

Recuperação de forma através de imagens: objetos sem pontos peculiares

Régis Pasini

Programa de Pós Graduação em Eng Mecânica
Departamento de Eng Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos
Escola Politécnica da USP
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, CEP05508-900
Tel.(011)3818-5565 (R226)
Fax (011)3813-1886
e-mail: rpasini@usp.br



II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
II NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
12 a 16 de Agosto de 2002 - João Pessoa - PB

Oswaldo Horikawa

Departamento de Eng Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos
Escola Politécnica da USP
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, CEP05508-900
Tel.(011)3818-5565 (R220)
Fax (011)3813-1886
e-mail: ohorikaw@usp.br

Resumo. É apresentado aqui um método para recuperação de formas tridimensionais de objetos através de imagens obtidas com o objeto em rotação. Esse método, bem como o que originou esse estudo, diferencia-se dos demais por não ser necessária a presença de pontos peculiares, ou seja, pontos facilmente identificáveis na superfície do objeto que facilitam a identificação das trajetórias em uma EPI (Epipolar Plane Image). As trajetórias são identificadas através da análise da variação de intensidade luminosa de pontos (pixels) na EPI. O método que originou esse estudo, porém, só pode ser aplicado para objetos sem reentrâncias, pois é necessária a identificação de pares de pontos simétricos na EPI pertencentes a uma mesma trajetória e quando existem reentrâncias, essa simetria não é observada. No método aqui apresentado, a identificação da trajetória é feita comparando-se as intensidades obtidas de pontos pertencentes a curvas senoidais imaginariamente traçadas na EPI com valores de intensidades calculados a partir de equações que relacionam a intensidade refletida por uma superfície com o ângulo de rotação do objeto. Isso torna a aplicação do método de rotação mais abrangente e sua eficácia é mostrada através de imagens obtidas por simulação.

Palavras chaves: *recuperação de formas, análise de imagem, medição tridimensional, medição não contactante.*

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de medição não contactantes vem sendo estudados já há alguns anos dada algumas necessidades e algumas vantagens com relação aos métodos de medição contactantes, podendo ser citadas entre outras, a medição e recuperação de formas tridimensionais de objetos com superfícies deformáveis, medição de superfícies complexas onde seria necessário a utilização de mais de um tipo de equipamento de medição contactante e aplicação onde a presença de um operador não é indicada ou até mesmo impossível, como por exemplo em ambientes prejudiciais à saúde. Dentre os métodos de recuperação de formas sem contato ou não contactantes, aqueles que utilizam processamento de imagens vêm atualmente despertando bastante interesse pois, na maioria dos casos esses métodos utilizam sistemas simples que apresentam menores restrições ao uso e podem apresentar um menor custo na implementação de um sistema de medição.

Existe uma categoria que utiliza processamento de imagens chamada de métodos dinâmicos onde são analisadas sequências de imagens de uma mesma cena em que são levadas em conta

informações temporais que permitem a análise de pontos referentes às superfícies de objetos que possam estar encobertas e que não poderiam ser observadas em um método estático e também, os problemas de correspondência entre os pontos das imagens observados em métodos que utilizam visão estéreo são minimizados, já que a dificuldade de se encontrar pontos correspondentes entre as imagens aumenta com a distância entre os centros das lentes das câmeras, como mencionado em Baker and Bolles (1989) e , Bolles at al. (1987).

Existem diferentes configurações referentes ao movimento da câmera e objeto. Alguns métodos dinâmicos de recuperação de formas de objetos utilizam movimento lateral da câmera e podem ser vistos em vários trabalhos (Baker and Bolles (1989) e , Bolles at al. (1987), Ponce and Genc (1998) e Shapiro at al. (1995)), onde foram utilizadas câmeras acopladas em dispositivos às vezes complexos ou até mesmo em robôs móveis e além disso, eram recuperadas formas parciais de objetos que compunham uma cena. Em Shapiro at al (1995) também é utilizada uma configuração onde são capturadas imagens com uma câmera fixa e com o objeto em movimento. Outra configuração possível, é a utilização de uma câmera fixa com movimento de rotação do objeto. Essa configuração apresenta vantagens em relação às outras configurações citadas pois necessitam de arranjos mais simples ocupando um espaço reduzido. Com esta configuração, é possível se obter mais facilmente a forma completa do objeto, além de ser mais fácil isolar um objeto do restante de uma cena utilizando, por exemplo, detecção de bordas. Essa última característica, faz com que esse seja mais adequado para o uso industrial, onde é comum a análise individual de objetos.

Como exemplos de aplicações desse método podem ser citados trabalhos como o de Szeliski and Kang (1994) que utilizam uma técnica de mínimos quadrados não lineares para recuperar a forma e o movimento de objetos em rotação analisando o fluxo da imagem. Sawhney et al (1993), sabendo que quando se utiliza objetos em rotação os pontos da superfície do objeto descrevem uma trajetória curvilínea, identificaram trajetórias de pontos ajustando diferentes curvas em uma sequência de imagens. Por exemplo, para uma projeção em perspectiva, utilizaram elipses de dimensões conhecidas, que melhor agrupavam os pontos observados.

