

要求文と環境を判断して自律的に 移動するロボットの研究

渡邊友介^{†1} 吉村枝里子^{†2} 土屋誠司^{†3} 渡部広一^{†4}

近年ロボット技術が発達し、今後はより一層人とパートナーとなるロボットの開発が期待されている。人のパートナーとなるためには、周りの環境を理解し、動作を行うことが必要である。その中でも、ロボットが環境に応じた自律移動を行うことは特に重要となる。自律移動は、一般にGPS・車輪・カメラ・レーザー等のセンサを組み合わせることで実現される。しかし、センサが安価でないこと、広域なエリアでの応用が難しいことなど、経済的、物理的な面で現実的でないものが多い。そこで本研究では、比較的安価なステレオカメラと赤外線センサ、そしてユーザからの要求文を用いた自律移動を実現する。

The Study of Autonomous Mobile Robot by Judging Query Sentences and the Surroundings

YUSUKE WATANABE^{†1} ERIKO YOSHIMURA^{†2}
SEIJI TSUCHIYA^{†3} HIROKAZU WATABE^{†4}

These days robotic technologies have advanced, and now it has been expected to invent robots that work as a partner of a person. To be such a partner, it is necessary to comprehend the surrounding environment and act properly. Above all, it is especially important for robots to move autonomously according to the surroundings. Generally autonomous mobiles can be implemented by combining some sensors such as GPS, wheels, cameras, lasers. Because, however, sensors are expensive and it is difficult to apply them in a wide area, most of them are impractical. So in this study, we implement an autonomous mobile by means of relatively inexpensive stereo camera, infrared sensor and requisition sheet from user.

1. はじめに

知能ロボットが自律行動を行うためには、目的地の理解と周りの環境を理解することが必要である。自律移動を実現するためにGPS・カメラ・レーザー等のセンサを組み合わせる研究が行われている[1][2]。これらの研究ではGPSは絶対位置を求めることができるものの、室内などの電波の届きにくい環境などでは観測不能になることがある。そのため、その他のセンサにより補助を行う必要がある。また、周囲環境をGPSで観測することは不可能なため、カメラ・レーザー等のセンサで観測しなければならない。車輪には累積誤差が発生し、それを補正するためにも、予測アルゴリズムの工夫や、その他のセンサ情報を用いる手段が必要となる。このように欠点を補うため様々な種類のセンサを組み合わせる用いることが、自己位置推定の研究では主流となっている。しかし、このような多種多様なセンサを用いる方法では、センサが安価でないこと、広域なエリアでの応用が難しいことなど、経済的、物理的な面で現実的でないものが多い。

本研究では日常生活に用いることを前提として研究を行う。このため、安価であることや自律移動を行うロボット自身の周りの環境の理解が必要である。また日常生活で

はユーザからの要求を理解し行動することが必要不可欠である。そこで、本研究では比較的安価で、かつ膨大な情報を取得できるステレオカメラと赤外線センサとユーザからの要求文を用いた自律移動を目指す。要求文については目的地決定のために用いる。ユーザから与えられた「飲み物が欲しい」「テレビをつけて」といった要求文と自律移動を行う室内環境に置かれている冷蔵庫や机などの物体名に対して関連度計算という技術を用いる。関連度計算とは概念ベースという知識ベースに定義されている概念と呼ばれる見出し語を用いて二つの概念間の関連の強さを定量的に表現する手法である。関連度は0.0から1.0の間の実数値で表され、概念間の関連が強いほど大きな値を示すため、関連度の一番高いものが要求文との関連性が最も強いと考えられるため、関連度の一番高いものを目的地であると判断する。

このようにユーザから与えられた要求文から目的地を判断し、目的地まで赤外線センサ、ステレオカメラを用いて自律移動を行うロボットの実現を目指す。

2. 使用するロボット

本研究では、使用するロボットとして図1に示す日常会話ロボットのRobovie-R Ver.2(以下Robovieとする)を使用した。Robovieは、人の動作を実現するため、各腕10自由度、首3自由度、車輪2自由度を備えている。センサとして、頭部前方に視覚センサ(パンチルトカメラ)2台、下半身

