

Calibração de câmeras térmicas usando pastilhas Peltier

Othon Alberto da Silva Briganó¹, Erikson Freitas de Morais¹

¹Departamento Acadêmico de Informática – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Rua Doutor Washington Subtil Chueire, 330 - 84017-220 – Ponta Grossa – PR – Brasil

othon@alunos.utfpr.edu.br, emorais@utfpr.edu.br

Abstract. *Camera calibration is essential in computer vision applications that require real-world metric information such as distance and size. For conventional cameras, there are many methods known. However, thermal cameras capture temperature, not colors, making it impossible to directly use the same methods. In this context, the method of Saponaro is the most used, however for its use is required a period of initial heating and reheating after a certain time of use. We propose a new calibration board for thermal cameras which can be used for a long period of time and allows the use of a classic calibration method for conventional cameras.*

Keywords: Computer Vision; Camera Calibration; Thermal Camera.

Palavras-chave: Visão Computacional; Calibração de câmera; Câmera térmica.

Resumo. *Calibração de câmeras é essencial em aplicações de visão computacional que necessitam de informações métricas do mundo real, como distância e tamanho. Para câmeras convencionais, o processo é conhecido e há uma série de métodos, como o de Zhang. Entretanto, câmeras térmicas capturam temperatura, não cores, impossibilitando o uso direto dos mesmos métodos utilizados nas câmeras convencionais. Nesse contexto, o método de Saponaro é o mais conhecido, entretanto para sua utilização é necessário um período de aquecimento inicial e reaquecimento após um certo tempo de uso. Propomos um novo alvo para calibração de câmeras térmicas que pode ser utilizado por um longo período de tempo e que permite a utilização de um método já conhecido no contexto das câmeras convencionais.*

1. Introdução

A calibração de câmeras é um método que permite estimar os parâmetros que definem a projeção de um ponto tridimensional (3D) do mundo em um ponto bidimensional (2D) da imagem [Ellmauthaler et al. 2013]. É um importante processo em aplicações de visão computacional quando há necessidade de informações métricas precisas, mapeadas no mundo 3D, como distância entre objetos, tamanho e profundidade, em aplicações como sistemas para aumentar a segurança em veículos [Bertozzi and Broggi 1998] e reconstrução 3D [Geiger et al. 2011]. Para câmeras convencionais há uma série de métodos conhecidos e amplamente utilizados, como [Zhang 2000] e [Heikkila and Silven 1997]. O mais conhecido é o método de Zhang, detalhado na Seção 2.1.

Câmeras térmicas representam uma opção interessante em diversas áreas, como em uso militar, médico, vigilância e em sistemas inteligentes para carros autônomos, visto que sua efetividade não depende da luminosidade da cena e sim da energia térmica recebida, podendo, assim, ser utilizada em situações de escuridão, neblina, ofuscamento e objetos escondidos, como uma pessoa atrás de uma planta ou um animal em uma rodovia com pouca iluminação. Em circunstâncias como essas, objetos importantes no contexto da cena podem não ser observáveis por uma câmera convencional.

Para calibrar esse tipo de câmera as técnicas tradicionais não são aplicáveis, visto que é a imagem é gerada através de sinais elétricos de captação de radiação infravermelha. O que é visto em uma imagem obtida por esse tipo de câmera é a conversão desses valores de temperatura em cores, seguindo uma determinada escala. Como as peças brancas e pretas do alvo tradicional estarão em temperaturas praticamente idênticas não será mantido o padrão do tabuleiro de xadrez, tornando-o invisível. Como possível solução para este problema, em [Saponaro et al. 2015] é desenvolvido um alvo para câmeras térmicas baseado em placas de cerâmica. O padrão de tabuleiro de xadrez é colado em uma peça de cerâmica e então aquecida por uma lâmpada de 250W. Após a obtenção da sequência de imagens, o método aplica um pré-processamento em cada uma delas, que consiste em destacar o alvo de calibração do resto da cena, subtrair o ruído presente na imagem, aplicar *Top Hat Filtering* (uma operação morfológica utilizada para remover iluminação não-uniforme) e, por fim, aplicar correção de gama. No pior cenário, o alvo é aquecido durante 5 minutos e sua utilização é possível por até 10 minutos.

