

床反力計からの動作認識 Motion Recognition from Contact Force Measurement

ベンチャー研究室 矢吹 巧 YABUKI Takumi

Optical motion capture systems, which are used in broad fields of research, are costly; they need large installation space and calibrations. We find difficulty in applying it in typical homes and care centers. Therefore we propose to use low cost contact force measurement systems to develop rehabilitation and healthcare monitoring tools. Here, we propose a novel algorithm for motion recognition using the feature vector from force data solely obtained during a daily exercise program. We recognized 7 types of movement of 2 candidates. The results show that the recognition rate of each motion has high score. The results also confirm that there is a clustering of each movement in personal exercises data, and a similarity of the clustering even for different candidates thus that motion recognition is possible using contact force data.

Key Words: Motion Recognition, Feature Vector, Contact Force

1. 緒言

近年の動作認識手法において、光学式モーションキャプチャシステム(以下 OMCS)は医療やエンターテインメントといった幅広い分野で活躍している。しかし、リハビリテーションに応用することを考えると、OMCS にはいくつかの欠点がある。まず、システムが高額かつ設置に広い空間が必要であることから家庭内に容易に導入することは困難である。また、人体のモデル化とマーカセットの作成に専門の知識が必要である。そのため、家庭内でも利用できる安価かつ省スペースなモーションキャプチャシステムの開発が求められている。そこで、OMCS の代わりに家庭内へ導入できる機器として床反力計の利用が提案されている⁽¹⁾。

Hamon らによって行われた先行研究⁽¹⁾では、26 種類の規定動作の床反力情報をデータベース化し、各床反力の時系列波形は異なる被験者でも同種の動作では類似するため、動作認識が行えることを示した。しかし、先行研究では各床反力の時系列波形を扱うため、被験者や規定動作が増えるとデータベースのデータ容量が膨大となる。本研究では、床反力情報から算出した特徴ベクトルを用いることで、扱うデータ量の少ない動作認識手法を提案する。

将来的には任天堂(株)社製バランス Wii ボード等の安価な床反力計を用いた動作認識を実現する。そして、家庭内で手軽にリハビリテーションや健康状態について評価できるシステムの構築を目指す。

2. 特徴ベクトル

特徴ベクトルとはパターンや資料の数量化できる特徴量を並べたベクトルである。本研究では、式(4)を特徴ベクトルと定義した。

式(1)に床反力ベクトル、式(2)に自己相関における共分散行列⁽²⁾を示す。 $O_i(l)$ の列ベクトルを式(3)のようにおき、各列ベクトルをさらに縦に並べた列ベクトルを式(4)に示す。

$$q_i[k] = [F_x \ F_y \ F_z \ T_z]^T \in \mathbb{R}^4 \quad (1)$$

$$O_i(l) = \frac{1}{T_i} \sum_{k=l+1}^{T_i} q_i[k] q_i^T[k-l] \quad (2)$$

$$= [Q_1(l) \ \dots \ Q_4(l)] \in \mathbb{R}^{4 \times 4} \quad (3)$$

$$o_i(l) = \begin{bmatrix} Q_1(l) \\ Q_2(l) \\ Q_3(l) \\ Q_4(l) \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{16} \quad (4)$$

F_x : x 方向の力[N] T_z : CoP の z 軸周りのモーメント[Nm]
 F_y : y 方向の力[N] i : 動作の測定回数 l : データ間隔($l=2$)
 F_z : z 方向の力[N] T_i : 運動 i のデータ長

3. PCA(Principal Component Analysis : 主成分分析)

PCA とは、多次元空間の情報を損なわずに低次元空間へ集約する手法である。低次元空間へデータを集約することでデータの可視化が行える。可視化によってデータのもつ情報を直感的に理解しやすくなり、データ間の差異が明確

になるためパターン分類が実現できる。なお、主成分の向きは分散の降順により求まる。

4. クラスタリング

特徴ベクトル空間に基づいたクラスタリング手法⁽³⁾について述べる。まず、Fig. 1 のように 4 つの動作の PCA 結果が得られたとき、データの等質な集まり(クラスタ)である C_j ($j=1-4$) の中心点と近似直線を算出する。ここで、任意のデータ点 i (ここでは test-data) から中心点までの距離 d_{ij} 及び test-data から近似直線への垂直距離 h_{ij} を求める。そして、式(5)に示す特徴値 S_{ij} を各クラスタに対して算出する。(L, K は重み係数)

$$S_{ij} = Lh_{ij} + Kd_{ij} \quad (5)$$

このとき、算出した全ての特徴値を比較し、特徴値が最小となるクラスタへ test-data を分類する。

5. 認識データの取得

Fig. 2 のように、被験者 2 人に対してラジオ体操第 1 から選定した 7 種類の動作を 3 回ずつ測定した。各動作の特徴を抽出した後 PCA を行い、4 章のクラスタリングを適応した。7 種類の動作を M1-M7 とし、Table 1 に示す。

