

動画像からの加速度センサ所有者の検出とその性能評価

Detecting a Person Carrying an Accelerometer in Video Sequences and its Performance Evaluation

繁田 脩, 鏡 慎吾, 橋本 浩一

Osamu Shigeta, Shingo Kagami, Koichi Hashimoto

東北大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

キーワード: センサフュージョン (Sensor Fusion), 加速度センサ (Accelerometer), 画像処理 (Image Processing), 正規化相互相関 (Normalized Cross Correlation), 逐次的ベイズ推定 (Sequential Bayesian Estimation)

連絡先: 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01 情報科学研究科 橋本・岩谷研究室/鏡研究室,
TEL 022-795-7021, FAX 022-795-7019, E-mail: shigeta(at)ic.is.tohoku.ac.jp

1. 緒言

コンピュータビジョンの分野において, カメラの視野内に存在する人を認識することは重要な課題である. カメラを用いた個人認証の先行研究としては, バイオメトリクスによる認証が注目されており¹⁾, 例えば顔認識²⁾ や, 歩き方から個人を認識する歩容認識³⁾ があげられる. しかし, これらの手法の場合, 事前に顔や歩容に関する詳細な情報を得る必要があり, 事前知識がない場合は適用が難しい. また, 現状ではこれらの手法の性能は不十分である. 顔認識の場合, 照明の変化, 顔向きの変化, 顔の表情変化, 障害物による隠れの問題に対して, 現在の認識手法が十分に対応できているとはいえない²⁾. 歩容認識の場合, 例えば国際的なコンペティションのためのデータセットである HumanID Gait Challenge Problem⁴⁾ に対して, 世界最高水準の認識性能を持つ手法が文献³⁾ で報告されているが, それでも実験環境によっ

ては完全な認識にはまだ至っていない.

ここで, 視野内に存在する人が携帯電話やPDA (Personal Digital Assistant) 等の情報処理端末を持っている状況を仮定した場合, その人と情報処理端末の対応付けをとることで, 個人の認識ができると考えられる. 視野内の物体と端末の対応付けは, 例えば, 端末の3次元位置を利用することが考えられる. しかし, 電波を用いた位置検出の手法の精度はメートルオーダーであり⁵⁾, 例えば, 人ごみの中にいる端末の所有者や, 端末を持ってジェスチャする手を画像中の物体と対応付けるには不十分な精度である. 高精度に位置を検出するための手法としては, 磁気や超音波等を用いた手法がある⁶⁾⁷⁾⁸⁾. しかし, 今後携帯電話等の情報処理端末に, 磁気や超音波等の特殊なセンサまたは発信器が搭載されるかは未知数である.

その他の方法としては, 端末に固有の時系列で点滅する LED (Light Emitting Diode)⁹⁾ や, 2次

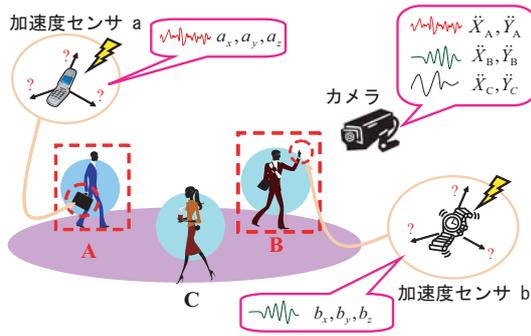


Fig. 1 応用イメージ: カメラと加速度センサから得られる運動情報を用いて, 加速度センサを持っている人を検出する.

元バーコードのようなビジュアルコードを利用する方法が考えられる. しかし, これらの方法では, 端末に搭載された LED や バーコード自体がカメラから直接見えている必要があり, 例えば手のひらやかばん等に端末が隠れている場合には適用できない.

そこで我々はこの問題に対し, 加速度センサとカメラが得た運動情報の時間相関に基づいて, 視野内の複数の運動物体の中から加速度センサを含む物体を検出するための技術を提案してきた¹⁰⁾¹¹⁾. 加速度センサは, 近年 MEMS 技術の進歩に伴い携帯電話や腕時計等様々なデバイスに搭載され, その応用研究も盛んに行われている¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾. 文献¹⁰⁾¹¹⁾で我々は, カメラの視野内から加速度センサを握って動かす手やセンサを持って歩く人を検出することに成功したが, その性能評価を詳しく行っていなかった. それに対し本論文では, 加速度センサの装着位置や動かし方を変化させた場合の提案手法の性能の評価を行う.

