

共有仮想環境を用いた人間と複数台移動ロボットの 意志共有システムの開発

— 自己位置不確実性を考慮した仮想センサの提供について —

小坂 賢範 (岡山大学) 永谷 圭司 (岡山大学) 五福 明夫 (岡山大学)

Multiple Autonomous Robots and Human Cooperation System Using Shared Space — Virtual Sensor System Considered of Positioning Error —

*Masanori Kosaka (University of okayama), Keiji Nagatani (University of okayama), Akio Gofuku (University of okayama)

Abstract— Recently, corporation between human and multiple autonomous robots becomes important. However, robot's intelligence is not enough to make decision of what to do because of lack of sensing ability. So we provide a shared virtual space to acquire information and make decision. Thus robot can take virtual sensor information from virtual space.

Key Words: corporation , robot's intelligence , Virtual sensor

1. はじめに

現在, 一般家庭などの人間が活動する領域へのロボットの進出にともない, 人間とロボットの共存に関する研究が重要となってきた。人間とロボットが共存する環境では, 複数台ロボットの高度な知能化が必要不可欠であるが, 現在そのような高度な知能化を有するロボットは実現されていない。この実現が困難な背景として, ロボットの周囲の状況認識を正確に行うために必要なセンシング能力や情報処理能力に, ロボット毎の格差があることが考えられる。複数台ロボットの高度な知能化を実現するためには, この格差の是正が必要である。各ロボットに実装可能なセンサには限りがあるので, 不足する情報は, 環境内に存在する他のロボットや人間との情報伝達によって獲得することが望ましい。そこで, これらのことを踏まえて, 人間と複数台ロボットの共存環境における情報伝達の研究を行うこととした。

本稿では, 人間と複数台ロボットの共存環境における情報伝達の問題についての考察を, 第2章で行う。この考察では, 人間と複数台ロボットの情報伝達を媒介する共有仮想空間の導入を提案する。その後, 具体的な仮想空間の構築手法 (第3章), ロボットが持つ情報の仮想空間への投影 (第3章), 仮想空間からロボットへの情報の提供 (第4章) について説明し, 共有仮想空間の有効性を明らかにしていく。

2. 人間とロボットの共存環境における情報伝達の問題

人間とロボットの共存環境における情報伝達の問題点を以下で分析する。ただし, 以下の分析では, 人間同士の情報伝達については考察対象外としている。

(1) ロボットから人間への情報伝達

ロボットが複数台存在するとき, 各ロボットに実装されているセンサやアクチュエータは, 性質, 性能が異なる場合が多い。そのため, 各ロボットの情報空間は, ロボット毎に固有の情報空間となる。このロボット毎に異なる特性を個々に人間が理解することは, ロボットの台数が増えるほど困難になる。この問題を解決するためには, ロボット毎の特性を吸収し, 人間が理解し易い形で出力することのできるインターフェースが必要となる。

(2) 人間からロボットへの情報伝達

ロボットは, 限られた数のセンサ情報しか持たないため, 人間がロボットに対して明示的, 非明示的に与える情報を, すべてのロボットが, 同様に理解することは困難である。この問題を解決するためには, 人間から与えられた情報に対する正確な理解を, 各ロボット間で共有する枠組が必要となる。

(3) ロボット間の情報伝達

1台のロボットは, 限られた数のセンサ情報しか持たないため, 環境内に複数のロボットが存在する場合は, ロボット間通信でセンサ情報を補い合うことが望ましい。このロボット間通信で問題となるのは, 各ロボットが持つ情報の信頼性である。ロボットの位置情報を例に挙げると, ロボットが自己位置を推定によって獲得する場合, 推定位置と実際の位置に誤差が生じる可能性がある。この推定自己位置の誤差が大きくなると, 環境などとの衝突が起こる危険性が高くなる。このように, 位置情報の信頼性が低くなると, その位置で取得したセンサ情報の信頼度も下がることとなる。この問題を解決するためには, 各ロボットが持っている情報の信頼性を客観的に判定し, 信頼性の高い情報を各ロボットに提供する枠組が必要となる。