Desta forma, observou-se a necessidade de construir um alvo com temperaturas constantes, utilizável por um período maior de tempo, além de *setup* prático e que tornasse possível aplicação dos métodos já conhecidos para câmeras convencionais em calibração de câmeras térmicas. Para isso, utilizou-se Pastilhas Peltier. Essas pastilhas são quadradas e se baseiam no Efeito Peltier, tendo como comportamento, quando ligadas, um lado esquentar e o outro esfriar. Assim, apresentam características que torna possível serem utilizadas para simular um tabuleiro de xadrez.

O objetivo deste trabalho é apresentar um novo alvo para calibração de câmeras térmicas usando Pastilhas Peltier para que o alvo térmico tenha características similares ao alvo tradicionalmente usado na calibração de câmeras convencionais. A Seção 2 fornece resumidamente o *background* necessário para calibração de câmeras, a Seção 3 detalha a construção do alvo proposto, a Seção 4 demonstra os resultados obtidos em experimentos realizados e a Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Calibração de câmeras

No contexto de aplicações de Visão Computacional todas as câmeras estão descalibradas. Isso acontece por conta das inevitáveis imperfeições no processo de construção das lentes das câmeras, no qual uma lente nunca é perfeitamente idêntica à outra. Dessa forma, são inseridos pequenos erros de captura nas imagens, o que faz com que o *frame* obtido, em relação as suas dimensões, não seja fidedigno ao objeto real em cena. Por conta dessa diferença, aplicações que exijam medidas precisas, como um veículo autônomo, necessitam da utilização de um método de calibração, pois centímetros de erro podem

causar um problema grave em seus sistemas.

Ao realizar o processo de calibração de uma câmera, o que se deseja conhecer são os parâmetros que mapeiam os pontos 3D da cena com seus pontos 2D correspondentes na imagem. Ou seja, que corrijam o erro causado pela câmera. Os parâmetros obtidos são classificados em dois grupos. O primeiro deles é o conjunto de parâmetros intrínsecos, que representam as características geométricas internas e ópticas da câmera, como distância focal (f), fatores de escala (s_x e s_y), ponto principal (u_0, v_0) e imperfeições introduzidas pelo sensor da câmera (π) [Azevedo et al. 2008]. O outro grupo é o de parâmetros extrínsecos, que, em conjunto, informam a posição e orientação da câmera na cena. Para isso utiliza-se uma matriz de rotação R e um vetor de translação t , em relação a um certo sistema de coordenadas 3D. É importante ressaltar que câmeras térmicas também podem ser calibradas em relação à valores de temperatura, mas esse tipo de calibração não é abordado neste trabalho.

Por conta do processo de construção da lente dar origem a lentes diferentes, sendo impossível fabricar exatamente igual, é inviável modelar a lente em cada processo de calibração. Por tanto, utiliza-se usualmente um modelo empírico, estimando a distorção radial e tangencial.

2.1. Método de Zhang

O método proposto por Zhang, em 2000, é amplamente utilizado como principal método para calibração de câmeras. Esse método requer apenas uma câmera apontada para um alvo de calibração previamente conhecido, como um tabuleiro de xadrez, em uma superfície coplanar. Ao definir que os pontos 3D do alvo de calibração sejam pontos coplanares, o eixo Z é eliminado, simplificando assim o mapeamento entre pontos 3D, do mundo real, e 2D, da imagem. Zhang utiliza-se de conceitos matemáticos como homografia, além de otimização não linear e o conceito de *maximum-likelihood criterion* (em tradução livre, critério de máxima verossimilhança) para resolver as aproximações e estimativas da calibração [Zhang 2000].

