# Hệ thống phản chuyển linh hoạt cho các hệ CAD/CAM cơ khí

## A flexible solid 3D model reconstruction system for mechanical CAD/CAM systems

Hoàng Long[2,*], Hoàng Tiến Dũng[1], Nguyễn Tuấn Linh[1]

[1] *Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*

[2] *Trường Đại học Bách khoa Hà Nội*

* *Email: hoanglonggeobk@gmail.com*

*Từ khóa:*

CAD, CAM, Hình chiếu, Phản chuyển .

**Tóm tắt**

Các mô hình CAD ba chiều thường được các nhà thiết kế sử dụng vì các ứng dụng của nó trong các lĩnh vực CAD / CAM / CAE / CAQ. Một xu hướng mong muốn tạo ra mô hình này, từ lâu đã được nghiên cứu bởi các nhà khoa học trên khắp thế giới, là tái tạo mô hình 3D từ các hình chiếu. Với phương pháp này, rất dễ dàng để nhập thông tin hình học cũng như có thể sử dụng bản vẽ 2D đã tồn tại. Hầu hết các công trình trước đây đều sử dụng ba hình chiếu, nhưng nhiều chi tiết phổ biến chỉ cần hai hình chiếu. Một hệ thống phản chuyển linh hoạt đáp ứng với cả hai hình thức biểu diễn nói trên là chủ đề nghiên cứu trong bài báo này. Phương pháp được đề xuất đã được cài đặt và thử nghiệm bởi một chương trình ADSRX chạy trên phần mềm AutoCAD. Các kết quả mô hình 3D đã được kiểm tra tính tương thích với các hệ thống CAD/CAM .

*Keywords:*

CAD, CAM, Orthographic Views, Reconstruction.

**Abstract**

Three-dimensional CAD models are usually used by designers fortheir applications in the areas of CAD / CAM / CAE / CAQ. A desirous trend to create this model has long been studied by scientists around the world, called 3D model reconstruction from views. With this method, it is easy to input geometric information as well as using 2D drawings that have already existed. Most of the previous works used three views, but many of the common details requiresonly two views. A flexible reconstruction system that responds to the both forms is the subject of study in this work. The proposed method was installed and tested by an ADSRX program running on AutoCAD software. The 3D model results have been checked for the compatibility with CAD/CAM systems.

Ngày nhận bài: 21/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 05/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

## 1. GIỚI THIỆU

Mô hình solid 3D trên máy tính trở nên thiết yếu trong kỹ thuật cơ khí hiện đại bởi những ứng dụng gắn liền với nó như tính toán ứng suất, chuyển vị theo phương pháp phần tử hữu hạn, phân tích động lực học, tĩnh học, gia công số, quan sát trực quan... Để tạo ra mô hình này, có ba

khuynh hướng chính: Sử dụng các phần mềm CAD 3D như SolidWork, Inventor, Catia, NX… để trực tiếp tạo ra các khối hình học cơ bản sau đó liên kết chúng với nhau bởi các toán tử Boolean; Tái tạo tự động solid 3D từ bản vẽ kỹ thuật có sẵn dựa trên các hình biểu diễn 2D (được gọi là tự động phản chuyển); Vẽ mới các hình chiếu rồi phản chuyển tự động thành Solid 3D. Phương pháp thứ nhất đã hết sức thành công, bắt đầu xuất hiện từ 1990 với AutoCAD R12, ngày càng tốt hơn và gần như đã đạt độ hoàn hảo, nhưng bên cạnh những ưu điểm của nó thì người thiết kế phải có kỹ năng phân tích đối tượng và thực hiện tương tác thủ công với CAD 3D nên họ phải có kỹ năng đọc hiểu bản vẽ kỹ thuật cũng như sử dụng thành thạo các hệ CAD 3D, điều này là bất tiện với những kỹ sư lâu năm chỉ quen thuộc với cách thiết kế truyền thống, các File Solid 3D này cũng có tính tương thích kém giữa các phần mềm CAD 3D và ngay cả với cùng một phần mềm nhưng phiên bản khác nhau (do tính thương mại). Ngoài ra việc sửa chữa một File CAD 3D là phức tạp hơn nhiều so với sửa chữa một File CAD 2D. Với phương pháp thứ hai và thứ ba, người thiết kế chỉ cần tạo ra (hoặc có sẵn) bản vẽ kỹ thuật 2D, điều này là dễ dàng, nhanh chóng và hết sức quen thuộc với các kỹ sư. Tính tương thích giữa các phiên bản của CAD 2D cũng rất tốt (phiên bản cao hơn sẽ đọc được File của phiên phản thấp hơn và có thể chuyển đổi File của phiên bản cao hơn về dạng của phiên bản thấp hơn). Ngoài ra việc sửa chữa một File CAD 2D là đơn giản hơn nhiều so với sửa chữa một File CAD 3D và hầu hết các sản phẩm hiện tại đã, đang và sẽ còn được biểu diễn và lưu trữ bằng bản vẽ kỹ thuật.

