

ワイヤレスセンサシューズの研究

66783 江副 亮介
指導教員 保坂 寛 教授

Foot pressure shoes used for a wearable sensor system for human behavior recognition are developed. The system real-timely monitors a user's state to offer appropriate services for activity support in our daily life or industrial field based on the user's objective, preference, state, location and time. The shoes recognize the states which are movement(walking, running, riding on a bicycle), standing, sitting and so on. Multivariate analysis is used in place of a visual observation method for the recognition by the shoes. In this new method seven actions in daily life can be recognized in accuracy 100% near. In the result, it is achieved to recognize a user's behavior regardless of individual differences and to improved foot pressure shoes.

Key words : Shoes, Human Behavior Recognition, Wearable Sensors, Discriminant Analysis

1. 緒 言

ユビキタス社会において、個人に応じた最適な活動支援を行うためには、個人の行動・状況を認識することが重要である。環境側で人間の行動を認識する手法として、部屋に各種センサを取り付けて居住者の生活行動を計測・解析する研究が行われている¹⁾。しかし時間や場所に依らず行動認識するには、携帯可能なセンサによる身体情報・時空間情報の測定が望ましい²⁾。

本研究では、日常的に装着することを想定して、靴や腕時計、眼鏡などに内蔵されたセンサを用いたウェアラブルセンサシステムを開発している³⁾。このシステム内で、特に足圧データによる歩行分析は装着者の行動を明示する情報として重要なものであるが、行動認識への活用のためには、日常生活における十分な歩行データの取得を可能とするシステムと個人差に捉われない高精度の認識アルゴリズムの構築が必要となる。

この様な背景を受けて、本研究では靴に足圧センサを装着し、無線通信を使用することで、日常における歩行パターン測定を可能とするセンサシューズを開発し、多変量解析における判別分析法をデータ解析に導入する事で、個人特性を内包する認識アルゴリズムを構築する手法を確立した。

2. 足圧分布計測シューズ

2.1 シューズの開発

日常における足圧計測を可能とするために、シューズの軽量化、耐水・耐衝撃性を念頭に置き、開発を行った (Fig.1)。

まずセンサ部には、圧力変化に従い抵抗値が加圧によってアナログ的に低下する感圧導電ゴムを使用した。これを人間工学の見地より重心の推移に主眼を置き、拇趾・拇趾球・小趾球・踵・外側部・中足部前・中足部後の7箇所に設置した (Fig.2)。また、通信モジュール部には、新規開発した小型の無線内臓マイコンを使用した。専用の受信アダプタを用い、PC間と微弱無線により通信を行う。更にモジュール部はビニールで保護し、シューズ内部に設置することで、耐水・耐衝撃性の向上を図った。加えて、計測状況の把握のため、データのリアルタイム表示機能、表示ch選択機能等を持つ計測ソフトを開発した。

2.2 シューズの機能評価

開発したシューズを用い、日常的な行動を想定した、立位、座位、歩行、走行、階段上昇、階段下降、自転車乗車時の7行動の認識実験を行った。計測されたデータから、各行動・各種歩行の差異を認識できる特徴的な波形が確認できた (Fig.3)。



Fig.1 Wireless sensor-shoes

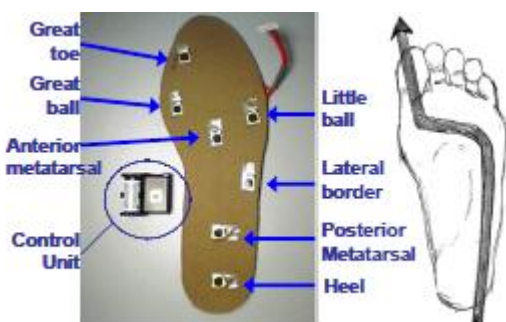


Fig.2 A position of foot pressure sensor

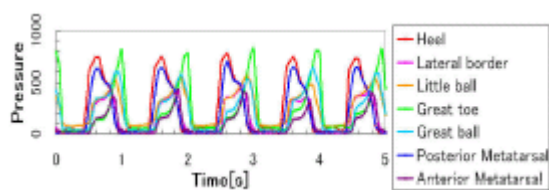


Fig.3 Foot pressure distribution in Walking

3. 判別分析による行動認識

3.1 判別分析法

判別分析とは特性が多変量で与えられているあらかじめ区別して設定された n 群の母集団が存在している状態で、新規に個体が観測された時に、この個体がどの母集団に所属するかを判定するための判別式を導出する手法である⁴⁾。

