

視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発（第4報）

－画像情報による周辺環境認識と走行制御への応用－

橋場 参生, 本間 稔規, 吉川 毅

Development of Autonomous Mobile Robot with Vision System (Part IV)

－Environment Understanding by Computer Vision and it's Application for Navigation Control－

Mitsuo HASHIBA, Toshinori HONMA, Takeshi KIKKAWA

抄 録

自律走行ロボットには、実時間で環境を認識し、その結果を利用してナビゲーションを行う機能が求められる。しかし、画像情報を用いた複雑な幾何計算は、処理時間の問題から実時間での使用が困難である場合が多い。本報では、この問題を解決するために、エッジ抽出、二次微分、射影などの画像処理を組み合わせることによって短時間で環境を認識し、ロボットのナビゲーションを行う方法を検討した。開発した画像処理手法を走行ロボットに実装し、走行実験を行った結果、本方法がロボットの走行制御に有効であることを確認できた。

1. はじめに

自律走行ロボットには、実時間で外界の環境を認識し、その結果を利用してナビゲーションを行う機能が求められる。環境を認識するためのセンサとしては、人間の視覚に相当するカメラが代表的であるが、画像処理に伴う計算時間の問題から、実時間での使用が困難である場合が多い。この問題を解決するための試みとして、高速画像処理装置や大容量の画像メモリを用いる方法が報告されている^{1,2)}。

本研究では、ハードウェアの強化によって解決を図る方法ではなく、環境認識に必要な画像処理手法を簡略化することで実用的な処理速度を得る方法を検討した。考案したナビゲーション方法は、建物内の廊下を走行するロボットを想定したもので、エッジ抽出、二次微分、射影などの画像処理を用いて環境の認識を行い、ロボットの走行を制御するものである。本方法は、複雑な幾何計算を用いないために実行が容易であり、市販のパーソナルコンピュータと画像入力ボードを用いたハードウェア環境においても実用的な処理速度を得ることができる。

本報では、まず、考案したナビゲーション方法と環境認識に使用する画像処理手法について述べ、続いて、開発中の走行ロボットを用いて行った走行実験とその結果について報告する。

2. ナビゲーションの方法

建物内を自律走行するロボットに要求される基本的な機能は、「目標とする部屋に向かって自己の位置を把握しながら廊下を走行し、部屋を見つけて中に入る」ということである。今回は、この基本機能を実現する上での条件として、

- ・画像情報のみを用いて走行する。
- ・高速画像処理装置などの特殊なハードウェアを使用せずに実用的な処理速度を得る。

という2点を設定し、この条件の下でナビゲーション方法と画像処理手法の開発を行った。

本ナビゲーション方法の概略を図1に示す。ロボットは、走行開始後、

- ①通過した蛍光灯やドアの数を数えながら廊下を直進し、目標とする部屋の付近まで進む。
- ②目標とする部屋が存在する方向にカメラのみを回転し、カメラの画像が壁から部屋に変化する地点を探して直進を続ける。
- ③カメラが部屋を捉えた地点でロボット本体をカメラの方向に回転し、部屋の中に入る。

という手順で目標の部屋へ移動する。なお、②では、ロボットが横方向だけを捉えて走行することになるが、前方の確認も必要であれば、人間が首を振るように、前と横に交互にカ