本研究の応用例を Fig. 1 に示す. カメラの視野内で複数の人が歩いており, その中の一人が加速度センサを搭載した端末をかばんの中に入れておく. たとえ, 直接カメラに端末それ自体が見えていなくても, カメラに見えている動きと加速度センサの情報の相関関係から, この端末を持っている人を認識できる. これにより, 携帯電話の

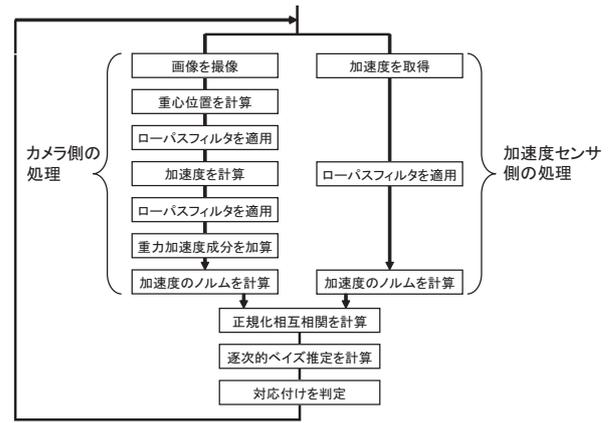


Fig. 2 提案手法の処理の流れ.

ようなネットワークに結ばれた機器に搭載された加速度センサと, 身の回りのカメラとの情報を統合することで, 各個人に適応した位置依存サービスや監視システム等に応用できると期待される. また, 無線機能と加速度センサが搭載された腕時計を身に着けた手の動きを認識することで, ジェスチャ認識等にも応用できると期待される.

2. 手法

提案手法の処理の流れを Fig. 2 に示す. 今回用いている提案手法は, 文献¹¹⁾の手法と同様であるので, この章ではその処理の流れの概要を説明する.

固定されたカメラの視野内で加速度センサを有する物体が運動している状況を考え, 加速度センサの座標軸は加速度センサに固定されているとする. カメラと加速度センサから得られた運動情報には, 不要な高周波成分が含まれているので, ローパスフィルタを用いて除去する.

このようにして得られたカメラと加速度センサの運動情報の対応付けを計算するために, 正規化相互相関を計算する. ここでカメラと加速度センサには内部時計が存在し, 各信号が観測された時刻が記録されている状況を考える. 正規化相互相関を利用しているので, 各信号間に未知の時間遅れが存在しても相関を計算することができる. ただし, この未知の時間遅れは各センサの内部時計

の時間遅れが原因で発生するものとし、この時間遅れは一定であると仮定する。

ここで加速度センサとカメラから得られる運動情報の対応付けを行うにあたって、問題が2つある。1つ目の問題点は、加速度センサの座標系は未知であり、また時刻によって変化する点である。この点を克服するため、座標系に依存しない値として加速度のノルムを考える。2つ目の問題点は、加速度センサは重力加速度の成分を検知するが、その方向は未知である点である。この問題を克服するために、カメラから得られる加速度に重力加速度の成分を加える。

そのため、カメラ側も加速度センサ側も重力加速度の成分を含んだ加速度のノルムの正規化相互相関の計算を考える。この正規化相互相関 $r_t(m)$ の最大値が発生する時間シフト m は、カメラと加速度センサの二つの信号の時間遅れに一致すると期待される。ここで時間シフトとは、加速度センサの信号を基準としたカメラの信号のずらし量のことを表す。

しかし実際には、偶然発生する似たような動きや、周期的な動き等が原因で、正規化相互相関の最大値時の時間シフトは、常に内部時計の時間遅れと一致するわけではなく、瞬間的に間違った値を示すことがある。そのため、正規化相互相関のピークが時間的に一貫して発生しているか調べるために逐次的ベイズ推定を行う。

時刻 t における時間シフトを m_t とし、カメラや加速度センサから得られる観測値を z_t とする。また、全観測の集合 $\{z_1, z_2, \dots, z_t\}$ を Z_t とする。 Z_t が既知の条件で時間シフトが発生する条件つき確率密度 $p(m_t|Z_t)$ を、以下のように再帰的に $p(m_{t-1}|Z_{t-1})$ から計算する。

$$p(m_t|Z_t) \propto p(z_t|m_t)p(m_t|Z_{t-1}) \quad (1)$$

$$p(m_t|Z_{t-1}) \stackrel{\text{def}}{\propto} p(m_{t-1}|Z_{t-1}) + c \quad (2)$$

$$p(z_t|m_t) \stackrel{\text{def}}{=} r_t + 1 \quad (3)$$

ここで、(2) は時間シフト m_t のダイナミクスを表している。(3)において定義された尤度関数には物理的根拠はない。しかし、文献¹⁶⁾の例のように、正規化相互相関を尤度関数と便宜的にみなすことはよく見られる。これを逐次計算し、 $p(m_t|Z_t)$ の最大値が発生する時間シフトの標準偏差 σ_t を計算する。こうすることで、正規化相互相関のピークが時間的に一貫して発生している時間シフトを求めることができると期待される。また時間遅れについて最初は情報がないため、時間シフトが発生する確率密度分布の初期値は一様分布であるとする。

