

# DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO PARA RECONSTRUÇÃO DE SUPERFÍCIES EM TEMPO REAL

ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI

Universidade Estadual Paulista - Unesp  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Cartografia  
Rua Roberto Simonsen, 305, C.P. 957  
19.060-900 Presidente Prudente, S.P.  
e\_mail: ueppr@eu.ansp.br

CNPq nº 521264/93-6

## 1. INTRODUÇÃO

O problema de reconstrução (ou restituição) automática de uma superfície a partir de imagens vem sendo estudado pela ciência fotogramétrica desde a década de 50, obtendo-se notáveis desenvolvimentos, como a geração de Modelos Numéricos de Elevação usando estereopares. Algumas aplicações, entretanto, demandam respostas em tempo real, que os algoritmos tradicionais de correlação tem dificuldade de atender. Em consequência desta limitação, evita-se o uso da estereofotogrametria convencional em problemas com requisitos de tempo real.

Uma opção é a utilização de um sistema composto de um projetor com luz estruturada e uma única câmara digital, o que reduz consideravelmente a complexidade da etapa de processamento de imagens. Além disto, como a geometria interna do projetor é freqüentemente conhecida, pode-se considerá-lo como uma segunda câmara, reduzindo o problema a uma geometria de estereocâmara.

Várias aplicações de sistemas de reconstrução 3D são mencionadas na literatura. Entre elas, pode-se citar o monitoramento postural, com análise automática de desvios como a escoliose, a restituição numérica de partes para a indústria, a reconstrução de imagens de crânios e de peças e achados de sítios arqueológicos, etc...

Os métodos usando luz estruturada, embora vantajosos sob o ponto de vista da obtenção da resposta em tempo real e da simplicidade do sistema físico, não podem ser aplicados a todos os domínios. Restringem-se, geralmente, a aplicações de curta distância, na área médica e industrial (Schalkoff, 1989).

Para a utilização de um sistema constituído de uma câmara e um projetor, deve-se conhecer com rigor os elementos de orientação interna de ambos, projetor e câmara, bem como a posição e orientação do projetor em relação à câmara. O sistema proposto relaxa estes requisitos através da calibração do feixe emergente do projetor, no referencial da câmara. O padrão projetado é medido automaticamente através de algoritmos de reconhecimento de padrões bastante simples, obtendo-se medidas com precisão subpixel.

## 2. O SISTEMA DE RECONSTRUÇÃO 3D

O algoritmo de reconstrução baseia-se na intersecção das retas calculadas a partir de pontos detectados na imagem e do raio correspondente gerado pelo projetor. As equações dos raios projetados são determinadas previamente em uma etapa de calibração.

Uma vez determinadas as coordenadas 3D dos pontos imageados é possível analisar este modelo numérico para extrair informações úteis à aplicação ou, ainda, reamostrar este conjunto para obter um "grid" regular (imagem "range").

A configuração atual do sistema, composto de uma câmara digital Kodak DC40 e um projetor de padrões é mostrada na figura 1. Todos os elementos do sistema estão vinculados ao referencial da câmara, incluindo as coordenadas do centro perspectivo do projetor ( $X_o, Y_o, Z_o$ ), os cossenos diretores de cada uma das retas emergentes do projetor ( $l_i, m_i, n_i$ ) e as coordenadas de um ponto qualquer no espaço objeto ( $X, Y, Z$ ).

O modelo matemático fundamental do sistema de reconstrução 3D é dado pela equação (1). Para maiores detalhes ver: Tommaselli et al (1995).

Na equação (1) As coordenadas imagem  $x_i, y_i$  são as observações e os elementos ( $X_o, Y_o, Z_o, l_i, m_i, n_i$ ) das retas do feixe emergente do projetor são conhecidos (foram calibrados), bastando calcular apenas  $\lambda_i$  como incógnita. Para cada reta são obtidas duas observações e apenas uma incógnita. A aplicação do Método dos Mínimos Quadrados levará a uma solução única.

