

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



PME3380 - Modelagem de Sistemas Dinâmicos

Proposta de Trabalho

Professores:

Agenor de Toledo Fleury

Décio Crisol Donha

Alunos:

Bruno Deghaidi Jordão

Kevin Chu

Lorena Hernandes da Silva Leme

Victor Manoel Ferreira

N°USP:

8588498

10705908

10705961

10772713

São Paulo

2020

1. Introdução

O corpo humano é capaz de uma grande amplitude de movimentos, desde o andar, pular até acrobacias complexas. Para realizar esses movimentos, diversos mecanismos devem operar de forma síncrona e bem ajustadas dentro do corpo. Tais mecanismos são compostos pelo esqueleto e músculos, que formam sistemas complexos principalmente em locais de muitas articulações, mas que para o estudo sendo realizado, serão adequadamente simplificados.

A análise biomecânica do corpo humano, baseia-se de noções físicas, matemáticas, químicas, fisiológicas e anatômicas (WINTER, 2009). Através dela utiliza-se métodos da mecânica para produzir modelos matemáticos, que podem ser aplicados a ferramentas computacionais e, conseqüentemente, simulados para analisar certos movimentos. Uma aplicação importante da biomecânica é nos esportes de alta performance, em que pequenas variações trazem grande influência em resultados de competições e reduzem o risco de lesões.

Um movimento que requer um grau elevado de coordenação motora e condição física, é o de salto seguido de rotação do corpo no ar. Um esporte que requer esse tipo de habilidade é o salto ornamental, no qual grande parte da atividade ocorre em queda livre e o atleta deve realizar uma série de movimentos acrobáticos, terminando na posição ideal de entrada na água, representado na figura 1. Por ser um esporte onde cada centímetro e cada grau importa, há grande vantagem em utilizar a biomecânica para modelar um corpo que realiza os movimentos mais eficientes. Em geral, um salto ocorre a partir de uma plataforma ou trampolim a dez metros de altura da base para dentro de um piscina, havendo três objetivos principais: gerar momento angular suficiente para realizar cambalhotas, alcançar grandes altitudes para obter maior tempo no ar, e conseguir uma distância segura mas não muito longe da plataforma (KONG, 2005). Tendo esses objetivos em mente, nota-se a importância de simular e analisar os movimentos de salto da plataforma e cambalhota no ar, para obter momentos angular e linear ideais.



Figura 1 - Representação de um salto ornamental. Fonte: (KONG, 2005)

2. Modelagem

O salto ornamental será analisado em 3 diferentes estágios. Primeiro temos o pulo, que depende da movimentação do corpo e da prancha, ambos tendo movimentos de compressão e extensão, nesse estágio temos os *trade-off*'s entre altura, distância horizontal e rotação. Quanto maior a altura do pulo, menor distância da prancha se alcança e menor rotação o atleta têm, porém se o atleta maximizar a rotação, mantendo uma distância horizontal mínima e segura, a altura do seu pulo será menor e menos tempo ele terá até atingir a piscina e, conseqüentemente, menos tempo para realizar seus movimentos.

Segundo temos a movimentação no ar. Aqui o movimentação é limitada pelo momento angular adquirido no pulo e onde se realiza as manobras. E finalmente temos a aterrissagem na posição final para amortecer o impacto e terminar o movimento. Todos esses passos mostrados pela figura 2.

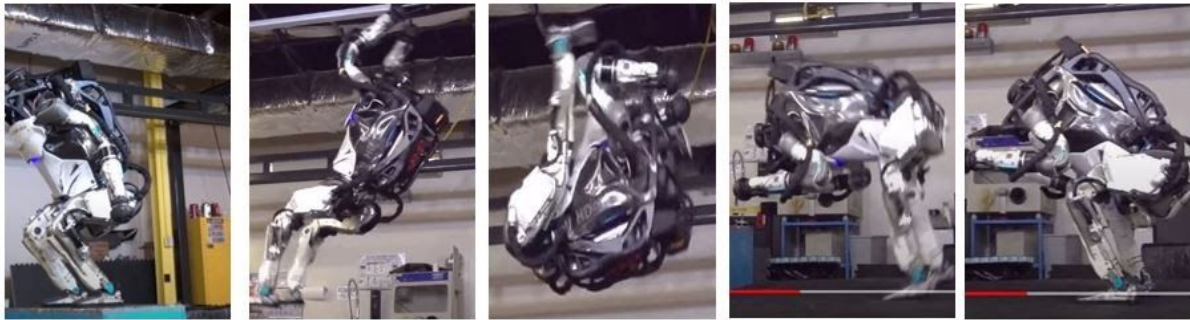


Figura 2 - Robô Atlas do Boston Dynamics realizando um mortal de costas.

