

測域センサを用いたセキュリティーシステムの開発 —人物追跡・計数アルゴリズム—

李在勲(筑波大) 金容植(筑波大) 川田浩彦(筑波大)

大矢晃久(筑波大) ○ 油田信一(筑波大)

A People Tracking and Counting Method with Multi SOKUIKI Sensors

Jae Hoon LEE (Univ. of Tsukuba), Yong Shik KIM (Univ. of Tsukuba),
Hirohiko KAWATA (Univ. of Tsukuba),
Akihisa OHYA (Univ. of Tsukuba) and *Shin'ich YUTA (Univ. of Tsukuba)

Abstract — Recently, people count method is requested in the area of security. In this paper, we proposed a method to track and count people with LRF sensor. Multi-target model and Kalman filter based estimation method are employed to track the human movement and count the number of people. Experiments for various cases are performed to verify the usefulness in the security area.

Key Words: Sensing, SOKUIKI sensor, Security, Multi-target tracking, People counting

1. はじめに

近年、大量の個人情報の流出事件の頻発に個人情報保護法案の施行ともあいまって、官公庁や法人における情報の管理に厳しい目が向けられている。情報の流出は主にインターネット経由のものと、悪意を持った人物が立ち入り制限エリアに侵入しデータを持ち出す場合とがある。後者への対策としては、警備の強化が成されるが、一方で厳しいコスト要求のために単純な要員増強は歓迎されないのが実情である。このため、セキュリティーシステム業界においては、より確実性を高めた入退室自動警備システムの開発が盛んである。この中で、特に注目されているテーマは「共連れ防止」である。共連れとは、正規の認証をクリアした人物と同時に、悪意のある人間が立ち入り制限エリアに侵入することをいう。これを防止するために共連れ検知センサシステムがいくつか世に出ているが、そのほとんどは画像を用いたシステムである。しかしながら、撮影用カメラに加えて煩雑な画像処理を高速に行うための計算機が必要であり、機器そのものが高価であることに加え、システムの設置そのものにも別の手間や料金がかかるなど、そのコストの高さが問題となっている。また、画像処理の弱点を突いて比較的簡単に抜け道を見つけることができるなど、検知精度にも難がある。

筆者らは、これまで測域センサ[1]を用いた人間のトラッキング手法について研究を行ってきた[2]。そこで、このトラッキング手法を応用して人数カウントを精度よく行うことにより、共連れの自動検知を行えるシステムの構築を目指した。

人間のトラッキングとしては、他にZhaoら[3]の研究がある。この手法では、両足首の動きとそのモーションモデルとのマッチングから人間を検知している。これに対して、我々の研究では腰付近をスキャン対象としている。また、歩行時の腰位置の動き

をモデル化し、測域センサの距離・角度データから得られた各オブジェクトのトラッキングデータとのマッチングを行うことで、より確実に人間を抽出する手法を採っている。ここではカルマンフィルタ[4]を用いている。これにより、衣服や荷物などによる隠蔽に影響されにくいという利点を持つ。

本稿では、まず、共連れ検知システムの全体像について述べ、次に核となる人物トラッキング・カウント手法について説明し、最後に実験結果を示す。

2. 共連れ検知システム

2.1 システムの全体像

図1にシステム構成、図2に処理過程を示す。

システムは、2台の測域センサ URG-04LX と指紋などによる任意の認証機器に自動ドア、そして入室人数入力など入室者への GUI 提示の他に共連れ検知処理から自動ドアの開閉制御などを集中して行う PC 1 台を基本構成とする。

