

全方向移動可能な床磨きロボットの自己位置推定手法に関する研究 (第1報)

布施 嘉裕, 古屋 雅章, 西村 通喜, 吉村 千秋, 小谷 信司¹, 丹沢 勉¹, 渡辺 寛望¹, 井上 敬一², 天野 太³

A Research of Localization for Omnidirectional Twin Brushes Floor Polishing Robot (1st Report)

● Yoshihiro FUSE, Masaaki FURUYA, Michiyoshi NISHIMURA, Chiaki YOSHIMURA,
● Shinji KOTANI¹, Tsutomu TANZAWA¹, Hiromi WATANABE¹, Keiichi INOUE² and Futoshi AMANO³

要 約

廊下や部屋等の狭い範囲の床を磨くことを目的とした全方向移動可能な床磨きロボットに搭載する自己位置推定手法について、本ロボットに搭載する際の方針を決定した。その方針を基に、赤外線領域を使用してのグローバルビジョンシステムと測域センサによる自己位置推定手法の提案を行い、どちらも1回の推定に40[ms]以内と高速で、かつ、精度は20[mm]程度と高精度で自己位置推定が行えることを実験により示した。さらに、測域センサでは測距できない壁の距離計測のため、同時測距可能な超音波センサの開発を行った。

1. 緒 言

人間が操作することなく自律的に床面を清掃するロボットが開発されており 1), 2), 実際に清掃現場において使用される例も増加している 3)~5)。しかし、業務用清掃ロボットは移動に必要な駆動部と床を清掃する洗浄部が独立した形で搭載されており、また、回転ブラシの床からの反力を抑えこむため車体重量を重くする必要があり、大型となっている 6)。そのため、廊下や部屋等の狭い範囲の床磨きを行うことを目的とし、持ち運びが容易なロボットが求められている。

そこで、床を磨くブラシを駆動系に応用した、2個のポリッシャを有する床磨きロボット“ツインポリッシャロボット” 7)及び“DUALPOD”(Fig.1)の開発を行っている。DUALPODはDUAL floor POLishing Drive systemの略で、姿勢を保ったまま任意の方向に移動が可能となっている。



Fig. 1 DUALPOD

本ロボットの自己位置推定手法について、これまでは、エンコーダを3個用いたデッドレコニング方式で自己位置推定を行っていた。しかし、本ロボットは「床を磨く」という目的から、床面に水や洗剤を撒くため、車輪が滑り、正しい位置と方向を知ることができなくなる恐れがあり、床面に接することなくロボットの位置と方向を知る方式が必要であった。そのため、天井付近に設置したカメラを用いてロボットを撮影し、画像処理により自己位置と方向を測定している。

一般的な手法として、可視光領域において、背景差分等の処理を行うことで画像中のロボットを抽出し、位置や方向を求めることが考えられる。我々もこれまで同様の考え方で、2個のポリッシャの上に赤と緑のマーカを設置し、このマーカの位置を画像上から探し出すことでロボットの位置・方向を求めていた。しかし、この方法は、高性能のノートパソコン(CPU: Intel Core i7 2.67GHz, Mem: 8GB)を使用しても上記の処理に100[ms]もの時間がかかり、かつ、外乱光の影響を受け、マーカが見つからないこともあった。

ロボットの制御における自己位置・方向測定には、高速性、正確性、安定性が求められる。今回、我々は外乱光の影響をなくすことで安定した計測を行うとともに、処理を高速に行うため、赤外線領域を利用することに着目した。赤外線LEDを3個ロボットに搭載し、そのLEDの位置からロボットの位置と方向を測定する手法について提案し、目標精度を実現できることを実験により確認した。また、他のセンサとして、測域センサ(以下、LRF)を用いた自己位置推定手法と比較し、本手法が有効であることを示す。さらに、LRFでは認識できないガラスや金属面等の距離計測のため、雑音に強い超音波

