



MODELAGEM, SIMULAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM MANIPULADOR ANTROPOMÓRFICO

João Maurício Rosário

Helder Anibal Hermini

Marcos Antonio Porta Saramago

Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Projeto Mecânico, LAR – Laboratório de Automação e Robótica

Cx. P. 6122 - 13083-970 - Campinas - SP

Resumo. *A evolução tecnológica de órteses e próteses tem direcionado o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa multidisciplinares na área de Automação e Robótica, principalmente na geração de projetos de braços e pernas artificiais, como também no estabelecimento de leis de controle em estimulação mioelétrica aplicada a processos de reabilitação. Neste trabalho, sendo levados em consideração aspectos anatômicos, fisiológicos e cinesiológicos dos membros superiores e inferiores do corpo humano, foi desenvolvido o modelo cinemático semelhante ao mecanismo natural o qual é utilizado como base para o projeto de sistemas artificiais como também na parametrização do controle mioelétrico neural. A partir da metodologia do modelo cinemático gerado, foram elaborados programas computacionais com a finalidade de reproduzir e gerenciar o deslocamento espacial do sistema articular. Para validar o algoritmo desenvolvido, foi elaborado um protótipo do sistema articular de um dedo no qual foi implementada e testada parte da metodologia desenvolvida.*

Palavras Chave: *Robótica, Próteses, biomecânica, automação*

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de próteses e órteses, como também a estimulação mioelétrica de músculos, exige o desenvolvimento de um modelo cinemático, que expresse o movimento dos membros em termos dos seus graus de liberdade. O desenvolvimento destes modelos constituem um grande desafio, pois, apesar do grande número de técnicas de modelamento matemático e de simulação hoje disponíveis, não apresentam eficiência desejada quando aplicados em tarefas clínicas.

Várias características observadas em sistemas biológicos introduzem um alto grau de complexidade, devido ao modelo dinâmico do complexo ser multi-variável, apresentando alto grau de não linearidade e redundância e um forte grau de acoplamento entre suas articulações, dificultando a determinação de parâmetros.

A elaboração de próteses inteligentes, deve ser feita por analogia comparativa com o complexo antropomórfico natural considerando aspectos relacionados com a estrutura, transmissão, acionamento e controle dos acionadores neuromusculares naturais ou artificiais,

a partir de estimulação mioelétrica a qual gerencia um algoritmo de geração de trajetória baseada no modelo físico matemático do sistema articular humano.

2. O SISTEMA ARTICULAR HUMANO

Em comparação aos sistemas artificiais, a articulação da cintura escapular apresenta capacidade de carga, precisão, e velocidade muito maior que qualquer manipulador artificial existente na atualidade. Essas características são o resultado da conjugação de processos biológicos múltiplos aplicados na estrutura muscular pelo complexo neurônico-motor. A observação de alguns destes fenômenos pode convergir a conclusões úteis para a melhoria de próteses robóticas.

O deslocamento do braço humano no espaço é consequência da ação das articulações do ombro e do cotovelo. Considerando que os músculos são acionadores unidirecionais, temos os movimentos de flexão e a extensão, por exemplo, a partir de um comando elétrico imposto pelo sistema nervoso. O ombro (figura 1) é uma articulação mais complexa que o cotovelo, devido a existência de duas sub-estruturas biomecânicas (cinturas escapulo-umeral e escapulo-torácica).

