

BLEとセンサを用いたカメラに映る人物の同定手法の提案

星 尚志¹ 伊藤 義浩¹ 石川 雄一¹ 南川 敦宣¹

概要: 近年, 小規模な店舗の店舗内における店員のオペレーションの効率化ニーズが高まっており, 店員一人ひとりの行動を, 様々なセンサを利用した屋内測位技術を利用して把握する試みが広がりつつある. 本論文ではカメラ, 加速度センサ, BLE を統合的に利用して, 高精度に店舗内動線の人物同定を高精度に実施する方式を提案する. 提案方式では, カメラ映像で取得された複数の人物動線を静止動線と移動動線に分類し, それぞれに適した同定方式を適用することで高精度化を実現する. 実店舗における評価では4店舗 275 分間の映像データに対して, 既存方式を上回る Precision 80.1%, Recall 72.6% の精度が得られた.

Identifying Person in Camera Images using BLE and Accelerometer

HISASHI HOSHI¹ YOSHIHIRO ITO¹ YUICHI ISHIKAWA¹ ATSUNORI MINAMIKAWA¹

1. はじめに

近年, 人手不足解消, 顧客満足度向上等のために店舗オペレーションの効率化ニーズが高まっており, 店員一人ひとりの動きを BLE や Wi-Fi などの無線電波や, カメラ映像などを利用して把握する技術が研究されている [1], [2], [3]. なかでも, カメラ映像を用いる方式は, 映像分析技術により人物を検出して位置を推定するため, 無線電波を利用した方式と比較して店員の位置をより正確に把握可能であり, 急速に普及しつつある.

カメラ映像を用いる方式では, 映像で検出した人物が店員/客の何れであるかや, 店員の場合どの店員なのかを正確に識別 (同定) する必要があり, 従来主に, (A) 映像中の人物位置と店員が保持する BLE (Bluetooth Low Energy) 受信機による BLE 電波受信情報を比較して映像中の店員を同定する方式と (B) 映像中の人物の動きと店員が保持する加速度センサの測定値を比較して映像中の店員を同定する2方式が用いられてきた. しかし, (A) は電波受信強度が安定しない移動時において, (B) は加速度の時間変動が小さい静止時において, それぞれ人物識別精度が劣化する課題があった. また, 客も含め多数の人物が店内に存在する状況では, 複数人物が近い場所に静止している場合や, 複数人物が類似した移動をする場合があり, こうしたケース

では (A)(B) 共に人物識別精度が劣化する場合があった.

そこで本論文では, 映像中の店員を BLE と加速度情報の双方を用いて同定する方式を提案する. 提案方式の適用環境を図1に示す. 店舗にカメラと BLE ビーコンを設置するとともに, 店員に加速度センサと BLE ビーコン受信機能を両方具備するデバイスを保持させる. 提案方式は, カメラが検出した人物移動軌跡 (人物動線) を, 移動している時間帯を含む動線 (移動動線) と静止している時間帯を含む動線 (静止動線) に分類し, 移動動線は BLE ビーコンからの電波受信情報と加速度センサの計測値を用いて, 静止動線は BLE ビーコンからの電波受信情報を用いて同定を行う. これにより, 移動時, 静止時何れにおいても高い同定精度を得ることが可能となる.

また, 提案方式では人物動線の座標と BLE ビーコンからの電波受信情報を元に, 同定対象の絞り込みを行う. 人物動線の座標から遠く離れた BLE ビーコンを安定して受信する店員や, 人物動線の座標近くの BLE ビーコンを一切受信しない店員を同定対象の候補店員から除外するほか, 例えば会計カウンタのように店員のみ入れるエリアへ進入した人物動線は, 客ではなく何れかの店員へ強制的に同定する. これにより, 客も含め多数の人物が店内に存在する状況での同定精度の劣化を抑制することができる.

本論文は, 2章にて既存関連研究を列挙した後, 3章にて提案方式の詳細について述べる. また4章にて実際の店舗に適用した際の提案方式の効果について検証する.

¹ 株式会社 KDDI 総合研究所

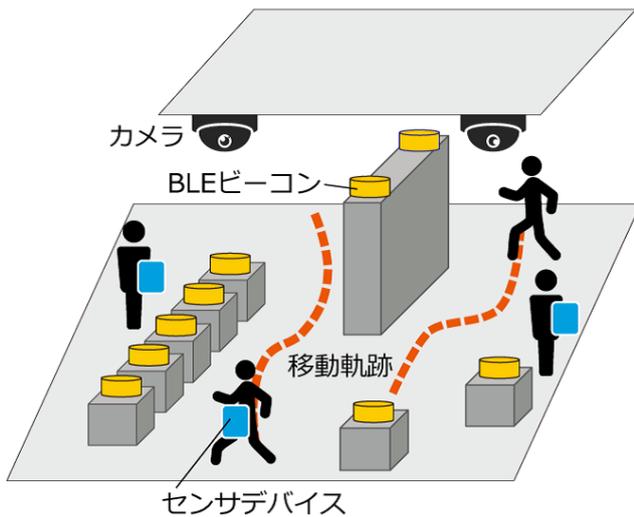


図 1 適用環境イメージ

表 1 既存方式と店員行動把握の基本要件

方式	小売店における正確な位置推定		店員 ID の識別	
	移動時間帯	静止時間帯	移動時間帯	静止時間帯
PDR+BLE	× (誤差累積)	× (誤差累積)	○	○
カメラ映像分析	○	○	× (識別不可)	× (識別不可)
無線電波方式	× (電波遮蔽)	△ (電波遮蔽)	○	○
カメラ+無線電波	× (電波遮蔽)	△ (電波遮蔽)	△ (電波遮蔽)	○
カメラ+センサ	○	○	○	× (加速度計測難)