1 国立大学法人山梨大学

2 井上技研株式会社

3 株式会社天野製作所

センサの開発も行ったので報告する。

2. DUALPOD の概要

2-1 構造

本ロボットは、Fig.2 に示すように、2 個のポリッシャと 4 個のブラシつき DC モータから構成される。ポリッシャはジンバル機構により x , y の 2 自由度を持ち、それぞれモータによりポリッシャに取り付けられたブラシを任意の方向に傾けることができる。

2 個のブラシはそれぞれ逆方向に一定速度で回転している。ブラシが水平の場合には床とブラシの間の摩擦力がブラシ全面で均等に発生するため推進力は発生しない。ブラシを傾けると、傾けた側の反力が増加するので、ある一定方向に推進力が発生する。

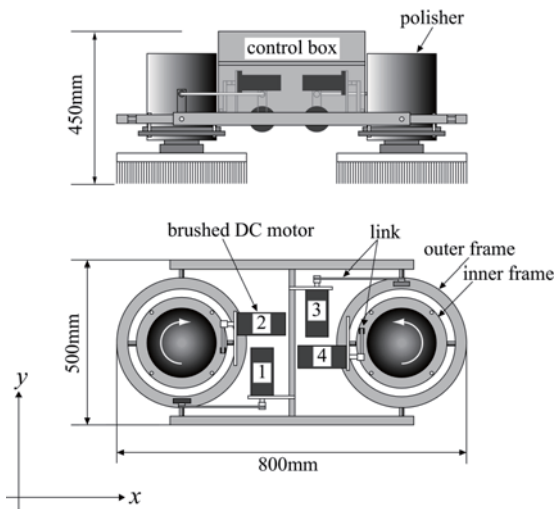


Fig.2 DUALPOD の構造

2-2 移動原理

本ロボットは、Fig. 3 に示すように、ブラシを Fig. 2 の x 軸方向に対して同じ向きに傾けると旋回し、反対の向きに傾けると y 軸方向に直進する。また、 y 軸方向に対して反対の向きに傾けると x 軸方向に直進する。この推進力を使用することでロボットの移動が可能であり、駆動輪等の他の動力を使用せずに全方向への移動が可能である。

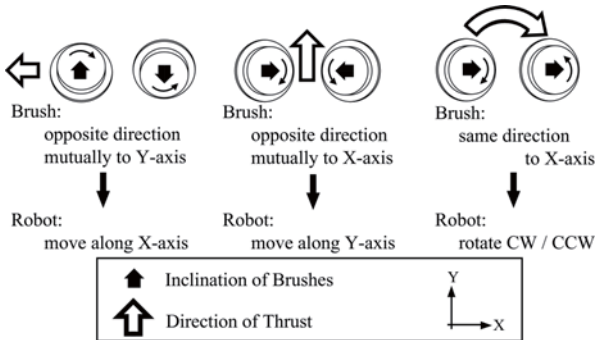


Fig.3 ブラシの傾け方とロボットの移動方向の関係

2-3 コントローラ

これまで、本ロボットのコントローラにはルネサスエレクトロニクス製 H8/3687F を用いていた。しかし、拡張性に乏しく、市販の USB 接続のセンサ等を追加できないことなどが課題であった。Fig. 4 にコントローラの概要を示す。コントローラには組み込み Linux である AtmarkTechno 製 Armadillo-9 を採用し、各モータへの指令・情報収集には PC104 経由で行うようにした。

