

VIDA: Visualizador Interactivo de Dados (biomecânicos) Aumentados

José Braz Pereira

Dep. Sistemas e Informática,
EST Setúbal/IPS, Setúbal
jbraz@est.ips.pt

João Madeiras Pereira

Dep. Engª Informática
IST/UTL, Lisboa
jap@inesc.pt

António Prieto Veloso

Dep. Ciências da Motricidade
Faculdade de Motricidade Humana/UTL
apveloso@fmh.utl.pt

Resumo:

Aborda-se o problema da construção e projecção de um modelo virtual tridimensional dos músculos de um atleta em movimento, nas sequências de vídeo captadas durante a execução desse movimento. Para a sobreposição de um modelo virtual do corpo humano, gerado em OpenGL com base nas posições tridimensionais de 21 juntas ósseas de um indivíduo, às sequências de vídeo do seu movimento, apresenta-se como solução o recurso a técnicas de reconhecimento de imagem e determinação da matriz de calibração da câmara através da Transformação Linear Directa Modificada.

Palavras Chave:

Realidade Aumentada; Realidade Melhorada; Computação Gráfica; Reconstrução Tridimensional; Biomecânica.

1 INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO

A Biomecânica tem recorrido na última década, de forma crescente, à animação de modelos tridimensionais do corpo humano como meio de visualização de dados tanto cinéticos como biológicos. Prova disso é o crescente número de aplicações comerciais com elevado grau de sofisticação, tanto no que respeita aos modelos usados como às funcionalidades disponibilizadas [Vaughan92].

Neste enquadramento, o Laboratório de Biomecânica da Faculdade de Motricidade Humana (LB/FMH) da Universidade Técnica de Lisboa mostrou interesse numa aplicação para visualização da actividade muscular de atletas, através de uma solução graficamente intuitiva.

Para tal, o LB/FMH facultou o acesso aos dados cinéticos e biológicos já recolhidos, assim como ao ambiente de recolha de dados existente no laboratório.

O objectivo da aplicação aqui descrita é definir uma metodologia que perante:

- O ambiente de recolha de dados existente no Laboratório de Biomecânica;
- os dados já recolhidos, nomeadamente: as sequências de vídeo do movimento dos atletas, os dados cinéticos delas extraídos e os dados biológicos correspondentes, e;
- as restrições impostas pelos atletas relativamente aos dispositivos que poderiam envergar.

Permita:

- construir um modelo virtual tridimensional do atleta com o qual o biomecânico possa interagir

após a captação de dados, entendendo-se por interacção com o modelo a capacidade de lhe aplicar qualquer das três transformações singulares: rotação, translação e redimensionamento,

- sobrepor a componente muscular do modelo virtual do atleta em movimento à correspondente sequência de vídeo e,
- servir como uma primeira abordagem para uma futura introdução de um ambiente de Realidade Aumentada (RA) no Laboratório de Biomecânica da FMH.

O primeiro objectivo conduziu à realização do VIDA – Visualizador Interactivo de Dados biomecânicos Animados [Braz99], actualmente em funcionamento no LB/FMH.

Os dois últimos objectivos estiveram na origem da presente versão do VIDA (Visualizador Interactivo de Dados biomecânicos Aumentados).

2 ARQUITECTURA DO VIDA

A presente versão do VIDA, cuja arquitectura se apresenta na figura 1, segue de perto a descrição genérica do funcionamento de um sistema de Realidade Aumentada tal como descrito em [Vallino01], nomeadamente:

- 1 O Mundo Real observado consiste no Atleta em Movimento.
- 2 A imagem do Mundo Real é captada por um Sistema de Captação de Imagem (SCI), que no presente caso consiste em duas ou mais câmaras de vídeo fixas.

