

BLEを用いたカメラに映る人物の同定手法の提案

星 尚志^{1,a)} 伊藤 義浩^{1,b)} 石川 雄一^{1,c)} 南川 敦宣^{1,d)}

概要: 近年, ショッピングモール等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, 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. 既存技術は①WiFi や BLE などの無線電波の受信状態を用いて店員の測位を行う方式と②カメラで検出した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店員を同定・測位する方式に大別されるが, ①は電波の受信状態が不安定な移動中は正確な測位が困難であり, ②は店員と客が映像中に混在するため店員の同定精度が劣化するという課題があった. そこで本論文ではカメラと BLE ビーコンを用いる手法を提案する. 提案手法は映像においてカウンタなど店員のみが進入可能なエリアに静止中の人物を検知した際, BLE ビーコンの測位結果と映像中の人物位置を比較して店員を同定する. 提案手法では電波受信が安定する静止状態の測位結果を用いること, 及び店員・客の混在を避けて同定を行うことにより人物同定を高精度に行うことが可能であり, 実店舗における評価では3店舗中9割以上の人物同定精度が得られた.

Person Identification in Camera Images using BLE signal

HISASHI HOSHI^{1,a)} YOSHIHIRO ITO^{1,b)} YUICHI ISHIKAWA^{1,c)}
ATSUNORI MINAMIKAWA^{1,d)}

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カメラやセンサ等で把握する技術が研究されている [1], [2], [3]. 店員個人の行動を把握するには, 人物 ID と各時刻における位置座標を同定することが一般的であり, 様々な研究が行われてきた.

無線電波を用いた方式は, 店員が電波受信機を保持し, 店舗内に複数設置された送信機からの電波の受信状態を用いて店員の位置を推定し, 店員の行動を把握していた. しかし, 無線電波には電波の反射・遮蔽・回折等により測位精度が劣化する問題点があり, 特に移動中は電波受信状態が安定しないため, 店員の正確な移動動線を把握することが困難であった. またカメラとセンサを組み合わせた方式では, 映像分析により検出した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ことで, 店員の行動を把握するものであったが, 店員と加速度センサを保持していない客が混在するため人物の同定精度が劣化するという問題点があった. 最近ではセキュリティ等の観点から, 天井にカメラを設置する店舗が多く存在している. カメラを用いた人物検出は映像中の人物検出位置を元に測位を行うため, 無線電波を利用した方式と比べ高精度の測位が可能であるため, 本論文ではカメラが存在する店舗での利用を前提とし, 移動に依存する速度情報ではなく BLE(Bluetooth Low Energy) を組み合わせた店員の行動の把握に関して議論する. 特に本研究対象の店舗動線に着目すると, 比較的カウンタ領域に滞在する時間が多く, カメラによる人物追跡では無線電波の劣化等の影響がない. そこで本論文では位置推定精度の問題に対しては, カメラで追跡する技術を用いて解決し, 人物 ID の同定精度についてはカウンタ領域に装着した BLE ビーコンを利用することで, 移動時間に依存しない人物 ID 同定手法を提案する. カウンタなど店員のみが進入可能なエリアにおいて静止中の人物をカメラによる人物追跡技術により

