

主成分分析を用いた身体動作における重要時間帯の推定

Estimation of important time zone in body motion using a principal component analysis.

○ 吉澤翔太 (東京電機大学) 井上淳 (東京電機大学) 花崎泉 (東京電機大学)

Shota YOSHIZAWA, Tokyo Denki University

Jun INOUE, Tokyo Denki University

Izumi HANAZAKI, Tokyo Denki University

Abstract: In this paper, we propose a method for identifying the important time zone of body motion using a principal component analysis. This is the method to identify the important time zone from the peak of difference the result of applying principal component analysis to each all time series joint angle data in the motion and Omit any time range data. It was able to obtain a range corresponding to the motion to restore the posture of upper body by interlocking of the elbow and waist joint to be applied to time series joint angle data in the standing motion this method. From the results, it was concluded that the proposed method was able to identify a partial time in standing motion.

Key Words: Principal component analysis, Knack of action, Standing, Time series joint angle

1. 背景

福祉の現場で人間が身体動作を完璧に把握し、その指導を行なうためには、訓練によって経験とコツを身に付ける必要がある。しかし、訓練期間が長期におよぶことや、経験の豊富な指導者が必要であることから、実際に動作の指導をする際、定量的な指導を行なうことは困難が伴う。この問題に対して、現在、3次元動作解析システムや床反力計などを用いて動作者の動きを解析し、支援を行なう研究が数多くなされている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、大規模な計測システムが必要であることから、現場への導入には結びついていない。このような問題から、小規模な計測システムによって取得可能なデータのみを用いることで、指導に有用な解析を実現する解析手法が求められる。

2. 目的

動作はより短時間でこなされる部分動作の連続であると考えられることから⁽³⁾、互いに特徴の異なるこれらの部分動作を主成分分析を用いて抜き出すことが可能である。本研究では動作において重要となる時間範囲を全時間範囲の中から特定することを目的として、動作における時系列関節角度データに対して主成分分析を適用して得られた重みベクトルと、任意の時間範囲を削除したデータに対して主成分分析を適用して得られた重みベクトルとを比較することで、動作の特徴を含む時間範囲を特定する手法を提案する。本手法を用いて、動作の指導の際に重要となる時間範囲を示すことで、訓練経験の浅い指導者であっても、熟練者と同様の指導を行なうことが可能となる。

また、本手法では解析対象を関節角度データのみ限定することで、大規模な計測システムを有さない現場においても角度測定器のような小規模な機器を複数用いた測定により、全身運動を解析することが可能である。

解析対象としては日常生活に欠かすことのできない基本動作であると同時に、加齢や怪我等によって転倒の危険性が高まる椅子からの起立動作を対象とする。

3. 方法

3-1 主成分分析の適用と結果の評価方法

変数数 m 、標本数の n の $n \times m$ 行列 X を変量毎に平均0、分散1で標準化した行列 U および重み行列 $W =$

$[w_1, w_2, \dots, w_m]$ が存在するとき、次の式(1)で定義される合成変数 $z_i (i = 1, 2, \dots, m)$ を主成分と呼ぶ。

$$z_i = U w_i \quad (1)$$

式(1)においては i が小さいほど z_i の分散が大きくなり、この分散が z_i の有する情報量として定義される。本研究では動作全体に関する第一主成分 z_1 に対応する重みベクトル w_1 の要素うち、大きさが最大である M 番目の要素 w_M に注目し、動作の特徴となる時間範囲を特定する。

3-2 フレームオミットおよびフレーム得点

いま、時系列関節角度データ全体に対して主成分分析を適用して得られた重みベクトルの M 番目の要素を w_M 、データ全体から任意の連続するフレーム S から $(S+f)$ までを除いた(フレームオミットした)データに対して主成分分析を適用して得られた第一主成分に対応する重みベクトルの M 番目の要素を $w_{f,S,M}$ とする。このときの w_M と $w_{f,S,M}$ の差分を S から $(S+f)$ フレーム間の得点とし、Fig.1のように S を1から $(n-f+1)$ まで1フレームずつスライドさせた際の得点としてフレームごとに累積することで、動作の特徴を含む時間範囲を特定する。

