

構造化 / 非構造化環境を移動可能なパーソナルモビリティの開発

重兼 聡夫 (九州大学), 渡邊 裕太 (九州大学), 河村晃宏 (九州大学), 倉爪亮 (九州大学)

Personal mobility navigation over informationally structured/unstructured environment

Akio Shigekane (Kyushu University), Yuta Watanabe (Kyushu University), Akihiro Kawamura (Kyushu University), Ryo Kurazume (Kyushu University)

Abstract : Informationally structured environment, in which rich information is gathered by embedded sensors and stored structurally, is useful to develop a service robot. However, its covered areas are limited, so robots go whole environment require working in both environments appropriately. This paper presents a personal mobility which can be operated in informationally structured and unstructured environments by changing proper sensors/algorithms.

1. 緒言

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、サービスに必要なとされる環境情報の情報量は膨大となる。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、環境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 (Fig.1)。



Fig. 1: Informationally structured environment

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 (Fig.2)。

しかし、我々の生活環境すべてが最初から情報構造化されているわけではない。上述した B-Sen も、部屋の外にはセンサが設置されていない空間が広がり (Fig.3), この空間に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。



Fig. 2: Big Sensor Box (B-sen)

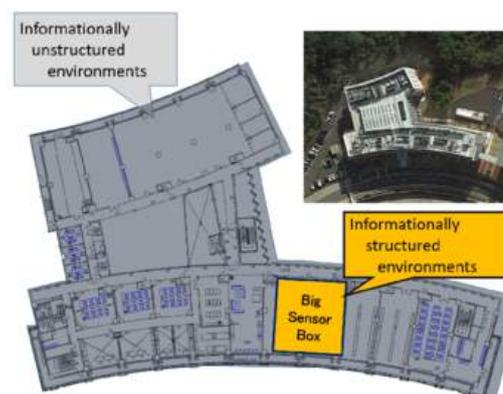


Fig. 3: Informationally structured and unstructured environments

この問題に対し、我々はこれまでに情報構造化環境を動的に拡張するための小型センサ端末「ポータブル」を提案し、さらにこれに移動台車を取り付け、必要な領域のみ部分的、一時的に情報構造化が可能な自律移動ポータブル (ポータブル GO)[4]を開発した (Fig.4)。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レンジファインダ (UST-10LX) を搭載し、目標物体を反射強度によって識別、抽出できるようにした。提案するシステムでは、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する。次に、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 (Fig.3) 内に情報構造化空間を拡張する。



Fig. 4: ポータブル GO



Fig. 5: Personal Mobility

ポータブル GO は 10 台開発したが、10 台のポータブル GO ですべての非情報構造化環境を管理するのは不可能であり、特にポータブル GO が配置できない屋外環境では B-Sen での使用を前提としたサービスロボットの運用は不可能であった。一方、死角の少ない開けた道路等では環境に多くのセンサを設置する必要性は低く、このような環境ではロボットは自身に搭載したセンサだけで自律移動を行えることが望ましい。

一般に、環境の情報構造化の度合いによってロボットに必要な単体での自律走行能力は異なり、以下のように整理できる。

レベル1 情報構造化環境

自律走行能力は不要、あるいは低くてもよい

レベル2 情報構造化の程度が低い環境

自身の位置や他の移動体の位置が取得できるが、信頼性・周期が不十分な環境。環境設置センサ・ロボット搭載センサの信頼性を考慮し、環境設置センサと協調して自律移動を行う。

レベル3 非情報構造化環境

ロボット搭載の機能のみで自律移動を行う。高精度自己位置同定、経路計画や障害物回避など高い自律走行能力が必要となる。

屋内でも屋外でも環境を問わず移動可能なパーソナルモビリティの実現には、上記のそれぞれのレベルで適切に情報・制御を選択できるシステムを開発する必要がある。すなわち、屋内、あるいは屋外で自律移動を行うロボットシステムはすでに多く存在するが [2][3]、屋内と屋外では利用できるセンサや情報構造化のレベルに差があるため、屋内外を通じた移動では適切に処理を切り替えながら移動を行う必要がある。また、人通りの多い場所ではロボット単体のセンシング能力では死角が多く発生し、ロボット単体での自律移動が困難になる問題があった [3]。そこで本研究では、必要に応じて単独での自律移動と環境設置センサとの協調を切り替えることで、屋内外を通して自律移動が行えるパーソナルモビリティの開発を行った。

2. 構造化 / 非構造化環境を移動可能なパーソナルモビリティ

2.1 システム概要

環境によって異なる情報構造化の度合いに対応し、それぞれの環境に合わせた自律移動を行うパーソナルモビリティを開発した。Fig.5 に開発したモビリティを示す。このモビリティは、B-Sen 内では光学式トラックなどの環境設置センサ、屋内 B-Sen 外ではポータブル GO をそれぞれ利用して、周辺環境の情報を得ながら自律移動を行う。また、屋外ではパーソナルモビリティ本体に搭載されたセンサを用いて自律移動を行う。これによって構造化環境・非構造化環境を接続し、屋内外を通じた自律移動を行うことができる。

