

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CƠ CẤU H-BOT TRONG ĐIỀU KHIỂN MÁY IN 3D REPRAP THEO PHƯƠNG PHÁP FDM (FUSED DEPOSITION MODELLING)

APPLIED RESEARCH STRUCTURE OF H-BOT IN THE 3D PRINTING DRIVER REPRAP WITH FDM (FUSED DEPOSITION MODELLING)

Huỳnh Hữu Nghị, Nguyễn Anh Tuấn, Thái Thị Thu Hà
 Trường Đại học Bách Khoa - ĐHQG Tp.HCM, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 25/11/2016, ngày phản biện đánh giá 16/12/2016, ngày chấp nhận đăng 21/12/2016

TÓM TẮT

FDM (Fused Deposition Modelling) là công nghệ in 3D phổ biến hiện nay. Công nghệ này đã và đang có những ứng dụng mạnh mẽ trong đời sống, sản xuất và đặc biệt là cung cấp các tri thức trong môi trường học thuật. Vì vậy, hiện nay tại Việt Nam cũng như trên thế giới, nhu cầu trang bị hoặc tự chế tạo máy in 3D theo công nghệ FDM trong các cơ sở giáo dục nhằm trang bị kiến thức về thiết kế, chế tạo cũng như kỹ năng thực hành cho người học là rất lớn. Nhằm phục vụ công tác giảng dạy thực hành, thí nghiệm đồng thời giúp cho sinh viên tự tăng cường kỹ năng thực hành theo mô hình giảng dạy CDIO; nhóm tác giả đã nghiên cứu ứng dụng của kết cấu dạng H-bot và giải thuật điều khiển của máy in 3D REPRAP, thiết bị này đã được chế tạo thành công tại Khoa Cơ Khí, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG TP.HCM.

Từ khoá: In 3D; Bồi đắp lắng đọng; Sản xuất; CDIO; H-bot.

ABSTRACT

FDM (Fused Deposition Modeling) has become an increasingly popular technology in the field of Additive Manufacturing since it has various industrial as well as agricultural applications. Moreover, it provides valuable knowledge in the academic environment. As a result, in many countries including Vietnam, the need to equip or self-produce 3D printers using FDM method in universities and institutes is significantly great to equip learners with design and fabrication skills. In order to serve the practical and experimental teaching in the CDIO Initiative, the authors have studied the application of H-bot structure and its control algorithms for constructing a REPRAP 3D printer. This device has been successfully designed and assembled at Faculty of Mechanical Engineering, Bach Khoa University – VNU.

Keywords: 3D printer; FDM; Manufacturing; CDIO; H-bot.

Công thức

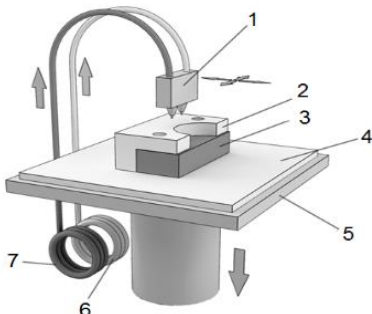
Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$\Delta\alpha$	rad	Góc quay động cơ 1 - x
$\Delta\beta$	rad	Góc quay động cơ 2 - y
$\Delta\delta$	rad	Góc quay động cơ 3 - z
θ	rad	Góc bước của động cơ
R	mm	Bán kính pulley
p	mm	Bước của bộ truyền vít me
i	xung	Số xung cấp động cơ 1

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
j	xung	Số xung cấp động cơ 2
k	xung	Số xung cấp động cơ 3

1. TỔNG QUAN

Công nghệ tạo mẫu nhanh là công nghệ có thể chế tạo sản phẩm 3D từ dữ liệu CAD (Computer Aided Design). Công nghệ này cho phép người thiết kế có thể tạo ra những mẫu vật thể ba chiều cụ thể, dễ dàng diễn đạt ý tưởng so với bản vẽ hai chiều. Trong đó, FDM là công nghệ in 3D phổ biến nhất hiện

nay (còn được gọi là công nghệ in 3D FFF). Điển hình là các dạng máy in 3D Reprap hoặc máy in 3D giá rẻ (makerbot, Printerbot, Flashforge...).



