

## ロボットタウンの実証的研究

-Level Set Tracking と複数レーザレンジファインダを用いた複数対象の同時追跡-

山田 弘幸 (九州大学) 倉爪 亮 (九州大学) 村上 剛司 (九州大学) 長谷川 勉 (九州大学)

Robot Town Project :

Target Tracking using Level Set Tracking and Multiple Laser Range Finders

\*Hiroyuki YAMADA (Kyushu University), Ryo KURAZUME (Kyushu University),  
Kouji MURAKAMI (Kyushu University), Tsutomu HASEGAWA (Kyushu University)

**Abstract**— This paper describes a tracking system of multiple moving objects using the Level Set Tracking and multiple heterogenous laser range finders. The Level Set Tracking is able to track multiple targets robustly and simultaneously in real time even if the targets are overlapped each other. In addition, precise range data of moving objects is obtained by multiple laser range finders placed on an environment. We propose the combined system of these techniques for tracking multiple targets precisely and robustly against occlusion.

**Key Words:** Target tracking, Laser range finder, Sensor fusion, Level Set Method

### 1. はじめに

「ロボットタウンの実証的研究」の一環として、複数レーザレンジファインダとビデオカメラを組み合わせた、重なりやノイズに頑強な複数物体の同時追跡システムを開発している。

ロボットタウンプロジェクトでは、環境に分散配置された様々なセンサ情報を元に、タウンマネジメントシステムが人間やロボットの動作を一元管理し、ロボットの適切な行動を支援するシステムの開発を目指している。この実現のためには、環境内の人間やロボットの動きを正確にトラッキングする手法の開発は重要な研究課題である。

これまで我々は、ビデオカメラを用いたレベルセットトラッキングによる複数移動物体の追跡システムを開発してきた [1]。しかし近年、平面スキャン型レーザレンジファインダが安価に市販され、環境中にセンサを分散配置するロボットタウンにおいても、レーザレンジファインダを環境固定センサの一つとして用いることが可能となった。平面スキャン型レーザレンジファインダとは、一軸の回転ミラーによりレーザ光を照射しながらスキャンし、一般にはレーザ光の伝播時間から距離を計測するものである。例えば、水平方向をスキャンするレーザレンジファインダからは、2次元平面内の対象物体までの距離情報が得られる。

そこで本報告では、これまで我々が開発したレベルセットトラッキング [1] と、環境におかれた複数のレーザレンジファインダからの距離情報を統合することで、複数の移動物体の位置関係を正確に推定しつつ、ノイズや重なりに頑強に対象追跡を行うシステムを提案する。また、そのための準備として、異種複数レーザレンジファインダの情報を統合して、移動体を追跡する実験を行ったので報告する。

### 2. レベルセットトラッキング

レベルセットトラッキングとは、背景差分等によって切り出された追跡対象領域に対して、能動輪郭モデルの1つであるレベルセット法を適用し、ノイズや重なりに頑強に領域を追跡する手法である。Fig.1に複数人体を追跡している様子を示す。

Osher, Sethian ら [2],[3] によって提案されたレベルセット法は、Snakes など従来の能動輪郭モデルの欠点であった複数領域の重なりに対して、本質的に適応可能であるという優れた特徴を有する。しかし一方で新たに導入された補助関数値を決定するための計算量が膨大であり、リアルタイム処理には不向きであると考えられてきた。これに対し我々はこれまでに、レベルセット法の高速な実装方法である Fast Level Set Method (FLSM) を開発し、画像上での実時間トラッキング [1] や3次元モーションキャプチャシステム [4] などを提案してきた。

Fig.1の例は、FLSMを2次元画像に適用したレベルセットトラッキングの例である。画像のサイズ、入力速度がそれぞれ320x240pixel, 30Hz, 使用した計算機がPentium IV, 2GHzの時、FLSMの処理は約60Hzで実行されている。この例では、当初2つの閉曲面で表されていた移動物体の境界が、移動物体が交差したことで1つの閉曲面に統合され、次の時刻で再度2つの閉曲面に分離しており、境界の位相変化に柔軟に対応できていることがわかる。

