

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG QUỸ ĐẠO CÔNG NGHỆ CHO ROBOT HÀN

Research on Building of Technological Trajectory for Welding Robots

Trần Đình Trọng^(*) - Lê Hoài Quốc^()**

(*) KS Cơ điện tử PFIEV (**) Bộ môn KTĐKTĐ – Khoa Cơ khí – ĐHBK – ĐHQG HCM

Tóm tắt:

Quỹ đạo thực của mỏ hàn trong quá trình làm việc của robot hàn phải thỏa mãn yêu cầu công nghệ đặt ra của từng mối hàn và không hoàn toàn được lập trình bằng teach pendant mà phải được xây dựng dựa trên quỹ đạo lấy mẫu từ quá trình dạy cho robot và yêu cầu công nghệ đối với mối hàn thể hiện ở kiểu (patterns) chuyển động của mỏ hàn. Bài báo này giới thiệu các nghiên cứu đã tiến hành để xây dựng quỹ đạo công nghệ cho robot hàn và kết quả thực nghiệm đạt được.

Abstract:

This papers introduces one proposed solution for building of technological trajectory applying on welding robots

1. SƠ LƯỢC VỀ ROBOT HÀN

Công nghệ hàn tự động với robot đã được ứng dụng từ lâu trong ngành công nghiệp sản xuất ô-tô ở các nước công nghiệp phát triển, tiêu biểu trong số đó như Hoa Kỳ, Nhật Bản, CHLB Đức, Pháp, Ý, Hàn Quốc, Trung Quốc,... và gần đây là các nước trong khu vực Đông Nam Á. Sau đó, công nghệ hàn tự động với robot được áp dụng trong các ngành đóng tàu biển, chế tạo máy.

Trong các nhà máy sản xuất xe hơi thì hàn điểm là công việc sử dụng robot nhiều nhất: mỗi khung xe được cố định vào một palette và được điều khiển di chuyển khắp nhà máy. Khi khung xe đến trạm hàn, bộ phận kẹp sẽ cố định các chi tiết đúng vào vị trí cần thiết, trong khi đó robot di chuyển dọc theo các điểm hàn được lập trình trước (hình 1.1, fanucrobotics.com).

Hình 1.1:
Robot hàn điểm trong nhà máy sản xuất xe hơi



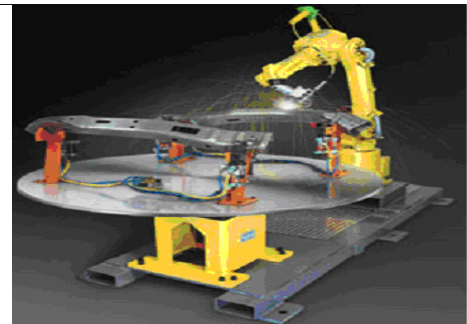
Robot cũng được ứng dụng nhiều trong công nghệ hàn theo vết hoặc hàn theo đường dẫn liên tục - còn gọi là hàn đường.

Hàn đường thường được thực hiện bằng tay. Tuy nhiên, năng suất thấp do yêu cầu chất lượng bề

mặt mối hàn liên quan đến các thao tác của đầu mỏ hàn với môi trường khắc nghiệt do khói và nhiệt phát ra trong quá trình hàn.

Hình 1.2:

Hệ thống robot hàn đường của hãng FANUC



Không giống kỹ thuật hàn điểm, ở đó mỗi hàn có vị trí cố định, mối hàn trong kỹ thuật hàn đường nằm dọc theo mối ghép giữa hai tấm kim loại. Những hệ thống hàn đường thực tế (hình 1.2) phụ thuộc vào con người trong việc kẹp chặt chính xác chi tiết được hàn và sau đó robot di chuyển dọc theo quỹ đạo được lập trình trước. Ưu điểm so với hàn bằng tay là chất lượng mối hàn được ổn định. Người vận hành chỉ thực hiện công việc là kẹp chặt các chi tiết và lấy sản phẩm sau khi hàn xong. Có thể thực hiện tăng năng suất bằng cách trang bị bàn định vị quay nhờ đó người vận hành có thể kẹp chặt một chi tiết trong khi thực hiện việc hàn chi tiết khác. Tuy nhiên, luôn có vấn đề khó khăn trong việc lắp khít chi tiết do dung sai trong chế tạo, chi tiết bị cong vênh, và các thiết kế cần lắp ghép theo đường cong không đồng dạng. Các vấn đề đó làm cho việc kẹp chặt chi tiết khó khăn, đặc biệt là đối với các chi tiết lớn và lắp tấm kim loại mỏng. Hơn nữa, đường hàn có thể không xử lý được với mỏ hàn khi nó bị che khuất bởi chi tiết khác. Thợ hàn tay phải xử lý khó khăn nhiều loại mối nối và vị trí

các chi tiết khác nhau. Gần đây các nghiên cứu tập trung vào phương pháp dò vết đường hàn với mục đích giảm bớt yêu cầu định vị chính xác, và do đó giảm chi phí hàn trong khi chất lượng mỗi hàn lại tăng.

