



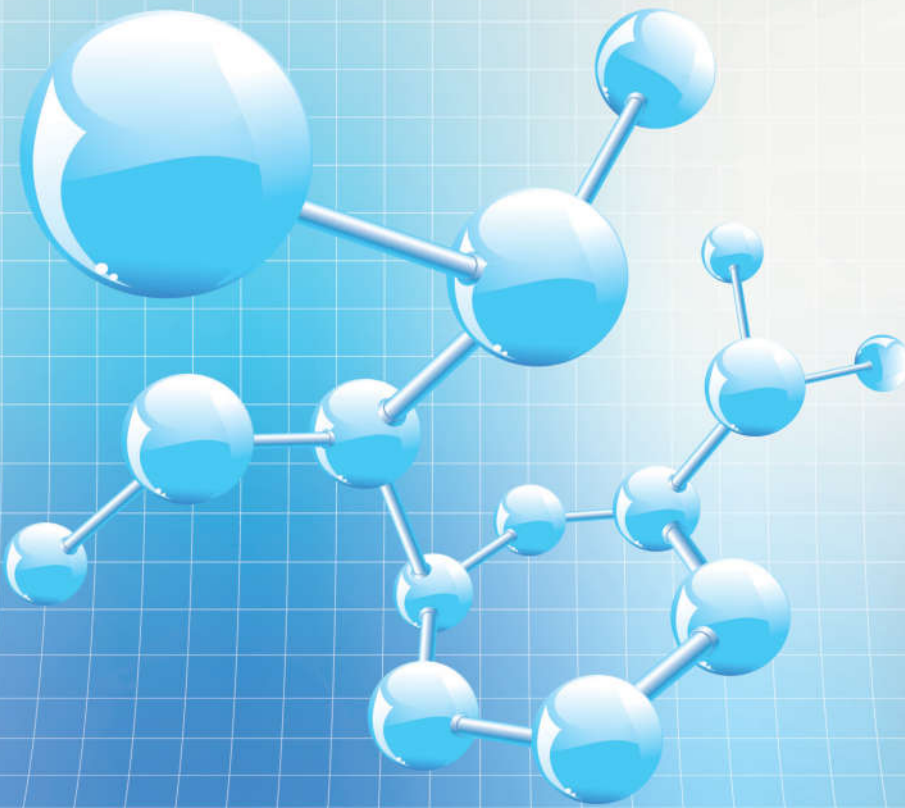
Tap chí

NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY

**P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X**



Số 4 (87)

2024

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

■ **Tổng Biên tập**

TS. Đỗ Văn Đỉnh

■ **Phó Tổng biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên

■ **Thư ký Tòa soạn**

PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

■ **Hội đồng Biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên - Chủ tịch Hội đồng

GS.TS. Phạm Thị Ngọc Yến

PGS.TSKH. Trần Hoài Linh

PGS.TS. Nguyễn Văn Liễn

GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

GS.TSKH. Bành Tiến Long

GS.TS. Nguyễn Đức Toàn

PGS.TS. Lê Thu Quý

GS.TS. Lê Anh Tuấn

GS.TS. Đinh Văn Sơn

PGS.TS. Trương Thị Thủy

PGS.TS. Nguyễn Thị Bất

GS.TS. Đỗ Quang Kháng

PGS.TS. Ngô Sỹ Lương

PGS.TS. Khuất Văn Ninh

GS.TSKH. Phạm Hoàng Hải

PGS.TS. Đoàn Ngọc Hải

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Hà

GS.TS. Yu Ming Zhang

GS.TS. Nguyễn Văn Anh

■ **Ban Biên tập**

TS. Vũ Văn Đông - Trưởng ban

ThS. Đoàn Thị Thu Hằng - Phó Trưởng ban

■ **Editor-in-Chief**

Dr. Do Van Dinh

■ **Vice Editor-in-Chief**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen

■ **Office Secretary**

Assoc.Prof.Dr. Ngo Huu Manh

■ **Editorial Board**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen - Chairman

Prof.Dr. Pham Thi Ngoc Yen

Assoc.Prof.Dr.Sc. Tran Hoai Linh

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Van Lien

Prof.Dr.Sc. Than Ngoc Hoan

Prof.Dr.Sc. Bành Tiến Long

Prof.Dr. Nguyen Duc Toan

Assoc.Prof.Dr. Le Thu Quy

Prof.Dr. Le Anh Tuan

Prof.Dr. Dinh Van Son

Assoc.Prof.Dr. Trương Thị Thủy

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Thi Bat

Prof.Dr. Do Quang Khang

Assoc.Prof.Dr. Ngo Sy Luong

Assoc.Prof.Dr. Khuat Van Ninh

Prof.Dr.Sc. Phạm Hoàng Hai

Assoc.Prof.Dr. Doan Ngoc Hai

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Ngoc Ha

Prof.Dr. Yu Ming Zhang

Prof.Dr. Nguyen Van Anh

■ **Editorial**

Dr. Vu Van Dong - Head

MSc. Doan Thi Thu Hang - Deputy Head

Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/>Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.

LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA

- Mô hình học sâu cho phát hiện bệnh trên cây lúa ở Việt Nam sử dụng YOLOv10 5 Hàn Hồng Hạnh
Cần Vũ Sơn Hà
Trần Văn Kiên
Đỗ Lê Trà My
Trịnh Công Đồng
Võ Đức Nhân
Ngô Phương Thủy
Bùi Đăng Thành
- Nghiên cứu, thiết kế, xây dựng hệ thống mạng cảm biến không dây để giám sát trạng thái hoạt động của máy bơm tại nhà máy chế biến khoáng sản ở Việt Nam 12 Phạm Văn Nam
Triệu Tuấn Anh
Vương Anh Đức
Đỗ Văn Đĩnh
- Thiết kế hệ thống giám sát xâm nhập mặn ứng dụng công nghệ IoT 18 Nguyễn Thị Nhật Quỳnh
Phạm Minh Tiến
Nguyễn Trung Nam
Trần Ngọc Tạo
Nguyễn Văn Thái
Nguyễn Trọng Các
- Nghiên cứu tổng quan vật liệu silicon trong ngành thiết bị bán dẫn 25 Châu Thanh Phương

