

VSAM

# 動画像理解技術基礎講座

Video Understanding Technology and Its Application

Object  
Detection

Segmentation

Object  
Tracking

Sep. 5, 2008

Mapping

藤吉弘亘 Hironobu Fujiyoshi

Feature  
Extraction

中部大学工学部情報工学科

E-mail: hf@cs.chubu.ac.jp

Object  
Classification

URL: <http://www.vision.cs.chubu.ac.jp/>

VSAM

1. 画像理解技術を用いた次世代ビデオ監視システム: VSAM

Object  
Detection

2. 移動体検出: Object Detection

Segmentation

3. 領域クラスタリング: Segmentation

Object  
Tracking

4. 移動体追跡: Object Tracking

Mapping

5. 画像から実空間へのマッピング: Mapping to world coordinate

Feature  
Extraction

6. 特徴抽出: Feature Extraction

Object  
Classification

7. 物体識別: Object Classification

# 画像から実空間へのマッピング:

VSAM

- ・ 講義内容

Object  
Detection

- 平面射影変換によるマッピング

- カメラパラメータを用いた光線交差法によるマッピング

Segmentation

- ・ 応用

Object  
Tracking

- 対象物の高さ計測

- 高さ情報によるマルチカメラスレーブ

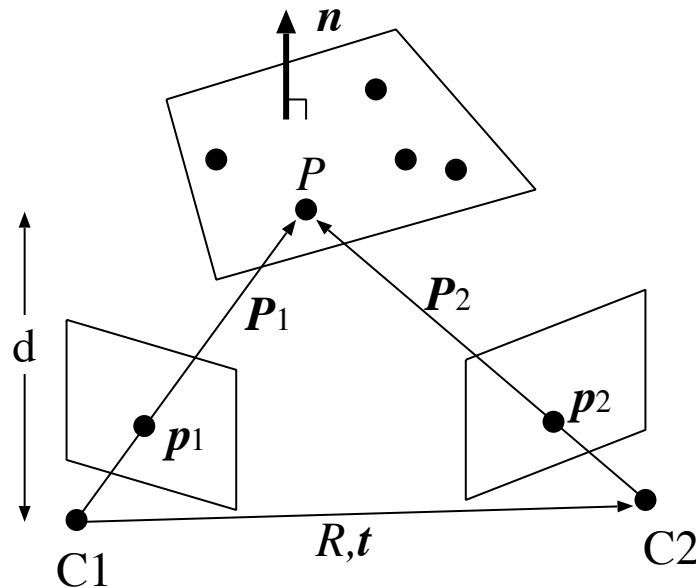
Mapping

Feature  
Extraction

Object  
Classification

# 平面射影行列: Homography

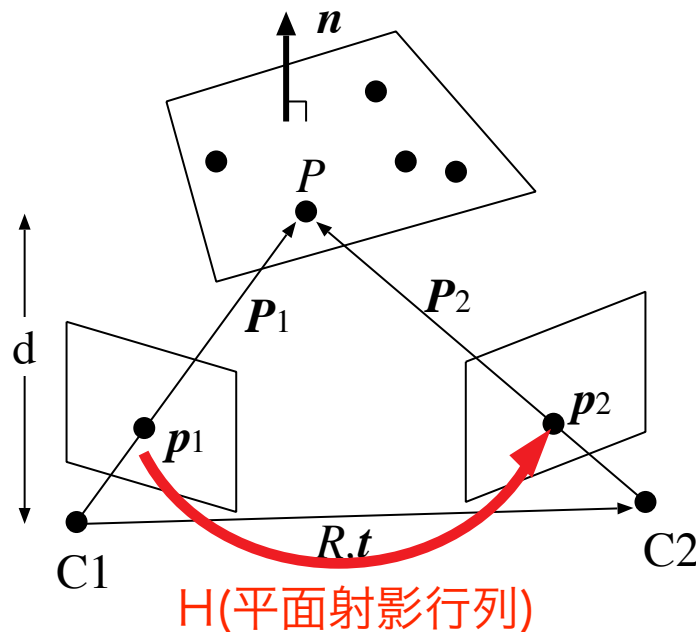
- 平面射影行列
  - 平面から平面への幾何学変換
  - $H$ (平面射影行列)は $3 \times 3$ の行列で表現



$$p_2 \cong H p_1$$

# 平面射影行列: Homography

- 平面射影行列
  - 平面から平面への幾何学変換
  - $H$ (平面射影行列)は $3 \times 3$ の行列で表現



$$p_2 \cong H p_1$$

# 平面射影行列の決定法:

- 3次元空間内のある平面上に存在する, N個の点について2つの画像間で対応が得られている

$$p_2 \cong Hp_1$$

$$\alpha \begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ 1 \end{bmatrix} \longrightarrow \alpha_i \begin{bmatrix} u_{2i} \\ v_{2i} \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} u_{1i} \\ v_{1i} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{h} = (H_{11}, H_{12}, H_{13}, H_{21}, H_{22}, H_{23}, H_{31}, H_{32}, H_{33})^\top$$

# 平面射影行列の決定法:

VSAM

Object Detection

Segmentation

Object Tracking

Mapping

Feature Extraction

Object Classification

$$\alpha_i \begin{bmatrix} u_{2i} \\ v_{2i} \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} u_{1i} \\ v_{1i} \\ 1 \end{bmatrix}$$



$$\left[ \begin{array}{cccccccc|c} u_{1i} & v_{1i} & 1 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & -u_{2i} \\ 0 & \cdots & 0 & u_{1i} & v_{1i} & 1 & 0 & \cdots & 0 & -v_{2i} \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & u_{1i} & v_{1i} & 1 & -1 \end{array} \right] \begin{bmatrix} \mathbf{h} \\ \alpha_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



$$\left[ \begin{array}{ccccccc|c} U_1 & -\mathbf{u}_{21} & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ U_2 & 0 & -\mathbf{u}_{22} & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ U_n & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & -\mathbf{u}_{2n} \end{array} \right] \begin{bmatrix} \mathbf{h} \\ \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_n \end{bmatrix} = (0)$$

# 平面射影行列の決定法:

VSAM

- $Ah=0$ の形に表す

Object Detection

Segmentation

Object Tracking

Mapping

Feature Extraction

Object Classification

$$\begin{bmatrix} u_{11} & v_{11} & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_{21}u_{11} & -u_{21}v_{11} & -u_{21} \\ 0 & 0 & 0 & u_{11} & v_{11} & 1 & -v_{21}u_{11} & -v_{21}v_{11} & -v_{21} \\ u_{12} & v_{12} & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_{22}u_{12} & -u_{22}v_{12} & -u_{22} \\ 0 & 0 & 0 & u_{12} & v_{12} & 1 & -v_{22}u_{12} & -v_{22}v_{12} & -v_{22} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{1i} & v_{1i} & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_{2i}u_{1i} & -u_{2i}v_{1i} & -u_{2i} \\ 0 & 0 & 0 & u_{1i} & v_{1i} & 1 & -v_{2i}u_{1i} & -v_{2i}v_{1i} & -v_{2i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_{11} \\ H_{12} \\ H_{13} \\ H_{21} \\ H_{22} \\ H_{23} \\ H_{31} \\ H_{32} \\ H_{33} \end{bmatrix} = (\mathbf{0})$$

- $h$ はAAの最小固有値に対応する固有ベクトルとして求められる



# 平面射影行列を求める:

VSAM

Object Detection

Segmentation

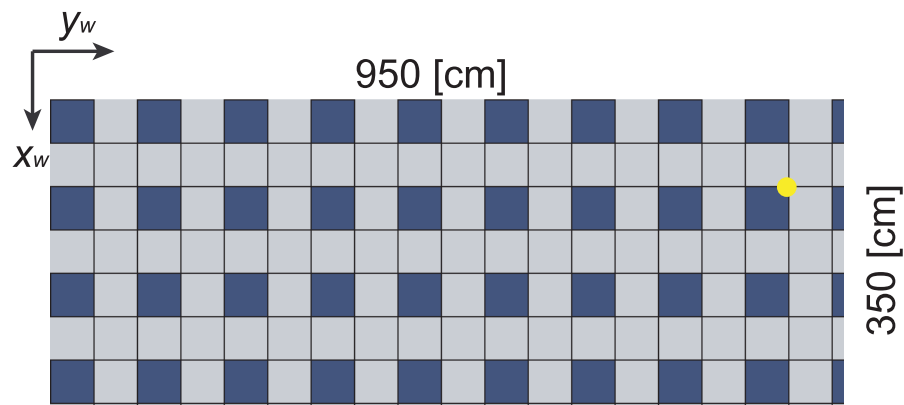
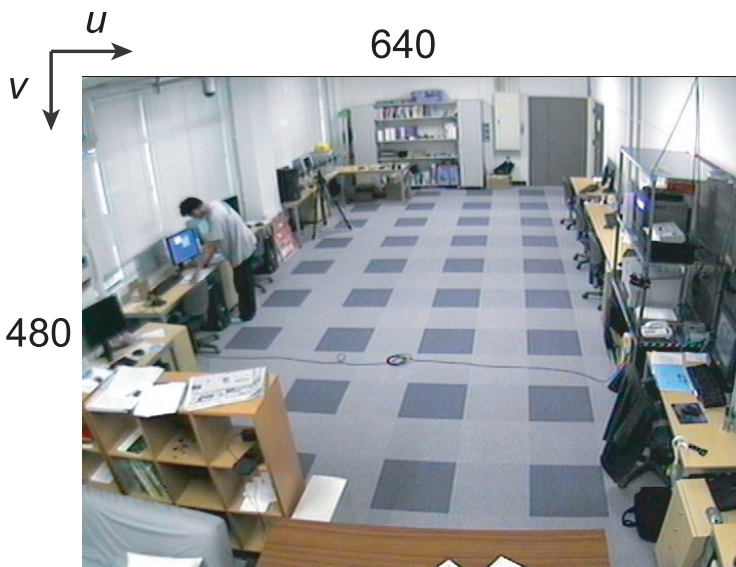
Object Tracking