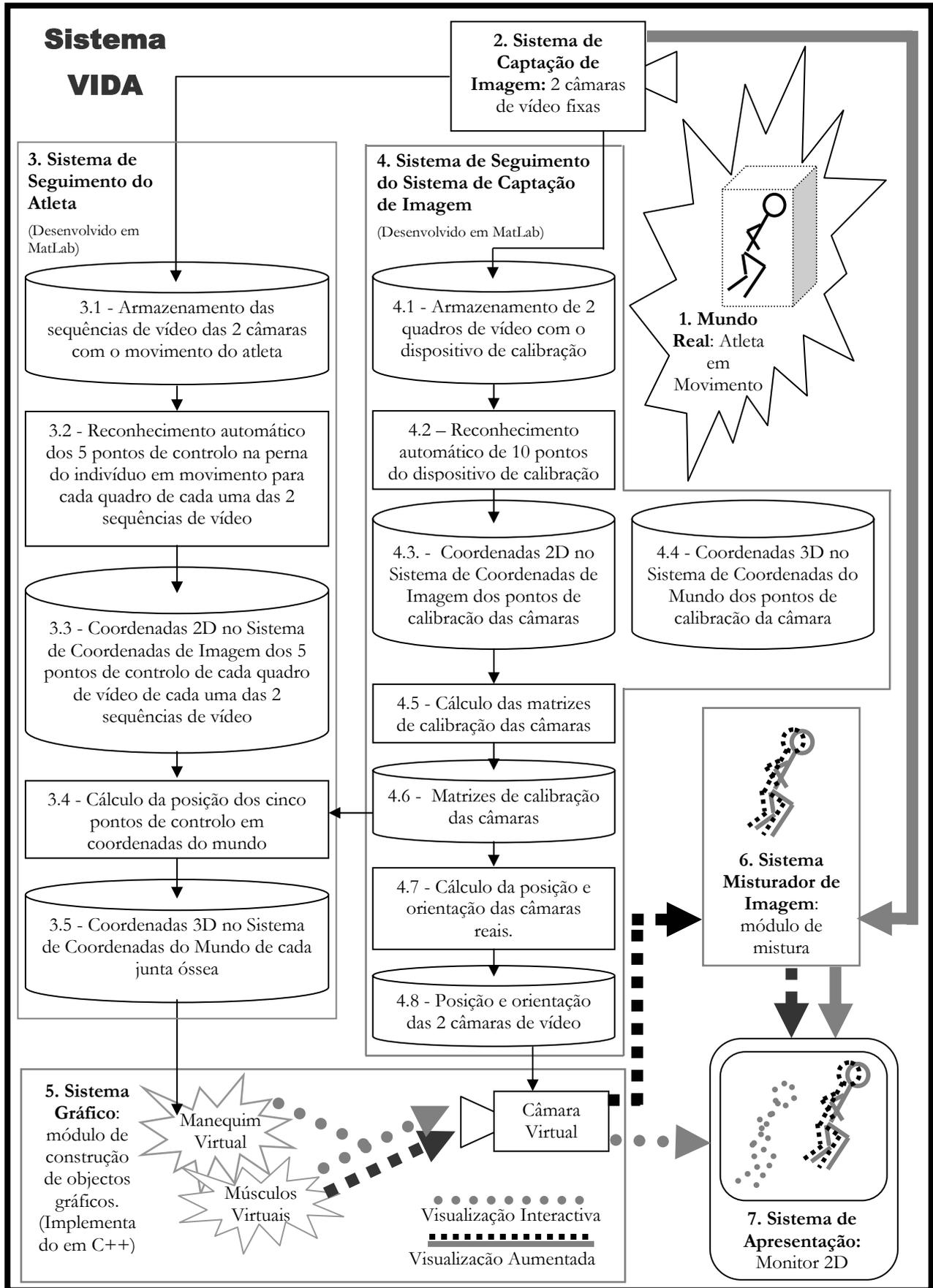


Figura 1: Arquitectura do Visualizador Interactivo de Dados Biomecânicos Aumentados

- Cada uma das câmaras executa a projecção perspectiva do mundo 3D num plano de imagem 2D.
 - Os parâmetros intrínsecos (distância focal e distorção da lente) e extrínsecos (posição e orientação) da câmara determinam o que é projectado no plano de visualização.
- 3 O Sistema de Seguimento do Atleta (SSA), que no presente caso recorre às imagens captadas pelas câmaras do sistema de captação de imagem, permite conhecer em cada instante a posição tridimensional de cada uma das 21 juntas ósseas [Braz99] pertinentes para a geração do modelo virtual do atleta.
 - 4 O Sistema de Seguimento do Sistema de Captação de Imagem (SSSCI) permite determinar os parâmetros intrínsecos e extrínsecos do SCI.
 - 5 A geração do objecto virtual (manequim e músculos do atleta) é executada por um Sistema Gráfico, no presente caso baseado no GLUT - OpenGL Utility Toolkit [Kilgard96].
 - O Sistema Gráfico necessita da informação proveniente do SSA (3) sobre a imagem do mundo real, por forma a reproduzir correctamente o manequim e os músculos virtuais; e da informação proveniente d SSSCI (4) por forma a gerar uma câmara virtual/sintética alinhada com a câmara real.
 - 6 No modo de apresentação aumentada a imagem dos músculos virtuais é “misturada” com a imagem do mundo real, no Sistema Misturador de Imagem, para formar a imagem de realidade aumentada e apresentada no Sistema de Apresentação (7).
 - 7 No modo de apresentação interactivo a imagem do manequim e dos músculos virtuais é apresentada no Sistema de Apresentação (7) sendo a projecção do modelo 3D no plano de imagem 2D controlada através da interacção do utilizador com o Sistema Gráfico (5).

2.1 Limitações

Tratando-se de uma versão destinada a um estudo de viabilidade, a presente versão do VIDA tem como objectivo tratar um caso elementar e tem em consideração as seguintes restrições:

- No que respeita a uma futura implementação de um sistema de RA, não aborda a problemática do seguimento em tempo real, e, conseqüentemente, a apresentação em tempo real do movimento do atleta.
- No que concerne às técnicas de Visão Computacional, não aborda a problemática do tratamento de oclusões.
- Destina-se a seguir apenas uma das pernas do indivíduo em movimento.

Tendo em mente estes três pressupostos e baseando-nos na Figura 1 podemos descrever o seu funcionamento da tal como se explicita em seguida:

2.2 Captação de Imagem

- O Mundo real (1), i.e., uma das pernas do indivíduo em movimento, é observado por um Sistema de Captação de Imagem (2) composto por 2 câmaras de vídeo fixas.

2.3 Dados de entrada

Os dados de entrada para a aplicação desenvolvida no âmbito do estudo de viabilidade consistem em:

- 2 Sequências de vídeo com a estrela de calibração [Pascoal01], para calibração das 2 câmaras fixas.
- 2 sequências de vídeo com o movimento da perna analisada.
- 1 matriz com as posições de cada um dos 10 pontos da estrela de calibração [Pascoal01] em coordenadas tridimensionais no Sistema de Coordenadas do Mundo

2.4 Seguimento do Sistema de Captação de Imagem

Considerando que as câmaras de vídeo estão fixas durante todo o processo de captação de dados, o Sistema de Seguimento do Sistema de Captação de Imagem (4) só necessita de calcular a posição e orientação das câmaras no início do processo de captação de dados.