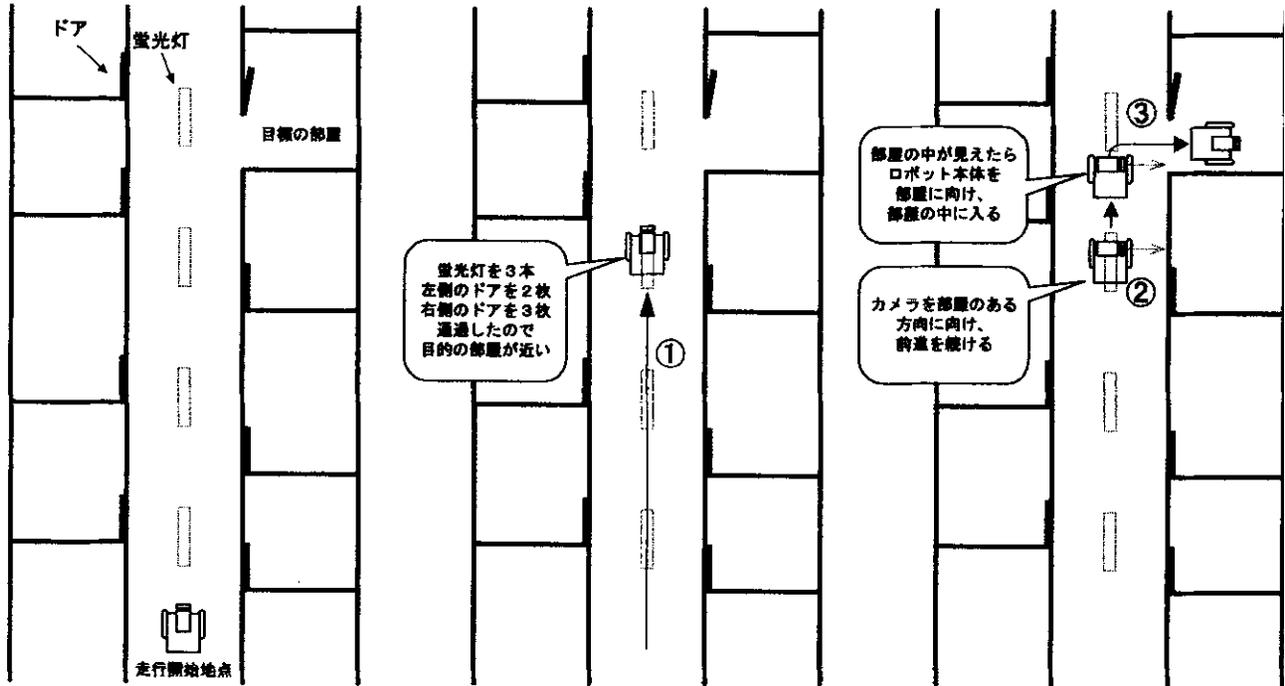


図1 ナビゲーション方法

メラを回転させれば良い。

①～③における蛍光灯やドア、壁や部屋の認識は、次節で述べる画像処理手法を用いて行う。また、これらの画像処理手法の他に、走行の目印としてドアを認識するための画像処理手法や、突発的な障害物を検出するための画像処理手法を開発し、ナビゲーションに利用できるようにした。

3. 環境認識に用いる画像処理手法

本節では、走行ロボットのナビゲーションを行うために開発した画像処理手法に関して述べる。各手法には、処理の高速化を実現するために複雑な幾何計算は用いておらず、エッジ抽出、二次微分、射影などの比較的計算が容易な画像処理を組み合わせることで機能を実現している。

3.1 廊下直進時の蛍光灯とドアの認識

ロボットが目的の部屋に向かって廊下を直進している際に、次のような画像処理手法を用いて、通過した蛍光灯の本数やドアの枚数を数える。

- ①図2に示すような画像の上端・左端・右端の領域のそれぞれについて、濃度値の総和を計算する。
- ②上端の領域の濃度値の総和により、蛍光灯を通過することを判断する。一般的に蛍光灯が存在している領域は濃度値が高いため、濃度値の総和が設定したしきい値を越えた場合に、蛍光灯と判断する。
- ③左端・右端の領域の濃度値の総和により、ドアを通過することを判断する。例えば、ドアの濃度値が低い場合に



図2 蛍光灯とドアの認識

は、濃度値の総和が設定したしきい値以下になった場合にドアと判断する。

3.2 廊下の中心の認識

ロボットが廊下を直進するためには、廊下の中心や、両側の壁の位置などを知る必要がある。今回は、画像処理によって廊下の中心を求め、その情報をナビゲーションに利用するようにしている。

廊下の中心は、次のような考え方から求める。図3aに示すような廊下の画像から縦方向のエッジの抽出を行った場合に、主にエッジが抽出されるのは、天井と廊下奥の画像を含む図3bの×印の領域であると考えられる。したがって、縦方向のエッジの抽出結果の縦射影を計算すれば、×印の領域内に縦射影のピークが現れるはずである。この縦射影のピークを利用すれば、おおよその廊下の中心を知ることができる。以上の手順をまとめると次のようになる。

- ①廊下の画像から縦方向のエッジを抽出する。
- ②天井と廊下奥を含む、画像の上部領域について、抽出結果の縦射影を計算する。
- ③縦射影の結果を平滑化する。
- ④平滑化した縦射影のピークを求め、これを廊下の中心とする。