6. 動作認識結果・考察

M1-M7 の特徴ベクトルに対して PCA で可視化した特徴ベクトル空間を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より M7 のクラスタ構

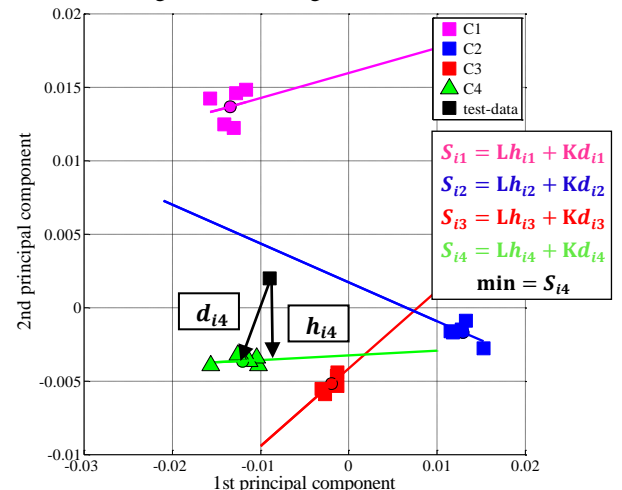


Fig. 1 Concept of the proposed algorithm

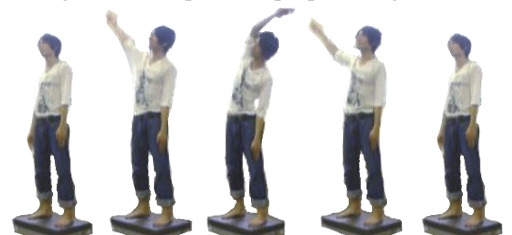


Fig. 2 An image of the experiment for motion M2

造は明確であるが、M7の影響を受けてM1-M6のクラスタ構造は明確でない。この結果に対しての認識率を Table 2 に示す。Table 2 より M7 と M5 の認識率が良好であることが分かる。M5 の認識率が良好となったのは、両手を真上に上げてから真下に下げるという M5 と M7 以外には無い垂直線上の動作の特徴を含んでいるためだと考えられる。

認識率が良好だった M5 と M7 の影響を取り除き、再度 PCA で可視化した特徴ベクトル空間を Fig. 4 に示す。データを絞ったことにより、各クラスタ構造の差異が読み取れるようになった。M2 と M4、M3 と M6 のクラスタが近傍に位置する原因は、動作の特徴に類似点があるためだと考えられる。一方、M1 についてはクラスタ構造が明確であり、実際の動作と同様に他の動作と特徴が類似していないことが分かる。この結果に対しての認識率を Table 3 に示す。Table 3 より M1 の認識率は良好であることが分かる。

認識率が良好だった M1 の影響を取り除き、再度 PCA で可視化した特徴ベクトル空間を Fig. 5、認識率を Table 4 に示す。Table 4 より M6 の認識率が改善されていないことが分かる。この原因としては、実際の動作において M6 が M3 に類似しているために M3 と認識されてしまったことが考えられる。また、被験者が規定通りの動作を行えていないことも考えられる。

以上 3 つの手順から得られた認識率を Table 5、混同行列を Table 6 に示す。Table 5 より、高い認識率で規定動作の識別ができることが確認できた。全体の認識率の平均が 86.9% であるため、認識結果は良好であるといえる。Table 6 から各動作の誤って分類された動作の割合が分かる。

7. 結言

本研究では以下のことが確認できた。

1. 個人の動作データにおける各クラスタの差異
2. 複数の被験者における同種クラスタの類似性
3. 床反力計を用いた動作認識の実現

今後は被験者や規定動作を増やして動作認識することを考えている。その際、手動で動作データの特徴抽出作業を行い続けると多大な時間を必要とするため、特徴抽出作業に自動化を導入することで作業の効率化を目指す。

