ARマーカを用いた 移動ロボットの経路指示インターフェイスの開発

Development of Interface for Indicating the Path to the Mobile Robot with Augmented Reality(AR) marker

○中島 憲太 (東京理科大) 鳴海 智博 (東京理科大)
深瀬 勇太郎 (清水建設(株)) 木村 真一 (東京理科大)

Kenta NAKASHIMA, Tokyo University of Science, nakashima@kimura-lab.net
Tomohiro NARUMI, Tokyo University of Science
Yutaro FUKASE, Shimizu Corporation
Shinichi KIMURA, Tokyo University of Science

Recently, robots are requested to cover various kinds of needs flexibly. Especially in factories, since a lot of objects are requested to transfer properly in fabrication process, mobile robots are expected to transfer objects according to requirements flexibly. For such needs, we developed a mobile robot the self-localization system using dots pattern on floor. The system enables the robot to recognize its position precisely and move exactly to any position. In order to take advantage of such mobile robot with self-localization capability, the effective interface system to design the motion path is expected. For such requirements, we developed an interface system using the AR technology to design various motion paths flexibly according requirements of fabrication. This paper shows the outline of the interface system for the mobile robot with the self-localization system, and results of verification experiments.

Key Words: Interface, AR, Robot, Self-localization

1. 緒言

近年、ロボットには、柔軟に人間の要求に応えられることが必要とされている。また、工場では、搬送物の多さなどから、自由に物を搬送できる移動ロボットを求める声がある。

一方で、現在、工場ではレールや磁気テープなどで経路を引く、搬送台車が多く用いられているが、この方法では経路変更に対応できない。

そこで、我々は、床面の点群模様を利用して自己位置同定を行う MIYUKA センサを搭載した、移動ロボットを開発した。この移動ロボットでは、一度床面を施工すれば、自由な経路で設定座標に正確に移動を行うことができる。このように経路を自由に設定できる移動ロボットを活用するためには、目的地を指示できる経路指示インターフェイスが必要となる。

こうした要求に対応するため、本研究では、MIYUKA センサを搭載した移動ロボットの実用化を目指し、工場内での MIYUKA センサ搭載搬送ロボットの経路指示インターフェイスの開発を目的とした。

そこで、工場での使用を考え、以下のような開発要求を定めた。

1. 多人数で議論を行いながら経路を設定できる。
2. 直感的で容易に経路を指示できる。
3. 経路決定を行う場所に問わず導入できる。
4. 正確な経路指示を行うことができる。

本研究では、このような開発要求を満たすために、平面上に貼られた工場図面に目印となるマーカを直接貼ることで移動ロボットの経路地、目的地等を指示し、それを Web カメラで撮影して画像処理を行うことで経路を決定することができる経路指示インターフェイスを考案し、そのシステムの開発・検証を行った。

2. MIYUKA センサを用いた自己位置同定ロボット

我々は、自由に経路を指示できる移動ロボットとして、図 2

に示す MIYUKA センサを用いた移動ロボットを開発した。

MIYUKA センサはスターセンサという人工衛星等の宇宙機が自己の姿勢を推定する技術を応用した床点群自己位置同定技術[1][2]を用いたセンサである。

床面の点群模様を利用した自己位置同定手法としては、事前に床面に施工した点群の点群パターン特徴量データベースを作成する。図 1 のように床上の任意の点においてカメラで床を撮像し、画像中にある点群パターン特徴量を、先に用意した床全体の点群パターン特徴量データベースと照合することで、取得画像中の点群が床面上のどの点群に相当するかがわかり、そのことによりカメラが床面上のどの位置、どの方向で撮像した画像であるか割り出すことができる。床面のランダムな点群模様を特徴量としたパターンマッチングのアルゴリズムには、スターセンサのために開発された Polestar Algorithm を拡張したものを用い、高精度な自己位置同定を可能にした。

