騎乗者の腰加速度を利用した馬の一完歩推定の精度検証

丸山　悟[1]　勝間　亮[1]

概要：騎乗者の指導をモーションキャプチャで取得したデータを用いて行う場合，取得したデータと指導者が見ている場面を歩数を基準にして一致させる必要がある．このとき，馬の一完歩を正確に推定できれば，何歩目に姿勢に変化があったのか判別することが可能となる．本稿では，騎乗者の腰の加速度から一完歩の区切りとなる時刻を算出するアルゴリズムを提案し，推定された一完歩が実際にどの程度の精度であるか検証を行った．

1. はじめに

現在，大学馬術部の多くは入部して初めて馬に乗る人間が多いが，経験が深い人間の卒部や新入部員の加入により，初めて騎乗をしてから 1 年ほどで，指導する立場へとならなければならない．熟練した騎手の場合，馬をコントロールすることに加えて馬と同調するために自然と姿勢のコントロールを行っている [1]．しかし，この技術を得るためには，経験から自然と身についてくることが多く，経験の少ない人間がより効率的な指導を行うことが難しい．そのため，騎乗者の動きを数値化することで可視化できれば，より精度の高い練習のための支援が可能になると考えられる．そこで，慣性式モーションキャプチャを用いて人間の動きをセンシングすることを想定する．センシングを行い指導に使用する上で，取得したデータと指導者が見ている場面が一致していなければ指導のために利用することができない．そのため，モーションキャプチャで取得した腰加速度から馬の周期的な動きを検知して，馬の歩数の推定を行った [2]．しかし，この研究 [2] では，最終的な歩数が正解数とどれだけ離れているかを評価したにすぎない．そのため，一完歩の区切りのタイミングのずれに関して検証できていなかった．そこで本稿では，騎乗者の腰の加速度データから推定した馬の一完歩とカウントしたタイミングが目視でのカウントと比較して時刻がどれだけずれているか検証を行った．

2. 歩数判別の手法

使用する加速度データとして腰の x 軸加速度を用いて判別を行う．まず，ノイズを減らし滑らかな変化となるように移動平均を利用したローパスフィルタを用いたデータを使用した．移動平均は時刻 t とし生の加速度データを $K[\mathrm{t}]$，移動平均後の加速度データを $S[\mathrm{t}]$ とすると，式 (1) で表される．

$$S[t] = \frac{K[t] + K[t+1] + \cdots + K[n-1] + K[n]}{n} \qquad (1)$$

速歩は 2 ビートのリズムを刻んでおり，垂直加速度が一完歩の半分に当たる半歩周期で規則的に変化し，加速度値もそれに合わせて大きく変化するため，図 1 のように加速度時系列データに負方向の山として表れる．歩数判別のために山の頂点となる極小値を検出することで歩数カウントを行う．しかし，加速度データの中にはノイズによる振動が多く含まれるため，

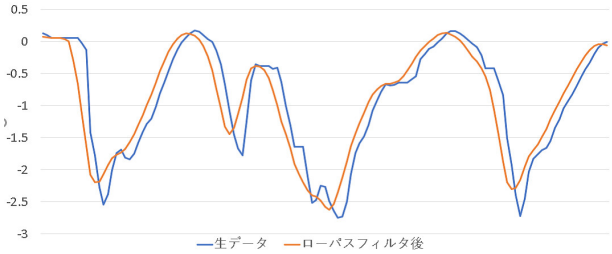

図 1　腰の加速度

単純に極小値をカウントするだけでは，歩行の周期性をもつ極小値以外にもノイズによる極小値も含まれてしまう．そこで，歩行による極小値は非常に大きく加速度値が変化することを利用し，極小値とその前後 b 秒間の加速度値と比較して最小であった極小値のみを歩行極小値と呼びカウントする．計測開始を $i = 0$ とし，時系列順に i 番目の歩行極小値が現れた時刻を $M[i]$ に保存していく．一完歩に含まれる山の数は 2 個なので $i = 2n$ となる時刻が一完歩の区切りとなり，$\frac{i}{2}$ が計測開始からの歩数となる．そ

[1] 大阪府立大学
Osaka Prefecture University

©2021 Information Processing Society of Japan

のため k 歩目に含まれる加速度データは時刻 $M[2k]$ 以降 $M[2k+2]$ より前の時刻に計測されたデータとなる．

3. 実験

3.1 実験設定

本実験では図 2 のように装着したモーションキャプチャの腰にある加速度センサを利用して x 軸加速度を用いた．ノイズ除去のための移動平均は $n = 5$ として使用した．被

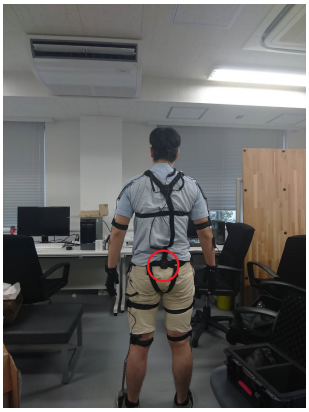

図 2 腰のセンサ設置位置

験者は大阪府立大学馬術部で騎乗回数が 20 回ほどの騎乗経験の浅い新入部員一名で行った．被験者はモーションキャプチャを着用した状態でデータの基準値となるキャリブレーションを地上で行った後に騎乗し，軽速歩の動きを行った．騎乗者の安全性を保つために行動範囲を 20m×20m に制限し，実際の練習と同じように指導者の指示に従い反時計回りで軽速歩を行った．計測は 2 回に分けて行い，合計 68 歩分のデータを得た．取得したデータの中には馬上でバランス感覚を養うトレーニングとして手綱から手を離した状態で軽速歩を行う等不規則な人間の動きが含まれている．