- O procedimento de calibração das duas câmaras de vídeo começa com a captação, e armazenamento de, pelo menos, um quadro de vídeo em que sejam claramente visíveis 10 pontos, de que sejam conhecidas as coordenadas no sistema de coordenadas do mundo, doravante denominados pontos de calibração (bloco 4.1 da figura 1).
- Para cada quadro de vídeo, são detectados, com recurso a um algoritmo de reconhecimento de imagem, os 10 pontos da estrela de calibração [Pascoal01] e determinadas as coordenadas de cada um dos 10 pontos de calibração no sistema de coordenadas da imagem e a sua correspondência às respectivas coordenadas no sistema de coordenadas do mundo (bloco 4.2 da figura 1).
- As matrizes com as coordenadas no Sistema de Coordenadas da Imagem (4.3.) e correspondentes coordenadas no Sistema de Coordenadas do Mundo (4.4) de cada um dos 10 pontos de calibração são passadas para o módulo de cálculo da posição e orientação das câmaras reais (4.5).
- Os cálculos necessários para calibração de cada uma das duas câmaras de vídeo, i.e. para a determinação das suas posição e orientação em coordenadas do mundo, são descritos mais à frente na Secção 3.

2.5 Seguimento do movimento humano

O Sistema de seguimento da perna do indivíduo em movimento (3) permite conhecer em cada quadro de vídeo a posição de cada uma das 5 juntas ósseas pertinentes para a geração do modelo virtual da perna.

O seu funcionamento pode ser descrito da seguinte forma:

- As sequências de vídeo captadas pelas 2 câmaras de vídeo são armazenadas em disco (bloco 3.1 da figura 1)
- Para cada um dos quadros de vídeo de cada uma das duas sequências, são detectados e reconhecidos, com recurso a um algoritmo de reconhecimento de imagem os 5 pontos de controlo da perna, coincidentes com cada uma das 5 juntas ósseas (bloco 3.2 da figura 1).
- As coordenadas 2D no Sistema de Coordenadas de Imagem dos 5 pontos de controlo em cada quadro de vídeo de cada uma das 2 sequências de vídeo são armazenados (3.3).
- O cálculo da posição 3D em coordenadas do mundo de cada ponto de controlo para cada quadro de vídeo de cada uma das duas sequências de vídeo (3.4) é descrito mais à frente na secção 3.
- As Coordenadas 3D no Sistema de Coordenadas do Mundo de cada um dos 5 pontos de controlo, armazenadas (3.5), são passadas para o Sistema Gráfico (5) a fim de gerar o modelo virtual da perna seguida e dos respectivos músculos.

2.6 Visualização interactiva

Para o modo de visualização interactiva do Manequim, o Sistema Gráfico (5) do VIDA, com base nas coordenadas 3D no Sistema de Coordenadas do Mundo dos 5 pontos de controlo para cada conjunto de 2 quadros de vídeo sincronizados, vai construir o Manequim e apresentá-lo no Sistema de Apresentação (7). A construção tridimensional do manequim é descrita detalhadamente, mais à frente na secção 3.

2.7 Visualização aumentada

Para o modo de visualização aumentada do movimento do atleta:

- O VIDA começa por calcular a posição e orientação da câmara virtual com base na matriz de calibração da câmara (bloco 4.7 da figura 1).
- O Sistema Gráfico (5) do VIDA constrói a câmara virtual com base nos dados desse cálculo e em seguida projecta o modelo dos músculos no plano de imagem coincidente com o da câmara real.
- A imagem dos músculos alinhada espacialmente é depois misturada com o respectivo quadro de vídeo no sistema Misturador de Imagem (6).

- O quadro de vídeo aumentado com os músculos virtuais é então apresentado num sistema de apresentação (7).

3 REALIZAÇÃO DO SISTEMA VIDA

3.1 Problema

Se pretendermos, de alguma forma, estruturar o problema apresentado pelo LB/ FMH na sua totalidade, podemos afirmar que passa por:

- Detecção automática, em cada quadro de vídeo proveniente de cada uma das duas câmaras usadas, das marcas iridescentes que assinalam as posições dos centros articulares do indivíduo em andamento.
- Cálculo da posição tridimensional no sistema de coordenadas do mundo das acima referidas marcas com base nas posições bidimensionais da imagem de cada marca em coordenadas dos quadros de vídeo.
- Construção de um modelo virtual do indivíduo.
- Cálculo da posição e orientação da câmara de vídeo.
- Síntese de uma câmara virtual coincidente com a posição e orientação da câmara calculada.
- Projecção do modelo criado no plano de imagem.
- Sobreposição da projecção obtida ao quadro de vídeo.

O problema em causa pode ser reduzido ao caso mais simples da detecção de uma mesma marca iridescente em dois quadros de vídeo correspondentes a um mesmo instante no tempo e oriundos de diferentes câmaras com diferentes localizações e posterior cálculo da posição tridimensional da marca, em coordenadas do mundo, com base nas posições bidimensionais das imagens da marca em cada um dos dois quadros, em coordenadas do quadro de vídeo.

3.2 Reconhecimento de Marcas

O Módulo de Reconhecimento de Marcas implementado na versão do VIDA usada para experimentação com vista a uma futura realização de um sistema de RA, aborda a detecção de marcas iridescentes em sequências de vídeo num ambiente laboratorial controlado.

Considerando que o presente trabalho pretende ser apenas um estudo de viabilidade técnica, para o reconhecimento automático das marcas iridescentes recorreu-se a um algoritmo de reconhecimento de marcas desenvolvido propositadamente para as sequências captadas e a elas adaptado, na medida em que são conhecidas metodologias para a solução dos problemas tomados como pressupostos resolvidos, nomeadamente:

- Com o objectivo de limitar a área total de procura das marcas na imagem podemos recorrer à

subtração de duas imagens consecutivas, aplicando em seguida o algoritmo de procura à proximidade do subconjunto da imagem em que foi “detectado” movimento. [Haralick93].