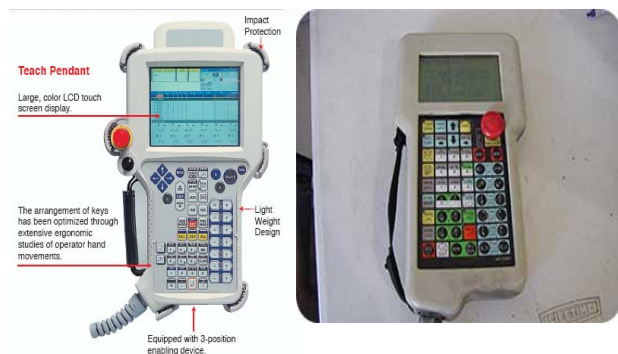
Cảm biến trang bị trên các robot hàn đường phải có khả năng xác định vị trí đúng của đường hàn. Như vậy, để mỗi hàn được đặt chính xác, đúng yêu cầu về hình dáng và kích thước thì robot phải giữ điện cực theo hướng đúng của đường hàn với khoảng cách đúng từ đường hàn đến đầu mỏ hàn và di chuyển với tốc độ không đổi sao cho lượng vật liệu chảy vào mối nối không đổi. Xác định đường hàn cho các vật thể ba chiều phức tạp hơn so với các tấm phẳng vì thường cần phải mô hình hóa hình học để định ra đường di chuyển của robot. Hình 1.2 trình bày một robot có trang bị cảm biến laser để dò đường đi của đầu hàn.

1.3 CÔNG CỤ LẬP TRÌNH CHO ROBOT HÀN – TEACH PENDANT

Trong thực tế, có rất nhiều công cụ lập trình cho robot như keyboard, teach pendant, simulator... Nhưng đặc biệt đối với các robot hàn, người ta hầu như sử dụng Teach pendant như một công cụ lập trình hiệu quả nhất.

Về thực chất thì teach pendant là một thiết bị thường có dạng hộp cầm tay (hand-held box) được nối với robot bằng cáp điện hoặc quang, dùng để điều khiển chuyển động của mỏ hàn trên robot đi qua các vị trí của quỹ đạo cần hàn ở dạng teach mode hoặc dùng để thực thi các chương trình lập trình sẵn...

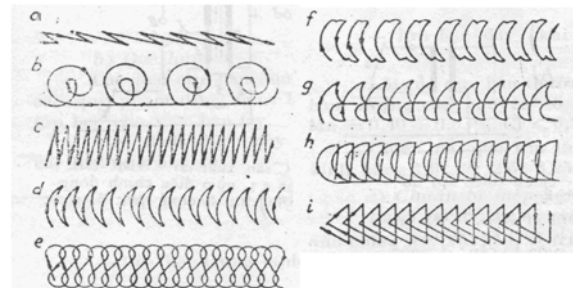
Cấu tạo của teach pendant rất đa dạng, tùy thuộc vào từng công ty sản xuất với mẫu mã và hình dáng phù hợp với robot của chính các công ty đó. Nhìn chung thì tất cả các teach Pendant đều phải có hai bộ phận chính là màn hình LCD để hiển thị các thông số và các nút để nhập, điều chỉnh các dữ liệu hoặc thực hiện các thao tác...



Hình 1.3: Teach pendant của hai công ty Kawasaki và Panasonic - Nhật Bản

1.4 NHẬN XÉT MỚI QUAN HỆ GIỮA QUỸ ĐẠO LẤY MẪU VÀ QUỸ ĐẠO CÔNG NGHỆ

Như đã trình bày ở trên, hàn là một phương pháp công nghệ dùng để ghép nối hai hay nhiều phần tử với nhau. Chỗ giao nhau giữa các phần tử này người ta gọi là mối hàn mà vốn là đường cong tiếp xúc giữa hai biên dạng của hai phần tử hàn, hay còn được gọi là quỹ đạo hàn lý thuyết hay *quỹ đạo lấy mẫu*. Trong thực tế để mối hàn được thực hiện hiệu quả nhất, người ta sẽ tạo một rãnh dọc theo quỹ đạo hàn. Đây là vùng mà vật liệu que hàn và kim loại của các phần tử hàn nóng chảy và cấu kết, hình thành nên mối hàn. Như vậy để hàn hai phần tử ta phải điều khiển đầu mỏ hàn đi dọc theo đường cong quỹ đạo rãnh hàn, tức là ta phải nắm bắt và quản lí các thông số về đường cong này. Thông thường, ta sẽ dùng các công cụ lập trình (thường dùng nhất là Teach Pendant) để lấy mẫu điểm trên quỹ đạo hàn.