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

- Sự thay đổi đặc tính khi thử nghiệm độ bền kéo trong mặt phẳng của vật liệu kép 30 Phạm Văn Trọng
Phùng Đức Hải Anh
Cao Huy Giáp
Đỗ Tiến Quyết
- Nghiên cứu tối ưu hóa cấu trúc chi tiết máy theo phương pháp thiết kế sinh học 36 Mạc Văn Giang
Tạ Hồng Phong
Mạc Thị Nguyên
Trịnh Văn Cường
- Mô phỏng ứng suất và biến dạng khi làm việc của sàng rung 44 Trần Văn Dũng
Ngô Hữu Mạnh
Trần Hải Đăng
Vũ Văn Tản
Mạc Văn Giang
- Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nhân tố đến lực cắt và dao động khi phay thô thép SKD11 sử dụng mảnh cắt hình tròn 50 Nguyễn Thị Liễu

NGÀNH KINH TẾ

- Kiểm soát giá nhằm giảm tác động kép từ bão Yagi và dịp Tết Nguyên đán tại tỉnh Hải Dương 57 Ngô Thị Luyện
- Các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định mua hàng đối với sản phẩm bánh trung thu của khách hàng tại Hà Nội 63 Nguyễn Thị Ngọc Mai
Lê Thị Huyền
- Chính sách hỗ trợ doanh nghiệp nhỏ và vừa tại tỉnh Hải Dương 69 Phạm Thị Hồng Hoa
Nguyễn Minh Tuấn
- Thu hút vốn đầu tư vào tỉnh Hải Dương và triển vọng những năm tiếp theo 76 Lương Thị Hoa

NGÀNH TOÁN HỌC

- Sự không tồn tại nghiệm của một lớp hệ phương trình gradient elliptic suy biến 82 Nguyễn Thị Diệp Huyền

NGÀNH HÓA HỌC - THỰC PHẨM

- Ảnh hưởng của các chất keo Carboxymethyl xellulose, Xanthan gum, Alginate natri đến độ bền phân tán của nha đam (*Aloe vera*) trong nước giải khát sắn dây 86 Bùi Văn Tú

NGÀNH KHOA HỌC GIÁO DỤC

- Tăng cường đào tạo kỹ năng số cho lực lượng lao động tại Việt Nam 93 Vũ Thị Thanh Thủy
- Phát triển du lịch gắn với phát triển văn hóa ở tỉnh Hải Dương 100 Trần Hoàng Yến
Đặng Thị Thanh

LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC

- Lý luận về hàng hóa sức lao động của C. Mác và giá trị trong phát triển thị trường lao động thời kỳ Cách mạng công nghiệp 4.0 ở nước ta 106 Vũ Văn Đông
- Giải quyết việc làm cho lao động nông thôn ở Hải Dương hiện nay 113 Nguyễn Thị Kim Nguyên
- Quan điểm chỉ đạo của Đảng cộng sản Việt Nam về việc đẩy mạnh chuyển đổi số trong quá trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước 118 Phạm Văn Dự
- Lý luận của chủ nghĩa Mác-Lênin về giải phóng phụ nữ và sự vận dụng của Đảng Cộng sản Việt Nam 125 Trần Thị Hồng Nhung
Vũ Văn Đông

Nghiên cứu tối ưu hóa cấu trúc chi tiết máy theo phương pháp thiết kế sinh học

Optimization study of machine part structures using the generative design

Mạc Văn Giang, Tạ Hồng Phong, Mạc Thị Nguyên, Trịnh Văn Cường

*Tác giả liên hệ: macvngiang@gmail.com

Trường Đại học Sao Đỏ

Ngày nhận bài: 04/9/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 27/11/2024

Ngày chấp nhận đăng: 29/11/2024

Tóm tắt

Bài báo này nghiên cứu tối ưu hóa cấu trúc chi tiết máy theo phương pháp thiết kế sinh học (Generative Design - GD), một phương pháp thiết kế tự động sử dụng các thuật toán máy tính và trí tuệ nhân tạo để tạo ra nhiều giải pháp thiết kế tối ưu về cấu trúc và khối lượng. Quá trình này được thực hiện thông qua việc tích hợp trí tuệ nhân tạo vào hệ thống CAD (Computer - Aided Design) trên phần mềm Autodesk Fusion. Nghiên cứu tập trung vào việc tối ưu hóa cấu trúc của chi tiết tay đòn trên robot bốc xếp, từ quá trình nghiên cứu cơ sở toán học đến lựa chọn giải pháp tối ưu. Kết quả cho thấy việc áp dụng Generative Design đã giúp giảm khối lượng đáng kể trong khi vẫn đảm bảo độ bền cần thiết cho chi tiết máy.

Từ khóa: Tối ưu hóa cấu trúc; thiết kế sinh học; trí tuệ nhân tạo; chi tiết máy; khối lượng; ứng suất.

Abstract

This paper investigates the structural optimization of machine components using the Generative Design (GD) approach, an automated design method that leverages computer algorithms and artificial intelligence to generate multiple optimal solutions for structure and weight. This process is carried out by integrating artificial intelligence into the CAD (Computer-Aided Design) system using Autodesk Fusion software. The study focuses on optimizing the structure of a robotic arm lever used in a palletizing robot, covering the entire process from researching the mathematical foundations to selecting the optimal solution. The results show that applying Generative Design significantly reduced the component's weight while still ensuring the required strength.

Keywords: Structural optimization; generative design (GD); Artificial intelligence (AI); machine component; mass; stress.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

1.1. Các ứng dụng của tối ưu hóa cấu trúc

Tối ưu hóa cấu trúc được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực của kỹ thuật và thiết kế, với mục tiêu chính là cải thiện hiệu suất, độ bền, hiệu quả chi phí và tính an toàn của các hệ thống và cấu trúc. Dưới đây là một số ứng dụng cụ thể của tối ưu hóa cấu trúc [1].

