

## 木造家屋内の足音の識別に関する一検討

### A Study on Recognition for Footsteps in a Wooden House

○田中元志, 石川瑞穂, 井上浩

○Motoshi Tanaka, Mizuho Ishikawa and Hiroshi Inoue

秋田大学 工学資源学部

Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University

キーワード : 足音 (footsteps), 周波数解析 (frequency analysis),  
特徴抽出 (feature extraction), 歩行認識 (walk-recognition)

連絡先 : 〒010-8502 秋田市手形学園町1-1 秋田大学 工学資源学部 電気電子工学科  
田中元志 Tel.: 018-889-2492, Fax.: 018-835-4651  
E-mail: [tanaka@ipc.akita-u.ac.jp](mailto:tanaka@ipc.akita-u.ac.jp)

## 1. はじめに

足音は、人間の耳である特定の個人が歩いていることを区別できる場合があり、個人の特徴が現れやすい信号であることから有用な情報が含まれていると考えられる。しかし、足音は、個人によって歩き方や歩く時の癖などが異なり、また同一人物でもその時の条件（体調、歩く目的、場所、履物など）によって異なる場合がある。したがって、どのような特徴を取り出せるか、そして利用できるか、が問題となる。

歩行が確認（認識）できれば、高齢者の活動状態（例えば、生活をしている、など）が把握できると考えられ、新しい在宅ライフサポートシステムへの利用が期待できる。特に、高齢者の一人暮らしやその夫婦世帯の増加は、人間の生活活動を離れたところで把握できる在宅ライフサポートテクノロジーに対応するセキュリティシステム、すなわち、在宅の高齢者が災害や急激な身体状況の変

化などに見舞われたときに迅速かつ適切に対応できる社会的なネットワークシステムを必要としてきている<sup>1),2)</sup>。また、未来のビル・住宅セキュリティシステムの開発においても、足音を感知した箇所に監視カメラを切替える、あるいは注意を促す、などの利用が考えられる。しかし、歩行による建物の振動の解析は幾つか報告されているが<sup>3)</sup>、足音そのものについての検討は見あたらない。

そこで、基礎研究として、コンクリート製の建物内での足音のパワースペクトル解析から、歩く速さに対応する「ピッチ周波数」と、その場所の歩行を示すと考えられる「履物と床との衝撃・摩擦音（以後、振動）の第1ピーク周波数」を特徴として抽出した<sup>4)</sup>。そして、これらを歩行時の特徴ベクトルとして、簡単な歩行認識を行い、その可能性を示した<sup>5)</sup>。また、木造家屋内での足音については、裸足とスリッパを履いた場合ではそのパワースペクトル包絡の形状が異なり、ある周波数帯で大きさを比較することにより履物の識別の

可能性を示した<sup>6)</sup>。

本研究では、木造家屋内での足音のスペクトル包絡の相関をとることにより、歩行時の履物の識別を試みた。

## 2. 足音の採取

足音（歩行時の音響信号）の採取条件をTable 1に示す。場所は木造建築の普通の家屋1Fの廊下であり、床から15 cmの高さにマイクロホンを固定した。被験者は約8 m先からマイクロホンに向かって歩き、その足音をDATレコーダで録音する。被験者数は3名であり、履物の条件を変えて、各被験者・履物毎に15回ずつ録音した。録音された足音は、DATレコーダからインターフェース（Sound Blaster, Creative Tech. Ltd.）を介してコンピュータに取り込まれる。このとき、サンプリング周波数は48 kHzから44.1 kHzに変換される。一度に取り込む足音の時間は約6 sである。足音の時間波形例（被験者A、履物はスリッパ）をFig.1に示す。

Table 1 足音の採取条件

場所	木造家屋内1F廊下 (床：板張、長さ：約8m、幅：約1.5m)
履物	スリッパ、裸足、靴下
被験者	健康な男子3名(21~22才)
録音装置	マイクロホン (Sony ECM-959A) DATレコーダ (Sony TCD-D7)