また，比較対象として上記のモーションデータ取得と同時に動画を撮影し，その動画から熟練者によって一完歩の区切りとなる時刻の正解データを得た．このとき，右前脚が地面に着地したタイミングを一完歩の区切りとしている．この正解データは，i 歩目の完了時刻を配列 $S[i]$ に順次格納したデータである．なお，時刻 $S[i]$ は $i+1$ 歩目の開始時刻とも言える．実験では時刻 $S[i]$ と提案アルゴリズムにより算出した時刻 $M[2i]$ を比較し，どの程度タイミングが一致しているかを調査した．なお，歩数のずれを除外して評価したいため，この配列 M は明確な誤りデータを手動で排除している．一完歩の区切りタイミングの正確さの評価では，$S[i]$ と $M[2i]$ の時間差 $\alpha = S[i] - M[2i]$ を求めた．一完歩にかかる時間の正確さの評価では，一完歩にかかる時間 $\beta = (S[i+1] - S[i]) - (M[2i+2] - M[2i])$ を求めた．また，動画と加速度から得られた一完歩にかかる時間のばらつきを調べるために $M[i+1] - M[i]$ と $S[i+1] - S[i]$ それぞれの分散を求めた．

3.2 実験結果・考察

一完歩の区切りタイミングの差 α はグラフ 3,4 に示す．このグラフ 3,4 では横軸が歩数，縦軸が動画と加速度の時刻差を表し，0 よりも値が大きくなると加速度から求めた歩数カウントが早く行われたことを表し，0 よりも値が小さくなると加速度から求めた歩数カウントが遅く行われたことを表す．

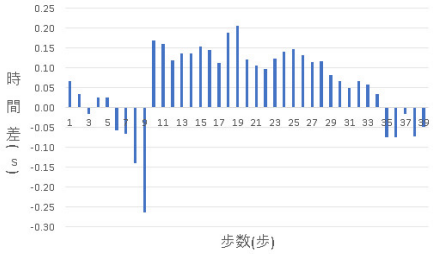

図 3 動画と加速度からの歩数時刻差 1

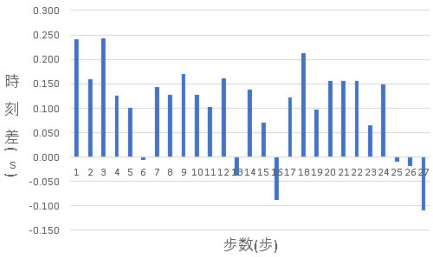

図 4 動画と加速度からの歩数時刻差 2

2 回の測定における誤差 $|\alpha|$ の平均は 0.08 秒で，最大誤差は 0.26 秒となり，一完歩にかかる時間の正解データにおける平均は 0.83 秒であった．この正解データと提案アルゴリズムで算出した一完歩にかかる時間の誤差 $|\beta|$ の平均は 0.07 秒で，最大誤差が 0.43 秒となった．また，β の分散を求めると表 1 のようになった．グラフ 3 で 6 歩目から

表 1 一完歩にかかる時間の分散

	動画	加速度
1 回目	5.8×10^{-4}	6.6×10^{-3}
2 回目	7.7×10^{-4}	1.1×10^{-2}

9 歩目にかけて大幅に加速度のカウントが遅れていた．この区間では騎乗者がバランストレーニングのために通常の騎乗とは異なり，騎乗者が手綱を放し片腕を回し始めており，馬の動きとは異なる振動が通常よりも多く含まれたことで誤差が大きくなったと考えられる．それ以外の歩数では動画と加速度によるカウントの差が 0.05 秒から 0.15 秒加速度が早くカウントする場合が多かった．また，動画と加速度から求めた一完歩にかかる時間のばらつきを表 1 から比較すると，動画に比べて加速度から求めたものにばらつきが多いことが分かった．

©2021 Information Processing Society of Japan

4. まとめ

腰の x 軸加速度を用いた一完歩推定は，乗馬に慣れていない初心者の加速度データを利用した場合で，一完歩の区切りタイミングの正解データと提案アルゴリズムで算出した区切りタイミングの誤差は平均 0.08 秒となった．一完歩にかかる平均時間は 0.83 秒であり，手綱を放すなど人間の不規則な動作が含まれる加速度データであっても 10%程度のズレに収まっていることが分かった．一完歩の区切りタイミングや，一完歩にかかる時間計測の実験では，明らかなエラーデータに関して目視により除外を行ったが，安定した歩数のカウントを行うために，自動的にエラーデータを選別して削除する方式を検討する必要がある．

参考文献

[1] 寺田佳代:”馬術競技における陣馬の動きと関係性”，バイオメカニズム学会誌，pp.141-146(2018)
[2] 丸山悟，勝間亮:”騎乗者の腰の加速度時系列データを用いた馬の一完歩推定” 関西支部大会，(2021)

©2021 Information Processing Society of Japan