### 3. 対象追跡システム

#### 3.1 システムの概要

上述したレベルセットトラッキングにより、2次元画像上では移動物体領域をノイズや重なりに頑強に追跡できるが、奥行きは未知であり、重なった物体領域の切り分けは単一のカメラからでは不可能である。これに対し、本システムで用いる平面スキャン型レーザレンジファインダからは、奥行き方向の情報は得られる

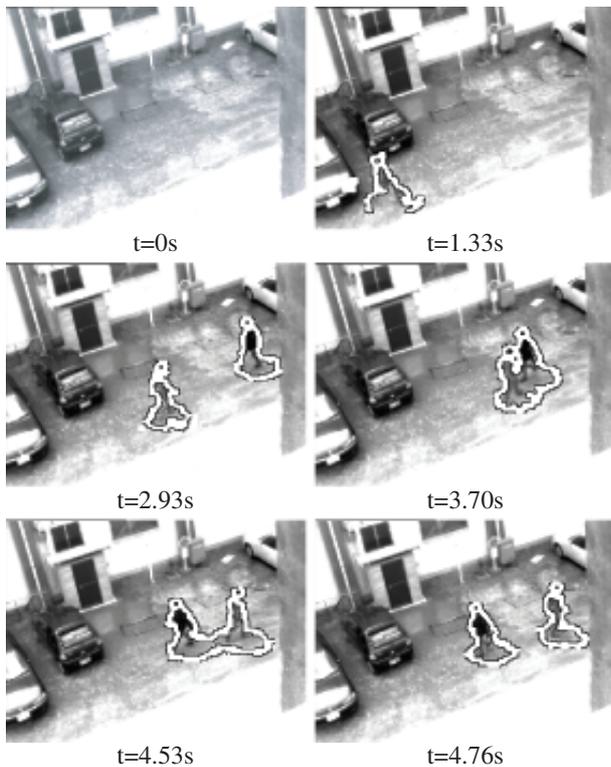


Fig.1 レベルセットトラッキング

が高さ方向の情報を得ることはできない．そこで，上述したレベルセットトラッキングと環境におかれた複数のレーザレンジファインダからの距離情報を統合することで，交差時の位置関係を 3 次的に推定しつつ頑強に対象追跡を行うシステムを構築する．

Fig.2 にレベルセットトラッキングと複数レーザレンジファインダの情報を統合し対象追跡を行うシステムの構成を示す．カメラとレーザレンジファインダの組を 1 つのセンサユニットとし，これが 1 台のコンピュータに接続されてセンサ端末を構成する．センサ端末は 1 つのホストコンピュータへ接続され，そこで各端末からの情報が統合される．ホストコンピュータでは，接続されているセンサ端末へ順番にセンサ情報要求のコマンドを出し，センサ端末から送信されたデータを重層することで統合を行う．ホストコンピュータとセンサ端末間の通信には TCP/IP を用いる．

### 3.2 センサ端末での処理

センサ端末では，以下の 2 つのタスクを並列実行する．

- カメラからの情報を基に，レベルセットトラッキングによって追跡対象領域を取得する．追跡対象領域を含む最小矩形画像を切り出す．
- レーザレンジファインダからの情報を取得し，追跡対象までの距離を得る．

これらのタスクは繰り返し実行され，センサ端末では常に最新のセンサ情報を保持する．また，ホストコンピュータからの要求に対しては，追跡対象領域がある場合は，この領域を含む最小矩形画像と領域内の距離情報をホストコンピュータへ送信する．追跡対象領域がない場合は，これを示す予め定められたコマンドを

