

Controle Motor

(Introduction to modeling and simulation of human movement)

Marcos Duarte

marcos.duarte@ufabc.edu.br

Renato Watanabe

renato.Watanabe@ufabc.edu.br

Biomechanics and Motor Control Laboratory

<http://demotu.org/>

<https://github.com/BMClab>

2018

Marcos



Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos



Marcos

Marcos

- Marcos**

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos

Marcos











Marcos



Marcos

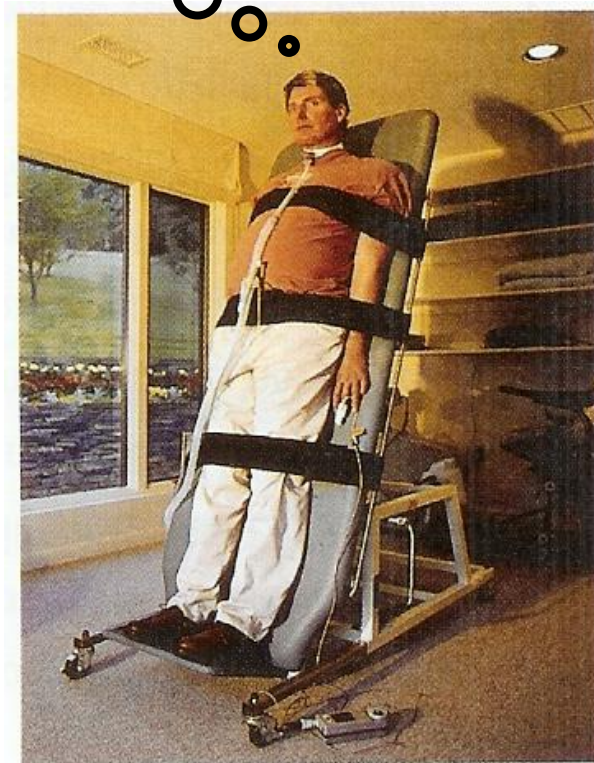
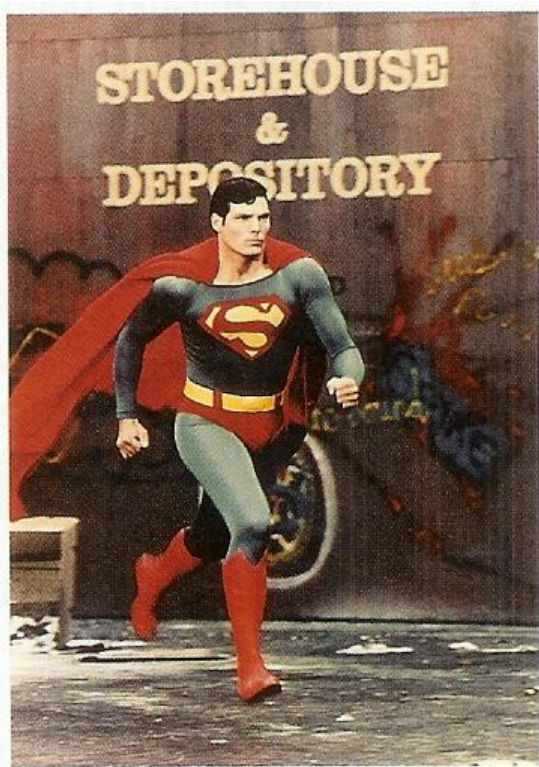
Movimento nos seres vivos

Organismos vivos	
Reino: <i>Animalia</i> Características: Neurônios e músculos usados para locomoção.	
Filo: <i>Chordata</i> Características: Cérebro e medula espinal	
Classe: Mamíferos Características: Cérebros grandes e comportamento social	
Ordem: Primatas Características: Controle visual das mãos	
Família: <i>Hominidae</i> Características: Uso de ferramentas	
Gênero: Humano Características: Linguagem	
Espécie: Humano moderno Características: Cultura complexa	

Como me
movimentar?



Como me movimentar?



Como os seres humanos controlam o movimento do corpo?