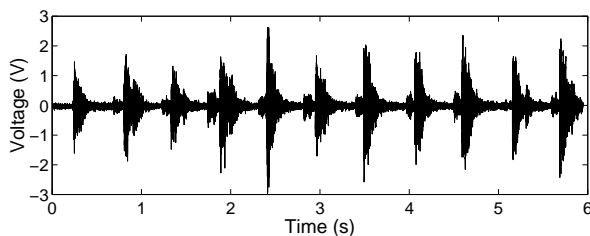
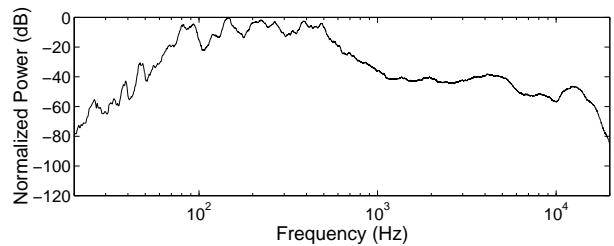
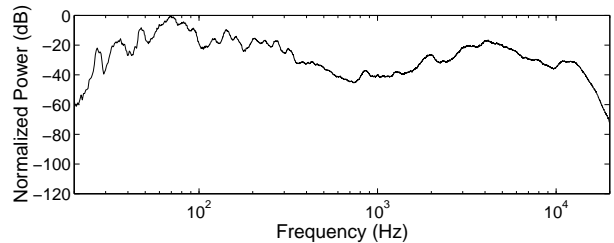


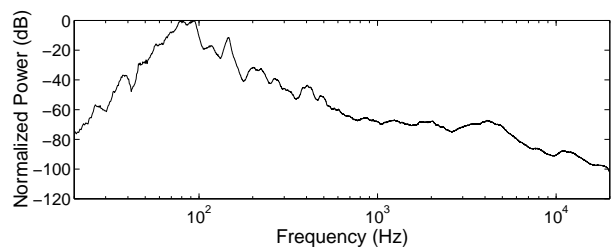
Fig. 1 足音の時間波形例



(a) スリッパ



(b) 裸足



(c) 靴下

Fig. 2 足音のパワースペクトルの例（被験者A）

## 3. スペクトル包絡の比較による足音の識別

### 3.1 特徴抽出

FFT<sup>7),8)</sup>を用いて、足音の時間波形のパワースペクトルを求めた。そして、対数表示後、移動平均によりその包絡線を求めた。移動平均のポイント数は、周波数が高くなるにつれて指数関数的に増えるように設定した。パワースペクトル包絡線の例（被験者A）をFig.2に示す。(a)は履物がスリッパ、(b)は裸足、(c)は靴下の場合の結果である。縦軸は最大値で正規化したパワーである。得られた多くのスペクトルを比較すると、被験者（歩行者）及び履物の違いによってある特定の周波数範囲において違いが見られる。そこで、スペクトルの包絡線の比較によって、個人、履物、場所などの特

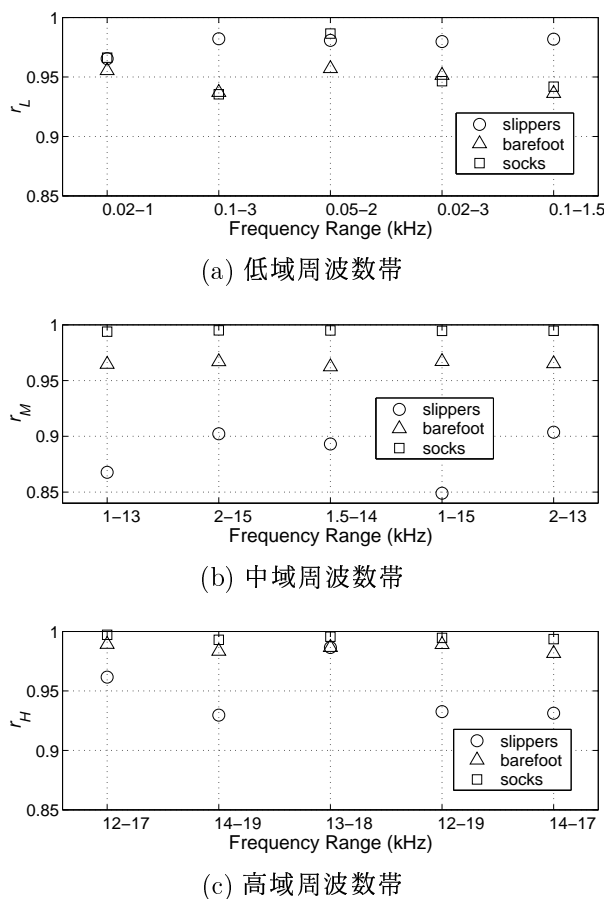


Fig. 3 相関係数の比較

徴の抽出を試みる。

パワースペクトルの類似度を特徴とするため、周波数帯域を低域、中域、高域の3つの帯域に分け、予め入力された足音（教師信号）と新たに入力された足音のスペクトル包絡の相関係数 $r_L$ ,  $r_M$ ,  $r_H$ を求める。各周波数帯域において、周波数の範囲を変えたときの相関係数の変化をFig.3に示す。図中の値は、被験者3名の平均値である。ここでは、各履物に対する相関係数が最大になるように周波数範囲を0.05~2 kHz, 1.5~14 kHz, 13~18 kHzと決めた。この周波数範囲は場所に依存することが考えられる。この時の相関係数を特徴ベクトル $P(r_L, r_M, r_H)$ として、クラスタリングを行う。