- Com o objectivo de acelerar a procura na imagem de uma segunda câmara, das marcas já detectadas na imagem proveniente das marcas de uma primeira câmara, podemos procurá-las ao longo da recta epipolar [Seo00] [Zhang96].
- Com o objectivo de acelerar a procura de marcas nos quadros subsequentes de uma sequência de vídeo podemos limitar a procura a uma proximidade das coordenadas onde foi detectada a marca no quadro anterior.

O desenvolvimento do algoritmo para reconhecimento das marcas que assinalam as juntas ósseas na perna direita do indivíduo passou pela experimentação de diversos algoritmos, tendo a escolha final recaído num algoritmo de detecção de centróides que, apesar de pouco flexível, foi possível adaptar por forma a detectar de forma correcta as marcas no número de quadros de vídeo consecutivos necessários para a análise do movimento em causa.

Este algoritmo passa por:

- 1 Leitura de um quadro de uma sequência de vídeo.
- 2 Conversão do quadro numa imagem de intensidades.
- 3 Limiarização (*thresholding*) da imagem para conversão em imagem binária.
- 4 Aplicação de um filtro de dimensões para descartar grandes áreas de elevada intensidade.
- 5 Baseado no subconjunto da imagem obtido em (4) aplica-se à imagem de intensidades a transformada de Hough [Jain95] para detecção dos centróides correspondentes às marcas.
- 6 Determinação das coordenadas bidimensionais no sistema de coordenadas da imagem dos centros de massa dos centróides.
- 7 Determinação da correspondência entre os centros de massa detectados e cada uma das marcas.

Desta forma foi possível detectar todas as marcas da estrela de calibração (figura 2), assim como as cinco marcas, nas duas sequências de quadros provenientes das duas

câmaras utilizadas para a posterior reconstrução das posições tridimensionais dos pontos (figuras 3 e 4).

3.3 Reconstrução Tridimensional

Descrição do Método

De acordo com o raciocínio descrito em [Kwon94], simplificada, pode-se relacionar directamente o objecto e a imagem projectada tal como se vê na figura 5. O ponto O do objecto é directamente projectado no ponto I do plano de imagem. O ponto N é o centro de projecção e forma com os pontos O e I uma linha recta, verificando a condição de colinearidade. São definidos dois sistemas de coordenadas: o sistema de coordenadas do mundo [XYZ] e o sistema de coordenadas do plano de imagem [UV]. Os sistemas ópticos do dispositivo de digitalização e do dispositivo de visualização mapeiam



Figura 2: Marcas da estrela de calibração detectadas.

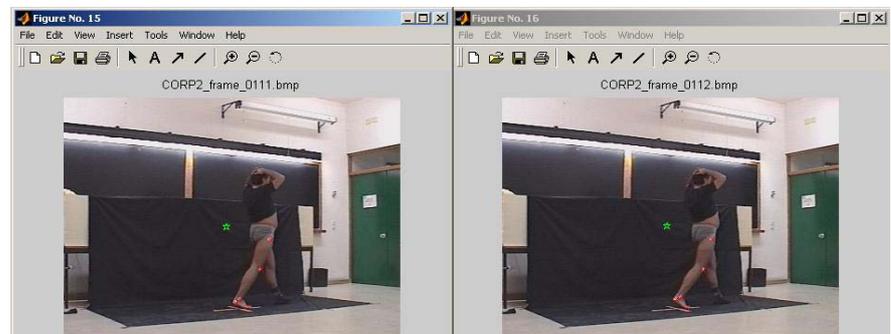


Figura 3: Quadros inicial e final, captados pela câmara 1.

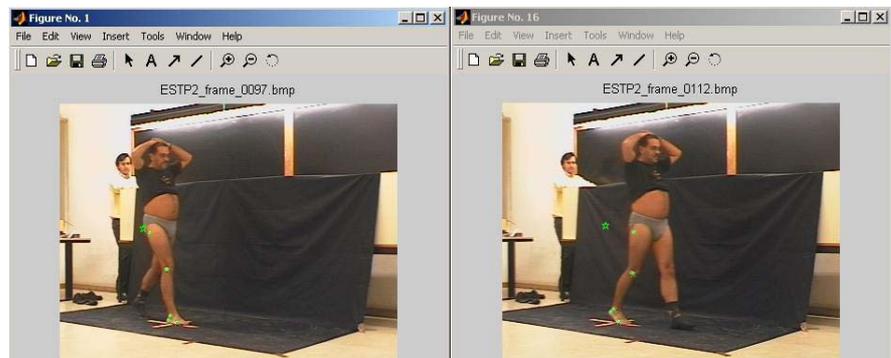


Figura 4: Quadros inicial e final, captados pela câmara 2.

o ponto O, de coordenadas [x y z] no sistema de coordenadas do mundo, no ponto I, de coordenadas [u v] no sistema de coordenadas do plano de imagem. Sendo [x₀ y₀ z₀] as coordenadas do centro de projecção N, no sistema de coordenadas do mundo, o vector A, desenhado de N para O exprime-se como [x-x₀ y-y₀ z-z₀].

Adicionando o eixo W, tal como se vê na Figura 5, ao sistema de coordenadas do plano da imagem, por forma a torná-lo tridimensional, as coordenadas em W dos pontos da imagem são sempre 0, e a posição 3D do ponto I torna-se [u v 0].

