ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

BÁO CÁO TỔNG KẾT

ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

XÂY DỰNG THUẬT TOÁN HIỆU CHỈNH HÌNH ẢNH CỦA CAMERA ĐỂ NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC SO VỚI THỰC TẾ

Mã số: T2023-06-21

Chủ nhiệm đề tài: **TS. Phạm Duy Dưởng**

Đơn vị: **Khoa Điện – Điện tử**

Chương trình đào tạo: **Công nghệ Kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa**

Đà Nẵng, tháng 1 năm 2025

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

BÁO CÁO TỔNG KẾT

ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

XÂY DỰNG THUẬT TOÁN HIỆU CHỈNH HÌNH ẢNH CỦA CAMERA ĐỂ NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC SO VỚI THỰC TẾ

Mã số: T2023-06-21

Xác nhận của cơ quan chủ trì đề tài	**Chủ nhiệm đề tài**
KT. HIỆU TRƯỞNG **PHÓ HIỆU TRƯỞNG**	
PGS. TS. Võ Trung Hùng	**TS. Phạm Duy Dưởng**

DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU

STT	Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn
1	Dương Quang Thiện	Khoa Điện-Điện tử, ngành tự động hóa
2	Phan Thị Thanh Vân	Khoa Điện-Điện tử, ngành tự động hoá

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH VẼ iii

DANH MỤC BẢNG BIỂU iv

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT v

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU vi

MỞ ĐẦU 1

Chương 1. CƠ SỞ VÀ PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHUẨN CAMERA 6

1.1 Tổng quan về camera 6

1.1.1 Giới thiệu về camera 6

1.1.2 Cấu tạo camera 7

1.2 Hiệu chuẩn camera 8

1.2.1 Khái niệm và tầm quan trọng của hiệu chuẩn camera 8

1.2.2 Mục tiêu của hiệu chuẩn camera 12

1.2.3 Ứng dụng của hiệu chuẩn camera 13

1.3 Cơ sở và phương pháp hiệu chuẩn camera 14

1.3.1 Cơ sở hiệu chuẩn camera 14

1.3.2 Quy trình tối ưu thông số nội tại 17

Chương 2. HIỆU CHUẨN CAMERA DỰA VÀO BỘ CÔNG CỤ CỦA MATLAB 19

2.1 Giới thiệu bộ công cụ Camera Calibrator của Matlab 19

2.1.1 Định nghĩa và vai trò của bộ công cụ Camera Calibrator 19

2.1.2 Các tính năng chính của bộ công cụ 20

2.1.3 Ứng dụng của bộ công cụ trong thực tế 22

2.1.4 Lý do lựa chọn Matlab cho hiệu chuẩn camera 23

2.2 Quy trình hiệu chuẩn camera trong Matlab 24

2.2.1 Chuẩn bị dữ liệu hiệu chuẩn 25

2.2.2 Nhập dữ liệu vào Matlab 27
2.2.3 Tính toán các thông số hiệu chuẩn 30
2.3 Các lệnh hiệu chuẩn thông số camera của Matlab 33
Chương 3. CHỈNH HÌNH ẢNH DỰA TRÊN BỘ THÔNG SỐ HIỆU CHUẨN CỦA CAMERA 35
3.1 Cơ sở của việc hiệu chỉnh hình ảnh dựa trên bộ thông số hiệu chuẩn của camera 35
3.1.1 Quy trình hiệu chỉnh ảnh thuận 36
3.1.2 Quy trình hiệu chỉnh ảnh ngược 37
3.2 Hiệu chỉnh hình ảnh của công cụ Camera Calibrator 38
3.3 Nội suy giá trị màu cho các pixel trong hiệu chỉnh ảnh 38
Chương 4. THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ 41
4.1 Thực nghiệm 41
4.2 Đánh giá hiệu quả 43
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN 49
THUYẾT MINH ĐỀ TÀI KHCN
HỢP ĐỒNG TRIỂN KHAI ĐỀ TÀI
BẢNG MỤC MỤC MINH CHỨNG SẢN PHẨM CỦA ĐỀ TÀI
BỘ MINH CHỨNG SẢN PHẨM CỦA ĐỀ TÀI

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1 Một số hình ảnh về camera 6
Hình 1.2 Cấu tạo của camera [1] 7
Hình 1.3 Ứng dụng camera trong xác định tọa độ 3D của mặt cong [2] 10
Hình 1.4 Biểu diễn mặt phẳng laser trong hệ tọa độ camera [2] 11
Hình 1.5 Ước lượng mặt phẳng laser trong hệ tọa độ camera sử dụng bảng cờ vua [2] 11
Hình 1.6 Quá trình tạo ảnh của camera [3] 15
Hình 1.7 Quan hệ giữa tọa độ không gian và tọa độ ảnh [3] 15
Hình 2.1 Công cụ Camera Calibrator của Matlab [4] 19
Hình 2.2 Minh họa hình ảnh méo gối và méo thùng [5] 21
Hình 2.3 Bảng cờ vua hiệu chỉnh camera 25
Hình 2.4 Bảng điểm để hiệu chỉnh camera 26
Hình 2.5 Công cụ camera calibrator 27
Hình 2.6 Giao diện công cụ camera calibrator 28
Hình 2.7 Lựa chọn nguồn ảnh 28
Hình 2.8 Nhập kích thước các cạnh hình vuông của bảng cờ vua 29
Hình 2.9 Các đỉnh hình vuông được phát hiện 29
Hình 2.10 Kết quả hiệu chuẩn camera [4] 31
Hình 2.11 Các thông số hiệu chuẩn camera 32
Hình 3.1 Hình bàn cờ vua sau quy trình hiệu chỉnh ảnh thuận 37
Hình 4.1 Vị trí và hướng máy ảnh chụp bảng cờ vua 41
Hình 4.2 Vị trí và hướng máy ảnh chụp bảng cờ vua 41
Hình 4.3 Các điểm giao nhau trên bàn cờ vua được xác định 42
Hình 4.4 Hình bàn cờ vua khi ban đầu 43
Hình 4.5 Hình bàn cờ vua sau khi hiệu chỉnh ảnh 43
Hình 4.6 Hình bàn cờ vua sau khi hiệu chỉnh ảnh 45
Hình 4.7 Đường thẳng ước lượng từ 7 điểm ảnh 45
Hình 4.8 Hình bàn cờ vua sau khi hiệu chỉnh ảnh 46

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 4.1 So sánh thông số hiệu chuẩn camera 44

Bảng 4.2 Khoảng cách trung bình (pixel) từ 7 điểm đến đường thẳng ước lượng trước hiệu chỉnh 47

Bảng 4.3 Khoảng cách trung bình (pixel) từ 7 điểm đến đường thẳng ước lượng sau hiệu chỉnh 47

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

2D	Không gian hai chiều
3D	Không gian ba chiều
AR	Thực tế tăng cường
CMOS	Công nghệ chế tạo chip CMOS
VR	Thực tế ảo

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐH SƯ PHẠM KỸ THUẬT

CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: Xây dựng thuật toán hiệu chỉnh hình ảnh của camera để nâng cao độ chính xác so với thực tế

- Mã số: T2023-06-21

- Chủ nhiệm: TS. Phạm Duy Dưởng

- Thành viên tham gia: ThS. Dương Quang Thiện, ThS. Phan Thị Thanh Vân.

- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật

- Thời gian thực hiện: từ 03/2024 đến 2/2025

2. Mục tiêu:

- Hiệu chuẩn thông số camera sử dụng bộ công cụ Camera Calibrator

- Xây dựng thuật toán hiệu chỉnh hình ảnh đúng thực tế sử dụng bộ thông số hiệu chuẩn camera

3 . Tính mới và sáng tạo:

Xây dựng được thuật toán hiệu chỉnh ảnh dựa trên bộ công cụ hiệu chuẩn thông số camera.

Phân tích được hiệu quả của quy trình hiệu chỉnh ảnh thuận, hiệu chỉnh ảnh ngược.

4. Tóm tắt kết quả nghiên cứu:

Đề tài đã đạt được kết quả đáp ứng mục tiêu của đề tài bao gồm việc hiệu chuẩn thông số camera sử dụng bộ công cụ Camera Calibrator và xây dựng thuật toán hiệu chỉnh hình ảnh đúng thực tế sử dụng bộ thông số hiệu chuẩn của camera. Ngoài ra, nội dung của đề tài được sử dụng trong bài báo được công bố trong kỷ yếu hội nghị VCCA 2024.

5. Tên sản phẩm:

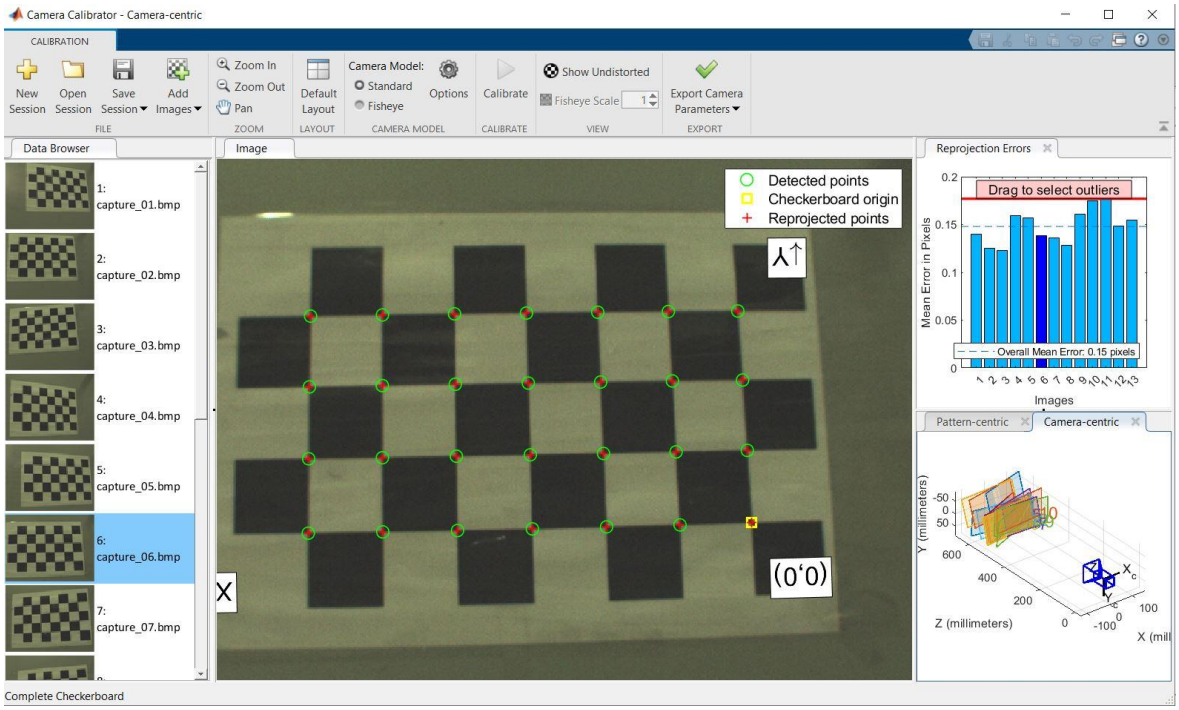
01 Bài báo khoa học đăng trên tạp chí/kỷ yếu được tính điểm trong danh mục HĐCDGSNN

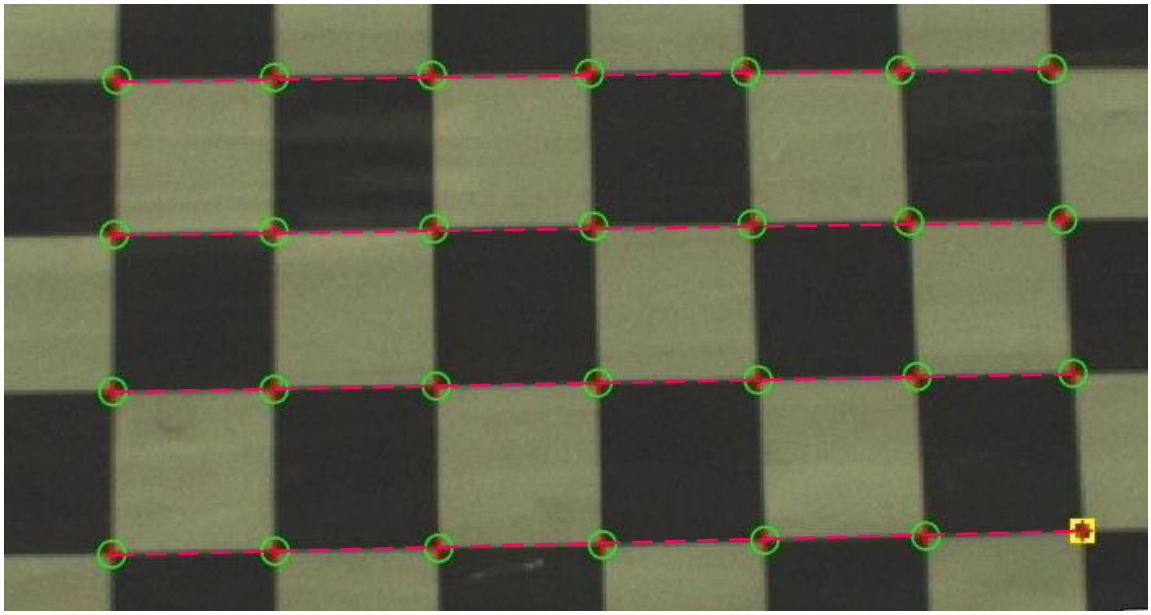
6. Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng:

- Kết quả của việc hiệu chỉnh hình ảnh cũng góp phần vào nâng cao hiệu quả hoạt động của các sản xuất tự động, góp phần tiết kiệm nhân công và tăng hiệu quả trong sản xuất.

- Sản phẩm đề tài được chuyển giao cho Bộ môn Tự động hóa để làm nguồn tài liệu tham khảo cho cán bộ và sinh viên khoa Điện – Điện tử trong việc thực hiện các đề tài nghiên cứu khoa học và đề tài tốt nghiệp. Góp phần nâng cao năng lực nghiên cứu cho giảng viên và sinh viên.

7. Hình ảnh, sơ đồ minh họa chính





Ngày 13 tháng 1 năm 2025

TM. Hội đồng Khoa	**Chủ nhiệm đề tài**
Chủ tịch	*(ký, họ và tên)*
(ký, họ và tên)	
TS. Trần Hoàng Vũ	**TS. Phạm Duy Dưởng**

XÁC NHẬN CỦA TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

KT. HIỆU TRƯỞNG

PHÓ HIỆU TRƯỞNG

PGS. TS. Võ Trung Hùng

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: Development of an Image Correction Algorithm for Cameras to Enhance Accuracy in Comparison with Reality

Code number: T2023-06-21

Coordinator: Dr. Pham Duy Duong, MSc, Duong Quang Thien, MSc. Phan Thi Thanh Van

Implementing institution: University of Technology and Education

Duration: from 3/2024 to 2/2025

2. Objective(s):

- Calibrate camera parameters using the Camera Calibrator toolkit.
- Develop an image correction algorithm based on the calibrated camera parameters to ensure real-world accuracy.

3. Creativeness and innovativeness:

- Developed an image correction algorithm based on the camera calibration toolkit.
- Analyzed the effectiveness of the forward and reverse image correction processes.

4. Research results:

The project achieved its objectives, including calibrating camera parameters using the Camera Calibrator toolkit and developing an image correction algorithm to ensure accuracy in line with real-world measurements. Additionally, the project's findings were included in a paper published in the proceedings of the VCCA 2024 conference.

5. Products:

01 article is scored for scientific works in the list of Scientific Research Council

6. Effects, transfer alternatives of research results and applicability:

The results of the image correction process contribute to improving the efficiency of automated production systems, reducing labor requirements, and increasing

productivity.

The project outcomes have been transferred to the Department of Automation as a reference material for faculty and students of the Faculty of Electrical and Electronic Engineering. These materials support scientific research projects and graduation theses, enhancing the research capacity of lecturers and students.

MỞ ĐẦU

1. Tổng quan tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực đề tài ở trong và ngoài nước

Quốc tế:

Hiệu chuẩn máy ảnh là quá trình để xác định các thông số nội tại và ngoại vi của một máy ảnh, nhằm tạo ra một mô hình số hóa của hệ thống máy ảnh. Quá trình này rất quan trọng trong nhiều ứng dụng liên quan đến thị giác máy tính [1-3], bao gồm nhận dạng đối tượng, theo dõi chuyển động, đo đạc, và thực tế tăng cường.

Trong hiệu chuẩn máy ảnh, các thông số nội tại của máy ảnh được xác định, bao gồm tiêu cự, điểm chính, và hệ số méo. Tiêu cự thể hiện khả năng thu phóng của máy ảnh, điểm chính định vị tâm ảnh trên màn cảm biến hoặc film, và hệ số méo mô tả sự méo của ảnh do ống kính [4].

Để thực hiện quá trình hiệu chuẩn máy ảnh, người dùng cần có một bộ dữ liệu gồm các điểm ảnh đã biết trước và tương ứng với vị trí thực tế của chúng. Các điểm ảnh này thường được chọn sao cho chúng phủ rộng không gian 3D. Với sự biết trước về các điểm ảnh và vị trí thực tế của chúng, thuật toán hiệu chuẩn máy ảnh sẽ tính toán các thông số nội tại và ngoại vi của máy ảnh.

Một phương pháp phổ biến để thực hiện hiệu chuẩn máy ảnh là hiệu chuẩn máy ảnh bằng bảng cờ vua (Camera Calibration Chessboard [5]) có cấu trúc được biết trước. Phương pháp này yêu cầu sử dụng một bảng cờ vua có các ô vuông đen và trắng được sắp xếp theo cấu trúc biết trước [6]. Bằng cách di chuyển bảng cờ vua trong không gian và chụp nhiều ảnh từ nhiều góc độ, ta sẽ thu thập được thông tin về sự biến đổi hình học của bảng cờ vua trên màn hình camera. Phương pháp này cũng đã được Matlab tích hợp thành 1 công cụ Camera Calibrator [7]. Kết quả của quá trình hiệu chuẩn là một ma trận máy ảnh chứa các thông số nội tại và ngoại vi của máy ảnh. Một khi máy ảnh đã được hiệu chuẩn, nó có thể được sử dụng để chuyển đổi các điểm ảnh thành không gian 3D hoặc ngược lại, giúp

trong các ứng dụng như nhận dạng đối tượng, đo đạc hoặc tạo ra một môi trường thực tế tăng cường chính xác.

[1] D.D.Pham, Q.K.Dang, Y.S.Suh, "Golf Green Slope Estimation Using a Cross Laser Structured Light System and an Accelerometer". Journal of Electrical Engineering and Technology. 11. 508-518. 10.5370/JEET.2016.11.2.508, 2016

[2] J. Hou and X. Ye, "Real-time Underwater 3D Reconstruction Method Based on Stereo Camera," 2022 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Guilin, Guangxi, China, 2022, pp. 1204-1209

[3] S. Eqbal, A. Verna, A. Soni and A. Kumar, "Feature Matching of Images," 2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Maharashtra, India, 2021, pp. 1-6.

[4] Lin, Kuan-Ying & Tseng, Yi-Hsing & Chiang, Kai-Wei, "Interpretation and Transformation of Intrinsic Camera Parameters Used in Photogrammetry and Computer Vision". Sensors. 2022.

