

RFID を援用した映像中の人物追跡

非会員 山田 興* 非会員 内田 誠一**
非会員 谷口倫一郎**

Object Tracking with RFID

Kou Yamada*, Non-member, Seiichi Uchida**, Non-member, Rin-ichiro Taniguchi**, Non-member

This paper reports a new method for visual tracking of humans using active RFID technology. Previous studies were based on the assumption that the radio intensity from an RFID tag will be linearly proportional to the distance between the tag and the antenna or will remain unchanged; however, in reality, the intensity fluctuates significantly and changes drastically with a small change in the environment. The proposed method helps to overcome this problem by using only accurate binary information that reveals whether the target person is close to the antenna. Several experimental results have shown that the information from the RFID tag was useful for reliable tracking of humans.

キーワード：トラッキング, RFID タグ, 最適化, 環境監視

Keywords: visual tracking, RFID tag, optimization, surveillance

1. まえがき

映像中の人物追跡は、監視や行動解析、対象人物の位置同定など幅広い応用があると同時に、様々な困難性を持つ問題として知られている。すなわち、対象の姿勢変動による見えの変化、オクルージョン、照明状況変化、動きを伴った複雑背景など、正確な追跡を困難にする数多くの要因がある。対策として、色ヒストグラムの利用、動的背景モデル、確率推論モデルの利用などが提案され、一定の効果を示している。しかし映像から得られる情報だけでこれらの問題を完全に解決するには限界があると思われる。

本論文の目的は、アクティブ RFID による位置情報を援用した、映像中の人物追跡の高精度化とする。すなわち、映像情報とは異なった特性をもった情報を統合することで、上述の様々な問題の解決を目指す。本手法では、追跡対象がアクティブ RFID タグを所持していることが前提条件となる。この条件は、特定区画の環境監視、高セキュリティ区域へのアクセスコントロールなど、正確な追跡が必要な状

況においては十分現実的なものである。実際、2000年代に入って、学童見守りシステムなどの RFID を活用した監視技術の実証実験が多数行われており、むしろ RFID を前提条件とした検討を積極的に行うべき段階にあると思われる。

アクティブ RFID による位置情報として、従来、電波の受信強度 (RSSI) 値が用いられてきた^{(1)~(3)}。しかし、RSSI 値はタグとアンテナ間の距離に関する単純な関数にはならず、例えば3地点で RSSI 値を測定できたとしても、それらからタグの位置を正確に推定することは現実には難しい。この難点を避けるべく、予め環境の各所において記録した RSSI 値を学習データとし、入力された RSSI 値と比較することによってタグの位置を算出するという方法も検討されている⁽⁴⁾。しかし、RSSI 値は環境変動の影響を受け易く非常に不安定な点が問題になる。このため、机の配置変更など環境が変化した場合には再び学習データを取得する必要がある。さらに複数人物が動き回っているような動的な環境では、人物の位置関係によっても RSSI 値が変動するため、完全な手段とは言えない。

そこで本論文では、不安定な RSSI 値を直接用いずに、アンテナへの近接情報を用いる。これは RFID タグがアンテナの近傍に存在するか否かという2値情報であり、RSSI 値を閾値処理することで得られる。閾値を十分厳しくしておけば、RSSI 値を直接用いるよりも遥かに信頼性の高い位置情報として活用できる。その結果、位置情報がアンテナ付近に限定されたものになるが、映像情報との相補的な組み合わせにより十分な効果が得られる。

本論文と同様に RFID タグの情報をアンテナ付近に限定

* 九州大学大学院システム情報科学府
〒819-0395 福岡市西区元岡 744
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering,
Kyushu University