次に、加速度センサの有無の判定方法について述べる。以下の3つの条件をすべて満たすとき、加速度センサを有する運動物体であると判定する。この処理は毎時刻行われる。

- 条件 1: $\sigma_t \leq \sigma_{\text{threshold}}$ を満たす。
- 条件 2: 相関値 $r_t(m)$ の最大値が有意である。
- 条件 3: 追跡対象が静止していない。

1つ目の条件は、逐次的ベイズ推定の最大値が発生する時間シフトの標準偏差 σ_t が閾値 $\sigma_{\text{threshold}}$ 以下であることを満たすことである。本手法では、カメラと加速度センサの内部時計の時間遅れが一定である状況を仮定しているため、加速度センサを有するものの場合、 σ_t が小さくなると考えられる。

2つ目の条件は、相関係数の検定の結果、時刻 t における相関の最大値が有意となることである。これにより、加速度センサを有している可能性が低いと考えられる相関値の低い対象が、偶然一貫したピークを発生させることによる誤認識を防ぐと期待される。

3つ目の条件は、対象が静止していないことである。本手法は、物体が運動していることを仮定しているため、静止している運動物体に対しては、判定を行わない。

Table 1 カメラと加速度センサの仕様.

(カメラ)	
焦点距離	5.1 [mm]
解像度	640 × 480 [pixels]
ピクセルサイズ	7.4 [μm]
フォーマット	カラー 8 [bit]
(加速度センサ)	
分解能	8 [bit]
測定範囲	-5.3 ~ 5.3 [g]

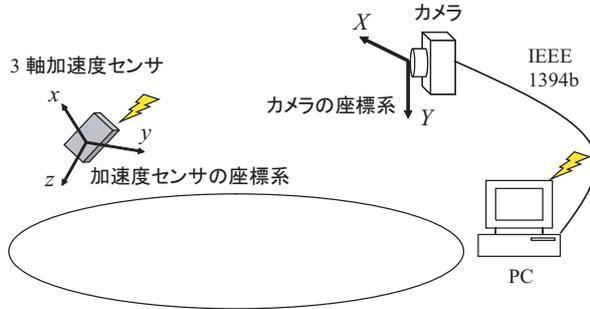


Fig. 3 実験システム.

3. 実験内容

実験では、加速度センサが搭載された携帯電話を想定し、それを手の中に持って動かしている人や、ズボンのポケットやかばんの中に入れて持ち歩く人を提案手法を用いて正しく検出できるか評価した。

実験システムを Fig. 3 に示す。Point Grey Research 社のカメラ Dragonfly Express を用いて、運動物体を観察した。提案手法は何らかの画像処理を行い、画像上から対象を追跡する必要がある。今回の実験では、画像上から上着や手の位置を特定し、実時間で対象を追跡するためにCAMSHIFT¹⁷⁾を用いた。また、Freescall Semiconductor 社の 3 軸ワイヤレス検知リファレンス・ボード ZSTAR を利用して運動物体の加速度を計測した。加速度センサは携帯電話を模倣した筐体に固定させた。カメラは IEEE 1394b で PC に接続されており、加速度センサは無線で PC と通信した。カメラと加速度センサの詳細を Table 1 に示す。

実験内容の概略を Table 2 に示す。実験環境は、Fig. 4 のような 2 つの環境で実験を行った。左図

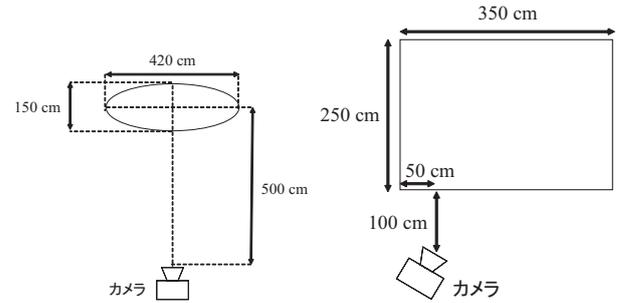


Fig. 4 左図: 実験環境 1. 右図: 実験環境 2.

を実験環境 1, 右図を実験環境 2 とする。米国立標準技術研究所 (NIST) は、歩容認識の推進のためにコンペティション用のデータセット (HumanID Gait Dataset)⁴⁾ を提供し、認識率のランキング発表を行っている。実験環境 1 は、NIST の実験環境を一部参考にした。ただし、実験スペースの制限から、NIST の実験環境の約 1/3 のサイズにした。実験環境 2 は、小型の部屋を想定している。

実験は大きく分けて以下の 2 種類行い、外見が類似する N 個の運動物体の中から加速度センサを有する運動物体を正しく検出できるか調べた。本実験システムは、文献¹¹⁾のように複数の運動物体の追跡をリアルタイムで行えるが、数が多すぎる場合、オクルージョンが生じるので、正確に追跡し続けることが難しい。また、現状では通信できる加速度センサの数は一つに限られている。本来はオクルージョンの問題を克服し、また複数の加速度センサと同時に通信することが望ましい。しかし、今回は簡単のため、視野内で加速度センサを有する N 個の運動物体を同時に追跡する代わりに、加速度センサを有する物体を一つ追跡する実験を N 回行った。各実験で使用した加速度センサをラベル $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ を用いて識別する。これより、 N 個の実験結果を用いて、 N 個の画像上の運動物体の中から、 $i = 1 \sim N$ 番目の加速度センサを有する物体をそれぞれ検出できるかオフラインで調べた。なお、物体が運動している場合、それを検出できるか調べたいので、各実

Table 2 実験内容の概略 .

