**HIỂU VỀ CAMERA – QUÁ TRÌNH HÌNH THÀNH ẢNH VÀ HIỆU CHỈNH CAMERA**

# Quá trình hình thành dữ liệu ảnh

## Các hệ trục tọa độ

### Hệ tọa độ thế giới

Định nghĩa: Là hệ tọa độ 3D cố định, độc lập với camera và sử dụng cho thế giới thực với tọa độ được kí hiệu là (Xw, Yw, Zw). Dùng để mô tả vị trí và hướng của vật thể.

Trong đó

* Tọa độ gốc (0, 0, 0) làm điểm tham chiếu cố định, không thay đổi khi mà camera hoặc vật thể di chuyển.

A diagram of a graph

AI-generated content may be incorrect.

*Hệ tọa độ thế giới và hệ tọa độ máy ảnh có liên quan với nhau bằng Xoay và tịnh tiến. Sáu tham số này (3 cho xoay và 3 cho tịnh tiến) được gọi là thông số bên ngoài của máy ảnh*

### Hệ tọa độ camera

Định nghĩa: Là hệ tọa độ 3D gắn với Camera có gốc tại tâm quang học, dùng để mô tả vị trí và hướng tương đối với camera. Ký hiệu (Xc, Yc, Zc)

Trong đó:

* Gốc tọa độ (0, 0, 0) đặt tại tâm quang học (optical center) của camera.
* Trục Zc: Hướng ra phía trước ống kính camera.
* Trục Xc: Nằm ngang, hướng sang phải của camera.
* Trục Yc: Hướng xuống dưới (theo quy ước hệ tọa độ camera chuẩn trong thị giác máy tính – computer vision).

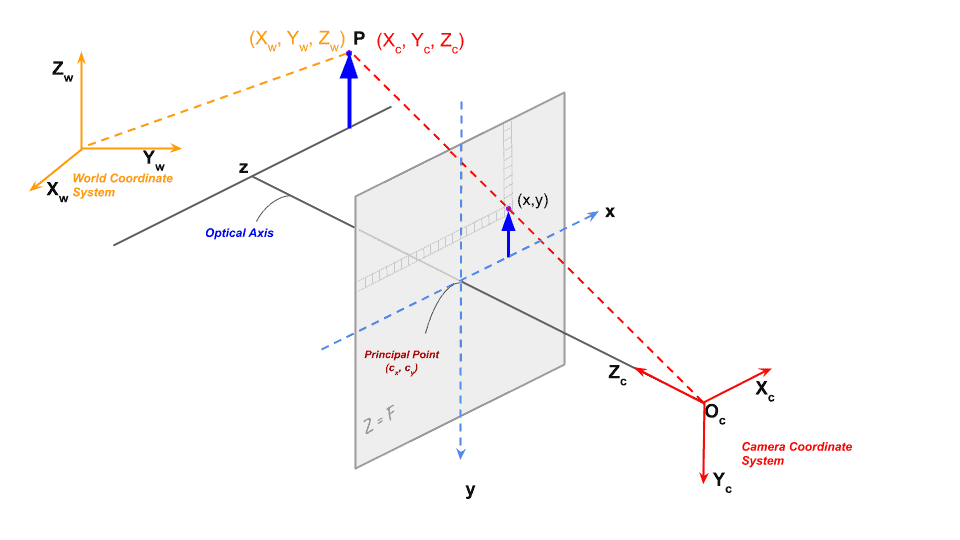
### Hệ tọa độ ảnh

Định nghĩa: Là hệ tọa độ 2D dùng để mô tả vị trí của điểm ảnh trên mặt phẳng ảnh (image plane), sau khi được ánh xạ từ hệ tọa độ camera thông qua phép chiếu phối cảnh (perspective projection).

Tọa độ thường được ký hiệu là: (x, y)

Trong đó:

* Gốc tọa độ (0, 0, 0) nằm ở góc trên bên trái của ảnh.
* Trục x nằm ngang, hướng sang phải.
* Trục y nằm dọc, hướng xuống.
* Mỗi điểm ảnh trên ảnh sẽ được xác định bằng chỉ số hàng và cột tương ứng.



## Chuyển đổi hệ tọa độ

### Hệ tọa độ thế giới sang hệ tọa độ camera

Mục tiêu: Chuyển một điểm trong không gian thế giới thực thành hệ tọa độ gắn với camera thông qua ma trận ngoại tại.

