

# ロボットの行動支援を目的とした 分散ビジョンシステムによる移動体計測

野辺 大悟 (九州大学) 長谷川 勉 (九州大学) 村上 剛司 (九州大学) 倉爪 亮 (九州大学)

## Distributed vision system to support robots by measuring moving objects

\*Daigo NOBE (Kyushu University), Tsutomu HASEGAWA (Kyushu University),  
Kouji MURAKAMI (Kyushu University), Ryo KURAZUME (Kyushu University)

**Abstract**— This paper describes a distributed vision system to be installed in our daily life environment to support the autonomous activity of robots working in the same environment. The system detects moving objects, measures their position in the world coordinate system in real time, and provides a robot with the information of dynamically changing situation of the environment.

**Key Words:** Autonomous Robot, Distributed Vision, Motion Tracking, Level Set Method

### 1. はじめに

日常生活環境で人間と共生しつつ、ロボットが自律的に行動するためには、人や物体の移動など、時々刻々と変化する周囲の状況を認識することが必要不可欠である。しかし、ロボットに搭載したセンサの情報だけをもち、多様に化する周囲状況を認識することは難しい。これに対し、「ロボットタウンの実証的研究」プロジェクトでは、街中に配置した複数のセンサを用いて周囲の状況の変化を認識・管理して、その情報をロボットに通知し、ロボットの行動を支援するシステムを開発している (Fig.1)。このプロジェクトにおいて、複数のカメラを用いて人やロボットなどの移動体の位置を計測する技術は、主要な検討課題の一つである。本論文では、街中に分散配置した固定カメラを用いて移動体の位置を計測・管理する分散ビジョンシステムについて報告する。

分散ビジョンシステムに要求される機能は、移動体を検出・追跡し、その3次元位置を実時間で計測することである。カメラが環境に固定配置される場合には、背景差分法により高速な移動体検出が可能である。しかし、一般に背景差分法は、日照条件の変化や風による木の揺れなどの背景の変化があると移動体を精度よく検出できなくなり、また、実体だけでなくかげも検出してしまおうといった問題がある。これに対し、背景を領域あるいは画素に分割してそれぞれ変動幅を学習する方法など種々の手法が提案されているが、全ての状況に対応できる手法はない。そこで本研究では、カメラが固定配置されていることに着目し、(1) カメラ毎に背景となる観測対象空間の特徴に適した移動体領域検出手法を複数組み合わせて使用するとともに、(2) 背景変動の学習機能を導入し、さらに(3) 他のカメラやセンサで計測された移動体の運動履歴情報などを利用して、システム全体として移動体計測の精度と信頼性の確保を向上させることを目指している。本稿では、現在までに得られた成果を報告する。

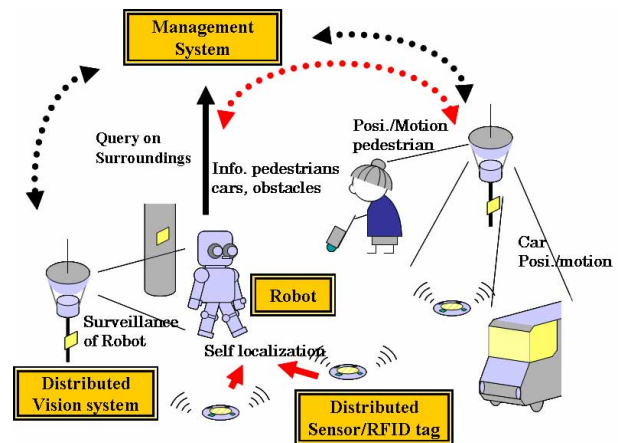


Fig.1 Robot Town

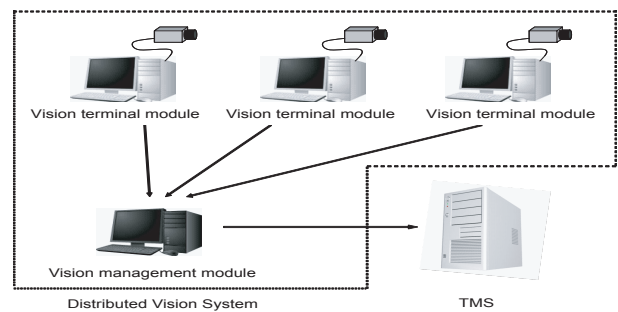


Fig.2 System Structure

### 2. 分散ビジョンシステム

開発するシステムは、分散配置された固定カメラの映像から移動体の抽出および位置計測を行うビジョンターミナルモジュールと、このモジュールで計測された移動体の位置情報を管理するビジョン管理モジュールの2つから構成される (Fig.2)。