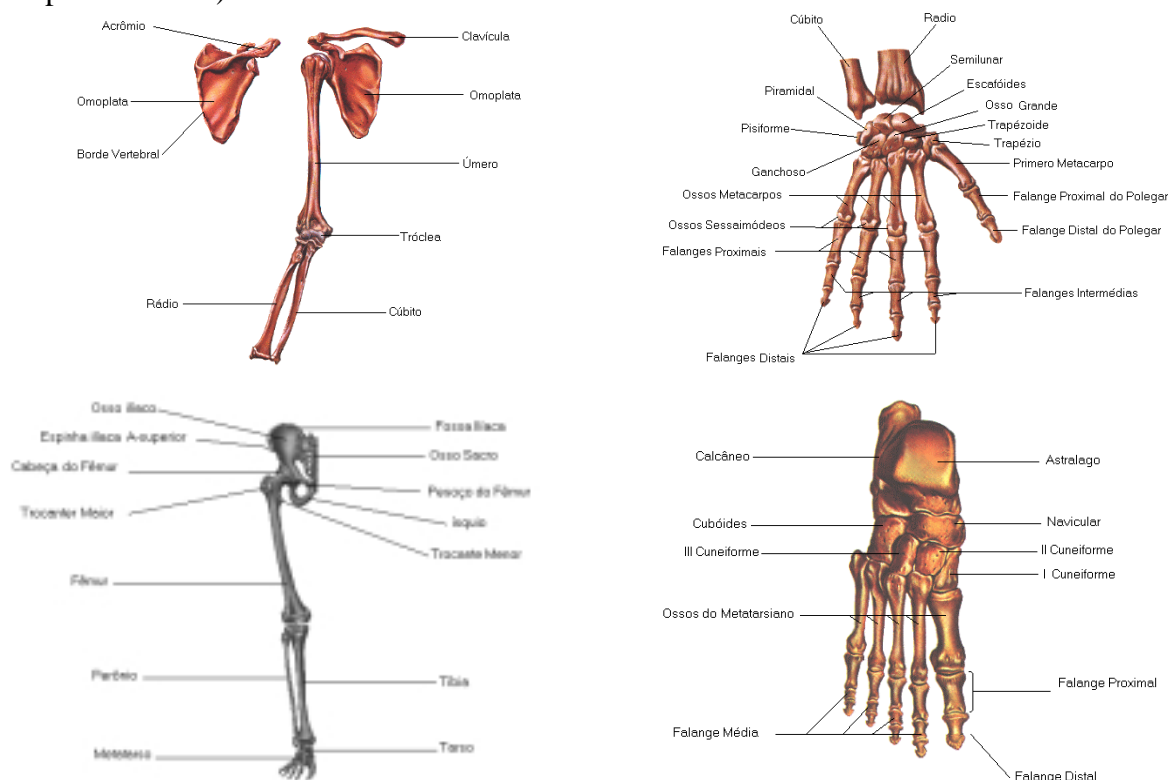


Figura 1 – Estruturas da Cintura Pélvica e Escapular do corpo humano

Na cintura escapular humana, o movimento do ombro pode ser considerado como uma combinação do movimento das juntas de ambos os lados da clavícula. A flexão-extensão do ombro é composta da extensão clavicular e da flexão-extensão umeral e a abdução-adução do ombro é composta da abdução-adução clavicular e a abdução-adução umeral.

A observação das estruturas anatômicas envolvidas na ação das duas articulações mostram que o braço humano é um sistema muito mais sofisticado que as próteses desenvolvidas até o presente momento.

3. MODELAGEM MATEMATICA

Um Sistema Articular pode ser representado matematicamente através de n corpos móveis C_i ($i = 1, 2, \dots, n$) e de um corpo C_0 fixo, interligados por n articulações, formando uma estrutura de cadeia, sendo que estas juntas podem ser rotacionais ou prismáticas.

Para representar a situação relativa dos vários corpos da cadeia, é fixado a cada elemento C_i um referencial R_i . Podemos relacionar um determinado referencial R_{i+1} ($o_{i+1}, x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1}$) com o seu anterior R_i (o_i, x_i, y_i, z_i), como também o sistema de coordenadas de origem da base (figura 2) através de (1) onde $A_{i,i+1}$ representa as matrizes de transformação homogênea de rotação e L_i o vetor de translação de uma origem a outra, onde $A_{i,i+1}$ é resultante do produto matricial global entre as diversas matrizes de transformação homogêneas relacionadas com rotações ou translações sucessivas das diferentes articulações (equação 2).

$$o_{i+1} = o_i + A_{i,i+1} * L_i \quad (1)$$

$$A_{i,i+1} = A_{1,2} \cdot A_{2,3} \cdot \dots \cdot A_{i,i+1} \quad (2)$$

onde

$$A_{i,i+1} = \begin{bmatrix} Nx_o & Sx_o & Ax_o \\ Ny_o & Sy_o & Ay_o \\ Nz_o & Sz_o & Az_o \end{bmatrix} \quad (3)$$

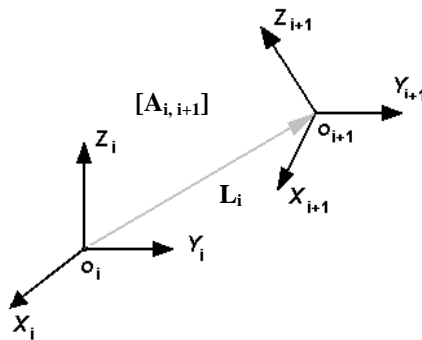


Figura 2 – Sistema de Referencia utilizado.

Qualquer rotação no espaço pode ser decomposta em um grupo de rotações elementares ao longo dos eixos X, Y e Z. A matriz de rotação elementar usada na equação de transformação é associada com a rotação elementar do referencial correspondente em relação ao seu anterior. Este procedimento matemático pode ser estendido para toda extensão do modelo.

Assim sendo, a matriz de orientação de um ponto de interesse pode ser obtida por (2).

Consequentemente o posicionamento completo de um corpo rígido no espaço, poderá ser facilmente obtido através da equação (1) que fornece o seu vetor posição, sendo que a equação (3) representa a matriz de orientação associada a partir da implementação do método dos ângulos de Euler ou dos ângulos RPY (Row, Pitch, Yall) às três direções de rotação associadas aos correspondentes eixos de coordenadas.

A sistemática apresentada previamente, foi aplicada no estudo das articulações das cinturas escapular e pélvica do corpo humano (fig.3). Utilizando conceitos da robótica, foi desenvolvido um Modelo Cinemático do Sistema Articular Antropomórfico, sendo consideradas as articulações e seus respectivos limites angulares.

A figura 3 apresenta a estrutura cinemática do Sistema Articular correspondente a Cintura Escapular e a Cintura Pélvica. No modelo proposto neste trabalho são definidas as variáveis descritas abaixo que utilizam a metodologia descrita anteriormente