被験者Aの足音を教師信号としてクラスタリングを行った結果の例をFig.4に示す。(a)は履物がスリッパ、(b)は裸足の場合である。図中、○△□は

被験者Aの足音（各5個）、◇+×は他2名の足音（各5個/名）に対する結果であり、○◇は履物がスリッパ、△+は裸足、□×は靴下の場合である。(a)では、被験者Aのスリッパでの足音（○）のクラスタが相関係数1付近に集まっており、履物が異なる場合のクラスタと分離されている。(b)でも同様である。また、他人の足音とも分離できることがわかる。他の被験者の足音を教師信号にした場合についても同様の結果が得られた。

### 3.2 足音の識別

音声認識や画像認識においては幾つかの認識方法が提案されているが<sup>9), 10)</sup>、歩行認識については未知であり、基礎検討であることから、最も単純な方法で足音の識別を試みた。アルゴリズムを以下にまとめる。

<学習>

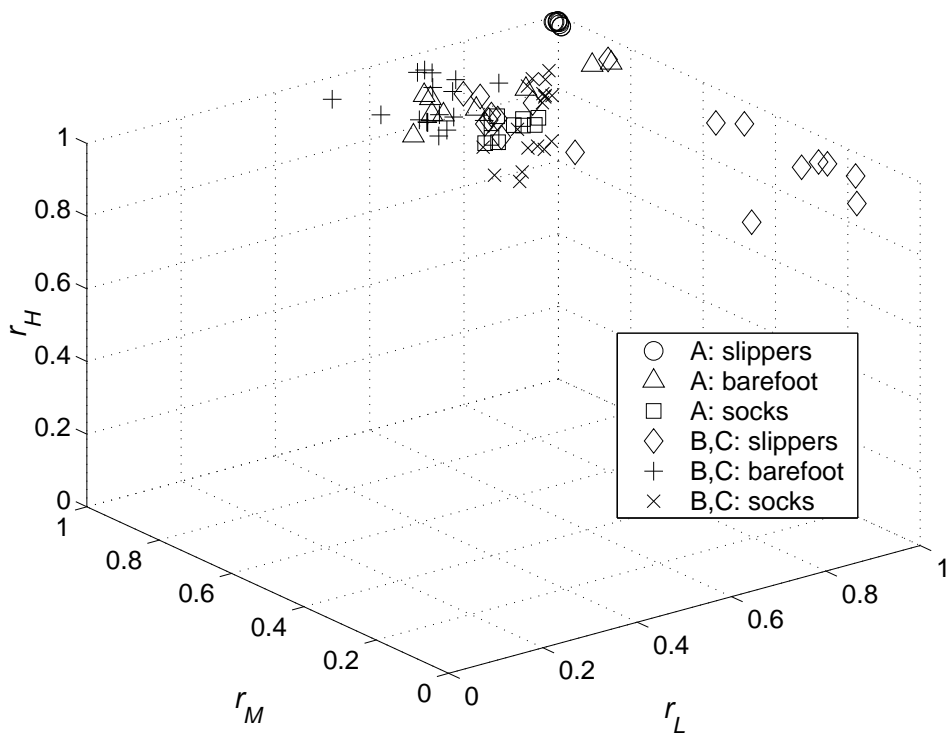
- (1) 認識したい歩行者の足音をスペクトル包絡を求め、教師信号とする。
- (2) 同じ歩行者の足音を入力し、スペクトル包絡を求める。
- (3) (1)の教師信号と比較し、3つの周波数帯における相関係数を求め、特徴ベクトル $P(r_L, r_M, r_H)$ とする。
- (4) (2)(3)を繰り返し、クラスタリングを行なう。学習された特徴ベクトルのある集り（クラスタ）を全て含む値（境界値） $r'_L$ ,  $r'_M$ ,  $r'_H$ を求める。