Với những ưu điểm của nó nên phương pháp thứ hai và thứ ba đã được khai sinh từ 1970 bởi Idesawa [1] và liên tục được đông đảo các nhà khoa học trên toàn thế giới tập trung nghiên cứu [2,3], các công trình của họ có thể phân thành hai nhóm: nhóm sử dụng cấu trúc B-Rep (Boundary Representation); nhóm sử dụng cấu trúc CSG (Constructive Solid Geometry). Việc khảo sát các công trình này cho phép đưa ra những đánh giá sau: Gần đây, phương pháp phản chuyển dựa trên mô hình B-Rep được đánh giá cao hơn phương pháp dựa trên mô hình CGS. Điều này chủ yếu là do các phương pháp dựa trên mô hình CSG ít thích hợp với các vật thể có hình dạng, cấu trúc phức tạp (đặc biệt khi mà các khối cơ bản tương tác sẽ làm mất khả năng nhận biết ra chúng) và thường yêu cầu tương tác với người dùng nhiều hơn so với phương pháp dựa trên mô hình B-Rep. Tuy nhiên, trong cách tiếp cận dựa trên mô hình B-Rep vẫn còn một số vấn đề tồn tại: *Hầu hết các phương pháp phản chuyển đều đòi hỏi đầu vào là ba hình chiếu* trong khi các bản vẽ kỹ thuật thường chỉ sử dụng hai hình chiếu để mô tả chi tiết máy thông dụng, việc loại bỏ tất cả các đối tượng sai thường không triệt để, chưa sử dụng thông tin "thấy khuất" trên các hình chiếu dẫn đến cần nhiều hình chiếu để loại bỏ các đối tượng sai này, rất ít công trình tìm ra tất cả các khả năng của kết quả phản chuyển, phạm vi loại đối tượng còn hạn chế, nhiều phương pháp chỉ thích hợp và đề xuất cho đối tượng đa diện, một số khác đã mở rộng phương pháp dành cho đa diện vào mô hình vật thể chứa mặt bậc hai nhưng chưa xử lý được giao tuyến phức tạp và cấu trúc tương tác (cộng, trừ, giao) của các khối cơ bản chứa mặt cong đó, chưa có một công trình nào đạt được cả ba ưu điểm chính là: phản chuyển cho vật thể có chứa khối tròn xoay, từ hai hình chiếu và đưa ra đủ nghiệm.

Những phân tích trên đây là lý do tiến hành những công trình trước đây của chúng tôi [4-7] về vấn đề phản chuyển tự động *chỉ dựa trên 2 hình chiếu*, và [8] *chỉ dựa trên 3 hình chiếu*. Những công trình đó đã từng bước khắc phục được những tồn tại nêu trên và thành công với rất nhiều loại đối tượng, tuy vậy vẫn còn nhiều vấn đề tồn tại cần tiếp tục nghiên cứu giải quyết, trong đó vấn đề: *làm thế nào để xây dựng một hệ phản chuyển tích hợp đáp ứng linh hoạt các tình huống: cho hai hình chiếu là đủ phản chuyển, cho 3 hình chiếu, cho 2 hình chiếu nhưng chưa đủ phàn chuyển hoặc thời gian phản chuyển quá dài* là nội dung nghiên cứu và trình bày trong công trình này.

