

## MỘT GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN EXOSKELETON\*

ĐÀO VĂN HIỆP, TRẦN XUÂN THÀNH

*Khoa Hàng không vũ trụ, Học viện Kỹ thuật Quân sự, email: [hdaovan@gmail.com](mailto:hdaovan@gmail.com)*

**Abstract.** Exoskeleton a kind of Bio-Robot, is considered as a typical investigative object of Bio-Mechatronics. Robots of this kind have particularities in structure and control. This paper presents key structure and control solutions in design of an exoskeleton to augment load carrying and walking in Military Technical Academy.

**Tóm tắt.** Bộ xương ngoài (BXN), hay Exoskeleton (Exo) là một loại robot sinh học (Bio-robot), được coi là đối tượng nghiên cứu điển hình của ngành cơ - sinh điện tử (Bio-Mechatronics). Chúng có những nét đặc biệt về kết cấu và điều khiển. Bài báo trình bày những vấn đề trong kết cấu và điều khiển Exo; phân tích lựa chọn giải pháp thực hiện và kết quả ứng dụng trong thiết kế robot trợ giúp người đi bộ tại Học viện Kỹ thuật quân sự.

**Keywords:** Exoskeleton, Bio-Robot, Wearable Robot, Bộ xương ngoài.

### 1. EXOSKELETON, MỘT THIẾT BỊ CƠ SINH ĐIỆN TỬ

Bộ xương ngoài là ví dụ về con người bắt chước một số loài động vật, như loài giáp xác, côn trùng,... dùng bộ xương, vỏ cứng bên ngoài để tăng khả năng tự vệ hay vận động,... Thiên nhiên ban cho các sinh vật các BXN tự nhiên (Natural Exo), còn con người thì tự trang bị cho mình các BXN nhân tạo (Artificial Exo). Do lịch sử phát triển và công dụng, các BXN được gọi bằng các tên khác nhau: Powed Exo, Robot Exo, Human Robot, Wearable Robot (WR), Bio-Robot,...

Exo là loại robot đặc biệt, khác về bản chất với các loại robot công nghiệp và robot di động thông thường như:

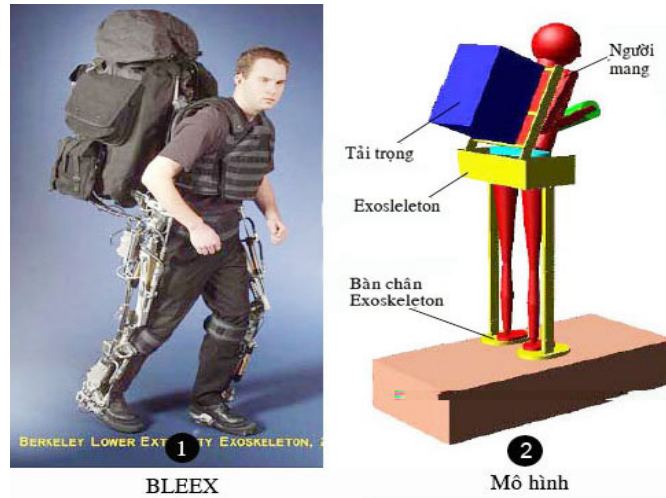
- Không làm việc độc lập mà được "mặc" vào người, hoạt động như một bộ phận của cơ thể người. Hệ thống luôn luôn gồm robot và người mang;
- Mở rộng, tăng cường, hoàn thiện khả năng của các bộ phận của cơ thể hoặc thay thế các bộ phận đó trong trường hợp chúng bị hỏng;
- Không làm việc trong môi trường có cấu trúc định trước mà có thể phản ứng linh hoạt trong môi trường biến động.

Exo kết hợp được năng lực trí tuệ (khả năng xử lý tình huống một cách thông minh, linh hoạt) của người mang và năng lực vật lý (sức mạnh, tầm hoạt động, tốc độ, chịu sự khắc nghiệt của môi trường, như nóng, độc,...) của robot. Trước đây, Exo được coi là một đối tượng nghiên cứu điển hình của ngành cơ - sinh học (Bio-Mechanics) thì nay nó mang thêm một khái niệm mới cơ - sinh - điện tử (Bio-Mechatronics).

---

\*Nghiên cứu được hoàn thành dưới sự hỗ trợ từ đề tài KHCN cấp Nhà nước, mã số KC.03.13/06-10.

Trong Hình 1 là một ví dụ về Exo. Bên trái là mẫu mang tên Berkeley Lower Extremity Exoskeleton - BLEEX, do PTN Human Engineering and Robotics, ĐHTH California, Berkeley nghiên cứu theo yêu cầu của U. S. Defense Advanced Research Projects Agency - DARPA; bên phải là mô hình cơ bản của Exo, trong đó kết cấu cơ khí của Exo được đặt song song với cơ cấu vận động của cơ thể, đỡ hầu hết tải trọng cho cơ thể và hoạt động theo tín hiệu điều khiển từ cơ thể. Kết cấu cơ khí của Exo được chế tạo tại Học viện KTQS (Hình 4) được thiết kế theo nguyên tắc trên.