Mapping

Feature Extraction

Object Classification

- 同一平面の画像座標とマップ座標（世界座標）の対応点を求める
  - 最低8点の対応点がHの推定に必要

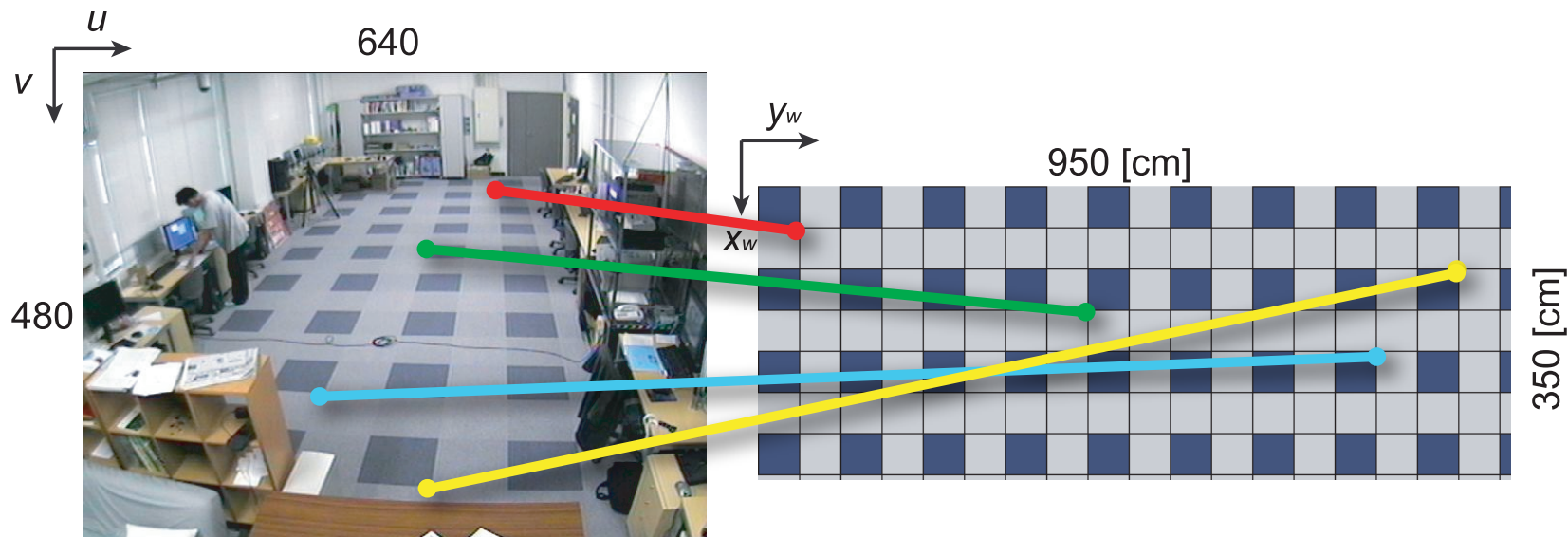


- Hが求まった後, 画像座標からマップ座標を得るには

$$x_w = \frac{uH_{11} + vH_{12} + H_{13}}{uH_{31} + vH_{32} + H_{33}}, \quad y_w = \frac{uH_{21} + vH_{22} + H_{23}}{uH_{31} + vH_{32} + H_{33}}$$

# 平面射影行列を求める:

- 同一平面の画像座標とマップ座標（世界座標）の対応点を求める
  - 最低8点の対応点がHの推定に必要



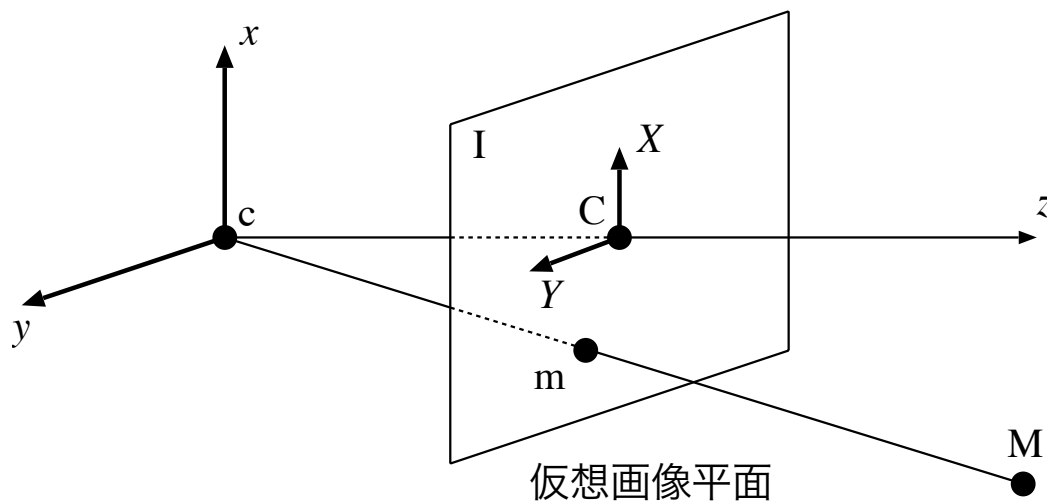
- Hが求まった後, 画像座標からマップ座標を得るには

$$x_w = \frac{uH_{11} + vH_{12} + H_{13}}{uH_{31} + vH_{32} + H_{33}}, \quad y_w = \frac{uH_{21} + vH_{22} + H_{23}}{uH_{31} + vH_{32} + H_{33}}$$

# 光線交差法によるマッピング:

- ・ ピンホールカメラのモデル
  - 空間中の点の3次元位置と2次元像との間に以下の関係式が成り立つ

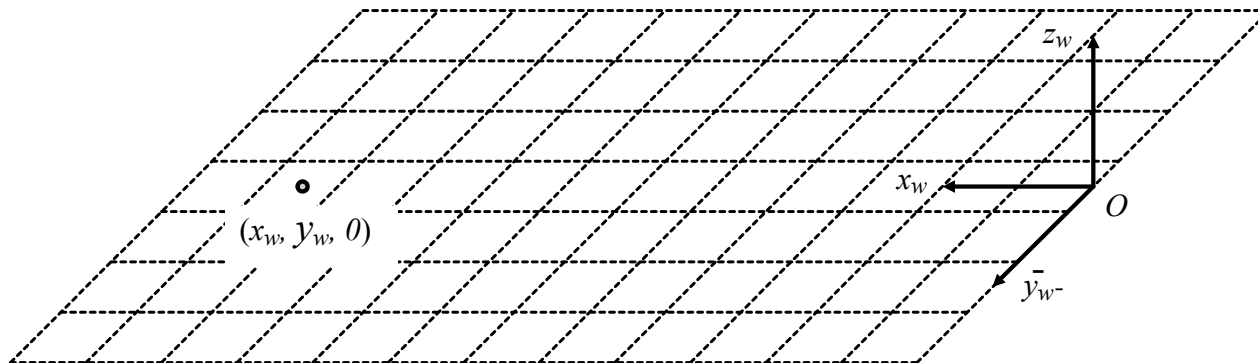
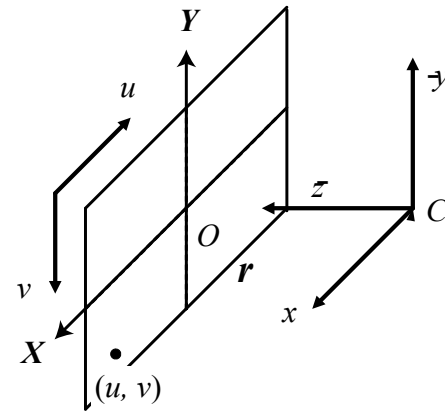
$$x = f \frac{x}{z}, \quad y = f \frac{y}{z}$$