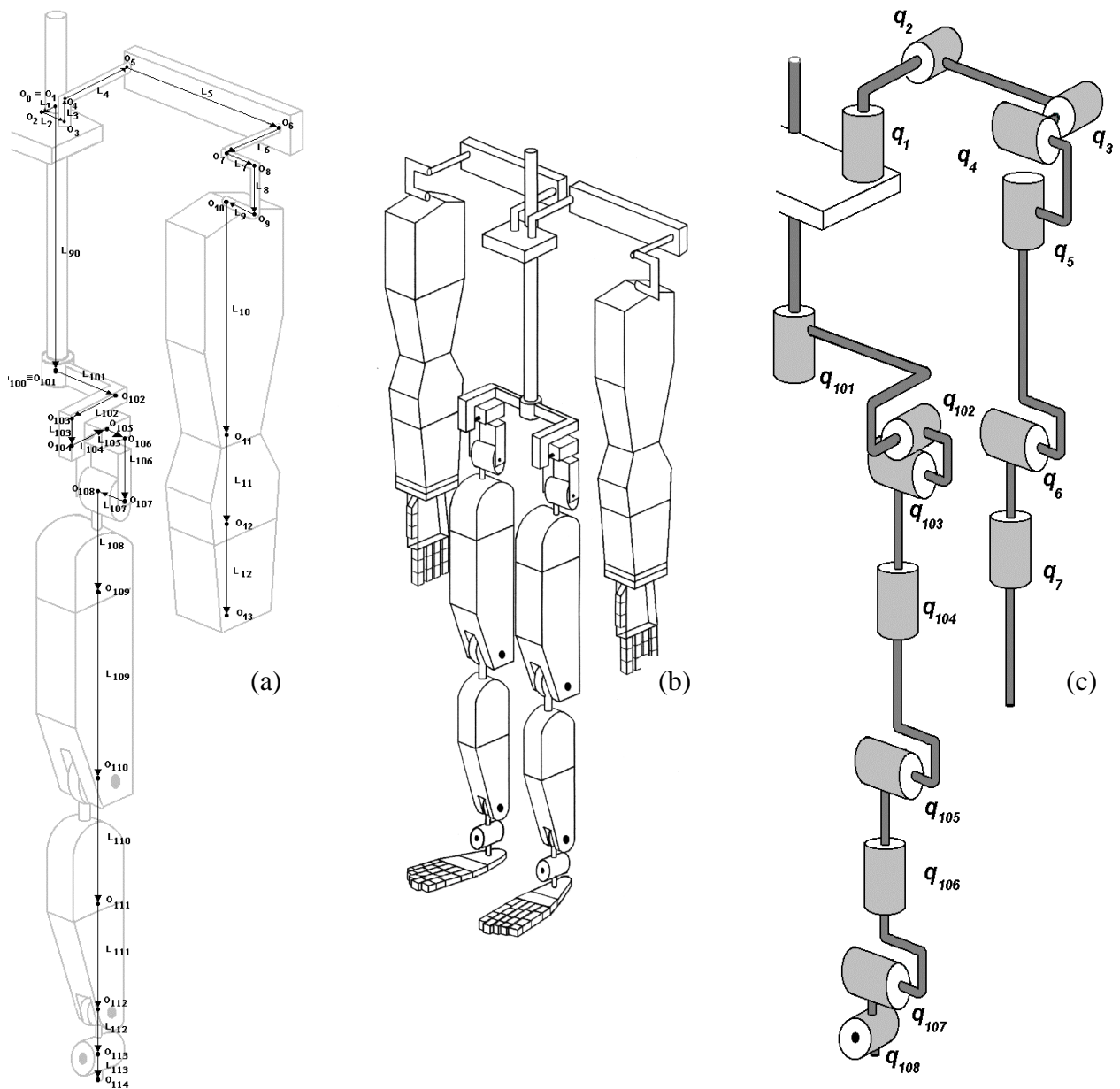


Figura 3 - Estrutura Cinemática Simplificada do Sistema Articular Humano:

- (a) - Sistema de referenciais locais o_i e respectivos vetores de translação L_i dos braços e das pernas;
- (b) - Esboço Representativo dos Elementos Geométricos Representativos do Modelo;
- (c) - Esboço Representativo das articulações Rotacionais q_i dos braços e das pernas;

Na estrutura cinemática do modelo gerado (figuras 3 e 4) são incluídas duas juntas correspondentes ao movimento do ombro-cotovelo e antebraço e da mão. A primeira foi nomeada junta interna do ombro (tarefa da junta interna da clavícula do braço humano) e a segunda de junta externa do ombro (substitui outras juntas no complexo ombro-braço como a junta glenohumeral e a junta acromioclavicular). A junta do cotovelo no modelo foi substituída por uma rotação simples representando flexão-extensão. No antebraço foi incluída uma junta para simular a rotação do antebraço desenvolvida entre o rádio e a ulna.

A parte do modelo relativo a cintura escapular se estende da junta interna da clavícula até os dedos da mão e a parte que considera a cintura pélvica vai do osso do fêmur até os dedos do pé. O sistema inteiro é interligado por articulações, em uma estrutura de cadeia, perfazendo um total de cinquenta e nove articulações rotacionais para cada hemisfério, 82 sistemas de coordenadas posicionados em pontos importantes da estrutura articular.