ビジョンターミナルモジュールでは、まず、カメラ画像中に存在する移動体を検出する。移動体の検出には、

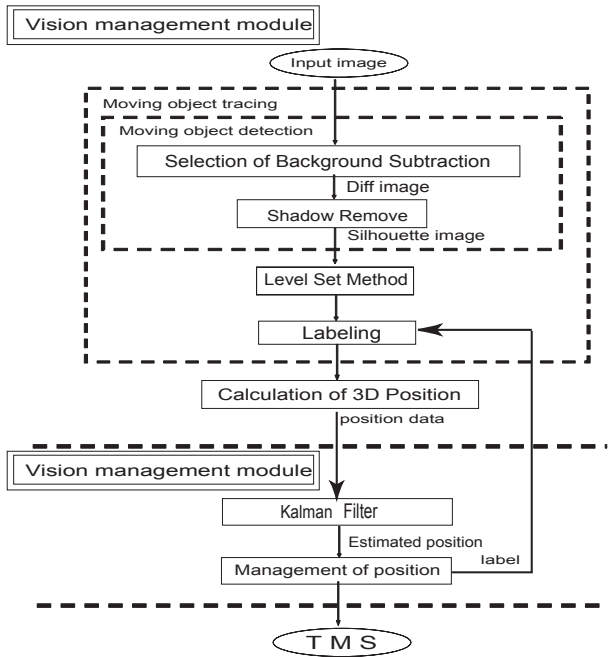


Fig.3 Flowchart

複数の差分画像処理を使い分け、撮影環境に適した手法を導入することで、検出精度の向上を図る。現在、複数の差分画像処理を使い分けるために、既に提案されている手法 [2][3][4][5] を実装し、その動作を確認中である。次に、作成した差分画像から移動体の輪郭線を抽出して、識別子(ラベル)を付与し、追跡を行う。そして、追跡している移動体の3次元位置を計測する。

一方、ビジョンマネジメントモジュールでは、ビジョンターミナルモジュールから送られてくる移動体の3次元位置を管理する。また、移動体の位置情報を利用し、移動体が複数のカメラ視野間をまたぐ場合や移動体同士が交差する場合に、移動体の識別子の一貫性を保つ処理を行う。さらに、管理している移動体の位置情報をタウンマネジメントシステム(Town Management System 以降 TMS)に送信する。TMSとは、ロボットタウンプロジェクトにおいて、環境中に分散配置された多数のセンサの情報を一元管理し、その情報をロボットに供給する情報処理機構である。

分散ビジョンシステムの構築は [1] で提案されているシステム構成をもとに行った。本システムの処理の流れを Fig.3 に示す。以下、本システムの詳細をビジョンターミナルモジュールでの処理と、ビジョンマネジメントモジュールでの処理に分けて述べる。

## 2.1 ビジョンターミナルモジュール

ビジョンターミナルモジュールでは、固定された単眼カメラの映像から移動体を抽出し追跡を行い、移動体の3次元位置を計測し、計測した位置情報をビジョンマネジメントモジュールに送る。

### 2.1.1 移動体の抽出と追跡

処理の概要を以下に示す。

1. 差分画像処理により移動体の候補領域を検出する。
2. 差分画像中の移動体領域から影領域の除去を行う。

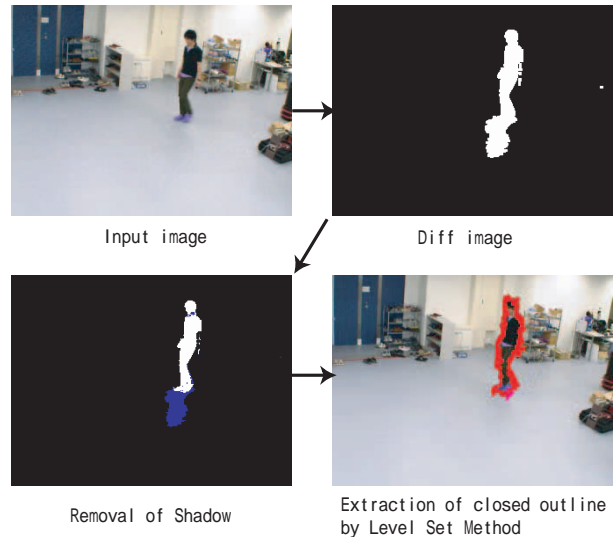


Fig.4 Moving object extraction on an image

3. 差分画像に Level Set Method を適用して、移動体の輪郭線を抽出する。
4. Level Set Method により抽出した個々の移動体に識別子(ラベル)を付与し、追跡を行う。