以上3つの問題を解決するために, 本研究では人間およびロボット間の情報伝達の媒介役として, 仮想環

境を用いた各種情報の統合を提案する。

(1)の問題解決に必要なインターフェイスは、仮想空間上に蓄積された複数台ロボットの位置姿勢、行動予定等の情報を再構築することで、提供可能である。(2)の問題では、人間の行動予定やロボットに対する要求を、直接仮想空間に提供し、ここから各ロボットが必要とする情報を抽出することで、人間の意志を正確にロボットに伝えることが可能となる。(3)の問題では、ロボット間の情報伝達を仮想空間を介して行うことで、情報を一元化し、より信頼性の高い情報に再構成することが可能となる。この信頼度の高い情報から、各ロボットが必要とする情報を抽出し、仮想センサとして各ロボットに提供することも可能となる。

3. 仮想環境の構築

3.1 仮想環境の設計

人間とロボットの共存環境のモデルケースとして、岡山大学総合研究科棟5階504室(Fig.1)を例に挙げ、仮想環境の構築を行う。

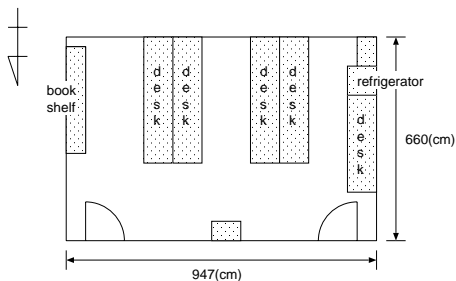


Fig.1 Target environment

仮想環境の状態を表現するために、対象とする環境を1辺5cmのグリッドに分割する。このグリッドマップの各セルの状態は、距離センサ等によって現実の環境の観測が行われたときに変化する。本稿では、この現実環境の観測を、北陽電機社製の「測距式障害物検出センサ PB9-11」(以下、PB9)により行うこととする。PB9は、環境に埋め込んだもの(Fig.2)と、ロボットに実装したもの(Fig.3)の、2種類を使用する。PB9は、LED光線により半円状のフィールドを91ステップ(162°)でスキャンし、エリア内の障害物までの距離を計測することができる。

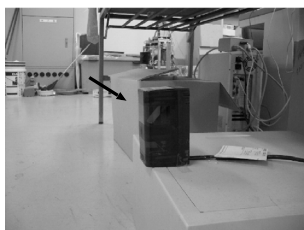


Fig.2 Fixed PB9 on target environment

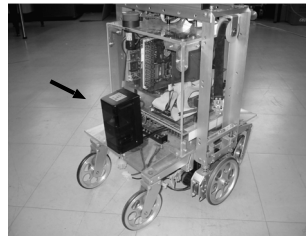


Fig.3 Equipped PB9 on robot

グリッドマップの各セルの値は、観測によってそのセル内に障害物が存在すると認識された場合は1、そのセル内がフリースペースであると認識された場合は

0とする。各セルは、現在の状態を保持しておくことのできる時間が設定されており、センシングによってそのセルの状態の更新が行われない場合、一定時間が経過すると、そのセルは未知領域として扱われる。これは、実際の環境が動的であることを考慮したものであり、設定される時間は、環境の変化するスピードを考慮し、ヒューリスティックに決めるものとする。仮想環境のモニタリング画面では、状態が1のときを赤、0のときを白とした。さらに、それぞれの状態を保持できる時間の長さを、色の濃淡で表現した。

3.2 ロボットの自己位置不確実性の表現

本研究室のロボットは、オドメトリを用いた自己位置推定を行っている。このオドメトリによる推定位置は、タイヤの滑りや推定に用いるパラメータの誤差などにより、実際の位置、姿勢との間に誤差が生じる。本研究グループでは、この推定位置誤差を、モンテカルロ法を用いた手法で表現した[1][2][3]。

