

THIẾT KẾ VÀ PHÁT TRIỂN BÀN TAY ROBOT ĐÁNH ĐÀN PIANO

DESIGN AND DEVELOPMENT OF BOTH HANDS ROBOT PLAYING PIANO

Trịnh Đức Cường, Nguyễn Trường Thịnh

Viện Công nghệ Thông minh và Tương tác, Trường Đại học Kinh tế
Thành phố Hồ Chí Minh – UEH

TÓM TẮT

Bài báo này mô tả quá trình thiết kế và phát triển robot đánh đàn piano. Robot được thiết kế trên nền tảng của cơ cấu 4 khâu bản lề để tạo nên các ngón tay có thể hoạt động trên phím đàn. Hệ thống robot gồm có 2 bàn tay có thể trượt theo chiều dài của đàn và có thể thực hiện phối hợp hai bàn tay và các ngón tay trên phím đàn nhằm tạo ra những bản nhạc theo yêu cầu. Quá trình thiết kế, lập trình, phân tích và mô phỏng khả năng đánh đàn trên phím đàn thật dựa theo một file midi đã được mô phỏng mang lại khả năng linh động hơn cho robot đánh đàn piano, robot đánh piano sẽ có khả năng thực hiện nhiều bài nhạc nhất có thể mà chỉ cần một người làm mẫu trên phím đàn một vài lần. Kết quả thực nghiệm cho thấy, robot có thể thực hiện biểu diễn các bản nhạc trên đàn piano một cách linh hoạt và chính xác cao.

Từ khóa: Robot đánh piano; Cơ cấu 4 khâu bản lề; Robot âm nhạc; Cánh tay robot.

ABSTRACT

This paper describes the design and development of a piano-playing robot. The robot is designed on the basis of a 4-link mechanism to create fingers, which can operate on the keyboard. The robotic system includes two hands sliding along the length of the piano and cooperating with these two hands and the fingers on the keyboard to create music as required. The designing, programming, analyzing, and simulating of the ability to play on the keyboard of a real piano based on a MIDI file brings more flexibility to the piano-playing robot. The piano-playing robot can play many songs based on the learning from the player playing on the keyboard several times. The experimental results show that the robot can perform music on the piano flexibly and with high accuracy.

Keywords: Piano-playing robot; 4-link mechanism; Musical robot; Manipulator.



1. TỔNG QUAN

Hiện nay, cùng với tốc độ tăng trưởng nhanh của nhu cầu về phát triển robot trong môi trường công nghiệp và dịch vụ thì trong lĩnh vực nghệ thuật cũng đang được nghiên cứu và triển khai ứng dụng robot [1]. Ngoài lĩnh vực công nghiệp và dịch vụ thì robot trong nghệ thuật chưa có nhiều kết quả bởi lẽ vì đây là một môi trường đặc thù mang tính cảm xúc thì robot khó có khả năng mang lại được những hiệu ứng trên sân khấu như một người nghệ sĩ thực thụ [2]. Để đáp ứng nhu cầu về vấn đề trên thì việc ứng dụng robot vừa có khả năng sử dụng nhạc cụ theo cảm xúc thì đó là định hướng nghiên cứu nhằm triển khai các ứng dụng của robot trong cuộc sống [3]. Do đó, bài báo này sẽ tập trung đề cập đến nghiên cứu và phát triển một robot chơi đàn piano với những đặc tính robot như sau: Robot khi đánh piano thì có thể biểu cảm bằng khuôn mặt trong quá trình biểu diễn để từ đó tăng khả năng tương tác đến khán giả; Robot có thể thực hiện biểu diễn nhiều bài nhạc đa dạng [4]. Robot dễ lắp ghép và có tính linh hoạt cao, có thể dễ dàng di chuyển và sử dụng tại nhiều môi trường khác nhau; Robot có thể thực hiện nhiều thao tác đánh phím đàn khác nhau với độ chính xác và tốc độ cao; Robot mang tính độc đáo nên có thể sử dụng nhiều trong thương mại, lẫn kinh doanh cho một số doanh nghiệp đặc thù. Bên cạnh đó, robot vẫn tồn tại một số nhược điểm như: Cần đến không gian hoạt động rộng lớn để có thể bố trí vị trí tay, ảnh hưởng bởi tiếng ồn trong quá trình di chuyển các ngón tay trên bộ truyền... Những khuyết điểm cũng đã được giảm thiểu bởi lẽ robot chơi piano có thể sử dụng thêm loa để tăng âm lượng và sắp xếp một vị trí rộng lớn để bố trí robot hoạt động thoải mái. Nghiên cứu này nhằm nghiên cứu và phát triển robot chơi đàn piano làm cho robot kết nối đến với môi trường nghệ thuật theo cách gần gũi và mang nhiều cảm xúc [5].