Hình 1. Mẫu BLEEX và mô hình Exo

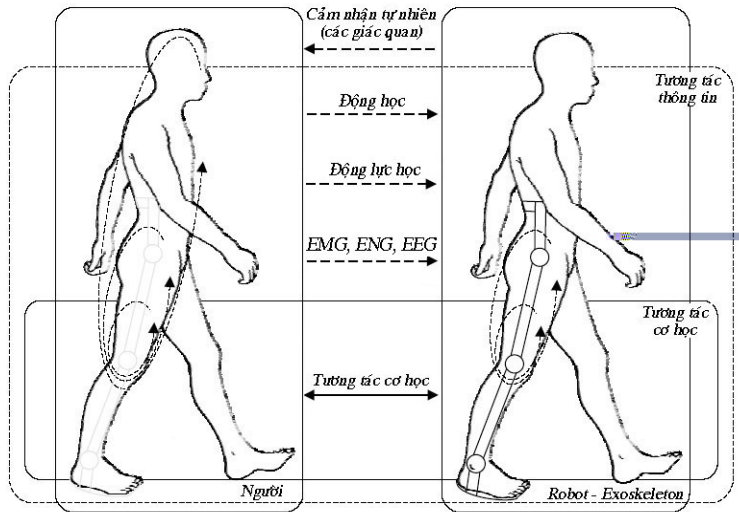
## 2. CƠ SỞ CHỌN PHƯƠNG ÁN ĐIỀU KHIỂN EXO

### 2.1. Giao diện người - robot trong Exo

Ý tưởng, đồng thời cũng là yêu cầu cơ bản đối với Exo là: robot và người mang được tích hợp thành một hệ thống nhất, hoạt động đồng bộ với nhau. Muốn vậy, giữa người mang và Exo phải song song tồn tại 2 loại tương tác: tương tác thông tin và tương tác cơ học, thông qua một giao diện đặc biệt người - robot (Human - Robot Interface - HRI). Robot phải nhận được tín hiệu điều khiển từ cơ thể, đồng thời người mang phải cảm nhận được trạng thái và hoạt động của robot. Tương tác thông tin giữa người và robot phần lớn là vô thức, nghĩa là con người hoạt động với robot như với một bộ phận của cơ thể, điều khiển robot và cảm nhận về robot một cách bản năng, không cần có chủ định trước. Phương tiện cảm nhận có thể là tự nhiên, thông qua các giác quan; có thể là nhân tạo, dùng các thiết bị đo thông số động học (góc, vận tốc, gia tốc), động lực học (lực, mô men) sinh ra do chuyển động của các khớp hoặc các thiết bị chuyên dùng: điện não đồ (ElectroencephaloGraphy - EEG), điện nhãn đồ (ElectronystagmoGraphy - ENG), điện cơ đồ (ElectromyoGraphy - EMG), (Hình 2).

Ở đây không tồn tại dạng giao diện người - máy (HMI) theo quan niệm thông thường, nhờ đó người tác động vào hệ thống (máy) từ bên ngoài. Với Exo, người là một khâu trong hệ thống người - máy (robot); tác động điều khiển là tác động nội tại và thông qua các tương tác vật lý, như chuyển động, lực, xung điện,... Mối quan hệ cộng sinh giữa người và robot vượt quá giới hạn của các tương tác vật lý đơn giản. Hệ thống tương tác người - robot gồm

các sensor, actuator, các thuật toán và luật điều khiển cho phép robot thu nhận, giải mã các thông tin về tâm, sinh lý của người. Dựa vào các thông tin đó, robot đáp ứng, học và tối ưu hoá các hoạt động của nó; mặt khác người nhận tín hiệu phản hồi từ hoạt động của robot.



Hình 2. Tương tác thông tin và tương tác cơ học người - robot

Trong trường hợp Exo, tương tác người - robot là tương tác 2 chiều. Bên cạnh giao diện tự nhiên (Natural Interface), còn có thể thấy các loại giao diện nhân tạo khác nhau: giao diện cơ học, giao diện người - máy tính (Human - Computer Interface - HCI), giao diện thần kinh - máy tính (Brain - Computer Interface - BCI). Xu hướng nhận thấy rõ hiện nay là thông minh hoá các giao diện nhân tạo. Tuy nhiên, giao diện tự nhiên vẫn đóng vai trò chủ chốt, và đó là lý do chính để phát triển Exo. Điều đó có 2 nguyên nhân:

- Về nguyên tắc, Exo phải tận dụng khả năng suy diễn, nhạy cảm của người - thứ mà cho đến nay (và có lẽ mãi mãi) không một loại máy móc nào thay thế được. Hơn nữa, thông tin truyền từ người đến giao diện nhân tạo không thể tránh khỏi suy giảm, sai lệch và chậm trễ;

- Về thực tế, khi đã có giao diện nhân tạo thì để người và robot có thể làm việc đồng bộ với nhau cần phải có quá trình luyện tập, qua đó thích nghi với nhau. Khi làm việc với robot, người phải chịu áp lực về tâm, sinh lý. Áp lực đó có thể hạn chế được nếu người đóng vai trò chủ động.

