

自律移動ロボットのための 環境埋め込み型視覚センサシステムの構築

岡山大学 三柳秀人, 永谷圭司, 五福明夫

Vision Sensory System for Autonomous Mobile Robots Embedded in Environment

Okayama Univ. Hideto Miyanagi, Keiji Nagatani, Akio Gofuku

Abstract : Usually, it is difficult for mobile robots to mount many high-performance sensors because of body-space limitation. To enable intelligent motions for mobile robots with sensors, we embedded many networked sensors in environment to assist the motions. Using the system, robots can recognize wide-area information and target-objects without its own sensors. Our mobile manipulator succeeded in demonstrations of “pick and place” and “human-robot modest cooperation” by this framework. In this article, we introduce the system, and report demonstration topics.

Key Words: Embedded Sensors, Environmental recognition, Mobile Manipulator, Object Handling

1. はじめに

通常, センサからの情報を用いて動作するロボットが知的動作を行うためには, ロボットの動作に必要な情報を得るため, センサフィールドバックが必要となる. 特に, 移動マニピュレータが物体の運搬などの作業を行うためには, 障害物や対象物体の位置・姿勢などの環境情報の獲得が必要となる. また, 家庭やオフィスなどの屋内環境においては, 人などの移動障害物が存在する動的環境である. そのため, ロボットは, 課された本来のタスクに加えて, その人の行動の障害とならない経路走行や動作を行なうことが望ましい. しかしながら, 小型のロボット本体に搭載できるセンサ数や能力は限られるため, 搭載したセンサの情報のみでロバストな知的動作の実現は困難であると考えられる.

そこで本研究では, ロボットが作業を行う環境に複数の視覚センサを埋め込み, これらのセンサから得られる情報を, ネットワークを通じてロボットに送信することで, ロボットに必要な情報を補うこととした. このシステムを実現することで, ロボットに特別な外界センサを取り付けることなく, ロバストな知的動作が可能となると考えられる. 本研究では, このシステムを「環境埋め込み型視覚センサシステム」と呼び, このシステムを用いての実環境における具体的なタスクを実現することを目指している.

筆者らは, これまでに, このシステムを「移動マニピュレータによる物体の把持・運搬動作」に適用した¹⁾. しかしながら, この実験では, 前提条件として環境内に人などの移動物体はないものとしている. そこで, 本研究では, 人の行動まで考慮に入れたロボットの動作を目指すこととした.

本稿では, この「環境埋め込み型視覚センサシステム」の概要と利点について述べ, このシステムのロボットの利用方法について説明する. また, このシステムの有効性を検証するため, 実環境において実験を行っ

たので, これを報告する.

2. 関連研究

環境にセンサなどを埋め込むことで, 環境の知能化を進める研究は, いくつか行われている. 橋本らや, 佐藤らは環境の知能化を行なうために, センサを埋め込んだ環境空間全体の構築を行なった²⁾³⁾. しかし, これらの研究では, 環境そのものを構築するため, 整備にコストがかかるという問題がある.

一方, 環境中にロボット用のセンサを埋め込み, そのセンサ情報をロボットが利用するといった研究についても行われている. 十河らは, 実環境に多数のカメラを埋めこみ, そこからロボットが移動するために必要な情報を提供し, ロボットの誘導を行った⁴⁾. また久保田らは, 環境に設置した視覚と超音波センサからの情報を融合して, 移動ロボットのナビゲーションを行った⁵⁾. しかしながら, 移動マニピュレータが, 人の存在する動的な実環境において「物体の把持・運搬」までの知的動作を行うものは, 見受けられない.

環境中の物体などにマークを添付し, そこから移動ロボットに情報提供を行うものとしては, 太田らや永谷らの研究がある⁶⁾⁷⁾. しかしながら, 太田らの研究では, マークのおおまかな位置情報が既知である必要があり, 永谷らの研究では, 単一のマークのみでは, 物体の姿勢を認識することはできない. また, これらの手法では, ロボットがマークを認識することが可能となる位置にあることが必要となり, ロボットに搭載されたセンサの観測範囲に拘束されるという問題がある.

本研究では, 視覚センサを環境内に設置することで環境情報を獲得するため, 比較的簡単にシステムを構築することが可能である. また, ロボットはこれらの視覚センサと通信を行うことで状況に応じた必要な情報の獲得が可能となる.