Sự hình thành sơ khai của robot chơi đàn bắt đầu từ những năm 1800 đầu tiên trên thế giới được gọi là “The Musician” và được phát triển bởi nhà phát minh Pierre Jaquet-Droz [6]. The Musician là một loại robot tự động có thể chơi piano bằng cách sử dụng các bộ phận cơ học và cơ chế đặc biệt. Đây là một sáng kiến công nghệ đột phá tại thời điểm đó và đã gây sự chú ý lớn trong giới âm nhạc. Cùng lúc đó The Maillardet's Automaton được tạo ra bởi Henri Maillardet là một robot tự động có khả năng chơi nhạc trên đàn piano [7]. Automaton này có thể nhấn các phím piano một cách tự động để tạo ra âm thanh. Nó hiện đang được trưng bày tại một số bảo tàng nổi tiếng như Bảo tàng Franklin ở Philadelphia và Bảo tàng Quốc gia của Scotland. Nghiên cứu liên quan đến robot chơi đàn piano cho thấy sự phát triển và sự quan tâm đáng kể từ các nước trong việc khai thác tiềm năng của công nghệ robot trong lĩnh vực âm nhạc. Các nghiên cứu và dự án trong lĩnh vực này đang tạo ra những tiến bộ đáng kể và đưa robot chơi đàn piano ngày càng gần hơn với khả năng chơi nhạc chuyên nghiệp và tương tác với con người. Hoa Kỳ là một trong những quốc gia tiên phong trong nghiên cứu và phát triển robot chơi đàn piano. Arpeggio là sản phẩm trí tuệ của Nick Morris, chủ sở hữu của Majestic Piano Works ở California. Được trang bị một số công nghệ tiên tiến nhất hiện có và có hệ thống tái tạo Live Performance LX của Wayne Stahnke. Hợp âm rải có thể tái tạo màn trình diễn piano của con người với tất cả độ động và sắc thái của nghệ sĩ piano đẳng cấp thế giới. Có nhiều trường đại học và tổ chức nghiên cứu như Đại học UC Riverside, Georgia Tech và các công ty công nghệ đang thúc đẩy sự phát triển của robot chơi đàn piano ở nước này. Robot sử dụng bộ nhớ RAM hoạt động bằng khí để chơi đàn piano, robot mềm vẫn dựa phụ thuộc vào điện tử cứng để hoạt động, nhưng một phát minh mới có thể giảm bớt sự cần thiết

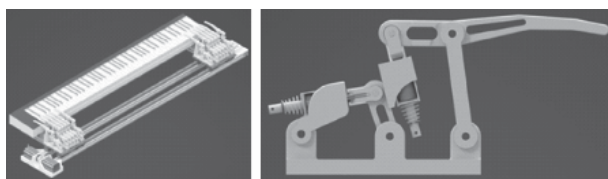
của việc sử dụng chip không linh hoạt. Các nhà nghiên cứu tại Đại học UC Riverside đã phát triển bộ nhớ máy tính khí nén được sử dụng để giúp một robot mềm chơi đàn piano. Thay vì sử dụng các bộ khuếch đại và mạch điện thông thường, bộ nhớ "hoạt động bằng khí" dựa trên van microfluidic để điều khiển luồng không khí. Nhật Bản cũng là một quốc gia tiên phong trong lĩnh vực robot và âm nhạc. Có nhiều dự án và nghiên cứu tại các trường đại học như Đại học Tokyo và các công ty công nghệ Nhật Bản như Yamaha đang phát triển robot chơi đàn piano có khả năng tương tác và chơi nhạc chuyên nghiệp. "RIBA-II: Robot for Interactive Body Assistance" của Đại học Tokyo (Nhật Bản): RIBA-II là một robot đa nhiệm được thiết kế để hỗ trợ con người trong các hoạt động hàng ngày, bao gồm chơi piano [8]. Robot này có khả năng chạm vào các phím piano và tạo ra âm thanh. Châu Âu cũng đang có sự phát triển đáng chú ý trong ngành robot chơi đàn piano. Các nước như Anh, Ý và Đức có nhiều dự án nghiên cứu và phát triển robot đánh đàn piano thông qua sự kết hợp của các trường đại học, viện nghiên cứu và các công ty công nghệ. "RoboPiano" của Đại học Hertfordshire (Anh): RoboPiano là một robot đàn piano tự động có thể chơi các bản nhạc phức tạp. Robot này sử dụng các cảm biến và thuật toán để nhận biết các nốt nhạc và điều chỉnh các động tác chơi piano.

