

Geração de imagens corrigidas das distorções das lentes a partir dos parâmetros de calibração da câmara

Kamila Almeida dos Santos.¹
Volid Pereira Di Mozart¹
João Batista Ramos Côrtes¹

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Setor Central, CEP: 74.055-110, Goiânia-GO, Brasil
{kamilas.geo; makavolid; joao.b.cortes}; @gmail.com

Abstract. The purpose of this academic work is to fix lens distortion, using the inner interior orientation parameters available in the camera calibration certificate. Using polynomials developed by Conrady-Brown and the interior orientation parameters, an automatic routine was designed in MATLAB to fix radial symmetric and decentering lens distortions, having as output a new image without them. The fixed image is larger than the original one, because it forces the center of the image itself to coincide with the principal point. Thus, the higher the distortions and the deviation of the principal point, the higher will be the difference between the size of the original image and the distortion-free image. Because the fixed image will be larger than the original image, a series of pixel will not match in the images, therefore these pixel don't have any information and will be filled with zero, creating a black stripe in the new image. This routine can be use in Photogrammetry study, it will allow the teacher to simulate several photography containing values only in a interior orientation parameters. This away, it will be more didactic and facility the student the view and verification of influence each one of factors interior orientation of the camera.

Palavras-chave: Fotogrametria, distorção radial simétrica, distorção descentrada, parâmetros de orientação interior, ponto principal, imagem original, sistema fotogramétrico.

1. Introdução

A câmara aerofotogramétrica digital foi desenvolvida na década de 1980, anteriormente a ela as fotografias eram tomadas com câmara analógica. Durante o processo de fabricação e montagem do sistema de lentes usadas nas câmaras analógica existia todo um cuidado para minimizar as distorções radial simétrica e descentrada. O sistema de lentes era considerado concluído quando as distorções mensuradas fossem menores ou iguais à precisão dos reprodutores analógicos, desse modo as mesmas podiam ser desprezadas. Nos reprodutores analógicos não era possível realizar as correções das distorções radial simétrica e descentrada. A fabricação e montagem de um sistema de lentes duravam anos.

O uso de câmaras digitais possibilitou a automação de vários processos fotogramétricos, o que ocasionou o desuso da câmara analógica. Nas fotografias digitais passou a ser possível corrigir as distorções provenientes da fabricação e montagem do sistema de lentes, desse modo, a exigência por sistema de lentes com baixa distorção passou a não ser mais requerida, diminuindo o custo de fabricação. Porém o valor das câmaras digitais se comparadas com as analógicas ficaram maiores devido aos *royalties* pagos pelo desenvolvimento do *Charge Coupled Device* (CCD) e do *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) e pela incorporação dos sistemas de navegação por satélites e inercial da câmara.

As fotografias, tanto analógicas como digitais, é uma projeção cônica central, diferentemente dos mapas topográficos que apresentam uma perspectiva ortogonal. Essa característica acarreta distorções, que se não corrigidas, podem afetar a qualidade métrica da fotografia, a tal ponto de inviabilizar seu uso na elaboração de bases cartográficas. Segundo

Andrade (2003), Fotogrametria é a ciência e tecnologia de se obter informações confiáveis através de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens. Conforme Côrtes (2010) a câmara fotográfica é o instrumento óptico mais empregado na obtenção de informações métricas em Fotogrametria.

O percurso do raio de luz no interior das câmaras fotogramétricas sofre pouca variação no decorrer do tempo, por isso são consideradas estáveis, ou seja, os parâmetros de calibração podem ser estatisticamente considerados iguais entre duas ou mais calibrações consecutivas. O modelo matemático utilizado no processo de calibração permite relacionar as dimensões do objeto fotografado com sua imagem fotográfica acrescidas dos parâmetros de não afinidade, afastamento do ponto principal, distorção radial simetria e descentrada. Os referenciais utilizados em Fotogrametria podem ser bidimensionais ou tridimensionais, mas sempre de alguma forma estão ligados a instrumentos. A sua materialização, portanto, depende dos parâmetros de calibração envolvendo a medição de coordenadas de pontos. (ANDRADE, 2003).

As distorções ocasionadas pelo sistema de projeção das câmaras fotográficas são radioconcêntricas, de modo que, quanto mais distante os objetos estejam do centro das fotografias, maiores serão as distorções. Seidel definiu como sendo cinco as aberrações causadas pelo processo de fabricação das lentes. Essas aberrações são: Aberração Esférica; Coma; Curvatura de Campo; Astigmatismo e Distorção. Em Fotogrametria, geralmente, realiza as correções das distorções, pois as mesmas causam deslocamentos na imagem, enquanto as demais alteram a qualidade radiométrica ou foco dos objetos imageados. As cinco aberrações de Seidel podem ser minimizadas no processo de fabricação de lentes, mas não todas simultaneamente (ANDRADE, 2003).