¹ 株式会社 KDDI 総合研究所

a) hi-hoshi@kddi-research.jp

b) oh-itou@kddi-research.jp

c) yi-ishikawa@kddi-research.jp

d) at-minamikawa@kddi-research.jp

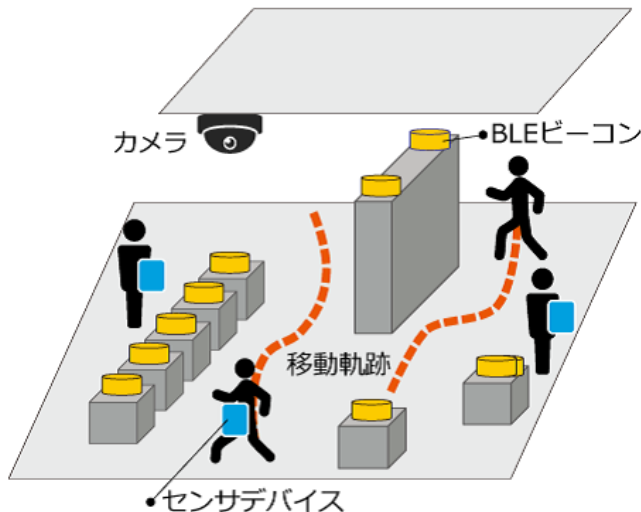


図 1 適用環境イメージ

検出し、静止位置と店員が保持する電波受信機の電波受信状態を比較することで店員を同定を実施する。本手法の適用環境イメージを図 1 に示す。本手法は天井に全方位カメラが設置され、店内の各所に BLE ビーコンが設置されている環境で店員が BLE 受信機を所持した環境で実施する。実際の小売店による評価の結果、2 店舗で 9 割以上の精度で同定可能であることを示した。

2. 関連研究

屋内における位置推定は、慣性センサを用いる手法、カメラを用いる手法、無線信号を用いる手法などが存在する。本章では位置推定誤差が累積しない、絶対位置推定に焦点を当てて整理し、問題点を述べる。

2.1 Wi-Fi を用いた屋内位置推定に関する研究

Duc ら [5] は Wi-Fi を用いた位置推定手法として、Triangulation という手法を利用している。Triangulation は端末と基地局間の距離と RSSI の減衰関係から距離を近似する式を定義し、基地局からの推定距離と基地局との相対的な位置関係を元に測位を行う。3 箇所以上の基地局から端末までの推定距離を算出し、それぞれの距離の和が最小になるように最小二乗法によって位置を推定する。Triangulation は基地局の配置が偏っている場合でも推定精度が低下しない利点があるが、3 箇所以上の基地局で端末からの電波を受信できないと測位不可能であることと、観測される RSSI には揺らぎが生じ推定距離に誤差が含まれるなどの問題点が存在する。

暦本ら [6] は加重平均法と呼ばれる手法を提案している。加重平均法とは、複数の基地局座標からの推定距離を重みとして位置の重み付き平均を行うことで推定位置と決定する方式である。基地局座標からの推定位置は Triangulation と同様に端末と基地局間の距離と RSSI の減衰関係から距離を近似する。ある観測点で受信した Wi-Fi 基地局数を

k 、観測点で受信した Wi-Fi 基地局の位置を $PS_n(x, y)$ とし、各 Wi-Fi 基地局からの推定距離を $dist(RSSI_n)$ としたとき、推定距離 $dist(RSSI_n)$ が重みとなる。すなわち求める推定位置 $pos(x, y)$ は式 1 で表すことができる。

$$pos(x, y) = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^k \frac{1}{dist(RSSI_i)} PS_i(x, y) \quad (1)$$

$$W = \sum_{i=1}^k \frac{1}{dist(RSSI_i)}$$

加重平均法は、Wi-Fi 基地局の配置密度が高い地点に推定位置が収束してしまう問題点や、1 箇所の Wi-Fi 基地局からの電波しか受信できなかった場合にはその Wi-Fi 基地局の位置が推定位置になってしまうという問題点がある。

また Bahl ら [7] は Wi-Fi からの電波について、Scene Analysis と呼ばれる手法を用いて位置を推定している。Scene Analysis は測位空間の緯度経度情報と基地局からの電波情報を結びつけた電波環境マップを事前に収集しておき、位置推定時に実際に観測した電波情報とパターンマッチングを行うことで絶対位置を推定する方式である。この手法は主に Fingerprint とも呼ばれている。

鬼倉ら [8] は、Wi-Fi を用いた位置推定手法として、Triangulation と Scene Analysis(Fingerprint) を組み合わせた手法を提案している。Fingerprint によって推定位置の候補を複数限定し、候補地点の中から Triangulation を用いて算出された地点を推定位置とすることで、2 種類の手法を組み合わせることで精度向上を図っている。