Motooka 744, Nishi-ku, Fukuoka-shi, 819-0395

** 九州大学大学院システム情報科学研究院
〒819-0395 福岡市西区元岡 744
Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu
University

Motooka 744, Nishi-ku, Fukuoka-shi, 819-0395

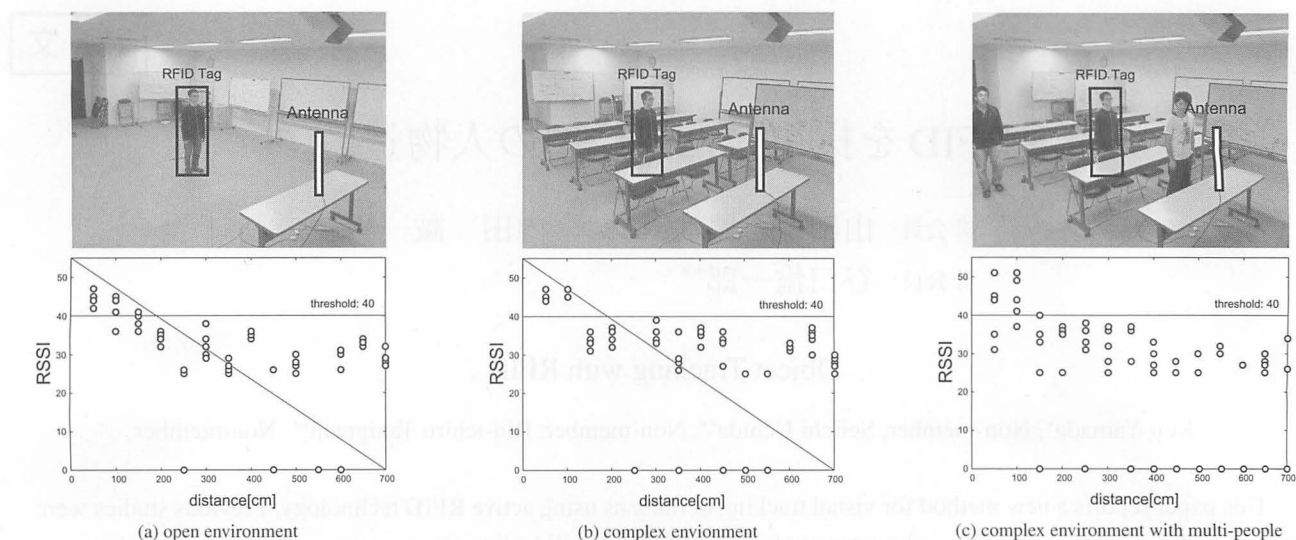


Fig. 1. Relationship between RSSI and distance.

して利用した他の例として中嶋らの研究⁽⁵⁾がある。彼らの研究はパーティクルフィルタで追跡した経路に対してRFIDにより人物ラベルを与える方法である。従って追跡そのものをRFIDによって制御しようとする本手法とは目的が異なっている。

RFIDには、以上の位置情報（アンテナへの近接情報）に加えて、所持者のID情報を提供する本来の機能がある。本手法の枠組みにおいてこのID情報を活用することも可能である。まず、特定のIDを持った人物のみの分離追跡が可能となる。その結果、例えば子供のみを選択的に追跡するシステムなど、より細やかな環境監視が可能となる。さらに、IDと共に格納された所持者情報が利用できるという利点もある。例えば所持者の身長や服装がわかれば、他者との分離が容易になり、追跡精度の向上効果が期待できる。本論文では、この効果についても、実際に実験を通して吟味する。

以上の考え方は様々な物体追跡手法に適用可能であるが、本論文では動的計画法（DP）を用いた追跡手法に基づいてその効果を議論する。DPには、大局的に最適な追跡結果が求まるという特長がある^{(6)~(10)}。このため、particle filterやmean-shiftなどの逐次最適化型の追跡手法に比べ、RFID利用の効果を吟味したいという本論文の主目的には適していると考えられる。

2. RFID

〈2・1〉 概要 RFIDとは電波を利用した非接触型の認証技術である。RFIDリーダー（アンテナ）がRFIDタグからの電波を受信することによって、タグに予め埋め込まれたビット列情報や受信強度（RSSI）値などの情報を得ることができる。

RFIDタグにはパッシブ型と本論文で用いるアクティブ型の2種類がある。パッシブ型は安価で非常に小型化できる反面、電波到達距離が非常に短い。このため、位置同定に

利用する際は、床や壁などに張り詰めたタグを移動体の底面・側面に装着したアンテナで読み取ることが多い。従って、アンテナを含めた受信装置が装着可能なロボットなどの位置同定に使われることが多い⁽¹¹⁾。一方、アクティブ型はタグに電池を内蔵しているために電波到達距離が長い。このため、移動体を持つタグを環境中に分散配置されたアンテナで読み取ることによって位置推定を行うことができる。

〈2・2〉 実環境での特性測定実験 RSSI値はタグとアンテナ間の距離に反比例して減衰するため、原理的にはRSSI値を用いることによってタグとアンテナ間の距離を推定できる。ただしこれは理想的な環境での話であり、実際の環境下では周囲に存在する壁や机、人物、そしてタグの向きなどによってRSSI値は大きく変動する。そのため文献⁽⁴⁾⁽⁵⁾でも指摘されているようにRSSI値からタグの位置を高精度に推定することは実際には困難である。

この困難性を実証すべく、簡単な実験を行った。実験ではアクティブRFIDタグを手を持つ人物とアンテナとの距離を変えながら、3種類の環境でRSSI値を5回ずつ計測した。各環境におけるRSSI値と距離の関係をプロットしたものをFig.1に示す。同図(a)は周囲に物が無い環境、(b)は机や椅子などが配置されている環境、(c)は机や椅子に加え、複数の人物が動き回っている環境でのデータである。

