



QUẢN LÝ HỆ THỐNG CƠ ĐIỆN CÔNG TRÌNH SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ TĂNG CƯỜNG THỰC AR VÀ MÔ HÌNH THÔNG TIN CÔNG TRÌNH BIM

Nguyễn Thanh Bản^{1*}, Trần Anh Bình², Trần Duy Vũ³, Nguyễn Nhật Ninh³

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp sử dụng và kết hợp công nghệ tăng cường thực (AR-Augmented Reality) và công nghệ mô hình thông tin công trình (BIM - Building Information Modelling) để đưa ra một quy trình tích hợp thông tin hệ thống cơ điện (M&E - Mechanical & Electrical) cho công trình, từ đó xây dựng một phần mềm chạy trên thiết bị di động giúp đơn giản hóa quá trình quản lý hệ thống cơ điện trong công trình. Phương pháp cho phép người kỹ sư có thể tích hợp nhiều thông tin cho hệ thống M&E như kích thước đường ống, hãng sản xuất, lịch bảo trì, thời gian thay thế... vào mô hình BIM, sau đó hiển thị các thông tin đó trong phần mềm chạy trên thiết bị di động mà nhóm tác giả lập trình. Phần mềm còn cho phép người dùng chọn các thành phần trong hệ thống M&E và hiển thị, thay đổi thông tin của chúng trong quá trình vận hành. Nhóm tác giả sử dụng Vuforia SDK (Software Development Kit) để xử lý nhận dạng, nạp và hiển thị mô hình BIM, bên cạnh đó sử dụng Unity 3D Engine xây dựng ứng dụng đa nền tảng, phần mềm Autodesk Revit thiết kế mô hình thông tin công trình BIM.

Từ khóa: Tăng cường thực tế; mô hình thông tin công trình; quản lý hệ thống cơ điện.

Management of Mechanical and Electrical system using Augmented Reality (AR) technology and Building Information Modeling (BIM).

Abstract: This paper presents methods using Augmented Reality (AR) and Building Information Modeling (BIM) technology to propose a process for introducing additional informations of mechanical and electrical (M&E) system into the bulding information model. Basing on this process, we program an application running in mobile device to facilitate the management of M&E building system. This method allows engineers to integrate additional informations of M&E system such as pipeline size, manufacturer, maintenance schedule, replacement time, etc. into the BIM model, and then display these informations in own authors software running on a mobile device. The software also allows users to select component of M&E system and display, modify its information. The authors use the Vuforia SDK (Software Development Kit) to process identity, load and display BIM models, and use the Unity 3D Engine to build cross-platform applications, Autodesk Revit software to design BIM.

Keywords: Augmented reality; BIM; mechanical & electrical management.

Nhận ngày 29/3/2017; sửa xong 26/4/2017; chấp nhận đăng 30/5/2017

Received: March 29, 2017; revised: April 26, 2017; accepted: May 30, 2017



1. Mở đầu

Mô hình thông tin xây dựng (BIM) [1, 2] là một quy trình liên quan tới việc tạo lập và quản lý những đặc trưng kỹ thuật đã được số hóa (được gọi là thông tin kỹ thuật số) trong các khâu thiết kế, thi công và vận hành các công trình. BIM sử dụng rất nhiều phần mềm của các hãng khác nhau để thực hiện việc tích hợp thông tin và mô hình. Các phần mềm phổ biến để tích hợp thông tin công trình hiện nay có thể kể đến như họ phần mềm Revit, Tekla Structures, Cadewa, Civil 3D... Việc ứng dụng công nghệ BIM giúp giảm đáng kể chi phí xây dựng cũng như quản lý vận hành công trình xây dựng [3]. Nhiều nước tiên tiến đã bắt buộc sử dụng BIM trong quá trình thiết kế, thi công và vận hành công trình [1-4].

Chi phí quản lý, vận hành công trình chiếm tới xấp xỉ 80% tổng giá trị của công trình (tính bao gồm cả chi phí thiết kế, xây dựng, vận hành và phá dỡ). Do vậy, việc nghiên cứu đơn giản hóa, tối ưu hóa quá trình vận hành công trình là rất cần thiết. Bài báo tập trung nghiên cứu về sử dụng công nghệ AR kết hợp với công nghệ BIM nhằm đơn giản hóa việc quản lý vận hành hệ thống cơ điện công trình.