Công thức:

Hoặc

Lúc này:

* là ma trận ngoại tại (Extrinsic Matrix)
* Chi tiết công thức sẽ được đề cập ở những phần sau.

### Hệ tọa độ ảnh sang hệ tọa độ mặt phẳng ảnh

Mục tiêu: Chuyển từ hệ tọa độ ảnh sang pixel u, v thông qua ma trận nội tại.

Công thức:

* Chi tiết công thức sẽ được đề cập ở những phần sau.

### Ma trận chiếu:

Kết hợp 2 phương trình trên để có được 1 ma trận chiếu đầy đủ (từ thế giới -> pixel)

**A black background with white text and numbers

AI-generated content may be incorrect.**

**A black background with white text

AI-generated content may be incorrect.**

# Hiệu chỉnh 1 camera (Camera calibration)

## Khái niệm hiệu chỉnh camera

Là quá trình xác định các thông số bên trong và bên ngoài của máy ảnh. Nhằm mục đích mô hình hóa chính xác cách camera ghi nhận hình ảnh thế giới 3D sang thành ảnh 2D.

## Image Plane to Image Sensor Maping

Khi một điểm P trong không gian 3D được chiếu xuống mặt phẳng ảnh (image plane), nó có tọa độ liên tục (x, y) tính theo milimét. Tuy nhiên, cảm biến của camera ghi nhận ảnh dưới dạng lưới pixel rời rạc (u, v).

Quá trình chuyển từ tọa độ “thước đo vật lý” trên image plane sang tọa độ pixel trên sensor bao gồm các bước sau:

B1: Với điểm trong hệ tọa độ camera (Xc, Yc, Zc, dùng tam giác đồng dạng của mô hình pinhole:

A black background with white text

AI-generated content may be incorrect.

Với f là **tiêu cự hiệu dụng** (tính theo mm).

B2: Chuyển từ milimét sang pixel:

Giả sử cảm biến có mật độ pixel (pixel/mm) mỗi chiều là mxm\_xmx​ và mym\_ymy​, cho phép quy đổi:



## Hệ tọa độ đồng nhất (Homogeneous Coordinates)

Định nghĩa: Là cách biểu diễn một tọa độ trong không gian, mở rộng tọa độ

Ví dụ: Tọa độ 3D (X, Y, Z) thành (X, Y, Z, W) với W là trọng số (thường W = 1)

Mục đích:

Đơn giản hóa phép biến đổi trong không gian bằng cách gộp phép quay (***R***) và phép tịnh tiến (***t***) thành một ma trận duy nhất

Thay vì phải thực hiện riêng lẻ

Ngoài ra cũng hỗ trợ phép chiếu ảnh từ 3D xuống 2D: Chuẩn hóa phép toán chiếu:

Đặc điểm:

* Cho phép biểu diễn các phép biến đổi (xoay, co giãn, tịnh tiến…) trong một ma trận duy nhất. Làm cho việc tính toán thuận tiện hơn cũng như nhanh hơn.
* Chuẩn hóa tọa độ khi chiếu từ 3D xuống 2D, giảm độ phức tạp khi tính toán.

## Ma trận ngoại tại

Chi tiết:

Hệ tọa độ thế giới:

Hệ tọa độ camera:

Mối quan hệ giữa hai hệ tọa độ là:

Trong đó:

* ***R*** : Ma trận quay 3x3 (mô tả hướng của camera so với thế giới)
* ***t*** : Vector tịnh tiến 3x1 (mô tả vị trí camera trong không gian thế giới)

Lưu ý:

Trong đó:

* Cột 1: hướng trục Xc của camera trong tọa độ thế giới
* Cột 2: hướng trục Yc của camera trong tọa độ thế giới
* Cột 3: hướng trục Zc của camera trong tọa độ thế giới

Ngoài ra chúng ta có thể viết gọn công thức trên bằng ma trận ngoại tại (Extrinsic Matrix)

Lúc này:

* là ma trận ngoại tại (Extrinsic Matrix)

## Ma trận nội tại

Chiếu điểm 3D lên mặt phẳng ảnh:

Trong mô hình camera pinhole, điểm 3D (Xc, Yc, Zc) được chiếu lên mặt phẳng ảnh (cách tâm quang học Oc một khoảng tiêu cự f) để tạo ra tọa độ 2D (x, y). Công thức chiếu dựa trên tam giác đồng dạng

Trong đó:

Ma trận nội tại **K** của camera được định nghĩa như sau:

Trong đó:

* fx, fy: Tiêu cự theo trục x và y, tính bằng pixel.
* cx, cy: Tọa độ pixel của tâm quang học.
* : Độ lệch trục giữa các trục x và y của cảm biến.