# カメラモデルとパラメータ:

- カメラパラメータ
  - 世界座標とカメラ座標

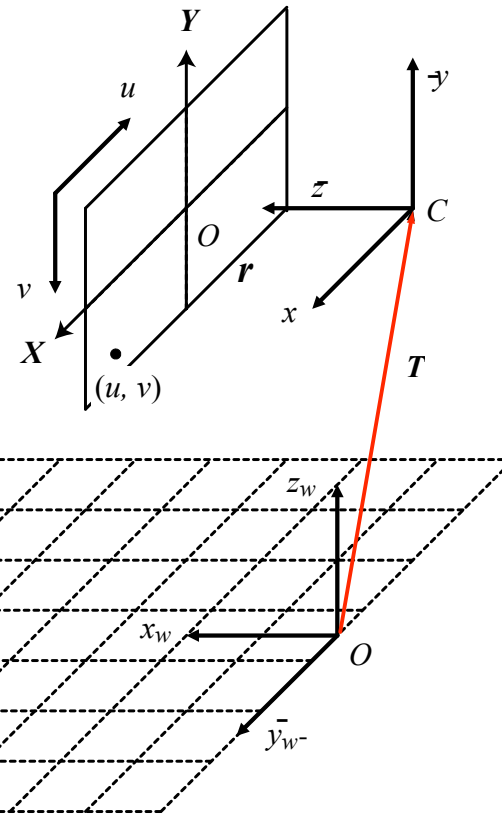
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} - \mathbf{T}$$



# カメラモデルとパラメータ:

- カメラパラメータ
  - 世界座標とカメラ座標

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \mathbf{R} \left( \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} - \mathbf{T} \right)$$



