

# 環境固定カメラと複数移動ロボットによる協調位置姿勢計測

○安陪 隆史(九大) 長谷川 勉(九大) 倉爪 亮(九大) 村上 剛司(九大)

## Cooperative Localization by Multi-Robots and Environment Embedded Camera

○Takashi ABE(Kyushu University), Tsutomu HASEGAWA(Kyushu University),  
Ryo KURAZUME(Kyushu University), Kouji MURAKAMI(Kyushu University)

**Abstract:** This paper proposes a method to measure the position and posture of robots by cooperation of camera on robots and environment embedded camera. First, the position and posture of Robot A is measured based on observation of Robot A's Top-marks by environment embedded camera. Secondly, the position and posture of Robot B is measured based on observation of Robot A's Side-marks by camera on Robot B.

### 1 はじめに

人間生活環境で作業を行う共生型ロボットは、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。しかし現状では、ロボット単体に搭載されたセンサのみで複雑に変化する環境を把握するのは困難である。そこで我々は環境情報構造化というアプローチを行っている。これは、ロボットではなく環境側に多数のセンサを固定配置して、ロボットを支援しようというものである。我々が進めている「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する [2]。(Fig.1)

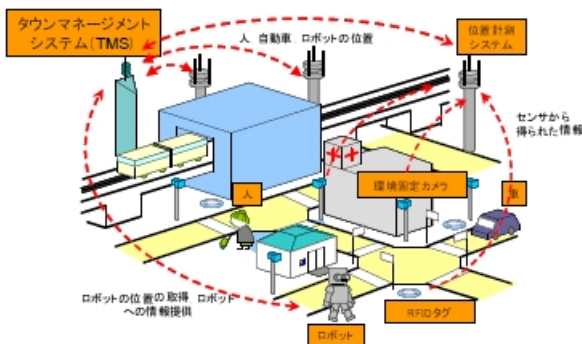


Fig.1 Concept Image of the Robot Town

しかし、固定カメラの計測範囲は狭く、物体による遮蔽も起こる。このため、広域な環境全体に死角なくカメラを配置するのは非常に困難である。一方、通常のロボットはその周囲の局所的環境情報を知るセンサを持っている。そこで、環境固定センサに加え、ロボット搭載センサを併用することにより、より少ないセンサで、より広域の環境を柔軟にカバーすることができるとともに、オクルージョンが発生する領域も軽減できる。このような考えに基づき、本論文では環境固定カメラと複数移動ロボットの協調による位置姿勢計測手法を提案する。

本手法では、まず環境固定カメラによりロボットの位置姿勢を計測する。次に、別のロボットが自機に搭載したカメラで先のロボットを観測し、その既知の位置姿勢情報をもとに、自己位置姿勢を間接的に計測する。これにより、環境固定カメラの視野範囲外に存在するロボットでも、その位置姿勢を得ることができる。

### 2 システム概要

本システムで用いる移動ロボットの外観を Fig.2 に示す。ロボットの最上部には、環境固定カメラによる計測用マーカとして赤

外 LED を設置している。最上部マーカは二等辺三角形に配置し、その形状により姿勢 (=向き) を表す。側面には、他ロボット搭載カメラのための計測用マーカとして再帰性反射材を設置している。側面マーカはロボットの全周囲 (12 面) に配置し、内部には ID を特定可能なようにビットパターンを配列している。

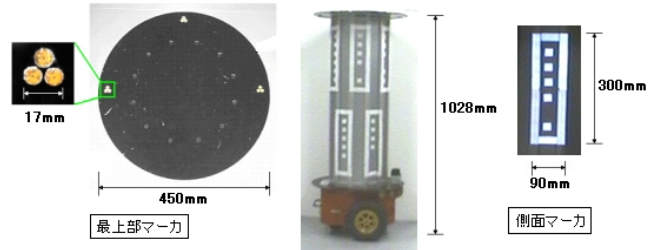


Fig.2 Mobile Robot

本システムは、環境固定カメラとロボット搭載カメラの協調による二段階の位置姿勢計測システムであり、上記の移動ロボット、最上部マーカ計測モジュール、側面マーカ計測モジュール、TMS サーバから構成される。

