

TỰ ĐỘNG XÁC ĐỊNH KHÔNG GIAN AN TOÀN CHO NGƯỜI ĐI BỘ TRÊN MẶT BẰNG CÔNG TRÌNH THI CÔNG SỬ DỤNG BIM – 4D

Lê Thị Phương Loan^{a,*}, Trần Quang Dũng^a, Nguyễn Văn Hải^b

^a*Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

^b*Khoa Công nghệ Thông Tin, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 24/10/2020, Sửa xong 02/11/2020, Chấp nhận đăng 04/11/2020

Tóm tắt

Trên các công trường xây dựng, để đảm bảo an toàn cho người đi bộ xuyên qua mặt bằng đang thi công, người quản lý cần xác định đường đi tạm thời phù hợp với tiến độ. Nhằm hỗ trợ cho người quản lý tổ chức đường đi trên mặt bằng, chúng tôi đã phát triển một chương trình mang tên Safepath2020. Từ dữ liệu đầu vào là file IFC chứa thông tin mô hình 4D của công trình, chương trình tự động xác định các không gian mà người lao động không nên đi vào, các không gian còn lại chính là không gian an toàn tạm thời có thể sử dụng làm đường đi. Trước khi xây dựng chương trình, chúng tôi đã nghiên cứu các kiến thức về tổ chức không gian trên mặt bằng tầng, các yêu cầu về an toàn trong tiêu chuẩn và phương pháp hiệu quả trong thực tiễn. Kết quả nghiên cứu cho phép người quản lý công trường nhanh chóng xác định được không gian an toàn có thể sử dụng làm đường đi cho người đi bộ trên mặt bằng công trình.

Từ khoá: tổ chức lối đi trên mặt bằng tầng; đường đi cho công nhân; không gian làm việc; mô hình BIM – 4D; sử dụng file *.IFC.

AUTOMATICALLY DETERMINING SAFE SPACES FOR PEDESTRIANS ON FLOOR UNDER CONSTRUCTION USING BIM-4D

Abstract

On the construction sites, to ensure the safety of pedestrians moving through the floor under construction, managers need to define temporary paths in accordance with the project plan. In order to help managers plan floor-level paths, we developed Safepath2020. From input data which is an *.IFC file of 4D BIM project, the program determines automatically the work spaces that workers shouldn't go through; the rest of spaces on the floor are the safety spaces that can be used as workers' path. Before building the program, we study knowledge about floor-level layout planning, safety requirements and an effective practice method. The research result enables managers to rapidly determine the safe spaces that can be used as workers' path on the floor.

Keywords: floor-level path planning; labourer's path; work space; 4D - BIM model; IFC-based.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(5V\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(5V)-12) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Trọng tâm của công trường xây dựng chính là mặt bằng đang thi công của công trình. Trên một mặt bằng (có thể là tầng 1, 2, 3...), nhiều hoạt động xây dựng cùng được tiến hành song song, nhiều tổ đội công nhân cùng làm việc. Do đó, các công nhân khi muốn đi từ một điểm nào đó trên mặt bằng tới

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: loanlp@nuce.edu.vn (Loan, N. T. P.)

vị trí công tác của mình phải đi qua khu vực thi công của nhiều tổ đội khác. Điều này tiềm ẩn nhiều nguy cơ gây tai nạn cho công nhân di chuyển qua các khu vực này như: trượt, vấp ngã do dụng cụ, thiết bị trên mặt sàn; bị vật tư đổ vào người, ... Theo báo cáo của HSE [1], trượt và vấp ngã là nguyên nhân hàng đầu được thống kê trong các báo cáo về tai nạn, thương tích trong ngành xây dựng ở Anh. Đây là nguyên nhân của hàng nghìn tai nạn trên các công trường ở Anh mỗi năm, khoảng 1000 người trong số đó bị nứt xương hoặc trật khớp. Những tai nạn đơn giản như vậy buộc công nhân xây dựng phải nghỉ việc dài ngày hoặc thậm chí rời khỏi ngành. Vị trí trượt, vấp ngã có thể là ở nơi làm việc hoặc ở trên chính đường di chuyển của công nhân do bị vướng bởi vật liệu, máy móc, đường dây. Như vậy việc tổ chức đường đi cho công nhân không hợp lý, thiếu ngăn nắp có thể gây nên những hậu quả lớn.

Mặc dù việc tổ chức đường đi cho công nhân là điều quan trọng trong phòng tránh tai nạn, có rất ít nghiên cứu về vấn đề này. Quản lý an toàn trên công trường hiện nay vẫn chủ yếu tập trung vào không gian làm việc [2, 3]. Điều này có thể do việc xác định mỗi nguy khi nghiên cứu tình huống công nhân đang làm việc thực tế là dễ dàng hơn so với khi họ di chuyển. Mặt khác, việc xác định đường đi tạm thời cho công nhân trên mặt bằng thi công gặp nhiều khó khăn do sự thay đổi liên tục của công trường [4].

Bài toán xác định đường đi cho công nhân thường được giải quyết như một phần của bài toán tổ chức không gian trên mặt bằng. Mục tiêu bài toán là sắp xếp tất cả các yếu tố của sản xuất xây dựng trên mặt bằng, bao gồm: công nhân, máy móc cố định, thiết bị tạm thời, vật tư, đường đi phù hợp với tiến độ thi công và giảm thiểu xung đột giữa chúng [5]. Việc tổ chức không gian trên mặt bằng công trường là một nhiệm vụ hết sức khó khăn và là việc thường được quyết định dựa trên trực giác của người lập kế hoạch thi công [6]. Tuy vậy, rất nhiều nỗ lực nghiên cứu đã được đưa ra nhằm mục đích giải bài toán này một cách khách quan hơn [2, 7–11].

Khi tổ chức đường đi, các nghiên cứu trước đây đều chưa đề cập đến vấn đề an toàn. Nghiên cứu của Guo năm 2002 [5] xác định đường đi bằng cách trước tiên tổ chức các không gian đang thi công, không gian vật tư; sau đó kiểm tra độ rộng đảm bảo (1 m) ở không gian xung quanh các khu vực này; cuối cùng gán cho các không gian này là không gian đi lại cho mọi mục đích. Nghiên cứu này mới dừng ở việc sử dụng mô hình 2D của công trình lập bởi Cad và tiến độ lập bởi Microsoft Project. Trong nghiên cứu của Choi năm 2014 [8], đường đi trên công trường được xác định từ thuật toán lập trình rô-bốt tìm đường trong mê cung – thuật toán bám theo tường (the wall follower algorithm) [12]. Thuật toán bám theo tường tìm đường đi có sẵn bằng các bước sau: (1) nó tạo ra một đường thẳng từ điểm bắt đầu đến điểm đích; (2) khi đường đi gặp chướng ngại vật, đường sẽ di chuyển dọc theo bề mặt của chướng ngại vật cho đến khi gặp đường thẳng được xác định trước một lần nữa. Nghiên cứu của Kim năm 2016 [13] xác định đường đi của công nhân trên công trường theo thuật toán tìm đường ngắn nhất Dijkstra kết hợp lý thuyết đồ thị khả năng hiển thị. Các nghiên cứu gần đây [8, 13] sử dụng thông tin từ mô hình 4D BIM.

