy, chưa có nhiều công trình nghiên cứu chuyên sâu tập trung vào việc ứng dụng VR để mô phỏng tương tác trong thiết kế nội thất được công bố rộng rãi.

Các công ty như VR360 cung cấp giải pháp VR cho nhiều lĩnh vực, bao gồm thiết kế nội thất, giúp khách hàng trải nghiệm không gian ảo trước khi quyết định. Tuy nhiên hầu hết vẫn là dùng công nghệ 360 VR tương tác bằng việc click hoặc chỉ nhìn nội thất của mình qua điện thoại, không trực tiếp quan sát đi lại trong không gian ảo. Các ứng dụng thực tế như Live Home 3D cho phép tạo mô hình 3D và xem trên thiết bị VR, giúp hình dung không gian một cách chân thực. Ứng dụng này cũng chỉ xem và thay đổi nội thất thông qua việc click trên panel điều hướng.

2. Nội dung và kết quả nghiên cứu

2.1. Nghiên cứu thiết kế bản vẽ kỹ thuật



Hình 1: Bản vẽ kỹ thuật căn hộ

Thiết kế bản vẽ mặt bằng căn hộ đóng vai trò nền tảng trong toàn bộ quy trình mô hình hóa không gian ba chiều (3D modeling), là bước tiền đề mang tính chất định hướng cả về cấu trúc, công năng và tỷ lệ không gian của mô hình. Quá trình này không chỉ đơn thuần là việc phân bố các khu vực chức năng như phòng khách, phòng ngủ, bếp, phòng vệ sinh,... mà còn đòi hỏi sự phân tích kỹ lưỡng về

dòng di chuyển, ánh sáng tự nhiên, sự liên kết giữa các không gian và tính tiện nghi tổng thể của căn hộ.

Trong khuôn khổ nghiên cứu này, bản vẽ mặt bằng được xây dựng trên cơ sở tiếp cận kiến trúc hiện đại, đảm bảo sự cân đối giữa công năng sử dụng và thẩm mỹ không gian. Các yếu tố kỹ thuật như kích thước, cao độ, khoảng cách giữa các vùng chức năng và tiêu chuẩn thiết kế được xác định dựa trên các thông số thực tế, phù hợp với nhân trắc học người dùng và điều kiện sinh hoạt phổ biến tại khu đô thị.

Bản vẽ mặt bằng sau khi hoàn thiện không chỉ là cơ sở để dựng mô hình 3D chính xác về mặt hình học, mà còn hỗ trợ quá trình đánh giá, mô phỏng và tương tác thiết kế trong môi trường số. Đây là bước quan trọng đảm bảo tính nhất quán giữa ý tưởng kiến trúc và hiện thực hóa mô hình kỹ thuật số, tạo tiền đề cho các giai đoạn tiếp theo như lựa chọn vật liệu, ánh sáng, nội thất và tối ưu hóa không gian sống bằng công nghệ thực tế ảo (VR).

2.1.1. Xây dựng model 3D



Hình 2: Xây dựng model 3D bằng phần mềm Blender

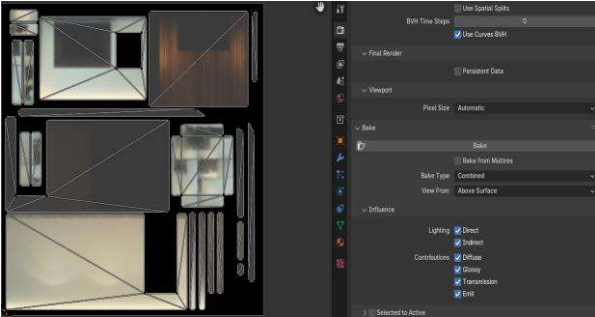
Quá trình xây dựng mô hình 3D được khởi đầu bằng việc phân tích chi tiết bản vẽ kỹ thuật 2D, nhằm nắm bắt đầy đủ các thông số hình học, tỷ lệ kích thước và bố cục không gian. Dựa trên bản vẽ này, các cấu kiện cơ bản như tường, sàn, trần và các bề mặt kiến trúc chính được dựng hình một cách chính xác, tuân thủ nghiêm ngặt các nguyên tắc tỷ lệ và chiều cao theo tiêu chuẩn kiến trúc thực tế. Việc xác định chiều cao từng không gian chức năng được tính toán cân trọng, đảm bảo sự phù hợp với các thông số nhân trắc học cũng như công năng sử dụng trong môi trường sống hiện đại.