Căn cứ vào tính chất hoạt động của người mang, người ta phân biệt 3 mức giao diện: mức 1 liên quan đến các hoạt động thần kinh, như suy luận (Reasoning) và hoạch định (Planning); mức 2 liên quan đến hoạt động cơ bắp; mức 3 liên quan đến chuyển động (Motion). Thông tin về hoạt động thần kinh (mức 1) có thể nhận được nhờ các loại sensor điện não đồ (EEG) hoặc các điện cực cấy vào thần kinh (Brain-Implanted Electrode). Thông tin về hoạt động cơ bắp (mức 2) thu được nhờ sensor điện - cơ đồ (EMG). Thông tin về chuyển động (mức 3) được thu nhận nhờ các thiết bị đo thông số động học, động lực học vận động, như góc khớp, lực, mô men, vận tốc, gia tốc,... Sự phối hợp các loại giao diện đảm bảo thông tin xác thực, ổn định, kịp thời. Ví dụ, EEG cho thông tin về hoạt động ngay từ trong ý định, EMG cho thông tin về hoạt động của cơ từ khi chưa xảy ra chuyển động, còn thông tin mức 3 chỉ có được sau khi có chuyển động. Hình 3 cho một số ví dụ về các loại sensor có thể dùng trong

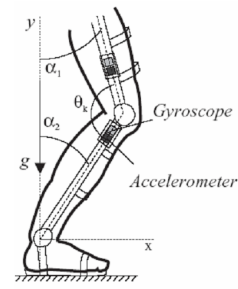
nghiên cứu cơ sinh học và HRi.



EEG (mức 1)



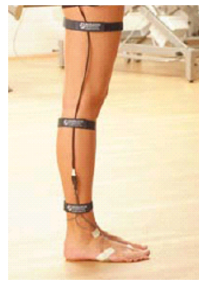
EMG (mức 2)



Con quay (mức 3)



Đo góc (mức 3)



Gia tốc kế (mức 3)



Đo lực (mức 3)

Hình 3. Các loại sensor dùng trong Exo

## 2.2. Chức năng và yêu cầu đối với hệ điều khiển cho Exo

Để Exo hoàn thành chức năng như một bộ phận mở rộng của cơ thể, bộ điều khiển cần phải hoạt động như là bộ phận mở rộng của hệ thần kinh, cũng như cơ cấu của Exo cần phải hoạt động như là phần mở rộng của hệ xương, cơ người. Đó là lý do phải áp dụng nguyên tắc phỏng sinh (Biomimetic) trong thiết kế Exo, cả phần cơ khí lẫn phần điều khiển. Con người là một loài động vật bậc cao, cơ thể được chọn lọc, hoàn thiện qua nhiều thế hệ để thích ứng tốt nhất với các hoạt động và môi trường sống và luôn luôn có thể thay đổi để thích nghi với hoàn cảnh mới. Bất chước y hệt kết cấu và chức năng của các bộ phận của cơ thể là điều không thể; càng không thể xác định được một giải pháp tối ưu chung theo mọi hàm mục tiêu. Đối với Exo, những yêu cầu quan trọng nhất là đảm bảo khả năng di chuyển, chịu tải trọng lớn và tiêu thụ ít năng lượng. Trách nhiệm chính, đảm bảo khả năng di chuyển và chịu tải trọng, thuộc về phần cơ khí. Phần điều khiển có ảnh hưởng lớn đến vấn đề năng lượng và góp một phần vào khả năng di chuyển của robot. Tùy theo mục đích sử dụng, khi thiết kế Exo phải dung hoà một cách hợp lý các yêu cầu trên.

Hoạt động cơ bản nhất của động vật là di chuyển, để tìm kiếm, săn đuổi con mồi hoặc để chạy trốn kẻ thù. Mỗi loài vật được thiên nhiên ban cho một hệ vận động phù hợp nhất với hoạt động của nó, đồng thời bài toán năng lượng cũng được thiên nhiên giải quyết thỏa đáng cho từng trường hợp cụ thể. Một trong những ví dụ điển hình về sử dụng tối ưu năng lượng được thấy ở quá trình vận động của người (Human Gait - HG). HG được định nghĩa là sự di chuyển của trọng tâm người (Center of Mass - CoM) với sự tiêu tốn năng lượng ít nhất (Koopman, 1989). Hệ vận động của người là hệ cơ, xương và khớp hết sức phức tạp.

Nhiều mô hình đã được đề xuất, nhưng mô hình chi dưới được coi là tiết kiệm năng lượng gồm 6 bậc tự do: 3 tại khớp hông, 1 tại khớp gối và 2 tại khớp cổ chân. Mặt khác, các cơ chỉ hoạt động ở những thời điểm nhất định của chu kỳ. Nhưng ngay cả ở người, năng lượng cũng chưa được sử dụng tiết kiệm nhất [2]. Giải pháp kết cấu và điều khiển có xét đến vấn đề năng lượng được phân tích ở mục sau.

### 2.3. Chọn phương án điều khiển

Lựa chọn phương án điều khiển trên các cơ sở sau:

+ *Mục tiêu của đề tài*: tiếp cận những cơ sở khoa học và công nghệ khởi đầu cho thiết kế Exo hỗ trợ người đi bộ có mang tải.