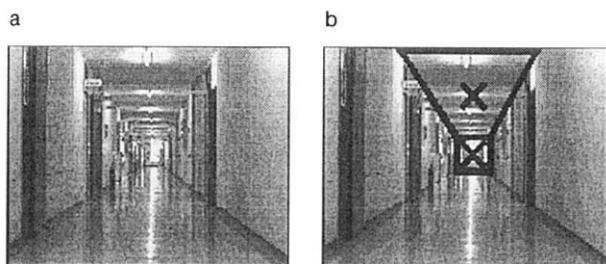


図3 縦方向のエッジが多く抽出される領域

図4、図5は、当場の廊下に本手法を適用した結果である。図4はほぼ廊下の中央をロボットが直進している時、図5は、ロボットが右に寄っている時の画像であるが、いずれの場合も、廊下の中心に縦射影のピークが現れている。

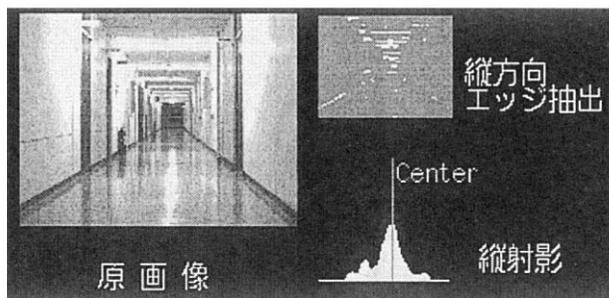


図4 廊下の中心の認識 (1)

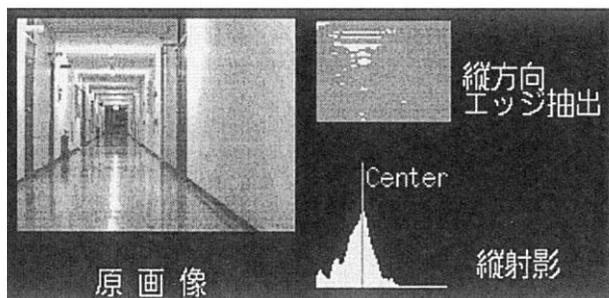


図5 廊下の中心の認識 (2)

3.3 壁の認識

壁の画像は濃淡の変化が少ないという特徴を利用して、次のような画像処理手法で壁の認識を行う。

- ①画像の二次微分を計算し、しきい値処理によって二値化する。
- ②二値化した結果の縦射影を計算する。

- ③縦射影の結果をしきい値処理し、設定したしきい値を越える射影が少なければ壁と判断する。

本手法による壁の画像処理例を図6に示す。

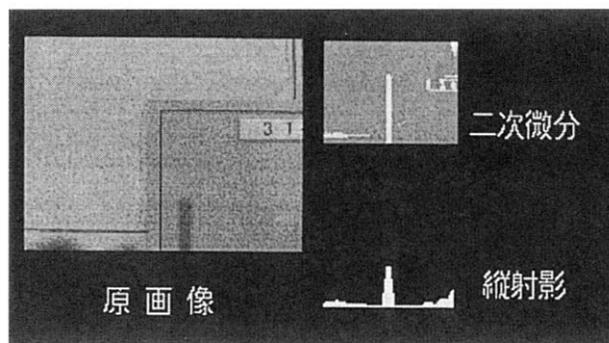


図6 壁の認識

3.4 部屋の認識

部屋の内部を捉えた画像には、濃淡の変化が多く現れると考えられる。この特徴を利用して、壁と同様の処理によって、部屋であることを認識する。

- ①画像の二次微分を計算し、しきい値処理によって二値化する。
- ②二値化した結果の縦射影を計算する。
- ③縦射影の結果をしきい値処理し、設定したしきい値を越える射影が多ければ部屋と認識する。

本手法による部屋の画像処理例を図7、図8に示す。図7は、部屋の中が見え始めている状態、図8は、部屋の中が見えた状態の画像である。

図6との比較からもわかるように、廊下環境においてカメラが壁の方向を向いているような場合には、本手法は有効な壁と部屋との判別方法になると思われる。しかし、部屋の内部を捉えた画像が必ずしも濃淡の変化が激しいとは限らないため、信頼性の高い認識結果を得るには、記憶しておいた部屋の画像とのテンプレートマッチング等が必要と考えている。