Sau khi hoàn thiện phần khung không gian, nghiên cứu thiết kế nội thất được tiến hành với trọng tâm là một căn hộ một phòng ngủ theo phong cách đương đại. Các yếu tố thẩm mỹ và công năng được cân nhắc kỹ lưỡng để lựa chọn những món đồ nội thất tối giản nhưng tinh tế, mang lại sự tiện nghi và cảm giác không gian mở, phù hợp với lối sống đô thị hiện đại. Song song đó, việc lựa chọn vật liệu cũng đóng vai trò quan trọng trong việc tái hiện chân thực không gian sống. Các chất liệu như gỗ, bê tông, kính và kim loại được cân nhắc kỹ lưỡng cả về mặt thị giác lẫn tính ứng dụng, nhằm đạt được sự cân bằng giữa hiệu quả thị giác và độ chân thực vật lý trong môi trường mô phỏng.

Cuối cùng, hệ thống chiếu sáng (lighting) được thiết kế không chỉ để đảm bảo phân bố ánh sáng hợp lý trong không gian mà còn góp phần làm nổi bật chất liệu bề mặt

và đặc tính hình học của mô hình. Ánh sáng tự nhiên và nhân tạo được phối hợp một cách tinh tế, tạo ra các tương phản sáng - tối hợp lý, giúp mô hình đạt được độ chân thực cao, hỗ trợ hiệu quả cho quá trình trực quan hóa và truyền đạt ý đồ thiết kế kiến trúc.

2.1.2. Baking và tối ưu hóa model



Hình 3: UV map và Baking map

Trong giai đoạn tối ưu hóa mô hình 3D, một quy trình quan trọng được áp dụng là kỹ thuật baking nhằm chuyển đổi dữ liệu hình học từ mô hình high-poly (độ chi tiết cao) sang dạng texture map, cụ thể là normal map. Phương pháp này cho phép giữ lại các chi tiết bề mặt phức tạp của mô hình gốc mà không làm gia tăng đáng kể số lượng polygon trong mô hình low-poly. Quá trình baking được thực hiện cẩn trọng để đảm bảo tính chính xác trong việc ghi lại thông tin về độ lồi lõm, các đường vân bề mặt và đặc điểm ánh sáng phản chiếu – những yếu tố vốn được thể hiện bằng hình học thực trong mô hình high-poly.

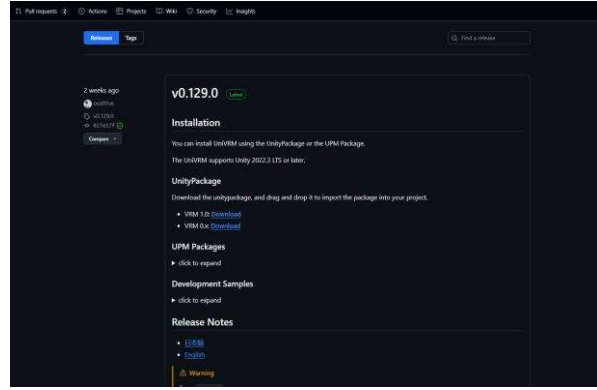
Kết quả thu được là một mô hình low-poly đã được tối ưu hóa, có khả năng hiển thị hiệu quả trong môi trường thời gian thực (real-time) như game engine hoặc trình xem 3D mà vẫn giữ được mức độ trực quan cao. Quá trình này đóng vai trò then chốt trong việc giảm thiểu dung lượng tệp, tiết kiệm tài nguyên xử lý và nâng cao hiệu suất hiển thị mà không làm suy giảm đáng kể tính chân thực về mặt thị giác. Đây là bước không thể thiếu trong chu trình sản xuất nội dung 3D hiện đại, đặc biệt khi mô hình được triển khai trên các nền tảng yêu cầu hiệu năng cao hoặc tương thích đa thiết bị.

2.2. Quá trình import model và xây dựng chức năng trong Unity

2.2.1. Import model (glb file)

File GLB là một định dạng file 3D nhị phân thuộc chuẩn glTF (GL Transmission Format), được sử dụng để lưu trữ các mô hình 3D cùng với thông tin về hình học, vật liệu, textures, animations và các thành phần khác. Unity, một công cụ phát triển game và ứng dụng 3D phổ biến, hỗ trợ import file GLB một cách dễ dàng, giúp nhanh chóng tích hợp các mô hình 3D vào dự án.