Hình 1. Sơ đồ máy in 3D theo công nghệ FDM

Công nghệ FDM trên thế giới đang phát triển rất nhanh chóng với doanh số hàng năm không ngừng tăng. Nhiều nghiên cứu về các công nghệ tạo mẫu nhanh nói chung và tạo mẫu nhanh bằng công nghệ FDM nói riêng nhằm ứng dụng trong đời sống sản xuất mang lại hiệu quả và lợi nhuận cao. Đặc biệt xét ở khía cạnh nghiên cứu học thuật, các máy tạo mẫu nhanh là một đề tài đa dạng ứng dụng đầy đủ các tri thức: cơ khí – điện tử – lập trình và vật liệu cho các trường đại học. Do đó, đề tài được lựa chọn nghiên cứu ứng dụng kết cấu H-bot trong điều khiển máy in Reprap 3D theo phương pháp FDM ứng dụng trong nghiên cứu học thuật, là mô hình trực quan phục vụ cho công tác giảng dạy và học tập trong môi trường đại học.

2. THIẾT KẾ CƠ KHÍ

Bảng 1. Thông số máy được thiết kế

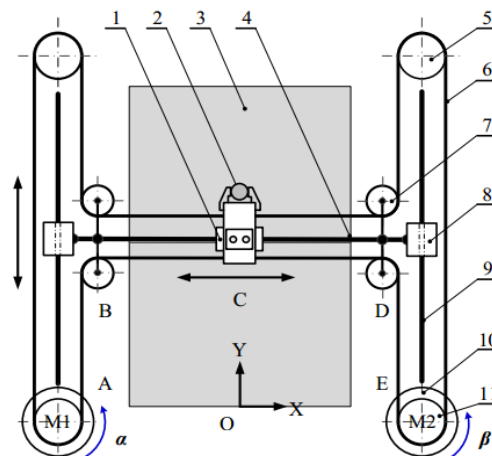
Thông số	Giá trị
Kích thước máy	390 x 390 x 460 (mm)
Kích thước mẫu lớn nhất	200 x 200 x 180 (mm)
Vật liệu tạo mẫu	PLA,ABS,Ninjfalex....
Đường kính dây nhựa	1.75 mm
Số lượng đầu đùn	1 đầu đùn
Vận tốc khi đùn	V=40 mm/s
Vận tốc khi chạy home	V=110 mm/s

Cụm trục truyền động X, Y là một trong những cụm chi tiết hết sức quan trọng trong máy in 3D. Thiết kế cụm trục XY trên máy in 3D bao gồm 2 phần là cụm truyền động trục X và cụm truyền động trục Y, với yêu cầu chung là:

+ Kết cấu đơn giản, tháo lắp dễ dàng, trọng lượng nhẹ nhưng vẫn đảm bảo cứng vững.

+ Truyền động một cách chính xác, điều khiển dễ dàng và có khả năng hiệu chỉnh được lực căng đai ở hai bên máy theo phương Y và theo phương X.

Trên thực tế cụm truyền động xy theo kết cấu xy độc lập khá là phổ biến vì đơn giản và dễ điều khiển hơn kết cấu H-bot. Nhưng kết cấu H-bot lại có lợi thế gọn nhẹ, hoạt động êm hơn vì 2 động cơ cụm xy không chuyên động, lực quán tính nhỏ hơn vì chỉ có cụm đầu đùn là di chuyển. Chuyển động của cụm đầu đùn là chuyển động kết hợp của cả 2 động cơ nên độ chính xác chi tiết in cao hơn. Kết cấu cụm trục X, Y theo H-bot được thiết kế như hình 2.

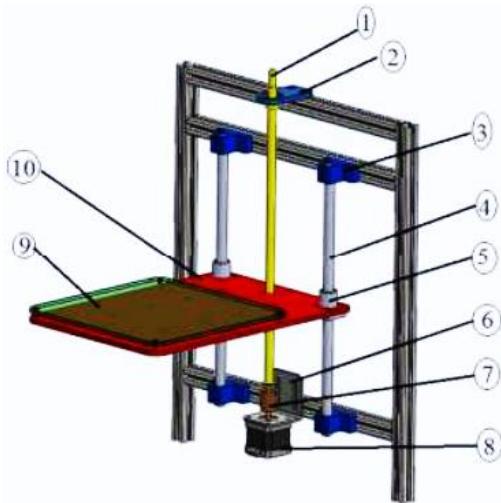


Hình 2. Sơ đồ nguyên lý cụm trục XY

Với:

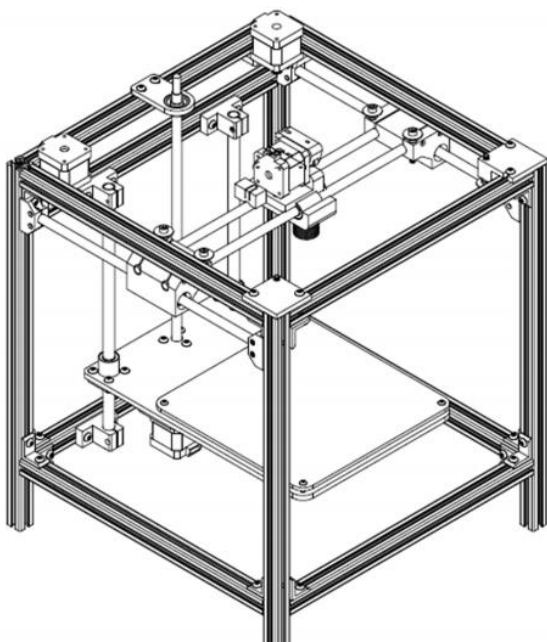
1. Con trượt ngang
2. Cơ cấu chấp hành
3. Vùng làm việc
4. Thanh trượt ngang
5. Pulley bị động
6. Đai răng
7. Pulley dẫn hướng
8. Con trượt dọc
9. Thanh trượt dọc
10. Động cơ
11. Pulley chủ động

Vì chi tiết in thường có khối lượng không quá lớn nên nhược điểm dễ bị cong vênh, biến dạng cụm trục Z và bàn máy không quá ảnh hưởng đến độ chính xác của máy. Do đó, đa số các máy in 3D thường sử dụng một trục vít me, đai ốc – 2 ti trượt vì kết cấu đơn giản, gọn gàng, dễ lắp ráp, căn chỉnh như hình 3.



Hình 3. Kết cấu cụm trục Z

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1. Trục vít me đai ốc bi | 6. Đế động cơ |
| 2. Đỡ trục vít me | 7. Nối trục đàn hồi |
| 3. Gối đỡ ti trượt | 8. Động cơ |
| 4. Ti trượt | 9. Bàn trên |
| 5. Ổ lăn tuyến tính | 10. Bàn dưới |

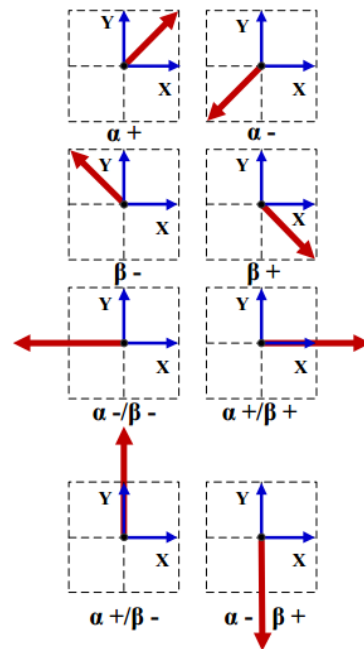


Hình 4. Thiết kế máy in 3D

3. PHÂN TÍCH ĐỘNG HỌC

Sau khi đã hoàn tất thiết kế cơ cấu của hệ thống, cần thiết phải phân tích động học thuận, ngược của cơ cấu in 3D để tìm ra các mối liên hệ giữa tọa độ của bộ phận công tác và thông số điều khiển động cơ. Từ đó điều khiển bộ phận công tác chuyển động theo quỹ đạo mong muốn.

Xét mặt phẳng xy với bài toán động học của cơ cấu H-bot. Chọn chiều dương góc quay động cơ và hệ tọa độ XOY như hình 2. Dựa vào sơ đồ nguyên lý, xét một số trường hợp cơ bản của góc quay $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$ của 2 động cơ.



Hình 5. Một số trường hợp cơ bản của góc quay 2 động cơ XY

Xét sự phụ thuộc tọa độ lần lượt của trục Y của cơ cấu chấp hành theo góc quay của 2 động cơ qua các trường hợp cụ thể:

Trường hợp 1: $\Delta\alpha \neq 0$ và $\Delta\beta = 0$

Khi động cơ 1 quay góc $\Delta\alpha$ tổng chiều dài $AB + BC + CD$ thay đổi một lượng ($R\Delta\alpha$)

$$\text{Hay: } \Delta(AB+BC+CD) = R \cdot \Delta\alpha \quad (1)$$

(Với R là bán kính pulley gắn với động cơ)