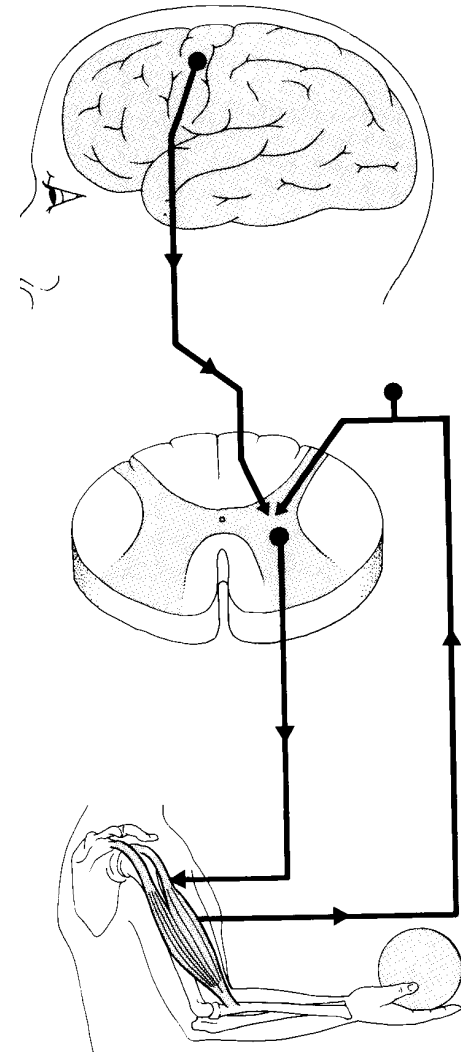
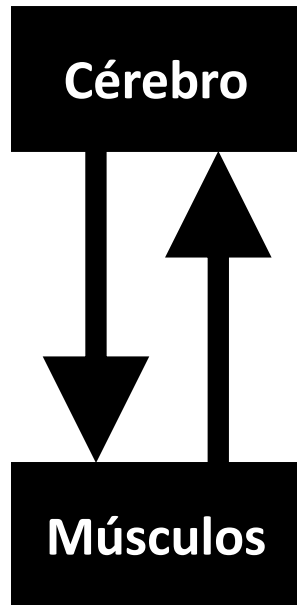
Corpo humano (sistema musculoesquelético):

- Cerca de 206 ossos, dos quais 148 móveis, e 147 articulações (Zatsiorsky, 1998).
- Número de graus de liberdade (DoF) no espaço 3D considerando estes ossos formando corpo rígidos: 244 (Zatsiorsky, 1998).
- Cerca de 650 músculos (atuadores) que operam em par na articulação (agonista/antagonista).

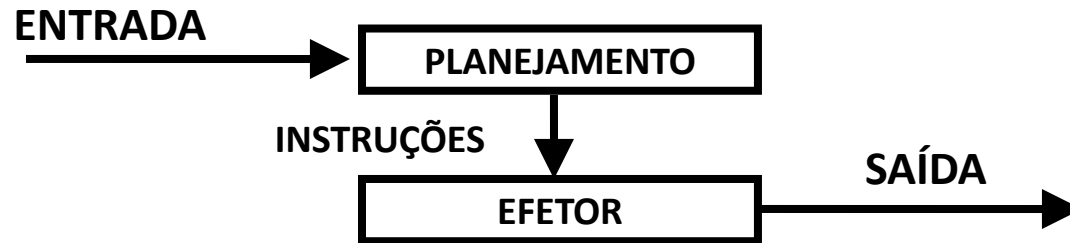
Controle do movimento

- Como o movimento (posição, velocidade, força, etc.) dos segmentos do corpo são controlados?
- O problema é complexo (muitas variáveis) e há uma grande redundância (ou abundância), isto é, mais atuadores (músculos) do que necessário em princípio para realizar (controlar) o movimento.
- **Controle (coordenação) como um “Problema de Graus de Liberdade”**

Como controlamos o movimento?



Controle do movimento: um processo por circuito aberto?