Fig.1(a)は、最も距離推定の容易な環境であるが、それでも床や壁の建材などの影響、ならびに電波の放射特性によってRSSI値は距離の単調減少関数にはなっていない。同図(b)のように電波に影響を与える物品が周囲にあった場合、RSSI値の単調減少性はさらに崩れてしまっている。このことから、距離とRSSI値の関係は非常に複雑かつ不安定なものであり、3点測定の原理による位置測定は困難である[†]。

[†] 詳細はふれませんが後述の実験環境において単純な3点測定の原理によりRFID所持者位置をRSSI値より求めたところ、実際の位置とは全く異なる位置が得られた。

さらに Fig. 1(c) のように、人物の移動などによって周囲の環境が動的に変化すれば、RSSI 値も変化してしまう。RFID を用いた位置推定の方法には、環境の各所において記録した RSSI 値を学習データとして格納しておき、入力された RSSI 値と比較することによってタグの位置を算出する方法が提案されている⁽⁴⁾。しかし、このような動的な環境に対する不安定さを考慮すると、利用できる場面は制約されると思われる。

3. RFID を援用した映像中の特定人物の分離追跡

〈3・1〉 RFID によるアンテナ近接情報 本手法の最大の特徴は、不安定で複雑な特性を示す RSSI 値を直接用いずに、各アンテナでの近接情報 (RFID タグがアンテナの近傍に存在するか否かという 2 値情報) のみを用いる点にある。この近接情報は RSSI 値そのものに比べ十分信頼できる。このことは、〈2・2〉の実験データからわかる。すなわち、一定値以上の RSSI 値が観測されれば、環境に影響されることが高い確度で推定できる。Fig. 1 の実験環境では、40 を越える RSSI 値が観測された場合、アンテナを中心とする半径約 1.5 m の範囲内にタグ所持者がいると判定できる。

〈3・2〉 映像情報を用いた追跡 RFID による近接情報の利用に先立ち、まず映像情報のみを用いた対象追跡問題を定式化しておく。時刻 t のフレーム画像において位置 $x_t = (x_t, y_t)^T$ に追跡対象が存在した場合のコスト $\delta(x_t)$ を以下のように定義する。

$$\delta(x_t) = n(x_t) + m(x_t) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $n(x_t)$ は、位置 x_t を中心とする矩形領域 $\mathcal{R}(x_t)$ 内の色ヒストグラムと追跡対象の色ヒストグラムとの距離 (具体的には Bhattacharyya 距離) である。なお、本論文では特に断りのない限り追跡対象の色ヒストグラムは事前に用意されるものとする。右辺第二項 $m(x_t)$ は $\mathcal{R}(x_t)$ における背景領域の割合であり、背景差分によって前景領域とされなかった部分の占める割合を評価する。

矩形領域 $\mathcal{R}(x_t)$ については、断りのない限り固定とする。ただしこれは世界座標系で固定しているという意味であり、映像中での大きさは対象の奥行き方向の移動に応じて変化する。(例えば対象が手前に来るほど映像中の $\mathcal{R}(x_t)$ は大きくなる。) この処理のために、カメラは事前にキャリブレーションしておく。また単眼で奥行きを定めるために、床面は平面とし、矩形領域の下部 (追跡対象の足) は床に接地していると仮定する。

コスト $\delta(x_t)$ を用いれば、第 1 から第 T フレームまでの最適追跡経路は次の目的関数を最小化する x_1, \dots, x_T として与えられる。

$$J(x_1, \dots, x_T) = \sum_{t=1}^T \delta(x_t) \dots\dots\dots (2)$$

なお最小化に際しては、 x_t と x_{t+1} の間に何らかの連続性制約が課されるのが一般的である。

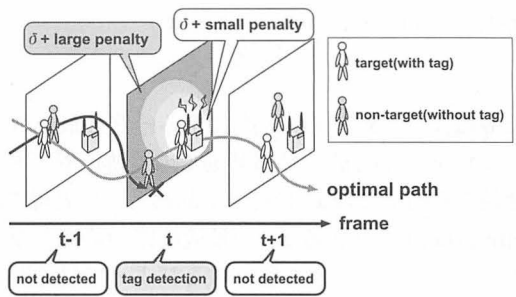


Fig. 2. Optimal tracking via RFID tag detection.

