

Nome

Prof. Dr. Arturo Forner Cordero

Título do projeto

MODELAGEM DO SISTEMA DE CONTROLE MOTOR BIOLÓGICO A PARTIR DA ENGENHARIA.

Período

1 Julho 2019 – 31 Maio 2020

Resumo

A pergunta geral que direciona este projeto de pesquisa é: como planeja, codifica e controla o movimento nosso sistema nervoso?

Neste contexto trata-se de esclarecer os princípios do controle motor e propor modelos de controle que considerem os aspectos importantes do movimento biológico, como: a variabilidade, aprendizado, adaptabilidade e a robustez. Parte destas características emergem da estrutura do sistema neuromuscular, como a compatibilidade entre uma organização hierarquia junto a uma autonomia dos sistemas. Desta maneira, respostas rápidas podem ser iniciadas rapidamente em níveis inferiores. Um outro aspecto interessante é a capacidade de formar modelos do ambiente e prever as consequências sensoriais de cada ação motora permitindo um controle pré-alimentado (feedforward).

O controle do movimento biológico foi estudado desde os pontos de vista da biologia, medicina e psicologia, que junto com a incorporação dois enfoques matemáticos e de engenharia, permitiram grandes avanços neste campo. Entretanto, os modelos atuais de controle motor ainda apresentam algumas limitações, tanto na capacidade para explicar os fenômenos biológicos, como nas possíveis aplicações em robótica ou reabilitação. Este trabalho teria aplicações em diferentes disciplinas:

1. Aplicações médicas: modelos de controle motor podem ajudar na avaliação, diagnóstico e predição (prognosis) da evolução das doenças neuromusculares e permitem a escolha de terapias mais eficientes. Neste contexto apareceram os efeitos da privação de sono crônica sobre o controle motor.
2. Aplicações em engenharia de controle e robótica baseados no design biomimético que incorporem a robustez e a adaptabilidade do controle motor biológico.
3. Robótica de reabilitação e otimização mecanismos auxiliares de assistência para portadores de deficiência.

Áreas do conhecimento

Mecatrónica, Neurociências, Robótica e Ciências do Sono

Objetivos

O objetivo fundamental desta linha de pesquisa é esclarecer os princípios de controle motor e propor modelos de controle desde a perspectiva da engenharia. Esses modelos de controle motor têm duas funções:

- Explicar o controle motor biológico e ajudar a esclarecer os aspectos como aprendizado, o desempenho em função do ritmo circadiano, a reabilitação de patologias neuromotoras ou a privação de sono crônica.
- Desenvolvimento de paradigmas de controle biomiméticos.

O movimento biológico tem várias características como: variabilidade, adaptabilidade ou robustez. Um aspecto muito interessante é a capacidade de criar modelos do ambiente e prever as consequências sensoriais de cada ação motora. Os objetivos parciais deste projeto são:

1. Aplicação de dispositivos para exploração neuromuscular e motora:

- a. Exoesqueletos de membro superior (fig,1)
- b. Exoesqueletos de membro inferior
- c. Biofeedback devices
- d. Biomimetic devices



Figura 1. Setup experimental de tarefas motoras com o exoesqueleto de membro superior de 1 grau de liberdade (gdl).

2. Caracterização experimental das respostas frente a perturbações do movimento, estudando os geradores centrais de padrões no controle do movimento cíclico multi-articular e estabelecendo o papel dos modelos internos.

3. Modelado do sistema de controle motor integrando modelos propostos previamente na literatura com os resultados experimentais obtidos. Por exemplo, aplicando o conceito dos modelos internos em diferentes níveis do sistema de controle motor. Desta maneira serão desenvolvidos modelos que considerem o comportamento motor, a dinâmica do corpo, a fusão multisensorial e o controle neural destes sistemas. Os modelos contem:

- a. Modelo de segmentos mecânicos com atuadores ideais nas articulações. Neste modelo as relações entre atuadores podem simular músculos biarticulares e reflexos.
- b. Modelo de controle neural incluindo reflexos (latência curta e larga), CPG e um controlador neural de mais alto nível. Baseado em trabalhos anteriores de controle motor usando modelos internos e teoria de controle ótimo, se estudará o problema de controle motor desde uma perspectiva de neurociência computacional.