¹ThS, Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Xây Dựng.

²TS, Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Xây Dựng.

³SV, Lớp 58PM1, Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Xây Dựng.

*Tác giả chính. Email: bannt@nuce.edu.vn.

Công nghệ AR [5] cho phép gắn mô hình ảo BIM với thế giới thực. Kết hợp công nghệ AR và công nghệ BIM sẽ tạo ra một ứng dụng giúp người dùng có thể xem và tương tác với các mô hình 3D gắn trong môi trường thực tế và trong thời gian thực theo nhiều góc nhìn khác nhau. Tăng cường mô hình BIM trên công trình thực giúp đơn giản hóa việc quản lý vận hành công trình của bên liên quan trong lĩnh vực xây dựng.

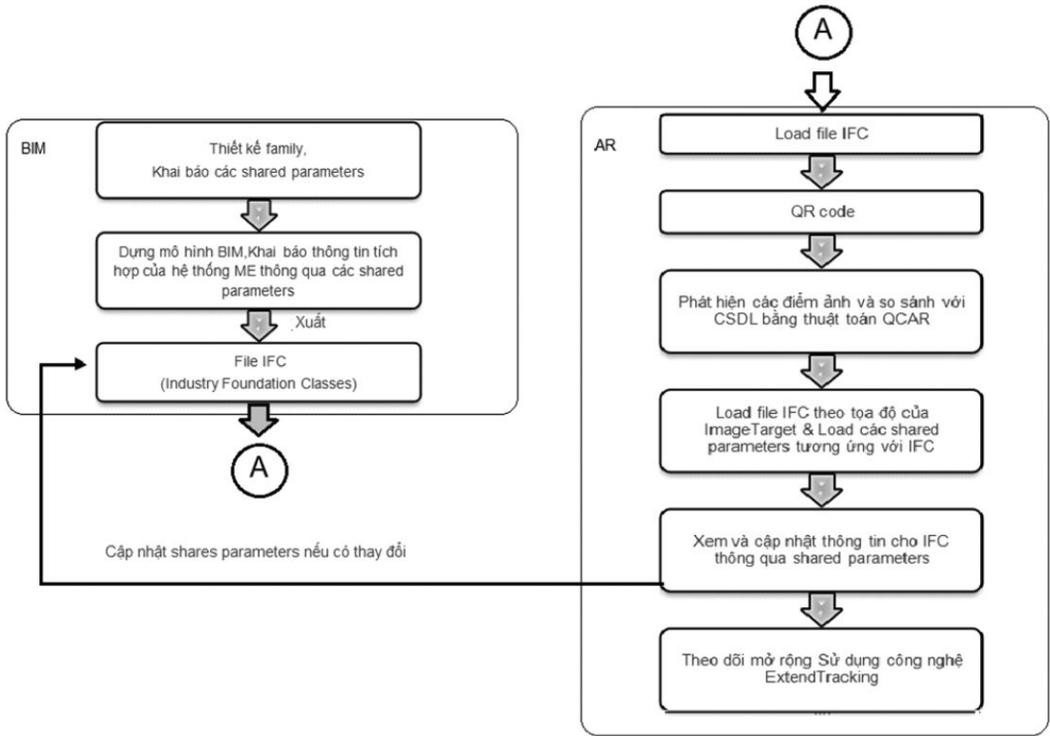
Trên thế giới, một số nghiên cứu kết hợp AR và BIM trong quản lý xây dựng. Đầu tiên có thể kể đến “LOAR+” [6] của công ty kỹ thuật Laing O’Rourke của Úc cho phép tương tác với các mô hình 3D, các hiệu ứng động trong môi trường ảo ở thời gian thực. Công ty ViewAR [7] có 2 trụ sở ở nước Anh cung cấp các phần mềm và giải pháp tăng cường thực tiễn về hiển thị mô hình kiến trúc như “Wien Energie”, “Grabner pool”, trong tư vấn nội thất như: “ALL3D”, “RikaHomeDesign”. BIMevoke [8] là công ty tư vấn thiết kế 3D và tư vấn BIM cung cấp một chương trình cho phép mô hình hóa mô hình ảo, cắt lớp và mô tả chức năng từng lớp phục vụ cho bảo trì và giảng dạy.