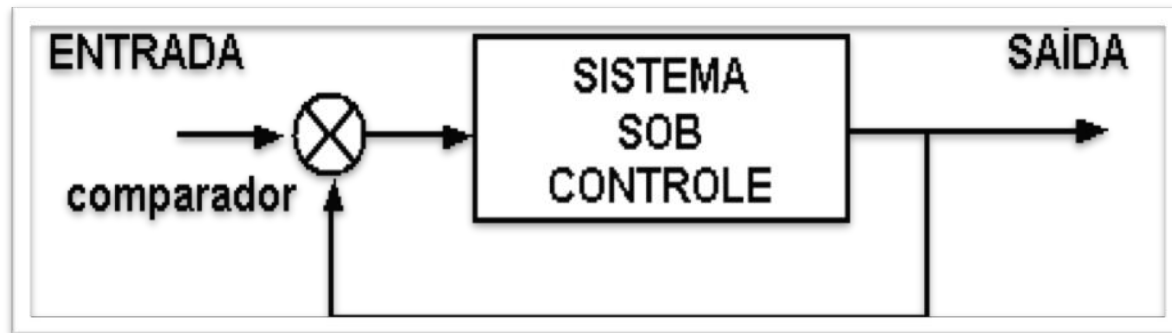
Mas se o movimento for complexo ou o ambiente mudar?

Controle do movimento

- O corpo humano pode realizar muitos movimentos de diversas formas (muitos graus de liberdade).
- Na natureza e na engenharia, o controle de algo complexo requer não só o comando de ação (sinal eferente) mas também requer informações de seu estado para o sistema de controle (sinal aferente).

Mecanismo de controle por FEEDBACK

- O mecanismo de controle que envolve vias eferentes e aferentes é chamado de feedback (retroalimentação):



Mecanismo de controle por FEEDFORWARD

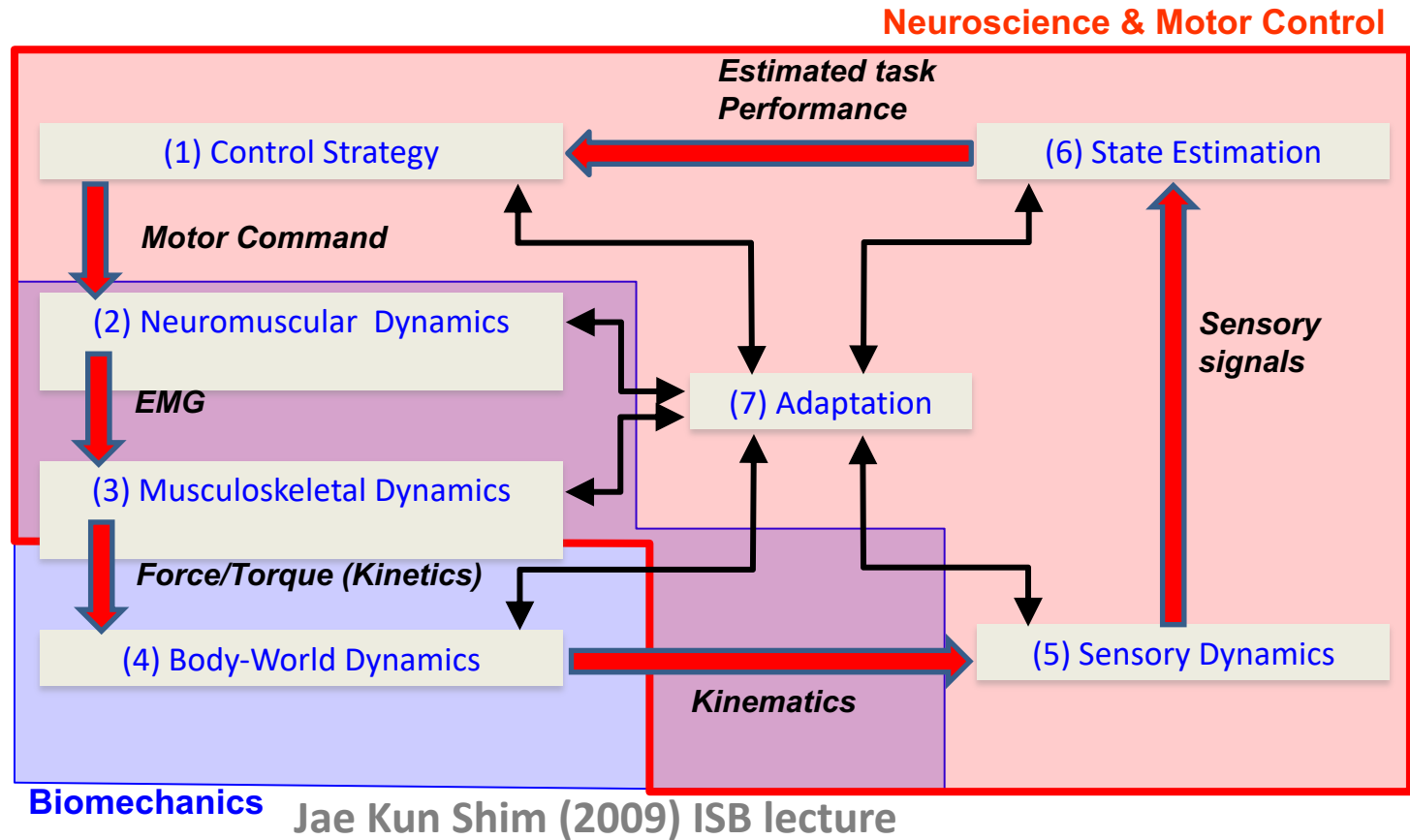
- Um mecanismo de controle que opera sem feedback é chamado de feedforward (alimentação direta):