4. Simulação e validação dos modelos propostos que precisará da realização de experimentos, incluindo ensaios com pacientes neurológicos em uma futura colaboração com hospitais. As combinações dos modelos físicos e de controle, junto com dados experimentais, serão utilizadas para identificar a sensibilidade do desempenho motor com em relação as entradas sensoriais e os mecanismos de fusão sensorial. O modelo servirá para determinar as funções objetivo utilizadas pelo sistema de controle motor para realizar movimentos estáveis e adaptáveis.

5. Desenvolvimento das aplicações destes modelos para:

- a. Diagnósticos e prognósticos: Avaliação de doenças neuromotoras e das situações de privação de sono aguda e crônica.
- b. Robótica de reabilitação: Controle de órteses e exoesqueletos robóticos usando os paradigmas de controle motor biológico.
- c. Robótica em geral.

Justificativa (escopo acadêmico e científico)

O estudo do controle motor tem importância em duas frentes. Por um lado, os mecanismos de controle motor biológico são de utilidade para o desenvolvimento de sistemas robóticos bioinspirados. Por outro lado, a compreensão dos mecanismos neuronais que controlam o movimento, fornece uma referência objetiva para o estudo dos processos mentais.

Neste contexto, a capacidade de criar modelos internos de controle está relacionada tanto com o controle motor como com o estudo dos processos mentais. A influência do sono e seus distúrbios, mesmo sendo conhecida a sua influência no controle motor, o estudo científico da relação entre privação de sono crônica ou o social jetlag, e a postura (Furtado et al, 2016; Umemura et al, 2018) ou outras tarefas motoras (Umemura et al, 2017) não tem recebido suficiente atenção da comunidade científica.

Razões para desenvolver o projeto no IEA

Consolidar uma linha de pesquisa multidisciplinar que envolve aspectos da engenharia desde uma perspectiva centrada no ser humano. Isto é voltando a engenharia às origens da mesma.

A relevância deste projeto tem vários aspectos, tanto científicos, tecnológicos como de inovação, resultando em colaborações multidisciplinares e uma produção que envolve não só publicações, mas também patentes e apoio na criação de start-ups de base tecnológica.

Desenvolvimento científico

Os modelos de controle motor tentam contribuir para a compreensão dos mecanismos de controle de membros superiores e inferiores, os quais compartilhando um substrato neural similar tem requisitos e desempenhos diferentes. Outro aspecto importante é o estudo do aprendizado de tarefas motoras. O efeito da privação de sono crônica sobre o controle motor e o aprendizado não tem sido muito estudado e temos realizado um trabalho pioneiro neste campo (Furtado et al, 2016; Umemura et al, 2017; Umemura et al, 2018; Forner-Cordero et al., in press).

O desenvolvimento de exoesqueletos de membros superiores e inferiores não se limitou a seguir os passos dos muitos exoesqueletos presentes na literatura, mas foi iniciado um procedimento original para levar a cabo este desenvolvimento. Foi proposta uma nova metodologia de projeto de exoesqueletos com uma arquitetura modular. Dita modularidade, que foi imposta pelos problemas orçamentários e os problemas na importação de elementos chave da fabricação de exoesqueletos, virou uma oportunidade. Este trabalho em andamento já foi apresentado no congresso de IEEE BioRob 2016 (Souit et al, 2016; Souza et al, 2016). Cabe mencionar que um destes trabalhos foi finalista do prêmio ao melhor pôster do congresso (Souit et al, 2016).

Outro aspecto do desenvolvimento tecnológico vem dado pela compreensão dos mecanismos biológicos de controle motor, em particular das técnicas de redução do consumo energético baseadas em aproveitar a dinâmica do movimento. Este comportamento é empregado no controle da caminhada onde os músculos são ativados e desativados dependendo da fase. Inspirados neste comportamento foram projetados e fabricados dois mecanismos que acoplavam e desacoplavam seletivamente um motor e uma mola da perna de um exoesqueleto. Estes dois mecanismos já foram patenteados. Um outro desenvolvimento tecnológico será o BMI multimodal não invasivo baseado em EEG e outros sinais fisiológicos que serão interpretados com a ajuda de um modelo do controle motor.

Inovação:

Avaliação da privação de sono crônica e novos sistemas de avaliação portátil ambulatória.

Novas técnicas de avaliação da reabilitação baseadas na tecnologia desenvolvida.

