

空港案内誘導ロボットにおける ロバストなフォロワ認識機能の研究

Research of Robust Follower Recognition Function for Airport Guide Robot

沙 子 鈞¹
Zijun SHA

名 取 洋 一²
Yoichi NATORI

有 泉 孝 裕²
Takahiro ARIIZUMI

要 旨

案内ロボットの実用化に対して、ホスピタリティは重要な要素である。本稿では、案内対象者の認識機能、すなわち、フォロワ認識機能を定義し、ハイブリッドな手法を提案した。本手法は、顔認識、人物追跡と Person re-identification の三つの技術を融合することで、それぞれの技術特性を活かし、ロボット視点におけるフォロワまでの認識距離や照明の変化、物や人によるフォロワの隠れなどの課題に対するロバスト性の向上を図った。成田国際空港内での実証実験を通じ、フォロワ認識機能の案内誘導ロボットサービスへの実用化の見通しを立てた。

ABSTRACT

Hospitality is a key factor for the success of guide robot service. This paper defines a new recognition function called follower recognition, and proposes a hybrid approach to realize the follower recognition function. This approach creates a fusion of facial recognition, human body tracking, and person re-identification algorithms and takes advantage of the respective technological characteristics to realize robust follower recognition against issues such as recognition distance change, illumination change, and occlusion from the robot's perspective. The proving test result at Narita International Airport showed that the proposed approach is practical in guide robot service.

1. まえがき

少子高齢化に伴う労働人口の減少、単身高齢世帯の増加や、生活様式の多様化や効率化に伴う生活レベル向上への関心の高まりによって、人と共存し協調するサービスロボットの需要が高まっている。例えば、人々が行き交う環境下での自律移動可能な誘導ロボットの社会実装がある⁽¹⁾。今回我々は、人と共存、協調しながら社会の中で役立つロボットの実現を目指し、成田国際空港（以下、成田空港）内でロボットが案内対象者（フォロワ）を目的地まで先導するフォロワ認識機能を実装した空港案内ロボットシステムを構築し、実証実験を行った。本システムでは、ロボットに目的地まで案内されたという新しい体験を人々に提供し、新しい案内サービスの可能性を示すとともに、ロボットがデモンストレーションではなく、実世界で人と共存し人の役に立つことを目的とする⁽²⁾。

本案内サービスの詳細は参考文献^{(2),(3)}に述べられているが、その流れの概要を Fig. 1 に示す。ステップ1のように、フォロワは空港内に設置された案内サービス受付用のロボット（受付ロボット）とのインタラクションにより、目的地設定などの案内受付を行う。この際にフォロワの顔識別用の登録画像が受付ロボットにより取得され、その特徴量を運用システムへ転送する。続いて誘導ロボットは、目的地や顔の特徴量を運用システムから取得し、案内を始める（ステップ2）。案内中はステップ3のように、誘導ロ

るが、その流れの概要を Fig. 1 に示す。ステップ1のように、フォロワは空港内に設置された案内サービス受付用のロボット（受付ロボット）とのインタラクションにより、目的地設定などの案内受付を行う。この際にフォロワの顔識別用の登録画像が受付ロボットにより取得され、その特徴量を運用システムへ転送する。続いて誘導ロボットは、目的地や顔の特徴量を運用システムから取得し、案内を始める（ステップ2）。案内中はステップ3のように、誘導ロ

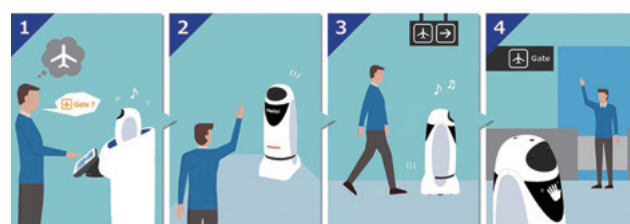


Fig. 1 Utilization flow of guide robot service

¹ ライフクリエーションセンター，博士（工学）

² ライフクリエーションセンター

ボットは Fig. 2 に示す後頭部のカメラよりフォローの位置を認識し、フォローの移動スピードに合わせて自動的にスピードを調整し、適切な距離を保ってフォローを先導する。目的地に到着すると案内サービスを終了し、受付に帰還する(ステップ4)。

フォロウに『ロボットに案内してもらった』という体験を提供するためには、目的地に向かって単調に移動するロボットに付いて行ってもらうだけでは不十分であり、自身に合わせてロボットが動作しているとフォローに感じてもらう必要があると考える。つまり、Fig. 2 のように心地よい距離感で、フォローの移動ペースに合わせてロボットが進行することで、「案内してもらっている」と感じてもらう。このようにロボットがフォローのペースに合わせて動作することは、案内サービスのホスピタリティを向上させることにつながり、案内サービス全体の満足度が向上すると考えている。そのためには、ロボットの動作が不自然でこちないものとならぬように、フォローの位置を安定して認識し続けることが肝要である。本稿では、空港内という複雑な屋内環境下を自律移動する案内ロボットに搭載可能な、ロバストなフォロー認識機能の実現手法を提案し、空港内の撮影データを用いた評価を通してそのロバストな認識性を示す。以下、第2章では従来手法とフォロー認識の関係について述べ、第3章では提案手法によるフォロー認識について述べる。第4章では評価データについて説明し、第5章で評価結果と提案手法の有用性について考察する。

