

局所時系列モデルによる人間の動作解析

北海道大学 工学部 ○撰薬三樹, 近藤司, 金子俊一, 五十嵐悟

要旨

人間の動作、特に関節運動における角度間の時間相関および空間相関モデリングについて検討する。関節角度値の時間変化に着目し、その関係を定式化するための方法として、重回帰分析を用いることにする。関節と関節の相関関係を定式化したものを局所時系列モデルと定義し、これによる角度値推定の有効性を確認するため、人間を模したリンクモデルにてシミュレーションを行った。

1. 緒言

人間の動作や運動状態の解析は、スポーツ、生理学あるいはロボット工学などにおいて重要な分野を形成している[1]。なかでも関節運動の解析・記述は、人間特有のスキル(技能)の定量化やロボット制御への応用が期待できる技術である。本報告では、局所的に定義した関節角度値の自己回帰時系列モデルについて述べ、歩行における要素的動作の解析例について報告する。

2. 動作階層

人間の動作を解析するために、図1のような動作階層を導入する。

まずはじめに、今回例に挙げた歩行など実際に何をしているところなのか(意味的に)わかるような動作に分ける。これを部分的動作と呼ぶ。次に、部分的動作を、一定の相関関係がある1つの関係式で記述できるような動作に細分していく。これを要素的動作と呼ぶことにする。

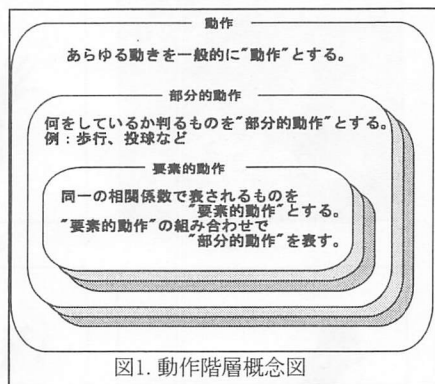


図1. 動作階層概念図

ここで問題になるのがどのように要素的動作に分割するのか、ということであるが、一定の基準で分割できるように現在検討中である。本報告では、角度値が増加から減少に転じる時、またはその逆を境界とした。

3. 局所時系列モデル

関節角の間にあると思われる相関関係には、図2.に示すように2つの要素が考えられる。1つは、ある関節に注目した時の、その前後の時間でどれくらい変化しているかというものであり、もう1つは、ある時間に注目した時の、各関節間関係の関係である。前者を時間的相関、後者を空間的相関と呼ぶ。

時間的相関回帰モデルでは、何時刻前までさかのぼって相関関係を記述するか、つ

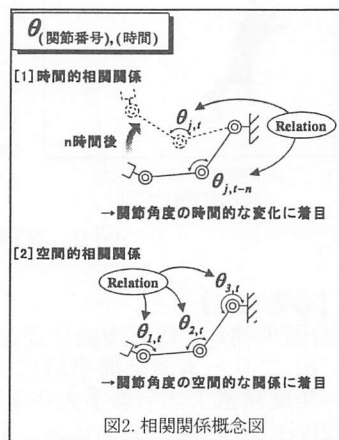


図2. 相関関係概念図

まり次数nをどう選ぶかが重要である。推定値が実際の値から大きくはずれない限り、推定に必要な関節角データが少なくすむという理由から、回帰モデルの次数はできるだけ小さい方がよい。また、推定値が実際の値から大きく離れてきた場合、その時点でそれまでの回帰モデルで表される動作が終了し、別の相関係数の回帰モデルによる動作に移ったと考えることができる。

本報告では時間的相関回帰モデルの方を扱っていくこととし、これを局所時系列モデルと定義する。時間的相関係数をa_kとにおいて、(1)であらわす。

$$\theta_{i,t} = a_0 + \sum_{k=1}^n a_k \theta_{i,t-k} \quad (1)$$

4. 重回帰分析

動作を局所時系列モデルで記述するためには、(1)の係数群{a_k}を求めなければならぬ。係数群{a_k}は、重回帰分析の手法[2]、[3]を使って計算することができる。局所時系列モデルを記述する上で、次数nの値はできるだけ小さい方がよいことは、前節で述べたとおりである。具体的には次数n=2とにおいて考えていく。

(1)式において要素的動作としてt=1からt=Tまで考える。

$$\theta_{i,3} = a_0 + a_1 \theta_{i,2} + a_2 \theta_{i,1}$$

$$\theta_{i,4} = a_0 + a_1 \theta_{i,3} + a_2 \theta_{i,2}$$

⋮

$$\theta_{i,T} = a_0 + a_1 \theta_{i,T-1} + a_2 \theta_{i,T-2}$$

重回帰分析によって、これらの式から局所時系列モデルを記述するパラメータa₀, a₁, a₂が求まる。

5. リンクモデル

実験から得た角度データ、及び局所時系列モデルによる推定値のシミュレーションを行うために、人間の歩行をモデル化するためのリンクモデルを設定した。ロボットアームのリンクの位置を記述、表現するのに一般的な方法として、次の変換行列を基本とするD-H表現を用いる。

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & 0 \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Denavit-Hartenberg表現[4]は、一定の規則に従って設定した座標系とパラメータを用いると、第i座標系と第i-1座標系の関係を導くことができる。本研究では、D-H表現によって人間を9軸のロボットアームに近似し、モデル化することにする(図3参照)。図3.では、角度を表すのに必要な座標軸のみ、点線で示してある。