これらの手法は、人物 ID の同定は店員が無線デバイスを所持しているため課題ではないが、2.4GHz 帯の Wi-Fi 無線電波を用いているため、受信した電波には反射・遮蔽・回折の影響が大きく、カメラを利用した手法と比較して位置推定精度に問題がある。

2.2 BLE を用いた屋内位置推定に関する研究

山口ら [9] は BLE タグからの電波を用い、Fingerprint 方式で位置推定を行っている。その際に BLE タグの個数を最大 16 個から 1 つずつ減らしながら計算によって測位精度を評価している。

また浦野ら [10] は BLE タグを人物の首から下げ、BLE 電波受信機であるスキャナーがフロア内に多数設置してある環境での位置推定手法を提案している。位置推定には各スキャナーで受信した受信電波強度を用いて最尤推定により決定している。最尤推定とは電波送信機からの受信電波がガウス分布に従うと仮定した時に、 n 番目の受信機からの距離 R_n を条件とする RSSI 値 P_n の確率密度関数 $f(P_n|R_n)$ を算出して、それぞれの確率密度関数の積 $f(P|R) = f(P_1|R_1)f(P_2|R_2) \cdots f(P_n|R_n)$ が最大となる座標を推定位置とする手法である。

BLE を用いた手法でも、2.4GHz 帯の無線電波であるた

め、反射・遮蔽・回折の影響により位置推定精度に問題があり、カメラを用いた手法には及ばないと考えられる..

2.3 複数手法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 [11] 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と ID を同定する手法を提案している。

河合ら [12] 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 [13] 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。

複数手法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速度を算出できず、人物 ID の同定精度が劣化するなどの問題点があった。

3. 提案手法

本章では事前調査としてカメラ単独での人物追跡精度の調査を行い、複数手法の統合の必要性と移動動線に含まれる静止時間帯、存在する頻度の高いエリアを調査することで、カウンタ静止時間帯における店員 ID 同定の重要性を論じる。さらに、全方位カメラにより追跡した映像動線について、移動時間帯と静止時間帯に分け、静止時間帯について人物 ID を同定する手法を提案する。

3.1 事前調査

カメラ単独での人物追跡精度を検証するため、全方位カメラのみを用いて、複数の小売店、複数の時間において同一人物を追跡し続けた割合を算出した。小林ら [4] の手法を用い、移動動線追跡継続率を算出した結果を表 1 に示す。全方位カメラの数が 2 台の方が、1 台の場合よりも継続率が高いが、平均値は 50% 程度であった。原因として、カメラから遠い領域は人物が小さく映ることで映像動線が途切れやすかったり、建物の影に人物が入ることで人物を検出できないことなどが考えられる。ただし、100% の精度で追跡持続可能な動線も存在した。これは全方位カメラの中心に近い座標は人物が大きく映るため検出しやすかったり、店内人数が少ない場合は追跡しやすいなどの理由によ

表 1 全方位カメラのみを用いた移動動線追跡継続率

小売店 ID	正解動線	カメラ台数	平均値 [%]	最大値 [%]
	最小値, 中央値, 最大値 [m]			
01	動線数: 25	1 台	25.1	65.3
	10.1, 17.6, 48.1	2 台	30.4	96.3
02	動線数: 27	1 台	30.2	62.3
	8.9, 23.5, 87.8	2 台	31.5	65.9
03	動線数: 32	1 台	43.9	100
	7.9, 14.0, 109.2	2 台	51.1	100