# カメラキャリブレーション:

- ・ カメラキャリブレーション

- 世界座標の点と対応する画像座標点の組み合わせから下記のカメラパラメータを求めること

- ・ 外部パラメータ

- 平行移動ベクトル  $T$
- 回転行列R(3行3列: 自由度3)  $R$

- ・ 内部パラメータ

- 焦点距離  $f$
- 画像座標の中心  $u_c \ v_c$
- レンズ歪み係数  $k_1 \ k_2$
- 画像座標の縦横比  $S$

# カメラパラメータによる光線交差法1:

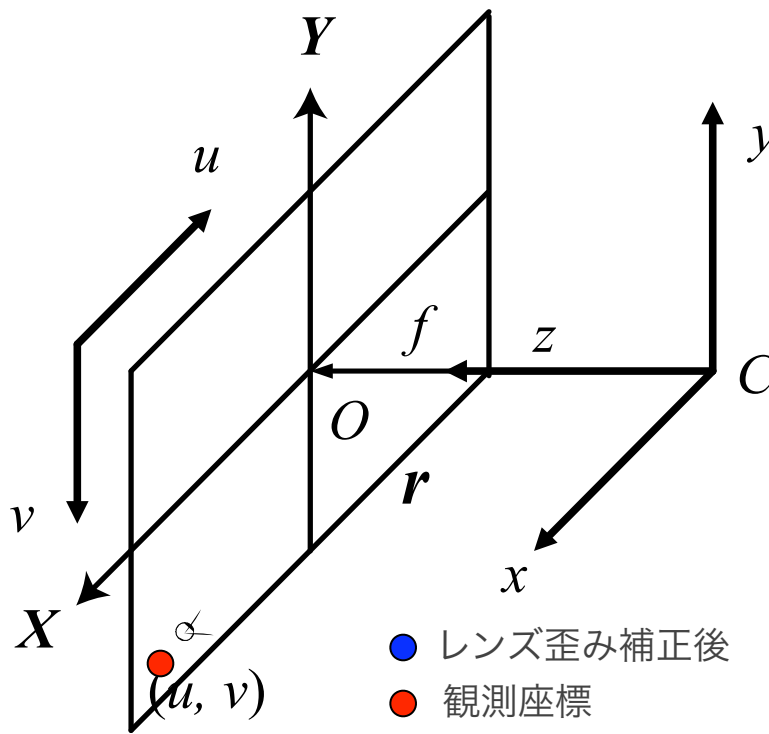
step1 : 画像座標(u,v)からカメラ座標(X,Y)への変換

$$X_d = u_c - u, \quad Y_d = v_c - v$$

step2 : レンズ歪みを修正したカメラ座標の計算

$$X_u = SX_d(1 + k_1r^2 + k_2r^4), \quad Y_u = Y_d(1 + k_1r^2 + k_2r^4)$$

$r$  は画像中心からの距離



# カメラパラメータによる光線交差法1:

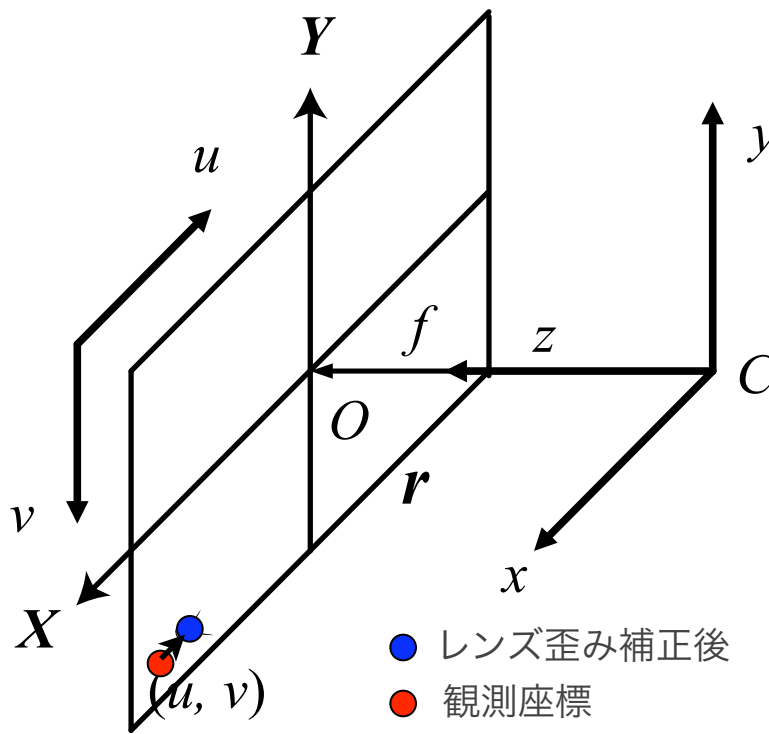
step1 : 画像座標(u,v)からカメラ座標(X,Y)への変換

$$X_d = u_c - u, \quad Y_d = v_c - v$$

step2 : レンズ歪みを修正したカメラ座標の計算

$$X_u = SX_d(1 + k_1r^2 + k_2r^4), \quad Y_u = Y_d(1 + k_1r^2 + k_2r^4)$$

$r$  は画像中心からの距離

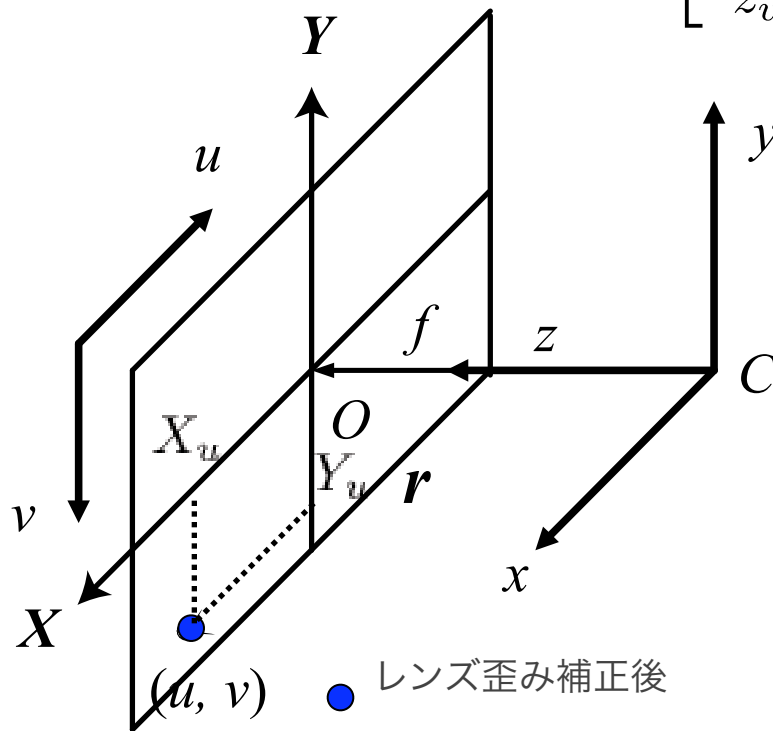




# カメラパラメータによる光線交差法2:

step3 : カメラ座標の原点から画像上の点を通る世界座標系におけるベクトル (傾き) を求める

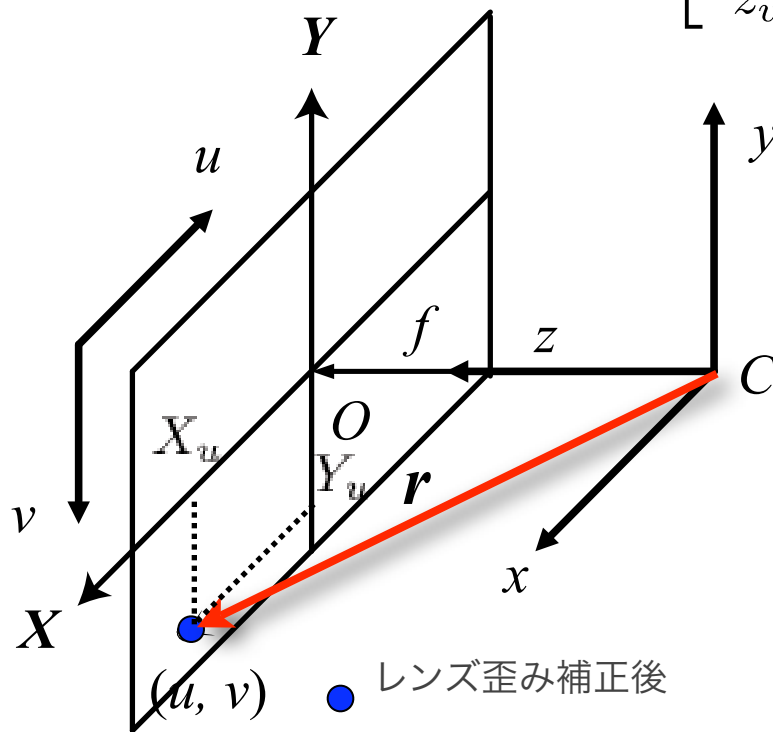
$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T \begin{bmatrix} X_u \\ Y_u \\ f \end{bmatrix}$$



# カメラパラメータによる光線交差法2:

step3 : カメラ座標の原点から画像上の点を通る世界座標系におけるベクトル (傾き) を求める

$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} = \mathbf{R}^T \begin{bmatrix} X_u \\ Y_u \\ f \end{bmatrix}$$



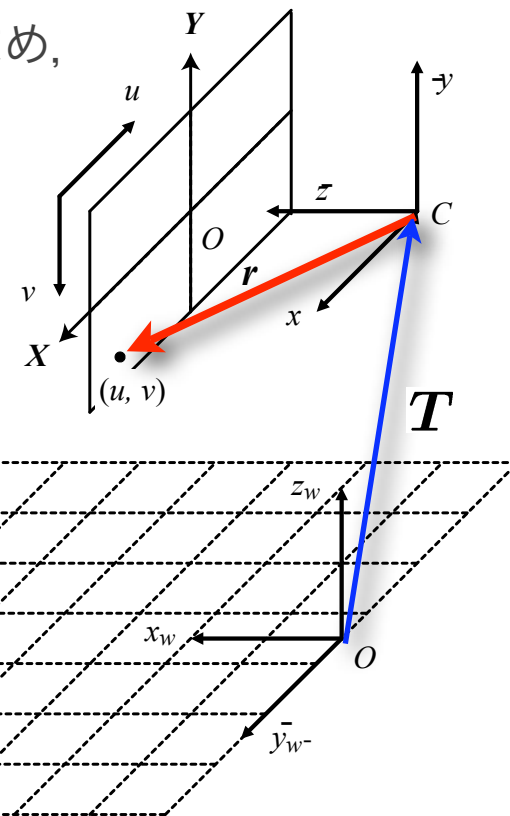
# カメラパラメータによる光線交差法3:

step4 : 3次元空間での直線式 $L$ で表す

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} + \mathbf{T}$$

step5 : 直線 $L$ が床( $z_w=0$ )に交わるときの $\alpha$ を求め、  
床面上の座標 $x_w, y_w$ を求める

$$\alpha = -\frac{T_z}{z_v}$$
$$x_w = -\frac{T_z}{z_v}x_v + T_x, \quad y_w = -\frac{T_z}{z_v}y_v + T_y$$



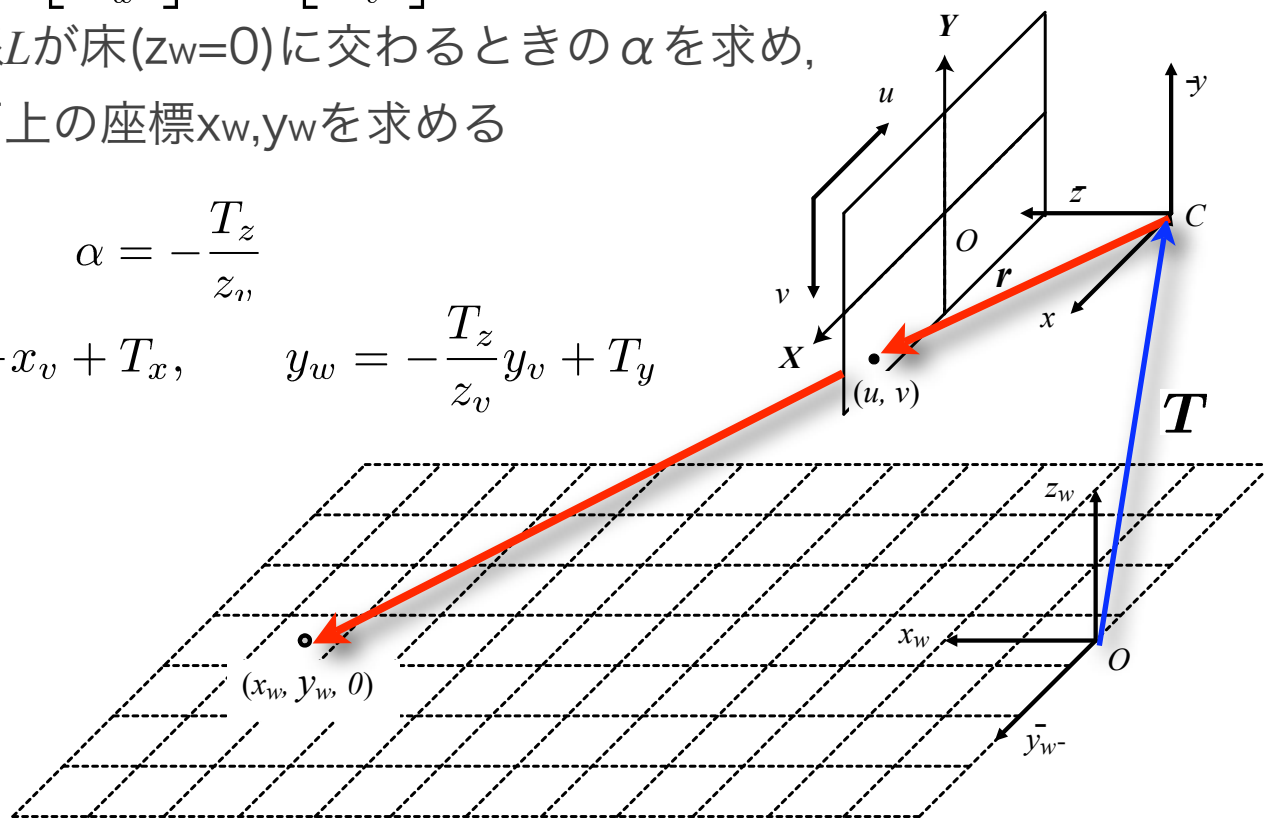
# カメラパラメータによる光線交差法3:

step4 : 3次元空間での直線式 $L$ で表す

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \end{bmatrix} + \mathbf{T}$$