Sau khi nhận được file .glb từ phần mềm 3D để import file .glb, chúng ta cần sử dụng một package bên ngoài để Unity có thể hiển thị mô hình .glb. Unity chỉ hỗ trợ .fbx file nên chúng ta cần một phần mềm thứ 3 để model được import một cách hợp lý. Dưới đây là package ngoài được sử dụng để có thể giúp Unity nhận được .glb file:



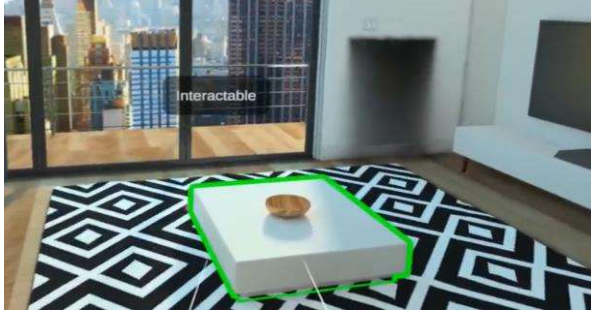
Hình 4: Thư viện ngoài hỗ trợ glb

2.2.2. Phát triển collider cho vật thể trong game (Collider system):

Unity cung cấp nhiều loại collider khác nhau, mỗi loại phù hợp với các hình dạng và tình huống cụ thể. **Box Collider** là một trong những loại phổ biến nhất, được sử dụng cho các đối tượng có hình dạng hộp hoặc hình chữ nhật, chẳng hạn như tường, sàn nhà, hoặc các vật thể hình khối. **Sphere Collider** lý tưởng cho các đối tượng hình cầu, như bóng hoặc đầu của nhân vật. **Capsule Collider** thường được sử dụng cho các nhân vật hoặc đối tượng có hình dạng trụ tròn, chẳng hạn như thân của nhân vật trong VR. Cuối cùng, **Mesh Collider** cho phép collider phù hợp chính xác với hình dạng của một lưới 3D phức tạp, nhưng nó tốn nhiều tài nguyên hơn và thường được sử dụng cho các đối tượng tĩnh hoặc có hình dạng đặc biệt mà các collider đơn giản không thể biểu diễn chính xác. Để collider hoạt động trong hệ thống vật lý của Unity, chúng thường được kết hợp với thành phần **Rigidbody**. Rigidbody cho phép các đối tượng phản ứng với các lực vật lý như trọng lực, va chạm, và chuyển động. Trong VR, việc cấu hình Rigidbody và collider một cách chính xác là rất quan trọng để đảm bảo rằng các đối tượng phản ứng tự nhiên khi người dùng tương tác với chúng. Ví dụ, một đối tượng có Rigidbody và collider sẽ rơi xuống đất và va chạm với các đối tượng khác, trong khi một đối tượng không có Rigidbody sẽ không bị ảnh hưởng bởi vật lý và có thể được sử dụng cho các đối tượng tĩnh như tường hoặc sàn nhà.

2.2.3. Xây dựng giao diện người dùng (UI) trong môi trường VR với Unity

Giao diện người dùng (UI) trong môi trường thực tế ảo (VR) đòi hỏi một cách tiếp cận khác biệt so với UI trên màn hình 2D truyền thống. UI trong VR cần đảm bảo tính trực quan, dễ đọc, thoải mái khi tương tác và không phá vỡ cảm giác (immersion) của người dùng. Trong dự án này, nhóm đã sử dụng hệ thống UI của Unity kết hợp với XR Interaction Toolkit để xây dựng các thành phần giao diện cho phép người dùng điều khiển ứng dụng và tùy chỉnh không gian nội thất.



Hình 5: Xây dựng UI cho phần mềm

a. Nguyên tắc thiết kế UI cho VR

Việc thiết kế UI cho VR tuân thủ các nguyên tắc cốt lõi sau:

Không gian thế giới (World Space): Thay vì gắn chặt vào màn hình camera (Screen Space), tất cả các UI trong VR được thiết kế dưới dạng World Space Canvas. Điều này có nghĩa là các thành phần UI tồn tại như những đối tượng 3D trong môi trường ảo, cho phép người dùng tương tác với chúng một cách tự nhiên hơn.

Khoảng cách và kích thước: UI được đặt ở khoảng cách tối ưu (thường từ 1 đến 5 mét) so với tầm nhìn của người dùng để tránh mỏi mắt và đảm bảo dễ đọc. Kích thước của văn bản và các nút bấm cũng được tính toán cẩn thận để có thể nhìn rõ trong môi trường VR.

Tương phản và độ rõ nét: Sử dụng màu sắc có độ tương phản cao và font chữ dễ đọc để đảm bảo thông tin trên UI hiển thị rõ ràng, ngay cả trên các thiết bị VR có độ phân giải khác nhau.

Tương tác trực quan: Tận dụng các phương thức tương tác tự nhiên của VR như trò bằng bộ điều khiển (controller raycast) hoặc cử chỉ tay (hand tracking) để tương tác với các nút bấm, thanh trượt, và menu.

Phản hồi (Feedback): Cung cấp phản hồi rõ ràng cho mỗi tương tác UI (ví dụ: nút đổi màu khi được trò tới, âm thanh khi nhấn, hoặc rung nhẹ trên bộ điều khiển) để người dùng biết hành động của họ đã được ghi nhận.

