

運動機能低下検出のための足音からの歩行状態推定

Gait Period Estimation with Footsteps for Detecting Locomotive Syndrome Risks

○ 児島宏明 (産総研) 井上剛伸 (国立障害者リハ研)

Hiroaki KOJIMA, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
Takenobu INOUE, Research Institute, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Abstract: Aiming at developing a sensor network which alerts health risks to aged people, we are focusing on locomotive syndrome risks, and investigating a method of analyzing gait patterns by using acoustic sensors. In order to analyzing gait patterns, we propose an estimation method of gait period from footstep data which recorded with microphones. The main part of the method is extracting local minima of normalized AMDF calculated from time series of high frequency band energy component. This method is evaluated by using 221 footstep samples retrieved from recorded living sound of aged 8 persons by comparing automatically estimated periods with hand labeled reference periods. The correct rate of samples whose errors are within 50ms is 65%, and the correlation coefficient between them is 0.53. Modified condition experiments are also conducted for comparison. The relation between gait estimation and locomotive risks is also discussed.

Key Words: Gait, Period, Footstep, Locomotive Syndrome

1. 背景と目的

障害者・高齢者が直面する主要な健康リスクに関連する物理量を継続的に監視するセンサ群からの情報を収集・解釈して、検知したリスクを可視化・周知・軽減する知能化センサネットワークを開発している。その一部として、マイクなどの音響センサを用いて、住居内における移動などの活動状況を推定し、運動機能低下リスク(ロコモリスク)を検出する方法を研究している。

2. システムの構成

ロコモティブシンドローム⁽¹⁾の徴候や具体的症状として挙げられるものには、四肢の関節等の可動域制限、変形、筋力低下、バランス力の低下、歩行速度の低下、つまづき易いなど、歩行に関連する内容が多くを占めることから、歩行状態や動線などの情報をセンサから自動抽出することを試みる。一般にセンサとしては、カメラ・焦電センサ・加速度センサなどが用いられることが多いが、ここでは設置・装着コストやプライバシー上の利点などを考慮して、室内に設置したマイクのみを用いる。システムの全体構成を Fig. 1 に示す。マイクからの音響信号を分析して、足音やその他の生活行動イベントを識別した後、歩行周期を抽出し、その長期的な変化や左右のバランスの崩れを検出するとともに、それらの情報を総合して総合的な活動量を推定する。生活行動イベントの識別については既報⁽²⁾に譲り、本稿では主に歩行状態の推定について述べる。

3. 歩行状態の推定方法

3-1 足音からの歩行周期の抽出

足音からの歩行分析については歩行者の識別を行うものや人数の推定を行うものなど多くの研究があるが⁽³⁻⁷⁾、ここでは正確な歩行周期の抽出を目的として手法を選択する。まず、足音の波形から周期性を分析するのに適した特徴量を抽出する。特徴量としては、次式のように高周波数帯域の対数パワーを用いた。

$$P_i = 10 \log \left\{ \frac{1}{F_h - F_l} \int_{F_l}^{F_h} |S_i(f)|^2 df \right\} \quad (0 \leq i \leq L)$$

(ここで $S_i(f)$ はハミング窓で抽出した i 番目のフレームのフーリエ変換を、 F_h 、 F_l は帯域の上限と下限を表す。 F_h 、 F_l

として以下では各々Nyquist周波数とその1/2を用いた。)高周波数帯域を用いることにより、音声など他の環境音の影響を低減でき、同時に発話内容の秘匿などプライバシー面での利点もある。

周期の抽出方法には、次式のようなAMDF(平均振幅差関数)を用いた。

$$A_j = \frac{1}{L-j} \sum_{i=0}^{L-j} |P_j - P_{j+i}| \quad (0 \leq j \leq M)$$

A_j を時間軸方向にたどって最初の極小値が歩行の半周期(片側周期)、2番目の極小値が1周期として検出される。極値を強調するために次式のような正規化処理を行った。

$$B_j = \frac{A_{max} - A_j}{A_{max}} \quad (A_{max} = \max_{0 \leq i \leq j} A_i)$$

