基礎輪講3週目

座標系変換の話

斎藤英雄研究室

中山　祐介

座標系変換

ある座標系を別の座標系で表現

$$\underbrace{\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}}_{\text{変換後の座標}} = \underbrace{\begin{pmatrix} a & b \\ d & e \end{pmatrix}}_{\text{回転・拡大縮小}} \underbrace{\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}}_{\text{変換前の座標}} + \underbrace{\begin{pmatrix} c \\ f \end{pmatrix}}_{\text{平行移動}}$$

- 2D-2Dの座標系変換（H-Matrix）
- 2D-3Dの座標系変換（P-Matrix）
- 2D-3D-2Dの座標系変換（F-Matrix）

要するに
変換行列の計算です！

斉次座標

n次元の座標に1次元追加すること.

→行列変換の計算を積だけで表現できる.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ d & e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ f \end{pmatrix}$$

斉次座標なし

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

斉次座標あり

～（同値記号）: 定数倍の違いを許して等しいこと

2D-2Dの座標系変換

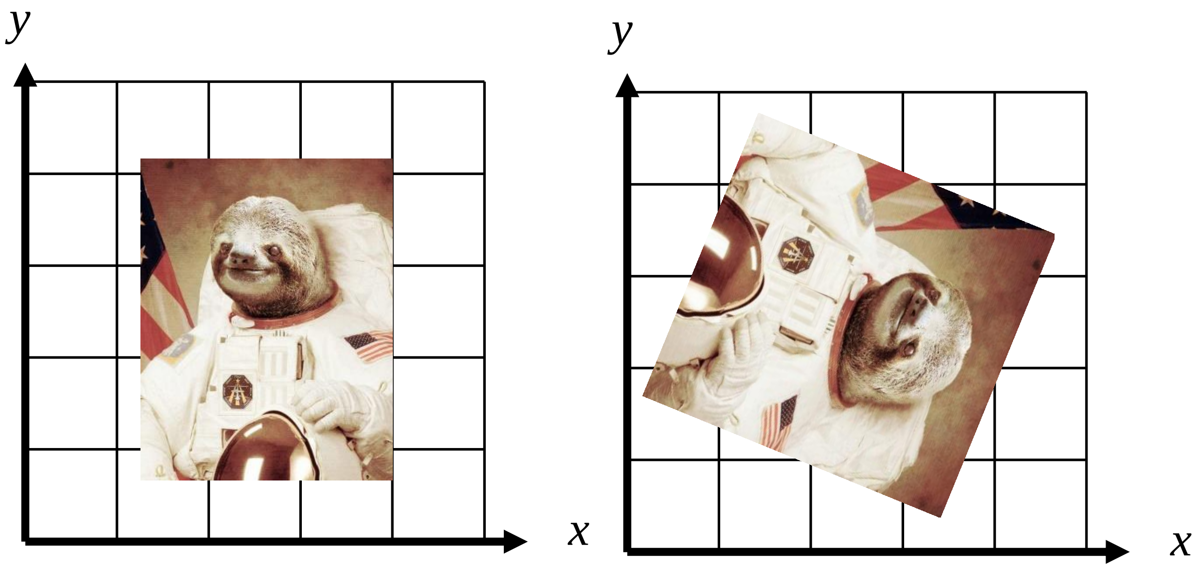
画像の位置や形を変化させる幾何学的変換

線形変換
- 拡大・縮小
- 回転　etc…

平行移動

アフィン変換

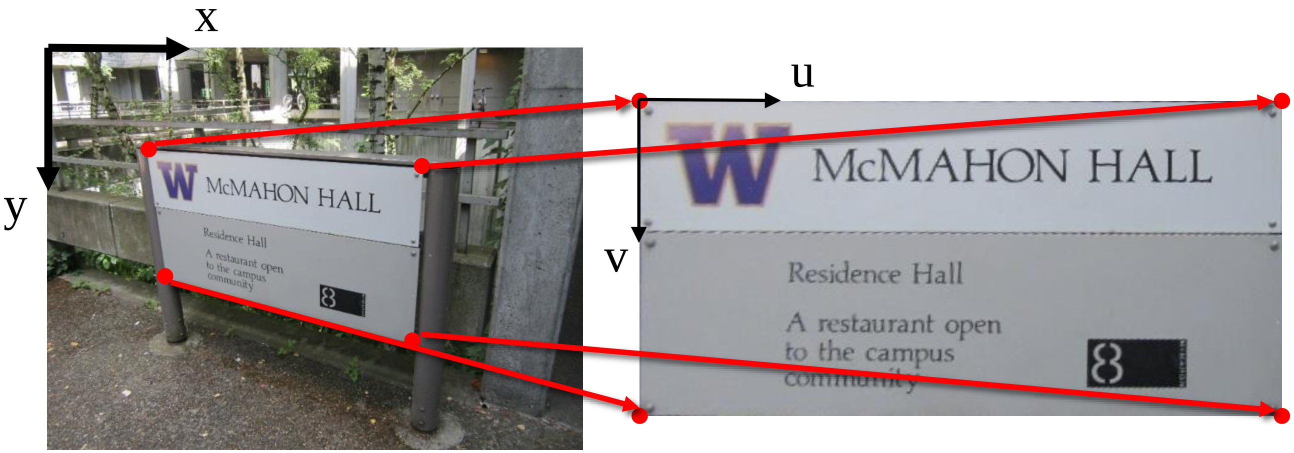
射影変換



幾何学的変換の例

Homography Matrix (H-Matrix)

2Dから2Dへの平面射影変換



平面射影変換の例