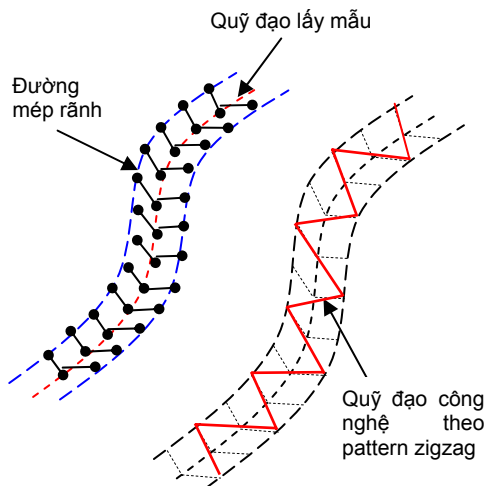


Hình 1.4: Các dạng quỹ đạo di chuyển que/dây hàn theo yêu cầu liên kết khác nhau của công nghệ hàn

Trong thực tế, việc đơn thuần đưa que hàn để hàn dọc theo rãnh hàn không đạt được hiệu quả về chất lượng yêu cầu của mối hàn. Ta phải điều khiển que hàn đi theo một quỹ đạo đặc biệt ứng với từng trường hợp yêu cầu liên kết cụ thể mà ta tạm gọi là **quỹ đạo công nghệ**. Thực chất, quỹ đạo công nghệ này cũng được xác định dựa trên quỹ đạo lấy mẫu nhưng kết hợp với những hình dáng chuyển động đặc biệt trên rãnh hàn mà ta sẽ gọi là các pattern.

Như vậy, vấn đề đặt ra là: làm sao để thực hiện quỹ đạo công nghệ trong quá trình hàn mà chỉ cần lấy mẫu bằng teach pendant với các điểm nằm trên quỹ đạo lấy mẫu. Để có thể thực hiện được điều

này, ta phải nghiên cứu quỹ đạo lấy mẫu, xử lý và xây dựng nên rãnh hàn; đồng thời kết hợp với các dạng patterns để có thể đưa ra được thông số của quỹ đạo công nghệ cho robot hàn.



Hình 1.5: Hình biểu diễn mối tương quan giữa quỹ đạo lấy mẫu và quỹ đạo công nghệ

1.5 MỤC TIÊU VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Dựa trên vấn đề đặt ra, mục tiêu và các nội dung chính mà chúng tôi đã triển khai trong nghiên cứu gồm những vấn đề sau:

- ✚ Nghiên cứu quỹ đạo lấy mẫu và xây dựng rãnh hàn.
- ✚ Xây dựng quỹ đạo công nghệ dựa trên một số dạng patterns cụ thể.
- ✚ Lập trình tính toán quỹ đạo công nghệ bằng Visual C++.
- ✚ Xây dựng phần mềm lựa chọn dạng pattern, lựa chọn các thông số của pattern, mô phỏng minh họa quỹ đạo công nghệ và chuyển giao dữ liệu tính toán cho chương trình điều khiển robot hàn.

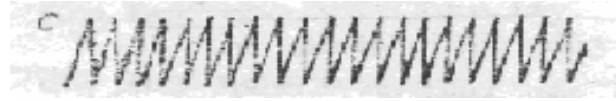
Do khuôn khổ có hạn của bài báo, ở đây chúng tôi chỉ trình bày đường hướng giải pháp chính đã thực hiện trong các nội dung dưới đây.

2. GIẢI PHÁP CHO VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

2.1 LỰA CHỌN MỘT SỐ PATTERN THÔNG DỤNG ĐỂ GIẢI QUYẾT TRONG ĐỀ TÀI

Trong khuôn khổ của bài báo này chúng tôi trình bày quá trình xây dựng quỹ đạo công nghệ theo dạng pattern hình zigzag là dạng cơ bản nhất để

làm cơ sở nghiên cứu và phát triển phương pháp tổng quát cho các dạng còn lại.



Hình 2.1 : Đường hàn kiểu zigzag

2.2 GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT

2.2.1 Xem xét một số giải pháp có sẵn

Trong thực tế, ở một số công ty lớn trên thế giới (ở Nhật và Đức chẳng hạn), thì người ta điều khiển các trục của robot sao cho mỏ hàn (end effector) di chuyển dọc theo quỹ đạo lý thuyết và dành ra một trục (thường là trục Yaw - lắc cổ tay) hoặc cho một khớp bổ sung (không điều khiển nội suy phối hợp với các trục của robot) thực hiện chuyển động lắc khứ hồi trong một biên độ phù hợp với bề rộng của rãnh hàn yêu cầu với vận tốc thích hợp thì sẽ tạo ra được quỹ đạo zigzag gần đúng như mong muốn. Như vậy, Robot hàn lúc này được xem như chỉ có 5 bậc tự do được lập trình phối hợp và một bậc tự do chuyển động khứ hồi theo chu kì định sẵn. Phương pháp này chỉ có thể tạm thời giải quyết được đối với dạng pattern đơn giản hình zigzag, nhưng đối với các dạng pattern phức tạp hơn thì không thể giải quyết được.

Ngoài ra, đối với một số hình dạng pattern đặc biệt khác, người ta có thể sử dụng phương pháp kết hợp dao động của hai hay nhiều khâu để tạo ra hình dáng phù hợp trong khi robot được cho trượt trên một rãnh làm việc định sẵn.