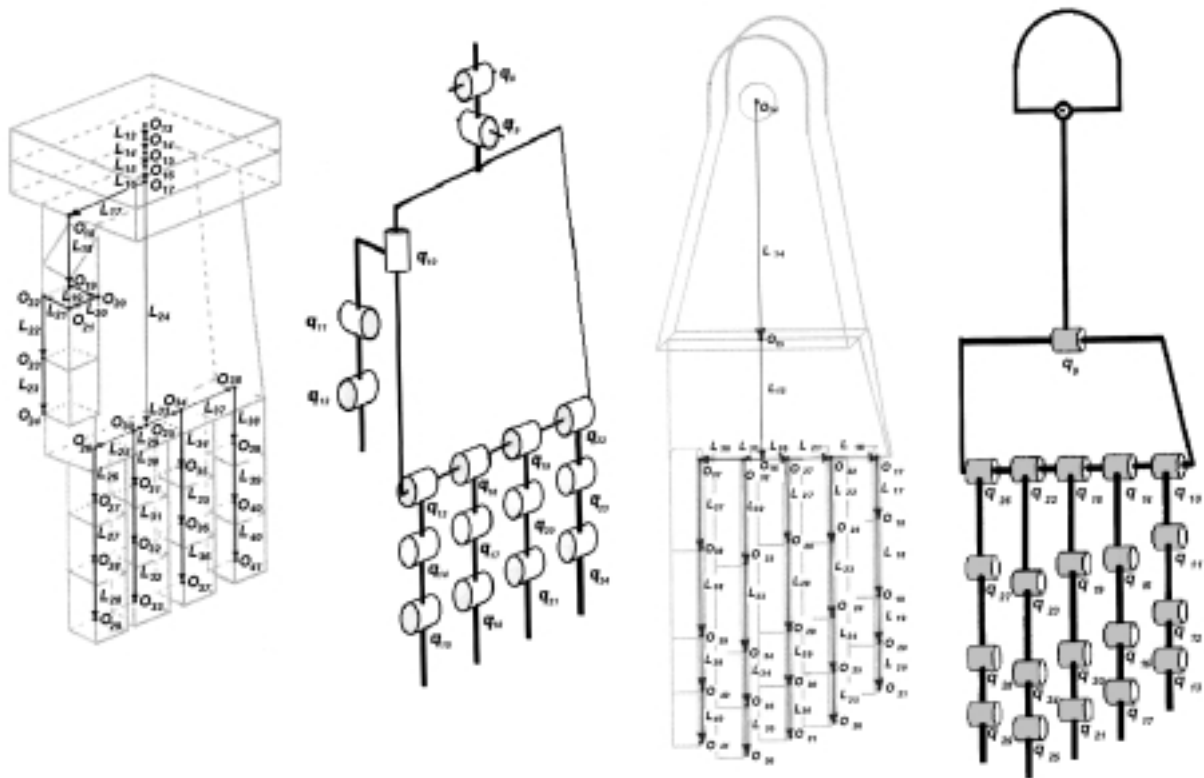


Figura 4 - Estrutura Cinemática Simplificada da mão e do pé Humano (ferramentas terminais):
 (a), (c) - Sistema de referenciais locais O_i e respectivos vetores L_i das Mãos e dos Pés;
 (b), (d) - Esboço Representativo das articulações Rotacionais q_i das Mãos e dos Pés.

4. IMPLEMENTAÇÃO EXPERIMENTAL

4.1 Simulação Computacional do Modelo Cinemático Completo

Aplicado o conceito das transformações homogêneas de rotação e translação, depois da definição do sistema de referenciais de cada articulação, os diferentes graus de liberdade do sistema articular são definidos através de seus sistemas de coordenadas. Deste modo a posição e orientação dos pontos da estrutura podem ser sistematicamente obtidos. A notação matricial utilizada permitirá ainda, o desenvolvimento de modelos numéricos para resolução do problema cinemático inverso.

Assim sendo, qualquer objeto no espaço de trabalho do braço pode ser relacionado, e a partir disto estabelecer uma lei de controle baseado no modelo cinemático que relacionará a posição e orientação espacial das extremidades dos elementos constituintes do manipulador.

As características inerciais do sistema bem como os esforços desenvolvidos na tarefa do acionamento das articulações poderão ser levadas em consideração num estudo dinâmico do complexo.

A partir das variáveis articulares é possível determinar o vetor posição e a matriz de orientação do sistema em relação ao referencial inercial fixo na base localizada no centro geométrico do corpo humano (Anexo 1).

Para simplificar a tarefa da confecção do programa computacional, foi usada a propriedade da simetria dos hemisférios esquerdo e direito, tendo como metodologia de modelagem o estabelecimento dos parâmetros do lado esquerdo, possibilitando assim a determinação dos parâmetros do lado direito. Alguns dos resultados da simulação são apresentados no Anexo 2.

4.2 Protótipo Experimental de um Dedo

Para a simulação real do sistema, foi desenvolvido em laboratório um protótipo de um dedo, considerando-se os movimentos de flexão e extensão (figura 4). O acionamento das juntas é feito através da utilização de motores CC sendo que a cada um foi acoplado um encoder. O sistema de transmissão é efetuado por cabos os quais desempenham função análoga a dos tendões de um sistema natural.

Este protótipo apresenta quatro graus de liberdade e neles foram desenvolvidos o modelo cinemático direto e inverso utilizando o Jacobiano para a inversão, ou seja, sabe-se do modelo geométrico direto, que uma transformação do espaço de juntas para o espaço cartesiano é dado, para pequenos deslocamentos, por:

$$\Delta X = J\Delta\theta \quad (4)$$

Quando se deseja obter os valores angulares correspondentes a uma determinada configuração do sistema articular, a relação usada é :

$$\Delta\theta = J^{-1}\Delta X \quad (5)$$

Portanto, a expressão final que fornece o valor das variáveis articulares é fornecido por:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta\theta \quad , \text{ onde } i = 3 \quad (6)$$

Todas as informações das variáveis descritas até então são fundamentais na implementação de geração de trajetória, cuja malha de controle correspondente é descrita na figura 5, sendo que a metodologia utilizada poderá ser aplicada no sistema completo descrito anteriormente.

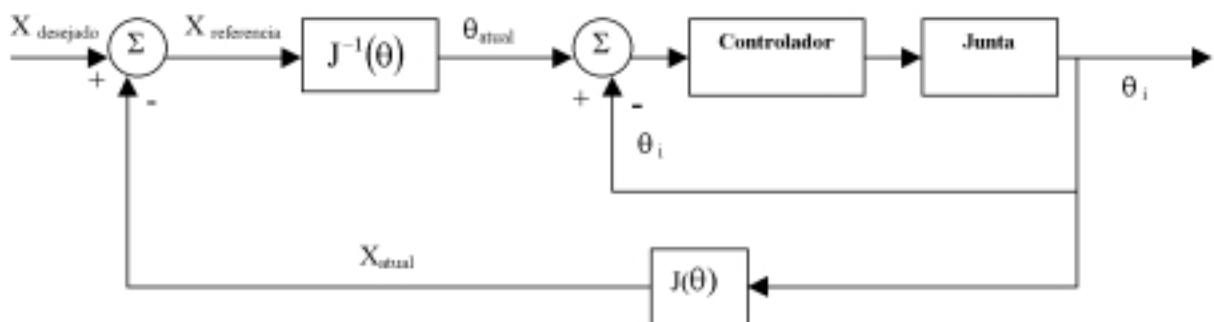


figura 5 - Malha de Controle de trajetória

Alguns dos resultados de simulação são apresentados no Anexo 3.

