

環境固定センサとロボット搭載センサによる協調センシング

Cooperative Tracking of Pedestrian
by an On-board LRF of Mobile Robot and a Fixed Vision

○ 毛利 啓太 (九大) 長谷川 勉 (九大) 倉爪 亮 (九大)

Keita MOHRI, Kyushu University, mohri@irvs.is.kyushu-u.ac.jp

Tsutomu HASEGAWA, Kyushu University

Ryo KURAZUME, Kyushu University

We are conducting the research project named "Robot Town Project". The aim of this research is to develop a distributed sensor system and its management system so that robots can work with humans in an ordinary environment for daily human life. However, it is difficult for distributed sensors to cover all of the environment. This paper describes a method of cooperative tracking of pedestrians by an on-board Laser Range Finder (LRF) of mobile robot and a fixed sensor. The method successfully expands the area of sensing, and reduces the occlusion. The fixed vision measures the position of the mobile robot in the world coordinate system, and the on-board LRF measures the relative position with the mobile robot of pedestrians using Kalman filter. Integrating these information, this system can track pedestrian in the world coordinate system.

Key Words: Human Tracking, Laser Range Finder, Structured Environmental Information

1 はじめに

オフィスや病院、道路などの公共空間、あるいは住宅内で人のために作業するロボットは、作業対象だけでなく、周囲の環境を正確に認識することが求められる。このような場所では、人などの移動体の存在や人間の社会活動に伴う物体の配置変化によって環境が絶えず変化するため、あらかじめ用意しておいた地図情報は使用できない。従来は単体のロボットに搭載されたセンサを用いて、周囲情報を取得する手法がとられている。しかし、ロボット自体の移動に伴う搭載センサの姿勢変化や CPU の処理能力不足などの問題があり、ロボット単体の機能のみで多種多様な状況に応じた環境認識を行わせるのは当面困難である。

そこで、共生型ロボットの実現に向けた一つの有力なアプローチとして環境情報構造化を行う。これは環境側に多数の分散型センサや RFID タグ、あるいはアクチュエータを固定配置して、ロボットを支援しようというものである。我々がすすめている「ロボットタウン」プロジェクトでは、環境側に分散配置した固定カメラが、各視野内のロボットとその他の移動体の位置や運動方向を計測する [1]。そして、タウンマネジメントシステム (TMS) と呼ばれるマネジメント機構を介して計測結果をロボットに提供し、その行動を支援する [2] (Fig.1)。

しかし、固定カメラの計測範囲は狭く、物体による遮蔽もある。このため、広域日常生活環境を全域にわたって死角がないように多数のカメラを配置するのは極めて困難である。一方、通常のロボットはその周囲の環境状況を知るセンサを持っている。環境情報の構造化にあたって、分散配置固定センサからの情報だけでなく、ロボット搭載センサを移動センサと見なしてその情報もあわせて世界像を構築することにすれば、より少ないセンサで、より広域環境をカバーできるようになる。遮蔽も抑制できる。このような考えに基づいて、本論文では環境固定センサとロボット搭載センサの協調による環境情報構造化手法を提案する。

提案手法の実装の一例として、レーザレンジファインダ (LRF) をロボットに搭載し、環境固定カメラと協調させて移動体の追跡を行う手法について述べる。環境固定カメラはロボットの絶対位置

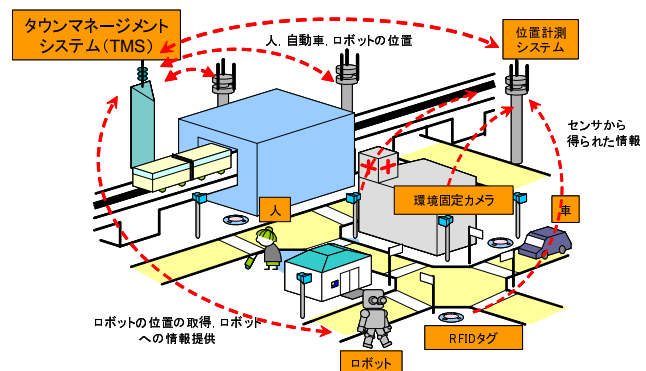


Fig.1 Concept Image of the Robot Town

を、ロボットは周囲の移動体の相対的な位置を計測するので、それらを統合することにより、移動体の絶対的な位置を得ることができる。これにより、環境固定カメラの計測範囲外に存在する移動体に対しても、その絶対的な位置を得ることが可能となる。本手法の実現のためには、(1) ロボットに搭載した LRF は一方向からの計測しかできないため、測定対象の部分的形状情報しか得られない、(2) ロボットの位置情報は TMS を介して提供されるため、タイムラグが大きい、などの問題を解決する必要がある。