+ *Tham khảo các giải pháp hiện có*: Hàng loạt các công trình công bố về kết cấu, điều khiển Exo [1, 3, 5, 6, 7] đã đưa ra một phổ rất rộng các giải pháp điều khiển có thể tham khảo và vận dụng. Các giải pháp này phụ thuộc vào đặc điểm kết cấu và chức năng của Exo mà hệ điều khiển phải phục vụ, gồm:

(1) Exo tăng cường sức lực cho người mang (Empowering robotic Exo). Đó là loại robot dùng để mở rộng khả năng (thường là sức mạnh, bổ sung năng lượng, tăng sức chịu đựng,...) cho các hoạt động cơ bắp của người. Loại robot này còn được gọi là Extender. Các bộ phận được hỗ trợ là chi trên, chi dưới hoặc toàn bộ phần cột sống và chi dưới khi mang nặng;

(2) Exo trợ giúp người khuyết tật để họ có thể hoạt động như người bình thường, được gọi là Orthotic Robot;

(3) Exo dùng trong vật lý trị liệu và phục hồi chức năng. Trong trường hợp này, robot hoạt động theo chương trình (tuỳ theo hoạt động), bộ phận cơ thể cần phục hồi chức năng phải bám theo. Như vậy robot đóng vai trò của một “máy tập”;

(4) Exo dùng để thay thế bộ phận hỏng của người (Prosthetic Robot). Robot hỗ trợ đi bộ thuộc nhóm (1). Do chức năng và tính chất hoạt động, loại này phức tạp nhất cả về kết cấu lẫn điều khiển so với 3 loại kia. Yêu cầu về kết cấu của nó là đặt song song, trùng khớp với các chi người sao cho không (thực ra là ít) cản trở hoạt động của các chi. Về lực và năng lượng, nó phải hỗ trợ được cho hoạt động của các chi. Vì vậy, một mặt Exo phải có khả năng tích lũy, chuyển đổi năng lượng của người khi đi bộ, hoặc cung cấp bổ sung năng lượng từ nguồn năng lượng ngoài. Về mặt điều khiển, hoạt động của robot phải bám sát hoạt động của các chi. Nếu quan niệm hệ người - robot là hệ Master - Slave thì người là Master, robot là Slaver.

Về mặt năng lượng, có 2 giải pháp cho Extender:

- Loại được cung cấp hoàn toàn năng lượng từ nguồn riêng (Powered Exo hoặc Active Exo). BLEEX [1] là trường hợp điển hình của loại này.

- Loại không được cung cấp thêm năng lượng mà chỉ tích lũy năng lượng vô ích tại thời điểm hay từ bộ phận này, chuyển đổi thành năng lượng có ích để cung cấp trở lại tại thời điểm hay cho bộ phận khác. Loại này được gọi là Quasi Passive Exo [3, 4, 5].

Để so sánh hiệu quả sử dụng năng lượng của các mẫu Exo khác nhau, [7] dẫn ra 3 trường hợp. Với 4 khớp được cung cấp năng lượng, BLEEX tiêu thụ 1143W cho các xilanh thủy lực khi đi đường bằng, cộng với 200W điện năng cho hệ điều khiển. Để hoạt động tương tự, một người nặng 75kg yêu cầu có 165W và mẫu Quasi-Passive của MIT chỉ tiêu thụ 2W.

Active Exo có phần đơn giản về kết cấu, nhưng khó về điều khiển và nguồn năng lượng.

Ngược lại, Quasi Passive Exo đặt ra nhiều thử thách về kết cấu. Mới tiếp cận với lĩnh vực Exo, bị hạn chế rất nhiều về kinh phí và nguồn vật tư, chúng tôi chọn phương án lai, trong đó có các khớp chủ động (active) và các khớp bị động (passive) cho phù hợp với mục tiêu, yêu cầu và điều kiện thực hiện.

### 3. GIẢI PHÁP KẾT CẤU VÀ ĐIỀU KHIỂN EXO

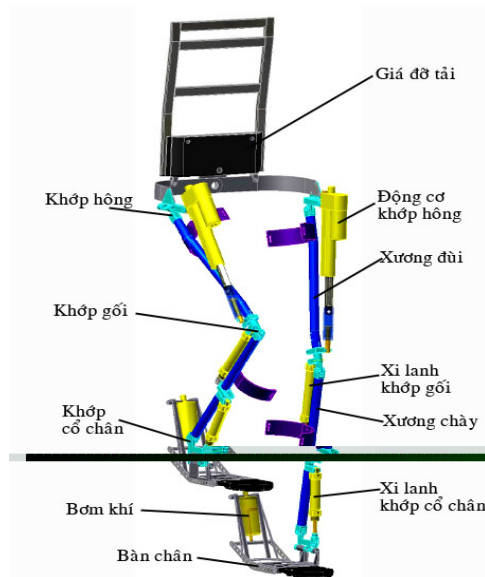
#### 3.1. Giải pháp kết cấu

Từ những phân tích ở trên, trong phần này xin được trình bày tổng hợp các giải pháp chính về kết cấu và điều khiển Exo đã được thực hiện. Chi tiết về kết cấu được trình bày kỹ trong các tài liệu chuyên đề, ở đây chỉ đưa ra sơ đồ bố trí các khớp và hệ thống chấp hành.

Cho đến nay, 3 mẫu robot đã được chế tạo.

Mẫu 1 nhằm thử nghiệm kết cấu cơ khí và lấy tín hiệu góc từ các khớp, khảo sát về động học (quy luật biến thiên các góc khớp khi đạp xe và đi bộ). Vì vậy hệ điều khiển chỉ là bộ thu nhận kết quả đo và hiển thị kết quả trên máy tính.

