

画像からの迷路情報取得に関する検討

堀 桂太郎* 小林 初美** 石井 哲也***

Consideration of Maze Information Acquisition from Image Data

Keitaro HORI*

Hatsumi KOBAYASHI**

Tetsuya ISHII***

ABSTRACT

When conceptualizing a maze-escaping robot “micro mouse”, a more rapid way of finding the shortest passage to get out of a maze than using a usual optical sensor might be possible if we were able to get the maze information correctly from sensor images. In a maze, however, many similar image patterns exist, so it would be more effective to do so if we used a unique technique that was different from that of ordinary image processing for normal landscapes. Herein, we present some techniques to grasp a maze structure quickly by getting various information out of the maze image data. Additionally, we examine the robot balance control, which is necessary for practical use of a robot. Furthermore, we discuss the structure of a robot control system that helps a robot get out of a maze by obtaining correct information from the associated image data.

KEY WORDS: maze information, maze structure, image processing, micro mouse

1. はじめに

近年、ロボットの自己位置推定や移動制御に画像情報を用いる研究¹⁻²⁾が活発に行われている。一方で、ロボットが画像情報を用いて迷路を脱出する手法に関する報告は見あたらない。迷路内では、類似した画像パターンが頻繁に出現するために、通常の風景に対する画像処理手法とは異なる独自の手法が有効であると考えられる。画像から迷路情報を取得すれば、光学系センサを用いた場合に比べて多くの情報を得ることができる。このため、迷路内におけるロボットの現在位置から、より離れた地点の迷路情報を取得することが可能となる。これにより、迷路を脱出するための最短経路を早期に特定することが期待できる。本論では、迷路内で得られる画像から各種の情報を取得して、迷路の構成を早期に把握し、

脱出に役立てる手法を検討する。さらに、小型ロボットへの実装計画についても言及する。

2. 対象とする迷路

本論では、マイクロマウス大会³⁾の迷路を対象として検討を行うこととした。図1に、マイクロマウス大会の迷路例を示す。この迷路は18×18[cm]の単位区画から構成され、全体の大きさは16×16[区画]である。また、区画の壁の高さは5[cm]、厚さは1.2[cm]であり、迷路の壁の側面は白色、壁の上面は赤色、床面は黒色となっている。本論で述べる実験や考察は、この迷路の一部である実験用迷路(6×4[区画])を用いて行った。

マイクロマウス⁴⁾は、コンピュータや各種センサなどを搭載し、自律的に迷路を探索し脱出するロボットである。図2にマイクロマウスの外観例を示す。マイクロマウス大会は、マイクロマウスの競技会であり、ロボット技術の発展に大きく貢献している。大会では、マイクロマウスが迷路を脱出するまでの

* 電気情報工学科

** 機械・電子システム工学専攻

*** 電気情報工学科学生

最短時間を争う。

3. 画像による迷路情報取得の利点

マイクロマウスが迷路を探索する場合、迷路情報の取得には光学系センサが使用されるのが一般的である。図 2 に示したマイクロマウスにおいても、右前、右斜め前、左前、左斜め前の壁情報を取得するために 4 組の赤外線センサが使用されている。赤外線センサ回路は、構成が簡単であることが利点である。しかし、1 区画程度先までの壁情報しか得られないために、ロボット (マイクロマウス) から離れた地点の迷路情報を得ることができないのが欠点である。これに対して、小型カメラを用いて画像から迷路情報を取得する場合には、次の利点がある。