[5] Calibration Checkerboard Collection, Online: https://markhedleyjones.com/projects/calibration-checkerboard-collection

[6] Calibration Patterns, Online: https://www.mathworks.com/help/vision/ug/calibration-patterns.html

[7] Camera Calibrator, Online: https://www.mathworks.com/help/vision/camera-calibration.html

Trong nước:

Tại Việt Nam thì công nghệ xử lý ảnh cũng được ứng dụng rộng rãi trong nhận diện biển số xe, điều khiển cánh tay robot, đóng gói, đo và kiểm tra kích thước sản phẩm. Đặc biệt trong các ứng dụng đo và kiểm tra kích thước sản phẩm, xác định khoảng cách hoặc vị trí 3D thì bị hạn chế ở việc các hình ảnh thu được từ camera thường bị méo nên kết quả không chính xác. Do vậy việc hiệu chỉnh hình ảnh từ camera là cần thiết và cũng có một số công bố về vấn đề này. Trong bài báo [1], tác giả dùng công cụ Camera Calibrator để hiệu chỉnh hình ảnh nhằm loại bỏ méo. Mặc dù kết quả về mặc định tính nhìn chung là tốt nhưng chưa có đánh giá chính xác về mặt định lượng. Trong luận án thạc sĩ [2], tác giả nghiên cứu kỹ thuật Camera Calibrator và ứng dụng vào xác định khoảng cách giữa các đối tượng trong 3D. Ở đây tác giả chỉ sử dụng bộ thông số từ việc hiệu chuẩn camera để đi xác định khoảng cách 3D nhưng chưa thực sự hiệu chỉnh ảnh một cách hiệu quả.

[1] Đào Xuân Phúc, Nguyễn Thị Phi Doan, Nguyễn Thống Nhất, "Thực hiện hiệu chỉnh camera để khử hiện tượng méo ảnh trong các phép đo kích thước sử dụng công nghệ thị giác máy tính, Tạp chí Khoa học Trường Đại học Mở Hà Nội, Số. 104 (2023).

[2] Nguyễn Thị Thắm, "Nghiên cứu các kỹ thuật Camera Calibrator và ứng dụng xác định khoảng cách giữa các đối tượng trong không gian 3D", Luận văn thạc sĩ, 2012.

2. Tính cấp thiết

Xử lý ảnh là chủ đề rất phổ biến và có vai trò quan trọng trong nhiều ứng dụng của camera. Công nghệ xử lý ảnh được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như nhận diện biển số xe, điều khiển cánh tay robot, đóng gói sản phẩm, đo và kiểm tra kích thước trong sản xuất công nghiệp. Đặc biệt, trong các ứng dụng yêu cầu độ chính xác cao như đo lường kích thước sản phẩm, xác định khoảng cách hoặc vị trí 3D, các hình ảnh thu được từ camera thường chứa nhiều sai lệch do hiện tượng méo ảnh. Điều này dẫn đến các kết quả không chính xác, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả và độ tin cậy của các hệ thống ứng dụng.

Hiện tượng méo hình học, như méo thùng (barrel distortion) và méo gối (pincushion distortion), là nguyên nhân chính gây ra sai lệch trong hình ảnh. Những sai lệch này xuất phát từ đặc điểm vật lý của thấu kính và cảm biến, thường không được nhà sản xuất camera điều chỉnh tối ưu cho từng trường hợp cụ thể. Hơn nữa, các thông số quang học của camera, bao gồm tiêu cự, độ cong và độ méo của thấu kính, có thể thay đổi trong quá trình vận hành, dẫn đến sự không khớp giữa hình ảnh thu được và thực tế.

Để khắc phục vấn đề này, việc hiệu chuẩn camera nhằm xác định chính xác các thông số nội tại (như tiêu cự, điểm chính, hệ số méo) và ngoại vi (vị trí, hướng của camera trong không gian) là vô cùng cần thiết. Đây là bước đầu tiên để đảm bảo rằng các hình ảnh thu được phản ánh đúng thực tế và có thể sử dụng hiệu quả trong các ứng dụng đo lường và thị giác máy tính.

Hơn nữa, với yêu cầu ngày càng cao về tự động hóa trong công nghiệp và các hệ thống thông minh, việc xây dựng các thuật toán tự động điều chỉnh hình ảnh trước khi xử lý là một hướng đi tất yếu. Các thuật toán này không chỉ giúp loại bỏ méo ảnh

mà còn tối ưu hóa hình ảnh đầu vào, đảm bảo độ chính xác cao nhất trong các ứng dụng như:

- Đo lường và kiểm tra chất lượng sản phẩm: Đảm bảo các kích thước đo được là chính xác, hỗ trợ cải thiện chất lượng sản xuất.
- Robot tự hành và điều khiển: Xác định chính xác vị trí của các đối tượng trong không gian 3D để robot hoạt động hiệu quả.
- Thực tế tăng cường (AR) và thực tế ảo (VR): Hiển thị chính xác các hình ảnh hoặc đối tượng ảo tích hợp với môi trường thực tế.
- Ứng dụng y tế: Cải thiện độ chính xác trong phân tích hình ảnh y khoa, hỗ trợ các quyết định chẩn đoán.

Tóm lại, sự phát triển của công nghệ xử lý ảnh không thể thiếu các bước hiệu chuẩn và hiệu chỉnh hình ảnh. Việc này không chỉ đảm bảo rằng các hệ thống thị giác máy tính đạt hiệu suất tối ưu mà còn mở rộng khả năng ứng dụng của camera vào các lĩnh vực mới, góp phần thúc đẩy tiến bộ khoa học và công nghệ trong nhiều ngành nghề.

3. Mục tiêu

- Hiệu chuẩn thông số camera sử dụng bộ công cụ Camera Calibrator
- Xây dựng thuật toán hiệu chỉnh hình ảnh đúng thực tế sử dụng bộ thông số hiệu chuẩn camera.

4. Cách tiếp cận

Nghiên cứu tổng quan tình hình nghiên cứu liên quan đến đề tài từ đó xây dựng các thuật toán hiệu chỉnh camera.

5. Phương pháp nghiên cứu

Dựa trên lý thuyết về nguyên lý hoạt động và tạo ảnh của camera để tìm hiểu nguyên nhân gây ra sai lệch về hình ảnh của camera, từ đó nghiên cứu phương pháp hiệu chuẩn camera và bộ công cụ hiệu chuẩn camera của Matlab để có được bộ thông số hiệu chuẩn của camera. Sau đó nghiên cứu phương pháp hiệu chỉnh hình ảnh dựa trên bộ thông số hiệu chuẩn của camera và thực hiện các thử nghiệm để đánh giá hiệu quả.

6. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu:

- Phương pháp hiệu chuẩn camera
- Bộ công cụ hiệu chuẩn Camera Calibrator của Matlab
- Phương pháp hiệu chỉnh hình ảnh sử dụng bộ thông số camera hiệu chuẩn

Phạm vi nghiên cứu:

- Phạm vi nghiên cứu trong trường hợp camera cố định các thông số (không tự động thay đổi thông số)
- Hiệu chỉnh hình ảnh liên quan đến độ méo và độ nghiêng của thấu kính.

7. Nội dung nghiên cứu

Chương 1: Nghiên cứu tổng quan về đề tài

Chương 2: Cơ sở và phương pháp hiệu chuẩn camera

Chương 3: Hiệu chuẩn camera dựa vào bộ công cụ của Matlab

Chương 4: Hiệu chỉnh hình ảnh dựa trên bộ thông số hiệu chuẩn của camera

Chương 5: Thực nghiệm và đánh giá hiệu quả

Chương 1. CƠ SỞ VÀ PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHUẨN CAMERA

1.1 Tổng quan về camera

1.1.1 Giới thiệu về camera

Camera là một thiết bị quang học được thiết kế để thu nhận hình ảnh từ thế giới thực và chuyển đổi chúng thành tín hiệu điện tử hoặc dữ liệu số. Ngày nay, camera đã trở thành một phần không thể thiếu trong đời sống, với sự hiện diện trong các thiết bị như điện thoại thông minh, hệ thống giám sát an ninh, và các thiết bị đo lường công nghiệp. Sự phát triển của công nghệ camera đã thay đổi cách con người tương tác với hình ảnh, từ việc lưu giữ kỷ niệm cá nhân đến các ứng dụng khoa học và kỹ thuật. Hình 1.1 thể hiện một số hình ảnh về camera ngày nay.

Hình 1.1 Một số hình ảnh về camera

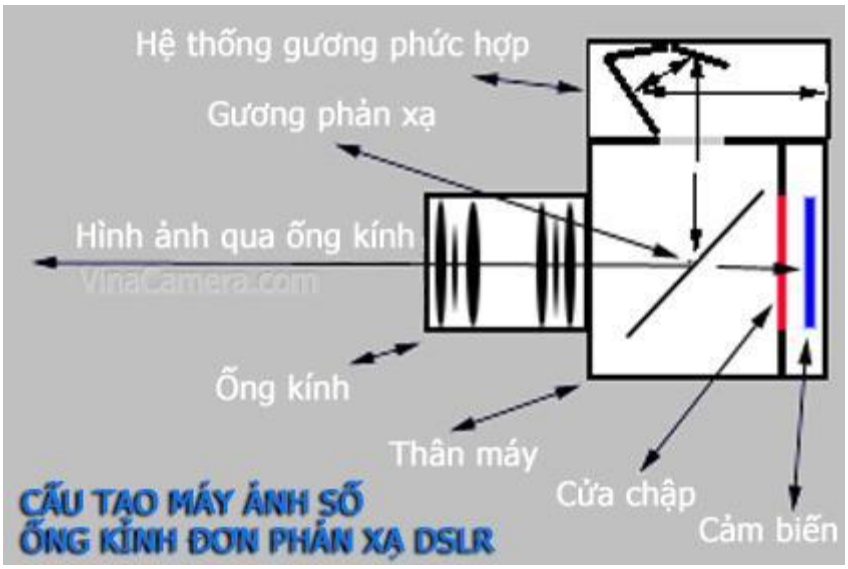
Ứng dụng của camera vô cùng đa dạng và có ý nghĩa trong nhiều lĩnh vực. Trong giám sát an ninh, camera được sử dụng để theo dõi và giám sát trong các khu vực công cộng, nhà ở và doanh nghiệp. Chúng cung cấp khả năng phát hiện chuyển động, nhận diện khuôn mặt, và ghi lại các sự kiện quan trọng. Trong lĩnh vực y học, camera hỗ trợ trong phẫu thuật nội soi, chụp X-quang, và các ứng dụng hình ảnh y

khoa khác, giúp cải thiện chất lượng chẩn đoán và điều trị. Trong công nghiệp, Camera đóng vai trò quan trọng trong tự động hóa, kiểm tra chất lượng sản phẩm và giám sát các quy trình sản xuất. Trong giao thông, camera được sử dụng trong các hệ thống nhận diện biển số xe, giám sát luồng giao thông, và phân tích hành vi lái xe đều dựa vào công nghệ camera. Trong thực tế tăng cường và thực tế ảo (AR/VR), camera giúp xây dựng các môi trường ảo, cung cấp trải nghiệm tương tác và chân thực trong các lĩnh vực giải trí, giáo dục và thiết kế. Trong lĩnh vực khoa học môi trường, Camera được sử dụng để giám sát biến đổi khí hậu, theo dõi động vật hoang dã và nghiên cứu các hệ sinh thái phức tạp. Trong nghệ thuật và sáng tạo, Camera là công cụ không thể thiếu trong nhiếp ảnh và điện ảnh, giúp con người ghi lại và sáng tạo các tác phẩm nghệ thuật.

1.1.2 Cấu tạo camera

Camera có cấu tạo gồm các thành phần chính như trong Hình 1.2, mỗi thành phần đảm nhiệm một vai trò cụ thể trong việc thu nhận và xử lý hình ảnh.

Thấu kính (Lens): Thấu kính là thành phần quan trọng đầu tiên của camera, chịu trách nhiệm hội tụ ánh sáng từ môi trường vào cảm biến hình ảnh. Thấu kính có thể được thiết kế cố định hoặc có khả năng điều chỉnh tiêu cự (zoom). Một số loại thấu kính hiện đại còn tích hợp tính năng chống rung (optical stabilization) để giảm thiểu tác động của rung động.



Hình 1.2 Cấu tạo của camera [1]

Cảm biến hình ảnh (Image Sensor): Cảm biến hình ảnh chuyển đổi ánh sáng hội tụ từ thấu kính thành tín hiệu điện. Đây là "trái tim" của hệ thống camera. Hai loại cảm biến phổ biến nhất là CCD (Charge-Coupled Device) và CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor). CCD cung cấp hình ảnh chất lượng cao nhưng tiêu tốn nhiều năng lượng hơn. CMOS tiết kiệm năng lượng hơn và có khả năng xử lý nhanh chóng, được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị di động.

Bộ xử lý hình ảnh (Image Processor): Bộ xử lý phân tích tín hiệu từ cảm biến để tạo ra hình ảnh số. Chức năng của bộ xử lý bao gồm cân bằng màu sắc, giảm nhiễu, và tăng cường chi tiết hình ảnh. Các camera hiện đại tích hợp các thuật toán trí tuệ nhân tạo trong bộ xử lý để cải thiện chất lượng hình ảnh và nhận diện đối tượng.

Hệ thống khẩu độ (Aperture): Khẩu độ kiểm soát lượng ánh sáng đi vào cảm biến hình ảnh thông qua việc điều chỉnh kích thước mở của thấu kính. Khẩu độ lớn (f nhỏ) cho phép nhiều ánh sáng hơn, hữu ích trong điều kiện ánh sáng yếu.

Hệ thống màn trập (Shutter): Màn trập điều khiển thời gian ánh sáng chiếu vào cảm biến hình ảnh. Có hai loại chính: màn trập cơ học và màn trập điện tử. Màn trập điện tử thường được sử dụng trong các camera kỹ thuật số hiện đại.

Vỏ bảo vệ (Housing): Bảo vệ các thành phần bên trong khỏi bụi bẩn, độ ẩm và các tác động từ môi trường bên ngoài. Một số camera được thiết kế chống nước, chống sốc, phù hợp với các điều kiện làm việc khắc nghiệt.

Bộ nhớ và kết nối: Camera cần có bộ nhớ tích hợp hoặc hỗ trợ thẻ nhớ để lưu trữ hình ảnh. Các cổng kết nối (USB, HDMI) hoặc kết nối không dây (Wi-Fi, Bluetooth) giúp truyền tải dữ liệu hoặc điều khiển từ xa.

Nhờ sự phối hợp chặt chẽ giữa các thành phần này, camera có thể ghi lại và xử lý hình ảnh với chất lượng cao, đáp ứng nhu cầu của các ứng dụng từ đơn giản đến phức tạp.

1.2 Hiệu chuẩn camera

1.2.1 Khái niệm và tầm quan trọng của hiệu chuẩn camera

Hiệu chuẩn camera là một lĩnh vực nghiên cứu nền tảng trong ngành xử lý ảnh và thị giác máy tính, góp phần quan trọng vào việc cải thiện độ chính xác và độ tin cậy của các hệ thống thị giác nhân tạo. Quá trình này liên quan đến việc xác định và

điều chỉnh các thông số nội tại (như tiêu cự, điểm chính, hệ số méo) và ngoại vi (vị trí, hướng của camera) để đảm bảo rằng hình ảnh thu được từ camera phản ánh chính xác thực tế.

Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ, camera không chỉ là công cụ ghi hình thông thường mà còn trở thành thành phần thiết yếu trong nhiều ứng dụng quan trọng, bao gồm:

- Nhận dạng đối tượng: Được ứng dụng trong giám sát an ninh, quản lý giao thông, và sản xuất công nghiệp.
- Đo đạc không gian ba chiều (3D): Hỗ trợ trong xây dựng mô hình địa hình, định vị đối tượng trong không gian, và kiểm tra kích thước sản phẩm.
- Theo dõi chuyển động: Phục vụ các nghiên cứu y học, thể thao, và thực tế ảo.
- Xây dựng mô hình thực tế tăng cường (AR): Kết hợp hình ảnh thực tế và hình ảnh ảo trong cùng một không gian để tạo ra các trải nghiệm tương tác phong phú.

Trong các ứng dụng yêu cầu độ chính xác cao, chẳng hạn như đo đạc hình học hoặc định vị đối tượng trong không gian ba chiều, hình ảnh thu được từ camera phải phản ánh sát với thực tế. Tuy nhiên, do sự không hoàn hảo trong thiết kế và lắp ráp, hình ảnh từ camera thường chứa các sai lệch hình học, bao gồm:

- Méo thùng (barrel distortion): Làm các đường thẳng gần rìa ảnh trở nên cong ra ngoài.
- Méo gối (pincushion distortion): Làm các đường thẳng bị kéo về phía tâm ảnh.
- Sai lệch điểm chính và tỷ lệ pixel: Dẫn đến biến dạng trong kích thước và vị trí của các đối tượng.

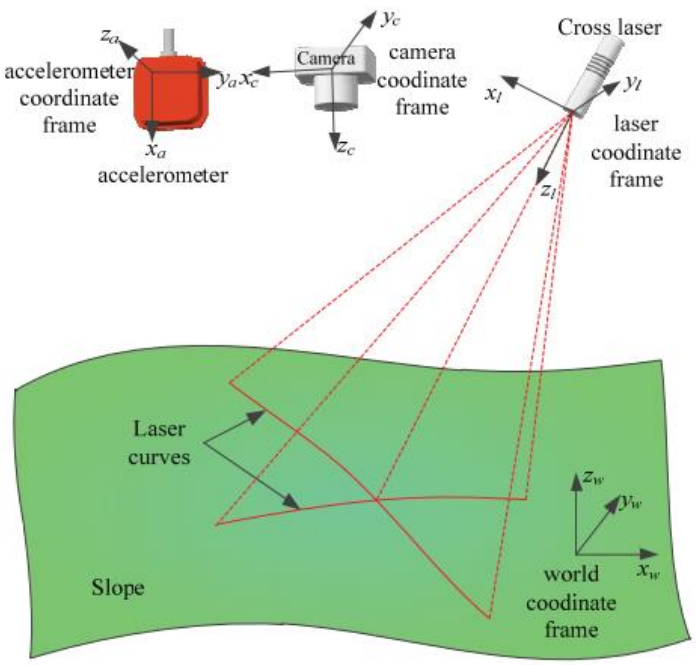
Những sai lệch này gây ra sai số đáng kể trong các phép đo và phân tích hình ảnh, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống ứng dụng. Do đó, hiệu chuẩn camera trở thành bước thiết yếu để:

- Giảm thiểu sai số hình ảnh: Loại bỏ các méo dạng và điều chỉnh hình ảnh để phù hợp với thực tế.

- Nâng cao độ chính xác: Đảm bảo dữ liệu đầu vào chính xác cho các thuật toán xử lý và phân tích.
- Tối ưu hóa ứng dụng thực tế: Hỗ trợ các ứng dụng trong công nghiệp, nông nghiệp, y tế, và nghiên cứu khoa học đạt hiệu quả cao nhất.

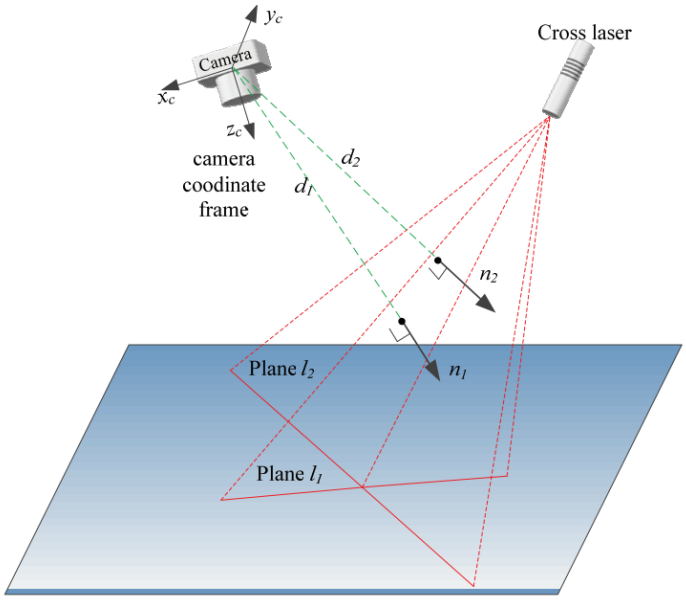
Vì thế, việc hiệu chuẩn camera trở thành một bước quan trọng để giảm thiểu các sai lệch này, đảm bảo rằng dữ liệu hình ảnh có thể sử dụng hiệu quả trong các ứng dụng thực tiễn.