2. THIẾT KẾ BÀN TAY ROBOT CHƠI PIANO

Cơ sở để thiết kế robot chơi đàn piano cần phải đảm bảo thỏa mãn các yêu cầu đề ra, đó là: Độ chính xác; Linh hoạt; Tính ổn định; Tính tương tác và khả năng học. Do đó, cấu tạo của robot chơi đàn piano phụ thuộc vào thiết kế cụ thể và công nghệ sử dụng [9]. Trong nghiên cứu này, robot chơi đàn piano thường có một

khung chắc chắn để giữ cơ cấu chuyển động và các thành phần khác. Cơ cấu chuyển động bao gồm bàn tay, ngón tay và các khớp để cho phép robot di chuyển và chạm vào các phím piano [10]. Cơ cấu chuyển động này có thể được điều khiển bằng các động cơ, bộ truyền động hoặc hệ thống khí nén. Robot được điều khiển bằng phần mềm và các thuật toán điều khiển để thực hiện các động tác chơi nhạc. Hệ thống điều khiển này có thể được lập trình để tạo ra các nốt nhạc, động tác và các yếu tố khác của một bản nhạc [11]. Nó có thể xử lý dữ liệu từ các cảm biến và điều chỉnh các động tác chơi piano tương ứng. Trong nghiên cứu này, một thiết kế bàn tay robot chơi đàn piano di chuyển và chơi đàn bằng Solenoid (như hình 1). Với thiết kế này đảm bảo việc đánh được hầu hết các phím đàn ở trên đàn piano tại nhiều thời điểm khác nhau, cũng như hạn chế được phần nào màn trình diễn của robot chơi đàn piano trở nên quá cứng trong suốt quá trình biểu diễn và dễ dàng sử dụng trên nhiều loại đàn khác nhau, có thể đánh được cả vị trí nốt đen và nốt trắng ở hầu hết các vị trí ở trên phím đàn. Nếu robot sử dụng thiết kế này sẽ đa dạng trong việc trình diễn nhiều bài nhạc khác nhau mà không bị hạn chế bởi vị trí cố định bàn tay chơi piano. Tuy nhiên, thiết kế này có một số nhược điểm như sau: Độ phức tạp trong quá trình lập trình để thực hiện di chuyển cao; sai số tích lũy dẫn đến sai số vị trí ở những yêu cầu sau; yêu cầu gia công phức tạp và mất nhiều thời gian để thiết kế, tính toán, chế tạo, thử nghiệm; Solenoid đem lại tiếng ồn lớn trong quá trình hoạt động. Dựa vào các kích thước tiêu chuẩn phím đàn của nhà sản xuất, ta có thể cho trước được một số kích thước để thiết kế ngón tay dựa vào cơ cấu 4 khâu bản lề. Vì cơ cấu 4 khâu bản lề khó tìm được kích thước phù hợp trên từng khâu, vậy nên dựa vào kích thước phím đàn tiêu chuẩn và ta chọn được một số kích thước nhất định.