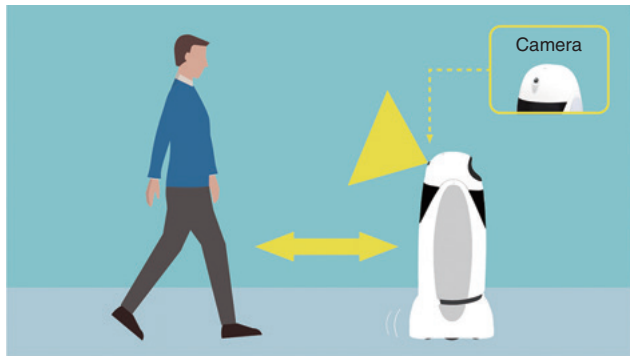


Fig. 2 Adjustment of distance from follower

2. 従来手法

フォロウ認識機能とは、移動という動的な環境下において、先導する誘導ロボットの視点からフォローである人の相対位置を安定的に認識し続けるものである。誘導ロボットがカメラを用いてフォローの相対位置を認識し、それに伴い移動速度を調整することで適度な相対距離を維持する技術は、本稿執筆時点で調べる限りでは前例がない。

フォロウ認識を対象とした研究や開発事例が少ない一

方で、フォロー認識と同様にロボット視点から人との動的な相対位置を認識する技術として、Fig. 3 のようにロボットが人に付いて行く人追従⁽⁴⁾機能が挙げられ、1990年代から活発な研究開発が行われている⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾。フォロー認識との最大の違いは人がロボットの先を先導することであるが、動的で複雑な環境下において人を認識するという点でフォロー認識と共通の課題が多く、多種多様なセンサやアルゴリズムを使用した対応手法が研究開発されている。Pierre⁽⁸⁾は単眼カメラによるコンピュータビジョンの手法から人認識、追跡を行っている。Chen ら⁽⁹⁾と Wang ら⁽¹⁰⁾はステレオカメラやRGBD 画像によるコンピュータビジョンの手法と深度情報で人追従を実現した。Leigh ら⁽¹¹⁾と Peng ら⁽¹²⁾と Germa ら⁽¹³⁾は、Laser range finder (LRF) や超音波センサ、Radio frequency identifier (RFID) などを用いて追跡することで実現した。

近年、Fig. 4 に示すようにカメラ間やフレーム間で全身/半身像から人物を同定する Person re-identification (Person re-id)⁽¹⁴⁾技術が進化してきた。Person re-id は、主



Fig. 3 Person following

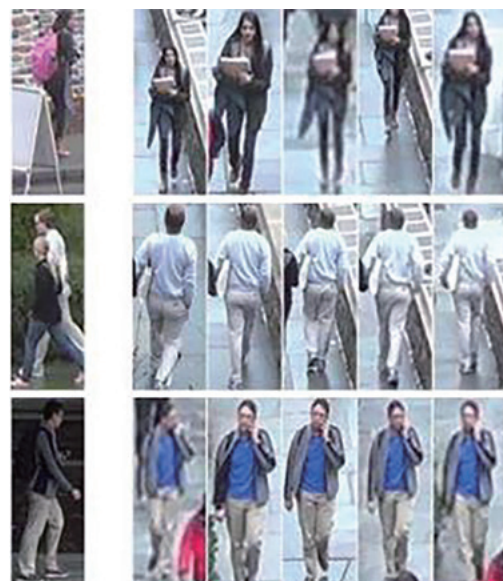


Fig. 4 Person re-id

に人物の全身カラー画像を入力し、深層学習モデルにより人物の形状や色といったアピランスの特徴を抽出し、登録画像から取得した同特徴と比較することで、同一人物が照合を行う技術である。著者らはロボット視点画像への Person re-id 技術の適応化について取り組んだ⁽¹⁵⁾。Person re-id 技術の個人認証精度は顔識別より低いが、姿勢変化や距離変化に高いロバスト性を持つため、人追従にもフォロー認識にも適応性があると考えられる。一方で事前に認識対象者の全身/半身像の登録が必要という前提条件がある。

フォロー認識機能の実現に当たってはこうした人追従に関する従来手法が参考になると考えられるが、一方でフォローの顔が見える、フォローの行動が予測しにくい(よそ見、寄り道、急停止、U ターンなど)など、人追従とは異なる特性もあり、必ずしも人追従と同様な手法が適しているとは限らない。

