

歩行時の床面圧力分布情報を用いた個人識別システムに関する研究

Identification System of Walking Person utilizing Floor Pressure Distribution

佐藤知正 森武俊

情報理工学系研究科知能機械情報学専攻

概要

人の素足での歩行の情報を、センシングフロア（スイッチセンサを密に配置した床）で収集し、この時系列情報に基づいて個人を同定したり、個人を同定しながらその人の歩行追跡を実現するアルゴリズムを構築した。これは、本研究ユニットで構築中のロボットルーム（人をさりげなく見守っていて、必要な時に必要な物理的支援をしてくれる環境型ロボット）を構成する機能の一つである。

1 はじめに

佐藤・森研究室では、人をさりげなく見守っていて必要な時に必要な物理的支援をしてくれる環境型物理支援ロボット（ロボットルーム）の構築を進めており、そのロボットルーム研究では、その中で生活する人の行動に応じて、その行動に適した行動環境を実現することを目指している（行動支援環境の実現）。特に、日常生活の場においてユーザごとに適合したサービスを提供するシステムを構築するためには、その前提として“誰がどこにいるのか”を把握している必要がある。個人識別および人間の位置検出手法は多数存在するが、日常生活の場においてユーザに身体的・精神的な負担なく使用できるという条件を満たすものは少ない。そこで本年度は、ユーザに対する計測負荷の小さい床面圧力分布情報を用いて、ユーザの個人識別および位置把握を行うことのできるシステムの研究にとりくんだ。

2 圧力分布情報を用いた個人識別システム

提案する個人識別システムの全体像をFig. 1に示す。この個人識別システムは、床面圧力分布情報取得部、特徴量抽出部、個人識別器の3つの部分から成る。



Fig. 1 Individual identification system

床面の圧力分布情報を取得する手段としては、これまでに佐藤・森研究室で開発してきたセンシングフロア[1]を用いた。センシングフロアにより得られる床面圧力分布情報は、そのままでは単なる2値画像の時系列に過ぎない。この床面圧力分布情報から個人識別に有効な特徴量を抽出する必要がある。

本稿では、**足形時系列**と命名した歩行特徴量を定義して個人識別に用いた。この特徴量の定義に関しては、次の第3章にて述べる。

床面圧力分布情報から抽出された特徴量は、個人識別器に入力され、入力された特徴量が誰のものであるか、あるいは未知人物であるかを示す人物ラベルを出力する。この個人識別器に関しては第4章において述べる。

また、個人識別システムは各個人の歩行を追跡するというタスクに対しても有効であると考えられる。そこで、個人識別システムを用いた追跡アルゴリズムを考案し、実装した。この追跡アルゴリズムに関しては5章にて述べる。

3 圧力分布情報に基づく足形時系列

3-1 足形時系列の定義

歩行中の1歩において、踵から着地してつま先から離地するまでの各フレームにおける足形を Fig. 2に示すように X 行 Y 列の格子で分割する($X, Y \in N$)。分割された XY 個の各部分において、足形の一部が占める割合がある閾値を超える場合は1、そうでない場合は0であるとする。第 k フレーム目の足形について、1行1列の値、1行2列の値、...、 X 行 Y 列目の値、と順に並べた XY 次元ベクトルを $x_k \in [0, 1]^{XY}$ とおく。この XY 次元ベクトル列 $\{x_k / k = 1, \dots, N_f\}$ を、**足形時系列**と呼ぶこととし、個人識別に用いる特徴量抽出アルゴリズムに適用する。ただし、 N_f は足形が床面に現れてから完全に消えてしまうまでのフレーム数とした。

3-2 足形時系列間の距離

足が床面に接地してから離地するまでの所要時間は、人によって様々であり、同一人物であっても1歩ごとに異なるものである。それゆえ、時間的な伸縮は誤差としてカウントしないような距離算出法を適用することが望ましい。

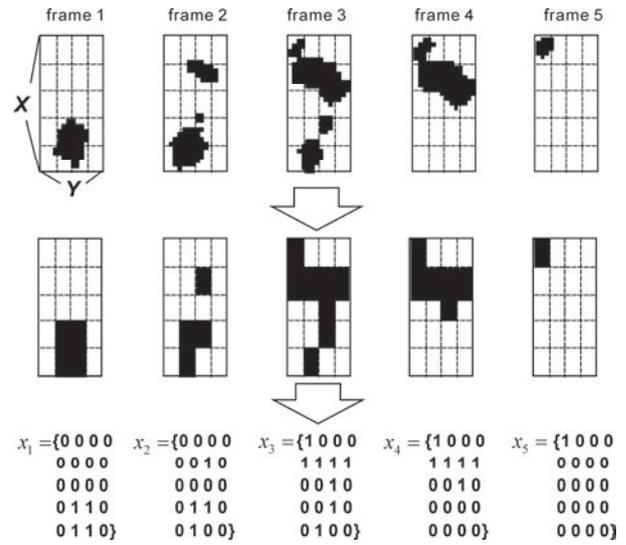


Fig. 2 Feature extraction of foot-floor contact area pattern change from Sensing Floor data