Mẫu 2 được thiết kế gồm có 6 khớp: 3 khớp hông, 1 khớp gối, 2 khớp cổ chân. Nó được hoàn thiện so với mẫu 1 ở chỗ có động cơ dẫn động các khớp (Hình 4). Hệ điều khiển có thêm chức năng điều khiển các động cơ bám theo động học các khớp (được lấy từ các sensor đo góc tại các khớp). Hệ dẫn động khớp hông là động cơ điện servo, có gắn giảm tốc và vít me đai ốc để biến chuyển động quay của rotor động cơ thành chuyển động tịnh tiến, thay cho sự co, giãn của cơ đùi. Động cơ dẫn động khớp gối và khớp cổ chân là các xi lanh khí nén. Như vậy, trong mẫu 2, nếu dùng tất cả các động cơ thì robot được dẫn động hoàn toàn



Hình 4. Sơ đồ kết cấu của Exo (mẫu 2)

Thử nghiệm thực tế cho thấy truyền động điện - cơ có nhược điểm là cứng, bắt buộc phải dẫn động liên tục với quy luật khắt khe.

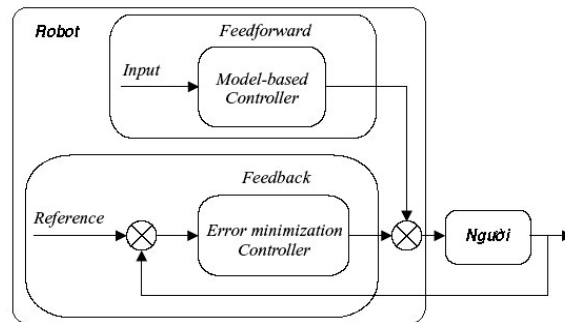
Trong mẫu 3, hệ truyền động điện - cơ của khớp hông được thay bằng xi lanh khí nén. Về điều khiển, ngoài các sensor đo góc các khớp, mẫu 3 được trang bị thêm hệ sensor EMG

của hãng Densys (Mỹ). Đây là hệ sensor hoàn chỉnh, chuyên dùng cho nghiên cứu cơ sinh học và Bio-Robot, có thể thực hiện đồng bộ các giai đoạn thu nhận và xử lý tín hiệu từ sensor EMG, đưa ra tín hiệu Analog và tín hiệu số, đưa vào PC để xử lý và điều khiển.

### 3.2. Mô hình điều khiển

Hai dạng cơ bản của hệ điều khiển Exo là Feedforward và Feedback (Hình 5). Điều khiển Feedforward cung cấp thông tin dự đoán về hành động sắp xảy ra, sử dụng kỹ thuật điều khiển theo mô hình (Model-based). Điều khiển có phản hồi nhằm giảm sai số vận động và chống nhiễu loạn, thường sử dụng kỹ thuật trở kháng (Impedance).

Các hệ điều khiển Exo gần đây đã phát triển từ dạng điều khiển theo vị trí đơn thuần lên các hệ điều khiển tích hợp giữa các mạch điều khiển cấp thấp với điều khiển theo lực. Một số sơ đồ điều khiển đã được phát triển trên cơ sở điều khiển lai (lực - vị trí) và điều khiển theo trở kháng. Trong các hệ lai, lực tại cơ cấu công tác được điều khiển độc lập theo một phương xác định, còn vị trí được điều khiển theo các phương còn lại. Trong sơ đồ điều khiển theo trở kháng, mối quan hệ tĩnh hoặc động giữa lực và vị trí được duy trì. Hệ này được phát triển từ các hệ điều khiển theo giảm chấn và điều khiển theo độ cứng.



Hình 5. Mô hình điều khiển theo pHRI

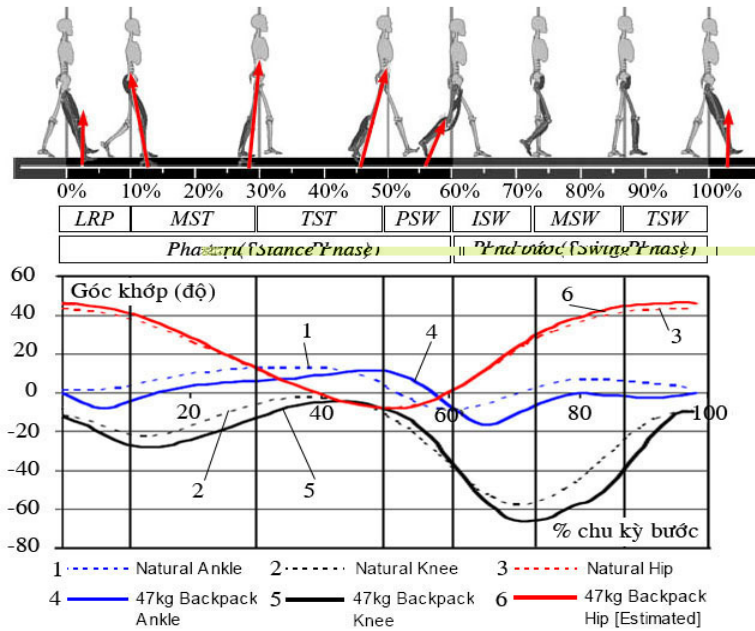
Trong WR, điều khiển theo trở kháng là dạng phổ biến nhất để điều khiển lực tương tác giữa người và robot (Vukobratovic, 1997). Một trong những ưu điểm của điều khiển theo trở kháng là dễ đảm bảo sự phục tùng của robot, khiến cho tương tác cơ học giữa người và robot được tự nhiên, giảm nguy hiểm. Những nguyên tắc cơ bản trong điều khiển theo trở kháng đã được Hogan (1995) thiết lập. Ông đã đưa ra khái niệm trở kháng cơ học để mô tả về mặt cơ học hệ xương - cơ và chỉ ra cách chọn trở kháng thích hợp cho các trường hợp cụ thể.