- Thiết kế cơ khí: Giúp tạo ra các bộ phận nhẹ hơn, bền hơn và hiệu suất cao hơn, đồng thời giảm chi phí sản xuất và vận hành. Trên Hình 1 thể hiện kết quả tối ưu hóa cấu trúc khung máy in 3D.

- Xây dựng và kiến trúc: Tối ưu hóa giúp thiết kế các công trình như tòa nhà, cầu, với khả năng chịu lực tốt,

an toàn và tiết kiệm vật liệu, đặc biệt trong các khu vực dễ xảy ra thiên tai.



Hình 1. Tối ưu hóa cấu trúc khung máy in 3D

- Hàng không và vũ trụ: Giúp phát triển các phương tiện bay và vệ tinh nhẹ hơn, bền hơn, chịu lực tốt, từ đó tăng hiệu suất và giảm tiêu hao năng lượng.

Người phản biện: 1. TS. Nguyễn Văn Hinh
2. PGS. TS. Ngô Hữu Mạnh

- Ngành công nghiệp ô tô: Tối ưu hóa giúp thiết kế các phần xe như khung, gầm và thân xe nhẹ hơn, an toàn hơn và tiết kiệm nhiên liệu.

- Tối ưu hóa năng lượng: Được áp dụng trong thiết kế các hệ thống như turbine gió, bảng năng lượng mặt trời và các hệ thống truyền tải năng lượng để đạt hiệu quả và bền vững.

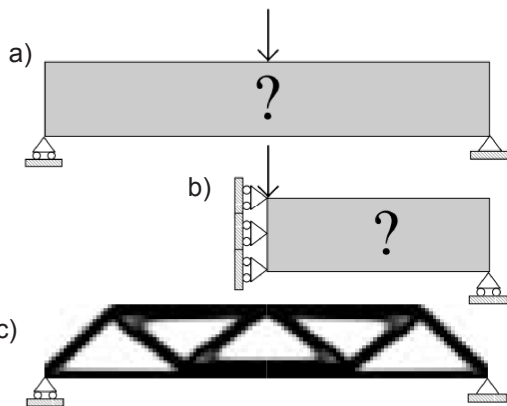
- Công nghệ sinh học và y tế: Sử dụng trong thiết kế thiết bị y tế như nẹp, ghép xương và thiết bị hỗ trợ cơ thể.

Tối ưu hóa cấu trúc là một công cụ quan trọng giúp các kỹ sư và nhà thiết kế tạo ra các sản phẩm và cấu trúc tốt hơn, an toàn hơn và tiết kiệm hơn, qua đó đáp ứng nhu cầu ngày càng cao về hiệu suất và bền vững trong nhiều lĩnh vực.

1.2. Phương pháp tối ưu hóa cấu trúc nhờ tích hợp AI với hệ thống CAD

Phương pháp tối ưu hóa cấu trúc nhờ tích hợp AI (Artificial Intelligence - trí tuệ nhân tạo) trên hệ thống CAD là một hướng tiếp cận hiện đại trong lĩnh vực thiết kế kỹ thuật. Cách tiếp cận này tận dụng sức mạnh của AI để tự động hóa và tối ưu hóa quá trình thiết kế cấu trúc, giúp tạo ra các giải pháp tối ưu về mặt kỹ thuật và kinh tế. Có hai phương pháp tối ưu hóa cấu trúc sử dụng AI tích hợp trên hệ thống CAD là phương pháp tối ưu hóa cấu trúc topo (Topology optimization) và thiết kế sinh học GD (Generative Design).

Hiện nay đã có một số tài liệu công trình nghiên cứu đến liên quan đến tối ưu hóa cấu trúc: Tài liệu [2] đã chỉ rõ cơ sở toán học trong tối ưu hóa cấu trúc cơ khí và xây dựng được chương trình Laplab với 99 dòng lệnh cho việc tối ưu hóa cấu trúc dầm tĩnh định chịu uốn sử dụng trên hệ thống CAD, cơ sở tính toán và kết quả tối ưu được trình bày trên Hình 2.



Hình 2. Tối ưu hóa cấu trúc của dầm theo GA [3]

a. Miền thiết kế đầy đủ; b. Miền thiết kế một nửa với điều kiện biên đối xứng; c. Kết quả chạy mô phỏng tối ưu hóa cấu trúc dầm chịu uốn trên phần mềm maplab.

Tài liệu [3] trình bày việc áp dụng cách tiếp cận thiết

kế sinh học (Generative Design Approach - GDA) trong phát triển sản phẩm, tập trung vào thiết kế giá đỡ guitar. Sử dụng phần mềm Autodesk Fusion, các tác giả đã tối ưu hóa thiết kế về hình dạng, chi phí và độ bền, đồng thời tích hợp trí tuệ nhân tạo và học sâu trong quy trình. Bài báo cũng xem xét các phương pháp sản xuất khác nhau nhằm tìm ra giải pháp tối ưu cho sản xuất hàng loạt.

Tài liệu [4] trình bày phương pháp thiết kế sinh học (Generative Design - GD) và ứng dụng của nó trong thiết kế cơ khí, đặc biệt cho tối ưu hóa cấu trúc. Nghiên cứu phân tích công cụ trên phần mềm Autodesk Fusion, tập trung vào khả năng tạo ra các kết cấu có thể sản xuất. Kết quả cho thấy GD là một phương pháp đầy hứa hẹn, tận dụng các công cụ tính toán tiên tiến nhưng vẫn cần sự kinh nghiệm của người thiết kế, vì AI khó mô phỏng hoàn toàn quyết định sáng tạo của con người. GD hữu ích khi kỹ năng thiết kế chưa đủ để xác định hình dạng tối ưu ngay từ đầu hoặc khi cần tối ưu hiệu suất với nhiều ràng buộc.

Nhìn chung các công trình khoa học trên chưa đề cập rõ về cơ sở toán học của phương pháp Generative Design, do đó nội dung bài báo này trình bày bổ sung các vấn đề trên.

2. PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU GENERATIVE DESIGN

2.1. Giới thiệu về Generative Design

Thiết kế sinh học (Generative Design) là một phương pháp thiết kế cách mạng, sử dụng trí tuệ nhân tạo để tạo ra nhiều các giải pháp thiết kế một cách tự động. Thay vì thiết kế thủ công, kỹ sư chỉ cần đặt ra các yêu cầu và giới hạn cho sản phẩm như trọng lượng, kích thước và các yếu tố khác. Sau đó, hệ thống máy tính sẽ tự động tạo ra hàng ngàn phương án thiết kế khác nhau, từ đó chọn ra những phương án tối ưu.

2.2. Ứng dụng của Generative Design

Generative Design được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực:

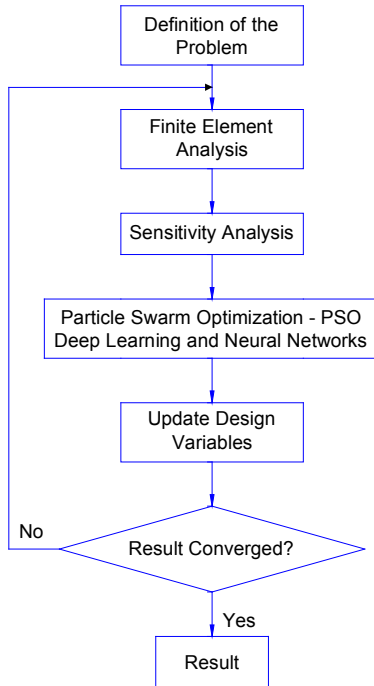
- Kiến trúc: Tối ưu thiết kế cho tòa nhà, cầu cảng và công trình khác về không gian, tải trọng và vật liệu.
- Công nghiệp ô tô và hàng không: Thiết kế các bộ phận phức tạp như động cơ và khung xe, giúp giảm trọng lượng và tối ưu hóa hiệu suất.
- Sản xuất: Kết hợp in 3D để tạo ra các bộ phận phức tạp mà các phương pháp truyền thống không thực hiện được.

2.3. Tính năng của Generative Design

- Tối ưu hóa vật liệu: Giảm lượng vật liệu nhưng vẫn đảm bảo độ bền và chức năng.
- Hiệu quả chi phí: Giảm chi phí sản xuất và thử nghiệm.

- Sáng tạo không giới hạn: Cho phép thử nghiệm vô số phương án thiết kế mà không cần vẽ thủ công.
- Tương quan giá thành và khả năng tạo hình: Dễ dàng đánh giá chi phí và tác động của vật liệu qua gia công CNC từ 3 đến 5 trục và in 3D.
- Phản hồi nhanh: Linh hoạt điều chỉnh thiết kế theo phản hồi mà không cần làm lại từ đầu.

2.4. Cơ sở tính toán tối ưu



Hình 3. Thuật toán tối ưu Generative Design [5]

Thuật toán tối ưu hóa trong Generative Design thường sử dụng các phương pháp tiên tiến để tìm kiếm không gian thiết kế rộng lớn và tìm ra giải pháp tối ưu dựa trên một loạt ràng buộc và mục tiêu thiết kế. Thuật toán tối ưu hóa trong Generative Design được trình bày trong Hình 3 [6].

- Definition of the Problem (Định nghĩa vấn đề): Vấn đề cần giải quyết được xác định rõ ràng, bao gồm việc xác định các mục tiêu thiết kế (như độ cứng, trọng lượng nhẹ, chi phí thấp,...) và các ràng buộc cần tuân thủ (như hạn chế về thể tích, điều kiện biên và các yếu tố về phương pháp gia công).
- Finite Element Analysis (phân tích phần tử hữu hạn): Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô hình hóa vấn đề. Tính toán đáp ứng của cấu trúc dưới các tải trọng và điều kiện biên đã cho.

+ Cấu trúc của một chi tiết máy được chia thành nhiều phần tử nhỏ. Mối quan hệ giữa vector dịch chuyển u trong mỗi phần tử được biểu diễn thông qua vector lực f và ma trận độ cứng K như sau:

$$u = f/K \tag{1}$$

+ Vector lực f là tổng hợp các lực bên ngoài tác động lên cấu trúc, như tải trọng, lực nén, lực kéo hoặc các loại tải trọng khác.

+ Ma trận độ cứng K được xác định cách thức mà cấu trúc phản ứng lại với các dịch chuyển, mỗi phần tử trong cấu trúc có ma trận độ cứng riêng, được tính dựa trên đặc tính vật liệu và hình dạng của phần tử. Ma trận độ cứng K là tổng hợp của toàn bộ cấu trúc được tạo thành từ việc kết hợp ma trận độ cứng của từng phần tử.

$$K = \int_{\Omega} B^T D B d\Omega \tag{2}$$

Công thức (2) trên thể hiện đóng góp của tất cả các điểm trong miền Ω vào ma trận độ cứng tổng thể, trong đó:

+ B là ma trận đạo hàm biến dạng (strain gradient matrix), là ma trận chứa các đạo hàm của hàm dạng hình (shape functions) liên quan đến biến dạng trong phần tử.

+ D là ma trận vật liệu (material matrix), thường chứa các thông số đàn hồi của vật liệu, như modul Young và tỷ số Poisson trong trường hợp vật liệu đàn hồi tuyến tính isotropic.

+ Ω biểu thị miền tích phân, tức là khu vực hay thể tích của phần tử đang xét.

+ $d\Omega$ là phần tử diện tích hoặc thể tích nhỏ, tùy thuộc vào không gian một chiều, hai chiều hay ba chiều mà tích phân được thực hiện.

+ Trong khuôn khổ của phân tích phần tử hữu hạn, ứng suất σ trong một cấu trúc được tính từ biến dạng cơ học thông qua quan hệ định luật Hooke cho vật liệu đàn hồi tuyến tính. Định luật Hooke nói rằng ứng suất tỉ lệ thuận với biến dạng (strain) và mối quan hệ này thường được biểu diễn dưới dạng ma trận trong không gian ba chiều. Công thức cơ bản để tính toán ứng suất dựa trên biến dạng là:

$$\sigma = D \cdot \epsilon \tag{3}$$

Trong đó:

- + σ là tensor ứng suất.
- + D là mô đun đàn hồi, bao gồm các hằng số đặc trưng của vật liệu như Modul Young và tỷ lệ Poisson cho vật liệu đàn hồi tuyến tính.
- + ϵ là tensor biến dạng, được tính từ gradient của dịch chuyển u .