仮想環境では、ロボットの推定自己位置の情報を元に、モンテカルロ法を用いた手法で自己位置の不確実性を表示している。現実の環境でロボットが走行する際、仮想環境では車輪径とトレッドに正規分布の誤差を持たせたロボットモデルの走行シミュレーションを複数回実行し、ロボットの自己位置の候補となる可能性がある点(以降、候補点)の更新を行う。Fig.4は、ある条件の下で、移動ロボットにL字の走行経路を走行させ、一定時間毎に候補点の位置を画面上にプロットしたものである。なお、ここでの候補点の数は1000点である。Fig.4の実験も含め、本稿で行っているすべての実験は、本研究室で開発を行った動作プログラムシミュレータ[3]上で仮想的なロボットを動作させることで推定自己位置の情報やセンサ情報の獲得を行っており、まだ実機での検証は行われていないことを注記しておく。

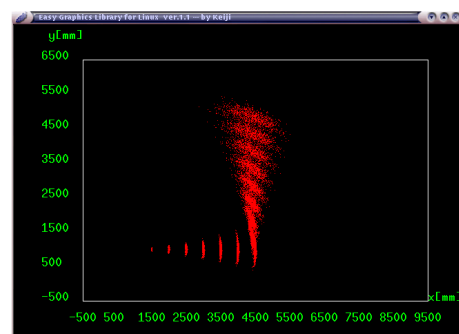


Fig.4 Error expression using Monte Carlo method

ロボットの自己位置の不確実性が大きくなると、ロボットの自己推定位置を信頼し、センサ情報を仮想環境にマッピングした際に、現実の状態と仮想環境の状態との誤差が大きくなる恐れがある。そこで、本研究では、ロボットの自己位置候補点を用いた、仮想空間へのセンサ情報のマッピングを行うこととした。

各候補点は、同確率で自己位置の候補点であるとの前提のもと、各候補点の位置、姿勢にロボットが存在した場合の、センサ情報のマッピングを行う。1回毎のマッピングの結果を記録しておき、マッピングをすべ

での候補点について行った後、各セルの状態を評価する。多くの候補点で、同じ状態であったセルは、その状態である可能性が高いと評価され、セルがその状態を保持できる時間が長くなる。

3.3 センサ情報のマッピングシミュレーション

この自己位置不確実性を用いた、センサ情報のマッピング手法を、仮想環境に実装した。この仮想環境に対して、誤差を持たせた動作シミュレーションを行い、仮想環境にセンサ情報のマッピングを行った。

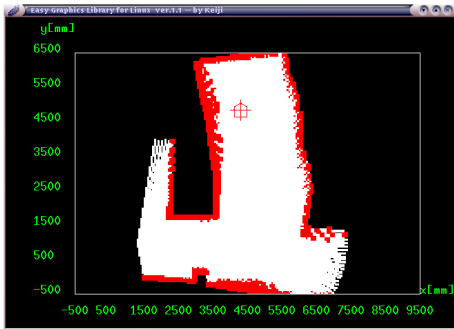


Fig.5 Virtual space status 1 (general mapping method)

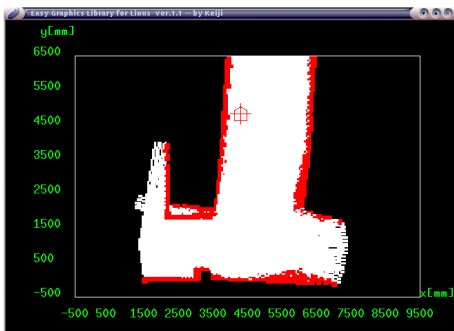


Fig.6 Virtual space status 2 (general mapping method)

