

THÔNG TIN VỀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Tên luận án: Phát Triển và Tối Ưu Hóa Cơ Cấu Cân Bằng Trọng Lực Sử Dụng Cơ Cấu Mềm

Chuyên ngành: Kỹ Thuật Cơ Khí Mã số: 9520103

Họ tên nghiên cứu sinh: Châu Ngọc Lê Khóa: 2016 - 2019

Người hướng dẫn khoa học: TS. Đào Thanh Phong

PGS.TS Lê Hiếu Giang

Cơ sở đào tạo: Khoa Cơ Khí Chế Tạo Máy – Trường ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. HCM.

1. Tóm tắt nội dung của luận án.

Hiện nay, số người bị đột quỵ ngày một tăng và tuổi của người đột quỵ ngày một trẻ. Đột quỵ dẫn đến các biến chứng làm ảnh hưởng hoạt động hàng ngày. Điều này tạo ra gánh nặng cho gia đình và xã hội. Để cải thiện khả năng hoạt động của người bị đột quỵ, các thiết bị hỗ trợ vận động và tập luyện phục hồi chức năng đã được phát triển. Trên các thiết bị này, cơ cấu cân bằng trọng lực thường được sử dụng.

Cơ cấu cân bằng trọng lực là cơ cấu dùng để loại bỏ ảnh hưởng của trọng lực do khối lượng tạo ra. Khi một vật được di chuyển bằng thiết bị có sử dụng cơ cấu cân bằng trọng lực, thì nó được xem như di chuyển trong môi trường lý tưởng. Lúc này, năng lượng cần thiết để di chuyển vật gần như bằng không. Nhờ đặc tính nổi trội này, cơ cấu cân bằng trọng lực đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như: khoa học, công nghệ, đời sống. Tuy nhiên, khi sử dụng trong các thiết bị hỗ trợ vận động cho người khuyết tật, cơ cấu cân bằng trọng lực cần phải có kết cấu nhỏ gọn, nhẹ và phải điều chỉnh được tải trọng dễ dàng. Trong khi đó, cơ cấu cân bằng trọng lực vừa nhỏ gọn, nhẹ và có thể điều chỉnh tải trọng dễ dàng hiện nay chưa được nghiên cứu nhiều. Vì vậy, luận án này trình bày một thiết kế cơ cấu cân bằng trọng lực sử dụng cơ cấu mềm để đạt được tính nhỏ gọn, nhẹ và dễ điều chỉnh khi tải trọng thay đổi.

Dựa trên các phân tích về cơ cấu cân bằng trọng lực, nghiên cứu này đề xuất nguyên lý cân bằng với tổng mô men tác dụng bằng không. Thiết kế nguyên lý của cơ

cấu cân bằng được thực hiện bằng sự kết hợp giữa lò xo phẳng và khớp xoay mềm. Nguyên lý và phương pháp điều chỉnh độ cứng của lò xo phẳng cũng được đề xuất trong nghiên cứu này. Bên cạnh đó, giá trị độ cứng của lò xo phẳng và khớp xoay mềm cũng được tính toán tương ứng với mỗi khối lượng mà cơ cấu cần di chuyển. Việc tính toán này được thực hiện bằng phương pháp cân bằng tĩnh.

Dựa trên kết quả tính toán cho cơ cấu cân bằng trọng lực được đề xuất. Luận án này phát triển hai mô hình cho khớp xoay mềm. Mô hình khớp xoay thứ nhất được phát triển bằng cách kết hợp các lò xo xoắn phẳng. Sau đó, thông số thiết kế được tối ưu bằng sự kết hợp giữa phương pháp phần tử hữu hạn, đáp ứng bề mặt và thuật toán tối ưu bầy đàn. Kết quả của khớp xoay thứ nhất xác định được kích thước chiều dày $t= 0,94$ mm và không gian $R= 40$ mm. Kết quả dự đoán được so sánh với kết quả mô phỏng với sai số 6,1 % cho khối lượng, 1,68 % cho biến dạng và 5,6% cho ứng suất. Mô hình khớp xoay thứ hai được phát triển bằng cách kết hợp phương pháp tối ưu hóa cấu trúc Topo, phần tử hữu hạn, mạng trí tuệ nhân tạo mờ và giải thuật chu kỳ nước – con thiêu thân. Kết quả tối ưu đã tạo ra một khớp xoay thứ hai với các thông số hình học bao gồm $r_1= 0,5$ mm, $t_1= 0,36$ mm, $t_2= 0,41$ mm, $l_1= 11,3$ mm, $l_2= 14,74$ mm. So sánh với mô phỏng, sai số là 4,59% cho mô men, 4,16 % cho ứng suất và 4,73% cho năng lượng.