	センサの位置	動き方
実験 1	手の中	自由に手を動かす
(実験環境 1)		
実験 2.1	ズボンのポケットの中	楕円のコースを
実験 2.2	バッグの中 (センサ固定)	普段どおりに
実験 2.3	バッグの中 (センサ非固定)	一定のリズムで歩く
(実験環境 2)		
実験 2.1	ズボンのポケットの中	自由に歩く
実験 2.2	バッグの中 (センサ固定)	
実験 2.3	バッグの中 (センサ非固定)	



Fig. 5 加速度センサを握って動かした実験 (実験 1) の様子 .

実験とも対応付けの条件 3 を常に満たすよう長時間の静止はないようにした .

実験 1 では , Fig. 4 の右図のような環境で , Fig. 5 のように , 加速度センサを利き手で握って自由に動かした . ただし , 追跡を容易にするために , 緑色の手袋を装着した . カメラは視野内に入った手袋を自動で検出し , トラッキングした . この実験を , 計 15 人で行った .

実験 2 では , Fig. 4 のような 2 つの実験環境で , 以下のように加速度センサの装着場所を 3 箇所変化させて実験を行った . 実験の様子を Fig. 6 に示す .

- 実験 2.1: 普段携帯電話を入れるズボンのポケットに加速度センサを入れる .
- 実験 2.2: 普段利用するバッグの中にセンサを入れる . 但し , センサはバッグに固定する .
- 実験 2.3: 普段利用するバッグの中にセンサを入れる . 但し , センサはバッグに固定させない .

文献¹²⁾によると , 携帯電話の装着場所の上位

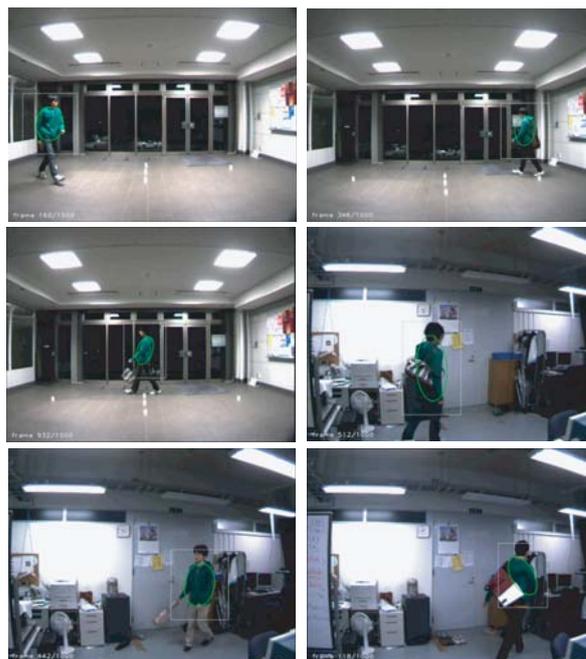


Fig. 6 加速度センサを持って歩いた実験 (実験 2) の様子 . 左上: 実験 2.1 (実験環境 1) . 右上: 実験 2.2 (実験環境 1) . 左中: 実験 2.2 (実験環境 1) . 右中: 実験 2.3 (実験環境 2) . 左下: 実験 2.3 (実験環境 2) . 右下: 実験 2.3 (実験環境 2) .

2 位が , カバンのポケット (34.1 [%]) , ズボンのポケット (30.3 [%]) である . よって , 加速度センサの装着場所はこの 2 つを選択した .

実験 2.2, 2.3 で , 使用されたバッグとしては , 手提げかばん , ショルダーバッグ , リュックサックがあった . 手提げかばんは , 肩にかけて歩く人 , 手にぶらさげて歩く人 , またその両方を行っている人がいた . 実験 2.2 のセンサの固定場所は , バッグの小型のポケットの中が大半であった . 実験 2.3 では , バッグの中で加速度センサが動く可能性が

ある状況で実験を行った．そのためにバッグの中身を空にして，その中にセンサを入れた．

実験環境 1 の実験では，NIST の実験⁴⁾を参考にして，普段歩いているような歩き方で Fig. 4 の左図の楕円のコースを左周りに歩いた．実験環境 2 の実験では，Fig. 4 の右図の領域内で自由に歩いた．実験 1, 2 とともに追跡を容易にするために，緑色の上着を着た．各実験とも，カメラは視野内に入った上着を自動で検出し，その上着の位置をトラッキングした．この実験を計 15 人で行った．