〈3・3〉 アンテナ近接情報の組み込み 今、 $s_{t,l}$ を時刻 t においてアンテナ l ($l = 1, \dots, L$) が受信した RSSI 値とし、同時刻において最大の RSSI 値を受信したアンテナを \bar{l}_t とする。すなわち、

$$\bar{l}_t = \underset{l}{\operatorname{argmax}} s_{t,l} \dots\dots\dots (3)$$

提案する追跡法の基本的な考え方は、現時刻 t において、観測されている RSSI 値の最大値 s_{t,\bar{l}_t} が閾値 θ 以上であれば、対象がその最大値を与えたアンテナ \bar{l}_t に近接しているとして、対象位置 x_t とアンテナ \bar{l}_t の距離に応じたコスト (ペナルティ) $p_{\bar{l}_t}(x_t)$ を与えるというものである。このことを数式で表せば、以下のようになる。

$$d(x_t) = \delta(x_t) + \begin{cases} p_{\bar{l}_t}(x_t) & \text{if } s_{t,\bar{l}_t} > \theta, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

この $d(x_t)$ を $\delta(x_t)$ の代わりに用いることで、RFID による位置情報の組み込みが可能となる。このように RSSI 値は近接判定のみに使われ、目的関数値には直接組み込まれていないことに注意されたい。

ペナルティ $p_{\bar{l}_t}(x_t)$ としては、フレーム画像中での対象位置 x_t とアンテナ位置の単純な距離ではなく、両者の世界座標系での床面上の距離を用いている。このためカメラとアンテナの位置関係を予めキャリブレーションを行い求めておく必要がある。

Fig. 2 に本手法による追跡の考え方を示す。近接情報が検知された時刻 t において、アンテナ位置と追跡対象位置の整合性が評価され、追跡対象と非追跡対象が差別化される。この差別化により、特定人物の分離識別が可能になり、本論文の目的である特定人物の分離追跡精度の向上が期待される。

〈3・4〉 分離追跡アルゴリズム 目的関数 J の最小化問題には様々な解法が考えられる。本論文では動的計画法 (DP) を用いて J を最適化する。DP を用いることでリアルタイム性は無くなる。しかし、(i) 解の大局的最適性が保証されることによって RFID の効果を厳密に評価できる、(ii) 店内における顧客の動態調査のようにリアルタイム性が必要無い応用も多い、という立場から、DP を用いている。

DP を用いる場合、時刻 1 から T の順に、全ての x_t において以下の漸化式を計算すればよい。

$$g_t(\mathbf{x}_t) = d(\mathbf{x}_t) + \min_{\substack{x'_t - \Delta \leq x_t \leq x'_t + \Delta \\ y'_t - \Delta \leq y_t \leq y'_t + \Delta}} g_{t-1}(\mathbf{x}'_t) \dots \dots \dots (5)$$

ここで $g_t(\mathbf{x}_t)$ は, $\mathbf{x}_t = (x_t, y_t)^T$ に至る経路の最小コストとなる。また $\mathbf{x}'_t = (x'_t, y'_t)^T$ は前時刻での追跡位置である。前述の連続性制約はこの \mathbf{x}'_t に対する制約として表現されている。 $\min g_T(\mathbf{x}_T)$ を与える \mathbf{x}_T が最適経路の終点となり, その点からバックトラックを行うことによって目的関数 J の最小化という意味での最適経路が得られる。実際に以下の実験では $\Delta = 3$ とした。

〈3・5〉所持者情報の利用 RFID タグには ID だけでなく任意のビット列情報を埋め込むことができる。ここでタグ所持者の見えや移動特性に関する特徴を情報とすれば, それを追跡時の評価に用いることで分離追跡性能の向上が期待できる。なお RFID タグ自身に埋め込める容量は一般に少量に限られているが, RFID の ID をキーとしてインターネット上のデータベースと関連付けておけば, 事実上無制限に情報を埋め込むことができる。

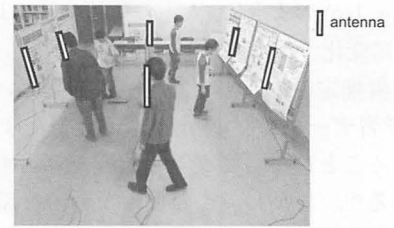
以下の実験の一部では, 所持者情報として身長を埋め込んで利用することを考える。一般に, 追跡対象の大きさすなわち矩形領域 $\mathcal{R}(\mathbf{x}_t)$ の(世界座標系での)大きさは事前に決められ固定であることが多い。しかし実際には, 追跡対象となる人物の大きさは異なるために, 不具合が生じる場合がある。これに対し, RFID から得られる身長情報を利用できれば, 矩形領域 $\mathcal{R}(\mathbf{x}_t)$ の大きさを身長に併せて適応的に変化させることが可能となる。