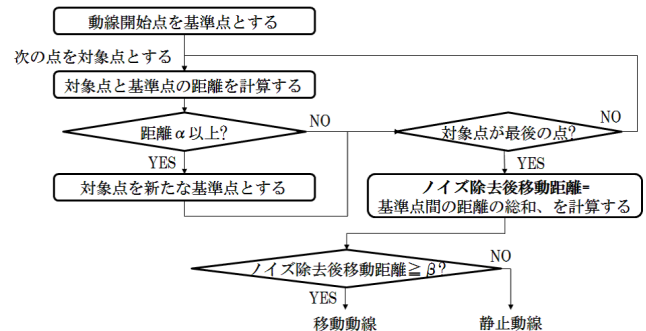


図 2 移動静止動線集計フロー

るものと考えられる。この調査結果からカメラ単独での人物追跡には限界があり、他の手法と統合することが必須であると考えられる。

次に対象時間の全移動動線に含まれる、静止時間の割合を調査した。映像動線は推定座標にノイズが含まれるため、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。そのため 1.5m 未満の移動はノイズとみなし、図 2 に示すフローにしたがってノイズ除去後移動距離の計算を行い、ノイズ除去後移動距離が 0m より大きい映像動線を移動動線と定義した。映像動線の集計の結果、移動動線は全体の 96.1% であった。さらに移動動線の 81.3% が静止時間であり、レジや窓口等の配置されている「カウンタ」エリアに存在する店員では 80.9% が静止していることが明らかになった。

また対象時間の店員の滞在エリアを集計した。エリアは、小売店内を商品が配置されている「フロア」、レジや窓口等の配置されている「カウンタ」、在庫等が管理されている「バックヤード」の 3 つのエリアに分割し、それぞれに店員が存在した時間を集計した。「フロア」は店員・客が共に存在する領域であり、「カウンタ」は店員のみが存在する領域、「バックヤード」は全方位カメラで撮影できない領域である。小売店 01 のフロアマップと分割エリアを図 3 に示す。赤丸が BLE ビーコンであり、黄色の線が壁、机等の遮蔽物である。また緑のエリアがフロア、肌色のエリアがカウンタ、濃緑のエリアがバックヤードである。集計した小売店は 3 店舗、計 175 分間のデータを用いた。店員の滞在エリア集計結果を表 2 に示す。この結果より、店員は平均で 7 割以上の時間でカウンタ領域に存在することが明らかになった。以上より店員について、カウンタによる静止

表 2 店員滞在エリア集計結果

小売店 ID		カウンタ	フロア	バックヤード
01	累計 (秒)	13,842	2,261	5,474
	割合 (%)	64.2	10.5	25.3
02	累計 (秒)	9,046	371	483
	割合 (%)	91.4	3.7	4.9
03	累計 (秒)	20,226	3,931	4,484
	割合 (%)	70.6	13.7	15.7
計	累計 (秒)	43,114	6,563	10,441
	割合 (%)	71.7	10.9	17.4

表 3 追跡動線フラグ

フラグ	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

動線に着目することで高いカバー率の同定が可能となる。

本論文ではカウンタなど店員のみが進入可能なエリアにおいて静止中の人物を映像分析により検出し、静止位置と店員が保持する電波受信機の電波受信状態を比較することで店員を同定する手法を提案する。従来手法における無線電波の反射・遮蔽・回折等により測位精度が劣化し、特に移動中は電波受信状態が安定しないため、店員の正確な移動動線を把握するのは困難な問題や、カメラとセンサを組合せた方式での店員と客 (加速度センサを保持しない) が混在する環境下での人物の同定精度が劣化する問題に対して、本提案手法の貢献は以下 3 点である。

- 映像中の人物検出位置を元に測位を行うため、無線電波を利用した方式と比べ高精度の測位が可能
- 同定ができた人物は映像分析において人物追跡が継続する限り、測位し続けることが可能なため、静止前後で移動していても正確な測位が可能
- 店員のみ進入可能なエリアに限定して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