+ Trong phân tích phần tử hữu hạn, ứng suất trong mỗi phần tử được tính dựa trên giá trị của biến dạng và mô đun đàn hồi cho từng loại vật liệu, biến dạng ϵ thường được tính từ vector dịch chuyển u theo (4) như sau:

$$\epsilon = 0,5[\nabla u + (\nabla u)^T] \tag{4}$$

- Sensitivity Analysis (phân tích độ nhạy): Đánh giá

ảnh hưởng của thay đổi nhỏ trong các biến thiết kế đối với hàm mục tiêu. Điều này giúp xác định những thay đổi nào trong thiết kế sẽ dẫn đến cải thiện lớn nhất trong mục tiêu tối ưu.

+ Hàm mục tiêu được ký hiệu là Φ và độ nhạy của hàm mục tiêu này đối với biến thiết kế ρ_i được biểu diễn dưới dạng đạo hàm riêng $\partial\Phi/\partial\rho_i$.

+ Độ nhạy là một chỉ số định lượng nhằm đánh giá thay đổi trong thiết kế sẽ làm tăng hay giảm giá trị của hàm mục tiêu, giúp người thiết kế hiểu được các khu vực mẫn cảm của thiết kế và làm thế nào để tối ưu chúng, phân tích độ nhạy thường được sử dụng để hướng dẫn các bước điều chỉnh thiết kế và là một phần của quy trình lặp đi lặp lại trong tối ưu hóa, nơi mà bạn liên tục cập nhật thiết kế để cải thiện mục tiêu thiết kế dựa trên thông tin độ nhạy thu được.

- Particle Swarm Optimization - PSO (tối ưu hóa bầy đàn hạt) - Deep Learning and Neural Networks (học sâu và mạng Neural): Thuật toán PSO dựa trên ý tưởng về việc mô phỏng hành vi xã hội của các động vật như cá, chim di chuyển trong không gian, nơi mỗi hạt biểu diễn một giải pháp và tìm kiếm vị trí tối ưu thông qua việc học hỏi từ kinh nghiệm cá nhân và từ những hạt khác trong đàn.

+ Áp dụng PSO để tìm ra một lời giải tối ưu cho bài toán tối ưu hóa đã định nghĩa.

+ Sử dụng học sâu và mạng Neural để dự đoán và cải tiến tối ưu hóa, đặc biệt là trong những bài toán phức tạp.

+ Vị trí và vận tốc của mỗi hạt trong thuật toán tối ưu hóa bầy đàn (Particle Swarm Optimization - PSO), một kỹ thuật tối ưu hóa phổ biến trong các hệ thống học sâu và mạng Neural. Vận tốc của hạt được thể hiện trong (5).

$$V_{new} = \omega V_{old} + c_1 r_1 (P_{best} - X_{old}) + c_2 r_2 (G_{best} - X_{old}) \quad (5)$$

+ Vị trí mới của hạt được cập nhật dựa trên vận tốc mới được thể hiện trong (6).

$$X_{new} = X_{old} + V_{new} \quad (6)$$

Trong đó:

V_{new} và V_{old} lần lượt là vận tốc mới và cũ của hạt;

X_{new} và X_{old} lần lượt là vị trí mới và cũ của hạt;

P_{best} là vị trí tốt nhất mà hạt đã trải qua (best position of the particle);

G_{best} là vị trí tốt nhất mà toàn bộ đàn hạt đã tìm được (best global position);

r_1 và r_2 là các số ngẫu nhiên được sử dụng để đưa thêm sự ngẫu nhiên vào quá trình tìm kiếm;

c_1 và c_2 là các hệ số học, thường được gọi là hệ số tăng cường cá nhân và hệ số tăng cường xã hội, được sử dụng để điều chỉnh độ mạnh của ảnh hưởng từ vị

trí tốt nhất cá nhân và vị trí tốt nhất toàn cục đến vận tốc cập nhật;

ω là hệ số quán tính, giúp cân bằng giữa khả năng khám phá (global search) và khả năng tận dụng (local search).

- Update Design Variables (cập nhật các biến thiết kế): Dựa trên kết quả từ PSO và mạng neural, cập nhật các biến thiết kế, điều chỉnh mô hình dựa trên độ nhạy và dự đoán của mạng neural. Sử dụng phương trình cập nhật trong tối ưu hóa hình dạng với SIMP và được thể hiện trong công thức (7).

$$\rho_{new} = \text{SIMP}(\rho_{old}, \frac{\partial\Phi}{\partial\rho}) \quad (7)$$

- Result Converged (kiểm tra sự hội tụ của kết quả): Kiểm tra xem liệu quá trình tối ưu hóa có đạt đến điểm hội tụ không, nếu không đạt đến điểm hội tụ thì quay trở lại bước PSO và tiếp tục quá trình, quá trình kiểm tra sự hội tụ dựa vào điều kiện dừng được biểu diễn trên công thức (8) như sau:

$$\|u_{new} - u_{old}\| < \text{tolerance} \quad (8)$$

Trong đó:

+ u_{new} là vector chuyển dịch mới sau một bước lặp;

+ u_{old} là vector chuyển dịch cũ từ bước lặp trước đó;

+ $\|\cdot\|$ biểu thị chuẩn (norm) của vector, là chuẩn Euclidean, được tính toán như khoảng cách giữa hai vector trong không gian vector;

+ Tolerance là một giá trị nhỏ xác định trước, chỉ ra ngưỡng mà tại đó sự thay đổi giữa hai lần lặp liên tiếp được coi là đủ nhỏ để coi bài toán đã hội tụ.

Nhận xét:

Khi hiệu giữa vector chuyển dịch mới và cũ nhỏ hơn dung sai cho trước, giải pháp được coi là hội tụ, quá trình tính toán dừng lại. Điều này xác nhận hệ thống đã ổn định, giúp đảm bảo cấu trúc không còn thay đổi đáng kể dưới tác động lực.