<認識>

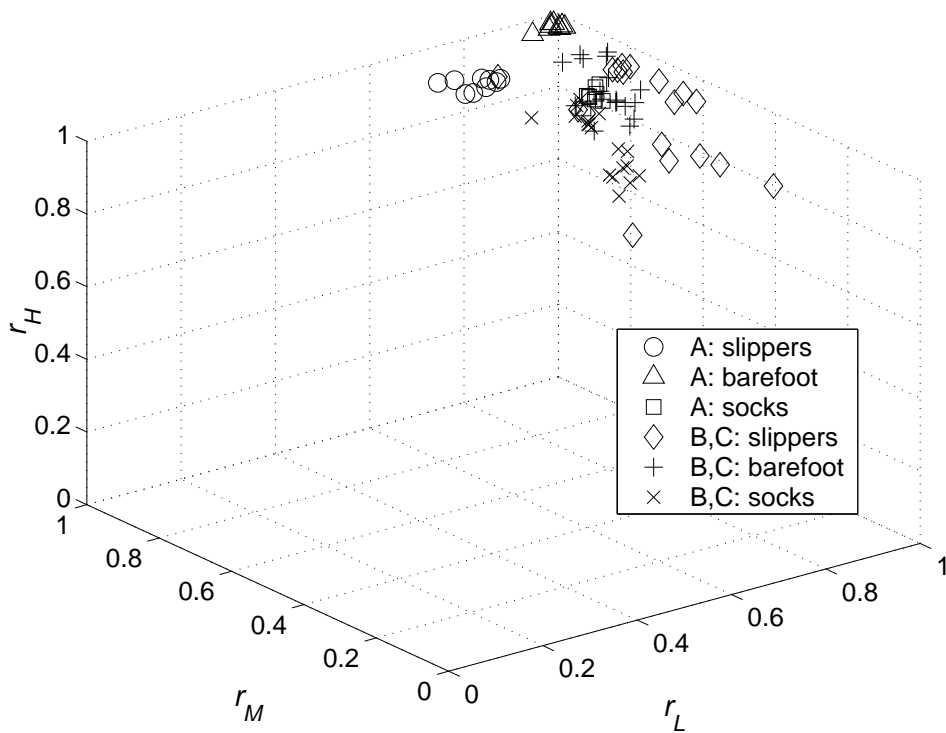
- (5) 足音を入力し、スペクトル包絡を求める。
- (6) (3)と同様にして特徴ベクトル $P(r_L, r_M, r_H)$ を求める。
- (7) 特徴ベクトル $P$ が、(4)で求めたクラスタの境界値 $r'_L$ ,  $r'_M$ ,  $r'_H$ を越える領域、つまり

$$r'_L \leq r_L, r'_M \leq r_M, r'_H \leq r_H \quad (1)$$

となる領域に含まれるとき、「その人がその履物で歩いた足音である」と識別する。



(a) 教師信号：被験者A, スリッパ



(b) 教師信号：被験者A, 裸足

Fig. 4 相関係数によるクラスタリングの結果の例

各歩行者及び履物について、学習データ数9, 認識入力足音数45として、歩行者及び履物の識別を行った。結果（識別率）をTable 2に示す。歩行者と履物を平均約93%で識別でき、足音の識別の可能性が示された。本識別方法が簡単な閾値比較によるものであることから、アルゴリズムの改良によって認識（識別）率の向上が期待できる。

Table 2 足音の識別結果

	スリッパ	裸足	靴下
被験者A	97 %	95 %	100 %
被験者B	91 %	86 %	100 %
被験者C	93 %	75 %	93 %

#### 4. まとめ

木造家屋内の足音について、そのパワースペクトル包絡の相関をとることにより、足音の識別を検討した。その結果、歩行者及び履物を約93%識別でき、足音による個人識別の可能性を示した。今後、被験者数及びデータ数を増やし、また認識率向上のための学習・認識アルゴリズムについて検討していく予定である。

#### 謝辞

本研究の一部は文部省科学研究費補助金（奨励研究(A)課題番号11750298）の援助によって行われた。

#### 参考文献

- 1) 全国社会福祉協議会: “高齢者ライフラインシステムの普及開発に関する調査研究報告書”, (1992).
- 2) 土肥健純: “ライフサポートテクノロジーの今後の展望—生命から生活へ—”, 日本ME学会雑誌, Vol.7, No.4, pp.44-51 (1993-4).
- 3) 例えば, 井上勝夫, 木村翔: “住宅床の床衝撃音と歩行感覚評価”, 音学誌, **55**, 2, pp.112-118 (1999).
- 4) 田中元志, 井上浩: “周波数解析による足音の特徴抽出に関する一検討”, 電学論, **117-C**, 4, pp.483-484 (1997).

- 5) M. Tanaka and H. Inoue: “A Study on Walk-Recognition by Frequency Analysis of Footsteps”, *Trans. IEE of Japan*, **119-C**, 6, pp.762-763 (1999).
- 6) 田中元志, 中川功一, 井上浩: “木造家屋内歩行における履物の識別に関する一検討”, SICE'99, 209B-4 (1999).
- 7) 日野幹雄: “スペクトル解析”, 朝倉書店 (1977).
- 8) 佐川雅彦, 貴家仁志: “高速フーリエ変換とその応用”, 昭晃堂 (1993).
- 9) 古井貞熙: “音響・音声工学”, pp.96-219, 近代科学社 (1992).
- 10) 今井 聖: “音声認識”, 共立出版 (1995).