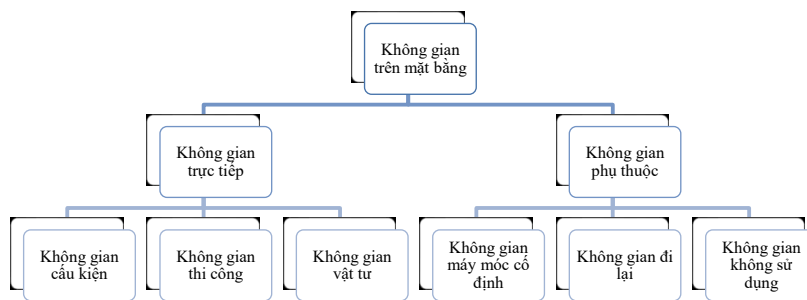
Hạn chế của các nghiên cứu trước đây là: thứ nhất, đường đi bám sát vào các vật cản, không xét đến các yếu tố an toàn; thứ hai, các lối đi không được quy hoạch thu gọn mà phát triển trên bất cứ không gian nào còn lại trừ không gian thi công xung quanh cấu kiện. Do đó, một nghiên cứu mới cần được triển khai để tìm ra phương thức tự động vẽ đường đi tạm thời cho công nhân trên mặt bằng đang thi công đảm bảo yếu tố an toàn. Để đạt được mục đích này, nhóm nghiên cứu đề ra một phương pháp xác định đường đi tạm thời đảm bảo an toàn và mang tính khả thi xuất phát từ các cơ sở lý luận và thực tiễn. Phương pháp này được mô phỏng lại bằng một chương trình viết trên nền WPF của Visual Studio. Thông tin đầu vào là file IFC của mô hình 4D-BIM và thông tin đầu ra là các không gian cho phép triển khai đường đi tạm thời. Đường đi này thay đổi phụ thuộc vào cấu tạo mặt bằng tầng và tiến

độ thi công. Phần mềm được kiểm tra tính đúng đắn với mô hình 4D-BIM của một công trình thực tế. Kết quả nghiên cứu cho phép người thiết kế biện pháp thi công, quản lý công trường ứng dụng để vạch tuyến đường đi tạm thời hợp lý trên mặt bằng công trình.

2. Cơ sở lý luận và thực tiễn đề xuất phương pháp xác định đường đi tạm thời

2.1. Phân loại các không gian trên mặt bằng công trình

Về cơ bản, không gian trên mặt bằng có thể phân chia theo hai kiểu: theo tính năng và theo khả năng di chuyển [8]. Việc phân chia theo tính năng hay được sử dụng hơn do nó giúp xác định dễ dàng phạm vi yêu cầu của không gian. Nghiên cứu của Riley và Sanvido [9] phân loại không gian trên mặt bằng tầng thành 13 kiểu. Dựa theo nghiên cứu này, tác giả bài báo [8] đã phân loại không gian mặt bằng thi công thành 6 loại thuộc 2 nhóm lớn. Nhóm không gian trực tiếp gồm có: (1) không gian cấu kiện (2) không gian thi công, (3) không gian vật tư. Nhóm không gian phụ thuộc (không gian mà sự tồn tại của chúng phụ thuộc vào nhóm không gian trực tiếp) gồm có: (1) không gian máy móc cố định, (2) không gian đi lại và (3) không gian không sử dụng, không gian để bảo vệ cho các công trình đã hoàn thành hoặc đảm bảo khoảng cách an toàn trong một số công việc đặc biệt.



Hình 1. Phân loại các không gian trên mặt bằng [8]

Bảng 1 tóm tắt định nghĩa, vị trí, cách xác định kích thước, thời điểm xuất hiện và kết thúc của 6 loại không gian trên.

2.2. Yêu cầu của các tiêu chuẩn, hướng dẫn kỹ thuật trên thế giới

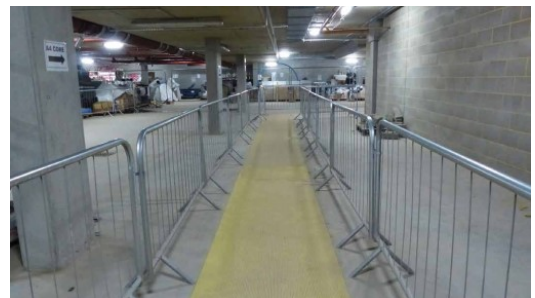
Theo điều 17, phần 4 “Pháp lệnh về Thiết kế và quản lý xây dựng- CDM 2015” của nước Anh [14], công trường xây dựng phải được tổ chức sao cho công nhân có thể di chuyển và tiếp cận một cách an toàn từ bất cứ vị trí làm việc nào tới các điểm được phép trên công trường hay ngược lại (từ các điểm được phép trên công trường tới vị trí làm việc). Điều 25 “Pháp lệnh về an toàn và sức khỏe lao động trong xây dựng - 29.CFR 1926” của Hoa Kỳ [15] yêu cầu các lối đi trên công trường xây dựng phải đảm bảo không có vật liệu, rác thải xây dựng chặn đường.

“Tiêu chuẩn thực hành công tác xây dựng” của Australia [16] mục 7.1 cũng khẳng định sắp xếp không gian gọn gàng, hợp lý là biện pháp cơ bản đảm bảo không gian làm việc an toàn, trong đó phải kể đến: lối vào, ra, đi qua khu vực làm việc phải được giữ sạch và không bị cản trở bởi vật liệu và rác thải xây dựng. Không gian làm việc phải được xác định rõ, tách biệt để đảm bảo công việc được thực hiện một cách an toàn. Cần lập kế hoạch quản lý không gian để chuẩn bị trước các khu vực nào sử dụng cho mục đích gì: nhận vật liệu, trữ vật liệu, lối vào, ra, trữ rác thải.