フォロー認識を実現するには、従来手法をベースにして、フォローの顔認識(顔検出、顔識別や顔追跡を含む)、人物追跡や特別な装置(RFID など)や目印(QR コードなど)によりフォローを認識し続ける手法が考えられる。しかし、それぞれには以下に述べるような課題がある。

顔認識を利用する場合、移動に伴い周辺環境が動的に変わったり、視点が低かったりすることに起因するロボットならではの課題(認識距離、照明変化、画像ブレ、カメラ画角からの見切れ、物や人による隠れ(オクルージョン)など)に対するロバスト性が極めて低い^{(16),(17)}。例えばフォローが横を向くことなどによる顔の見切れや、屋内移動に伴う急激な照度変動により、たちまち顔を見失ってしまう。また、少しでもロバスト性を上げるために、様々なバリエーションの顔画像を事前に取得し登録しておくことも考えられるが、受付ロボットにおける顔識別用画像取得時に、姿勢を変えて何度も撮影することは、ユーザビリティの観点からも好ましくない。

人物追跡とは、時系列のフレーム間で、追跡対象の近隣領域において、人物の比較的単調な特徴量(例えば、色、エッジなどの局部特徴や人物検出結果のバウンディングボックスの相対位置)を比較することによって追跡を実施するものである。この人物追跡を利用する場合、案内開始時に何らかの手法でカメラに写っている人物がフォローであることを認識する必要がある。また追跡中には、前述の顔認識と同様にオクルージョンなどにより追跡に失敗するケースが多発することが予想される。その上、人物追跡だけでは個人の識別はできないため、追跡失敗から回復することができない⁽¹⁸⁾。

特別な装置や目印を利用する場合、案内時に携帯したり装着したりというフォローへの余計な負担が生じ、ホスピタリティやユーザビリティの低下を招く。さらに RFID では対象が近くに存在することは分かるものの、対象の相対位置が分からない。

このように、従来手法に基づく個々の技術によるフォロー認識機能には、高いホスピタリティを持つ誘導ロボットの実現に向けて課題がある。

3. 提案手法

2章で述べた従来手法の課題を解決し、ロバスト性の高いフォロー認識機能を実現するため、本稿では、顔認識、人物追跡と Person re-id 技術を融合したフォロー認識手法を提案する。提案手法では、RGB 単眼カメラ画像に対して、顔認識と人物追跡の組み合わせによりベース機能を構築し、そこに Person re-id を組み合わせるという2段階の手法を取った。多様なセンサを組み合わせるのではなく、単眼カメラのみを使用したのは、誘導ロボットの安全性(衝突・転倒時の衝撃低減)やペイロード、コスト面などに起因している。

3.1. 顔認識 / 人物追跡の融合によるフォロー認識

ここでは顔認識と人物追跡の特長を融合する手法を提案する。Fig. 5 に顔認識 / 人物追跡の処理の概略を示す。顔認識 / 人物追跡はカメラより得られる画像から、顔と人物の検出を行い、検出された顔領域に対しては顔追跡 ID を、人物に対しては人物追跡 ID をそれぞれ付与する。顔領域に対しては、事前に登録したフォローの顔特徴との相違度を算出し、識別スコアを求める。識別スコアがしきい値を超えている場合、その顔は登録済みのフォローの顔であると判定(顔識別成功)し、フォローに対応する顔追跡 ID を更新する。追跡は顔と人物に対しそれぞれ行い、追跡成功時はそれぞれ同一の追跡 ID が保持される。

Fig. 5 に示す Fusion の処理は顔認識と人物追跡の結果

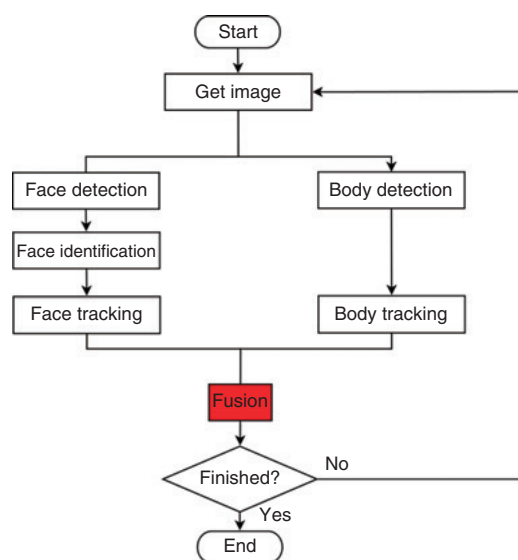


Fig. 5 Flow chart of Face/Body tracking based follower recognition

の融合処理である。具体的な融合手法を Fig. 6 に示す。検出 / 追跡された顔と人物の各バウンディングボックスの相対位置関係を用いて、同一人物に対する顔追跡 ID (face_id) と人物追跡 ID (body_id) を紐付け、フォロワに対応する顔追跡 ID と人物追跡 ID を更新する。Fig. 6 中に赤く示す顔バウンディングボックスと人物バウンディングボックスの相対位置による紐付け判断の例を Fig. 7 に示す。このようにフォロワに対応する顔と人物の追跡 ID を束ねて保持することによって、いずれか一方の認識が失敗しても、相互補完によりフォロワの認識を継続できることが期待できる。すなわち、顔認識に失敗しても、紐付けされた人物 ID