## 2. PHƯƠNG PHÁP PHẢN CHUYỂN LINH HOẠT ĐỀ XUẤT

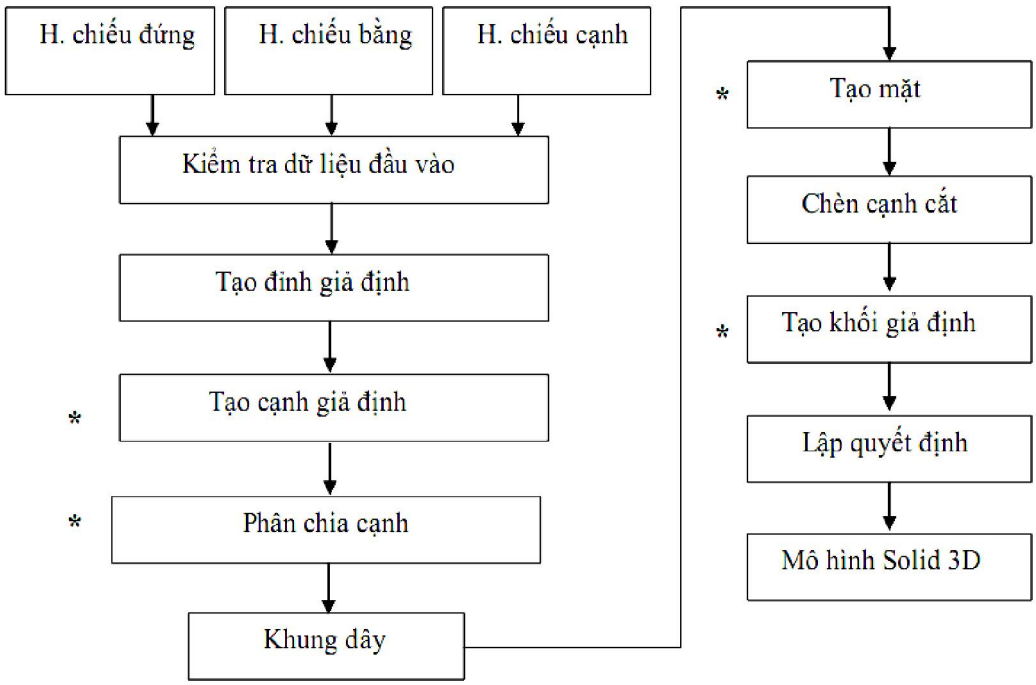
### 2.1. Cơ sở của phương pháp phản chuyển dựa trên mô hình B-Rep điển hình

Phương pháp phản chuyển tổng hợp sau đây [9] kết hợp và phát triển những phương pháp phản chuyển đa diện của Wesley và Yan với phương pháp phản chuyển đối tượng có mặt cong của Sakurai. Gọi $f$ là hàm ánh xạ từ một đối tượng O tới hình chiếu của nó $Ps$, đặt $Ps = f(O)$. Sự phản chuyển mô hình 3D là tìm ra một ánh xạ ngược $f^{-1}$ mà: $O^* = f^{-1}(Ps)$, trong đó $O^*$ là mô hình vật thể rắn 3D của đối tượng $O$. $f^{-1}$ có thể được phân tích trong năm chức năng chính như sau:

$$f^{-1}(Ps) = f_{SL}(f_{BL}(f_{FA}(f_{ED}(f_{VR}(Ps))))) \quad (1)$$

Trong đó: $f_{VR}$ là hàm ánh xạ từ các đỉnh 2D trong $Ps$ đến các đỉnh 3D,
$f_{ED}$ là hàm ánh xạ từ các đỉnh 3D đến các cạnh 3D,
$f_{FA}$ là hàm ánh xạ tới các mặt,
$f_{BL}$ là hàm ánh xạ từ mặt đến các khối ứng viên,
$f_{SL}$ là hàm ánh xạ đến mô hình vật rắn.

Trong mỗi hàm ánh xạ, những quy tắc cùng với một số ràng buộc được áp vào những đối tượng mức thấp để tạo ra những đối tượng mức cao hơn và loại trừ những phần tử "ma".