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \sim \boldsymbol{H} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

射影変換行列（Homography Matrix）の式

応用例：イメージモザイキング・DR

イメージモザイキング

複数の画像から1枚の広視野画像を作成

基準画像

別視点画像

合成した広視野画像

課題1：幾何学的変換

実装

- イメージモザイキング

発表

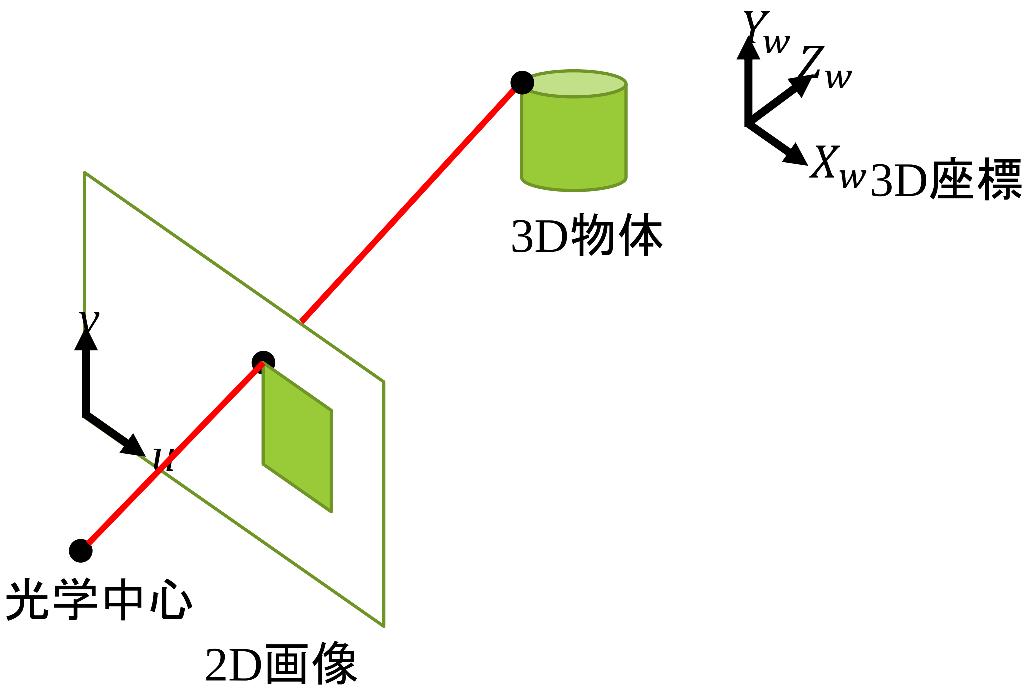
- 線形変換
- 斉次座標
- 補間
- アフィン変換
- 射影変換
- イメージモザイキングの理論　etc…

理論を調べて考察

発表の流れを意識して！

2D-3Dの座標系変換

2D画像と3D空間には対応関係（P-Matrix）が存在



$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \sim \boldsymbol{P} \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix}$$

P-Matrixによる
2Dと3Dの対応関係の式

Perspective Projection Matrix (P-Matrix)

3D空間と2D画像の対応関係を表す透視投影行列

研究ではP-Matrixをどのように求めるかが重要

→P-Matrixを求めることをカメラキャリブレーションという.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \sim \underbrace{A(I|0)\begin{pmatrix} R & t \\ 0^{\mathrm{T}} & 1 \end{pmatrix}}_{\boldsymbol{P}} \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix}$$

利用例 : AR

P-MatrixによるAR表示

P-Matrix

→3Dと2Dの対応関係がわかる.