2.2.2 Giải pháp kết hợp với Pro/Engineer và Cimatron

Một giải pháp khá tốt đã được đưa ra là việc dùng các phần mềm tính toán và mô phỏng mạnh như Pro-Engineer kết hợp với phần mềm Cimatron trong việc mô phỏng đường SP-Line, offset chúng để tạo ra các rãnh hàn và chia chúng ra thành n phần đều nhau. Sau đó ta có thể xuất tọa độ các điểm này sang một tập tin dạng ".DXF" mà ta có thể sử dụng được dữ liệu của nó trong việc điều khiển robot. Cụ thể các bước thực hiện như sau :

- Đọc các dữ liệu điểm vào Pro/Engineer: Chọn lệnh New. Trong mục Datum point, ta chọn point tool và chọn offset + pick. Chọn kiểu tọa độ là Decarte. Chọn lệnh Read point và chọn file là

dạng “.PTS” (Dạng file PTS thực chất là các file text có chứa n dòng dữ liệu và ở mỗi dòng lần lượt là các tọa độ x, y, z của điểm thứ i, ngăn cách nhau bằng một khoảng trắng)

- Sau khi đã đọc các điểm vào, Pro-E sẽ hiển thị các điểm lên màn hình và việc tiếp theo là mô phỏng đường cong sp-line từ những điểm vừa nhập vào ở trên. Ta chọn lệnh Datum curve và chọn chức năng Thru points. Sau đó pick các điểm trên theo một thứ tự hợp lý và chọn Done. Ta đã có được một đường sp-line trơn đi qua tất cả các điểm đã nhập vào.
- Sau cùng là xuất dữ liệu sang một dạng tập tin mà Cimatron có thể dùng được. Chọn mục Save as copy chọn kiểu tập tin lưu là “.IGS” và chọn chức năng “Curve and points”. Nhấn OK để hoàn tất công việc.
- Dùng Cimatron để chuyển file dạng “.IGS” sang dạng file của Cimatron. Vào menu Data Input ở phần giao diện chính. Chọn lệnh menu Application và chọn mục IGES và chọn tiếp Read. Chọn file “.IGS” lúc đầu và Chọn lệnh Excute.
- Khởi động cửa sổ chính của Cimatron và nhập vào file name dạng “.PFM” vừa tạo ra. Chọn kiểu Wiframe để offset đường cong thành hai đường khác nữa. Chọn More và pick đường cong. Chọn tiếp Delta (keyi in) và chọn Copy, chọn Continue. Ta làm hai lần như vậy sẽ có được hai đường cong đã được offset một giá trị dx, dy so với đường cong ban đầu.
- Tiếp theo, ta sẽ chia các đường cong này ra thành nhiều đoạn bằng nhau. Chọn Point và Multi Point. Nhập vô mục Number of interval chính là số đoạn cần chia. Nhấn OK để kết thúc việc chia. Làm tương tự để chia đường cong còn lại. Sau cùng, chọn File và Save lại thành file “.PFM”.
- Bước cuối cùng là chuyển dạng file “.PFM” sang dạng “.DXF”. Vào lại mục Data Input (D.I.) và chọn menu Application với Option là Write DXF file. Nhấn Excute để hoàn tất việc xuất file sang dạng “.DXF”.

Qua những bước làm đơn giản, ta đã có được một file dạng DFX chứa các dữ liệu điểm nằm trên hai

đường cong mép của rãnh hàn đã được chia đều để từ cơ sở đó, ta sẽ cho end effector của robot chạy theo một thứ tự nhất định các điểm tạo thành một quỹ đạo hàn. Vấn đề còn lại là ta phải có cách xử lý dữ liệu của tập tin DXF, một dạng file thông dụng hay được dùng bởi phần mềm Autocad.

2.2.3 Giải pháp tự xây dựng mô hình và công cụ riêng

Phương pháp này dựa trên ý tưởng xây dựng một mô hình toán hoàn chỉnh để quản lý các rãnh hàn và các dạng patterns. Để được như vậy, đòi hỏi phải có một số lượng thông tin cần thiết về quỹ đạo lý thuyết, thông tin về rãnh hàn cũng như thông tin về các patterns chuẩn.

Trong thực tế, để tiện cho việc tự động hóa trong các giai đoạn hàn hàng loạt các mối hàn cùng loại, người ta sẽ thực hiện theo một quá trình sau: đầu tiên, người thao tác sẽ lấy mẫu thông tin về quỹ đạo hàn lý thuyết bằng cách dùng Teach Pendant (hay dùng tay dắt robot đi dưới chế độ lead-by-nose hoặc dùng keyboard...) để nhập một bộ dữ liệu điểm cần thiết tựa trên quỹ đạo đó. Sau đó, người thao tác lại tiếp tục nhập vào những dữ liệu cần thiết về thông số rãnh hàn, chọn dạng patterns...thông qua giao diện điều khiển. Tất cả những thông số này được đưa vào chương trình xử lý, sau đó chương trình sẽ xuất ra lại một bảng dữ liệu điểm của quỹ đạo công nghệ. Và robot sẽ thực hiện tuần tự theo các dữ liệu được cung cấp một cách tự động. Điều cần chú ý là, chương trình chỉ tính toán một lần cho một loại quỹ đạo nhất định với một pattern và thông số rãnh nhất định, sau đó các thông số đầu ra về quỹ đạo công nghệ sẽ được lưu lại và tái sử dụng cho các mối hàn cùng loại, nhờ đó có thể tự động hóa quá trình hàn.