^{†1†2} 同志社大学大学院 理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University
^{†3†4} 同志社大学 理工学部
Faculty of Science and Engineering, Doshisha University

の側面と胸元に 30 台の赤外線センサが搭載されている。この内、使用する自由度とセンサは、車輪の 2 自由度、パンチルトカメラ 2 台を用いる。開発環境は VisualC++2008 である。本システムでは、ロボットの視覚を中心とした開発を行うため、ロボット内部にオープンソースの画像処理パッケージである OpenCV を用いた。Robovie の仕様を表 1 に示す。



図 1 Robovie-R Ver.2

表 1 Robovie-R Ver.2 仕様

名称	Robovie-R Ver.2
全高	1100mm
全幅	560mm
全長	500mm
重量	57.0kg
自由度	全体 17 自由度

また本研究で用いる赤外線センサの仕様を表 2 に示す。赤外線センサの配置を図 2 に示す。図 2 についてはウィンドウ左側が接触センサ、右側が距離センサの反応状況となっている。接触センサの場合、接触反応があったセンサに対し該当箇所が赤く表示される。距離センサの場合、現在のセンサの反応している距離値が青い棒の長さで表示される。棒の方向はセンサの取り付け方向になる。右側が円と半円の二種類記載されているが、円のほうは足元、半円のほうは胸に取り付けられた距離センサに相当している。ウィンドウ中の左側に記載されている Robovie の向きは、背面から見た状態になっている。

表 2 赤外線センサ仕様

製品名	GP2Y0D02Yk0F
メーカー	SHARP
測定範囲	200 - 1500mm
使用個数	胸部 6 方向, 足元 24 方向
測定方式	PSD
使用波	赤外線
出力方式	アナログ電圧出力

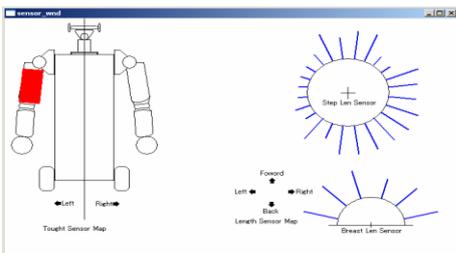


図 2 赤外線センサの配置

3. システムの流れ

本研究では、事前に周辺環境の簡単な地図のみ与えておき、ユーザからの要求文を理解しステレオカメラと赤外線センサを用いた自律移動を実現する。図 3 にシステムの流れを示す。

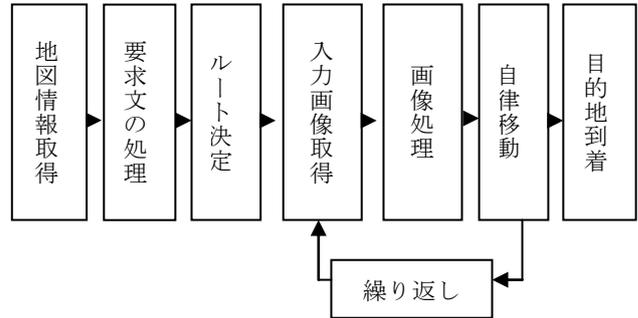


図 3 システムの流れ

4. 地図情報取得

地図情報はビットマップ形式の画像ファイルで作成しており、ユーザが事前に作成しロボットに地図情報として与える。この地図はどのように障害物が配置されているかが記載されているが、大きさや距離などは厳密に測ったものではなく、ロボットが自律移動する環境を大まかに記したものになる。図 4 に地図情報の例を示す。また図 3 において地図情報として与えた画像ファイルの左上端のピクセル座標を (0,0) としてピクセル座標が S(20,100) となる点をスタート地点とし A(480,70), B(480,100), C(480,130) となる点を目的地の候補としている。ピクセル座標とは左上のピクセルを原点とし右方向に数えた位置を x 座標、下方向に数えた位置を y 座標とする座標である。外側の黒い実線は画像の範囲をわかりやすくするために記載している。内側の黒い実線で囲まれているところが障害物である。ここでは実際の地図情報には記載されているわけではないが、分かりやすいようにスタート地点を S としており、図 3 の右側にある 3 つの A, B, C という点が目的地になりうる場所である。