2 システム概要

2.1 システム構成

本システムは、移動ロボット、人物追跡モジュール、iGPS モジュール、TMS サーバから構成される。移動ロボットの位置計測には iGPS[3] を用いる。iGPS は、屋内環境において平坦な床の上を移動する移動体の位置計測システムである。カメラを用いてマーカの位置を計測することにより、位置だけでなく姿勢も得ることができる。TMS サーバは、環境全体のロボットやその他移動

体の位置を管理する。
データの流れを Fig.2 に示す。

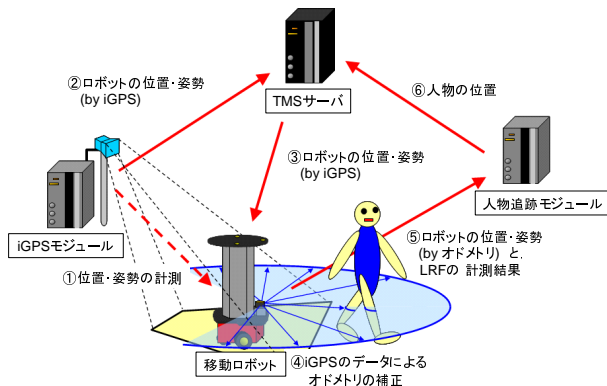


Fig.2 Data Flow in the System

iGPS モジュールは、ロボットの位置・姿勢を計測し、逐次 TMS サーバに送る。移動ロボットは、TMS サーバから自己位置を取得し、オドメトリを補正する。そして、自己位置と搭載した LRF から得られた計測結果を人物追跡モジュールへと送る。人物追跡モジュールはこれらの情報を統合し、人物位置を求め、TMS サーバへ送信する。なお、オクルージョンなどにより iGPS モジュールがロボットの位置・姿勢を計測できないこともあり得る。このとき、移動ロボットはデッドレコニングにより自己位置を補完する。

2.2 移動ロボット

移動ロボットの外観を Fig.3 に示す。移動ロボットには、LRF と iGPS 用の (赤外 LED) マーカを搭載する。



Fig.3 Mobile Robot

LRF は、所定エリア内を平面状にスキャンした奥行きデータを出力するセンサである。本論文では、追跡する移動体を人物のみに限定し、LRF を人物の脚が観測できる高さ (床から 250[mm]) に取り付ける。これにより、手の振りや身長差といった外乱要因を排除すると同時に、オクルージョンの発生する範囲を比較的小さくすることができる。

LRF には北陽電機 (株) 製の URG-04LX を用いた。その仕様を Table1 に示す。

検出距離	20 ~ 4095mm (但し、70mm 白ケント紙)
走査角度	240 °
角度分解能	約 0.36 ° (360 ° / 1024 分割)
距離分解能	1mm
測距精度 (繰返し精度)	20 ~ 1000mm : ± 10mm 1000 ~ 4095mm : 距離の 1 % (但し、70mm 白ケント紙)

Table 1 Specification of LRF

3 LRF を用いた人物追跡

環境固定カメラによるロボットの絶対位置と、ロボット搭載 LRF によるレンジデータとを統合することにより、世界座標系に複数の点が得られる。ここでは、これらの点を用いて人物追跡を行なう手法について述べる。

3.1 静止物体領域の推定

データの統合によって得られた点を静止物体と動物体とに区別するため、静止物体領域の推定を行う。

人とロボットが共生する環境では、家具のように頻りに位置を変える準静止物体が存在する。そのため、静止物体領域は常に更新する必要があり、あらかじめ作成しておいた地図情報によって静止物体領域を与えることはできない。LRF により一定時間障害物が観測され続けた領域を静止物体領域とすることで、この問題の解決を図る。