Zheng (1994), utilizando uma EPI de um objeto em rotação, apresentou um método que identificava com precisão a existência de tais regiões através da análise dos contornos da EPI. Uma EPI, ou imagem do plano epipolar, é uma técnica para a obtenção da descrição tridimensional de uma cena ou objeto onde são agrupadas em uma única imagem, a EPI propriamente dita, linhas ou seções da sequência de imagens capturadas do objeto em rotação, onde a primeira linha da EPI corresponde à linha extraída da primeira imagem da sequência, a segunda linha da EPI à linha da segunda imagem e assim por diante, conforme Baker and Bolles (1989) e , Bolles at al. (1987). Utilizando projeção ortogonal e analisando o contorno de EPIs, como descrito por Zheng (1994), uma região encoberta por dois segmentos convexos pode ser determinada quando for observada uma descontinuidade no contorno da EPI. Em outros dois trabalhos, Zheng at al. (1997) e Zheng and Murata (2000), além de se identificar a presença de reentrâncias, foram propostos métodos para se obter a forma de uma região com reentrância analisando uma EPI de um objeto em rotação. Utilizando objetos com superfícies especulares, eram projetadas faixas de luz durante a rotação do objeto e eram analisados o comportamento dessas faixas refletidas pela superfície bem como a trajetória de pontos peculiares para a obtenção de parâmetros que permitissem obter informações referentes à superfície do objeto.

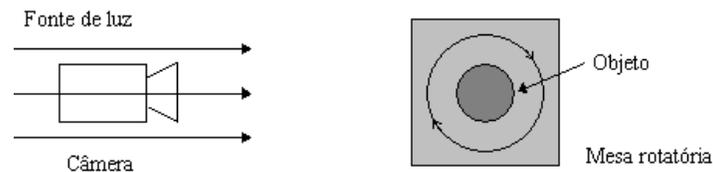
Todos os trabalhos citados até então, necessitam de pontos peculiares, ou seja, pontos facilmente identificáveis na superfície do objeto que facilitam a identificação das trajetórias. Porém, nem sempre observa-se a presença desses pontos em uma superfície de um objeto ou observa-se apenas alguns pontos e para se obter a forma completa de um objeto, é necessário então se fazer considerações e estimativas. Partindo dessa idéia, Takahashi e Horikawa (1997) propuseram um método onde não era necessária a presença de pontos facilmente identificáveis. Esse método proposto, obteve bons resultados em superfícies cilíndricas porém, não foi capaz de recuperar formas de regiões onde houvesse concavidades ou reentrâncias. Foi essa limitação que motivou o trabalho atual, onde os resultados obtidos através de simulação de imagens, comprovam a eficácia do método.

2. TRABALHO ANTERIOR

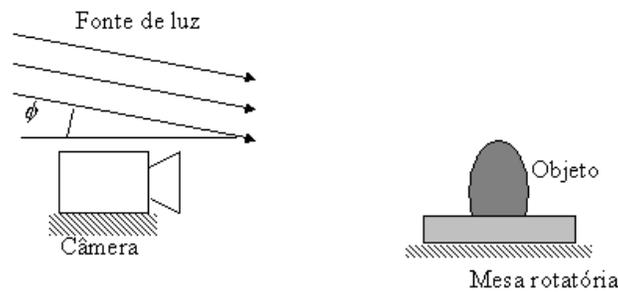
Na proposta de Takahashi e Horikawa (1997) para a recuperação de formas tridimensionais de regiões cilíndricas, foi proposto o método dos pontos simétricos que identifica em uma EPI, pares de pontos com a mesma intensidade que sejam pertencentes a uma mesma trajetória de um determinado ponto da superfície do objeto.

2.1 Obtenção da EPI

Considere a Fig.1(a) e Fig. 1(b) que representam um arranjo com uma câmera capturando um objeto em rotação iluminado por uma fonte de luz. Assume-se que a superfície do objeto é lambertiana, (Castleman (1996), Gonzalez; Woods (2000) e Horn (1986)), que a rotação se dá no sentido horário e que a fonte de luz possui raios paralelos alinhados ao eixo da câmera.



(a) Vista superior



(b) Vista lateral

Figura 1 Montagem para a recuperação de formas segundo o método proposto por Takahashi e Horikawa (1997)

Considere-se um sistema de coordenadas ortogonais (x, y, z) fixo ao objeto e (x_c, y_c, z_c) , fixo ao plano de imagem da câmera, conforme mostra a Fig.2. Nestas condições, qualquer ponto P da superfície do objeto é projetado no plano $x_c - y_c$ da imagem da câmera no ponto P_c . E quando o objeto é rotacionado em torno do eixo y a uma velocidade angular ω constante, a projeção P_c descreve uma linha reta no plano $x_c - y_c$, conforme mostra a Fig.2.