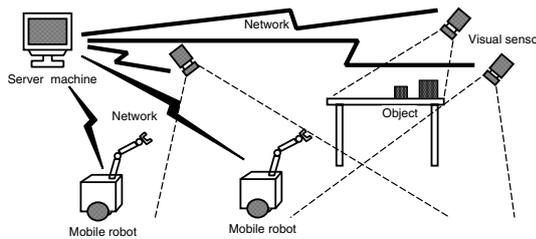


Fig.1 Image of sensor network system

3. 「環境埋め込み型視覚センサシステム」

3-1 センサシステムの概要

「環境埋め込み型視覚センサシステム」は、移動マニピュレータの知的動作の補助を行うものである。本研究で想定する環境は、オフィスや家庭などの生活環境である。ロボットは、この環境内で動作を行うために、環境情報を獲得するためのセンサが必要となる。しかしながら、このような生活環境内において、ロボットに搭載する外界センサなどの情報のみで、必要な環境情報を全て効率良く獲得することは、困難であると考えられる。その理由として、ロボットに搭載している外界センサはロボットに固定されるため、死角や認識することの困難な範囲が多数存在することが挙げられる。例えば、ロボット本体に搭載された視覚センサやハンドアイなどによる環境認識では、獲得したい情報を得ることが可能となる場所までロボット本体が移動しなければならない。そのため、「環境内から対象物を探索する」といった作業を行う場合、必要な範囲全てを探索することは難しい。また、障害物などがセンサの死角となり認識が不可能となる個所が存在する場合は考えられる。同様に、距離センサによる障害物検知や移動物体検知なども、距離センサの観測範囲に限定される。また、アクティブセンサを複数台のロボットに取り付ける場合、干渉によるセンサデータの信頼の低下という問題も生ずる。

そこで、本研究で提案する「環境埋め込み型視覚センサシステム」では、ロボットの動作に必要な環境情報を獲得するため、ロボットが作業を行う環境内に複数の視覚センサを埋め込むこととした。ロボットは、これらの視覚センサから得られる環境情報に、ネットワークを通じてアクセスすることで、特別な外界センサを搭載することなく、環境情報を獲得することが可能となる。これらの視覚センサは、ロボットが作業を行うために必要と考えられる位置にあらかじめ埋め込む。そのため、ロボットは環境内の必要な情報を獲得することが可能である。このセンサシステムのイメージを Fig.1 に示す。

3-2 利用する視覚センサ

「環境埋め込み型視覚センサシステム」において、人の認識といった広範囲の視野を必要とする処理を行なう場合、固定式の視覚センサを使用すると、相当数の視覚センサを必要とすることが予想される。そのため、本研究では、このような広範囲の認識が必要となる視覚センサと、ある特定範囲の比較的精度の良い認識が

必要となる視覚センサを使い分けることとした。

本研究では、広範囲の認識を行なう必要のある視覚センサにパン・チルトカメラを採用することとした。このパン・チルトカメラを、部屋の中心などの環境全体を認識することが可能な位置に設置することで、環境全体の情報を獲得することが可能となる。また、特定の範囲の認識を行なうための視覚センサには、固定式の USB カメラを採用することとした。この固定式カメラを、ロボットが必要とする情報を獲得することが可能な位置に取り付けることで、ある特定の範囲の情報を得ることが可能となる。

また、これらの視覚センサの位置・姿勢は既知とするため、画像中の位置から実空間位置へのマッピングは、Tsai のカメラキャリブレーション手法⁸⁾を用いることとした。

3-3 通信システム

このシステムを構築するにあたり、複数の視覚センサと複数のロボットがデータの通信を行うことは必須である。本研究では、この通信システムを TCP/IP 通信を利用したサーバ&クライアント構造で構築することとした。

クライアントにあたるのは、ロボットと視覚センサである。このシステムを用いた、ロボットの環境情報獲得の流れを説明する。ロボットは、動作を行うために環境情報が必要となる毎に、サーバにその情報を要求する。次に、サーバは、その要求された情報を視覚センサに送信することで、その情報の獲得を行なう。最後に、サーバは、その獲得した情報をロボットに返信する。このように、ロボットは必要な環境情報を獲得することで、動作を行なうことが可能となる。

また、サーバには、環境地図、ロボットの位置、環境内の人の位置・経路といった環境情報を全て集約させることとした。そのため、ロボットは、走行中サーバに定期的に自己推定位置の送信を行っている。また、視覚センサから得られた人の行動情報やロボットの実際の走行経路もサーバに送信することとした。これによりサーバは、ロボットの実際の位置や人の有無ならびにその位置・経路といった、環境の状態を参照することが可能となる。サーバは、参照した環境をもとに、ロボットの実際の位置や環境内の人の行動などの情報をロボットに送信を行う。これにより、ロボットは、本来のタスク以外の動作を行うことが可能となる。