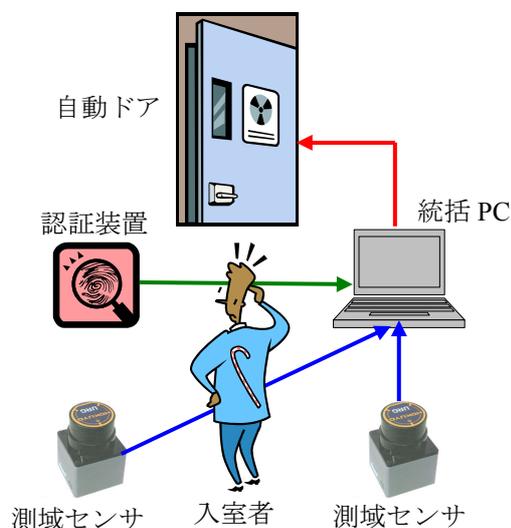


図1 システムの構成例

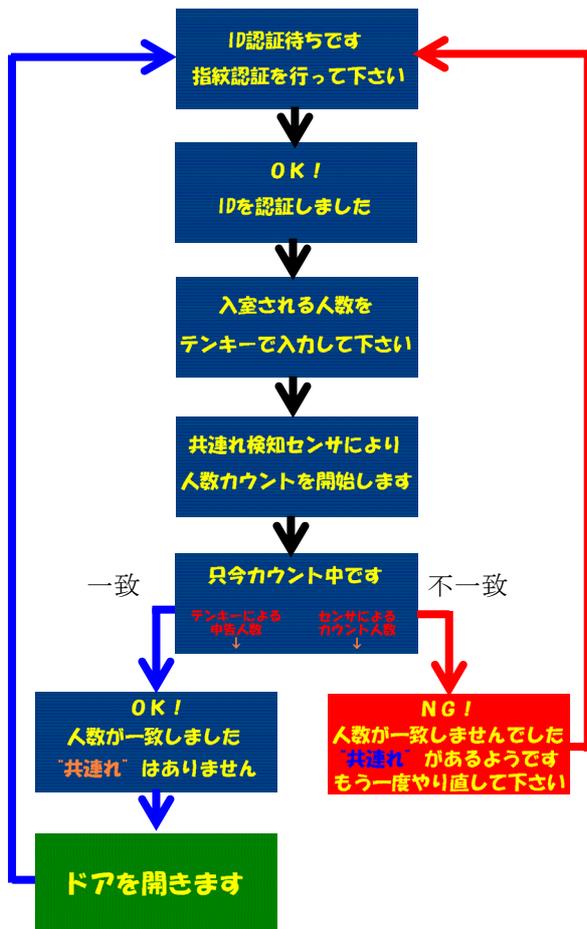


図2 システム処理過程の一例

処理の流れとしては、入室者が認証機器により認証された後、入室する人数を入力する。一方で、共通検知処理は常時行われ、事前設定エリア内に存在する人数を常にカウントしており、これが入力された入室人数と一致した場合に自動ドアのロックを解除し入室可能状態とする。指定人数の入室を確認した後にドアを閉じロックする。一方、不一致の場合は入室者に入室人数の再入力を促し、ドアは開放しない。また、ドアの開放後にエリア外から走り込んでくるような悪意の入室者を検知すると、ドアを即座に閉めたり、警報を発するなどの処理を行う。

2.2 測域センサ

本システムで用いた測域センサ URG-04LX について述べる。本センサは北陽電機(株)[5]製のレーザ式測域センサである。240度方向を0.35度の角度分解能で、最大4,095mmの距離を100msec毎に出力することが出来る。距離精度は10mm～距離の1%である。本センサ最大の特徴は、その50×50×70mmに160gと小型軽量な点である。これにより、既存環境への設置も容易であり、コストの削減に資するものと思われる。

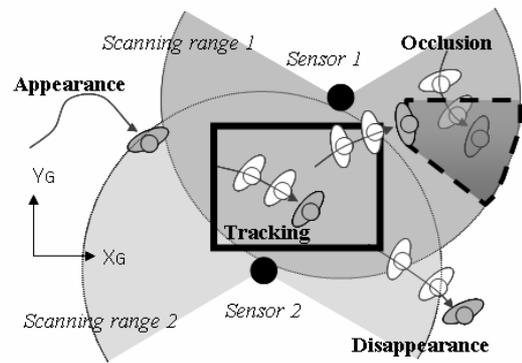


図3 トラッキング対象のライフサイクル

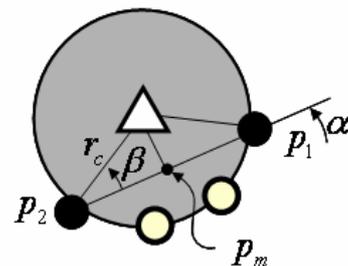


図4 クラスタリングデータからの人間中心の算出

3. 人物追跡・計数アルゴリズム

本章では、測域センサデータから人物位置を取得することを目的とし、前処理としてクラスタリング手法を用いた人物追跡・計数アルゴリズムについて述べる。

3.1 人物候補の出現から消失まで

図3に2台の測域センサを用いて人物を追跡する様子を示す。図中の2つの黒い丸が測域センサを表し、それぞれからのびる扇形はスキャン範囲を示している。測域センサからは、センサから物体や環境に至るまでの距離(r)と角度(θ)の集合が得られる。