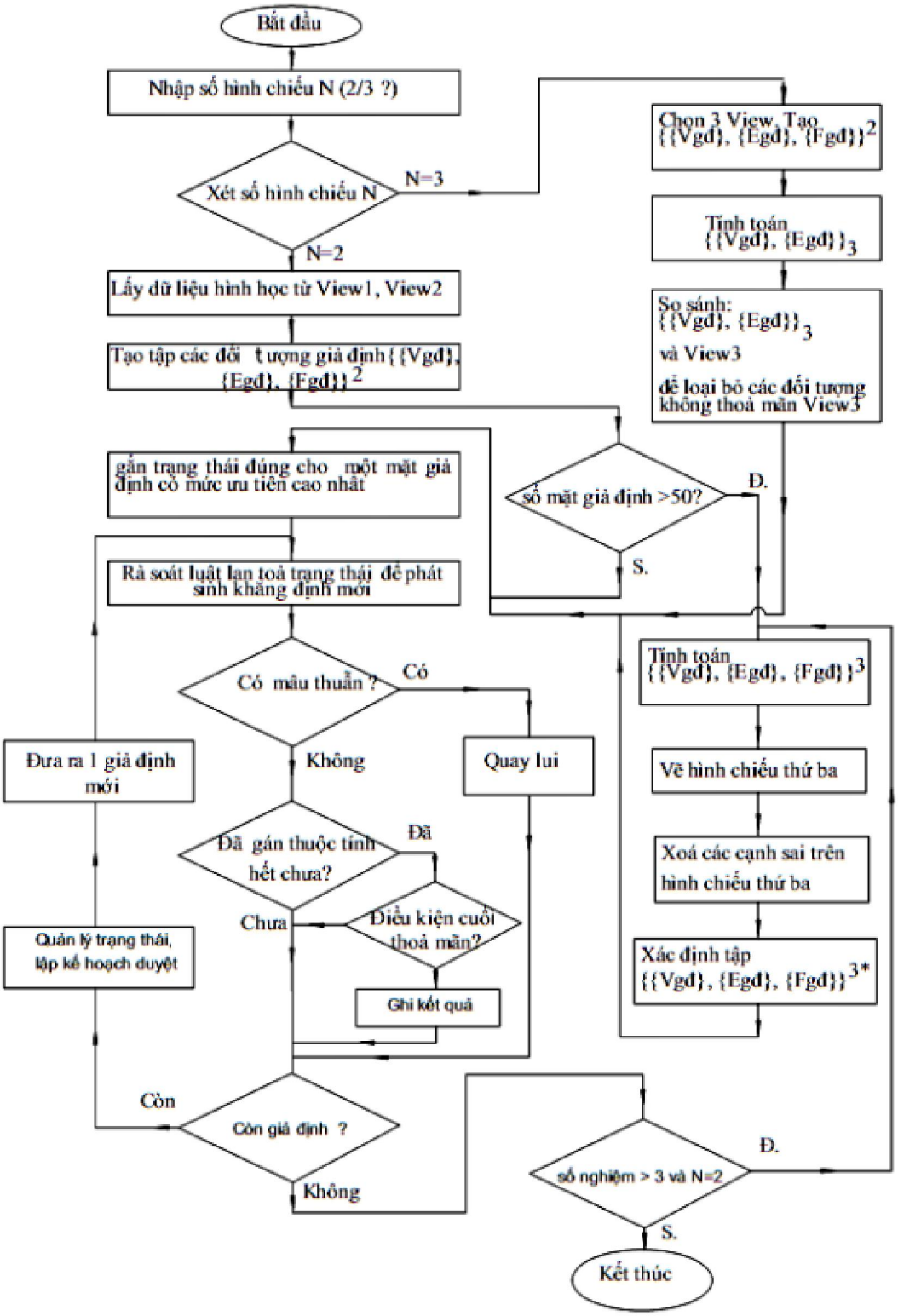



**Hình 1.** Các bước trong phương pháp phản chuyển mô hình 3D dựa trên B-Rep điển hình [9]

Hình 1 chỉ ra các bước của phương pháp tự động phản chuyển mô hình 3D dựa trên B-Rep điển hình. Phương pháp bao gồm tám bước. Những bước chính là sự hình thành đỉnh giả định, sự hình thành cạnh giả định, tạo mặt, tạo khối giả định và sự đưa ra quyết định. Những bước này tương ứng với các hàm ánh xạ. Khi hai cạnh giao nhau, chúng bị phân chia thành bốn cạnh trong bước phân chia cạnh. Nếu hai mặt giao nhau, chúng cũng bị phân thành bốn mặt trong bước chèn cạnh cắt.

## 2.2. Phương pháp phản chuyển linh hoạt đề xuất

Thuật toán hệ phản chuyển linh hoạt đề xuất được chỉ ra trên hình 2:




**Hình 2.** Sơ đồ khối thuật toán hệ phản chuyển linh hoạt

Diễn giải phương pháp và thuật toán:

{V} là tập các đỉnh (Vertex); {E} là tập các cạnh (Edge); {F} là tập các mặt (Face); view1, view2 và view3 là ba hình chiếu đứng, bằng, cạnh. Từ cơ sở dữ liệu 2D được tạo ra từ File bản vẽ theo chuẩn DXF, tìm ra mô hình khung dây giả định bao gồm tập đỉnh {Vgđ}, cạnh {Egđ} giả định, những đối tượng này mới chỉ thoả mãn điều kiện chiếu và có thể đúng hoặc sai. Trong các bài báo khoa học quốc tế thì những đối tượng sai trong mô hình giả định được gọi là đối tượng "ma" (ghost), khi đầu vào của quá trình phản chuyển chỉ là hai hình chiếu thì số lượng các đối tượng "ma" càng nhiều. Chi tiết các vấn đề về tổ chức cơ sở dữ liệu, tạo tập đỉnh, cạnh giả định được trình bày trong [4], tạo mặt giả định {Fgđ} được trình bày trong tài liệu [5]. $\{\{Vgđ\},\{Egđ\},\{Fgđ\}\}^2$ là tập giả định được tạo từ 2 hình chiếu đứng và bằng. $\{\{Vgđ\},\{Egđ\}\}_3$ là hình chiếu cạnh tính toán của tập giả định được tạo từ 2 hình chiếu đứng và bằng. $\{\{Vgđ\},\{Egđ\},\{Fgđ\}\}^{3*}$ là tập giả định được tạo từ 2 hình chiếu đứng và bằng và hình chiếu cạnh đã xoá các nét sai trên hình chiếu cạnh giả định được tự động tạo ra. Vòng lặp nằm ở góc trái dưới trên hình 2 là duyệt nhị phân các giả định đúng hoặc sai của các mặt giả định có kết hợp với suy diễn lan toả các trạng thái giả định nhằm chống "vét cạn" các tổ hợp. Mục đích của quá trình duyệt này là loại bỏ các tổ hợp giả định sai do không thoả mãn điều kiện tôpô và điều kiện chiếu. Điều kiện số mặt giả định > 60 khi chạy phản chuyển cho 2 hình chiếu nhằm chống lại sự tăng thời gian duyệt cây nhị phân giả định (thời gian của quá trình này là tăng theo hàm số mũ: $2^n$ với n là số mặt giả định). Khối quản lý trạng thái và lập kế hoạch duyệt nhằm chọn ra mặt để duyệt tiếp theo có mức ưu tiên cao nhất (mức ưu tiên được đánh giá bởi lượng thông tin của nó thí dụ mặt chứa nhiều cạnh, mặt thấy sẽ có mức mưu tiên cao). Mâu thuẫn được kiểm tra trong quá trình duyệt chủ yếu sử dụng điều kiện tôpô của một của vật thể và tính che khuất của các mặt cao hoặc xa nhất. Điều kiện cuối nhằm kiểm tra tất cả các điều kiện: chiếu, tôpô và thấy khuất một cách đầy đủ trước khi đưa ra nghiệm. Tính toán hình chiếu thứ ba dựa trên quan hệ toạ độ 2D *X,Y* trên các hình chiếu với nhau và với toạ độ 3D là *X,Y,Z* của một điểm như sau:

$$Z = Node_1[t][Y] - Zo \quad (2)$$

$$X = Node_2[u][X] \quad (3)$$

$$Y = Yo - Node_2[u][Y] \quad (4)$$

$$Z = Node_3[j][Y] - Zo \quad (5)$$

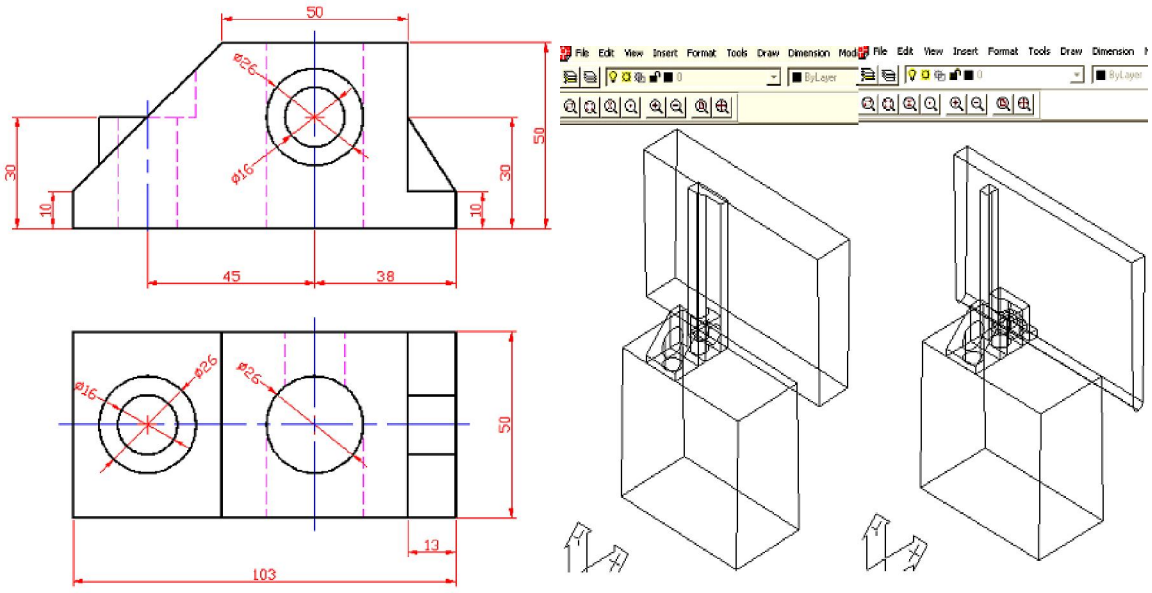
$$Y = Node_3[j][X] - Xmin \quad (6)$$

Trong đó: $Node_1$, $Node_2$ lần lượt là tập các điểm trên hình chiếu đứng và bằng, $Zo = \min\{Node_1[][Y]\}$, $Yo = \max\{Node_2[][Y]\}$, $Xmin = \min\{Node_3[][X]\}$; *t, u, j* lần lượt là chỉ số các node trên hình chiếu đứng, bằng, cạnh của một đỉnh 3D ( xem kiểu dữ liệu ADS_Point của ngôn ngữ ADSRX tương tự như mảng nhiều chiều).

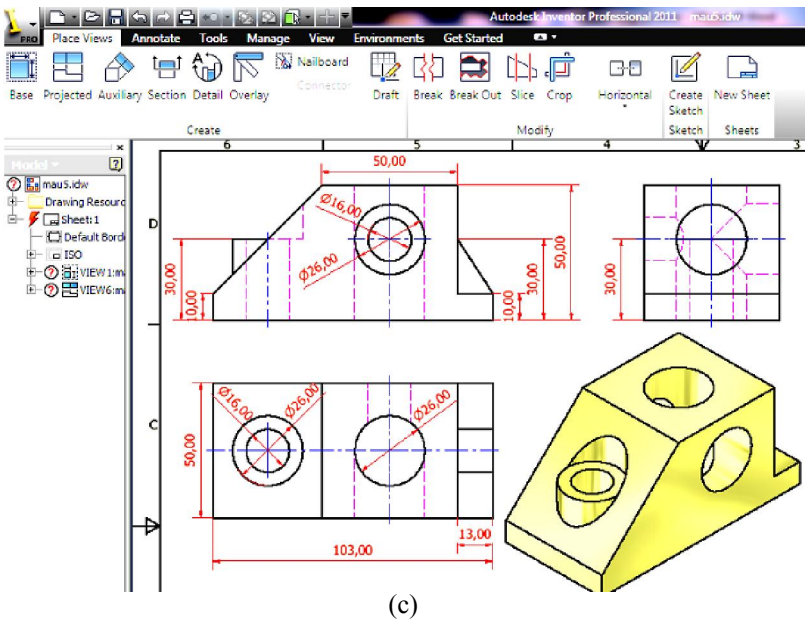
## 3. KẾT QUẢ KIỂM CHỨNG VÀ THẢO LUẬN

Phương pháp phản chuyển đề xuất được sử dụng để tạo lập ra một công cụ thực nghiệm phản chuyển là một chương trình hơn 5000 dòng lệnh được viết bằng ngôn ngữ Visual C++ 6.0 kết hợp với thư viện ADSRX của AutoCAD-R14. Dịch chương trình nguồn này ra mã đích là loại file ARX, tải file này vào trong môi trường AutoCAD-R14, khi này AutoCAD đã có chức năng mở rộng là tự động phản chuyển mô hình Solid 3D từ các hình chiếu cơ bản. Một máy tính có cấu hình trung bình (tốc độ 2.1 Ghz, Core i3, bộ nhớ 2GB) được sử dụng để phản chuyển tự động 2 mẫu đại diện và cho ra kết quả kiểm định phương pháp đề xuất như trên hình 2 và hình 3.

Mẫu 1 chỉ được cho bởi 2 hình chiếu như trên hình 3(a). Chương trình phản chuyển thông báo tạo ra 54 đỉnh, 99 cạnh và 47 mặt giả định. Số lượng nghiệm thoả mãn điều kiện tô-pô là 6400, số mâu thuẫn thấy khuất là 5504, số nghiệm thực là một, thời gian phản chuyển là 0,7 giây. Solid kết quả được chuyển sang định dạng SAT và nhúng vào INVENTOR để tạo lại 3 hình chiếu như trên hình 3(c), kết quả này đã chỉ rõ độ chính xác của mô hình phản chuyển 3D là tuyệt đối cũng như phản ánh tính tương thích của mô hình này với các hệ thống CAD/CAM (định dạng SAT là phổ biến trong các hệ CAD/CAM). Trong trường hợp này, vì số mặt <50 nên hệ thống đã không tự động vẽ hình chiếu cạnh giả định để yêu cầu sửa thành hình chiếu bổ sung nhưng đã hoạt động chính xác và nhanh.