次に，実験で設定したパラメータを Table 3 に示す．これらのパラメータは，複数の予備実験の結果を基に適切な値を設定した．ただし，実験 2 に関しては，予備実験の結果に基づき，加速度センサの有無の判定条件 2 を適用しなかった．

4. 性能の評価方法

この章では，提案手法の性能の評価方法について説明する．加速度センサを有する物体を一つ追跡する実験を N 回行うことで，加速度センサの出力の時系列データを N 個得られる．ラベル i を用いて，各データを加速度センサのデータ i と識別する．また，カメラ側の加速度の時系列データが N 個得られるので，これをカメラのデータと呼ぶ．

カメラのデータ $1 \sim N$ の中から， i 番目の加速度センサのデータと対応するものを調べた．このことを，センサ i 検出実験と呼ぶ．このセンサ検出実験を， $i = 1 \sim N$ について行ったものを，全センサについての検出実験と呼ぶ．

これにより， N 個の運動物体の中から， $i = 1 \sim N$ 番目の加速度センサを有する物体をそれぞれ正しく検出できるか評価した．評価の指標としては，以下に定義する検出時間割合，誤検出時間割合，認識率，誤認識率を用いた．

4.1 検出時間割合

センサ i 検出実験において， i 番目の加速度センサを有する物体を，有していると正しく判断する時間割合を検出時間割合とし，以下のように定義する．

$$\frac{T_{\text{true positive}}}{T_{\text{true positive}} + T_{\text{false negative}}} \quad (4)$$

$T_{\text{true positive}}$: センサを有している人が，有していると正しく判断された時間．

$T_{\text{false negative}}$: センサを有している人が，有していないと誤って判断された時間．

4.2 誤検出時間割合

センサ i 検出実験において， i 番目の加速度センサを有していない物体を，有していると誤って判断することを誤検出とする．センサ i 検出実験では，センサを有していない物体が $N - 1$ 個ある． i 番目の加速度センサを有していない物体を， k 番目の物体と呼び，ラベル k は $k \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus i$ の値をとる．センサ i 検出実験における k 番目の物体の誤検出時間割合を以下のように定義する．

$$\frac{T_{\text{false positive}}}{T_{\text{false positive}} + T_{\text{true negative}}} \quad (5)$$

$T_{\text{false positive}}$: センサを有していない人が，有していると誤って判断された時間．

$T_{\text{true negative}}$: センサを有していない人が，有していないと正しく判断された時間．

また，センサ i 検出実験における，センサを有していない $N - 1$ 個の物体の誤検出時間割合の平均値を以下のように定義する．

$$\frac{\sum_{k \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus i} k \text{ 番目の物体の誤検出時間割合}}{N - 1} \quad (6)$$

特に断りを入れられない限り，本論文で誤検出時間割合はこの平均値を意味することとする．

Table 3 実験で仕様されたパラメータ.

パラメータ	実験 1	実験 2
サンプリング周波数 [Hz]	30	30
データ数 [samples]	1000	1000
相関を計算するウィンドウサイズ [samples]	98	108
時間シフトの範囲 [samples]	± 15	± 10
(2) で使用されるオフセット c	0.00001	0.00001
標準偏差 σ_t の計算に使用されるサンプル数 [samples]	300	300
相関係数の検定の有意水準 [%]	1	使用しない
閾値 $\sigma_{\text{threshold}}$ [samples]	1	1

4.3 認識率と誤認識率

センサ i 検出実験において, i 番目の加速度センサを有する物体の検出時間割合が閾値 $R_{\text{threshold}}$ を超えた場合, それを認識と定義する. 認識率は, 全センサについての検出実験において正しく認識できた確率を意味し, 以下のように定義する.

$$\frac{\text{認識した数}}{N} \quad (7)$$

センサ i 検出実験において, i 番目の加速度センサを有していない k 番目の物体の誤検出時間割合が閾値 $R_{\text{threshold}}$ を超えた場合, それを誤認識と定義する. これを i 番目のセンサを有していない, 残り $N-1$ 個の物体すべてに対して行う. 誤認識率は, 全センサについての検出実験において, 誤認識した確率を意味し, 以下のように定義する.

$$\frac{\text{誤認識した数}}{N(N-1)} \quad (8)$$

5. 実験結果

各実験におけるセンサ $i = 1 \sim 15$ 検出実験の検出時間割合と誤検出時間割合の結果を Fig. 7 ~ 11 に示す.