2. 関連研究

本章では、小売店における店員一人ひとりの行動を把握するために必要な技術である屋内測位の既存方式を整理する。

既存方式と店員行動把握の基本要件の対応を表 1 に示す。まず、慣性センサを用いた PDR と BLE の統合測位 [4] は、短い移動や静止状態、方向転換の多い場合に誤差が累積するため小売店内での利用には適していない。またカメラ単体での屋内測位 [5], [6], [7] は、映像に映る人物を基に位置を推定できるが、個別店員の識別ができない。無線電波を用いた屋内測位 [9], [10], [11], [12] は、移動時の受信電波強度のゆらぎや周囲の人物による電波遮蔽により小規模店舗で正確な測位ができない。

カメラ+無線電波及びカメラ+センサの統合手法は、前述の方式と異なり、正確な測位と個別店員の識別という基本要件を満たすが、次節で述べるように課題が存在する。

2.1 カメラと無線電波を統合した屋内位置推定に関する研究

カメラと無線電波を統合した屋内測位として、酒井ら [13] は、人物の位置を BLE ビーコンからの電波をフィンガープリント方式で測位する方式と、人物画像の特徴量を学習させた検出器を用いて人物を検出する方式を、事前定義したコスト関数に当てはめてコスト値が最小となる人物に ID を同定している。また味八木ら [14] は、カメラによる人物

追跡手法と、複数 Wi-Fi からの電波受信強度の重心を計算することで位置の推定を実施し、2つの結果を統合して人物 ID を同定している。しかし、カメラによって検出した人物と BLE 等の無線電波を用いて推定した人物位置を同定する際には、無線電波の反射・遮蔽・回折の特性や、特に移動時における受信電波強度のゆらぎ、周囲の人物や自身による無線電波の遮蔽によって受信電波強度が劣化してしまい、結果として推定位置に大きな誤差が含まれるという問題点があった。また複数人物が近い位置に存在している場合には、無線電波を用いた位置推定の誤差により、人物 ID の同定精度が劣化する問題点があった。

2.2 カメラとセンサを統合した屋内位置推定に関する研究

カメラとセンサによる位置推定の統合として、永井ら [6] はカメラに映る人物動線の移動速度と、腰に装着した加速度を用いた PDR による位置推定により算出した歩行速度を比較し、これらの類似度が最も大きい人物 ID を同定する手法を提案している。

河合ら [15] はセンサを用い、事前に加速度と移動速度の関係を算出しておき、映像で検出した人物の移動速度から予測した加速度と、腰に装着した加速度センサにより計測した加速度を比較することで尤もらしい人物を同定している。

また木原ら [8] は RGB-D カメラと加速度・角速度センサを利用した手法を提案している。加速度センサによる上下方向加速度変化と角速度センサによるヨー角の変動を取得し、また RGB-D カメラにより歩行者の頭頂部の移動した軌跡を取得する。これらの情報を特徴量とし、頭頂部の軌跡が最も類似する歩行者を紐付けることで同定を行っている。

カメラとセンサを統合した屋内位置推定に関する従来手法は、長い距離を移動した移動動線については有効だが、短距離移動の動線や静止動線では加速度の時間変動が正確に計測できず、人物の同定精度が劣化する問題があった。また加速度の時間変動や速度と、映像分析後の移動速度、頭頂部の移動を比較しているため、測位環境内に類似した移動をする人物が存在する場合には同定精度が劣化する問題点があった。

3. 提案手法

本章では提案手法の説明を行う。全方位カメラにより取得した映像データと、店員が所持するデバイスで計測した加速度と BLE 受信情報を利用する。提案手法は、人物動線を静止動線と移動動線に分類し、それぞれの状態において優れた手法で同定を行うため従来技術より高い精度の同定が期待可能であり、人物動線の座標と BLE ビーコンからの電波受信情報を基に同定対象とする候補店員を絞り込むことで、多数の人物が店内に存在する状況でも同定精度

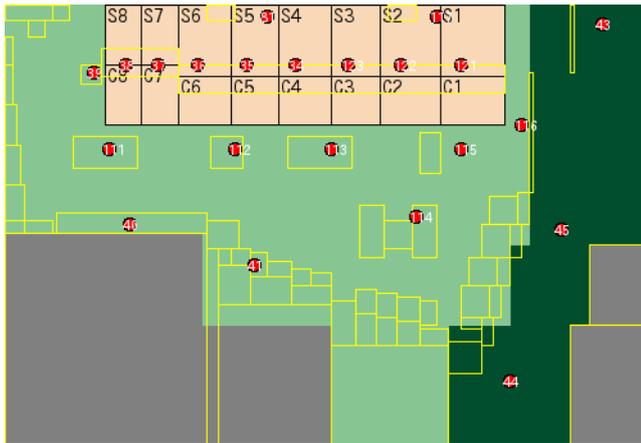


図 2 小売店 01 のフロアマップ
(緑：フロア，肌色：カウンタ，濃緑：撮影不能領域
黄色：障害物，赤丸：BLE ビーコン)