### 3.3. Giải pháp điều khiển

Mô hình cơ sinh học mô tả tương tác cơ học giữa người và robot. Nghiên cứu mô hình cơ sinh học tạo ra cơ sở để xây dựng mô hình điều khiển và thiết kế hệ điều khiển, đảm bảo cho người và robot hoạt động đồng bộ với nhau. Trong nhiều ứng dụng, đặc biệt là trong Exo hỗ trợ lực, robot phải bám theo vận động của người. Cụ thể với đề tài thiết kế, chế tạo robot hỗ trợ người đi bộ, mô hình điều khiển trước hết phải dựa trên mô hình cơ sinh học của người đi bộ. Cũng xuất phát từ mục tiêu và đối tượng nghiên cứu của đề tài, nội dung của phần này chỉ tập trung vào mô hình cơ sinh học của chi dưới. Mô hình điều khiển được chọn kết hợp điều khiển động học và động lực học.

3.3.1. Điều khiển động học

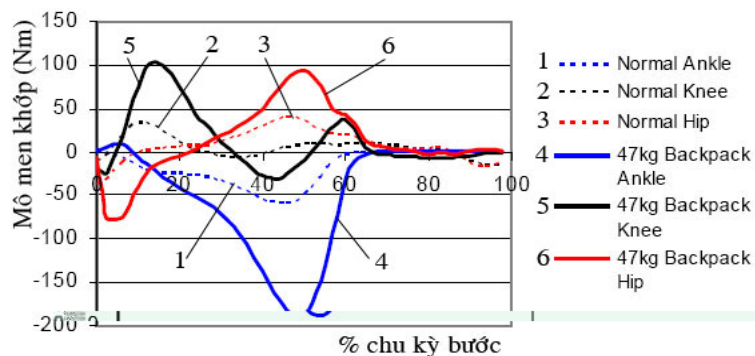
Một trong những chi tiết quan trọng của mô hình cơ sinh học của chi dưới là chu kỳ bước (Human Gait - HG). Nghiên cứu HG tạo cơ sở cho thiết kế hệ thống sensor (giám sát hoạt động của các khớp và nắm bắt các sự kiện) cũng như thiết kế cơ cấu chấp hành và truyền động cơ khí. HG mô tả hoạt động có chu kỳ của mỗi chân, gồm pha trụ (Stance Phase) và pha bước (Swing Phase) như trong Hình 6.



Hình 6. Chu kỳ bước của người đi bộ

Pha trụ được chia thành 4 giai đoạn: bắt đầu - nhận tải (Loading Response Period - LRP), giữa (Midstance - MST), kết thúc (Terminal Stance - TST) và chuẩn bị bước (Preswing - PSW). Pha bước được chia thành 3 giai đoạn: bắt đầu (Initial Swing - ISW), giữa (Midswing - MSW) và kết thúc (Terminal Swing - TSW). Sự bắt đầu và kết thúc mỗi giai đoạn được gọi là các sự kiện (Events). Điều khiển theo HG được gọi là điều khiển theo sự kiện và được chọn là phương pháp cơ bản trong điều khiển Exo.

3.3.2. Điều khiển động lực học



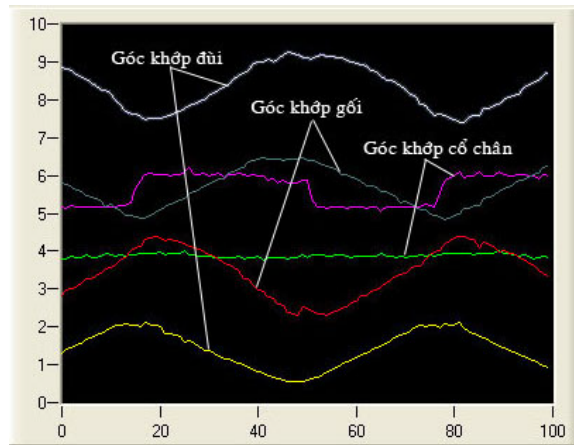
Hình 7. Đồ thị mômen tại các khớp trong chu kỳ bước



Sơ đồ momen của các khớp khi đi bình thường và khi mang tải (Hình 7) cho thấy trong chu kỳ bước, không phải lúc nào cũng cần cấp năng lượng, thậm chí có những lúc năng lượng bị tiêu tốn vô ích (giá trị âm). Mỗi khớp có những thời điểm hoàn toàn tự do thả lỏng, chuyển động theo quán tính hoặc theo lực trọng trường. Do vậy ta chỉ cần cấp lực cho mỗi khớp vào các thời điểm cần thiết, vào thời điểm khác có thể tận dụng quán tính, năng lượng tái sinh. Thời điểm và độ dài cấp năng lượng được chọn theo HG (Hình 6), theo biểu đồ mômen (Hình 7), có điều chỉnh theo thực tế cho êm dịu.

### 3.3.3. Phần cứng và phần mềm điều khiển

Theo các phân tích ở trên và điều kiện thực tế, chúng tôi đã chọn phương pháp điều khiển theo kiểu trợ lực gián đoạn cho các khớp ở thời điểm cần sinh lực để di chuyển, sau đó thả lỏng để cho robot hoạt động theo chu trình tự nhiên (chu trình này không cần trợ lực). Thời điểm trợ lực dựa vào góc quay và chu trình động lực học của robot. Hình 8 là đồ thị ghi góc chuyển động của các khớp.



