

## Introdução

A movimentação de robôs humanóides é uma atividade desafiadora pois existe a preocupação de como descrever a evolução dos membros durante a atividade do robô. Além disso, para garantir uma caminhada estável é necessário considerar influências externas ao robô, as quais podem provocar sua queda e alterar o trajeto que deveria ser percorrido.

Neste trabalho, será apresentado o método Zero Moment Point (ZMP) que é usado como critério de estabilidade para a caminhada de robô NAO. O robô humanóide NAO da empresa Aldebaran possui 25 graus de liberdade e possui uma biblioteca com funções para caminhada, porém não há uma maneira de lidar com fontes de perturbações externas ao humanóide durante o seu movimento.



Figura 1: Robô NAO

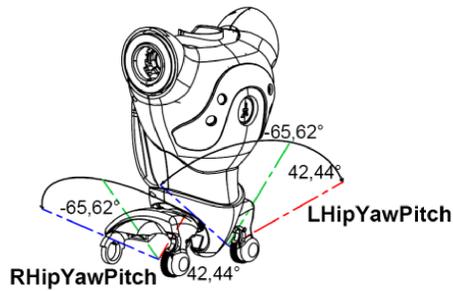


Figura 2: Torso do NAO

## Zero Moment Point (ZMP)

Dado um movimento de um humanóide é necessário julgar se o contato entre a sola e o chão pode ser mantido. ZMP é usado para planejar um movimento para o robô mantendo a sola em contato com o chão.

ZMP é o ponto no qual a resultante das forças de reação do solo atuam. Esse ponto deve estar sempre dentro do polígono de suporte.  $\mathbf{p}$  recebe o nome de ZMP pois os torques das forças horizontais são nulos.

$$\tau_x = \tau_y = 0$$

Onde  $\mathbf{f}$  é a força resultante de reação do solo e  $\tau_{tz}$  e a componente vertical do momento.

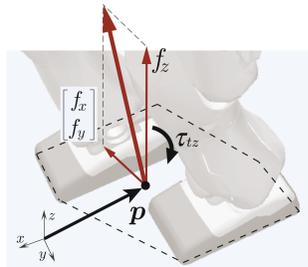


Figura 3: Definição ZMP

## Padrão de Caminhada baseado em ZMP

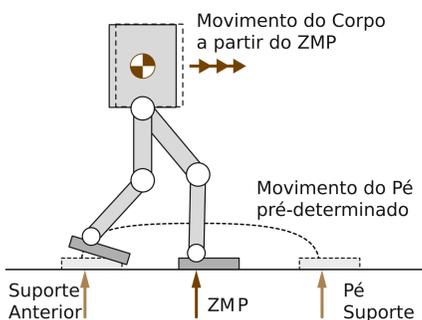


Figura 4: Passada com ZMP e Transição de pé suporte

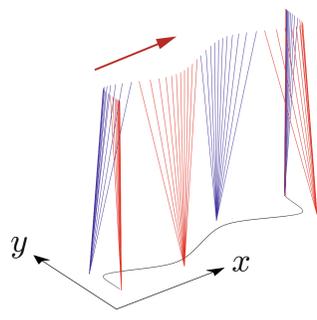


Figura 5: Três passos do robô modelado como pêndulo invertido

## Requisitos

Há um conjunto de características necessárias para os robôs realizarem uma caminhada baseada no método ZMP:

- No mínimo 6 graus de liberdade (juntas) para cada perna;
- As posições das juntas são controladas;
- Os pés são equipados com sensores de força.

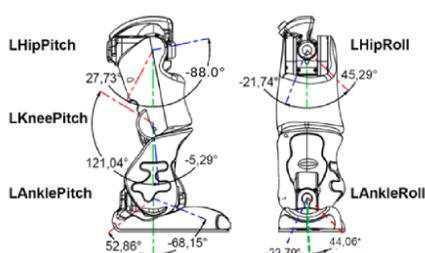


Figura 6: Juntas da perna do NAO

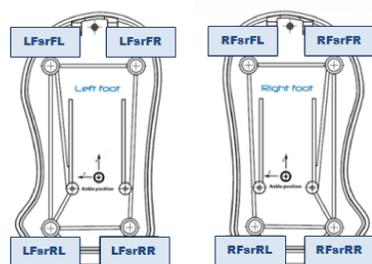


Figura 7: FSRs do NAO

## Cálculo

### Modelo do Pêndulo Invertido Linear 3D

Modelo usado para simplificar a formulação dinâmica do ZMP. Vamos aproximar um robô bipede caminhando no espaço tridimensional como um pêndulo invertido, o que consiste no CoM do robô, uma perna sem massa conectando o CoM ao ponto de suporte. Assumimos que o pêndulo pode rotacionar livremente em torno do ponto de suporte e que a pernas pode mudar o seu comprimento usando uma força de chute  $f$ . Essa força  $f$  pode ser decomposta em componentes  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