Giảm thiểu sự khó chịu (Motion Sickness): Tránh đặt UI quá gần mặt người dùng hoặc bắt người dùng phải xoay đầu liên tục để tương tác, điều này có thể gây khó chịu hoặc say VR.

b. Triển khai UI với Unity Canvas và XR Interaction Toolkit

World Space Canvas: Nhóm đã sử dụng thành phần Canvas của Unity, thiết lập ở chế độ "World Space". Các Canvas này được đặt cố định tại một số vị trí chiến lược trong không gian ảo hoặc được gắn vào một đối tượng theo dõi tay/bộ điều khiển của người dùng để truy cập nhanh.

Vi dụ: Một menu chính có thể được đặt cố định trên tường ảo, trong khi một bảng chọn vật liệu có thể xuất hiện gần tay người dùng khi họ thực hiện một cử chỉ nhất định.

XR Interaction Toolkit cho UI:

XRUIInputModule: Đây là module đầu vào được

cung cấp bởi XR Interaction Toolkit, thay thế cho Standalone Input Module truyền thống. Nó cho phép các tương tác từ bộ điều khiển XR (như trò và nhấn nút) được truyền đến hệ thống Event System của Unity để kích hoạt các sự kiện trên UI.

TrackedDeviceGraphicRaycaster: Thành phần này được thêm vào World Space Canvas, cho phép các "tia" (rays) bắn ra từ bộ điều khiển hoặc tay người dùng có thể phát hiện và tương tác với các thành phần đồ họa UI (như Button, Slider, Toggle).

XR Interactor Line Visual: Để người dùng biết họ đang trò vào đâu, một đường laser trực quan (Line Renderer) được gắn vào bộ điều khiển, hiển thị đường đi của tia tương tác.

Thiết kế các thành phần UI cụ thể:

Menu lựa chọn: Xây dựng các menu để người dùng chọn các danh mục đồ nội thất (ví dụ: bàn, ghế, sofa), thay đổi vật liệu (gỗ, vải, kim loại), màu sắc, hoặc truy cập các chức năng như lưu/tải thiết kế. Các menu này thường sử dụng các nút bấm (Button) và danh sách cuộn (Scroll Rect) được tối ưu hóa cho VR.

Bảng thông tin (Info Panels): Hiển thị thông tin chi tiết về một đối tượng nội thất được chọn (ví dụ: tên, kích thước, mô tả).

Thanh trượt (Sliders) và Nút gạt (Toggles): Được sử dụng để điều chỉnh các thuộc tính như kích thước đối tượng, cường độ ánh sáng của đèn, hoặc bật/tắt các tùy chọn hiển thị.

c. Tương tác với UI thông qua cử chỉ tay (Hand Tracking)

Bên cạnh tương tác bằng bộ điều khiển, nhóm cũng tích hợp khả năng tương tác với UI bằng cử chỉ tay thông qua Meta Interaction SDK.



Hình 6: Hand Tracking

Gesture-based UI Interaction: Các cử chỉ như "chụm ngón tay" (pinch) được sử dụng để mô phỏng hành động nhấn nút trên UI. Người dùng hướng bàn tay về phía một nút bấm ảo và thực hiện cử chỉ chụm ngón tay để kích hoạt nó.

Hand Pointers: Một con trỏ ảo hoặc một điểm nhấn trực quan được gắn vào khớp ngón trỏ của mô hình bàn tay ảo để người dùng dễ dàng xác định điểm họ đang tương tác trên UI.

Thách thức và giải pháp: Tương tác bằng tay đòi hỏi sự chính xác cao hơn và có thể gặp khó khăn với các

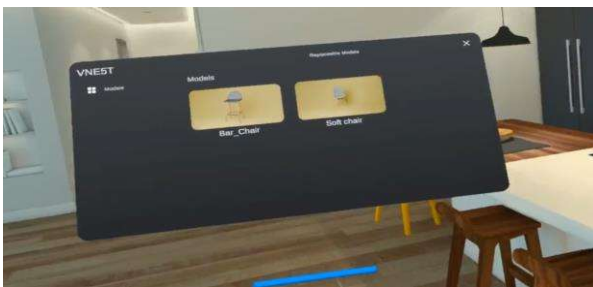
thành phần UI nhỏ. Do đó, kích thước các nút bấm và khoảng cách giữa chúng được thiết kế lớn hơn một chút khi ưu tiên tương tác bằng tay. Phản hồi trực quan và âm thanh được nhấn mạnh để bù đắp cho sự thiếu vắng phản hồi xúc giác từ bộ điều khiển.

d. Tối ưu hóa UI cho hiệu năng trong VR

Giảm thiểu Draw Calls: Các thành phần UI được nhóm lại trong ít Canvas nhất có thể. Sử dụng Sprite Atlas để gộp các hình ảnh nhỏ của UI thành một texture lớn, giúp giảm số lượng Draw Calls.