4. 実験

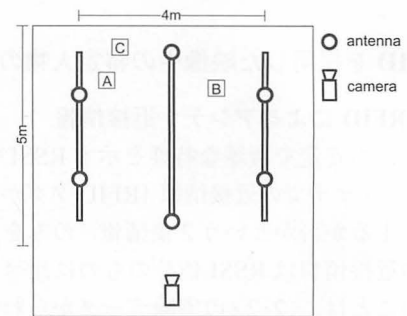
カメラ映像中の特定人物の分離追跡実験を行った。映像のみによる追跡結果と RFID と画像を併用した追跡結果を定量的に比較することで, 併用による追跡精度向上の効果を確認する。近接判定のための RSSI 値の閾値 θ は以下の実験環境において 30 が適当であった。なお, この θ を変化させた場合の影響についても以下では考察している。

色ヒストグラムについては, RGB それぞれで 256 ビンとした。すなわち, 色量子化は行っていない。また, (1) の $m(\mathbf{x}_t)$ のための背景差分画像としては, 背景画像との単純差分が非零となった画素を 1 とした 2 値画像に対し, 膨張伸縮 (3×3 構造要素) とメディアンフィルタ (3×3) を施したものをを用いた。

〈4・1〉実験試料 3 人もしくは 5 人の人物に, それぞれ異なる ID を持ったタグをポケットに所持させた上で, Fig. 3(a) の室内環境を歩行させた。同環境にはポスターボードが 3 列並んで配置されており, 各人はその間を歩行した。タグは各人にて所持してもらった。使用するタグはアクティブ型であり, 固有の ID を 1 秒当たり 5 回すなわち 200 ms の間隔で電波発信する。この電波を $L = 6$ 本のアンテナで受信した。アンテナの配置は Fig. 3(b) に示すとおりである。また, アンテナとカメラの位置関係は予めキャリブレーションを行い求めてある。



(a) A video frame capturing 5 people.



(b) Antenna arrangement.

Fig. 3. Experimental environment.

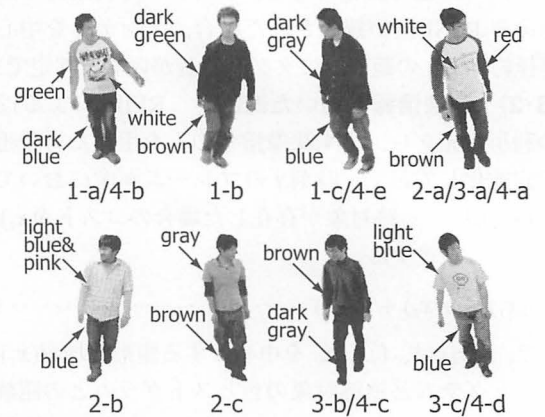


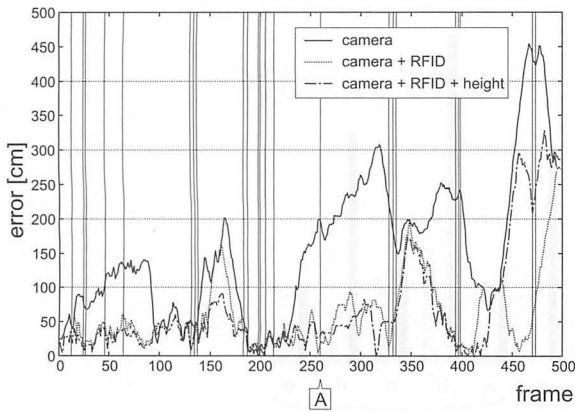
Fig. 4. Persons to be tracked. The notation “2-b” means “the person b of the movie 2”.

USB カメラを用いて 3 人物 (a~c) が映っている動画を 3 パターン (movie 1, 2, 3), 5 人物 (a~e) が映っている動画を 1 パターン (movie 4) 撮影した。各動画は 15 fps で 500 フレームであった。追跡対象を変更することにより全体で $(3 \times 3 + 1 \times 5) \times 500 = 7000$ フレーム ≈ 460 秒分のデータとして利用できる。Fig. 4 に各動画中の各人物を示す。

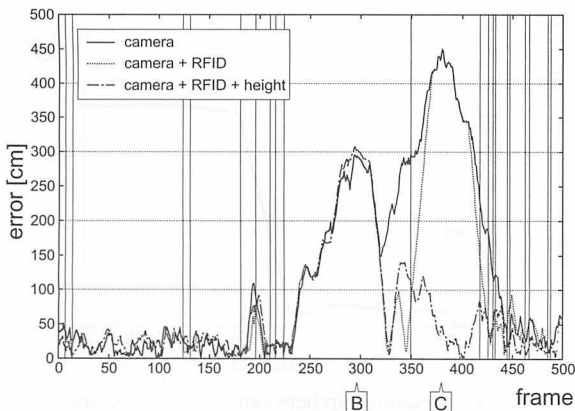
〈4・2〉実験 1 : RFID の援用効果

〈4・2・1〉映像情報のみによる追跡 RFID によるアンテナ近接情報の効果を確認するのに先立ち, まず映像情報のみによる分離追跡実験を行った。映像情報のみなので, コストには $\delta(\mathbf{x}_t)$ を用いることになる。