Một hệ thống [2] ứng dụng camera trong xác định tọa độ 3D của mặt cong của sân golf được thể hiện trong Hình 1.3. Trong đó sử dụng một đèn cross-laser để chiếu xuống mặt sân tạo ra 2 đường cong màu đỏ trên nền sân màu xanh. Camera chụp hình ảnh này và trích xuất được tọa độ của từng điểm trên đường màu đỏ trong hệ tọa độ của camera dựa trên các phương trình mặt phẳng laser đã được ước lượng từ trước. Sau đó, tọa độ các điểm này được chuyển sang hệ tọa độ thực bên ngoài với trục z hướng lên trên dựa vào cảm biến quán tính (để đo gia tốc trọng trường).

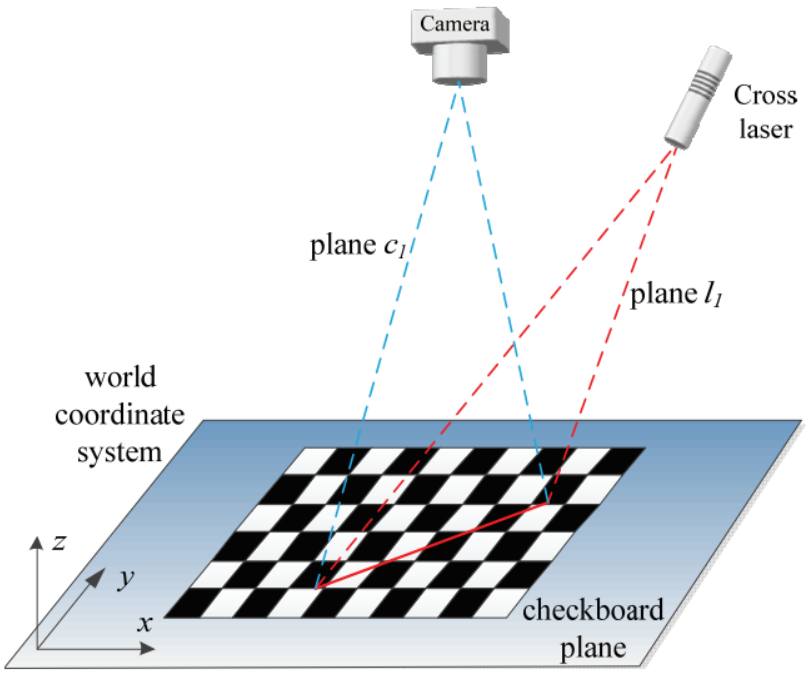


Hình 1.3 Ứng dụng camera trong xác định tọa độ 3D của mặt cong [2]

Mối quan hệ giữa 2 mặt phẳng laser và hệ tọa độ camera được thể hiện bởi một vectơ pháp tuyến n và khoảng khách từ gốc tọa độ camera đến mặt phẳng laser d như trong Hình 1.4.



Hình 1.4 Biểu diễn mặt phẳng laser trong hệ tọa độ camera [2]



Hình 1.5 Ước lượng mặt phẳng laser trong hệ tọa độ camera sử dụng bảng cờ vua [2]

Việc xác định mối quan hệ giữa 2 mặt phẳng laser và hệ tọa độ camera được thực hiện bằng việc chiếu các tia laser lên bảng cờ vua như trong Hình 1.5. Trong đó, dựa vào kích thước thực của bảng cờ vua sẽ xác định được vị trí và hướng của camera

cũng như tọa độ của các điểm trên đường laser trong hệ tọa độ bảng cờ vua. Từ đó cho phép xác định được phương trình của đường laser trong hệ tọa độ camera. Sau nhiều lần thực hiện thí nghiệm ở nhiều khoảng cách và hướng khác nhau sẽ cho phép xác định được nhiều phương trình đường laser. Tất cả các đường laser này đều nằm trên mặt phẳng laser nên cho phép ước lượng mặt phẳng laser từ nhiều phương trình đường thẳng laser.

1.2.2 Mục tiêu của hiệu chuẩn camera

Hiệu chuẩn camera là một bước quan trọng trong quá trình xử lý hình ảnh, nhằm xác định chính xác các thông số cần thiết để đảm bảo độ chính xác cao trong các ứng dụng thị giác máy tính. Quá trình này tập trung vào hai nhóm thông số chính: thông số nội tại và thông số ngoại vi.

Trước tiên, hiệu chuẩn giúp xác định các thông số nội tại của camera, bao gồm những yếu tố bên trong ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng hình ảnh thu được. Một trong những thông số quan trọng nhất là tiêu cự (focal length), đây là khoảng cách từ thấu kính đến cảm biến hình ảnh. Tiêu cự đóng vai trò quan trọng trong việc xác định khả năng thu phóng và góc nhìn của camera. Tiêu cự lớn giúp thu nhỏ góc nhìn và phóng to đối tượng ở xa, trong khi tiêu cự ngắn mang lại góc nhìn rộng hơn. Thông số tiếp theo là điểm chính (principal point), tức là tâm quang học của hình ảnh trên cảm biến. Điểm chính thường nằm gần tâm của cảm biến và là yếu tố quan trọng trong việc định vị chính xác các điểm ảnh, giúp giảm sai số trong các phép đo và phân tích hình ảnh. Ngoài ra, hệ số méo ảnh (distortion coefficients) cũng được xác định để mô tả sự biến dạng hình ảnh do thấu kính gây ra. Các dạng méo phổ biến như méo gối hoặc méo thùng có thể làm sai lệch hình dạng thật của đối tượng trong hình ảnh. Hiểu và điều chỉnh được các hệ số này sẽ giúp tái tạo hình ảnh chính xác hơn.

Bên cạnh đó, hiệu chuẩn camera còn nhằm xác định các thông số ngoại vi, liên quan đến cách camera được đặt trong không gian và mối quan hệ của nó với môi trường xung quanh. Vị trí và hướng của camera trong không gian ba chiều là yếu tố thiết yếu để xác định cách camera nhìn thấy và ghi nhận thông tin từ thế giới thực. Các thông tin này không chỉ cần thiết trong việc tái tạo không gian mà còn quan trọng trong các ứng dụng như lập bản đồ, robot tự hành hay thực tế ảo. Cuối cùng, hiệu

chuẩn giúp thiết lập mối quan hệ giữa hệ tọa độ của camera và thế giới thực, đảm bảo rằng các điểm trong không gian thực có thể được ánh xạ chính xác lên hình ảnh và ngược lại. Điều này đặc biệt quan trọng trong các ứng dụng đo lường và điều khiển, nơi yêu cầu độ chính xác cao trong việc chuyển đổi giữa các hệ tọa độ.

Nhìn chung, mục tiêu của hiệu chuẩn camera là đảm bảo rằng hình ảnh thu được phản ánh chính xác nhất có thể các đặc điểm của thế giới thực, đồng thời giảm thiểu sai số do các yếu tố quang học và bố trí không gian. Việc thực hiện hiệu chuẩn đúng cách không chỉ cải thiện hiệu suất của các hệ thống thị giác máy tính mà còn mở rộng khả năng ứng dụng của camera trong các lĩnh vực như công nghiệp, y tế, và nghiên cứu khoa học.

1.2.3 Ứng dụng của hiệu chuẩn camera

Hiệu chuẩn camera đóng vai trò thiết yếu trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là trong các ứng dụng liên quan đến thị giác máy tính, nơi đòi hỏi độ chính xác cao trong việc thu thập và xử lý hình ảnh. Trong ngành công nghiệp, hiệu chuẩn camera thường được sử dụng trong các hệ thống tự động hóa để kiểm tra chất lượng sản phẩm và định vị robot. Camera được hiệu chuẩn giúp đảm bảo rằng các phép đo và phân tích hình ảnh được thực hiện với độ chính xác cao, giúp tối ưu hóa quy trình sản xuất và giảm thiểu sai sót. Ví dụ, trong sản xuất linh kiện điện tử, camera có thể xác định vị trí và kích thước của các thành phần với độ chính xác đến từng micromet.

Trong giao thông, hiệu chuẩn camera giúp cải thiện đáng kể hiệu quả của các hệ thống nhận diện biển số xe và theo dõi giao thông. Camera được hiệu chuẩn không chỉ giúp tăng độ chính xác trong việc đọc và nhận dạng biển số mà còn hỗ trợ trong việc phân tích hình ảnh để phát hiện vi phạm giao thông hoặc dự đoán mật độ xe cộ. Điều này góp phần nâng cao hiệu quả của các hệ thống quản lý giao thông thông minh, giúp giảm tắc nghẽn và cải thiện an toàn giao thông.

Trong lĩnh vực thực tế tăng cường (AR), hiệu chuẩn camera đóng vai trò quan trọng trong việc kết nối và tương tác giữa thế giới thực và ảo. Camera được hiệu chuẩn chính xác sẽ đảm bảo rằng các hình ảnh hoặc đối tượng ảo được hiển thị đúng vị trí và tỉ lệ khi tích hợp vào môi trường thực tế. Điều này đặc biệt cần thiết trong các ứng dụng như hướng dẫn lắp ráp, giáo dục, và trò chơi thực tế tăng cường, nơi

mà tính chính xác trong hiển thị là yếu tố then chốt để mang lại trải nghiệm tốt nhất cho người dùng.

Trong y tế, hiệu chuẩn camera hỗ trợ mạnh mẽ trong các ứng dụng chẩn đoán và phân tích hình ảnh y khoa. Ví dụ, trong nội soi, hiệu chuẩn giúp đảm bảo rằng các hình ảnh thu được từ cơ thể bệnh nhân phản ánh đúng kích thước và hình dạng thật của các cấu trúc sinh học. Điều này giúp bác sĩ đưa ra các chẩn đoán chính xác hơn và lập kế hoạch điều trị hiệu quả hơn. Ngoài ra, hiệu chuẩn camera còn được sử dụng trong phân tích hình ảnh y tế để phát hiện sớm các dấu hiệu bệnh lý trong hình ảnh X-quang, CT, hoặc MRI.

Như vậy, hiệu chuẩn camera không chỉ là một bước kỹ thuật cần thiết mà còn là yếu tố quyết định hiệu quả và độ tin cậy của các ứng dụng thị giác máy tính hiện đại. Nó đóng góp vào việc nâng cao chất lượng sản phẩm, cải thiện hiệu suất của hệ thống và mở rộng khả năng ứng dụng của công nghệ trong nhiều lĩnh vực khác nhau.

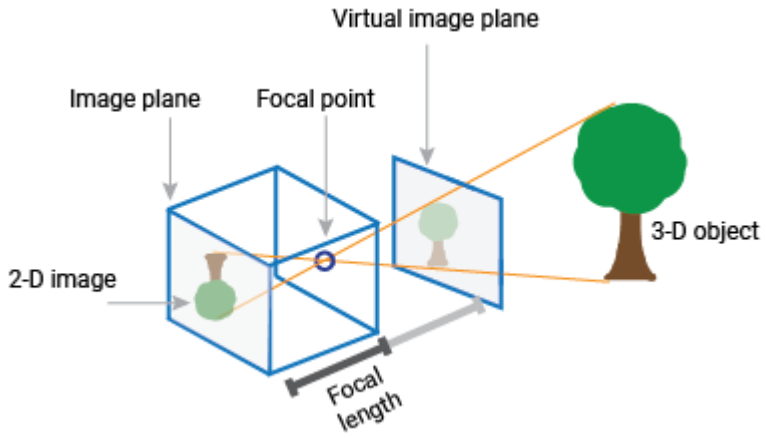
1.3 Cơ sở và phương pháp hiệu chuẩn camera

1.3.1 Cơ sở hiệu chuẩn camera

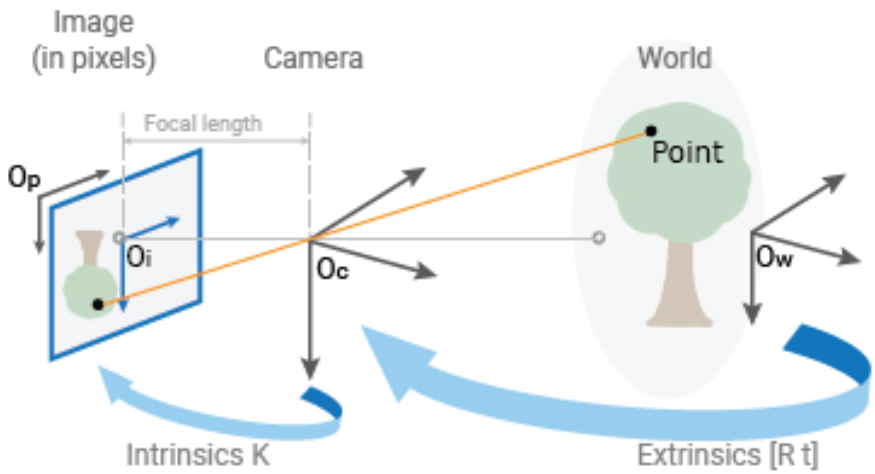
Hiệu chuẩn camera là quá trình xác định và điều chỉnh các thông số nội tại (nội bộ của camera) và ngoại vi (vị trí và hướng của camera trong không gian) nhằm đảm bảo rằng hình ảnh thu được phản ánh chính xác thế giới thực. Đây là bước thiết yếu trong xử lý ảnh và thị giác máy tính để giảm thiểu các sai số hình học và méo hình ảnh gây ra bởi đặc điểm vật lý của thấu kính và cảm biến.

Cơ sở lý thuyết của hiệu chuẩn camera dựa trên các nguyên lý hình học chiếu và mô hình quang học. Mục đích là thiết lập mối quan hệ giữa các điểm trong không gian ba chiều (3D) và các điểm ảnh trên mặt phẳng hai chiều (2D) của camera. Phần này được mô tả thông qua mô hình camera pinhole, các ma trận nội tại, ngoại vi, và mô hình méo ảnh.

Mô hình pinhole là mô hình lý tưởng, trong đó ánh sáng từ một điểm trong không gian ba chiều đi qua một lỗ nhỏ (pinhole) và tạo thành hình ảnh trên mặt phẳng cảm biến như trong Hình 1.4. Trong đó bao gồm đối tượng 3D (3D object), điểm chính (Focal point), mặt phẳng ảnh (Image plane), tiêu cự (focal length), hình ảnh (2-D image) và mặt phẳng ảnh ảo (Virtual image plane).



Hình 1.6 Quá trình tạo ảnh của camera [3]



Hình 1.7 Quan hệ giữa tọa độ không gian và tọa độ ảnh [3]

Mối quan hệ giữa không gian ba chiều thực tế và mặt phẳng hình ảnh được mô tả trong Hình 1.5 với phương trình chiếu hình học:

$$s[u\ v\ 1\ ] = K[R|t][X\ Y\ Z\ 1\ \ ] \tag{1.1}$$

Trong đó:

- (X, Y, Z) là toạ độ một trong không gian 3D (hệ tọa độ thế giới)
- (u, v) là tọa độ trong mặt phẳng ảnh (hệ tọa độ ảnh)
- [R|t] là ma trận ngoại vi, chứa thông tin về vị trí (t) và hướng (R) của camera trong không gian 3D.
- s là hệ số tỷ lệ (scale factor), đây là giá trị tỷ lệ để chuyển từ hệ tọa độ đồng nhất (homogeneous coordinates) sang hệ tọa độ Descartes.

- K là ma trận nội tại (Intrinsic Matrix), biểu diễn các đặc điểm nội tại của camera, bao gồm thông tin về cách ánh sáng được chuyển đổi thành hình ảnh trên cảm biến.

Ma trận nội tại mô tả các thông số quang học bên trong của camera, bao gồm tiêu cự, điểm chính, và hệ số tỷ lệ pixel:

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1.2}$$

Trong đó f_x, f_y lần lượt là tiêu cự theo hai trục (tính theo đơn vị pixel), phụ thuộc vào tiêu cự thực (f) và kích thước pixel của cảm biến, $P_c = (c_x, c_y)$ là toạ độ pixel của điểm chính trên mặt phẳng ảnh. Các phần tử ngoài đường chéo thường bằng 0, thể hiện sự không méo lệch hình học.

Tiêu cự theo trục x và y được tính bằng:

$$f_x = f.m_x \; f_y = f.m_y \tag{1.3}$$

Trong đó m_x, m_y lần lượt là tỉ lệ pixel theo trục x và y.

Ma trận ngoại vi $[R|t]$ mô tả vị trí và hướng của camera trong không gian 3D:

$$[R|t] = \left[r_{11}\; r_{12}\; r_{13}\; t_x\; r_{21}\; r_{22}\; r_{23}\; t_y\; r_{31}\; r_{32}\; r_{33}\; t_z\right] \tag{1.4}$$

Trong đó, $R = [r_{11}\; r_{12}\; r_{13}\; r_{21}\; r_{22}\; r_{23}\; r_{31}\; r_{32}\; r_{33}]$ là ma trận biểu diễn hướng của camera, $t = \left[t_x\; t_y\; t_z\right]$ là vector tịnh tiến vị trí của camera trong không gian. Ma trận ngoại vi giúp ánh xạ từ hệ tọa độ thế giới (X, Y, ,Z) sang hệ tọa độ camera.

Trong phương trình (1.1) tọa độ không gian thực (X,Y,Z) được biến đổi thông qua ma trận ngoại vi [R|t] để chuyển về hệ tọa độ camera. Sau đó, ma trận nội tại K được sử dụng để chiếu điểm đó lên mặt phẳng hình ảnh, tạo ra tọa độ điểm ảnh (u,v).

Tọa độ không gian thực của các điểm trên vật thể thường được xác định bằng cách sử dụng bảng hiệu chuẩn (checkerboard). Bảng hiệu chuẩn là một công cụ phổ biến và đáng tin cậy, với kích thước và cấu trúc đã biết trước. Khi bảng hiệu chuẩn được đặt trên một mặt phẳng Z=0, các tọa độ thực của các điểm đặc trưng trên bảng được định nghĩa dựa trên kích thước của mỗi ô vuông. Ví dụ, nếu mỗi ô vuông trên bảng có kích thước d, thì các tọa độ (X,Y,Z) được xác định là (di,dj,0) với i, j là số thứ tự hàng và cột của điểm trên bảng. Matlab sử dụng thuật toán dò góc (corner

detection) để tự động nhận diện các điểm này trong hình ảnh và gắn chúng với các tọa độ không gian thực tương ứng.

Quá trình hiệu chuẩn camera bao gồm việc tối ưu hóa các thông số nội tại và ngoại vi dựa trên dữ liệu thực nghiệm. Ban đầu, các thông số nội tại như tiêu cự, điểm chính, và hệ số méo được khởi tạo từ dữ liệu của nhà sản xuất hoặc giả định giá trị gần đúng. Sau đó, sử dụng mô hình pinhole camera, các điểm chiếu dự đoán được tính toán từ tọa độ không gian thực của các điểm tham chiếu trên bảng hiệu chuẩn. Sai số chiếu lại, tức là khoảng cách giữa điểm chiếu thực tế và điểm chiếu dự đoán, được tính toán và tối thiểu hóa thông qua các thuật toán tối ưu hóa như Levenberg-Marquardt. Quá trình này được lặp đi lặp lại, từng bước tinh chỉnh các thông số nội tại để giảm sai số chiếu lại đến mức thấp nhất.