step5 : 直線 $L$ が床( $z_w=0$ )に交わるときの $\alpha$ を求め、  
床面上の座標 $x_w, y_w$ を求める

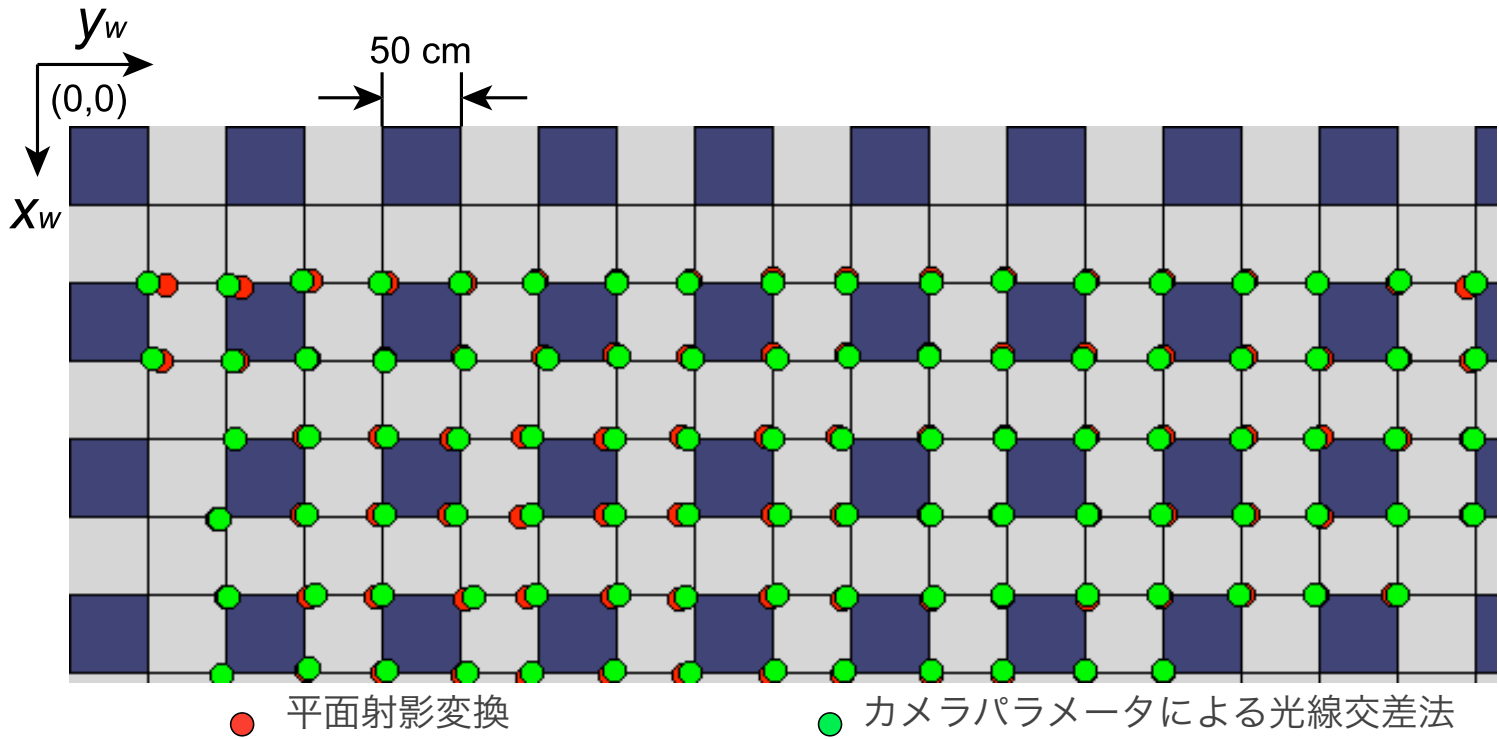
$$\alpha = -\frac{T_z}{z_v}$$
$$x_w = -\frac{T_z}{z_v}x_v + T_x, \quad y_w = -\frac{T_z}{z_v}y_v + T_y$$



# 実空間へのマッピング結果:

- VSAM
- Object Detection
- Segmentation
- Object Tracking
- Mapping
- Feature Extraction
- Object Classification

- 平面射影行列とカメラパラメータによる光線交差法に比較



平面射影変換

平均推定誤差 : 39.3 [mm]

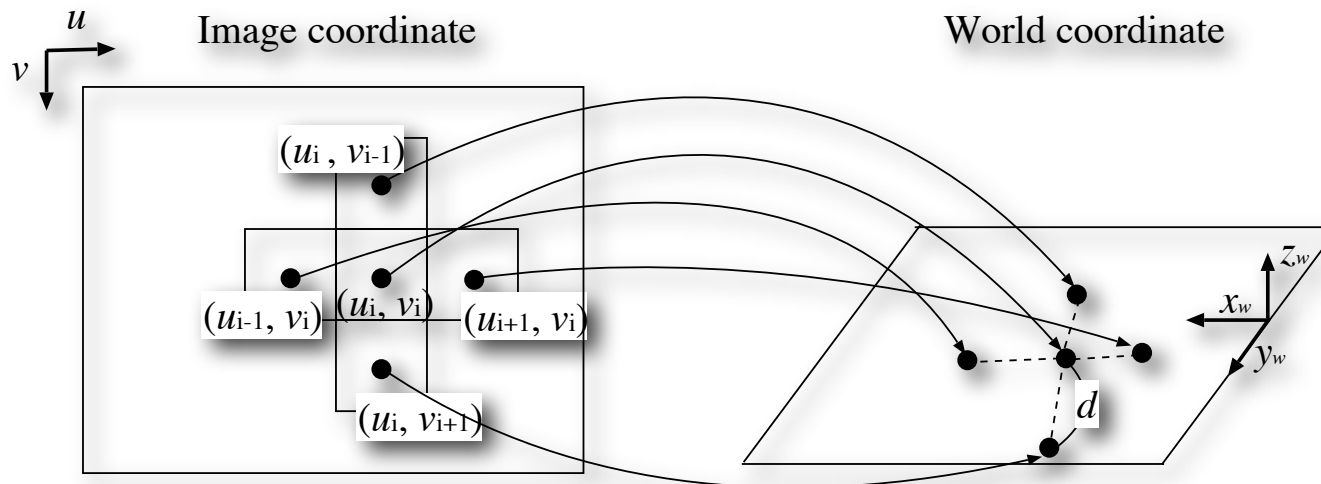
→ レンズ歪みの影響で画像中心がから離れるほど誤差が増大

光線交差法

平均推定誤差 : 25.3 [mm]

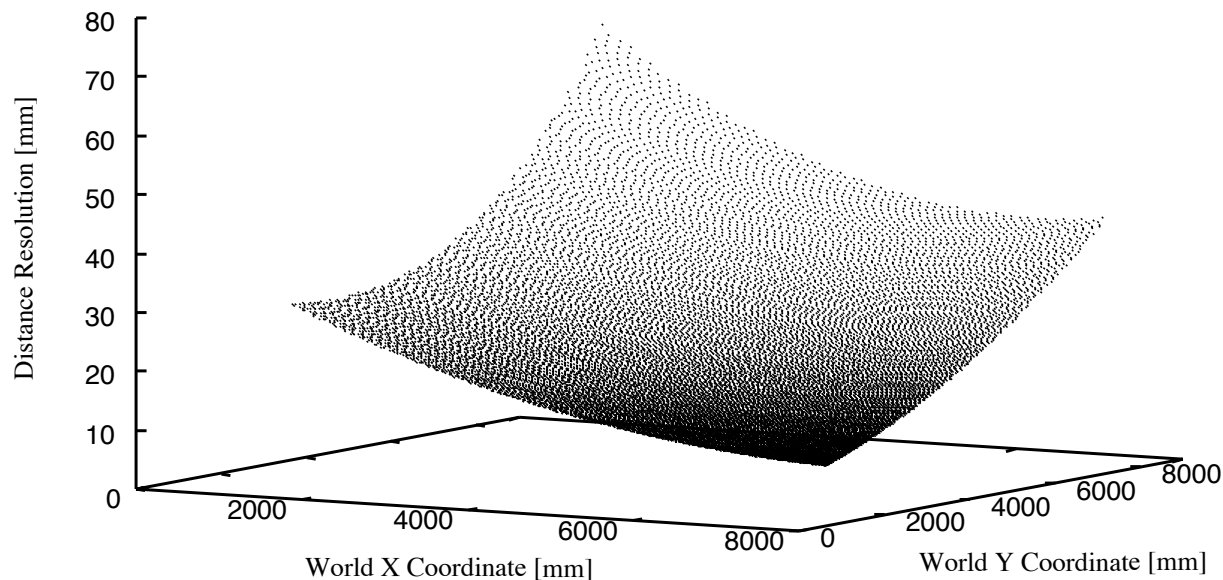
# 位置推定精度の検証:

- キャリブレーションに用いた以外の位置の精度は真値がないため検証できない
  - 画像座標での1ピクセルが世界座標で何mmに相当するかを空間分解能を計算



# 空間分解能の検証:

- ・ キャリブレーション点以外での位置精度
  - カメラからの距離が離れる程空間分解能低くなっている
  - 最大で1画素のずれが80[mm]に対応



# 対象物の高さ計測:

VSAM

Object Detection

Segmentation

Object Tracking

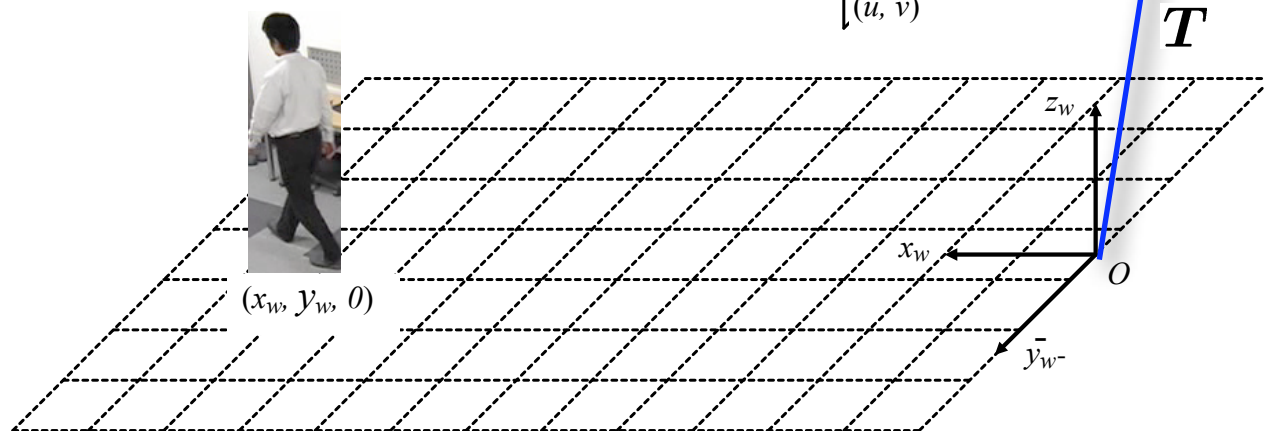
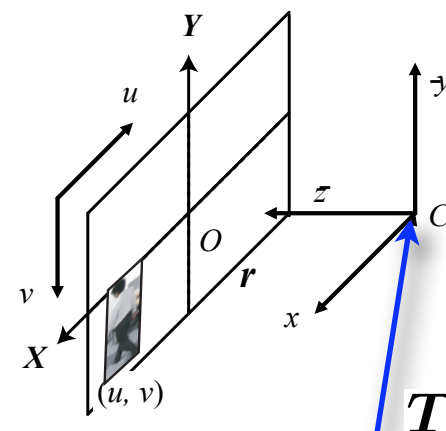
Mapping

Feature Extraction

Object Classification

- カメラパラメータを用いた光線交差法を応用
  - 床面上の位置情報を基に作成した垂直平面を対象とした光線交差を求める

$$\beta = \frac{(x_{wb} - T_x)}{x_v}$$
$$y_{wt} = \frac{x_v y_v (x_{wb} - T_x)}{x_v} + T_y,$$
$$z_{wt} = \frac{z_v (x_{wb} - T_x)}{x_v} + T_z$$

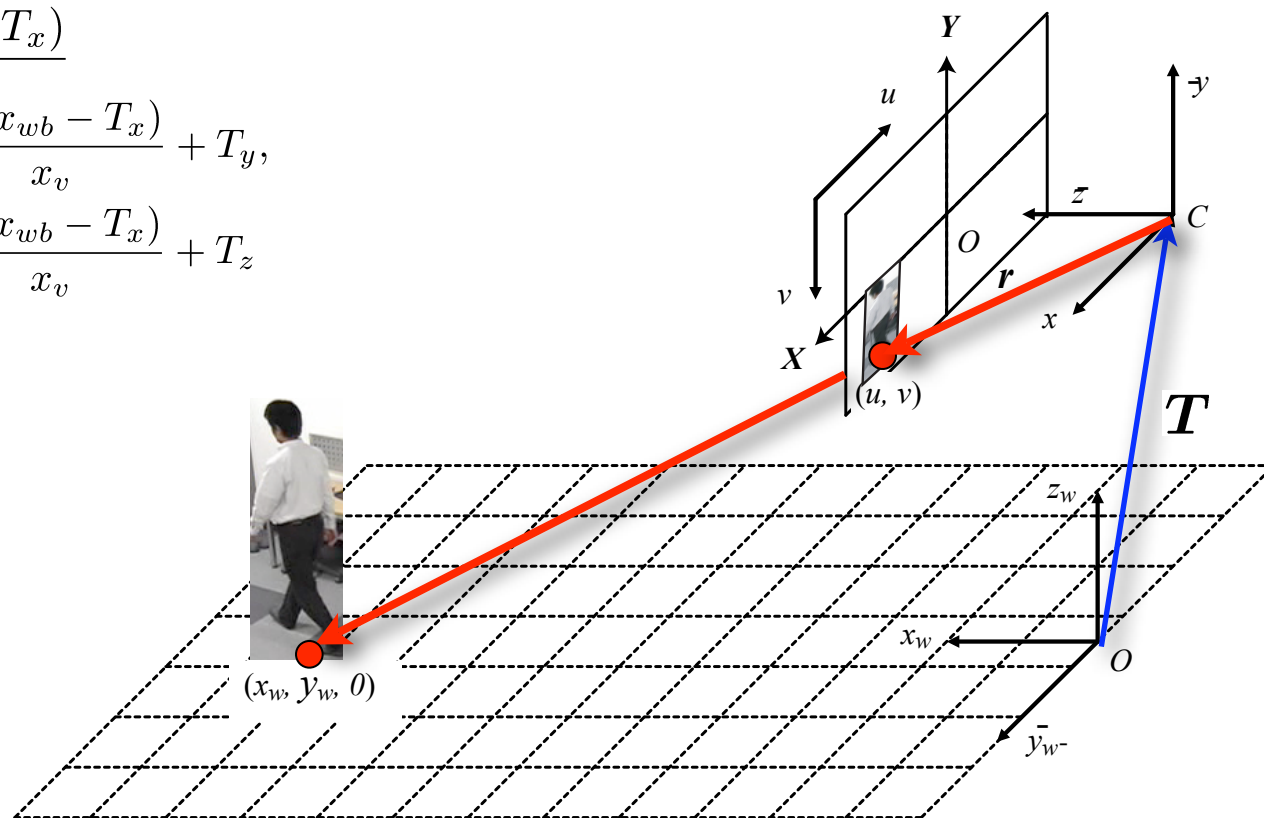




# 対象物の高さ計測:

- カメラパラメータを用いた光線交差法を応用
  - 床面上の位置情報を基に作成した垂直平面を対象とした光線交差を求める

$$\beta = \frac{(x_{wb} - T_x)}{x_v}$$
$$y_{wt} = \frac{x_v y_v (x_{wb} - T_x)}{x_v} + T_y,$$
$$z_{wt} = \frac{z_v (x_{wb} - T_x)}{x_v} + T_z$$

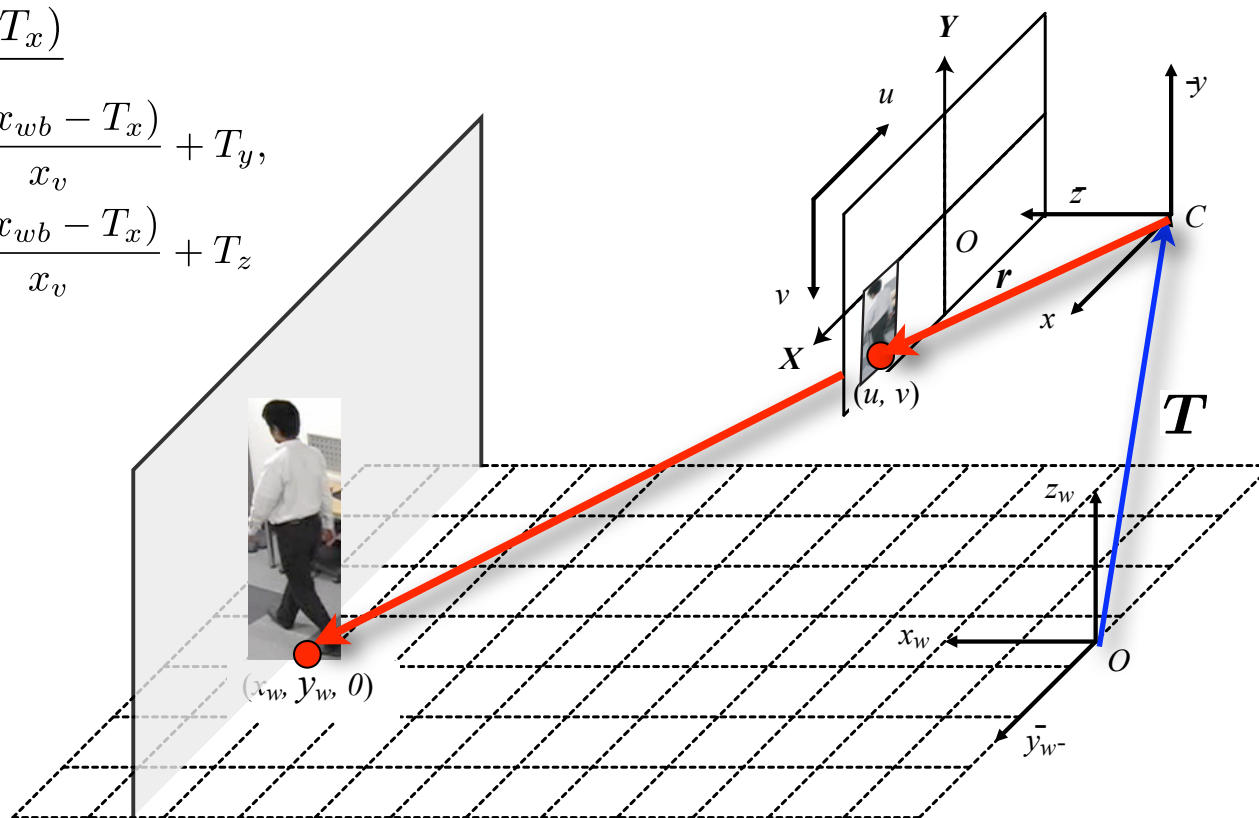


# 対象物の高さ計測:

- VSAM
- Object Detection
- Segmentation
- Object Tracking
- Mapping
- Feature Extraction
- Object Classification