Na Figura 5 introduziu-se um novo ponto P, denominado *Ponto Principal*, localizado na intersecção do denominado *Eixo Principal* com o plano da imagem. O Eixo Principal é a linha perpendicular ao plano da imagem e que passa pelo ponto N. Desta forma o eixo principal é de facto paralelo ao eixo W; d, denominada *Distância Principal*, é a distância entre os pontos P e N. Sendo [u₀ v₀ 0] as coordenadas do Ponto Principal P, no sistema de coordenadas do plano de imagem, as coordenadas do centro de projecção são [u₀ v₀ d], e o vector B, de N para I, terá como coordenadas:

$$[u-u_0 \ v-v_0 \ -d]$$

De acordo com a condição de colinearidade, os vectores A e B formam um linha recta única. Se os dois vectores fossem definidos no mesmo sistema de coordenadas, a condição de colinearidade seria equivalente a [1]:

$$B^{(I)} = cA^{(I)} \quad [1]$$

em que c é uma constante de redimensionamento e B^(I) e A^(I) são os vectores A e B no sistema de coordenadas do plano da imagem. Note-se no entanto que o vector A está descrito no sistema de coordenadas do mundo enquanto o vector B está descrito no sistema de coordenadas do plano da imagem. A fim de relacionar estes dois vectores temos de os expressar num mesmo sistema de coordenadas. Uma forma de o fazer é exprimir o vector A no sistema de coordenadas do plano da imagem.

Seja R a matriz de transformação do sistema de coordenadas do mundo no sistema de coordenadas do plano de imagem, então:

$$A^{(I)} = R \cdot A = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \cdot A \quad [2]$$

em que A^(I) é o vector A descrito em termos do sistema de coordenadas do plano da imagem. Substituindo [2] na condição de colinearidade [1], obtém-se [3.1] na forma compacta ou [3.2] na forma matricial:

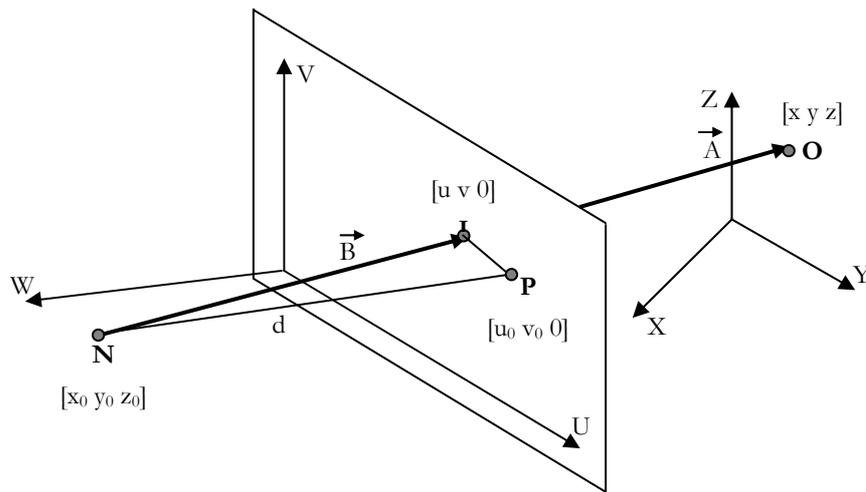


Figura 5: Sistemas de coordenadas do mundo e do plano de imagem

$$B = cRA \quad [3.1]$$

$$\begin{bmatrix} u_w - u_{w0} \\ v_w - v_{w0} \\ -d \end{bmatrix} = c \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{bmatrix} \quad [3.2]$$

Reduzindo [3.2] à forma de equações e resolvendo em ordem a c obtemos o sistema [4]:

$$c = \frac{-d}{[r_{31}(x-x_0) + r_{32}(y-y_0) + r_{33}(z-z_0)]}$$

$$u_w - u_{w0} = -d \frac{[r_{11}(x-x_0) + r_{12}(y-y_0) + r_{13}(z-z_0)]}{[r_{31}(x-x_0) + r_{32}(y-y_0) + r_{33}(z-z_0)]} \quad [4]$$

$$v_w - v_{w0} = -d \frac{[r_{21}(x-x_0) + r_{22}(y-y_0) + r_{23}(z-z_0)]}{[r_{31}(x-x_0) + r_{32}(y-y_0) + r_{33}(z-z_0)]}$$

Note-se que u_w, v_w, u_{w0}, v_{w0} em [4] são valores em unidades do sistema de coordenadas do mundo e podem diferir até um factor de escala dos valores obtidos pela digitalização uma vez que estes estarão em unidades do digitalizador. Assumindo que as unidades do digitalizador são diferentes das unidades do sistema de coordenadas do mundo, temos de considerar:

$$u_w - u_{w0} = \lambda_u(u - u_0) \quad [5]$$

$$v_w - v_{w0} = \lambda_v(v - v_0)$$

Em que [u v] são as coordenadas do ponto I no sistema de coordenadas do mundo em unidades do digitalizador, [u₀ v₀] as coordenadas do ponto principal no sistema de coordenadas do mundo em unidades do digitalizador, e [λ_u λ_v] são os factores de escala para a conversão das unidades do digitalizador nas unidades do Sistema de Coordenadas do Mundo.

Substituindo [5] em [4] e rearranjando por forma a determinar u e v obtemos:

$$u = \frac{L_1x + L_2y + L_3z + L_4}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}$$

$$v = \frac{L_5x + L_6y + L_7z + L_8}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1} \quad [6]$$

onde:

$$L_1 = \frac{u_0 r_{31} - d_u r_{11}}{D}$$

$$L_2 = \frac{u_0 r_{32} - d_u r_{12}}{D}$$

$$L_3 = \frac{u_0 r_{33} - d_u r_{13}}{D}$$

$$L_4 = \frac{(d_u r_{11} - u_0 r_{31})x_0 + (d_u r_{12} - u_0 r_{32})y_0 + (d_u r_{13} - u_0 r_{33})z_0}{D}$$

$$L_5 = \frac{v_0 r_{31} - d_v r_{21}}{D}$$

$$L_6 = \frac{v_0 r_{32} - d_v r_{22}}{D}$$

$$L_7 = \frac{v_0 r_{33} - d_v r_{23}}{D}$$

$$L_8 = \frac{(d_v r_{21} - v_0 r_{31})x_0 + (d_v r_{22} - v_0 r_{32})y_0 + (d_v r_{23} - v_0 r_{33})z_0}{D}$$

$$L_9 = \frac{r_{31}}{D} \quad L_{10} = \frac{r_{32}}{D} \quad L_{11} = \frac{r_{33}}{D}$$

$$d_u = \frac{d}{\lambda_u} \quad d_v = \frac{d}{\lambda_v} \quad D = -(x_0 r_{31} + y_0 r_{32} + z_0 r_{33})$$