No método, uma sequência de imagens é capturada com o objeto em rotação e uma EPI, é obtida numa determinada altura da imagem. Nesta EPI, um ponto da superfície do objeto descreve uma curva senoidal conforme ilustrado na Fig.3 e na Fig.4(a) e transcorrido um intervalo constante de tempo Δt , o objeto executa uma rotação de um ângulo $\omega \Delta t$. Um ponto $P(\alpha_1, r_1, y_1)$ sobre o objeto se move para a nova posição $P(\alpha_1 + \omega \Delta t, r_1, y_1)$ e a projeção no plano da imagem move-se de $P_c(r_1 \text{sen}(\alpha_1), y_1)$ para $P_c(r_1 \text{sen}(\alpha_1 + \omega \Delta t), y_1)$. Ou seja, a posição genérica do ponto projetado P_c é dada por:

$$x_c = r_1 \text{sen}(\alpha_1 + \omega * \Delta t) \quad (1)$$

$$y_c = y_1 \quad (2)$$

A coordenada x_c é função somente de Δt pois α_l , r_l e ω são constantes. Já y_c , permanece constante, pois durante a rotação, o ponto permanece a uma mesma altura e portanto, y_l não varia.

Enquanto o objeto rotaciona, a câmera captura a imagem do objeto a cada intervalo fixo de tempo Δt (Fig.3). Completada uma volta, tem-se uma sequência de imagens que podem ser organizadas ao longo de um eixo de tempo, eixo este que pode ser considerado virtualmente como sendo o terceiro eixo do espaço (eixo z_c). A partir dessas imagens obtém-se as EPIs para a recuperação da forma do objeto. Cada EPI é obtida construindo-se uma imagem das linhas epipolares onde estão contidas as informações do plano epipolar ($x_c + y_c$) à altura y_{lc} conforme ilustrado na Fig.4(a).

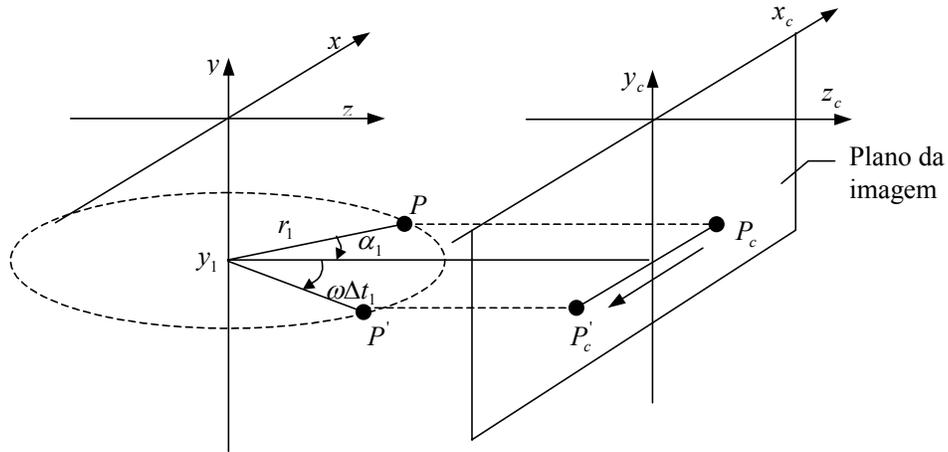


Figura 2. Projeção do objeto em rotação

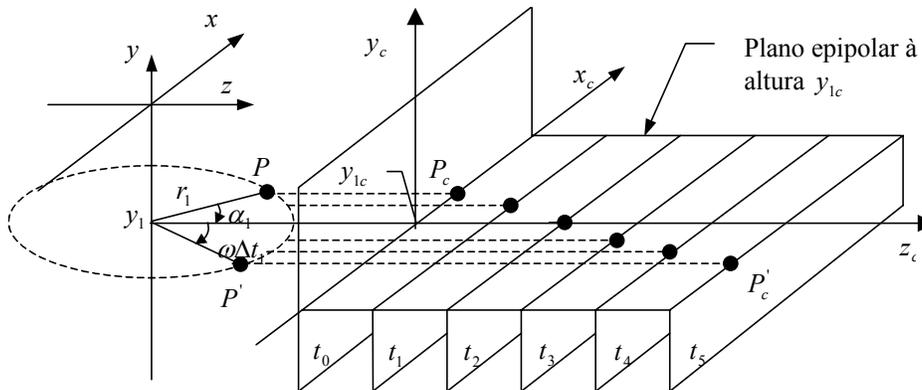


Figura 3. Imagens sucessivas de um ponto de um objeto em rotação

2.2 Método dos Pontos Simétricos

Em cada uma das EPIs obtidas, o eixo horizontal x representa a posição horizontal da projeção e o eixo vertical t , o tempo (ou o eixo z_c). Nas EPIs, qualquer posição de um ponto pode ser expressa pela Eq.(3).

$$x = x_0 + r \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) \tag{3}$$

Onde r representa a amplitude e α , a fase da curva senoidal da trajetória descrita pela projeção na EPI.. Estes parâmetros dão a posição em coordenada polares do ponto no início da rotação (Fig.4(b)).