Tại Việt Nam, nổi bật là công ty sơn Dulux đã ứng dụng AR trong xây dựng thông qua ứng dụng “DuluxVisualizer” cho phép người sử dụng có thể xem trước màu sơn trên tường khi chiếu camera thiết bị di động lên tường của công trình. Hơn nữa, quyết định số 2500/QĐ-TTg ngày 22/12/2016 của Chính phủ về đề án nghiên cứu lộ trình áp dụng BIM trong xây dựng; Quyết định 203/QĐ-BXD ngày 21/3/2017 của Bộ Xây dựng về việc thành lập Ban Chỉ đạo thực hiện Đề án áp dụng mô hình thông tin công trình trong hoạt động xây dựng và quản lý vận hành công trình cho thấy việc nghiên cứu ứng dụng BIM trong xây dựng tại Việt Nam là rất cần thiết.

Bài báo đề xuất một phương pháp kết hợp giữa phương pháp sử dụng và kết hợp công nghệ AR và công nghệ BIM để đưa ra một quy trình tích hợp thông tin hệ thống cơ điện vào mô hình thông tin công trình. Phương pháp này cho phép người kỹ sư có thể tích hợp nhiều thông tin cho hệ thống M&E như kích thước đường ống, hãng sản xuất, lịch bảo trì, thời gian thay thế... vào mô hình BIM. Phương pháp đề xuất mềm dẻo và thích hợp với mọi tiêu chuẩn BIM. Nhóm tác giả hiện thực hóa phương pháp đề xuất bằng phần mềm do nhóm tự lập trình trên nền tảng Unity 3D kết hợp công nghệ nhận dạng hình ảnh Vuforia SDK của hãng Qualcomm. Phần mềm cho phép người sử dụng chọn các thành phần trong hệ thống M&E và hiển thị, thay đổi thông tin của từng thành phần trong hệ thống M&E đã tích hợp trong mô hình BIM; giúp tăng hiệu quả cho việc quản lý vận hành hệ thống M&E trong công trình.

2. Quy trình kết hợp công nghệ BIM và AR

Bài báo đề xuất quy trình ứng dụng BIM kết hợp với công nghệ AR nhằm xây dựng phần mềm chạy trên thiết bị di động để quản lý hệ thống M&E trong công trình. Quy trình được đề xuất như Hình 1.



Hình 1. Quy trình kết hợp công nghệ mô hình thông tin xây dựng và thực tế tăng cường

Phần mềm cho phép diễn họa mô hình 3D và xem được thông tin công trình ngay trên thiết bị di động dựa vào nhận dạng mặt bằng bản vẽ 2D thông qua camera của thiết bị, kết quả đó là quy trình kết hợp công nghệ BIM và AR được mô tả qua các bước sau: Bước 1 - Thiết kế family và khai báo các shared parameters trong BIM; Bước 2 - Dựng mô hình BIM, khai báo thông tin tích hợp của hệ thống cơ điện M&E; Bước 3 - Kết xuất file IFC (Industry Foundation Classes); Bước 4 - Vuforia SDK nạp file IFC; Bước 5 - Khởi tạo dataset từ Image target (ảnh mục tiêu); Bước 6 - So khớp ảnh nhận dạng từ camera thiết bị và nạp IFC tương ứng; Bước 7 - Hiện thị mô hình thông tin công trình BIM lên thiết bị.

Quy trình trên rất mềm dẻo, giúp cho chủ đầu tư, người thiết kế có thể dễ dàng tích hợp các thông tin thuộc tính của toàn bộ hệ thống M&E thông qua các biến “shared parameters”. Chúng ta có thể thêm số lượng biến shared parameters theo ý muốn. Các thông tin phụ của hệ thống như hãng sản xuất, ngày bảo trì bảo dưỡng, kích thước đường ống,... sẽ được quy định trong các shared parameters và được điền vào ngay khi vẽ thiết bị M&E trong mô hình BIM. Quy trình còn cho phép người dùng thay đổi các thông tin tích hợp ngay trên thiết bị di động, sau đó cập nhật lại vào mô hình BIM thông qua file IFC. Quy trình này phù hợp với mọi tiêu chuẩn BIM của các nước trên thế giới cũng như tiêu chuẩn BIM của Việt Nam sắp ban hành.