- Result (xuất kết quả): Nếu kết quả đã hội tụ, trình bày kết quả cuối cùng của thiết kế. Phân tích và đánh giá thiết kế tối ưu dựa trên mục tiêu và ràng buộc đã đặt ra.

Nhận xét:

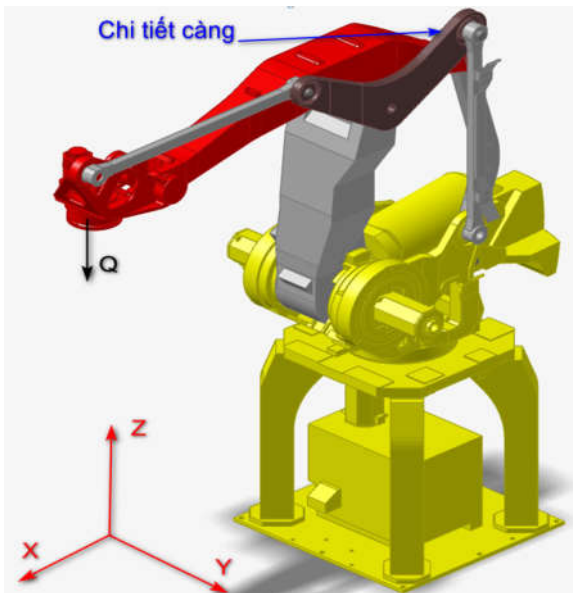
Nội dung trên trình bày cơ sở toán học để áp dụng cho mỗi phần chứa chi tiết cụ thể về các bước, phương pháp được áp dụng và giải thích làm thế nào các công nghệ như PSO, học sâu và mạng neural có thể tăng cường khả năng của Generative Design, từ đó mở rộng khả năng của nó trong việc giải quyết các bài toán thiết kế phức tạp với sự trợ giúp của phần mềm chuyên dụng trên máy tính.

3. ỨNG DỤNG GENERATE DESIGN TRÊN PHẦN MỀM AUTODESK FUSION TỐI ƯU HÓA CẤU TRÚC CHI TIẾT MÁY

Robot trong sản xuất hiện nay đóng vai trò quan trọng, đặc biệt khi kết hợp với trí tuệ nhân tạo (AI) và các phương pháp tiết kiệm năng lượng. Dưới đây là các ý nghĩa chính của robot trong sản xuất hiện đại: Tăng hiệu suất và năng suất, giảm thiểu tiêu hao năng lượng, cải thiện chất lượng sản phẩm, tối ưu hóa quy trình sản xuất với AI, tăng tính linh hoạt và khả năng tùy chỉnh, giảm chi phí lao động và nâng cao an toàn. Nhìn chung, sự phát triển của AI đã giúp nâng tầm ứng dụng của robot trong sản xuất, không chỉ nâng cao hiệu quả và chất lượng mà còn giúp doanh nghiệp hướng tới mô hình sản xuất bền vững và tiết kiệm năng lượng hơn. Để đạt được các mục tiêu trên, cần giảm thiểu khối lượng của robot mà vẫn đảm bảo điều kiện bền, hệ số an toàn trong quá trình làm việc, do đó cần tối ưu kết cấu của chi tiết. Phạm vi nghiên cứu của bài báo này trình bày về việc tối ưu hóa kết cấu của một chi tiết trên robot bốc xếp được phát triển từ robot 5 bậc tự do của hãng Fanuc.

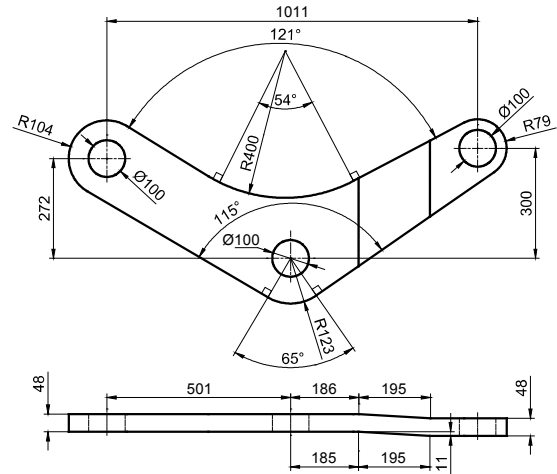
3.2.1. Mô hình robot bốc xếp

Điều kiện thiết kế có 5 bậc tự do với điều kiện nâng tải trọng $Q = 40.000 \text{ N}$, độ xa làm việc 1.950 mm , độ cao làm việc 2.650 mm . Thiết kế robot theo [4] và [5] được mô hình 3D của robot bốc xếp trình bày trên Hình 4.



Hình 4. Mô hình 3D robot bốc xếp

Trong nội dung bài báo này lựa chọn chi tiết tay đòn để tiến hành tối ưu hóa cấu trúc theo phương pháp thiết kế sinh học, trên Hình 4 đã thể hiện được trên Hình 4, kết cấu và kích thước của chi tiết càng trong thiết kế sơ bộ được trình bày trên Hình 5.



Hình 5. Chi tiết càng trong thiết kế sơ bộ

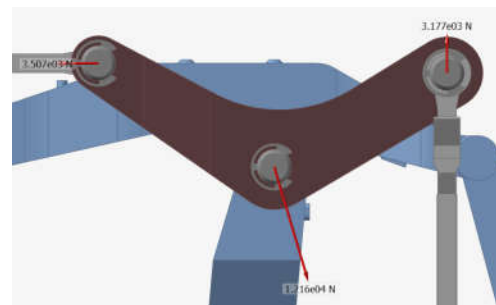
3.2.2. Phân tích phần tử hữu hạn cho chi tiết tay đòn trong thiết kế sơ bộ

Xác định khối lượng của chi tiết: Chi tiết tay đòn được chế tạo từ vật liệu hợp kim nhôm 6082 có giới hạn bền $[\sigma] = 276 \text{ MPa}$, tách riêng từ mô hình 3D robot bốc xếp (Hình 4), sử dụng phần mềm Autodesk Fusion xác định được khối lượng của chi tiết tay đòn là $m_1 = 31.822 \text{ kg}$.