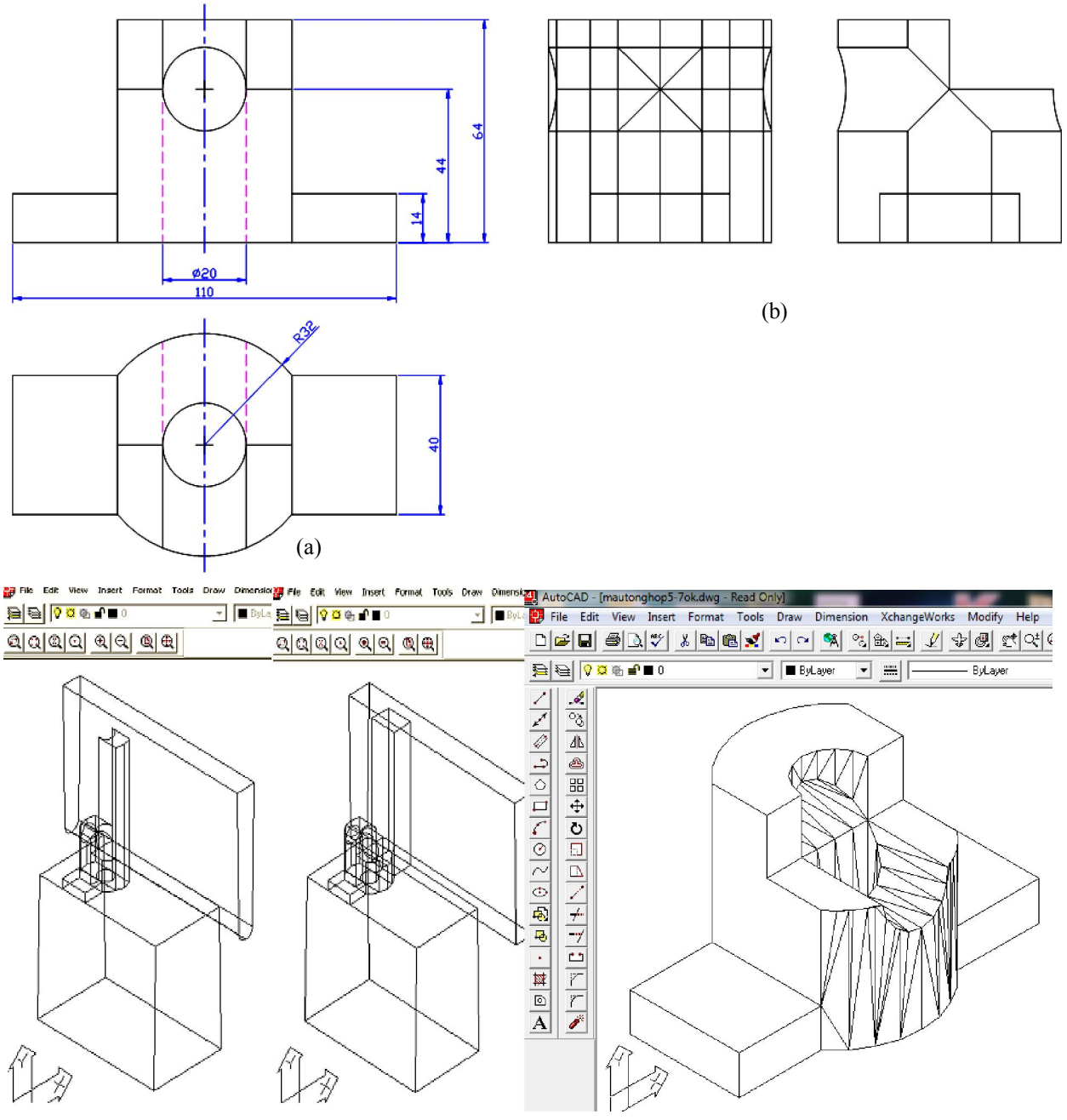

(a) (b)




(c)

**Hình 3.** a) Bản vẽ 2 hình chiếu; b) Tạo Solid 3D ; c) Kiểm tra độ chính xác Solid kết quả

Mẫu 2 cũng chỉ được cho bởi 2 hình chiếu như trên hình 4(a). Chương trình phản chuyển thông báo tạo ra 50 đỉnh, 108 cạnh và 56 mặt giả định, sau đó đã tự động vẽ hình chiếu cạnh giả định để xoá cạnh thừa như hình 4(b), sau đó đã hoạt động tốt và nhanh, thời gian phản chuyển là 0,9 giây, cho ra Solid kết quả như hình 4(c). Cũng mẫu này mà dùng hệ phản chuyển 2 hình chiếu đơn thuần thì thời gian phản chuyển là 11 giây và cho ra 3 nghiệm [8], và nếu định dùng 3 hình chiếu như các công trình khác thì phải chủ động vẽ thêm hình chiếu cạnh (khi mà chưa biết có cần phải vẽ hay không vì đa số các chi tiết chỉ cần hai), đó là công việc mất thời gian hơn việc được trợ giúp bởi hình chiếu cạnh giả định rồi chỉ cần xoá các cạnh thừa.