Pretende-se num trabalho futuro utilizar ligas metálicas de memória de forma tais como o SMA e o NITINOL para o acionamento das articulações, sendo que estes metais, a partir do estabelecimento de um fluxo de corrente elétrica controlável, alteram suas propriedades físicas, contraíndo-se devido ao efeito Joule e distendendo-se quando resfriados, gerando assim uma ordem de movimento análoga a de um sistema muscular excitado pelo sistema nervoso.



figura 6 – Apresentação da Planta e do Protótipo confeccionado

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi proposta uma metodologia de modelagem de Sistemas Biomecânicos usando conceitos de automação e robótica, sendo elaborados uma série de programas, os quais foram testados uma parte deles em um manipulador planar, análogo a um dedo indicador de uma mão humana, desenvolvido no Laboratório de Automação Integrada e Robótica da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

Como por próximas etapas a serem atingidas, será desenvolvido o estudo dinâmico dos esforços e torques exercidos para que se torne possível a implementação de um controlador inteligente inicialmente ao dedo, estendendo posteriormente a implementação ao modelo completo do sistema articular humano, visando a confecção de próteses comandadas pelo sistema nervoso do próprio paciente a partir dos sinais mioelétricos lidos dos eletrodos implantados nas terminações neurais do amputado.

Outra aplicação, relacionada aos membros inferiores, é ligada ao controle do algoritmo de estimulação mioelétrica da musculatura responsável pelo processo da caminhada, reabilitando portadores de plegias em geral em processos de fisioterapia.

6. REFERÊNCIAS

- Bekey A., Tomovic R., Zeljkovic I., 1990, Control architecture goes the Belgrade/USC hand, in *Dextrous Robot Hands*. S. T. Venkataraman and T. Iberall, Eds., pp. 136-149.
- Jacobsen C., Everson. E.K., Knutti E.F., Johnson T.T., Biggers K.B., 1986, Design of the Utah/MIT dextrous hand. In *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat.*, pp. 152-153.
- Lenarcic J., Umek A., 1994, Simple Model of Human Arm Reachable Workspace. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, VOL. 24, in the 8.
- Y. C. Tsai e A. H. Soni, 1981, Accessible Region and Synthesis of Robot Arms, *ASME J. Mechanical Design*, vol.103, pp. 803-811.
- Tsuneo Yoshikawa, Manipulability of Robotic Mechanisms, 1985, *The Int. J. Robotics Research*, vol. 4, pp. 3-9.

- H. Asada, 1983, "A Geometrical Representation of Manipulator Dynamics and its Application to Arm Design", ASME J. Dynamic System, Meas., Contr., vol.105, pp.131-142.
- K. Youcef Toumi e H. Asada, 1987, "The Design of Open-Loop Manipulator Arms with Decoupled and Configuration-Invariant Inertia Tensors", ASME J. Dynamic System, Meas., Contr., vol.109, pp. 268-275.
- Y. Lasach et al, 1992, "on the evaluation of a multifunctional prosthesis, 7th World Congress of the Int. Soc. Of Prosthesis And ortheses, Chicago, pp.185.
- There and C. Engler, 1991, "System description document goes the Anthrobot - 2: The dexterous robot hand. NASA Tech. Memo. 104535. Sea.

Anexo 1. Matrizes de Transformação Homogêneas (Rotação) dos Membros Superior e Inferior (Lado Esquerdo)