Như vậy, đến đây ta có thể xem xét lại tổng thể về một bài toán cụ thể đặt ra :

Thông tin đầu vào :

- Cho một bộ dữ liệu điểm, được gọi là các *Via Points*, tựa trên quỹ đạo lý thuyết của đường hàn. Bộ dữ liệu này có thể được cung cấp dưới hai dạng: một là dưới dạng các góc khớp (tọa độ khớp của robot) tại các *Via Points*, hoặc hai là dưới dạng tọa độ Descartes của các *Via Points* trong hệ quy chiếu gốc gắn với giá của Robot – Hệ quy chiếu R.
- Thông số về rãnh hàn trong mặt phẳng trung trục (mặt phẳng vuông góc với tiếp tuyến của

quỹ đạo) tại các Via Points. Thông thường bao gồm chiều cao h , chiều rộng a và thông số về chiều cao các lớp khác nhau (nếu cần thiết).

- Cho dạng pattern và các thông số của pattern trên mẫu chuẩn. Thường là các thông số về số điểm chia, chiều dài một chu kì patterns...
- Các thông số của robot hàn bao gồm các kích thước động, thông số về động cơ ở các khớp ...
- Ngoài ra, người thao tác còn có thể đưa ra yêu cầu về vận tốc đầu hàn và vận tốc đưa que hàn...

🚦 Thông tin đầu ra:

- Mô hình rãnh hàn.
- Dữ liệu điểm của quỹ đạo công nghệ biểu diễn dưới dạng góc khớp hoặc là vận tốc di chuyển vi phân để thực hiện hết quỹ đạo yêu cầu.

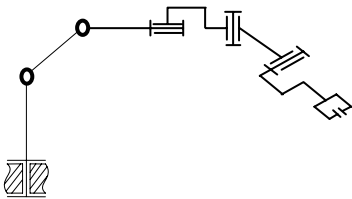
Thực tế cho thấy, việc tiếp nhận và xử lý các thông tin đầu vào rất phức tạp và qua nhiều công đoạn. Do vậy để tiện việc khảo sát, ta sẽ chia bài toán thành nhiều bài toán nhỏ để giải quyết, sau đó sẽ tổng hợp lại để đưa ra một phương pháp tổng thể.

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN

3.1 THÔNG SỐ ROBOT HÀN VÀ BÀI TOÁN ĐỊNH HÌNH ĐƯỜNG CONG QUỸ ĐẠO

3.1.1 Thông số của Robot hàn

Một điều hiển nhiên khi ta muốn điều khiển một robot là trước tiên ta phải nắm rõ các thông số và cấu tạo của robot đó. Trong nghiên cứu này, ta sẽ xem xét một robot dạng một tay máy (manipulator) có 6 bậc tự do. Tay máy này gồm sáu khớp bản lề và cấu tạo như hình vẽ.



Hình 3.1: Lược đồ cơ cấu và hình ảnh của robot hàn Panasonic AW 7000

Các thông số cần thiết cho tay máy này bao gồm: các kích thước động của các khâu, hệ tọa độ góc để nghiên cứu, thông số về các động cơ khớp, tọa độ của tool (ở đây là đầu cấp dây hàn) trong hệ tọa độ nghiên cứu (có thể dùng hệ tọa độ cục bộ hoặc toàn cục)...

3.1.2 Bài toán định hình đường cong quỹ đạo lý thuyết

Nhận xét về tính chất của quỹ đạo hàn lý thuyết

Như chúng ta đã biết, hầu hết các mối hàn trong thực tế đều là các đường cong phẳng hàn các mép khung xe hơi, hàn hai ống chéo nhau... hoặc đơn giản hơn nữa là một đường thẳng như hàn các tấm để tạo ống, hàn các cạnh khung... Ngoài ra, trường hợp hàn dọc theo các đường cong 3D rất ít, thường chỉ gặp trong công nghiệp hàn phần đầu của các con tàu lớn.

Để có thể nghiên cứu, xây dựng các rãnh hàn và qua đó chỉ ra quỹ đạo công nghệ, chúng ta phải biết rõ về quỹ đạo hàn lý thuyết dưới dạng một đường cong chuẩn, tức là ta phải biết được tọa độ cũng như đạo hàm của đường cong tại các điểm chia. Vậy một khó khăn đặt ra là ta phải tìm một đường cong mô phỏng gần đúng quỹ đạo hàn, việc mô phỏng này (thực chất là quá trình nội suy đường cong) có thể thực hiện dễ dàng đối với đường cong 2D, nhưng sẽ rất khó khăn đối với đường cong 3D. Trong khuôn khổ của bài báo này chúng tôi trình bày mô hình toán cho các mối hàn thẳng và mối hàn theo đường cong phẳng (đường cong 2D) và một vài ý tưởng cơ bản để xử lý đường cong 3D.