Công thức chuyển đổi:

## Méo ảnh (Distortion)

Méo ảnh:

* Là sự biến dạng của hình ảnh do lỗi quang học ống kính.
* Khi mà ánh sáng đi qua ống kính không còn chuẩn như mô hình lý tưởng Pinhole nữa tức là hình ảnh bị kéo dãn ra hoặc co lại không đồng đều.

Mục tiêu:

* Giảm sai lệch vị trí các điểm ảnh trên ảnh thực tế do chưa được hiệu chỉnh méo.
* Giúp đo đặc kích thưóc hoặc nhận dạng vật thể tốt hơn.

Cách mô hình hóa méo:

Bao gồm 2 loại méo chính:

* Méo biến dạng xuyên tâm: Do ống kính cong, gây ra hiện tượng hình ảnh “phình ra”, hoặc “thu nhỏ” lại.
* Méo biến dạng tiếp tuyến: Do ống kính bị lệch khỏi trục.

Giả sử ta có tọa độ chuẩn

Đối với méo biến dạng xuyên tâm

Trong đó:

* r2 = x2+y2 là khoảng cách từ tâm
* k1, k2, k3 là hệ số biến dạng xuyên tâm

Đối với méo biến dạng tiếp tuyến

* xd= xradial+ xtangential
* yd= xradial+ xtangential

## Pipeline

A math equation with white text

AI-generated content may be incorrect.

## Thực hành

# Hiệu chỉnh 2 camera (Stereo Camera)

## Định nghĩa

Là quá trình xác định các tham số bên ngoài và bên trong của hai camera cùng một lúc.

## Mục tiêu

Biến 2 cái ảnh chụp từ 2 camera thành hàng thẳng để các điểm tương ứng nằm trên một hàng ngang. Từ đó ta có thể tái tạo không gian 3D hay tính khoảng cách của nó.

## Quy trình

1. Hiệu chỉnh từng máy ảnh riêng biệt.

Mục tiêu là xác định các tham số nội tại (ma trận camera, hệ số biến dạng) của từng camera bằng cách sử dụng các ảnh chụp bảng hiệu chuẩn (ví dụ bàn cờ).

1. Hiệu chỉnh thiết lập stereo camera.

Xác định các tham số bên ngoài (vị trí, hướng tương đối giữa hai camera) và các tham số liên quan đến thiết lập stereo (ma trận xoay, vector dịch chuyển, ma trận cơ bản và ma trận thiết yếu). Quá trình này giúp căn chỉnh hai ảnh sao cho các điểm tương ứng. Bằng cách:

* Ma trận xoay (R): biểu diễn sự khác biệt về hướng nhìn.
* Vector tịnh tiến (T): biểu diễn khoảng cách giữa hai camera.
* Ma trận thiết yếu (E) và ma trận cơ bản (F): dùng để ánh xạ các điểm tương ứng theo đường epipolar giữa hai ảnh.

## Các tham số

|  |  |
| --- | --- |
| Tham số | Ý nghĩa |
| K | Ma trận nội tại: thông tin tiêu cự và tâm ảnh |
| D | Hệ số méo |
| R | Ma trận quay giữa 2 ma trận |
| T | Vecto tịnh tiến |
| E | Ma trận thiết yếu: dùng khi biết giá trị ma trận nội tại |
| F | Ma trận cơ bản: dùng khi chưa biết giá trị nội tại |

Hình ảnh minh họa

# Các hàm trong opencv

cv2.calibrateCamera()

Mục đích: Tính toán các thông số nội tại, hệ số méo, ma trận quay và tịnh tiến.