Potencial de interdisciplinaridade

A pesquisa combina as aproximações tanto teórica como experimental abarcando diferentes campos científicos como a neurofisiologia, biomecânica, a teoria de controle, a engenharia mecânica, ciências do sono ou a cibernética, que estuda as analogias entre os sistemas de controle e comunicação dos seres vivos e as máquinas, em particular, as aplicações tecnológicas dos mecanismos de regulação biológica. Por tanto, as áreas de trabalho envolvem a Biomecatrônica e a Biorrobótica, e dentro da Engenharia Biomédica a parte mais relacionada com o estudo do movimento humano como a Biomecânica. Também deve considerar-se a Robótica que é uma área de trabalho multidisciplinar dentro das Engenharias pois envolve Mecânica, Eletrônica, Controle e Computação. Além disso, fora das Engenharias, este trabalho tem relações como estudo das Neurociências, a Reabilitação e as Ciências do Movimento. Por isso, o requerente participa de dois programas de Pós-graduação, o de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP, e o programa em Neurociência e Comportamento do Instituto de Psicologia da USP.

Impactos científicos e sociais

Este plano de pesquisa tem como objetivo consolidar a agenda de pesquisa em Biomecatrônica, Biorrobótica e modelagem do controle motor dentro do Laboratório de Biomecatrônica do Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da EPUSP como referente internacional no campo da Biomecatrônica.

Os resultados esperados:

- Publicações científicas (submetidas)
- Patentes (em preparação)
- Formação de Recursos Humanos: Doutorado e Mestrado.
- Inovação: Apoio à criação de spin-off pelos alunos do Laboratório.

Metodologia

Em primeiro lugar precisa-se desenvolver vários dispositivos para complementar e suportar esta pesquisa, tanto para realizar os experimentos, como para testar os modelos de controle.

A metodologia teórica e experimental se aplicará iterativamente. Sobre a parte teórica, se tratará de integrar o conceito de modelos internos de controle motor, que consistem em processos neuronais que replicam as propriedades dinâmicas do corpo e do entorno, com uma estrutura fisiológica, os geradores de padrões (CPG). É possível que os CPGs tenham um papel como “modelos internos locais” que está ainda por determinar. Estas ideias podem se aplicar diretamente à análise da marcha humana e à análise do movimento cíclico dos braços. A aproximação experimental consistirá em aplicar perturbações que alterem as condições do movimento. Essas perturbações desencadearão uma série de ações de resposta que podem ser medidas e quantificadas em variáveis biomecânicas, de atividade muscular (eletromiografia, EMG) e inclusive de atividades cerebrais elétrica e hemodinâmica (eletroencefalográfica, EEG e espectroscopia funcional de infravermelho próximo, fNIRS), respectivamente). As respostas dependerão da realimentação sensorial da estrutura de controle motor e da capacidade de adaptação às novas condições. Para a análise dos dados se utilizarão as técnicas baseadas em métodos biomecânicos, modelos biomecânicos inversos, análise energética e estatística como a análise de componentes principais (PCA) ou independentes (ICA). Ao respeito do modelo

Plano de trabalho a ser executado pelo pesquisador

Divide-se o projeto em vários módulos de trabalho que precisam desenvolvimentos científicos e tecnológicos assim como experimentos, modelos e simulações.

Revisão bibliográfica

O estudo do controle motor biológico foi tradicionalmente dividido em grupos arbitrários como são as diferentes ações motoras executadas pelos membros superiores ou pelos membros inferiores. O objeto de estudo dos movimentos do membro superior são os movimentos de alcance (*reaching*), tarefas cíclicas, tarefas de intercepção ou de coincidência temporal (*coincident timing*).

O estudo do controle da marcha (*gait*) e a postura de estar em pé (*stance*) são outras tarefas motoras amplamente estudadas que inicialmente focavam nos membros inferiores, mas que posteriormente consideraram a influência dos membros superiores. Por exemplo, foi demonstrado que os movimentos cíclicos dos braços afetam a postura (Forner-Cordero et al., 2007). Os modelos existentes do controle da marcha e estar em pé são ainda muito limitados e os modelos

desenvolvidos para os movimentos do braço funcionam bem só baixo circunstâncias muito concretas.

Um fator adicional que não foi suficientemente estudado é como a privação de sono pode alterar o controle de caminhada e a realização de tarefas de intercepção com os braços ou de timing coincidente.

Desenvolvimento de equipamento de medida e experimentos.

O começo da linha da pesquisa precisa da aquisição e desenvolvimento de equipes para medir o movimento, aplicar perturbações, registrar variáveis electrofisiológicas e aplicar realimentação sensorial.