3.2 処理概要

本研究では、小売店内に存在する店員の動線に対して、接客等のためにカウンタ領域において静止時間帯が多いという特徴に着目し、カウンタにおける静止時間帯に人物 ID の同定を実施する手法を提案する。本研究では店員を対象としたため、全方位カメラで追跡可能であり、かつ店員のみが移動・滞在可能なカウンタ領域で人物 ID の同定を実施することを考える。図 1 に示すように天井に全方位カメラを設置し、静止する可能性の高いカウンタに BLE ビーコンを密に配置することで、静止動線を高く同定可能な効果を得る。全方位カメラは複数台設置してもよく、本研究では 2 台設置した。全方位カメラによる人物追跡手法は小林ら [4] の方式を使用した。この手法では、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が記録される。また複数の全方位カメラで同一人物を追跡したと判定された場合は、それぞれの動線をマージして一つの動線としており、そのため表 3 に示すようなフラグが用意されている。また BLE ビーコンは図 3 に示すように接客のために区切られ

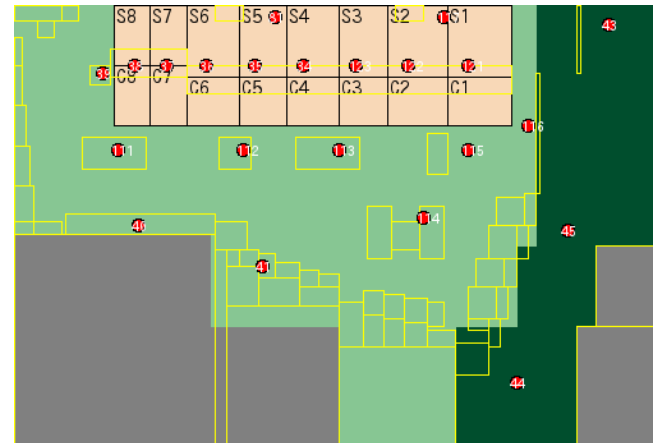


図 3 小売店 01 のフロアマップ
(緑：フロア、肌色：カウンタ、濃緑：バックヤード)

た各カウンタに 1 つずつ設置した。BLE 受信機は店員の腰に装着することを想定している。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可能性があるため、前後 5 秒の受信電波強度で平滑化を行う。

本手法は全方位カメラにより追跡した映像動線の中から予め設定したエリアに滞在した時間帯を抽出し、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、映像動線毎に人物 ID の同定を行う。本手法の処理は以下の 4 つに分かれている。以下にそれぞれの処理を説明する。

- 特定エリア滞在動線検出
- 人物同定
- カメラ間競合解決
- 同一動線 ID 統合

3.3 特定エリア滞在動線検出

本節では各カウンタ領域に滞在した動線の抽出について説明する。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。小売店 01 では図 3 に示すように 8 箇所のカウンタが存在する。全方位カメラで追跡したそれぞれの映像動線において、同一カウンタ ID エリアに連続して t 秒以上存在した際に滞在したと定義し、滞を含む映像動線を全て抽出する。

3.4 人物同定

本節では複数店員の中から静止動線が誰のものか同定する方法を説明する。人物同定における概要フロー図を図 4 に示す。人物同定に利用する BLE ビーコンは滞在してい

