

幾何学的拘束を考慮した動画像追跡*

2 P-2

八木下 勝利 山本 正信[†]
新潟大学 工学部 情報工学科[‡]

1 背景

人体など複雑な対象の動きを測定する方法の1つとして、モーションキャプチャ等特殊な装置の利用が挙げられる。しかし、この方法は装置が大がかりとなる上に、対象に特殊なデバイスを取り付けることが多く、そのため対象の運動が制約される。

一方、普通のビデオカメラから得られた画像を使っても動作を測定することができる。この場合、特殊なデバイスは不用であり、自然に動作を測定することが可能である。実際、筆者らのグループにより提案された動画像解析法[1]では、人体の動作を3次的に測定することが可能となった。しかしながら、測定が長時間となると、様々な雑音の影響により、運動を正確に測定するのが難しくなる。そこで本研究では、対象の幾何学的拘束を考慮することにより、動画像解析の精度向上を目指す。

2 動画像中での動きの拘束

動画像追跡の際に、追跡対象の動きは、他から拘束される場合が多い。例えば歩く動作では、足の位置は地面に拘束され、ドアを開ける動作では、手はドアの運動軌跡に従う。このような、周囲の環境から追跡対象上の点の位置に対して加わる拘束を幾何学的拘束と呼ぶことにし、これを動画像追跡に導入する。

2.1 時空間勾配による拘束

動画像上の各点の速度ベクトル (\dot{X}, \dot{Y}) は、時空間勾配式

$$E_X \dot{X} + E_Y \dot{Y} = -E_t \quad (1)$$

で表されるように、その点の明度の時間勾配 E_t 及び空間勾配 (E_X, E_Y) によって拘束される。速度ベクトル (\dot{X}, \dot{Y}) は、3次元速度ベクトル \dot{p} の画面上への中心投影とすれば、

$$G^T \dot{p} = -E_t \quad (2)$$

となる(ここで、 $G = (f \frac{E_X}{z} \quad f \frac{E_Y}{z} \quad -\frac{X E_X + Y E_Y}{z})^T$ 、 f は焦点距離である)。さらに人体の動きを多関節モデル

で表したとき、モデル上の各点の3次元速度ベクトル \dot{p} は、関節角の時間変化率 \dot{q} とヤコビ行列 J により、

$$\dot{p} = J \dot{q} \quad (3)$$

と表される。(2)式から、(3)式により \dot{p} を消去すれば、

$$G^T J \dot{q} = -E_t \quad (4)$$

となる。これが、 \dot{q} を運動パラメータとしたとき、運動パラメータの時空間勾配による拘束式となる。

2.2 平面による拘束

物体上の点 p が、法線ベクトル n 、原点からの有向距離 d の平面

$$n^T x = d \quad (5)$$

に拘束されているものとすれば、この点は、次フレームにおいても(5)式で表わされる平面上にあるので、

$$n^T (p + \Delta p) = d \quad (6)$$

が成立する。ここでフレーム間での動き Δp は十分小さいとして、 Δp を \dot{p} で書き換えて

$$n^T (p + \dot{p}) = d \quad (7)$$

となる。さらにこれから、(3)式により \dot{p} を消去すれば、

$$n^T J \dot{q} = d - n^T p \quad (8)$$

を得る。これが運動パラメータ \dot{q} の平面による拘束式となる。

2.3 曲面、曲線、固定点による拘束

拘束面が曲面の場合は、フレーム間での動きは十分小さいとして、各フレームでの拘束面をそのフレームでの被拘束点に最も近い接平面で近似し、その接平面で拘束を行う。

曲線・固定点による拘束は、2曲面の交わりが曲線、3平面の交わりが点となることを利用し、曲線・固定点を、それぞれ2枚の曲面・3枚の平面に分解し、それにより拘束する。

2.4 時空間勾配拘束と平面拘束の融合

幾何学的拘束は平面拘束の組み合わせで表すことができた。(4)式、及び(8)式により時空間拘束、平面

*Motion Analysis with Geometrical Constraints

[†]Katsutoshi YAGISHITA, Masanobu YAMAMOTO[‡]Department of Information of Engineering, Niigata University