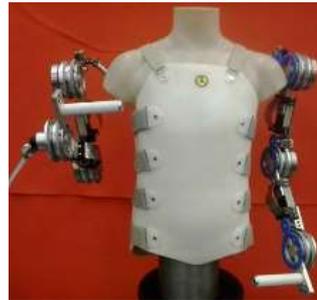


Figura 2. Protótipo de exoesqueletos de membro superior de um e três graus de liberdade desenvolvidos no Laboratório de Biomecatrônica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Estas ferramentas de estudo do sistema de controle motor humano, baseadas em exoesqueletos de membro superior e inferior junto com outros sensores e dispositivos de realimentação sensorial serão desenvolvidos para incorporar novas condições experimentais:

- 1) medida biomecânica (cinemática e cinética), bioelétrica (EEG, EMG) e hemodinâmica cortical (functional Near Infrared Spectroscopy, -fNIRS-);
- 2) atuação por meio de exoesqueletos robóticos para aplicar determinadas forças sobre as articulações de membro superior (punho, cotovelo, ombro), e inferior (quadril, joelho, tornozelo);
- 3) estimulação não invasiva elétrica ou mecânica (vibração do tendão);
- 4) sincronização dos dispositivos de estimulação sensorial e de aplicação de cargas.

As tarefas deste módulo são:

- a. Revisão de modelos de controle motor
- b. Definição de especificações e requerimentos
- c. Projeto e construção dos módulos de medida, atuação e estimulação.
- d. Testes e validação.

O suporte desta linha de trabalho em andamento está sendo realizado por meio de três projetos de pesquisa mais específicos:

1. Projeto de estudo do controle do membro superior. Baseado na bancada experimental desenvolvida com auxílio do projeto FAPESP: “Estudo do controle motor do membro superior. Fase 1 - Desenvolvimento de um exoesqueleto robótico biomimético”, estão sendo realizados estudos sobre o controle e aprendizado motor de uma tarefa de timing coincidente com o cotovelo (Quadrado et al, 2014; Umemura et al, 2017; Forner-Cordero et al, 2018). Com o funcionamento da bancada experimental, espera-se obter informações sobre diferentes níveis de controle para o sistema motor humano como a modulação dos reflexos e a integração das informações sensoriais realizada pelo modelo interno e a influência da restrição de sono no desempenho motor. O desafio científico do projeto consiste em determinar e validar uma arquitetura de controle do sistema motor que seja biologicamente plausível, voltado à realização de tarefas de alcance (deslocamento) com o membro superior. Nesta fase do projeto estão sendo realizadas experiências para a identificação do controle motor de pessoas saudáveis e servirão para no futuro para estudar estudos de compensação funcional com portadores de deficiências motoras. Para isso, o desenvolvimento do modelo de controle será fundamentado em experiências de perturbações físicas (torques nas articulações) e sensoriais (vibrações no tendão) relacionadas aos movimentos de alcance, objetivando medir ângulos articulares e forças de interação do braço junto ao sinal de EMG. A figura 2 mostra os protótipos já desenvolvidos no projeto (Miranda et al., 2012; 2015). Os resultados preliminares desta linha de pesquisa têm duas vertentes. Por um lado, desenvolvimento tecnológico sobre uma metodologia formal de projeto de exoesqueletos (Souza et al, 2016). Por outro lado, resultados experimentais em tarefas de timing coincidente com o braço (Quadrado et al, 2014; Forner-Cordero et al, 2018).

2. Projeto de estudo do controle do membro inferior. Os projetos do CNPq “Análise biomecânica da função do joelho e tornozelo durante o andar” e “Exoesqueleto de Tronco e Membros Inferiores para Caminhada Autônoma Estável (ETMICAÉ)” buscam aprimorar o entendimento sobre como o sistema nervoso planeja, codifica e controla o movimento do corpo humano e aproveitar este conhecimento para desenvolver um exoesqueleto que seja de utilidade para pacientes com distúrbios da marcha. Dentro desta linha de pesquisa propõe-se em uma primeira etapa o desenvolvimento de um dispositivo (exoesqueleto) robótico e a integração com um laboratório de análise de movimento para a realização de experimentos de controle motor. O objetivo científico do primeiro projeto consiste em identificar, mediante perturbações, os mecanismos de controle da marcha humana. Isto requer analisar a função do joelho e do tornozelo durante a caminhada, com as diferentes reações frente a perturbações ou alterações da impedância articular (Souit et al, 2016). Isto envolve duas questões: a) do ponto de vista da engenharia de controle pretende-se identificar se o controle do joelho e tornozelo é um controle de posição, de forças ou de impedância; b) do ponto de vista clínico o objetivo é avaliar as estratégias de compensação das perturbações em pessoas saudáveis e os padrões de aprendizagem que possam ser aplicados na reabilitação de pessoas com deficiência.