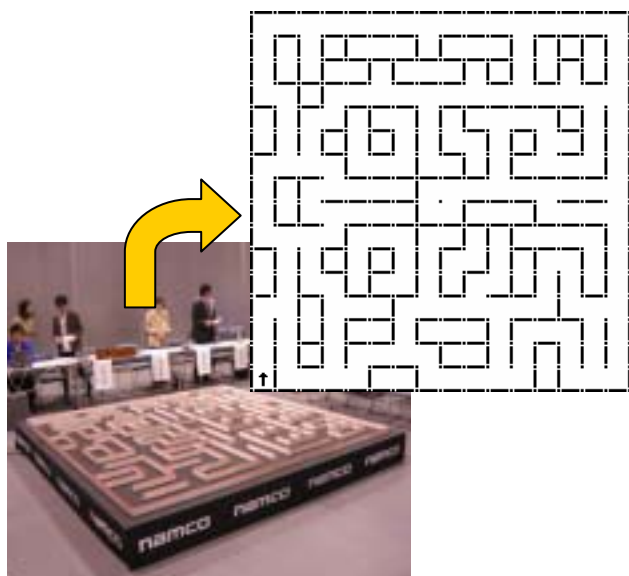


図 1 マイクロマウス大会の迷路例



図 2 マイクロマウスの外観例

2 区画以上先の壁の有無が判断できる

2 区画以上先の壁の有無が判断できれば、早い段階で、迷路の構成を知り、次の行動を決定することができる。図 3 は、小型カメラにより前壁を見ている例であり、6 区画先の壁でも鮮明に写っていることが確認できる。

カメラから壁までの距離を検出できる

例えば、前壁の高さを測定することでカメラから前壁までの距離を知ることができる。この情報は、走行時の制御に有用となる。図 4 は、前方に写った壁の高さをエッジ抽出により測定した例であり、この高さ情報により、前壁までの距離を計算することが可能となる。

4. 壁情報の取得

4.1 エッジ抽出法とパターンマッチング法

画像から壁情報を取得するためには、エッジ抽出法やパターンマッチング法などが有効であると考えられる。ここでは、両手法の優位性を検討するために、2 区画先の前壁と横壁の有無を検出する実験を



図 3 6 区画先の壁を見ている例

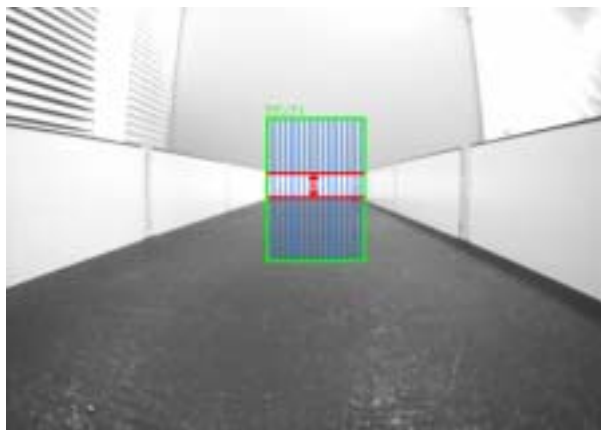


図 4 前壁の高さを測定した例

行った。ただし、横壁については、左壁のみを対象とした。また、エッジ抽出及びパターンマッチングの各処理は、カラー画像及びグレースケール画像それぞれについて行った。ノーマルレンズを装着した小型カメラによって得た画像に対して、計測制御ツールであるLabVIEW⁵⁻⁶⁾及び、IMAQ Vision⁷⁾を用いて処理を行った。

エッジ抽出において、前壁については、画像内の前壁の高さを測定することでカメラから前壁までの距離を検出し、その距離から2区画先の前壁の有無を検出した。図5に、前壁までの距離と前壁の高さの関係を示す。また、横壁については、横壁と床との境界線の角度を測定することで2区画先の横壁の有無を検出した。図6及び図7に、エッジ抽出により2区画先の前壁と横壁の有無を検出した例を示す。

パターンマッチングでは、前壁・横壁ともに、比較用のテンプレート画像と類似した部分を探索することによって、2区画先の前壁と横壁の有無を検出した。図8及び図9に、パターンマッチングを用いて2区画先の前壁と横壁の有無を検出した例を示す。

表1に、2区画先の前壁と横壁の有無を検出した結果を示す。ただし、カラー画像はエッジ抽出が困

難であるため、今回は実験対象としていない。

表1から、画像による壁情報の取得には前壁と横壁どちらについても、グレースケール画像を用いてエッジ抽出を行う方法が有効であると考えられる。カラー画像に対してパターンマッチングを行った場合に精度が悪いのは、グレースケール画像に比べて情報が多すぎるために、誤差が生じているのだと考えられる。またパターンマッチングでは、迷路内を移動しながら情報を取得する場合には、比較用のテ