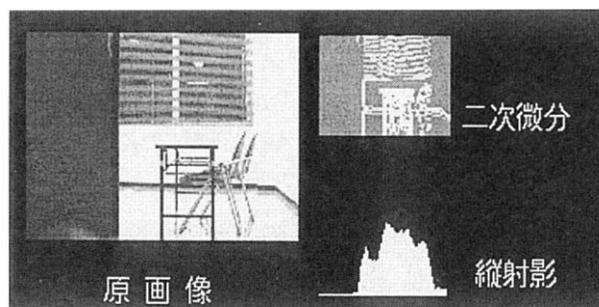


図7 部屋の認識 (1)

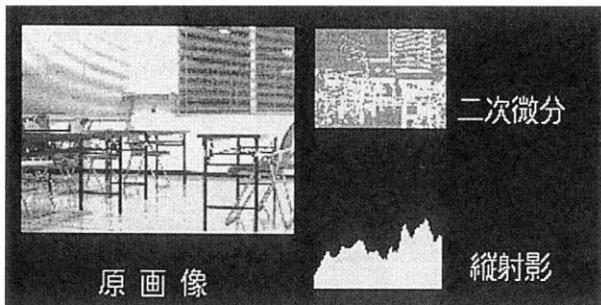


図8 部屋の認識 (2)

3.5 ドアの認識

建物内の廊下に存在するドアは、走行方向の決定などにおいて有効な目印となる。そこで、ドアと壁との濃度値の違いを利用して、次のような画像処理手法でドアを認識する。なお、以下では、ドアの濃度値が壁よりも低いものとして説明を行う。

- ①しきい値処理によって画像を二値化し、濃度値の低い部分を抽出する。
- ②抽出結果の縦射影を計算する。
- ③縦射影の結果をしきい値処理し、設定したしきい値を越える射影が、ある幅以上を持って現れた場合にドアと認識する。

本手法によるドアの画像処理例を図9に示す。本手法は、進行方向の決定に利用できる他、2節の②に記した壁を捉えながらの走行において、目標とする部屋のドアが閉じている場合の判断にも利用することができる。

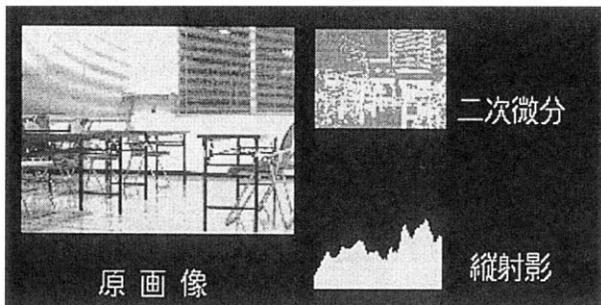


図8 部屋の認識 (2)

3.6 障害物の出現の検出

ロボットの前方に人などが突発的に出現した場合にロボットを停止させるため、次のような画像処理手法で、障害物の出現を検出する。

- ①取り込み時刻の異なる2枚の画像の差分を計算する。
- ②差分の結果が、設定したしきい値を越えた場合に、障害物が出現したと判断する。
- ③走行を再開する場合には、停止する直前の画像と現在の画像の差分を用いて、前方の障害物が消失したことを判断する。

4. 走行実験

上記の画像処理手法を開発中の走行ロボットに実装し、2節のナビゲーション方法を用いた走行実験を行った。

4.1 実験システム

実験に使用した走行ロボットを図10に示す。画像処理及び走行制御には、パーソナルコンピュータ(NEC製PC-9821Ap,i486DX2クロック66MHz)と画像入力ボード(マイクテック製SI98-MN)を用い、カメラには、16mm単焦点レンズを装着したモノクロCCDカメラ(SONY製XC-77RR)を焦点・絞り固定で使用した。画像処理には、80x60pixelの画像データを使用し、各画像処理手法は、制御に関係しない場合でも全て実行するようにした。以上の構成で、3節に記した6つの画像処理に要した時間は、ディスプレイへの表示も含めて約0.7秒であった。

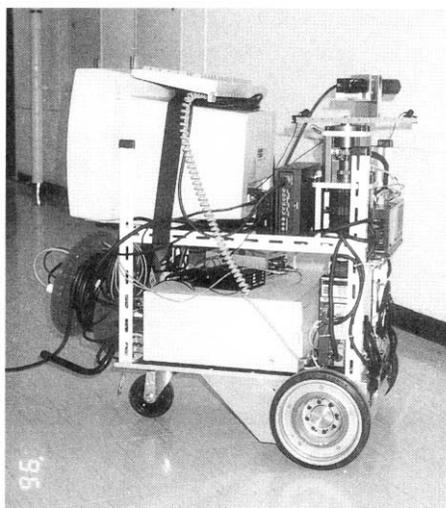


図10 実験に使用した走行ロボット

4.2 走行経路

実験場所は、工業試験場研究棟3Fの廊下を用い、走行経路をエレベータホールから約25m先の部屋までとした(図11)。また、実験条件として、走行経路上には回避を必要とする障害物はない、目標とする部屋のドア以外は全て閉じているという設定を行った。実験を行った廊下は、壁が白色に近く、ドアが黒色に近いので、照明に問題がない場合には、モノクロCCDカメラを用いても壁とドアの分離が可能であった。