O projeto ETMICAÉ, desenvolvido em colaboração com a Rede Lucy Montoro está aproveitando o conhecimento gerado sobre o controle de caminhada e a estabilidade para o desenvolvimento de um exoesqueleto de tronco e membros inferiores que permita a deambulação de pacientes

com a ajuda de só uma muleta, pois até o momento os dispositivos disponíveis no mercado (BLEEX, Rewalk) precisam de duas muletas para ajudar a caminhar ao paciente.

3. Projeto de Interface Cérebro-Máquina (ICM) não invasiva baseada em EEG/fNIRS para controle de exoesqueleto robótico articulado (financiado pela Office of Naval Research Global, USA). O objetivo primário desse projeto é a obtenção de modelo para um sistema de reconhecimento de padrões que, a partir de um conjunto determinado de sinais provenientes da atividade cerebral, na circunstância em que o indivíduo esteja sob a influência de determinados estímulos externos e/ou desenvolva intenções de movimento, permita a tradução de tais sinais em parâmetros de controle para um exoesqueleto robótico articulado com um grau de liberdade, mais especificamente na posição angular e no nível da velocidade angular (lento ou rápido). Para a redução de artefatos e de ruídos originados externamente ao cérebro, como ruídos de equipamentos ou atividades fisiológicas, e para a extração das informações desejadas decorrentes da atividade cerebral, serão avaliadas e comparadas diversas técnicas de processamento de sinais, extração de dados, identificação e classificação de padrões, com o objetivo realizar a escolha adequada de uma técnica, especificamente, ou da combinação de algumas delas. Observa-se que técnicas como a análise de Fourier, filtros Bayesianos (filtros de Kalman), análise de componentes principais e de padrões espaciais comuns apresentam potencial aplicabilidade para ICMs baseadas em EEG e serão, conseqüentemente, estudadas.

Adicionalmente, serão investigadas as possíveis relações entre as dinâmicas eletrofisiológicas e vasculares do cérebro durante a execução de uma tarefa motora. Secundariamente, análises comparativas entre a EEG e o fNIRS com relação ao desempenho, tempos de resposta, vantagens e desvantagens, assim como potenciais aplicabilidades futuras em interfaces cérebro-máquina, poderão resultar deste trabalho. O resultado do projeto poderá embasar e viabilizar futuros desdobramentos do trabalho como a ampliação do sistema de controle da ICM para suportar exoesqueletos de membro superior com até três graus de liberdade, exoesqueletos de membro inferior e bilateralidade (membros esquerdos e direitos), por exemplo.

Fase experimental e análise de dados

O desenvolvimento da etapa experimental depende do financiamento de projetos para a aquisição dos equipamentos de medida de movimento humano, EMG e EEG e do desenvolvimento dos dispositivos de estudo do movimento. Os experimentos se realizarão em duas etapas.

1. Experimentos de controle motor sobre membros superiores e inferiores

O objetivo é obter informação sobre o controle motor dos membros superior e inferior de sujeitos saudáveis. Mediante a ferramenta de exploração neuromotora se modificarão as condições mecânicas (variação de inércia, viscosidade ou aplicação de torques nas articulações) e sensoriais (ilusão proprioceptiva) do movimento e se medirão, de forma não invasiva, tanto o movimento como a atividade muscular durante a execução de diferentes tarefas. Esta atividade precisa desenvolver protocolos experimentais de controle motor de membros inferiores (marcha humana) e de membros superiores (coordenação do movimento cíclico bilateral e movimentos de alcance orientados). Várias experiências e análise de dados sobre o controle motor da marcha

forma realizadas no contexto do projeto de Pesquisador Visitante Especial do CNPq junto com o Prof Jacques Duysens (Forner-Cordero et al, 2016).

Nesta linha está sendo desenvolvido um projeto pioneiro sobre a influência da privação de sono crônica sobre o controle da marcha e a postura (Furtado et al, 2016; Umemura et al, 2018). Este projeto conta com financiamento da Office of Naval Research Global (ONR-G).

2. Experimentos aplicando perturbações do controle motor de membros superiores e inferiores baseados nos modelos desenvolvidos.