2.2 パーソナルモビリティ

Fig.5 に示したパーソナルモビリティは、これまで我々が開発してきた被介護者の見守り及び移動支援を行う車いす型ロボット「みまもる君」(Fig. 6)[6] を拡張したものである。このシステムでは、被介護者の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。また、車いす型ロボットの側面には反射板が取り付けられ、ポータブル GO に搭載されたレーザレンジファインダにより、車いす型ロボットの検出が可能である。後部には 3 次元レーザ距離センサ (Velodyne) を搭載し、事前に計測された走行領域の 3 次元点群マップと組み合わせ位置推定に利用する。

2.3 構造化 / 非構造化環境の移動方法

開発したパーソナルモビリティは、構造化環境、非構造化環境で制御を切り替えながら移動できる。ここでは、構

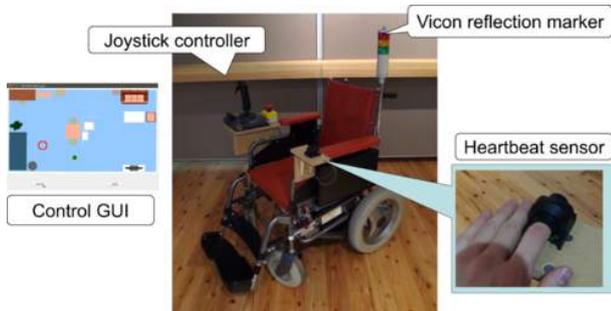


Fig. 6: Wheel chair robot "Mimamori-kun" [6]

造化環境 (レベル 1, B-sen 内), 部分的構造化環境 (レベル 2, B-sen 外の屋内), 非構造化環境 (レベル 3, 屋外) におけるシステムの動作について説明する。

2.3.1 B-sen 内での移動

B-Sen は情報構造化空間であり, 我々がこれまでに開発した ROS-TMS[6] のシステムを用いてパーソナルモビリティを誘導する。ここでは光学式トラッカ (Vicon MX) を利用して位置推定及び障害物検出を行い, それらの情報はデータベースを通じて共有される。パーソナルモビリティはこれらを利用することで, 本体に搭載する機能を最小限に抑えたまま自律移動を行うことができる。

2.3.2 B-sen 外の屋内での移動

ここでは予め設置された外部センサが存在しないが, 人通りがあるため単独での自律移動が難しい。予め自律移動・分散配置されたポータブル GO と協調し, 位置推定・経路計画を行う。具体的にはポータブル GO に搭載された LRF を用いて車輪の位置と角度を検出し (Fig.7), パーソナルモビリティの位置, 姿勢を取得する。これをパーソナルモビリティのオドメトリと組み合わせ, パーティクルフィルタを用いて位置推定を行う。また, ポータブル GO に搭載されたセンサを用いて人物検出を行い, 歩行者との衝突回避やパーソナルモビリティの死角領域にある障害物も考慮した経路計画を行うことができる。

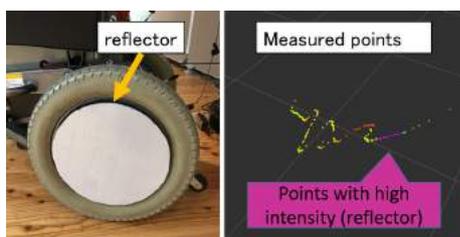


Fig. 7: Detection of wheel chair robot using reflector

2.3.3 屋外での自律走行

ここでは環境側にセンサは設置されていないため, 単独での自律移動を行う。事前に計測した屋外の 3 次元点群地図と 3 次元レーザ距離センサから得られる観測点群を用いて位置合わせを行い, オドメトリと組み合わせで 9 自由度 (3 次元空間) での位置推定を行う。点群同士の位置合わせには NDT(Normal Distribution Transformation) アルゴリズムを利用し, ダウンサンプルされた各点群に対して 0.5Hz 周期で実行される。経路計画には屋内のデータと統合された 2 次元グリッドマップを利用した。経路計画に用いる障害物占有格子地図は, 3 次元点群地図のデータを利用して 5cm 解像度で生成した。具体的には, 観測された点群を $z = 0$ 平面に投影し, グリッドに収まった点の数に比例して色の变化したグレースケール画像を生成する。この画像に対してエッジ検出を行い, 3 次元点群地図と正確に一致した障害物占有格子地図を生成して利用した。得られたパーソナルモビリティの姿勢姿勢は, $z = 0$ の 2 次元平面に投影し経路制御を行った。