拘束とも運動パラメータの拘束として表されているため、これらは容易に融合することができ、

$$\begin{pmatrix} G_1^T J_1 \\ \vdots \\ G_n^T J_n \\ w_1 n_1^T J_{n+1} \\ \vdots \\ w_m n_m^T J_{n+m} \end{pmatrix} \dot{q} = \begin{pmatrix} E_{t1} \\ \vdots \\ E_{tm} \\ w_1 (d_1 - n_1^T p_1) \\ \vdots \\ w_m (d_m - n_m^T p_m) \end{pmatrix} \quad (9)$$

を得る(ただし、 w_i は各点における幾何学的拘束をどのくらい考慮するか重みである)。この式によって運動パラメータ \dot{q} を推定することで、時空間勾配拘束と平面拘束の両者を考慮しての動きの追跡ができる。

3 拘束面の取得

拘束面は、投視変換の逆変換によって、あるいは、複数のキーとなるフレームであらかじめモデルフィッティングを行い、その間を補間して求めることができる。しかし、投視変換の逆変換によって求めるためには、投影されている環境についての情報が必要であるし、モデルフィッティングにより求める方法では、その精度が、使うモデルにより左右される。

以上は追跡に先立って拘束面を求めておくものであるが、追跡と並行して拘束面を求めることもできる。

まず拘束面として、複数フレームでのモデルフィッティングで求めたもの、または、時空間勾配拘束のみで追跡を行った結果での、被拘束点の軌跡を含む面を与える。そして、この拘束面による拘束を入れて追跡を行い、それにより求まる被拘束点の軌跡から新たに拘束面を求め、またその面によって拘束をしながら追跡を行う。これを繰り返すが、このとき、逐次求まる拘束面と真の拘束面とのずれが大きいつきは、(9)式で2つの拘束が同時には満たされず、追跡により求まる被拘束点の軌跡と、その点を拘束した面との距離は大きい。しかし、逐次求まる拘束面が真の拘束面に近くなれば、(9)式で2つの拘束が同時に満たされ、追跡により求まる被拘束点の軌跡と、その点を拘束した面との距離は小さくなる。よって、この距離が減少している間繰り返しを行うことにより、正確な拘束面と運動パラメータが得られる。

4 追跡結果

4.1 平面1枚の場合

グレスデンスキーの動作の追跡を140フレーム行った。

拘束面はグレンデの斜面であり、数フレームでのモデルフィッティングの結果を用いて決定したものを初期値として、そこから更に拘束面の予測を行った結果から得た。図のように、拘束面が1枚のみであるために拘束面に平行な方向のずれが残るが、時空間勾配法のみで追跡した場合よりかなり精度が向上している。

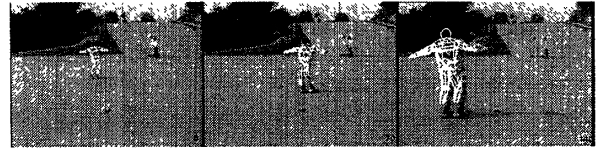


図1 時空間勾配法のみ



図2 幾何学的拘束を考慮

4.2 平面1枚と曲面1枚の場合

扉を開ける動作の追跡を100フレーム行った。

拘束面は、扉の回転軸を中心軸とする円筒面と扉の取手の高さによる平面となり、2つの面から完全に軌跡が得られるため、拘束される点(手先)においてのずれはほとんど無くなり、その結果として腕全体の軌跡もほぼ正確に行える。

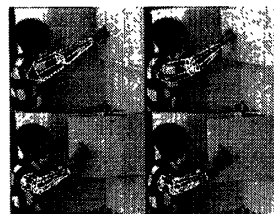


図3 時空間勾配法のみ

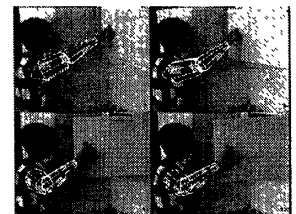


図4 幾何学的拘束を考慮

5 まとめ

動画追跡の精度を向上させるための1手法として、幾何学的拘束を考慮することを提案した。

追跡対象上の点の軌跡が、それがおかれた環境によって幾何学的に拘束されているとき、これと時空間勾配拘束とを融合して動きの測定を行うことにより、精度を向上することができた。

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次元動画追跡”, 信学論, J79-D-II, no.1, pp.71-83, (1996)