K1　固有空間を用いた隠れた部位の動作推定

針金　毅†　　玉木　徹††　　山本 正信††

†新潟大学大学院自然科学研究科　　††新潟大学工学部

1．はじめに

単眼視において動作を取得する場合、追跡対象の隠れの問題が発生する。隠れの起きた部位があると正確な動作追跡が困難になるため、調整や補完作業が必要となってしまう。また追跡する人物の全身が観測できる場面はあまり多くない。例えば一部が物陰に隠れたり、画面外に出るといった場合がある。

本研究では、一般のビデオなどの単眼視画像から3次元的に動作を取得する過程で生じうる隠れの問題を、姿勢パラメータ間に従属性を見出し、独立なパラメータの数を減少させることにより解決する手法を提案する。

2．時空間勾配法について

時空間勾配法[1]とは運動パラメータを推定するための手法である。

カメラで観測された部位上の点を $\mathbf{P}_c = (x,y,z)^T$ と置く。この点が投影面上の位置 $\mathbf{P} = (X,Y)^T$ に透視変換で投影されたとすると

$$X = f\frac{x}{z} \quad Y = f\frac{y}{z}$$

同様に、移動先の点 $\mathbf{P}'_c = (x',y',z')^T$ も、投影面上の点 (X',Y') に透視変換上で投影されたとする。両者の関係は

$$X' = f\frac{x'}{z'} \quad Y' = f\frac{y'}{z'}$$

このとき部位上の点の変位

$\Delta\mathbf{P}_c = (x',y',z')^T - (x,y,z)^T$ と、その投影面上の変位 $\Delta\mathbf{P} = (X',Y')^T - (X,Y)^T$ との関係は

$$\Delta\mathbf{P} = \frac{1}{z}\begin{pmatrix} f & 0 & -X \\ 0 & f & -Y \end{pmatrix}\Delta\mathbf{P}_c$$

となる。$\Delta\widetilde{\mathbf{P}}'_c = \widetilde{\mathbf{P}}'_c - \widetilde{\mathbf{P}}_c$ と $\Delta\mathbf{P}_c$ との関係は

$$\Delta\mathbf{P}_c = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}\Delta\widetilde{\mathbf{P}}'_c$$

であるから

$$\Delta\mathbf{P} = \frac{1}{z}\begin{pmatrix} f & 0 & -X & 0 \\ 0 & f & -Y & 0 \end{pmatrix}\Delta\widetilde{\mathbf{P}}'_c$$

となる。ここで

$$P_f = \begin{pmatrix} f & 0 & -X & 0 \\ 0 & f & -Y & 0 \end{pmatrix}$$

とおき、$\Delta\widetilde{\mathbf{P}}'_c$ をヤコビ行列を使って表せば

$$\Delta\mathbf{P} = \frac{1}{z}P_f J\mathbf{x}$$

となる。

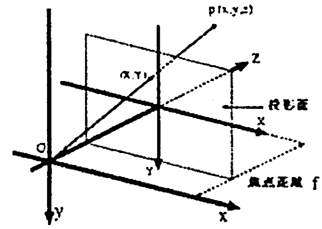

図 1: シーン座標系、カメラ座標系

時刻 t における投影面上の点 (X,Y) の濃度値を $E(X,Y,t)$ とする。投影面上の移動ベクトル $\Delta\mathbf{P}$ は動画像の空間勾配 (E_X,E_Y) と時間勾配に束縛される。すなわち、

$$\nabla E\Delta\mathbf{P} + E_t = 0$$

$\Delta\mathbf{P}$ のヤコビ表現をこの式に代入すれば

$$\frac{1}{z}\nabla E p_f J\mathbf{x} + E_t = 0$$

この方程式は運動パラメータを未知数とする線型方程式となる。身体像の特徴点からそれぞれこの方程式を導けば線形連立方程式が得られる。すなわち、

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{z_1}\nabla E_1 p_{f1} J_1 \\ \vdots \\ \frac{1}{z_n}\nabla E_n p_{fn} J_n \end{pmatrix}\mathbf{X} = \begin{pmatrix} -E_{t1} \\ \vdots \\ -E_{tn} \end{pmatrix}$$

この線形連立方程式は一般に未知数の数よりも、方程式の数が多い。そしてノイズによりすべての式を満たす解は存在しないが、最小2乗解は得ることができる。

係数行列の転置行列を左からかけることにより、正規方程式 $A\mathbf{x} = \mathbf{b}$ が得られ、これより運動パラメータの最小2乗解が得られる。

3．固有空間法について

部位が隠された場合、その部位の動きを決定するための推定式が存在しない。もし運動パラメータのすべてが独立でなく、互いに依存し合っているとすれば、正規方程式 $A\mathbf{x} = \mathbf{b}$ のうち動きが決定可能な部位をまず決定し、パラメータの依存性を介して、隠れた部位の運動を推定することが可能となる。