Fig. 7 より, 実験 1 ではランダムに動かした手の動きから, 加速度センサを握った手のみをほとんど正しく検出できたことが分かる. Fig. 8, 10 より, 実験 2.1 では, 実験環境の変化によって若干検出時間割合に違いが見られたものの, おおむね正しく検出できた. Fig. 9, 11 より, 実験環境 1, 2 の実験 2.2, 2.3 に大きな結果の違いは見られな

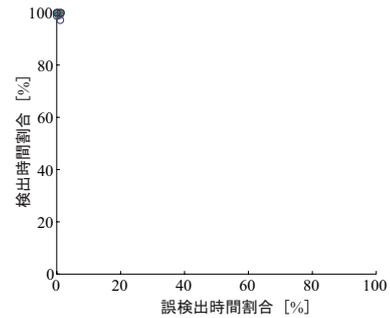


Fig. 7 $i = 1 \sim 15$ の加速度センサの検出時間割合と誤検出時間割合の関係 (実験 1). 検出時間割合の平均値 99.5 [%], 誤検出時間割合の平均値 0.618 [%]. 15 個のプロット点は, 検出時間割合 100 [%], 誤検出時間割合 0 [%] 付近に集中している.

かったが, 実験環境の変化によって検出時間割合に違いが見られた.

また, 各実験における認識の閾値 $R_{\text{threshold}}$ を 20, 50, 80 [%] と変化させた場合の, 認識率と誤認識率の関係を Table 4 に示す.

閾値 $R_{\text{threshold}}$ が 20 [%] の場合, 認識率は高い値となったが, 実験 2 において誤認識率も 15 [%] 程度の高い値となってしまった. $R_{\text{threshold}}$ を 80 [%] にした場合, 認識率が高い値を維持している結果と低い値になった結果があった. 誤認識率は 2 [%] 以内に収まった.

6. 考察

Table 4 より, 認識の閾値が低い場合, 実験 1 に比べて実験 2 の誤認識率が高い値となった. 原因としては以下の 2 つが考えられる. まず 1 つ目の原因として, 実験 2 では歩行のリズムに基づい

Table 4 全実験における認識率と誤認識率の関係.

	閾値 $R_{\text{threshold}} = 20\%$		閾値 $R_{\text{threshold}} = 50\%$		閾値 $R_{\text{threshold}} = 80\%$	
	認識率 [%]	誤認識率 [%]	認識率 [%]	誤認識率 [%]	認識率 [%]	誤認識率 [%]
実験 1	100	0.00	100	0.00	100	0.00
実験環境 1						
実験 2.1	93.3	15.2	80.0	2.86	80.0	0.00
実験 2.2	93.3	15.7	93.3	5.24	93.3	0.952
実験 2.3	93.3	15.2	93.3	7.14	93.3	1.90
実験環境 2						
実験 2.1	93.3	14.8	93.3	1.43	86.7	0.476
実験 2.2	73.3	15.2	60.0	2.38	46.7	0.00
実験 2.3	93.3	14.8	60.0	2.38	53.3	0.476

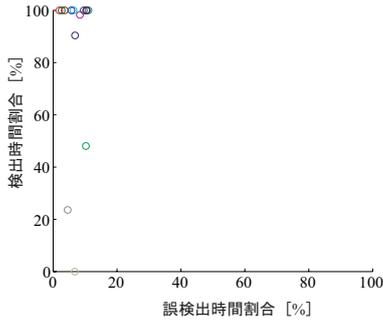


Fig. 8 $i = 1 \sim 15$ の加速度センサの検出時間割合と誤検出時間割合の関係 (実験環境 1, 実験 2.1). 検出時間割合の平均値 84.0 [%], 誤検出時間割合の平均値 7.27 [%].

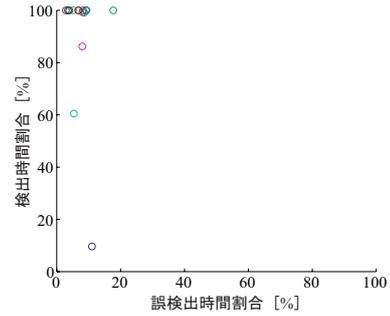


Fig. 10 $i = 1 \sim 15$ の加速度センサの検出時間割合と誤検出時間割合の関係 (実験環境 2, 実験 2.1). 検出時間割合の平均値 90.3 [%], 誤検出時間割合の平均値 7.64 [%].

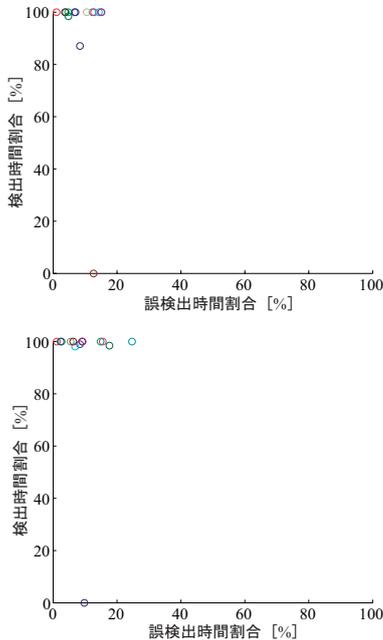


Fig. 9 $i = 1 \sim 15$ の加速度センサの検出時間割合と誤検出時間割合の関係 (実験環境 1, 上図: 実験 2.2, 下図: 実験 2.3). 検出時間割合の平均値 92.4 [%], 誤検出時間割合の平均値 8.38 [%] (実験 2.2). 検出時間割合の平均値 93.0 [%], 誤検出時間割合の平均値 9.75 [%] (実験 2.3).

