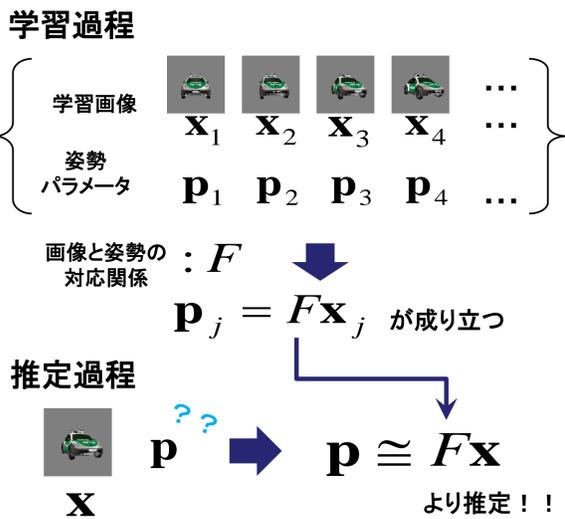


# 線形的な3自由度姿勢推定のための 姿勢表現の性質の実験的評価

原田健吾† 玉木徹† Bisser Raytchev†  
金田和文† 天野敏之†

†広島大学大学院 ‡奈良先端科学技術大学院大学

## 見えに基づく姿勢推定



**研究目的**

姿勢表現の性質の有無による推定値に与える影響の実験的評価

## 線形的な手法の性質と姿勢表現の性質

学習は学習画像の線形和

$$\mathbf{x} = \sum b_j \mathbf{x}_j$$



姿勢も学習姿勢の線形和

$$\mathbf{p} \cong F\mathbf{x} = \sum b_j F\mathbf{x}_j = \sum b_j \mathbf{p}_j$$

姿勢表現には **一対一**が必要

$$\mathbf{p}_1 \neq \mathbf{p}_2$$

$$\mathbf{p}_1 = F\mathbf{x}$$

$$\mathbf{p}_2 = F\mathbf{x}$$

となるFは存在しない!!

姿勢表現には **連続性**が必要



$$180^\circ \cong \dots + b_{k+1} \cdot 340^\circ + b_{k+2} \cdot 350^\circ + b_{k+3} \cdot 10^\circ + b_{k+4} \cdot 20^\circ + \dots$$

角度  $\theta=360^\circ$  付近で不連続



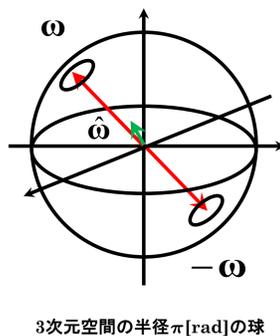
$$\begin{cases} \sin 0^\circ \cong \dots + b_{k+1} \sin 340^\circ + b_{k+2} \sin 350^\circ + b_{k+3} \sin 10^\circ + b_{k+4} \sin 20^\circ + \dots \\ \cos 0^\circ \cong \dots + b_{k+1} \cos 340^\circ + b_{k+2} \cos 350^\circ + b_{k+3} \cos 10^\circ + b_{k+4} \cos 20^\circ + \dots \end{cases}$$

角度  $\theta=360^\circ$  付近でも連続!!

## 姿勢表現と一対一・連続性

姿勢表現	ZYX-オイラー角	単位四元数	指数マップ	回転行列
姿勢パラメータ	$[\theta_x, \theta_y, \theta_z]$ $(-\pi \leq \theta_{x,y,z} < \pi)$	$\mathbf{q} = [q_0, q_1, q_2, q_3]$	$\omega = [\omega_1, \omega_2, \omega_3]$ $(0 \leq \ \omega\  \leq \pi)$	$[r_{11}, r_{12}, \dots, r_{33}]$
一対一	✗	✗	✗	◎
連続性	✗	◎	✗	◎

