スパース構造学習に基づく反復作業における関節の協調動作の時系列変化の評価

○平内 和樹（東京都立大学大学院システムデザイン研究科）

倉元 昭季（東京工業大学 工学院 システム制御系）

瀬尾 明彦（東京都立大学システムデザイン学部）

Sparse structure learning-based evaluation of the time-varying joint coordination during repetitive tasks

Kazuki HIRANAI (Graduate School of Systems Design, Tokyo Metropolitan University),

Akisue KURAMOTO (School of Engineering, Tokyo Institute of Technology),

Akihiko SEO (Faculty of Systems Design, Tokyo Metropolitan University)

1. はじめに

異常検知手法を人間の動作解析に応用することは、これまで把握が困難であった身体負担や姿勢・動作の違いを検出し、作業の問題点の可視化に貢献できる。人間の動作は複数の関節が協調して動作し、一連の作業動作を生み出しているため、単一の動作の観察だけでは見落としてしまうような姿勢・動作の問題点が存在することが予想される。そこで、複数の変数間の関係を考慮した異常検知手法として、グラフィカルLASSOによるスパース構造学習を用いた異常検知手法を応用することで、関節間の関係を考慮した作業中の姿勢・動作の異常検知を試みる。本研究では、グラフィカルLASSOの有用性を評価するために、異なる動作を行う作業条件において測定した時間経過に伴う関節の協調関係の変化と作業中の筋負担や主観評価との関係を考察する。

2. 方法

2.1 グラフィカルLASSOの概要¹⁾

グラフィカルLASSOは、ガウシアングラフィカルモデルに従う、確率変数ベクトルがあった時、変数間の関係をスパースモデリングの手法を用いて推定し、グラフ化する手法である。変数間の直接相関は、共分散行列の逆行列である精度行列によって示される。しかしながら、変数の数が多くなると、共分散行列が数値的に正則であることはごく稀で、仮に正則であったとしても自動的に疎な行列になることはほとんどない。そこでグラフィカルLASSOの手順を用いて、疎な構造を持つ精度行列を学習する。

2.2 実験内容

被験者は右利きの男子学生11名であった。被験

者の年齢、身長、体重の平均±標準偏差はそれぞれ23.1±1.5歳、1732±42 mm、67.4±9.0 kgであった。被験者は2種類の作業条件（作業A、作業B）で軽量物（直径35 mm、重さ8 g）を10分間所定のかごへ移動させ続ける作業を実施した。作業Aは被験者から見て左側のかごから右側のかごへ軽量物を移動させる作業、作業Bは被験者から見て奥にあるかごから手前のかごへ軽量物を移動させる作業であった。作業中の体幹部および右上肢の身体各部位の傾きを磁気式3次元位置測定装置（trakSTAR, Ascension社）によって計測した。計測された身体各部位の傾きを当研究室開発の生体力学解析ソフト内の3次元剛体リンクモデルに当てはめ、体幹前傾角、体幹右傾角、体幹左旋角、肩関節外転角、肩関節屈曲角、肩関節内旋角、肘関節屈曲角、前腕回内角、手関節橈屈角、手関節掌屈角の変化を推定し、各関節角度間の相関をグラフィカルLassoを用いて推定した。また作業に関連する右上肢の筋を表面筋電図法で計測した。右上肢の主観的負担感は、20秒ごとにBorg CR10を用いて口頭で回答させた。

3. 結果

図1に被験者1名の作業Aにおける100秒ごとの各関節の間の相関の変化を示す。図の各セルは色が濃くなるほど相関が高いことを示す。作業A開始初期は体幹部と肩関節を中心に協調関係が見られるが、作業の進行に伴い、肩関節と肘・前腕の協調動作へと変化した。特に、300秒から400秒の間は、ほとんどの関節に協調関係が見られなかった。図2に被験者1名の作業Aにおける100秒ごとの各関節の間の相関の変化を示す。作業B開始初期は、作業Aよりも広く関節角の協調関係があった。た

だし作業の進行に伴い、肩関節の屈曲・内旋、肘屈曲、前腕回内角の間のみに協調関係が見られた。

図3に筋電図の結果とし三角筋前部の100秒ごとの平均値の結果を示す。平均値は作業全体を通してほとんど変化はなかった。これは他に計測したいくつかの筋の結果も同様であった。ただし、三角筋前部は時間経過に伴い標準偏差が増加した。

図4に右上肢の主観的負担感の推移を示す。作業の進行とともに主観的負担感は増加し、作業Bの方が作業Aの方が負担感が大きかった。

4. 考察

今回のグラフィカルLassoによる関節角度の協調関係の変化と図4の主観評価の結果から、疲労の増加によって、関節の協調関係に変化が生じることが示唆された。このことから疲労に応じた関節の協調変化の検出にグラフィカルLassoが有用である可能性が示唆された。図1に示す作業Aにおける関節の協調関係の変化の結果は、300秒から

400秒でほとんどの関節の協調関係がなくなった。反復作業における筋疲労の予防には、動作のばらつきを増加させることが有用であり、図1の結果は300秒から400秒の間に姿勢を変化させ、疲労の増加を抑える戦略をとり、関節の協調関係が低下したことを示唆していると考えられる。

4. 結論

本研究では反復作業における関節の協調関係の変化の検出のためにグラフィカルLassoが有用である可能性を示唆する結果を得た。

参考文献

1) Jerome Friedman, Trevor Hastie, and Robert Tibshirani. Sparse inverse covariance estimation with the graphical lasso. Biostatistics, Vol. 9, No. 3, pp. 432-441, 2008

図1 被験者1名の作業Aにおける100秒ごとの各関節間の相関の変化

図2 被験者1名の作業Bにおける100秒ごとの各関節間の相関の変化

※図1、図2の(a)～(d)はそれぞれ、体幹前傾角、体幹右傾角、体幹左旋角、肩関節外転角、肩関節屈曲角、肩関節内旋角、肘関節屈曲角、前腕回内角、手関節撓屈角、手関節掌屈角を示す。

図3 三角筋前部の100秒ごとの平均値

図4 右上肢の主観的負担感の推移