2の影領域の除去には、[6]で提案されている手法を適用した。また、Level Set Methodは、変形する運動体の輪郭線抽出法であり、複数対象のすれ違いなどのように対象の数や位相に変化を生じる情景でも適用できるという優れた性質を持っている。しかし、計算量が膨大であったため、従来、これを実時間画像処理に適用することは困難と考えられてきた。これに対し、精度を落とすことなく高速に計算する Fast Level Set Method (FLSM)[7]が提案され、ノイズに頑強な実時間での移動体追跡が可能となっており、今回の移動体追跡にはこの FLSM を適用している。

### 2.1.2 移動体の3次元位置計測

開発するシステムでは、移動体の足元の位置を移動体の位置と定義する。そのため、2.1.1の処理により追跡を行っている移動体の足元の位置を計測する。なお、すべてのカメラは世界座標系でカメラキャリブレーションされているものとする。足元の位置計測は、カメラに移動体の全身が映る場合、下半身のみが映る場合、上半身のみが映る場合にわけて行った。カメラに全身が映っているか、下半身のみまたは上半身のみしか映っていないかどうかは、抽出した移動体の輪郭線がカメラ画像の上端または下端に接しているかで判定する。

#### 1. 移動体の全身が映る場合

まず、Level Set Method により抽出した移動体の輪郭線を囲む最小の凸包を求める。次に、移動体の輪郭線に対して主成分分析を行い、その第1主成分を歩行者の中心軸として、凸包との交点から足元の位置を求める (Fig.5)。そして、画像座標系での足元の位置  $(x, y)$  を世界座標系における位置  $(X, Y, Z)$  に変換する。しかし、2次元座標  $(x, y)$  から3次元座標  $(X, Y, Z)$  を求める問題となるため、解を一意に求めることはできない。そこで、

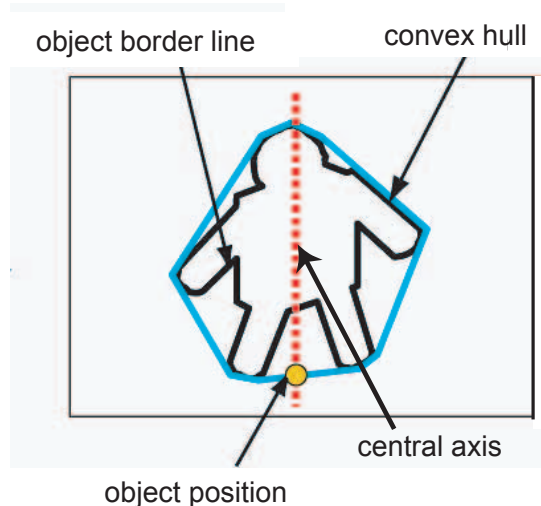


Fig.5 Position measurement

$Z$  = 床面の高さ  $Z_i$  とし,  $Z$  を定数として扱うことで解を一意に求める. また, 中心軸と輪郭線の交点を頭の位置として求め, 求めた頭の位置と足元の位置から身長を計測する.

2. 移動体の下半身のみが映る場合  
移動体の全身が映る場合と同様の処理を行い, 足元の位置を計測する. ただし, 移動体の身長は計測できない.
3. 移動体の上半身のみが映る場合  
まず, 中心軸と移動体の輪郭線の交点を頭の位置  $(x, y)$  として求める. 求めた頭の位置, 身長, 床面の高さ  $Z_i$  より世界座標系における頭の位置  $(X, Y, Z)$  を算出し, その位置から垂直下方へ身長の長さだけ移動した位置を足下の位置とする. ただし, ここで用いる身長は, 追跡過程で既に計測されている場合はその身長を用い, 計測されていない場合は仮の身長を用いる.