3. Thiết kế và xây dựng phần mềm chạy trên thiết bị di động

3.1 Các công cụ xây dựng phần mềm

Có rất nhiều công cụ phát triển (SDK - Software Development Kit) công nghệ AR. Bảng 1 thể hiện các công cụ được đánh giá tốt cùng với các thông tin về các nền tảng hệ điều hành hỗ trợ.

Bảng 1. Các công cụ phát triển công nghệ AR.

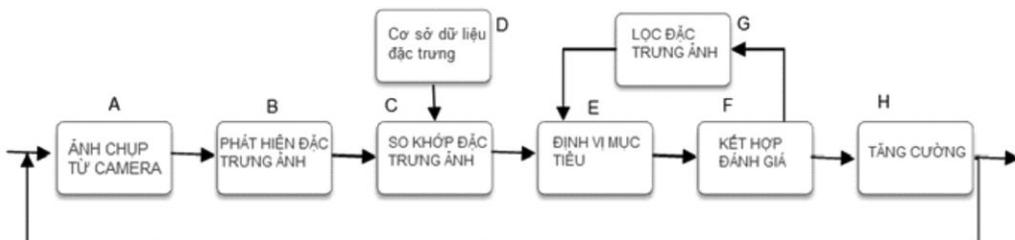
Sản phẩm	Công ty	Hỗ trợ hệ điều hành
Metaio SDK	Metaio	Android, iOS, Windows PC, Google Glass, Epson Moverio BT-200, Vuzix M-100, Unity
Vuforia SDK	Qualcomm	Android, iOS, Unity, SmartGlass
Wikitude SDK	Wikitude GmbH	Android, iOS, Google Glass, Epson Moverio, Vuzix M-100, Optinvent ORA1, PhoneGap,

Đầu tiên có thể kể đến Metaio SDK, cho phép theo dõi hình ảnh 2D, đối tượng 3D, khuôn mặt, bản đồ (SLAM), mã vạch và mã phản hồi nhanh (Quick Response code - QR code), tìm kiếm hình ảnh liên tục (cả ngoại tuyến và trực tuyến thông qua Metaio CVS), phát hiện cử chỉ. Metaio đã thiết kế SDK bằng ngôn ngữ AR scripting riêng của họ. Vuforia SDK cũng là một công cụ rất mạnh, cho phép phát hiện đa mục tiêu, theo dõi mục tiêu, các nút ảo (virtual button), địa hình thông minh (Smart Terrain™) và theo dõi mở rộng (extended tracking). Wikitude AR SDK là một công cụ khá mạnh cho phép nhận dạng và theo dõi hình ảnh, văn bản, video, dựng lại hình (render) và hoạt hình hóa (animation) mô hình 3D.

Để xây dựng một phần mềm cho thiết bị di động, ngoài việc sử dụng một trong các bộ SDK nói trên, người lập trình cần thêm các công cụ để xây dựng giao diện, lập trình các chức năng như Android Studio, Wikitude Studio, Eclipse... Nhưng mỗi công cụ trên thường chỉ hỗ trợ kết xuất phần mềm cho một hệ điều hành. Nổi lên trong thời điểm hiện tại là Unity 3D Game Engine hỗ trợ lập trình phần mềm chạy trên nhiều hệ điều hành khác nhau như iOS, Android, Windows, Windows Phone.

Dựa trên các điểm mạnh, điểm yếu của các bộ công cụ phát triển phần mềm, nhóm tác giả đã quyết định sử dụng Vuforia SDK kết hợp với Unity 3D cho việc xây dựng và phát triển phần mềm. Trong giới hạn nghiên cứu nhóm tác giả sử dụng Vuforia SDK phiên bản miễn phí cho các nhà phát triển phần mềm, phiên bản này cung cấp đủ các tính năng đáp ứng với mục tiêu của bài báo.

3.2 Công nghệ nhận diện diện QCAR



Hình 2. Quy trình nhận diện diện với thuật toán QCAR

Các hệ thống tăng cường thực trên điện thoại dựa vào hai công nghệ chủ đạo là nhận dạng (Visual tracking) và theo dõi (Recognition). Hai thành phần này được sử dụng như một cặp tương trợ lẫn nhau. Kết quả nhận dạng là cầu nối cho việc theo dõi thành phần tiếp theo của mô hình 3D. Một số hệ thống MAR (Mobile Augmented Reality) như Taylor et al [9] đã giới hạn các theo dõi bằng việc tối ưu kết quả nhận dạng tại khung hình đủ cao. Tuy nhiên cách làm này không đáp ứng được thời gian thực cũng như bộ nhớ. Nếu khung hình trước không kịp trả về kết quả nhận dạng thì có thể nhận dạng sẽ không chính xác. Giải quyết được vấn đề trên, Vuforia cung cấp chức năng nhận diện bằng thuật toán QCAR (The vuforia AR class - QualComm AR) dựa trên thuật toán theo dõi tự nhiên (Natural feature tracking algorithms) [10].