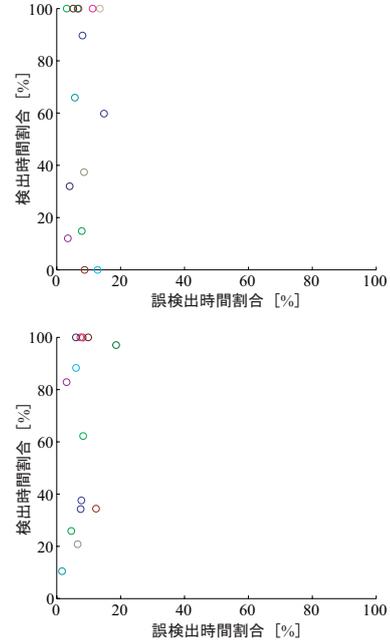


Fig. 11 $i = 1 \sim 15$ の加速度センサの検出時間割合と誤検出時間割合の関係 (実験環境 2, 上図: 実験 2.2, 下図: 実験 2.3). 検出時間割合の平均値 60.8 [%], 誤検出時間割合の平均値 8.03 [%] (実験 2.2). 検出時間割合の平均値 66.3 [%], 誤検出時間割合の平均値 7.73 [%] (実験 2.3).

て対応付けがなされるのだが、このリズムが人によって類似しやすいことがあげられる。実験 2 に対し、実験 1 では誤認識率 0 [%] と低い値であることから、ランダムに動かした手の動きには個々を識別するだけの十分な特徴ある動きがあったと考えられる。また、2 つ目の原因として、実験 2 では相関値の大きさを加速度センサの有無の判定に考慮していないことがあげられる。実験 1 は、カメラが追跡している対象がほぼ加速度センサそのものであるため、高い相関値を観測した。それに対して、実験 2 ではカメラが追跡している対象の動きと加速度センサが検知する動きが、必ずしも一致するわけではないので、相関値は低い値となった。そのため、実験 2 において判定条件 2 を用いた場合、センサ所有者が無相関と判断される場合があり、検出時間割合が下がるのが予備実験で確認されたので、この条件を適用しなかった。

この問題の対応策としては、歩行者を長時間観測することがあげられる。Table 4 の認識の閾値が 80 [%] の結果より、長時間歩行のリズムが一致し続けることで誤認識されるケースは少ない。つまり、長時間歩行者を観察することで、誤認識を防ぐことができると期待される。また、カメラと加速度センサの時間遅れが既知であるならば、一貫して相関が発生する時間シフトが分かる。この時間シフト上に相関のピークが発生する対象のみを検出することで、誤検出時間割合、誤認識率を大幅に減らすことができると期待される。

また、Table 4 より、実験 2 において認識の閾値を高く設定した場合、認識率が高い値を維持する場合と値が低くなる場合があることが確認された。ここでは、認識率が低下した実験について考察する。

Fig. 8, 10 より 実験環境 1, 2 の実験 2.1 では、正しく検出できない結果が一部あった。これは、周期的な相関を観測し続けることにより、ベイズ推定のピークが一貫せず、判定条件 1 を満たせない

ことが原因である¹¹⁾。周期的な相関が観測されるのは、実験 2.1 において実験者が常に一定のリズムで歩行しているためである。しかし、前述したようにカメラと加速度センサの時間遅れが既知であるならば、この問題を解決できる可能性がある。例えば、既知の時間遅れ周辺の時間シフト上で一貫して発生する相関のピークを検出すれば、周期的な相関に影響されることはない。

実験環境 1, 2 の実験 2.2, 2.3 において正しく検出が行われなかった人の共通点としては、加速度センサが入っているバッグの動きと、カメラが追跡している上着の動きが大きく異なることがあげられる。このような場合、カメラと加速度センサから得られる運動情報に相関が見られないため正しく検出することが難しかった。具体例としては、Fig. 6 のようにセンサの入ったバッグを手でぶらさげて歩いた場合があげられる。また、実験環境 2 においては動き方に制限をかけていないため、バッグを振り回して歩いた人、バッグを途中で持ち直した人がおり、実験環境 1 に比べて検出時間割合が低下する原因となった。