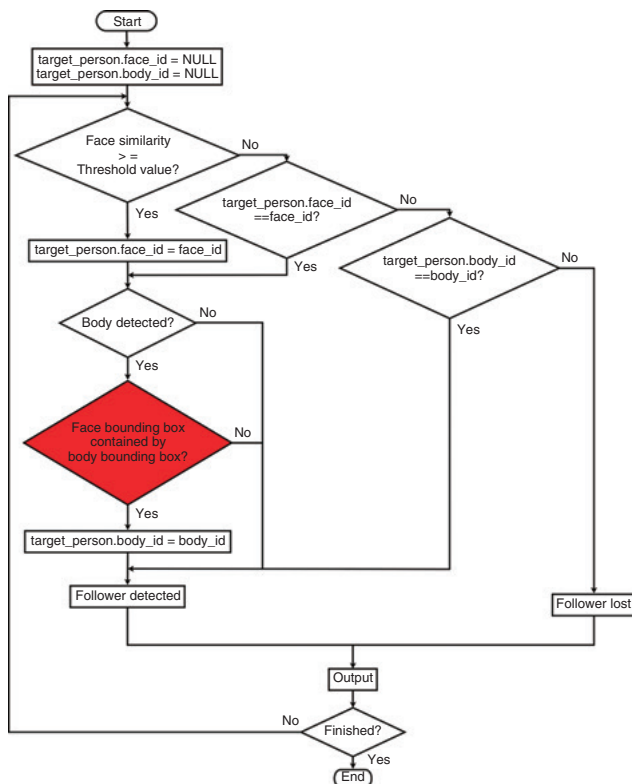


Fig. 6 Flow chart of Face/Body tracking fusion

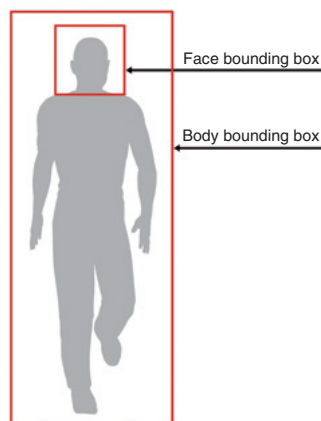


Fig. 7 Link of Face/Body bounding boxes

の追跡が成功していればフォロワの認識継続が可能である。逆に人物が検出／追跡できなくとも、顔が検出でき認識に成功していればフォロワを認識可能である。

しかしながら、空港のような複雑な環境下では、顔認識と人物追跡に同時に失敗する可能性があり、安定したフォロウ認識の実現には更なるロバスト性の向上が求められる。

3.2. 顔認識 / 人物追跡と Person re-id の融合によるフォロワ認識

前述の顔認識／人物追跡の融合手法を補い、フォロー認識に更なるロバスト性を与えるために、本手法では Person re-id を用いる。Person re-id は、顔識別に比べ、オクルージョンや遠距離（低解像度）の画像に対しても、全身像／半身像から人物の同定が可能であり、顔認識／人物追跡の融合手法が認識できない場面においてもフォローを認識できる可能性が高い。一方で、照明や顔の向きなど、認識に理想的な条件下においては、顔認識に比べ識別性能は劣る。また、扱う特徴量が多いため処理負荷が高く、顔認識より低速である。さらに、フォローの全身または半身の登録画像が必要であるが、案内サービス受付時は、受付ロボットのカメラからはフォローの顔が主体に撮影される。以上の理由から、本手法では信頼性が高い顔識別に基づき、高速な顔認識／人物追跡による認識成功結果を主体として活用し、Person re-id を補助的に用いる。

処理概要を Fig. 8 に示す. 図中の赤枠で示した部分は Fig. 5 の顔認識 / 人物追跡手法に当たる. 顔認識 / 人物追跡手法と Person re-id 手法は独立して処理が進む. まず,