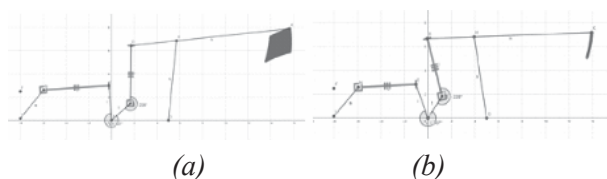


Hình 1. Mô hình hóa hai bàn tay (a) và ngón tay (b) của robot đánh đàn piano được thiết kế.



Hình 2. Kích thước tiêu chuẩn của phím đàn.

Từ các kích thước của phím đàn (Hình 2) và kích thước của cả đàn, chúng ta có thể thiết kế với nguyên lý 4 khâu bản lề. Cơ cấu thanh phẳng toàn khớp thấp là cơ cấu phẳng, trong đó khớp động nối giữa các khâu là khớp thấp (khớp tịnh tiến loại 5 hay khớp bản lề) [2]. Từ đó có thể mô phỏng động học trên phần mềm Geogebra, tìm ra được không gian hoạt động và từ đó suy ra được quỹ đạo di chuyển của đầu công tác.



Hình 3. Không gian hoạt động của đầu ngón tay mô phỏng (a) cũng như hành trình đánh nốt trắng (b) trên phần mềm Geogebra.

Phần màu đen như trên hình 3(a) là không gian hoạt động của đầu công tác khi cả hai Solenoid cùng hoạt động ngẫu nhiên, khác thời điểm để tạo ra, sau đó ta sẽ mô phỏng lại đúng trình tự hoạt động của Solenoid để tìm ra hành trình của đầu công tác, theo phần màu đen thì mỗi hành trình đi của đầu công tác là khoảng 20mm, đây là điều kiện đủ để nhấn

được phím đàn. Đàn piano có thể có cấu trúc và thiết kế khác nhau, lực nhấn của phím đàn piano thường nằm trong khoảng 45-60gram tùy vào các loại đàn khác nhau, do đó lực cần thiết để nhấn một phím có thể có sự khác biệt. Dựa vào thông số bề rộng của mỗi phím đàn là 22 (mm), ta nên thiết kế bề rộng to nhất của ngón tay là 20 (mm) để đảm bảo khoảng cách an toàn tối thiểu giữa hai ngón liền kề 2 (mm) không chạm vào nhau, tránh gặp sự cố hoặc hư hỏng khi chúng hoạt động. Đồng thời, ta phải tính toán, bố trí tất cả các ngón trên bàn tay tối ưu nhất để chơi đầy đủ các hợp âm, tạo ra được nhiều bài nhạc hay hơn. Việc tính toán và thiết kế vị trí đặt ngón tay dựa trên hợp âm trưởng và hợp âm thứ trong hợp âm chơi đàn piano, làm sao cho các vị trí đặt ngón tay có hành trình di chuyển ít nhất và có thể thỏa mãn được tất cả các hợp âm trưởng và hợp âm thứ xuất hiện trong một bài chơi đàn piano.

3. KẾT QUẢ VÀ THỰC NGHIỆM

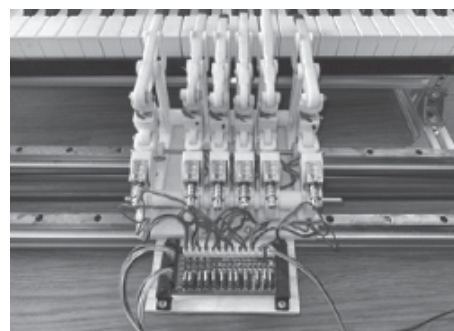
Mô hình đã được tạo thành sau quá trình thiết kế và thực nghiệm:



Hình 4. Hai bàn tay robot đánh đàn piano.