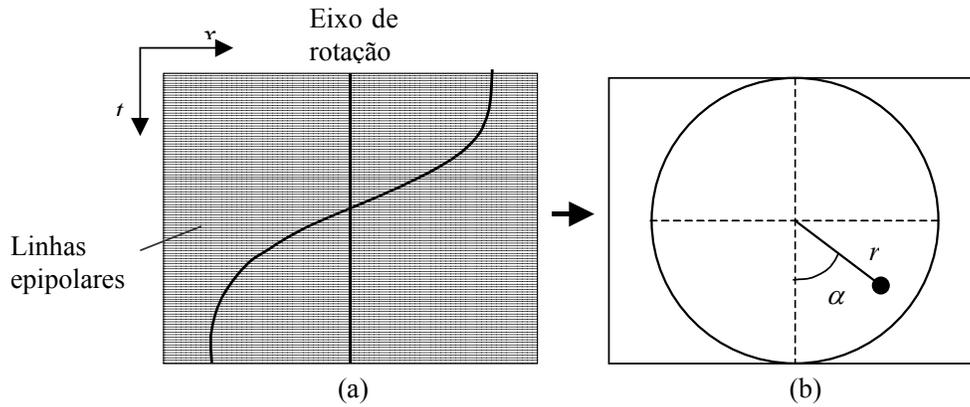


Figura 4. Representação da trajetória na EPI e do respectivo ponto em coordenadas polares

Sabendo-se-se que um ponto da superfície do objeto atinge sua intensidade máxima no instante t_0 quando está alinhado ao eixo da câmera. Esse mesmo ponto, apresenta um mesmo decréscimo na intensidade num instante $t_0 - \Delta t$ e no instante $t_0 + \Delta t$. Ou seja, se um ponto tem uma intensidade máxima I_0 em P_0 , o mesmo ponto apresentará uma mesma intensidade menor I_{-1} e I_{+1} , em P_{-1} e P_{+1} , sendo estes dois últimos pontos simétricos em relação a P_0 (Fig.5). As intensidades podem ser expressas como seguem:

$$I_0 = A \cos \theta \quad (4)$$

$$I_{-1} = A \cos(\theta - \omega \cdot \Delta t) \quad (5)$$

$$I_{+1} = A \cos(\theta + \omega \cdot \Delta t) \quad (6)$$

Onde, $A = \xi \cdot \cos(\varphi - \phi) = \text{constante}$, Δt : intervalo de tempo, ω : velocidade de rotação e ξ : fator de reflectância da superfície. θ : componente angular horizontal do vetor normal, φ : componente angular vertical do vetor normal e ϕ : componente angular vertical do vetor da fonte de luz paralela, conforme o arranjo angular ilustrado na Fig.6.

Das intensidades mencionadas, I_0 pode ser obtido diretamente da EPI. As intensidades I_{-1} e I_{+1} são desconhecidas, porém, a partir das Eq. (4), (5) e (6), obtêm-se:

$$I_{-1} = I_0 \cos(\omega \cdot \Delta t) + A \text{sen } \theta \text{sen}(\omega \cdot \Delta t) \quad (7)$$

$$I_{+1} = I_0 \cos(\omega \cdot \Delta t) - A \text{sen } \theta \text{sen}(\omega \cdot \Delta t) \quad (8)$$

Como as componentes angulares A e θ são parâmetros desconhecidos porém constantes, os segundos termos à direita nas Eq.(7) e (8) são substituídos por D_{-1} e D_{+1} , obtendo-se:

$$D_{-1} = I_{-1} - I_0 \cos(\omega \cdot \Delta t) \quad (9)$$

$$D_{+1} = -I_{+1} + I_0 \cos(\omega \cdot \Delta t) \quad (10)$$

Onde D_{-l} e D_{+l} são as diferenças entre os valores de intensidades obtidos em P_{-l} e P_{+l} e os valores calculados para uma determinada variação angular em relação a P_0 . Busca-se então, na EPI, a partir de P_0 , pares de pontos cujos valores de D_{-l} e D_{+l} sejam iguais a zero. Na prática isso não ocorre por causa de ruídos então, busca-se pares de pontos cujos valores de D_{-l} e D_{+l} sejam os menores possíveis e que minimizem a diferença $|D_{-l} - D_{+l}|$.