この運動パラメータ間の従属性は姿勢パラメータ間の従属性から導かれる。この姿勢パラメータ間の従属関係は因子分析により見つけることができる。

実際の動作を観測することにより得られた第 i フレームにおける姿勢パラメータ列 $\mathbf{X}_i$ を $\mathbf{X}_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \cdots, x_{i,m})^T \ (i = 1,\cdots,n)$ とする。

次に各成分の平均

$$\mathbf{C} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \mathbf{x}_i$$

を引くことによりデータの正規化を図る。

そして共分散行列

$$\mathbf{Q} = \mathbf{X}\mathbf{X}^T \ (\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1 - \mathbf{c}, \cdots \mathbf{x}_N - \mathbf{c}])$$

を作る。そしてこの共分散行列の固有値 λ_j ・単位固有ベクトル $\mathbf{e}_j$ を固有方程式 $\mathbf{Q}\mathbf{e}_j = \lambda_j \mathbf{e}_j$ を解くことにより求める。

任意のフレームの姿勢データ $\mathbf{x}$ の単位固有ベクトル $\mathbf{e}_j$ への射影を a_j とすれば

$a_j = \mathbf{e}_j \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{c})$ はで表される。

この時 $\mathbf{x}$ は射影を係数とする固有ベクトルの線形和で表すことができる。

$$\mathbf{x}_i = a_1 e_1 + \cdots + a_m e_m + \mathbf{c}$$

4．隠れた姿勢の推定

第 n+1 フレームで隠れが起こり、k 個の姿勢データしか観測できず、残りの m－k 個は観測できなかったとする。

$$\begin{pmatrix} x_{n+1,1} - c_1 \\ \vdots \\ x_{n+1,k} - c_k \\ x_{n+1,k+1} - c_{k+1} \\ \vdots \\ x_{n+1,m} - c_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{1,1} & \cdots & e_{k,1} & e_{k+1,1} & \cdots & e_{m,1} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ e_{1,k} & \cdots & e_{k,k} & e_{k+1,k} & \cdots & e_{m,k} \\ e_{1,k+1} & \cdots & e_{k,k+1} & e_{k+1,k+1} & \cdots & e_{m,k+1} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ e_{1,m} & \cdots & e_{k,m} & e_{k+1,m} & \cdots & e_{m,m} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_k \\ a_{k+1} \\ \vdots \\ a_m \end{pmatrix}$$

未知である要素は、左辺の下半分 $x_{n+1,k+1} \sim x_{n+1,m}$ と、右辺の $a_1 \sim a_m$ である。最終的に求めたいのは隠れた部分の姿勢 $x_{n+1,k+1} \sim x_{n+1,m}$ である。そのためには $a_1 \sim a_m$ が既知である必要がある。

固有ベクトルは、添字が小さいほど大きな固有値に対応するという性質を持っているため、固有値の小さい方の固有ベクトルは無視しても線形和の値に大きな差はない。そこで $l(l < m)$ より大きな添字の要素を無視し、さらに m 本の方程式の中から l 本を選択すれば、

$$\begin{pmatrix} x_{n+1,1} - c_1 \\ \vdots \\ x_{n+1,l} - c_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{1,1} & \cdots & e_{l,1} \\ \vdots & & \vdots \\ e_{1,l} & \cdots & e_{l,l} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_l \end{pmatrix}$$

を得る。この連立方程式が独立であれば、$a_1 \sim a_l$ は一意に求まる。そして得られた $a_1 \sim a_l$ を隠れ部分の方程式に代入すると、以下の式で未知であった姿勢データが推定できる。

$$\begin{pmatrix} x_{n+1,k+1} - c_{k+1} \\ \vdots \\ x_{n+1,m} - c_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{1,k+1} & \cdots & e_{l,k+1} \\ \vdots & & \vdots \\ e_{1,m} & \cdots & e_{l,m} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_l \end{pmatrix}$$

5．実験

本手法を用いて、実際にマルチカメラにより撮影した動作(図2)に対して実験を行った。寄与率97%により動作の復元を行った。これは元データの97%を使って動作の復元を行うことを意味している。また使用する固有値の数は8個である。結果を図3、4に示す。誤差は固有空間から復元する段階で寄与率により近似しているためである。

図2:実際に撮影した動作の初期フレーム

図3:寄与率97%で復元した動作の初期フレーム

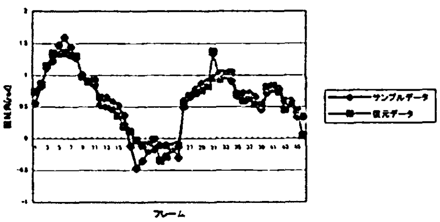

図4:左上足部x軸回転の比較

6．おわりに

実際の動作に対して固有空間法を適用し、独立なパラメータ数を減らすことにより、隠れを推定する手法を提案した。今後は意図的に隠れが起こるよう撮影した実験画像を用い、この手法についてのシミュレーションを行うことを検討している。

参考文献

[1]山本正信, 川田聡, 近藤拓也, 越川和忠：「ロボットモデルに基づく人間動作の3次元動画像追跡」, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-D-II, No.1, pp.71-83, 1996.