新規観測値に対して両群の重心との距離を計算して、近い方の群に判別することを考える。ただし距離としては、各変量の分散および変量間の相関を考慮して、次のように標準化した距離

$$D_j^2 = (X - \mu_j)' \Sigma_j^{-1} (X - \mu_j) \quad (1)$$

を用いる。これをマハラノビスの汎距離と呼ぶ。このマハラノビスの汎距離で各母集団の等確率楕円を表現する事が可能であり、その交点を通過する直線ないし曲線は各変量を重み付けした関数

$$Z = \sum_{p=1}^n a_p X_p + c \quad (2)$$

で表現され、判別式として算出される (Fig.4)。

これに加え判別式を構成する各変量に対して、変量間や判別結果との相関を検定する事により、判別に有意な変量のみを選定する事が可能である。

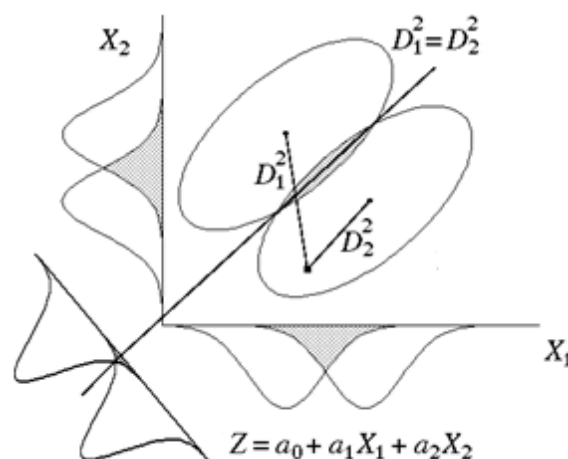


Fig.4 Conception of Discriminant Analysis

3.2 足圧データへの導入

現在までに考案された行動識別アルゴリズムは、足圧の時系列波形から捉えられる特徴量を使い、識別閾値も人手で決定していた。このため、個人毎にセンサの特性を考慮して判別条件の設定が必要になるとともに、判別式やセンサ位置は最適化する必要があった。

そこで判別分析法が足圧分布データに対し有効ならば、最適な判別式を自動的に導出するとともに、判別に必要な最少のセンサ数を確認できると考え、判別分析法の歩行分析への適性を検証した。

平地歩行、階段昇降の3行動について、踵、拇趾の圧力ピーク値の2特徴量50歩分を用いて判別分析を行ったところ、Fig.5の結果とTable.1の示す判別の中率が確認できた。続いて新たに踵の接地時間を新たな特徴量として加え、3特徴量50歩分のデータにより再度分析を行ったところ、Table.2に示す判別の中率を得た。この結果により、適切な特徴量選択により、識別精度の向上が可能である事が確認できた。

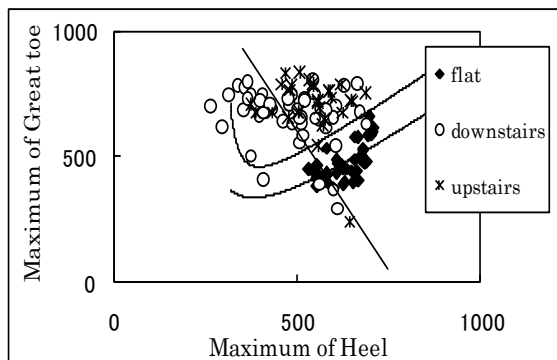


Fig.5 result of Discriminant Analysis

flat/upstair	94%
flat/downstair	95%
upstair/downstair	71%

Table.1 the hit ratio by two variates

flat/upstair	93%
flat/downstair	98%
upstair/downstair	91%

Table.2 the hit ratio by three variates

3.3 日常行動の識別

日常生活における行動として、歩行・走行・階段の昇り・降り・立ち・座り・自転車の7種類の行動についてそれぞれ十分な時系列データを測定した。次に、Fig.6の様子に7センサの時系列データから取り出した2秒間のデータを1サンプルとし、サンプル中の平均値、標準偏差、最高値、差分偏差、最高上昇値、最大下降値を特徴量とした。各行動を42変量のサンプル50個で構成される教師データ群として、判別分析による識別を行った。

全ての行動の組み合わせ $7C_2=21$ 通りに対応した、21個の判別関数を求める過程で、各変量について認識結果に対する単相関係数を求め、その累積和が高いものから重要な測定部位・特徴量として定義し、優先的に判別関数に導入した。最終的に絞り込まれた測定部位・特徴量の組み合わせをTable.3に示す。センサは3つとなっている。2つの特徴量によりきれいに分離できている。さらに、新規に抽出した50サンプルを、導出した判別式を用いて行動識別にかけたところTable.4に示す様に高精度で判別する事ができた。