これは、音声のピッチ抽出手法として知られるYIN⁽⁸⁾と類似の方法であり、正規化の基準としてYINが平均値を用いるのに対し最大値を用いる点が異なる。 B_j をスコアとしてその極大値の候補を閾値に基づいて抽出した後、周期構造に基づいて設定した条件から外れる候補を棄却することにより、周期を判定する。抽出例を Fig. 2 に示す。波形データは48 kHz, 24 bitでサンプリングしたPCMで、パワースペクトルは窓長10.7 ms, 周期5 msのハミング窓により512点のFFTで算出した。

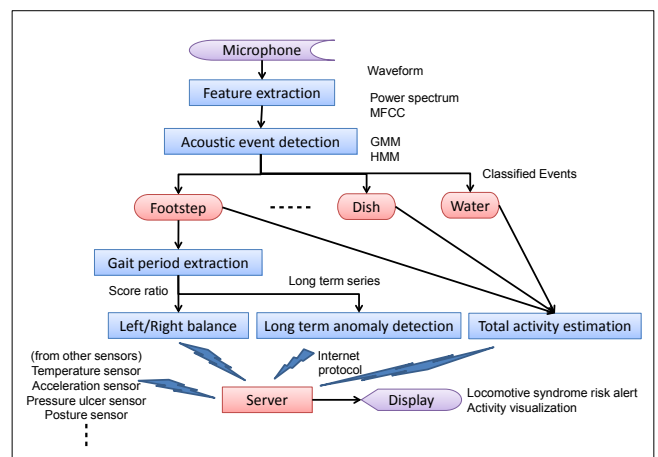


Fig. 1 Block diagram of the acoustic gait estimation system

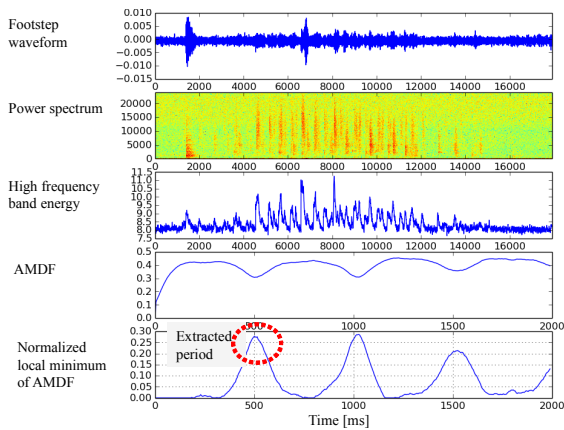


Fig. 2 Example of gait period estimation with a footstep sound

3-2 ロコモリスクの推定

ロコモリスクの検出に関連する量として、活動量、左右バランス、歩行周期の長期変化量を対象とする。活動量を表す量として移動距離が考えられるが、音響信号からは歩幅の情報が得られないため、ほぼ等価な量として歩数の総和で代替するか、または音響イベント識別結果や他のセンサなどを併用して得られる距離情報を利用する。左右バランスについては、半周期と1周期のスコアの比に基づいて推定する。長期変化量を抽出するためには、長期にわたって観測した歩行周期の時系列データが必要になる。それを統計的にモデル化するには、行動内容や生活状況による依存性を考慮して影響を取り除く必要がある。

4. 評価実験と結果

高齢者の歩行データを収録して評価実験を行った。被験者は69～77歳の男女各4名で、4LDKの木造家屋において、調理、食事、掃除、水仕事、部屋間の移動などの模擬生活行動をひとり1時間程度行った。床は全て木質で2種類のスリッパを用い、床に設置した6台のマイクで収録した。そこから歩行シーンを抽出し計221サンプルが得られた。

各サンプルの歩行周期の正解値を得るために、人手で5段階のラベル付けを行った。ラベルは{1.速い, 2.やや速い, 3.普通, 4.やや遅い, 5.遅い}の5段階で評価し、{1, 3, 5}に対応して各々{400ms, 500ms, 600ms}の周期で生成した合成足音を基準として比較聴取しながら付与した。前述の手法で歩行周期(半周期)を抽出し、結果をラベル別のヒストグラムにしたものをFig. 3に示す。ほぼラベルの基準値を中心に概ね正しく分布していることがわかる。抽出精度の評価結果としてTable 1に、基準値の±50msと±100msを正解とした正解率、平均誤差、抽出周期とラベルとの相関係数を示す。極小値が得られなかったものと200msから800msの範囲外のもの抽出失敗とした。比較のため、特徴量として高域パワーの全パワーに対する比を用いた結果と、正規化にYINと同じく平均値を用いた結果も併記した。