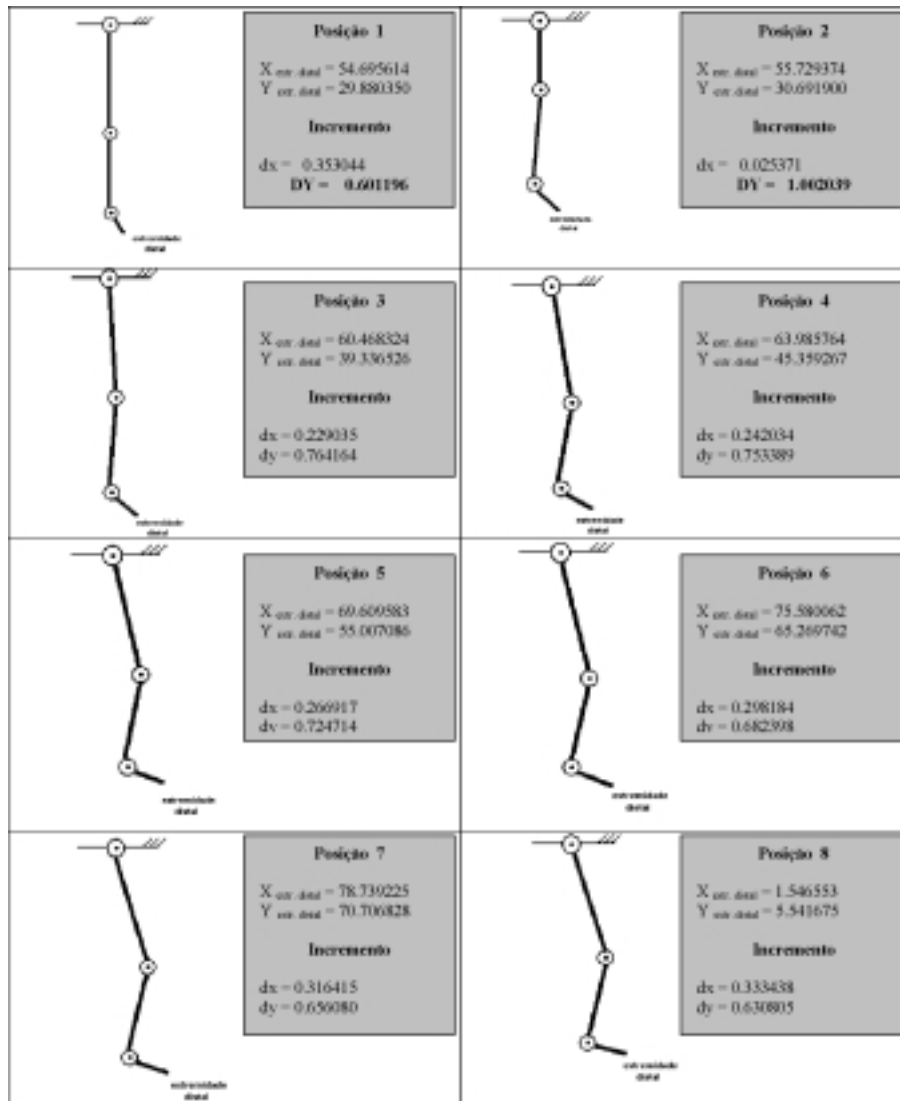
$$\begin{aligned}
 R_z(1) &= \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & R_x(2) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_2 & -S_2 \\ 0 & S_2 & C_2 \end{bmatrix} & R_x(3) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_3 & -S_3 \\ 0 & S_3 & C_3 \end{bmatrix} & R_y(4) &= \begin{bmatrix} C_4 & 0 & S_4 \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_4 & 0 & C_4 \end{bmatrix} & R_z(5) &= \begin{bmatrix} C_5 & -S_5 & 0 \\ S_5 & C_5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 R_y(6) &= \begin{bmatrix} C_6 & 0 & S_6 \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_6 & 0 & C_6 \end{bmatrix} & R_z(7) &= \begin{bmatrix} C_7 & -S_7 & 0 \\ S_7 & C_7 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & R_x(8) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_8 & -S_8 \\ 0 & S_8 & C_8 \end{bmatrix} & R_y(9) &= \begin{bmatrix} C_9 & 0 & S_9 \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_9 & 0 & C_9 \end{bmatrix} & R_z(10) &= \begin{bmatrix} C_{10} & -S_{10} & 0 \\ S_{10} & C_{10} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 R_y(11) &= \begin{bmatrix} C_{11} & 0 & S_{11} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{11} & 0 & C_{11} \end{bmatrix} & R_x(12) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{12} & -S_{12} \\ 0 & S_{12} & C_{12} \end{bmatrix} & R_x(13) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{13} & -S_{13} \\ 0 & S_{13} & C_{13} \end{bmatrix} & R_x(14) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{14} & -S_{14} \\ 0 & S_{14} & C_{14} \end{bmatrix} & R_x(15) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{15} & -S_{15} \\ 0 & S_{15} & C_{15} \end{bmatrix} \\
 R_x(16) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{16} & -S_{16} \\ 0 & S_{16} & C_{16} \end{bmatrix} & R_x(17) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{17} & -S_{17} \\ 0 & S_{17} & C_{17} \end{bmatrix} & R_x(18) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{18} & -S_{18} \\ 0 & S_{18} & C_{18} \end{bmatrix} & R_x(19) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{19} & -S_{19} \\ 0 & S_{19} & C_{19} \end{bmatrix} & R_x(20) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{20} & -S_{20} \\ 0 & S_{20} & C_{20} \end{bmatrix} \\
 R_x(21) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{21} & -S_{21} \\ 0 & S_{21} & C_{21} \end{bmatrix} & R_x(22) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{22} & -S_{22} \\ 0 & S_{22} & C_{22} \end{bmatrix} & R_x(23) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{23} & -S_{23} \\ 0 & S_{23} & C_{23} \end{bmatrix} & R_x(24) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{24} & -S_{24} \\ 0 & S_{24} & C_{24} \end{bmatrix} & R_x(31) &= \begin{bmatrix} C_{31} & -S_{31} & 0 \\ S_{31} & C_{31} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 R_x(32) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{32} & -S_{32} \\ 0 & S_{32} & C_{32} \end{bmatrix} & R_y(33) &= \begin{bmatrix} C_{33} & 0 & S_{33} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{33} & 0 & C_{33} \end{bmatrix} & R_x(34) &= \begin{bmatrix} C_{34} & -S_{34} & 0 \\ S_{34} & C_{34} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & R_y(35) &= \begin{bmatrix} C_{35} & 0 & S_{35} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{35} & 0 & C_{35} \end{bmatrix} & R_z(36) &= \begin{bmatrix} C_{36} & -S_{36} & 0 \\ S_{36} & C_{36} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 R_y(37) &= \begin{bmatrix} C_{37} & 0 & S_{37} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{37} & 0 & C_{37} \end{bmatrix} & R_x(38) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{38} & -S_{38} \\ 0 & S_{38} & C_{38} \end{bmatrix} & R_y(39) &= \begin{bmatrix} C_{39} & 0 & S_{39} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{39} & 0 & C_{39} \end{bmatrix} & R_y(40) &= \begin{bmatrix} C_{40} & 0 & S_{40} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{40} & 0 & C_{40} \end{bmatrix} & R_y(41) &= \begin{bmatrix} C_{41} & 0 & S_{41} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{41} & 0 & C_{41} \end{bmatrix} \\
 R_y(42) &= \begin{bmatrix} C_{42} & 0 & S_{42} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{42} & 0 & C_{42} \end{bmatrix} & R_y(43) &= \begin{bmatrix} C_{43} & 0 & S_{43} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{43} & 0 & C_{43} \end{bmatrix} & R_y(44) &= \begin{bmatrix} C_{44} & 0 & S_{44} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{44} & 0 & C_{44} \end{bmatrix} & R_y(45) &= \begin{bmatrix} C_{45} & 0 & S_{45} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{45} & 0 & C_{45} \end{bmatrix} & R_y(46) &= \begin{bmatrix} C_{46} & 0 & S_{46} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{46} & 0 & C_{46} \end{bmatrix} \\
 R_x(47) &= \begin{bmatrix} C_{47} & 0 & S_{47} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{47} & 0 & C_{47} \end{bmatrix} & R_y(48) &= \begin{bmatrix} C_{48} & 0 & S_{48} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{48} & 0 & C_{48} \end{bmatrix} & R_y(49) &= \begin{bmatrix} C_{49} & 0 & S_{49} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{49} & 0 & C_{49} \end{bmatrix} & R_y(50) &= \begin{bmatrix} C_{50} & 0 & S_{50} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{50} & 0 & C_{50} \end{bmatrix} & R_y(51) &= \begin{bmatrix} C_{51} & 0 & S_{51} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{51} & 0 & C_{51} \end{bmatrix} \\
 R_y(52) &= \begin{bmatrix} C_{52} & 0 & S_{52} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{52} & 0 & C_{52} \end{bmatrix} & R_y(53) &= \begin{bmatrix} C_{53} & 0 & S_{53} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{53} & 0 & C_{53} \end{bmatrix} & R_y(54) &= \begin{bmatrix} C_{54} & 0 & S_{54} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{54} & 0 & C_{54} \end{bmatrix} & R_y(55) &= \begin{bmatrix} C_{55} & 0 & S_{55} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{55} & 0 & C_{55} \end{bmatrix} & R_y(56) &= \begin{bmatrix} C_{56} & 0 & S_{56} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{56} & 0 & C_{56} \end{bmatrix} \\
 R_y(57) &= \begin{bmatrix} C_{57} & 0 & S_{57} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{57} & 0 & C_{57} \end{bmatrix} & R_y(58) &= \begin{bmatrix} C_{58} & 0 & S_{58} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{58} & 0 & C_{58} \end{bmatrix} & R_y(59) &= \begin{bmatrix} C_{59} & 0 & S_{59} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{59} & 0 & C_{59} \end{bmatrix} & & & &
 \end{aligned}$$