→仮想の3D物体を2D画像上に表示させることが可能

→ARができる！

ARの表示例

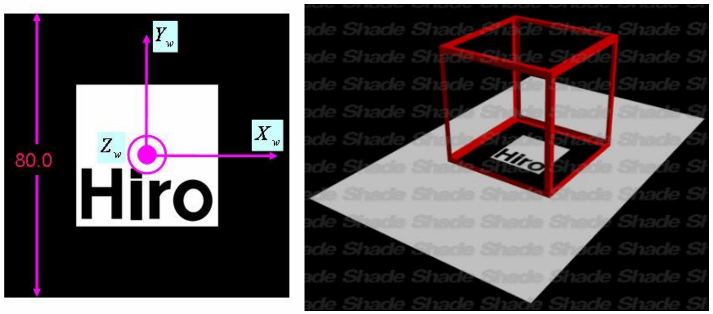
課題2:
画像と空間の関係（1/2）

実装

- 既知のP-Matrix（の要素）を用いて，画像のマーカの上に一辺80の立方体を描画する.

$$\boldsymbol{A}=\begin{pmatrix}380.8079 & 0.0 & 165.0\\ 0.0 & -422.44276 & 142.0\\ 0.0 & 0.0 & 1.0\end{pmatrix}\quad \boldsymbol{R}=\begin{pmatrix}-0.999570 & -0.010079 & 0.027543\\ 0.020762 & 0.420135 & 0.907224\\ -0.020715 & 0.907406 & -0.419745\end{pmatrix}\quad \boldsymbol{t}=\begin{pmatrix}-3.517020\\ -14.776317\\ 296.088277\end{pmatrix}$$

P-Matrixの要素（A,R,tが何なのかは自分で調べること！）



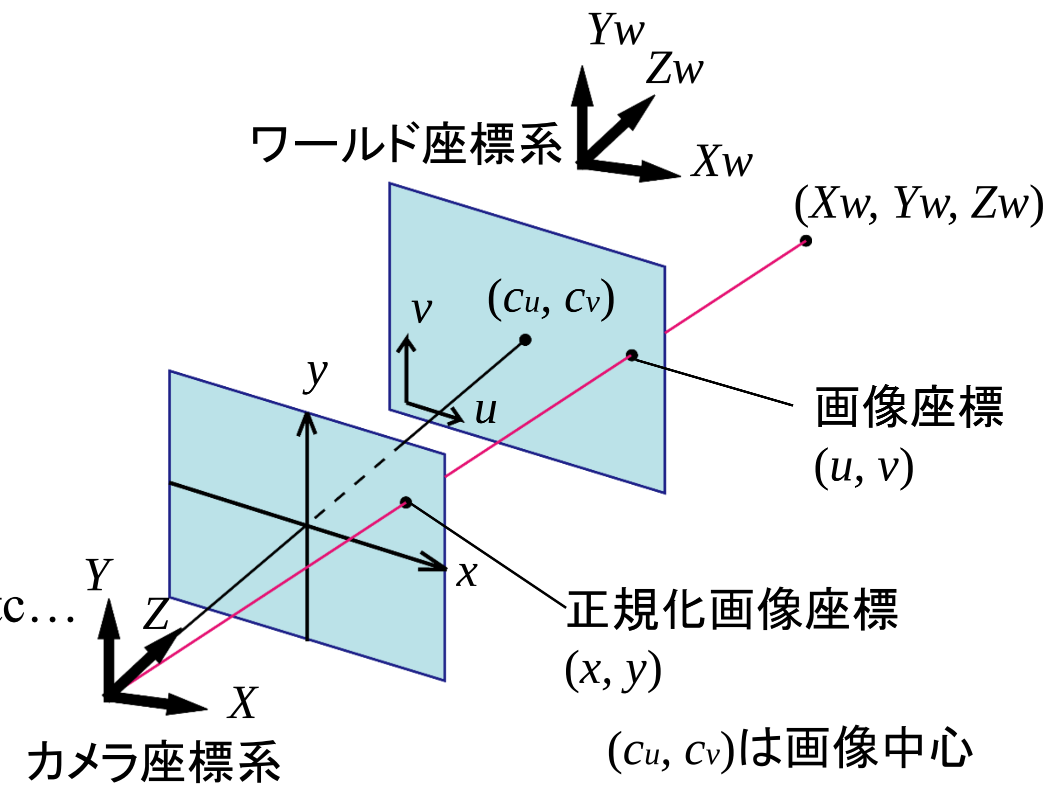
3D座標とマーカの関係

マーカ画像

仮想物体のAR表示

課題2：
画像と空間の関係(2/2)