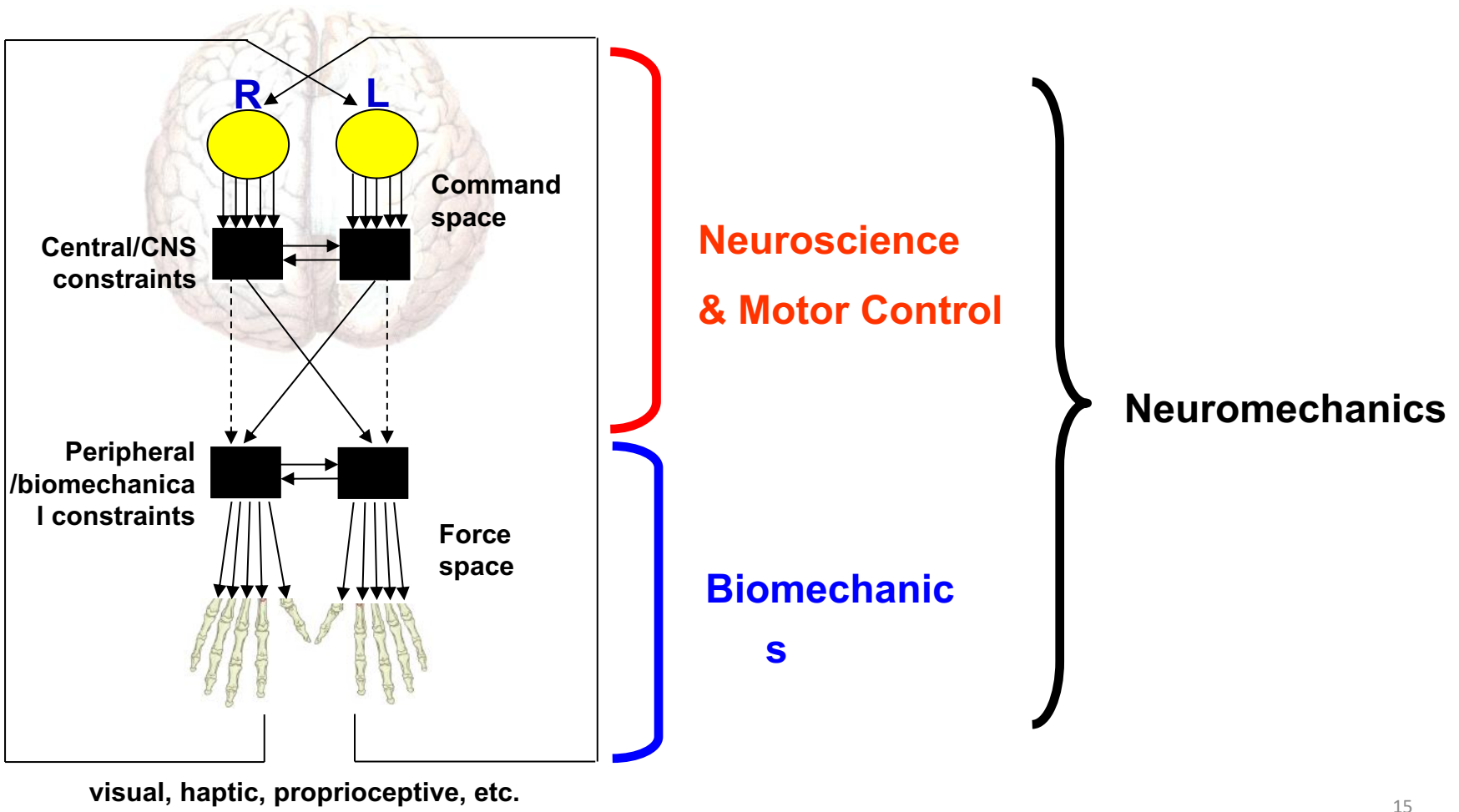
Biomechanics & Motor Control

- **Biomechanics** is the study of the structure and function of biological systems by means of the methods of mechanics (Hatze, 1974).
<http://en.wikipedia.org/wiki/Biomechanics>
- **Motor control** is the process by which humans and animals