

情報構造化空間を拡張する群ロボットシステムの開発

○渡邊裕太(九州大学) 重兼聡夫(九州大学) 河村晃宏(九州大学) 倉爪亮(九州大学)

1. はじめに

近年、介護現場での人手不足の問題が深刻化しており、サービスロボットへの期待が高まっている。しかし、サービスロボットの作業環境は多様で動的に変化し、サービスに必要とされる環境情報の情報は膨大となる。そこで我々はロボット単体に環境情報取得のための機能を集約するのではなく、環境側に多数のセンサを分散配置し、設置したセンサから環境情報を取得する、情報構造化アーキテクチャROS-TMS[1]を開発している。取得した環境情報はデータベースに全て登録され、これを複数体のロボットが共有し異なるサービスで共通して利用することで、多くのロボットが多様なサービスに従事できる(図1)。

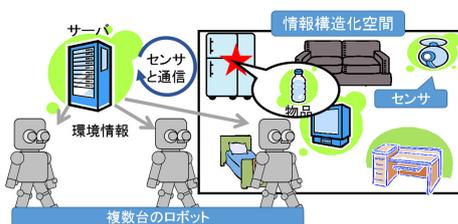


図1 情報構造化空間

また、介護施設での利用を想定し、18台の光学式トラッカ(Vicon_MX)やRGB-Dカメラ(Kinect for Xbox One)、レーザレンジファインダ(URG-04LX-UG01)、RFIDタグリーダなどの分散センサシステムと、ヒューマノイドロボット(SmartPAL V)や車輪型サービスロボット(KXP)からなる情報構造化環境Big Sensor Box(B-sen)を開発した(図2)。



図2 Big Sensor Box

しかし、我々の生活環境すべてが最初から環境構造化されているわけではない。上述したBig Sensor Boxも、空間外に出てしまうと、センサが設置されていない非情報構造化空間が広がり(図3)、それに対しセンサを新たに設置するのは手間やコストが大きいことが問題であった。

我々はこの問題に対し、これまでに多様なセンサを搭載した小型軽量の複合センサ端末(ポータブル)を開発した[2]。このポータブルをセンサの設置されていない非情報構造化空間に置くことで、移動体などポータブル周囲の情報を取得でき、簡易的な情報構造化環境が構築できる。さらに、このポータブルに移動台車

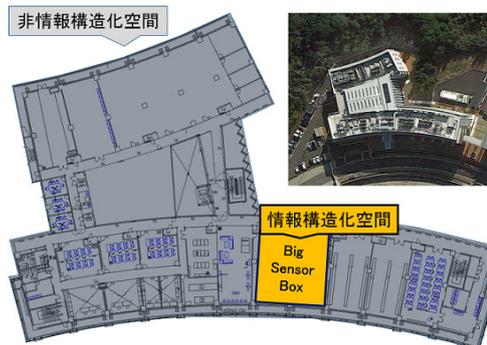


図3 非情報構造化空間

を取り付け、SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)の手法を用いて自律移動できる「ポータブルGO」を開発した。これにより、まず複数のポータブルGOが構造化された空間から非情報構造化空間に移動し、搭載したセンサにより情報取得を行うことで、非情報構造化空間内に情報構造化空間を拡張できる。

ポータブルを用いたサービスロボットの補助には、サービスロボットがポータブルと密に連携して作業を行う直接的な補助と、ポータブルが周囲環境を監視しデータを収集する間接的な補助がある。それぞれ、異種のロボット同士が互いに連携して生活支援を行うシステム[3]や環境の監視を行うシステム[4][5]は既にあるが、介護現場で適用するとロボットのサイズが大きく介護動作に支障があったり[5]、動的障害物の多い介護現場ではロボットの最適配置[4]ができない問題がある。そこで我々は介護現場での移動支援サービスに着目し、ポータブルGOを用いた車いすのナビゲーションシステムの開発を行った。

2. 車いすロボットのナビゲーションシステム

2.1 システム概要

上述したポータブルを非情報構造化空間上に分散配置することで情報構造化空間を拡張する。ポータブルにはレーザレンジファインダが搭載され、人流の計測と車いすロボットの位置同定が可能である。これにより、車いすロボットは人や環境と衝突せず、安全に移動することができる。