Quá trình thực nghiệm cho phép robot chơi đàn piano dựa trên thuật toán giải mã tập tin midi, thuật toán đã được áp dụng thành công dựa trên tập tin midi đơn giản đã cho trước để tìm ra được các nốt cần nhấn, thời gian nhấn và thời gian thả các nốt đó [12]. Đồng thời, thuật toán cũng tìm ra được giá trị của các phím đàn tiếp theo cần phải nhấn và sau đó đưa tất cả các dữ liệu trên vào thuật toán di chuyển cánh tay trên từng bàn tay chơi đàn piano. Các nốt cần nhấn, thời gian nhấn và thời gian thả được thực hiện sau quá trình lọc dữ liệu, từ đó thuật toán đã tìm ra được tay phải cần nhấn nốt cũng như thời gian giữ. Với kết quả này, thuật toán đã cung cấp chi tiết các thông tin cần có, cho phép robot đưa vào thuật toán tìm quãng đường di chuyển cho bàn tay robot để có thể đánh đúng nốt nhạc theo tập tin midi cung cấp. Các kết quả này có thể được áp dụng cho mọi bộ đầu vào tương tự và đảm bảo tính chính xác và hiệu suất trong việc điều khiển robot để chơi nhạc trên đàn piano một cách tự động. Sau khi chạy thử nghiệm thuật toán từ các tập tin midi đơn giản, ta có thể đánh giá được hiệu suất và tính đúng đắn, và kết quả cho thấy thuật toán của chúng ta hoạt động tốt trong việc phân tích và lọc ra các dữ liệu cần thiết từ tập tin midi đơn giản để cung cấp cho thuật toán tìm quãng đường di chuyển cho bàn tay robot. Tuy nhiên, việc áp dụng thuật toán trên các bộ dữ liệu lớn hoặc các tình huống phức tạp khác cần được tiếp tục nghiên cứu và đánh giá để xây dựng hoàn thiện tính ứng dụng và hiệu quả của thuật toán này. Trong phần kết quả được in ra sau khi chạy thuật toán, thuật toán của chúng ta đã được áp dụng thành công để tìm ra quãng đường di chuyển ngắn nhất và vị trí các ngón tay cần nhấn trên đàn piano dựa trên các nốt nhạc đã được đánh và các nốt nhạc tiếp theo cần đánh. Với kết quả này, thuật toán đã cho phép chúng ta tìm ra quãng đường di chuyển ngắn nhất và vị trí các ngón tay cần nhấn để

chơi đúng nốt nhạc trên đàn piano [13]. Các kết quả này có thể được áp dụng cho mọi bộ đầu vào tương tự và đảm bảo tính chính xác và hiệu suất trong việc điều khiển robot để chơi nhạc trên đàn piano một cách tự động. Sau khi chạy thử nghiệm thuật toán từ các tập tin midi đơn giản, ta có thể đánh giá được hiệu suất và tính đúng đắn, và kết quả cho thấy thuật toán của chúng ta hoạt động tốt trong việc tìm quãng đường di chuyển ngắn nhất và vị trí các ngón tay cần nhấn. Tuy nhiên, việc áp dụng thuật toán trên các bộ dữ liệu lớn hoặc các tình huống phức tạp khác cần được tiếp tục nghiên cứu và đánh giá để xây dựng hoàn thiện tính ứng dụng và hiệu quả của thuật toán. Sau khi cấp điện, đo và ghi lại các giá trị dòng điện và điện áp tại các điểm quan trọng trong mạch, bao gồm dòng điện base, điện áp base-emitter, dòng điện collector và điện áp collector-emitter, ta có thể đảm bảo rằng chất lượng in mạch thực sự tốt và mạch hoạt động bình thường, sau đó mới hàn các linh kiện điện tử và đưa vào sử dụng. Điện trở phụ nằm giữa chân Base (B) và chân tín hiệu của PCF8574 có vai trò giới hạn dòng điện vào Transistor TIP120. Với mạch thiết kế như trên, chúng ta có thể kích hoạt Solenoid 24V bằng cách cung cấp tín hiệu từ mạch PCF8574. Sau khi chạy thử nghiệm mạch để kích các Solenoid trên bàn tay, kết quả thu được cho thấy tín hiệu mạch điện nhanh, có tính ổn định cao, nhiệt độ hoạt động ổn định.



Hình 5. Mạch điện được lắp vào điều khiển các ngón tay trên mô hình thực tế.



Bảng 1 trình bày thống kê các thông số sau khi cho robot chạy thực nghiệm trên phím đàn thật. Đánh giá kết quả thực nghiệm, ta nhận thấy kết quả cho ra thông số tốt, tỉ lệ đánh trúng

các vị trí phím đàn cao, chiếm tỉ lệ $\geq 97\%$. Đối với các bài nhạc dễ dàng, chậm và thông dụng thì kết quả cho ra có phần tốt hơn khi tỉ lệ đánh trúng của phím đàn là $\approx 100\%$.