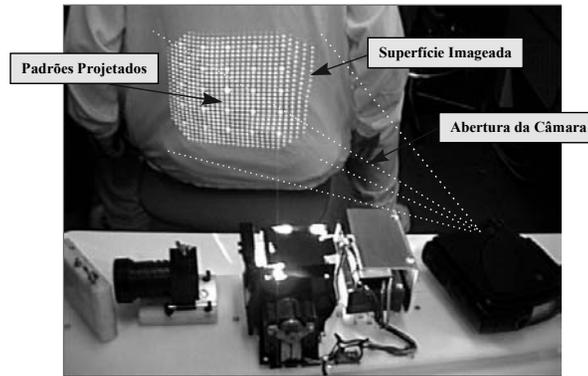


Figura A Protótipo do sistema em funcionamento

$$\begin{aligned} x_i &= -f \frac{X_o + \lambda_i l_i}{Z_o + \lambda_i n_i} \\ y_i &= -f \frac{Y_o + \lambda_i m_i}{Z_o + \lambda_i n_i} \end{aligned} \quad (1)$$

Após o cálculo de  $\lambda_i$  pode-se calcular as coordenadas 3D do ponto projetado usando as equações paramétricas da reta do espaço (eq. (2)).

$$\begin{aligned} X_i &= X_o + \lambda_i l_i \\ Y_i &= Y_o + \lambda_i m_i \\ Z_i &= Z_o + \lambda_i n_i \end{aligned} \quad (2)$$

### 3. CALIBRAÇÃO DO SISTEMA CÂMARA-PROJETOR

Um dos pontos críticos do sistema é a calibração do feixe de raios do projetor. A técnica de calibração desenvolvida foi baseada no método  $\Delta Z$  de determinação do C.P., usado em Fotogrametria; várias imagens do feixe projetado em diferentes planos de projeção são capturadas, medidas e ajustadas simultaneamente, tendo como incógnitas as coordenadas do centro perspectivo do projetor e os vetores diretores das retas projetantes. Para a medição das coordenadas dos pontos projetados foi desenvolvido um software interativo, que requer a marcação em tela de apenas 4 pontos, permitindo o cálculo de localizações aproximadas na imagem para os demais; os pontos são, então localizados e suas coordenadas extraídas automaticamente.

### 4. RESULTADOS

Experimentos com dados reais e simulados têm sido conduzidos e reportados na literatura. O protótipo construído foi calibrado recentemente e os resultados indicam que o nível de precisão é compatível com as aplicações de curta distância; a expectativa de precisão na medida de profundidade é 1‰ da distância câmara-objeto. Entretanto, vários melhoramentos ainda devem ser introduzidos, particularmente na calibração da câmara e na extração de feições na imagem. A introdução de uma câmara de alta resolução certamente aumentaria a expectativa de precisão do sistema.

### 5. CONCLUSÕES

Os resultados até então obtidos com o sistema permitem afirmar que sua concepção teórica é confiável. O modelo matemático desenvolvido foi testado e apresenta as características esperadas. O método de calibração do projetor também mostrou-se adequado. O sistema encontra-se construído em forma de protótipo, podendo, entretanto, ter aplicações comerciais. Um aumento da confiabilidade do sistema real é esperado a partir de uma montagem mais fina, e com a introdução de uma câmara de alta resolução. Melhoramentos adicionais nos algoritmos de calibração do feixe e na extração de feições também podem ser introduzidos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SCHALKOFF, R. J. Digital Image Processing and Computer Vision. John Wiley & Sons, Inc, Singapura, 1989.
- TOMMASELLI TOMMASELLI, A.M.G.; SHIMABUKURO, M.H.; SCALCO, P.A.P.; NOGUEIRA, F.M.A. Photogrammetric Range System: Mathematical Model and Calibration. In: **Proceedings of the Third Conference on Optical 3-D Measurement Techniques**, Viena, 1995.