2.2 システム詳細

ナビゲーションシステムに用いるハードウェアとアプリケーションを紹介する。

2.2.1 小型軽量の複合センサ端末“ポータブル”

開発したポータブルは人やロボットが手軽に設置、撤去ができるよう、小型の筐体に多様なセンサや電源、小型PC、無線LANを内蔵したものである。全体図を図4に示す。また周囲の距離データを取得できるレーザレ

ンジファインダと小型 PC, 無線 LAN のみを搭載したポータブル簡易版も開発した. サイズはそれぞれポータブルが横 65mm x 縦 120mm x 高さ 155mm, ポータブル簡易版が横 52mm x 縦 90mm x 高さ 90mm である.

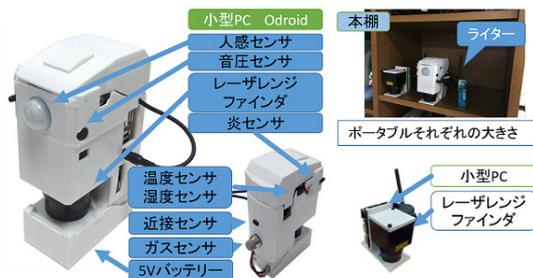


図4 ポータブル, ポータブル簡易版

2.2.2 ポータブル GO

移動台車を取り付けた自律移動ポータブル (ポータブル GO) を開発した (図 5). 移動台車のタイヤにはオムニタイヤを採用し, 全方向移動ができるようにした. また, レーザ反射光強度を取得できるレーザーレンジファインダ (UST-10LX) を搭載し, さらに電源と PC の高性能化も行った. ポータブル GO は全部で 10 台開発した.



図5 ポータブル GO

2.2.3 レーザレンジファインダによる車いすロボットの追跡

被介護者の見守り及び移動支援を行う車いすロボットを開発した [6] (図 6). この車いすロボットは移動支援と生体データの取得を同時に行い, 日常的な動作の中で被介護者の見守りを行うことができる. しかし, このシステムでは障害物位置や自己位置推定を環境内の設置したセンサに依存していること, またオドメトリの精度が悪いことから非情報構造化空間内でロボット単自律移動は困難である. そのため車いすロボットに反射板を取り付け, ポータブルに搭載したレーザーレンジファインダによりレーザー反射強度を計測することで, ポータブル GO から車いすロボットの位置を推定できるようにした.

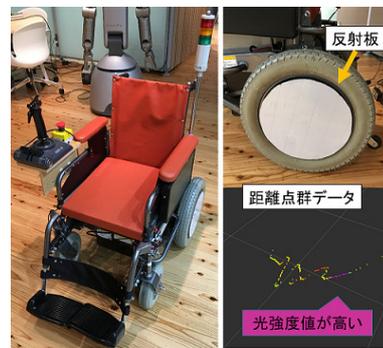


図6 車いすロボット

2.2.4 レーザレンジファインダによる人物追跡

ポータブルに搭載したレーザーレンジファインダから得られる点群に, 背景差分, クラスタリング, パーティクルフィルタを適用し, 歩行者を追跡するシステムを開発した. 本システムでは, パーティクルフィルタをクラスタリングされた点群それぞれに対して発生させることで, 複数の歩行者を同時に追跡できる (図 7).

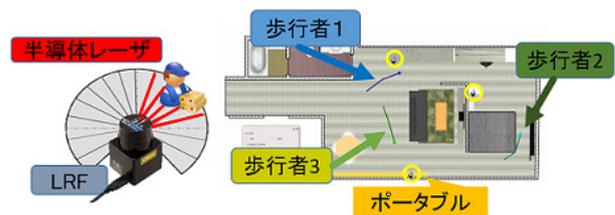


図7 レーザレンジファインダによる人物追跡

3. 実験

3.1 単体のポータブル GO の移動

まず開発したポータブル GO の移動実験を Big Sensor Box 内で行った (図 8). ここでは, グローバル経路生成にボロノイアルゴリズムを, ローカル経路計画には DWA (dynamic window approach) を採用し, ポータブル GO が障害物を回避しながら初期位置から目標位置まで動作することを確認した. まず図 9(a) のように初期位置からポータブル GO が動作を始めた. この時, 青線がボロノイアルゴリズムにより算出された経路候補であり, 緑が経路経由点, 赤が計画された目標位置までの最短移動経路である. 次に図 9(b) のように, 搭載したレーザーレンジファインダが障害物 1 を発見し, 衝突を回避するために移動経路を変更した. さらに, 経路上に回避不可能な障害物 2 を発見し, 障害物を迂回するように移動経路を大きく変更し (図 9(c)), 最終的に目標位置に到達した (図 9(d)).