use their neuromuscular system to activate and coordinate the muscles and limbs involved in the performance of a motor skill.
http://en.wikipedia.org/wiki/Motor_control

“Boxology” of Neuromechanical Model



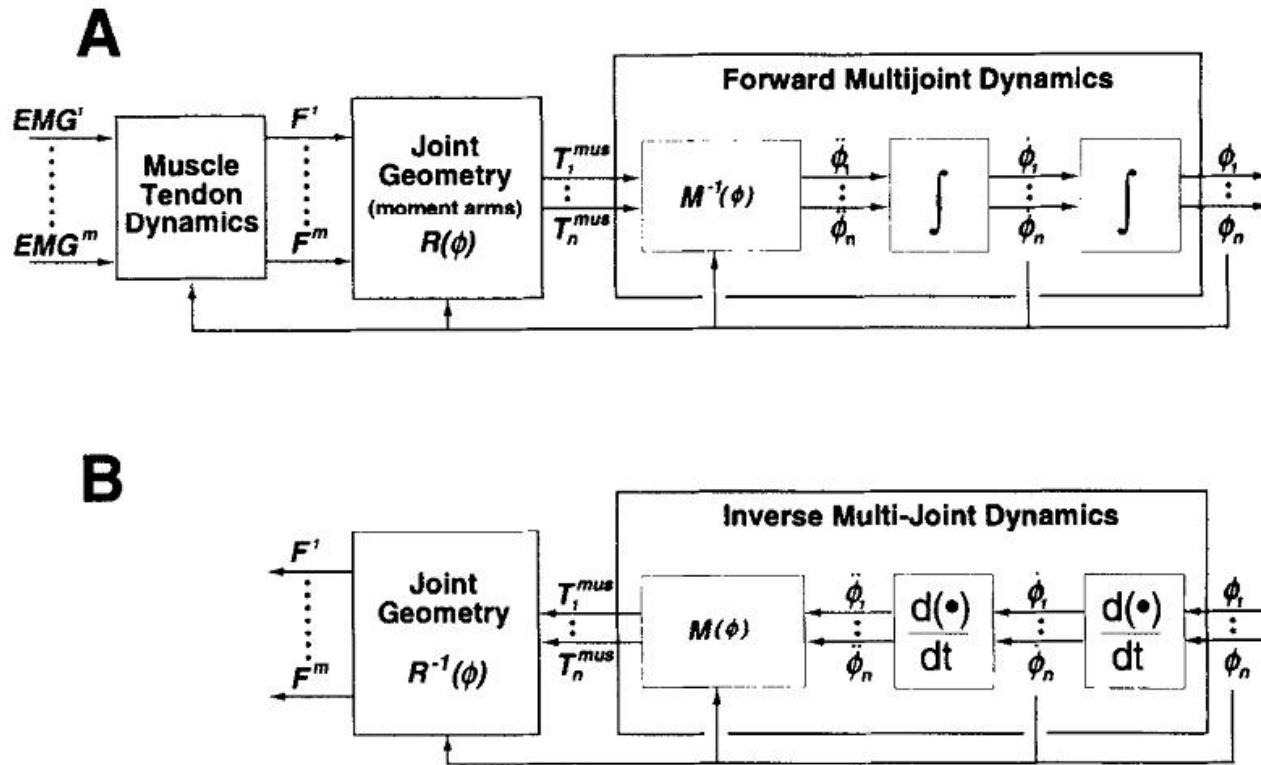
Example: Biomechanics & Motor Control of Hand and Fingers