**Hình 4.** a) Bản vẽ 2 hình chiếu; b) hình chiếu cạnh sơ bộ và hiệu chỉnh; c) tạo Solid; d) Kết quả

## 4. KẾT LUẬN

Phương pháp phản chuyển linh hoạt đề xuất đã khắc phục được tồn tại của các phương pháp phản chuyển trước đây là chỉ dựa trên số lượng hình chiếu cố định, đã đáp ứng linh hoạt được 3 loại bản vẽ: 2 hình chiếu; 3 hình chiếu và "2,5 hình chiếu". Những điểm mới của công trình bao gồm: 1) Ý tưởng mới về một hệ phản chuyển linh hoạt; 2) Thuật toán hệ phản chuyển linh hoạt; 3) Kết quả kiểm định với các mẫu đại diện cho các tình huống thiết kế đã khẳng định tính đúng đắn của thuật toán, tính hiệu quả khi sử dụng hệ phản chuyển linh hoạt cũng như độ chính xác của Solid kết quả là tuyệt đối.

Mặc dù hệ phản chuyển linh hoạt như trên đã hiệu quả hơn đối với bản vẽ hai hình chiếu có số mặt lớn hơn 50 nhờ việc không phải vẽ hình chiếu thứ ba nhưng việc xoá các nét thừa trên hình chiếu thứ ba ("bản vẽ 2,5 hình chiếu") vẫn có thể tiếp tục rút gọn hơn nữa với khái niệm bản vẽ "2 + 1/4 hình chiếu". Đó là hướng nghiên cứu liên thông của công trình này.

## LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Bách khoa Hà nội trong các đề tài nghiên cứu liên quan và Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội trong liên kết nghiên cứu.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Fahiem, M. A., Haq, S. a., and Saleemi, 2007. A Review of 3D Reconstruction Techniques from 2D Orthographic Line Drawings, Geometric Modeling and Imaging (GMAI '07), 60–66.

[2]. Furferi, R. Governi, L. Palai, M. and Volpe, 2011. 3D Model Retrieval from mechanical drawings analysis, International Journal Of Mechanics , 91-99.

[3]. Carfagni, M., Furferi, R., Governi, L., Palai, M., & Volpe, 2011. 3D reconstruction problem: An automated procedure, In Applications of Mathematics and Computer Engineering-American Conference on Applied Mathematics, AMERICAN-MATH , 99-104.

[4]. Hoang Long, Banh Tien Long, Automatic Creating 3D Pseudo-Wireframe from 2D Orthographic Views, 2015. Tạp chí khoa học và Công nghệ các trường ĐHKT, 106, 46-49.

[5]. Hoang Long, Banh Tien Long, Phan Van Hieu, 2015. Conical Solid Model Reconstruction of 3D Pseudo-Wireframe Model Found from 2D Orthographic Views, Tạp chí khoa học và Công nghệ các trường ĐHKT, 108 , 68-72.

[6]. Banh Tien Long, Hoang Long, 2014. Automatic 3D model reconstruction from a multi-views engineering drawing for CAD/CAM systems, Proceedings ISEPD ISBN 978-89-5708-236-2 , 374-377.

[7]. Hoang Long, Banh Tien Long, 2014. Automatic 3D Model Reconstruction from a Multi-Views Engineering Drawing File Containing even Curves and Hidden Lines for Cad/Cam Systems, Proceedings RCMME ISBN 978-604-911-942-2 , 20-23.

[8]. Hoàng Long, 2018. Phát triển hệ thống phản chuyển mô hình Solid 3D từ hai hình chiếu thành hệ thống phản chuyển từ ba hình chiếu, Tạp chí khoa học và Công nghệ các trường ĐHKT, 125 .

[9]. SHIN, B. S., SHIN, Y. G., 1998. Fast 3D solid model reconstruction from orthographic views, Computer-Aided Design, Volume 30, Number 1, pp. 63-76. ISSN 0010-4485.