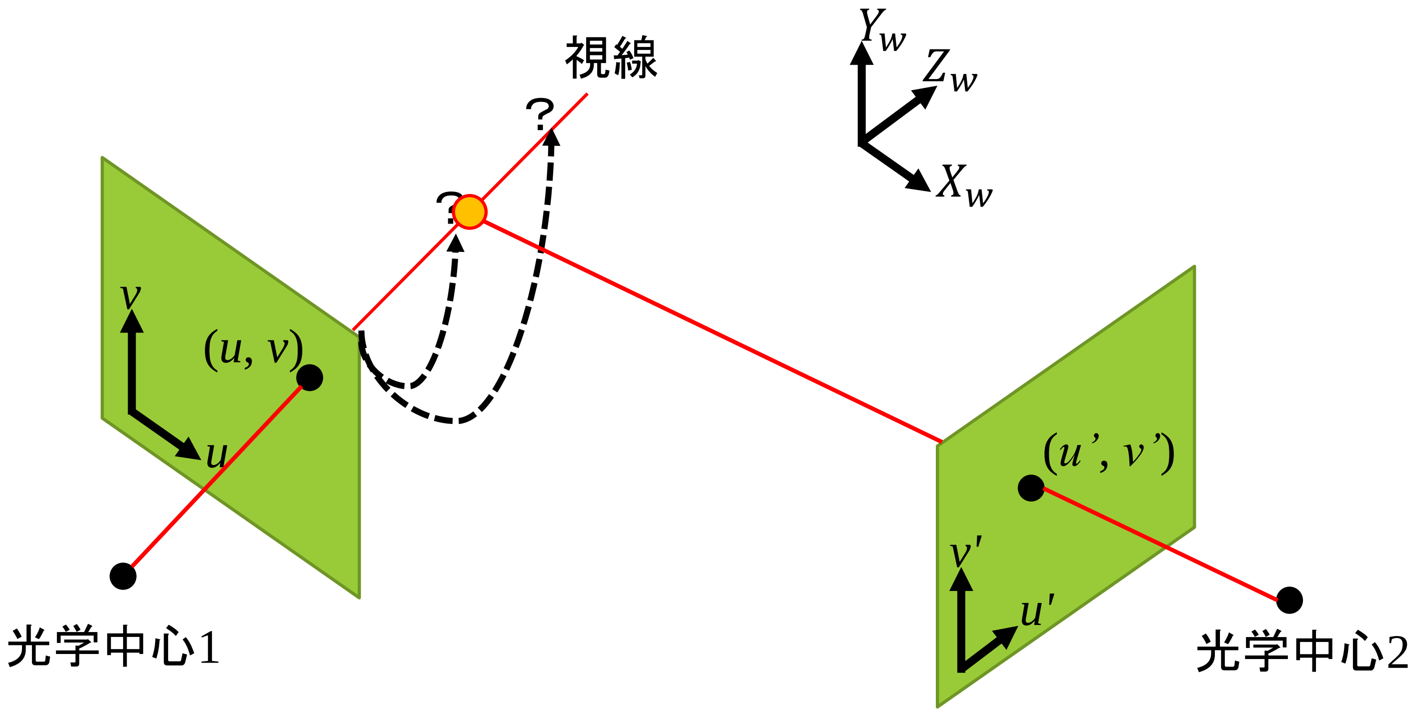
発表
- 世界座標系
- カメラ座標系
- 正規化画像座標
- 画像座標
- 外部パラメータ
- 内部パラメータ
- 透視投影行列
- カメラキャリブレーション　etc…



