T7　輪郭情報と表面パターンを利用した3次元追跡*

山際 貴志 ・ 近藤 拓也 ・ 山本 正信 †
新潟大学 工学部 情報工学科‡

1　まえがき

物体の3次元モデルが与えられているとき、モデルと物体像を照合させることにより、動画像追跡が行える。その代表的な方法として、モデルの特徴である稜線と画像の特徴であるエッジを照合させる手法がLoweによって提案されている[1]。しかし、画像上には稜線の射影ばかりではなく物体面上の模様もエッジとして含まれている。そのため、両者の対応付けには人間による教示が必要とされる。このため追跡時にも、面のオクルージョンや現出が起こったとき、対応付けの再教示が必要となり追跡の自動化は困難になる。一方、われわれは、追跡開始時刻にモデルを物体に一致させ、モデルからの3次元情報を利用して画像間の照合により追跡を行ってきた[2]。この方法は、追跡時に対応付けの教示は必要としないが、モデルがノイズによって物体とずれると、ずれを修正する手立てがないため追跡に失敗するという欠点があった。本論文では、このずれの修正をLoweの方法を使って、モデルの輪郭線を物体像の輪郭線に照合させることによって行う。物体像の輪郭線は必ずモデルの稜線に相当している。輪郭線エッジは、物体が運動しているならば、背景との境界として動画像から抽出することができる。したがって、両者の対応付けに教示は必要ない。

2　輪郭情報を利用したモデルの照合

以下にＬｏｗｅの方法を利用した輪郭線フィッティングについて述べる。

図1のように、2次元画像面上に対象とする物体の輪郭線と投影された3次元モデルの輪郭線が表示されているとき、両者のずれは3次元モデルの輪郭線上の点から、物体の輪郭線への距離として測定することができる。

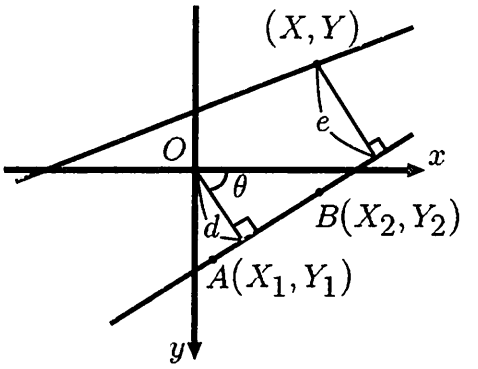

図1．物体の輪郭線と3次元モデルの輪郭線の関係

今、物体の輪郭線上の点を (X_1,Y_1)、(X_2,Y_2) とすれば、輪郭線の方程式はヘッセの標準形として、

$$X\cos\theta + Y\sin\theta = d \tag{1}$$

で与えられる。ただし、dは原点から輪郭線に下ろした垂線の長さ、θ は垂線がx軸となす角度とし、以下のように与えられる。

$$\begin{cases} \cos\theta = \frac{Y_2 - Y_1}{L} \\ \sin\theta = \frac{X_2 - X_1}{L} \\ d = \frac{X_2Y_1 - X_1Y_2}{L} \\ L = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \end{cases} \tag{2}$$

このとき (X,Y) をモデルの輪郭線上の点とすれば、この点から物体の輪郭線までの有向距離eは

$$e = X\cos\theta + Y\sin\theta - d \tag{3}$$

となる。点 (X,Y) はモデル上の点の投影であるので、モデルの位置と姿勢をパラメータとする変数である。これを運動パラメータとする。パラメータの並びをベクトル $\boldsymbol{p}$ とすれば、モデルを物体に一致させるための移動量は方程式

$$e(\boldsymbol{p}) = X(\boldsymbol{p})\cos\theta + Y(\boldsymbol{p})\sin\theta - d = 0 \tag{4}$$

をパラメータ $\boldsymbol{p}$ の数よりも多くのモデル上の点について導き、連立させて解けば得ることができる。

*3-D Tracking by contour and Surface pattern
†Takashi YAMAGIWA,Takuya KONDO , and Masanobu YAMAMOTO
‡Faculty of Engineering,Niigata University