De maneira simplificada, o método de Zhang é composto pelas seguintes etapas:

- 1) Obtenção de imagens do alvo coplanar de calibração, em diferentes posições e ângulos;
- 2) Em cada imagem obtida, encontrar os vértices dos quadrados do padrão de calibração;
- 3) Através dos dados obtidos na etapa anterior e do conhecimento prévio do padrão, calcular os parâmetros de calibração [Azevedo et al. 2008].

Ao utilizar um alvo de calibração tradicional para realizar a calibração de uma câmera térmica, não será possível realizar o passo 2, pois a imagem obtida não terá os quadrados, pelos motivos já antes citados. Dessa forma, para ser possível utilizar o método de Zhang com a imagem térmica, deseja-se encontrar uma maneira do padrão de calibração ser visível termicamente.

3. Metodologia

Com o problema conhecido, é possível perceber a possibilidade de utilizar os mesmos algoritmos usados em calibração convencionais. Para ser possível encontrar as quinas em uma imagem térmica, é necessário que haja uma diferença de temperatura en-

tre peças equivalentes à peças "brancas" e "pretas" de um alvo convencional, de modo que o encaixe entre elas seja visível em uma imagem de temperaturas. Existem várias maneiras de se atingir o objetivo de tornar as quinas visíveis [Saponaro et al. 2015] [Ellmauthaler et al. 2013][Vidas et al. 2012].

Neste trabalho, para montar o tabuleiro seguindo as especificações acima foram utilizadas pastilhas Peltier. Comumente, são empregadas para resfriar microprocessadores e construir pequenas geladeiras e bebedouros, bem como em sistemas para aquecimento [Sanchez et al. 2015]. Essas pastilhas se baseiam no Efeito Peltier, descoberto pelo físico francês Jean Charles Athanase Peltier, no ano de 1834, e têm como característica absorver calor em um dos lados e o outro lado dissipar calor, quando aplicada corrente elétrica à pastilha. Além disso, possuem o formato quadrado, perfeito para representar uma peça de tabuleiro em um alvo de calibração.

3.1. Configuração do Alvo

No desenvolvimento do alvo de calibração que chamaremos de alvo térmico, foram utilizadas 10 pastilhas Peltier, posicionadas com o lado que absorve calor para cima. As pastilhas, cada uma delas medindo $40\text{mm} \times 40\text{mm}$, foram fixadas em uma superfície plana de madeira. A nível de circuito, as Pastilhas Peltier foram organizadas em 3 grupos: 2 deles com 3 pastilhas e 1 com 4 pastilhas. Esse circuito é alimentado por 5W, em paralelo, fornecidas por uma fonte ATX 550w Real.

Para simular o tabuleiro de xadrez são necessários dois conjuntos. No tabuleiro convencional, são representados por peças brancas e pretas. No alvo térmico, um dos conjuntos é composto pelas Pastilhas Peltier e o outro é representado por um espaço vazio, de mesmo tamanho, como demonstrado na Figura 1a.

