

A MEDIÇÃO POR IMAGEM EM PRECISÃO SUBPIXEL

Pedro Bastos Costa^{1,2}, *Fabiana Rodrigues Leta*²

¹ Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial, Duque de Caxias, Brasil, pbcosta@inmetro.gov.br

² Universidade Federal Fluminense – Departamento de Engenharia Mecânica, Niterói, Brasil, fabiana@ic.uff.br

Resumo: A medição de padrões utilizando técnicas de processamento de imagem tem se tornado cada vez mais comum em metrologia dimensional. A aplicação dessas técnicas deve ser feita de forma criteriosa a fim de evitar possíveis erros pelo desconhecimento da exatidão da técnica quando aplicada em uma medição. Este trabalho tem como objetivo testar a exatidão das técnicas para detecção de bordas quando comparadas a um método de estimação de subpixel.

Palavras chave: Visão Computacional, Medição por imagem, Subpixel.

1. INTRODUÇÃO

A visão computacional tem como objetivo realizar, através de máquinas, as tarefas de percepção e decisão tomadas a partir da visão humana. Um sistema de visão computacional é basicamente composto por uma câmera e um software para processamento das imagens. A utilização da visão computacional em um determinado processo obedece algumas etapas como aquisição da imagem, segmentação, extração de características, classificação e reconhecimento e decisão [1].

Na aquisição da imagem a câmera é posicionada de forma a visualizar o objeto de estudo. Para melhorar essa visualização podem ser utilizados acessórios de fixação, iluminação e etc. A segmentação é a etapa do processo onde o objeto de estudo é destacado da imagem, ou seja, todo o resto da imagem é separado de uma determinada região ou objeto que se deseja analisar.

Após a segmentação podem ser extraídas da imagem informações ou atributos relevantes para a análise, como a dimensão, a geometria, a textura e etc. Em posse dessas informações, a respeito da imagem, objetos podem ser reconhecidos através de uma base de dados ou classificados através do agrupamento dos dados obtidos na extração das características.

Por fim, o objetivo de um sistema de visão computacional é tomar decisões. Nesta etapa, com base em todas as informações extraídas e analisadas da imagem, os resultados do processo são obtidos e o ciclo recomeça na aquisição de novas imagens.

Quando aplicada à metrologia, o ponto de maior importância no processo de visão é a extração de características. Para o caso específico da metrologia dimensional, as informações extraídas das imagens fornecem determinadas dimensões de peças ou de padrões.

Para isto são utilizadas técnicas para detecção de bordas ou de contornos.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um primeiro estudo sobre a aplicação de uma técnica de determinação de subpixel em calibrações realizadas pelo Laboratório de Metrologia Dimensional do Inmetro, o Lamed. Serão apresentados os testes iniciais da aplicação da técnica versus algumas técnicas convencionais de detecção de bordas.

Espera-se através destes testes verificar o funcionamento da técnica em imagens com diferentes contrastes, como forma de identificar uma possível melhora em relação aos métodos tradicionais para as futuras aplicações no laboratório.

2. DETECÇÃO DE BORDAS

A imagem digital pode ser descrita como uma matriz de $N_1 \times N_2$ elementos no qual $I(n, m)$. Onde atribuímos a f a função de posicionar cada elemento $n \times m$, como em um plano cartesiano, onde cada posição (n, m) é chamada de pixel e o valor atribuído a função $f(n, m)$ a intensidade de cada pixel.

Ao analisar essa função f dentro de uma imagem podemos encontrar as bordas em uma imagem. Bordas são mudanças ou discontinuidades em um atributo da imagem, seja na luminância, na cor, na textura ou qualquer outro tipo de intensidade. Este tipo de variação é o que permite garantir a existência de figuras ou objetos nas imagens.

As bordas podem aparecer em imagens com diferentes características, como mostra a figura 1.

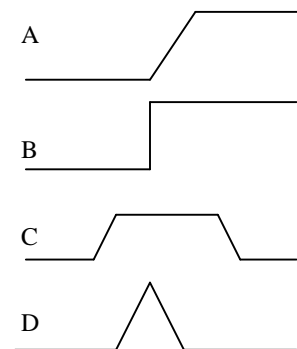


Figura 1. Alguns tipos de borda: (A) Tipo rampa; (B) Passo; (C) Linha; (D) Telhado.