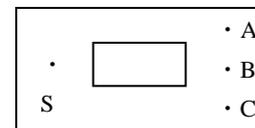


図 4 地図情報の例

5. 要求文

要求文から目的地を判断する際に用いた技術について述べる。

5.1 概念ベース

概念ベースとは、複数の国語辞書や新聞等から機械的に構築した語（概念）とその意味特徴を表す単語（属性）の集合からなる知識ベースである。概念 A に付与される属性には、その重要性を表す重みが付与されている（式 1）。概

念ベースには、87242 語の概念が収録されており、1つの概念あたり平均 38 個の属性が付与されている。本研究では概念ベースに登録されていない概念を未定義語と定義する。

$$A = \{(a_1, w_1), (a_2, w_2), \dots, (a_n, w_n)\} \quad (1)$$

各概念に付与されている属性は、概念ベースに概念として登録されている語であるため、各属性を一つ概念表記としてみなした場合、さらにそれを表す属性を導くことができる(表3)。このように、概念は概念ベースにより n 次の属性連鎖集合として定義する。また、n 次の属性集合を n 次属性と呼ぶ。

表 3 概念ベースの構成

語	属性
雪	(雪, 0.61), (白い, 0.30), (下る, 0.27), (結晶, 0.25), (雪肌, 0.19)...
白い	(雪, 0.16), (白地, 0.14), (色, 0.14), (白髪, 0.12), (白, 0.12)...
下る	(低い, 0.23), (雪, 0.21), (雨, 0.20), (下る, 0.18), (降参, 0.17)...
...	...

5.2 関連度計算方式

関連度計算方式とは、概念ベースに登録されている2つの概念間の関連の強さを定量的に表現する手法である。関連度は 0.0 から 1.0 の間の実数値で表され、概念間の関連が強いほど大きな数値となる。例えば概念「本」に対して「書物」、「雑誌」、「運動」の関連の強さを表2のように数値化できれば、コンピュータは「本」と関連がより強いのは3つの内、「書物」であるということ判断できる。

関連度計算方式には概念の表記的特徴を利用する表記関連度計算方式と、お互いの概念が持つ属性の一致度と重みを利用する意味関連度計算方式の2つが主としてある。

表 4 関連度計算の具体例

基準概念	対象概念	関連度
本	書物	0.868
	雑誌	0.224
	運動	0.007

ここで述べる関連度計算方式の定義は意味関連度計算方式のものである。以下、関連度計算方式を使うために必要な一致度、およびそれを計算に含めた関連度計算方式について述べる。

5.2.1 一致度

概念 A, B の属性を a_i, b_j 、対応する重みを u_i, v_j とし、それぞれ属性が L 個、M 個あるとする ($L \leq M$)。

$$A = \{(a_1, u_1), (a_2, u_2), \dots, (a_L, u_L)\} \quad (2)$$

$$B = \{(b_1, v_1), (b_2, v_2), \dots, (b_M, v_M)\} \quad (3)$$

このとき、概念 A と概念 B の一致度 $DoM(A, B)$ を以下のよう定義する。

$$DoM(A, B) = \sum_{a_i=b_j} \min(u_i, v_j) \quad (4)$$

$$\min(\alpha, \beta) = \begin{cases} \alpha & (\alpha \leq \beta) \\ \beta & (\alpha > \beta) \end{cases}$$

$a_i=b_j$ は属性同士が一致した場合を示している。すなわち、

一致した属性の重みのうち、小さい方の重みの和が一致度となる。このとき各概念の重みの総和は 1 になるように正規化する。よって、一致度は 0.0~1.0 の値をとる。

5.2.2 関連度

関連度 DoA は、対象となる二つの概念において、一次属性の組み合わせについて一致度を求め、これを基に概念を構成する属性集合としての一致度を計算することで算出される。

具体的には、一致する属性同士 ($a_i=b_j$) について、優先的に対応を決定する。他の属性については、全ての一次属性の組み合わせにおいて一致度を算出し、一致度の和が最大となるように組み合わせを決定する。一致度を考慮することにより、属性同士の一致だけではなく、一致度合いの近い属性を有効に対応づけることが可能となる。

