

回転運動-FIM 尺度に基づくフィルタバンクの構築による FIM 値推定手法の提案 Proposed method for estimating FIM values by constructing a filter bank based on the rotational motion-FIM scale

安部遼太郎[†] 浜田百合[†] 栗原陽介[†]
Ryotaro Abe Yuri Hamada Yosuke Kurihara

1. はじめに

日本では2019年現在、65歳以上の高齢者が人口の28.4%を占め、その割合は2060年には40%になると言われている[1]. この急速な高齢化により、約117万人が寝たきりとなり、脳卒中により自立歩行が困難となり、円滑な日常生活を送ることができなくなるといわれている[2]. 運動機能の回復には、長期的なリハビリテーションが必要である. 介護者の介助なしに日常生活活動を自立して行える度合いを評価する指標として、機能的自立度評価 (FIM) が採用されており、各項目を介護者が1~7点の尺度で採点している. しかしFIM値は、介護者による評価が必要なため、在宅環境では患者自身がFIM値を把握することは困難である.

筆者らはこれまで、FIMの運動項目に着目し、ベッド上での起き上がり動作時の体幹の回転運動をジャイロセンサで計測することで、FIM値を在宅環境で簡易的に推定する手法を提案してきた[3]. [3]においてはジャイロセンサにより計測した被験者の起き上がり動作の角速度の周期の違いに着目し、三角窓による線形型フィルタバンクを用いたメルスペクトラムを適用することでFIM値を推定した.

本研究では、先行研究で用いた三角窓によるフィルタバンクに加え、二次曲線型フィルタバンクを適用することでFIM値推定精度を比較する.

2. 提案手法

本研究では、ベッド上に仰臥位で寝た状態から端座位への姿勢変化の一連の動きを対象動作とし、その際の体幹の運動からFIM値を推定する.

2.1 FIM 値推定のための信号処理

図1に本提案手法における信号処理図を示す.

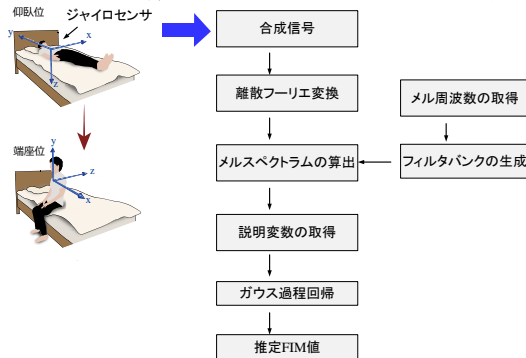


図1 提案手法

ジャイロセンサを胸部に装着し、起き上がり動作時の体

[†] 青山学院大学 理工学部 経営システム工学科
Department of Industrial and Systems Engineering, College of
Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

幹に設置した x, y, z 軸周りの角速度を計測する. x, y, z 軸の角速度に対する合成信号に離散フーリエ変換を適用することで振幅スペクトルを得る. 離散フーリエ変換における離散周波数を f としたとき、 f の中から FIM 値推定に重要なメル周波数 f_m を、式(1)に示すメル尺度 $RF(f)$ を用いて取得する.

$$RF(f) = C_3 \log_{10}(1.0 + C_1 \frac{f}{C_2}) \quad (1)$$

C_5 をメル周波数の数、 f_q をナイキスト周波数としたとき、メル周波数 f_m は、 $RF(f_q)$ を C_5 で割った値にたいし、式(1)の逆関数を適用することで求める.

求めた C_5 個のメル周波数において、2種類のフィルタバンクを構築する. 1つ目は先行研究[3]で適用した各メル周波数 f_m にピークを持ち、面積1となる三角窓による線形フィルタバンクとする. 2つ目は、二次曲線型フィルタバンクとし、各メル周波数 f_m にピーク値 h を持つ式(2)で表される放物線窓によるフィルタバンクとする.

$$y = -C_4 (f - f_m)^2 + h \quad (2)$$

式(2)における h は、対応する三角窓におけるのメル周波数の高さと同じに設定する. 角速度の合成信号から求めた振幅スペクトルにたいし、三角窓による線形フィルタバンクまたは、二次曲線型フィルタバンクとの内積をとることで、メルスペクトラム $M_s(f_m)$ を求める. 本研究で、メルスペクトラムを用いたのは、健常者は起き上がり動作をスムーズに行うことができ、動作開始時の動作が大きく、短時間で動作を完了させることができるからである.