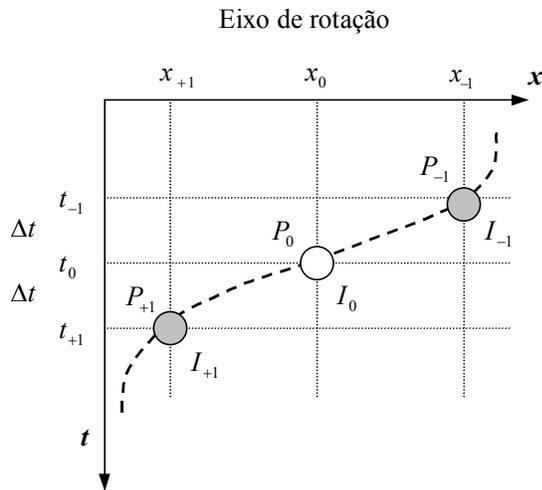


Figura 5. Trajetória do ponto

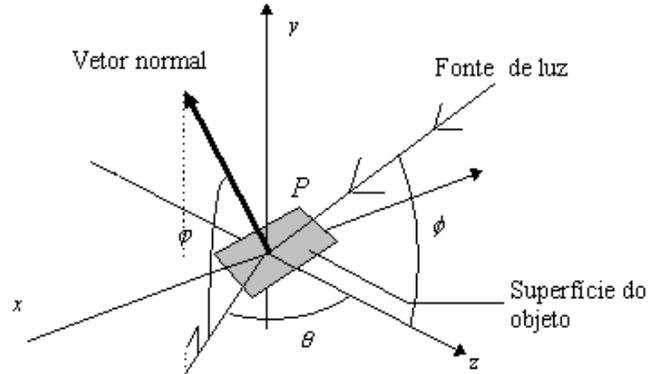


Figura 6. Arranjo angular

Obtidos assim três pontos de uma mesma trajetória, obtém-se a amplitude r e a fase α da trajetória senoidal, da seguinte forma:

$$\alpha = \omega \cdot t_{(P_0)} \quad (11)$$

$$r = \frac{x_{(P_{-1})} - x_{(P_0)}}{\text{sen } \omega \cdot (t_{(P_{-1})} - t_{(P_0)})} \quad (12)$$

Onde $t_{(P_0)}$ e $t_{(P_{-1})}$ são os instantes onde ocorrem P_0 e P_{-1} , e $x_{(P_0)}$ e $x_{(P_{-1})}$ são as coordenadas onde P_0 e P_{-1} estão localizados na EPI.

3. MÉTODO DAS CURVAS SENOIDAIS

Para a aplicação do método acima descrito, além da simetria entre os pontos, tanto com relação às coordenadas x como aos intervalos angulares $\Delta\alpha$, também é necessário que o ponto de intensidade máxima ocorra no eixo de rotação x_0 . Essas condições, nem sempre são observadas em EPIs resultantes de objetos com reentrâncias. Então, sabendo que as trajetórias descrevem uma curva senoidal em uma EPI de um objeto em rotação, decidiu-se identificar trajetórias através da variação de diversas senóides passando por determinados pontos de intensidade máxima na EPI, analisando-se as intensidades dos pontos por onde passam as senóides.

Para a implementação deste método, foram utilizadas EPIs simuladas, assumindo-se que a superfície do objeto é perfeitamente lambertiana, que o objeto é iluminado por luz com raios paralelos e que a intensidade máxima observada é de 200, para uma escala em níveis de cinza de 0 a 255. Assim como no método dos pontos simétricos, a variação da intensidade será dependente apenas da componente angular horizontal θ (Fig.6).

Considerando a Fig.7, que representa a seção transversal de um objeto com reentrância, observa-se que existem três pontos de intensidade máxima, quando θ_0 , θ_0' e θ_0'' forem iguais a 0° .

A Fig.8 mostra a EPI obtida por simulação numérica, rotacionando-se a seção mostrada na Fig.7 no sentido horário. Aqui, as trajetórias de diversos pontos que na realidade não são visíveis, foram identificadas para efeito de explicação. Observa-se na Fig.8 que no intervalo angular em que as reentrâncias são visíveis à câmera, são observadas três faixas de intensidade máxima, sendo que as faixas referentes à θ_0' e θ_0'' não ocorrem no centro rotação.

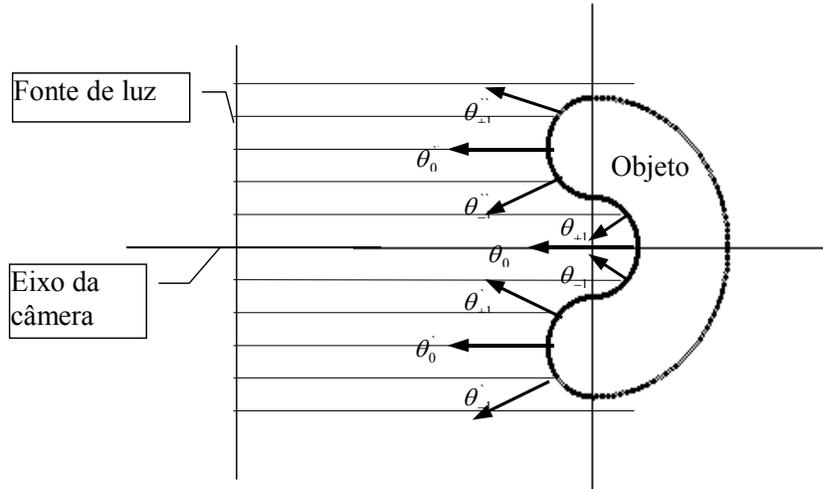


Figura 7. Seção de um objeto com reentrância

Na Fig.8, observa-se que nem todas as linhas de trajetórias cruzam o eixo de rotação. Além disso, em determinadas regiões da EPI, a simetria com respeito à intensidade não é observada pois em algumas trajetórias, o intervalo angular em que o ponto correspondente à trajetória é visível é maior na região anterior ao ponto de intensidade máxima e menor após esse mesmo ponto, ou vice-versa.

