

6 Conclusões

Neste trabalho de tese, foram propostas a modelagem e a implementação de um novo método de múltipla calibração de câmeras que traz como novidade o uso de um novo tipo de padrão de calibração chamado de padrão invariante. As principais contribuições do método proposto estão diretamente relacionadas à robustez na identificação dos marcadores que compõem o novo padrão – especialmente aproveitado na etapa de aquisição de dados do nosso método – e na exploração da característica de colinearidade que o padrão invariante possui para a obtenção de melhores resultados no cálculo dos parâmetros das câmeras, realizado na última etapa de otimização do nosso método de múltipla calibração.

Nós testamos se a inserção da característica de colinearidade no processo de calibração das câmeras realmente geraria algum tipo de melhora, para isso, modelamos essa característica como duas funções objetivo que foram inseridas na função de erro global usada pelo algoritmo de otimização na terceira etapa do método proposto. Para a comparação do nosso método com outros, foi necessário também realizar a calibração das câmeras usando uma função de erro global composta por funções objetivo *convencionais*, as que são usadas comumente por outros métodos de múltipla calibração. Conforme apresentado nas tabelas 2, 3, 4 e 5, os resultados obtidos com a calibração feita com a inclusão da característica de colinearidade quase sempre geraram resultados com erro médio menor em relação às calibrações feitas com funções erro que não levaram em conta a colinearidade.

Os testes também mostraram ainda que foi possível alcançar um alto grau de precisão milimétrica na tarefa de recuperação das distâncias entre os marcadores do nosso padrão após serem reconstruídos em 3D. O erro médio alcançado foi de 1.5mm, que ficou bem abaixo do limite de 5mm proposto pelos sistemas comerciais de rastreamento óptico. Porém, o mais ressaltante em termos de resultados foi constatar que o erro médio se manteve nos dois sistemas de quatro câmeras **X** e **Y** montados para nossos testes, cuja principal diferença em relação aos sistemas comerciais é o tipo de hardware com o qual trabalhamos. Nossos sistemas de câmeras não têm nenhum tipo de sincronismo eletrônico entre elas, o

que é uma característica básica dos sistemas comerciais; ademais, a qualidade das nossas câmeras não é muito alta – ambos os tipos de câmeras usados para testar nossa calibração (câmeras web e câmeras firewire) estão abaixo da média das câmeras usadas pelos sistemas comerciais. No entanto, até mesmo as simples câmeras web de baixo custo forneceram precisão equivalente à das nossas câmeras firewire de melhor qualidade.

Com relação ao novo padrão de calibração definido como padrão invariante, podemos ressaltar que este padrão possui as mesmas vantagens oferecidas pelos padrões unidimensional e adimensional, comumente usados em diferentes métodos de calibração. Porém, o padrão invariante oferece maior robustez no processo de identificação grupal e individual dos marcadores que o compõem, porque existe uma técnica específica para o reconhecimento e a identificação deste tipo de padrão [15].

Finalmente, também queremos ressaltar a proposta do framework conceitual criado nesta tese para analisar os diferentes métodos de múltipla calibração citados nos trabalhos relacionados. Nós modelamos o framework com o propósito de definir melhor as etapas que compõem o processo de múltipla calibração de câmeras, e achamos que ele pode representar uma ferramenta muito útil na análise de algum outro método que possa ser proposto no futuro.

6.1. Trabalhos futuros

O tema de tese apresentado neste trabalho teve como resultado a proposta de um novo método de múltipla calibração de câmeras, este tipo de método tem uma ampla gama de aplicações onde pode ser utilizado, especialmente aquelas onde a calibração de múltiplas câmeras representa o coração do funcionamento do sistema. De uma forma geral, como exemplos de aplicações onde nosso método poderia ser testado, citaremos as seguintes:

- Sistemas de rastreamento óptico.
- Sistema de captura de movimento.
- Modelagem e criação de interfaces de interação 3D muito usada em aplicações de realidade virtual e aumentada.
- Scanner 3D.

- Aplicações relacionadas à engenharia civil e de estruturas, onde se procura algum tipo de aplicação que permita a extração de medidas de objetos e estruturas a partir da análise de imagens capturadas por um conjunto de câmeras, evitando a medição manual das mesmas.
- Aplicações de treinamento cirúrgico, onde são usados sistemas estéreo de câmeras para rastrear os movimentos que um cirurgião faria durante uma cirurgia virtual onde podem ser simuladas cirurgias de alto risco, o que permite melhorar o desempenho e aumentar a confiança do cirurgião.

Como podemos observar, os exemplos acima citados podem ser entendidos como uma visão a longo prazo da variedade de aplicações onde podemos usar nosso método. Já a médio e curto prazo, nós propomos alguns projetos mais concretos como:

- Testar nosso método de calibração num sistema composto pelas seis câmeras usadas nos testes expostos nesta tese, o objetivo é implementar um sistema de rastreamento óptico com este conjunto de câmeras, que seja a base para a criação de um sistema de captura de movimento.
- Outra área onde testaremos nosso método é na implementação de uma aplicação dirigida à recuperação de medidas métricas semelhante a sistemas de scanner 3D. Este tipo de aplicação é implementado sobre um sistema de câmeras em estéreo. Esta ideia está apoiada nos resultados com precisão milimétrica alcançados no teste de recuperação de medidas realizado para testar nosso método.

Finalmente, seria bom também aprofundar e aprimorar o processo de extração e identificação dos marcadores do nosso padrão, a partir das imagens capturadas nas diferentes câmeras. Um exemplo deste aprimoramento foi apresentado no último ano pelo sistema comercial OptiTrack [26], onde se reportaram ganho de precisão derivado da aplicação desta nova técnica na extração da posição 2D dos marcadores na imagem.