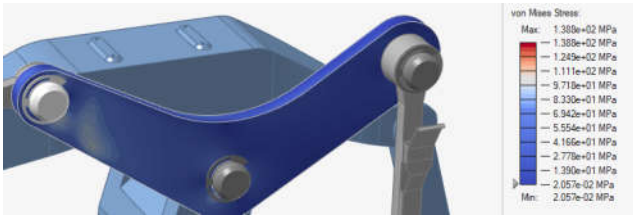
Hình 6. Xác định khối lượng của chi tiết tay đòn trong thiết kế sơ bộ

Phân tích áp lực khớp động tác dụng lên chi tiết: Bằng phương pháp phần tử hữu hạn áp dụng cho động lực học cơ cấu máy xác định được độ lớn và phương, chiều của áp lực khớp động tác dụng lên chi tiết ở các vị trí lắp ghép được trình bày trên Hình 7.



Hình 7. Kết quả phân tích phân lực liên kết

Phân tích ứng suất: Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn kiểm tra độ bền của chi tiết, kết quả phân tích được trình bày trên Hình 8.

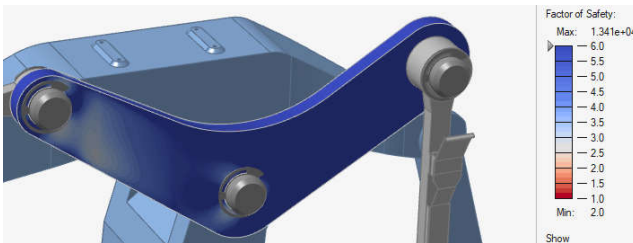


Hình 8. Phân bố ứng suất trên chi tiết trong thiết kế sơ bộ

Nhận xét:

Ứng suất lớn nhất $\sigma_{\max}^1 = 138,8$ Mpa nhỏ hơn $[\sigma] = 276$ Mpa, kết cấu thừa bền, do đó cần tiến hành tối ưu hóa kết cấu để giảm khối lượng và chi phí vật liệu cho chi tiết.

Phân tích hệ số an toàn: Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn kiểm hệ số an toàn của chi tiết, kết quả phân tích được trình bày trên Hình 9.



Hình 9. Kết quả phân tích hệ số an toàn

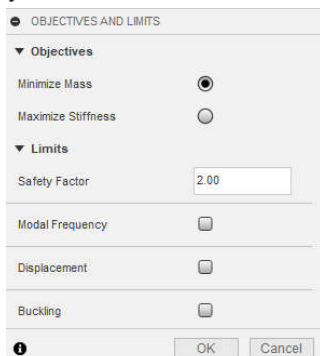
Nhận xét:

Hệ số an toàn (K) của chi tiết được xác định là giá trị nhỏ nhất tại một vị trí nào đó trên chi tiết, kết quả phân tích cho $K = 2,0$.

3.2.3. Tối ưu hóa kết cấu chi tiết tay đòn

Sử dụng mô hình 3D trong thiết kế sơ bộ chi tiết tay đòn làm thông số hình học đầu vào trong Generative Design. Theo [8] các bước tiến hành Generative Design như sau:

- Import mô hình chi tiết vào phần mềm Autodesk Fusion.
- Đặt áp lực khớp động tác dụng lên chi tiết.
- Nhập hệ số an toàn bằng giá trị đã phân tích trong thiết kế sơ bộ ($K = 2$), cửa sổ Objectives and limits được trình bày trên Hình 10.



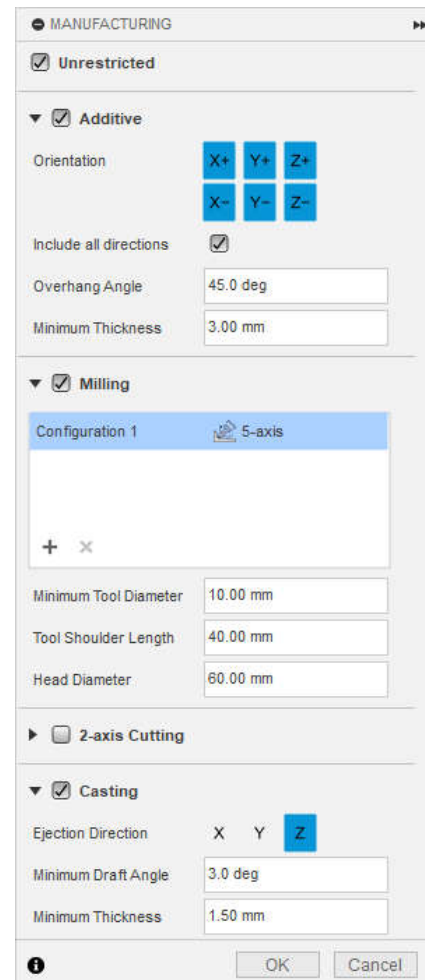
Hình 10. Cửa sổ Objectives and limits

- Đặt chỉ tiêu tối ưu về phân bố vật liệu để độ cứng của chi tiết đạt được là lớn nhất tỉ lệ thể tích của chi tiết sau khi tối ưu bằng 30% thể tích ban đầu, tương ứng với khối lượng chi tiết sau khi tối ưu giảm đi 70% (Hình 11).