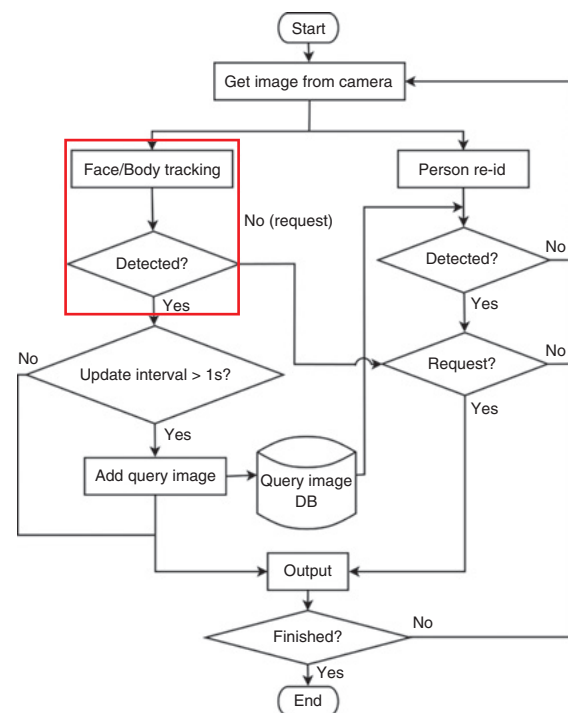


Fig. 8 Fusion of Face/Body tracking and Person re-id

顔認証 / 人物追跡手法によるフォロー認識結果を確認する。顔認識 / 人物追跡によるフォロー認識成功中は、一定時間ごとに Person re-id 用の全身登録画像を取得し、データベースに追加更新する仕組みとしている。これにより直近のフォロー全身画像を保持することができるため、照明環境の変化や、例えば上着を脱いだり、バッグを持ち換えたりといった姿の変化に対しても、認識のロバスト性向上が図れる。顔認識 / 人物追跡手法によるフォロー認識失敗時には、Person re-id の処理結果を最終的なフォロー認識結果として使用する。このようにして顔認証 / 人物追跡による手法と Person re-id を融合することで、それぞれの弱点を相互に補う効果的なフォロー認識機能の実現が期待できる。

4. 評価データ

本機能の検証は、Fig. 9 に示すように、実際に案内ロボットを動かす成田空港第1ターミナル出国エリアにおいて実施した⁽¹⁹⁾。3章において提案した手法の性能を定量的かつシーン網羅的に評価するため、案内経路として十分な距離と途中様々な環境変動を含んだ映像を評価データとして使用した。

具体的には、実際の誘導ロボットを模した台車に高さ1 m、仰角 25° でカメラを設置し、第1ターミナルの中央ビルから第4サテライトの端までの間を、実際の案内を模して移動しながら解像度 2056 × 1542、撮影速度 10 fps で取得した約9分間 (5541 フレーム) の映像データを用いた。テストデータ取得時の誘導ロボットは、フォロー認識による速度調整を行わなかった。また被験者であるフォローは、ロボットに案内されている状況を模擬してロボットと距離を取りながら追従するが、途中、空港内の店舗前で立ち止まったり、左右をよそ見したりするなど、様々な動作を取った。テストデータの一部を Fig. 10 に、その撮影場所

を Fig. 9 上に示す。逆光や照明機器の変化などによる照明変動、誘導ロボットの移動に伴う画像ブレ、フォローの行動変化に伴う、顔の向きの変化や距離変動、見切れ、マスク脱着、人や物との交差によるオクルージョンなど、環境が動的に変化することによってロバストな認識機能が求められる状況を多様に収録した。図中の赤マークは被験者のフォローである。

