

Introdução

A marcha humana, ou caminhada, é uma conduta motora caracterizada por eventos cíclicos que percorrem durante o percurso de um indivíduo de um lugar a outro. Esses eventos são descritos como o deslocamento rítmico das partes do corpo que mantém o indivíduo em progresso para diante. Atualmente, exames biomecânicos da caminhada por imagem tem sido utilizados no diagnóstico de alterações cinemáticas desta conduta, vindo a ser importantes na avaliação de tratamentos fisioterapêuticos e ortopédicos. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para o estudo da marcha humana através da videogrametria, acelerometria e modelagem virtual.

Videogrametria

O princípio deste sistema consiste na captura de imagens durante a realização da marcha através de webcams de baixo custo. Para permitir a caracterização e marcação de pontos importantes na imagem capturada o usuário, durante a realização da marcha, utiliza marcadores coloridos nas articulações de interesse.

Durante a marcha, o sistema captura diversas imagens e aplica técnicas de processamento de imagens para calcular os ângulos entre os membros do corpo humano em tempo real. O programa desenvolvido utiliza como apoio a biblioteca OpenCV (Open Source Computer Vision Library) e inclui rotinas de aquisição das imagens, subtração de fundo estático, filtro gaussiano, filtro de cor HSV, identificação dos marcadores encontrados e cálculo dos ângulos entre marcadores.

Acelerometria

Além do sistema de processamento de imagens da marcha foi desenvolvido uma rede de acelerômetros capacitivos distribuídos ao longo do corpo do usuário para determinar, de forma paralela com o sistema de processamento de imagens, a medição dos ângulos entre os membros do corpo humano de interesse. Para que fosse possível a leitura de vários acelerômetros sem fio, distribuídos ao longo do corpo, foi desenvolvido um pequeno sistema permitindo a interface do acelerômetro com um transceiver Xbee configurados em uma rede estrela. Este sistema permite trabalhar com uma frequência de amostragem de 200 Hz e com 4 conversores analógico-digitais. Em cada módulo Xbee foi incorporado um acelerômetro e uma bateria criando assim um dispositivo prático para fins de medida dos ângulos.

Modelo Virtual

Para apreciação dos resultados é demonstrado em tempo real a movimentação do corpo em um modelo computacional. Isso facilita a observação do profissional que acompanha o exame, fazendo-o se ater a detalhes a serem avaliados. O modelo baseou-se na estrutura óssea humana visto que busca a modelagem das principais funções mecânicas do corpo, conforme pode-se perceber na Figura 1. O modelo foi desenvolvido com o auxílio da biblioteca GLUT (OpenGL Utility Toolkit) e para que ficasse mais apresentável, aplicou-se sobre o mesmo estruturas de um robô com feições humanas, conforme pode-se verificar na Figura 2.

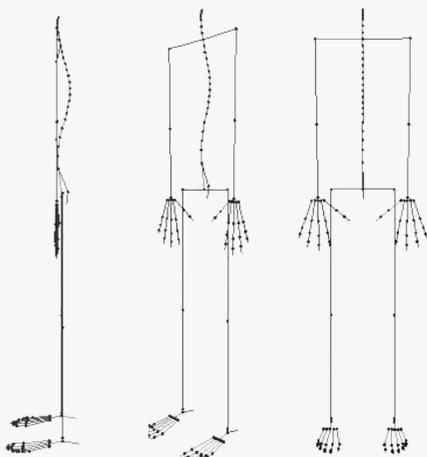


Figura 1 – Modelo baseado na estrutura óssea humana

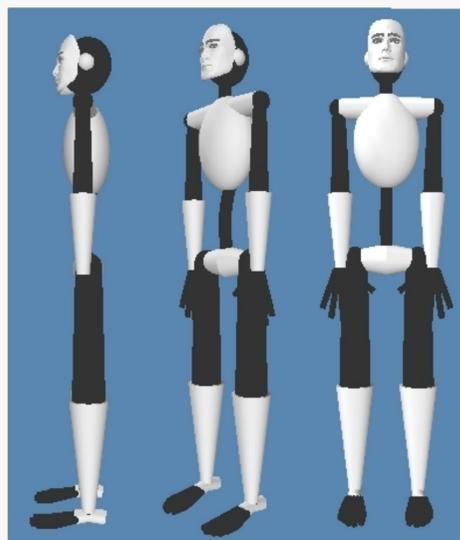


Figura 2 – Modelo com estruturas de um robô com feições humanas

Ensaio

Foram realizados ensaios para verificar se o sistema desenvolvido respondia a movimentos simples que o usuário executava com os marcadores e acelerômetros colocados em seu corpo.