3.2 複数のポータブル GO の移動

次に開発したポータブル GO を 10 台用いて初期位置から目標値まで移動できることを確認した (図 10). ここでは, グローバル経路生成にダイクストラアルゴリズムを採用した.

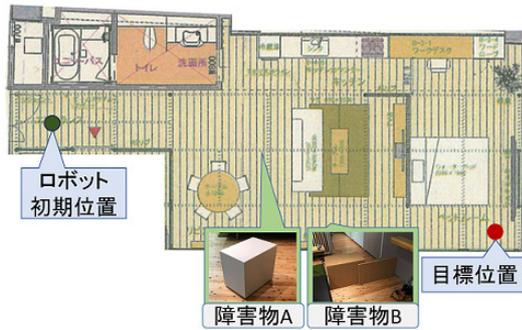


図 8 Big Sensor Box

3.3 反射板を利用した車いすロボットの位置同定

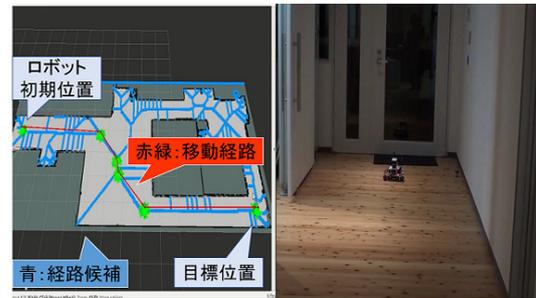
車いすロボットに搭載した反射板を利用した車いすロボットの位置推定の実験を行った。本実験では、周囲の障害物により車いすロボットからでは環境計測が困難で、車いす単体では位置推定が行えない状況を想定しており、車いすロボットのセンサは車輪回転速度を計測するエンコーダのみを利用した。反射材からポータブル GO が車輪位置の検出を行い、車輪回転数の情報と組み合わせてパーティクルフィルタを用いて統合することで車いすロボットの位置・姿勢の推定を行った。車いすロボットは Big Sensor Box 前を出発位置とし、ポータブル GO によって構造化された空間を一周した。パーティクルフィルタに推定された姿勢の軌跡は青の矢印で表現されており、赤の矢印が車輪回転数の情報だけで推定された姿勢の軌跡となっている (図 11)。さらに移動途中で壁に衝突する箇所が存在するが、これはポータブル GO の数や配置が適切ではなく、一定区間、車輪回転数のみを利用して移動したためである。

3.4 障害物検出における車いすロボットの経路生成

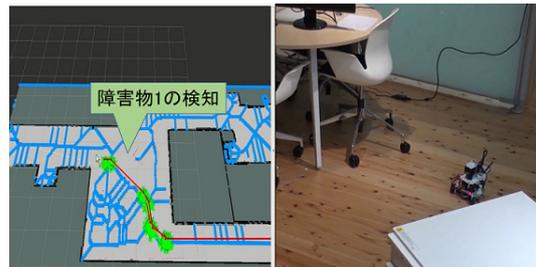
次に車いすロボットと協調した動作を行う実験を行った。なお、本実験では、車いすロボットの自己位置推定には、車いすロボットに新たに搭載したレーザレンジファインダを用いた。実験では、まずポータブル GO が移動し、車いすロボットの死角領域で周囲を計測する。その後、得られた最新の環境情報を用いて、車いすロボットの経路計画に用いられる環境地図を更新する。ポータブル GO からの情報を利用しない場合は目的地に最短ルートで向かおうとするが、ポータブルにより障害物が検出された場合には、障害物を回避した経路が生成されることを確認した (図 12)。これらの実験より、複数のポータブルが監視を行うことで、図 13 のように非情報構造化空間に対して、情報構造化空間が拡張されたことを確認した。