この経路を画像情報のみを用いて走行させるために、ロボットには次のような走行手順と使用する画像処理手法(3節の項を括弧内に記載)の指示を与えた。

- ①左方向に回転し、ドア A を見つける (3.5)。
 - ②ドア A が画像の中心になるように駆動輪を制御しながらドアに向かって進む (3.5)。
 - ③画像がドア A で占められたことを手がかりにして一時停止する (3.5)。
 - ④右に回転し、廊下の中心 (縦射影のピーク) を見つける (3.2)。
 - ⑤廊下の中心が画像の中央に来るように駆動輪を制御しながら走行する (3.2)。
 - ⑥走行しながら、通過した蛍光灯とドアの数を数える。今回使用したカメラでは、図 2 の上端領域に捉えられる蛍光灯は前方約 9m の地点に、左端・右端領域に捉えられるドアは、前方約 4m の地点に存在している (3.1)。
 - ⑦ 3 本目の蛍光灯 (蛍光灯 F) を認識した所でカメラのみを 90 度左に向ける。蛍光灯 B、C は、④の時点でカメラの視界から外れており、蛍光灯 F が 3 本目になる (3.1)。
 - ⑧目標とする部屋の内部が視界に入るまで直進する (3.3、3.4)。
 - ⑨左に回転し、部屋の中に入る (3.4)。
 - ⑩走行時は、障害物検出の処理を併せて行い、障害物が出現した場合には一時停止する (3.6)。
- 今回の実験は走行手順等をあらかじめロボットに与えた上で行ったが、ロボットが有する地図情報から自動的に作成させることも十分可能と思われる。

4.3 実験結果

本ナビゲーション方法により、画像情報のみを用いて廊下を走行した結果を図 12 に示す。実験でのロボットの走行速度は、約 0.2m/秒である。

初期状態として、エレベータ前方 1.5m の位置に階段の方向を向いて停止していたロボットは、与えられたナビゲーション方法に従って、ドア A、廊下の中心、蛍光灯などを認識し、目標とする部屋に到着した。また、連続して取り込んだ 2 枚の画像の差分を用いることによって、直前に人などが出現した場合には、一時停止を行うことができた。

同様の走行実験を、ロボットの初期位置・姿勢を変えて繰り返し行った結果、ドア A に到達した後は、図 12 とほぼ同様の走行結果が得られ、考案した画像処理手法の組合せによって走行ロボットのナビゲーションが可能であることを確認できた。

4.4 考察

走行実験を行った廊下は、窓が少なく明るさが比較的安定しており、ドアと壁との濃度差も大きいという特徴を有していた。今回の実験結果より、同様の条件を備えた施設内であれば、本ナビゲーション方法を用いてロボットを走行させることは可能と考えられる。