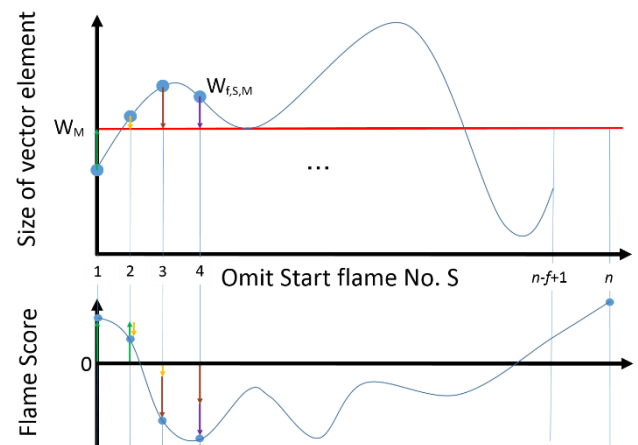


Fig.1 Calculation example of P_F (Case: $f = 2$)

また、このときの任意の第 F フレームの得点 P_F を式(2)で定義する。

$$P_F = \sum_{i=S}^{S+f} \frac{w_M - w_{f,i,M}}{K} \quad (2)$$

なお、式(2)における K は第 F フレームにおける加算回数であり、次の式(3)で定義される。

$$K = \begin{cases} S & (1 \leq F \leq f) \\ f & (f+1 \leq F \leq n-f) \\ n+1-F & (n-f+1 \leq F \leq n) \end{cases} \quad (3)$$

4. 結果

20代の健康な男性5人を被験者とし、高さ42cmの4脚椅子から起立する動作を対象とし、光学式モーションキャプチャシステムを用いて起立動作における11部位（首、両肩、両肘、鳩尾、腰、両膝、両足首）の時系列関節角度データを取得した。撮影においては被験者には椅子に着席した状態から普段通りの方法で起立動作を行なうこと、また、動作終了後は直立状態で待機することを指示し、サンプリングレートを200Hzとして3秒間撮影し、被験者に対しては撮影開始の合図のみを送り、自身のタイミングで起立動作を行なってもらった。

取得した起立動作における各関節の時系列関節角度データを Fig.2 に示す。

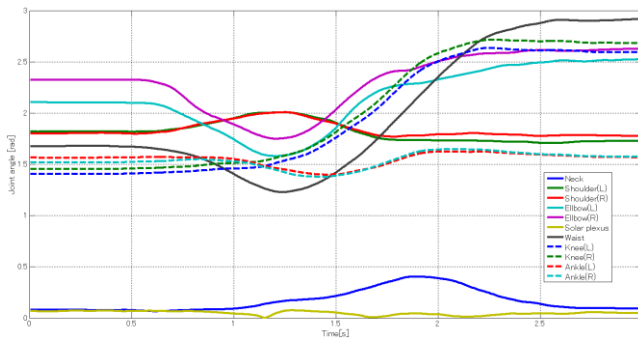


Fig.2 Joint angles of standing action.

また、式(2)および式(3)において、 f を50フレームから50フレーム刻みで200フレームまで変化させた際の各フレームにおける得点を Fig.3 に示す。なお、本起立動作において w_M および $w_{f,S,M}$ には肘の値が選択された。

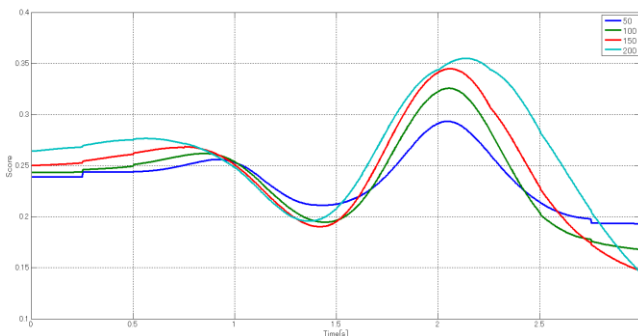


Fig.3 P_f score of each frame. (Score of elbow)