Dựa trên kết quả thiết kế nguyên lý của cơ cấu cân bằng trọng lực, hai quy trình thiết kế, phân tích và tối ưu hóa cho lò xo phẳng cũng được đề xuất. Trong việc thiết kế tính toán cho lò xo phẳng thứ nhất, quy trình được tạo ra là phương pháp lai mô phỏng phần tử hữu hạn, đáp ứng bề mặt và thuật toán tối ưu di truyền đa mục tiêu. Dựa trên quy trình đề xuất, kết cấu của lò xo phẳng thứ nhất đã được thiết kế và tối ưu hóa. Kết quả đã tìm ra thông số hình học có chiều dài 40,725 mm, chiều dày 0,940 mm và chiều rộng 9,602 mm. So sánh giữa kết quả dự đoán và mô phỏng tìm thấy sai số nhỏ hơn 0,001% cho khối lượng, 5,78% cho ứng suất và 1,65% cho biến dạng. Trong việc thiết kế tính toán cho lò xo phẳng thứ hai, quy trình được tạo ra là kết hợp giữa phương pháp phân tích phần tử hữu hạn, mạng nơ ron học sâu và thuật toán chu kỳ nước. Dựa trên quy trình đề xuất, kết cấu của lò xo phẳng thứ hai được thiết kế và tối ưu. Kết quả đã tìm được kích thước của lò xo phẳng thứ hai gồm $t= 1,029$ mm, $L= 45$ mm, $w= 9$ mm và $r= 0,3$ mm. Kết quả sai số giữa dự đoán với kết quả mô phỏng là 1,87% cho năng lượng, 1,69% cho biến dạng và 3,06% cho ứng suất.

Từ kết quả thiết kế tối ưu, cơ cấu cân bằng trọng lực được chế tạo và thiết lập thực nghiệm. Kết quả thực nghiệm chứng minh cơ cấu cân bằng đề xuất đạt được cân bằng khi tải thay đổi trong phạm vi 250 gr đến 1000 gr. Quá trình điều chỉnh khi tải trọng thay đổi không cần năng lượng.

2. Những đóng góp của đề tài

Đóng góp mới của luận án gồm các điểm sau:

Về khoa học bao gồm:

- Phát triển cơ cấu cân bằng trọng lực có khả năng điều chỉnh tải trọng trong phạm vi từ 250 gr đến 1000 gr, phạm vi cân bằng từ 0 đến 30 độ, sử dụng kết hợp lò xo phẳng có thể điều chỉnh độ cứng bằng phương pháp không sử dụng năng lượng và khớp xoay mềm.
- Đề xuất cách tiếp cận mới áp dụng cho phân tích, thiết kế và tối ưu cho lò xo phẳng và khớp xoay mềm.
- Chế tạo thành công mô hình cơ cấu cân bằng trọng lực có khả năng điều chỉnh tải trọng từ 250 gr đến 1000 gr, phạm vi cân bằng từ 0 đến 30 độ.

Về thực tiễn bao gồm:

- Cơ cấu phát triển có tiềm năng ứng dụng thực tiễn cao và cung cấp giải pháp hữu ích thực tiễn cho hỗ trợ chức năng vận động cho người và robot.
- Kết quả của luận án là tài liệu tham khảo cho các nghiên cứu sau.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 26 tháng 5 năm 2023

Nghiên cứu sinh

(Ký và ghi rõ họ tên)

Châu Ngọc Lê

INFORMATION ABOUT RESEARCH RESULTS

Dissertation title: Developing and Optimizing the Gravity Balancer Using Compliant Mechanisms

Major: Mechanical Engineering Major code: 9520103

PhD candidate: Chau Ngoc Le Fellows code: 1624003

Supervisor one: Dr. Dao Thanh Phong

Supervisor two: Associate Professor. Dr. Le Hieu Giang

Training facility: Faculty of Mechanical Engineering – Ho Chi Minh City University of Technology and Education.