Anexo 2. Alguns Resultados de Simulação

BRAÇO ESQUERDO – PULSO			BRAÇO DIREITO – PULSO		
CONFIGURAÇÃO ATUAL (EM GRAUS)			CONFIGURAÇÃO ATUAL (EM GRAUS)		
tet (1) = 0			tet (31) = 0		
tet (2) = 0			tet (32) = 0		
tet (3) = 0			tet (33) = 0		
tet (4) = 0			tet (34) = 0		
tet (5) = 0			tet (35) = 0		
tet (6) = 155			tet (36) = 155		
tet (7) = 0			tet (37) = 0		
tet (8) = 0			tet (38) = 0		
tet (9) = 0			tet (39) = 0		
DESCRICAÇÃO DAS POSIÇÕES			DESCRICAÇÃO DAS POSIÇÕES		
Ox(0) = 0	Oy(0) = 0	Oz(0) = 0	Ox(50) = 0	Oy(50) = 0	Oz(50) = 0
Ox(1) = 0	Oy(1) = 0	Oz(1) = 0	Ox(51) = 0	Oy(51) = 0	Oz(51) = 0
Ox(2) = 5	Oy(2) = 0	Oz(2) = 0	Ox(52) = 5	Oy(52) = 0	Oz(52) = 0
Ox(3) = 5	Oy(3) = 3	Oz(3) = 0	Ox(53) = 5	Oy(53) = -3	Oz(53) = 0
Ox(4) = 5	Oy(4) = 3	Oz(4) = 60	Ox(54) = 5	Oy(54) = -3	Oz(54) = 60
Ox(5) = -67	Oy(5) = 3	Oz(5) = 60	Ox(55) = -67	Oy(55) = -3	Oz(55) = 60
Ox(6) = -67	Oy(6) = 158	Oz(6) = 60	Ox(56) = -67	Oy(56) = -158	Oz(56) = 60
Ox(7) = 5	Oy(7) = 158	Oz(7) = 60	Ox(57) = 5	Oy(57) = -158	Oz(57) = 60
Ox(8) = 5	Oy(8) = 198	Oz(8) = 60	Ox(58) = 5	Oy(58) = -158	Oz(58) = 60
Ox(9) = 5	Oy(9) = 198	Oz(9) = -8	Ox(59) = 5	Oy(59) = -158	Oz(59) = -8
Ox(10) = 5	Oy(10) = 158	Oz(10) = -8	Ox(60) = 5	Oy(60) = -118	Oz(60) = -8
Ox(11) = 5	Oy(11) = 158	Oz(11) = -294	Ox(61) = 5	Oy(61) = -118	Oz(61) = -294
Ox(12) = -37.26183	Oy(12) = 158	Oz(12) = -203.3692	Ox(62) = -37.26183	Oy(62) = -118	Oz(62) = -203.3692
Ox(13) = -99.80935	Oy(13) = 158	Oz(13) = -69.23567	Ox(63) = -99.80935	Oy(63) = -118	Oz(63) = -69.23567
Ox(14) = -101.9224	Oy(14) = 158	Oz(14) = -64.70413	Ox(64) = -101.9224	Oy(64) = -118	Oz(64) = -64.70413
Ox(15) = -104.0355	Oy(15) = 158	Oz(15) = -60.17259	Ox(65) = -104.0355	Oy(65) = -118	Oz(65) = -60.17259
Ox(16) = -106.1486	Oy(16) = 158	Oz(16) = -55.64105	Ox(66) = -106.1486	Oy(66) = -118	Oz(66) = -55.64105
Ox(17) = -108.2617	Oy(17) = 158	Oz(17) = -51.10951	Ox(67) = -108.2617	Oy(67) = -118	Oz(67) = -51.10951
POSICAO FINAL			POSICAO FINAL		
Ox(17) = -108.2617	Oy(17) = 158	Oz(17) = -51.10951	Ox(67) = -108.2617	Oy(67) = -118	Oz(67) = -51.10951
MATRIZ DE ORIENTACAO FINAL			MATRIZ DE ORIENTACAO FINAL		
Nx = -.9063078	Sx = 0	Ax = .4226183	Nx = -.9063078	Sx = 0	Ax = .4226183
Ny = 0	Sy = 0	Ay = 0	Ny = 0	Sy = 1	Ay = 0
Nz = -.4226183	Sz = 0	Az = -.9063078	Nz = -.4226183	Sz = 0	Az = -.9063078