しかしながら、実際の運用において走行が要求される環境は、より複雑な条件を備えていることも予想されるため、環

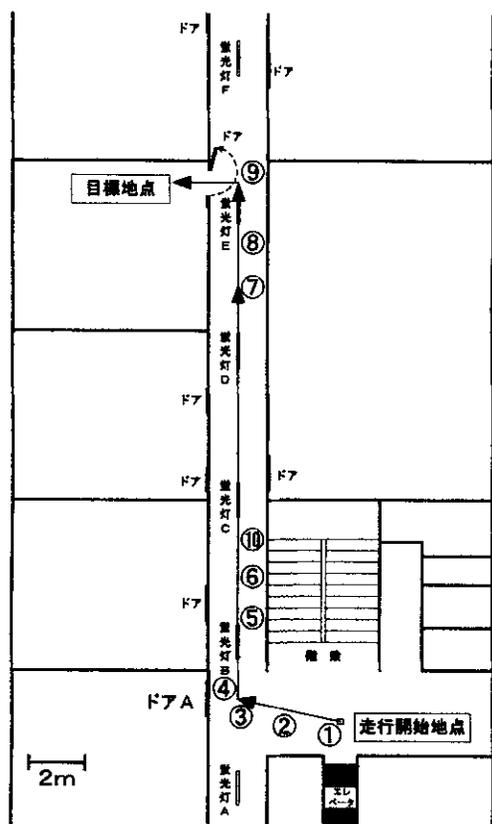


図11 走行経路

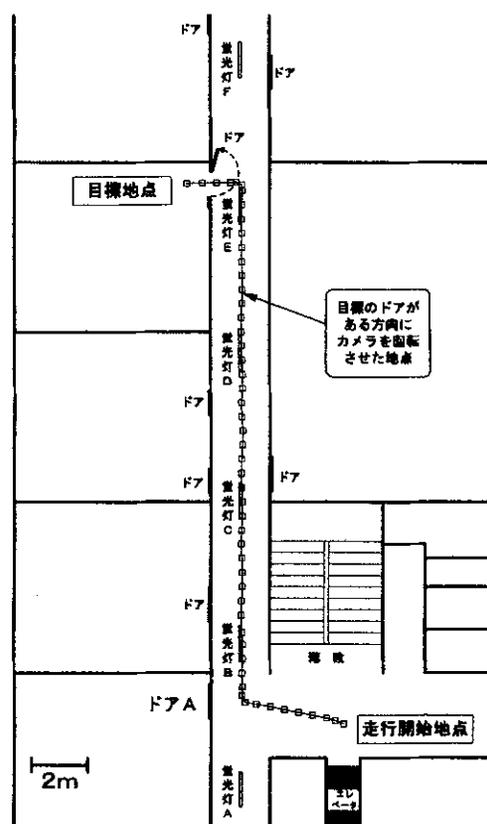


図12 走行結果

境認識に用いる画像処理手法の改良と新規開発は今後も継続して進める必要がある。この点については、テンプレートマッチングや、直線抽出などの画像処理を利用した環境認識を検討中である。

また、ロボットの実用性をさらに高めるためには、デッドレコニングや他の外界センサからの情報とも連携を図っていかなければならない。現在は画像情報による環境認識以外にも、デッドレコニングや超音波センサなどの情報を利用する機能³⁾や、必要に応じてロボットを一時停止させ、画像情報を用いて位置計測を行う機能の開発を進めている⁴⁾。

一方、環境認識に用いた複数の画像処理手法は、市販のパーソナルコンピュータと画像入力ボードを用いた環境でも、1秒以内で処理を行うことが可能であった。この処理速度は、安全性も考慮した0.2m/秒程度の速度でロボットを走行させる場合には、十分な処理速度であると考えられる。特に、道内中小企業への技術移転を考えた場合には、開発コストなどの理由から汎用的なハードウェアでの実用化が重要であり、この点においても、本方法は有効であると考えられる。

5. まとめ

本報では、画像情報による走行ロボットのナビゲーションを目的として、エッジ抽出、二次微分、射影などの画像処理を組み合わせた環境認識手法を開発し、走行実験を行った。

実験の結果、画像情報のみを用いて走行ロボットのナビゲーションを行うことができ、本手法の有効性が確認できた。また、汎用的なハードウェアを用いても実用的な処理速度を得られることを確認した。

今後は、デッドレコニングや超音波センサなどの情報も活用して走行ロボットの信頼性を高めていくとともに、複数の簡潔な画像処理結果を統合して、高度な環境認識を行うアルゴリズムの開発を進めていきたい。また、各画像処理手法のモジュール性を高め、走行ロボットのための画像処理ライブラリとしてまとめていくことも検討したい。

参考文献

- 1) 井上博允, 稲葉雅幸, 森武俊, 立川哲也: “局所相関演算に基づく実時間ビジョンシステムの開発”, 日本ロボット学会誌, Vol.13, No.1, pp.134-140, 1995
- 2) 松本吉央, 稲葉雅幸, 井上博允: “視野画像列を利用した経路表現に基づくナビゲーション”, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.2, pp.236-242, 1997
- 3) 吉川毅他: “視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発(第2報) - 機能モジュールの開発と自律走行試験 -”, 北海道立工業試験場報告, No.296, 1997
- 4) 本間稔規, 高橋裕之, 橋場参生: “視覚システム搭載型

自律走行ロボットの開発(第3報) - 能動的ランドマーク計測による自己位置認識法 -”, 北海道立工業試験場報告, No.296, 1997