IS4-2

球関数による姿勢表現と姿勢推定

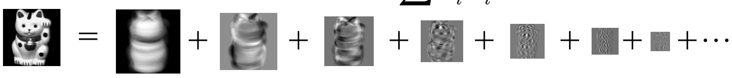
見えに基づく姿勢推定のための姿勢表現について

MIRU 2008
Meeting on Image Recognition and Understanding, 2008
第11回 画像の認識・理解シンポジウム
日程：2008年7月29日[火]～7月31日[水] 会場：軽井沢プリンスホテル

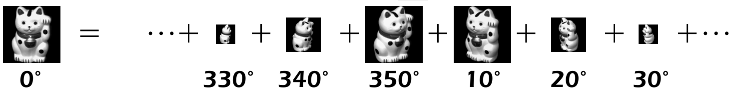
玉木徹 広島大学
天野敏之 NAIST
金田和文 広島大学

姿勢表現に必要な条件：1自由度の例

テスト画像は固有画像の線形和 $\boldsymbol{x}=\sum c_i \boldsymbol{e}_i$



テスト画像は学習画像の線形和 $\boldsymbol{x}=\sum b_i \boldsymbol{x}_i$



学習方法：$\boldsymbol{p}_i = F\boldsymbol{x}_i$　線形回帰　EbC　CCA　多様体学習

表現の**連続性**が必須！

$$\boldsymbol{p}=F\boldsymbol{x}=\sum b_i F\boldsymbol{x}_i=\sum b_i \boldsymbol{p}_i$$

姿勢推定値は学習画像の姿勢の線形和

姿勢表現	学習
角度	$10=F\boldsymbol{x}_{10},\dots$
sin,cos	$\begin{pmatrix}\sin(10^\circ)\\ \cos(10^\circ)\end{pmatrix}=F\boldsymbol{x}_{10},\dots$

×　180°　≃　…＋ 330° ＋ 340° ＋ 350° ＋ 10° ＋ 20° ＋ 30° ＋…
姿勢表現に適さない：360°において不連続

○　sin(0°) ≃ …＋ sin(330°) ＋sin(340°)＋sin(350°)＋sin(10°)＋sin(20°)＋sin(30°)＋…
cos(0°) ≃ …＋ cos(330°) ＋cos(340°)＋cos(350°)＋cos(10°)＋cos(20°)＋cos(30°)＋…
姿勢表現に適している：すべてにおいて連続

表現は画像と**一対一**であることが必須！

$\boldsymbol{p}_1 \neq \boldsymbol{p}_2$
$\boldsymbol{p}_1 = F\boldsymbol{x}_i$
$\boldsymbol{p}_2 = F\boldsymbol{x}_i$

同時に満たすことは不可能

3自由度回転の姿勢表現：比較

	固定角	オイラー角	回転軸・回転量	単位四元数	回転行列	球関数表現
連続性	×なし	×なし	×・○	○あり	○あり	○あり
一対一	×なし	×なし	×なし	×なし	○あり	○あり
高周波表現	×なし	×なし	×なし	×なし	×なし	○あり
	ジンバルロックが存在		回転量を角度で表すと×(sin,cos)で表すと○	qと-qが同じ姿勢を表す		提案手法

3自由度回転の姿勢推定に適した姿勢の表現は回転行列もしくは球関数表現

ある姿勢の画像をSO(3)上の関数として直交展開する応用へ

$$\boldsymbol{x}=\sum c_{l_1 l_2 l_3} Y_{l_1 l_2 l_3}(\theta_1', \theta_2', \theta_3')$$

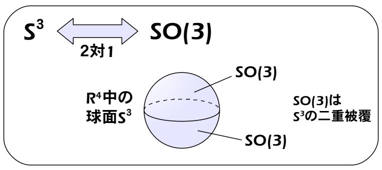
SO(3)上の球関数を用いた姿勢表現

$$\underbrace{Y_{l_1 l_2 l_3}(\theta_1,\theta_2,\theta_3)}_{S^3\text{上の点の極座標}}=\sqrt{b_{l_1 l_2 l_3}}\,\underbrace{C_{l_1}^{1,l_2}(\cos\theta_1)}_{\text{Gegenbauer倍関数}}\,\underbrace{P_{l_2}^{l_3}(\cos\theta_2)}_{\text{Legendre倍関数}}\,\underbrace{e^{-l_3\theta_3 i}}_{\text{単位円上の複素数}}$$

$l_1 \in 2\mathbb{Z}$　$0 \le \theta_1 \le \frac{\pi}{2}$
$l_2, l_3 \in \mathbb{Z}$　$0 \le \theta_2 \le \pi$
$l_1 \ge l_2 \ge |l_3|$　$0 \le \theta_3 \le 2\pi$

球関数：S^n上の正規直交基底関数系
n=1：複素フーリエ基底
n=2：球面調和関数
n=3：S^3上の球関数

S^3上の球関数のうち偶関数：SO(3)上の球関数



最低周波数($2l_1=2$)

$Y_{2,0,0}$
$Y_{2,1,0}, Y_{2,1,\pm1}$
$Y_{2,2,0}, Y_{2,2,\pm1}$
$Y_{2,2,\pm2}$

実数化 係数省略

1対1

単位四元数
q_1, q_2, q_3, q_4

2対1

2対1

$$R=\begin{pmatrix} q_1^2+q_2^2-q_3^2-q_4^2 & 2q_2q_3-2q_1q_4 & 2q_2q_4+2q_1q_3 \\ 2q_2q_3+2q_1q_4 & q_1^2-q_2^2+q_3^2-q_4^2 & 2q_3q_4-2q_1q_2 \\ 2q_2q_4-2q_1q_3 & 2q_3q_4+2q_1q_2 & q_1^2-q_2^2-q_3^2+q_4^2 \end{pmatrix}$$

球関数表現
Y_0, Y_1, Y_2, Y_3
Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8

1対1

回転行列

$$R=\begin{pmatrix} \frac{Y_0+2Y_4}{3} & 2Y_5-2Y_3 & 2Y_6+2Y_2 \\ 2Y_5+2Y_3 & \frac{Y_0-Y_4+3Y_7}{3} & 2Y_8-2Y_1 \\ 2Y_6-2Y_2 & 2Y_8+2Y_1 & \frac{Y_0-Y_4-3Y_7}{3} \end{pmatrix}$$

高周波数($2l_1>2$)は？
・$R^2, R^3, \dots$に対応
・多対1

SO(3)上の球関数の応用例

・回転行列の関数f(R)の解析
$f(R)=|x'-(Rx+t)|^2$

・回転行列の画像x(R)の展開
$x(R)=\sum c\,Y(R)$