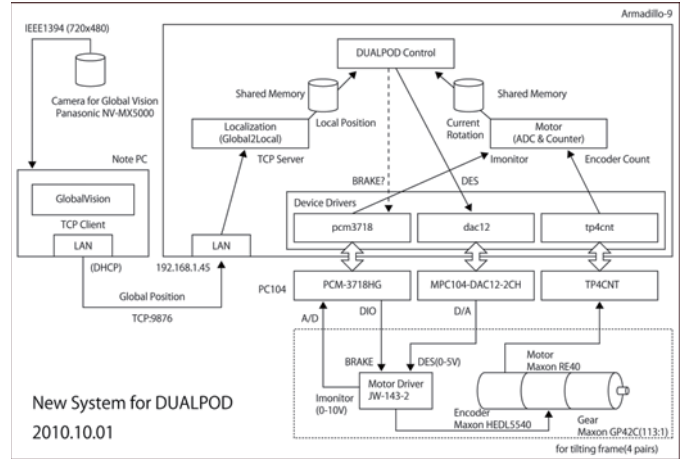


Fig. 4 DUALPOD のコントローラ

後述の赤外線領域でのグローバルビジョンによりロボットの位置・方向を求め、無線 LAN で通信しロボットの制御を行う。Armadillo-9 には USB ポートが搭載されており、LRF を用いることも可能な構成となっている。

2-4 清掃経路と必要となる精度

廊下や部屋などの実環境を本ロボットが清掃する場合、壁から壁への往復を繰り返しながら少しずつ前進し、清掃領域を塗りつぶしていく経路が効率的であると考えられる。また、往復の際にブラシが磨く領域をその半径程度重ねればロボットが多少軌道からずれても磨き残しが生じることがない。これらの理由からロボットの経路を Fig.5 のように決定した。

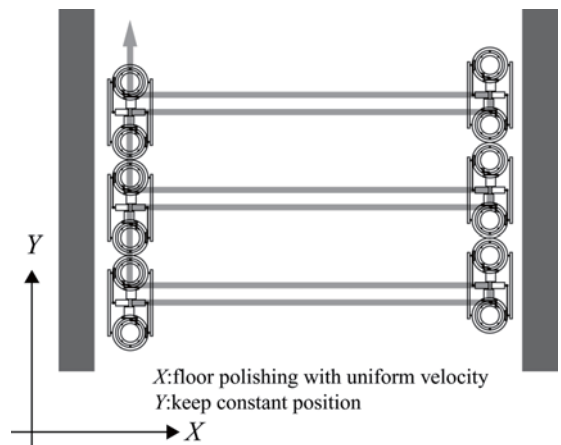


Fig.5 床磨きの経路

本ロボットは、床を磨く作業を行うことから、汚れがひどい箇所は時間をかけて磨き、また、清掃範囲を満遍なく磨くといったことが必要となる。清掃経路としては、前者は速度制御、後者は位置制御が必要であることを示している。清掃範囲を満遍なく移動するためには、ロボットの構造から Fig. 4 のように、X 方向は速度一定、Y 方向は位置一定でロボットを移動させ、Y 方向については、壁から壁への往復の際にはブラシで磨いた部分をブラシの半径約 150 [mm] ほど磨く領域を重ねる必要がある。そのため、目標直線からのずれが 75 [mm] 以下であれば磨き残しのない移動を行うことが可能である。

ツインポリッシャロボットにおいて、一方向への移動について目標値±約 40[mm]の制御が可能となっている。より壁際まで清掃するためには、より精度よく制御する必要があるが、それと同時にロボットの自己位置推定もさらに精度のよいものにする必要がある。このため、我々は目標値±40[mm]の半分の±20[mm]以内を目標精度とした。

2-5 本ロボットにおける自己位置推定の課題と方針

ロボットの自己位置推定に関し、様々な手法が提案されている。車輪駆動型ロボットであれば、デッドレコニングが一般的である 8)。これは、車輪がすべらないことを前提にモデル化しており、床を磨く際に水や洗剤を撒くため、車輪が滑り、正しい自己位置推定が行えない。また、時間に比例して誤差が大きくなる問題がある。

