



LABORATÓRIO DE ÓPTICA E MECÂNICA EXPERIMENTAL

RELATÓRIO INTERNO

Calibração do Sistema de Aquisição de Informação 3D do LOME

Maria Cândida F. S. P. Coelho
João Manuel R. S. Tavares

Abril de 2004

RESUMO

O presente relatório tem como principal objectivo descrever, resumidamente, os passos que foram seguidos para calibrar o sistema de aquisição tridimensional (3D) que está a ser desenvolvido no Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental (*LOME*). Assim, o relatório é constituído por quatro secções: na primeira, é feita uma pequena introdução ao sistema de aquisição do *LOME*; na segunda, é descrito o *setup* utilizado para calibrar esse sistema; na terceira, são apresentados os valores, fornecidos pelos fabricantes da câmara e do projector, de alguns parâmetros intrínsecos; e na quarta e última secção, são apresentados os parâmetros de calibração estimados para a câmara e para o projector.

ABSTRACT

The main goal of the present report is to briefly describe the steps that had been followed to calibrate the three-dimensional (3D) information acquisition system being developed in the Optical and Experimental Mechanics Laboratory (*LOME*). Thus, this report is composed by four sections: in the first one, a introduction to the *LOME*'s acquisition system is presented; in the second, the setup used to calibrate that system is described; in the third, the values, supplied from the manufacturers, of some intrinsic parameters of the camera and of projector are indicated; and in the fourth and last section, all the estimated calibration parameters are presented.

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - <i>SETUP</i> DE CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO	1
2.1 - Calibração da câmara	1
2.2- Calibração do projector (interage com a calibração da câmara).....	2
3 - PARÂMETROS FORNECIDOS PELO FABRICANTE	3
4 - RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO.....	3
4.1 - Calibração da câmara	3
4.2 - Calibração do projector	4
5 - REFERÊNCIAS	5
ANEXO	6

1 - INTRODUÇÃO

O sistema de aquisição de informação 3D que está a ser desenvolvido no Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental (LOME) é constituído por: um projector vídeo que utiliza a tecnologia *Digital Light Processing (DLP)* de elevada resolução (1024×768 *pixels*), uma câmara *CCD Kodak ES-10* de 1008×1018 *pixels* por 8 *bits* e um *frame grabber Matrox Genesis 32bits/33MHz PCI* de 1600×1200 *pixels* capaz de endereçar correctamente os requerimentos de resolução e velocidade. O sistema é totalmente controlado por *software* em plataforma *Microsoft Windows* [Tavares P., 2001] (Fig. 1).

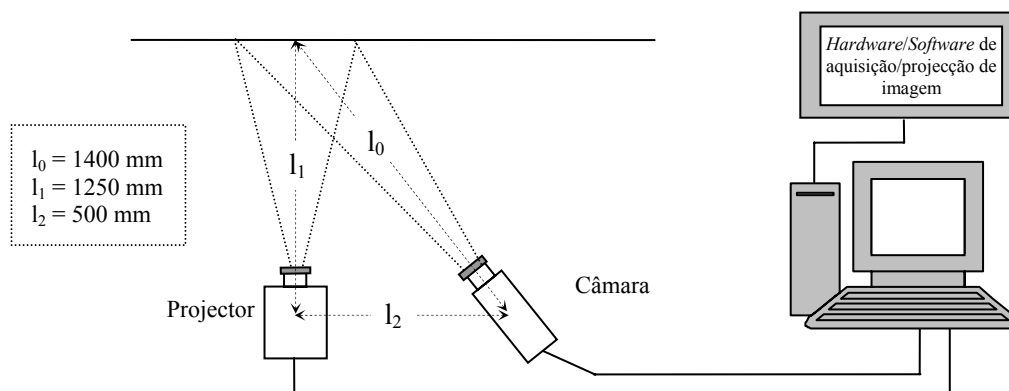


Figura 1 – Sistema de aquisição de informação 3D do Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental.
(As medidas apresentadas são apenas a título de exemplo.)

2 - SETUP DE CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO

Nesta secção são apresentados os passos seguidos para a calibração do sistema de aquisição de informação 3D.