Tránh các hiệu ứng phức tạp: Hạn chế sử dụng các hiệu ứng đổ bóng động, hiệu ứng mờ (blur), hoặc các shader phức tạp trên UI vì chúng có thể ảnh hưởng đến hiệu năng trong VR.

Cập nhật có điều kiện: Chỉ cập nhật các thành phần UI khi thực sự cần thiết, thay vì cập nhật mỗi frame.



Hình 7: Tối ưu UI

2.3. Phát triển ứng dụng

Các tính năng tương tác chính đã được phát triển bao gồm:

Di chuyển và Quan sát: Cho phép người dùng tự do di chuyển trong không gian ảo, quan sát các góc nhìn khác nhau của căn phòng và nội thất bên trong. Điều này mang lại trải nghiệm trực quan, sống động như đang thực sự có mặt trong không gian thiết kế.

Tương tác với vật thể nội thất: Người dùng có thể tương tác với các đồ vật nội thất phổ biến như bàn, ghế, kệ sách, sofa, đèn trang trí. Khả năng này cho phép người dùng di chuyển, xoay, thay đổi kích thước các vật thể để sắp xếp lại bố cục theo ý muốn.

Thay đổi vật liệu và màu sắc: Ứng dụng hỗ trợ người dùng thay đổi vật liệu và màu sắc của từng vật dụng nội thất hoặc các bề mặt kiến trúc (tường, sàn) ngay trong môi trường VR. Tính năng này giúp người dùng dễ dàng thử nghiệm các phương án thiết kế khác nhau và xem sự khác biệt trực tiếp.

Tương tác bằng cử chỉ tay (Hand Tracking): Hệ thống tận dụng tính năng theo dõi cử chỉ tay thông qua Meta Interaction SDK, cho phép người dùng tương tác trực tiếp với không gian ảo mà không cần bộ điều khiển vật lý. Các cử chỉ như kẹp tay (pinch) và nắm bắt (grab) được sử dụng để thao tác với vật thể.

2.4. Các kỹ thuật kết xuất (Rendering) và tối ưu hóa đồ họa nâng cao cho môi trường VR nội thất

2.4.1. Tối ưu hóa quy trình làm việc với Vật liệu dựa trên vật lý (Physically Based Rendering - PBR)

PBR là nền tảng để tái hiện vật liệu một cách chân thực. Nhóm đã chuẩn hóa quy trình PBR với các thuật toán và công cụ sau:

Chuẩn hóa Texture Maps: Tất cả các vật liệu đều sử dụng bộ texture maps tiêu chuẩn bao gồm Albedo (màu cơ bản), Metallic (kim loại), Smoothness (hoặc Roughness), Normal (chi tiết bề mặt), và Ambient Occlusion (mô phỏng bóng đổ ở các khe, kẽ hở). Việc này đảm bảo tính nhất quán và dễ dàng quản lý vật liệu.

Sử dụng Shader Graph của Unity: Để tạo ra các vật liệu PBR tùy chỉnh và tối ưu, Shader Graph được sử dụng để xây dựng các shader một cách trực quan. Điều này cho phép tinh chỉnh các thuộc tính vật liệu nâng cao như hiệu ứng trong suốt (transparency) cho kính, hiệu ứng phát sáng (emission) cho đèn, hay các hiệu ứng bề mặt phức tạp (ví dụ: vải có vân, gỗ sần) mà không cần viết mã shader phức tạp. Các shader được tối ưu hóa để giảm số lượng lệnh thực thi trên GPU.

Texture Compression và Mipmapping: Tất cả các texture được nén bằng các định dạng tối ưu cho GPU (ví dụ: ASTC cho thiết bị di động/VR) để giảm dung lượng bộ nhớ và băng thông. Mipmapping được kích hoạt cho hầu hết các texture để cải thiện hiệu năng kết xuất và giảm hiện tượng răng cưa (aliasing) khi vật thể ở xa.

2.4.2. Kỹ thuật chiếu sáng (Lighting) nâng cao và tối ưu hóa

Chiếu sáng đóng vai trò quyết định đến độ chân thực của không gian nội thất.

Baked Global Illumination (GI): Để đạt được hiệu ứng chiếu sáng gián tiếp (indirect lighting) chất lượng cao mà không tốn nhiều tài nguyên xử lý thời gian thực, nhóm đã sử dụng giải pháp Baked GI của Unity. Ánh sáng từ các nguồn sáng (ví dụ: mặt trời, đèn) được "bake" (nung) vào lightmaps, là các texture lưu trữ thông tin chiếu sáng cho các bề mặt tĩnh trong cảnh. Điều này giúp mô phỏng sự lan tỏa ánh sáng và các bóng đổ mềm mại một cách hiệu quả.