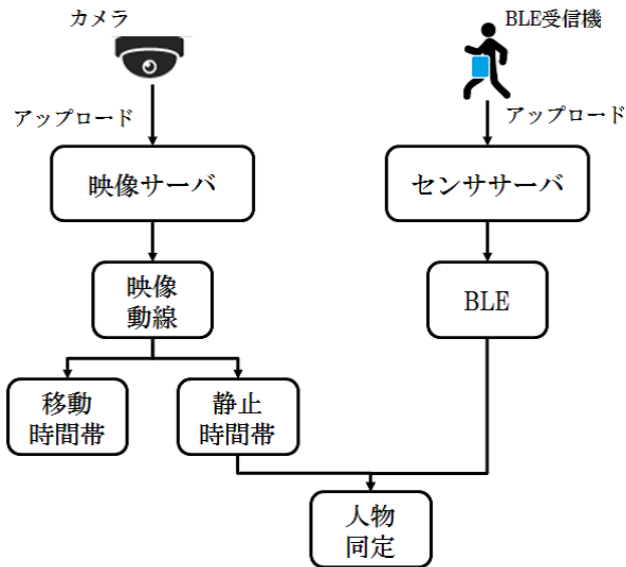


図 4 人物同定処理概要フロー

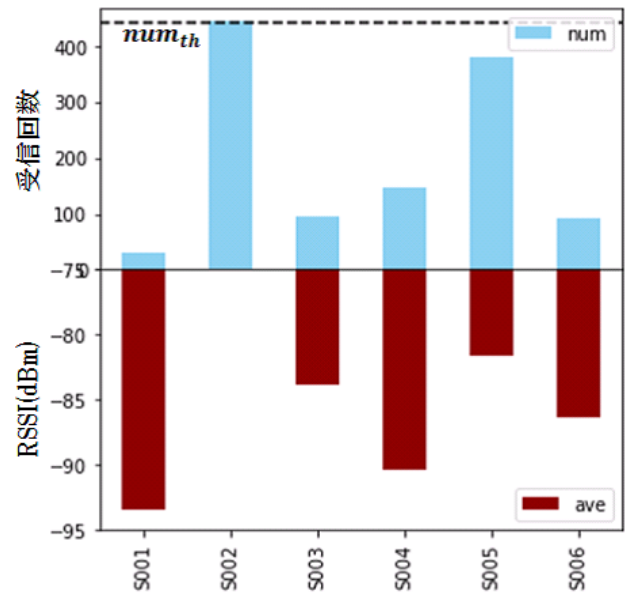


図 5 ある滞在時間帯における全店員の BLE 電波受信状況

た各カウンタ ID エリアの中心に最も近い BLE ビーコンとする。人物滞在動線について対象時刻の該当カウンタ ID に紐づく BLE の受信状況を用いて該当エリアに存在する店員を同定する。本手法では各動線の滞在時間帯毎に人物を同定していく。各エリアに滞在している人物は、カウンタ ID エリアに紐づく BLE ビーコンまでの距離が近いこと、対象 BLE ビーコンからの電波受信強度が強く、受信回数が多くなることが考えられる。例として図 5 に、ある滞在を含む映像動線の滞在時間帯、滞在カウンタ ID エリアにおける、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、対象エリアに滞在していた店員 ID は S002 であったが、エリアに紐づく BLE ビーコンからの電波受信回数は S002 が最も多く、受信電波強度も最も大きいことがわかる。そこで BLE ビーコンからの受信電波強度と受信回数を用いた人物 ID の同定手法を提案する。1 つのカウンタ ID エリア ($area$) の滞在を含む映像動線の対象エリア入時刻から対象エリア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 $rss_{S_i,area}^{ave}$ 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、 $num_{S_i,area} = 0$ 、 $rss_{S_i,area}^{ave} = 0$ とする。これらの情報から、以下の式 2 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。

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

(2)

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る。また本研究で用いる BLE 受信機は $n = 1\text{Hz}$ で電波を計測するため、 num_{th} は式 3 により算出可能である。

$$num_{th} = n * (t_{enter} - t_{exit}) \quad (3)$$

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ティブパケットの送信周期である。式 2 において、滞在を含む映像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、滞在を含む映像動線にどの店員でもない (=客) のラベルを付与する。ただし対象動線の時間帯に関して、全店員の電波受信回数が閾値以下の場合、該当者なし (=客) と判定する。また閾値は理論的な最大電波受信回数 num_{th} の $1/4$ とした。

3.5 カメラ間競合解決

本研究では同一時刻に同一店員 ID が推定されることを競合と定義する。本節は複数の滞在を含む映像動線について人物同定を実施した際に、競合が発生した場合の推定結果補正手法を説明する。競合する動線が存在するかを確認するため、各滞在を含む映像動線に関して、対象エリア入時刻と対象エリア出時刻を用いて競合が発生している静止時間帯を抽出する。各滞在を含む映像動線群に対して対象エリア入時刻でソートし、対象エリア入時刻の小さい映像動線から 2 つずつ比較することで確認する。ただし追跡動線フラグが 1 と 2 の動線は、同一人物を追跡する可能性があるため、比較しない。また客と判定した映像動線も比較