透視投影モデル

2D-3D-2Dの座標系変換

複数の画像から空間の位置情報を推定

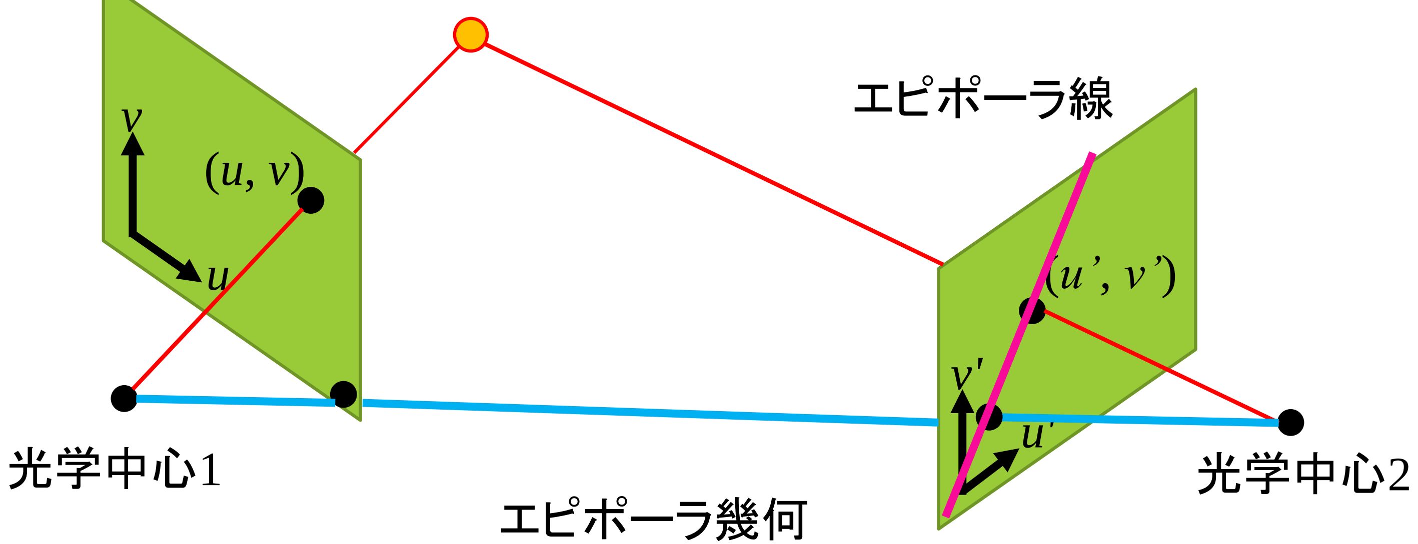


画像上の投影点間には拘束条件が存在

Fundamental Matrix (F-Matrix)

2画像の投影点間の拘束条件を表す.

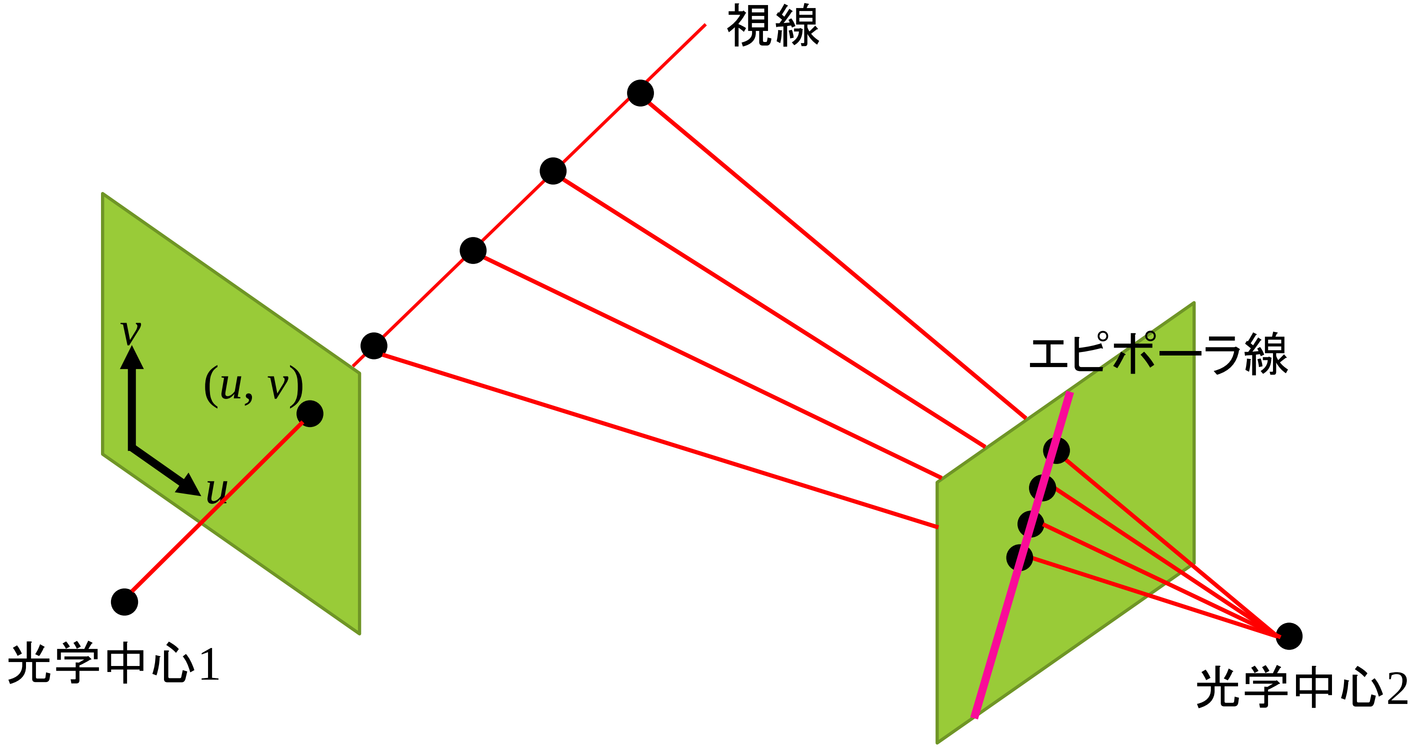
$$(u' \quad v' \quad 1)\boldsymbol{F}\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = 0$$



