

環境からの助言を用いた 移動マニピュレータによる物体把持の実現

— IMS を適用した移動マニピュレータの動作戦略 —

佐藤弘康 田坂栄徳 永谷圭司 五福明夫 (岡山大学)

Grasp Motion for Mobile Manipulator Based on Intelligent Mark System

— Grasping Strategy and Implementation with IMS —

*Hiroyasu SATO, Hidenori TASAKA, Keiji NAGATANI, Akio GOFUKU Okayama Univ.

Abstract— Grasping an object using a mobile robot is difficult by current sensor technology. To solve this problem, we propose a supporting robot system that helps robot's recognition using marks, called IMS (Intelligent Marks System). This system enables intercommunication between a robot and intelligent marks that are put on target objects to obtain it's data. In this paper, we apply IMS to mobile manipulator to measure a three dimensional coordinates of target object. Based on the information, a strategy to grasp a target object for mobile manipulator is discussed.

Key Words: Mobile manipulator, Hand-eye system, Omnidirectional camera

1. はじめに

移動マニピュレータによる物体の探索・把持は、非常に困難である。これは、現在のセンサ技術において、物体の探索や位置・姿勢の認識を精度良く、かつロバストに行うことができないということが原因である。そこで本研究では、物体の認識能力の向上を目指すのではなく、物体にマークを貼付し、このマークからロボットへ情報を提供することで、この問題を解決するアプローチをとることとした。これにより、環境に存在する多数の物体とロボットが相互に通信を行うことで、把持対象物を検索し、探索から把持の動作を確実に行うことができる。

このような環境知能に関する研究は、これまでもいくつかの研究機関で行われてきた。石黒らの研究グループ³⁾や、橋本らの研究グループ²⁾や、佐藤らの研究グループ¹⁾では、環境そのものにセンサ類を埋め込み、環境の知能化を進めている。これらの研究では、環境の改造やカメラのキャリブレーションなど、環境整備に比較的成本がかかるという問題がある。一方で、環境整備のコストが小さいマークを利用することで、人間やロボットなどに情報を提供するシステムについても、研究が進められている。浅間らは、知的データキャリアと呼ばれるタグを環境中に配備し、移動ロボットや人間との情報交換を実現した⁴⁾。このシステムでは、タグが貼付されている位置情報を精度良く求めることが難しい。一方、太田らは、画像マークを環境中に貼付し、作業移動ロボットに情報を提供するシステムを開発した⁵⁾。谷江らは、RFID タグによる物体の位置と姿勢認識を実現している⁶⁾。これらの研究では、精度良く対象物の位置・姿勢を求めることが可能であるが、マークの位置情報が既知であり、かつマークとロボット間の距離が近い必要がある。

そこで、本研究では、比較的遠距離でも通信が可能

であり、かつ位置の特定が容易な光通信デバイスを用いたマークを利用し、対象物の識別と位置・姿勢の認識を行うことができるシステムの構築を目指すこととした。また、これを用いて、移動マニピュレータによる対象物の把持・運搬の動作の実現を目指すことにした。

本稿では、上記の動作を可能にするデバイスと、これと通信を行うマーク検出ユニットから成る「インテリジェントマークシステム (Intelligent Mark System:IMS)」の構成及び機能の解説を行う。また、このシステムの移動マニピュレータへの適用手法および、物体の発見から把持までの一連の動作戦略について述べる。

2. IMS の概要

インテリジェントマークシステム (IMS) は、ロボットが物体を探索する際、ロボットに備えるセンサに加え、把持対象物からも情報を発信することで、ロボットの物体認識の補助を行うものである。

IMS は、インテリジェントマークとマーク検出ユニットから構成される。インテリジェントマークとは、ロボットに情報を提供する小型なデバイスであり、把持対象物に貼付するマークである。このマークは、ロボットに搭載するマーク検出ユニットと通信を行うことができる。