劣化の抑制が可能である。また客が進入できない領域に含まれる動線を店員同定対象とする候補に絞り込むことで、同定精度の向上が可能である。ここで小売店内について、商品等が配置されている「フロア」、レジや窓口等の配置されている「カウンタ」に分割する。「フロア」は店員・客が共に存在可能な領域であり、「カウンタ」は店員のみが存在可能な領域である。例として小売店 01 のフロアマップと分割エリアを図 2 に示す。緑のエリアがフロア、肌色のエリアがカウンタである。さらに、静止動線はフロア領域で静止している動線とカウンタ領域で静止している動線の 2 つに分類する。

3.1 処理概要

提案手法の処理フローを図 3 に示す。以下、それぞれの処理について説明する。

①人物検出

それぞれの全方位カメラで取得した映像データから小林ら [5] の方式にて人物検出を実施し、同一人物を追跡した動線 (人物動線) を取得する

②移動静止動線分類

人物動線は推定座標にノイズが含まれ、人物が静止していても推定座標が行ったり来たりすることで移動距離の累計が増加してしまうため、一定距離未満の移動はノイズとみなし、図 4 に示すフローにしたがって移動動線とフロア静止動線を分類する

③カウンタ静止動線分類

カウンタを窓口毎に 1 つずつ分割した領域に一定時間以上滞在している動線をカウンタ静止動線に分類する

④移動動線 ID 同定

移動動線において、同定対象の候補店員を絞り込むため、フロア移動時間帯に最も強く受信した BLE ビーコンの設置エリアからデバイスのフロア内外判定を実施する

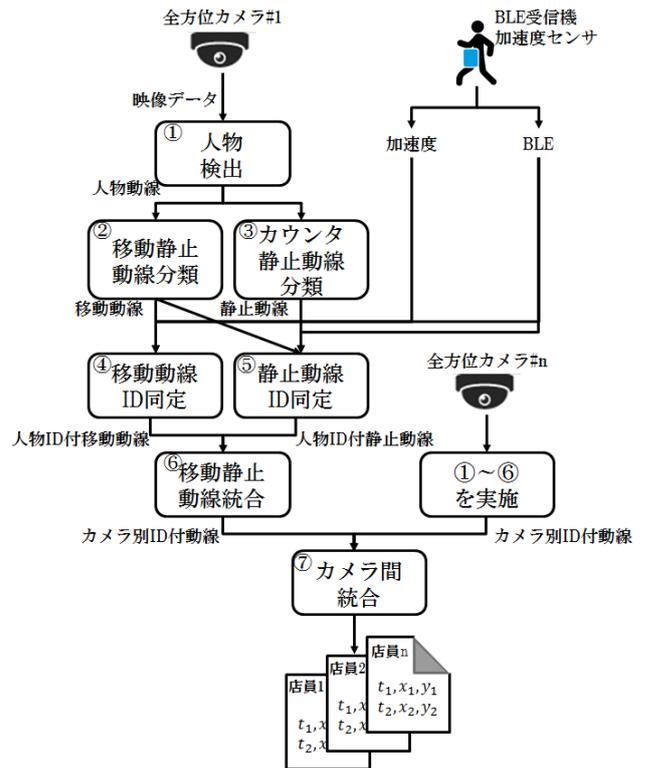


図 3 人物同定処理概要フロー

フロア外判定されたデバイスを同定対象から除外し、移動動線に対して映像中の移動速度とデバイスで検知した移動速度を比較して店員 ID 同定を実施後、店員 ID 付移動動線を出力する

⑤静止動線 ID 同定

静止動線がカウンタに静止している時間帯において、映像中の静止座標と静止座標に最も近い近傍の BLE ビーコンの受信強度・回数を比較して同定を行い、店員 ID 付静止動線を出力する

同定対象が店員のみであり、比較的高い同定精度が期待できるカウンタ静止動線の同定を先に行い、その後フロア静止動線の同定を行う

フロア静止動線の同定を行う際、時間帯が重複するカウンタ静止動線へ同定済みの店員は予め候補から除外する

⑥移動静止動線統合

移動動線 ID 同定と静止動線 ID 同定で同定した人物 ID 付移動/静止動線 (時刻毎の人物座標) を統合する
また同一人物動線を複数の動線 ID 同定手法で同定した際の対処として、人物 ID 付移動/静止動線に対して、事前に決定した優先度の高い動線 ID 同定手法の結果を採用し、カメラ別 ID 付動線を出力する

⑦カメラ間統合

店内面積が広く一台のカメラでは全エリアをカバーしきれなかったり、死角が存在する店舗の場合、複数のカメラ設置が必要となる

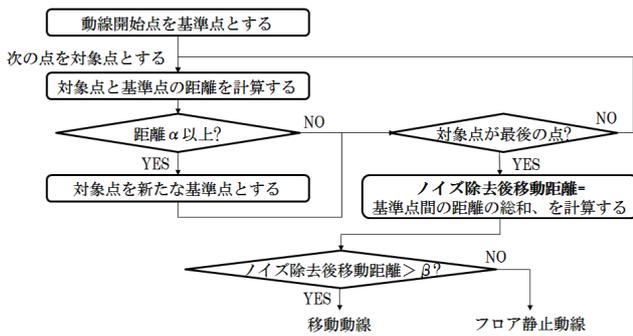


図 4 移動静止動線分類フロー

このような場合、提案手法では①～⑥の処理を各カメラ独立で実施し、最後にカメラ毎の出力結果を統合する

同一店員が重複する時間帯に複数のカメラの出力結果に存在する場合(競合と定義)、カメラから人物座標までの距離(カメラスコア)が小さい結果を採用し、最終出力を得る

最終出力は店員 ID 毎の時刻 (t), 座標 (x, y) が記載されたファイルを生成する

以下、④～⑦について説明する。

3.2 移動動線 ID 同定

本節では移動動線の人物同定手法について説明する。移動動線 ID 同定については、全方位カメラによる人物追跡により得られる移動速度と、加速度センサにより得られる全店員の移動速度の類似度を算出し、最も類似する店員 ID を同定する。移動動線の人物同定処理は大きく以下の 3 つに分かれている。