Hiệu chuẩn thông số camera không chỉ dừng lại ở việc xác định các giá trị chính xác của tiêu cự, điểm chính, và hệ số méo, mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện chất lượng dữ liệu hình ảnh. Thông số nội tại sau hiệu chuẩn được sử dụng làm cơ sở để hiệu chỉnh hình ảnh, loại bỏ méo hình học và đảm bảo rằng các điểm ảnh trong hình ảnh phản ánh chính xác tọa độ thực của các điểm trong không gian. Điều này mở ra khả năng ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như đo lường chính xác, tái tạo không gian 3D, và các hệ thống thị giác máy tính phức tạp.

Qua quá trình hiệu chuẩn, camera không chỉ trở thành công cụ ghi nhận hình ảnh mà còn trở thành một thiết bị đo lường chính xác, đáp ứng các yêu cầu khắt khe trong nghiên cứu khoa học và công nghiệp. Việc xây dựng và tối ưu hóa mô hình camera thông qua hiệu chuẩn là một bước không thể thiếu để khai thác tối đa tiềm năng của các hệ thống xử lý hình ảnh.

1.3.2 Quy trình tối ưu thông số nội tại

Sau khi có dữ liệu gồm các tọa độ không gian thực (X,Y,Z) và các tọa độ điểm ảnh (u,v), quá trình tối ưu hóa các thông số nội tại của camera được thực hiện thông qua các bước sau:

- Khởi tạo thông số nội tại: Ban đầu, các thông số nội tại như tiêu cự, điểm chính, và hệ số méo được giả định hoặc lấy từ thông tin nhà sản xuất nếu có.

Các giá trị khởi tạo này có thể gần đúng nhưng chưa chính xác, do đó cần được tối ưu hóa.

- Tính toán điểm chiếu dự đoán: Dựa trên mô hình pinhole camera và thông số nội tại ban đầu, Matlab tính toán tọa độ điểm chiếu dự đoán ($u_{dự\ đoán}$, $v_{dự\ đoán}$) từ tọa độ không gian thực (X,Y,Z). Điểm chiếu dự đoán được tính toán bằng cách áp dụng các phép biến đổi ma trận nội tại và ngoại vi lên tọa độ không gian thực.
- So sánh điểm chiếu thực tế và dự đoán: Matlab đo sai số giữa các điểm chiếu thực tế ($u_{thực\ tế}$, $v_{thực\ tế}$), tức là điểm ảnh được phát hiện trên hình ảnh, và các điểm chiếu dự đoán. Sai số này, được gọi là sai số chiếu lại (reprojection error), được tính bằng khoảng cách Euclid giữa hai tập hợp tọa độ:

$$e = \sum_{i}^{n} \sqrt{\left(u_{thực\ tế}, i - u_{dự\ đoán}, i\right)^2 + \left(v_{thực\ tế}, i - v_{dự\ đoán}, i\right)^2} \quad (1.5)$$

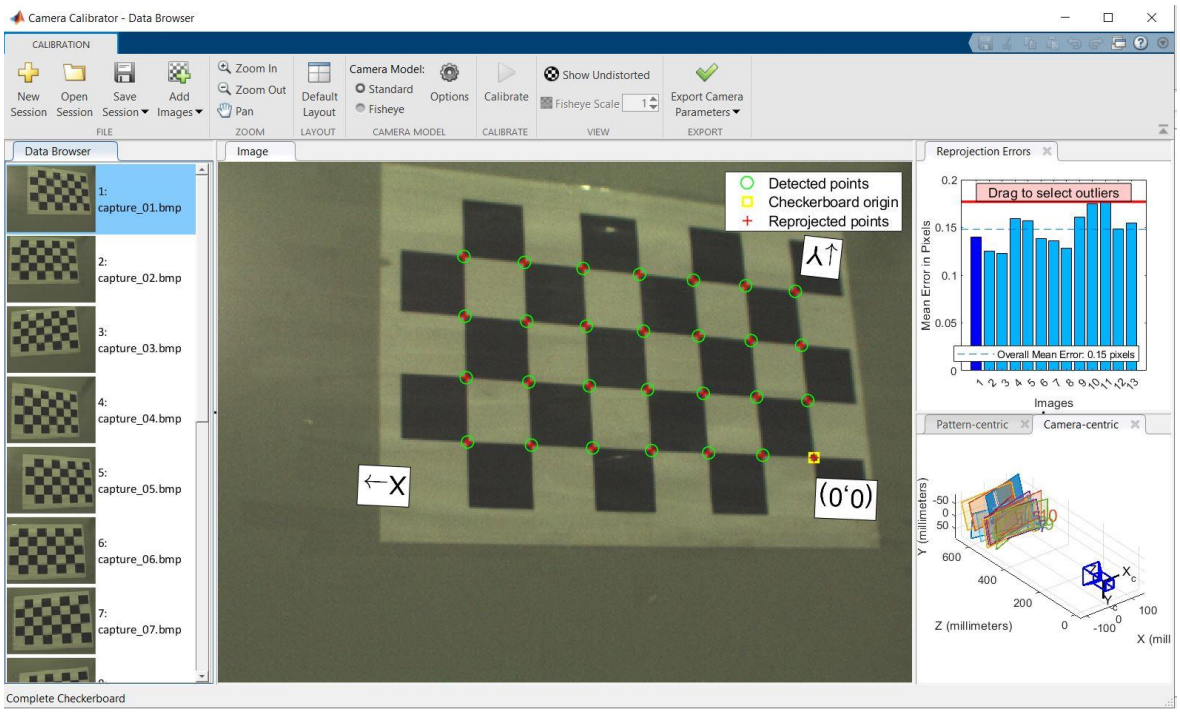
- Tối ưu hóa thông số nội tại: Matlab sử dụng các thuật toán tối ưu hóa phi tuyến, chẳng hạn như Levenberg-Marquardt, để giảm thiểu sai số chiếu lại e. Thuật toán này tự động điều chỉnh các thông số nội tại (tiêu cự, điểm chính, và hệ số méo) sao cho mô hình camera ngày càng khớp với dữ liệu thực tế.
- Đánh giá kết quả tối ưu hóa: Sau khi quá trình tối ưu hóa kết thúc, Matlab trả về bộ thông số nội tại đã được hiệu chỉnh, bao gồm tiêu cự tối ưu, tọa độ điểm chính, và các hệ số méo. Đồng thời, sai số chiếu lại cuối cùng cũng được báo cáo để đánh giá chất lượng hiệu chuẩn. Sai số chiếu lại càng nhỏ, mô hình camera càng chính xác.

Chương 2. HIỆU CHUẨN CAMERA DỰA VÀO BỘ CÔNG CỤ CỦA MATLAB

2.1 Giới thiệu bộ công cụ Camera Calibrator của Matlab

2.1.1 Định nghĩa và vai trò của bộ công cụ Camera Calibrator

Bộ công cụ Camera Calibrator của Matlab (xem Hình 2.1) là một công cụ mạnh mẽ và chuyên biệt được thiết kế để hỗ trợ việc hiệu chuẩn camera, một quá trình quan trọng nhằm xác định các thông số quang học và hình học của hệ thống camera. Bộ công cụ này cung cấp giải pháp toàn diện, giúp người dùng xử lý các vấn đề liên quan đến méo hình ảnh và định vị không gian, từ đó cải thiện độ chính xác của các ứng dụng dựa trên thị giác máy tính.



Hình 2.1 Công cụ Camera Calibrator của Matlab [4]

Hiệu chuẩn camera thông qua bộ công cụ này tập trung vào hai nhóm thông số chính: các thông số nội tại và các thông số ngoại vi. Thông số nội tại bao gồm tiêu cự (focal length), điểm chính (principal point) và các hệ số méo (distortion coefficients). Các thông số này xác định cách ánh sáng đi qua thấu kính và được chuyển đổi thành tín hiệu trên cảm biến ảnh. Trong khi đó, thông số ngoại vi liên quan đến vị trí và hướng của camera trong không gian ba chiều (3D), giúp xây dựng mối liên hệ giữa hệ tọa độ thực tế và hệ tọa độ ảnh.

Vai trò của bộ công cụ Camera Calibrator không chỉ dừng lại ở việc xác định các thông số kỹ thuật mà còn đóng góp lớn trong việc giải quyết các vấn đề thực tiễn. Một trong những ứng dụng phổ biến là hiệu chỉnh méo ảnh, nơi các hình ảnh bị biến dạng do đặc điểm vật lý của thấu kính được điều chỉnh để phản ánh sát với thực tế. Bộ công cụ này còn hỗ trợ chuyển đổi giữa các hệ tọa độ, chẳng hạn như từ hệ tọa độ thế giới thực (world coordinates) sang hệ tọa độ ảnh (image coordinates), điều này rất quan trọng trong các ứng dụng đo lường và định vị không gian.

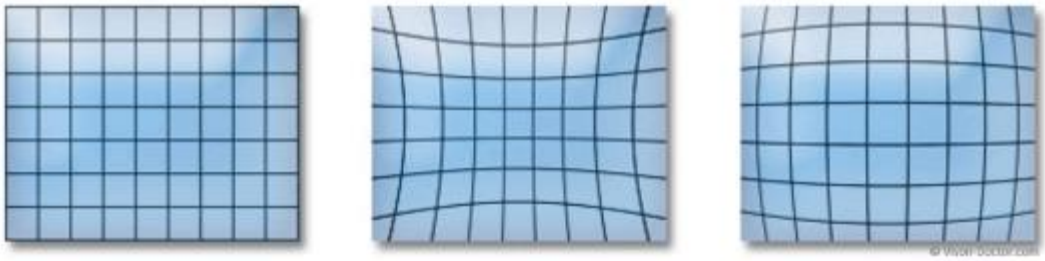
Bên cạnh đó, bộ công cụ Camera Calibrator còn được sử dụng để tăng cường độ chính xác trong các ứng dụng như nhận dạng đối tượng, theo dõi chuyển động, và thực tế tăng cường (AR). Với sự phát triển của thị giác máy tính và trí tuệ nhân tạo, việc hiệu chuẩn camera ngày càng trở thành một yêu cầu bắt buộc, đảm bảo rằng dữ liệu hình ảnh thu được có độ tin cậy cao, phục vụ tốt cho các thuật toán phân tích và xử lý tiếp theo.

Nhìn chung, bộ công cụ Camera Calibrator của Matlab không chỉ là một công cụ kỹ thuật mà còn là giải pháp quan trọng giúp mở rộng khả năng ứng dụng của camera trong nhiều lĩnh vực, từ nghiên cứu khoa học đến sản xuất công nghiệp và đời sống thực tiễn.

2.1.2 Các tính năng chính của bộ công cụ

Bộ công cụ Camera Calibrator của Matlab được thiết kế để thực hiện hiệu chuẩn camera một cách hiệu quả và chính xác, hỗ trợ đầy đủ các tính năng cần thiết cho nhiều ứng dụng khác nhau. Dưới đây là các tính năng chính:

Một trong những tính năng quan trọng nhất là xác định thông số camera. Bộ công cụ này giúp người dùng tính toán các thông số nội tại và ngoại vi của camera từ một tập hợp hình ảnh đầu vào. Các thông số nội tại bao gồm tiêu cự, điểm chính, và hệ số méo xuyên tâm và tiếp tuyến. Đồng thời, bộ công cụ cũng xác định thông số ngoại vi, như vị trí và hướng của camera trong không gian ba chiều. Điều này rất hữu ích trong các ứng dụng cần tái tạo không gian 3D hoặc đo lường chính xác các đối tượng trong môi trường thực.



a) Hình không méo b) Hình méo thùng c) Hình méo gối

Hình 2.2 Minh họa hình ảnh méo gối và méo thùng [5]

Một tính năng nổi bật khác là hiệu chỉnh méo ảnh. Camera thường gặp phải hiện tượng méo hình ảnh, đặc biệt là các dạng méo thùng (barrel distortion) và méo gối (pincushion distortion) do đặc điểm vật lý của thấu kính như trong Hình 2.2. Bộ công cụ cung cấp chức năng undistortImage giúp tái tạo hình ảnh đã được hiệu chỉnh, loại bỏ méo một cách hiệu quả. Tính năng này đặc biệt hữu ích trong các lĩnh vực như thị giác máy tính, đo lường, và thực tế tăng cường, nơi yêu cầu cao về độ chính xác của dữ liệu hình ảnh.

Ngoài ra, bộ công cụ còn hỗ trợ giao diện trực quan thông qua chức năng cameraCalibrator. Giao diện này cho phép người dùng dễ dàng nhập dữ liệu hình ảnh, thực hiện các bước hiệu chuẩn, và kiểm tra kết quả mà không cần viết mã phức tạp. Điều này làm giảm đáng kể độ phức tạp trong quy trình hiệu chuẩn và phù hợp với cả người dùng mới bắt đầu lẫn chuyên gia.

Để đảm bảo chất lượng hiệu chuẩn, bộ công cụ cung cấp các chức năng đánh giá và trực quan hóa kết quả. Một trong các tiêu chí đánh giá quan trọng là sai số phép chiếu lại (reprojection error). Bộ công cụ tự động hiển thị biểu đồ sai số này, giúp người dùng kiểm tra mức độ chính xác của hiệu chuẩn. Ngoài ra, các thông số kết quả cũng được trình bày dưới dạng đồ thị và bảng số liệu, giúp người dùng dễ dàng phân tích và điều chỉnh nếu cần.

Bộ công cụ Camera Calibrator của Matlab còn hỗ trợ cấu hình hệ thống camera kép (stereo camera), giúp hiệu chuẩn đồng thời hai camera để xác định mối quan hệ không gian giữa chúng. Điều này rất hữu ích trong các ứng dụng cần tái tạo không gian 3D hoặc theo dõi đối tượng trong các môi trường phức tạp.

Nhờ những tính năng mạnh mẽ và toàn diện, bộ công cụ Camera Calibrator của Matlab trở thành một công cụ không thể thiếu trong lĩnh vực xử lý ảnh và thị giác máy tính. Nó không chỉ đơn giản hóa quy trình hiệu chuẩn mà còn đảm bảo kết quả đạt độ chính xác cao, đáp ứng nhu cầu đa dạng của người dùng.

2.1.3 Ứng dụng của bộ công cụ trong thực tế

Bộ công cụ Camera Calibrator của Matlab có phạm vi ứng dụng rộng rãi, đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực đòi hỏi độ chính xác cao trong thu thập và xử lý hình ảnh. Trong thị giác máy tính và trí tuệ nhân tạo, việc hiệu chuẩn camera thông qua bộ công cụ này giúp đảm bảo dữ liệu hình ảnh không bị méo lệch, hỗ trợ các thuật toán nhận dạng đối tượng và theo dõi chuyển động hoạt động hiệu quả hơn. Điều này đặc biệt quan trọng trong các ứng dụng giám sát an ninh hoặc phân tích thể thao, nơi dữ liệu hình ảnh cần đạt chất lượng cao để đảm bảo độ tin cậy.

Ngoài ra, trong lĩnh vực đo lường và định vị không gian, bộ công cụ Camera Calibrator giúp xác định chính xác kích thước vật thể và khoảng cách giữa các đối tượng trong không gian ba chiều. Điều này được thực hiện thông qua các thông số nội tại và ngoại vi của camera, tạo điều kiện thuận lợi cho việc tái tạo không gian 3D. Ứng dụng này không chỉ hữu ích trong khảo sát và xây dựng mà còn đóng vai trò quan trọng trong thiết kế sản phẩm và các lĩnh vực công nghệ cao.

Trong thực tế tăng cường (AR) và thực tế ảo (VR), bộ công cụ đảm bảo rằng các hình ảnh hoặc đối tượng ảo được tích hợp chính xác vào môi trường thực. Camera đã được hiệu chỉnh giúp hiển thị các đối tượng ảo đúng vị trí, tỷ lệ và không bị méo lệch, tạo ra trải nghiệm chân thực và mượt mà hơn cho người dùng. Điều này mở ra nhiều tiềm năng trong giáo dục, giải trí và đào tạo, nơi thực tế tăng cường đóng vai trò nâng cao hiệu quả tương tác và học tập.

Không chỉ dừng lại ở các ứng dụng nghiên cứu, bộ công cụ Camera Calibrator còn đóng góp lớn trong ngành công nghiệp. Trong các dây chuyền sản xuất, camera được hiệu chỉnh được sử dụng để kiểm tra chất lượng sản phẩm, phát hiện các khuyết tật nhỏ nhất và giảm thiểu lỗi trong sản xuất. Đồng thời, dữ liệu hình ảnh chính xác còn giúp các hệ thống robot hoạt động hiệu quả hơn trong các tác vụ như lắp ráp, hàn, và vận chuyển linh kiện.

Trong lĩnh vực giao thông thông minh, bộ công cụ hỗ trợ cải thiện hiệu quả của các hệ thống nhận diện biển số xe và giám sát giao thông. Camera được hiệu chỉnh giúp tăng độ chính xác trong việc đọc biển số, phân tích luồng xe cộ và phát hiện vi phạm giao thông. Điều này góp phần nâng cao khả năng quản lý giao thông, giảm ùn tắc và cải thiện an toàn đường bộ.

Bên cạnh đó, trong y tế, hiệu chuẩn camera đóng vai trò hỗ trợ trong các ứng dụng chẩn đoán hình ảnh và phẫu thuật. Camera nội soi sau khi hiệu chỉnh có thể cung cấp hình ảnh chính xác hơn, phản ánh đúng kích thước và hình dạng các cấu trúc sinh học, giúp bác sĩ đưa ra chẩn đoán và kế hoạch điều trị chính xác hơn. Đồng thời, hiệu chuẩn còn cải thiện chất lượng hình ảnh X-quang, CT hoặc MRI, hỗ trợ phát hiện sớm các dấu hiệu bệnh lý.

Trong nghiên cứu khoa học và môi trường, bộ công cụ Camera Calibrator được sử dụng để phân tích và giám sát các hiện tượng tự nhiên. Camera được hiệu chỉnh giúp theo dõi chính xác hành vi của động vật hoang dã và giám sát sự thay đổi của các hệ sinh thái, như mức độ băng tan hoặc diện tích rừng suy giảm. Nhờ đó, các nhà khoa học có thể đưa ra các biện pháp quản lý và bảo tồn hiệu quả hơn.

Nhìn chung, bộ công cụ Camera Calibrator của Matlab không chỉ là giải pháp kỹ thuật mà còn mở ra nhiều cơ hội ứng dụng trong các lĩnh vực đa dạng. Từ nghiên cứu khoa học đến sản xuất công nghiệp, y tế và đời sống, bộ công cụ này giúp tối ưu hóa quy trình xử lý hình ảnh và nâng cao hiệu quả trong các bài toán thực tiễn.

2.1.4 Lý do lựa chọn Matlab cho hiệu chuẩn camera

Matlab là một công cụ phổ biến và mạnh mẽ trong lĩnh vực xử lý tín hiệu và thị giác máy tính, đặc biệt là khi thực hiện các nhiệm vụ phức tạp như hiệu chuẩn camera. Lựa chọn Matlab để triển khai hiệu chuẩn camera mang lại nhiều lợi thế quan trọng nhờ sự toàn diện và tính hiệu quả của nền tảng này.

Một trong những lý do quan trọng nhất là giao diện thân thiện và dễ sử dụng. Matlab cung cấp giao diện đồ họa trực quan thông qua công cụ Camera Calibrator, cho phép người dùng thực hiện hiệu chuẩn mà không cần viết mã phức tạp. Tính năng này giúp tiết kiệm thời gian và công sức, đặc biệt hữu ích cho người mới bắt đầu. Đồng thời, Matlab cũng hỗ trợ lập trình tùy chỉnh thông qua các hàm chuyên dụng,

đáp ứng nhu cầu của những người dùng chuyên sâu cần thực hiện các thao tác phức tạp hơn.