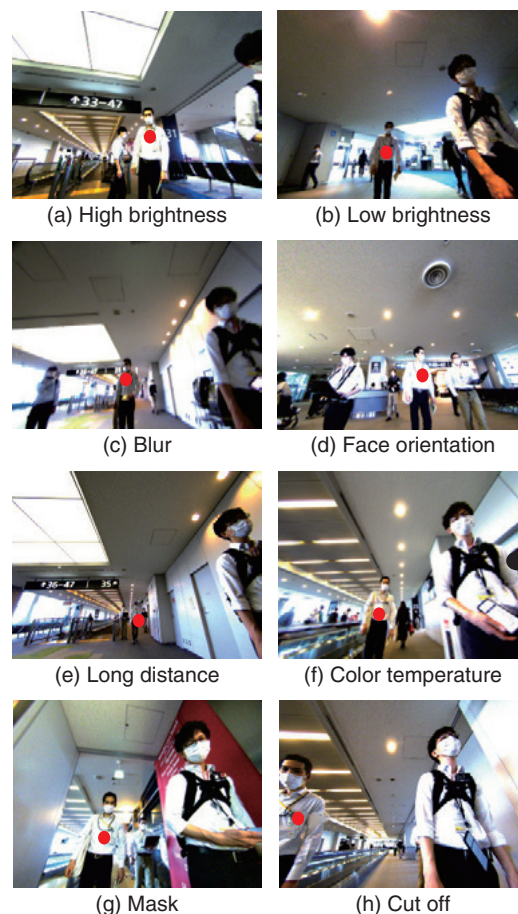


Fig. 10 Scenes that call for robust recognition

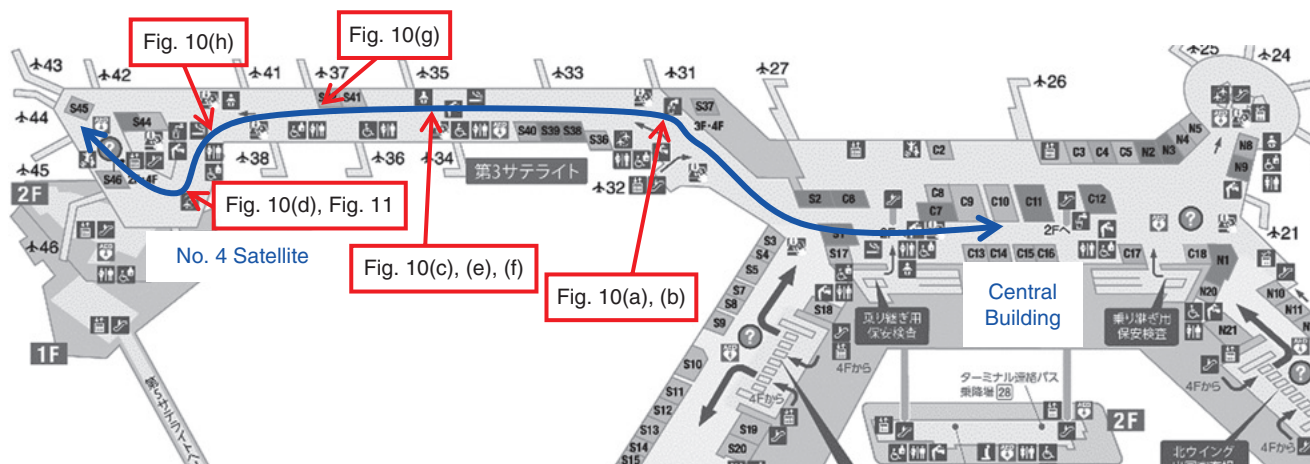


Fig. 9 Evaluation test path on 3rd floor of Narita Airport Terminal 1

5. 評価結果と考察

フォロー認識の処理結果のイメージを Fig. 11 に、撮影場所を Fig. 9 上に示す。Fig. 11(a) は顔認識 / 人物追跡手法により、顔認識と人物追跡に成功し、それぞれのバウンディングボックス (この場合橙色枠) が紐付けできた場合である。Fig. 11(b) はマスクの影響で顔認識が失敗したが、紐付けている人物追跡が成功した場合である。Fig. 11(c) は顔認識 / 人物追跡の両方が失敗したが、Person re-id により認識できた場合である。いずれの手法でも失敗しフォロー認識失敗に至った場合が Fig. 11(d) である。

提案手法を 4 章で説明したデータで評価した結果を Table 1 に示す。評価は、Fig. 11 で示したように、処理結果のバウンディングボックスがフォローを囲んでいるかどうかを目視で確認することで行った。Table 1 内の True Positive とは、フォローを正しく認識したと判定したフレーム数である (TP)。False Positive とはフォローでな

Table 1 Results

	Total (Frame)	True Positive (Frame)	False Positive (Frame)	False Negative (Frame)	Success (%)
Face/Body (1)	5541	4540	0	1001	81.9
Person re-id (2)	1001	835	32	134	83.4
(1) + (2)	5541	5375	32	134	97.0

い人をフォローと認識したフレーム数である (FP)。False Negative とはフォローがいるが認識できなかったフレーム数である (FN)。Success とはフォローの認識成功率である。つまり、全 5541 フレームのテストデータ画像に対して、顔認識 / 人物追跡融合手法のみでの認識成功は 4540 フレーム、FP は 0 フレーム、FN は 1001 フレームであり、認識成功率は 81.9% であった。顔認識 / 人物追跡で失敗した 1001 フレームに対して、Person re-id 手法によりフォローと正しく認識できたのは 835 フレーム、FP は 32 フレーム、FN は 134 フレームであり、Person re-id 手法での認識成功率は 83.4% であった。以上より、顔認識 / 人物追跡と Person re-id を融合した提案手法による最終的な認識成功率は 97.0% であった。

Fig. 12 は評価に使用したテストデータについて、フォロー認識結果から推定したロボットからフォローまでの推定距離を時系列にプロットしたものである。グラフは顔認識 / 人物追跡手法単体の結果を橙色、Person re-id 単体による結果を青色で示している。フォローまでの推定距離は、フォローを検出したバウンディングボックスのサイズによって推定したものである。推定距離が lost にプロットされているフレームは、フォロー認識に失敗したシーンである。この内同一フレームに対して橙色で lost にプロットされながら、一方で青色で推定距離がプロットされている箇所は、顔認識 / 人物追跡手法で失敗したが、Person re-id によって正しくフォローを認識できたシーンである。Fig. 12 の赤枠はその一例であるが、フォローとの距離が離れたため、顔認識 / 人物追跡手法では認識失敗したものの、Person re-id によって認識成功していることが分かる。