デッドレコニングを補正するため、一般的には GPS を用いることも行われている。しかし、本ロボットの場合、室内で作業を行うため、GPS の電波を受信できない。

ロボットに搭載したカメラからランドマークを検出する手法も数多く提案されている。本ロボットの場合、回転ブラシによる振動でカメラがぶれ、自己位置推定の精度が悪くなる。また、画像処理が必要なこと、ロボットの制御周期を短くする必要のあることから、ロボットに高性能 PC を搭載する必要がある。

そこで、本ロボットに搭載する自己位置推定手法の方針として、

- 床面に接することなく自己位置推定を行う
- カメラはロボットに搭載しない
- 自己位置推定処理を高速に行うこととした。

3. 赤外線領域でのグローバルビジョンシステム

床面に接することなく自己位置推定を行う手法として、カメラを用いる方法がある 9)。カメラを用いる手法には、ロボットに搭載するか、または、ロボットが移動する環境中に配置するかのどちらかとなる。本ロボットの場合、カメラは

ロボットに搭載しないこととしているため、環境中にカメラを配置することにした。

環境中にカメラを配置して自己位置推定を行う一般的な方法として、可視光領域において、背景差分等の処理を行うことで画像中のロボットを抽出し、位置や方向を求めることが考えられる。我々も同様の考え方で、2 個のポリッシャの上に赤と緑のマーカを設置し、このマーカの位置を画像上から探し出すことでロボットの位置・方向を求めていた。しかし、この方法は、処理に時間がかかり、かつ、外乱光の影響を受け、マーカが見つからないこともあった。このため、我々は外乱光の影響をなくすことで安定した計測を行うとともに、処理を高速に行うため、赤外線領域を利用することに着目した。

我々は、赤外線 LED を 3 個ロボットに搭載、その LED を、光学フィルタを通してカメラで撮影し、その映像からロボットの位置と方向を同定する手法について提案する。また、赤外線 LED を点光源であると仮定し、中心が明るく、中心から離れるに従い暗くなるというモデルを用い、濃淡画像から赤外線 LED の位置を求める方法を提案する。10)

清掃範囲を想定した実験環境を Fig.6 に示す。



Fig.6 実験環境

赤外線 LED を Fig.7 のように配置した。また、このときの LED が設置されたパネルと、グローバルビジョンシステムに使用したカメラまでの高さは 2.32[m]であった。



Fig.7 LED 搭載の様子

画像処理出力結果例を Fig. 8 に示す. 処理時間は約 40[ms], 精度は 16[mm]であった.



Fig. 8 出力結果例

4. LRF による自己位置推定

床面に接することなく自己位置推定を行う手法の 1 つとして, LRF を用いる方法がある 11). LRF は, レーザを照射し, 物体からの反射で距離を測定する. そのレーザを走査することで 2 次元空間の状況を把握するセンサである. ロボット分野では, 障害物回避や環境地図作成, 自己位置推定, 経路計画, 形状認識等に用いられている. これを用いた簡単な自己位置推定手法について提案し, 前述の赤外線グローバルビジョンシステムとの比較を行った. 10)



Fig. 9 LRF の取り付け位置

LRF は Fig. 9 のようにロボットの側面中央に取り付けた. 実験環境については, 範囲を約 2[m]x1.2[m]とした.

前述の赤外線領域におけるグローバルビジョンシステムと本手法を同時に実行し, 両手法でのロボット中心座標の軌跡がほぼ同じになることで両手法の有効性を検証した. このときの最大偏差は 21.7 [mm] となった. この原因について, LRF の測距精度が最大偏差に影響を及ぼしているものと推測される. LRF を用いてより精度よく自己位置推定を行うためには, 近距離において多くの特徴点を見つける必要がある.