Mà chiều dài BC không đổi bên cạnh tính chất đối xứng của cơ cấu nên:

$$\Delta AB = \Delta CD = \frac{R \cdot \Delta\alpha}{2} \quad (2)$$

Hay độ biến thiên tọa độ theo trục Y của cơ cấu chấp hành phụ thuộc vào động cơ 1 là:

$$\Delta Y = \frac{R \cdot \Delta \alpha}{2} \quad (3)$$

Trường hợp 2: $\Delta \alpha = 0$ và $\Delta \beta \neq 0$

Tương tự như trường hợp trên, lưu ý là độ biến thiên ΔY và $\Delta \beta$ ngược dấu nên phương trình thể hiện mối quan hệ giữa sự biến thiên tọa độ theo trục Y của cơ cấu chấp hành và góc quay động cơ 2 là:

$$\Delta Y = -\frac{R \cdot \Delta \beta}{2} \quad (4)$$

Kết hợp phương trình (1) và (2) suy ra:

$$\Delta Y = \frac{R \Delta \alpha - R \Delta \beta}{2} \quad (5)$$

Xét sự phụ thuộc tọa độ trục X của cơ cấu chấp hành theo góc quay của 2 động cơ:

Trường hợp 3: $\Delta \alpha \neq 0$ và $\Delta \beta = 0$

Khi động cơ 1 quay góc $\Delta \alpha$ tổng chiều dài $AB + BC + CD$ thay đổi một lượng $R \Delta \alpha$.

Tức là:

$$\Delta(AB + BC + CD) = \Delta(AB + BE + ED) = R \cdot \Delta \alpha$$

Xét tương tự trường hợp 1:

$$\Delta AB = \frac{R \Delta \alpha}{2}$$

Do đó độ biến thiên tọa độ của cơ cấu chấp hành theo trục X phụ thuộc vào động cơ 1 là:

$$X = \frac{R \Delta \alpha}{2} \quad (6)$$

Trường hợp 4: $\Delta \alpha = 0$ và $\Delta \beta \neq 0$

Tương tự, lưu ý độ biến thiên ΔEC và $\Delta \beta$ ngược dấu nên:

$$\Delta EC = \frac{-R \Delta \beta}{2}$$

Mà ΔX và ΔEC ngược dấu nên độ biến thiên tọa độ của cơ cấu chấp hành theo trục X phụ thuộc vào động cơ 2 là:

$$\Delta X = -\Delta EC = \frac{R \Delta \beta}{2} \quad (7)$$

Kết hợp phương trình (4) và (5) suy ra:

$$\Delta X = \frac{R \Delta \alpha + R \Delta \beta}{2} \quad (8)$$

Từ phương trình (3) và (6), phương trình động học thuận của cơ cấu H-bot:

$$\begin{cases} \Delta X = \frac{R \Delta \alpha + R \Delta \beta}{2} \\ \Delta Y = \frac{R \Delta \alpha - R \Delta \beta}{2} \end{cases} \quad (9)$$

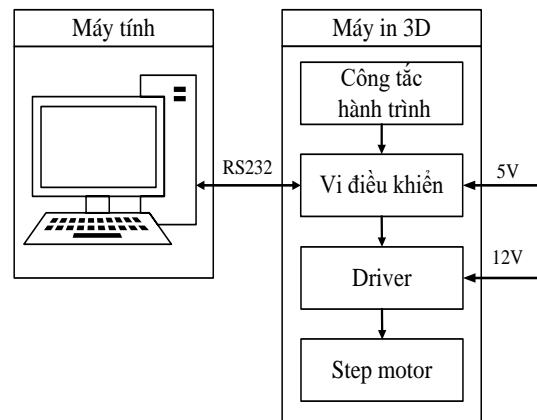
Kết hợp chuyển động thuần túy theo phương Z của bàn máy, động học hệ thống đã hoàn thành phân tích.

Từ phương trình động học thuận của cơ cấu H-bot suy ra phương trình động học ngược của hệ:

$$\begin{cases} \Delta \alpha = \frac{\Delta X + \Delta Y}{R} \\ \Delta \beta = \frac{\Delta X - \Delta Y}{R} \\ \Delta \delta = \frac{2\pi}{p} \Delta Z \end{cases} \quad (10)$$

4. MẠCH ĐIỆN VÀ GIẢI THUẬT ĐIỀU KHIỂN

Mạch điện thiết kế của hệ thống được thể hiện như sơ đồ hình 6.