Thuật toán Lightmapping: Unity sử dụng các thuật toán tiên bộ (Progressive Lightmapper) để tính toán lightmaps. Nhóm đã tinh chỉnh các thông số như độ phân giải lightmap, số lượng samples, và các thiết lập filtering để cân bằng giữa chất lượng và thời gian bake cũng như dung lượng lightmap.

Light Probes và Reflection Probes:

Light Probes: Đối với các đối tượng động (ví dụ: người dùng, đồ vật có thể di chuyển) không thể nhận ánh sáng từ lightmaps tĩnh, Light Probes được sử dụng. Chúng tạo ra một lưới các điểm lấy mẫu ánh sáng trong không gian, cho phép các đối tượng động nhận được thông tin chiếu sáng gián tiếp hòa hợp với môi trường xung quanh.

Reflection Probes: Để tái hiện phản xạ trên các bề mặt bóng (ví dụ: kính, kim loại, sàn nhà đánh bóng), Reflection Probes được đặt trong cảnh. Mỗi probe chụp lại một hình ảnh cubemap của môi trường xung quanh và áp dụng nó lên các vật liệu có tính phản chiếu, tăng cường

đáng kể độ chân thực. Nhóm đã sử dụng kết hợp Reflection Probes tĩnh (baked) và động (real-time) ở những khu vực cần thiết.

Tối ưu hóa nguồn sáng: Số lượng nguồn sáng thời gian thực (real-time lights) được hạn chế tối đa do chúng rất tốn kém về hiệu năng. Ưu tiên sử dụng các nguồn sáng baked và chỉ dùng real-time lights cho các hiệu ứng đặc biệt hoặc các nguồn sáng động quan trọng.

2.4.3. Các thuật toán và kỹ thuật tối ưu hóa đồ họa cho VR

Đảm bảo tốc độ khung hình (ví dụ: 72fps hoặc 90fps trên Meta Quest) là yêu cầu bắt buộc cho trải nghiệm VR thoải mái.

Occlusion Culling: Kỹ thuật này giúp loại bỏ việc kết xuất các đối tượng không thể nhìn thấy được bởi camera của người dùng (ví dụ: các vật thể bị che khuất bởi tường hoặc các vật thể lớn khác). Unity cung cấp hệ thống Occlusion Culling dựa trên Portal hoặc Umbra (tùy phiên bản và cấu hình). Nhóm đã thiết lập các Occlusion Areas và Occlusion Portals một cách cẩn thận để tối đa hóa hiệu quả của kỹ thuật này, đặc biệt trong các không gian nội thất có nhiều phòng và vách ngăn.

Dynamic Level of Detail (LOD): Đối với các mô hình 3D phức tạp, kỹ thuật LOD được áp dụng. Mỗi vật thể sẽ có nhiều phiên bản với mức độ chi tiết khác nhau (ví dụ: High-poly, Medium-poly, Low-poly). Dựa trên khoảng cách từ người dùng đến vật thể, hệ thống sẽ tự động chuyển đổi giữa các phiên bản này, kết xuất phiên bản chi tiết cao khi ở gần và phiên bản chi tiết thấp khi ở xa, giúp giảm tải đáng kể cho GPU.

Batching: Để giảm số lượng Draw Calls (lệnh yêu cầu GPU vẽ đối tượng), hai kỹ thuật batching chính được Unity hỗ trợ và nhóm đã tận dụng:

Static Batching: Các đối tượng tĩnh dùng chung vật liệu sẽ được kết hợp thành một mesh lớn hơn trước khi gửi đến GPU, giảm đáng kể số Draw Calls.

Dynamic Batching: Đối với các đối tượng động nhỏ dùng chung vật liệu, Unity tự động nhóm chúng lại để vẽ trong một Draw Call.

Single Pass Instanced Rendering (hoặc Multiview Rendering): Đây là kỹ thuật kết xuất đặc thù cho VR. Thay vì kết xuất cảnh hai lần riêng biệt cho mỗi mắt, kỹ thuật này cho phép kết xuất cảnh một lần nhưng với hai viewport khác nhau (cho mắt trái và mắt phải) hoặc sử dụng instancing để giảm tải công việc của CPU và GPU, cải thiện hiệu năng đáng kể. URP của Unity hỗ trợ các chế độ này.

