

# マニピュレータを用いたマーカ追従によるキャリブレーションの提案

## Proposal of calibration by marker tracking with a manipulator

○学 猪野又 涼 (弓削商船) , ◎正 前田 弘文 (弓削商船)

Ryo INOMATA, National Institute of Technology, Yuge College,  
1000 Yuge Shimoyuge, Kamijima-cho Ochi-gun, Ehime, 794-2506, Japan  
Hirofumi MAEDA, National Institute of Technology, Yuge College,  
1000 Yuge Shimoyuge, Kamijima-cho Ochi-gun, Ehime, 794-2506, Japan

**Key Words:** Rescue robot, Calibration, Manipulator, Position measuring Cooperative work

### 1. 緒言

我が国における災害探査活動支援用モバイルロボットの研究は、阪神淡路大震災後の調査研究から始まり、2002年の文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」によって大きく発展した<sup>(1)~(4)</sup>。結果、瓦礫内、瓦礫上、上空などから探査するためのロボットの開発、ロボット操作のためのヒューマンインターフェイス、情報網としてのメッシュネット、GISなどを確立した。その後、NEDO「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」が立ち上がり、閉鎖空間内での災害における探査を目的としたモバイルロボットの実用化研究により、Quince, UMRS, KOHGAなど日本を代表する探査ロボットが開発された<sup>(5)~(6)</sup>。

我々はこれらのロボットを用い、消防関係者との実証実験などを通して、災害時に必要となる探査ロボットには「遠隔操縦を基本とした半自律制御系」が最も重要であるという結論に至った。これは災害時における探査で、迅速かつ正確であることに加え、人命が掛かった失敗が許されない過酷な条件下では、環境認識技術等のレベルが低いロボットに全ての判断を委ねることができないことが挙げられる。また一方で、ロボットの全行動判断に対して、人間が全てに介入することは大きな負担になることが挙げられる。さらに災害現場において1台のロボットで探査活動を行うには限界がある。そこで、ロボット群を少数のオペレータにより操作できる探査効率の高いシステム構造へ拡張する必要がある。探査ロボットを群として制御することの利点はこの他にも、ロボット単体の離散的な点としての探査に比べ集団としての戦略的探査が可能なこと、ロボット間メッシュネットが破れにくい隊列を組んでの探査行動が可能であることなどが挙げられる。

しかし、ロボット群を形成するためには、他のロボットとの相対位置を認識する必要があり、これまでの研究ですでにカメラによるマーカ追従型の相対位置計測システムの構築および評価が行われた<sup>(7)~(9)</sup>。ただし前提条件として、事前のカメラキャリブレーションが必要であり、そのままでは時々刻々と環境が変化する災害現場で適用することができない。そこで本研究では、実環境に対応するため、災害現場における半自律再キャリブレーションの実現を目指す。本論文では、半自律再キャリブレーションの一部であるハードウェアキャリブレーションの自動化に必要となる、マニピュレータの逆運動学によるカメラ前へのマーカ位置補正について、手法およびシミュレーション検証の結果を示す。

### 2. レスキューロボットと共通マニピュレータ

#### 2. 1 災害現場の環境

災害現場において、災害の規模や内容、時間帯などによって時々刻々と環境は変化していく。また、環境の変化によってモバイルロボット群の行動自体も臨機応変に対応する必要があり、時にはモバイルロボットの指揮権を受託することもある。さらにこれらの環境の変化によって、モバイルロボットのソフトウェア自体も逐次変化させる必要が生じる。

#### 2. 1. 1 群行動のための指揮権受託

モバイルロボット群が探査ポイントまで移動する際、個々のロボットを個別に操作することは操縦者にとって大きな負担となる。そこで、隊長機に操縦権限を譲渡することで、隊長機1台の操縦によって探査ポイントまでスムーズに移動を行える。また、状況によってはモバイルロボット群を2つ、もしくはそれ以上に分隊し、探索範囲を広げるなどの場合も考えられる。そのような場合は新たに分隊長機を設け、指揮権を受託する必要がある。

#### 2. 1. 2 協調作業のための操縦権受託

災害現場の状況によっては、瓦礫や危険物の撤去など2台以上のモバイルロボットで協調作業を行う場合がある。このようなとき、オプションのマニピュレータなどを使用して作業する必要がある。例えば、2台のモバイルロボットに搭載されているマニピュレータを1人のオペレータがどちらも操縦することが可能であれば、短時間でスムーズに作業を行うことができる場合も多々存在する。また、1台のモバイルロボットからは見えないカメラの死角も別のモバイルロボットからのカメラ映像を共有することで把握することが可能である。

#### 2. 1. 3 オプションの変更

災害現場の状況によっては、モバイルロボットに搭載するオプションを変える必要がある。例えば、災害現場にガスが発生している場合はガスの成分を検知するセンサを搭載し、瓦礫が多い災害現場で救助者を探す場合にはマニピュレータを搭載する必要がある。また、マニピュレータ1つを取り上げた場合においても、先端のエンドエフェクタを状況に応じて変更する場合が考えられる。