このセンサを用いることで少ない計算コストで正確に自己位置同定を行うことができ、床面が施工されていれば、自由に経路を正確に指示できる移動ロボットを開発した。

Fig. 1 The mobile robot with self-localization system

Fig. 2 Localization system with floor dots patterns

3. ロボットシステム

ここで、自己位置同定センサを搭載したロボットのシステム構成について述べる。

3.1 移動ロボット

移動ロボットはオカテック社製 MECBOT#001 を使用した。このプラットフォームは電動車いすの駆動部として開発されたが、自走式ロボットプラットフォームとして改造しやすいようになっている。フレームはポリカーボネート製となっている。

耐荷重 100kg となっており、また 250W モーターを 2 台使用しているため 15 度の傾斜を昇り、高さ 40mm 程度の障害物を乗り越えることができる。

モーターコントローラーにはオカテック社の Tiny Power (図 3) を使用されている。Tiny Power は、300[w]クラスの 2 台のブラシ付き DC モーターを同時に制御することが可能なインテリジェントモーターコントローラーである。

USB シリアル通信によりプログラム上から文字列を与えることにより加速度指令、速度指令を与え、前進、後退、停止、その場旋回を行うことができる。また前進中にその場旋回を行うことで旋回しながら前進移動する。また、等加速度および等減速度の台形制御がおこなわれるため、スムーズなモータのスタート及びストップ動作を行うことができる。制御周期は PWM 出力で 20[kHz] となっておりロボットの制御周期は 15[msec] である。

Fig.3 Moter controler

3.2 MIYUKA センサ

MIYUKA センサ(図 4)は LED で床面を照らし、カメラで撮影している。

センサによりロボットの現在の xy 座標、姿勢を同定する。カメラの基本仕様は表 1 の通りである。

画像処理計算機にはエプソン社の「Endeavor NB50E」を使用し、プロセッサには、AMD E-450 を用い、メモリ 8.00GB、64 ビットオペレーティングシステムを用いた。

Table 1 Camera Specifications

The focal distance	4 (mm)
the distance between the lens and the floor	about 10(cm)
The field of view for image processing	9cm×9cm =256[pixel]×256[pixel]
The image sensor	CCD
the exposure time	0.15(msec)

Fig.4 MIYUKA sensor

3.3 ロボット全体図

ロボットは二輪駆動型であり 24V の電源から IC、左右 2 個の DC モーター、計算機、センサを照らす LED 板に電源が供給されている。

計算機はリモートデスクトップにより遠隔で操作する。

ロボットのシステム構成、ロボットの外観は図 5、6 に示す。

Fig.5 The configuration of the system

Fig.6 Overview of the robot

4. 経路指示インターフェイス

提案する経路指示インターフェイスでは、経路を指示するために用いるマークとして、AR 技術（Augmented Reality: 拡張現実感技術）を容易に用いることができる ARtoolkit という画像処理ライブラリで使われる AR マーカを用いた。このライブラリを用いることで、簡単に、設定したARマーカの認証とカメラ画像上のARマーカの中心座標を取得できる。

そこで、本研究では、図 7 の様に、図面の4隅に設置することで Web カメラ画像中の基準となる基準マーカと、目的地を指し示すために用いる経路指示マーカの2種類のマーカを制作した。

提案する経路指示インターフェイスでの経路指示としては、まず、基準マーカを図面の四隅に配置し、経路指示マーカをロボットに行ってほしい図面での場所に配置する。それを図 8、9 のように、Web カメラで撮影し、ARtoolkit を用いて、設置した AR マーカそれぞれを認識し、Web カメラ画像上での AR マーカの中心座標を取得する。取得した基準マーカの画像座標より、図 10 の様に図面部分のみを真正面から見た画像に変換を行う変換行列を求める。求めた変換行列と Web カメラ画像上での経路指示マーカの座標より、変換後の経路指示マーカの座標を取得することができる。これによりロボットに、経路指示マーカを置いた場所への経路指示を行うことができる。

