

## K-040 マルチカメラ画像を用いた移動ロボット用インターフェースの構築 Mobile Robot Interface Using Multiple Camera Images

松本高斉<sup>†</sup>  
Kohsei Matsumoto

太田順<sup>‡</sup>  
Jun Ota

新井民夫<sup>‡</sup>  
Tamio Arai

### 1. 序論

環境中に複数のカメラを配置することで大域的な環境情報の獲得や観測時のオクルージョン回避し、移動ロボットの動作を支援するシステムが提案されている [1]. 従来提案されてきたシステムがカメラとロボットを特定の環境に予め配置することで構成されるのに対し、著者らは作業が必要な時に、作業を行う環境にカメラを配置することで構成されるシステムを提案してきた [2]. ロボットシステムが未知環境に構築される場合、システムが実環境にて自律的かつ効率的に作業を行うことは極めて困難である。これを踏まえ、本研究では人間が環境を認識し、ロボットを操作する立場をとり、移動ロボットと複数のカメラから構成されるシステムを操作するためのインターフェースの構築を研究目的とする。

### 2. ロボットシステムの構成

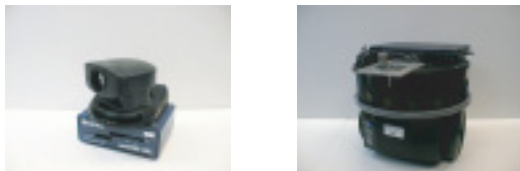


図 1: カメラモジュール 図 2: 車輪型移動ロボット

システムを構成するカメラモジュールと移動ロボットをそれぞれ図 1 と図 2 に示す。このカメラとロボットを環境中に配置することで図 3 に示すようなシステムを構築する。インターフェイスは PDA もしくはノート PC 上に動作する GUI として実装され、操作者はインターフェイスに表示される各カメラの画像を確認しながら、移動ロボットの誘導を行う。

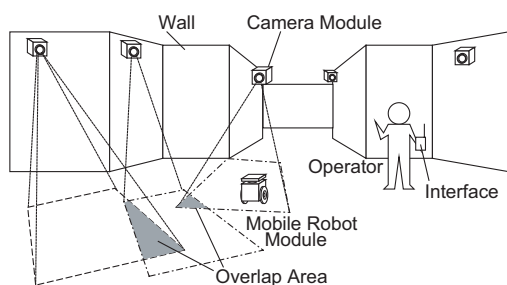


図 3: ロボットシステムの構成

### 3. マルチカメラ画像によるインターフェイス

本ロボットシステムにおける操作の特徴は操作者がインターフェイスに表示される複数のカメラ画像を見ながらロボットを操作する点にある。このとき、操作者は各カメラの画像から、実環境における各カメラの観測範囲の位置関係を認識し、各観測範囲からなる作業領域全体を

推定しながら操作を行っていると考えられる。この場合、1) 作業領域の拡大に伴ってカメラの台数が増加した場合や 2) 各カメラの観測範囲に各観測範囲間の位置関係の認識を補助するような特徴が乏しい場合、操作者による作業領域全体の把握は困難となる。以上を踏まえ、各カメラの観測範囲の実環境における空間的な連続性を操作者に提示することで、操作者による作業領域の認識を支援する手法を提案する。

従来研究では、複数の移動ロボットのカメラ画像より 3 次元の地図を構築する手法などが提案されており、その有効性が確認されている [3]. しかし、本システムのカメラは固定されており、3 次元の地図の構築に十分な画像が得られない。また、操作者の直感的な操作の実現を 3 次元の地図を構築に要する計算コストを抑えつつ実現する観点から、実画像上に各観測範囲の位置関係を示す情報を提示することで操作者による作業領域の認識を支援するものとした。具体的にはオーバーラップとラフルートと呼ばれる情報の実画像上への提示を行う。それぞれについて以下に説明する。

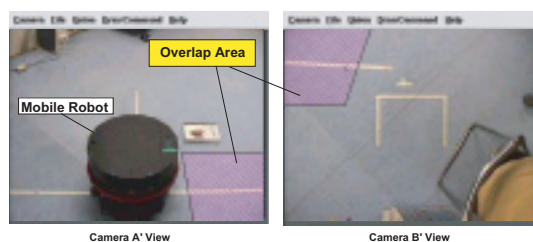


図 4: オーバーラップエリアの表示

図 4 にオーバーラップエリアの表示例を示す。オーバーラップエリアとは各カメラの観測範囲間の共通領域を示しており、実画像上に色付の矩形領域として示される。この共通領域を示すことにより各観測範囲間の実環境での連続性を示し、操作者による作業領域全体の把握を支援する。例えば図中の移動ロボットを隣り合うカメラの観測範囲に誘導する場合、オーバーラップエリアに誘導することで観測範囲間の移動が可能となる。以上より、操作者が広い観測範囲を把握し、作業することが可能となる。