Hình 8. Đồ thị ghi sự biến thiên của góc khớp theo thời gian

Thay cho mômen tại các khớp, trương lực cơ đã được đo nhờ sensor EMG. Cấu hình hệ thống EMG như trong Hình 9, gồm:

- Hai sensor EMG kiểu SP-E09;
- Bộ khuếch đại chính (Bagnoli-2 Main Amplifier Unit) kiểu SP-B02;
- Bộ chuyển đổi tín hiệu từ cổng Analog sang USB, kèm theo phần mềm xử lý tín hiệu EMG chạy trên PC;
- Phần mềm EMGwork, thu nhận và xử lý tín hiệu.

Các thông số kỹ thuật của bộ khuếch đại chính như sau:

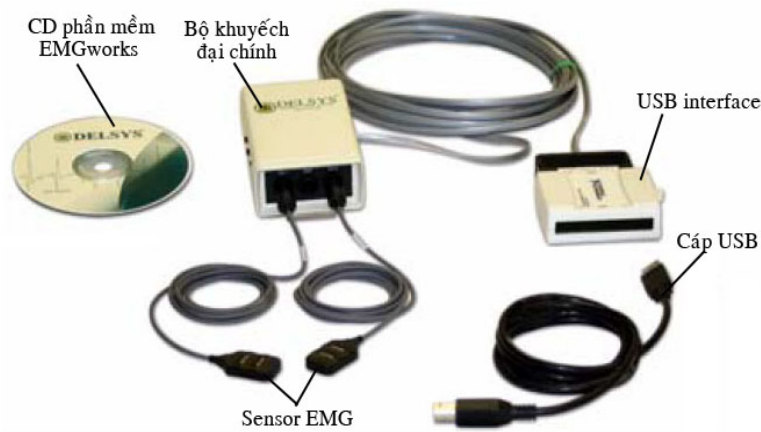
- Số kênh: 2 Analog EMG;
- Hệ số khuếch đại 3 cấp: 100, 1000, 10 000;
- Tín hiệu ra: Điện áp max  $\pm 5V$ ;
- Tần số đáp ứng:  $20 \pm 5$  đến  $450 \pm 50$  Hz, 80dB/decade;
- Độ ồn: dưới  $1,2 \mu V$  (rms) trong dải quy định.

Phần mềm EMGwork và National Instruments USB-6009 có các thông số:

- Tốc độ lấy mẫu: 48 kS/s;
- Độ phân giải: 14 bit;

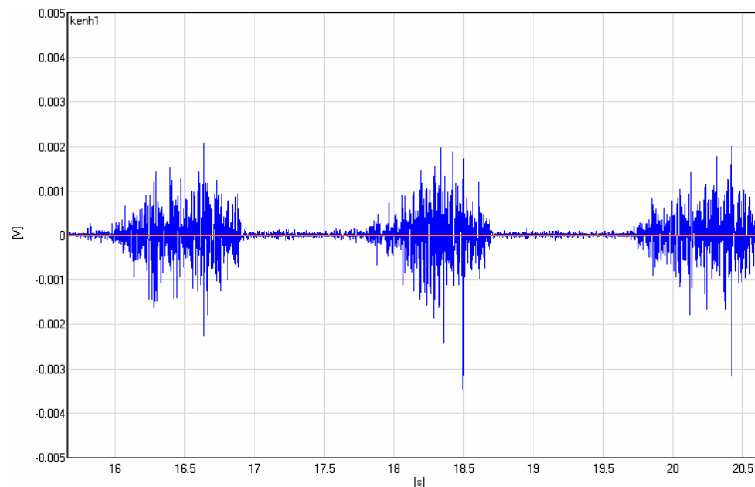
- PC Interface: USB 2.0.

Các sensor, điện cực và các phụ kiện khác đi kèm đều do chính hãng cung cấp.



Hình 9. Cấu hình bộ Bagnoli 2-Channel AMGworks

Tín hiệu EMG dạng nguyên thủy như trong Hình 10, sau khi xử lý theo phương pháp Root Mean Square - RMS như Hình 11.

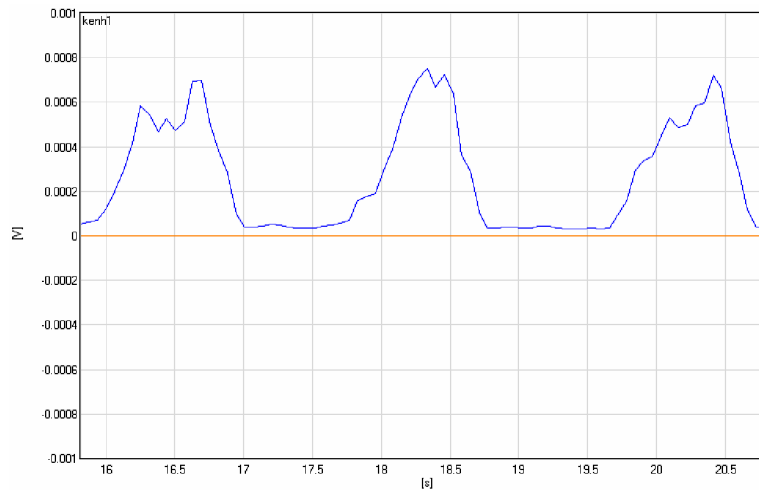


Hình 10. Tín hiệu EMG dạng nguyên thủy

Sơ đồ điều khiển hệ thống chấp hành khí nén theo tín hiệu EMG có dạng như trong Hình 12.