動画 movie4 中の人物 d に対して追跡実験を行った結果を Fig. 5(a) に実線で示す。同図は手動で与えた正解経路と本手法による追跡経路 \mathbf{x}_t との誤差を示したものである。第 230 フレーム付近から誤差が大きくなっていることがわかる。Fig. 6(a) からわかるように, 第 230 フレーム付近において人物同士の交差によるオクルージョンが発生し, それ



(a) movie 4-person d



(b) movie 1-person c

Fig. 5. Tracking error.

以降しばらくの間、非追跡対象を誤って追跡している。このフレーム付近では追跡対象（人物 d）がカメラから遠い位置に存在し、領域 $R(x_t)$ が小さくなっていった。このため、わずかなオクルージョンでも $R(x_t)$ 内の変動が大きくなってしまい誤追跡が発生したものと考える。

このように、複数人物が混在するような状況においては、オクルージョンなど、追跡を困難にする要因が発生しやすい。そのため映像情報のみで追跡対象を正しく分離追跡することは困難となる。

〈4・2・2〉RFID を援用した場合の追跡結果 次にアンテナ近接情報を援用した場合の結果を示す。コストには、近接情報による評価を組み込んだ $d(x_t)$ を用いることになる。経路誤差を Fig. 5 に点線で示した。同図中の縦線はアンテナ近接情報が得られたフレームを表している。

Fig. 5(a) を見ると、映像のみの場合と比べ RFID を援用した方が全体的に追跡経路誤差が小さくなっていることがわかる。これは図中に縦線で示したフレームにおける近接情報が機能し、追跡対象と非追跡対象を差別化できたためと考える。

Fig. 5(a) において注目すべきは、映像のみではオクルージョンの影響で誤追跡となった第 230~340 フレームの区間である。同区間の第 258 フレームにおいて近接情報が 1 回得られたことで、その区間すべてにおいて正しい追跡結



Fig. 6. Tracking result obtained when occlusion occurred. Rectangle: tracked position; circle: true position.

果が得られた。このように、近接情報の無いフレームにおいても、近接情報があったフレームでの正確な位置情報が伝播されたことがわかる。Fig. 6(b) に同区間の前半における追跡位置を示す。同図 (a) と対照すると明らかなように、オクルージョンの発生にもかかわらず、正しく追跡できたことがわかる。なお、第 258 フレームにおいて、人物 d は Fig. 3(b) 中の A に位置しており、アンテナに近接していることがわかる。

各動画の各人物の平均経路誤差を Fig. 7 に示す。アンテナ近接情報によって、総じて追跡精度が向上しており、アンテナ近接情報の効果がわかる。また、平均誤差は最悪でも 100 cm 以内に収まっていることもわかる。

一方で、Fig. 7 よりわかるように、RFID 援用の効果があまりみられなかった例もあった。これらの中には、movie2-人物 a/c や movie3-人物 a/b のように、映像のみでもほぼ成功していたものが多い。しかし、movie1-人物 c のように、精度がよくないままの例もある。

Fig. 5(b) は、この効果のなかった movie1-人物 c の場合の経路誤差の推移である。この例の第 300 フレーム付近や第 400 フレーム付近では、アンテナ近接情報が得られず、整合性評価の間隔が空いてしまった。このため、追跡対象と非追跡対象の差別化が適切に行われなかったと考える。実際これらのフレームにおいて対象は Fig. 3 中の B 及び C の位置にあり、アンテナから比較的離れていた。

〈4・2・3〉RSSI 値に対する閾値 θ の影響 閾値 θ の影

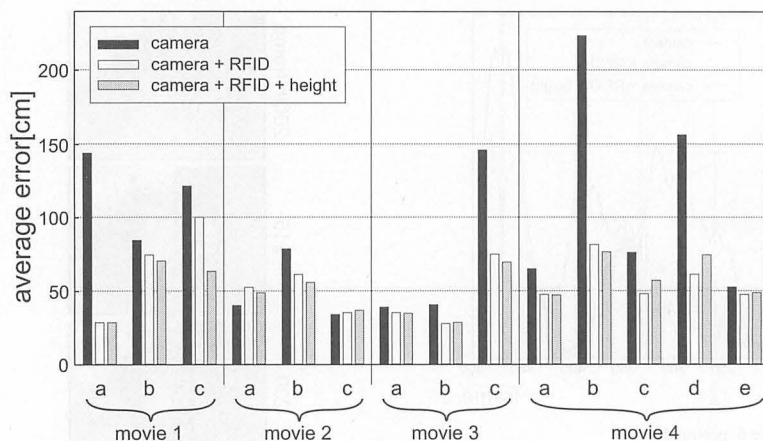


Fig. 7. Average tracking error.