Hình 2 giới thiệu quy trình nhận diện với QCAR. Trong đó: Bước A: đầu tiên một khung hình (Frame) được tạo ra. Bước B: các điểm nhận dạng đáng tin cậy phải được phát hiện trong mỗi Frame mới. Các điểm nhận dạng được phát hiện được chứa một điểm ảnh nhỏ với kích thước không đổi, ví dụ: 8x8 pixel. Bước C: những điểm này phải được so khớp với các điểm tham chiếu trong cơ sở dữ liệu đã được tạo ra trước đây của mục tiêu được theo dõi. Các phương pháp kết hợp phổ biến so sánh các giá trị của các điểm ảnh là: Sum of Squared Differences (SSD) và Sum of Absolute Differences (SAD). Bước D: cơ sở dữ liệu bộ mô tả phải được tính toán cho tất cả các tính năng của máy ảnh được sử dụng để nhận dạng. Bước E: Nếu đủ số lượng điểm nhận dạng tương ứng của camera và cơ sở dữ liệu, thì ta có thể có được mô hình 6 bậc tự do (DOF) có liên quan (hoặc bất kỳ mô hình đăng ký 3D nào khác). Bước F: thông thường một số điểm nhận dạng bị sai và phải được gỡ bỏ trong quá trình xác định. Bước G: hình dáng có thể được tinh chế bằng cách sử dụng các tính năng bổ sung. Bước H: mô hình 3D được chuyển tiếp đến hệ thống bên dưới và toàn bộ quy trình trên sẽ khởi động lại cho khung hình tiếp theo. Thông tin từ khung máy ảnh trước đó có thể được sử dụng để cải thiện hiệu suất theo dõi khung hình.

Trước tiên ảnh nguồn 2D được mô hình hóa thành các điểm nhận dạng dạng lưới lưu trong một tập các hình tam giác (Hình 3),

$$M = \{M_1, \dots, M_N\} \tag{1}$$

trong đó: M_i là ma trận chứa tọa độ các đỉnh:

$$M_i = \begin{bmatrix} x_1 y_1 \\ x_2 y_2 \\ x_3 y_3 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Do vậy, chúng ta có lưới đích M , lưới nguồn M' , một tập ảnh đích $f(x,y)$ và một tập ảnh nguồn $f'(x,y)$.



a) Ảnh nguồn



b) Các điểm nhận dạng trên ảnh đích

Hình 3. Ảnh nhận dạng và các đặc trưng nhận dạng trên ảnh

Quá trình tạo tập ảnh nhận dạng:

- Với mỗi tọa độ điểm ảnh (x,y) trong ảnh đích, tính các hệ số nội suy (a,b,c) tương ứng với tam giác đầu tiên trên lưới đích. Nghĩa là tìm a, b, c sao cho:

$$(x, y) = (a, b, c)M_1 \tag{3}$$

Nếu $(a, b, c) \notin [0,1]$, thử với tam giác tiếp theo cho đến khi tìm được tam giác thứ n đúng.

- Tính tọa độ nguồn theo công thức:

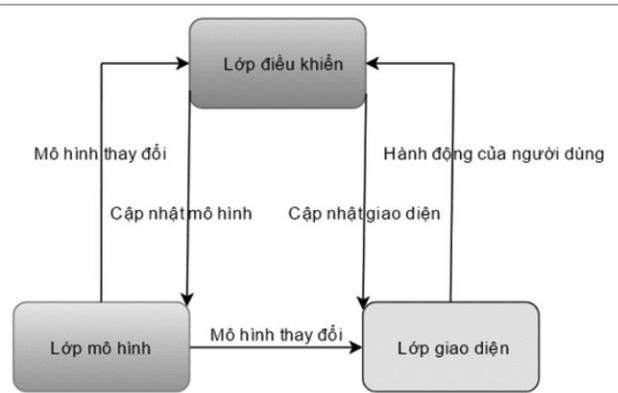
$$(x', y') = (a, b, c)M'_n \tag{4}$$

- Nội suy ảnh nguồn f' tại tọa độ (x', y') và đặt $f(x', y') = f(x', y)$.