また、概念 A, B 間の一致する属性 ($a_i=b_j$) については、以下の処理により別扱いとする。 $a_i=b_j$ なる属性があった場合、それらの属性の重みを参照し、 $u_i > v_j$ となる場合は、 a_i の重み u_i を $u_i - v_j$ とし、属性 b_j を概念 B から除外する。逆の場合は、同様に b_j の重み v_j を $v_j - u_i$ とし、属性 b_j を概念 B から除外する。一致する属性が T 組あった場合、概念 A, B はそれぞれ A', B' として以下のように定義し直され、これらの属性間には一致する属性は存在しなくなる。

$$A' = \{(a'_1, u'_1), (a'_2, u'_2), \dots, (a'_{L-T}, u'_{L-T})\} \quad (5)$$

$$B' = \{(b'_1, v'_1), (b'_2, v'_2), \dots, (b'_{M-T}, v'_{M-T})\} \quad (6)$$

一致した属性の関連度を $DoA_{com}(A, B)$ とし、以下の式で定義する。

$$DoA_{com}(A, B) = \sum_{a_i=b_j} \min(u_i, v_j) \quad (7)$$

$$\min(\alpha, \beta) = \begin{cases} \alpha & (\alpha \leq \beta) \\ \beta & (\alpha > \beta) \end{cases}$$

次に、一致する属性を除外した A', B' の関連度を $DoA_{def}(A', B')$ とする。 $DoA_{def}(A, B)$ を算出するために、属性数の少ない方の概念 A' の並びを固定し、属性間の属性一致度の和が最大になるように概念 B' の属性を並べ替える。この時、対応にあふれた属性は無視する。概念 A' の属性 a'_i と概念 B' の属性 b'_x が対応したとすると、概念 B' は以下のように並び換えられる。

$$B' = \{(b'_x, v'_x), (b'_{x+1}, v'_{x+1}), \dots, (b'_{x+L-T}, v'_{x+L-T})\} \quad (8)$$

この結果、一致する属性を除去した属性間の関連度 $DoA_{def}(A', B')$ を以下の式によって定義する。

$$DoA_{def}(A', B') = \sum_{s=1}^{x+L-T} DoM(a'_s, b'_s) \times \frac{\min(u'_s, v'_s)}{\max(u'_s, v'_s)} \times \frac{u'_s + v'_s}{2} \quad (9)$$

$$\min(\alpha, \beta) = \begin{cases} \alpha & (\alpha \leq \beta) \\ \beta & (\alpha > \beta) \end{cases}, \max(\alpha, \beta) = \begin{cases} \alpha & (\alpha \geq \beta) \\ \beta & (\alpha < \beta) \end{cases}$$

このように、一致する属性間の関連度 $DoA_{com}(A, B)$ と、それら以外の属性間の概念関連度 $DoA_{def}(A', B')$ をそれぞれ

れ算出し、合計を概念 A , B の関連度 $DoA(A,B)$ とする.

$$DoA(A,B) = DoA_com(A,B) + DoA_def(A',B') \quad (10)$$

関連度も、一致度と同様 0.0~1.0 の値をとる. 1.0 に近いほど、関連の度合いが強いことを示す.

5.3 要求文判断の流れ

要求文はテキストファイル形式で入力される. 文章はどんな長さでもいいが、自律移動に関するものに限定する. ユーザから与えられた「飲み物をとって」、「テレビをつけて」などの要求文に対しての目的地の判断方法について述べる. 以下に例として「寒いので服をとって」という文章に対して形態素解析を行った結果を図 5 に示す.

寒い	サムイ	寒い	形容詞-自立
ので	ノデ	ので	助詞-接続助詞
服	フク	服	名詞-一般
を	ヲ	を	助詞-格助詞-一般
取っ	トッ	取る	動詞-自立
て	テ	て	助詞-接続助詞

図 5 形態素解析の結果

このとき最初の格助詞の前にある名詞を目的語とし抜き出す. この場合であれば「服」を今回の要求文の目的語とし抜き出す. その後目的語と目的地の単語との関連度計算を行う.