3.2 レンジデータからの脚の抽出

静止物体領域に入っていない点から、次の手順で脚の抽出を行う (Fig.4)。

1. 静止物体領域に入っていない点のうち、ある距離以下で隣り合っている点を一つの集合とみなす。
2. 点集合の両端の点間の距離を脚の幅 $w/2$ とする。
3. 点集合の真ん中の点から、LRF から遠ざかる方向に $w/2$ 離れた点を脚の中心とする。

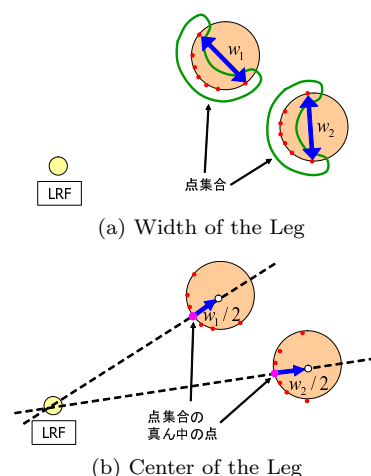


Fig.4 Estimation of the Leg Position

3.3 カルマンフィルタによる人物追跡

抽出した脚の情報から、カルマンフィルタを用いて人物追跡を行う。

同一人物の脚の組は、(1) ある一定の距離以上離れることはない、(2) 進行方向がほぼ等しい、という特徴を持つ。これらの条件を一定期間満たした脚の組を同一人物の脚の組とみなす。

同一人物のものであるとみなされた脚の組は、カルマンフィルタによって軌跡の延長処理が行われる [4]。次フレームにおいて、軌跡が延長された各脚は、観測された脚候補の中から最も近いものを選択し、そのフレームでの位置とする。これを繰り返すことによって、追跡を実現する。ここで用いるカルマンフィルタは、脚の加速度を外部入力とするよう拡張している。脚の加速度は Fig.5 に示す歩行モデルを用いて求められる。歩行モデルは 4 つの位相に分かれており、過去のデータから得られた脚の速度・加速度から、現在の位相を決定する。そして、決定された位相に応じて加速度を求める。

両脚の位置を求めた後、それらの中点を人物位置とする。

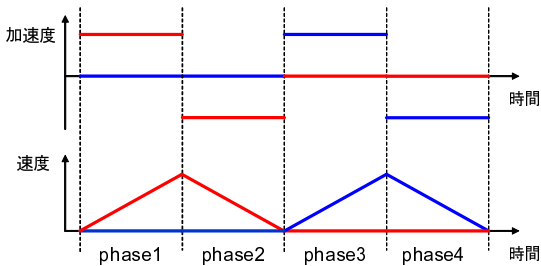


Fig.5 Walking Model (Red : Right Leg, Blue : Left Leg)

3.4 単数の LRF を用いるために起こりうる状況への対処

ロボットに搭載 LRF は一方向からの計測しかできないため、常に両脚の位置が得られるとは限らない。追跡中の脚が LRF によって観測されなかった場合、カルマンフィルタは延長した軌跡をそのまま仮想観測値として使用する。そのため、観測が行われない間は追跡性能が低下する。最も頻繁に起こるのが、一方の脚が作るオクルージョン領域に他方の脚が入る場合である (Fig.6(a))。このような場合でも可能な限り正確な推定を行うための処理を導入する。また、左右の脚が接近したときは、2本で1本の脚とみなされる場合もある。これに対しては分割処理を行う (Fig.7)。

3.4.1 オクルージョンによる片脚の観測不能状態

Fig.6(a) のように、脚 b が脚 a のオクルージョン領域に入り、観測されない場合を考える。この場合は、Fig.6(b) に示すように、脚 b の軌跡の延長線と、LRF と脚 a とを結ぶ直線との交点を脚 b の推定位置とする。

3.4.2 接近による左右の脚の融合

左右の脚が接近すると、Fig.7 のように脚の位置を推定する際に両脚の点が繋がりに、一つの大きな点集合が作成される場合がある。この場合、1本の脚しか観測されていないとみなされるので、これを検出して分割する必要がある。