Também foram realizados ensaios estáticos para a validação das medidas executadas pelo sistema. Esses ensaios consistiram no posicionamento de marcadores e acelerômetros em um goniômetro e na comparação da medida dessa ferramenta com a do sistema. Nota-se que como o sistema trabalha com uma taxa de amostragem na ordem de 45ms, cada ensaio completo apresenta milhares de medidas.

Resultados preliminares e Conclusão

Os ensaios revelaram um sistema robusto pois o ambiente onde foram realizados os ensaios podem ser considerados ruidosos para sistemas de processamento de imagens. A movimentação do usuário realizada no ensaio foi reproduzida inteiramente sendo sensível apenas a inclinações fora do plano da webcam. Esses resultados podem ser apreciados na Figura 3. Os ensaios com acelerômetros deram-se da mesma maneira também com reproduções do movimento satisfatório.

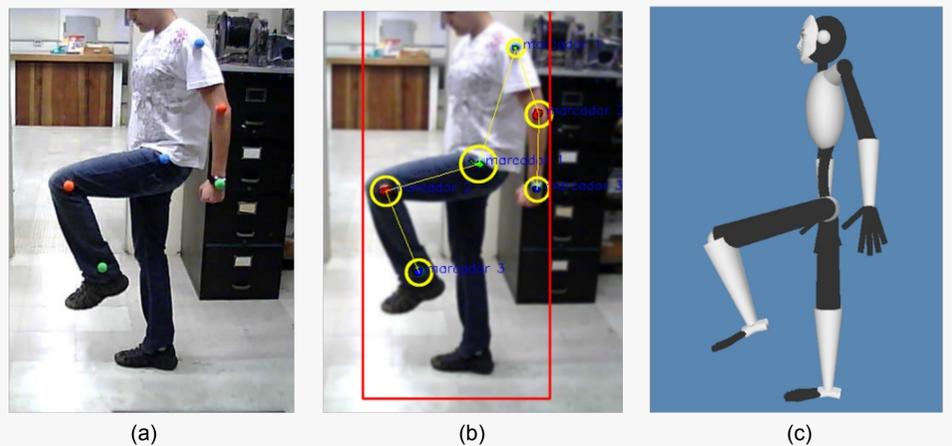


Figura 3 – Resultado do ensaio de movimento do processamento de imagem. (a) usuário com marcadores executando movimento. (b) marcação do sistema da identificação dos marcadores. (c) modelo executando o movimento.

Apenas para exemplificar, as Tabelas 1 e 2, apresentam alguns dos resultados obtidos nos ensaios estáticos sendo classificadas pelo posicionamento inicial do goniômetro.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios estáticos do processamento de imagem.

Inclinação no goniômetro (grau)	Período médio entre leituras (ms)	Erro médio entre a vertical da câmera e o goniômetro (grau)	Erro médio do ângulo lido (grau)	Erro máximo entre a vertical da câmera e o goniômetro (grau)	Erro máximo do ângulo lido (grau)
160	43,01	0,667	0,034	0,341	0,486
120	45,55	0,472	0,772	0,694	2,024
90	48,54	0,14	2,595	0,77	4,083
30	49,59	0,09	2,559	1,023	3,564
0	45,58	0,662	0,335	0,725	1,065
-30	46,79	0,73	1,556	1,432	2,3
-90	48,04	0,389	3,452	1,095	4,221
-120	42,93	0,06	3,532	0,337	4,279
-160	42,15	0,05	1,674	0,674	2,356

Tabela 2 – Resultados dos ensaios estáticos sobre os acelerômetros.

Inclinação no goniômetro (grau)	Período médio entre leituras (ms)	Erro médio do ângulo lido (grau)	Erro máximo do ângulo lido (grau)
90	15	0,081	0,081
60	15	3,815	5,149
30	15	1,858	2,482
0	15	0,606	1,061
-30	15	1,159	1,217
-60	15	1,900	2,585
-90	15	5,331	7,803

Os resultados obtidos, até este momento, permitem determinar que o sistema de baixo custo desenvolvido apresenta resultados adequados a sua proposta. Este sistema apresenta como grande vantagem seu pequeno custo e principalmente erros pequenos quando comparados a muitos sistemas utilizados no mercado, como por exemplo, goniômetros na fisioterapia e fisioterapia. Atualmente está sendo desenvolvidas rotinas de filtros mais adequados a aplicação tentando atenuar as pequenas oscilações encontradas nas medidas. Quanto aos resultados dos acelerômetros em ensaio estático, permitiram verificar a necessidade de outro método de calibração a ser trabalhado.

Para complemento da ferramenta foi inserido um banco de dados para permitir que o profissional da área da saúde possa avaliar os ensaios e principalmente gerar uma base de dados permitindo comparar o tratamento realizado e seus resultados através das imagens capturadas. Futuramente este sistema será utilizado em estudos da cinemática humana.