### 指数マップでの問題点

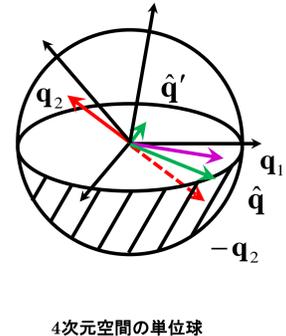


・指数マップは半径  $\pi$  [rad] の球内部に存在

・球面上の原点对称な点 ( $\omega = \pi$  [rad]) は同じ回転姿勢を表す

回転量が  $\pi$  [rad] 辺りの姿勢は誤推定される可能性がある

### 単位四元数での問題点



・単位四元数は4次元の単位球面上に存在

・一対一を満たすためには、単位四元数の1つの成分の符号を揃えればよい

単位球の縁辺りの姿勢は誤推定される可能性がある

## 実験・評価方法

### 手順

- 学習過程において次式を満たす線形写像  $F$  を求める。学習画像枚数を2500枚とする。

$$\mathbf{p}_j = F\mathbf{x}_j$$

- 姿勢が未知の画像  $\mathbf{x}$  に対して次式より推定値を求める。

$$\hat{\mathbf{p}} = F\mathbf{x}$$

- 得られた推定値を正規化する。

- 単位四元数はノルムを1にする
- 回転行列は特異値分解を用いて直交行列に変換する
- ZYX-オイラー角、指数マップは正規化する必要なし

- 正規化した推定値をそれぞれ回転行列に変換する。

- 推定値と真値との誤差を次式で定義する。

$$R_e = R_r \tilde{R}^{-1}$$

- 得られた誤差の回転量を求める。

$$\theta_e = \cos^{-1} \left( \frac{\text{trace}(R_e) - 1}{2} \right)$$

- 推定画像枚数を100枚とし、誤差の回転量の平均を求める。

### 実験①②

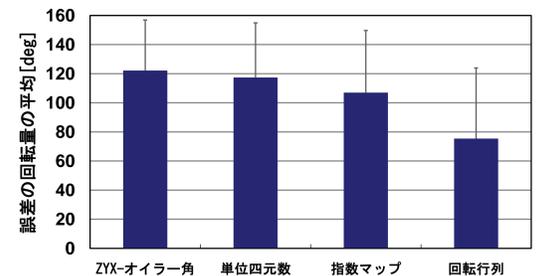
- 使用する画像は2種類(3自由度でランダムに回転した画像、ZYX-オイラー角・指数マップでは不連続となる画像)あり、それぞれを用いて実験を行う。

- 学習画像枚数を100~4000枚まで変化して同様の実験を行う。

## 画像作成方法と実験結果①

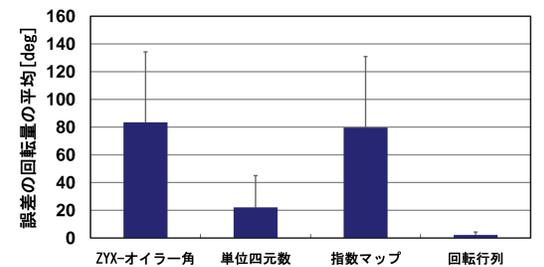
### 画像 I -3自由度でランダムに回転した画像-

- 球面乱数を利用し、ランダムな4次元ベクトルを作成する。
- 作成した4次元ベクトルを単位四元数の4変数とみなし、回転行列に変換する。
- この回転行列により画像を作成する。



### 画像 II -不連続となる画像-

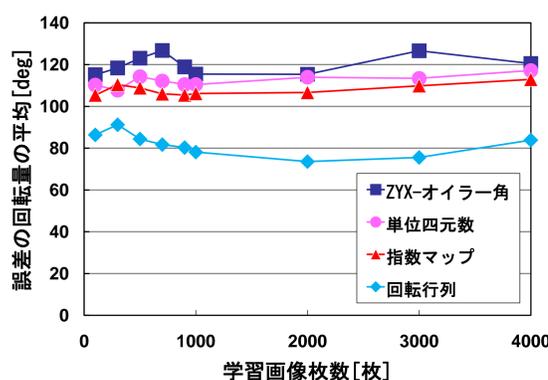
- Z軸回りに180度回転させる。
- 球面乱数で作成した3次元ベクトルを回転軸とし、回転量を0~30度の範囲で一様乱数とした回転を作る。
- 2つの回転を合成した回転行列を用いて画像を作成する。



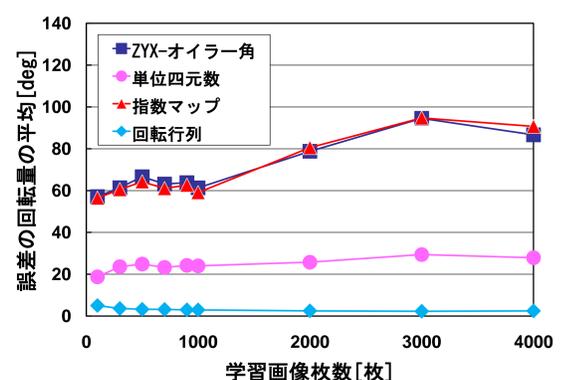
性質を満たす回転行列が最も誤差が小さい!!

## 学習画像枚数変化による誤差の変化②

### 画像 I -3自由度でランダムに回転した画像-



### 画像 II -不連続となる画像-



画像枚数が増えれば回転行列が最も誤差が小さい!!