例えば目的地の候補が筆筒, 冷蔵庫, テレビの場合について考える, 服との関連度計算を行うとそれぞれ 0.03, 0.001, 0.002 となるので関連度は筆筒との関連度が一番大きくなる. したがってこの要求文の目的地は筆筒となる.

次に目的地を判断するために用いる閾値について述べる. 閾値は目的地に対応した要求文かどうかを判断するものであり, 目的地との関連度計算を行った際に, 3 つの目的地に対して計算を行った関連度が閾値以下であれば, 目的地は存在しないと出力する. 今回閾値に関してはまず 7 種類の目的地に対してアンケートを行った. アンケート内容は冷蔵庫やテレビなどに対して関係のある単語と関係のない単語を記入してもらったものである. アンケートによって目的地に対して関係のあると考えられる単語それぞれ 5 つずつ取得した.

これらの取得した関係のある単語 5 つと関係のない単語 5 つに対してそれぞれ関連度計算を行い, 求めた関連度の平均値である 0.005 を閾値とした.

6. 画像処理

ロボットに搭載された 2 台のカメラ前方を撮影し, ステレオ画像を取得する.

2 画像間の特徴点をマッチングするためには, それぞれの局所特徴量という値を抽出し, それらを比較することで

行う. 本研究では BRIEF アルゴリズム^[2]を用いてこの局所特徴量を計算し, それらを比較してマッチングを行う. マッチングした結果例を図 6 に示す.

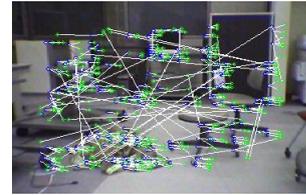


図 6 マッチング例

図 5 から, いくつかの点間でマッチングが失敗している点がある. これは局所特徴量という値で比較するため, カメラの位置関係が考慮されていない. そこで, 位置関係から相応しくない点を削除する処理を加える.

同じ物体を写した 2 枚の画像は, ある平面から別の平面への射影変換で表すことが出来, 左画像の特徴点の位置 p_{left} と, 右画像の特徴点の位置 p_{right} の関係は次の式で表現できる.

$$p_{right} = H p_{left}, \quad p_{left} = H^{-1} p_{right} \quad (1)$$

ここで H は射影変換行列であり, 以下の逆射影誤差を最小化することで求まる.

$$\sum_i \left(x'_i - \frac{h_{11}x_i + h_{12}y_i + h_{13}}{h_{31}x_i + h_{32}y_i + h_{33}} \right)^2 + \left(y'_i - \frac{h_{21}x_i + h_{22}y_i + h_{23}}{h_{31}x_i + h_{32}y_i + h_{33}} \right)^2 \quad (2)$$

この式を, RANSAC アルゴリズムに適用し, 外れ値を除去する処理を施す. 結果が図 7 となる.



図 7 削除処理を施した後のマッチング結果

7. 自律移動

まずスタート位置ではロボットは, 要求文から判断した目的地方向を向いている. その後スタート地点で画像を取得し障害物との距離を取得する. 与えられている地図情報から距離を取得した障害物がどの障害物かを判断できるので, 地図情報から求めたルート上を進んでいく. ルート決定時に求めた回転移動箇所において, 回転移動した後に毎回同じ動作を行い目的地まで進んでいく.

7.1 赤外線センサの利用

Robovie はリアルタイムでの制御が難しく, 自律移動の際にはあらかじめ取得した地図情報やステレオカメラの情報との誤差が発生する. 例えば直線を進むように命令しても車輪の角度を制御するものがないために, 直線状をまっすぐ進むことが出来ない. また 9 章で提案した手法により物体検出を行い, 何 cm 先に障害物があるかという情報を

得たが、Robovie の車輪部分には距離を制御する機能がないので、細かく制御するのが難しい。事前に行った Robovie による走行実験で 1 秒あたりに 15cm 進むという結果を得ることが出来たので移動する時間によってある程度の距離を測ることができるが、路面状況やモーターの駆動状況などによって多々変化してしまう。そのため自律移動を行う際に障害物に接触しないように、補助的に赤外線センサを用いる。この際には赤外線センサから取得した障害物との距離情報が 30cm から 60cm の間になるように保ちながら自律移動を行う。