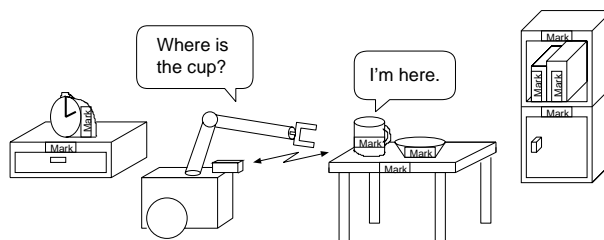


Fig.1 Image of research objective with IMS

Fig.1 に IMS を用いてロボットが環境中の物体を認

識するイメージを示す。インテリジェントマークは、環境に存在する様々な物体に貼付する。それぞれのマークは、識別コードを記憶しており、ロボットは、あらかじめ目標物体に貼付している識別コードを環境に発信することで、特定のマークとの通信を確立することができる。

3. IMS の構成

IMS は、可視光と赤外光という 2 種類の光を送信波とした光通信方式を利用したインテリジェントマーク及び、マーク検出ユニットからなるシステムである。このシステムの構成を Fig.2 に示し、以下に個々の構成要素の概略を述べる。

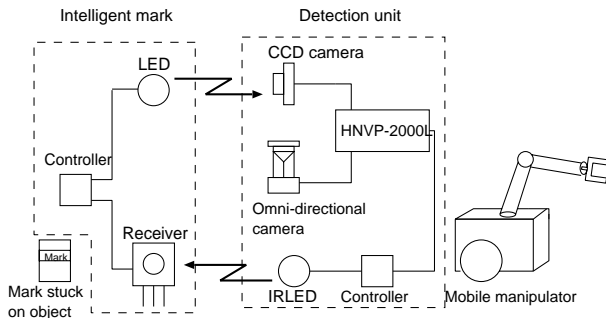


Fig.2 An overview of Intelligent Mark System

3.1 インテリジェントマーク

インテリジェントマークは、ロボットに情報を教示することを目的としており、環境に存在する物体に貼付する。そのため、可能な限り小型であることが望ましい。そこで、本研究では、小型マイコンを搭載したマークの設計・製作を行った。この製作したマークの外観を Fig.3 に示す。大きさは、縦と横が 25[mm]、高さ 14[mm] である。このマークは、基板上に、小型マイコン (PIC-12F629)、受光素子、発光ダイオードをそれぞれ 1 個搭載している。なお、駆動電圧は 3[V] であり、電池内蔵型のマークである。

物体の情報は、マーク自身が保持している。このため、新しい物体が環境に追加される場合、マークをその物体に貼付し、そのマークに識別コードを与えることで、環境を大きく改造することなく、移動マニピュレータのための環境整備を行うことができる。

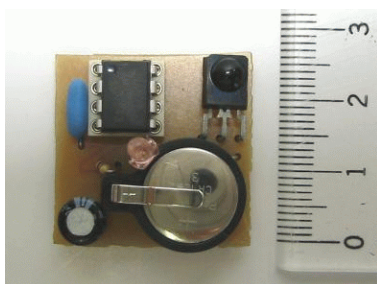


Fig.3 An intelligent mark

3.2 マーク検出ユニット

マーク検出ユニットは、Fig.2 に示すように、ロボットに搭載するものである。これは、2 つのカメラと画像

処理装置で構成した受信部、赤外発光ダイオードアレイと、そのコントローラで構成した送信部により成る。

受信部では、マークが光る位置を検知し、そのマークの 3 次元位置を確定するために、2 つのカメラを使用する。本研究では、広い範囲を検索できる全方位カメラと、コンピュータの先端に搭載した CCD カメラという、性質の異なる 2 つのカメラを使用することとした。また、これらの取得画像の処理のため本研究では、日立の画像処理 LSI「SuperVchip」を搭載した HNVP-2000L を利用することとした。