As bordas representadas na figura 1, em domínio contínuo, podem ser facilmente encontradas em imagens reais, no entanto, a borda do tipo passo só pode ser encontrada em imagens geradas artificialmente.

A figura 2 exemplifica, em um domínio discreto bi-dimensional, os diversos tipos de bordas com intensidades normalizadas entre os valores 0 e 1, ou seja, a função $f(n_x, n_y)$ que determina a luminância de cada ponto esta contida no intervalo $0 < f < 1$.

0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Figura 2: Bordas do tipo passo vertical e passo diagonal

0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1

0	0	0	0,5	0	1	1	1
0	0	0	0	0,5	1	1	1
0	0	0	0	0	0,5	1	1
0	0	0	0	0	0	0,5	1
0	0	0	0	0	0	0	0,5

Figura 3. Bordas do tipo rampa vertical e rampa diagonal.

Através dos exemplos é simples identificar manualmente o tipo e a localização das bordas. No entanto em uma imagem real adquirida em tons de cinza, os valores de intensidade podem variar de 0 a 255 e as matrizes podem ter tamanhos de 800x600, 1392x1040, 600x480 e etc, dependendo da resolução da câmera. Em vista disso, é extremamente necessária a utilização de um sistema automático para a identificação dessas bordas.

Existem duas aproximações genéricas para a detecção de bordas “Differential detection” e o “Model fitting”. O modelo de detecção de bordas por diferenciação pode ser implementado utilizando derivadas de primeira ou segunda ordem, gerando gradientes e derivadas direcionais nas imagens [2].

Em um domínio contínuo com descontinuidades em $f(n_x, n_y)$ uma borda pode ser detectada através do cálculo do gradiente ao longo de uma linha normal a essa borda. Quando o valor deste gradiente é superior a um valor de limiar pré-determinado o ponto correspondente é identificado como contido em uma borda. Este gradiente pode ser calculado através da equação 1:

$$G(x, y) = \frac{\partial F(x, y)}{\partial x} \cos(\theta) + \frac{\partial F(x, y)}{\partial y} \sin(\theta) \quad (1)$$

Para um domínio discreto o gradiente é calculado usando a equação 2.

$$G(j, k) = \left\{ [G_L(j, k)]^2 + [G_C(j, k)]^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

Onde G_L e G_C são respectivamente os gradientes para as linhas e colunas da imagem. Os gradientes são calculados a partir da derivada de f que por definição é dada pela equação 3.

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(a+h) - f(a)}{h} \quad (3)$$

Aplicando em imagens, a variação h é feita a cada pixel, ou seja, de 1 em 1 e os gradientes podem obtidos através da equação 4:

$$\begin{aligned} G_R(j, k) &= f(j+1, k) - f(j, k) \\ G_C(j, k) &= f(j, k+1) - f(j, k) \end{aligned} \quad (4)$$

A partir dessa formulação, diversos métodos foram desenvolvidos com o objetivo de encontrar as bordas de imagens digitais. Variando-se as máscaras utilizadas para gerar o gradiente podem ser obtidos diferentes resultados. Os métodos mais conhecidos são os detectores de Sobel, Roberts, Prewitt, Canny, Zero-Crossing e Frei-Chen [2].

3. MEDIÇÃO COM PRECISÃO SUBPIXEL

A medição de um objeto através de uma imagem digital consiste basicamente na terminação da região ocupada pelo objeto nessa imagem. Esta tarefa é realizada através uma contagem de pixels, que é a menor porção de uma imagem. Posteriormente, deve ser quantificado em valores de comprimento o quanto representa cada distância medida em unidade de pixel.

A figura 4 mostra um exemplo da determinação das arestas de um retângulo.