O Laboratório de Biomecatrônica já dispõe, para realizar estes testes de um equipamento de eletromiografia (FreeEMG, BTS Spa), um sistema de medição do movimento mediante 8 câmaras infravermelhas (Optitrack, Natural Point Inc) e dois equipamentos para medir EEG (HEFA e OpenSim). A validação dos modelos precisa da realização de experimentos com sujeitos saudáveis e pacientes com doenças neuromotoras. Para viabilizar esta tarefa se incluíram estes estudos dentro do Núcleo de Estudos em Reabilitação Avançada (com a participação da Rede Lucy Montoro de hospitais de Reabilitação. O trabalho tem três etapas:

- a. Controle do membro inferior: marcha normal e patológica
- b. Controle do membro superior: movimentos cíclicos e de alcance
- c. Base de dados experimentais com sujeitos saudáveis e doentes.

Validação de modelos e desenvolvimento de sistemas robóticos

A implementação dos modelos de controle motor combinando os níveis músculo-esquelético e neuromuscular e o desenvolvimento de modelos de controle motor mantendo a plausibilidade neurofisiológica é o tema central deste projeto.

Supõe-se a existência do modelo interno de movimento com uma estrutura hierárquica e distribuída. Hierárquica, tanto que as estruturas superiores do Sistema Nervoso (cérebro e cerebelo) controlam o resto. Mas também distribuída porque já se propõe que este modelo interno se programa em diferentes níveis, e.g., nos geradores centrais de padrões (CPGs).

Neste contexto o proponente colaborou como co-orientador da tese doutoral de R. De Bernardi, orientada pelo prof. J Jaime Da Cruz sobre o desenvolvimento de robôs de inspeção ambiental um deles, o robô camaleão implementou uma arquitetura de controle baseada em CPGs para testar a validade desta aproximação no controle de robôs biomiméticos (Bernardi et al., 2011).

A recente aparição de diferentes programas de simulação que permitem implementar diferentes aspectos do controle motor, desde o nível neuronal (ANIMATLAB ou REMOTO do prof. Kohn da EP USP) até os de simulação dinâmica de sistemas musculo-esqueléticos complexos tanto livres (OpenSIM) como de pago (LifeMOD junto a ADAMS), levou a realizar um amplo estudo comparativo das diferentes vantagens e desvantagens dos mesmos frente a la utilização de programas genéricos de alto (MATLAB) ou baixo nível (C, Java). As etapas desta fase:

- a. Seleção dos programas de simulação
- b. Análise de dados (PCA, ICA).

c. Desenvolvimento de um modelo conceitual baseado nos dados experimentais

d. Desenvolvimento e integração de modelos:

- Modelo interno e geradores centrais de padrões na marcha humana.
- Modelo dinâmico da coordenação do membro superior.

Desenvolvimento de aplicações

Com os dados experimentais e clínicos obtidos dos experimentos, se avaliarão os modelos com o fim de propor possíveis aplicações destas estruturas de controle biomiméticas. Ditas estruturas de controle se utilizarão para controlar os robôs e as órteses robóticas projetadas e construídas para servir como dispositivos de reabilitação ou de compensação funcional.

Cronograma

Meses	-3-0	1-3	4-6	7-9	9-12	12-15
Revisão bibliográfica multidisciplinar						
Workshop IEEE EMBC2019. (Berlin)						
Seminário preparação projeto europeu						
Recrutamento equipe multidisciplinar						
Equipamento e experimentos						
Fase experimental						
Artigo de Revisão						
Validação de modelos						
Artigo experimental modelos de controle						
Sistemas robóticos						
Workshop IEEE EMBC2020 (Montreal)						
Ciclo Palestras Motor Control Canadá						
Aplicações						

Elaboração de trabalhos científicos (papers, livros e outros)

A difusão das pesquisas teve duas vertentes, uma parte científica e outra para o público geral. A difusão científica foi realizada por meio de várias contribuições a congressos relevantes na área, tanto nacionais como internacionais. Ao respeito dos congressos internacionais, os mais relevantes e prestigiosos dentro do campo da Engenharia são os congressos das sociedades setoriais do Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) em particular o congresso da EMBS e o BioRob, que é um congresso conjunto da Robotics and Automation Society (RAS) e da EMBS. Ambos congressos se acham listados no Web of Science.

Além disso, o proponente deste projeto é o Chairman do Technical Committee on BioRobotics até o 2020 e participa como Editor Associado de dois jornais de IEEE EMBS: Journal of Translational Engineering in Health in Medicine e recentemente foi nomeado para participar como Editor Associado de um novo jornal da área.