## 2.2 ビジョンマネージメントモジュール

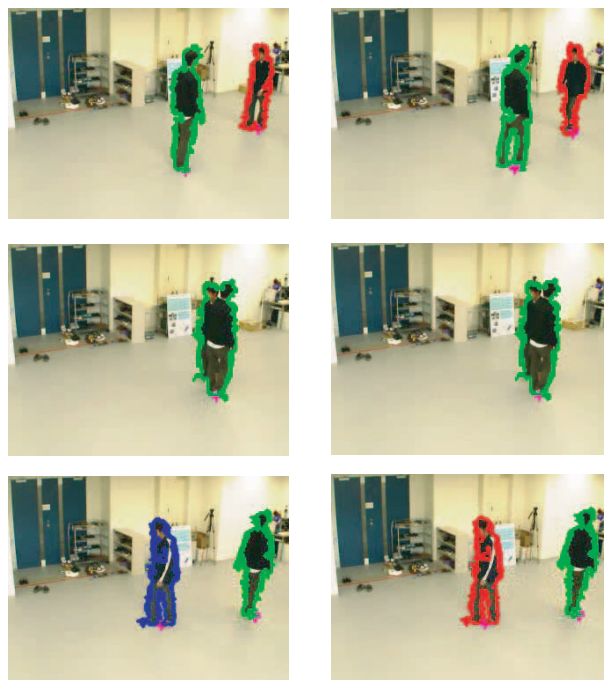
ビジョンマネージメントモジュールでは, ビジョンターミナルモジュールで計測された移動体の位置情報を管理する. また, 移動体がカメラ視野間をまたいで移動する場合や移動体同士が交差する場合に, 移動体の識別子の一貫性を保つ処理を行う.

### 2.2.1 位置情報の管理

ビジョンターミナルモジュールで計測した位置情報にカルマンフィルタを適用し, 誤差の影響を抑える. 本システムでは, カルマンフィルタによって推定された移動体の位置を, その移動体の現在位置とする.

### 2.2.2 識別子の一貫性の保持

以下の2つの状況における識別子の一貫性を保つ処理について述べる.



(a)

(b)

Fig.6 Intersection of pedestrians

1. 移動体がカメラ視野間をまたぐ場合  
固定カメラを用いた計測では撮像範囲に限りがあり, 個々のカメラのみで移動体を計測し続けることは不可能である. そのため, 移動体がカメラ視野間をまたぐ際に識別子(ラベル)の受け渡しを行い, 移動体を継続的に追跡する. 移動体が隣接するカメラ A, B の視野間を移動する場合, カメラ A で計測した移動体の位置  $(X_A, Y_A, Z_A)$  とカメラ B で計測した移動体の位置  $(X_B, Y_B, Z_B)$  が近い時に同一の移動体であると判断し, 識別子(ラベル)の受け渡しを行う. ただし, 隣接するカメラ同士の視野は一部共有しているものとする.
2. 移動体同士が交差する場合  
移動体同士が交差すると, カメラ画像中において一時的な隠れが発生するため, 移動体を見失い, 交差前後での継続的な追跡がおこなえない (Fig.6(a)). そこで, 隠れが生じた移動体の動きを予測することで, 継続的な追跡を行う. 具体的には, 移動体 A と移動体 B が交差し移動体 A が一時的に隠れてしまう場合, まず, 交差前後では速度が一定であると仮定し, 交差前に計測した移動体 A の位置と速度を用いて, 移動体 A の交差後の位置  $(X_e, Y_e, Z_e)$  を推定する. 次に, 交差後, 移動体 B の背後から現れた移動体の位置  $(X_n, Y_n, Z_n)$  を計測する. 予測した位置  $(X_e, Y_e, Z_e)$  と新たに計測した位置  $(X_n, Y_n, Z_n)$  が近ければ, 交差前に存在した移動体 A と同一の識別子(ラベル)を付与する (Fig.6(b)).

## 3. 実験

システムの動作を確認するために, 屋内での移動体計測実験を行った. 実験は, カメラは Sony 製 DFW-X710 を 2 台使用し, その 2 台を一台の計算機 (Pentium D

3.00GHz) に接続して行った。また、この2台のカメラによるビジョンターミナルモジュールの処理に加え、ビジョンマネージメントモジュールの処理もこの計算機上で行った。画像の大きさは320×240画素である。単一の移動体の位置を計測した際、一つのビジョンターミナルモジュールの処理周期は約70[ms]であった。

実験では、3人の歩行者が2つのカメラ視野間をまたぎ、歩行者同士は交差しながら歩くという状況下で追跡を行った。カメラ視野間をまたぐ際、2つのカメラに映る歩行者の位置の差が50[cm]以内ならば、その歩行者は同一の移動体であると判断する。また、移動体同士が交差する際も、交差前の予測位置と交差後の計測位置の差が50[cm]以内ならば、同一の移動体であると判断する。

移動体の追跡状況を Fig.7 に示す。計測した移動体の位置情報を TMS へ送信し、TMS 内に用意されている地図上に移動体の現在位置を示した (Fig.7 右)。また、計測した位置の履歴を地図上に投影したものを Fig.8 に示す。今回の実験により、移動体がカメラ間をまたいでも継続的な追跡を実現し、また、移動体同士の交差に対してもロバストに追跡できていることがわかる。計測した位置については、移動体の足元の抽出が不完全な瞬間に誤差が大きくなっているが、足元の抽出がうまく行えている場合は、安定して位置を推定できている。さらに、TMS 内の地図上で移動体の現在位置を示し、分散ビジョンシステムと TMS との通信を確かめた。