- フロア内外判定
- 速度類似度算出
- カウンタエリア進入動線店員判定

以下にそれぞれの処理を説明する。

3.2.1 フロア内外判定

複数人物がフロア内の店員と類似した移動をする場合、次項で説明する速度類似度の高い店員が複数現れることにより、速度類似度のみだと十分な識別精度が得られない。そこで、同定対象とする候補店員を絞り込むために、移動動線がフロアに存在する時間帯にそれぞれのデバイスが受信した BLE 受信情報を用いて、フロア内外判定を実施する。

動線・デバイスの組に対して、時刻毎に最も電波受信強度の強い BLE ビーコン(最寄り BLE ビーコン)を抽出し、最寄り BLE ビーコンが設置されている座標がフロアであれば「フロア内」、それ以外であれば「フロア外」と判定する。フロア内に人物が多数存在した際に、無線電波の劣化により遠くの BLE ビーコンからの電波を強く受信する可能性があるため、遠くの BLE ビーコンを最寄り BLE ビー

コンとして受信した場合は、同定対象から除外する必要がある。移動動線がフロアに存在する時間帯の閾値 $\alpha\%$ 以上でフロア外と判定されており、かつ人物座標と最寄り BLE ビーコンとの距離が閾値 $\beta(m)$ 以上の時間が閾値 γ 以上存在する場合、対象のデバイスをフロア外判定として除外する。

3.2.2 速度類似度算出

移動時は店員が所持する加速度センサが大きく変動するため、静止時と比較して加速度の計測精度が高い。そのため移動動線の映像分析による速度と加速度センサから算出した速度を比較して同定を実施する。全ての移動動線とデバイスの組について、速度類似度を算出する。移動動線の速度算出方法は永井ら [6] の方式を利用し、加速度センサによる速度算出方法は上坂ら [4] の方式を用いた。人物追跡によって得られた移動動線の開始時刻から終了時刻までの時間帯について、ピアソンの積率相関係数を算出し類似度とする。

3.2.3 人物同定

動線と各デバイスの類似度を比較し、最大の類似度をとるデバイスを移動動線に同定する。ここで同定対象とする候補店員を絞り込むため、全移動動線について、移動動線と各デバイスの類似度比較を行い、以下の場合は客と判定して同定対象から除外する。

- すべてのデバイス類似度が閾値以下
- 1つのデバイス類似度が閾値以上かつ他のデバイスとの類似度の差が閾値以上
- 2つ以上のデバイスの類似度が閾値以上

類似度比較は1つの移動動線に対して1デバイスずつ行い、客判定されているデバイスの類似度は0にする。また店員判定したデバイスが複数現れた場合は、類似度が低かった方の類似度を0に上書く。

3.2.4 カウンタエリア進入動線店員判定

フロアには客動線も多数存在し、客が店員と類似した動きをすることで客を店員に誤判定する可能性がある。しかしカウンタは店員のみが進入可能なエリアであり、客は進入できないエリアであるため、カウンタに進入した動線を「客」判定しないことで同定精度の向上が可能である。

3.3 静止動線 ID 同定

本節では静止動線の人物同定手法について説明する。静止動線 ID 同定については滞在エリア近傍の BLE ビーコンからの受信回数、受信電波強度を用いて、人物動線毎に店員 ID の同定を行う。また、同定精度の高い順に対象動線を絞って処理を行う。まずカウンタ静止動線に対して人物同定を行い、次にカウンタ静止動線の対象とならなかったフロア静止動線に対して人物同定を行う。静止動線 ID 同定に対する人物同定処理は大きく以下の 3 つに分かれている。

- 特定エリア滞在動線検出
- 人物同定
- 競合解決

以下にそれぞれの処理を説明する。

3.3.1 特定エリア滞在動線検出

店員は接客のためにカウンタ領域の各窓口に滞在することが多いが、カウンタ領域は店員しか進入できない領域であるため、カウンタ窓口で店員同定を実施することで、人物動線を客に同定してしまう可能性が排除でき、店員同定精度が向上可能である。小売店内の複数カウンタ窓口について、1つずつ分割した領域を定義し、カウンタIDを設定する。全方位カメラで追跡したそれぞれの人物動線において、同一カウンタIDに連続して t 秒以上存在した際に滞在したと定義し、カウンタ静止動線を抽出する。

3.3.2 人物同定

カウンタIDが振られた各領域に滞在している店員は滞在するカウンタIDに設置されたBLEビーコンを最も強く受信すると考えられるが、デバイス装着の位置によっては自分の体によって対象BLEビーコンからの電波を遮蔽して受信電波強度が劣化している。このため、隣接カウンタに他の店員が滞在している場合、カウンタ静止動線が当該店員に誤って同定される場合がある。しかしカウンタIDに設置されたBLEビーコンは滞在している店員が他と比較して強く受信し、電波が劣化しても受信回数は他に比べて多いと考えられる。そこで各動線の滞在時間帯のBLE受信情報について、対象BLEビーコンからの受信電波強度と電波受信回数を利用して人物を同定する。