Em [6], os parâmetros L_1 a L_{11} , denominados parâmetros DLT em [Kwon94], reflectem a relação entre o sistema de coordenadas do mundo e o sistema de coordenadas do plano de imagem, i.e. os valores da matriz de calibração do dispositivo de captação de imagem, no nosso caso, da câmara de vídeo.

Calibração da Câmara

A calibração da câmara em relação a um sistema de coordenadas tomado como padrão, passa assim pela determinação dos 11 parâmetros L_1 a L_{11} .

Rearranjando [6] em ordem aos parâmetros DLT obtemos:

$$\begin{bmatrix} x & y & z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -ux & -uy & -uz \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & y & z & 1 & -vx & -vy & -vz \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_{10} \\ L_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad [7]$$

ou na forma compacta:

$$X L = U \quad [8]$$

De [7] podemos concluir que, para determinar os 11 parâmetros DLT, necessitamos de conhecer as posições tridimensionais $[x \ y \ z]$, no sistema de coordenadas do mundo tomado como padrão, e bidimensionais $[u \ v]$, no sistema de coordenadas do plano de imagem, de pelo menos 6 pontos de controlo.

Resolvendo [8] em ordem a L :

$$(X^t X)^{-1}(X^t X)L = (X^t X)^{-1}(X^t U)$$

Obtemos:

$$L = (X^t X)^{-1}(X^t U) \quad [9]$$

Construindo as matrizes X e U com as posições tridimensionais das marcas de calibração em coordenadas do mundo e as posições bidimensionais, e calculando [9] através do algoritmo descrito em [Kwon94], obtemos os parâmetros DLT.

Cálculo das Coordenadas 3D das Marcas no Sistema de Coordenadas do Mundo

Uma vez determinados os valores da matriz de calibração, aqui denominados parâmetros DLT, podemos rearranjar [6] em ordem a $[x \ y \ z]$ e obtemos [10] na forma compacta:

$$\begin{bmatrix} L_1 - uL_9 & L_2 - uL_{10} & L_3 - uL_{11} \\ L_5 - vL_9 & L_6 - vL_{10} & L_7 - vL_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_4 - u \\ L_8 - v \end{bmatrix} \quad [10]$$

calculando a pseudo-inversa da mesma forma que em [9], obtemos as coordenadas dos pontos de controlo no sistema de coordenadas do mundo.

Na Figura 6 apresenta-se a posição inicial e final do modelo virtual da perna direita construído com base nas coordenadas tridimensionais oriundas da reconstrução.

3.4 Construção do Modelo Virtual

Na versão do VIDA usada para experimentação e aqui descrita foram seguidos apenas os 5 pontos de controlo necessários para a reconstrução da perna direita do indivíduo em movimento. Na versão actualmente usada no Laboratório de Biomecânica da FMH, as coordenadas tridimensionais de cada marca no sistema de coordenadas do mundo, doravante denominadas são consideradas dados de entrada para o Sistema Gráfico do VIDA (módulo 5 na figura 1).

Modelização do Manequim

O modelo virtual do indivíduo foi construído em OpenGL [Kilgard96] colocando uma esfera nos pontos de controlo correspondentes a juntas ósseas e um paralelepípedo no ponto euclidianamente intermédio a cada junta óssea. Os cálculos necessários são executados em C++ e descritos em seguida.

Animação do Manequim

Para construir e animar o manequim existem como dados de entrada, para cada quadro ou trama, as posições dos 21 pontos correspondentes na sua generalidade às juntas ósseas do corpo humano. A

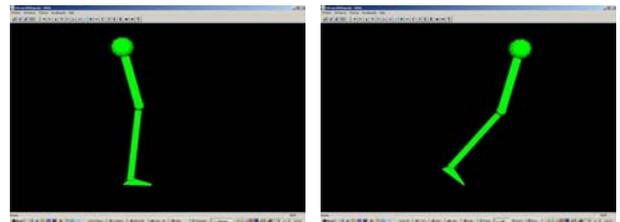


Figura 6: Modelo virtual da perna direita

posição de cada marca, e correspondente numeração, faz parte da especificação de requisitos da aplicação [Braz99].

Cálculos das coordenadas:

Os procedimentos e cálculos executados pelo Sistema Gráfico, e realizados em C++, podem ser descritos na seguinte forma:

1. A posição tridimensional da junta óssea intersegmentar inicial, (x_1, y_1, z_1) na Figura 7, é lida de um ficheiro de MS Excel que contém os dados cinemáticos referentes aos 21 pontos de controlo.
2. É calculada a rotação (ângulo e eixo de rotação) que essa junta tem que sofrer para que um vector U que nela se inicie, atinja a posição da junta óssea seguinte: (x_2, y_2, z_2) na Figura 7.
3. É determinada a distância euclidiana entre a junta óssea em causa (x_1, y_1, z_1) e a que se lhe segue no corpo humano (de cima para baixo) (x_2, y_2, z_2) .
4. As coordenadas da posição da peça óssea são determinadas como as coordenadas em x e em z da junta óssea de início e metade da distância entre as duas juntas ósseas em y : $(X_{Osso}, Y_{Osso}, Z_{Osso})$