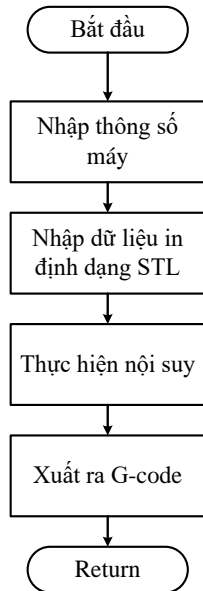


Hình 6. Sơ đồ khối thiết kế mạch điện

Xử lý dữ liệu trên máy tính

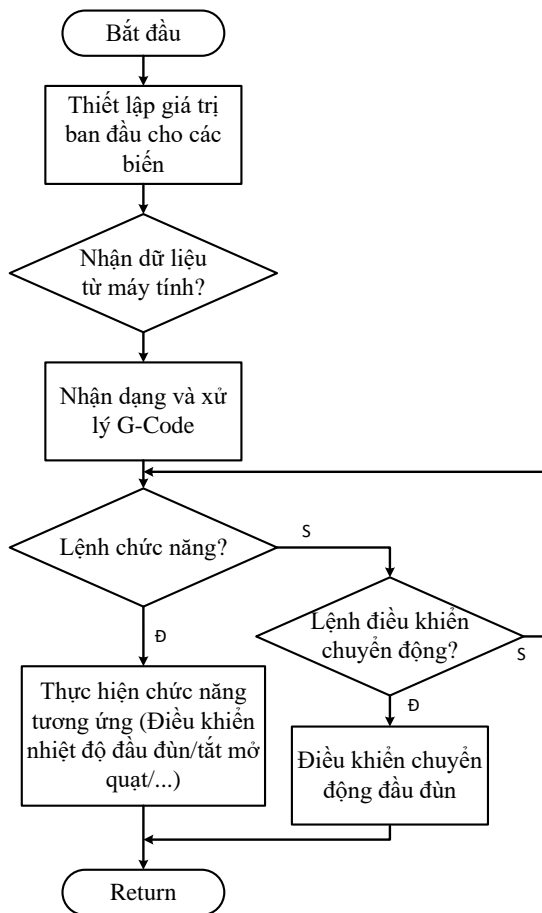
Chương trình xử lý cắt lớp các mẫu in 3D dưới dạng file .STL bằng phần mềm slic3r, thiết lập các thông số hoạt động (độ dày lớp in, dạng điền đầy, tốc độ in...) Chương trình sẽ xuất ra file G-code bao gồm những lệnh chức năng và lệnh di chuyển, sau

đó lệnh được lần lượt truyền xuống vi điều khiển theo chuẩn giao tiếp RS232 cho đến khi hoàn tất in. Giải thuật được mô tả đơn giản bằng sơ đồ khối:



Hình 7. Giải thuật xử lý trên máy tính

Giải thuật vi điều khiển



Hình 8. Giải thuật xử lý trên vi điều khiển

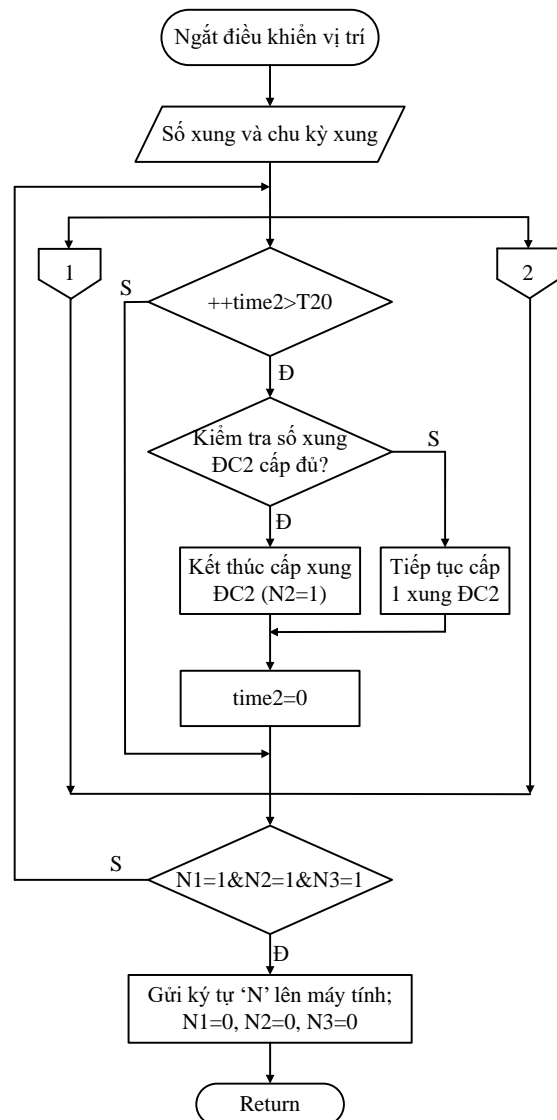
Giải thuật điều khiển vị trí đầu đùn

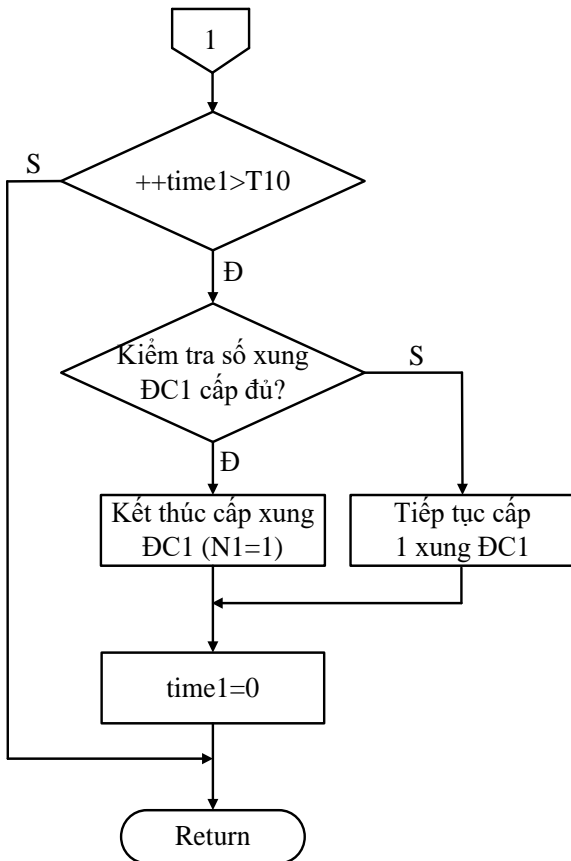
Ứng với góc bước của động cơ θ , để 3 động cơ quay được góc $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$, $\Delta\delta$ thì cần cấp cho 3 động cơ số xung lần lượt là i , j , k .

$$\begin{cases} \Delta\alpha = i\theta \\ \Delta\beta = j\theta \\ \Delta\delta = k\theta \end{cases}$$

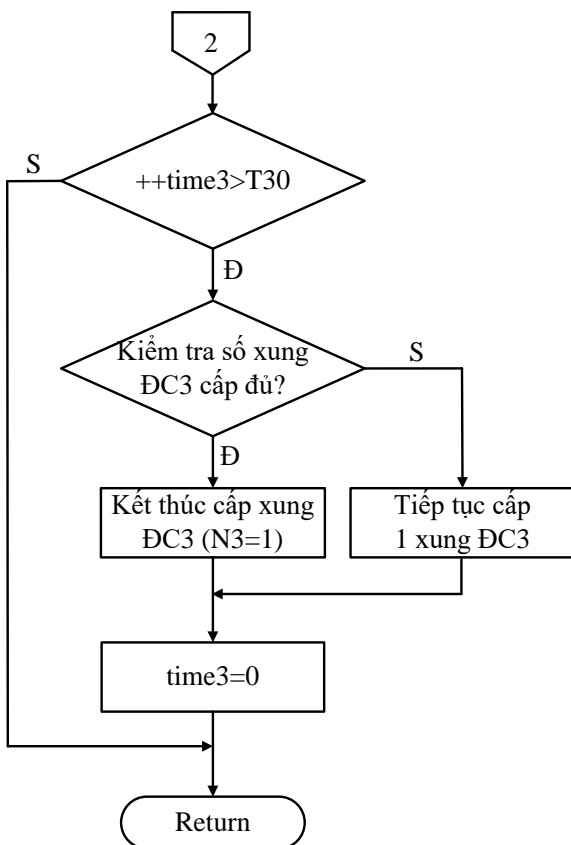
Từ đó, phương trình động học ngược được sử dụng cho giải thuật điều khiển vị trí đầu đùn:

$$\begin{cases} i = \frac{\Delta X + \Delta Y}{R\theta} \\ j = \frac{\Delta X - \Delta Y}{R\theta} \\ k = \frac{2\pi}{p\theta} \Delta Z \end{cases}$$