A partir dos parâmetros de orientação interior (POI), que são determinados pela calibração da câmara, é possível fazer a correção das distorções radial simétrica e descentrada.

Utilizando o programa computacional Matriz Laboratory (MatLab) foi implementado uma rotina para realizar as correções das distorções das lentes. Nessa rotina o referencial de linha e coluna do sistema digital foi transformado para o sistema cartesiano com origem no centro da fotografia e desse para o fotogramétrico. O valor digital de cada *pixel* na imagem corrigida da distorção do sistema de lentes foi obtido na imagem original, acrescentando ao valor da linha e da coluna o afastamento do ponto principal, a distorção radial simétrica e a distorção descentrada, assim evitou-se realizar interpolação na imagem original. Após as correções das distorções na imagem é importante observar o efeito das distorções na nova imagem e responder aos seguintes quesitos: Quais mudanças ocorreram com a imagem corrigida das distorções? Com o objetivo de corrigir as distorções e fornecer informações métricas acuradas e precisas para que fotografias possam ser trabalhadas, o presente trabalho teve por objetivo elaborar um algoritmo capaz de corrigir a distorção descentrada e radial simétrica de uma fotografia conhecendo-se os parâmetros de calibração.

2. Metodologia de Trabalho

No MatLab foi criado uma rotina para gerar uma imagem corrigida das distorções do sistema de lente em processo semiautomático a partir dos parâmetros de calibração da câmara. Nessa rotina o usuário seleciona o diretório e as imagens que serão corrigidas e cria um arquivo com os valores dos parâmetros de calibração da câmara. Assim, o usuário não interfere na rotina, ou seja, o usuário não modifica o código fonte.

A rotina identifica automaticamente o número de linhas e coluna da fotografia original e consequentemente determina a origem do sistema cartesiano com origem no centro da imagem. O centro da fotografia na maioria das vezes não coincide com a origem do sistema fotogramétrico, cuja origem é o ponto principal.

Na fotogrametria as medidas são realizadas em relação ao centro da imagem, porém os cálculos são feitos em relação ao sistema fotogramétrico, cujas coordenadas são consideradas isentas de erros sistemáticos. Portanto as coordenadas fotogramétricas devem ser corrigidas das distorções radial simétrica e descentrada.

Em uma fotografia sem distorção o ponto principal deverá obrigatoriamente coincidir com o centro da imagem. A dimensão da fotografia sem distorção, na qual o ponto principal coincide com o centro da imagem, será igual ao dobro da maior coordenadas fotogramétrica em módulo corrigida das distorções determinada nos eixos x e y. A Figura 1 exemplifica a imagem original de cor vermelha, a imagem corrigida das distorções de cor azul e a corrigida das distorções com o ponto principal no centro da fotografia é o quadro negro.

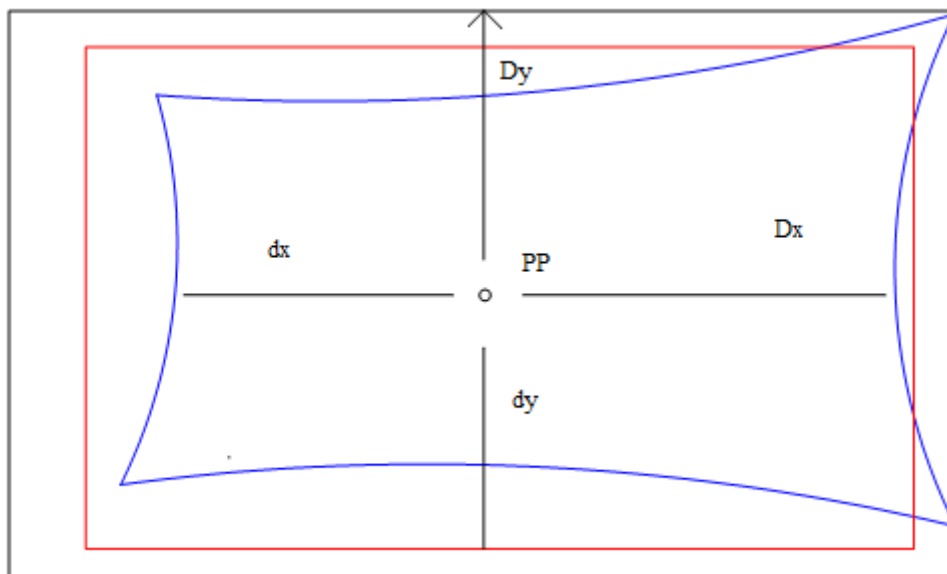


Figura 1: Imagem com distorção e imagem corrigida das distorções.