Tham số:

|  |  |
| --- | --- |
| objectPoints | Tập hợp các điểm 3D thực tế |
| imagePoints | Tập các điểm ảnh tương ứng trong ảnh 2D từ camera |
| imageSize | Kích thước ảnh đầu vào |
| cameraMatrix | Ma trận nội tại ban đầu (nếu có), hoặc None để OpenCV tự khởi tạo. |
| distCoeffs | Hệ số méo ban đầu (nếu có), thường là vector 1x5 hoặc 1x8. |
| Flags (tùy chọn) | Cờ điều khiển quá trình calibration |
| Criteria (tùy chọn) | Điều kiện dừng cho thuật toán tối ưu |

cv2.getOptimalNewCameraMatrix()

Mục đích: Giảm méo tối đa

Tham số:

|  |  |
| --- | --- |
| cameraMatrix | Ma trận nội tại từ cv2.calibrateCamera() |
| distCoeffs | Hệ số méo từ calibrate() |
| imageSize | Kích thước ảnh gốc |
| alpha | Điều chỉnh giữa vùng nhìn và vùng hợp lệ:  0: Loại bỏ hoàn toàn các điểm đen  1: Giữ nguyên vùng nhìn tối đa |

cv2.undistort()

Mục đích: Dùng để hiệu chỉnh (loại bỏ méo) ảnh đầu vào

Tham số:

|  |  |
| --- | --- |
| src | Ảnh đầu vào |
| cameraMatrix | Ma trận nội tại từ cv2.calibrateCamera() |
| distCoeffs | Hệ số méo từ cv2.calibrateCamera() |

cv2.initUndistortRectifyMap() + cv2.remap()

* cv2.initUndistortRectifyMap

Mục đích: Hàm này tạo **bản đồ ánh xạ (mapx, mapy)** để hiệu chỉnh méo và điều chỉnh ảnh (rectify) cho camera.

Tham số:

|  |  |
| --- | --- |
| cameraMatrix | Ma trận nội tại ban đầu của camera |
| distCoeffs | Vector hệ số méo (radial, tangential) |
| R | Ma trận quay để hiệu chỉnh ảnh (Rectification transform). Dùng cho stereo, hoặc None nếu không cần. |
| newCameraMatrix | Ma trận camera mới sau hiệu chỉnh |

* cv2.remap()

Mục đích: Hàm dùng mapx và mapy tạo bởi initUndistortRectifyMap để ánh xạ lại từng pixel trong ảnh, từ đó hiệu chỉnh méo.

Tham số:

|  |  |
| --- | --- |
| src | Ảnh gốc cần điều chỉnh |
| mapx | Bản đồ tọa độ x (từ initUndistortRectifyMap) |
| mapy | Bản đồ tọa độ y (từ initUndistortRectifyMap |
| interpolation | Phương pháp nội suy:   * cv2.INTER\_LINEAR (mặc định). * cv2.INTER\_NEAREST. * cv2.INTER\_CUBIC. |
| borderMode | Xử lý biên ảnh |
| borderValue | Giá trị màu cho biên |

cv2.projectPoints()

Mục đích: Dùng để chiếu các điểm 3D trong không gian thế giới (world coordinate) sang tọa độ 2D trên ảnh dựa trên thông số camera (ma trận nội tại, hệ số méo) và ma trận quay, tịnh tiến (pose của camera).

Tham số:

|  |  |
| --- | --- |
| objectPoints | Tập hợp các điểm 3D trong tọa độ thế giới |
| rvec | Vecto quay |
| tvec | Vecto tịnh tiến |
| cameraMatrix | Ma trận nội tại |
| distCoeffs | Hệ số méo |

cv2.stereoCalibrate()

Mục đích: Hiệu chỉnh đồng thời hai camera, ước lượng quan hệ xoay và tịnh tiến(R, T) giữa hai camera.

Tham số:

|  |  |
| --- | --- |
| objectPoints, imgPoints1, imgPoints2 | Giống calibrateCamera, ba danh sách đồng bộ |
| cameraMatrix1, distCoeffs1, cameraMatrix2, distCoeffs2 | Ma trận nội tại và hệ số méo đã tính cho hai camera |
| imageSize | Kích thước ảnh |
| flags | Cờ hiệu chỉnh |
| criteria | Tiêu chí dừng |

cv2.stereoRectify()

Mục đích: Tính toán phép biến đổi hình học (rectification) để đồng bộ 2 ảnh stereo sao cho hai tâm ảnh nằm trên cùng một đường ngang.

Tham số chính:

|  |  |
| --- | --- |
| cameraMatrix1/2 | Từ kết quả của stereoCalibrate |
| distCoeffs1/2 |
| imageSize |
| R |
| T |
| alpha | Tương tự getOptimalNewCameraMatrix, điều chỉnh vùng ảnh giữ lại |
| newImageSize | Kích thước ảnh đã đồng bộ, nếu khác imageSize |