測定点の減少により、シューズのハード面の構造をより簡略化する事が可能となった。

更にアルゴリズム構築の手法が確立された事により、今後受信ソフトに新たにプログラムを

組み込むことで、データの取得、教師データとして蓄積、判別分析により認識アルゴリズム構築、現在の行動を識別という一連の流れと、装着者毎のキャリブレーションの自動化が可能であると考えられる。

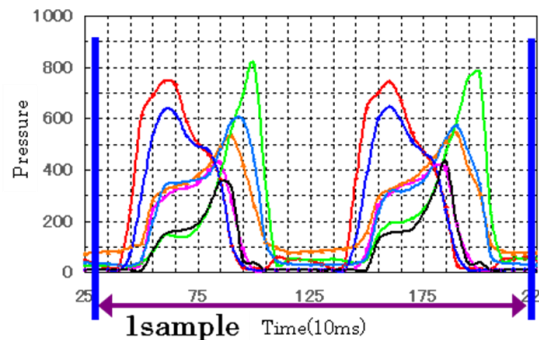


Fig.6 Extraction of one sample

	Little ball	Lateral border	Great toe border
average	○		
standard deviation	○	○	○
maximum	○	○	○
delta deviation	○	○	○
max inclination	○	○	○
max declination			

Table3. Selected feature parameters

	running	walking	sitting	standing	downstair	upstair	bicycle
running	100	98	100	100	96	96	
walking		100	97	100	100	99	98
sitting			100	100	100	100	
standing				100	100	100	
downstair					100	100	
upstair						97	
bicycle							

Table4. the hit ratios by discrimination functions

4. パワーアシストシステムへの応用

4.1 パワーアシストシステム

人間の行動、作業を力学的に補助する器具としてのパワーアシストシステムは近年様々な分野での開発が進んでおり、その一例として、人力では運搬不可能な荷物の運搬と、搬送場所に対して高精度の位置決めが要求される鋳物工場での利用を想定した天井クレーン型の荷物運搬補助システムの研究が行われている⁵⁾ (Fig.8). このシステムが直面している課題として、適正な補助量を出力するために荷重を既知のものとして事前入力しなければならない点が挙げられる。

4.2 シューズによる制御補助

荷物持ち上げ動作の検出と、保持荷重の判別の自動化が達成できれば、この問題を改善できると考え、シューズによる様々な重量の荷物に対する持ち上げ動作の測定実験と判別分析による識別を行い、システムの制御補助器具としての機能評価を試みた。サンプルは持ち上げ開始から1秒間のデータに対し日常行動の測定時と同じく42個の特徴量を抽出し、50サンプルずつ使用した。ただし一瞬の動作の識別が目的である事から、徐々に1サンプル辺りの測定時間を短縮する事を試みた。

解析により、持ち上げ動作の認識において、荷重の分解能2kg、測定時間の最小範囲0.25秒といった測定精度を確認する事ができ(Table5). これらはパワーアシストシステムの補助器具としての要求仕様を十分に満たすものと考えられる。

今後はシューズとシステムの同期実験を行うことにより、現状の問題点の解決が期待される。



Fig.8 Power Assist System⁵⁾

	0kg	5kg	10kg
0kg		100	100
5kg			99
10kg			

Table5. the hit ratios of loads in 25ms

5. 結言

日常生活における行動認識を可能とする足圧分布測定シューズを開発した。判別分析法による認識アルゴリズム構築を自動化する手法を確立した。また作業現場等他分野での応用の可能性を示した。今後はアプリケーションの範囲の更なる拡大が期待され、それに伴い目的に応じたシューズのキャリブレーションが求められる。

文 献

- 1) 野口, 小西, 末益, 高田, 岩村, 森, 佐藤: 部屋型日常行動計測環境: Sensing Room, 信学技報, PRMU2003-287, (2004).
- 2) Seon-Woo Lee, Kenji Mase: Activity and Location Recognition Using Wearable Sensors, IEEE Pervasive Computing, Vol.1, No.3, pp24-32, (2002).
- 3) 杉本千佳, 長井宏和, 江副亮介, 保坂寛, 佐々木健, 板生清, 龍田成示: ウェアラブルセンサによる行動認識システムの開発, マイクロメカトロニクス (日本時計学会誌), Vol.51, No.197, pp1-12, (2007).
- 4) 浅野長一郎, 後藤昌司: "多変量データの解析法", 科学情報社, (1973).
- 5) 三好孝典, 鈴木裕一, 寺嶋一彦: 天井クレーンにおけるパワーアシストシステムの構築, 日本機械学会論文集 C, vol.70, No.696, pp2427-2434, (2004).