Como estudar o controle do movimento?

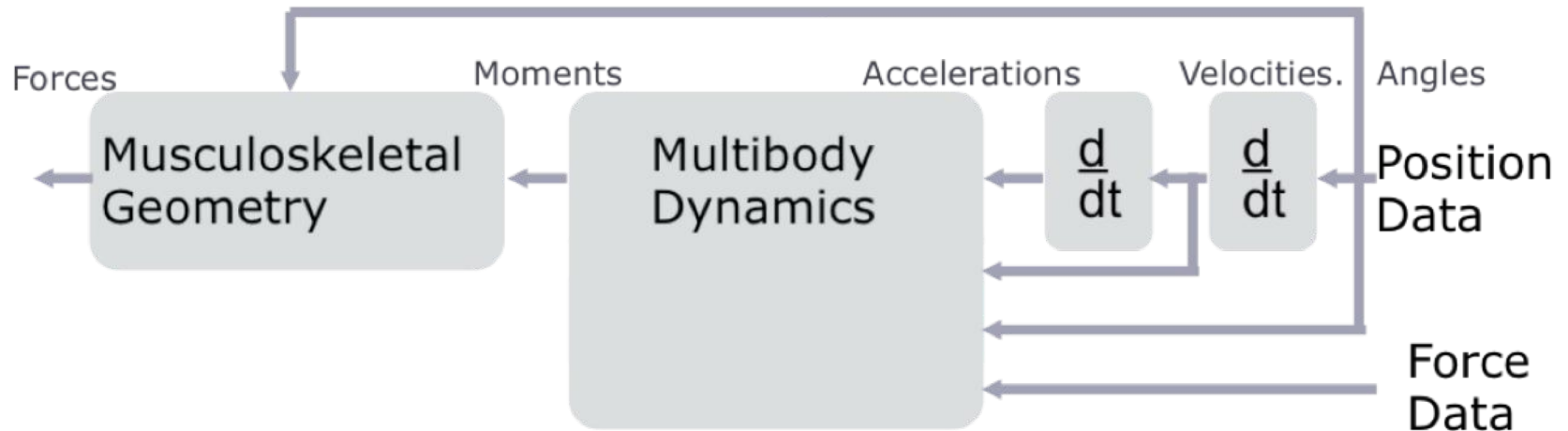
- Zajac (1993) argumenta que para compreender a “coordenação muscular” de muitos movimentos nós não devemos apenas observar (medir) o movimento é essencial desenvolver um modelo biomecânico.
- Ainda segundo Zajac (1993), este modelo biomecânico deve ser um modelo de dinâmica direta, isto é, modelar e simular o controle do movimento tendo como entrada comandos neurais e saída o movimento em si.