表 4 小売店 01 における評価結果 (店員 6 人)

	S001	S002	S003	S004	S005	S006	customer	recall
S001	2316.6	42.5	0.0	0.0	21.4	0.0	187.2	90.2
S002	75.6	2627.7	33.1	39.0	0.0	12.7	0.0	94.2
S003	0.0	3.0	1600.8	59.2	0.0	37.9	0.0	94.1
S004	140.2	35.0	0.0	1833.4	33.3	27.8	0.0	88.6
S005	0.0	138.7	0.0	26.7	1795.6	0.0	0.0	91.6
S006	0.0	51.9	0.0	21.3	0.0	3888.5	48.2	97.0
customer	0.0	49.0	0.0	0.0	32.5	0.0	0.0	
precision	91.5	89.1	98.0	92.6	95.4	98.0		92.6

しない。競合が発生した動線に対しては、滞在時間帯の長い方を採用し、短い時間帯は対象のエリアから除外する。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。

3.6 同一動線 ID 統合

1 つの映像動線に対して複数の滞在時間帯が存在する場合があるため、本手法では同一の映像動線に推定されたラベルを統合する必要がある。滞在時間帯によって推定されるラベルが異なる場合があるため、推定されたラベルにおける滞在時間の累積が最長になる推定店員を映像動線の推定ラベルに置き換える。

4. 評価

本章では全方位カメラが天井に設置され、BLE ビーコンが各所に設置された屋内環境において、実際に店員に BLE 受信機を所持してもらい、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、 $m = 10\text{Hz}$ でアドバタイズパケットを送信する。BLE 受信機は、BLE アドバタイジングパケットを受信できる専用デバイスを作成した。この BLE 受信機は受信した BLE 電波について 1 秒毎の最大受信電波強度を算出し、1Hz で内部ストレージに記録する。本手法では映像動線 1 本 1 本に人物推定ラベルを付与するが、映像動線の動線長 (動線の開始から終了までの時間) は様々である。そのため評価は人物 ID の同定を行なった映像動線の動線長について、どれだけの割合で推定できたかを算出した。データは小売店は 3 店舗、計 175 分間のデータを用いた。小売店 01 に関しては、対象時間帯には店内には 6 人の店員と複数人の客が存在し、小売店 02 に関しては 3 人、小売店 03 には 8 人の店員と複数人の客が存在した。映像動線は、カメラ映像から手動でラベル付けすることで真の位置及び店員 ID が既知である。滞在とみなす時間 t は $t = 15$ 秒とした。また BLE ビーコンの送信出力である TxPower は -80.5dBm とした。小売店 01 における店員の同定結果を表 4 に示す。表は行方向が真の店員 ID であり、列方向が推定店員 ID である。この結果より、全ての店員で precision, recall 共に 88% 以上の高い精度で同定することができており、全体で 92.6% の精度で人物 ID の同定を実現することができた。同様に小売店 02, 03 の結果を表 5, 6 に示す。この結果より、小売

表 5 小売店 02 における評価結果 (店員 3 人)

	S001	S002	S003	customer	recall
S001	801.7	0.0	0.0	0.0	100
S002	174.4	2450.7	0.0	0.0	93.4
S003	0.0	192.9	329.3	0.0	63.1
customer	0.0	249.7	190.4	4461.5	
precision	82.1	84.7	63.4		90.9

表 6 小売店 03 における評価結果 (店員 8 人)