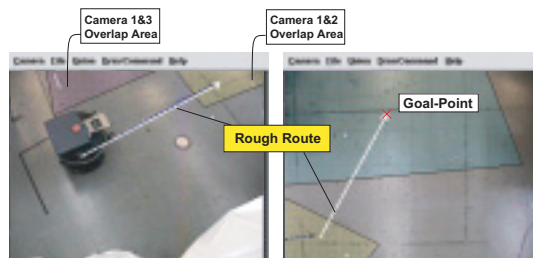


図 5: ラフルートの表示

図 5 にラフルートの表示例を示す。ラフルートはロボットの現在地から目的地までの経路を示している。これは

<sup>†</sup> 日立製作所

<sup>‡</sup> 東京大学工学系研究科精密機械工学専攻

複数のオーバーラップエリアが画面上にある際に、操作者が迷わずオーバーラップエリアを選択し、目的地までロボットを誘導するための指針として用いられる。ラフルートは各オーバーラップエリアの図心をノードとするグラフでの経路探索によって求められる。ここではダイクストラ法により求めた最短経路を図中の矢印により表している。これにより、オーバーラップエリア同士の間接関係が不明な場合にロボットを目的地まで誘導する際にも効率的な操作が可能となる。

以上の手法により、各カメラの観測範囲の実環境における関係を示し、操作者によるロボットの誘導を支援する。なお、ロボットの移動の指示については、環境の特徴を画面上に描画することによりロボットを操作する手法を提案しているので参考にされたい [2]。

#### 4. インターフェイスの評価実験

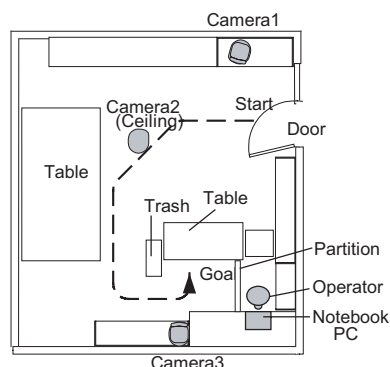


図 6: 実験環境

提案したインターフェイスを被験者による実験にもとづくアンケートにより評価する。図6に実験環境を示す。3台のカメラが、各観測範囲が部分的に重なるように配置されている。被験者は各カメラの画像を見ながら移動ロボットを目的地まで誘導する。この際、被験者にはオーバーラップエリアとラフルートの 1) 表示がない場合と 2) 表示がある場合について実験を行ってもらい、インターフェイスへの印象に関するアンケートに回答してもらった。アンケートは心理学分野において用いられるSD法 [4] に則って作成した。また、アンケート項目の有意性の検証には Mann-Whitney の U 検定を用いた。なお、被験者は 10 名であり、検定における有意水準を 5% とした。

表 1: 平均操作時間

オーバーラップエリアとラフルートの表示なし	193.1 [sec]
オーバーラップエリアとラフルートの表示あり	136.3 [sec]

表 2: ロボットの稼働率

オーバーラップエリアとラフルートの表示なし	31.9 [%]
オーバーラップエリアとラフルートの表示あり	37.4 [%]

アンケート項目は A) 作業の達成が容易か否か? B) 作業領域の認識が容易か否か? C) 作業の達成が効率的か否か? D) 操作の安全性が高いか否か? とした。

図7に実験の様子を示す。操作者がラフルートを参照しながらロボットを×印で示される目的地まで誘導する

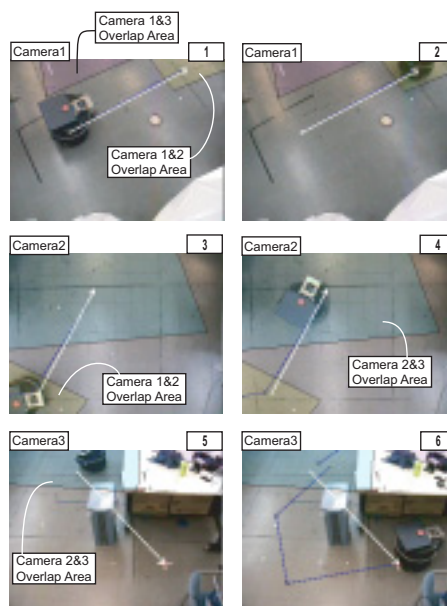


図 7: インターフェイスによるロボットの誘導の様子

様子を示している。実験後、アンケート結果を検定し、A ~ D の全てについて提案手法が有効であるとする有意差を確認できた。

また、定量的評価のため実験時の操作時間の計測した。表1に各実験における操作時間の平均値を示す。オーバーラップエリアとラフルートの表示がある場合の方が、表示がない場合に比べて、操作時間が短いことが示されている。また、表2に全体の操作時間に対してロボットが稼働していた時間の割合を稼働率と定義して示す。提案手法が他方に比べて、ロボットの稼働率が高く、状況認識や動作決定の時間が短くなっていることがわかる。以上より定性的かつ定量的に本手法が有効であることが示された。

#### 5. 結論

本稿ではロボットの誘導を目的として、マルチカメラの画像間関係と誘導経路の実画像上への表示により効率的な操作を行うためのインターフェイスを提案した。また、提案したインターフェイスの有効性を実験により示した。

#### 参考文献

- [1] Byoung-Ju Lee, et al, "New architecture for mobile robots in home network environment using Jini", *Proc. of the 1998 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.471-476, 2001.
- [2] K.Matsumoto, et al, "Interface Design and Implementation for Mono-functional Modular Robots", *Proc. of the 2002 IEEE/RSJ Int. Conf. on Robots and Systems*, pp.3018-3023, 2002.
- [3] A.Nakamura, et al, "Human-Supervised Multiple Mobile Robot System", *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol.18, No.5, pp.728-743, 2002.
- [4] J.G. Snider, et al, "Semantic differential technique: a sourcebook", Aldine Publishing Corporation, 1969.