Table 1 7 types of movement

| | | | |
|----|--------------|----|------------------------|
| M1 | 腕をまわす運動 | M5 | 腕を上下にのばす運動 |
| M2 | からだを横にまげる運動 | M6 | からだを斜め下にまげ、 胸をそらす運動 |
| M3 | からだを前後にまげる運動 | | |
| M4 | からだをねじる運動 | M7 | 両あしでとぶ運動 |

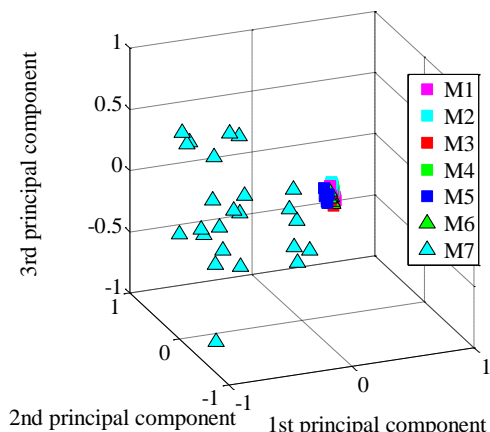


Fig. 3 The result of PCA (M1-M7).

Table 2 Recognition rate [%] (M1-M7)

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
|------|------|------|------|-----|------|-----|
| 58.3 | 75.0 | 16.7 | 33.3 | 100 | 33.3 | 100 |

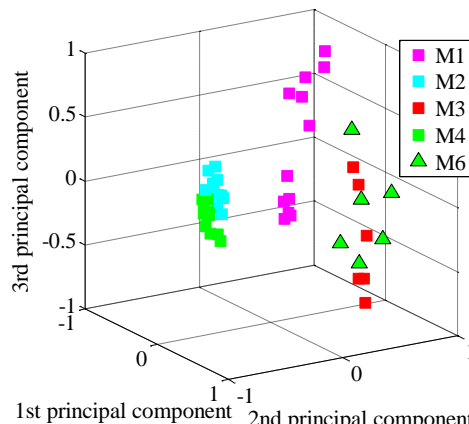


Fig. 4 The result of PCA (M1-M4 and M6).

Table 3 Recognition rate [%] (M1-M4, and M6)

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
|-----|------|------|------|----|----|----|
| 100 | 83.3 | 50.0 | 83.3 | - | 50 | - |

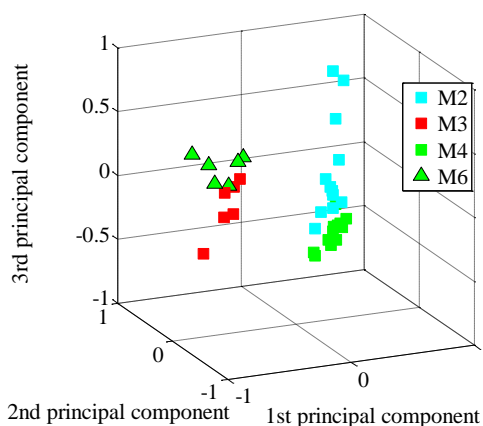


Fig. 5 The result of PCA (M2-M4 and M6).

Table 4 Recognition rate [%] (M2-M4, and M6)

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
|----|------|------|------|----|----|----|
| - | 83.3 | 83.3 | 91.7 | - | 50 | - |

Table 5 Recognition rate [%] (M1-M7) mean:86.9%

| M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
|-----|------|------|------|-----|----|-----|
| 100 | 83.3 | 83.3 | 91.7 | 100 | 50 | 100 |

Table 6 Confusion matrix (M1-M7)

| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
|----|----|------|------|------|----|------|----|
| M1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M2 | 0 | 0.83 | 0 | 0.17 | 0 | 0 | 0 |
| M3 | 0 | 0 | 0.83 | 0 | 0 | 0.17 | 0 |
| M4 | 0 | 0.08 | 0 | 0.92 | 0 | 0 | 0 |
| M5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| M6 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0.5 | 0 |
| M7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

参考文献

- 1) G. Venture and C. Hamon, "Motion Recognition From Contact Forces Information and Identification of the Human Body Dynamics", Proc. Int. Conf. on Biomedical Robotics and Biomechatronics, pp.295-300, 2010
- 2) H. Kadone and Y. Nakamura, "Symbolic Memory of Motion Patterns by an Associative Memory Dynamics with Selforganizing Nonmonotonicity", Current Biology, vol.18,no. 8, pp. 329-330, 2008
- 3) T. Zhang and G. Venture, "Individual Recognition from Gait using Feature Value Method", Cybernetics and Information Technology, vol. 12, no 3, pp. 86-95, 2012