7.2 回転移動

回転移動については Robovie の車輪には回転角を制御するものが搭載されていないため、胸部に搭載されている赤外線センサを用いて回転角度を求める

24 方向にセンサが等間隔で配置されていることからセンサの間隔は 15 度ごとになっており、15 度間隔で回転角度を制御できる。

図 8 に回転移動を行うときの角度の求め方の例を示す。図 8 において反時計回りに 90 度の回転移動を行いたいとする。このとき図 15 の赤外線センサ A と赤外線センサ B は間に 5 本の赤外線センサがあるため、この 2 つのセンサの配置の間隔は 90 度になっているということが分かる。その位置に留まりながら回転移動を行ったとすると、回転移動後の赤外線センサ A の距離情報が、回転移動前の赤外線センサ B の情報と等しくなれば 90 度回転したということになる。このようにして回転移動を行う。

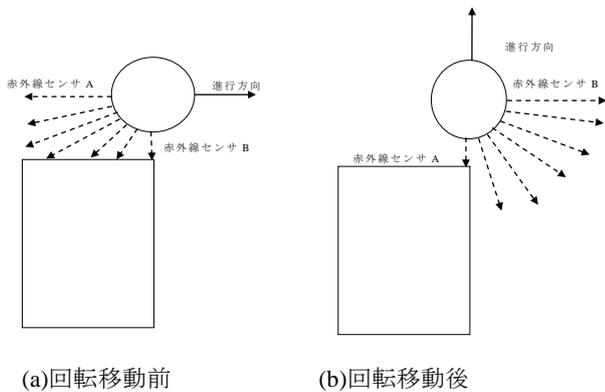


図 8 回転移動の例

8. 実験

1 つの地図情報に対して要求文を 10 文入力し走行実験を行った。図 9 に与えた地図情報、図 10 に実際に配置した様子の写真を示す。

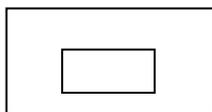


図 9 与えた地図情報



図 10 実際の実験環境

要求文は大学生 5 名に目的地に対してどのような要求文が想定されますかというアンケートから取得したものである。10 人から合計 30 文ほど取得し、同じ内容のものも存在したので取得した数の多い文章を 10 文用いた。表 5 に実験に用いた要求文を示す。

目的地はランダムで決定し、要求文から求めた目的地がある場合を 4 回、目的地がない場合を 2 回試した。

表 5 与えた要求文

与えた要求文	予想される目的地
飲み物がほしい	冷蔵庫
温度を下げて	エアコン
寒いので服を取って	箆笥
テレビをつけて	テレビ
インターネットで調べて	パソコン
机の上に置いて	机
部屋をきれいにして	掃除機
喉が渴いた	冷蔵庫
音楽を聴きたい	パソコン
食べ物がほしい	冷蔵庫

8.1 実験結果

要求文から想定される目的地が地図上に存在する場合、正しくその目的地を判断し、自律移動して到達できた場合を成功とする。目的地を判断できない場合や障害物との接触、停止の場合は失敗とする。目的地が存在しない場合には目的地が存在しませんと出力された場合に成功とした。目的地がある場合と目的地がない場合について結果を表 6、表 7 に示す。

表 6 目的地がある場合

到達	判断失敗	到達できず
28 回	5 回	7 回

表 7 目的地がない場合

ないと判断	判断失敗
12 回	8 回

8.2 考察

目的地がある場合に関しては目的地到達が 28 回となった。目的地がない場合に関しては目的地判断成功が 12 回となった。まず失敗した理由の 1 つに目的地判断失敗があげられる。目的地がある場合、ない場合に対してそれぞれ 5 回、8 回失敗している。まず目的地がある場合について失敗し