データの流れを Fig.3 に示す。第一段階として、最上部マーカ計測モジュールにより移動ロボット A の位置姿勢を計測し、TMS サーバに送る。第二段階として、ロボット B に搭載された側面マーカ計測モジュールは、位置姿勢が確定したロボット A の側面マーカを観測し、その ID よりロボット A と特定する。そして、ロボット A の位置姿勢情報を TMS サーバから獲得し、その情報をもとにロボット B の自己位置姿勢を推定する。

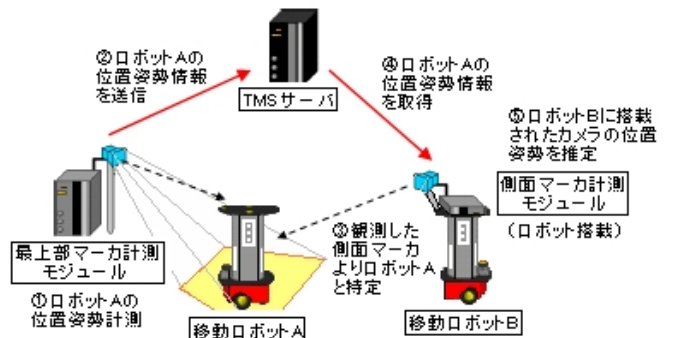


Fig.3 Data Flow in the System

### 3 協調に基づく位置姿勢計測手法

#### 3.1 最上部マーカによる直接的な位置姿勢計測 [3]

あらかじめキャリブレーションを済ませた環境固定カメラにより視野範囲内のロボットの最上部マーカを観測する。マーカには赤外 LED を使用しているため、可視光カットフィルタを通すことで容易に検出できる。得られた画像上のマーカ位置から、マーカの三次元位置が求まり、それをもとにロボットの位置姿勢を決定する。ただし、ロボットは平らな床面上のみを移動するものとし、最上部マーカの高さは既値で一定である。

計測結果を Fig.4 に示す。カメラは (2597, 174, 2289)[mm] の位置に仰角約 35 度で Y 軸正の方向に向けて設置している。は測定点の真値で、+ は計測値を表す。数値は、計測値の誤差ノルムで単位は [mm] である。

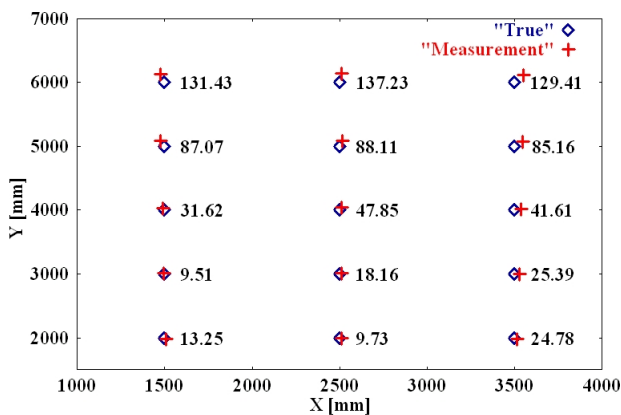


Fig.4 Result of Measurement by Top-Marks

位置誤差は、平均 57mm, 最大 138mm となり、このときの姿勢誤差は、平均 1.3deg, 最大 3.4deg であった。

#### 3.2 側面マーカによる間接的な位置姿勢推定

前節で位置姿勢が確定したロボットに対し、その側面マーカを別の位置不明なロボットが自機に搭載されたカメラで観測する。カメラ付近に設置した LED ライトを点滅させ、その差分画像を取ることによってマーカ領域を検出する。側面マーカの各位置は、既知となったロボット位置から相対的に確定する。このマーカの三次元位置と画像上での位置から、カメラの位置姿勢を非線形最小二乗法により求める。カメラの高さや仰角は既知とし、床と平行な面上での二次元位置 (x,y) と回転角  $\theta$  の 3 つのパラメータのみを推定する。カメラは固定なので、カメラの位置姿勢からロボットの位置姿勢が相対的に定まる。