5. 雑音に強い超音波センサの開発

超音波センサは, 小型・安価・軽量であり, 構造が簡単であるため移動ロボットなどの外界センサとして有用である. また, LRF では測距できない, レーザが透過するガラス面やレーザが鏡面反射する金属面等でも, 超音波センサであれば測距が可能である. しかし, 複数の超音波センサから同時に超音波を送信すると, 雑音や互いの送信波・反射波が重なり合うため, 正確かつ安定して対象物を測距できない課題がある. このため, 複数の超音波センサを用いる場合は 1 台 1 台動作させ, 複数回計測し異常値を除去する等, 様々な方法で回避することも可能であるが, 測定頻度が低下し, 物体検出領域が縮小するなどの新たな課題が生じる.

そこで, センサ毎に異なるコード化されたパターン信号を送信信号として送波し, 相関演算により, 受信 (反射) 波から自身のパターンのみを抽出することで, 雑音・他センサに影響されず, 安定して高い頻度で測距が可能になる超音波センサ 12)の開発を行った. 開発した超音波センサの外観を Fig.10 に示す. この超音波センサは, USB から給電と通信を同時に行うことができる.



Fig.10 開発した超音波センサ

この超音波センサを 6 台同時に測距する実験を行った. 実験環境を Fig.11 に示す. また, 従来のセンサで測距したときの受信波形を Fig.12 に示す. 他のセンサの送信波が重なりあい, どのピークが自身の反射波かわからないため, 正確に対象物を測距できないことがわかる. 開発したセンサで測距したときの受信波形と測距結果を Fig.13 に示す. これにより, 6 台同時に測距を行っても, 対象物に対応するピークが検出できることを確認した.

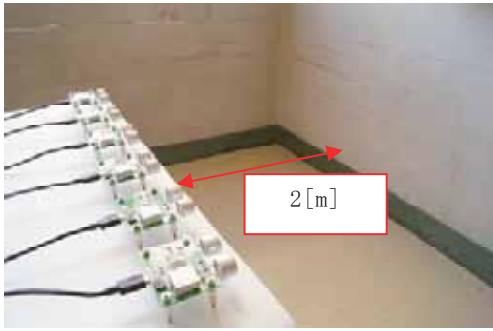
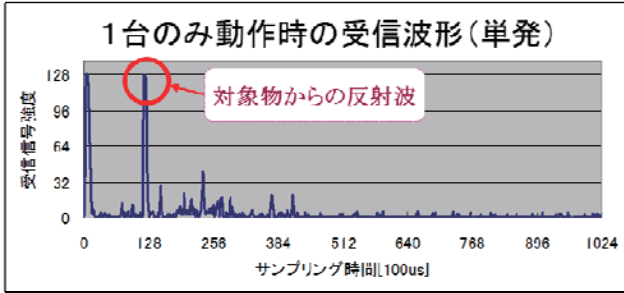


Fig.11 6台同時測距実験

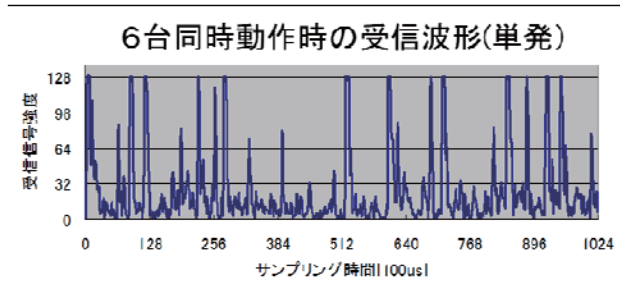
6. 結 言

開発中の全方向移動可能な床磨きロボットに搭載する自己位置推定手法について、赤外線領域を使用してのグローバルビジョンシステムと LRF による自己位置推定手法の提案を行い、どちらも同じ精度で自己位置推定が行えることを実験により示した。

実際の清掃環境では、部屋の中央などにおいて、LRF の範囲外になり、コーナーなどの特徴点が見つからないことが考えられる。この場合、赤外線領域でのグローバルビジョンシステムと併用することで、高速かつ安定した自己位置推定が実現できる。また、LRF では測距できない壁については、超音波センサが有効であり、同時測距可能な超音波センサの開発を行った。これら 3 種類のセンサを用いることで、部屋全体での安定した自己位置推定が可能となる。