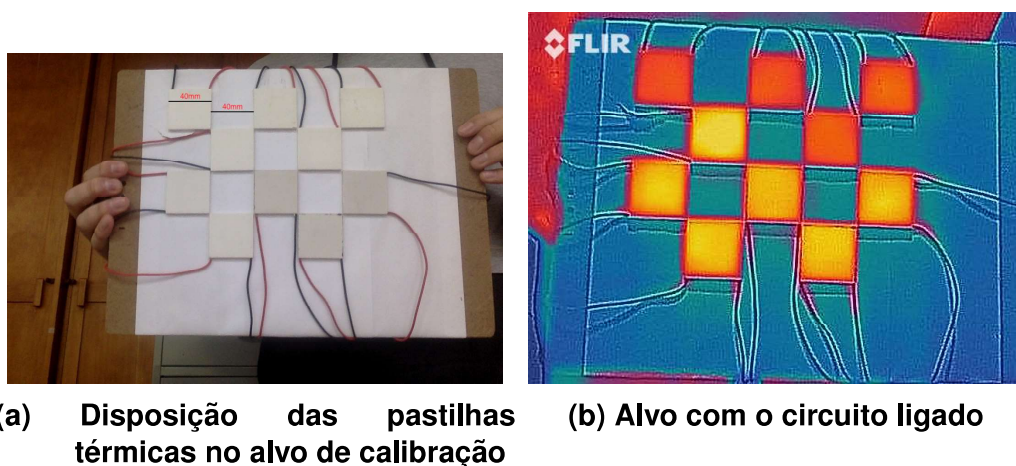
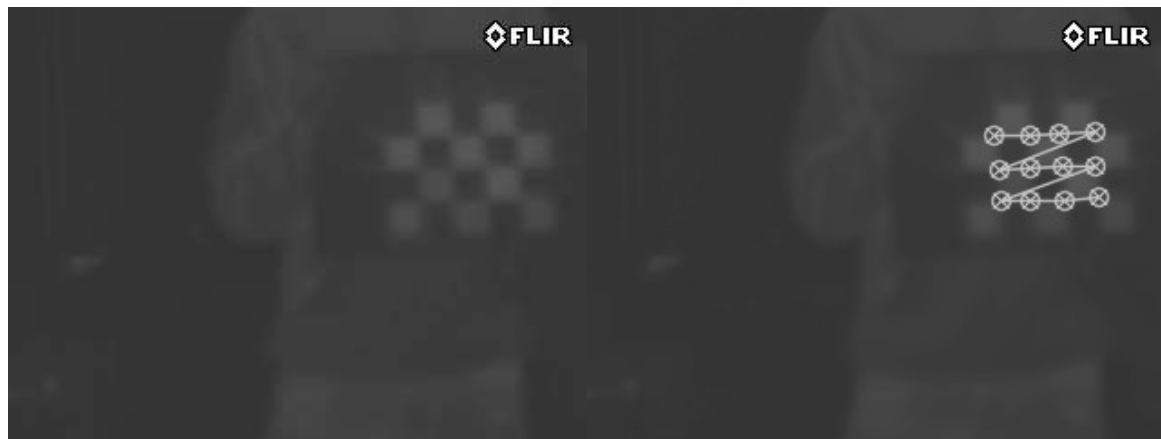


Figura 1. Configuração do alvo térmico de calibração.

Com as 10 pastilhas disponíveis o alvo foi montado em uma configuração 5×4 . Sendo assim, existem 12 pontos internos para calibração do alvo. Na implementação do método de Zhang da biblioteca OpenCV são necessários, no mínimo, 2 pontos internos na horizontal e vertical. Portanto, o alvo térmico construído atende esse requisito.

4. Resultados

Para a realização dos testes, foram capturadas imagens do alvo de calibração térmico com uma câmera térmica FLIR One, de resolução $320\text{px} \times 240\text{px}$, em um ambiente controlado em laboratório. Após a aquisição das imagens para aplicação do método de Zhang, foi executado o mesmo algoritmo de calibração usado para câmeras convencionais, utilizando o OpenCV, principal biblioteca para aplicações de Visão Computacional e que implementa esse método por padrão. O resultado é demonstrado na Figura 2b.