Bên cạnh đó, Matlab sở hữu một thư viện phong phú với nhiều thuật toán tiên tiến được tích hợp sẵn. Những thuật toán này đã được kiểm nghiệm trong thực tế và tối ưu hóa để xử lý các bài toán hiệu chuẩn camera một cách nhanh chóng và chính xác. Việc có sẵn các công cụ như estimateCameraParameters, undistortImage hay stereoParameters giúp Matlab trở thành lựa chọn lý tưởng cho các nghiên cứu và ứng dụng đòi hỏi độ tin cậy cao. Hơn nữa, Matlab cũng hỗ trợ xử lý đồng thời nhiều loại camera, bao gồm cả camera đơn và hệ thống stereo, giúp mở rộng phạm vi ứng dụng.

Matlab còn nổi bật với khả năng mở rộng và tích hợp dễ dàng với các công cụ khác trong cùng hệ sinh thái. Người dùng có thể kết hợp các thư viện xử lý ảnh, trí tuệ nhân tạo, và thị giác máy tính để xây dựng các hệ thống phức tạp, tận dụng tối đa sức mạnh của các mô-đun có sẵn. Ngoài ra, Matlab cũng cho phép xuất dữ liệu hiệu chuẩn để sử dụng trong các phần mềm khác hoặc tích hợp vào các hệ thống thực tế, tạo ra sự linh hoạt lớn trong các dự án đa dạng.

Một yếu tố không thể bỏ qua là hiệu quả và độ tin cậy của Matlab trong xử lý dữ liệu lớn và phức tạp. Matlab được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu và công nghiệp, được chứng minh qua các công bố khoa học và các ứng dụng thực tiễn. Hệ thống tính toán của Matlab tối ưu hóa hiệu năng, đảm bảo rằng ngay cả khi xử lý dữ liệu lớn hoặc thuật toán phức tạp, quá trình hiệu chuẩn vẫn được thực hiện nhanh chóng và chính xác.

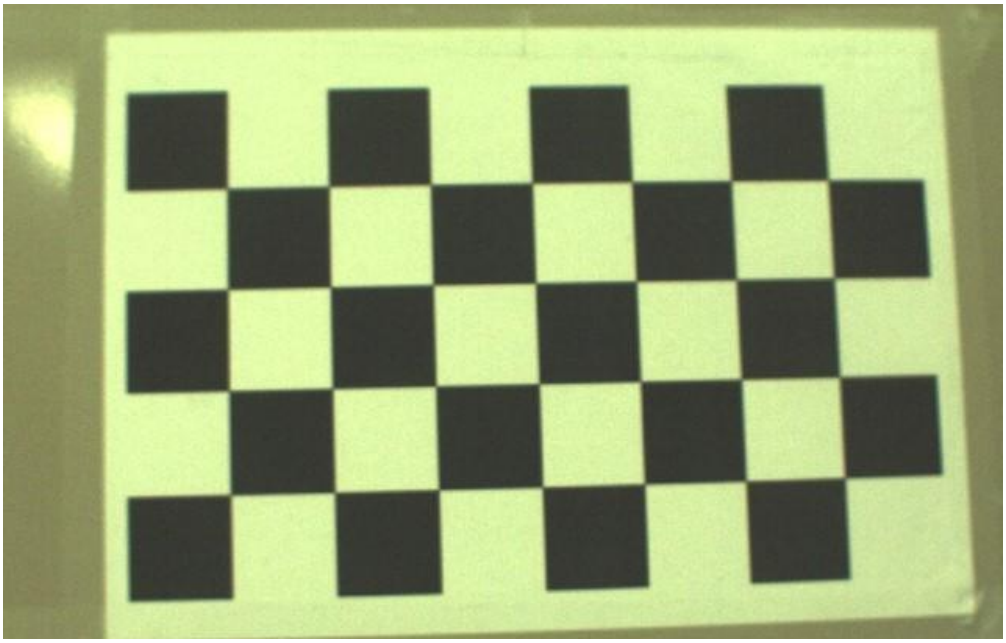
Nhờ vào các ưu điểm vượt trội về giao diện, thư viện, tính mở rộng, và hiệu quả, Matlab trở thành một công cụ không thể thiếu trong các bài toán hiệu chuẩn camera. Lựa chọn Matlab không chỉ giúp đơn giản hóa quy trình mà còn đảm bảo kết quả đạt được có độ chính xác và tin cậy cao, đáp ứng nhu cầu của các nhà nghiên cứu và kỹ sư trong nhiều lĩnh vực khác nhau.

2.2 Quy trình hiệu chuẩn camera trong Matlab

Quy trình hiệu chuẩn camera bằng Matlab là một loạt các bước được thiết kế để xác định các thông số nội tại và ngoại vi của camera, đồng thời hiệu chỉnh méo

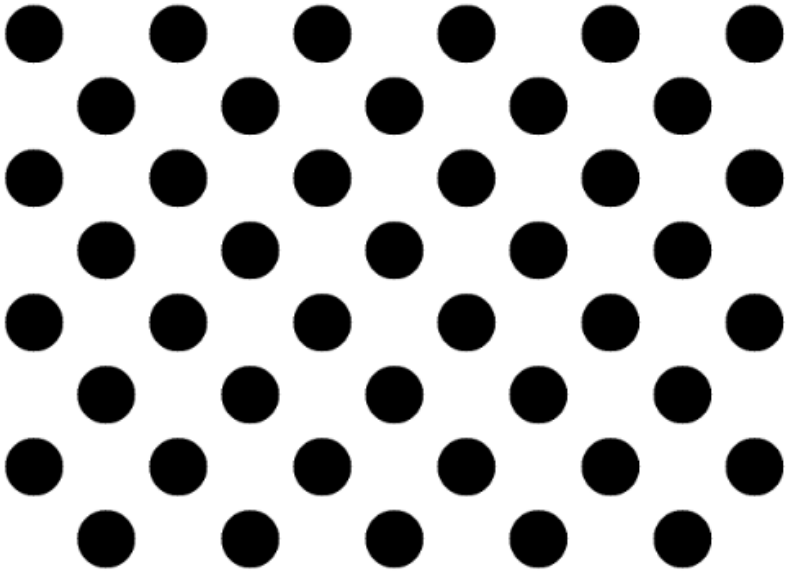
hình ảnh để tăng độ chính xác trong các ứng dụng thị giác máy tính. Dưới đây là các bước chi tiết của quy trình này.

2.2.1 Chuẩn bị dữ liệu hiệu chuẩn



Hình 2.3 Bảng cờ vua hiệu chỉnh camera

Bước đầu tiên trong quy trình hiệu chuẩn camera là chuẩn bị một bộ dữ liệu hình ảnh chất lượng cao, trong đó bao gồm các hình ảnh có chứa bảng hiệu chuẩn. Đây là bước quan trọng để đảm bảo độ chính xác trong quá trình tính toán các thông số nội tại và ngoại vi của camera. Bảng hiệu chuẩn, thường được sử dụng trong các ứng dụng này, có thể là bảng cờ vua (checkerboard) (Xem Hình 2.3) hoặc bảng điểm (circle grid) (xem hình 2.4). Bảng cờ vua là loại bảng phổ biến nhất vì khả năng nhận diện các điểm góc (corner points) một cách dễ dàng và chính xác. Lựa chọn loại bảng phù hợp sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của quá trình hiệu chuẩn.



Hình 2.4 Bảng điểm để hiệu chỉnh camera

Trong quá trình chụp ảnh hiệu chuẩn, camera cần được sử dụng để chụp một tập hợp hình ảnh với bảng hiệu chuẩn ở nhiều vị trí và góc độ khác nhau. Điều này giúp hệ thống thu thập được thông tin toàn diện từ không gian trước camera, hỗ trợ việc tính toán chính xác các thông số. Các hình ảnh phải đảm bảo rõ ràng, không bị mờ, để các điểm đặc trưng trên bảng hiệu chuẩn có thể được nhận diện chính xác. Việc đặt bảng hiệu chuẩn ở cả trung tâm và rìa của khung hình, cùng với các góc nghiêng khác nhau, giúp cung cấp dữ liệu phong phú cho quá trình hiệu chuẩn, đặc biệt trong việc xử lý méo ảnh và các biến dạng khác.

Một yếu tố quan trọng khác là xác định chính xác kích thước vật lý của bảng hiệu chuẩn. Kích thước của mỗi ô vuông trong bảng cờ vua hoặc khoảng cách giữa các điểm trong bảng điểm cần được đo bằng các đơn vị như milimét hoặc mét với độ chính xác cao. Thông tin này là cơ sở để Matlab tính toán các thông số hiệu chuẩn, giúp đảm bảo rằng dữ liệu thu thập được có thể phản ánh đúng thực tế.

Số lượng hình ảnh cần thiết để hiệu chuẩn phụ thuộc vào yêu cầu độ chính xác và đặc điểm của camera. Thông thường, khoảng 10 đến 20 hình ảnh chất lượng cao là đủ để đạt được kết quả hiệu chuẩn tốt. Tuy nhiên, nếu camera có đặc điểm méo cao hoặc cần hiệu chuẩn trong các môi trường phức tạp, việc tăng số lượng hình ảnh sẽ cải thiện đáng kể độ chính xác của quá trình hiệu chuẩn.

Ánh sáng và điều kiện môi trường khi chụp ảnh cũng đóng vai trò quan trọng trong việc chuẩn bị dữ liệu. Ánh sáng cần được phân tán đều để tránh hiện tượng lóa hoặc bóng tối làm mờ các điểm đặc trưng trên bảng hiệu chuẩn. Những hình ảnh chụp trong điều kiện ánh sáng phù hợp sẽ giúp nhận diện chính xác hơn các điểm đặc trưng và giảm thiểu sai số trong quá trình tính toán.

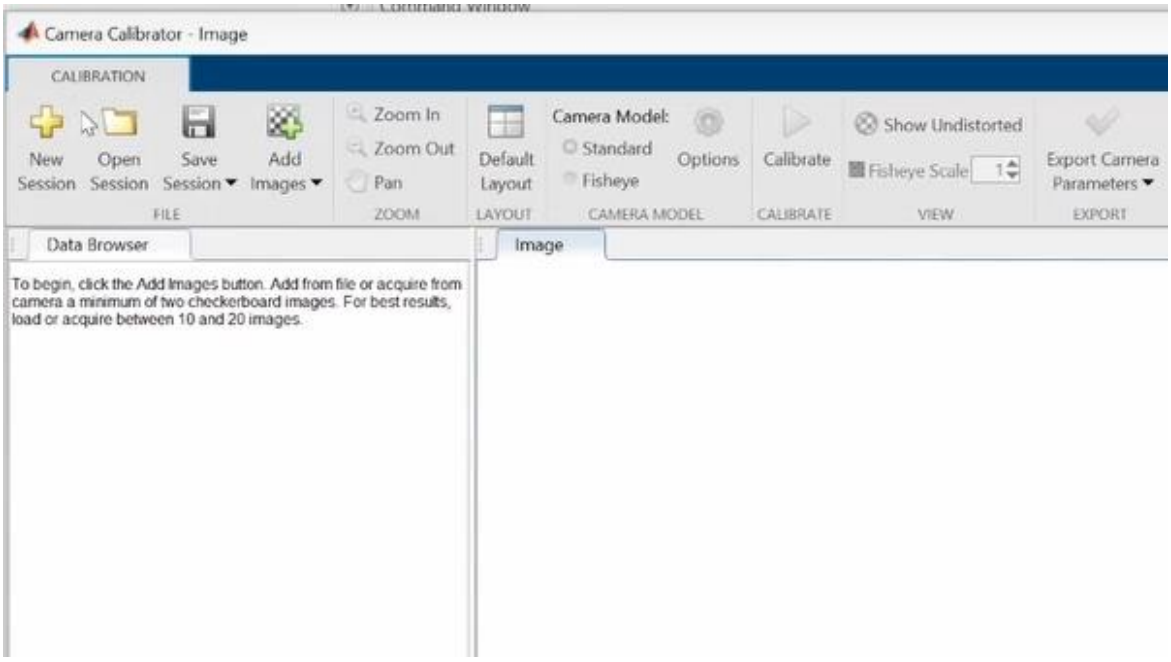
Cuối cùng, các hình ảnh sau khi chụp cần được kiểm tra để đảm bảo chất lượng. Các yếu tố cần kiểm tra bao gồm việc bảng hiệu chuẩn xuất hiện rõ ràng trong từng khung hình, tất cả các điểm đặc trưng được nhận diện đầy đủ và không có hình ảnh nào bị mờ hoặc nhiễu. Việc chuẩn bị dữ liệu một cách cẩn thận sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho các bước tiếp theo, giảm thiểu sai số và nâng cao độ chính xác của quá trình hiệu chuẩn camera.

2.2.2 Nhập dữ liệu vào Matlab

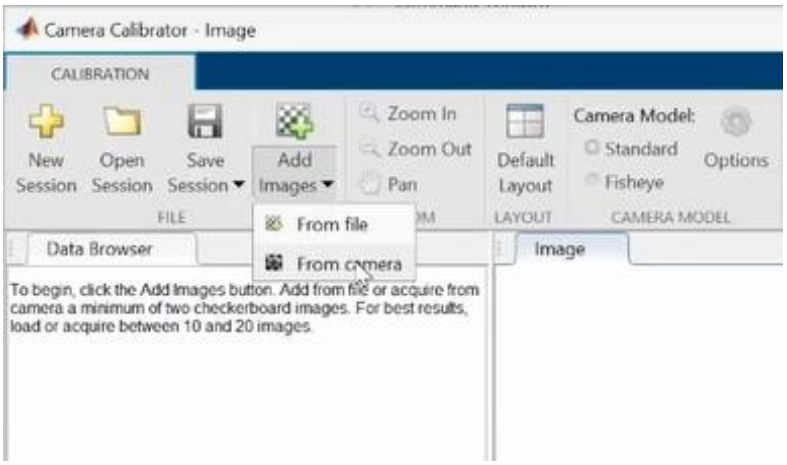
Sau khi đã chuẩn bị xong bộ dữ liệu hình ảnh chứa bảng hiệu chuẩn, bước tiếp theo trong quy trình hiệu chuẩn là nhập dữ liệu này vào Matlab để xử lý. Matlab cung cấp một giao diện trực quan và dễ sử dụng thông qua công cụ cameraCalibrator, cho phép người dùng nhập và kiểm tra dữ liệu một cách hiệu quả. Việc nhập dữ liệu đúng cách là yếu tố quan trọng giúp đảm bảo kết quả hiệu chuẩn chính xác.

Hình 2.5 Công cụ camera calibrator

Quá trình nhập dữ liệu bắt đầu bằng việc mở công cụ camera Calibrator trong Matlab. Người dùng có thể thực hiện điều này bằng cách gõ lệnh cameraCalibrator vào cửa sổ lệnh của Matlab hoặc thông qua giao diện đồ họa như trong Hình 2.5. Sau khi công cụ được khởi chạy (xem Hình 2.6), người dùng chỉ cần chọn các hình ảnh chứa bảng hiệu chuẩn từ thư mục lưu trữ và nhập vào giao diện công cụ bằng cách chọn biểu tượng Add Image trong Hình 2.6. Matlab hỗ trợ nhiều định dạng ảnh thông dụng, chẳng hạn như JPEG, PNG hoặc TIFF, giúp đảm bảo tính linh hoạt khi xử lý dữ liệu đầu vào. Các hình ảnh có thể được lưu sẵn trong thư mục hoặc mở trực tiếp camera kết nối với máy tính để chụp hình như Hình 2.7.



Hình 2.6 Giao diện công cụ camera calibrator

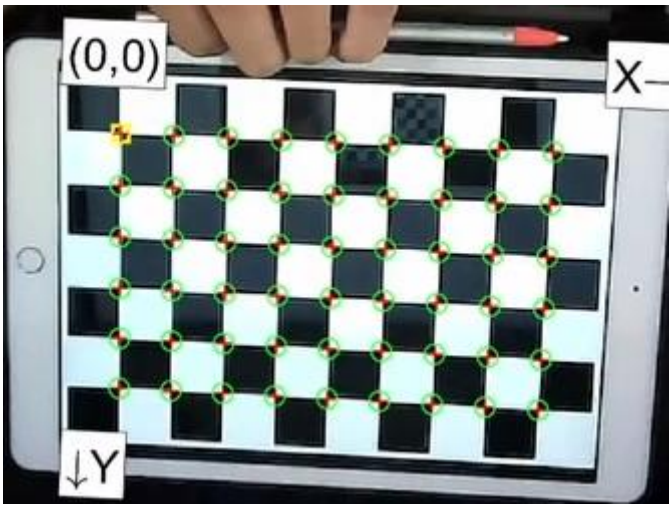


Hình 2.7 Lựa chọn nguồn ảnh

Một bước quan trọng khi nhập dữ liệu là khai báo các thông tin cần thiết về bảng hiệu chuẩn. Nếu sử dụng bảng cờ vua, người dùng cần cung cấp kích thước của mỗi ô vuông trên bảng và số lượng ô vuông trên các cạnh của bảng như Hình 2.8. Nếu sử dụng bảng điểm, cần cung cấp khoảng cách giữa các điểm cũng như cấu trúc lưới. Những thông tin này là cơ sở để Matlab nhận diện và xử lý các điểm đặc trưng trên bảng hiệu chuẩn một cách chính xác.

Trong giao diện camera Calibrator, Matlab sẽ tự động phát hiện các điểm đặc trưng trên bảng hiệu chuẩn, chẳng hạn như các điểm góc trong bảng cờ vua như trong Hình 2.9. Quá trình này được hỗ trợ bởi các thuật toán nội bộ của Matlab, giúp xác định vị trí các điểm đặc trưng với độ chính xác cao. Người dùng có thể kiểm tra kết quả nhận diện trực tiếp trên giao diện, nơi các điểm đặc trưng được đánh dấu trên hình ảnh. Nếu có bất kỳ lỗi nào trong việc nhận diện điểm, người dùng có thể thay thế hoặc chụp lại các hình ảnh đầu vào.

Hình 2.8 Nhập kích thước các cạnh hình vuông của bảng cờ vua



Hình 2.9 Các đỉnh hình vuông được phát hiện

Ngoài việc nhập hình ảnh, Matlab cũng cho phép người dùng lưu lại phiên làm việc để sử dụng sau này. Điều này rất hữu ích khi làm việc với các bộ dữ liệu lớn hoặc trong trường hợp cần thực hiện lại quy trình hiệu chuẩn sau khi bổ sung thêm hình ảnh mới.

Bên cạnh giao diện trực quan, Matlab cũng cung cấp các hàm lập trình như estimateCameraParameters để thực hiện quá trình nhập dữ liệu và hiệu chuẩn trong môi trường mã lệnh. Điều này mang lại sự linh hoạt cho người dùng chuyên sâu, giúp tùy chỉnh các bước thực hiện phù hợp với từng bài toán cụ thể.

Như vậy, việc nhập dữ liệu vào Matlab không chỉ là bước kết nối giữa dữ liệu thực tế và công cụ xử lý mà còn tạo điều kiện thuận lợi để tối ưu hóa quy trình hiệu chuẩn. Giao diện thân thiện, khả năng tự động phát hiện điểm đặc trưng, và các tính năng linh hoạt của Matlab đảm bảo rằng dữ liệu đầu vào sẽ được xử lý chính xác, từ đó tạo nền tảng vững chắc cho các bước tiếp theo trong quá trình hiệu chuẩn camera.

2.2.3 Tính toán các thông số hiệu chuẩn

Sau khi nhập dữ liệu hình ảnh chứa bảng hiệu chuẩn vào Matlab, bước tiếp theo là sử dụng các thuật toán tính toán để xác định các thông số nội tại và ngoại vi của camera. Matlab hỗ trợ mạnh mẽ thông qua công cụ cameraCalibrator và các hàm xử lý chuyên biệt, giúp người dùng dễ dàng thực hiện bước này với độ chính xác cao.