	S001	S002	S003	S004	S005	S006	S007	S008	customer	recall
S001	1351.5	181.7	18.2	0.0	0.0	177.1	0.0	35.3	0.0	76.6
S002	0.0	33.9	50.7	78.5	26.6	178.3	72.4	45.5	89.6	5.9
S003	0.0	0.0	2611.7	32.6	246.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.4
S004	0.0	31.0	0.0	1107.3	491.9	0.0	660.1	0.0	25.9	47.8
S005	0.0	323.6	0.0	209.6	353.6	0.0	203.5	0.0	156.9	28.4
S006	0.0	0.0	0.0	554.6	0.0	0.0	34.0	0.0	0.0	0.0
S007	30.1	44.5	157.2	56.8	147.0	0.0	669.8	0.0	0.0	60.6
S008	0.0	0.0	0.0	21.1	7.7	0.0	10.9	0.0	0.0	0.0
customer	0.0	22.8	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3	0.0	0.0	
precision	97.8	5.3	92.0	53.7	27.8	0.0	39.7	0.0		57.9

店毎に精度にばらつきがあることがわかった。小売店 02 は precision が 63.4%~84.7% と、小売店 01 と比較して低かった。また小売店 03 に関しては、店員 S001, S003 は 9 割以上の高い precision で同定できたが、その他の店員は 4 割以下の低い精度となった。

5. 考察

本手法の評価により、小売店 01, 02 において 9 割以上の精度で店員における人物 ID の同定が可能であることを示した。小売店 02 に関する精度劣化の要因として、客動線の混入によるものが考えられる。本来カウンタ領域には店員しか存在できない前提であるが、全方位カメラによる人物追跡座標の誤判定により、客動線の追跡位置が誤ってカウンタ領域内に含まれる場合が存在した。本手法ではカウンタに滞在した映像動線は何れかの店員に同定しようとするため、客動線は誤判定する可能性が高くなる。結果として、小売店 02 では 4901.6 秒の客動線が混入しており、その内の 249.7 秒の客動線が S002 に、190.4 秒の客動線が S003 に誤判定されていた。小売店 03 について店員によって同定精度が異なる要因として、小売店内の人物が多く誤判定が発生しやすかったことが考えられる。同定対象店員が滞在しているエリアの近傍に別の店員が滞在している場合、エリアに紐づく BLE ビーコンからの電波を受信する可能性があるため、誤判定したものと考えられる。

6. 終わりに

本論文では、店員個人個人の行動を把握するための店員 ID と各時刻の位置座標の同定に関して、店員の動線が接客やレジ対応等のためにカウンタ領域を長時間含むことに着目し、全方位カメラと BLE ビーコンを用いた人物 ID 同定手法を提案した。実環境により評価を実施したところ、小売店 01 と 02 では 9 割以上の精度で同定可能であることを示し、精度の低かった小売店 03 に関しては精度劣化要因を考察した。今後は、店員の BLE 受信デバイスの装着位置によって店員同定を行う際の BLE ビーコンを動的に変更させる手法や、移動動線についても ID の同定を実施する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", <https://www.panasonic.com/jp/business/its/dousen.html> (2018/04/12 アクセス)
- [2] RetailNext, "RETAILNEXT のしくみ", <https://retailnext.net/ja/how-it-works-jp/> (2018/04/12 アクセス)
- [3] 株式会社 ABEJA, "ABEJA Insight for Retail", <https://abejainc.com/insight/retail/ja/> (2018/04/12 アクセス)
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 暦本 純一, 塩野崎 敦, 末吉 隆彦, 味八木 崇, "PlaceEngine-実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤", インターネットコンファレンス論文集, Vol.2016, pp.95-104, 2006.
- [7] P.Bahl, V.N.Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System", INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, Vol.2, pp.1017-1026, 2012.
- [8] 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.
- [9] 山口 修平, 荒井 大輔, 大岸 智彦, "BLE タグを用いた屋内位置測位における設置タグ数の影響評価", 信学技報, vol. 114, no. 478, IN2014-146, pp. 151-156, Mar. 2015.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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), pp.1-6, Jun. 2016.