このような経路指示インターフェイスにすることで、開発要求 1、2 に挙げた、多人数で議論を行いながら、目的地に AR マーカを置くだけで直感的に経路が指示できる経路指示インターフェイスを開発できた。

Fig. 7 ARmarker

Fig. 8 Overview of interface

Fig. 9 Web Camera image

Fig. 10 image transformed by homography

5. Web カメラ位置の変化における取得座標の精度検証 実験

本研究で開発した経路指示インターフェイスが開発要求 3、4 を満たすためには Web カメラ位置に関係なく精度のよい経路指示が行えることが重要である。したがって、この実験では、図 11 に示すように、図面中心に対して垂線方向に 4 点、平行方向に 4 点カメラ位置を変えて撮影し、Web カメラ位置の変

化における取得座標の精度検証を行った。また、設定値を表 2 のように定め、手でマークを置くことで実験を行った。

結果は、図 12 のようになった。この結果より、カメラの位置に関係なく安定して値を取ることができた。また、実験での、計 8 回の測定での図面上での最大誤差は x 座標で 2.7 mm、y 座標で 2.21 mm であり、これは手でマークを設置する際に 1、2 mm 程度の誤差が出てしまう事を考えても高い精度で座標を取ることができたといえる。想定床面上の最大誤差でも x 座標で 13.66 mm、y 座標で 11.08 mm であり、正確に指示でき、開発要求を満たすことが検証できた。

Fig. 11 Positions of Web Camera

Table 2 Setting values

The floor size	5000×3500 (mm)	
The plan size	1000×700 (mm)	
Web camera resolution	2048×1536 (px)	
	XY coordinates on the plan(mm)	XY coordinates on the floor(mm)
Setting values of the start marker	(212.5,212.5)	(1062.5,1062.5)
Setting values of the via marker	(812.5,212.5)	(4062.5,1062.5)
Setting values of the goal marker	(812.5,512.5)	(4062.5,2562.5)

Fig. 12 The true-value coordinates and detection coordinates in each positions of Web Camera

6. MIYUKA センサ搭載搬送ロボットへの経路指示実証実験

本研究で開発した経路指示インターフェイスを使って MIYUKA センサ搭載搬送ロボットに実際に経路指示を行った際の一連のトータル誤差を調べることで、正確に目的地に到達できる搬送ロボットシステムであるか、検証を行なった。設定値は、表 2 を用いた。

結果は、図 13 のようになった。経路の設定値からロボットの到着位置までの一連での最大誤差は床面の x 座標で約 10 mm、y 座標で約 20 mm となった。

この実験結果より、開発した経路指示インターフェイスは、正確な移動を行える MIYUKA システムにあったインターフェイスであり、正確で自由経路をとれる搬送ロボットシステムであることが検証できた。

Fig. 13 The trajectory of the robot with the MIYUKA sensor and setting values of markers on the floor

7. 結言

本研究では以下の性能を実現する、経路指示インターフェイスを提案、開発することができた。

- 1. 多人数で議論を行いながら経路を設定できる。
- 2. 直感的で容易に経路を指示できる。
- 3. 経路決定を行う場所に問わず導入できる。
- 4. 正確な経路指示を行うことができる。

また、開発したインターフェイスを MIYUKA ロボットに実装し、経路指示から到達までの一連誤差が、x 座標 10 mm、y 座標 20 mm 以内で移動できるロボットシステムであることを実験により検証した。

今後の展望としては、AR マーカの種類を増やし、目的地への到着の時間指定や、目的地へどのぐらいの精度で到達して欲しいかという要求精度などの AR マーカで指示できる情報を増やして、使用者の使いやすさを向上することが考えられる。

文 献

[1] 深瀬勇太郎、木村真一、『床を利用した位置検出システムの開発 = 自律移動ロボットのための建設空間技術 = 』建設機械、47 巻 9 号 2011/9
[2] 深瀬勇太郎、木村真一、『建物内においてロボットを瞬時に検出できるシステムー床利用位置検出システム MIYUKA の開発』、建設の施工企画