しかし、先に述べたようなカメラの追跡対象と加速度センサの動きが大きく異なる状況を除けば、加速度センサと同一の動きをするものを追跡しなくても、センサを有する物体のようにある程度センサと似た動きをするものを追跡することで、センサ所有者を検出できることが分かった。また、センサの入ったバッグやズボンのポケットのように、加速度センサとより似た動きをする物体を追跡することで、さらに認識性能を向上させることが期待される。

また、実験環境 1, 2 の実験 2.2, 2.3 では、実験環境の変化によって結果に大きな違いが見られなかった。これは、加速度センサがバッグの中で動くことがほとんどないことが原因であると考えられる。実際実験者に対して、バッグの中でセンサが

動くかアンケートをしたところ，普通の歩き方をしていた実験者の大半は動かないと答えていた．

7. 結言

本論文では，加速度のノルムの正規化相互相関を計算することで，カメラと加速度センサの運動情報の対応付けを行う手法を提案し，その性能を評価した．実験結果より，加速度センサを握って動かした場合において本手法の有効性が確認された．加速度センサを持って歩くような場合には，加速度センサの装着場所や歩き方によって，認識が正しく行われるケースとそうでないケースがあることが確認された．

本研究の今後の課題として考えられるものは以下の二点である．

一点目は，特にセンサを持って歩く人の検出において，現時点で検出が困難なケース，誤検出するケースを解決できるよう，判定方法を改良していくことである．

二点目は，加速度センサの情報を用いて画像上での追跡を補助することである．例えば，オクルージョンが発生した場合，カメラのみを用いて物体を追跡することは困難である．しかし，加速度センサを有する物体ならば，センサから得られる情報を用いて，物体の位置を推定し，遮蔽に対してロバストな追跡ができると期待される．

参考文献

- 1) 鷺見, “バイオメトリクス個人認証システムとコンピュータビジョン,” 映像メディア学会誌, Vol. 60, No. 11, pp. 1755–1761, 2006.
- 2) 山田, 金出, “複数の部分領域に確率モデルを適用した顔向きの変化に頑健な顔画像認識手法,” 電子情報通信学会論文誌 D-II, J88–D-II(1), pp. 8–16, 2005.
- 3) T. Kobayashi and N. Otsu, “A Three-Way Auto-Correlation Based Approach to Human Identification by Gait,” in *Proceedings of IEEE Workshop on Visual Surveillance*, pp. 185–192, 2006.
- 4) S. Sarkar, P. J. Phillips, Z. Liu, I. R. Vega, P. Grother and K. W. Bowyer, “The HumanID Gait

Challenge Problem: Data Sets, Performance, and Analysis,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 27, No. 2, pp. 162–177, 2005.

- 5) 伊藤, 河口, “実環境における無線LANを用いた位置推定システムとその応用,” 情報処理学会研究報告, IPSJ-SIG-MBL-30(5), pp. 33–40, 2004.
- 6) <http://www.polhemus.com/> (as of 10 March 2009)
- 7) N. B. Priyantha, A. Chakraborty and H. balakrishnan, “The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications,” in *Proceedings of the 7th International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 1–14, 2001.
- 8) A. Nishitani, Y. Nishida and H. Mizoguchi, “Omnidirectional Ultrasonic Location Sensor,” in *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Sensors*, pp. 684–687, 2005.
- 9) N. Matsushita, D. Hihara, T. Ushiro, S. Yoshimura, J. Rekimoto and Y. Yamamoto, “ID CAM: A Smart Camera for Scene Capturing and ID Recognition,” in *Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 227–234, 2003.
- 10) O. Shigeta, S. Kagami, K. Hashimoto, “Identifying a Moving Object with an Accelerometer in a Camera View,” in *Proceedings of 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3872–3877, 2008.
- 11) 繁田, 鏡, 橋本, “加速度センサを有する運動物体の固定カメラ視野内における実時間識別,” 第51回自動制御連合講演会, pp. 1035–1040, 2008.
- 12) 倉沢, 川原, 森川, 青山, “センサ装着場所を考慮した3軸加速度センサを用いた姿勢推定手法,” 情報処理学会研究報告, UBI-11-3, 2006.
- 13) T. Iso and K. Yamazaki, “Gait Analyzer Based on a Cell Phone with a Single Three-Axis Accelerometer,” in *Proceedings of the 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, pp. 141–144, 2006.
- 14) 石原, 太田, 行方, 水野, “端末自体の動きを用いた携帯端末向け個人認証,” 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 12, pp. 2997–3007, 2005.
- 15) R. Mayrhofer and H. Gellersen, “Shake well before use: Authentication based on accelerometer data,” in *Proceedings of the 5th International Conference on Pervasive Computing*, Vol. 4480 of LNCS, pp. 144–161, 2007.
- 16) S. Thrun, W. Burgard and D. Fox: *Probabilistic Robotics*. The MIT Press, pp. 174–176, 2005.
- 17) G. R. Bradski, “Computer Vision Face Tracking for Use in a Perceptual User Interface,” *Intel Technology Journal*, 2nd Quarter, 1998.