2.1 - Calibração da câmara

Para determinar os parâmetros intrínsecos e extrínsecos da câmara foi utilizado um *setup* de calibração que consiste na:

1. Utilização de uma folha de papel com quadrados representados, cujos vértices são os pontos de calibração no referencial 3D mundo (plano de calibração no referencial mundo da Fig. 2);
2. Captura de uma imagem da folha de papel anteriormente descrita, cujos vértices extraídos são os pontos de calibração no referencial 2D imagem da memória frame da câmara (plano de calibração na memória frame da câmara da Fig. 2). A determinação desses pontos pode

ser feita: manualmente ou utilizando por exemplo, a função de extracção de vértices de quadrados da *Toolbox* de calibração para *Matlab* [Coelho, 2003(c)];

3. Determinação dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos da câmara utilizando os métodos de calibração: *Pin Hole* [Coelho, 2003(a)], *Tsai* [Coelho, 2003(a)], *Zhang* [Coelho, 2003(b)] e *Heikkilä* [Coelho, 2003(c)].

2.2- Calibração do projector

Para determinar os parâmetros intrínsecos e extrínsecos do projector é necessário que a câmara esteja previamente calibrada. Assim, o *setup* utilizado para calibração do projector consiste na:

1. Utilização de uma imagem com quadrados, cujos vértices são os pontos de calibração no referencial 2D imagem da memória frame do projector (1º passo da Fig. 2);
2. Projecção dessa imagem com quadrados e, em seguida, obter pela câmara a respectiva imagem da projecção, cujos vértices a extrair são os pontos no referencial 2D imagem da memória frame da câmara (2º passo da Fig. 2);
3. Determinação dos pontos de calibração no referencial 3D mundo, dados os parâmetros intrínsecos e extrínsecos da câmara, previamente obtidos pela calibração da mesma, e os pontos no referencial 2D imagem da memória frame da câmara obtidos no passo anterior (3º passo da Fig. 2). A determinação dessas coordenadas é realizada com os erros associados aos parâmetros estimados pela calibração da câmara;
4. Determinação dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos do projector a partir dos pontos de calibração 2D e 3D determinados no 1º e 3º passos e utilizando o método de calibração *Pin Hole*.

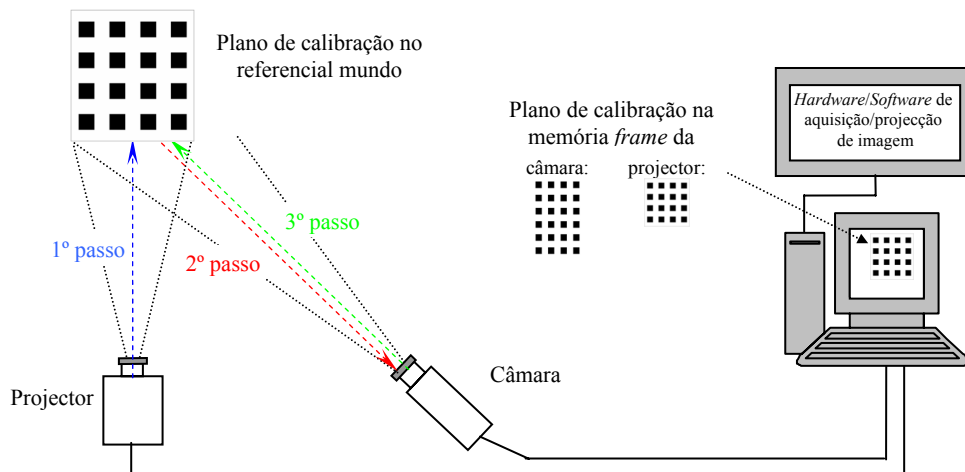


Figura 2 – Setup de calibração do sistema de aquisição de informação 3D do LOME.

3 - PARÂMETROS FORNECIDOS PELO FABRICANTE

Em seguida são apresentados os parâmetros intrínsecos da câmara e do projector que não são estimados pelo método de calibração utilizado. O valor de cada um destes parâmetros é indicado pelo respectivo fabricante ou por nós admitido como ideal.

- Parâmetros intrínsecos da câmara

C_x	504	<i>(Supôs-se que coincide com o centro da imagem)</i>
C_y	509	
dx	9e-3	
dy	9e-3	
Factor Incerteza Horizontal	1	

Tabela 1 – Parâmetros intrínsecos da câmara do sistema de aquisição do LOME.

- Parâmetros intrínsecos do projector

C_x	256	<i>(Supôs-se que coincide com o centro da imagem)</i>
C_y	256	

Tabela 2 – Parâmetros intrínsecos do projector do sistema de aquisição do LOME.