追跡中の人物の脚は、過去にとった最大の幅 w_{max} を保持している。以下の条件を満たす場合に、左右の脚が繋がっているとみなし、半分に分割する。

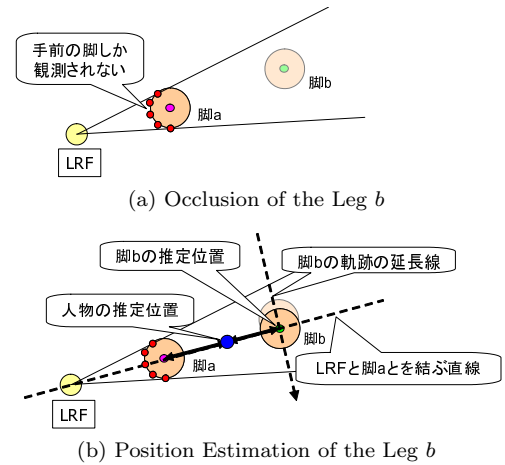


Fig.6 Position Estimation of the Occluded Leg

- 前フレームで延長された脚の軌跡から、左右の脚が接近すると判定されている
- 脚の幅 w が、 w_{max} と比べて非常に大きい

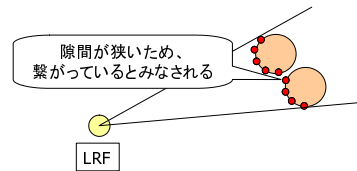


Fig.7 Fusion of Two Legs

4 センサ情報の同期と統合

ロボットタウンでは、環境内のセンサによって得られた移動体の位置情報は一度 TMS に送信され、TMS から各ロボットへ提供される。本システムにおいても、iGPS モジュールから移動ロボットへの位置・姿勢情報の送信は TMS を介して行われる。このようなシステムは、利便性が高い一方で、情報が伝わるまでの時間が比較的長いという問題点がある。そのため、情報の同期は必須の機能となる。

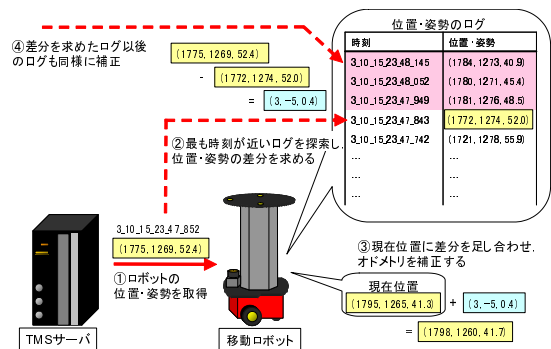


Fig.8 Synchronization of the Position Data

本システムでは、タイムスタンプによる同期を行った (Fig.8)。同期処理は以下の手順で行われる。

1. 移動ロボットは、TMS からタイムスタンプ付きの自己位置情報を取得する。

2. 移動ロボットは内部でデッドレコニングによる位置情報のログを一定期間保存している．TMS からのデータに付いていたタイムスタンプと、ログの取得時刻を比較し、最も時刻が近いログを選び出す．その後、TMS からの位置情報と、選び出したログの位置情報との差分を求める．
3. ロボットの現在位置に求めた差分を足し合わせ、オドメトリを修正する．
4. 選び出したログ以降のログに対しても、同様に差分を足し合わせ、修正を行う．

5 実験

5.1 実験概要

本手法の有効性を示すため、屋内環境で実験を行った．実験環境を Fig.9 に示す．実験スペースは約 6×5 [m] である．この中で 2 人の人物が移動し、ロボットは移動しながらこの 2 人の位置を追跡する．ロボットの移動速度は 300 [mm/s] であり、移動はジョイスティックによる操縦で行った．