Table 1 Evaluation results of gait period estimation

	% Correct (50ms)	% Correct (100ms)	Ave. error [ms]	Correlation coefficient	#Fail
Proposed method	66.4	85.5	59.7	0.512	22
Power ratio feature	48.8	63.0	65.1	0.473	64
Mean normalization	61.1	75.8	45.3	0.564	67

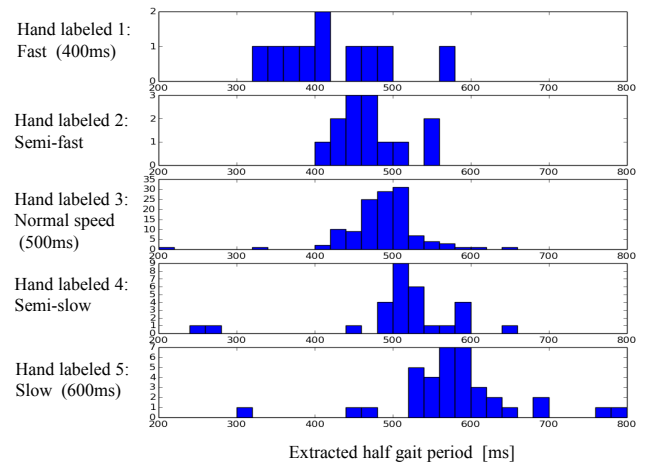


Fig. 3 Histogram of estimated gait periods

5. まとめと課題

足音から歩行状態を推定してロコモリスクを検出する手法について述べた。足音から歩行周期を抽出する実験により精度を評価した結果、比較した他手法の中で正解率が最も高かった。ただし、これは閾値などの条件にも依存するので、条件を調整して比較した上で結論付ける必要がある。今後の課題としては、帯域周波数や閾値等の最適化、複数のラベラによる一致度の検定、歩行情報からの活動量の推定、左右バランスの推定、長期データの収集、行動イベント識別結果との統合、センササーバへの接続とユーザへのリスク情報提示、などが挙げられる。

謝辞

本研究は科研費(22300203及び24240083)の助成で実施した。日頃助言やご議論いただく関係各位に謝意を表す。

参考文献

- (1) 中村耕三, ロコモティブシンドローム(運動器症候群), 日老医誌, vol. 49, no. 4, pp. 393-401, 2012.
- (2) 児島宏明, 橋本泰治, 他, 音響的見守りのための環境音識別の検討, 日本音響学会春季講演論文集, pp. 931-932, 2011.
- (3) 磯村太郎, 野村祐基, 他, 屋内環境下における歩行足音の検出手法に関する一検討, 信学技報, SIS2007-81, pp. 1-6, 2008.
- (4) R. V. Rodriguez, R. P. Lewis, et al., Footstep Recognition for a Smart Home Environment, Int. Journal of Smart Home, vol. 2, no. 2, pp. 95-110, 2008.
- (5) H.O. Park, A. A. Dibazar, T. W. Berger, Cadence analysis of temporal gait patterns for seismic discrimination between human and quadruped footsteps, Proc. ICASSP 2009, pp.1749-1752, 2009.
- (6) 田中元志, 井上浩, 足音スペクトルの比較による木造家屋内の歩行認識に関する一検討, 電学論 C, vol. 122, no. 3, pp. 525-526, 2002.
- (7) 田中康貴, 田中伸一, 谷本益巳, 歩行周期推定に基づく足音の認識, 日本音響学会秋季講演論文集, pp. 611-612, 2010.
- (8) A. de Cheveigné, H. Kawahara, Yin, a fundamental frequency estimator for speech and music, J. Acoust. Soc. America, vol. 111, no. 4, pp. 1917-1930, 2002.