(a) 1台のみ動作時

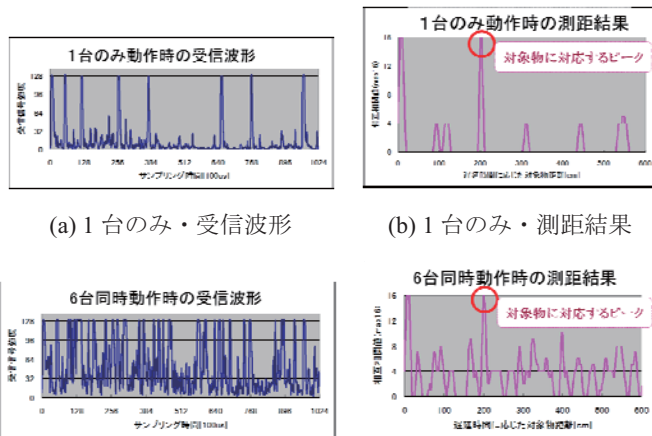


(b) 6台同時動作時

Fig.12 従来のセンサでの受信波形

参考文献

- 1) Palacin, J., Salse, J.A., Valganon, I., Clua, X., "Building a mobile robot for a floor-cleaning operation in domestic environments," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 53, issue 5, pp.1418-1424(2004)
- 2) Xueshan Gao, Kejie Li, Yan Wang, Guangliang Men, Dawei Zhou, K.Kikuchi, "A floor cleaning robot using Swedish wheels," 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 2069-2073,(2007)
- 3) 青山元, 田島茂樹, 横田和隆, 尾崎功一, 山本純雄: "自律走行式床面清掃ロボットの開発", 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.1, pp.57-64(1998)
- 4) Jones, J.L., "Robots at the tipping point: the road to iRobot Roomba," IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 13, issue 1, pp. 76-78(2006)
- 5) Sewan Kim, "Autonomous cleaning robot: Roboking system integration and overview," Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 5, pp. 4437-4441(2004)
- 6) H.Yaguchi, "Robot introduction to cleaning work in the East Japan Railway Company," Advanced Robotics, vol. 10, num. 4, pp. 403-414(1995)
- 7) 布施嘉裕, 丹沢勉, 清弘智昭: "全方向移動床磨きロボットへの非干渉PID制御の適用", 日本ロボット学会誌, Vol.27 No.6 pp. 89-94 (2009)
- 8) 牛見宣博, 山本元司, 毛利彰: "全方向移動ロボットのための2輪キャスタ型オドメータの開発", 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.8, pp.81-87(2003)
- 9) Y.Yagi, "Real-time omnidirectional image sensor for mobile robot navigation," Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on Intelligent Control, 2002, p. 702(2002)



(a) 1台のみ・受信波形 (b) 1台のみ・測距結果 (c) 6台同時・受信波形 (d) 6台同時・測距結果

Fig.13 開発したセンサでの受信波形と測距結果

- 10) Yoshihiro Fuse, Masaaki Furuya, Michiyoshi Nishimura, Chiaki Yoshimura, Hiromi Watanabe, Tsutomu Tanzawa, Shinji Kotani and Noriaki Kiyohiro, "Indoor Localization using Infrared Global Vision System and LRF for Twin Brushes Floor Polishing Robots", Proc. of 2011 IEEE Int'l Conf. on Mechatronics and Automation (ICMA2011), pp.1757-1762, Beijing, China (2011).
- 11) M. Tomono, "A scan matching method using Euclidean invariant signature for global localization and map building," Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 866-871(2004)
- 12) 丹沢勉, 塩澤奨, 渡辺寛望, 清弘智昭 : " 屋外移動ロボットのためのワイドレンジ超音波距離センサ", 日本ロボット学会誌, Vol.27 No.5 pp. 103-109 (2009)