4 - RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos, após a realização da calibração do sistema de aquisição de informação 3D, seguindo os passos apresentados na *secção 2*.

4.1 - Calibração da câmara

Para determinar os parâmetros da câmara com maior precisão, foram realizadas varias experiências de calibração utilizando os métodos *Pin Hole*, *Tsai modificado*, *Zhang* e *Heikkilä*. A partir do desvio médio entre as coordenadas 3D reais e as obtidas no 3º passo da *secção 2.2*, verificou-se que a variação do método de calibração proposto por *Tsai* [Tavares, 1995] apresentou melhores

resultados [Coelho, 2004]. Assim, na tabela seguinte é possível observar os parâmetros da câmara, do sistema de aquisição do *LOME*, estimados por este método.

Ficheiro de Entrada	ModelFind.txt	tx	-151.450974883686
Distorção Radial	-0.00084343806409	ty	-105.793446200862
Distância Focal (Efectiva)	25.343892646014	tz	1530.83574671214
Matriz de Rotação R			
	-0.00123483458580498	0.921662312504095	-0.387991052594192
	0.998262574758918	-0.0217201958850211	-0.0547728484416542
	-0.0589093118211527	-0.38738458255372	-0.920034172289507

Tabela 3 - Parâmetros da câmara estimados utilizando uma variação do método de calibração proposto por Tsai [Tavares, 1995].

4.2 - Calibração do projector

Para estimar os parâmetros intrínsecos e extrínsecos do projector integrado no sistema de aquisição do *LOME* foi utilizado o método de calibração *Pin Hole*. Na Tab. 4 é possível observar os parâmetros de calibração do projector estimados por este método.

Ficheiro de Entrada	Sim_ModelFind_NCopl.txt	tx	-128.732141847672
Distorção Radial	0	ty	-110.933342509622
Distância Focal (relativa)	2502.32154422807 (F_1) 2590.88711023086 (F_2)	tz	1308.39114528317
Matriz de Rotação R			
	-0.016763478130867	0.987253453884739	-0.071015156976857
	0.970105106745332	0.020458811799674	-0.130323594387585
	0.082001755412493	0.028773371080051	-0.996216746107974

Tabela 4 - Parâmetros do projector estimados utilizando o método de calibração *Pin Hole*.

Note-se que apenas foi estimada a distância focal relativa (F_1 , F_2) e não o seu valor efectivo (f), visto que só é possível obter este último conhecendo os parâmetros s_x , d_x e d_y , a partir da seguinte formula:

$$F_1 = \frac{f \times s_x}{d_x} \quad \text{e} \quad F_2 = \frac{f}{d_y}.$$

5 - REFERÊNCIAS

[Coelho, 2003(a)] - Cândida P. Coelho

Dissertação de Mestrado: Desenvolvimento de um Sistema de Levantamento de Forma 3D usando Visão por Computador

Faculdade de Ciências e Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Abr. 2003

[Coelho, 2003(b)] - Cândida P. Coelho, João M. R. S. Tavares

Relatório Interno: Método de Calibração de Câmaras Proposto por Zhang

Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental (LOME/FEUP), Porto, Sept. 2003

[Coelho, 2003(c)] - Cândida P. Coelho, João M. R. S. Tavares

Relatório Interno: Toolbox de Calibração de Câmaras para Matlab

Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental (LOME/FEUP), Porto, Out. 2003

[Coelho, 2004] - Cândida P. Coelho

Calibração Real da Câmara do Sistema de Aquisição 3D do LOME - Resultados

Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental (LOME/FEUP), Porto, Fev. 2004

[Tavares, 1995] - João M. R. S. Tavares

Dissertação de Mestrado: Obtenção de Estrutura Tridimensional a Partir de Movimento de Câmara

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Jun. 1995

[Tavares P., 2001] - Paulo Tavares, Mário Vaz

Perfilometria Tridimensional por Utilização de Luz Estruturada

4º Encontro nacional da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões (APAET),

Bragança, Out. 2001

ANEXO

A.1 - TIPO DE PONTOS DE CALIBRAÇÃO UTILIZADO EM CADA MÉTODO

- *Pin Hole*: não coplanares;
- *Tsai*: coplanares;
- *Zhang*: diferentes posições/orientações do plano de calibração (Sendo R_i a matriz de rotação associada à imagem i , $R_1 \neq R_2$ para cada par de imagens);
- *Matlab*: diferentes posições/orientações do plano de calibração.