Considere-se uma linha desta EPI. Localiza-se nesta linha o ponto de intensidade máxima que correspondem a I_0 da Eq.(4). Passando por este ponto são traçadas senóides de variadas fases e amplitudes. A Fig.9 mostra um exemplo em que algumas senóides foram traçadas por sobre um determinado ponto de intensidade máxima. A primeira senóide possui amplitude exatamente igual à distância x entre o ponto e o eixo de rotação. As demais senóides são traçadas variando-se a amplitude e a fase, tanto positiva como negativamente.

Em cada uma das senóides verificadas, a análise dos pontos era interrompida quando a senóide atingia uma borda, para evitar a análise da intensidade de pontos que não fazem parte da trajetória em questão. Isso pode ser observado também na Fig.(9), onde apenas os pontos do trecho contínuo das senóides foram analisados.

Os valores de intensidade ao longo de cada senóide tentativa são então comparados aos valores calculados pela Eqs.(13), (14) e (15) e é escolhida a senóide que apresentasse os valores mais próximos aos calculados.

$$I_0 = I_L \cdot A \cdot \cos \theta \quad (13)$$

$$I_{-n_1} = I_L \cdot A \cdot \cos(\theta - \Delta\theta_{n_1}) \quad (14)$$

$$I_{+n_2} = I_L \cdot A \cdot \cos(\theta + \Delta\theta_{n_2}) \quad (15)$$

Onde, I_0 é o valor da intensidade máxima, I_{-n_1} e I_{+n_2} , as intensidades observadas antes e após os pontos de intensidade máxima e I_L , a intensidade da fonte luminosa. n_1 e n_2 número de posições

angulares antes e após os pontos de intensidade máxima. θ é a componente angular horizontal do vetor normal no ponto de intensidade máxima. $\Delta\theta_{n_1}$ e $\Delta\theta_{n_2}$ são as variações angulares (número de linhas na EPI) do ponto analisado na trajetória antes e após os pontos de intensidade máxima. $A = \xi \cdot \cos(\varphi - \phi) = \text{constante}$, e ξ é o fator de reflectância da superfície, φ é a componente angular vertical do vetor normal e ϕ é a componente angular vertical do vetor fonte de luz.