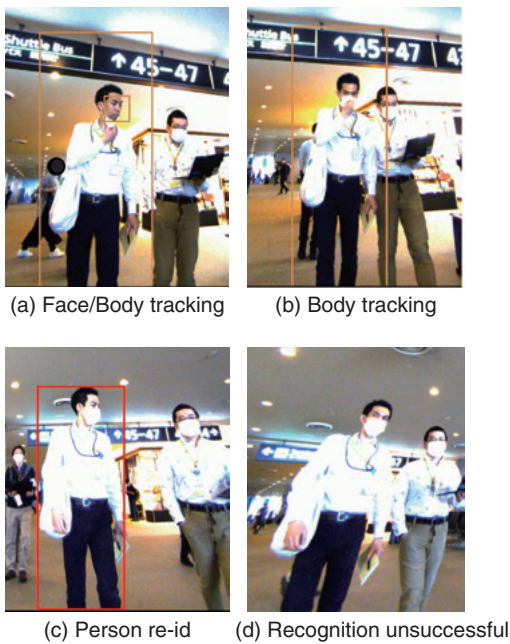


Fig. 11 Result images of proposed follower recognition

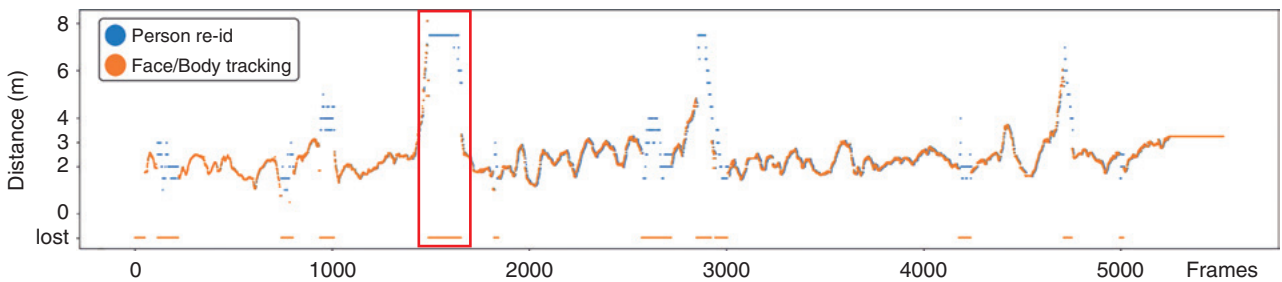


Fig. 12 Estimated distance

このように、顔認識／人物追跡手法と、Person re-id 手法を融合させることで、安定したフォロー認識を実現できている。Fig. 10 に示したロバスト性が求められるシーンは顔認識／人物追跡手法ではいずれも認識失敗であったが、Person re-id により認識成功に至っており、狙い通りの効果を果たしていることが分かる。

一方で Table 1 の結果から、Person re-id でも認識できず最終的にフォロー認識に失敗したシーンが全体の約 3% の 166 フレーム存在した。フォロー認識の失敗で起こり得る事象としては、(1)FP のフォローがないのにいると認識し、フォローでない人を案内し続けてしまう場合と、(2)FN のフォローがあるのにいないと認識し、フォローがあるのにロスト判定に至る場合がある。両者とも失敗が継続するほど案内サービスへの影響は大きくなる。今回の評価では、(1)のケースが連続で発生した期間は最大で 1.5 秒であった。本案内システムでは誘導ロボットの最高速度を 1.11 m/s としているため、この場合約 1.7 m ロボットが空走することになるが、前回認識に成功した位置から大きく離れておらず、再認識後に距離調整が十分可能な距離であると考えられる。(2)のケースが連続で発生した期間は最大で 3 秒であった。このシーンは Fig. 10(h) でも示したフォローがロボットに対して横並びに近い状態で歩行しており、画角からほとんど見切れている状態であった。本案内サービスでは、案内開始時にフォローに対して、ロボットの後ろに原則として付いて行くことを事前説明するが、このような横並びや画角からの大きな逸脱も想定して、ロスト判定時には誘導ロボットは減速モードになる。減速によりフォローはロボットの異変に気付きやすくなり、ロボットの後ろに戻ってもらう機会が増えることで、再認識の可能性が上がることを期待できる。再認識後は通常速度に復帰するため、数秒程度の FN ならば支障はないと考える。以上より、本稿で提案する、顔認証／人物追跡と Person re-id を融合し、それぞれの強みを活かし相互に弱点を補う効果的なフォロー認識手法は、環境変動の激しい空港内の案内に対して十分な認識性能を達成していると言え、実用化に向けた目途が立ったと考えている。

ここからはフォロー認識失敗の要因について解析する。失敗の最大要因として、そもそも Person re-id 処理を行う前段の人物検出処理自体が失敗していることが確認された。その数は認識失敗 166 フレーム中の 96 フレームにのぼり、フォロー認識失敗のうちの 60% 弱を占めている。残りの 40% は Person re-id の誤認識である。Fig. 13 に誤認識の一例 (FP) を示すが、誤認識された人物の見た目とフォローの見た目が似通っており、人間でも一見して間違える可能性があるものである。実用化を見据えた場合、このようなフォロー認識に失敗したシーンを認識するために、本手法内の各認識処理 (顔認識、人物検出、人物追跡、Person re-id) においてより固有の環境に適したアルゴリズム