As maiores e menores distorções da imagem foram determinadas em função da borda. Para caminhar somente na borda da imagem, fixou-se a primeira linha e deslocou-se pelas colunas realizando a transformação do sistema de linha e coluna para o sistema cartesiano com origem no centro da fotografia e desse para o sistema fotogramétrico corrigido das distorções radial simétrica e descentrada.

O mesmo processo foi repetido fixando a última coluna e deslocando pelas linhas, fixando a última linha e deslocando pelas colunas e fixando a primeira coluna e deslocando pelas linhas, desse modo toda a borda da imagem foi contornada.

O número de linhas da imagem corrigida das distorções será igual ao inteiro do dobro da maior coordenada fotogramétrica corrigida das distorções em módulo em X dividida pelo tamanho do elemento sensor mais um conforme a equação (1).

O número de colunas da imagem corrigida das distorções será igual ao inteiro do dobro da maior coordenada fotogramétrica corrigidas das distorções em módulo em Y dividida pelo tamanho do elemento sensor mais um, conforme equação (2). Assim o ponto principal ficará no centro da imagem sem distorção. O resultado das equações (1) e (2) foi acrescido de uma unidade, pois a matriz no MatLab inicia em um e não em zero.

$$NL = \text{int} \left(\frac{2 * \delta y}{TES} \right) + 1 \quad (1)$$

$$NC = \text{int}\left(\frac{2 * \delta x}{TES}\right) + 1 \quad (2)$$

Onde:

- NL – Número de linha da imagem corrigida das distorções;
- NC – Número de colunas da imagem corrigida das distorções;
- δx – Máxima distorção em módulo no eixo X;
- δy – Máxima distorção em módulo no eixo Y;
- TES – Tamanho do elemento sensor.

O valor digital da imagem sem distorção foi obtido na imagem original. Para evitar a interpolação, foi realizado o processo inverso, ou seja, partiu-se da imagem sem distorção para a imagem original (com distorção). A posição do *pixel* (linha e coluna) na imagem sem distorção foi transformado para o sistema fotogramétrico e a essas coordenadas acrescentou-se o afastamento do ponto principal, as distorções radial simétrica e descentrada, determinado o valor de linha e coluna desse *pixel* na imagem original. O valor digital desse *pixel* será o mesmo da imagem corrigida das distorções. Como a imagem sem distorção é maior que a imagem original, os *pixel* que não tiveram correspondência na imagem original foram preenchidos com zero, gerando uma tarja preta em parte do contorno da fotografia.

3. Resultados e Discussão

Ao ser executados todos os processos da rotina MatLab, é gerada a imagem corrigida das distorções. A partir dos parâmetros de calibração da câmara, foi observadas quais modificações ocorreram na imagem e também feita uma comparação da imagem sem distorção com a imagem distorcida.

Na rotina “converte” são efetuadas todas as operações matemáticas necessárias para: à conversão de sistemas, unidades, e equações empregadas para corrigir as distorções radial simétrica, descentrada e afastamento do ponto principal. No arquivo “câmara” o usuário inseri os dados inerentes aos parâmetros de orientação interior da câmara obtidos no certificado de calibração. Ou seja, todos os cálculos da rotina “converte” formam o código fonte do programa, de modo que o usuário não pode alterar a rotina. Somente o arquivo “câmara” poderá ser alterado. Desse modo o arquivo fonte fica protegido de possíveis alterações realizadas involuntariamente por operador com baixo conhecimento em programação. Assim, qualquer pessoa pode realizar a correção das distorções de uma fotografia proveniente de qualquer câmara, desde que se conheça os parâmetros de orientação interior.

Ao comparar a imagem original (Figura 2) com a imagem corrigida das distorções (Figura 3) tem-se a impressão de que a imagem distorcida é a imagem corrigida e a imagem corrigida é a imagem com distorção. Isto ocorre, pois na imagem original ou distorcida não é possível perceber o desvio do raio de luz ocorrido no interior da câmara. Na imagem corrigida das distorções, cada raio de luz é colocado na sua posição correta, ou seja, a sua posição é determinada corrigindo dos desvios oriundos das distorções do sistema de lentes. Observa-se o aumento do número de linha e coluna na imagem corrigida das distorções devido ao desvio do raio de luz provocado pelas distorções (radial simétrica e descentrada) e pelo afastamento do ponto principal, pois na imagem corrigida das distorções o ponto principal coincide com o centro da fotografia. O afastamento do ponto principal no eixo x é de -0,032mm e no eixo y de -0,028mm, portanto, afastamento do ponto principal foi responsável pelo acréscimo de 8 linhas e 8 colunas na imagem sem distorção.