Visualização

Para apresentação do conjunto junta intersegmentar óssea/segmento ósseo (ou peça óssea) procede-se da seguinte forma:

5. Translada-se o centro do sistema de coordenadas para a posição da junta intersegmentar óssea inicial lida em 1) (`glTranslate`)
6. Roda-se o sistema de coordenadas, no ângulo determinado em 2) e em redor do eixo determinado em 2). (`glRotate`)
7. Desenha-se a junta óssea (`gluSolidSphere`)
8. Desloca-se o centro das coordenadas para a posição determinada em 4) (`glTranslate`)
9. Desenha-se a peça óssea que tem início na junta óssea anteriormente desenhada (`gluSolidBox`).
10. Executa-se novamente o ponto 5) agora para a junta óssea seguinte.

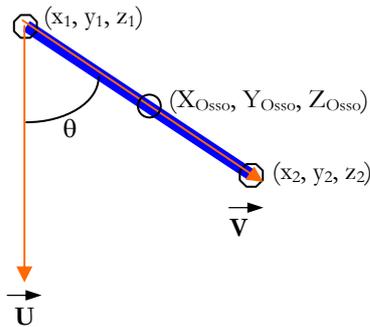


Figura 7: Coordenadas usadas no cálculo da rotação de cada peça óssea por forma a ajustá-la às coordenadas da juntas ósseas inicial e final obtidas por reconstrução tridimensional.

A Figura 7 apresenta os elementos usados nos cálculos de posição e rotação para cada quadro de todas as juntas e peças ósseas. Na referida figura (x_1, y_1, z_1) são coordenadas da junta inicial (p.e. da anca) lidas do ficheiro de dados cinemáticos, (x_3, y_3, z_3) são as coordenadas da junta final (p.e. do joelho) lidas do mesmo ficheiro, (x_2, y_2, z_2) . $(X_{Osso}, Y_{Osso}, Z_{Osso})$ são as coordenadas intermédias entre as juntas ósseas intersegmentares inicial e final e que correspondem à localização da peça óssea (ou muscular) localizada entre elas (p.e. a coxa).

Animação dos Músculos

Sempre que um músculo necessite de mais de um segmento de recta para sua representação, os cálculos executados para posicionamento desse músculo são em tudo semelhantes aos usados para o posicionamento das peças ósseas.

Coloração dos Músculos

Para codificar numa gama de cores os dados correspondentes à indutância da superfície da pele sobre o músculo em causa, procede-se da seguinte forma:

- O valor correspondente ao esforço muscular de um músculo é lido do ficheiro de Excel que contém os dados fisiológicos.
- É determinado o valor máximo.

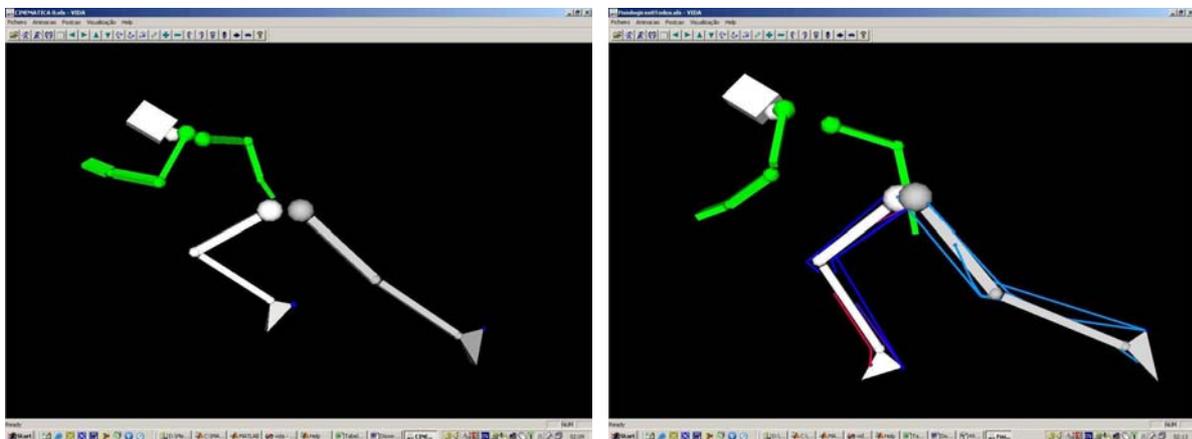


Figura 8: Imagem do modelo virtual do indivíduo em movimento com e sem músculos visíveis.

- Os valores são normalizados entre 0 e 1: $\text{valor}[i] = \text{valor}[i]/\text{valor máximo}$
- A cor é determinada como: Red = $\text{valor}[i]$; Green = 0; Blue = $1 - \text{valor}[i]$;

Na figura 8 apresenta-se um quadro do modelo virtual do indivíduo em movimento, com e sem músculos, construído a partir de dados fornecidos pelo LB/FMH.

3.5 Projecção do Modelo Virtual no Plano de Imagem da Câmara

Para conseguir o correcto alinhamento visual do modelo virtual sobre o quadro de vídeo é ainda necessário determinar a posição da câmara assim como as coordenadas do seu ponto principal.