響を調べるために、 θ を変化させながら追跡実験を行った結果を Fig. 8 に示す。実験は 4 動画の全ての人物に対して行った結果の平均である。

閾値 θ が大き過ぎる場合はアンテナに近接したと判定される回数が少なくなる。その結果、RFID からの情報による追跡位置の整合性評価があまり行われず、分離追跡精度向上につながらなかったと思われる。一方、閾値 θ を小さくしても悪化はあまり見られなかった。これは、 θ を小さくして近接条件判定を甘くしたとしても、(3) の処理によって結局最も強い RSSI 値が得られたアンテナ位置との整合性だけが評価されるためと思われる。

〈4・3〉 実験 2 : RFID からの所持者情報の導入効果

RFID の所持者情報を用いた場合の効果を確認する実験を行った。〈3・5〉で述べたように、本論文では所持者情報として身長を用い、その身長に応じて領域 $\mathcal{R}(x_i)$ の世界座標系での大きさを定めた。

Fig. 5 の一点鎖線は身長情報を用いた場合の経路誤差を表している。同図 (b) (movie1-人物 c) について着目すると、第 350~400 フレームの区間において身長情報利用による大きな改善が見られる。この付近のフレームを示したものが Fig. 9 である。〈4・2・2〉でも述べたように、この区間では近接情報が十分に得られず、その結果同図 (a) のように誤追跡が発生している。これに対し身長情報を用いた場合、その身長に合致した本来の追跡対象のみが差別化され、誤追跡が回避されている。

Fig. 7 には、この身長情報を用いて実験を行った結果の平均誤差も示されている。アンテナ近接情報だけでは改善の見られなかった上述の例 (movie1-人物 c) では、身長情報による改善効果が見取れる。一方、映像のみでも精度よく追跡できている場合やアンテナ近接情報により既に十分改善している場合については、身長情報による著しい精度向上は見られなかった。逆に movie 4 (5 人) では若干ではあるが精度が悪くなっている場合も見られる。これは人物が多いため追跡対象と非追跡対象が重なりやすく、対象の身長に合致した領域が適切に検出できなかった場面がやや増えたためと考える。

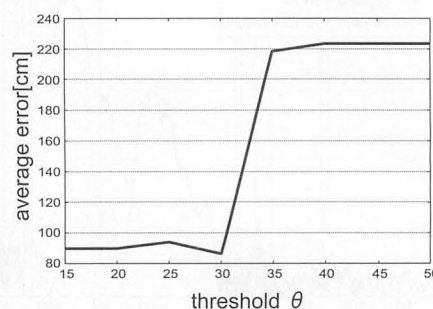


Fig. 8. Relationship between average error and θ .

5. むすびと今後の課題

本論文では、RFID から得られる位置情報を援用した複数人物中からの特定人物の分離追跡手法について検討した。具体的には、RFID タグのアンテナへの近接情報を粗い位置情報として扱い、それと追跡位置との整合性を評価することによって、追跡精度の向上を図った。実験の結果、複数人物中から特定の人物を追跡すると言った映像情報のみでは困難なタスクにおいても、精度よく対象を分離追跡できることが確認された。また、RFID を介して得られる所持者の情報 (ここでは身長) を用いることについても、一定の効果を確認した。

今後の課題としては、例えば以下が挙げられる。

- 本実験では、追跡対象の見えの情報 (色ヒストグラム) を予め手で与えていた。これに対し今後は、RFID を介して入手するという、より実際的な問題設定について検討する必要がある。さらに、アンテナ近接時に追跡対象を正確に捕捉できることを利用した、対象の色ヒストグラムの逐次更新についても検討したい。
- 身長だけでなく、他の所持者情報について検討していきたい。例えば RFID を介して得た 3 次元 CAD モデル⁽¹²⁾ や、所持者の移動特性は、追跡の際の事前知識として有用であると思われる。
- ある特定の RFID を持つ人物一人を追跡するタスクから、集団全体としての追跡タスクへの拡張を試みる必



Fig. 9. Improvement by height information. Rectangle: tracking result. Circle: true position.