得られたメルスペクトラム $M_s(f_m)$ において、 f_m にたいし C_6 間隔で $M_s(f_m)$ を取得したものを説明変数、看護師が評価した FIM 値を目的変数とし、ガウス過程回帰を適用することで FIM 値を推定する.

3. 検証実験

提案手法の検証実験として、リハビリテーション中の患者19名および健常者5名を対象として x, y, z 軸周りの角速度を44データ計測する. また、各データが計測される時、被験者の FIM 値を看護師により評価する. 提案手法における $C_1 \sim C_6$ の値は遺伝的アルゴリズム(GA)で決定し、個体数は50個体、世代数は50世代とする. またガウス過程回帰におけるカーネルは二乗指数カーネルとする. 離散周波数 f は0~10Hzとし、周波数分解能 Δf は0.166Hzとする.

本実験では、三角窓による線形フィルタバンクを用いて求めた $M_s(f_m)$ と、二次曲線型フィルタバンクを用いて求めた $M_s(f_m)$ それぞれで、FIM 値を推定し精度を比較する.

精度の評価手法として、44データ中、43データでガウス過程回帰の回帰モデルを作成し、1データをテストデータ

とする leave-one-data-out による交差検証を行った。各テストにおいて推定した FIM 値と、看護師による真値との絶対誤差を求め、44 回のテストにおける平均絶対誤差 (MAE) により精度を評価した。GA においては、MAE が最小になるように進化し、 $C_1 \sim C_6$ の値を決定する。

4. 実験結果および考察

三角窓による線形フィルタバンクを用いた場合および、二次曲線型フィルタバンクを用いた場合の MAE を表 1 に示す。

表 1 MAE の結果

フィルタバンク	線形 フィルタバンク	二次曲線型 フィルタバンク
MAE	5.72	8.01

GA により決定した各パラメータの値は $C_1=6$, $C_2=3.6$, $C_3=3900$, $C_4=5.7$, $C_5=17$, $C_6=4$ であった。

図 4(a) に FIM 値 91 点の健常者の二次曲線型フィルタバンクによるメルスペクトラム $M_s(f_m)$ の結果 (推定 FIM 値 91 点), 図 4(b) は FIM 値 61 点の患者のメルスペクトラム $M_s(f_m)$ の結果 (推定 FIM 値 69.12 点) を示す。

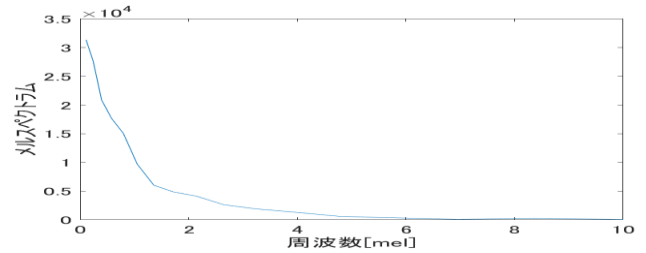
図 4(a), (b) から、二次曲線型フィルタバンクを用いた際のメルスペクトラムの形状はほぼ一致していることが確認できる。

三角窓のメルスペクトラム $M_s(f_m)$ を図 4(c), (d) に示す。FIM 値 91 点の被験者では、低周波数領域で一旦ピークスペクトルが大きくなり、その後、ピークスペクトルが小さくなっている。健常者の方が起き上がり動作をスムーズに行うことができたのは、健常者の方が動作開始時の動きが大きく、短時間で動作を完了することができたためと考えられ、三角窓による線形フィルタバンクを用いた場合はメルスペクトラムにおいてこの違いが明確になった。二次曲線型フィルタバンクの場合もメル周波数が高い領域で多少の違いがみられるが、メル周波数が低い領域では被験者ごとの特徴の違いがみられず、推定結果があまり良くならなかった要因になったといえる。