Trong quá trình tính toán, Matlab sử dụng các điểm đặc trưng trên bảng hiệu chuẩn đã nhận diện từ hình ảnh đầu vào để xây dựng mô hình camera. Mô hình này bao gồm các thông số nội tại, như tiêu cự, điểm chính, và hệ số méo, cùng với các thông số ngoại vi, như vị trí và hướng của camera trong không gian ba chiều. Những thông số này được xác định dựa trên mối quan hệ giữa các điểm trong không gian thực (3D) và các điểm ảnh trên mặt phẳng hình ảnh (2D).

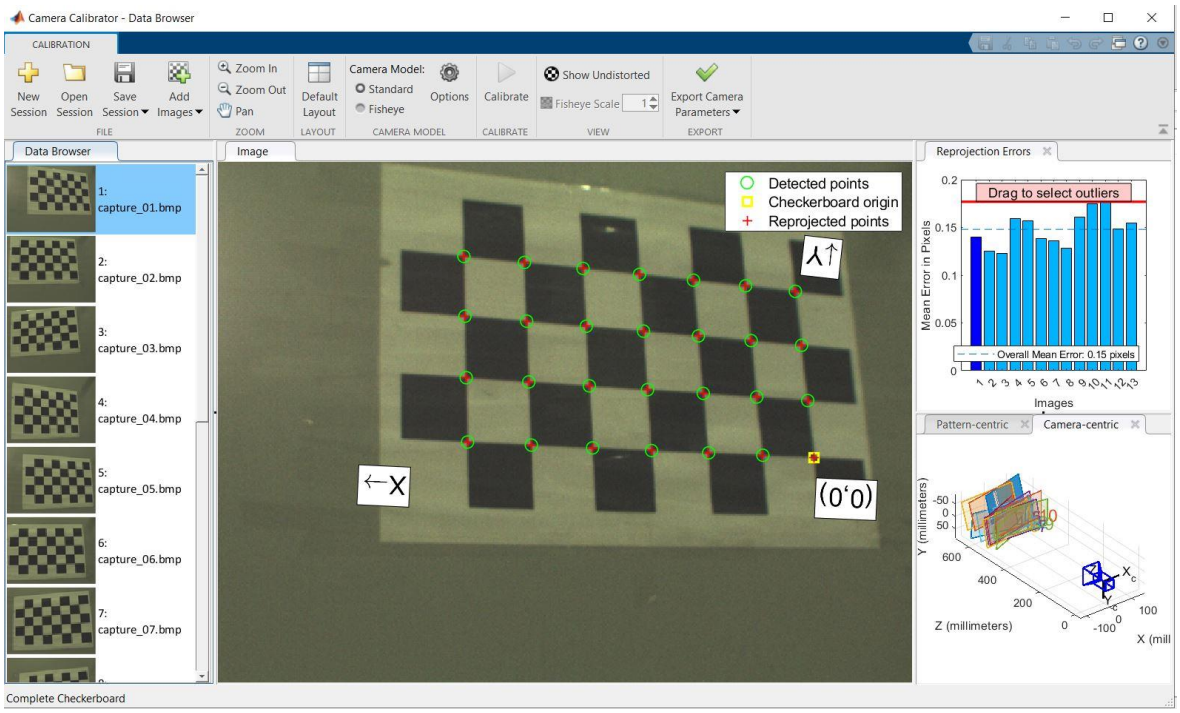
Công cụ cameraCalibrator thực hiện việc tính toán này thông qua một loạt thuật toán tối ưu hóa. Đầu tiên, Matlab khởi tạo các giá trị gần đúng cho các thông số của camera dựa trên dữ liệu đầu vào. Sau đó, các thuật toán sẽ tinh chỉnh dần các thông số này bằng cách giảm thiểu sai số phép chiếu lại (reprojection error) giữa các điểm ảnh thực tế và vị trí dự đoán của chúng theo mô hình. Kết quả cuối cùng là một

tập hợp thông số mô tả chính xác cách camera chuyển đổi ánh sáng từ thế giới thực thành tín hiệu ảnh.

Cụ thể, các thông số nội tại được tính toán bao gồm:

- Tiêu cự (focal length): Khoảng cách từ thấu kính đến cảm biến ảnh, xác định khả năng phóng đại của camera.
- Điểm chính (principal point): Tâm quang học của hình ảnh trên cảm biến, thường nằm gần tâm của khung hình.
- Hệ số méo (distortion coefficients): Bao gồm các hệ số méo xuyên tâm và tiếp tuyến, mô tả sự biến dạng hình học do thấu kính gây ra.

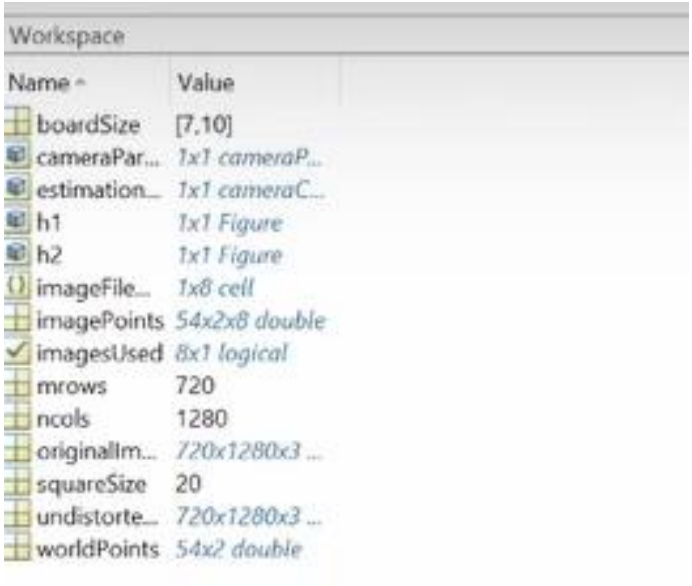
Ngoài ra, các thông số ngoại vi bao gồm ma trận quay (rotation matrix) và vector tịnh tiến (translation vector), được sử dụng để xác định vị trí và hướng của camera trong không gian ba chiều. Những thông số này rất quan trọng trong các ứng dụng đo lường không gian hoặc tái tạo hình ảnh 3D.



Hình 2.10 Kết quả hiệu chuẩn camera [4]

Kết quả của quá trình tính toán được hiển thị trực quan trên giao diện của cameraCalibrator như trong Hình 2.10. Matlab cung cấp các bảng thông số chi tiết và các biểu đồ minh họa để người dùng dễ dàng kiểm tra và đánh giá. Các giá trị như sai số phép chiếu lại cũng được cung cấp, giúp người dùng đánh giá chất lượng của quá

trình hiệu chuẩn. Sai số này thường được biểu diễn dưới dạng giá trị trung bình và các giá trị cho từng hình ảnh, cho phép phát hiện và xử lý các dữ liệu không đạt yêu cầu.



Hình 2.11 Các thông số hiệu chuẩn camera

Hình 2.11 thể hiện các thông số của quá trình hiệu chuẩn camera bao gồm:

- CameraParameters: Các thông số của camera
- Estimationerrors: Sai số của các hình ảnh đưa vào hiệu chỉnh
- Boardsize: Kích thước bàn cờ (gồm số hàng và cột)
- ImagePoint: Tất cả các điểm ảnh của đỉnh hình vuông trong từng bàn cờ
- WorldPoints: Vị trí của các đỉnh hình vuông trong không gian 3D của tất cả các hình bàn cờ.

Ngoài giao diện đồ họa, Matlab còn hỗ trợ các hàm lập trình như estimateCameraParameters, giúp người dùng thực hiện bước tính toán này trong môi trường mã lệnh. Điều này mang lại sự linh hoạt cao, đặc biệt khi cần tích hợp quá trình hiệu chuẩn vào các hệ thống lớn hoặc tự động hóa các tác vụ.

Nhìn chung, bước tính toán các thông số hiệu chuẩn là một giai đoạn quan trọng, quyết định chất lượng và độ chính xác của toàn bộ quá trình. Nhờ các thuật toán tối ưu hóa mạnh mẽ và các công cụ hỗ trợ trực quan, Matlab giúp người dùng

xác định chính xác các thông số cần thiết để cải thiện hiệu quả của camera trong các ứng dụng thực tế.

2.3 Các lệnh hiệu chuẩn thông số camera của Matlab

estimateCameraParameters: Dùng để hiệu chuẩn camera và trả về thông số hiệu chỉnh.

Cấu trúc lệnh: cameraParams = estimateCameraParameters(imagePoints, worldPoints);

Trong đó:

- imagePoints: Là tập hợp các tọa độ điểm đặc trưng trên ảnh.
- worldPoints: Là tập hợp các tọa độ điểm tương ứng trong không gian thực.
- cameraParams: Là các thông số trả về chứa thông tin như ma trận nội tại, hệ số méo xuyên tâm và tiếp tuyến.

showReprojectionErrors: Dùng để hiệu chỉnh các điểm ảnh cụ thể thay vì toàn bộ ảnh.

Cấu trúc lệnh: undistortedPoints = undistortPoints(distortedPoints, cameraParams);

Trong đó:

- distortedPoints: Tọa độ điểm ảnh bị méo.
- cameraParams: Bộ thông số camera hiệu chuẩn.

pointsToWorld: Chuyển đổi tọa độ điểm ảnh sang tọa độ không gian thực.

Cấu trúc lệnh: worldPoints = pointsToWorld(cameraParams, rotationMatrix, translationVector, imagePoints);

Trong đó:

- cameraParams: Bộ thông số camera hiệu chuẩn.
- rotationMatrix: Ma trận quay 3x3 biểu diễn hướng của camera trong không gian 3D so với hệ tọa độ thế giới. Được tính trong quá trình hiệu chuẩn và mô tả cách hệ tọa độ camera quay so với hệ tọa độ thế giới.
- translationVector: Vector tịnh tiến (3x1 hoặc 1x3) mô tả vị trí của camera trong không gian 3D so với hệ tọa độ thế giới. Cho biết khoảng cách từ gốc

hệ tọa độ thế giới đến gốc hệ tọa độ camera, được biểu diễn trong hệ tọa độ thế giới.

- imagePoints: Ma trận N×2 với N là số lượng điểm ảnh cần chuyển đổi. Là ma trận của các tọa độ pixel của các điểm trên hình ảnh gốc. Đây là tọa độ của các điểm ảnh bị ảnh hưởng bởi các thông số quang học và méo của camera.
- worldPoints: Ma trận N×2, với N là số lượng điểm. Là tọa độ 2D của các điểm trong hệ tọa độ thế giới. Dựa vào thông số của camera, vị trí của camera (qua R và T), MATLAB tính toán vị trí các điểm trên hình ảnh trong không gian thế giới. Tọa độ trên mặt phẳng ảnh (x, y) được chuyển về không gian thực bằng cách sử dụng ma trận quay R và vector tịnh tiến T:

$$[X\ Y\ Z\ ] = R^{-1}([x\ y\ 1\ ] - T) \tag{2.1}$$

Chương 3. CHỈNH HÌNH ẢNH DỰA TRÊN BỘ THÔNG SỐ HIỆU CHUẨN CỦA CAMERA

3.1 Cơ sở của việc hiệu chỉnh hình ảnh dựa trên bộ thông số hiệu chuẩn của camera

Hình ảnh thu được từ camera thường bị ảnh hưởng bởi các hiện tượng méo hình học, trong đó phổ biến nhất là méo thùng (barrel distortion) và méo gối (pincushion distortion). Hiện tượng này làm các đường thẳng trong không gian thực trở nên cong khi hiển thị trên hình ảnh. Thông qua các thông số hiệu chuẩn đã xác định (chương 2), quá trình hiệu chỉnh hình ảnh được thực hiện để loại bỏ méo ảnh và tái tạo hình học chính xác.

Trong lập trình, quá trình hiệu chỉnh được thực hiện dựa trên các công thức toán học của méo xuyên tâm và méo tiếp tuyến. Các công thức này sử dụng tọa độ điểm ảnh bị méo để tính toán tọa độ điểm ảnh không bị méo Các hệ số méo ($k1$, k2, k3) và điểm chính (cx, cy) từ thông số nội tại được áp dụng để xử lý từng pixel trong hình ảnh.

Gọi (i, j) là toạ độ pixel của một điểm P trên hình ảnh, lúc này toạ độ điểm ảnh tương ứng trên mặt phẳng ảnh như sau:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}^T = M^{-1} \begin{bmatrix} i - c_x \\ j - c_y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

Trong đó, M là ma trận nội tại K đã trình bày ở Chương 1.

Ngược lại, toạ độ pixel trên hình ảnh được xác định từ toạ độ điểm ảnh trên mặt phẳng ảnh như sau:

$$\begin{bmatrix} i \\ j \\ 1 \end{bmatrix}^T = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

Toạ độ điểm ảnh tương ứng trên mặt phẳng ảnh được hiệu chỉnh như sau:

$$\begin{aligned} x_{hc} &= x\left(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4\right) + 2p_1 y + p_2\left(r^4 + 2x^2\right) \\ y_{hc} &= y\left(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4\right) + 2p_2 x + p_1\left(r^4 + 2y^2\right) \end{aligned} \tag{3.3}$$

Trong đó, r là khoảng cách từ điểm (x, y) đến điểm chính và được xác định như sau:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{3.4}$$

Ngược lại, từ 1 điểm đã hiệu chỉnh (x_{hc}, y_{hc}) ta có thể tìm vị trí điểm gốc ban đầu như sau:

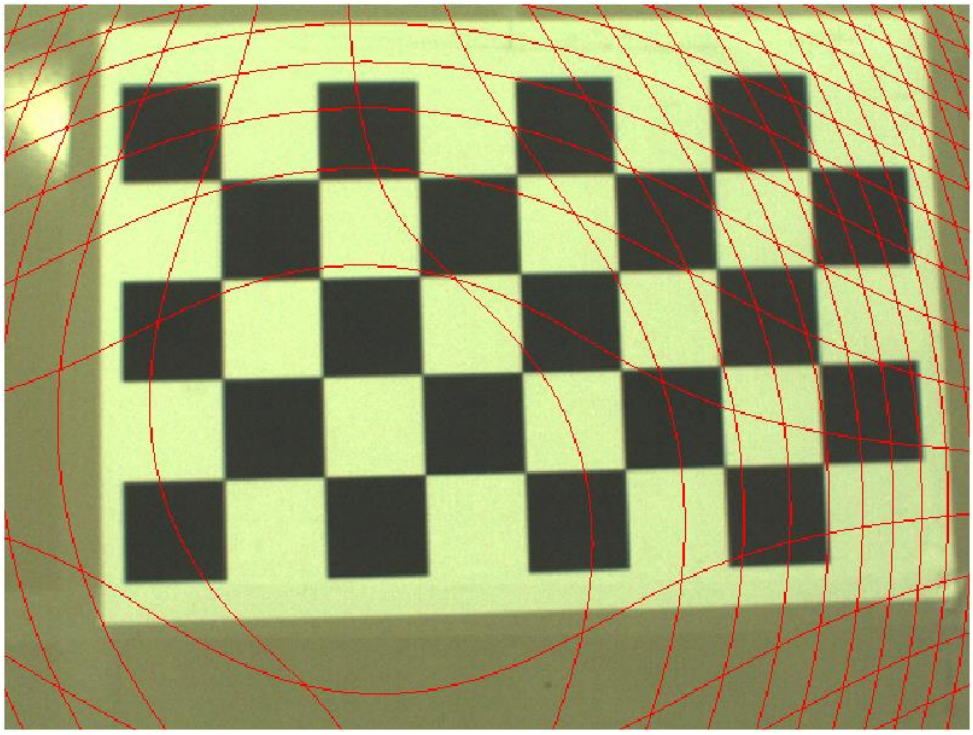
$$\begin{aligned} x &= \frac{x_{hc}}{\left(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4\right)} - 2p_1 x_{hc} y_{hc} - \frac{p_2\left(r^4 + 2x^2\right)}{1 + p_1\left(r^4 + 2y^2\right) + p_2 x_{hc} y_{hc}} \\ y &= \frac{y_{hc}}{\left(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4\right)} - 2p_2 x_{hc} y_{hc} - \frac{p_1\left(r^4 + 2y^2\right)}{1 + p_1\left(r^4 + 2y^2\right) + p_2 x_{hc} y_{hc}} \end{aligned} \tag{3.5}$$

3.1.1 Quy trình hiệu chỉnh ảnh thuận

Như vậy, để hiệu chỉnh hình ảnh cho đúng với thực tế có thể thực hiện theo quy trình sau:

- Tạo 1 hình ảnh mới giống với hình ảnh cũ;
- Chuyển tọa độ từng điểm ảnh pixel (i, j) trên hình cũ sang toạ độ trên mặt phẳng ảnh (x, y) sử dụng (3.1);
- Hiệu chỉnh tọa độ (x, y) thành toạ độ (x_{hc}, y_{hc}) trên mặt phẳng ảnh sử dụng (3.3);
- Chuyển toạ độ đã hiệu chỉnh (x_{hc}, y_{hc}) trên mặt phẳng ảnh sang toạ độ pixel hiệu chỉnh (i_{hc}, j_{hc}) sử dụng (3.2);
- Cho giá trị màu của hình ảnh mới tại toạ độ pixel mới (i_{hc}, j_{hc}) bằng giá trị màu của hình ảnh cũ tại toạ độ pixel (i, j).

Do kết quả từ (3.2) phải được làm tròn nên tồn tại một số điểm trên hình mới không được hiệu chỉnh như các đường nét liền màu đỏ như trong Hình 3.1. Như vậy quy trình này chỉ thích hợp để hiệu chỉnh một số điểm cần thiết biết trước để phục vụ việc tính toán, xác định toạ độ,… mà không thể sử dụng hình ảnh mới hiệu chỉnh này làm đầu vào cho xử lý ảnh.



Hình 3.1 Hình bàn cờ vua sau quy trình hiệu chỉnh ảnh thuận

3.1.2 Quy trình hiệu chỉnh ảnh ngược

Để hiệu chỉnh hình ảnh mới phục vụ cho xử lý ảnh ta nên hiệu chỉnh ảnh theo quy trình ngược lại như sau:

- Tạo 1 hình ảnh mới giống với hình ảnh cũ;
- Chuyển tọa độ từng điểm ảnh pixel (i_{hc}, j_{hc}) trên hình mới sang toạ độ trên mặt phẳng ảnh (x_{hc}, y_{hc}) sử dụng (3.1);
- Tìm toạ độ ban đầu (x, y) trên ảnh cũ tương ứng với toạ độ hiệu chỉnh (x_{hc}, y_{hc}) trên mặt phẳng ảnh sử dụng (3.5);
- Chuyển toạ độ (x, y) trên mặt phẳng ảnh sang toạ độ pixel (i, j) sử dụng (3.2);
- Cho giá trị màu của hình ảnh mới tại toạ độ pixel (i_{hc}, j_{hc}) bằng giá trị màu của hình ảnh cũ tại toạ độ pixel (i, j).

Như vậy toàn bộ các điểm ảnh trong hình ảnh mới sẽ được hiệu chỉnh một cách đồng bộ.

3.2 Hiệu chỉnh hình ảnh của công cụ Camera Calibrator

Trong bộ công cụ Camera Calibrator của MATLAB, các hàm và phương pháp hiệu chỉnh ảnh được thiết kế để sử dụng các thông số camera đã hiệu chuẩn (ma trận nội tại, hệ số méo,...) để điều chỉnh hình ảnh. Dưới đây là chi tiết về các hàm và phương pháp:

undistortImage: Hàm này là hàm chính để hiệu chỉnh ảnh dựa trên các thông số đã hiệu chuẩn. Hàm này trả về ảnh đã được hiệu chỉnh, loại bỏ méo xuyên tâm và méo tiếp tuyến.

undistortedImage = undistortImage(originalImage, cameraParams);

Trong đó:

originalImage: Là ảnh cần hiệu chỉnh

cameraParams: Cấu trúc thông số camera được trả về bởi hàm estimateCameraParameters khi hiệu chuẩn camera.