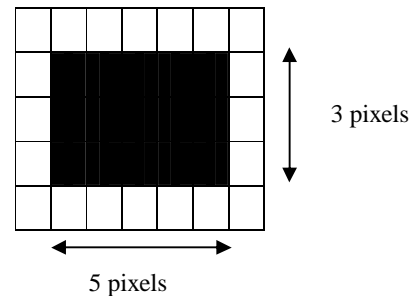


Figura 4: Medição por imagem das áreas de um retângulo

A limitação nesse tipo de medição é que devido à imagem ser discretizada em valores inteiros, não se consegue obter valores intermediários entre dois pixels, limitando a exatidão para este tipo de medição. As figuras 5 e 6 mostram um exemplo onde este problema acontece.

Em um caso real, a área ocupada pela circunferência na imagem seria a da figura 5. No entanto, a discretização da imagem faz com que ela ganhe a aparência da figura 6 onde qualquer ponto da circunferência que ocupe uma pequena porção do pixel fará com que este seja considerado como parte da circunferência.

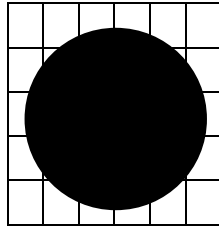


Figura 5: Imagem real de uma circunferência

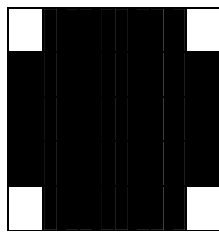


Figura 6: Imagem discretizada da circunferência

Tentando minimizar esse tipo de erro diversas técnicas foram desenvolvidas para tentar matematicamente estimar uma porção do pixel onde a borda de um objeto pode estar localizada. Uma técnica para a determinação de valores em subpixel utilizada foi descrita por Tabatabai e Mitchell [3] e consiste na determinação de valores médios para a intensidade antes e depois da borda. Sendo a posição da borda determinada baseada nos momentos de ordem um, dois e três, quando consideramos as intensidades dos pixels da imagem uma variável aleatória. As figuras 7 e 8 representam o funcionamento do algoritmo.

Considerando a linha abaixo uma imagem com seus respectivos valores de intensidade normalizados entre 0 e 1.

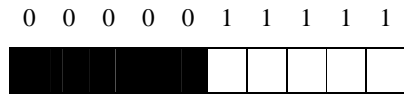


Figura 7: Exemplo de uma borda ideal

Neste exemplo a distância entre a lateral da imagem e borda causada pela descontinuidade da intensidade é de exatamente 5 pixels completos, medido através do algoritmo de subpixel.

No exemplo seguinte existe uma transição entre os valores de 0 e 1 de intensidade, como a intensidade deste pixel de transição é exatamente metade da intensidade dos pixels vizinhos, admitimos que a borda agora se encontre na metade da distância entre os pixels 4 e 5. O valor obtido pelo método para este caso foi de 4,504.

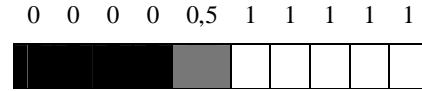


Figura 8: Exemplo de uma borda posicionada entre dois pixels

Para este exemplo podemos ter um erro de 0,5 pixel, dependendo do valor de threshold utilizado. Se o threshold escolhido fosse para valores $\leq 50\%$ seriam contados 4 pixels antes da borda, e se o threshold fosse $>50\%$, 5 pixels seriam contados antes da borda. Em ambos os casos o erro seria de aproximadamente 0,5 pixels. Para os casos reais as descontinuidades de intensidade não são tão bem definidas e os erros podem ser maiores até que 1 pixel.

Abaixo é feita uma comparação entre alguns métodos para a detecção de bordas em relação ao método de subpixel em casos reais. A figura 9 é uma imagem capturada com ampliação de 20x



Figura 9: Exemplo de uma borda real com grande amplitude

As imagens abaixo são os resultados dos algoritmos conhecidos como: Zero Cross, Prewitt, Log, Sobel, Canny, Roberts e um threshold de 50% (colocar cada um na legenda e uma letra na figura respectiva)

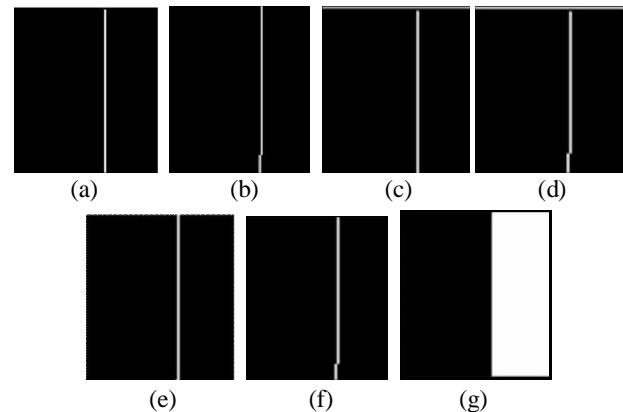


Figura 10: Detecção da borda realizada através dos métodos de (a) Zero Cross, (b) Prewitt, (c) Log, (d) Sobel, (e) Canny, (f) Roberts e (g) Threshold.