### 2. 2 対象のレスキューロボット

現時点で共通マニピュレータの対象となるレスキューロボットは、UMRS-2009, UMRS-2010, KOHGA3, FRIGOの

4種類である。我々が取り扱うレスキューロボットは、本体を動かすためのクローラと段差や瓦礫などを乗り越えるための足がかりとなるフリッパから構成される。このクローラとフリッパに取り付けられているベルトを回すことで前進や後進、旋回などの動作を行うことができる。

### 2.3 共通マニピュレータ

マニピュレータは、災害現場でレスキューロボットのオプションとして搭載し、遠隔操縦によって操作される。そのためリンク機構としては、人間の代替作業が容易で、設置面積に対して可動範囲が広く、スピードが出せる一般的な産業用ロボットと同じ6軸垂直多関節型を採用した。また、各マニピュレータの指揮権を相手に受託することでスムーズに協調作業が行えることを前提としている。さらに将来的には、エンドエフェクタをアタッチメントとして、災害現場の規模や状況などによって即座に付け替え、環境に対応する予定である。

### 3. 相対位置計測

ロボット群を形成するために必要な相対位置計測システムは、小型のレスキューロボットに搭載することから、できるだけ小型・コンパクトかつ軽量であること、またその計算処理負荷もできるだけ軽いことが求められる。通常ロボットには操縦者が遠隔操作するとき、ロボットの周囲の環境をモニタするためのカメラが搭載されている。このモニタ用カメラを相対位置計測用に用いることでスペース的、またシステムのコンパクトになっている。このシステムの計測にはARToolkitを用いており、各ロボットの上部に設置した立方体の側面(4面)にマーカを貼り付け、それをカメラで認識することでロボットの3次元位置を計測する。また、マーカはARマーカを用いているためIDを取得することができ、そのIDから各ロボットの機体番号、ロボットの向き、姿勢を検知することができる。このシステムにより群行動の際、ロボットの相対位置を計測することで、追従行動を可能とすることができる。

### 4. 手法の提案とその検証

3章では相対位置計測について述べたが、このシステムを災害現場の実環境に対応させるためには事前に以下の3つのキャリブレーションを行う必要がある。

- ①カメラキャリブレーション
- ②ソフトウェアの再帰的補正
- ③ハードウェアの組み付けおよび加工誤差のキャリブレーション(図1)

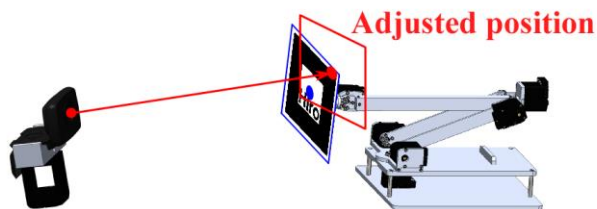


Fig. 1 Machining error of hardware

今回は、③の一部自動化に必要となるカメラの真下の目標位置へ基準ARマーカ(エンドエフェクタに取り付けられたキャリブレーションに使用するマーカ)の姿勢を考慮しつつ、移動させる手法について述べる。

カメラの真下の目標位置の算出には、仮想9軸のマニピュレータ(マニピュレータ+カメラから見た基準ARマーカの3次元座標)として順運動学を用いる。また、基準ARマーカをカメラの真下の目標位置へ移動させるために、カメラの真下の目標位置に対するマニピュレータの逆運動学を解き、各関節目標値を算出、追従させる(図2)。



Fig. 2 Tracking by manipulator

### 5. 結言

今回は災害現場におけるロボットの群行動においてARマーカを使った相対位置座標の計測方法について述べた。またその際、必要となるキャリブレーションの新たな手法についても、検証結果と共に述べた。今後は検証結果をもとにマニピュレータに実装し、自動化を行っていく予定である。

### 謝辞

本研究はJSPS科研費JP25282108の助成を受けたものである。

### 文献

- (1) 田所 諭, “文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト:ロボット等次世代防災基盤技術の開発”, 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.5(2005), pp.541~543.
- (2) 国際レスキューシステム研究機構, “レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発 H14~17 報告書”, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト, (2003-2006).
- (3) 文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト, “レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発”, 総括成果報告書, (2007).
- (4) 横小路 泰義, “レスキューロボットの操縦インタフェース-大大特「ヒューマンインタフェースグループ」の研究紹介-, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.5(2004), pp.566-569.
- (5) 佐藤 徳孝, 松野 文俊, “レスキューロボット遠隔操縦インタフェース技術”, 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.2(2010), pp.156-159.
- (6) 大野 和則, 城間 直司, “レスキューロボットの遠隔操縦支援技術”, 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.2(2010), pp.160-163.
- (7) 小林 滋, 黒住 亮太, 前田 弘文, 高森 年, 辻井 祐, “単眼カメラ画像による群ロボット相対位置計測”, 第15回システムインテグレーション部門講演会(SI2014)
- (8) 黒住 亮太, 前田 弘文, 小林 滋, 大坪 義一, 高森 年, “UMRS2010を用いた群制御のための追尾システムの検証”, 第15回システムインテグレーション部門講演会(SI2014)
- (9) 小林 滋, 前田 弘文, 黒住 亮太, 高森 年, “ロボット認識トラッキングと相対位置計測システムの開発”, 第16回システムインテグレーション部門講演会(SI2015)