Figura 2: Imagem original

Observe na Figura 3 o efeito convexo da imagem devido à distorção radial simetria ser negativa, esse mesmo efeito pode ser observado na imagem na cor azul da Figura 1. Caso o parâmetro K_1 fosse positivo o efeito seria côncavo

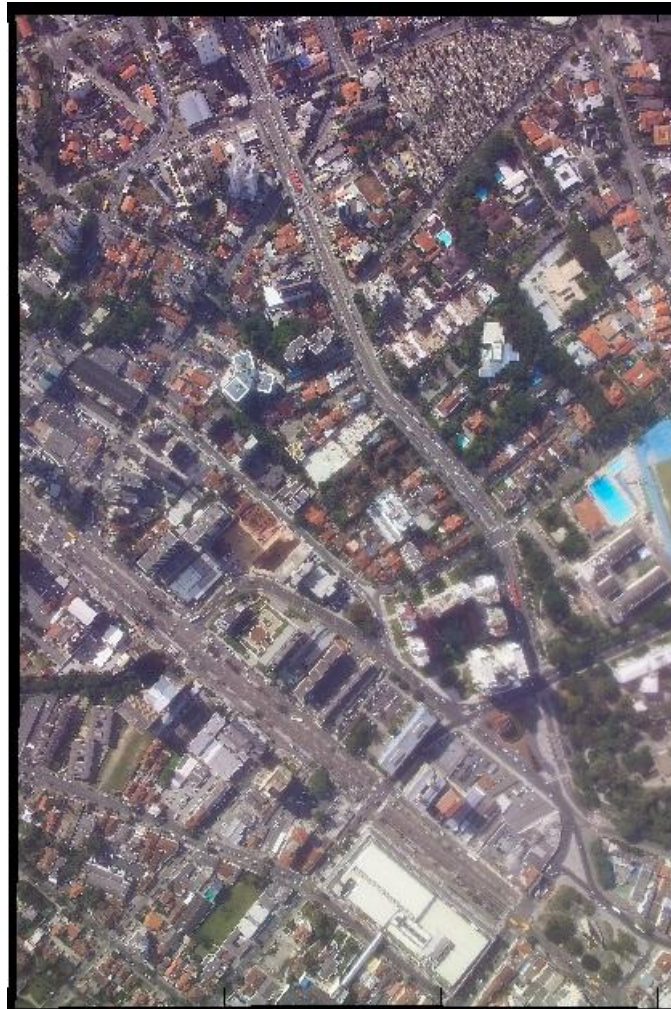


Figura 3: Imagem corrigida das distorções.

Como o número de linha e colunas da imagem sem distorções é superior ao da imagem original, alguns *pixel* ficaram sem correspondências entre as duas imagens, ou seja, esses *pixel* sem informação do valor digital e foram preenchidos com valor 0. Esse fato é o responsável pelo surgimento das faixas pretas nas bordas da fotografia.

4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos apresentam-se as principais conclusões e recomendações. Os objetivos gerais deste projeto foram atingidos, pois foi construído um algoritmo que corrigiu a distorção radial simétrica e distorção descentrada da imagem. Foi criada uma rotina no programa MatLab onde as distorções foram corrigidas a partir dos parâmetros de calibração da câmara.

O valor máximo das distorções radial simétrica e descentrada utilizadas para obter as dimensões de linha e coluna da nova imagem, foi calculado na borda da imagem original, pois as demais correções seria inferiores à essas. Os valores digitais da imagem sem distorção não foram interpolados, pois foi utilizado o método inverso, ou seja, partiu-se da linha e coluna da imagem sem distorção para encontrar o seu correspondente na imagem com distorção.

Verificou-se pelas aplicações realizadas que a metodologia pode ser empregada na correção da distorção radial simétrica e distorção descentrada para a obtenção de uma imagem livre de distorção.

Recomenda-se a utilização dessa rotina no estudo de Fotogrametria, pois a mesma permitirá ao professor simular diversas fotografias contendo valores somente em um dos parâmetros de orientação interior. Dessa forma, ficará mais didático e facilitará ao aluno a verificação e a visualização da influência de cada um dos fatores de orientação interior na fotografia e a combinação dos mesmos.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, J. B.. **Fotogrametria**. Curitiba; SBEE, 2003. 2ª edição.

CÔRTEZ, J.B. R.; **Análise da estabilidade geométrica de câmaras digitais de baixo custo com diferentes métodos de calibração**. 2010. 144p. (CPGCG-UFPR). Tese (Doutorado em Fotogrametria) Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas – universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.