Sau khi nhận dạng được ảnh, công cụ extended tracking của Vuforia sẽ cho phép giữ vị trí nhận dạng và di chuyển mô hình theo góc quay và độ di chuyển của thiết bị di động.

3.3 Thiết kế phần mềm

Về kiến trúc phần mềm, nhóm tác giả xây dựng phần mềm hiện thực hóa quy trình kết hợp mô hình BIM và công nghệ AR theo mô hình MVC (Model - View - Controller) thể hiện ở Hình 4. Ưu điểm của mô hình lập trình này là khả năng phân chia hệ thống thành nhiều module nhỏ, dễ dàng quản lý, bảo trì và mở rộng chức năng theo yêu cầu người sử dụng.



Hình 4. Mô hình ba lớp trong kiến trúc phần mềm

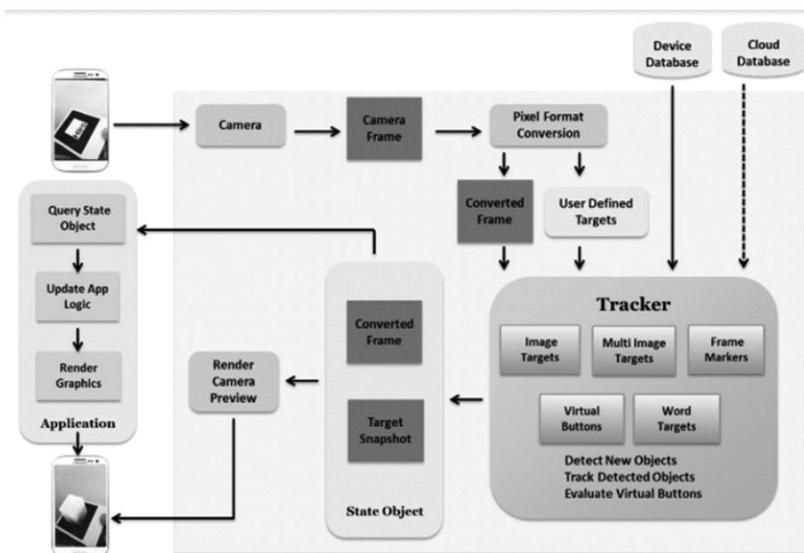
Trong Hình 4, tầng Model để tương tác với dữ liệu ảnh mục tiêu (dataset image target) để nhận dạng; quản lý các mô hình 3D công trình. Tầng View để cung cấp giao diện cho người sử dụng trên thiết bị di động. Tầng Controller dùng để xử lý sự kiện người dùng chạm, vuốt trên màn hình thiết bị, nhận và xử lý yêu cầu nạp mô hình 3D phía model dựa vào hình ảnh camera nhận dạng được.

Nhóm tác giả thiết kế giao diện người sử dụng sao cho người dùng có thể (1) xem và tìm kiếm dự án xây dựng có trong hệ thống; (2) xem thông tin chi tiết về dự án; (3) hiển thị hệ thống M&E ẩn phía trong tường, trần giả khi camera thiết bị chiếu lên bức tường thực; (4) chạm và hiển thị thông tin các đối tượng: ống thông gió, đường điện, nước... bao gồm tên sản phẩm, chủng loại, kích thước, giá thành, ngày sản xuất... theo các shared parameter đã được định nghĩa ở family và gắn liền với vật thể.

Về thiết bị, nhóm tác giả ưu tiên phát triển phần mềm chạy trên các thiết bị di động cài đặt hệ điều hành Android, iOS, Windows Phone. Đề xuất cấu hình tối thiểu thiết bị trải nghiệm tốt bao gồm: (1) kích thước màn hình tối thiểu là 5 inch; (2) bộ nhớ Ram của thiết bị di động tối thiểu 2GB; (3) bộ xử lý CPU tối thiểu là Qualcomm Snapdragon 410, Quad-core 1.2 GHz; (4) phiên bản hệ điều hành sử dụng tối thiểu là Android 5.0, iOS 7, Windows Phone 8.1; (5) Camera 8MP; (6) yêu cầu thời gian tối thiểu để phần mềm nhận dạng và hiển thị mô hình BIM là 3-5s.