- カメラパラメータを用いた光線交差法を応用
  - 床面上の位置情報を基に作成した垂直平面を対象とした光線交差を求める

$$\beta = \frac{(x_{wb} - T_x)}{x_v}$$
$$y_{wt} = \frac{x_v y_v (x_{wb} - T_x)}{x_v} + T_y,$$
$$z_{wt} = \frac{z_v (x_{wb} - T_x)}{x_v} + T_z$$



# 対象物の高さ計測:

VSAM

Object Detection

Segmentation

Object Tracking

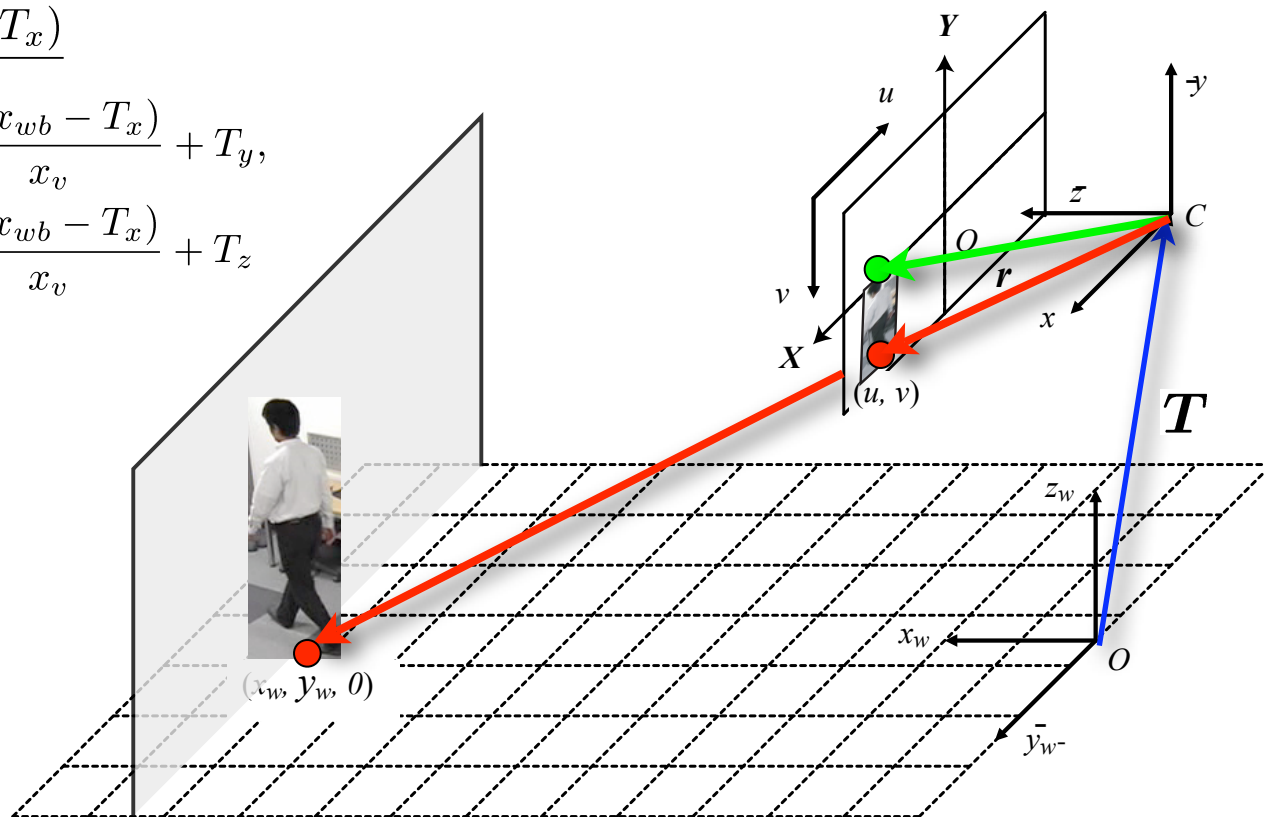
Mapping

Feature Extraction

Object Classification

- カメラパラメータを用いた光線交差法を応用
  - 床面上の位置情報を基に作成した垂直平面を対象とした光線交差を求める

$$\beta = \frac{(x_{wb} - T_x)}{x_v}$$
$$y_{wt} = \frac{x_v y_v (x_{wb} - T_x)}{x_v} + T_y,$$
$$z_{wt} = \frac{z_v (x_{wb} - T_x)}{x_v} + T_z$$