(a) Imagem térmica

(b) Figura 2a com as quinas encontradas

Figura 2. Exemplo de rotina de calibração

A aquisição de pastilhas Peltier para a construção do alvo tem um custo considerável, principalmente em comparação com o alvo desenvolvido em [Saponaro et al. 2015]. Porém, com os bons resultados obtidos, foi constatado que a calibração de câmeras térmicas com essas pastilhas é uma opção viável e prática, considerando que há apenas a necessidade de posicioná-las como em um tabuleiro de xadrez e conectar à uma fonte de energia adequadamente. Além disso, o alvo apresenta pouca variação térmica. Após ligá-lo, as pastilha se aquecem em poucos segundos e então tendem à constância. Não há necessidade de reaquecimento durante o processo. Desse modo, o objetivo de construir um alvo constante e que torna possível utilização por um longo período de tempo foi alcançado.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Por ser tratar de uma pesquisa em desenvolvimento, há melhorias possíveis no futuro. O alvo pode ser aumentado, pois o tamanho atual de 5×4 é pequeno em relação aos alvos 10×7 comumente utilizados na calibração convencional [OpenCV 2018]. Ao expandir o alvo, eleva-se a quantidade de pontos detectáveis, podendo aumentar a precisão da calibração. Essa expansão não foi possível pela baixa quantidade de placas disponíveis no momento deste estudo.

Outros dois problemas observados em imagens nas quais o alvo de calibração está próximo à câmera podem ser melhorados:

1. A organização da energia para as pastilhas. O grupo de quatro pastilhas fica com temperatura menor e, assim, um tom mais escuro em relação às outras pastilhas. Essa melhoria pode ser feita encontrando uma distribuição igual entre os grupos e uma corrente ideal para que as pastilhas se destaquem, mas não tão alta para não diminuir a vida útil das Pastilhas Peltier, ou via *software*, detectando os locais onde as pastilhas estão na imagem e padronizando todas com a mesma cor.
2. Os cabos da pastilhas precisam ser escondidos para não aparecerem na imagem, pois os cabos apresentam temperatura maior que o fundo do alvo, por conta da corrente que passa por eles. Desse modo, se destacam na imagem, como pode-se observar na Figura 1b, prejudicando o processo de calibração.

Conclui-se que o alvo térmico é uma opção prática para calibração de câmeras térmicas, após a construção inicial. Além disso, o alvo aqui proposto é capaz de ser utilizado por um grande período de tempo, o que permite que em experimentos que necessitem de um longo tempo para obter imagens de calibração não seja necessário parar o processo para configurar novamente o alvo.

Referências

- Azevedo, T. C., Tavares, J. M. R., and Vaz, M. A. (2008). Análise do método de calibração de câmaras proposto por zhang. In *Proceedings CLME'2008-5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, IICEM-2º Congresso de Engenharia de Moçambique*.
- Bertozzi, M. and Broggi, A. (1998). Gold: a parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection. *IEEE Transactions on Image Processing*, 7(1):62–81.
- Ellmauthaler, A., da Silva, E., Pagliari, C., Gois, J., and R. Neves, S. (2013). A novel iterative calibration approach for thermal infrared cameras.
- Geiger, A., Ziegler, J., and Stiller, C. (2011). Stereoscan: Dense 3d reconstruction in real-time. In *2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, pages 963–968.
- Heikkila, J. and Silven, O. (1997). A four-step camera calibration procedure with implicit image correction. In *Proceedings of the 1997 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '97)*, CVPR '97, pages 1106–, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- OpenCV (2018). Camera calibration with opencv. https://docs.opencv.org/3.3.1/d4/d94/tutorial_camera_calibration.html.
- Sanchez, G., Santana, H. S., Tortola”, D., and Taranto, O. P. (2015). Desenvolvimento de um sistema de aquecimento baseado em placa de peltier para microdispositivos. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, 1(3):2457 – 2462.
- Saponaro, P., Sorensen, S., Rhein, S., and Kambhamettu, C. (2015). Improving calibration of thermal stereo cameras using heated calibration board. *2015 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pages 4718–4722.
- Vidas, S., Lakemond, R., Denman, S., Fookes, C., Sridharan, S., and Wark, T. (2012). A mask-based approach for the geometric calibration of thermal-infrared cameras. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 61(6):1625–1635.

Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22:1330–1334.