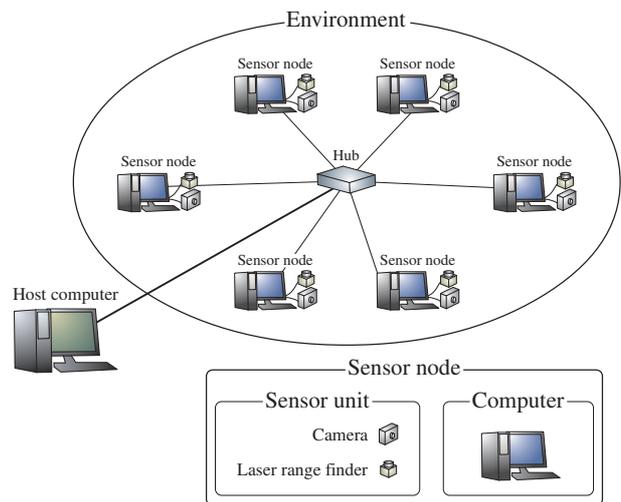


Fig.2 対象追跡システム

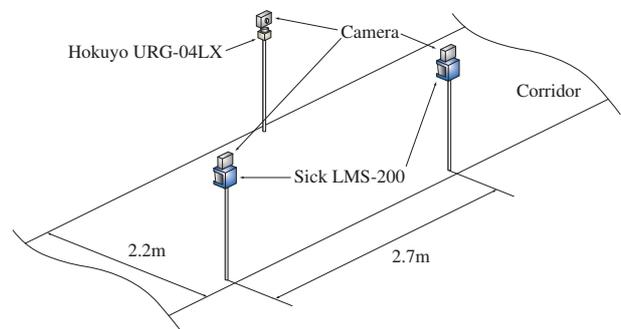


Fig.3 センサユニットの配置

送信する．

### 3.3 ホストコンピュータでの処理

ホストコンピュータにおける主な処理は，各センサ端末からの情報の取得，統合である．また，統合された情報は 3 次元地図として表示される．ホストコンピュータの処理の流れを以下に示す．1，2 は初期処理であり，実際の対象追跡は 3 を繰り返し行う．

1. 各センサ端末におけるレーザレンジファインダからの距離情報を取得し，ICP アルゴリズムによってセンサ端末の位置あわせを行なう．各センサ端末の世界座標系での位置と姿勢を得る．
2. 背景の距離と画像を取得し，背景の地図を作成する．このとき，背景の高さは既知である．背景距離と高さ情報から背景の 3 次元モデルを作成し，背景画像をテクスチャマッピングする．
3. 背景地図作成後，対象追跡を開始する．各センサ端末へセンサ情報要求コマンドを送信し，追跡対象領域の距離と画像が返ってきた場合，対象を背景地図内に表示する．追跡対象の距離と領域画像から高さを取得し，対象位置に円柱モデルを作成して領域画像をテクスチャマッピングする．対象位置は複数のセンサ端末から得られた距離情報を重層することで得る．

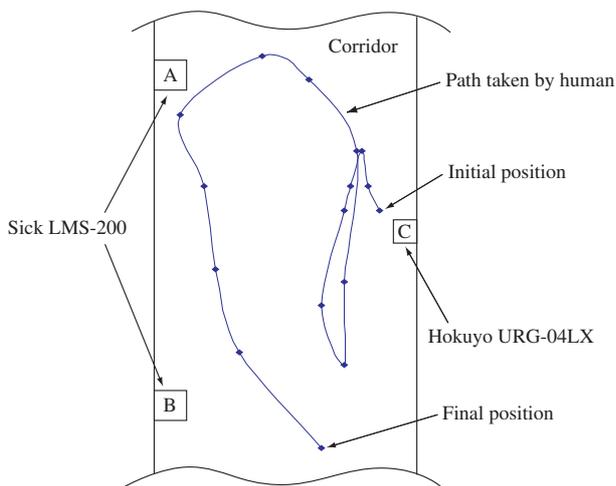


Fig.4 追跡実験結果

#### 4. 実験

廊下を測定環境として、本システムで移動体を追跡する実験を行った。実験で用いたレーザレンジファインダは、Sick 社製 LMS200 が 2 台 (A,B)、北陽電機社製 URG-04LX が 1 台 (C) であり、カメラと組み合わせたセンサユニットを測定環境に Fig.3 のように配置した。センサ端末に用いたコンピュータは Pentium D, 3.0GHz, ホストコンピュータは Celeron, 2.8GHz である。

実験では歩行者を対象として追跡を行った。追跡結果を Fig.4 に示す。センサユニット C の近くから出発した歩行者は、それぞれのレーザレンジファインダによって連続して検出され、位置が推定されている。