た例を述べる。「喉が渴いた」という要求文を判断する場合に最初の自立語である喉という単語と予想される目的地である冷蔵庫という単語について関連度計算を行った時に関連度が閾値よりも低くなってしまったため目的地として現れなかった。今回の実験ではすべての目的地に対して同じ閾値を用いて実験を行ったが、閾値の設定を目的地ごとに細かく設定することで、成功回数が増加すると考えられる。今回は目的地に関係のある単語と関係のない単語もすべて含めた関連度の平均値を閾値としたが、関係ありの平均値と関係なしの平均値をそれぞれ求めその中間値をとる手法も考えられる。また「部屋をきれいにして」という要求文を入力した場合にも同じく、部屋と掃除機との関連度計算を行った場合に関連度が低くなってしまった。掃除機の場合に関しては、部屋という単語よりもきれいにという単語に着目することで、掃除機と判断することが出来るのではないかと考えられる。目的地がない場合に対しては例えば「テレビをつけて」という要求文を与えた際に、テレビがなくてもパソコンなどが存在すると関連度が高くなってしまい、誤認識してしまった。今回の例であれば「テレビをつけて」の場合に抽出する目的語はテレビであるので、事前に目的地になる可能性の物体の一覧をデータベースなどに入力しておき、目的地になる可能性のある物体名が目的語として現れた場合には、ランダムに選ばれた目的地の中に、その物体名がなければ目的地は存在しませんと出力する必要があると考えられる。

また今回は要求分から抽出した目的語 1 単語についてのみ関連度計算を行っているため、今後は動詞などの他の品詞も考慮に入れる必要があると考えられる。

目的地に到達できなかった失敗に関しては赤外線センサ情報の取得の誤りが 4 回、Robovie には車輪回転数から走行距離を制御するものがないため進みすぎてしまい障害物と接触してしまうという失敗が 4 回あった。赤外線センサについてはリアルタイムで距離の取得を行っているが、安価なものであるため正しい距離が取得できない場合が多数存在した。これは赤外線センサを性能の高いものに変更することによって成功回数が増加すると考えられるが、安価なシステムを目指しているため、赤外線センサ情報の補正方法を検討する必要がある。

9. おわりに

本研究では要求文とステレオカメラ、赤外線センサを用いて自律移動を行う手法を提案した。全体の精度は 60 回中 40 回成功だった。本研究の手法を用いることでユーザからの要求に対して目的地を判断し目的地まで移動するという事が出来るようになったが、日常生活で用いるためには課題も多い。本研究ではテキスト入力で行ったが、日常生活ではユーザは声に出してロボットに要求を行うことが多いと考えられるため、今後は音声認識を用いることによって、

日常生活に用いることが出来るようになると思われる。今回は要求文を自律移動に関するものに限定していたが、「手を挙げて」などの自律移動に関係ない文章にも対応することができるようになることも課題として挙げられる。また生活環境において用いるにはリアルタイムで動かすことができるということが最も重要なことであると考えられる。画像取得の、部分でも述べたが Robovie はリアルタイムでの画像取得などが難しいためリアルタイムでの自律移動が出来ていない。早急にリアルタイムで実行できるようにすることを目指す必要があると考えられる。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究(B)24700215)の補助を受けて行った。

参考文献

- 1) 大谷和彦, 永谷圭司, 吉田和哉, “GPS およびオドメトリ機能を搭載した移動ロボットの不整地フィールドにおける位置推定実験”, 第 10 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 論文集, pp.920-923, 2009.
- 2) 岡田尚樹, 柴崎亮介, 帷子京市郎, 趙卉菁, “レーザスキャナを用いた移動ロボットの自己位置推定と地図構築”, 地理空間情報フォーラム学生フォーラム研究発表論文集 Vol.10, pp.221-222, 2008.
- 3) 渡部広一, 河岡司, “常識判断のための概念間の関連度評価モデル”, 自然言語処理, Vol.8, No.2, pp.39-54, 2001.
- 4) Calonder M., Lepetit V., Strecha C., F “Google”, <http://www.google.co.jp/>
- 5) Calonder M., Lepetit V., Strecha C., Fua P, “BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features”, Lecture Notes in Computer Science, Vol.6314, pp.778-792, 2010.