そこで、2つの足形時系列の距離の算出に、DPマッチング法を適用することにした。具体的には、2つの足形時系列間の距離を、以下に示す手順で得られる実数値として定義した。

人物 i の第 j 歩目の足形時系列を f_{ij} と表現する。この1歩の着地から離地までの所要フレーム数を N_f フレームとし、その中の第 k フレーム目の接地状況を示す XY 次元ベクトルを x_k とおくと、 $f_{ij} = \{x_k \in [0, 1]^{XY} / k = 1, \dots, N_f\}$ と表現できる。ここで、人物 i' の j' 歩目の足形時系列を $f_{i'j'} = \{y_l \in [0, 1]^{XY} / l = 1, \dots, N'_f\}$ としたとき、 f_{ij} と $f_{i'j'}$ との距離 $DP(f_{ij}, f_{i'j'})$ を、

$$d(x_k, y_l) = \sum_{n=1}^{XY} |x_{kn} - y_{ln}|$$

$$g(x_k, y_l) = \min \begin{matrix} ?g(x_{k-1}, y_l) + d(x_k, y_l) ? \\ ?g(x_{k-1}, y_{l-1}) + 2d(x_k, y_l) ? \\ ?g(x_k, y_{l-1}) + d(x_k, y_l) ? \end{matrix}$$

$$DP(f_{ij}, f_{i'j'}) = \frac{g(x_{N_f}, y_{N'_f})}{N_f + N'_f}$$

と定義する。 $d(x_k, y_l)$ は1フレーム分の画像間の

距離を表しており、 $g(xk, yL)$ は、 $DP(fij, fi' j')$ を導出する漸化式となっている。

4 足形時系列を入力とする個人識別器

4-1 個人識別器概観

足形時系列を入力とする個人識別器の概観を Fig. 3に示す。

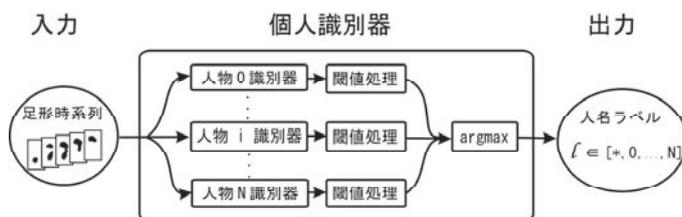


Fig. 3 Image of individual classifier

入力された足形時系列は、登録された各人物に対応する小識別器に渡される。図中の人物*i*識別器は、人物*i*に対応した小識別器を示している。詳細は次節にて述べるが、人物*i*識別器は渡された足形時系列が人物*i*のものであるという確信を示す0以上1以下の実数値 c_i を出力する。この数値が大きいくほど確信の度合いが高く、逆に小さいほど確信の度合いは小さい。ここで c_i に閾値を設け、閾値より小さい値ならば、入力された足形時系列は人物*i*のものではないと判断することとした。閾値を上回る数値を出力する小識別器が複数ある場合、最大の確信度を示す小識別器に対応した人物ラベルを出力する。閾値を上回る数値を出力する小識別器が皆無の場合、入力された足形時系列は登録されている誰のものでもない判断し、未知人物を示すラベルを出力する。

4-2 小識別器

人物*i*に対応した小識別器は、Fig. 4で示すように、距離算出器と確信度算出器の2つからなり、1歩分の足形時系列を入力として受け取り、その足形時系列が人物*i*のものであるという確信の度合いを示す実数値を出力する。

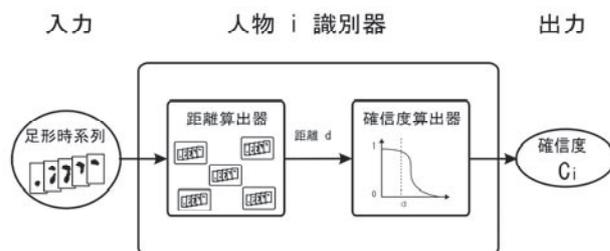


Fig. 4 Classifier module for specifying person

人物*i*に対応する距離算出器は、 M 歩分の人物*i*の足形時系列をテンプレートデータとして格納したものである。入力された未知の足形時系列と、距離算出器が保有する全てのテンプレートデータとの距離を3.2節に示す距離算出式に従って算出する。算出した M 個の距離の中で最も小さな値を示すものを代表値として、距離算出器の出力とする。

確信度算出器は、人物*i*の足形時系列をさらに M 歩分用意し、それらを人物*i*距離算出器に入力し、その出力値の分布状況を記録することで構成される。具体的には、距離の小さい順にソートされたランキングリストとして構成される。ランキングリストが M 位まで記録されたものであり、距離算出器から渡された距離値がその中で L 位以上 $L+1$ 位未満であるとき、確信度算出器は、 $c_i = 1 - L / M$ という値を出力するものとした。これは、ランキングリスト中に与えられた距離値よりも順位の低いものがどれくらいあるか、という割合を示している。