Fig.3のグラフをカットしたフレーム数 f ごとに比較すると、 $f=50,100$ のグラフにおいては下方向の極小値が275フレーム付近で現れるが、 $f=150$ のグラフから下方向の極小値が左方向にスライドし始め $f=200$ のグラフにおいてはこのフレームが260フレーム付近へと変化している。このことから275フレームを中心とした前後100フレームである175フレームから375フレームが起立動作における重要範囲と推測される。

5. 考察

本研究で解析対象とした起立動作において、動作全体に関する第一主成分 z_1 に対応する重みベクトル w_1 の要素うち、大きさが最大である要素 w_M は肘に対応する要素であった。このことから、本手法で得られた動作における重要範囲は、肘の動作に関連する範囲であると考えられる。

Fig.2の関節角度グラフ中の該当フレーム範囲を見ると、両肘の関節角度が減少後に再び増加しているおり、肘の屈伸運動が行われていることがわかる。また、該当範囲の開始フレームから終了フレームにかけて、腰関節においても屈伸が発生していることがわかる。これは、腰を曲げることで上半身の前傾と復元を行っていることを表している。これを踏まえて次の Fig.4 に示す175フレームから375フレームにおける起立動作におけるスケルトンモデルを見ると、肘および腰の屈伸運動が連動しており、肘の進展運動を用いた上半身の復元運動が重要であると考えられる。

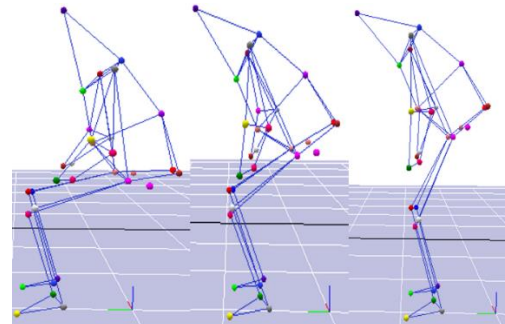


Fig.4 Skeleton models. (Frame No.175-275-375)

以上の点から提案手法において得られた起立動作の重要時間範囲は、肘の屈伸運動による上半身の復元動作であるということが出来る。この動作は長田ら⁽⁴⁾の研究における起立動作の相分類における足関節最大背屈から大腿骨鉛直位までの動きに当たることから、本手法によって動作の部分動作時間範囲の推定がなされたということが出来る。

6. 結論

身体動作全体から重要時間範囲を抜き出すため、時系列関節角度データに対して主成分分析を適用して得られた重みベクトルと、任意の時間範囲を削除したデータに対して主成分分析を適用して得られた重みベクトルとを比較することで、動作の特徴を含む時間範囲を特定する手法を提案した。

本手法を椅子からの起立動作に対して適用した結果、起立動作において重要な時間範囲として、肘関節の伸展による前傾した上半身の復元動作が抜き出された。

今後の課題として、第二以降の主成分に対応する重みベクトルに対して本手法が有効であるかの検証および、起立動作以外の身体動作への適用を行なうことによる、提案手法の汎用性の検討を行なう。

参考文献

- (1) 中尾智幸, 矢野賢一, 起立動作時の姿勢と反力の特性解析と起立支援システムの応用, 日本機械学会 東海支部総会講演会講演論文集, vol. 60 no. 171, pp. "171-1"-171-2", 2011.
- (2) 浅井葉子, 金子誠喜, 大津慶子, 椅子からの立ち上がり動作における体幹前傾角度と下肢関節モーメントとの関係, 日本保健科学学会誌, vol.8 no.1, pp 51-58, 2005
- (3) Schenkman M, Berger RA, Riley PO, Whole-body movements during rising to standing from sitting., Phys Ther 70, pp.638-648, 1990
- (4) 長田悠路, 山本澄子, 瀧雅子, 脳卒中片麻痺患者の起立動作における運動学的・運動力学的評価指標, 理学療法学, vol.39 no.3, pp.149-158, 2012