Previsão de organização de seminários, simpósios ou atividades semelhantes

Organização de um ciclo de seminários internacionais sobre as aplicações em Biomecatrônica.

Serão organizados workshops ou tutoriais no contexto de congressos internacionais relevantes na área nos que participo do Comité organizador. Por exemplo, no IEEE EMBC que é o maior congresso de Engenharia Biomédica a nível mundial serão organizados Workshops nos anos 2019 (Berlin) e 2020 (Montreal). Aproveitando a Workshop de Berlin, propõe-se estruturar um projeto europeu de pesquisa com participação brasileira. De forma similar, aproveitando o Congresso de Montreal, será marcado um ciclo de palestras junto com a rica comunidade de Biomecânica e Controle Motor presente na área (Universities of Montreal, Toronto, Waterloo, Queens, York) e mesmo de outras regiões do país (British Columbia e especialmente, Simon Fraser University).

Referências bibliográficas

- Bernardi, R., Forner-Cordero, A, Cruz, J. J. Biologically Inspired Locomotion Control of a Climbing Robot, Biomimetic Based Applications In: Biomimetic Based Applications ed.: InTech, 2011, p. 553-572.
- Cortez Jr, M. P; Forner-Cordero, A. (2015) On the Study of a Clutch Device for Exoskeletons and Robot joints: Energetic Efficiency Study and Mechanism Concept. In: DINAME - International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics, 2015, Natal. Proceedings of the XVII International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics.
- Cullell A.; Moreno JC.; Rocon E.; Forner-Cordero A.; Pons JL. 2009. Biologically based design of an actuator system for a knee-ankle-foot orthosis. Mechanism and Machine Theory 44(4):860-872.
- Forner Cordero A.; Koopman HFJM. and van der Helm FCT. 2003. Multiple-step strategies to recover from stumbling perturbations. Gait&Posture 18(1):47-59
- Forner Cordero A.; Koopman HFJM. and van der Helm FCT. 2004a. Use of pressure insoles to calculate the complete ground reaction forces. Journal of Biomechanics 37(9):1427-1432.
- Forner Cordero A.; Koopman HFJM. and van der Helm FCT. 2004b. Mechanical Model of the Recovery from Stumbling. Biological Cybernetics 91(4):212-22
- Forner Cordero A.; Koopman HFJM. and van der Helm FCT. 2005a. Energy analysis of human stumbling: the limitations of recovery. Gait&Posture 21(3):243-254.
- Forner-Cordero A.; Levin O.; Li Y. and Swinnen S. 2005b. Principal Component Analysis of complex multijoint coordinative movements. Biological Cybernetics 93(1):63-78
- Forner-Cordero A.; Koopman B. and van der Helm FCT. 2006a. Inverse dynamics calculations during gait with restricted ground reaction force information from pressure insoles. Gait&Posture 23(2):189-199
- Forner-Cordero A.; van der Helm FCT. Koopman HFJM. 2006b. Describing gait as a sequence of states. Journal of Biomechanics 39(5):948-957
- Forner-Cordero A.; Steyvers M.; Levin O.; Alaerts K.; Swinnen S.P. 2008. Changes in corticomotor excitability following prolonged muscle tendon vibration. Behavioural Brain Research, 190: 41-49.
- Forner-Cordero, A, Ackermann, M., Freitas, M. L. 2011. A Method to Simulate Motor Control Strategies to Recover from Perturbations: Application to a Stumble Recovery During Gait In: 33rd Annual International IEEE EMBS Conference, 2011, Boston, EUA..
- Forner-Cordero, A; Itiki, C; Souza, Rs; Lourenco, JCMC; Krebs, HI. 2014a. Experimental assessment of gait with rhythmic auditory perturbations. In: 2014 5th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2014, Sao Paulo. p. 282