4. 移動ロボットによる「環境埋め込み型視覚センサシステム」の利用

生活環境内でロボットに要求される知的動作は多数考えられる。例えば、移動マニピュレータに要求される主要動作である、「物体の把持・運搬」が挙げられる。また、家庭やオフィスなどの生活環境では、人などの移動障害物が存在する動的環境であるため、環境内の「人の行動の障害とならない動作」を行なうことが必要である。さらに、ロボットは、これらの走行動作を行なう中で、自己推定位置に生ずる誤差が累積するため「自己位置の修正動作」を行う必要がある。

これらの動作は、第 3. 章で説明した「環境埋め込み

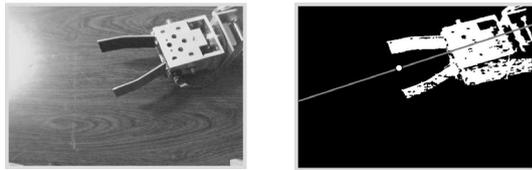


Fig.2 Recognition of a manipulator's position

型視覚センサシステム」を利用し、環境情報を獲得することで、可能になると考えられる。そこで、本稿では、このセンサシステムの有効性を確かめるため、以下に示すロボットの動作について、このセンサシステムを適用し、実機による動作検証を行うこととした。

- 物体の把持・運搬動作
- 自己推定位置の修正動作
- 人へのモデスト動作

以下第 5. 章に「物体の把持・運搬動作」と「自己位置修正動作」について、第 6. 章に「人へのモデスト動作」について、それぞれ「環境埋め込み型視覚センサシステム」への適用方法と動作検証について述べる。

5. 移動マニピュレータによる対象物の把持・運搬動作

「環境埋め込み型視覚センサシステム」を利用し、移動マニピュレータの「物体の把持・運搬」を行なうための、把持動作について 5.1 節に、自己推定位置修正動作について 5.2 節においてそれぞれ説明する。また、その手法を行った動作検証について 5.3 節で説明する。

5.1 センサシステムを用いた対象物の把持動作

物体の把持動作については、ロボットが視覚センサから環境内の物体の有無やその位置情報を獲得することで、動作を行なうことが可能となる。本件急では、視覚センサによる把持対象物の認識方法として、把持対象物の色によって認識を行うこととした。具体的には、特定の色領域を画像中から抽出することで、把持対象物の位置の認識を行うこととした。

ロボットは、把持対象物の位置情報を視覚センサに要求し、その情報から対象物の位置まで走行する。その位置から、マニピュレータを用いて対象物へのアプローチを行う。次に、対象物の把持を行うため、マニピュレータの姿勢とその先端の位置情報を要求する。ここで、画像中のマニピュレータ領域は、背景差分法を用いて行うこととした。しかしながら、背景差分法では、移動物体の影も変化領域としてしまうため、正確に変化領域を抽出することはできない。そこで、輝度信号と色信号の変化により、マニピュレータの影の領域の除去を行うこととした。次に、得られたマニピュレータ領域から慣性等価楕円を求め、その傾きをマニピュレータのカメラに対する姿勢とする。マニピュレータの手先位置を検出した結果を Fig.2 に示す。ロボットは、視覚センサから得た対象物の位置情報とマニピュレータの姿勢・先端の位置情報の差分から、対象物の把持を行う。

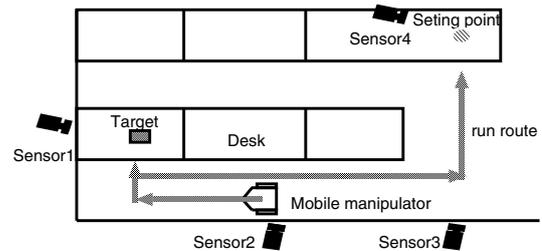


Fig.3 Environment of operation

なお、対象物の目的地への設置動作についても、目的地とマニピュレータの先端位置の差分から、同様の方法を用いて行うこととした。

5.2 センサシステムを用いた自己推定位置の修正動作

本研究では、ロボットの自己位置推定の精度を上げるため、「環境埋め込み型視覚センサシステム」を利用して、走行中ロボットの自己位置の修正を行うこととした。この修正動作は、ロボットの走行経路に設置した視覚センサを用いて行う。このロボットの自己位置修正手法について説明する。