Về căn bản, đối với quỹ đạo hàn, ta sẽ gặp hai loại đường cong phẳng như sau:

- *Đường cong phẳng dọc*: là đường cong phẳng mà tựa trên đó quỹ đạo công nghệ không phải là một đường cong phẳng.
- *Đường cong phẳng ngang*: là đường cong phẳng mà tựa trên đó quỹ đạo công nghệ cũng là một đường cong phẳng.

Xử lý tập Via Points

Như đã đề cập ở trên, việc xử lý các *Via Points* thực chất là đi tìm một đường cong gần chuẩn gần đúng với quỹ đạo để phục vụ cho việc khảo sát ở bước tiếp theo. Ta lần lượt khảo sát các dạng đường cong quỹ đạo.

🚦 Trường hợp quỹ đạo (lý thuyết) thẳng:

Quỹ đạo dạng thẳng thì khá đơn giản, đầu vào chỉ có hai điểm *Via Point*.

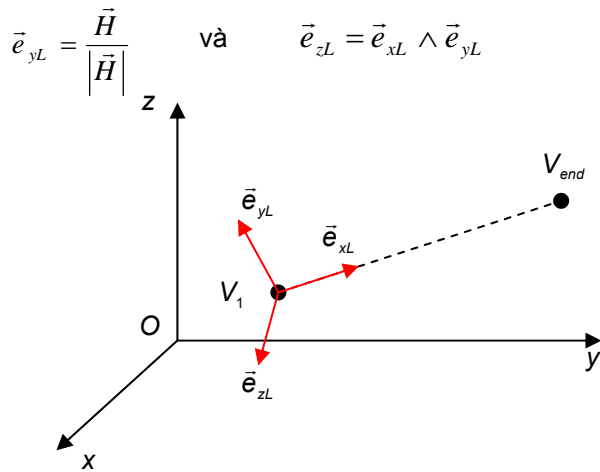
Nhưng có một điểm đặc biệt là, vì đó là đường thẳng nên có vô số hướng để xây dựng rãnh. Vì vậy, ở bước nhập thông số ta cần phải thêm vào một thông số thể hiện hướng xây dựng rãnh, đó là

vector pháp tuyến của rãnh \vec{H} . Trong trường hợp không nhập thông số này thì ta mặc định là rãnh có vector pháp tuyến trùng hướng với trục z.

Ở đây, để tiện việc quản lí và xây dựng rãnh, ta thiết lập một hệ tọa độ cục bộ L (local reference) mới trên đường thẳng quỹ đạo:

- ✓ Điểm gốc tọa là điểm $O_L = V_1$ (Điểm Via point đầu tiên).
- ✓ Các vector đơn vị lần lượt là:

$$\vec{e}_{xL} = \frac{\vec{V_1V_n}}{|\vec{V_1V_n}|} = \frac{[X_n - X_1, Y_n - Y_1, Z_n - Z_1, 0]^T}{\sqrt{(X_n - X_1)^2 + (Y_n - Y_1)^2 + (Z_n - Z_1)^2}}$$



Hình 3.2 : Sơ đồ biểu diễn hệ tọa độ L đối với trường hợp quỹ đạo thẳng.

Ma trận chuyển tọa độ từ hệ tọa độ L về R là:

$${}^R T_L = \begin{bmatrix} e_{xLx} & e_{yLx} & e_{zLx} & V_{1x} \\ e_{xLy} & e_{yLy} & e_{zLy} & V_{1y} \\ e_{xLz} & e_{yLz} & e_{zLz} & V_{1z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Vậy, trong hệ tọa độ L mới xây dựng thì đường thẳng quỹ đạo trùng với trục x và vector pháp tuyến thì trùng với trục y. Việc này rất có lợi cho ta trong việc sử dụng các thông số rãnh sau này.

Trong hệ tọa độ cục bộ L, thì ma trận tọa độ các điểm Via points sẽ là:

$$V_L = {}^R T_L^{-1} \cdot V_R$$

✚ Trường hợp quỹ đạo phẳng :

Trước tiên, ta cần xác định mặt phẳng quỹ đạo. Thao tác này khá đơn, chỉ cần chọn 3 điểm không

thẳng hàng trong tập hợp điểm *Via point* là ta có thể xác định được mặt phẳng quỹ đạo dưới dạng phương trình:

$$(P) : AX + BY + CZ + D = 0$$

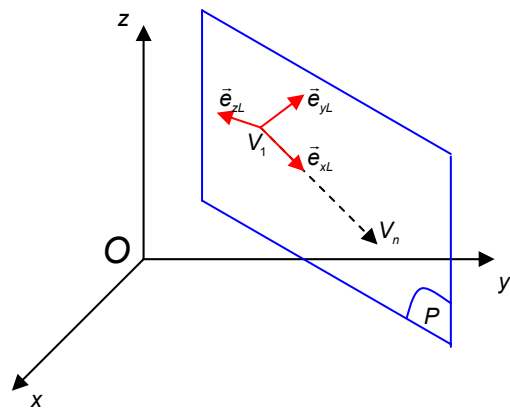
Sau đó, để tận dụng được tính chất “phẳng” của quỹ đạo ta cũng cần thiết lập một hệ tọa độ cục bộ L (local reference) gắn với mặt phẳng quỹ đạo như sau:

- ✓ Điểm gốc tọa là điểm $O_L = V_1$ (Điểm Via point đầu tiên).
- ✓ Các vector đơn vị lần lượt là:

$$\vec{e}_{xL} = \frac{\vec{V_1V_n}}{|\vec{V_1V_n}|} = \frac{[X_n - X_1, Y_n - Y_1, Z_n - Z_1, 0]^T}{\sqrt{(X_n - X_1)^2 + (Y_n - Y_1)^2 + (Z_n - Z_1)^2}}$$

$$\vec{e}_{zL} = \frac{\vec{n}}{|\vec{n}|} \text{ với } \vec{n} = [A \quad B \quad C \quad 0];$$

$$\vec{e}_{yL} = \vec{e}_{zL} \wedge \vec{e}_{xL}$$



Hình 3.3 : Sơ đồ biểu diễn hệ tọa độ L đối với trường hợp quỹ đạo phẳng.

Từ đó ta có ma trận chuyển đổi từ hệ tọa độ L về hệ tọa độ gốc R là:

$${}^R T_L = \begin{bmatrix} e_{xLx} & e_{yLx} & e_{zLx} & V_{1x} \\ e_{xLy} & e_{yLy} & e_{zLy} & V_{1y} \\ e_{xLz} & e_{yLz} & e_{zLz} & V_{1z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Trong hệ tọa độ cục bộ L, thì ma trận tọa độ các điểm Via points sẽ là:

$$V_L = {}^R T_L^{-1} \cdot V_R$$

Đến đây, ta chỉ cần khảo sát quỹ đạo trên mặt phẳng làm việc mà vốn chính là mặt phẳng Oxy

trong hệ tọa độ L , và ta chỉ quan tâm đến hai thông số x và y vì $z_i=0$ với mọi i .

Để xác định đường cong $y = S(x)$ gần đúng với quỹ đạo, ở đây ta sẽ dùng phương pháp nội suy Cubic Spline.

Phương pháp này sẽ cho ta một dãy các hàm gần đúng trên từng đoạn dưới dạng đa thức bậc 3:

$$S_j(x) = a_j + b_j \cdot (x - x_j) + c_j \cdot (x - x_j)^2 + d_j \cdot (x - x_j)^3$$

với $j=1..n$.

để đảm bảo tính liên tục và trơn tru của đường cong, người ta đưa ra các điều kiện ràng buộc là:

- o $S(x_j) = f(x_j)$ với $j=1..n$.
- o $S_{j+1}(x_{j+1}) = S_j(x_{j+1})$ với $j=1..n-2$.
- o $S'_{j+1}(x_{j+1}) = S'_j(x_{j+1})$ với $j=1..n-2$.
- o $S''_{j+1}(x_{j+1}) = S''_j(x_{j+1})$ với $j=1..n-2$.
- o $S''(x_1) = 0$; $S''(x_n) = 0$. (điều kiện biên tự nhiên)

Vậy, phương pháp nội suy này đã cho ta một đường cong liên tục và khả vi gần đúng với quỹ đạo.

Những công việc tiếp theo bao gồm:

- Xử lý thông số rãnh và dựng mô hình rãnh hàn trong các trường hợp quỹ đạo thẳng và quỹ đạo phẳng
- Dựng mặt phẳng trung trục và xử lý thông số rãnh
- Dựng rãnh hàn

Do khuôn khổ có hạn sẽ không trình bày ở đây.

3.2 BÀI TOÁN XÂY DỰNG QUỸ ĐẠO CÔNG NGHỆ

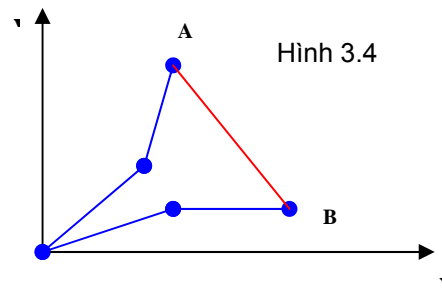
Đến đây ta có thể đưa ra một phương pháp tổng quát để thiết lập quỹ đạo công nghệ hàn bao gồm bốn bước sau:

- ✓ Bước 1: Thiết lập hệ tọa độ pattern và chia điểm trên nền pattern chuẩn .
- ✓ Bước 2: Chia lại các điểm *Via Points* dựa trên đường cong Spline đã nội suy.
- ✓ Bước 3: Xây dựng rãnh (thiết lập các *Via points* cho mép rãnh).
- ✓ Bước 4: Chiếu các điểm chia trên hệ tọa độ pattern lên hệ tọa độ rãnh.