矢印付の曲線は追跡された人物の移動履歴と方向を示している。図3でも示しているように、センサにより人物が発見されエリア外に去るまでには4つの状態がある。すなわち、出現・追跡・隠蔽(オクルージョン)・消失、である。人間が測域センサに設定された検出エリアに入ってくると(出現)、検出エリア外に去っていくまで(消失)、測域センサから得られる連続データを処理してその人物を検出し続ける(追跡)。また、時に人間は検出エリア内にながらも測域センサから見えなくなることがある(隠蔽)。これは、センサとその人物の間に、別の人物が入ってきた場合に起こる。

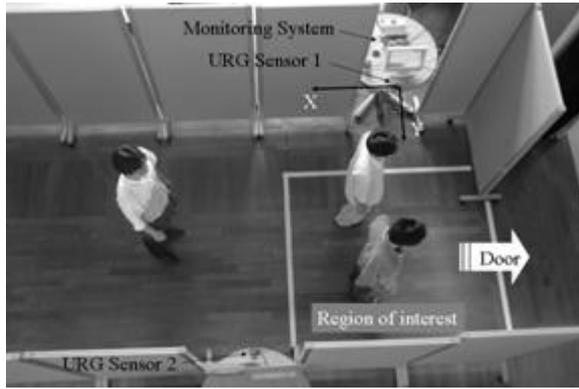


図5 実験環境

3.2 状態変数による表現

測域センサデータから得られた人物候補をそれぞれ状態変数によって表すことを考える。人物候補の物体をパーソン候補と呼ぶ。このパーソン候補の状態変数(x)は人物の中心の位置(p)と速度(v)で構成され、次式で表される。

$$x^t = (p_x^t \ p_y^t \ v_x^t \ v_y^t)^T \quad (1)$$

ここで添字 t は検出エリア内のパーソン候補数を示す。また、各パーソン候補のモデルは次式で表されるものとする。

$$x^t(k+1) = F^t x^t(k) + w^t(k+1), \quad (2)$$

ここで w は共分散 Q に対するモデリングエラーを表す。状態遷移行列は次のように与えられる。

$$F^t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

一方、観測式は次式で与えられる。

$$z^t(k+1) = H^t x^t(k+1) + \delta^t(k+1) \quad (4)$$

ここで δ は共分散 R に対する計測エラーを示し、観測行列は次のように与えられる。

$$H^t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

この状態変数は後述するカルマンフィルタの適用時に用いられる。

3.3 追跡・計数手法

本研究では、各測域センサは床からの高さを 60cm の位置、すなわち、ちょうど人間の腰付近の高さに設置した。また、人間の追跡処理は測域センサのスキャンタイムである 100msec 毎に以下で述べる処理を繰り返すことによって行われる。なお、以降人間と認識されたパーソン候補をパーソンと呼ぶ。

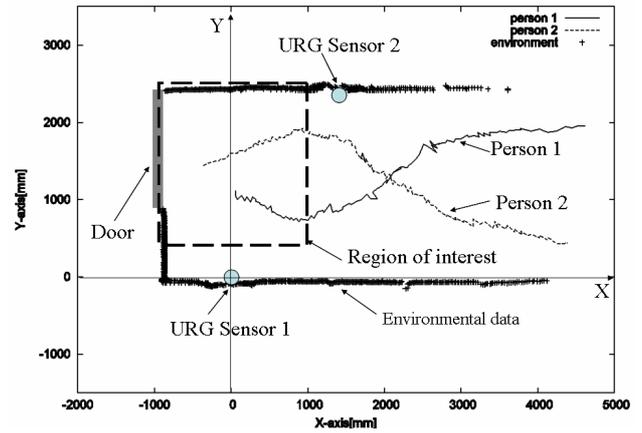


図6 2名の追跡結果

- 処理 1 : 測域センサからデータを取得
- 処理 2 : データのクラスタリングとパーソン候補の抽出
- 処理 3 : パーソン候補から人間の中心位置を求める
- 処理 4 : 各パーソン候補と既検出パーソンとの対比
- 処理 5 : 新規パーソンの登録
- 処理 6 : 現スキャンでのパーソンデータの確定
- 処理 7 : 処理 1 に戻る

各処理について述べる。

まず、環境データまで含まれた測域センサデータからパーソン候補を抽出し、その位置を知ることが必要である。環境データは無人数状態において登録しておき、実検出時はその差分データをクラスタリング処理の対象とする。

次に、前処理で得られたクラスタリングデータは図4に示すように人間だとするとその一部分を検出したに過ぎない。図中で小さな円は測域センサから得られた各検出ポイントであり、特に p_1 と p_2 はクラスタの始点と終点である。人間の中心位置は次の幾何式で求められると考えられる。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{p2} \\ y_{p2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} r_c \cos(\alpha + \beta) \\ r_c \sin(\alpha + \beta) \end{pmatrix} \quad (6)$$