#### 4. まとめ

本稿では、複数カメラを用いて移動体の3次元位置を実時間で計測するシステムを提案した。実験により、カメラ視野間をまたぐ移動体の追跡と、移動体同士が交差に対応した追跡が行えることを確認した。さらに、TMS との接続を確認し、分散ビジョンシステムによって計測した移動体の位置情報の確認を行った。

本研究は、文部科学省の平成18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あり、また一部は文部科学省科研費補助金「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)」の助成を受けた。

- [1] 小船 博行: “ロボットタウンの実用に向けて-分散ビジョンによるロボットと人の行動計測-”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '06 講演論文集, 2P1-E11, 2006
- [2] 関, 和田, 藤原, 鷺見: “背景変化の共起性に基づく背景差分”, 情報処理学会論文誌, vol.44,no.SIG(CVIM), pp.54-63, Apr.2003
- [3] 島田 竜也, 河口 尚広, 加賀 健太, 山田 博三, 森 晃徳: “屋内侵入者検知のための動的背景抽出法”, 電子情報通信学会論文誌, D vol.J88-D2 No.10, pp.2054-2068
- [4] 佐藤 雄隆, 金子 俊一, 丹羽 義典, 山本 和彦: “Radial Reach Filter(RRF) によるロバストな物体検出”, 信学技報, PRMU2001-41(2001)
- [5] Takashi Matsuyama, Takashi Ohya, Hitoshi Habe: “Background Subtraction for Non-Stationary Scenes”,

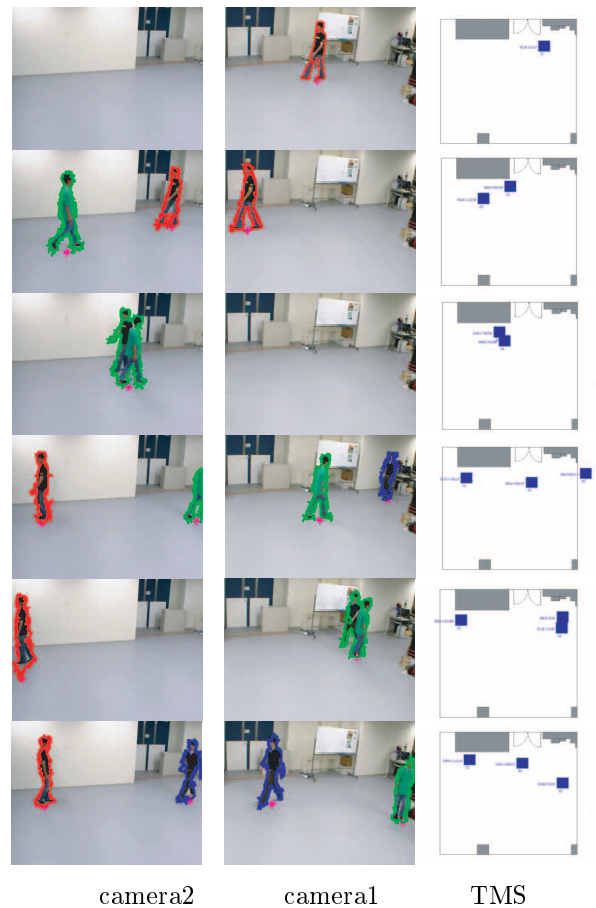


Fig.7 Tracking result

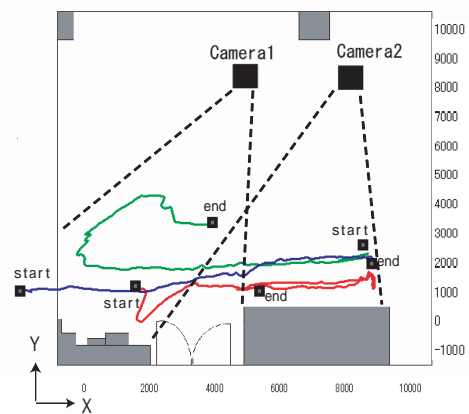


Fig.8 Trajectory of pedestrians

- Proc. of 4th Asian Conference on Computer Vision, pp.662-667,2000.1
- [6] 田中 達也, 島田 敬士, 有田 大作, 谷口 倫一郎: “ノンパラメトリックな動的背景・影モデルに基づいた映像からの物体抽出”, 情報研報コンピュータビジョンとイメージメディア (2007-CVIM-159), pp.105-112,
- [7] 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)