- Forner-Cordero, A.; Koopman H.F.J.M. ; van der Helm F.C.T. 2014b. Mechanical model of the recovery reaction from stumbling: effect of step length on trunk control. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* v. 36, p. 491-500
- Forner-Cordero, A.; van der Helm, F.C.T.; Koopman, H.F.J.M.; Duysens, J. (2015). Recovery response latencies to tripping perturbations during gait decrease with practice. In: 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015, Milan. p. 6748.
- Forner-Cordero, A.; Garcia, V.D.; Rodrigues, S.T.; Duysens, J. (2016). Obstacle Crossing Differences Between Blind and Blindfolded Subjects After Haptic Exploration. *Journal of Motor Behavior*, v. 48, p. 468-478.
- Forner-Cordero, A.; Quadrado, Virginia Helena; Tsagbey, S. A.; Smits-Engelsman, B. (2018). Improved Learning a Coincident Timing Task With a Predictable Resisting Force. *Motor Control.*, v.22, p.117 - 133, 2018.
- Furtado, F.; Goncalves, B. S. B.; Abranches, I. L. L.; Abrantes, A. F.; Forner-Cordero, A (2016). Chronic Low Quality Sleep Impairs Postural Control in Healthy Adults. *Plos One*, v.11, p.e0163310.
- Gallego, J.A., Forner-Cordero, A, Moreno J.C., Turowska E.A., Pons J.L. (2012). Detection of gait perturbations based on proprioceptive information. Application to Limit Cycle Walkers. *Applied Bionics and Biomechanics*. v.9, p.205 - 220.
- Gomes, AA. ; Forner-Cordero, A; Ackermann, M; Sacco, ICN. 2014. Dynamic simulation of hip strategy of diabetic neuropathic individuals during gait. In: 2014 5th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2014, Sao Paulo. p. 211.
- Levin O.; Forner-Cordero, A; Li Y.; Ouamer M. and Swinnen SP. 2008. Evidence for adaptive shoulder-elbow control in cyclical movements with different amplitudes, frequencies, and orientations. *Journal of Motor Behavior* 40(6):499-515.
- Li Y.; Levin O.; Forner-Cordero A. and Swinnen SP. 2005. The effects of interlimb and intralimb constraints on bimanual shoulder-elbow and shoulder-wrist coordination patterns. *Journal of Neurophysiology* 94(3):2139-49
- Miranda, A. B. W., Yasutomi, A. Y., Souit, C., Forner-Cordero, A (2012). Bioinspired Mechanical Design of an Upper Limb Exoskeleton for Rehabilitation and Motor Control Assessment In: BioRob2012. The 4th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, 2012, Roma. Piscataway, NJ 08854: IEEE . p.1776-81
- Miranda, Andrey Bugarin W. ; Forner-Cordero, A. 2013. Upper limb exoskeleton control based on sliding mode control and feedback linearization. In: 2013 ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference: Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC), 2013, Rio de Janeiro. p. 1.
- Moreno JC.; Brunetti FJ., Cullell A., Forner-Cordero A. and Pons JL. 2005. Simulation of knee function during gait with an orthosis by means of two springs of different stiffness. *Gait&Posture* 21(S1):S140.
- Moura, R.T.; Souza, R.S.; Garcia, E.; Quadrado, V.H.; Villalpando, M.B.; Forner-Cordero, A. (2016). Exoskeleton application to assist learning of a coincident timing motor task of the arm using passive mechanical perturbations. In: 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2016, Singapore p. 984.
- Quadrado, VH; Noriega, C; Forner-Cordero, A. (2014). Experimental assessment of a coincident timing motor task of the arm under a passive mechanical perturbation. In: 2014 5th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2014, Sao Paulo., 2014. p. 616.
- Rossi, LF; Nichilo, P; Forner-Cordero, A. (2014a). Compass gait control with switched reference partial feedback linearization. In: 2014 5th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2014, Sao Paulo. p. 939.
- Rossi, LF.; Rodrigues, S.T. ; Forner-Cordero, A. (2014b). Do humans walk like robots when crossing an obstacle without visual information?. In: 2014 5th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2014, Sao Paulo. p. 216.
- Souit, C.; Coelho, D.S.; Szylyt, M.; Camargo-Junior, F.; Cortez Junior, M.P.; Forner-Cordero, A. (2016). Design of a lower limb exoskeleton for experimental research on gait control. In: 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2016, Singapore. p. 1098.
- Souza, R.S.; Sanfilippo, F.; Silva, J.R.; Forner-Cordero, A. Modular exoskeleton design: Requirement engineering with KAOS. In: 2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2016, Singapore. p. 978.
- Umemura, G.S.; Noriega, C.L.; Soares, D.F.; Forner-Cordero, A. (2017). Biomechanical procedure to assess sleep restriction on motor control and learning. 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2017, Jeju Island. IEEE, 2017. p.1397 -
- Umemura, G. S.; Pinho, J. P.; Da Silva Brandão Gonçalves, B.; Furtado, F.; Forner-Cordero, A. (2018). Social jetlag impairs balance control. *Scientific Reports*, v.8, p.9406 -