Bảng 1. Định nghĩa và các đặc điểm của không gian trên mặt bằng [8]

| Loại không gian | Định nghĩa | Vị trí, cách xác định kích thước | Thời điểm xuất hiện và kết thúc | |
|----------------------|----------------------------|---|--|--|
| Không gian trực tiếp | Không gian cấu kiện | Không gian do một thành phần của công trình chiếm: vách, cột, cầu thang. | Vị trí và kích thước của không gian phụ thuộc vào vị trí, kích thước cấu kiện theo thiết kế. | Xuất hiện khi công việc gắn liền với cấu kiện bắt đầu và suốt toàn bộ dự án. |
| | Không gian thi công | Khu vực cần thiết cho một tổ đội cùng với các phương tiện của họ thực hiện một công việc chuyên biệt. | Vị trí và kích thước phụ thuộc vào cấu kiện được thi công và phương pháp thi công. | Xuất hiện khi công việc bắt đầu và biến mất khi công việc kết thúc. |
| | Không gian vật tư | Khu vực để dự trữ vật tư cho mỗi công việc trong công trình. | Kích thước phụ thuộc vào các thông số hình học của vật liệu, khối lượng công tác được thực hiện. Vị trí phụ thuộc vào kế hoạch phân phối vật liệu. | Xuất hiện khi công việc bắt đầu và biến mất khi công việc kết thúc. |
| Không gian phụ thuộc | Không gian máy móc cố định | Khu vực đặt để các thiết bị cố định cho cả công trình, ví dụ cần trục, vận thăng. | Theo tổng mặt bằng công trình. | Xuất hiện trước khi bắt đầu các công việc liên quan và biến mất khi các công việc liên quan kết thúc. |
| | Không gian đi lại | Khu vực sử dụng để lưu thông nhân lực hoặc vật liệu | Phương pháp thi công và đặc trưng hình học của vật liệu định nghĩa không gian tối thiểu để lưu thông. | Tồn tại trong suốt quá trình tồn tại của các công việc liên quan. |
| | Không gian không sử dụng | Không gian để bảo vệ cho các công trình đã hoàn thành hoặc đảm bảo khoảng cách an toàn trong một số công việc đặc biệt. | Các mối nguy phụ thuộc theo phương pháp thi công, yêu cầu về bảo vệ cấu kiện cho phép xác định kích thước và vị trí không gian. | Tồn tại cùng với sự tồn tại của phần công trình đã hoàn thành cần bảo vệ hoặc công việc cần cách ly đảm bảo an toàn. |

“Tiêu chuẩn quản lý không gian và phương tiện làm việc” của Australia [18] quy định về cách tổ chức không gian làm việc (kể cả các không gian di động, tạm thời), các lối đi trong khu vực làm việc phải rộng ít nhất 600 mm và không có vật cản tại mọi thời điểm. Trường hợp cần thiết phải xác định rõ ràng các tuyến đường vào và ra, ranh giới của tuyến đường phải được đánh dấu bằng một đường vạch liền màu trắng, vàng hoặc khác màu tương phản rộng tối thiểu 50 mm hoặc bằng các vạch phát sáng. Yêu cầu này được minh họa qua Hình 2.



Hình 2. Lối đi cho người đi bộ trên công trường của một công ty xây dựng [17]

Như vậy để đảm bảo sự gọn gàng, an toàn của lối đi tạm thời đi thì cách tốt nhất là ngăn cách chúng khỏi các khu vực làm việc, đánh dấu rõ ràng, đồng thời đảm bảo độ rộng tối thiểu.

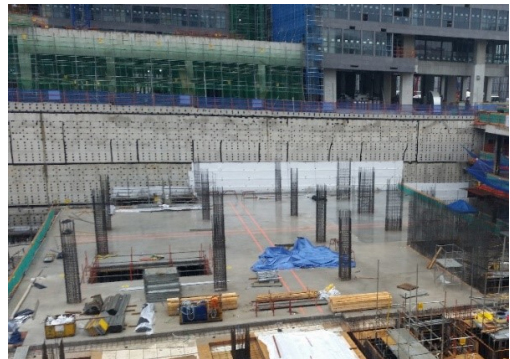
2.3. Phương thức tổ chức đường đi trên mặt bằng trong thực tế

Tại Việt Nam, khái niệm về tổ chức đường đi cho người đi bộ trên mặt bằng công trình chưa thực sự phổ biến. Nhiều công trường của Việt Nam không có lối đi riêng cho người đi bộ. Các văn bản

pháp luật, tiêu chuẩn cũng chưa hướng dẫn cụ thể về cách thức tổ chức đường đi cho người đi bộ trên mặt bằng công trình.



(a) Đường đi xuyên qua không gian chứa ván khuôn

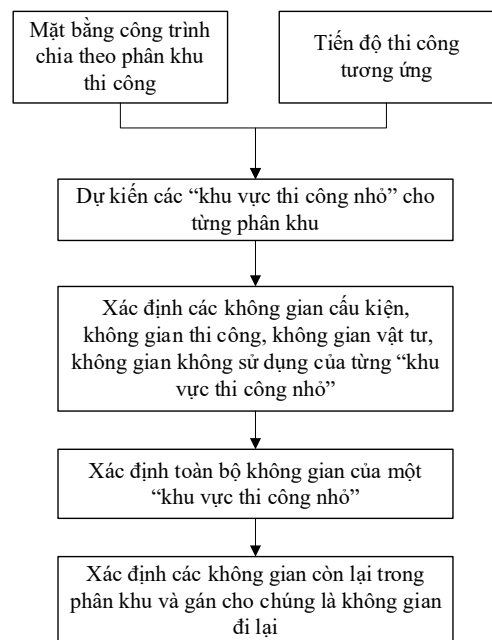


(b) Đường đi trong không gian thi công cốt thép cột

Hình 3. Đường đi tạm thời cho người đi bộ trên mặt bằng công trình (được thể hiện bằng 2 vạch màu sáng song song) tại một công trường thi công nhà cao tầng tại Seoul (ảnh tư liệu từ chuyến đi thực tập của tác giả tại công ty xây dựng SK - Hàn Quốc năm 2016)