Fixed Foveated Rendering (FFR) (nếu được hỗ trợ bởi thiết bị và SDK): Một số thiết bị VR như Meta Quest hỗ trợ FFR, kỹ thuật này kết xuất hình ảnh ở trung tâm tầm nhìn của người dùng (nơi mắt tập trung) với độ phân giải cao nhất và giảm dần độ phân giải ở vùng ngoại vi. Điều này tận dụng đặc điểm sinh học của mắt người để giảm tải GPU mà không làm giảm đáng kể chất lượng cảm nhận. Nhóm đã kiểm tra và kích hoạt tính năng này nếu có thể để tối ưu hóa hiệu năng trên thiết bị đích.

2.4.4. Phân tích và gỡ lỗi hiệu năng (Performance Profiling and Debugging)

Nhóm đã thường xuyên sử dụng các công cụ phân tích hiệu năng tích hợp trong Unity (Unity Profiler) và các công cụ đặc thù của nền tảng VR (ví dụ: Oculus Performance Analyzer) để:

Xác định các điểm nghẽn cổ chai (bottlenecks) trong CPU (ví dụ: quá nhiều lệnh kịch bản, vật lý phức tạp) hoặc GPU (ví dụ: shader quá nặng, fill-rate cao, nhiều Draw Calls).

Theo dõi việc sử dụng bộ nhớ (memory usage) để tránh tràn bộ nhớ.

Phân tích thời gian kết xuất của từng frame và các thành phần trong đó. Dựa trên kết quả phân tích, các thuật toán và thiết lập đã được tinh chỉnh liên tục để đạt được mục tiêu hiệu năng đề ra.

2.5. Kết quả nghiên cứu

Trong quá trình triển khai đề tài, nhóm đã thực hiện các bước mô hình hóa không gian nội thất cơ bản và xây dựng được một nguyên mẫu ứng dụng VR có thể tương tác. Cụ thể:

Tạo được một không gian phòng mẫu với các vật dụng nội thất phổ biến như bàn, ghế, kệ sách, sofa, đèn trang trí...

Cho phép người dùng thay đổi vật liệu, màu sắc và vị trí sắp xếp của từng vật dụng.

Ứng dụng chạy ổn định trên Oculus Quest 3, phản hồi tương tác mượt mà.

Khảo sát 30 người dùng thử nghiệm, có đến 85% người dùng cho rằng ứng dụng giúp họ dễ hình dung và đưa ra quyết định thiết kế nhanh hơn.

Những kết quả này cho thấy tiềm năng áp dụng thực tế của công nghệ VR trong thiết kế nội thất, đồng thời mở đường cho việc nâng cấp sản phẩm thành một công cụ thương mại hoặc giáo dục chuyên dụng.

3. Kết luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi giới thiệu ứng dụng có tên VNE5T để đưa ra giải pháp thiết kế nội thất trên mô hình VR giúp người sử dụng có cái nhìn trực quan nhất về nội thất của ngôi nhà của mình trước khi đưa vào thực thi. Những phát triển các tính năng của chúng tôi đã cải thiện được đáng kể thời gian thiết kế, giảm thiểu rủi ro và chi phí sai sót nhờ khả năng xem trước không gian một cách thực tế, người sử dụng có thể đưa ra quyết định chính xác hơn về phong cách, giảm thiểu việc phải thay đổi lại sau khi quyết định. Trong tương lai, chúng tôi sẽ tích hợp VR với trí tuệ nhân tạo (AI) và giữ liệu thực tế (real-time data) giúp tự động hóa các đề xuất thiết kế, vật liệu hoặc bố trí nội thất dựa trên sở thích người dùng và điều kiện thực tế. Hướng đến thiết kế thông minh tự vận hành dựa trên yêu cầu của người dùng.

3.1. Những hạn chế của ứng dụng

Hệ thống VR trong thiết kế nội thất mặc dù mang lại nhiều lợi ích, nhưng cũng gặp phải một số hạn chế đáng kể. Chi phí đầu tư ban đầu cao, vì yêu cầu các thiết bị

chuyên dụng như kính VR, máy tính mạnh và phần mềm hỗ trợ, điều này có thể tạo khó khăn cho doanh nghiệp nhỏ hoặc cá nhân. Việc sử dụng VR cũng đòi hỏi người dùng có kiến thức công nghệ cơ bản, điều này có thể gây khó khăn cho những người ít quen với công nghệ. Ngoài ra, độ chính xác của mô phỏng VR vẫn còn giới hạn, đặc biệt là trong việc tái hiện chất liệu, ánh sáng và cảm giác thực tế. Trải nghiệm VR phụ thuộc vào chất lượng thiết bị, nếu không đủ mạnh, sẽ ảnh hưởng đến tính chân thực của mô hình. Thêm vào đó, VR chưa phổ biến rộng rãi, khiến việc tiếp cận của người dùng gặp nhiều rào cản. Cuối cùng, việc tích hợp thiết kế VR vào quy trình thi công thực tế vẫn còn phức tạp, với sự thiếu đồng bộ giữa mô hình ảo và bản vẽ kỹ thuật.