Forward dynamics (A) and inverse dynamics (B) representation of the musculoskeletal system



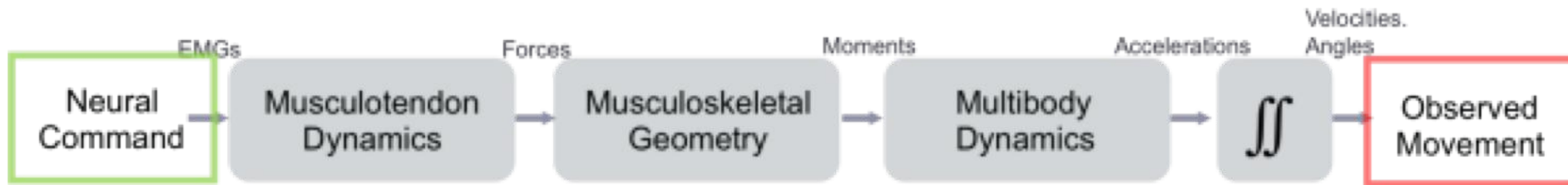
Zajac FE (1993) Muscle coordination of movement: a perspective. J Biomech. 1993;26 Suppl 1:109-24.

Abordagem por dinâmica inversa



<http://simtk-confluence.stanford.edu:8080/display/OpenSim/Overview+of+the+OpenSim+Workflow>

Abordagem por dinâmica direta



<http://simtk-confluence.stanford.edu:8080/display/OpenSim/Overview+of+the+OpenSim+Workflow>

Modelagem e simulação do movimento humano

- Estes tipos de abordagens (seja por dinâmica inversa ou direta) ignoram os detalhes do sistema nervoso central e focam na modelagem do sistema nervoso periférico (o sistema musculoesquelético).
- Os comandos neurais são simplesmente modelados por uma simples função matemática, o que costuma irritar um neurocientista...

OpenSim: <https://simtk.org/home/opensim>

“

OpenSim is a software platform for modeling humans, animals, robots, and the environment, and simulating their interaction and movement.

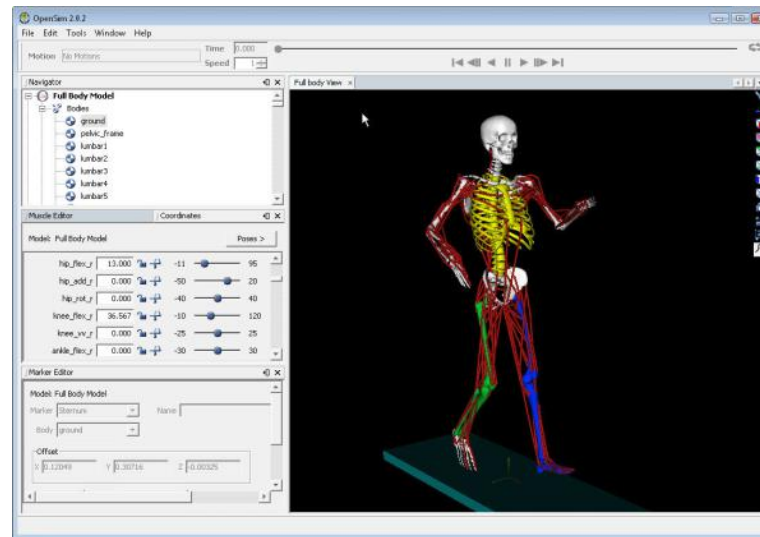
OpenSim has a graphical user interface (GUI) for visualizing models and generating and analyzing simulations.

The open source and extensible software also includes an application programming interface (API) that developers can use to extend the software.

”