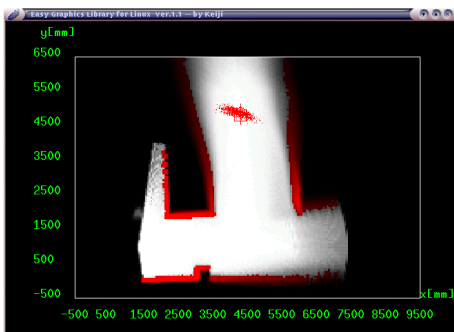


Fig.7 Virtual space status 3 (proposed mapping method)

ロボットの推定位置を信頼してマッピングを行った場合は、Fig.5, Fig.6 のようになる。Fig.5, Fig.6 では、終点での位置誤差の違いにより、現実には同一の環境であるにもかかわらず、仮想環境におけるフリースペースの状態が大きく異なるのが確認できる。一方、提案手法を用いたマッピングを行った場合は、Fig.7, Fig.8 のようになる。Fig.5, Fig.6 が 1 個の候補点のみを信

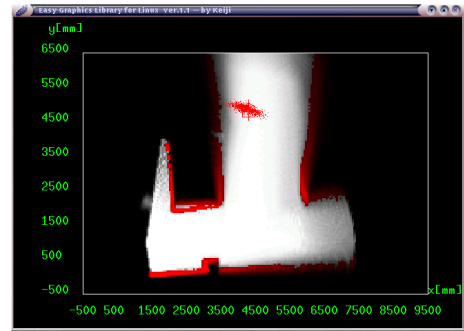


Fig.8 Virtual space status 4 (proposed mapping method)

用したマッピングであるのに対して、Fig.7, Fig.8 は 1000 点の候補点を等しく信用したマッピングである。信用した候補点は、Fig.7, Fig.8 の上方に小さな赤い点の集合として確認することができる。提案手法は、ロボットの推定位置を信頼してマッピングを行う一般的な手法と比較し、フリースペース領域が狭くなっていることが確認できる。しかし、提案手法のフリースペース領域の歪みは、一般的なマッピングと比較し、小さくなっている。このことから、提案手法は位置誤差に対してロバストなマッピング手法であると言える。正確なフリースペース領域を得ることは、第 6 章で述べる仮想センサ情報の構築の際に有効となる。

4. 仮想センサ情報の構築

ロボットが正確な環境情報を得るためには、多くのセンサが必要である。しかし、1 台のロボットに搭載できるセンサ数には限りがあり、すべてのロボットに十分な数のセンサを搭載できるとは限らない。

この問題に対して、Choset らのグループは、複数台のロボットのセンサ情報から仮想センサ情報を構築し、複数台のロボットチームの動作計画に利用した [4]。これに対し、本研究グループでは、前章で提案した仮想環境を利用し、ロボットに環境情報を与える仮想センサを提供することとした。

仮想センサは、動作プログラムの作成を行いやすいよう、既存の PB9 をモデル化した形で提供することとした。この仮想 PB9 は、前章のマッピングによって得られた仮想環境から構築する。具体的には、ロボットから周囲の障害物または未知環境と見なされるセルまでの距離を仮想環境内で計算し、計算結果をロボットに提供する。ただし、状態がフリースペースであっても、セルがその状態を保持できる時間がほとんど残っていない場合、そのセルは障害物として扱われる。

この仮想センサを提供するためには、十分に広い領域がフリースペースの状態となっている必要がある。前章の位置誤差を考慮したマッピング手法では、ロボットの位置誤差の増大に伴い、フリースペース領域が狭くなるという特徴があった。さらに、距離センサで他のロボットの周囲の情報を獲得しようとする場合、他のロボットが回り込んで情報を集めるという手間が必要となる。

そこで、ロボットに搭載されている PB9 とは別に、対象とする環境中の、比較的人やロボットの通行頻度が高

い場所に、固定のPB9を設置することとした (Fig.2) . この固定PB9からのセンサ情報は、位置誤差のないセンサ情報として仮想環境中にマッピングを行うことができる。この環境埋め込み型センサからの情報と、ロボットからの情報を融合することで、比較的安定した広さの freespace 領域が確保できることが期待できる。