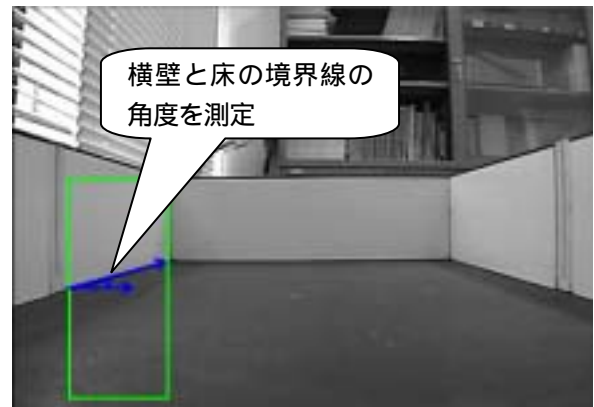


図7 エッジ抽出により横壁の有無を検出

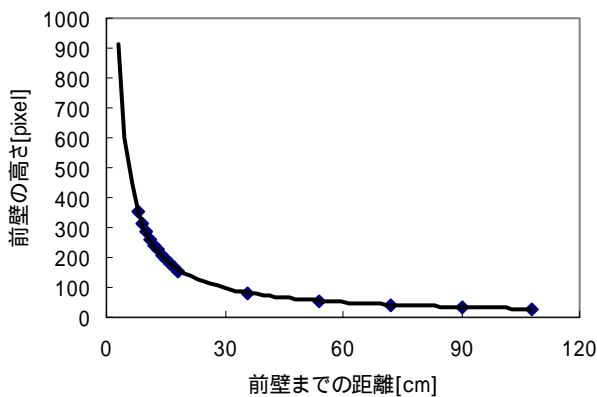


図5 前壁までの距離と前壁の高さの関係

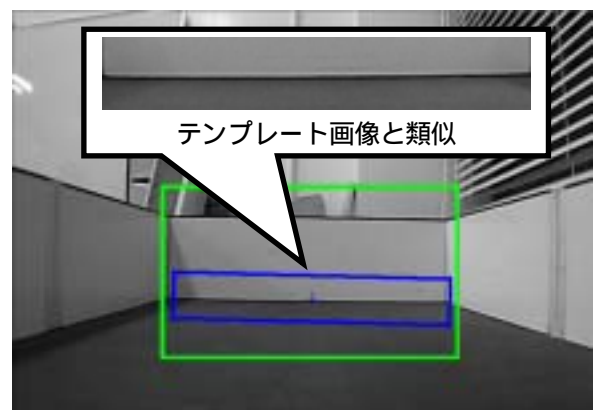


図8 パターンマッチングにより前壁の有無を検出

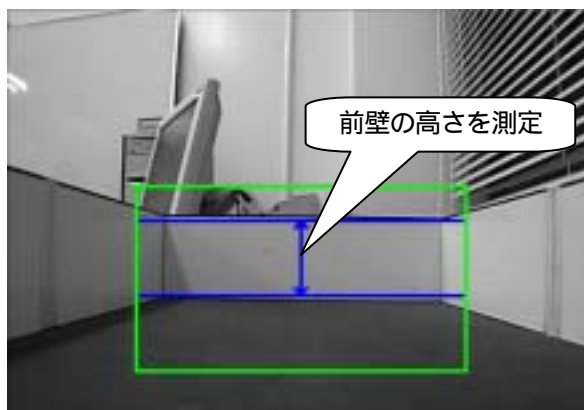


図6 エッジ抽出により前壁の有無を検出

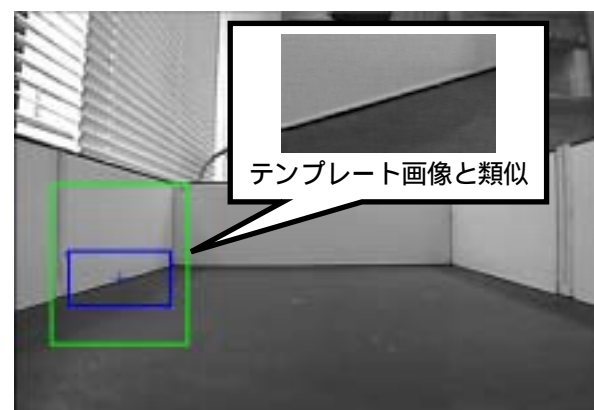


図9 パターンマッチングにより横壁の有無を検出

表 1 2 区画先の前壁と横壁の有無の検出結果

処理		エッジ抽出		パターンマッチング	
		時間 [ms]	精度 [%]	時間 [ms]	精度 [%]
グレースケール	前壁	3.80	100.0	6.71	100.0
	左壁	1.58	100.0	7.11	100.0
カラー	前壁	X		160.62	70.0
	左壁			53.07	100.0