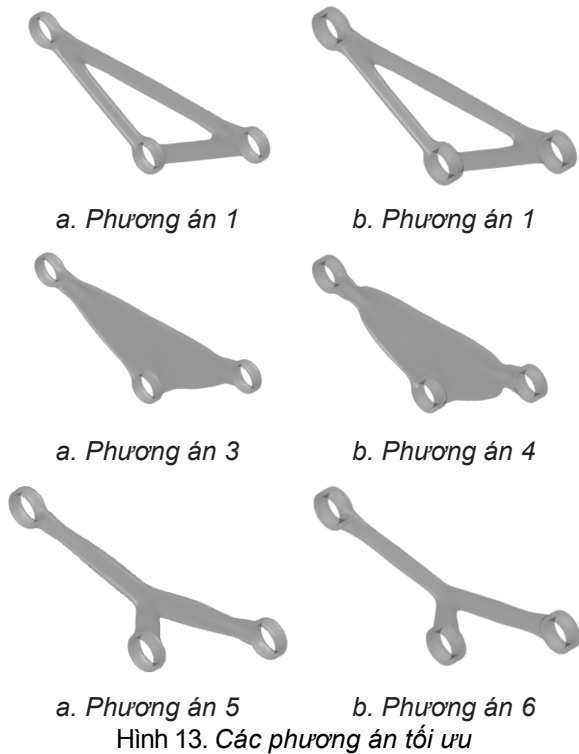
Hình 11. Cửa sổ Run Part Optimization

- Chỉ định phương pháp gia công là tạo phôi định hình bằng phương pháp dập sau đó sử dụng máy phay CNC 5 trục gia công tinh để đúng hình dáng thiết kế, các lựa chọn trên được trình bày trong Hình 12, trong cửa sổ Objectives and limits.



Hình 12. Cửa sổ Objectives and limits

Chạy chương trình phân tích kết hợp AI và thuật toán xử lý đám mây đã tạo được 6 mô hình chi tiết tối ưu được trình bày trên Hình 13. Trong đó phương án 1 được lựa chọn



Hình 13. Các phương án tối ưu

Theo [9] chọn phương án 1 là phương án có chỉ tiêu tổng hợp tốt nhất về: Giảm khối lượng, giữ độ cứng và thuận lợi gia công. Khối lượng của chi tiết sau khi tối ưu hóa cấu trúc chi tiết máy theo phương pháp thiết kế sinh học là $m_2 = 11.113 \text{ kg}$ được xác định trên Hình 14.

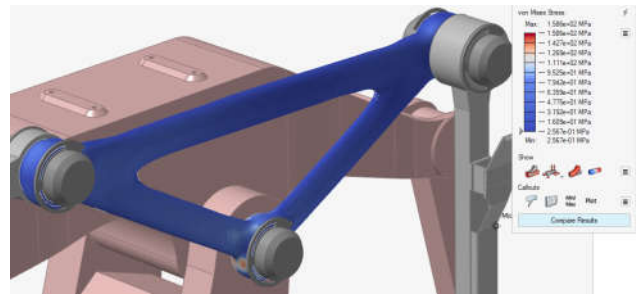


Hình 14. Mô hình 3D của chi tiết tay đòn sau khi Generative Design

Nhận xét:

Sau khi phân tích Generative Design khối lượng của chi tiết giảm $m_1/m_2 = 2,85$ lần.

- Kiểm nghiệm ứng suất và hệ số an toàn: Tiến hành thay thế chi tiết tay đòn ban đầu bằng chi tiết đã được tối ưu (Hình 13a). Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn phân tích ứng suất và hệ số an toàn với các điều kiện biên tương tự như khi phân tích cho phương án thiết kế ban đầu. Hình 15 là kết quả phân tích ứng suất của chi tiết tay đòn sau khi tối ưu hóa cấu trúc theo phương pháp thiết kế sinh học được giá trị $\sigma_{\max}^2 = 158,6 \text{ Mpa}$.



Hình 15. Phân bố ứng suất trên chi tiết sau khi tối ưu

Nhận xét:

Sau khi áp dụng Generative Design trong thiết kế, khối lượng của chi tiết tay đòn giảm từ 31.822 kg xuống 11.113 kg so với thiết kế ban đầu ứng suất tăng lên từ 138,8 MPa lên tới 158,6 Mpa nhưng vẫn đảm bảo nhỏ hơn giới hạn bền cho phép là 276 Mpa.

4. KẾT LUẬN

- Nội dung bài báo đã nghiên cứu về cơ sở toán học của phương pháp tối ưu hóa cấu trúc chi tiết máy theo phương pháp thiết kế sinh học (Generative Design) nhằm phát triển sản phẩm thông qua việc làm giảm khối lượng chi tiết máy mà vẫn đảm bảo điều kiện làm việc.

- Ứng dụng Generative Design để giảm khối lượng của chi tiết tay đòn trên robot bốc xếp 2,86 lần tuy nhiên chi tiết tay đòn vẫn đảm bảo độ bền để đạt được hiệu suất làm việc, góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế kỹ thuật.

- Nội dung bài báo là tài liệu tham khảo cho việc tối ưu hóa cấu trúc chi tiết máy trong lĩnh vực thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sivam Krish (2011), *A practical Generative Design method, Computer-Aided Design*, Volume 43, Issue 1, January, Pages 88-100.
- [2]. Niels Aage, Morten N, Jørgensen, Casper S. Andreasen, Ole Sigmund (2013), *Interactive topology optimization on hand-held devices*, Educational Article Published, Technical University of Denmark: 19 July 2012 Volume 47, pages 1-6.
- [3]. Prashil Raj Shrestha, Dipak Timalisina, Sabal Bista, Bim Prasad Shrestha, Tejesh Man Shakya (2021), *Generative Design approach for product development*, Conference Paper in AIP Conference Proceedings. September DOI: 10.1063/5.0065031.
- [4]. Francesco Buonamici¹, Monica Carfagni¹, Rocco Furferi¹, Yary Volpe¹ and Lapo Governi¹ (2021), *Generative Design: An Explorative Study, Article in Computer-Aided Design and Applications*. May 2020. DOI: 10.14733/cadaps.144-155.

- [5]. Bendsoe, M. P. (1989), *Optimal shape design as a material distribution problem*, *Structural Optimization*, 1(4), 193-202.
- [6]. John J. Craig (2017), *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*, Pearson Education.
- [7]. Jagannathan Kanniah (2018), *Practical Robot Design: Game-changing Guide for Engineers*, Apress
- [8]. <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GD-GENERATE>

AUTHORS INFORMATION

Mac Van Giang*, Ta Hong Phong,
Mac Thi Nguyen, Trinh Van Cuong

**Corresponding Author: macvgiang@gmail.com*

Sao Do Univesity.