仮想環境の例を、Fig.9に示す。Fig.9下部 (A地点周囲) の freespace 領域は、固定PB9とロボットに搭載されているPB9の両方でセンシングを行った領域であり、上部 (B地点周囲) の freespace 領域は、ロボットに搭載されているPB9単独のセンシングを行った領域である。この仮想環境中のA地点にいるロボットの仮想センサ情報は Fig.10のように、またB地点にロボットがいた場合の仮想センサ情報は Fig.11に示すように表現される。

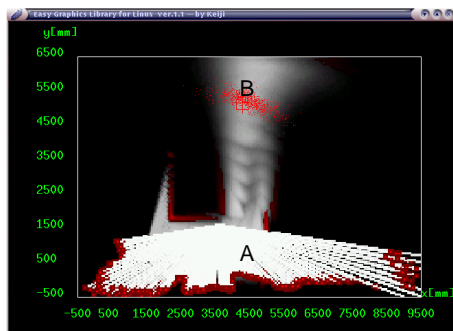


Fig.9 Virtual space status

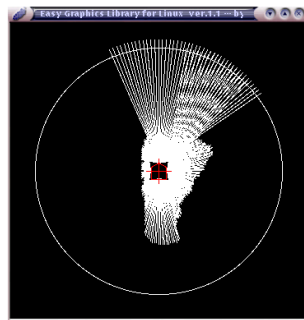
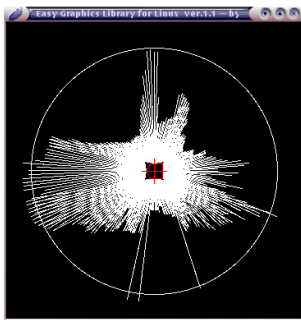


Fig.10 Virtual sensor at A Fig.11 Virtual sensor at B

以上に示す通り、仮想環境を用いることで、各ロボットが持つ情報を仮想センサという形で、どのロボットも利用可能な情報に再構築することができた。本稿で行った実験は、ロボットの動作シミュレータを用いた仮想的なものであったが、今後実機での検証を行っていく予定である。

5. まとめと今後の展開

人間とロボットの共存する環境では、人間からロボット、ロボットから人間、ロボット間の情報伝達の問題が存在する。本稿では、これらの問題の中でも特にロボット間の情報伝達の問題に注目し、仮想空間を用いてこの問題の解決に取り組んだ。具体的には、ロボットが持つ情報を、自己位置不確か性を考慮して仮想環境へマッピングを行う手法を提案した。この手法を用

いることで、位置誤差に対してロバストなマッピングが行えるようになった。また、仮想環境を用いて仮想距離センサ情報の構築を行うことで、距離センサを持たないロボットに、環境情報を与えることができることが確認された。残る問題は、ロボットから人間へ情報伝達を行う場合の問題と、人間からロボットへ情報伝達を行う場合の2つである。今後は、残り2つの問題についても仮想環境を用いたアプローチを行い、共有仮想環境を用いた人間と複数台移動ロボットの意志共有システムを実現したいと考えている。

参考文献

- [1] Masahiro Irie, Keiji Nagatani, Akio Gofuku: Path Evaluation for a Mobile Robot Based on a Risk of Collision, IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, (2003)
- [2] Dieter Fox, Wolfram Burgard, Frank Dellaert, Sebastian Thrun: Monte Carlo Localization: Efficient Position Estimation for Mobile Robots, in Proc. of the Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-99), Orlando, Florida, (1999)
- [3] 小坂賢範, 永谷圭司, 五福明夫: 自律移動ロボットシミュレータの動作プログラム開発支援機能の拡張, 第21回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (2003)
- [4] Robert Grabowski, Pradeep Khosla and Howie Choset: Development and Deployment of a Line of Sight Virtual Sensor for Heterogeneous Teams, Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, New Orleans, (2004)