Eye-to-hand. 眼在手外.

　　— base_link & camera_link

Eye-in-hand. 眼在手上

　　— wrist_link & camera_link


```
s calibrateHandEye()
void cv::calibrateHandEye ( InputArrayOfArrays   R_gripper2base,
                            InputArrayOfArrays   t_gripper2base,
                            InputArrayOfArrays   R_target2cam,
                            InputArrayOfArrays   t_target2cam,
                            OutputArray          R_cam2gripper,
                            OutputArray          t_cam2gripper,
                            HandEyeCalibrationMethod method = CALIB_HAND_EYE_TSAI )
```
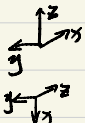in-hand   to-hand
　　　　　base2gripper
　　　　} 相同
　　　　} cam2base

对 to-hand 中 t 的求解：先求
T 的 inv, 再分割 T取.

Notes: 1) 相机中返回 的是 $^{cam}_{board}T$
　　　 2) 控制 的是 $^{base}_{gripper}T$.

① aruco tag 识别 是 camera → board
　& board 的坐标系 是 逆不同!
② base → end. 为了 统一
③ 统一起来 都转为 正方向 ✓

一. 手眼 标定.

1. eye-to-hand. 求 $^{camera}_{end}T$. base_link → camera_link.

1) method: 1) 将定板固定在 arm 末端.
　　　　　 2) 用 camera 拍摄 arm 的 pose 的 标定 pic n 张. n>10.

$$^{camera}_{base}T = {}^{camera}_{board}T * {}^{board}_{end}T * {}^{end}_{base}T$$
　　　　　　　　　　　　　　　　　→ 未知. $^{board}_{base}R = I$

$$\Rightarrow \quad {}^{board}_{end}T = {}^{camera}_{board}T^{-1} * {}^{camera}_{base}T * {}^{end}_{base}T^{-1}.$$

多张 pic 有,

$${}^{camera}_{board}T_1^{-1} * {}^{camera}_{base}T * {}^{end}_{base}T_1^{-1} = {}^{camera}_{board}T_2^{-1} * {}^{camera}_{base}T * {}^{end}_{base}T_2^{-1}$$

$$\therefore \quad \underline{{}^{camera}_{board}T_2 * {}^{camera}_{board}T_1^{-1}} * \underline{{}^{camera}_{base}T} = \underline{{}^{camera}_{base}T} * \underline{{}^{end}_{base}T_2 * {}^{end}_{base}T_1}$$
　　　　　　　　　A　　　　　　　　X　　　　X　　　　　　B

$$\Rightarrow \quad AX = XB \quad 方程组.$$

2. eye-in-hand. 求 $^{camera}_{end}T$.

对每张 pic 有.

$${}^{camera}_{end}T = {}^{camera}_{board}T * {}^{board}_{base}T * {}^{base}_{end}T.$$

$$\Rightarrow \quad {}^{board}_{base}T = {}^{camera}_{board}T^{-1} * {}^{camera}_{end}T * {}^{base}_{end}T^{-1}$$

联立有.

$${}^{camera}_{board}T_1^{-1} * {}^{camera}_{end}T_1 * {}^{base}_{end}T_1^{-1} = {}^{camera}_{board}T_2^{-1} * {}^{camera}_{end}T_2 * {}^{base}_{end}T_2^{-1}$$

$$\Rightarrow \quad \underline{{}^{camera}_{board}T_2 * {}^{camera}_{board}T_1^{-1}} * \underline{{}^{camera}_{end}T} = \underline{{}^{camera}_{end}T_2} * \underline{{}^{base}_{end}T_2^{-1} * {}^{base}_{end}T_1}$$
　　　　　　　　　A　　　　　　　　X　　　　X　　　　　　B

3. $AX = XB$ 解法.
　　X: $^{camera}_{base}T$ 或 $^{camera}_{end}T$. 未知量 6个 线性无变.

设 $A = \begin{bmatrix} R_A & T_A \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$　$B = \begin{bmatrix} R_B & T_B \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$　$X = \begin{bmatrix} R_X & T_X \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$.

$$\therefore \begin{cases} R_A R_X = R_X R_B & \text{先解 } R_X \text{ 后解 } T_X. \\ (R_A - I) T_X = R_X T_B - T_A. \end{cases}$$