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=fRj34o4hN4I&ab_channel=BostonDynamics

Para modelar o mecanismo e gerar a trajetória da Figura 2, normalmente se usa métodos computacionais numéricos que são muito sensíveis aos chutes iniciais e altamente não convexos (XIONG, 2020). Portanto, é necessário simplificar a modelagem inicial e progressivamente evoluir para a solução completa.

Essas simplificações modelam a perna como uma variação de pêndulo invertido. A mais qualitativa é a MMIPM: *Momentum-Mapped Inverted Pendulum* [5], usada para animações, E-LIPM: *Extended Linear Inverted Pendulum Model* [4], que modela apenas o centro de massa do corpo e a extensão da perna, e o FSLIP: *Flywheel Spring Loaded Inverted Pendulum* [Z], desenhado na figura 3.

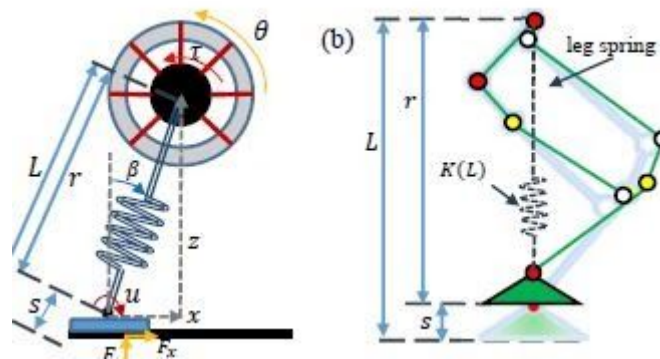


Figura 3 - Esquemática do modelo FSLIP. Fonte: (XIONG, 2020)

No FSLIP o momento gerado pela extensão das pernas é representado pela mola, a movimentação do torso e braços é representado como o volante que guarda o momento angular e o centro de massa no centro do volante coincidente com o centro de massa do corpo.

Em próximas modelagens podemos chegar mais perto do real, removendo a mola e usando uma perna com 3 graus de liberdade [6], até chegarmos na modelagem em 3 dimensões com cada junta da perna tendo os ângulos de empinamento (*pitch*), cabeceio (*yaw*) e balanceio (*roll*). E, claro, em todos os estágios modelando a interação corpo, perna e prancha.

Referências

- [1] WINTER, D. A. Biomechanics and control of human movement (4th Edition). John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-470-39818-0. New Jersey, p. 1. 2009.
- [2] KONG, P. W. Computer simulation of the takeoff in springboard diving. Tese (Doutorado) - Loughborough University. Loughborough, p. 1. 2005.
- [3] XIONG, X.; AMES, A.D. Sequential Motion Planning for Bipedal Somersault via Flywheel SLIP and Momentum Transmission with Task Space Control. 6 de agosto de 2020.
- [4] PARK, Gunwoo; PARK, Jong H. Backflips Performed by Humanoid Robos Based on Extended Linear Inverted Pendulum Mode. Setembro de 2012.
- [5] KWON, T.; HODGINS, Jessica K. Sequential Motion Planning for Bipedal Somersault via Flywheel SLIP and Momentum Transmission with Task Space Control. Janeiro de 2017.
- [6] SILVA, Manuel F.; MACHADO, J. A. Tenreiro; JESUS, Isabel S. Modeling and Simulation of Walking Robots with 3 DOF Legs. Fevereiro de 2006.
- [7] RAIBERT, Marc H. Dynamically Stable Legged Locomotion. Setembro de 1989.
- [8] Robô Atlas, construído pela Boston Dynamics, performando um mortal de costas. <https://www.youtube.com/watch?v=fRj34o4hN4I&ab_channel=BostonDynamics>. Acesso em outubro de 2020.