PERNA ESQUERDA - JUNTA INTERNA AO TORNOZELO			PERNA DIREITA - JUNTA INTERNA AO TORNOZELO		
CONFIGURAÇÃO ATUAL (EM GRAUS)			CONFIGURAÇÃO ATUAL (EM GRAUS)		
tet (1) = 0			tet (31) = 0		
tet (2) = 0			tet (32) = 0		
tet (3) = 0			tet (33) = 0		
tet (4) = 0			tet (34) = 0		
tet (5) = 0			tet (35) = 0		
tet (6) = 0			tet (36) = 0		
tet (7) = 0			tet (37) = 0		
tet (8) = 0			tet (38) = 0		
tet (9) = 0			tet (39) = 10		
DESCRICAÇÃO DAS POSIÇÕES			DESCRICAÇÃO DAS POSIÇÕES		
Ox(0) = 0	Oy(0) = 0	Oz(0) = 0	Ox(50) = 0	Oy(50) = 0	Oz(50) = 0
Ox(1) = 0	Oy(1) = 0	Oz(1) = 0	Ox(51) = 0	Oy(51) = 0	Oz(51) = 0
Ox(2) = 0	Oy(2) = 162.5	Oz(2) = 0	Ox(52) = 0	Oy(52) = -162.5	Oz(52) = 0
Ox(3) = 80	Oy(3) = 162.5	Oz(3) = 0	Ox(53) = 80	Oy(53) = -162.5	Oz(53) = 0
Ox(4) = 80	Oy(4) = 162.5	Oz(4) = -60	Ox(54) = 80	Oy(54) = -162.5	Oz(54) = -60
Ox(5) = 40	Oy(5) = 162.5	Oz(5) = -60	Ox(55) = 40	Oy(55) = -162.5	Oz(55) = -60
Ox(6) = 40	Oy(6) = 187.5	Oz(6) = -60	Ox(56) = 40	Oy(56) = -187.5	Oz(56) = -60
Ox(7) = 40	Oy(7) = 187.5	Oz(7) = -125	Ox(57) = 40	Oy(57) = -187.5	Oz(57) = -125
Ox(8) = 40	Oy(8) = 162.5	Oz(8) = -125	Ox(58) = 40	Oy(58) = -162.5	Oz(58) = -125
Ox(9) = 40	Oy(9) = 162.5	Oz(9) = -135	Ox(59) = 40	Oy(59) = -162.5	Oz(59) = -135
Ox(10) = 40	Oy(10) = 162.5	Oz(10) = -467.5	Ox(60) = 40	Oy(60) = -162.5	Oz(60) = -467.5
Ox(11) = 40	Oy(11) = 162.5	Oz(11) = -643	Ox(61) = 40	Oy(61) = -162.5	Oz(61) = -643
Ox(12) = 40	Oy(12) = 162.5	Oz(12) = -828.5	Ox(62) = 40	Oy(62) = -162.5	Oz(62) = -828.5
Ox(13) = 40	Oy(13) = 162.5	Oz(13) = -833.5	Ox(63) = 40	Oy(63) = -162.5	Oz(63) = -833.5
Ox(14) = 40	Oy(14) = 162.5	Oz(14) = -838.5	Ox(64) = 40	Oy(64) = -162.5	Oz(64) = -838.5
Ox(15) = 116	Oy(15) = 162.5	Oz(15) = -838.5	Ox(65) = 116	Oy(65) = -162.5	Oz(65) = -838.5
POSICAO FINAL			POSICAO FINAL		
Ox(15) = 116	Oy(15) = 162.5	Oz(15) = -838.5	Ox(65) = 116	Oy(65) = -162.5	Oz(65) = -838.5
MATRIZ DE ORIENTACAO FINAL			MATRIZ DE ORIENTACAO FINAL		
Nx = .9848077	Sx = 0	Ax = .1736482	Nx = .9848077	Sx = 0	Ax = .1736482
Ny = 0	Sy = 1	Ay = 0	Ny = 0	Sy = 1	Ay = 0
Nz = -.1736482	Sz = 0	Az = .9848077	Nz = -.1736482	Sz = 0	Az = .9848077

Anexo 3. Sequência de posições de uma trajetória gerada para o dedo.



MODELING, SIMULATION AND IMPLEMENTATION OF A ANTROPOMORPHIC MANIPULATOR

Abstract: *The technological evolution of orthoses and prostheses addressed the multidisciplinary research works development in the Automation and Robotics area, mainly in the task of arms and artificial legs project. In this work, being taken in consideration anatomical, physiologic aspects and cinesiologic of superior and inferior members of the human body, the kinematics model similar to the natural mechanism was developed, which is the base so much of the artificial system project, as well as in the parameterization of neural myoelectric control. Starting from the methodology of the generated kinematics model, computational programs was elaborated with the purpose of reproducing and managing the space displacement of the articulate system. To validate the developed algorithm, was elaborated a finger articulate system prototype in which was implemented and tested part of the developed methodology.*

Key Words: *Robotics, Prostheses, biomechanic, automation*