ただし、この方程式は非線形であるので解析的に解くのは容易ではない。そこで$e(p)$を点$p=o$を中心にテーラー展開すれば

$$e(p) = e(o) + \frac{\partial e}{\partial p}p + \dots \quad (5)$$

そして2次以上の項を無視して、式(5)の右辺を0とおけば

$$\frac{\partial e}{\partial p}\delta p + e(o) = 0 \quad (6)$$

式(6)の線形方程式を解くことにより、近似解δpが得られる。近似解であるので、モデルと物体は完全には一致しないが、移動した状態を初期状態とみなして、上式の近似解法を繰返すことにより、モデルが物体に収束する。

3 表面パターンを利用した運動パラメータの推定

対象物体上の点(x,y,z)は画像面上の点(X,Y)へ原点を中心に透視変換式$X=x/z$、$Y=y/z$で中心投影されるとする。画像面上の速度ベクトル(V_X,V_Y)と物体上の3次元速度ベクトル(v_x,v_y,v_z)は、透視変換式を時間微分することにより

$$(V_X,V_Y) = \left(\frac{1}{z}(v_x - v_z X), \frac{1}{z}(v_y - v_z Y)\right) \quad (7)$$

で関係づけられる。また画像面上の速度ベクトルは次の時空間勾配法の式に拘束されていることが知られている。

$$E_X V_X + E_Y V_Y + E_t = 0 \quad (8)$$

ここで(E_X,E_Y)は明るさの空間勾配で、E_tは時間勾配である。この式に(V_X,V_Y)を代入してまとめると次の方程式が得られる。

$$\frac{E_X}{z}v_x + \frac{E_Y}{z}v_y - \frac{1}{z}(XE_X + YE_Y)v_z + E_t = 0 \quad (9)$$

一方、対象物体を3次元モデルで表わしたとき、物体上の位置$r=(x,y,z)^t$はモデルの位置と姿勢を決定するパラメータ$p=(p_1,p_2,\dots,p_n)^t$を用いて次の関係式で表される。

$$r = f(p) \quad (10)$$

fは一般に非線形であるが、pの時間変化率δpに対する速度ベクトル$\dot{r}=(v_x,v_y,v_z)^t$はヤコビ行列$J=\partial f/\partial r$を使い、次の線形式で関係づけられる。

$$\dot{r} = J\delta p \quad (11)$$

δpは物体の動作を表わす運動パラメータとみなせる。この式を式(9)に代入すれば運動パラメータδpを推定する式が得られる。3次元モデル上の点で得られた推定式を連立させて最小二乗法により最適解を推定する[2]。

4 追跡の手順

まず初期時刻において、輪郭線フィッティングを用い、物体とその3次元モデルを照合する。次に時空間勾配法による運動パラメータの推定を行ない、得られたパラメータをもとにモデルを移動させる。この後、ノイズによる物体とモデルとのずれを、輪郭線フィッティングを施すことにより修正する。これを最終時刻まで繰り返すことで、物体の追跡を行なう。以下にそのフローチャートを示す。

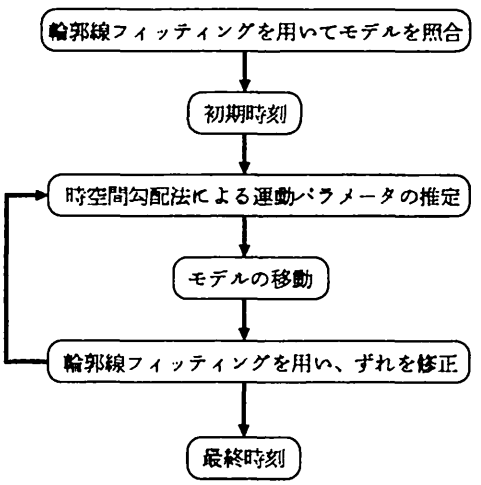

図2．追跡の手順

5 あとがき

時空間勾配法の欠点を補うために、Ｌｏｗｅの方法を利用した輪郭線フィッティングを用い、モデルと物体のずれを修正しながら追跡を行なう方法を提案した。これにより時空間勾配法のみを用いた追跡方法と比べ、物体とモデルとのずれが少なくなり、追跡の精度が上がることが期待できる。今後の課題としては、人間の動きに拡張することが挙げられる。

参考文献

[1] D.G.Lowe: Fitting parameterized three-dimensional models to images,IEEE,Trans.Pattern Analysis and Machine Intelligence,Vol.13,No.5, pp.441-450,(1991)

[2] 近藤、山際、山中、山本：" スキーや踊りにおける動画像感性情報処理, 信学技報、 PRU95-101(1995-07)