表 2 使用したカメラの概要

カメラ	ノーマルレンズカメラ	広角レンズカメラ
入手先	秋月電子通商	秋月電子通商
型番	MTV-54K0DN	IBC-25E-W
画角	68°	120°
有効画素	542×496	512×492

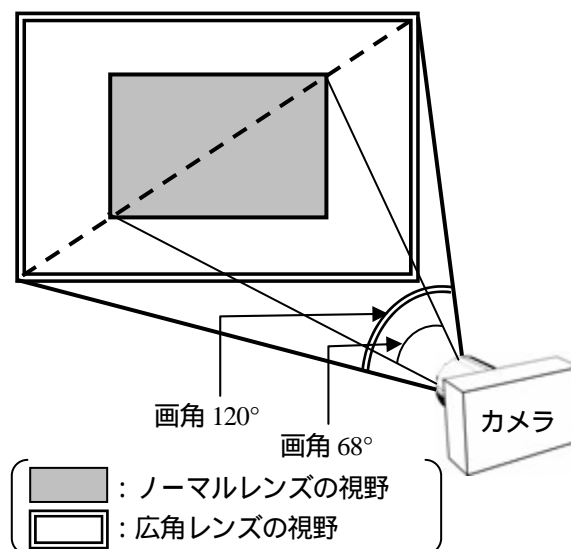


図 10 画角の比較

ンプレート画像を保持しておかなくてはならない。さらに、比較するための時間がエッジ抽出に比べて長くかかる短所がある。

4・2 ノーマルレンズと広角レンズ

画像から迷路情報を取得するにあたって、ノーマルレンズと広角レンズを用いて、次の比較・検討を行った。

カメラを固定して何区画先に前壁及び横壁があるかを検出する

1 区画内でカメラを前方向へ移動させた際の前壁までの距離を検出する

また、表 1 によって、画像からの壁情報取得には、グレースケール画像を用いてエッジ抽出を行う方法が有効であることが確認できたので、ここではその方法で実験を行った。さらに、上記とも、カメラを真っすぐに前壁に向けたときを 0°とし、左方向へ最大 60°まで動かした。

ノーマルレンズと広角レンズの違いは、画角の大きさにある。画角とは、図 10 に示すように、レンズが映し出す画像から、実際に得ることのできる画像範囲の対角点がレンズとなす角度である。広角レンズの画角は、ノーマルレンズのより大きいため、より広い範囲を写すことができる。図 11 及び、図 12 に 2 区画先の同じ画像を各レンズで得た例を示す。また、表 2 に使用したレンズ付きカメラの概要を示す。

表 3 及び表 4 にカメラを固定して何区画先に前壁及び横壁があるかを検出した結果、表 5 に 1 区画内でカメラを前方向へ移動させた際の前壁までの距離

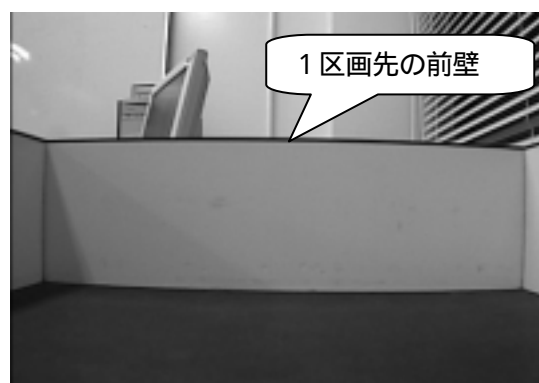


図 11 ノーマルレンズの画像例

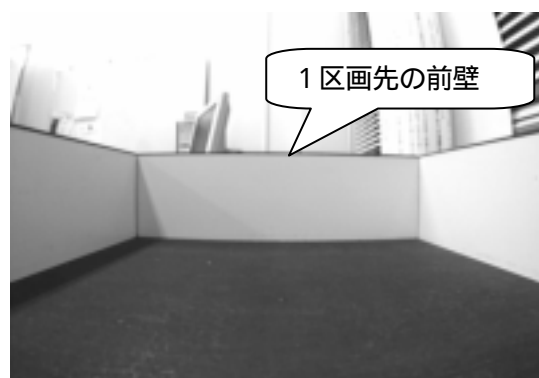


図 12 広角レンズの画像例

を検出した結果を示す。

表 3、表 4 及び表 5 から、広角レンズは角度が変わっても、前壁及び横壁の有無を検出できる傾向があり、前壁までの距離をほぼ正確に検出できることがわかった。これは、広角レンズがノーマルレンズより画角が大きいため得られた結果であると考えられる。しかし、表 4 からは、広角レンズはノーマ