送信部は、赤外発光ダイオードを使用する。Fig.4 に、一つの発光ダイオード素子 (Optek OP290A) を用いた場合の通信領域を示す。研究室内で赤外光通信実験を行ったところ、この領域内において、ロボットが情報を送信した試行回数に対して、マークは、8 割以上の受信が可能であった。そこで、受信部の全方位カメラの視野 360[deg] を考慮し、12 個の素子を放射状に配置し、送信部を構成した。

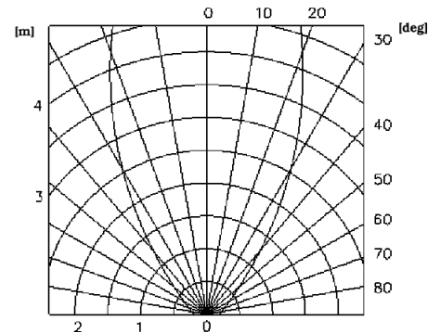


Fig.4 Relative radiant intensity

3.3 ロボットプラットフォーム

本研究では、物体に貼付するマークと、これと通信を行う検出ユニットの適用対象として、Fig.5 に示す移動マニピュレータを使用する。ロボット上部に搭載したマニピュレータは、本研究室で製作したものであり、6 自由度のピューマ型の軸配置を有する。また、全方位カメラは、高さ 1040[mm] の位置に設置し、画像処理装置、赤外発光ダイオードアレイをロボットの胴回りに設置している。

3.4 光によるロボット・マーク間通信

これまでの研究により、ロボットとマーク間で、相互通信の手法を提案し実現した⁸⁾。IMS における通信方式は、(a) のマルチキャスト通信、(b) ユニキャスト通信の 2 種類である。

(a) は、ある対象物のグループに対する通信 (1 対多通信) に利用する。例えば、通巻の本の背表紙にマークが貼付された状態を想定すると、ロボットは、マルチキャスト通信で本の背表紙に貼付されたマークとの通信を一度に行う。これにより、獲得した識別コードから、どの発行の本が欠けているか、という情報を獲得することができる。

一方、(b) は、特定の対象物に対する通信 (1 対 1 通信) である。この通信は、特定の対象物に対する把持動作を行う場合などに利用する。



Fig.5 Mobile manipulator

4. 移動マニピュレータへIMSの適用

本研究では、移動マニピュレータが特定の物体を探索し、その位置・姿勢を3次元で推定し、その物体の把持を目指す。この動作は、IMSを移動マニピュレータに適用することで、ロボストに実現可能であると期待できる。この、探索から把持までの動作流れを以下に示す項目に分類した。

- (1) 把持対象物の探索
- (2) 異なるカメラによる3次元位置計測
- (3) 把持対象物へのアプローチ
- (4) Hand eyeによる物体把持

以下に、各項目の動作の詳細及び、実装状況について述べる。

4.1 把持対象物の探索

移動マニピュレータは、全方位カメラを用いて、把持対象物を探索する。具体的には、まずロボットが、ターゲットとなる物体に貼付されているマークの識別コードを発信する。この発信した識別コードとマークが有する識別コードが一致した場合、そのマークの発光ダイオードが周期的に点滅(周期は33[msec])する。この点滅を、全方位カメラにより獲得することで、マークからのロボットに対する物体の位置指示を行うことが可能となる。

なお、この通信は、ロボットと1つのマーク間のユニキャスト通信である。また、点滅周期で獲得した画像の差分をとることにより、マークの位置は、明解な一点で与えられる。したがって、オクルージョンが発生しない限り、複数マークとロボット間の情報の干渉問題を考慮する必要がない。

4.2 異なるカメラによるマークの3次元位置計測

把持対象物に貼付しているマークとの相互通信により、把持対象物の位置は、画像中の1点で与えられる。そこで、2つのカメラのステレオ視を利用することで、物体の位置を推定することが可能となる。本研究では、

広範囲からマークを検知するための全方位カメラと、対象物にハンドをアプローチさせるためのハンドアイ(マニピュレータの手先に搭載した小型CCDカメラ)を、ロボットに搭載している。そこで、この性質の異なる2つのカメラを利用して、ステレオ視を行うこととした。