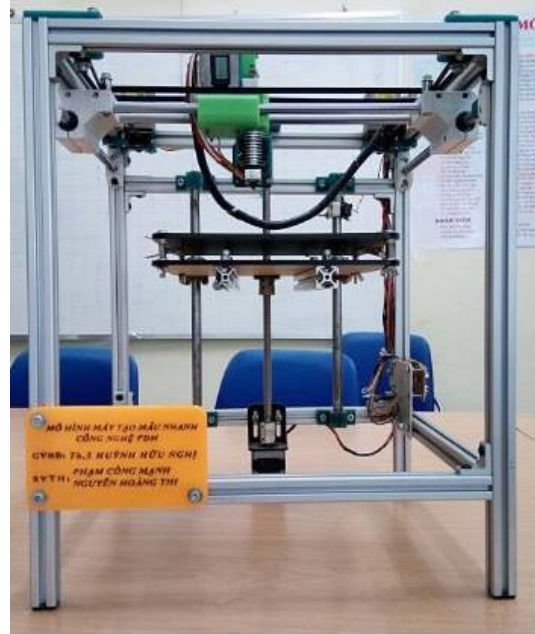


Hình 9. Giải thuật xử lý trên vi điều khiển



5. THỰC NGHIỆM

Mô hình thực nghiệm máy in 3D được chế tạo và lắp ráp giống bản thiết kế với kích thước thực được thể hiện bởi hình 10:



Hình 10. Mô hình thực tế máy in 3D

Chạy thử nghiệm mô hình với các mẫu thiết kế khác nhau như hình 11:



Hình 11. Các sản phẩm đã in thực tế

Trong quá trình vận hành thực nghiệm, nhóm đưa ra kết luận rằng: Thông số bề dày lớp và vận tốc đầu đùn là hai thông số rất quan trọng. Với thiết bị đã chế tạo, thực nghiệm với vận tốc đầu đùn

$v = 50 - 80 \text{ (mm/s)}$, nhóm đã xác định giá trị vận tốc tối ưu cho thiết bị là

$$v = 60 \text{ (m/s)}$$

Dưới đây là thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của bề dày lớp đến độ chính xác của mẫu in.

Mẫu khảo sát được chọn là mẫu khối lập phương kích thước 20x20x20 mm (hình 12) và khối trụ kích thước 20x20 mm (hình 13). Với thông số bề dày lớp là 0.2 mm và 0.3 mm.

Các mẫu này được chế tạo với số lượng 10 mẫu. Chi tiết kết quả đo ở bảng 2 và bảng 3

Mẫu in khối lập phương kích thước 20 mm:



Hình 12. Khối lập phương kích thước 20 x 20 mm

Bảng 2. Số liệu đo thực tế mẫu hình lập phương

TT	Chế độ	Cạnh x (mm)	Cạnh y (mm)	Độ cao z (mm)	Thời gian (phút)
1	0.2	19.8	20	20	21,44
2		19.8	19.8	20	
3		19.6	19.8	20	
4		19.8	19.8	20	
5		19.8	19.8	20	
6	0.3	19.6	19.8	20	18,48
7		19.8	19.6	20	
8		19.8	19.8	20	
9		19.8	19.8	20	
10		19.6	19.6	20	

Với 5 lần in ở mỗi chế độ (bề dày lớp 0.2 mm/0.3 mm) bảng thông số trên cho thấy:

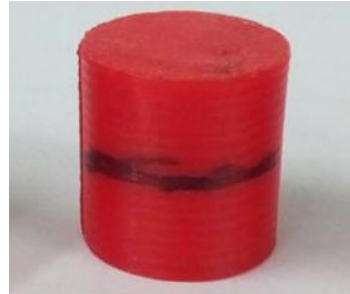
Sai số trung bình cạnh x/ y/ z đạt 19.76 mm/19.84 mm/20mm thực hiện trong thời gian trung bình 21.44 phút khi ở chế độ bề dày lớp 0.2 mm.

Với chế độ bề dày lớp 0.3 mm, các con số này lần lượt là: 19.72 mm/19.72 mm/20 mm thực hiện trong 18.48 phút.

Với cơ cấu H-bot, sai số kích thước x-y nằm trong khoảng 1.2% với bề dày lớp 0.2

mm và 1.4% với bề dày lớp 0.3 mm. Trục z được truyền động bởi vít me đai ốc bi cho sai số chiều cao gần như bằng không.

Mẫu in khối trụ đường kính 20mm, chiều cao 20mm:



Hình 13. Khối trụ kích thước 20 x 20 mm

Bảng 3. Số liệu đo thực tế mẫu hình trụ

TT	Chế độ	Đường kính (mm)	Độ cao z (mm)	Thời gian (phút)
1	0.2	19.6	20	17.30
2		19.8	20	
3		19.8	20	
4		19.6	20	
5		19.8	19.8	
6	0.3	19.8	20	15.48
7		19.6	19.8	
8		19.8	20	
9		19.8	19.8	
10		19.8	19.8	