OpenSim: <https://simtk.org/home/opensim>

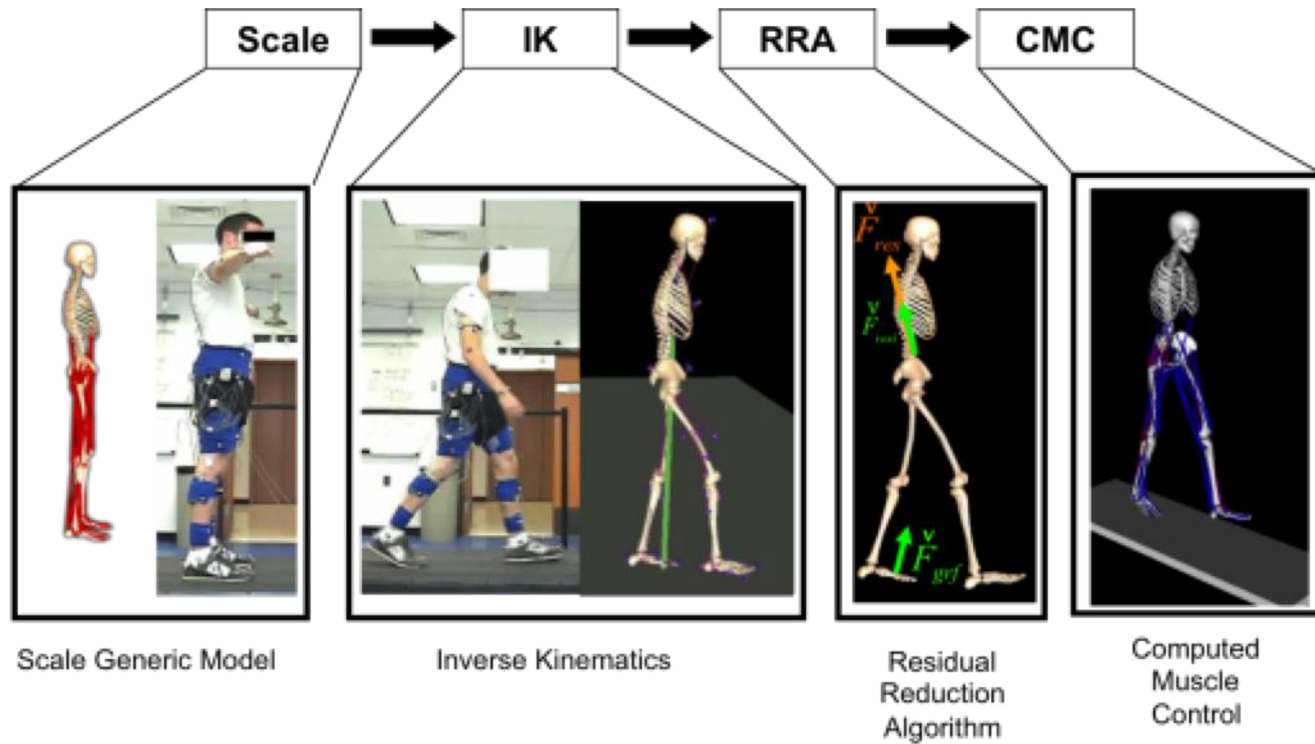
<https://www.youtube.com/watch?v=ME0VHfCtIM0>



Simulação por dinâmica direta

- Mas simulação do sistema musculoesquelético do corpo humano por dinâmica direta é computacionalmente muito custoso por causa do grande número de variáveis e redundância.
- OpenSim oferece ferramentas para simplificar a solução por dinâmica direta utilizando a cinemática (conhecida) da movimento a ser simulado, controladores para controlar o corpo para gerar esta cinemática e otimização estática ([Computed Muscle Control, CMC](#)).

Típico workflow no OpenSim para dinâmica direta



<http://simtk-confluence.stanford.edu:8080/display/OpenSim/Overview+of+the+OpenSim+Workflow>

Sobre o curso (2018)

Pré-requisitos do curso

- Domínio de biomecânica (matemática e física)
- Domínio de alguma linguagem de programação científica, por exemplo, Matlab ou Python.
- Domínio do inglês (leitura de textos)
- Computador com OpenSim e Python.
- Tempo

Conteúdo do curso

Cerca de 24 aulas:

1. Apresentação do curso (1)
2. OpenSim (1)
3. Computação científica (2)
4. Conceitos de modelagem e simulação (2)
5. Controle, otimização, equações diferenciais e integração numérica (4)
6. Modelagem e simulação muscular (6)
7. Modelagem e simulação do sistema músculoesquelético (4)
8. OpenSim (4)

Formato das aulas

- Discussão dos artigos e outros textos.
- Resolução de problemas (maior parte deles com programação computacional)
- Realização dos tutoriais do OpenSim
- A maior parte do curso não será de aulas expositivas pelo professor

Avaliação do curso

- Média de exercícios computacionais e perguntas sobre os artigos indicados.

- A conversão para a escala de notas será:

$$A \geq 8.5$$

$$8.5 > B \geq 7.0$$

$$7.0 > C \geq 6.0$$

$$6.0 > D \geq 5$$