例として図5に、ある滞在カウンタIDエリアに滞在するカウンタ静止動線の時間帯について、全店員が受信した対象BLE受信電波強度と受信回数を可視化したものを示す。図の上段がエリアに紐づくBLEビーコンからの電波受信回数であり、下段が受信電波強度である。また横軸が店員IDであり、 num_{th} は滞在時間から計算した理論的な最大電波受信回数である。図5の時間帯において、対象エリアに実際に滞在していた店員IDはS005であったが、エリアに紐づくBLEビーコンからの受信電波強度はS002が最も大きいため受信電波強度のみでは誤判定してしまう。しかしS005は、エリアに紐づくBLEビーコンからの受信電波強度はS002の次に大きく、電波受信回数はS005が最も多いため、2つの情報を利用することで正しく識別できると考えられる。

以上の情報を用いて、人物同定を実施する。1つのカウンタID($area$)の滞在を含む人物動線のカウンタID入時刻からカウンタID出時刻までの時間帯における、全店員の対象BLEビーコンからの電波受信情報を取得し、店員ID(S_i)における受信回数 $num_{S_i,area}$ と平均受信電波強度 $rssi_{S_i,area}^{ave}$ を算出する。ここで店員ID(S_i)に関して対象BLEビーコンからの電波を1回も受信しなかった場合は、

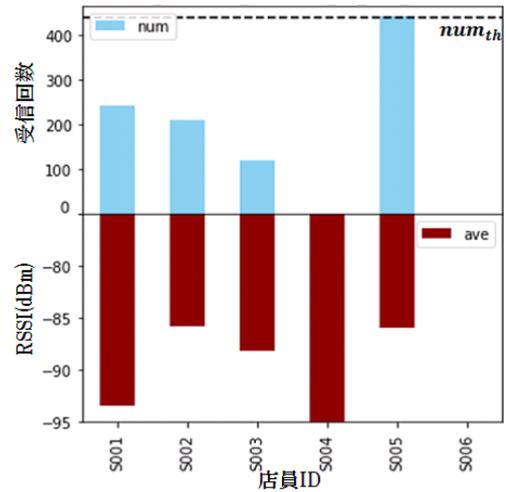


図5 ある滞在時間帯における全店員のBLE電波受信状況

$num_{S_i,area} = 0$, $rssi_{S_i,area}^{ave} = 0$ とする。これらの情報から、以下の式1により存在する可能性の最も高い店員 S_i^{est} を対象時間の人物に同定する。

$$\begin{aligned}
 S_i^{est} &= \operatorname{argmin}(-rssi_{S_i,area}^{ave} * (2num_{th} - num_{S_i,area})) \\
 &= \operatorname{argmin}(rssi_{S_i,area}^{ave} * (num_{S_i,area} - 2num_{th}))
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

ここで num_{th} は滞在時間帯における理論的な最大電波受信回数であり、式2により算出可能である。

$$num_{th} = n * (t_{enter} - t_{exit})
 \tag{2}$$

ただし $n \leq m$ とする。ここで t_{enter} は対象エリア入時刻であり t_{exit} は対象エリア出時刻、 m はBLEビーコンにおけるアダプタイズパケットの送信周期である。式1において、カウンタ静止動線の滞在時間帯に関して全ての店員が対象BLEビーコンからの電波を1回も受信しなかった場合は、どの店員でもない(=客)と判定する。ただしカウンタ静止動線の静止時間帯に関して、デバイスの電波受信回数が閾値以下の場合、対象外として同定対象デバイスから除外する。閾値は num_{th} の1/4とした。

3.3.3 競合解決

上述の方式のみでは、同一時刻に同一店員IDが複数の人物動線に同定される(競合と定義する)場合がある。提案手法において、静止時間が短い場合は、受信した電波情報の一部が劣化していた場合に同定結果に大きく影響するが、静止時間が長い場合は影響が小さいため、静止時間の長い方が同定精度が高いと考えられる。そのため、カウンタ静止動線で競合が発生した場合は、滞在時間帯の長いカウンタ静止動線を同定対象に採用する。上記を行った上で、競合が存在しなくなるまで再度店員同定を実施する。1つの人物動線に対して複数の滞在時間帯が存在する場合は、推定された店員IDの累計時間が最長になる店員IDを人物動線の推定値に置き換える。

表 2 移動静止移動統合処理

例：静止動線同定を優先度高とした場合

人物動線 ID	移動動線同定	静止動線同定	統合結果
01	客	S001	S001
02	S003	-	S003
03	S002	S004	S004
04	-	客	客

表 3 カメラ間統合処理

時刻	カメラ 0 (x, y, score)	カメラ 1 (x, y, score)	カメラ 2 (x, y, score)	統合結果 (x, y)
10:30:12	1.5, 3.4, 3.0	-	-	1.5, 3.4
10:30:13	1.6, 3.5, 3.0	1.5, 3.4, 2.0	-	1.5, 3.4
10:30:14	1.7, 3.6, 4.0	1.6, 3.5, 2.0	-	1.6, 3.5
10:30:15	1.8, 3.7, 4.0	1.7, 3.6, 2.0	1.7, 3.5, 1.0	1.7, 3.5
10:30:16	-	-	1.8, 3.6, 1.0	1.8, 3.6
10:30:17	-	-	1.9, 3.7, 1.0	1.9, 3.7