Với mẫu in khối trụ như trên hình 13 và bảng 4, sai số trung bình đường kính/ chiều cao đạt 19.72 mm/19.96 mm thực hiện trong thời gian trung bình 17.30 phút khi ở chế độ bề dày lớp 0.2 mm. Và ở chế độ bề dày lớp 0.3 mm, sai số trung bình đường kính/ chiều cao đạt 19.76 mm/19.88 mm thực hiện trong thời gian trung bình 15.48 phút

Sai số đường kính nằm trong khoảng 1.2% so với bề dày lớp 0.2 mm và 1.4% so với bề dày lớp 0.3 mm. Nhưng lần in mẫu hình trụ này, sai số chiều cao đã tăng lên đến 0.6 %. Điều này có thể giải thích bởi một số lỗi thường gặp trong quá trình chạy thực tế: chi tiết bị in thiếu lớp hoặc khoảng

cách chưa hợp lý giữa đầu đùn và bàn máy không đồng đều.

Qua quá trình in các chi tiết có biên dạng phức tạp và các khối cơ bản, các số liệu được nêu ra ở trên, một số nhận xét được đưa ra:

- Chọn hướng tạo mẫu quyết định đến sai số kích thước in của sản phẩm. Với cấu hình máy in 3D này, độ chính xác theo phương z là cao nhất. Do đó, tùy theo độ chính xác mong muốn phương mà có các hướng đặt mẫu khác nhau trong khâu xử lý file CAD.
- Quá trình cân chỉnh ban đầu của máy in là hết sức quan trọng quyết định đến độ chính xác của sản phẩm (độ vuông góc/khoảng cách của đầu đùn với bàn máy,...)
- Khi bước động cơ được tăng lên (tốc độ in được tăng lên), quá trình in diễn ra nhanh hơn, nhưng đồng nghĩa với việc giảm đi độ chính xác cũng như chất lượng bề mặt của vật thể.

- Với các mẫu có biên dạng phức tạp được in trên thiết bị, độ chính xác kích thước vẫn được đảm bảo.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã hoàn thành thiết kế, chế tạo và đưa ra giải thuật điều khiển dành cho máy in 3D cấu hình H-bot. Bên cạnh đó, thực hiện kiểm tra kích thước các mẫu in cơ bản để đánh giá độ chính xác của máy in 3D. Đối với một chi tiết in 3D các chỉ tiêu để đánh giá chất lượng của một sản phẩm in 3D cũng giống với các sản phẩm của phương pháp gia công truyền thống, nhưng bên cạnh các yếu tố quyết định độ chính xác của chi tiết trong phương pháp gia công truyền thống là thông số công nghệ của các nguyên công thì độ chính xác của chi tiết in 3D còn bị ảnh hưởng trực tiếp từ những thông số khác như: nhiệt độ, chất lượng nhựa in, môi trường làm việc...mà đây là những yếu tố chưa được khảo sát trong nội dung nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Pham, D. and Gault, “A comparisons of Rapid prototyping technologies”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1998.
- [2] Sood, A.K., Ohdar, R.K. and Mahapatra, S.S, “Improving dimension accuracy of Fused Deposition Modelling processed part using grey Taguchi method”, Journal of Materials and Design, 2009.
- [3] Rajan Bansal, “Improving dimensional accuracy of Fused Deposition Modelling (FDM) part using surface methodology”, Thesis of National Institute of Technology Rourkela, 2011.
- [4] Robert L. Skubic, Chanhassen, James W. Comb, Hamel. “Adjustable platform assembly for digital manufacturing system”. US Patent Number 8153183, Apr. 10, 2012.
- [5] James W. Comb, William J. Swanson, Jeffrey L. Crotty. “Gantry assembly for use in additive manufacturing system”. US Patent Number 20130078073, Mar 28, 2013.
- [6] Junsheng Yang, Liang Wei Wu, Junhai Liu. “Rapid prototyping and fabrication method for 3-D food objects”. US Patent Number 6280785, Aug 28, 2001.
- [7] Trịnh Văn Thái. “Nghiên cứu thiết kế hệ thống truyền động máy tạo mẫu nhanh FDM”. Đại học Bách Khoa ĐHQG Tp. Hồ Chí Minh, 2013.
- [8] Nguyễn Thanh Hải. “Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ và quỹ đạo đầu đùn đến chất lượng sản phẩm trong quá trình FDM (Fused Deposition Modeling)”. Đại học Bách Khoa ĐHQG Tp. Hồ Chí Minh, 2013.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Huỳnh Hữu Nghị

Trường Đại học Bách Khoa - ĐHQG Tp.HCM

Email: hhnghi@hcmut.edu.vn, huynhhuunghi@gmail.com