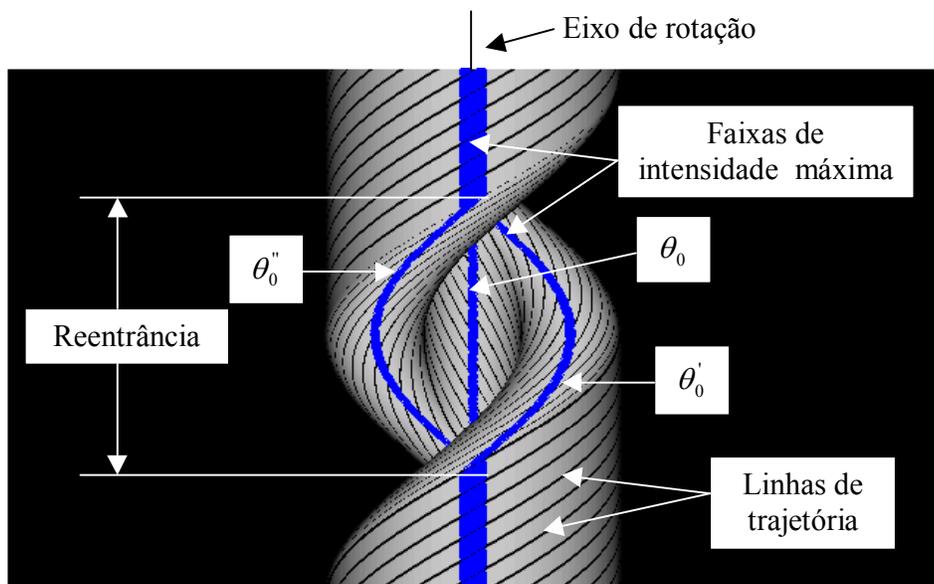


Figura 8. EPI com linhas de trajetórias

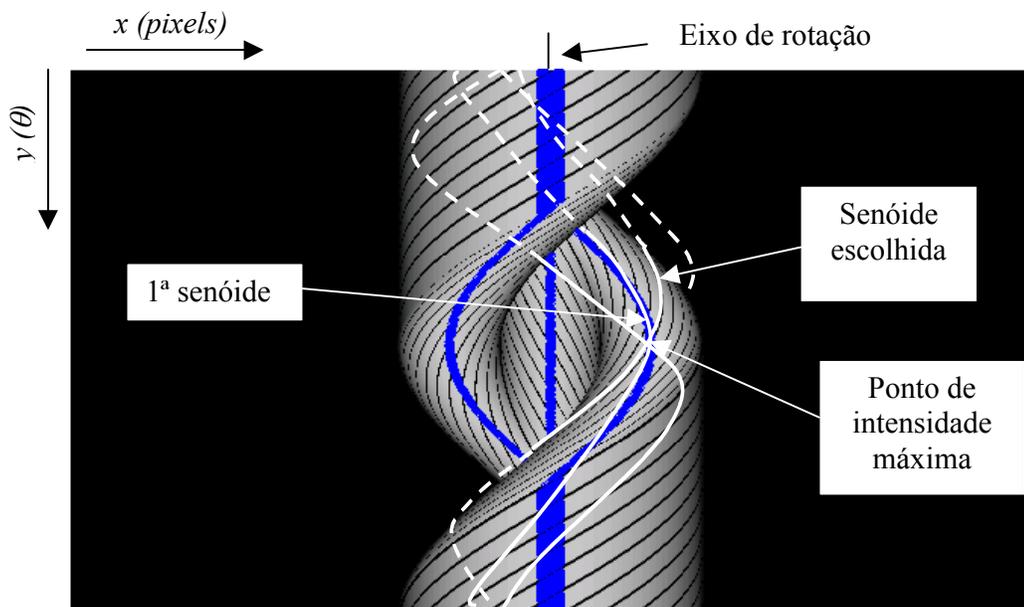


Figura 9. EPI e senóides traçadas

Determinada a senóide que corresponde à trajetória do ponto em análise, obtém-se a sua amplitude r e fase α , parâmetros estes que representam a posição do ponto (coordenadas polares) do ponto das da linha da EPI em análise (Fig.4(b)). O processo é repetido para as demais linhas da EPI até se identificar todos os pontos que formam a secção do objeto.

4. RESULTADOS OBTIDOS

O método foi avaliado do ponto de vista qualitativo, isto é, apenas com relação à forma recuperada, sem a preocupação com resultados dimensionais. O processo de variação das senóides foi aplicado à EPI da Fig.8, obtendo-se o resultado dado na Fig.10.

Observa-se falhas na recuperação da forma, nas paredes laterais das reentrâncias. Uma das causas para essa falha foi a discretização dos níveis de cinza, no caso, 256 níveis. As referidas paredes da reentrância resultam numa variação abrupta de intensidade para uma mesma rotação do objeto. Tal variação é representada de forma menos imprecisa quanto menor o número de níveis de cinza empregados na captura das imagens. Um segundo problema resulta do fato de alguns pontos da seção transversal se manterem visíveis na EPI por curto intervalo. Isso faz com que a senóide seja determinada com base em pontos muito próximos entre si, aumentando o erro do processo. Esse problema pode ser minimizado obtendo-se uma EPI com diferentes eixos de rotação de tal modo que em regiões críticas, fossem observadas trechos maiores de trajetórias.

Apesar destes problemas, a forma original do objeto mostrado na Fig.7 foi recuperada de forma satisfatória, mostrando-se assim a eficácia do método.

Para a aplicação do método na recuperação da forma completa de um objeto, obtém-se a forma de diversas seções através da análise de EPIs em diferentes alturas, de modo a cobrir todo o objeto. Em seguida, constrói-se um gráfico tridimensional composto de todas as seções obtidas.

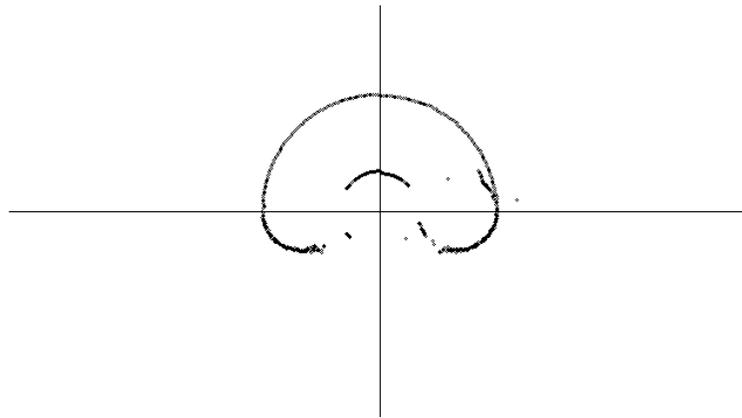


Figura 10. Forma recuperada

5. CONCLUSÕES

Este trabalho tratou de um método de recuperação de formas tridimensionais de objetos utilizando processamento de imagens obtidas com o objeto em rotação e se caracteriza por não ser necessária a presença de pontos facilmente identificáveis da superfície do objeto. Foram utilizadas EPIs simuladas de seções transversais de objetos com reentrâncias onde as trajetórias dos pontos eram identificadas a partir da variação da intensidade. Pelos resultados obtidos, ficou comprovada a eficácia do método em recuperar a forma de objetos mesmo com reentrâncias.