3.3 Nội suy giá trị màu cho các pixel trong hiệu chỉnh ảnh

Trong quá trình hiệu chỉnh ảnh bằng MATLAB, nội suy bậc cao (high-order interpolation) được sử dụng để tính toán giá trị màu cho các pixel trong ảnh hiệu chỉnh. Điều này rất quan trọng vì sau khi loại bỏ méo hình học, tọa độ của các pixel trong ảnh hiệu chỉnh không khớp hoàn toàn với tọa độ pixel trong ảnh gốc (do chúng thường là số thực thay vì số nguyên). MATLAB sử dụng các phương pháp nội suy để xác định giá trị màu một cách chính xác, đảm bảo hình ảnh hiệu chỉnh mượt mà và tự nhiên.

1. Các phương pháp nội suy sử dụng trong MATLAB

MATLAB cung cấp nhiều phương pháp nội suy, trong đó các phương pháp phổ biến nhất cho hiệu chỉnh ảnh là:

- Nearest neighbor (lân cận gần nhất): Đơn giản nhưng tạo ra hình ảnh có độ phân giải thấp và không mượt.
- Bilinear interpolation (nội suy song tuyến tính): Cân bằng giữa tốc độ và chất lượng, phổ biến trong xử lý ảnh.
- Bicubic interpolation (nội suy bậc ba): Tạo hình ảnh mượt mà hơn, lý tưởng cho hiệu chỉnh ảnh.

Mặc định trong MATLAB, hàm undistortImage sử dụng nội suy bậc ba (bicubic interpolation) để đạt được sự chính xác và mượt mà cao nhất. Nội suy bicubic là phương pháp mở rộng của nội suy tuyến tính sang hai chiều (ảnh là dữ liệu 2D). Phương pháp này tính giá trị pixel mới dựa trên giá trị màu của 16 pixel lân cận trong ảnh gốc (4x4 lưới pixel).

$$I(u', v') = \sum_{i=-1}^{2} \sum_{j=-1}^{2} w(i,j) I(u+i, v+j) \tag{3.6}$$

Trong đó:

$I(u', v')$ là giá trị màu tại pixel (u',v').

$w(i,j)$ là trọng số dựa trên khoảng cách giữa pixcel (u′,v′) và (i,j).

Trọng số $w(i,j)$ được tính theo một hàm bậc ba (cubic function) dựa trên khoảng cách giữa pixel nội suy và pixel lân cận. Gọi r là khoảng cách giữa pixcel (u′,v′) và (i,j)., vậy r được tính như sau:

$$r = \sqrt{(u'-i)^2 + (v'-j)^2} \tag{3.7}$$

Lúc này, trọng số $w(i,j)$ được tính như sau:

$$w(i,j) = \{(a+2)r^3 - (a+3)r^2 + 1 \text{ nếu } r \leq 1 \; ar^3 - 5ar^2 + 8ar - 4a \text{ nếu } 1 < r < 2 \; 0 \text{ nếu } r \geq 2 \tag{3.7}$$

Mặc định a = −0.5 (mặc định trong MATLAB)

Phương pháp nội suy bicubic này đảm bảo rằng giá trị màu nội suy chính xác nhất từ các pixel gần nhất, tạo ra hình ảnh mượt mà, đặc biệt trong các vùng biên hoặc chi tiết nhỏ, và duy trì cân bằng giữa chất lượng và tốc độ xử lý.

Khi sử dụng hàm undistortImage, MATLAB tự động áp dụng nội suy bicubic trong quá trình ánh xạ lại tọa độ từ ảnh gốc sang ảnh hiệu chỉnh. Ví dụ:

```
% Hiệu chỉnh ảnh
undistortedImage = undistortImage(originalImage, cameraParams, ...
                    'Interpolation', 'bicubic');
```

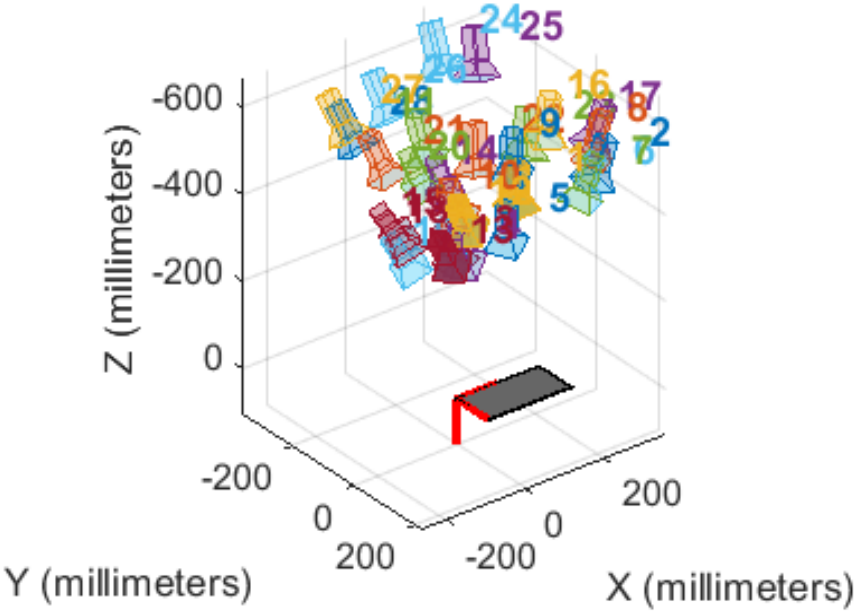
Trong đó, Interpolation: Xác định phương pháp nội suy, mặc định là ‘bicubic’. Các tùy chọn khác là 'nearest' (Nội suy lân cận gần nhất) và 'bilinear' (Nội suy song tuyến tính).

Ví dụ ứng dụng các phương pháp nội suy và hiển thị trong Matlab như sau:

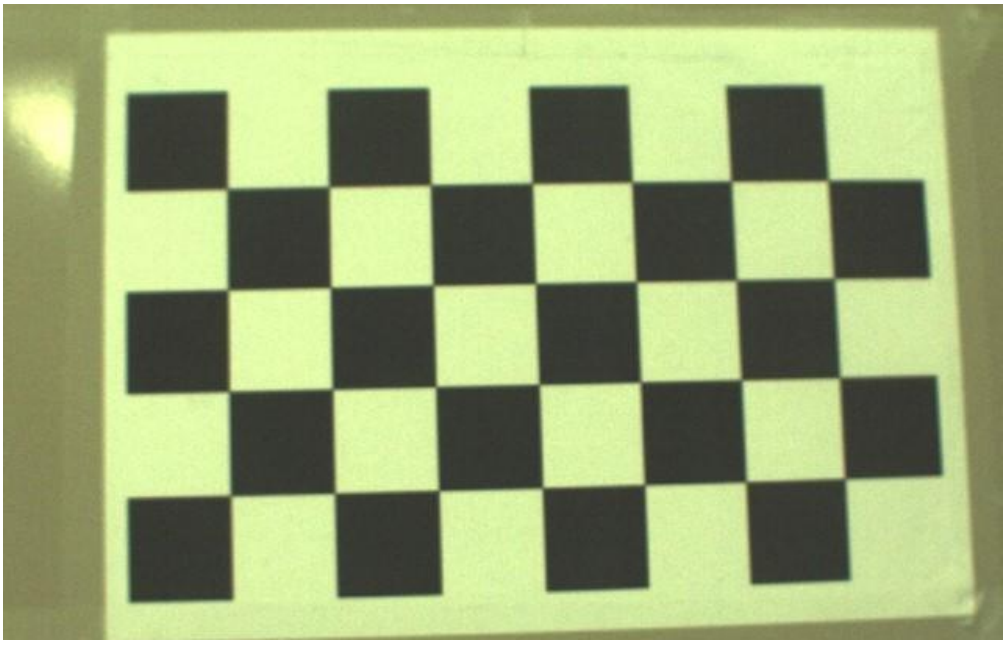
```
% Nội suy bicubic
undistortedImageBicubic = undistortImage(originalImage, cameraParams, ...
'Interpolation', 'bicubic');
% Nội suy bilinear
undistortedImageBilinear = undistortImage(originalImage, cameraParams, ...
'Interpolation', 'bilinear');
% Nội suy nearest undistortedImageNearest = undistortImage(originalImage,
cameraParams, ... 'Interpolation', 'nearest');
% Hiển thị kết quả
imshowpair(undistortedImageBicubic, undistortedImageBilinear, 'montage');
title('Bicubic vs. Bilinear');
```

Chương 4. THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ

4.1 Thực nghiệm



Hình 4.1 Vị trí và hướng máy ảnh chụp bảng cờ vua



Hình 4.2 Vị trí và hướng máy ảnh chụp bảng cờ vua

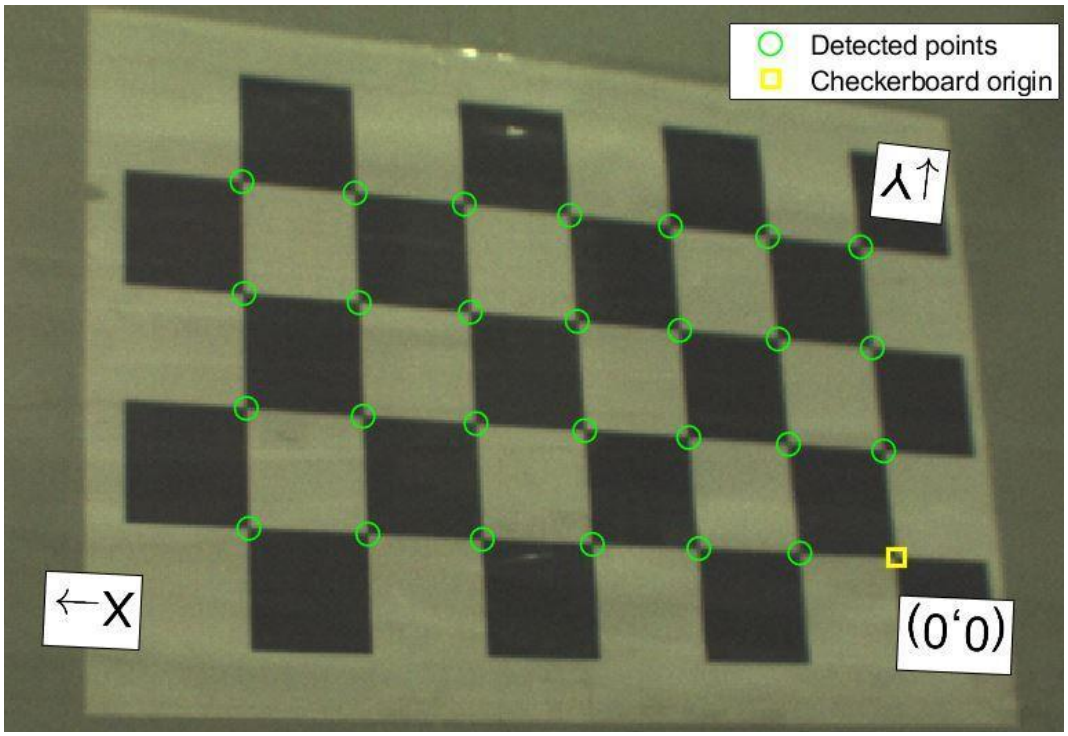
Để thực hiện hiệu chuẩn máy ảnh, một bảng cờ vua như trong Hình 4.1 với cạnh hình vuông là 35 mm được in trên tờ giấy A4 (Hình 4.2) và được dán trên 1 mặt bàn phẳng. Như vậy, sẽ có 7x4 điểm giao nhau giữa các hình vuông bàn cờ. Sử dụng máy ảnh có độ phân giải 480x640 pixel chụp 25 hình của tờ giấy A4 trên ở nhiều

hướng và vị trí khác nhau như trong Hình 4.1. 25 hình này được đưa vào công cụ Camera Calibrator của Matlab để hiệu chuẩn máy ảnh.

Việc chụp hình ảnh bàn cờ ở nhiều hướng và vị trí khác nhau là để đảm bảo độ chính xác theo nhiều phương và khoảng cách. Tuy nhiên, có một số lưu ý sau:

- Không nên chụp hình quá gần vì tất cả các điểm giao nhau của ô bàn cờ phải có trên hình ảnh.
- Không nên chụp hình quá xa hoặc quá nghiêng vì khó khăn trong việc xác định tọa độ pixel của các điểm trên bàn cờ.

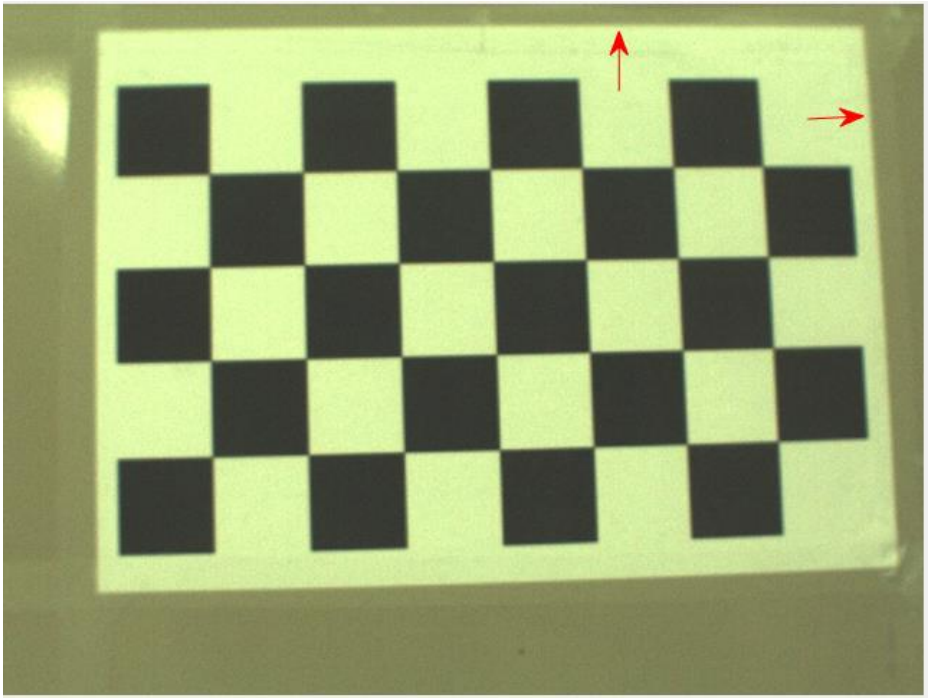
Bộ công cụ Camera Calibrator tiền hành kiểm tra chất lượng hình ảnh, phát hiện các điểm giao nhau trên bàn cờ vua và trích xuất ra cho người dùng xem sơ bộ kết quả. Hình 4.3 thể hiện các điểm giao nhau trên bàn cờ vua được xác định cùng hệ trục tọa độ của bàn cờ vua. Người dùng có thể loại bỏ các hình ảnh mà bộ công cụ xác định bị sai.



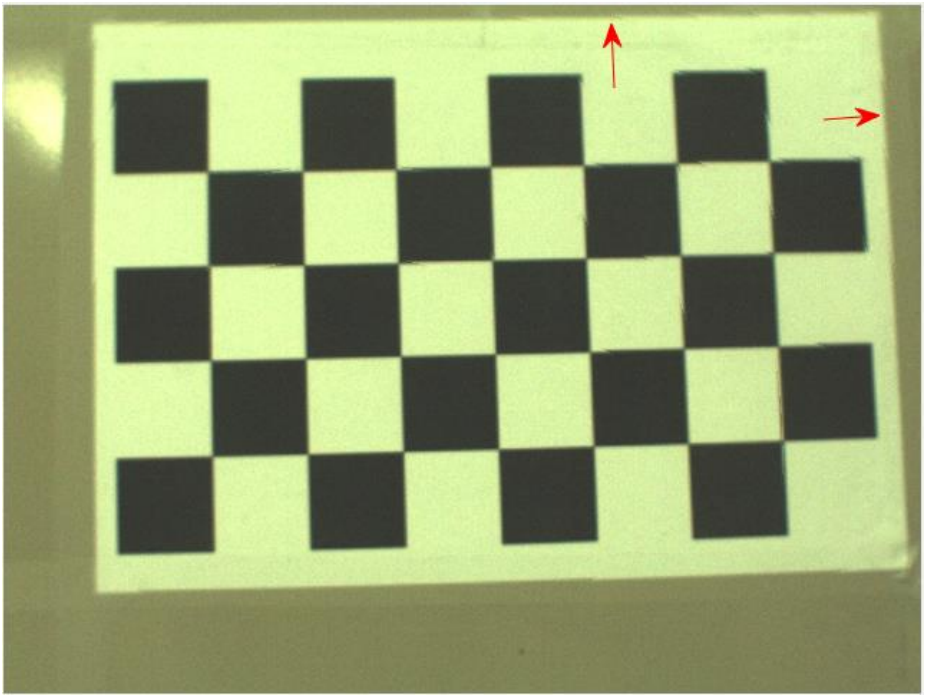
Hình 4.3 Các điểm giao nhau trên bàn cờ vua được xác định

Sau khi các hình ảnh đã được chọn lọc thì bộ công cụ Camera Calibrator sẽ ước lượng và cho ra kết quả là bộ thông số hiệu chuẩn. Bộ thông số hiệu chuẩn này (lần 1) được sử dụng để hiệu chỉnh lại 25 hình này.

4.2 Đánh giá hiệu quả



Hình 4.4 Hình bàn cờ vua khi ban đầu



Hình 4.5 Hình bàn cờ vua sau khi hiệu chỉnh ảnh

Để minh chứng cho hiệu quả của việc hiệu chỉnh ảnh, hình ảnh trước và sau khi hiệu chỉnh ảnh của một tờ giấy A4 có hình bảng cờ vua được thể hiện lần lượt trong Hình 4.4 và Hình 4.5. Về nguyên tắc các cạnh của tờ giấy là các đường thẳng hình

chữ nhật nhưng vì sự biến dạng méo nên các cạnh của tờ giấy trong Hình 4.4 không thẳng, đặc biệt là ở cạnh trên và cạnh bên phải. Sau khi hiệu chỉnh ảnh thì các cạnh của tờ giấy A4 đã thẳng hơn rất nhiều như trong Hình 4.5.