# 対象物の高さ計測:

VSAM

Object Detection

Segmentation

Object Tracking

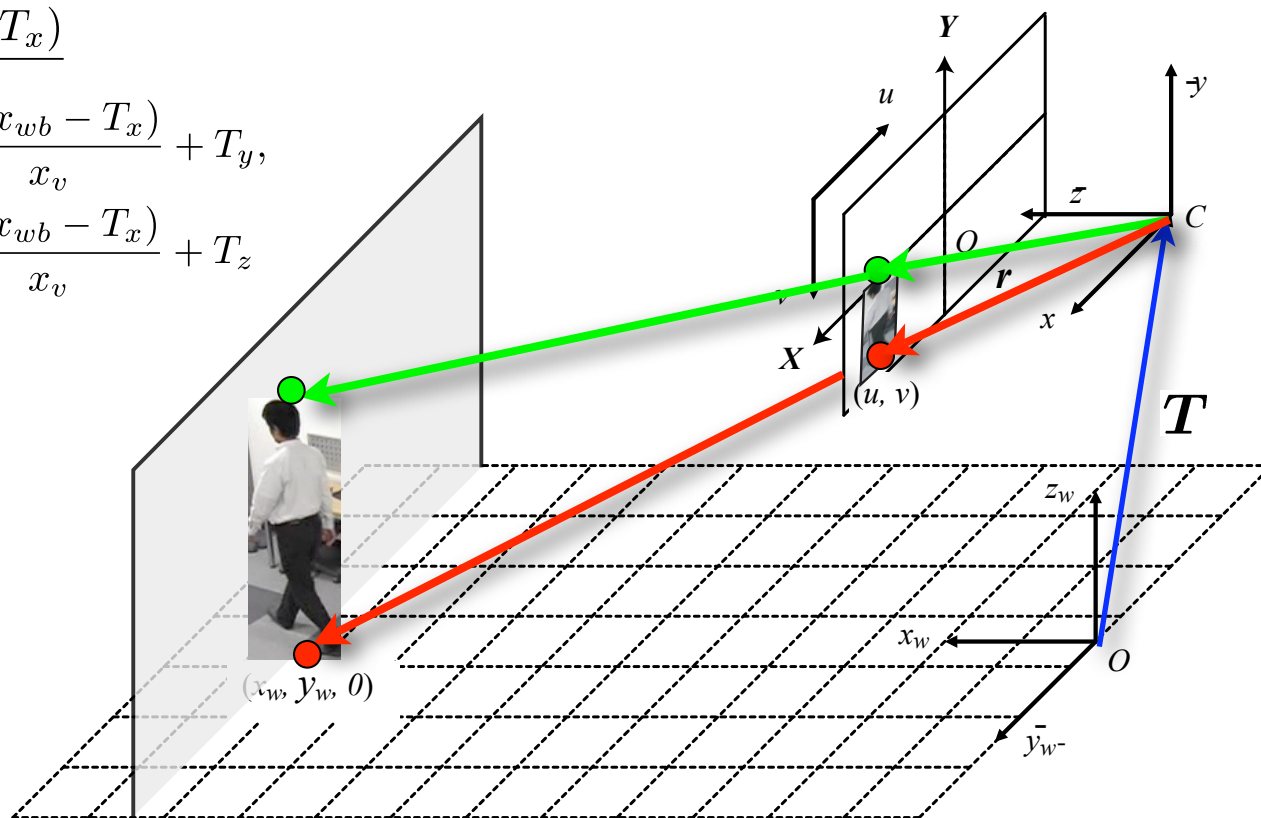
Mapping

Feature Extraction

Object Classification

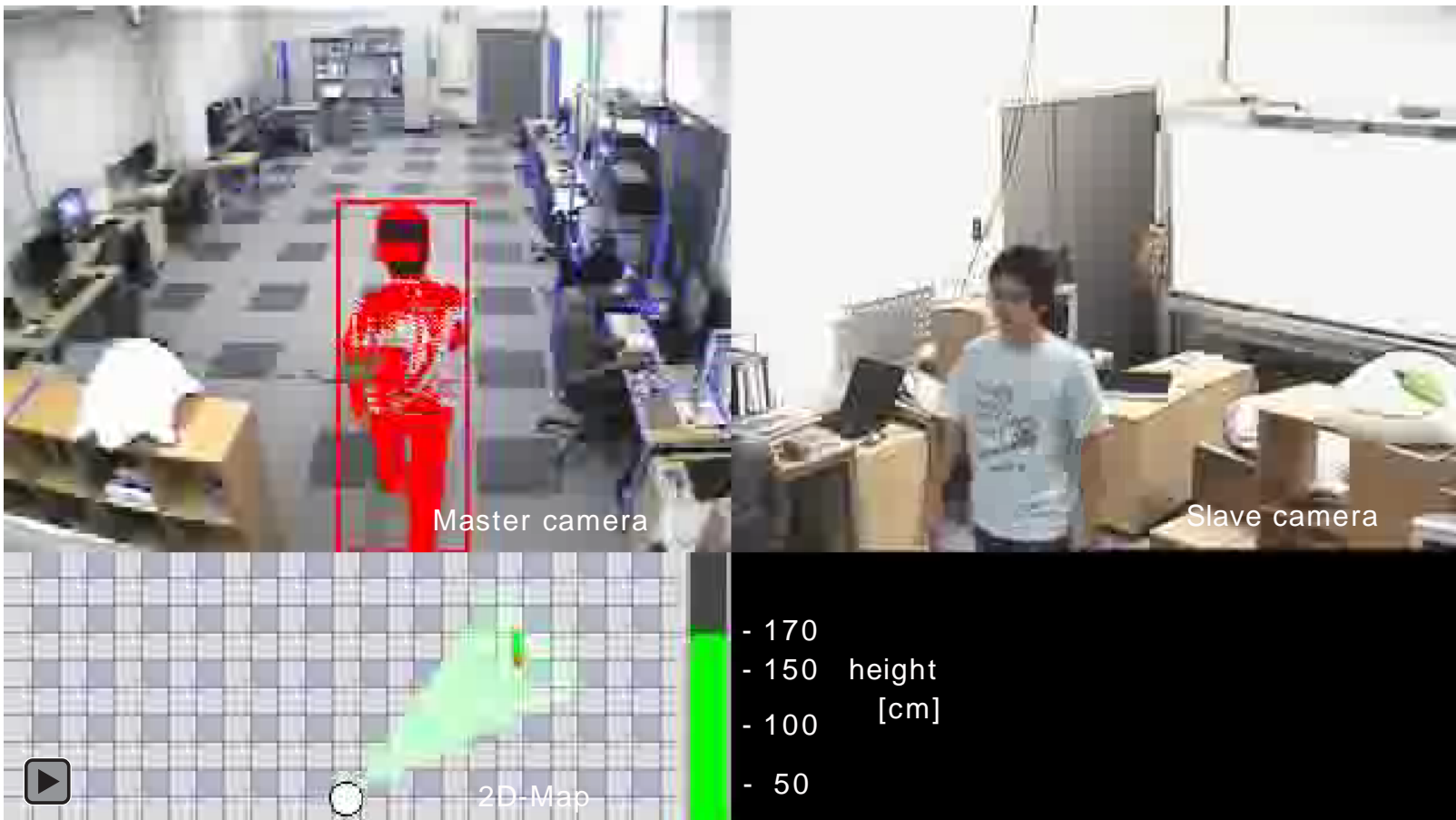
- ・ カメラパラメータを用いた光線交差法を応用
  - 床面上の位置情報を基に作成した垂直平面を対象とした光線交差を求める

$$\beta = \frac{(x_{wb} - T_x)}{x_v}$$
$$y_{wt} = \frac{x_v y_v (x_{wb} - T_x)}{x_v} + T_y,$$
$$z_{wt} = \frac{z_v (x_{wb} - T_x)}{x_v} + T_z$$



# 高さ情報を用いたマスタースレーブ:

- VSAM
- Object Detection
- Segmentation
- Object Tracking
- Mapping
- Feature Extraction
- Object Classification



高さを考慮したMaster-Slaving

# 高さ情報を用いたマスタースレーブ:

VSAM

Object  
Detection

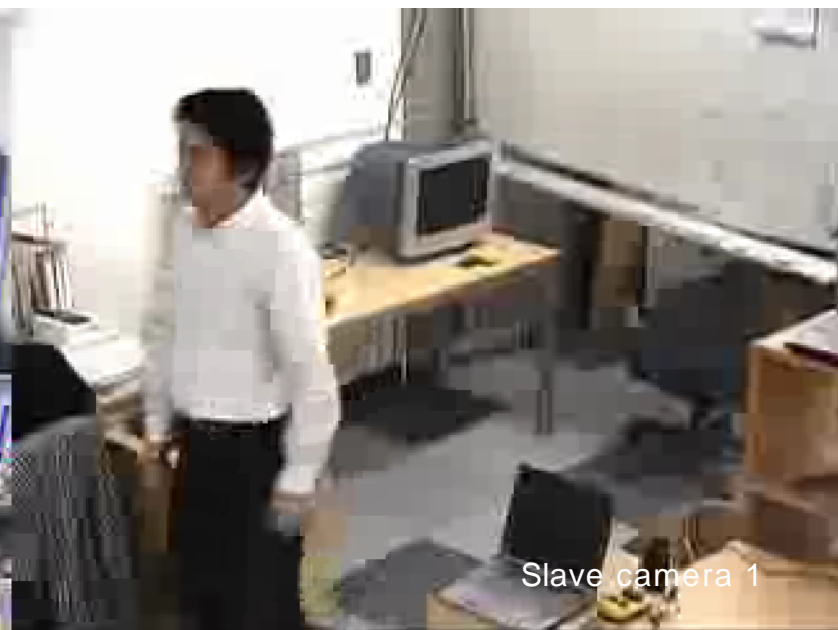
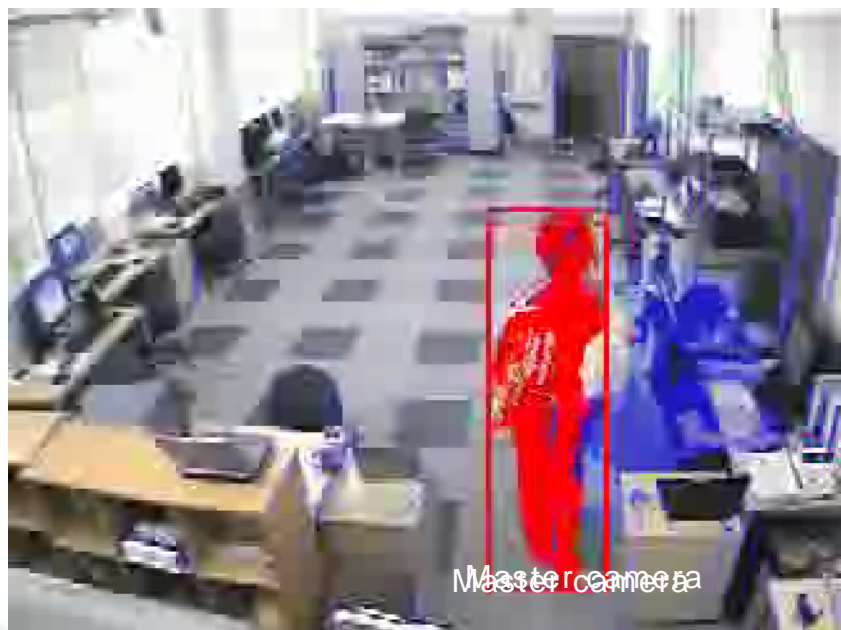
Segmentation

Object  
Tracking

Mapping

Feature  
Extraction

Object  
Classification



# 画像から実空間へのマッピングのまとめ:

VSAM

- ・ 画像座標の実空間へのマッピング

Object  
Detection

- 平面射影変換
- カメラパラメータを用いた光線交差法

Segmentation

- ・ レンズ歪みを考慮

Object  
Tracking

- ・ 高さ情報の取得が可能

→マルチカメラによる高さを考慮したマスタースレーブ動作

Mapping

Feature  
Extraction

Object  
Classification