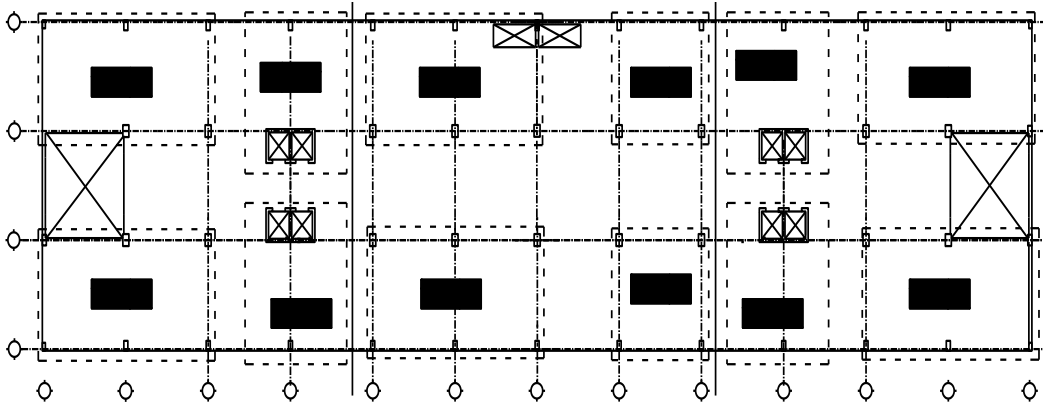
Tại Hàn Quốc, trên các công trường xây dựng lớn, thiếu diện tích kho bãi, các mặt bằng tầng được tổ chức rất khoa học, chặt chẽ, các không gian làm việc, không gian vật tư được quy hoạch cụ thể trên mặt bằng và các lối đi cho người đi bộ (rộng từ 50 cm – 100 cm) được chỉ thị rõ trên mặt bằng bằng các đường vạch màu cam giới hạn hai bên mép đường (Hình 3). Các vạch màu cam này làm từ các dải nhựa màu/ sơn màu, vị trí của chúng thay đổi theo sự thay đổi của vị trí các không gian thi công và không gian vật tư.

Vị trí của các đường đi này được xác định bằng phương pháp như sau: 1) Mặt bằng công trình được chia thành các phân khu thi công, công tác thi công được tổ chức theo phương pháp thi công dây chuyền [19]. 2) Một phân khu thi công sau đó được chia làm các “khu vực làm việc nhỏ”. Mỗi một “khu vực làm việc nhỏ” bao gồm một nhóm các cấu kiện đang thi công, khu vực dự trữ vật tư chung, không gian di chuyển của công nhân từ khu vực vật tư tới cấu kiện, không gian các thiết bị như giàn giáo, ván khuôn ... 3) Không gian còn lại trong các phân khu thi công ngoại trừ các khu vực làm việc nhỏ sẽ được đánh dấu là đường đi tạm thời. Đường đi tạm thời này phục vụ cho các mục đích: công nhân, giám sát di chuyển từ lối lên tầng tới từng “khu vực làm việc nhỏ”, từ “khu vực làm việc nhỏ” này tới “khu vực làm việc nhỏ” khác, công nhân đẩy xe cút kít chở rác thải từ từng “khu vực làm việc nhỏ” tới bãi tập kết chung của tầng. Vật liệu trong khi thi công phần thô vận chuyển bằng cần trục theo hướng từ trên xuống nên không cần đường.



Hình 4. Phương pháp xác định đường đi của người đi bộ trên mặt bằng thi công

Phương pháp này tuy đơn giản nhưng đảm bảo sự tách biệt giữa đường đi và các khu vực làm việc một cách tối đa, để dàng thực hiện yêu cầu về sự gọn gàng của công trường theo tiêu chuẩn trên thế giới. Phương pháp quy gọn tuyến đường này thực sự phát huy hiệu quả khi thi công phần thô của công trình. Phương pháp này được tóm gọn lại trong lưu đồ Hình 4 và hình minh họa tổ chức không gian thi công trên mặt bằng công trình ở Hình 5. Dựa trên phương pháp này chúng tôi đã xây dựng nên chương trình Safepath2020.



Hình 5. Tổ chức không gian thi công kết cấu đứng trên mặt bằng tầng để đảm bảo lối đi cho người đi bộ (các khối màu đen là khu vực vật tư, các đường nét đứt thể hiện đường bao khu vực thi công nhỏ)

3. Xây dựng chương trình tự động xác định đường đi tạm thời

Giới hạn phạm vi áp dụng của chương trình là công trình nhà cao tầng, giai đoạn thi công phần thân, phương pháp tổ chức thi công dây chuyền. Trên thực tế, có 3 phương pháp tổ chức thi công trên công trường: phương pháp tuần tự, phương pháp song song và phương pháp dây chuyền. Khi tổ chức thi công theo phương pháp tuần tự, trên toàn bộ mặt bằng sẽ chỉ thực hiện một dạng công tác vào một thời điểm (điều này có thể thấy trong giai đoạn thi công phần ngầm). Khi tổ chức thi công theo phương pháp song song, trong cùng một khu vực sẽ tiến hành nhiều công tác cùng một lúc (ví dụ ở ngoài lắp kính, bên trong trát, ốp, lát, ...), điều này thường thấy trong giai đoạn thi công phần hoàn thiện. Khi tổ chức thi công theo phương pháp song song phải giải quyết được bài toán xung đột không gian thi công. Giai đoạn thi công phần thân thô công trình, mặt bằng rộng rãi, công việc có tính lặp lại cao, tổ chức thi công theo dây chuyền sẽ tránh sự chồng chéo trong thi công, đảm bảo năng suất và an toàn trong lao động. Phương pháp tổ chức dây chuyền là phù hợp trong giai đoạn thi công phần thân. Do giới hạn phạm vi như đã nêu trên, chương trình được xây dựng dựa trên giả thiết công trình sử dụng phương pháp tổ chức thi công dây chuyền, các không gian thi công của các công tác khác nhau trên mặt bằng tầng không xung đột.