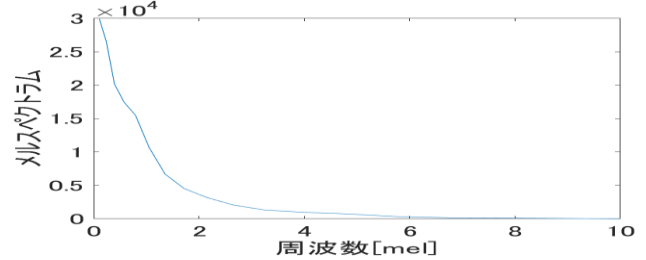
以上より、三角窓による線形フィルタバンクの方が、特定の周波数領域のスペクトルを適切に抽出できるため、FIM 値推定精度が高いと考えられる。

5. むすび

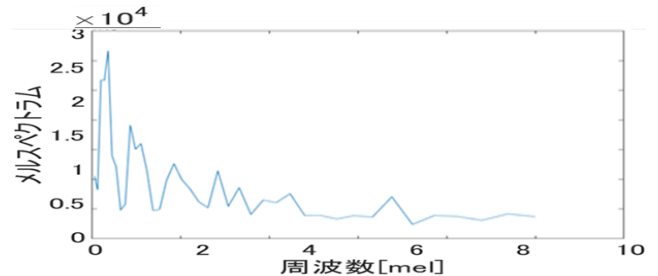
本提案手法では、体幹における角速度からメルスペクトラムを求めることで、FIM 値の簡易的な推定を行う手法を提案した。メルスペクトルを求める際のフィルタバンクとして三角窓による線形フィルタバンク、二次曲線型フィルタバンクを適用した場合、FIM 値の推定精度を MAE を用いて比較した。その結果、二次曲線型フィルタバンクを



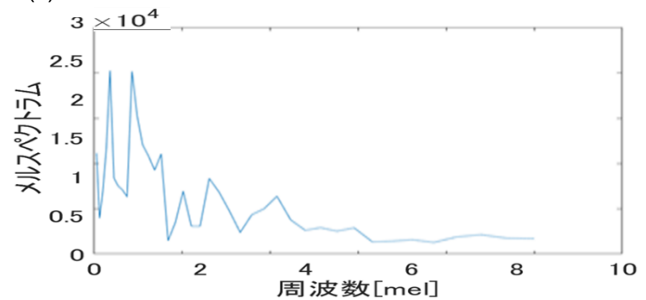
(a) 二次曲線型フィルタバンクの FIM 値 91 点



(b) 二次曲線型フィルタバンクの FIM 値 63 点



(c) 三角窓による線形フィルタバンクの FIM 値 91 点



(d) 三角窓による線形フィルタバンクの FIM 値 61 点

図 4 角速度およびモデルによる波形

用いた際は MAE が 8.01 であり、三角窓による線形フィルタバンクを用いた際は 5.72 となり、三角窓による線形フィルタバンクの方が、FIM 値の推定精度が高くなった。

参考文献

- [1] Allen W.Heinemann, John Michael Linacre, Benjamin D.Wright, Byron B. Hamilton, Carl Granger: "Relationships Between Impairment and Physical Disability as Measured by the Functional Independence Measure", Arch Phys Med Rehabil, Vol.74, No. 6, pp. 566-573, 1993
- [2] John Michael Linacre, Allen W.Heinemann, Benjamin D.Wright, Carl V.Granger, Byron B.Hamilton: "The Structure and Stability of the Functional Independence Measure", Arch Phys Med Rehabil, Vol.75, No. 2, pp. 127-132, 1994
- [3] Ryotaro Abe, Yuri Hamada, Yosuke Kurihara: "Proposal of FIM value estimation method with emphasis on low frequency using mel spectrum".Proceedings of the 11th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2023, 2023