Hệ gồm các modul:

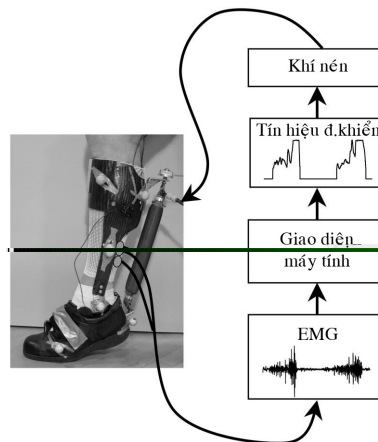
- Thu nhận và xử lý tín hiệu EMG (gồm khuếch đại, lọc, A/D);
- Giao diện nối ghép với máy tính;
- Modul phần mềm xử lý tín hiệu (ví dụ D/A) và đưa ra tín hiệu điều khiển;
- Modul điều khiển hệ thống chấp hành (ví dụ Driver cho động cơ điện, điều khiển van cho động cơ khí nén, thủy lực).



Hình 11. Tín hiệu EMG đã xử lý theo phương pháp RMS

Phần mềm điều khiển thực hiện các chức năng:

- Thu nhận và xử lý dữ tín hiệu từ các sensor đo góc các khớp, xung điện từ hoạt động của cơ (EMG).



Hình 12. Sơ đồ điều khiển với EMG

- Hiển thị tín hiệu dưới dạng đồ thị để phục vụ cho việc phân tích, đánh giá, đồng thời giám sát và điều khiển quá trình.
- Điều khiển hệ chấp hành, thực hiện di chuyển theo tín hiệu động học và động lực học.

#### 4. KẾT LUẬN

Với giải pháp kết cấu và điều khiển nêu trên, Exo đang được thực hiện, theo như phân loại của các chuyên gia, đã thuộc thế hệ thứ 3 (thế hệ 1 được điều khiển theo động học (góc, vận tốc, gia tốc); thế hệ 2 theo động lực học (mô men, lực); thế hệ thứ 3 theo tín hiệu cơ sinh học (EMG, EEG, EKG,...)). Tuy đã sớm nhận ra rằng, thế giới đã tiếp cận thế hệ thứ 3 từ hàng chục năm nay, nhưng vì chưa đủ kinh nghiệm và điều kiện vật chất, đề tài không thể “đốt cháy giai đoạn”. Để tự tích lũy kinh nghiệm, chúng tôi đã chọn con đường tiếp cận

dần, đi từng bước, thực hiện các mẫu robot kế tục nhau, từ thấp đến cao, từ đơn giản đến phức tạp; mỗi mẫu nhằm giải quyết nhiệm vụ cụ thể. Mẫu thứ 3 đã giải quyết được những vấn đề cơ bản, mạnh dạn ứng dụng kỹ thuật mới. Với giải pháp kết cấu và điều khiển nói trên, Exo đã thực hiện được các chức năng thiết kế, tác dụng trợ lực được thể hiện rất rõ ràng. Robot đã được thử nghiệm với các chế độ làm việc khác nhau: không và có mang tải (tổng tải trọng là 20kg), có hỗ trợ (cấp khí nén) và không hỗ trợ, đi trên băng thử và đi trên mặt bằng, leo cầu thang,... Khi thử nghiệm, tín hiệu EMG được ghi lại để đánh giá lực cơ. Kết quả thử nghiệm cho thấy hiệu quả hỗ trợ rất rõ ràng: tải trọng công trên lưng robot không đè lên người, lực tại cơ bắp chân khi mang tải không tăng so với khi không tải và còn nhỏ hơn khi không tải mà không có hỗ trợ. Tuy nhiên, đây mới chỉ là kết quả nghiên cứu bước đầu. Cả kết cấu cơ khí lẫn thuật toán điều khiển còn những hạn chế mà muốn khắc phục được chúng còn phải tiếp tục đào tạo đội ngũ, xây dựng cơ sở vật chất kỹ thuật và tiến hành các nghiên cứu sâu hơn.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Aaron M. Dollar, Hugh Herr, Lower extremity exoskeleton and active orthoses: challenges and state-of-the-art, *IEEE Transactions On Robotics* **24** (1) (February 2008).
- [2] José L. Pons, *Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons*, John Wiley & Sons, 2008.
- [3] Ken Endo, Daniel Paluska, Hugh Herr, A quasi-passive model of human leg function in level-ground walking, *Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Beijing, China, October 9 - 15, 2006.
- [4] Andrew Valiente, "Design of a quasi-passive parallel leg exoskeleton to augment load carrying for walking", Masters of Science at the MIT, August 2005.
- [5] Conor James Walsh, Ken Endo, A quasi-passive leg exoskeleton for load carrying augmentation, *International Journal of Humanoid Robotics* (March 2007).
- [6] G.C.Nandi, Bhaskar Gupta, "Bio-inspired control methodology of walking for intelligent prosthetic knee, AI Lab.", Institute Of IT, Allahabad. India.
- [7] Jacob Rosen, et.al, A myosignal-based powered exoskeleton system, *IEEE Transaction On Systems, Man, And Cybernetics - Part A: Systems And Humans* **31** (3) (May 2001).
- [8] Christian Fleischer, "Torque Control Of An Exoskeletal Knee With EMG Signals", Berlin University of Technology Berlin University of Technology, Germany.

*Nhận bài ngày 25 - 10 - 2010*