1. Abstract.

Nowadays, large numerous amounts of people having a stroke are increasing while the age of stroked people is getting younger and younger. The stroke has strictly influenced on the life and movement of disabled people. This creates a burden on the family and society. To enhance the moving ability of stroked people, mobility and rehabilitation training devices have been developed. In these devices, gravity balancing mechanism (GBM) is always employed.

GBMs are utilized to eliminate the gravity influence which is caused by mass. By using a gravity balancer, when an object is moved, it is considered as a movement in an ideal environment. As a result, the required energy is almost equal to zero. Due to this outstanding feature, numerous GBMs have been applied in many fields of science, engineering, technology, and life. For disabled mobility aids, gravity balancers should have a compact size, a lightweight, and a simple load adjustment. Nevertheless, such these GBMs have not been researched and developed yet. Therefore, this thesis presents a design synthesis and analysis of a new GBM based on compliant mechanisms.

Based on the analysis of the previous studies on GBMs, the principle of balance is determined via total torques on the mechanism are equal to zero. The principal design

of the proposed GBM is developed by a combination of a planar spring and a compliant rotary joint. The principle and the adjusting procedure of the stiffness for the planar spring are presented under different balanced loads. In addition, the stiffnesses of the planar spring and the rotary joint are computed through a static equilibrium method.

In this thesis, two models for the compliant rotary joint are developed. The first model is developed using the torsional springs. The geometrical parameters of the 1st rotary joint are optimally determined through a combination of the finite element analysis method, response surface method, and swarm optimization algorithm. The results of the 1st rotary joint found the optimal factors at $t= 0.94$ mm and $R= 40$ mm. The predicted results are compared with the simulation results with an error of 6.1% for mass, 1.68% for strain, and 5.6% for stress. The 2nd rotary joint is developed based on a combination of the Topology method, finite element analysis method, adaptive network-based fuzzy inference system, and water cycle-moth flame optimization algorithm. The results of 2nd rotary joint identified the best factors at $r_1= 0.5$ mm, $t_1= 0.36$ mm, $t_2= 0.41$ mm, $l_1= 11,3$ mm, and $l_2= 14.74$ mm. The estimated values are also compared with the simulation with an error of 4.59% for moment, 4.16% for stress and 4.73% for energy.

Based on the calculating results of the proposed GBM, this thesis introduces two design synthesis processes for the planar spring. In the 1st model of the planar spring, the design process is built via a combination of finite analysis method, response surface method, and multi-objective genetic optimization algorithm. The results of the 1st planar spring determined the optimal parameters, including a length of 40.725 mm, a thickness of 0.940 mm, and a width of 9.602 mm. The error between the predicted and the simulation is less than 0.001% the mass, 5.78% for the stress, and 1.65% for the strain. In the 2nd model of planar spring, the design process is formulated by a hybridization of finite element analysis method, deep forward neural network, and water cycle algorithm. The results of the 2nd planar spring found the best factors at $t= 1.029$ mm, $L= 45$ mm, $w= 9$ mm, and $r= 0.3$ mm. The comparison between the prediction and the simulation shows that the energy error is about 1.87%, the strain is 1.69%, and the stress is 3.06%.

Finally, the GBM is fabricated and experimentally set up. Experimental results show that the proposed GBM achieves a good balance when the load is changed in the range from 250 grams to 1000 grams. The process of adjusting when the load changes does not use energy.

2. Theoretical and academic contribution of the dissertation

The main contributions of this thesis include as follows.

Scientific contributions:

- Developed a gravity balancer capable of adjusting the load from 250 gr to 1000 gr, the balance ranges from 0 to 30 degrees, using a planar spring that can be adjusted stiffness by nonenergy free method and rotary joint compliant.
- The propose a new approach to analysis, design, modeling, and optimization for planar spring and soft rotary joint compliant.
- A model of a gravity balance mechanism capable of adjusting the load from 250 gr to 1000 gr was fabricated successfully. The balance ranges from 0 to 30 degrees.

Practical contributions:

- The development structure has high practical application potential and provides useful solutions for supporting motor function for humans and robots.
- The thesis is a reference for the following studies.

HCMC, 6/5/2023

PhD candidate

(Sign and name)

Chau Ngoc Le