利用例：何のために必要なの？？？

エピポーラ線

空間点の投影点を探索する際，拘束条件が存在

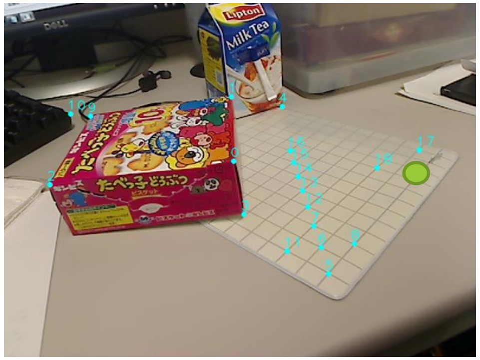


これが何のためにあるの？F-Matrixとの関係は？

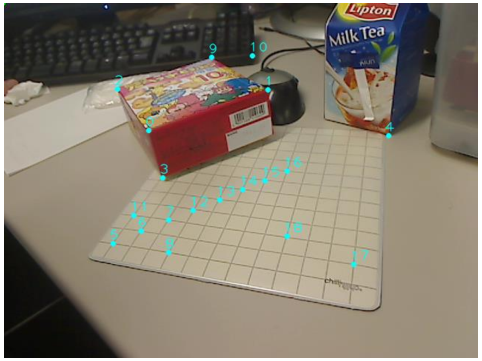
課題3:エピポーラ幾何

実装
- エピポーラ線の出力

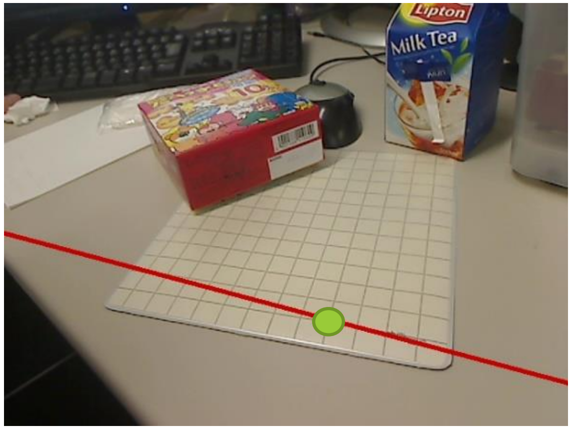
発表
- エピポーラ幾何
- エピポーラ線
- 基本行列
- 基礎行列
- エピポーラ拘束
- ステレオマッチング
- モーション推定　etc…



対応点1画像



対応点2画像



エピポーラ線出力結果

発展課題:
ARToolKitの仕組み

もし，実装も発表の準備も完璧になって暇なときは，

ARToolKitの仕組みについて調べてみてください．

ARToolKitの論文:

Hirokazu Kato and Mark Billinghurst. Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality. 1999.