ここで、 r_c は 38cm と仮定した人間断面の半径を示す。

この様にパーソン候補の位置が求まると、次は追跡のための既得データとの対比である。すなわち、同一性の判定を行う。各パーソンのデータはそれぞれの移動方向等から次回判定時の推定位置を算出し持っている。この推定位置と最も近いパーソン候補と同一パーソンとして結びつける。

一方で、どのパーソンとも結びつかなかったパーソン候補は新規パーソンとして登録される。これが、出現と扱われる。

最後に、パーソンデータの更新を行う。ここでは、

カルマンフィルタや前回処理時に得られた位置情報から求められる人間の行動モデルなどが用いられ、データが確定する。どのパーソン候補とも結びつかなかったパーソンは隠蔽と判定され、その位置は前回に求められた推定位置にあるものとする。また、一定以上の期間隠蔽状態が継続したパーソンは消失したものとみなし、そのデータも削除する。こうして最終的に残ったパーソンを次回スキャン時の対比データとして初期化される。

4. 実験

本稿で開発したシステムと提案手法の有効性を確認するための実験を行った。図5は実験環境である。右側にドアがあるものとし、その前に2×2mの検出エリア、左右の壁に測域センサ URG-04LX を2機設置している。測域センサはそれぞれ USB ケーブルを介して PC と繋がっており、10Hz の周期でスキャンした距離データを出力している。

図6は、2名の追跡状況を示している。この様に、センサは検出エリア外であっても常時追跡は行っている。また、交差して歩くことにより一時的に隠蔽の発生する状況においても、良好な追跡結果が得られていることが分かる。運動軌跡に細かい揺れが見られるが、これは人間中心計算アルゴリズムによる誤差と、測域センサが非同期で動いていることに起因する、距離データのバラツキが原因と思われる。

表1に人数カウントの成功率を示す。各人数において10回ずつ実験を行い、人数カウントの出力値を確認した。ここで分かるように、狭いエリアで隠蔽の発生しやすい環境であるが、4人までは100%の成功率が得られた。5人以上の隠蔽の発生に関しては、より多くの測域センサを用いる他に、ビジョンセンサと併用したより強固なシステムを構築することで解決できるものと考えられる。

表1 人数計数の性能評価結果

人数(人)	1	2	3	4	5	6	7
成功率(%)	100	100	100	100	80	50	10

5. まとめ

本稿では、共連れ検出システムの構築を目的とし、その中心技術となるマルチターゲットモデルとカルマンフィルタによる推定法を用いた人物追跡・計数手法を提案した。人物候補データの抽出は、2機の測域センサから得られる距離と角度データのリアルタイムデータと無人状態におけるデータとの比較により行った。また、2台の測域センサを向かい合わせて設置し、対象を挟み込むようにスキャンすることで、隠蔽の軽減を図った。最後に、実際の使用場面を設定して行った実験から、本手法の有効性を確認した。

今後の予定としては、より強力なフィルタリング

アルゴリズムの考案による精度の向上の他、GUIの構築などを行う。その他、測域センサの設置法については、最適な絶対位置や相対位置関係の検討、さらには静止型に拘らない手法についても検討を行う予定である。また、今回は非同期で測域センサを用いたが、スキャニングセンサ特有の時間的ずれの解消のため、同期型センサの開発も必要と思われ、関係各者と協力して、開発を進めていきたい。

謝辞

本稿の作成にあたって、北陽電機(株)の技術本部長・森利宏氏及び経営企画室課長・嶋地直広氏には、センサを初めとする機器の提供などご協力を頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] H. Kawata, W. Santosh, T. Mori, A. Ohya and S. Yuta, "Development of ultra-small lightweight optical range sensor system," Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3277-3282, 2005.
- [2] J. H. Lee, T. Tsubouchi, K. Yamamoto and S. Egawa, "People Tracking Using a Robot in Motion with Laser Range Finder," Accepted to IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2006.
- [3] H. Zhao and R. Shibasaki, "A Novel System for Tracking Pedestrians Using Multiple Single-Row Laser-Range Scanners," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A, Vol. 35, No. 2, 2005.
- [4] Y. Bar-Shalom, X. Li and T. Kirubarajan, "Estimation with Applications to Tracking and Navigation," John Wiley & Sons, INC., New York, 2001.
- [5] 北陽電機 (株) <http://www.hokuyo-aut.co.jp>