Từ những phân tích thiết kế nêu trên, để đáp ứng nhu cầu trải nghiệm của người sử dụng, nhóm tác giả lựa chọn giải pháp xây dựng ứng dụng chạy trên đa nền tảng (điện thoại, máy tính bảng, máy tính cá nhân...). Giải pháp này sử dụng nền tảng Unity 3D Engine kết hợp với Vuforia SDK.

Để đáp ứng yêu cầu nhận dạng hình ảnh và hiển thị mô hình BIM lên thiết bị di động, phần mềm cần tích hợp những thành phần cốt lõi sau đây (Hình 5):



Hình 5. Kiến trúc phần mềm sử dụng bộ công cụ phát triển Vuforia

Trong Hình 5, “Application” là thành phần chạy trên thiết bị di động. Sử dụng kết quả nhận dạng và dữ liệu từ camera để hiển thị đúng mô hình 3D. “Camera” sẽ chụp hình vật thể thực và chuyển đổi sang các khung hình (frame) sử dụng thành phần Pixel Format Conversion, kết quả của việc chuyển đổi này kết hợp với dữ liệu ảnh mục tiêu sẽ được sử dụng cho các thuật toán nhận dạng. “Tracker” có chức năng dò tìm phát hiện và theo dõi các đối tượng trong thế giới thực sử dụng thuật toán QCAR nhận dạng hình ảnh. Kết quả của “Tracker” cung cấp thành phần gọi là hiện trạng đối tượng (State Object) giúp “Application” hiển thị mô hình 3D lên thiết bị. “Device DataBase” là cơ sở dữ liệu offline quản lý các ảnh mục tiêu dưới định dạng XML, đây là kết quả của thuật toán QCAR nhận dạng hình ảnh ban đầu. Dữ liệu này nhằm so khớp với hình ảnh trên camera thiết bị phục vụ cho việc nạp mô hình 3D. “Cloud DataBase” cho phép phần mềm dò tìm ảnh mục tiêu trên nền tảng đám mây theo thời gian thực. Lúc này thiết bị cần có kết nối mạng, ưu điểm của Cloud Database là lưu trữ dữ liệu lớn (đến 1 triệu targets). Đây là hướng sử dụng rất linh hoạt khi phần mềm cần mở rộng.

Các bước lập trình nhận dạng và hiển thị mô hình BIM được mô tả như sau. Bước 1: Chương trình khởi tạo các Textures (bề mặt mô hình 3D). Bước 2: Nạp và kích hoạt dataset (định dạng XML) của ảnh mục tiêu. Bước 3: Máy ảnh (Camera) chiếu vào vật thể thực (bức tường...), hoặc mô hình bản vẽ 2D. Bước 4: Chương trình sẽ nhận dạng và so khớp vật thể với ảnh mục tiêu đã được nạp. Bước 5: Hiển thị mô hình 3D lên màn hình thiết bị nếu vật thể trùng khớp. Bước 6: Duy trì chế độ theo dõi mở rộng (extended tracking) để hiển thị mô hình khi camera rời ảnh mục tiêu. Bước 7: Lắng nghe và bắt sự kiện chạm (touch) trên thiết bị và hiển thị thông tin hệ thống ME từ mô hình BIM.

4. Hình ảnh minh họa phần mềm

Bằng việc kết hợp công nghệ AR với công nghệ BIM nhóm tác giả đã tạo ra phần mềm hoạt động tốt trên hệ điều hành Android và iOS cho phép (i) hiển thị hệ thống ME ẩn trong những bức tường, trần giả; (ii) hiển thị thông tin như đường kính, hãng sản xuất, thời hạn thay thế, bảo dưỡng... của từng đường ống, thiết bị ME khi người dùng kích chọn trên thiết bị. Sản phẩm ứng dụng trong quá trình thiết kế, vận hành, bảo dưỡng công trình xây dựng. Hình 6 thể hiện một số hình ảnh giao diện chức năng phần mềm hoạt động trên thiết bị di động. Hình 7 thể hiện tăng cường thực tế hệ thống cơ điện trong mô hình BIM khi chiếu camera thiết bị lên tường của nhà G3 - trường Đại học Xây Dựng và hiển thị một số thông tin của lavabo khi người dùng kích chọn lavabo.