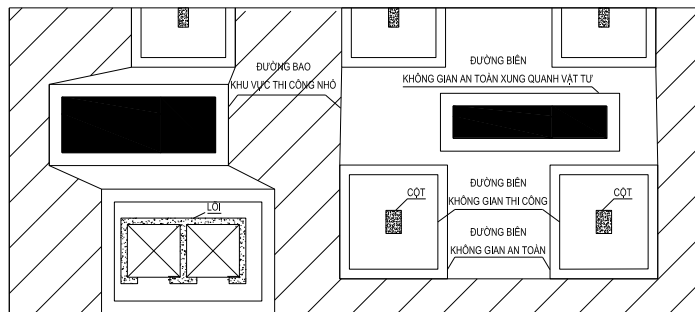
3.1. Tính năng của chương trình

Mục tiêu chính của chương trình là xác định được các đường bao của các khu vực thi công nhỏ (là đường nét đứt trong Hình 5). Không gian nằm trong đường bao là không gian người lao động không nên đi vào. Để thiết lập được đường bao này, trước tiên chương trình cần khởi tạo các không gian thi công và không gian an toàn xung quanh kết cấu. Không gian thi công xung quanh các kết cấu đứng ở đây được định nghĩa là không gian men theo biên kết cấu, đường biên của không gian sẽ cách biên

của kết cấu một khoảng để đảm bảo cho các thao tác thi công và các phương tiện hỗ trợ (ví dụ: dàn giáo). Không gian an toàn là không gian liền kề không gian thi công và biên của không gian an toàn cũng cách biên của không gian thi công một khoảng đảm bảo an toàn. Khoảng cách giữa biên của không gian thi công và biên của kết cấu cũng như khoảng cách giữa biên của không gian thi công và không gian an toàn do người dùng lựa chọn. Sau đó, người dùng sẽ được phép xác định vị trí, kích thước của khu vực vật tư, khoảng cách từ biên khu vực vật tư tới biên không gian an toàn quanh khu vực vật tư. Cuối cùng, người dùng nhóm các đối tượng để tạo thành các khu vực thi công nhỏ.

Khu vực thi công nhỏ được khởi tạo từ sự lựa chọn của người dùng khi lựa chọn các cấu kiện thi công thuộc vào cùng một khu vực thi công nhỏ. Nói cách khác nếu người dùng chọn 4 cột để tạo thành một khu vực thi công nhỏ thay vì 6 cột thì khu vực thi công nhỏ khởi tạo ra sẽ chỉ bao quanh 4 cột mà họ chọn. Điều kiện ở đây là các cấu kiện phải nằm trong cùng một phân khu và liền kề nhau. Cách khởi tạo khu vực thi công nhỏ này mô phỏng hoạt động tổ chức thi công trong thực tế: vào đầu ca, cần trục sẽ cẩu vật liệu xuống các vị trí đã dự tính trước trên mặt bằng, công nhân sẽ di chuyển để lấy vật tư từ vị trí đặt vật tư gần mình nhất và quay trở lại vị trí thi công. Do đó, công tác thi công cũng như việc đi lại trong khu vực thi công nhỏ này hết sức khẩn trương, tấp nập nhưng mặt khác lại gói gọn trong khu vực, không liên quan nhiều đến bên ngoài và nên hạn chế người không có nhiệm vụ xâm nhập vào.

Sau khi nhập đủ thông tin, chương trình khởi tạo các đường biên không gian an toàn quanh cấu kiện và đường biên không gian an toàn quanh vật tư, vẽ đường bao xung quanh khu vực thi công nhỏ. Đặc biệt, các đường bao này sẽ xuất hiện phù hợp với tiến độ thi công do tại mỗi một thời điểm thi công, các đường biên của không gian an toàn quanh cấu kiện và đường biên không gian an toàn quanh vật tư sẽ thay đổi theo công tác đang được thực hiện. Như vậy, các không gian an toàn để đi bộ cũng thay đổi theo. Hình 6 minh họa cho ý tưởng của chương trình.



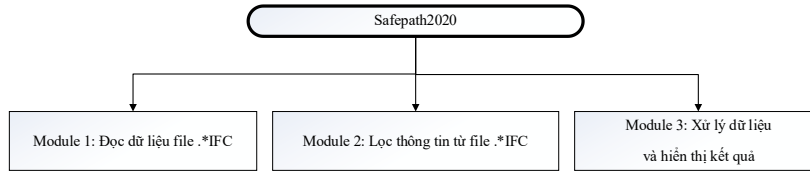
Hình 6. Sự hình thành các không gian thi công, không gian an toàn xung quanh cấu kiện và hình thành đường bao của khu vực thi công nhỏ (phần gạch chéo chính là không gian an toàn để đi bộ)

3.2. Cấu trúc chương trình

Để thực hiện ý tưởng trên, chúng tôi đã xây dựng một chương trình mang tên Safepath2020. Chương trình gồm 3 mô-đun, được lập bằng ngôn ngữ C# sử dụng « bộ khung » WPF của Visual Studio. Mô-đun 1 thực hiện nhiệm vụ đọc thông tin từ file *.IFC. Mô-đun 2 lọc thông tin từ file *.IFC. Mô-đun 3 chịu trách nhiệm xử lý dữ liệu và hiển thị kết quả. Cấu trúc tổng quát của chương trình được thể hiện ở Hình 7.

a. Mô-đun 1 - Đọc dữ liệu file *.IFC

Để đọc dữ liệu file *.IFC của công trình, nhóm nghiên cứu đã thiết lập mô-đun 1 bằng cách dùng mã nguồn XbimEssentials [20]. XbimEssentials là một thành phần nền tảng của Xbim, là một bộ

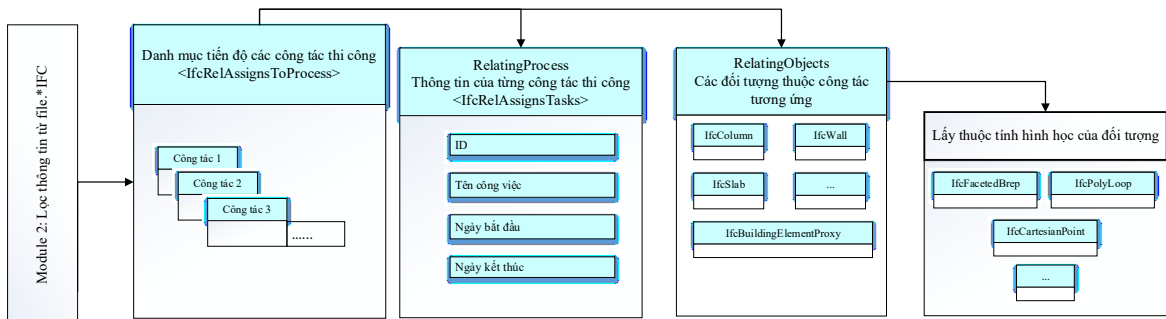


Hình 7. Cấu trúc chương trình Safepath2020

công cụ ứng dụng cho mô hình thông tin công trình (BIM) trên nền tảng .NET. Nó là một thư viện cho phép nhà phát triển dễ dàng xây dựng phần mềm để đọc và ghi, truy vấn dữ liệu từ định dạng BuildingSmart IFC.

b. Mô đun 2 - Lọc thông tin từ file .*IFC

Sau khi đã có được dữ liệu thông tin các đối tượng từ file .*IFC, chương trình tiến hành lấy thông tin danh mục tiến độ các công tác thi công từ lớp IFCRelAssignsTasks. Từ đó, ta sẽ có được hai phần dữ liệu chính: một là ngày bắt đầu và ngày kết thúc của từng công tác, hai là các cấu kiện thuộc công tác đó (ví dụ cột – IfcColumn, vách – IfcWall, các thành phần đặc biệt như ván khuôn – IfcBuildingElementProxy). Đối với các đối tượng là các cấu kiện, ta sẽ lấy thông tin hình học từ các lớp điển hình như bề mặt cấu kiện – IfcFacetedBrep, đường bao của cấu kiện – IfcPolyLoop, và các điểm IfcCartesianPoint - tọa độ điểm nút của đối tượng IfcPolyLoop trong hệ tọa độ Đề - các. Cấu trúc mô đun 2 được mô tả ở Hình 8.