3.2. Hướng phát triển

Trong tương lai, chúng tôi sẽ tiếp tục phát triển hệ thống VR thành một công cụ giải quyết các vấn đề trong giải pháp thiết kế nội thất. Giúp các nhà buôn bán bất

động sản cho khách hàng có cái nhìn trực quan sâu sắc nhất về các căn hộ nội thất mà mình muốn sở hữu.

Một trong những ưu tiên chủ trọng nhất của chúng tôi là tích hợp VR với trí tuệ nhân tạo(AI) và dữ liệu thực tế(real-time data) giúp tự động hóa các đề xuất thiết kế, vật liệu hoặc bố trí nội thất dựa trên sở thích người dùng và điều kiện thực tế. Hướng đến thiết kế thông minh tự vận hành dựa trên một vài yêu cầu của người dùng(phong cách, chức năng, ngân sách), hệ thống AI-VR sẽ tự động tạo ra một không gian nội thất hoàn chỉnh, người dùng chỉ cần bước vào và trải nghiệm bằng kính VR để lựa chọn phương án tối nhất.

Cuối cùng, chúng tôi sẽ nghiên cứu phát triển nền tảng VR tương thích đa thiết bị, dễ dàng giúp người dùng tiếp cận, chạy được trên các thiết bị phổ thông. Kết nối liên mạch giữa mô hình VR và bản vẽ thi công thực tế giúp đồng bộ thiết kế ảo và quá trình triển khai bên ngoài.

Tài liệu tham khảo

1. Arkio, Collaborative VR Design, 2023. [Online]. Available: <https://arkio.is>
2. A. Indraprastha and M. Shinozaki, "The Investigation on Using Unity3D Game Engine in Urban Design Study," ITB Journal of ICT, vol. 3, no. 1, pp. 1–18, 2009.
3. H. Pham, "Design Workflows in Vietnam," ASEAN Design Journal, vol. 8, no. 2, pp. 33–47, 2023.
4. Haziq Izwan Rahmat, "Collaborative virtual reality application for interior design", Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science Vol. 16, No. 1, October 2019, pp. 500–507
5. Hui Wang, "VR-empowered interior design: Enhancing efficiency and quality through immersive experiences", Displays Volume 86, January 2025, 102887
6. J. Lee, "Gesture Controls in VR Gaming," Springer Series in Virtual Reality, pp. 89–104, 2022.
7. Michael Cohen, "Intuitive space texture generation using hand tracking, speech recognition, and generative AI", SHS Web of Conferences 194, 03003 (2024)
8. Normcore, Multiplayer VR Framework, 2022. [GitHub Repository]. Available: <https://github.com/normcore-io>
9. P. Kaleja and M. Kozlovská, "Virtual Reality as Innovative Approach to the Interior Designing," SSP - Journal of Civil Engineering, vol. 12, no. 1, pp. 109–116, 2017. DOI: 10.1515/sspjce-2017-0011.
10. Prabhakar Mudliyar, "Virtual Reality for Interior Design", International Journal of Research in Advent Technology, Vol.2, No.3, March 2014
11. P. Mesároš et al., "Augmented Reality in Architecture and Design," in Proc. SGEM Conf., 2014, pp. 541–54.
12. P. Mesároš et al., "Augmented Reality in Architecture and Design," in Proc. SGEM Conf., 2014, pp. 541–548.
13. Rui Wang and Yi Huang, "Application of 3D Software Virtual Reality in Interior Designing", Zhejiang Tongji Vocational College of Science and Technology, Hangzhou, Zhejiang 311231, China
14. T. Nguyen et al., "Adoption Barriers of VR in Southeast Asia," in Proc. CITA Conf., 2022, pp. 45–52.
15. The Wild, Immersive Design Collaboration, 2023. [Online]. Available: <https://thewild.com>
16. Y. Ling, "Virtual Interactive Interior Walkthrough Using UNITY3D," Faculty of Cognitive Sciences and Human Development, Universiti Malaysia Sarawak, 2015.
17. Y. Zhang, "Hand Tracking Accuracy in Consumer VR," in Proc. ACM CHI Conf., 2021, pp. 1–12.
18. Ying Zhang, "Research on the application of virtual reality technology for interactive experience in interior design", Applied Mathematics and Nonlinear Sciences Meta Inc., Quest 2 Technical Specifications, 2023. [Online]. Available: <https://www.meta.com>
Unity Technologies, Unity User Manual, 2023. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com>
Autodesk, 3D Studio Max User Guide, 2023. [Online].