5 個人識別システムを用いた追跡アルゴリズム

床面の圧力分布情報から歩行者の追跡を行う研究は既にいくつかなされており、おおむね良好な追跡を実現している。しかし、複数人物のすれ違い、あるいは並行歩きといった状況では十分な識別精度が出ないという問題があった。床上にい

る各個人を弁別できれば、すれ違い、あるいは並行歩きという状況下でも良好な追跡が行えるのではないかという発想から、個人識別システムを採用した追跡アルゴリズムを実装した。大まかな処理の流れは、以下に示すとおりである。

既存手法[2]に従い、時系列に沿って1歩ずつ追跡していく。次の1歩の候補が複数存在するとき、各候補の足形時系列を個人識別器にかけて、どの人物の足形であるかを識別する。現在の1歩と次の1歩が同じ人物のものになるように次の1歩を選択する。

このように、既存の手法を適宜サポートする形で個人識別システムを用いる人物追跡アルゴリズムを構成した。

6 性能評価実験

6-1 個人識別システム性能評価実験

個人識別システムの性能を評価するため、5人の被験者の歩行データをもとに個人識別器を構成し、さらにその5人を含む15人の左右50歩分の歩行データを構成した個人識別器に入力し識別精度を評価した。個人識別器の構成において、50 \times 2=100歩分の歩行データで距離算出器および確信度算出器を構成した。また、左足用と右足用とで分けて、2種類の識別器を構成した。識別精度を示す指標として、FAR(他人受入率)およびFRR(本人拒否率) [3]を用いた。

結果をFig. 5に示す。閾値が0.1の場合の識別精度を見ると、FAR=0.05、FRR=0.1という良好な精度であるとわかる。

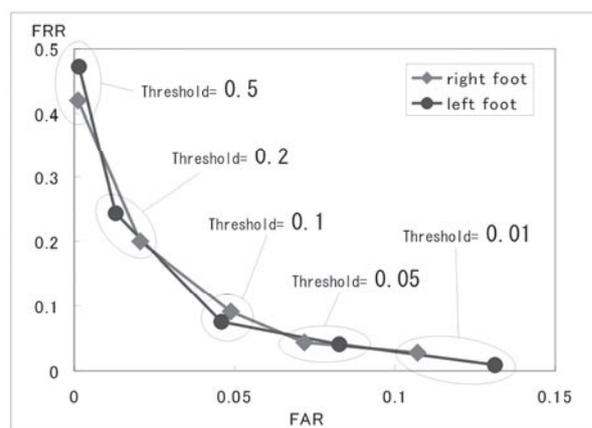


Fig. 5 Result of identification

6-2 人物追跡アルゴリズム評価実験

2人の被験者を募りセンシングフロア上を同時に歩いてもらい、各人物を正しく追跡できるかを示す実験を行った。被験者には、すれ違い、並行歩きの2種類の歩行パターンで各10回ずつ歩行してもらった。

その結果、第5章で示した追跡アルゴリズムによる追跡成功率は、すれ違いパターン60%、並行歩きパターン50%であった。個人識別器を組み込まなかった場合の追跡成功率が、すれ違いパターンで60%、並行歩きパターン30%であったことから、人物追跡性能が向上していることがわかる。

7 おわりに

人をさりげなく見守って必要な時に物理支援を与える環境型物理支援ロボットルームの構成要素であるセンシングフロアから得られる人の歩行情報に基づいて個人同定するアルゴリズムを実現した。具体的には、センシングフロアから歩行時の床面圧力分布情報を取得し、そこから足形時系列なる特徴量を抽出し、この足形時系列をもとに個人識別を行うシステムを開発し、その識別性能を評価した。

性能評価実験においては、左足の歩行データと右足の歩行データを分けて個人識別実験を行い、その結果、左右どちらの足についても、FAR(他人

受入率)が5%程度, FRR(本人拒否率)が10%程度という精度で個人識別を行えることが示された。

また、この個人識別システムを人物追跡アルゴリズムに組み込むことにより、追跡精度を向上させる得ることがわかった。

参考文献

- [1] H. Morishita, R. Fukui, T. Sato. High Resolution Pressure Sensor Distributed Floor for Future Human-Robot Symbiosis Environments, Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems EPFL, pp.1246-1251, October, 2002.
- [2] 森武俊, 星名真幸, 森下広, 原田達也, 佐藤知正. センシングフロアによる人の識別・追跡. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'03 講演論文集, 2003.
- [3] S. Liu, M. Silverman. A Practical Guide to Biometric Security Technology. IEEE IT Pro, pp.27-32, Jan./Feb., 2001.