4. 今後の予定

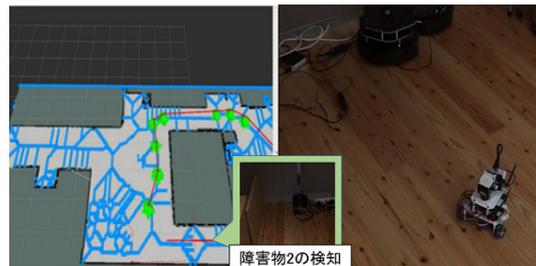
本稿では情報構造化空間の拡張を実現する、自律型群ロボットシステムを提案した。また実験により、開発したシステムにより、非情報構造化環境が情報構造化環境へと整備され、車いすロボットの安全な誘導が実現できることを確認した。今後はより広域での環境情報構造化実験を行う予定である。



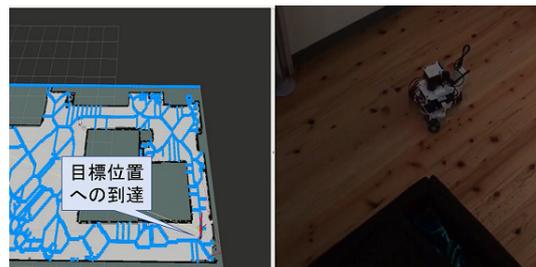
(a) ポータブル GO の初期位置と最短移動経路



(b) 障害物 1 の検出と回避動作



(c) 障害物 2 の検出と迂回動作



(d) 目標位置へ到達

図 9 ポータブル GO による目標位置への自律移動

謝辞

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構の研究開発成果展開事業センター・オブ・イノベーション (COI) プログラムにより、助成を受けたものである。