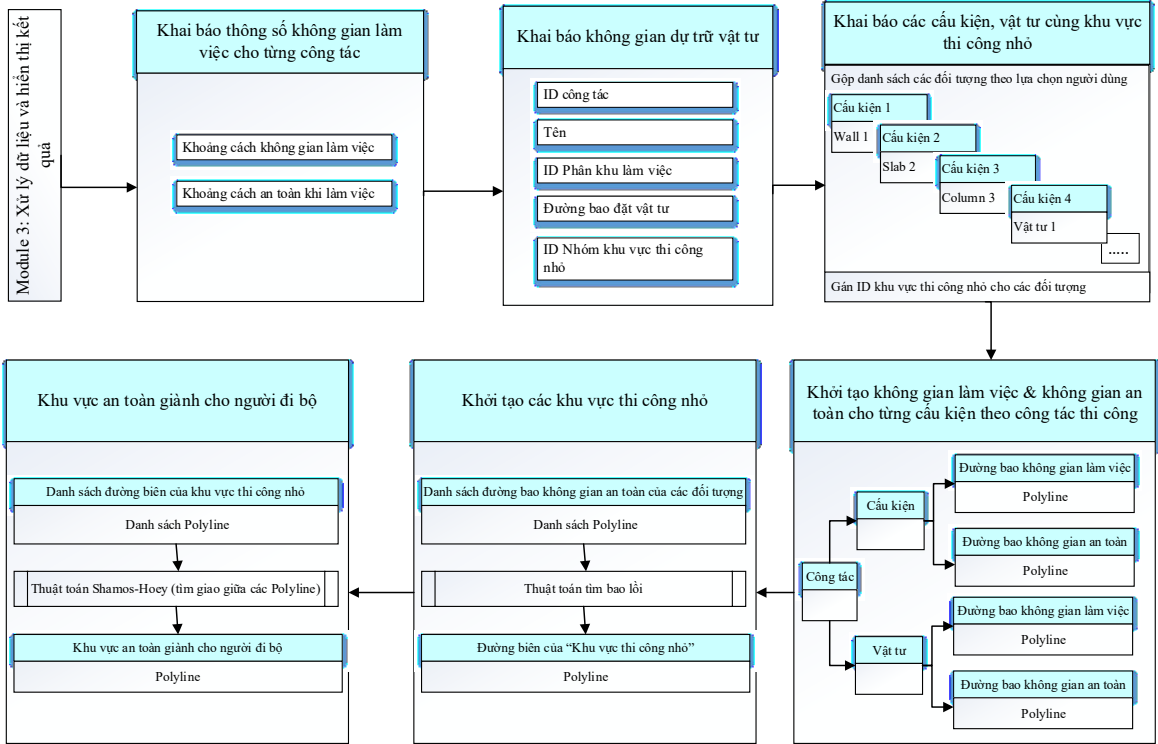


Hình 8. Cấu trúc mô đun 2

c. Mô đun 3 - Xử lý dữ liệu và hiển thị kết quả

Mô đun này nhằm mục đích xử lý dữ liệu file .*IFC thu được từ mô đun 2 và dữ liệu khai báo không gian thi công, không gian an toàn, không gian vật tư của người dùng để cho ra kết quả cuối cùng. Sơ đồ cấu trúc mô đun 3 được thể hiện trong Hình 9.

Để bổ sung thông tin đầu vào cho phần xử lý dữ liệu, chương trình yêu cầu người dùng khai báo các thông số không gian làm việc cho từng công tác (bao gồm: khoảng cách không gian làm việc, khoảng cách không gian an toàn), khai báo không gian dự trữ vật tư (bao gồm tên không gian vật tư, ID phân khu, ID công tác mà nó thuộc vào, không gian đặt vật tư). Sau đó, người dùng được yêu cầu lựa chọn các đối tượng thuộc cùng một khu vực thi công công nhỏ. Chương trình nhóm các đối tượng thuộc cùng khu vực thi công nhỏ mà người dùng đã khai báo. Chương trình khởi tạo không gian làm việc và không gian an toàn cho từng cấu kiện, khởi tạo không gian an toàn xung quanh vật tư. Việc khởi tạo không gian sẽ tiến hành cho từng công tác (từng IfcRelAssignsTask) theo trình tự: 1) xác



Hình 9. Cấu trúc mô đun 3

định các cấu kiện liên quan đến công tác, 2) khởi tạo không gian làm việc và các không gian an toàn dưới dạng các đường polyline kín từ các thông tin liên quan (thông tin hình học của cấu kiện, khai báo thông số không gian của người dùng), 3) gán thông tin tiến độ của công tác cho các không gian này.

Từ dữ liệu đầu vào là những đường biên của các không gian an toàn, tiếp đó chương trình sử dụng thuật toán bao lồi chuỗi đơn điệu của Andrew [21] để xác định khu vực thi công nhỏ. Bài toán tìm bao lồi là một bài toán trong giải thuật hình học điện toán. Bao lồi của một tập hợp Q gồm các điểm là đa giác lồi nhỏ nhất P mà mỗi điểm trong Q nằm trên biên của P hoặc trong phần trong của nó. Khi sử dụng thuật toán bao lồi trong chương trình, thuật toán sẽ lấy đầu vào là các điểm đỉnh của các polyline biểu diễn đường biên không gian an toàn cho từng cấu kiện, đường biên không gian an toàn cho vật tư, sau đó tìm đa giác lồi nhỏ nhất bao xung quanh tất cả các điểm này. Đầu ra của thuật toán là đường polyline nối các đỉnh của bao lồi, chính là đường bao của khu vực thi công nhỏ chứa các cấu kiện và vật tư mà người dùng đã chọn. Có nhiều thuật toán để tìm bao lồi, trong đó thuật toán của Andrew là một trong những thuật toán cho kết quả nhanh nhất và dễ viết chương trình nhất. Thuật toán này xây dựng bao lồi của một tập hợp các điểm 2 chiều sau $O(n \log n)$ lần.