Bảng 4.1 So sánh thông số hiệu chuẩn camera

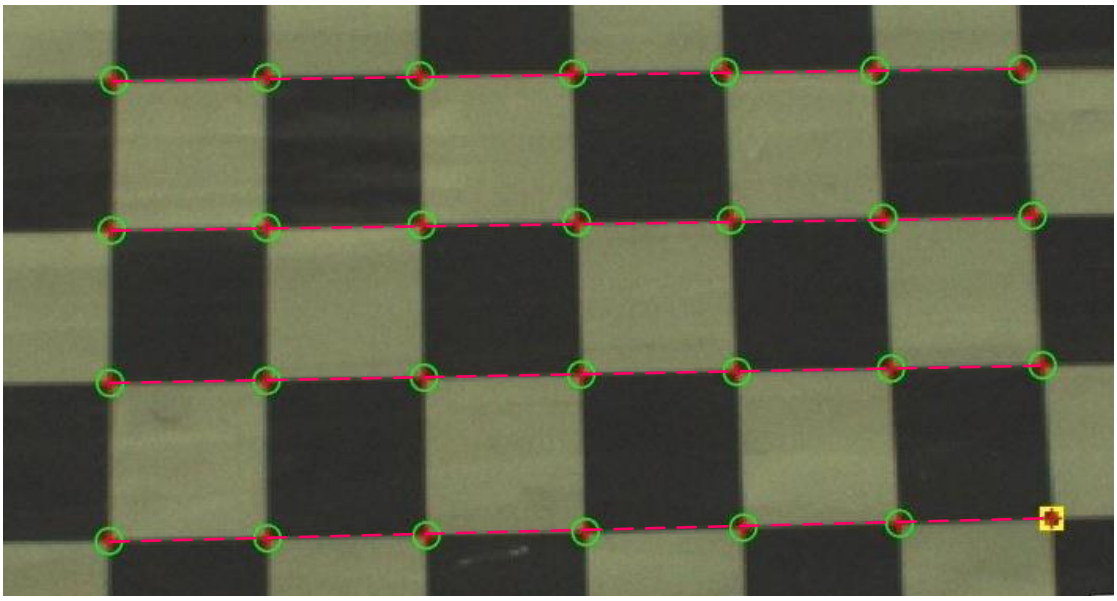
Thông số hiệu chuẩn	**Lần 1**	**Lần 2**
Hệ số méo dạng tròn [k1,k2]	[-0,1933 0,1374]	[0,0046 -0,0449]
Hệ số méo dạng tiếp xúc [p1,p2]	[0,0002 0,0011]	[0,0002 0,0001]

Để đánh giá về hiệu quả của việc hiệu chỉnh hình ảnh về mặt định lượng thì 25 hình sau khi hiệu chỉnh được đưa vào bộ công cụ Camera Calibrator của Matlab để tiếp tục hiệu chuẩn máy ảnh và cho ra bộ thông số hiệu chuẩn (lần 2). Dựa vào bảng 4.1 ta thấy các hệ số méo của máy ảnh khi sử dụng hình ảnh hiệu chỉnh đã giảm đi rất nhiều so với trường hợp sử dụng hình ảnh chưa hiệu chỉnh. Điều này gián tiếp cho thấy hình ảnh sau khi hiệu chỉnh đúng thực tế hơn so với hình ảnh trước hiệu chỉnh.

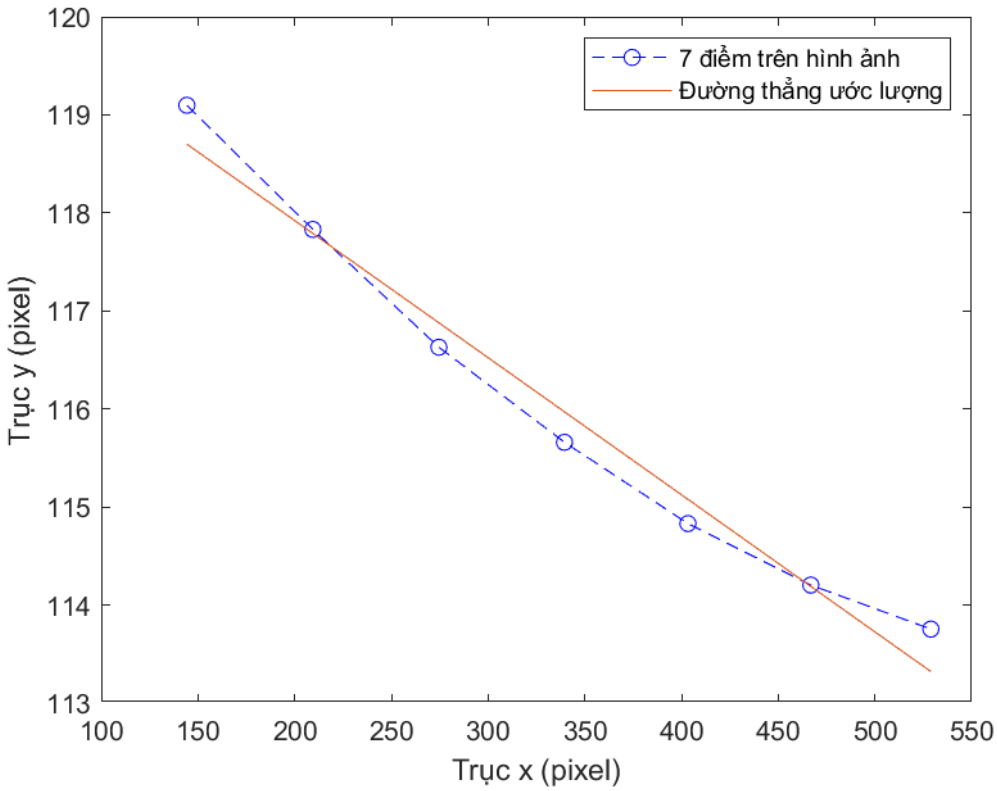
Để đánh giá hiệu quả về mặt định tính, bài báo dựa trên các khoảng cách giữa các đỉnh hình vuông với đường thẳng tương ứng như trong Hình 4.4. Các đường thẳng này được ước lượng dựa trên toạ độ của chính các đỉnh hình vuông đó. Phương trình đường thẳng có dạng như sau:

$$\begin{bmatrix} A_i & B_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = C_i \tag{4.1}$$

Trong đó, $[A_i, B_i]$ là vectơ pháp tuyến của đường thẳng thứ i và C_i là khoảng cách từ gốc tọa độ đến đường thẳng đó. Các thông số này có thể được xác định bằng cách thế tọa độ 2 trong 7 điểm tương ứng trên của từng đường trên Hình 4.6 vào phương trình (7). Tuy nhiên 7 điểm này về thực tế không thực sự nằm trên 1 đường thẳng nên cần tối ưu đường thẳng sử dụng tọa độ của 7 điểm như trong Hình 4.7.



Hình 4.6 Hình bàn cờ vua sau khi hiệu chỉnh ảnh



Hình 4.7 Đường thẳng ước lượng từ 7 điểm ảnh

Phương trình (4.1) được viết lại và thế toạ độ 7 điểm vào như sau:

$$M_i \begin{bmatrix} A_i \\ B_i \end{bmatrix} = C_i D \tag{4.2}$$

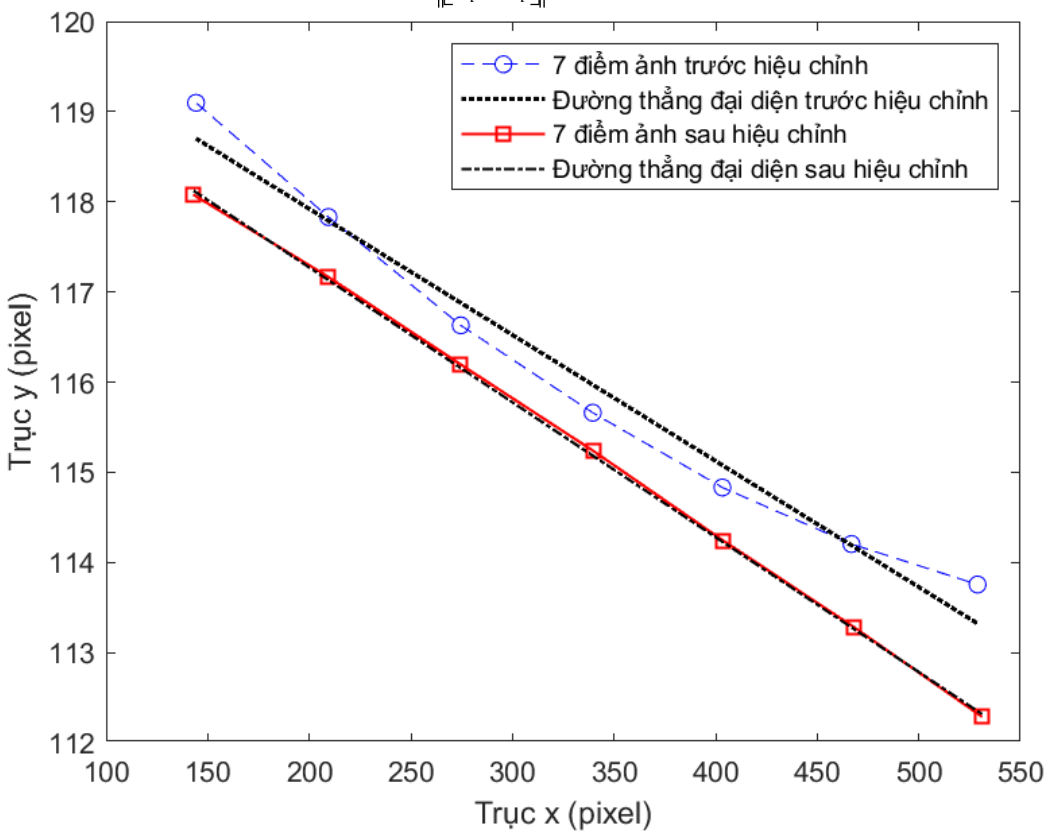
Trong đó, $M_i = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \dots & \dots \\ x_7 & y_7 \end{bmatrix}$, $D = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{bmatrix} \in R^{7x1}$

Lúc này ta có [8]:

$$\begin{bmatrix} A_i \\ B_i \end{bmatrix} = \left(M_i^T M\right) M_i^T D \tag{4.3}$$

Do $\begin{bmatrix} A_i & B_i \end{bmatrix}$ là vectơ đơn vị ($\left\| \begin{bmatrix} A_i & B_i \end{bmatrix} \right\| = 1$), nên cần chuẩn hoá $\begin{bmatrix} A_i & B_i \end{bmatrix}$ và tìm C_i như sau:

$$\begin{aligned} C_i &= \frac{1}{\left\| \begin{bmatrix} A_i & B_i \end{bmatrix} \right\|} \\ \begin{bmatrix} A_i & B_i \end{bmatrix} &= \frac{\begin{bmatrix} A_i & B_i \end{bmatrix}}{\left\| \begin{bmatrix} A_i & B_i \end{bmatrix} \right\|} \end{aligned} \tag{4.4}$$



Hình 4.8 Hình bàn cờ vua sau khi hiệu chỉnh ảnh

Hình Hình 4.8 thể hiện các điểm ảnh trước và sau hiệu chỉnh cũng như các đường thẳng ước lượng tương ứng. Trong đó, đường nét đứt với các điểm tròn là vị trí 7 điểm ảnh trước khi hiệu chỉnh, đường chấm chấm là đường thẳng ước lượng tương

ứng. Đường nét liền với các điểm vuông là vị trí 7 điểm sau hiệu chỉnh, đường chấm gạch là đường thẳng ước lượng tương ứng. Như có thể thấy 7 điểm ảnh sau hiệu chỉnh rất thẳng hàng và sát với đường thẳng ước lượng hơn so với các điểm ảnh trước khi hiệu chỉnh. Điều này cho thấy hiệu quả của việc hiệu chỉnh hình ảnh.

Bảng 4.2 Khoảng cách trung bình (pixel) từ 7 điểm đến đường thẳng ước lượng trước hiệu chỉnh

TT hình	**Đường 1**	**Đường 2**	**Đường 3**	**Đường 4**
1	0,24	0,1376	0,0156	0,1583
2	0,2607	0,1098	0,0296	0,1586
3	0,255	0,1354	0,0167	0,172
4	0,335	0,2543	0,0888	0,1339
5	0,2802	0,1744	0,0564	0,1443
6	0,2666	0,1488	0,0434	0,1578
7	0,2864	0,2148	0,0964	0,0344
8	0,2609	0,1066	0,0697	0,0882
9	0,2361	0,125	0,0489	0,0474
10	0,269	0,1563	0,0517	0,1217
Trung bình	**0,269**	**0,1563**	**0,0517**	**0,1217**

Để đánh giá về mặt định tính, ta thay toạ độ lần lượt 7 điểm trên đường thẳng vào phương trình đường thẳng (4.1) ta có sai lệch khoảng cách từ từng điểm có toạ độ (x, y) đến đường thẳng thứ i như sau:

$$d = \left| \begin{bmatrix} A_i & B_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} - C_i \right| \tag{4.5}$$

Bảng 4.2 và Bảng 4.3 thể hiện kết quả sai lệch khoảng cách trung bình từ 7 điểm đến đường thẳng trong trường hợp trước và sau hiệu chỉnh ảnh (trích xuất cho 10 hình đầu tiên trong tổng số 25 hình được sử dụng để hiệu chuẩn máy ảnh). Như có thể thấy khoảng cách này được cải thiện đáng kể sau khi hiệu chỉnh ảnh và góp phần giảm khoảng cách trung bình xuống còn 23,6% so với trước khi hiệu chỉnh ảnh.

Bảng 4.3 Khoảng cách trung bình (pixel) từ 7 điểm đến đường thẳng ước lượng sau hiệu chỉnh

TT hình	**Đường 1**	**Đường 2**	**Đường 3**	**Đường 4**
1	0,0294	0,0368	0,0157	0,037
2	0,0274	0,0345	0,0158	0,0411

3	0,0287	0,0132	0,0178	0,0336
4	0,039	0,0712	0,058	0,1035
5	0,0255	0,0091	0,0329	0,0492
6	0,0259	0,01	0,0266	0,0478
7	0,0174	0,0219	0,0282	0,0342
8	0,0656	0,0607	0,0412	0,0695
9	0,0215	0,0273	0,0149	0,0398
10	0,0312	0,0316	0,0279	0,0506
Trung bình	**0,0312**	**0,0316**	**0,0279**	**0,0506**

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Kết luận về các nội dung nghiên cứu đã thực hiện

Đề tài đã trình bày việc hiệu chuẩn máy ảnh bằng công cụ Camera Calibrator của Matlab nhằm xác định bộ thông số của máy ảnh, từ đó hiệu chỉnh lại hình ảnh để loại bỏ các yếu tố méo ảnh dạng tròn (do thấu kính không đều) và méo ảnh tiếp xúc (do thấu kính không thực sự vuông góc với trục máy ảnh). Bộ thông số này cũng như hình ảnh hiệu chỉnh là rất cần thiết để xác định các yếu tố trong không gian 3D của từng điểm ảnh.

Việc hiệu chuẩn máy ảnh được thực hiện bằng việc sử dụng hình ảnh của bảng cờ vua có nhiều ô vuông đen trắng xen kẽ với kích thước đã biết trước được chụp ở nhiều hướng và vị trí chụp ảnh khác nhau. Việc hiệu chỉnh ảnh sử dụng bộ thông số hiệu chuẩn gồm tiêu cự, điểm chính, hệ số méo dạng tròn và hệ số méo tiếp xúc để hiệu chỉnh vị trí các điểm ảnh phù hợp với thực tế.

Hình ảnh sau hiệu chỉnh đã cải thiện đáng kể độ chính xác của hình ảnh so với thực tế cả về mặt định tính lẫn định lượng. Về mặt định tính ta thấy các hình ảnh sau hiệu chỉnh phù hợp hơn với hình ảnh trong thực tế, trong đó có dẫn chứng về các cạnh thẳng của tờ giấy A4. Về mặt định lượng Đề tài đã trích xuất tọa độ các đỉnh hình vuông trên bảng cờ vua và ước lượng được 4 đường thẳng, mỗi đường thẳng gồm 7 điểm là các đỉnh hình vuông. Từ đó Đề tài trích xuất khoảng cách trung bình từ các điểm này đến đường thẳng ước lượng để thấy được mức độ thẳng hàng của các điểm. Kết quả trích xuất cho thấy hình ảnh hiệu chỉnh giảm khoảng cách trung bình (sai số) xuống còn 23,6% so với hình ảnh trước hiệu chỉnh.

Kiến nghị về các lĩnh vực nên ứng dụng hay sử dụng kết quả nghiên cứu

Hình ảnh camera được ứng dụng rất nhiều trong thực tế như xác định vị trí 3D trong không gian, đo đạc kích thước hình học, ước lượng các mặt cong,… Đề tài đã thực hiện việc hiệu chỉnh hình ảnh để có được hình ảnh chính xác phản ánh đúng hình ảnh của đối tượng trong thực tế. Vấn đề còn lại là cần xây dựng các phương pháp xác định thông số 3D trong thực tế. Muốn thực hiện điều này có thể sử dụng các giải pháp sau:

- Sử dụng 2 camera: Bằng việc sử dụng 2 camera chụp ảnh cùng một đối tượng thì có thể xác định được vị trí 3D của từng điểm trên đối tượng. Phương pháp này cần hiệu chỉnh thông số giữa 2 camera và thuật toán để xác định các điểm tương ứng (matching) của 2 hình ảnh với nhau.
- Sử dụng 1 camera kết hợp với chuyển động: Bằng cách sử dụng 1 camera chụp hình đối tượng sau đó dịch chuyển camera và chụp hình đối tượng ở một vị trí khác thì có thể xác định được các vị trí 3D của từng điểm trên đối tượng. Phương pháp này cần thuật toán để ước lượng đường đi và hướng của camera kết hợp với thuật toán xác định các điểm tương ứng của 2 hình ảnh với nhau.
- Sử dụng camera với đèn laser: Sử dụng các đèn laser để chiếu một hoặc nhiều mặt phẳng sáng đến đối tượng. Mối quan hệ giữa các mặt phẳng sáng này với camera đã được xác định trước đó bằng thuật toán hiệu chỉnh. Từ các đường sáng laser trên hình ảnh có thể xác định được vị trí 3D của các điểm trên đối tượng. Cách này hay dùng để scan các vật thể 3D.

Tài liệu tham khảo

[1] Sơ bộ về cấu tạo của máy ảnh và cơ chế ngắm sống trên LCD Link: http://vinacamera.com/?p=255

[2] D.D.Pham, Q.K.Dang, Y.S.Suh, "Golf Green Slope Estimation Using a Cross Laser Structured Light System and an Accelerometer". Journal of Electrical Engineering and Technology. 11. 508-518. 10.5370/JEET.2016.11.2.508, 2016

[3] What Is Camera Calibration? Link: https://ch.mathworks.com/help/vision/ug/camera-calibration.html

[4] P.D.Dưởng, D.H.Toàn, "Hiệu Chỉnh Hình Ảnh Sử Dụng Bộ Thông Số Hiệu Chuẩn Từ Công Cụ Camera Calibration Của Matlab", VCCA2024

[5] Spectral colors in filled wine glass, Link: https://physics.stackexchange.com/questions/813376/spectral-colors-in-filled-wine-glass

[6] J. Hou and X. Ye, "Real-time Underwater 3D Reconstruction Method Based on Stereo Camera," 2022 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Guilin, Guangxi, China, 2022, pp. 1204-1209

[7] S. Eqbal, A. Verna, A. Soni and A. Kumar, "Feature Matching of Images," 2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Maharashtra, India, 2021, pp. 1-6.

[8] Lin, Kuan-Ying, Tseng, Yi-Hsing, Chiang, Kai-Wei, "Interpretation and Transformation of Intrinsic Camera Parameters Used in Photogrammetry and Computer Vision". Sensors. 2022.

[9] Calibration Checkerboard Collection, Online: https://markhedleyjones.com/projects/calibration-checkerboard-collection

[10] Calibration Patterns, Online: https://www.mathworks.com/help/vision/ug/calibration-patterns.html

[11] Camera Calibration, Online: https://www.mathworks.com/help/vision/camera-calibration.html

[12] Richard Hartley, Andrew Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision". Cambridge: Cambridge University Press, 2003

MỤC LỤC MINH CHỨNG SẢN PHẨM CỦA ĐỀ TÀI

Họ và tên chủ nhiệm đề tài: Phạm Duy Dưởng

Mã số đề tài: T2023-06-21

TT	Tên minh chứng	Ghi chú
1	Trang bìa kỷ yếu và ISBN	
2	Mục lục kỷ yếu	
3	Minh chứng phản biện	
4	Toàn văn bài báo	
5	Minh chứng chứng minh trong HĐCDGSNN ngành Điện – Điện tử - Tự động hóa	