Cálculo da Localização da Câmara e das Coordenadas do Ponto Principal

A posição da câmara no sistema de coordenadas do mundo pode ser calculada como:

$$L_1x_0 + L_2y_0 + L_3z_0 = -L_4$$

$$L_5x_0 + L_6y_0 + L_7z_0 = -L_8$$

$$L_9x_0 + L_{10}y_0 + L_{11}z_0 = -1$$

$$\begin{bmatrix} L_1 & L_2 & L_3 \\ L_5 & L_6 & L_7 \\ L_9 & L_{10} & L_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_4 \\ -L_8 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 & L_2 & L_3 \\ L_5 & L_6 & L_7 \\ L_9 & L_{10} & L_{11} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} L_4 \\ L_8 \\ -1 \end{bmatrix} \quad [11]$$

e, desde que os parâmetros DLT sejam calculados com base na Transformação Linear Directa Modificada [Kwon94] as coordenadas do ponto principal $[u_0, v_0]$ no sistema de coordenadas de imagem podem ser determinadas a partir de [6] como:

$$L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2 = \frac{1}{D^2} (r_{31}^2 + r_{32}^2 + r_{33}^2) = \frac{1}{D^2}$$

$$u_0 = D^2 (L_1L_9 + L_2L_{10} + L_3L_{11}) = \frac{L_1L_9 + L_2L_{10} + L_3L_{11}}{L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2}$$

$$v_0 = D^2 (L_5L_9 + L_6L_{10} + L_7L_{11}) = \frac{L_5L_9 + L_6L_{10} + L_7L_{11}}{L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2}$$



Figura 9: Visualização aumentada do movimento do indivíduo

Para os dados fornecidos pelo LB/FMH foram determinados três conjunto de parâmetros DLT, correspondentes às três câmaras usadas para a captação do movimento de um indivíduo, com base nos quais foram sintetizadas as câmaras virtuais alinhadas com as reais o que permitiu alinhar o manequim apresentado na Figura 9 com a sequência de vídeo por forma a apresentar uma visualização aumentada do indivíduo em movimento de que se apresenta um exemplo na Figura 10.

4 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Actualmente a versão em utilização do VIDA permite:

- Observar o esforço muscular de um indivíduo directamente sobre um modelo virtual tridimensional manipulável desse indivíduo.
- Projectar o modelo virtual do indivíduo sobre as sequências de vídeo a partir das quais foi construído esse mesmo modelo, criando um ambiente de Realidade Misturada, intermédio, entre o processo tradicional e o ambiente de Realidade Aumentada desejável.

Não lidando portanto, nem com o tratamento de oclusões nem com o funcionamento em tempo real, imprescindíveis para uma visualização de dados biomecânicos baseada num Sistema de Realidade Aumentada.

A evolução natural do presente trabalho, no que respeita à introdução de um sistema de Realidade Aumentada no Laboratório de Biomecânica da FMH, parece-nos ser no sentido de:

- Permitir a visualização de dados em tempo real.

- Incorporar a possibilidade de visualização através de um HMD Video see-through.

Tarefas que, considerando o trabalho de investigação, os conhecimentos exigidos e o volume de trabalho em causa, seria desejável desenvolver no âmbito de um projecto de investigação e desenvolvimento com financiamento autónomo.

No que concerne a aspectos de funcionamento da aplicação nos quais o Laboratório de Biomecânica da FMH manifestou já especial interesse, como sejam:

- A substituição dos modelos paralelipédicos das peças ósseas por modelos realistas.
- A substituição dos modelos lineares das massas musculares lineares por modelos realistas.
- O cálculo das forças de reacção nas juntas e dos momentos musculares, assim como a sua visualização sob forma de vectores aplicados nos respectivos pontos de origem

Consideramos tratar-se de objectivos facilmente atingíveis a breve trecho, possivelmente no âmbito de um projecto de final de um Curso de Engenharia Informática.

5 BIBLIOGRAFIA

[Braz99] José Braz, “*Relatório Técnico do Projecto da Disciplina de Computação Gráfica II do Mestrado em Engenharia Electrónica e de Computadores*”; Instituto Superior Técnico, 1999.
<<http://ltodi.est.ips.pt/jbraz/Projectos.htm>>

[Haralick93] Robert M. Haralick, Linda G. Shapiro: Computer and Robot Vision Volume II; Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1993. ISBN:0-201-56943-2(v.2)

[Jain95] R. Jain, R. Kasturi, B. G. Schunk, “*Machine Vision*”, McGraw-Hill Series in Computer Science, 1995. ISBN:007-032018-7. pgs 218-223.

[Kilgard96] Mark J. Kilgard, “*The OpenGL Utility Toolkit (GLUT)- API Version 3*”; Silicon Graphics, Inc., November 13, 1996.
<<http://informatica.uv.es/iiguia/2000/AIG/docs/glut3.pdf>>

[Kwon94] Young-Hoo Kwon: *Kwon3D: DLT Method*.
<<http://kwon3d.com/theories.html>>

[Pascoal01] Augusto Gil Brites de Andrade Pascoal: “*Ombro e Elevação do Braço, Análise cinemática e electromiográfica sobre a influência da carga externa e velocidade do braço no ritmo escapulo-umeral tridimensional*”. Dissertação com vista à obtenção do grau de Doutor em Motricidade Humana na especialidade de Ciências da Motricidade, Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Motricidade Humana, Lisboa, Portugal, 2001.

[Seo00] Yongduek Seo, Ki Sang Hong, “*Calibration-Free Augmented Reality in Perspective*”, in IEEE

Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 6, Nº4, October-December, 2000.

[Vallino01] Jim Vallino: Introduction to Augmented Reality; 2001.
<http://www.se.rit.edu/~jrv/research/ar/introduction.html>.

[Vaughan92] Cristopher L. Vaughan, Brian L. Davis, Jeremy C. O'Connor “*Dynamics of Human Gait*”, Human Kinetics Publishers, July, 1992, ISBN: 087-322-37-13.
<<http://isb.ri.ccf.org/data/gaitlab/>>

[Zhang96] Z. Zhang, “*Determining the Epipolar Geometry and Its Uncertainty: A Review*”, Technical Report 2079, INRIA, France, July, 1996.