表3 前壁の検出結果

レンズ	角度	区画					
		1	2	3	4	5	6
ノーマル	0°						
	10°						
	20°						
	30°						
	40°		×	×	×	×	×
	50°	×	×	×	×	×	×
	60°	×	×	×	×	×	×
広角	0°						
	10°						
	20°						
	30°						
	40°						
	50°						
	60°		×	×	×	×	×

(検出成功： ，検出失敗：×)

表4 横壁の検出結果

レンズ	角度	区画													
		左壁						右壁							
		1	2	3	4	5	6	6	5	4	3	2	1		
ノーマル	0°					×	×	×	×						
	10°					×	×	×	×						×
	20°					×	×	×	×	×					×
	30°			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	40°		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	50°		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	60°		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
広角	0°					×	×	×	×	×	×				
	10°					×	×	×	×	×	×				
	20°					×	×	×	×	×	×				
	30°					×	×	×	×	×	×				×
	40°					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	50°					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	60°					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

(検出成功： ，検出失敗：×)

ノーマルレンズより横壁の有無を検出できる範囲が1区画分短いことがわかる。

これらのことから、前壁及び横壁について総合して検討すると、画像による壁情報の取得には、ノーマルレンズより広角レンズの方が有利であると考えられる。横壁の有無を検出できる範囲に関しては、

表5 前壁までの距離

角度	検出できた距離[cm]	
	ノーマルレンズ	広角レンズ
0°	18~8	18~4
10°	18~7	18~3
20°	18~6	18~3
30°	18~6	18~3
40°	18~6	18~3
50°	15~6	18~3
60°	8~7	18~3

ノーマルレンズの方が有利であるが、その差は1区画分であり、角度変化への対応性の点から見れば、広角レンズの方が有利である。

5. ロボットへの実装

5.1 姿勢制御

これまでの実験から、画像情報を用いれば6区画先までの前壁及び、3区画先までの横壁の有無を検出できることがわかった。したがって、この処理方法をロボットに実装すれば、光学系センサを用いた場合よりも早く迷路構成を知ることができると考えられる。一方、迷路内において、ロボットを壁に衝突させずに走行させるためには、姿勢制御が必要となる。つまり、ロボットと左右の横壁との距離を監視し、これを一定範囲内に保つことが必要である。このため、迷路内で得られた画像から、ロボットと横壁との距離を算出する手法を検討した。ここでは、6分割法と名付けた手法について説明する。

6分割法とは、図13に示すように、画像を横方向に6分割し、下方向からの直線エッジ検出を行うことを基本とする。すると、壁と床の境界の直線を検出することができる。この直線と水平線がなす角度 α により、レンズ中心から横壁までの距離 y を計算することが可能となる。この方法では、壁がない区画が存在した場合に直線を検出することができない。したがって、検出できない確率を低下させるため、画像を分割している。この分割数を増加するほど、壁を検出できる確率を増すことができるが、分割後の領域が小さ過ぎると誤検出の可能性が増大する。今回は、予備実験の結果から、分割数を6とした。6分割法では、右3つのデータと左3つのデータでは角度と距離の関係が完全に対称な関係とはならないことが実験によって判明した。これは、カメラ位置により生じる誤差であろうと考えられる。図14に、広角レンズの角度-距離特性を示す。回帰

分析によって、このグラフの近似式を導出すると、式(1)、式(2)のようになった。ただし、 x を角度 (グラフ横軸)、 y を壁までの距離 (グラフ縦軸) としている。

・右系の近似式

$$y = 2075\exp(-1/x) - 1897 \quad (1)$$

・左系の近似式

$$y = \frac{1974}{x} - 11.99 \quad (2)$$

これらの式より、角度 x がわかれば、横壁との距離 y を算出することが可能となる。実験では、誤差が 10[mm]程度出るものの、ほぼ正確に距離を測定できることが確認できた。この程度の誤差であれば、ロボットを壁に衝突させずに制御することが可能であると考えられる。