3.4 同定結果統合処理

本節では静止動線の同定結果と移動動線の同定結果の統合手法と、複数カメラで同定した結果の統合方法を説明する。同定結果統合処理は以下の 2 つ処理が存在する。

- 移動静止動線統合処理
- カメラ間統合処理

以下にそれぞれの処理を説明する。

3.4.1 移動静止動線統合処理

静止動線 ID 同定と移動動線 ID 同定の結果を統合する。1 つの動線対して、一方の動線 ID 同定手法のみが人物識別対象とした場合は、その結果をカメラ別 ID 付動線として出力する。ただし、1 つの動線に対して移動動線 ID 同定と静止動線 ID 同定で互いに人物識別対象とする場合がある。その際には、静止動線 ID 同定手法と移動動線 ID 同定手法について事前に優先度を付け、優先度が高い手法の結果を優先的に採用する。本処理による統合結果の概要を表 2 に示す。

3.4.2 カメラ間統合処理

複数の全方位カメラで人物を追跡した動線は、カメラ毎にカメラ別 ID 付動線を出力する。そのため、店員判定した各カメラの動線を、店員 ID 毎に統合する必要がある。全方位カメラが追跡した人物はカメラに近い (=カメラスコアが小さい) 座標の方が、人物が大きく映るため人物同定精度が高いと考えられる。そこで各人物動線について、複数カメラ間で重複のない時間帯の動線座標はそのまま出力し、重複のある時間帯の動線座標は最小のカメラスコアを持つ動線の座標を採用して出力する。本処理によるカメラ間統合処理結果の概要を表 3 に示す。

4. 評価

本章では実環境で取得したデータに対し、提案手法を適用した際の評価について説明する。本論文では静止動線 ID

表 4 人物動線に付与されるカメラ ID

カメラ ID	説明
0	カメラ 1 と 2 で共に追跡した動線
1	カメラ 1 で追跡した動線
2	カメラ 2 で追跡した動線

同定と移動動線 ID 同定、さらにカメラ間統合後の評価を行った。カメラ間統合後の評価は既存方式との精度比較を行った。

4.1 評価環境

店員には実際に加速度センサが内蔵された BLE 受信機を所持してもらい、全方位カメラが天井に 2 台設置され、BLE ビーコンが各所に設置された小売店において、通常業務を実施してもらった。BLE ビーコンは市販のものを使用し、 $m = 10\text{Hz}$ でアダプティブパケットを送信する。BLE 受信機は、BLE ビーコンから送信された Bluetooth アダプティブパケットについて、1 秒毎の最大受信電波強度を 1Hz で内部ストレージに記録する。また BLE ビーコンは図 2 の赤丸の位置に示すように接客のために区切られた各カウンタに 1 つずつ設置した他、フロアに存在する障害物の上などの歩行の妨げにならない場所に設置した。BLE ビーコンの送信出力である TxPower は -75.5dBm とした。ただし、カウンタエリアに設置した BLE ビーコンは隣のカウンタに存在する店員が受信してしまう可能性があるため、相対的に弱い -80.5dBm とした。計測された BLE 電波受信強度は反射・遮蔽・回折の影響により損失する場合があるため、前後 5 秒の受信電波強度で平滑化を行うこととする。映像データには、追跡している人物座標の他に、複数ある全方位カメラの内どちらの全方位カメラによって追跡した動線なのかを示すカメラ ID が記録される。人物動線に付与されるカメラ ID を表 4 に示す。評価は小売店 4 店舗で取得した計 235 分間のデータを用いた。小売店ごとの解析対象店舗情報を表 5 に示す。また静止動線に分類する滞在時間閾値 t は $t = 15$ 秒とした。

4.2 評価指標

提案手法では人物動線 1 本 1 本に人物推定ラベルを付与するが、人物動線の動線長 (動線の開始から終了までの時間) は様々である。そのため評価は店員 ID の同定を行った人物動線の動線長について、どれだけの割合で推定できたかの指標である Precision と Recall を定義した。Precision はそれぞれの店員 ID と推定された時間の内、正しく同定できた時間の割合であり、Recall は実際の店員動線の時間の内、正しく店員 ID を同定できた時間の割合である。移動動線 ID 同定、静止動線 ID 同定はカメラ別の Precision と Recall で評価し、カメラ間統合はカメラ間統合後の Precision と Recall で評価を行った。カメラ間統合