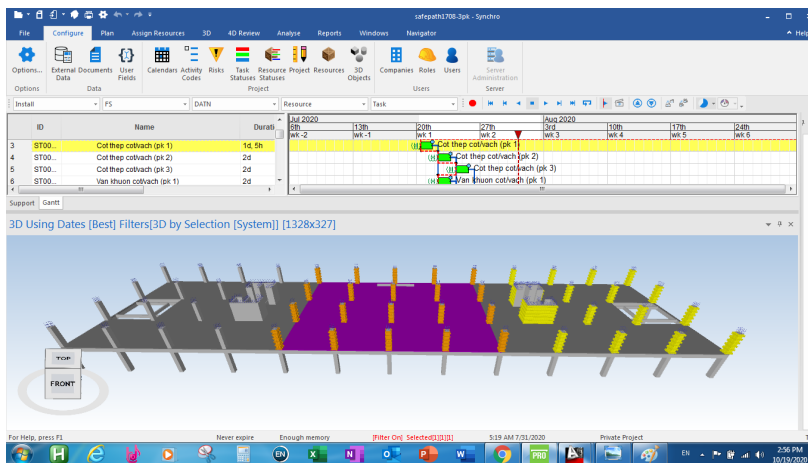
Cuối cùng chương trình sẽ tìm ra khu vực an toàn cho người đi bộ trên mặt sàn bằng cách tìm giao giữa mặt sàn và đường biên các khu vực thi công nhỏ, thao tác này sử dụng thuật toán Shamos – Hoey [22]. Nếu chỉ dừng lại ở bước sử dụng thuật toán Andrew, đường bao của các khu vực thi công sẽ chứa cả các lỗ hổng trên mặt sàn do đó phải tìm giao giữa các đường bao lồi (kết quả của thuật toán Andrew) và mặt sàn. Thuật toán Shamos – Hoey là thuật toán được sử dụng trong trường hợp một ứng dụng cần tìm tập hợp các điểm giao nhau cho một tập hợp nhiều đoạn thẳng.

3.3. Giao diện chương trình

Giao diện chính của chương trình gồm có 1 khung nhìn 3D cho phép quan sát mô hình 3D của công trình, một bảng chứa tiến độ của các công tác dạng Gantt chart cho phép người dùng lựa chọn thời điểm thi công để xem kết quả tương ứng. Trên cùng là menu bao gồm các phần: “File” để mở file *.IFC, “Khai báo” cho phép khai báo, “Thực hiện” để xử lý dữ liệu và cho ra kết quả.

4. Đánh giá chương trình

Để đánh giá hiệu quả của chương trình, chúng tôi đã thử nghiệm với mô hình 4D của một công trình bê tông cốt thép. Kết cấu công trình gồm 3 nhịp, 12 bước. Nhịp và bước nhà đều bằng 8,2 m. Kích thước tiết diện các cột là 600 mm × 900 mm, có 4 lõi thang máy phân bố ở hai bên, chiều dày vách thang máy là 250 mm. Mặt bằng thi công được chia làm 3 phân khu. Tiến độ được lập trong giai đoạn thi công kết cấu đứng của công trình ở tầng 2, bao gồm các công tác: cốt thép, ván khuôn, bê tông cột vách. Tiến độ được tổ chức theo phương pháp dây chuyền. Mô hình 3D của công trình được lập bằng phần mềm Revit và tiến độ thi công được lập bằng Microsoft Project. Mô hình 3D và tiến độ sau đó được nhập vào phần mềm Synchro4D để thiết lập mô hình 4D-BIM (xem Hình 10).



Hình 10. Mô hình 4D của công trình lập bằng Synchro4D

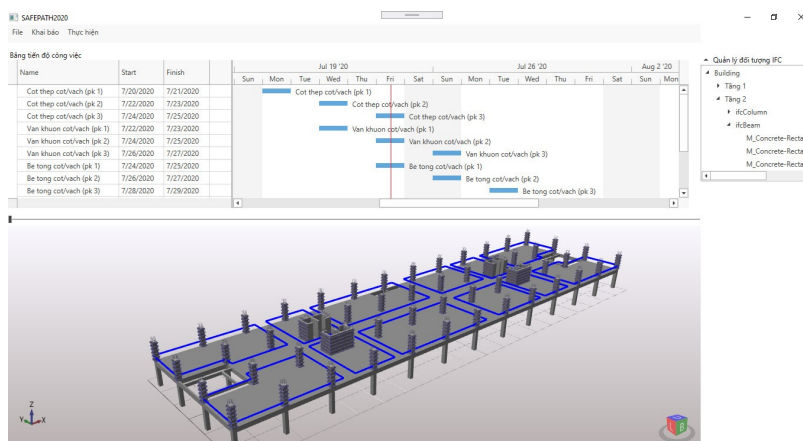
Mô hình 4D được xuất thành file *.IFC. Sau khi nhập file *.IFC vào phần mềm Safepath2020, nhập các số liệu yêu cầu như ở phần phát triển mô hình đã nói. Với công tác cốt thép cột/vách, khoảng cách từ mép cột/vách tới biên không gian thi công được xác định là bề rộng của giáo công tác cố định (1,2 m) cộng thêm 0,1 m khoảng cách từ biên cột, kết quả là 1,3 m. Với công tác ván khuôn cột/vách chúng tôi lấy khoảng cách từ mép cột/vách tới biên không gian thi công tương ứng với khoảng cách từ mép cột/vách tới điểm tựa của cột chống ván khuôn trên mặt sàn. Cột chống được giả thiết là chống từ vị trí cao khoảng 3 m so với mặt sàn (giả thiết này phù hợp với công trình có chiều cao thông thủy là 3,6 m như công trình được xem xét ở đây). Góc nghiêng của cột chống so với mặt sàn là 60°. Do đó, khoảng cách này có thể tính ra được là $\approx 1,7$ m. Công tác bê tông cột/vách lấy giống công tác ván khuôn cột/vách.

Kích thước không gian vật tư lấy bằng 1,5 m × 6 m do chiều dài của cốt thép và ván khuôn để thi công kết cấu đứng thường nằm trong khoảng dưới 6 m, bề rộng vật tư trên sàn nên hạn chế dưới 1,5 m để tiết kiệm không gian. Khi thi công đổ bê tông cột vách thì không còn vật tư trên mặt sàn. Các thông

số đầu vào người dùng nhập cho mô hình được tóm tắt trong Bảng 2. Kết quả là khi di chuyển vị trí con trỏ trên biểu đồ tiến độ Gantt sẽ cho ra hình ảnh của đường bao khu vực thi công nhỏ như trong Hình 11.