全方位カメラは、双曲面ミラーに写り込む映像をカメラに取り込むことで、360[deg]の視野を観測することが可能である。画像中のある対象物の「カメラ中心からの方向」は、実環境において、実際の対象物のセンサ中心からの方向に一致する⁷⁾。

一方、ハンドアイは、全方位カメラと比較し、取り込める視野は狭いが、解像度が高い。また、対象物の位置を確認することができれば、その対象物に向けてマニピュレータを動作させることで、視野の狭さを補うこともできる。

本研究では、以上の2つのカメラの特徴を利用し、マーク位置の3次元計測を行う。まず、全方位カメラを利用し、マークの光の点滅による特徴点が観測できる角度を導出する。次に、その特徴点が、ハンドアイを用いて取得できるようにマニピュレータを動作させ、画像を取得する。この2つのカメラから得られる画像情報を利用して、特徴点の3次元位置計測を行う。

具体的な手順としては、まず全方位カメラを用いることで、マークの方向を確定する。これにより、マークの3次元位置は、3次元空間内のある平面上に拘束される。次に、ハンドアイから得られる画像により、マークの $u-v$ 座標を求める。これにより、マークの位置は、3次元空間内のある直線上に拘束される。この2つの拘束条件を利用することで、マークの3次元位置を求めることができる。

この手法を用いて、マークの3次元位置計測実験を行った。まず、ハンドアイを原点とした場合に、マークを貼付した対象物を(130, 20, 700)[mm]に設置した。ただし、2つのカメラの中心間距離は、400[mm]とした。この状態において、ハンドアイから得られる画像をFig.6-(a)に、全方向カメラから得られる画像をFig.6-(b)に示す。ただし、上図は二値化後の差分から得られた画像であり、下図は、オリジナルの画像である。また、丸で囲んだ部分が、それぞれ抽出されたマークの位置である。

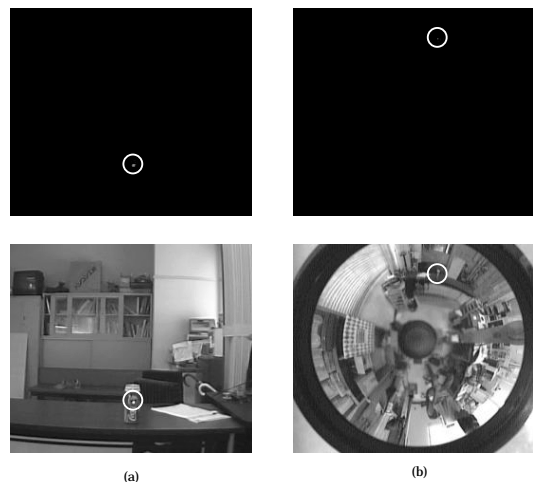


Fig.6 Original and processed images

数回の測定実験の結果、 y 方向（マークの左右方向のずれ）及び、 z 方向（マークの設置高さ）の誤差については、数センチメートル以内に収まったが、 x 方向（マークまでの距離）については、10センチメートル以上の誤差が確認された。4.3節で述べるトラッキングを利用することで、アプローチを行う段階で、この誤差を修正することは可能ではある。現在、この誤差を縮小するための手法やキャリブレーションについて検討中である。

4.3 把持対象物へのアプローチ

画像情報より、把持対象物の3次元位置の推定を行った後、ロボットは、物体の高さとマニピュレータの操作性を考慮し、ロボットがアプローチすべき位置を求め、把持対象物に向かって移動する。この間、対象物に対する移動ロボットの相対位置を修正するため、発光ダイオードの点滅に対するトラッキング処理を行うこととした。