Bảng 1. Thống kê kết quả chơi đàn chạy thực nghiệm

Bài nhạc	Số liệu thu được	Số phím đàn đánh được	Số phím đàn đánh lỗi	Tỉ lệ hoàn thành
	Lần thử			
Let it go	1	136	3	97.84%
	2	137	2	98.56%
	3	137	2	98.56%
	4	138	1	99.28 %
	5	138	1	99.28%
See you again	1	126	4	96.92%
	2	126	4	96.92%
	3	127	3	97.69%
	4	127	3	97.69%
	5	128	2	98.46%
Happy birthday	1	69	1	98.57%
	2	70	0	100%
	3	70	0	100%
	4	70	0	100%
	5	70	0	100%

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã hoàn thành và chế tạo thành công hai bàn tay robot đánh đàn piano thông qua quá trình thiết kế, lập trình, phân tích và mô phỏng khả năng chơi đàn trên phím thật. Robot chơi đàn piano đạt được hiệu suất cao và chính xác, ngoài ra robot còn có khả năng biểu diễn cảm xúc và tương tác với khán giả. Hệ thống robot được thiết kế và phát triển cung cấp khả năng thông minh và linh hoạt cho phép nó chơi được nhiều bài nhạc khác nhau và thích nghi với yêu cầu của khán giả.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được sự hỗ trợ về tài chính của Trường Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh – UEH. Bài báo này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp trường có mã số CTD-2023-07 được tài trợ bởi Trường Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh.❖

Ngày nhận bài: **28/9/2023**

Ngày phản biện: **19/10/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Sugano, Shigeki, et al. "*Autonomic Limb Control of the Information Processing Robot – Movement control system of robot musician 'WABOT-2' –*". Journal of the Robotics Society of Japan 3.4 (1985): 339-353.
- [2]. Solis, Jorge, et al. "*Development of Waseda flutist robot WF-4RIV: Implementation of auditory feedback system*". 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2008.
- [3]. Weinberg, Gil, and Scott Driscoll. "*The interactive robotic percussionist: new developments in form, mechanics, perception and interaction design*". Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction. 2007.
- [4]. Lin, Jen-Chang, et al. "*Electronic piano playing robot*". 2010 International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation (3CA). Vol. 2. IEEE, 2010.
- [5]. Zhang, Dan, et al. "*Design and analysis of a piano playing robot*". 2009 International Conference on Information and Automation. IEEE, 2009.
- [6]. Teresa, Zielinska. "*History of service robots*". Robotics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. IGI Global, 2014. 1-14.
- [6]. Jen-Chang, Lin, et al. "*Design of piano-playing robotic hand*". IAES International Journal of Robotics and Automation 3.2 (2014): 118.
- [7]. Brooks, Rodney. "*Humanoid robots*". Communications of the ACM 45.3 (2002): 33-38.
- [8]. Ruiz-Vanoye, Jorge A., et al. "*Editorial for Volume 10 Number 3: Can Machines Play Musical Instruments?*". International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics 10.3 (2019): 1.
- [9]. Hughes, J. A. E., P. Maiolino, and Fumiya Iida. "*An anthropomorphic soft skeleton hand exploiting conditional models for piano playing*". Science Robotics 3.25 (2018): eaau3098.
- [10]. Li, Yen-Fang, and Chi-Yi Lai. "*Intelligent algorithm for music playing robot – Applied to the anthropomorphic piano robot control*". 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). IEEE, 2014.
- [11]. Aukkhosuwat, Wuttichon, and Wannarat Suntiamorntut. "*Experimental Piano – Playing Robot Hand*". 2021 25th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC). IEEE, 2021.
- [12]. Li, Yen-Fang, and Li-Lan Chuang. "*Controller design for music playing robot – Applied to the anthropomorphic piano robot*". 2013 IEEE 10th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS). IEEE, 2013.
- [13]. Gao, Guang, et al. "*An intelligent piano playing algorithm applied to the humanoid robot*". 2022 12th International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). IEEE, 2022.