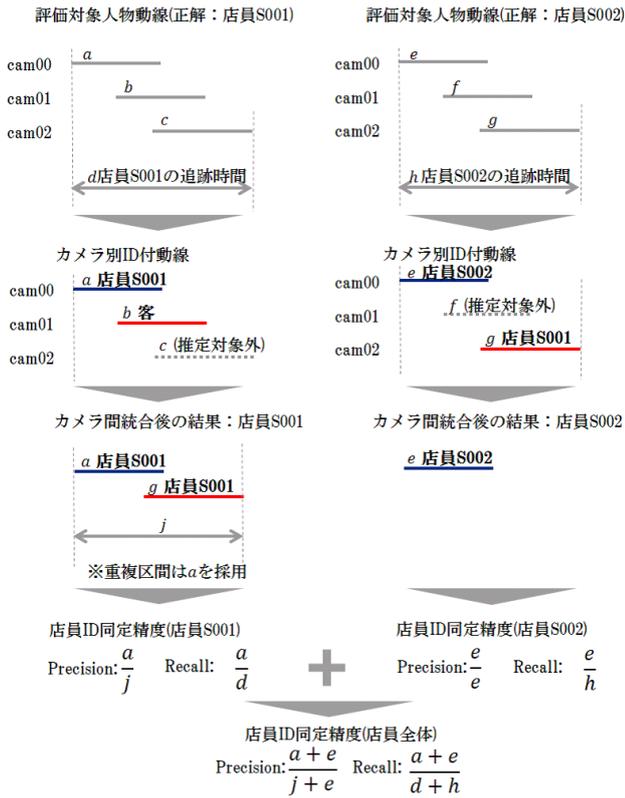


図 6 カメラ間統合後の評価指標の算出概要

表 5 解析対象店舗情報

小売店 ID	解析時間 (分)	店員数	解析対象動線時間 (秒)	店舗面積 (m ²)
01	60	6	13,275	176.0
02	55	3	4,950	193.2
03	60	8	15,302	150.8
04	60	8	17,526	103.6

表 6 静止動線の同定結果 (秒)

小売店 ID	店員同定成功	店員を別店員判定	店員を客判定	客を店員判定	客判定成功	Precision [%]	Recall [%]
01	14,063	799	235	82	0	94.1	93.1
02	3,582	367	0	440	4,462	81.6	90.7
03	6,128	4,161	272	62	0	59.2	58.0
04	5,658	4,066	839	321	86	56.3	53.6
平均	29,430	9,393	1,346	905	4,547	74.1	73.3

後の評価指標の算出例を図 6 に示す。

4.3 評価結果

小売店 4 店舗における静止動線の店員同定結果を表 6 に示す。店舗によりばらつきがあるが、小売店 01, 02 では 90% 以上の精度で同定をすることができている。また客の動線についても、客と判定することができている。しかし、小売店 03,04 は Precision, Recall 共に 60% 以下となった。

次に小売店 4 店舗における移動動線の店員同定結果を表 7 に示す。4 店舗平均して Precision, Recall 共に 70% 以上であったが、小売店 04 は 60% 以下であった。

最後にカメラ間統合後の人物同定結果と既存方式との比

表 7 移動動線の同定結果 (秒)

小売店 ID	カメラ ID	店員同定成功	店員を別店員判定	店員を客判定	客を店員判定	客判定成功	Precision [%]	Recall [%]
01	0	1,516	174	39	0	2,632	87.7	95.1
	1	791	1,312	62	36	2,909	36.5	97.4
	2	5,602	643	93	43	6,092	88.4	93.8
02	0	1,982	426	354	330	13,666	71.8	93.4
	1	39	78	0	66	594	21.3	33.3
	2	62	271	0	29	276	17.1	18.6
03	0	1,964	411	420	571	7,897	66.7	70.3
	1	1,639	0	93	159	429	91.2	94.6
	2	3,864	1,097	23	123	907	76.0	77.5
04	0	5,104	2,626	923	419	7,357	62.6	59.0
	1	312	95	153	317	1,113	43.1	55.7
	2	247	104	64	19	1,606	66.8	59.5
平均	-	23,122	7,237	2,224	2,112	45,478	71.2	71.0

表 8 カメラ間統合後の人物同定結果 (P:Precision,R:Recall[%])

小売店 ID	既存方式 (A)		既存方式 (B)		提案手法		提案手法	
	カメラ+		カメラ+		店員		店員	
	P	R	P	R	P	R	P	R
01	81.9	9.6	14.7	20.2	93.6	89.6	98.4	94.1
02	78.0	5.9	6.1	12.9	68.5	79.7	78.1	90.9
03	83.6	24.3	16.4	27.5	78.7	68.5	95.0	82.7
04	74.4	32.4	22.6	25.0	74.2	61.3	95.5	78.9
平均	81.0	18.9	15.0	23.0	80.1	72.6	94.0	85.2

較を表 8 に示す。カメラと加速度を組み合わせた既存方式は、全小売店平均で Precision 81.0%, Recall 18.9% であり、カメラと BLE を組み合わせた既存方式は、全小売店平均で Precision 15.0%, Recall 23.0% であった。提案手法は Precision 80.1%, Recall 72.6% の結果が得られ、既存方式を上回る精度が得られている。また店員 ID まで同定せずに店員と客を識別した店員識別精度に関しては、4 店舗平均で Precision 94.0%, Recall 85.2% となり、店員と客の識別については更に高精度に推定可能であるという結果が得られた。

4.4 考察

静止動線 ID 同定について、店舗によって精度にばらつきが見られた。特に小売店 03 と 04 は、店員を別の店員に誤判定した時間帯が多かった。これは、他の 2 店舗と比較して相対的に店舗面積が小さく、店員数も多かったことで、異なるカウンタに滞在していた店員が対象の BLE ビーコンからの電波を強く受信してしまったためであると考えられる。また、客を店員と誤判定する時間帯も多く存在した。これは、客しか進入できない領域であるカウンタに映像分析結果である客動線が進入していたことから、全方位カメラによる人物追跡精度が低かったことにより起因したと考えられる。移動動線 ID 同定についても、小売店 03 と 04 に関して店員を別の店員に誤判定した時間帯が多く存在した。静止動線の同定と同様に、店舗面積が小さく、店員数も多かったことで映像分析精度が低下し、同一人物を別動線 ID で追跡したり、カメラで検出できない人物が存在していたことが考えられる。統合後の同定結果について、小売店 4 店舗平均で Precision:80.1%, Recall:72.6%