を選択する、学習データを精査し増やす、様々なセンサを活用した相互補完等の改良を加えるなど、更なる精度向上を図ることが今後の課題として考えられる。



Fig. 13 Person re-id False Positive

6. まとめ

本稿では、空港案内ロボットシステムにおける誘導ロボットにおいて、単眼 RGB カメラを用いたロバストなフォロー認識手法を提案した。提案手法では、顔認識／人物追跡手法と Person re-id 手法という既存認識アルゴリズムを効果的に融合し、動的な空港環境下において頻繁に発生する、人の混雑によるオクルージョン、移動による照明変化、フォローの動きによる認識距離の変化や顔の向きの変化などの、フォロー認識率を低下させる様々な課題に対してロバスト性の向上を図った。空港内で撮影した評価データの 97% で認識に成功し、高いロバスト性を達成していることを確認した。

参考文献

- (1) Velentza, A.-M., Heinke, D., Wyatt, J.: Human Interaction and Improving Knowledge through Collaborative Tour Guide Robots, 2019 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), p. 1-7, (2019)
- (2) 齊藤陽子, 興石健: 空港案内ロボットシステムの開発とデザイン, Honda R&D Technical Review, Vol. 33, No. 1, p. 1-8
- (3) 大西潤哉, 益田綾子, 大林千尋, 川崎雄一, 竹部雄貴: 空港案内受付ロボットの開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 33, No. 1, p. 9-17
- (4) <https://talorongilad.com/research-laboratories/follow-me-design-for-person-following-robots/>, 2021/01/19

- (5) Azarbayejani, A., Pentland, A.: Real-Time Self-Calibrating Stereo Person Tracking Using 3-D Shape Estimation from Blob Features, Proceedings of 13th International Conference on Pattern Recognition, Vol. 3, p. 627-632, (1996)
- (6) Wren, C. R., Azarbayejani, A., Darrell, T., Pentland, A. P.: Pfunder: Real-Time Tracking of the Human Body, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No. 7, p. 780-785, (1997)
- (7) Darrell, T., Gordon, G., Harville, M., Woodfill, J.: Integrated Person Tracking using Stereo, Color, and Pattern Detection, Proceedings. 1998 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), p. 601-608, (1998)
- (8) Pierre, J. M.: End-to-End Deep Learning for Robotic Following, Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Mechatronics Systems and Control Engineering, p. 77-85, (2018)
- (9) Chen, B. X., Sahdev, R., Tsotsos, J. K.: Person Following Robot Using Selected Online Ada-Boosting with Stereo Camera, 2017 14th Conference on Computer and Robot Vision (CRV), p. 48-55, (2017)
- (10) Wang, M., Su, D., Shi, L., Liu, Y., Miro, J. V.: Real-time 3D human tracking for mobile robots with multisensors, 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), p. 5081-5087, (2017)
- (11) Leigh, A., Pineau, J., Olmedo, N., Zhang, H.: Person Tracking and Following with 2D Laser Scanners, 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), p. 726-733, (2015)
- (12) Peng, W., Wang, J., Chen, W.: Tracking Control of Human-Following Robot with Sonar Sensors, International Conference on Intelligent Autonomous Systems, p. 301-313, (2017)
- (13) Germa, T., Lerasle, F., Ouadah, N., Cadenat, V.: Vision and RFID Data Fusion for Tracking People in Crowds by a Mobile Robot, Computer Vision and Image Understanding, p. 641-651, (2010)
- (14) Gou, M., Karanam, S., Liu, W., Camps, O., Radke, R. J.: DukeMTMC4ReID: A Large-Scale Multi-Camera Person Re-Identification Dataset (Open Access version), 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, p. 10-19, (2017)
- (15) Sha, Z., Zeng, Z., Wang, Z., Natori, Y., Taniguchi, Y., Satoh, S.: Progressive Domain Adaptation for Robot Vision Person Re-identification, MM '20: Proceedings of the 28th ACM International Conference on Multimedia, p. 4488-4490, (2020)
- (16) Chen, J., Chen, J., Wang, Z., Liang, C., Lin, C.-W.: Identity-Aware Face Super-Resolution for Low-Resolution Face Recognition, IEEE Signal Processing Letters, Vol. 27, p. 645-649, (2020)
- (17) Yuan, J., Chen, H., Sun, F., Huang, Y.: Multisensor information fusion for people tracking with a mobile robot: A particle filtering approach, IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, Vol. 64, No. 9, p. 2427-2442, (2015)
- (18) Ruan, W., Liu, W., Bao, Q., Chen, J., Cheng, Y., Mei, T.: POINet: Pose-Guided Ovonic Insight Network for Multi-Person Pose Tracking, Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia, p. 284-292, (2019)
- (19) <https://www.narita-airport.jp/jp/map?terminal=1&map=3>, 2021/01/12

■ 著 者 ■



沙 子 鈞



名 取 洋 一



有 泉 孝 裕