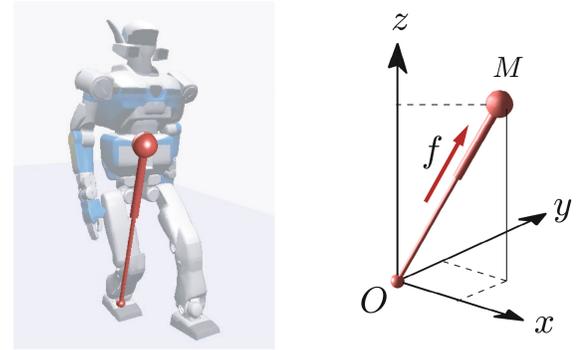


Figura 8: Modelo Pêndulo Invertido

### Caso Simples

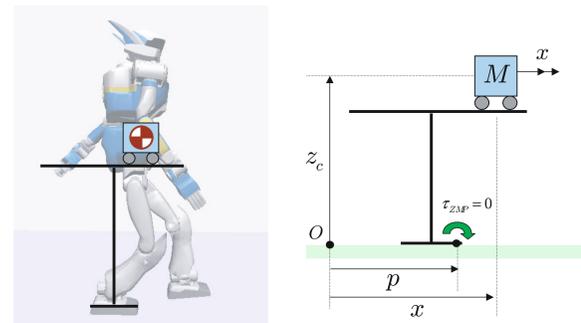


Figura 9: Modelo Carrinho-Massa

Podemos calcular ZMP aplicando a lei de Newton no modelo Carrinho-Massa e considerando  $\tau_{ZMP} = 0$ , logo

$$\tau_{ZMP} = -Mg(x - p) + M\ddot{x}z_c \quad p = x - \frac{z_c\ddot{x}}{g}$$

### ZMP 3D

Este método serve para o calcular o ZMP de um robô composto por N corpos rígidos no espaço. A variação do momento linear e angular é descrita por

$$\mathbf{f} = \dot{\mathbf{P}} - M\mathbf{g}$$

$$\boldsymbol{\tau} = \dot{\mathbf{L}} - \mathbf{c} \times M\mathbf{g}$$

onde  $\mathbf{f}$  é a resultante das forças externas e  $\boldsymbol{\tau}$  é a resultante dos momentos. O ZMP é expresso por

$$p_x = \frac{Mgx + pz\dot{P}_x - \dot{L}_y}{Mg + \dot{P}_z}$$

$$p_y = \frac{Mgy + pz\dot{P}_y - \dot{L}_x}{Mg + \dot{P}_z}$$

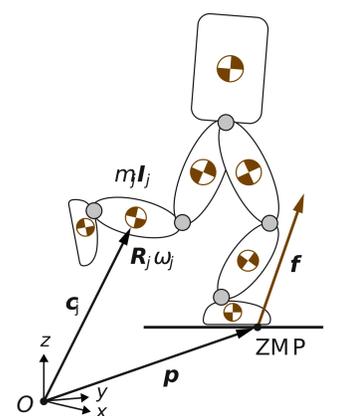


Figura 10: Modelo Multicorpo e ZMP

## Discussão

Com base na bibliografia estudada foi possível compreender o método ZMP e chegou-se à conclusão que este permite uma caminhada estável e confiável em ambientes reais, sob a ação de forças externas. A computação dos cálculos de momento para cada elo do robô é uma tarefa complexa, e o robô é modelado como um pêndulo linear invertido, no qual toda a massa concentra-se num ponto do corpo equivalente ao centro de massa do robô. O próximo passo do trabalho visa a implementação de uma caminhada estável e robusta no robô humanóide NAO em simulação e, posteriormente, em um robô real.

## Referências

- [1] Shuuji Kajita, Hirohisa Hirukawa, Kensuke Harada, and Kazuhito Yokoi. *Introduction to humanoid robotics*, volume 101. Springer, 2014.
- [2] Bruno Siciliano and Oussama Khatib. *Springer handbook of robotics*. Springer Science & Business Media, 2008.