の精度が得られた。カメラ間結果統合の結果、評価指標の精度が向上した店舗もあった。これは、複数の人物動線の内、移動動線または静止動線が各々対象とする人物動線につき、人物 ID 同定を精度良く実施することができたためであると考えられる。

5. 終わりに

本論文では、店舗内における店員のオペレーションの効率化のための店員行動把握について、カメラ映像を用いた屋内測位技術における加速度と BLE を用いた人物 ID の同定手法を提案した。従来方式は、移動時には BLE の電波受信強度が安定せず、静止時には加速度の時間変動が小さいことで人物同定精度が劣化する課題や、複数人物が近い場所に静止したり複数人物が類似した移動をする際に人物同定精度が劣化する課題があった。これらの課題について、映像中の人物動線を静止動線と移動動線に分類し、加速度での人物識別が困難な静止動線は BLE ビーコンの受信情報を利用し、移動動線は店員の計測加速度から算出した速度変化を用いて人物 ID の同定を実施することで、精度の高い人物同定を可能とした。また人物動線の座標と BLE ビーコン受信情報を基に同定対象とする候補店員を絞り込むことで、人物同定精度の劣化を抑制可能とした。実店舗における評価では 4 店舗 275 分間の映像データに対して、既存方式を上回る Precision 80.1%, Recall 72.6% の精度が得られ、また店員識別精度に関しては、Precision 94.0%, Recall 85.2% の精度が得られた。今後は、映像分析の失敗である、客動線がカウンタ領域に入りこんだり、人物検知できない場所があったり、同一人物を別動線として追跡してしまう問題の対処方法を検討し、より精度の高い同定手法を検討する予定である。

参考文献

- [1] Panasonic, "高精度位置測位・動線分析システム", 入手先 (<https://www.panasonic.com/jp/business/its/dousen.html>) (参照 2018-04-12).
 - [2] RetailNext, "RETAILNEXT のしくみ", 入手先 (<https://retailnext.net/ja/how-it-works-jp/>) (参照 2018-04-12).
 - [3] 株式会社 ABEJA, "ABEJA Insight for Retail", 入手先 (<https://abejainc.com/insight/retail/ja/>) (参照 2018-04-12).
 - [4] 上坂 大輔, 村松 茂樹, 岩本 健嗣, 横山 浩之, "手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案", 情報処理学会論文誌 vol.52(2), pp.558-570, Feb. 2011.
 - [5] 小林 達也, 加藤 晴久, 菅野 勝, "単眼全方位カメラを用いた遮蔽に頑健な人物動線追跡手法の提案", 信学技報, vol. 116, no. 411, PRMU2016-146, pp. 321-326, Jan. 2017.
 - [6] Yuki Nagai, Naoya Makibuchi, Daisuke Kamisaka, Jianfeng Xu and Shigeyuki Sakazawa, "3D Person Tracking In World Coordinates and Attribute Estimation with PDR", Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia, pp.1139-1142, Oct. 2015.
 - [7] 小阪 勇気, 平山 高嗣, 岩井 儀雄, 谷内田 正彦, "全方位画像を用いた歩行軌跡による確率的人物行動認識システム", 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM) 2005-CVIM-149(23), pp.163-170, May, 2005.
 - [8] 木原 渉, 河畑 凌, 大西 正輝, 興梠 正克, 蔵田 武志, "屋内環境における人の位置計測に向けた RGB-D カメラに映る PDR 利用者の同定", 研究報告コンピュータビジョ
- ンとイメージメディア (CVIM) 2016-CVIM-200 pp.1-6, Jan. 2016.
 - [9] Tran Xuan Duc, 宮崎 和哉, 西尾 信彦, "無線 LAN 位置マーカ方式測位への状況適用型測位手法", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム, Vol.2012, pp.1017-1026, Jul. 2012.
 - [10] P.Bahl, V.N.Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System", INFO-COM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, Vol.2, pp.1017-1026, 2012.
 - [11] 鬼倉 隆志, 高柳 健司, 望月 祐洋, 村尾 和哉, 西尾 信彦, "無線 LAN の端末側測位と基地局側測位を用いた測位精度改善手法", 情報処理学会研究報告. UBI, 2015-UBI-46(3), pp.1-8, May, 2015.
 - [12] Kenta Urano, Kei Hiroi, Kei Hiroi, Nobuo Kawaguchi, "A Location Estimation Method using BLE Tags Distributed Among Participants of a Large-Scale Exhibition", MOBIQUITOUS 2016 - 13th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services, pp.124-129, Nov. 2016.
 - [13] 酒井 直樹, 衣斐 信介, 三瓶 政一, "屋内環境における BLE とカメラを用いた統合位置推定に関する一検討", 信学技報, vol. 117, no.396, RCS2017-296, pp.161-166, Jan. 2018.
 - [14] 味八木 崇, 山崎 俊彦, 相澤 清晴, "Wi-Fi 位置推定と映像のパーティクルフィルタによる広域人物追跡", 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学 107(129), 49-53, Jul. 2007.
 - [15] 河合 純, 田島 潤一, 金田 重郎, 新谷 公朗, 江守 貞治, 芳賀 博英, "ビデオ画像とセンサ情報の統合に基づいた位置検出手法", 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS), 2012-CDS-3, Vol.3, pp.1-7, Jan. 2012.