Hình 6. Giao diện phần mềm và chức năng hoạt động trên thiết bị di động



Hình 7. Hiển thị hệ thống ống nước ẩn trong bức tường, tương tác chạm hiển thị thông tin của lavabo



Hình 8. Thông tin chi tiết đường ống nước ẩn sau bức tường



5. Kết luận

Bài báo đã đề xuất một quy trình kết hợp công nghệ BIM và công nghệ AR. Quy trình này phù hợp với tiêu chuẩn BIM của các nước trên thế giới. Từ quy trình trên, nhóm tác giả đã viết một ứng dụng chạy trên các thiết bị di động, phục vụ cho việc quản lý hệ thống M&E ngoài hiện trường, giúp việc quản lý bảo trì, thay thế các hệ thống M&E một cách đơn giản, thuận tiện. Qua kết quả thử nghiệm trên các thiết bị di động có cấu hình tối thiểu để xuất tại mục 3.3, phần mềm hoạt động tốt, hình ảnh tăng cường thực tế hiển thị rõ nét. Người dùng dễ dàng thao tác trên thiết bị di động thông qua hành động chạm và vuốt. Khi cần xem chi tiết các góc, công nghệ theo dõi mở rộng hoạt động tương đối ổn định, không bị mất mô hình nếu di chuyển thiết bị chậm. Các hiệu ứng (animation) hiển thị mô hình khi nhận dạng được ảnh mục tiêu hoạt động mượt mà, thời gian nhận dạng mặt bằng bản vẽ 2D tương đối nhanh (trung bình từ 2-5s) để nạp mô hình 3D lên thiết bị. Bên cạnh đó vẫn tồn tại một số nhược điểm: do hoạt động offline nên chương trình khá nặng, tốn bộ nhớ thiết bị di động (>200MB). Bên cạnh đó phần mềm lưu trữ số lượng mô hình công trình giới hạn phụ thuộc vào bộ nhớ thiết bị. Giao diện chưa đẹp do Unity 3D là phần mềm hỗ trợ xây dựng ứng dụng đa nền tảng, không mạnh về thiết kế giao diện người dùng. Phần mềm do nhóm tác giả viết có đầy đủ khả năng đáp ứng được cho việc quản lý vận hành hệ thống M&E cho các công trình lớn và giá thành thấp hơn rất nhiều so với phần mềm tương tự trên thế giới.

Tài liệu tham khảo

1. Liston K., Sacks R., Eastman M.C., Teicholz P. (2008), *A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2nd Edition*, Wiley.
2. Deutsch R. (2011), *BIM and Integrated Design: Strategies for Architectural Practice*, John Wiley & Sons, Inc.
3. Hosseini M.R., Azari E., Tivendale L., Chileshe N. (2015), "Barriers to adoption of building information modeling (BIM) in Iran: Preliminary results", *ResearchGate*, 2.
4. Sawhney A. et al. (2014), *State of BIM Adoption and Outlook in India*, RICS School of the Built Environment, Amity University.
5. Augmented Reality for Mobile Devices (2015) [online], Installed Base of Mobile Augmented Reality Apps to Reach 2.2 Billion by 2019, Available at: <https://www.tractica.com/newsroom/press-releases/installed-base-of-mobile-augmented-reality-apps-to-reach-2-2-billion-by-2019/> [Accessed May 5th 2017]
6. Ứng dụng LOAR+ (2017) [online], Available at: <https://play.google.com/store/apps/details?id=au.com.laingorourke.lorarplus&hl=vi>
7. Team Viewar, công ty cung cấp giải pháp tăng cường thực hàng đầu, từng đạt giải nhất trong "Auggie Award for the world's best Augmented Reality App.- Augmented World Expo, SILICON VALLEY 2016", Available at: <http://viewar.com/> [Accessed May 10th 2017]
8. BIMevoke, chuyên gia thiết lập và cung cấp các công nghệ và quy trình BIM có trụ sở tại Anh, Available at: <http://www.bimevoke.co.uk/> [Accessed May 10th 2017]
9. Taylor S., Rosten E., Drummond T. (2009), "Robust Feature Matching in 2.3us", in *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
10. SEAH, Soon H. (2014), *Tracking for AR*, NTU Singapore, CE/CZ4001 Virtual and Augmented Reality.