### 4 精度検証

側面マーカによる位置姿勢計測精度の検証を行った。はじめに側面マーカ計測単体での精度を検証し、その後、最上部マーカ計測との統合した際の計測精度を調べた。

#### 4.1 最上部マーカの計測誤差を考慮しない場合

最上部マーカの計測誤差を考慮しない場合の計測結果を Fig.5 に示す。このとき、側面マーカの位置には実際にメジャーで測定した値を用いる。側面マーカからロボット搭載カメラまでの距離を変えて (x,y,  $\theta$ ) の誤差を比較する。

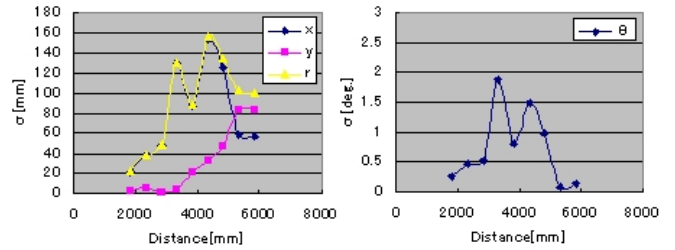


Fig.5 Result of Measurement by Side-Marks

x はカメラの水平方向、y は奥行き方向に一致する。r はそれらを合わせた誤差ノルムであり、距離が大きくなるにつれ増加傾向にあるが、いずれも 160mm 以下に収まっている。姿勢誤差も 2deg 以内である。

#### 4.2 最上部マーカの計測誤差を考慮した場合

Fig.4 の各測定点での誤差数値を与えた際の推定結果を Fig.6 に示す。誤差が 200mm, 5deg 以内の範囲を囲んでいる。この結果より、元の環境固定カメラの視野範囲に対して、本システムの有効範囲が十分に広がっていることが分かる。

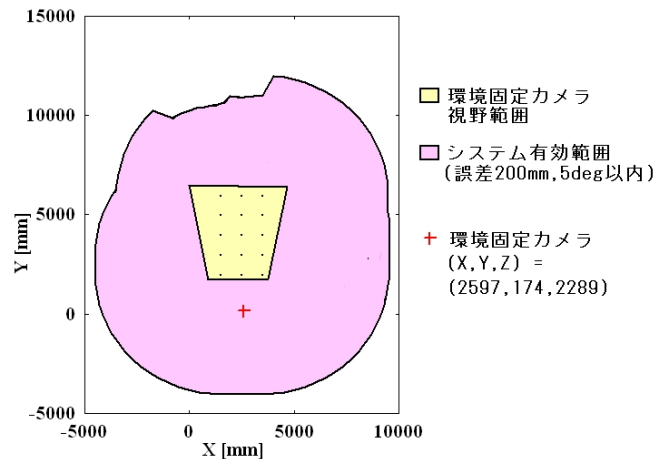


Fig.6 Result of Measurement by Integrating Top-Marks and Side-Marks

### 5 まとめ

環境固定カメラと複数移動ロボットの協調による位置姿勢計測手法を提案した。環境固定カメラの視野範囲外に存在するロボットの位置姿勢計測が可能となり、本手法の有効性を示した。各精度を向上させることで、現在の二段階の協調から多段階への展開が可能になるものと思われる。

### 参考文献

- [1] 長谷川勉, “環境プラットフォーム「ロボットタウン」”, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.5, pp.411-414, 2008.
- [2] 村上剛司ほか, “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, pp.354-359, 2001.
- [4] 土方俊介, 中村和也, 梅田和昇, “赤外 LED を用いた移動ロボットの簡便な屋内自己位置同定システム”, MIRU2007, pp.1570-1575, 2007.
- [5] 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和, “ウェアラブル拡張現実感のための不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 295-304, 2005.