トラッキングのための画像処理については、以下に示す手法で行う。まず、発光ダイオードを33[ms]の周期で点滅させ、これをカメラで取得し、画像の二値化を行う。この画像と一周期前の二値化画像との差分をとることで、マークの発光ダイオードで与えられる特徴点を切り出すことができる。その際、フィルタリング処理により、雑音を除去する。次にこの画像の重心を求め、画像面におけるマークの位置とする。この処理を繰り返し、更に時系列でのフィルタリング処理も行うことで、動的な雑音の除去も可能とした。

この手法をマーク検出ユニットの画像処理装置に適用し、実験を行った。移動マニピュレータ走行時のマーク検出率を Table1 に示す。この値は、マークが周期的に点滅している状態で、移動マニピュレータが2[m]直進する間に、どのくらいの割合でマークの点滅を検出することができたかを検証したものであり、試行回数は速度ごとに10回行った。結果は、200[mm/sec]の移動においても、約5割の確率で認識が成功しており、移動ロボットの走行時にトラッキングを行う上で、十分利用可能であると考えられる。ただし、速度が速くなるほど認識に失敗する回数が増加する。

Table 1 Ratio of recognition per speed

speed[mm/sec]	rate of recognition[%]
100	72.2
150	66.8
200	50.0

4.4 Hand eye による物体把持

この段階で、移動マニピュレータは、把持対象物の付近に停止し、マニピュレータの手先が、対象物付近に位置している。しかしながら、計測の誤差や、移動に伴う移動ロボットの位置誤差より、手先には誤差が含まれる。そこで、把持直前に、ハンドアイを用いた、手先位置の修正を再度行う予定である。現在、この動作に関する実装を行っている。

なお、現時点では、マークの姿勢を計測していないため、マニピュレータが物体にアプローチする際の姿

勢については、考慮していない。この点についても、今後の課題である。

5. おわりに

本稿では、ロボットとマーク間の光を用いた相互通信により移動マニピュレータの環境認識能力の補助となるIMSの構成及び機能を提案した。これを実際に移動マニピュレータに適用して対象物を把持する動作戦略を述べ、予備実験からその実現可能性を検証した。

今後は、4章で述べた各要素を組み合わせ、探索からマニピュレータによる把持の実現を目指す。また、把持動作だけでなく、IMSを利用した移動マニピュレータによる様々な知的動作の実現を目指す。

謝辞

本研究は、平成14年度科学研究費補助金（基盤研究(C)(2) No.14550235）の補助を受けた。

- 1) 森武俊, 岩村泰彦, 原田達也, 佐藤知正: 居住センサ空間から得られる長期行動情報に基づく生活要約システム, ロボティクスメカトロニクス講演論文集, No.03-4, 1A1-1F-A3 (2003)
- 2) Joo-Ho Lee, Noriaki Ando, Hideki Hashimoto: Mobile Robot Architecture in Intelligent Space, JSME Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.11, No.2, pp. 165-170 (1999)
- 3) 十河卓司, 木元克美, 石黒浩, 石田亨, 分散視覚システムによる移動ロボットの誘導, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.7, pp.1009-1018 (1999)
- 4) 倉林大輔, 浅間一: 知的データキャリアを用いた自律ロボット群と環境の情報交換, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.5, pp.633 ~ 636 (1999)
- 5) 太田順, 山本正和, 池田和生, 相山康道, 新井民夫: 記憶機能付き画像マークによる作業移動ロボットのための環境整備, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.5, pp. 670-678 (1999)
- 6) 本宮弘, 丁洛榮, 谷江和雄: Omniscient Spaces における物体の位置と姿勢認識, ロボティクスメカトロニクス講演論文集, No.03-4, 1A1-1F-A4 (2003)
- 7) 勝屋耕一, 八木康史, 谷内田正彦: 全方位視覚センサによる動環境での静止環境地図および自己位置の同時推定, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.3, pp.432-438 (1999)
- 8) 佐藤弘康, 永谷圭司, 五福明夫: 環境からの助言を用いた移動マニピュレータによる知的動作の実現-インテリジェントマークとロボット間の相互通信の構築- 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演論文集, 1, pp.215-216 (2002)