参考文献

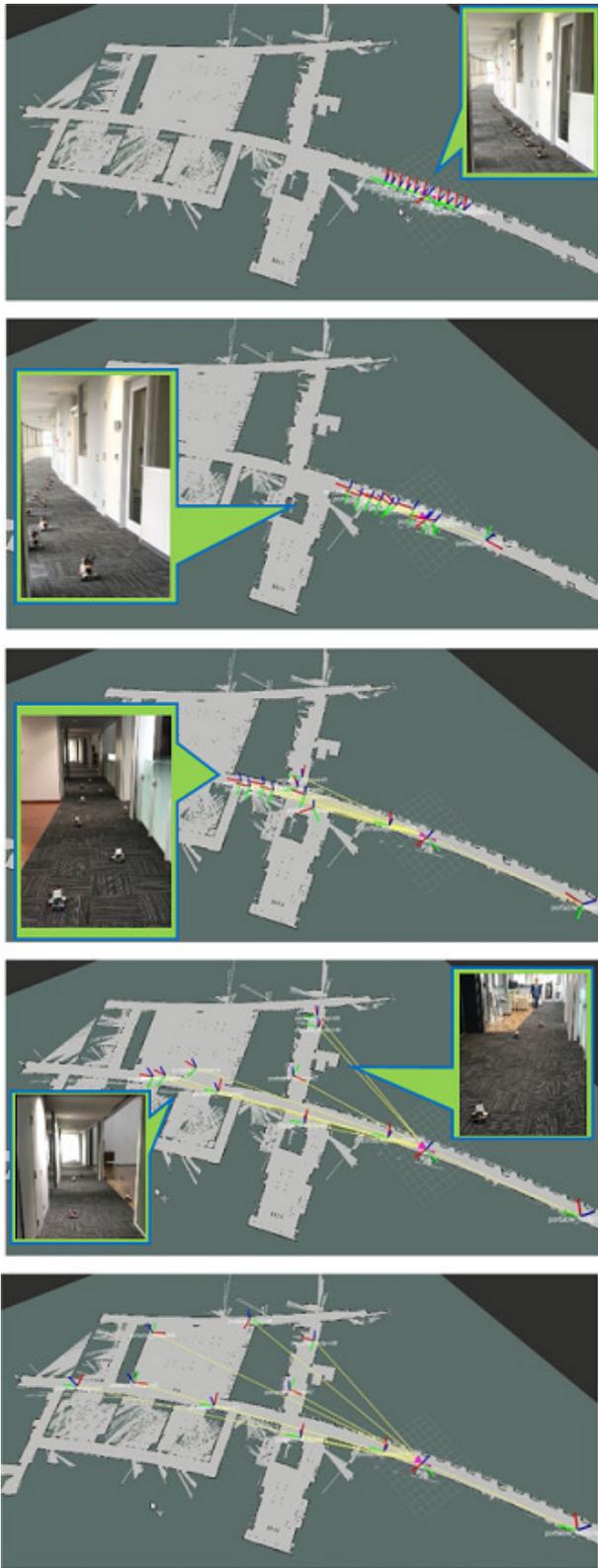


図 10 複数のポータブル GO の移動

- [1] Yoonseok Pyo, Kouhei Nakashima, Shunya Kuwahata, Ryo Kurazume, Tokuo Tsuji, Ken'ichi Morooka, Tsutomu Hasegawa, "Service Robot System with an Informationally Structured Environment", Robotics and Autonomous Systems, Vol.74, No.Part A, pp.148-165, 2015.
- [2] 渡邊 裕太, 倉爪 亮, ピョ ユンスク, 辻 徳生, 諸岡 健一,

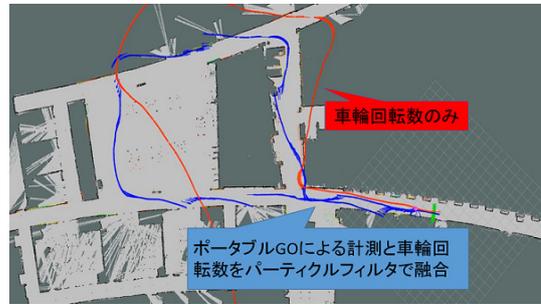


図 11 ポータブル GO を利用した車いすロボットの位置同定

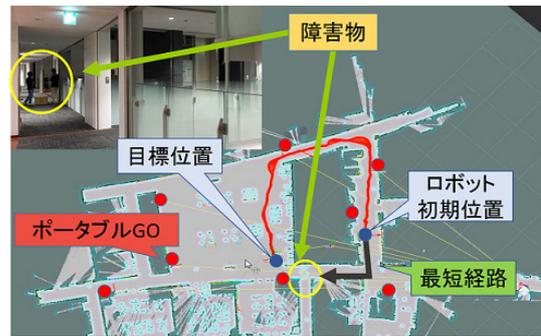


図 12 ポータブル GO により計画された車いすロボットの移動経路

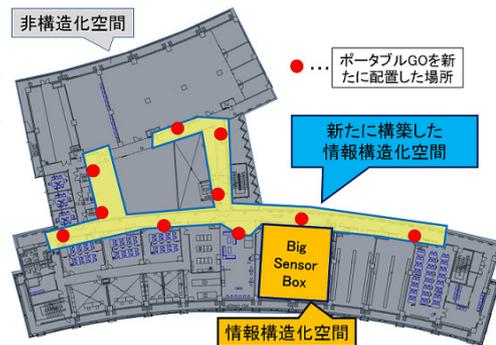


図 13 ポータブル GO により拡張された情報構造化空間

”多様なセンサを搭載した小型複合センサ端末の開発と人物追跡のための最適配置計画”, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, pp.1A1-H05, 2015

- [3] Dorigo, M., et al. "Swarmanoid: A Novel Concept for the Study of Heterogeneous Robotic Swarms", Robotics & Automation Magazine, IEEE, Vol 20, No.4, pp.60-71, 2013.
- [4] Tokekar, P. and Kumar, V., "Visibility-Based Persistent Monitoring with Robot Teams", Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.3387-3394, 2015.
- [5] Pimenta, L. C., et al. "Simultaneous coverage and tracking (SCAT) of moving targets with robot networks", Algorithmic Foundation of Robotics VIII, pp.85-99, 2010.
- [6] 重兼 聡夫, 渡邊 裕太, 稲田 大亮, ピョ ユンスク, 辻 徳生, 河村 晃宏, 倉爪 亮, "屋内空間 CPS プラットフォーム Big Sensor Box の開発と車いす型見守りロボットによる搬送実験", 第 33 回日本ロボット学会学術講演会, pp.3H1-02, 2015.