Como trabalhos futuros, são sugeridas as alterações para a melhoria do resultado obtido, ou seja, o aumento dos níveis de cinza e análise de EPIs com diferentes centros de rotação. Um outro trabalho a ser feito, é com relação ao tratamento de ruídos das imagens, pois esse método será aplicado numa próxima etapa na recuperação de formas de objetos reais e esperasse que a presença de ruídos venham interferir no resultado. Observe-se ainda que aqui a avaliação do método se limitou a uma avaliação qualitativa da recuperação de forma, havendo portanto necessidade de uma análise quantitativa acerca dos erros de medição envolvendo inclusive a realização de medições comparativas.

6. REFERÊNCIAS

- BAKER, H. Harlyn; BOLLES, Robert C. Generalizing epipolar-plane image analysis on the spatiotemporal surface. *International Journal of Computer Vision*, 3, pp. 33-49, 1989.
- BOLLES, Robert C.; BAKER, H. Harlyn; MARIMONT, David H. Epipolar-plane image analysis: an approach to determining structure from motion. *International Journal of Computer Vision*, 1, pp. 7-55, 1987.
- CASTLEMAN, Kenneth R. *Digital Image Processing*. Prentice-Hall, 1996.
- GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. *Processamento de imagens digitais*. Edgard Blücher Ltda., 2000.
- HORN, Berthold Klaus Paul. *Robot Vision*. MIT Press, McGraw-Hill Book Company, 1986.
- PONCE, Jean; GENÇ, Yakup. Epipolar geometry and linear subspace methods: a new approach to weak calibration. *International Journal of Computer Vision*, Vol 28, No. 3, pp. 223-243, 1998.
- SAWHNEY, Harpreet S.; OLIENSES, John; HANSON, Allen R. Image description and 3-D reconstruction from image trajectories of rotational motion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, No. 9, pp. 885-898, September 1993.
- SHAPIRO, Larry S.; ZISSERMAN, Andrew; BRADY, Michael. 3-D motion recovery via affine epipolar geometry. *International Journal of Computer Vision*, 16, pp. 147-182, 1995.
- SZELISKI, Richard; KANG, Sing Bang. Recovering 3-D shape and motion from image streams using non-linear least squares. *J. Visual Communications and Image Representation*, Vol. 5, No. 1, pp. 10-28, March 1994.
- TAKAHASHI, Yusuke; HORIKAWA, Oswaldo. Recuperação de formas através da análise da variação da intensidade. 3º Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Setembro 1997
- ZHENG, Jiang Yu. Acquiring 3-D models from sequences of contours. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 16, No. 2, pp. 163-177, February 1994.
- ZHENG, Jiang Yu; FUKUGAWA, Yoshihiro; ABE, Norihiro. 3-D surface estimation and model construction from specular motion in image sequences. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, No. 5, pp. 513-520, May 1997.
- ZHENG, Jiang Yu; MURATA, Akio. Acquiring a complete 3-D model from specular motion under the illumination of circular-shaped light sources. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 8, pp. 913-920, August 2000.

Recovering shape by images: objects without peculiar points

Régis Pasini

Post Graduation Program in Mechanical Eng
Dep of Mechatronics & Mech Systems Eng
Escola Politecnica - Sao Paulo University
Av. Prof. Mello Moraes, 2231,
05508-900, SP, BRASIL
Phone: +55-11-818-5565(Ex226)
Fax : +55-11-813-1886
e-mail: rpasini@usp.br

Oswaldo Horikawa, Dr. Eng.

Dep of Mechatronics & Mech Systems Eng
Escola Politecnica - Sao Paulo University
Av. Prof. Mello Moraes, 2231
05508-900, SP, BRASIL
Phone: +55-11-818-5565(Ex220)
Fax : +55-11-813-1886
e-mail: ohorikaw@usp.br

Abstract: This work presents a method to recover tridimensional shape of objects by images sampled from the object during its rotation. Different of other methods for similar purpose, this method does not requires peculiar points, i.e., points that can be easily identified on the surface of the object, facilitating the identification of the path of this point on the EPI (Epipolar Plane Image). The path of each point in the EPI is identified based on the analysis of the variation of the intensity of the light reflected from the object surface. The presented method can recover the even the shape of objects with concavity. In the method, the path of a point on the object surface is determined by trying various sine curves and identifying that curve that gives values of light intensity that most approximates the calculated values. By using simulated images, the method is proved to be efficient.

Key words: *shape recovery, image analysis, tridimensional measurement, non-contact measurement*