6. 実験方法

動作例として歩行を取り上げ、解析を行うことにする。ビデオ撮影は、三脚に固定したカメラの前を歩いて横切ってもらい、という方法で行った。後で角度を計算するときのために、直径3cmほどのマーカーを10カ所に付けてもらった。ビデオをパソコンに取り込み、1歩分を1動作として解析を行っている。1動作は、1/30秒間隔で18フレームである。各フレームごとに、マーカーの座標を画像処理ソフトで抽出し、これらの値をプログラムで角度データに変換する。

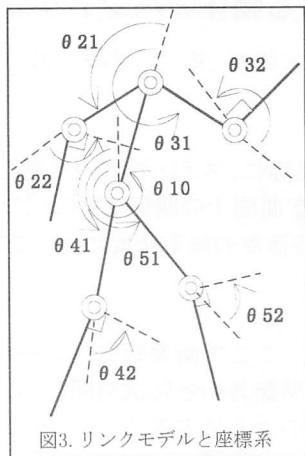


図3. リンクモデルと座標系

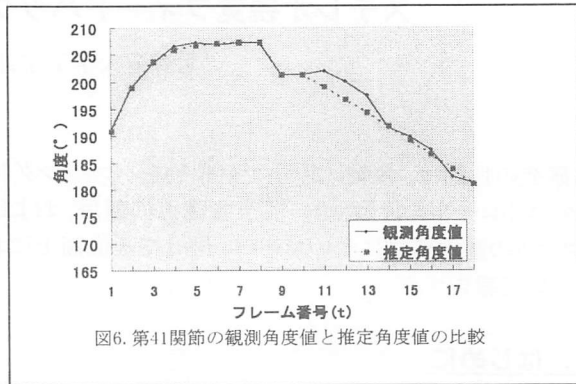


図6. 第41関節の観測角度値と推定角度値の比較

7. 結果

撮影したビデオ画像と、この画像を元に角度データを作成し、このデータによってシミュレーションを行った結果を図4.示す。これによれば、データは良好であることから、第21関節(右肩)、第41関節(右股関節)について重回帰分析を行った。その際には先に述べたように、角度の増減が変化する点で要素的動作に分割した。その結果、時間相関係数は表1.のように求めた。

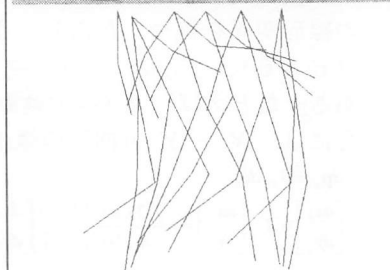


図4. ビデオ画像とシミュレーション結果

表1. 時間相関係数

		a_0	a_1	a_2
第21 関節	第1要素的動作	17.78	0.417	0.406
	第2要素的動作	0.303	0.589	0.500
第41 関節	第1要素的動作	101.3	0.597	-0.085
	第2要素的動作	-8.149	1.076	-0.047

また、この係数群を用いて関節角度の推定を行った結果と元の角度データの比較を、第21関節、第41関節についてそれぞれ図5.、図6.に示す。

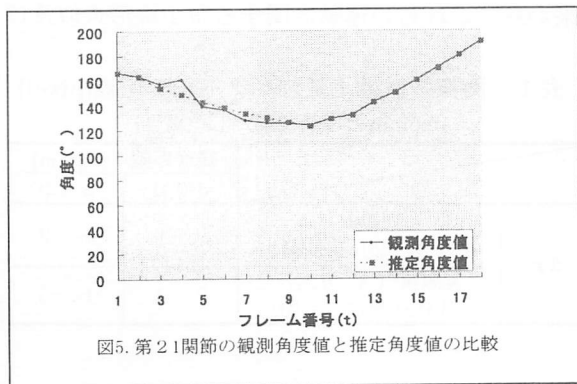


図5. 第21関節の観測角度値と推定角度値の比較

8. 考察

図5.、図6.を見ると、局所時系列モデルによる関節角度の推定は、ほぼ正確に行えるものであるということが解る。また、曲線が軸線に関して概ね対象であることも注目し値する。これは、先に述べた空間的相関関係があると考えられる根拠となり得る。

問題となるのは、どこで要素的動作に分割するのかという点である。適切に部分的動作を要素的動作へ分割することができなければ、局所時系列モデルによる記述は、実際の動作とは大きくかけ離れたものになってしまう。本報告で例示した歩行は複雑な動作ではなかったため、角度値の増減が変化する点で分割しても不具合はなかったが、さらに複雑な動作を扱うためには、体系的に定義された分割基準が必要である。

9. 結言

本研究の結言として以下のことが言える。

- 関節角度値の時系列における相関関係を局所時系列モデルとして定義した。
- 角度値により制御を行うリンクモデルを設定し、シミュレーションを行った。
- 局所時系列モデルを表すパラメータを求め、このモデルが動作を記述し得ることを確認した。

10. 今後の課題

動作を分割する基準を早急に考えなければならない。また、他の関節についても同様に解析を行う必要がある。歩行とは違った動作の解析も必要である。空間的相関関係についても引き続き考えていく。

参考文献

- [1] 伴 菊夫他：バイオメカニズム10、東京大学出版会、(1990)
- [2] 河川至商：多変量解析入門、森北出版、(1973)pp. 3-17
- [3] 赤坂 隆：数値計算、応用数学講座7、コロナ社、(1967) pp. 61-69、pp. 235-247
- [4] K. S. フー他著、本田庸悟他訳：ロボティクス、日刊工業、(1989) pp. 17-58