3.3 BÀI TOÁN CHUYỂN ĐỘNG THẲNG CỦA END-EFFECTOR

Vấn đề

Sau bước xây dựng quỹ đạo công nghệ, một vấn đề cũng cần phải lưu ý là trong trường hợp thực hiện một quỹ đạo thẳng, không đơn giản là ta chỉ cần lấy mẫu các điểm đầu và cuối của đoạn thẳng đó bằng Teach Pendant là đã đủ để có dữ liệu để điều khiển end effector thực hiện quá trình hàn theo quỹ đạo thẳng đó. Để hiểu rõ hơn về bài toán này, ta xem xét ví dụ sau:



Hình 3.4

Xét một tay máy hai bậc tự do như hình vẽ 3.4. Bài toán đặt ra là, làm sao cho đầu N của nó đi từ điểm A sang điểm B theo một đường thẳng.

Thao tác đầu tiên đương nhiên là ta phải tìm vị trí góc khớp của tay máy ứng với vị trí A và B, tức là ta phải giải bài toán động học ngược để tìm $(\varphi_{1A}, \varphi_{2A})$ và $(\varphi_{1B}, \varphi_{2B})$. Vậy ta sẽ tính được độ biến thiên góc khớp giữa hai vị trí là $\Delta\varphi_1$ và $\Delta\varphi_2$.

Hình 3.4: *Lược đồ biểu diễn tay máy hai bậc tự do*

Trong thực tế, ta không thể chỉ đơn giản gia tốc cho các khớp xoay đúng lượng gia tăng $\Delta\varphi$ vì gặp phải hai vấn đề sau:

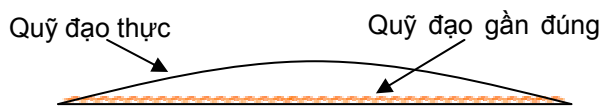
- Đầu E của tay máy sẽ không đi theo quỹ đạo thẳng mà sẽ theo một đường cong nào đó.
- Thực tế, ta yêu cầu các khớp phải cùng bắt đầu và kết thúc chuyển động trong một khoảng thời gian Δt , vì vậy việc điều khiển vận tốc của các khớp phải khác nhau và thỏa mãn công thức:

$$\frac{\Delta\varphi_1}{\omega_1} = \frac{\Delta\varphi_2}{\omega_2} = \Delta t$$

Đối với Robot hàn mà ta đang làm việc cũng xảy ra vấn đề tương tự như vậy. Chuyển động của đầu

hàn đi dọc theo quỹ đạo công nghệ thực chất là quá trình chuyển động point-to-point qua các tính toán được. Vì vậy việc giải quyết vấn đề đi thẳng của end effector là rất cần thiết.

Thực tế đối với tay máy sáu khớp bản lề, việc di chuyển end effector từ điểm này sang điểm kia theo một đường cong nào đó là không thể tránh khỏi. Vì vậy, ta chỉ có thể điều khiển nó đi từ A sang B theo một quỹ đạo gần đúng thẳng, bằng cách chia nhỏ đoạn AB và gia tốc từ từ để end effector đi qua các điểm chia. Như vậy, qua những chuyển động vi cấp như thế thì quỹ đạo cong của End Effector sẽ coi gần đúng thẳng.



Hình 3.5: Lược đồ biểu diễn quỹ đạo của End Effector.

Như vậy, ở đây còn lại hai vấn đề phải giải quyết: bài toán động học ngược và bài toán vận tốc. Đây là những bài toán cơ bản của động học tay máy mà ta đã biết. Việc giải các bài toán ngược và bài toán vận tốc qua những điểm trung gian của quỹ đạo đòi hỏi nhiều công sức nếu không xây dựng trước những phần mềm giải trên MATLAB. Có thể nhanh chóng giải các bài toán này trong nhiều trường hợp cụ thể khi sử dụng phương pháp tách các nhóm 3 khâu. Những vấn đề này sẽ trình bày chi tiết trong Hội nghị.

KẾT LUẬN

Trong khuôn khổ có hạn, ở bài báo này các tác giả chỉ mới giới thiệu qua về những ý tưởng chính của công việc đã thực hiện, bao gồm:

- Đường hướng của giải pháp đề xuất.
- Xây dựng mô hình toán của quỹ đạo lấy mẫu.
- Các bước tiến hành xây dựng quỹ đạo công nghệ.

Nhiều nội dung quan trọng của nghiên cứu này, nhất là ở mục 3 chưa thể trình bày chi tiết ở đây. Các chi tiết có liên quan của bài báo sẽ được trình bày tại HNKH. Bạn đọc quan tâm đến những nội dung chi tiết của bài báo này xin liên hệ với Bộ môn KTĐKTĐ Khoa Cơ Khí – ĐHBK – ĐHQG HCM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Sabrie Soloman, *Sensors Handbook*, McGraw-Hill, 1998, USA.
- [2] Saeed B. Niku, *Introduction to Robotics, Analysis, Systems, Application*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- [3] Nguyễn Đắc Thọ, *Sổ tay công nghệ chế tạo máy*, Nhà xuất bản Khoa Học và Kỹ Thuật, 2003.
- [4] Trần Đức Tuấn – Trần Ngọc Dân, *Công nghệ hàn hồ quang*, Nhà xuất bản ĐHQG Tp.HCM, 2002.
- [5] Lê Hoài Quốc, *Kỹ thuật người máy, Tập 1: Robot công nghiệp*, Nhà xuất bản ĐHQG Tp. HCM, 2003.