実験の様子を Fig.5 に示す。歩行者は、カメラから得られた画像を基にテクスチャマッピングされた円柱モデルとして表示される。

また、歩行者が 2 人の場合の実験の様子を Fig.6 に示す。一つのレーザレンジファインダでは対象物体の陰となる部分も、複数のレーザレンジファインダを用いることで情報が統合され、重なりに頑強なシステムが実現されている。

#### 5. まとめ

「ロボットタウンの実証的研究」の一環として、これまで我々が開発したレベルセットトラッキングと、環境におかれた複数のレーザレンジファインダからの距離情報を統合することで、複数の移動物体の位置関係を正確に推定しつつ、ノイズや重なりに頑強に対象追跡を行うシステムを提案した。またそのための準備として、異種複数レーザレンジファインダの情報を統合して、移動体を追跡する実験を行った結果を報告した。

謝辞 本研究は、文部科学省の平成 17 年度科学技術振興調整費による「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」の一環として実施したものです。また本研究の一部は、文部科学省科研費補助金基盤 B 「ロボット群と環境固定センサ群の相互支援による人間・ロボット共生環境の情報構造化 (18360124)」の助成を受けて行われました。

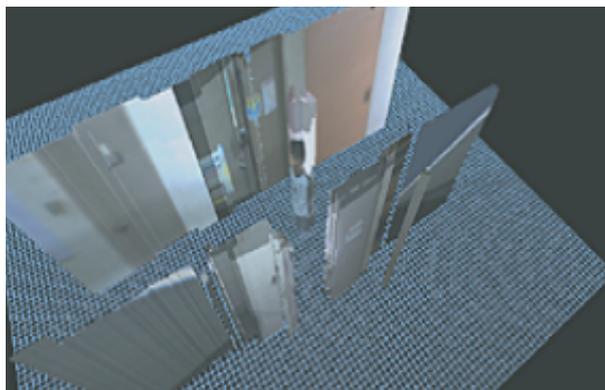


Fig.5 3次元表示

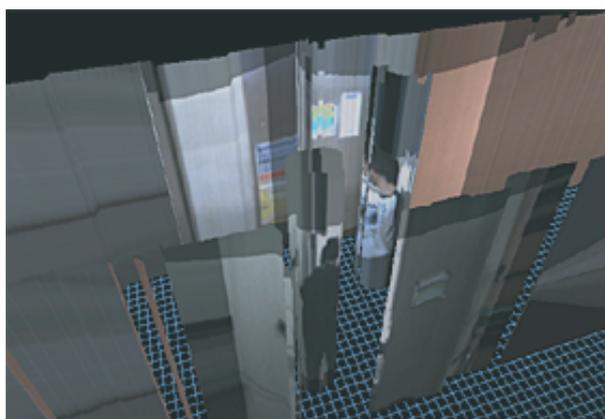


Fig.6 追跡対象が 2 人の場合

#### 参考文献

- [1] 倉爪亮, 由井俊太郎, 辻徳生, 岩下友美, 原健二, 長谷川勉: "Fast level set method の提案とビデオ画像の移動物体のリアルタイム追跡", 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.8, pp.2244-2254, 2003.
- [2] S.Osher and J.A.Sethian: "Fronts propagating with curvature dependent speed: Algorithm based on hamilton-javobi formation", Journal of Computational Physics, Vol.79, pp.12-49, 1988.
- [3] J. Sethian: Level Set Methods, 1st ed, Cambridge University Press, New York, 1996.
- [4] 岩下友美, 倉爪亮, 辻徳生, 原健二, 長谷川勉: "Fast level set method を用いた複数移動物体の 3 次元追跡", 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.7, pp.813-820, 2005.
- [5] 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.
- [6] 中村克行, 趙 卉菁, 柴崎亮介: "レーザスキャナと画像センサの融合による歩行者追跡", 第 11 回 画像センシングシンポジウム 講演論文集, pp.177-180, Jun. 2005.
- [7] Alex Brooks and Stefan Williams: "Tracking People with Networks of Heterogeneous Sensors", Australasian Conference on Robotics and Automation, 2003.
- [8] Ajo Fod, Andrew Howard, Maja J Mataric: "A Laser-Based People Tracker", Proc. International Conference on Robotics and Automation 2002, pp.3024-3029, 2002.