A localização da borda fornecida pelo método de subpixel foi de 43,253. Para o método de Roberts a borda está localizada no pixel 43, e em todos os outros é localização encontrada foi 44. Ou seja, mesmo para uma imagem de qualidade, onde a descontinuidade da intensidade é de grande magnitude, os erros na detecção podem ocorrer.

Agora em um caso onde a amplitude da intensidade é muito baixa (figura 11) os algoritmos de Zero Cross, Canny

e Sobel identificaram a borda na posição 61, Prewitt e Log na posição 62, Roberts na posição 63 e o método de subpixel 60,858.



Figura 11: Exemplo de borda com baixa amplitude

Para o caso de uma medição os erros podem dobrar, pois duas bordas são determinadas e não apenas uma como nos exemplos anteriores. A figura 12 representa uma circunferência que terá o seu diâmetro determinado.

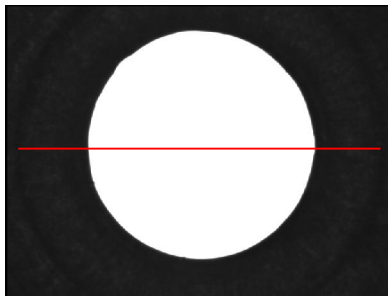


Figura 12: Exemplo real da medição de uma circunferência

O diâmetro foi medido na linha destacada em vermelho. Foram utilizados os métodos já citados anteriormente para detecção de bordas e o método de subpixel. Os métodos de Zero Cross, Prewitt, Log, Canny e Sobel encontraram um diâmetro de 451 pixels, o método de Roberts 450 pixels e o método de subpixel 450,742 pixels. Em unidade de comprimento essa diferença é equivalente à aproximadamente 0,002 mm.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nos exemplos mostrados nesse artigo, podemos concluir que a detecção das bordas em uma medição deve ser um ponto estudado com cuidado. Os exemplos mostraram que os algoritmos para detecção de bordas podem mascarar alguns resultados quando a borda é arredondada para um valor inteiro de pixel.

Concluimos também que a utilização da técnica de subpixel pode ser uma forma de reduzir a incerteza de medição, pois uma das contribuições para a incerteza de medições por imagens é relativa ao tamanho do pixel. Esta contribuição é estimada como ± 1 pixel, e a partir da aplicação da técnica de subpixel esta estimativa passa a ser menor que 1 pixel, provocando uma redução na incerteza final.

Não necessariamente o método de determinação de subpixel deve ser utilizado em todos os casos. Assim como em qualquer sistema de medição, os aparatos utilizados

devem estar de acordo com a exatidão e a tolerância que requer o processo.

Em um determinado sistema onde a exatidão requerida está próxima do tamanho de um pixel é importante que se observem os erros na detecção das bordas. Estes erros podem ser reduzidos através de uma câmera de maior resolução, ou através da determinação de subpixel, como mostrado nos exemplos.

Para a continuação dessa pesquisa será implementado o algoritmo de subpixel nas calibrações realizadas pelo laboratório e deverá ser feita a análise das incertezas deste método.

REFERÊNCIAS

- [1] Conci A, Azevedo E, Leta F R (2008) Computação Gráfica – Teoria e Prática, [v.2]. Elsevier, Rio de Janeiro, Brazil
- [2] Pratt W K. (2007) Digital Image Processing. 4th edn. John Willey, Canada.
- [3] Tabatabai, A. J., Mitchell, O. R., “Edge location to subpixel values in digital imagery”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intel.*, vol. PAMI-6, n° 2, pp 651-664, spt 1984.