また、誤差の原因としては、計測データのミスや近似式による誤差などが考えられる。また、ロボットが横壁との距離を修正しようとした場合は図 1 5 に示すように、本体が左または右に振れるため、固定されているカメラの向きも変わってしまう。これ

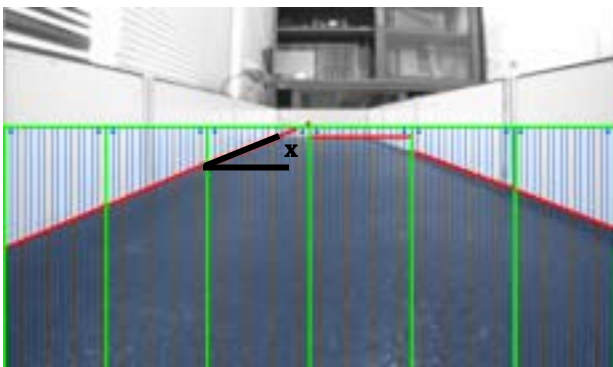


図 1 3 6 分割法の画像例

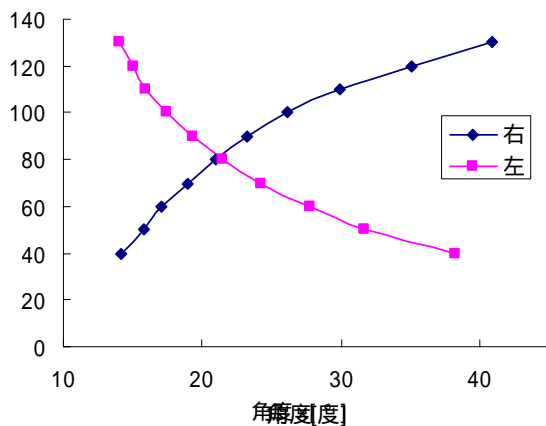


図 1 4 角度-距離特性 (広角レンズ)

により横壁との距離が正しく測れなくなってしまうことが予想される。実験によると、測定距離は右に傾いた場合に実際の距離より短く、逆に左に傾いた場合に実際の距離より長く算出されてしまうことがわかった。しかし、今回対象とした迷路では、ロボットの進行方向が大きく傾く前に姿勢制御を行う必要があるために、この誤差は大きな問題とはならないと考えている。

5・2 システム構成

これまで述べた画像からの迷路情報取得システムを実現するためには、例えば次に示す 2 種類の構成方法が考えられる。

すべての機能をロボットに搭載する

理想的な方法であるが、小型で高速処理が可能な CPU をロボットに搭載しなければならないため、コストがかかりかつ、ロボットの構成が複雑になってしまう。

パーソナルコンピュータと協調する

ロボットに搭載した小型カメラから得た画像をパーソナルコンピュータ (以下、PC という) に取り込んで処理し、制御データなどをロボットに送信する。つまり、ロボットは PC と通信しながら迷路を脱出するのである。

構成 では、ロボットに搭載する回路を簡単化できるために、当初はこの構成方法を採用することとした。図 1 6 に、考案したロボットの制御システムの構成を示す。このシステムでは、まず、ロボットに搭載された小型カメラから得た画像データをトランスミッターで PC に送信する。PC は受信した画像データを処理し、制御情報をロボットに送信する。また、ロボットに搭載する電子回路を簡単にするために、ロボットから PC への送信には電波、PC からロボットへの送信には赤外線を用いた通信システムを採用することとした。この結果、ロボットに搭載するマイクロコンピュータは、簡易な PIC[®]にするこ