Bảng 2. Thông số đầu vào cho mô hình thử nghiệm

| Công tác | Khoảng cách không gian làm việc (m) | Khoảng cách không gian an toàn (m) | Kích thước không gian vật tư (m) | Khoảng cách an toàn không gian vật tư (m) |
|---------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| Cốt thép cột | 1,3 | 0,3 | 1,5 × 6 | 0,5 |
| Ván khuôn cột | 1,7 | 0,3 | 1,3 × 6 | 0,5 |
| Bê tông cột | 1,7 | 0,3 | Không | 0 |



Hình 11. Kết quả của phần mềm tương ứng với thời gian tiến độ

5. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu một chương trình mới mang tên Safepath2020. Chương trình sử dụng đầu vào là file *.IFC chứa thông tin mô hình 4D của công trình, các khai báo của người dùng; kết quả đầu ra là các không gian an toàn cho người đi bộ trên mặt bằng tầng thay đổi theo tiến độ. Chương trình giúp người lập kế hoạch thi công có cái nhìn trực quan hơn và rút ngắn được thời gian trong việc vạch tuyến đường đi tạm thời trên mặt bằng thi công. Chương trình dễ dàng kết hợp với các phần mềm khác do sử dụng thông tin đầu vào là file *.IFC. Để phát triển chương trình hơn nữa cần nghiên cứu thêm về bài toán xung đột không gian trong tổ chức không gian thi công và xây dựng được thuật toán kiểm tra độ rộng của lối đi.

Giới hạn phạm vi ứng dụng của chương trình là công trình nhà cao tầng, giai đoạn thi công phần thân, phương pháp tổ chức thi công dây chuyền. Nếu đem áp dụng chương trình này cho phương pháp tổ chức tuần tự thì sẽ ra kết quả vẫn hợp lý với thực tế. Nếu muốn áp dụng chương trình này cho phương pháp tổ chức song song thì phải giải quyết một bài toán phức tạp hơn trước đó: xung đột không gian thi công.

Để đảm bảo tổ chức đường đi tạm thời hợp lý, nhiệm vụ tiếp theo khi phát triển phần mềm là phải lập được thuật toán kiểm tra được độ rộng của không gian đi lại. Đây cũng là hướng nghiên cứu trong tương lai của chúng tôi. Thực tế, khi phát triển được module “xác định độ rộng của không gian đi lại”, phần mềm sẽ kiểm tra được độ rộng, hẹp của các không gian mà hiện tại đang coi là an toàn cho

người đi bộ. Lúc này, người sử dụng sẽ xác định được chính xác không gian đó có thể đặt một lối đi hay không. Nếu câu trả lời là không, người sử dụng phải chọn lựa một trong 3 phương án: 1) quyết định cấm đường (nếu mọi lối đi xuyên qua phân khu đều bị cấm thì phải mở đường trên sân thao tác ở biên công trình); 2) thu hẹp không gian thi công nếu muốn vạch tuyến tại đó; 3) sử dụng các biện pháp đảm bảo an toàn nghiêm ngặt hơn.

Tài liệu tham khảo

- [1] [Watch your step in the construction industry](#). Truy cập ngày 10/09/2020.
- [2] Roughton, J., Mercurio, J. (2002). *Developing an effective safety culture: A leadership approach*. Elsevier.
- [3] Yi, K.-J., Langford, D. (2006). [Scheduling-based risk estimation and safety planning for construction projects](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(6):626–635.
- [4] Sacks, R., Rozenfeld, O., Rosenfeld, Y. (2009). [Spatial and temporal exposure to safety hazards in construction](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(8):726–736.
- [5] Guo, S.-J. (2002). [Identification and resolution of work space conflicts in building construction](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(4):287–295.
- [6] Kelsey, J. M., Winch, G. M., Penn, A. (2001). *Understanding the project planning process: requirements capture for the virtual construction site*.
- [7] Akinici, B., Fischer, M. (1998). Time-Space conflict analysis based on 4-D production models. *Computing in Civil Engineering*, ASCE, 342–353.
- [8] Choi, B., Lee, H.-S., Park, M., Cho, Y. K., Kim, H. (2014). [Framework for work-space planning using four-dimensional BIM in construction projects](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(9):04014041.
- [9] Riley, D. R., Sanvido, V. E. (1997). [Space planning method for multistory building construction](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 123(2):171–180.
- [10] Thabet, W. Y., Beliveau, Y. J. (1994). [Modeling work space to schedule repetitive floors in multistory buildings](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 120(1):96–116.
- [11] Tommelein, I. D., Zouein, P. P. (1993). [Interactive dynamic layout planning](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 119(2):266–287.
- [12] Madhavan, R., Tunstel, E., Messina, E. (2009). *Performance evaluation and benchmarking of intelligent systems*. Springer.
- [13] Kim, H., Lee, H.-S., Park, M., Chung, B., Hwang, S. (2016). [Automated hazardous area identification using laborers' actual and optimal routes](#). *Automation in Construction*, 65:21–32.
- [14] Secretary for State for Business, Energy and Industrial Strategy UK (2015). *The construction (design and management) regulations 2015*.
- [15] Occupational Safety Health Administration, US Dept of Labor (1993). *29 CFR part 1926 - Safety and Health Regulations for Construction*.
- [16] Australia, Safe Work (2013). *Construction work: code of practice*. Australian Government-Safe Work Australia.
- [17] Berkeleygroup. [Pedestrian access to site and access routes-Common Visual Standard 01](#). Truy cập ngày 12/09/2020.
- [18] Australia, Safe Work (2011). *Managing the work environment and facilities: code of practice*. Safe Work Australia.
- [19] Thám, N. Đ., Thanh, N. N. (2004). *Lập kế hoạch, tổ chức và chỉ đạo thi công*. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [20] Lockley, S., Benghi, C., Cerny, M. (2017). [Xbim. Essentials: a library for interoperable building information applications](#). *The Journal of Open Source Software*, 2(20):473.
- [21] Andrew, A. M. (1979). [Another efficient algorithm for convex hulls in two dimensions](#). *Information Processing Letters*, 9(5):216–219.
- [22] Shamos, M. I., Hoey, D. (1976). [Geometric intersection problems](#). *17th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (sfcs 1976)*, IEEE, 208–215.