また、測定結果は、本システムからは独立した環境固定 LRF の出力と重ね合わせることで評価を行う．

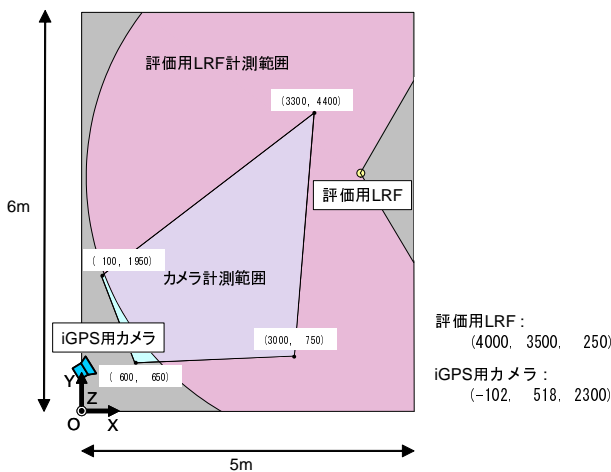


Fig.9 Setups of Experiment

5.2 実験結果

実験結果を Fig.10 に示す．カメラの視野範囲外であっても、人物を追跡できている．途中で軌跡が途切れている部分は、追跡失敗のため、もしくはロボット搭載 LRF の計測範囲外に出たためである．このとき 1 フレームの人物処理に要した時間は 2.66 GHz CPU, 512 MB RAM の PC で平均 15 [ms] であった．また、通信を含めた 1 フレームあたりの処理時間は、平均 151 [ms] であった．

次に、評価用 LRF の出力と重ね合わせた結果を Fig.11 に示す．これは、人物推定位置の誤差が最大であると思われる時刻のものである．白の点が評価用 LRF の出力、それ以外の点がロボット搭載用 LRF の出力である．また同時に、脚の位置、人物位置も表示してある．目視による比較を行った結果、人物推定位置の誤差は最大で 300 [mm] 程度であった．人物推定位置に誤差が出る要因として最も大きいと考えられるのは、同期のずれである．本論文で用いた同期の手法では、時間を完全に一致させることはできない．また、ロボット搭載 LRF の同期も行わなかった．そのため、同期

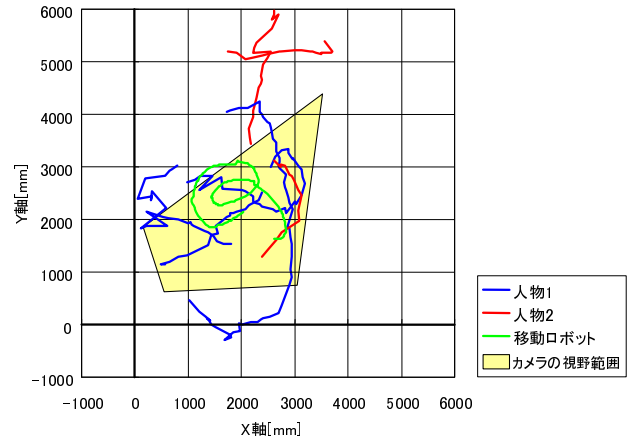


Fig.10 Result of Experiment

のずれは最大で 150 [ms] 程度になる．このずれが変化量の大きいロボットの姿勢情報の誤差を大きくし、結果、人物推定位置に大きな誤差をもたらしたと考えられる．

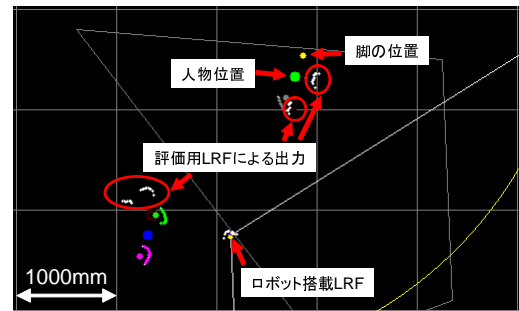


Fig.11 Evaluation of Experiment

6 むすび

ロボットに搭載した LRF と環境固定カメラとを協調させて移動体の追跡を行う手法を提案した．これにより、環境固定カメラの測定範囲外に存在する移動体の情報も得られるようになった．また、システムを実装して実験を行い、本手法の有効性を示した．

文献

- [1] 長谷川 勉：“ロボットタウンの実証的研究-全体計画の概要-”，第 24 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 2N13, 2006
- [2] 村上剛司，長谷川勉，木室義彦，千田陽介，家永貴史，有田大作，倉爪亮：“情報構造化環境における情報管理の一手法”，日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 2, pp. 192-199, 2008
- [3] 羽田 芳朗，高瀬國克：“屋内大域位置同定システム (iGPS) を用いた複数台移動ロボットのナビゲーションの研究”，第 6 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.354-359, 2001
- [4] 中村克行，趙 卉菁，柴崎亮介，坂本圭司，大鋸朋生，鈴川尚毅：“複数のレーザレンジスキャナを用いた歩行者トラッキングとその信頼性評価”，電子情報通信学会論文誌 D-II, vol.J88-D-II, no.7, pp.1143-1152, Jul. 2005