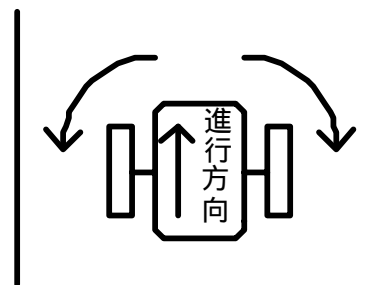


図 1 5 ロボットの軌道修正

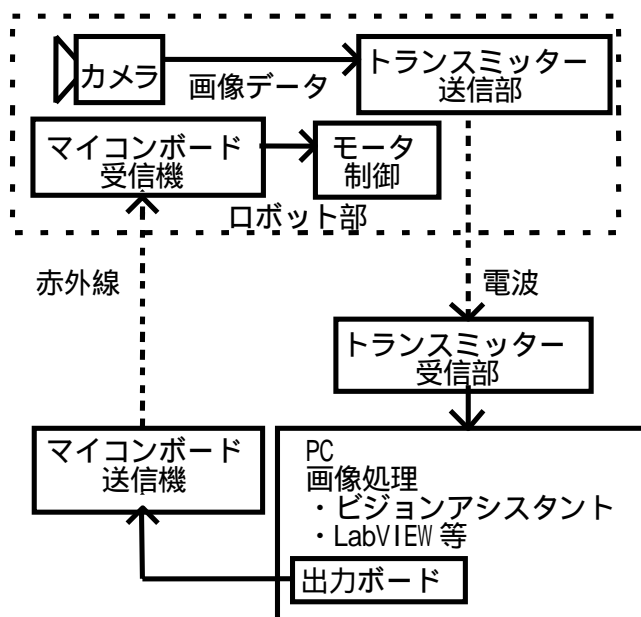


図 1 6 制御システムの構成

とができた。図 1 7 に、開発中のロボットの外観を示す。現在は、実装するプログラムの開発を進めている。

6. まとめ

迷路内において、画像から情報を取得して迷路構成を逸速く把握する方法について検討した。広角レンズを装着した小型カメラを用いて、画像のエッジを検出する処理を提案し、実験により 6 区画先までの前壁及び、3 区画先までの横壁が比較的安定に検出できることを確認した。また、ロボットへの実装を視野に入れた姿勢制御法として 6 分割法を考案し、迷路画像から得た情報によりロボットの横壁までの距離を算出できることを示した。さらに、開発した手法をロボットに実装するための具体的な制御システムを示し、概要を説明した。本システムは、例えば、類似した画像パターンが多く出現するビルの中でのロボット制御などに応用することも期待できる。現在は、画像処理は PC に担わせる方法で小型ロボットへシステム実装を進めており、成果については今

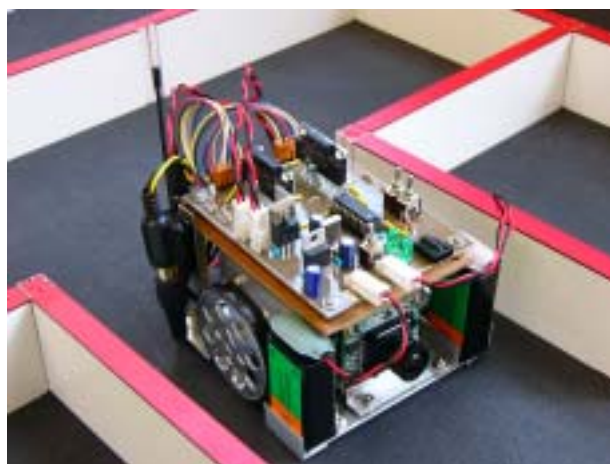


図 1 7 ロボットの外観

後報告していく予定である。

参考文献

- 1) 関森大介,白井智也,升谷保博,宮崎文夫:全方位画像上の床領域に基づく移動ロボットの高速な障害物回避と自己位置推定, 情報処理学会論誌, Vol.42, No.SIG 13(CVIM3), pp.110-118(2001).
- 2) 勝屋耕一,八木康史,谷内田正彦:未知並進運動する移動ロボットにおける静止環境マップ生成, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.3, pp.432-438(1999).
- 3) ニューテクノロジー振興財団マイクロマウス委員会事務局:マイクロマウス開催要項(2004).
- 4) 財団法人ニューテクノロジー振興財団マイクロマウス委員会東日本部:初心者のためのロボットの作り方第 7 版(2003).
- 5) Robert H. Bishop:LabVIEW™ プログラミングガイドグラフィカル言語による PC ベース計測とデータ解析, アスキー出版(2005).
- 6) National Instruments Corporation:LabVIEW™ ユーザマニュアル(2004).
- 7) National Instruments Corporation:IMAQ™ IMAQ Vision コンセプトマニュアル(2002).
- 8) 後閑哲也:PIC16F 活用ガイドブック, 技術評論社(2004).