画像中のロボットが有する領域は、背景差分法を用いることで認識することとした。走行経路に設置した視覚センサは、ロボットを認識している間、画像中のロボットの領域を記憶する。この領域が画像中からなくなった時点で、その経路と位置をロボットに送信する。ここで、データ転送時間による位置誤差を修正するため、タイムスタンプを同時に送信することとした。ロボットは、視覚センサより獲得した、実際の走行経路情報から、自己推定位置の誤差の修正を行なう。

5.3 動作検証

5.3.1 目標動作と動作設計

目標動作である、移動マニピュレータによる「机上の対象物の把持・運搬動作」を実現するために、ロボットに必要な情報と動作は以下の通りである。

- 対象物の位置情報による、対象物把持動作
- 実際の走行経路情報による、走行経路の修正動作
- 目的地の位置情報による、対象物の目的地への設置動作

これらの各動作に必要な情報をロボットに送信するため、あらかじめ環境に埋め込まれた視覚センサを利用する。使用する視覚センサの位置は、対象物が設置されている机の上、走行経路が認識できる天井、目的地の机の上である。環境の概略と使用する視覚センサの位置、また、ロボットのおおよその走行経路を Fig.3 に示す。

また、具体的なロボットの動作は以下の通りである。移動マニピュレータは、Sensor1 の情報から把持対象物の位置を獲得し、その場所へ走行する。次に、対象物を把持し、目的地に設置可能な位置まで走行する。走行中、移動マニピュレータは Sensor2・Sensor3 の情報を利用し、走行経路の修正を行う。最後に、Sensor4 の情報から、目的地に把持対象物の設置を行う。

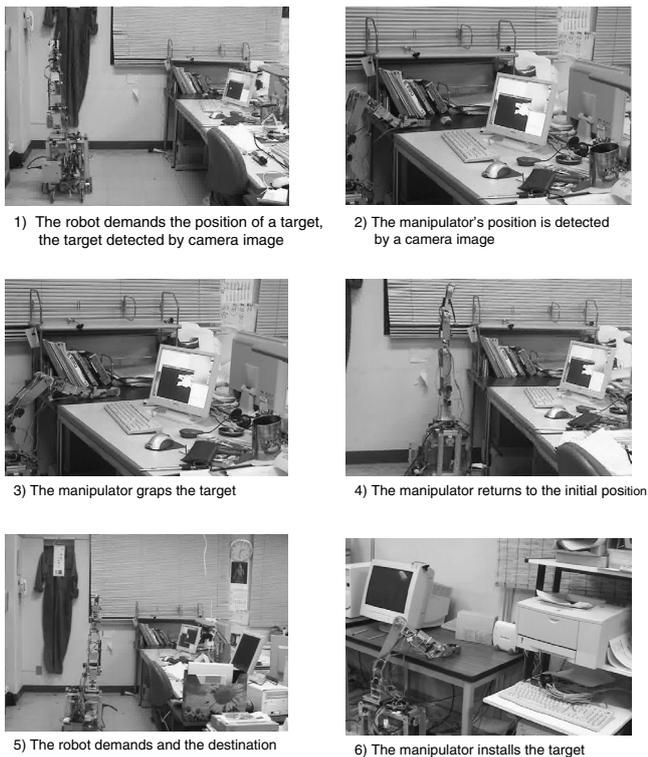


Fig.4 Motion of the target task

5.3.2 実機による動作検証

構築した「環境埋め込み型センサネットワークシステム」を用いて、移動マニピュレータによる「机上の対象物の把持・運搬」動作を実環境で行った。動作の様子を Fig.4 に示す。この図より、視覚センサからの情報を利用して、対象物の把持・設置・自己位置修正を行っていることが分かる。

この動作より、特別な外界センサを持たない移動マニピュレータが、視覚センサからの情報を利用して、目標動作を実現することが確認された。これにより、「環境埋め込み型センサネットワークシステム」が、移動マニピュレータの知的動作の補助的な役割を果たすということがいえる。

6. 人へのモDEST動作

ロボットの人へのモDEST動作を行なうためには、人の行動認識が必要となる。その認識を行なうためには、広範囲の認識が必要となるため、本システムではパン・チルトカメラを使用して行なうこととした。そのパン・チルトカメラを用いて行う、人の位置認識・追跡手法について 6.1 節に、その手法を使用して行なった、ロボットの「人へのモDEST動作」の動作検証について 6.2 節で説明する。