要がある。集団全体として追跡経路の最適化を図る際、RFID による所持者 ID 情報は相互識別に有効に機能すると思われる。

- 本論文では最適追跡経路の導出に DP を用いた。大局的最適解が求まるため、手法の限界性能を見るためには適している。反面、リアルタイム追跡ができないという問題がある。今後は、リアルタイム追跡アルゴリズム (例えばパーティクルフィルタ) と RFID 情報の組み合わせについても検討が必要であろう。

謝辞

RFID の利用についてご協力いただいた (株)九州テンの真島祐二氏に深謝する。

(平成 22 年 4 月 21 日受付, 平成 22 年 9 月 1 日再受付)

文献

- (1) P. Bahl and V.N. Padmanabhan: "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system", Proc. IEEE infocom'00, pp.775-784 (2000-3)
- (2) K. Yun and D. Kim: "Robust location tracking using a dual layer particle filter", Pervasive and Mobile Computing, Vol.3, No.3, pp.209-232 (2007)
- (3) J. Lee, K.-S. Park, S. Hong, and W.-D. Cho: "Object tracking based on RFID coverage visual compensation in wireless sensor network", Proc. IEEE Int. Symposium on Circuits and Systems, pp.1597-1600 (2007)
- (4) D. Nakajima, Y. Ito, N. Nitta, and N. Babaguchi: "Human identification in surveillance video using RFID tag and camera footage", IEICE Tech. Rep.,

PRMU2007-106 (2007-10) (in Japanese)

中嶋大介・伊藤義道・新田直子・馬場口登:「RFID タグとカメラ映像を用いたサーベイランス映像中の人物同定」, 信学技報, PRMU2007-106 (2007-10)

- (5) 中嶋大介・和田隆明・伊藤義道・新田直子・馬場口登:「RFID タグによる ID 更新と人物追跡に基づくサーベイランス映像中の人物同定」, 第 11 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2008), IS4-13, pp.1204-1209 (2008)
- (6) M. Han, W. Xu, H. Tao, and Y. Gong: "An algorithm for multiple object trajectory tracking", Proc. CVPR, pp.864-871 (2004)
- (7) J. Sun, W. Zhang, X. Tang, and H. Shum: "Bi-directional tracking using trajectory segment analysis", Proc. ICCV, pp.717-724 (2005)
- (8) P. Dreuw, T. Deselaers, D. Rybach, D. Keysers, and H. Ney: "Tracking using dynamic programming for appearance-based sign language recognition", Proc. FGR, pp.293-298 (2006)
- (9) A. Buchanan and A. Fitzgibbon: "Interactive feature tracking using k-d trees and dynamic programming", Proc. CVPR, pp.626-633 (2006)
- (10) I. Fujimura and S. Uchida: "Visual tracking based on global optimization—DP tracking—", IEICE Trans., Vol.J92-D, No.8, pp.1279-1288 (2009-8) (in Japanese)
藤村一行・内田誠一:「大局的最適化に基づくトラッキング—DP トラッキング—」, 信学論 (D), Vol.J92-D, No.8, pp.1279-1288 (2009-8)
- (11) D. Hähnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, and M. Philipose: "Mapping and localization with RFID technology", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1015-1020 (2004)
- (12) M. Nakagawa, K. Baba, T. Kugimiya, M. Sato, and H. Hontani: "A CAD-based vision system using an ID-tag and the network", IEEJ Trans. SM, Vol.124 No.9, pp.327-335 (2004-9) (in Japanese)
中川宗栄・馬場一徳・釘宮豊人・佐藤公春・本谷秀堅:「ID タグとネットワークを用いた CAD-based ビジョンシステム」, 電学論 (E), Vol.124, No.9, pp.327-335 (2004-9)

山田 興 (非会員) 2006 年九大・工・電気情報卒, 2008 年同大大学院修士課程 (知能システム) 了。現在, (株)リコー。在学中は人物追跡の研究に従事。



内田 誠一 (非会員) 1990 年九大・工・電子卒。1992 年同大大学院修士課程 (情報) 了。セコム (株) 勤務を経て, 現在, 同大システム情報科学研究科 (現研究院) 情報知能工学部門教授。博士 (工学)。画像パターン・時系列パターンの解析・認識に関する研究に従事。2003 年 PRMU 研究奨励賞, 2006 年 MIRU 長尾賞, 2007 年 IAPR/ICDAR Best Paper Award, 2009 年電子情報通信学会論文賞各受賞。



谷口 倫一郎 (非会員) 1978 年九州大・工・情報工卒。1980 年同大大学院修士課程了。同年同大助手。1996 年同大大学院システム情報科学研究科 (現研究院) 教授。工博。画像処理, コンピュータビジョン, 並列処理等の研究に従事。1987 年度電子情報通信学会篠原記念学術奨励賞, 1994 年度情報処理学会坂井記念特別賞, 2000 年度映像情報メディア学会丹羽高柳論文賞等を受賞。