3. 実験

実験は九州大学伊都キャンパス内の共進化社会システムイノベーション施設 (COI 棟) で行った。まず, 棟内 2 階にある B-sen から移動を開始するルート (Fig.8) で実験を行った。パーソナルモビリティは B-sen 内では光学式ト

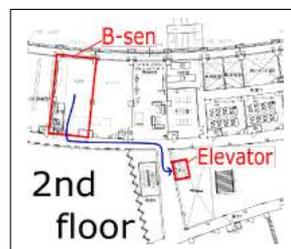


Fig. 8: Planned path in 2nd floor

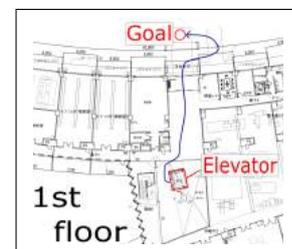


Fig. 9: Planned path in 1st floor

ラッカ (Vicon MX) による位置推定を行い, B-sen の外の廊下に出る (Fig.10)。

廊下は B-sen 内のセンサが使用できない非構造化空間である。そこで, ポータブル GO が先に展開し, エレベータまでの通路を一時的に構造化空間とする。パーソナルモビリティは, ポータブル GO から自身の位置や歩行者, 障害物の情報を受け取り, 移動を行う (Fig.11)。

次に棟内 1 階のエレベータ前から移動を開始し, 正面玄関から屋外に出て道路横の歩道を移動する (Fig. 12)。棟内 1 階もポータブル GO により一時的に情報構造化されており, 廊下と同様にポータブル GO から得られる情報を用いてエレベータ前から正面玄関まで移動する。正面玄関外

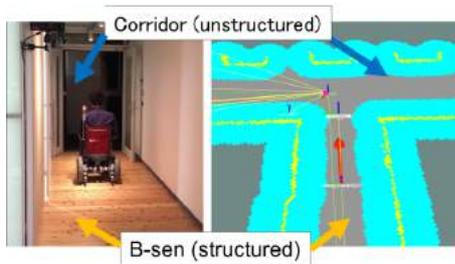


Fig. 10: Trajectory of personal mobility in B-sen



Fig. 11: Trajectory of personal mobility in temporally informationally structured environment

の屋外は、ポータブル GO や埋め込みセンサのない非情報構造化空間であり、パーソナルモビリティに搭載した 3 次元レーザ距離センサ (Velodyne) による自己位置推定に切り替えて、屋外の目標地点まで歩道を移動した。

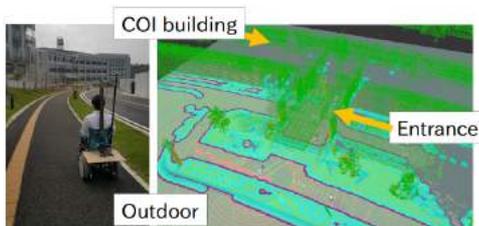


Fig. 12: Trajectory of personal mobility in outdoor environment

4. 結言

本稿では、情報構造化環境/非情報構造化環境を通して自律移動が可能なパーソナルモビリティの開発を行い、情報構造化の度合いに応じて柔軟にセンサや制御系を切り替えて自律移動を行うシステムを提案した。今後は GPS などと組み合わせて、屋外での自律移動性能を向上する予定である。また、現在は屋外での自律移動はロボット単独での自律移動が可能な領域を対象としているが、人通りの多い環境では、ロボット搭載センサのみでの自律移動は困難になることも考えられる。これに対し、九州大学伊都キャンパスでは、屋外にレーザレンジファインダやカメラを搭載

した複合センサーミナル Petit Sensor Box (P-sen)[5] が設置されており、人流解析や移動検知などに用いられている。そこで、この P-sen から得られる人流データを利用して、ロボットの自律移動可能な領域を拡張したシステムを構築する予定である。

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。また本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (A)(課題番号 26249029) の支援を受けた。

参考文献

- [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] H.-M Gross, S. Muller, C. Schroeter, M. Volkhardt, A. Scheidig, K. Debes, K. Richter, N. Doering "Robot Companion for Domestic Health Assistance: Implementation, Test and Case Study under Everyday Conditions in Private Apartments" IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.5992-5999, 2015.
- [3] R Kummerle, M Ruhnke, B Steder, C Stachniss, and W Burgard "A Navigation System for Robots Operating in Crowded Urban Environments" IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA), pp.3225-3232, 2013.
- [4] 渡邊 裕太, 重兼 聡夫, 河村 晃宏, 倉爪 亮, "情報構造化空間を拡張する群ロボットシステムの開発", 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, pp.1A1-06, 2016.
- [5] 南 承佑, 河村 晃宏, 倉爪 亮, "広域環境における人流データのリアルタイム没入感可視化システム", 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, pp.2W2-04, 2016.
- [6] 重兼 聡夫, 渡邊 裕太, 稲田 大亮, ピョ ユンソク, 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