6.1 センサシステムを用いた人の行動認識手法

6.1.1 画像中の人領域の認識

画像中の人領域の抽出は、背景差分法とテンプレートマッチングを用いて行うこととした。カメラは、あらかじめ背景画像を記憶しており、現在の画像との差

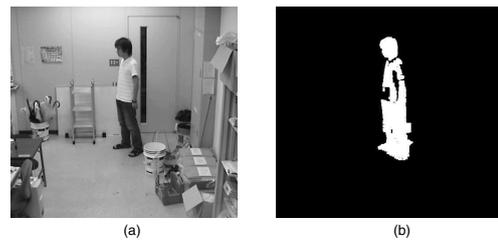


Fig.5 Background subtraction image

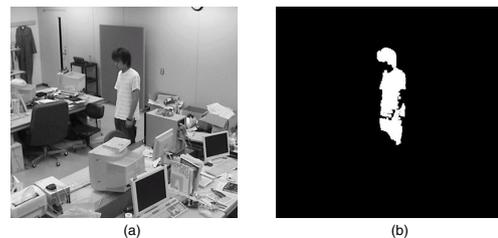


Fig.6 Environment where occlusion exists

分領域から、一定以上の大きさがあり、その縦横比が人の形状として矛盾しない範囲内のものを、画像中の人領域として抽出することとした (Fig.5)。

しかしながら、環境内には、机などの障害物によるオクルージョンが存在する。そのため、人の移動により差分領域の大きさや形状の変化するため、画像中の人領域が正確に認識できない場合がある (Fig.6)。このようなオクルージョンによる画像中の人領域の変化に対応するため、背景差分法で人領域が認識される毎に、人の頭部と考えられる画像中の人領域の上部のテンプレートを取得することとした。これは、人の頭部は環境内で一番高い位置にあるため、オクルージョンとなることはないと仮定したためである。人領域の認識中、その差分領域が減少し、縦横比が著しく変化した場合、障害物によるオクルージョンに入った可能性があると考えられる。そこで、その変化領域に対して前フレームで取得した頭部のテンプレートを使用し、テンプレートマッチングを行うことで、人領域の抽出を行うこととした。マッチングが成功しなかった場合は、人が環境内から出たと判断し、トラッキングを終了することとした。

6.1.2 人の位置認識手法

パン・チルトカメラの設置位置は既知であるため、画像中の人領域から実空間位置へのマッピングは、Tsai のカメラキャリブレーション手法⁸⁾を用いて行うこととした。差分画像から抽出した人領域の底辺の位置を、実空間での人の位置とした。

しかしながら、Fig.6 のような場合、オクルージョンにより画像中の人下部領域を認識することができない。この場合、人領域の最も上部の位置から実空間での位置を求めることとした。人領域の最も上部の位置から人の位置を求めるためには、観測対象の高さ情報が必要となる。そこで、Fig.5 の場合のように正確に人領域を認識した際に、人の身長を推定しておくこと

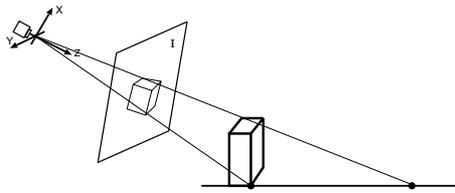


Fig.7 Conclusion of height

とした．この身長推定は，カメラの設置位置や傾きは既知であるため，画像中の人領域の最も上部から下部の位置を人の身長として推定することとした（Fig.7）．

6.1.3 パン・チルトカメラの動作

パン・チルトカメラは，環境内の人の行動に合わせて，その姿を認識することが可能な角度に向くようパン角・チルト角をそれぞれ動作させなければならない．その動作とその際の実空間座標へのマッピングについて説明する．

パン角・チルト角の動作は，画像中の人領域の底面が画像領域内を越えないよう動作を行う．これは人領域の底面を人の位置とするためである．パン・チルトカメラは，人を認識すると，画像中の人領域の底面のベクトルを毎フレーム作成する．このベクトルが次フレームで画像領域を越えると算出された場合，その方向にパン・チルトカメラを1画面境界分動作させることとした．カメラのパン角・チルト角を目標の位置に動作させた後，その位置での背景を再び取得し，人の認識を続ける．

パン・チルトカメラを動作させた際の実空間座標への変換は，以下のように行う．基準としたパン・チルト角から，動いたパン角 ϕ ・チルト角 θ を用いて，以下の変換行列を算出する．

$$R = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

この変換行列を，基準としたパン・チルト角での実空間位置として得られた座標に掛けることで，パン・チルト角の動作した後の実空間座標とする．

6.2 動作検証

6.2.1 移動ロボットの動作

今回設定した，ロボットの人の行動に対する動作は，「人がロボットに近付く可能性がある場合，ロボットは動作を停止する」とした．環境内で動作を行うロボットは，研究室で所有する2台の小型移動ロボットを使用する．このときロボットが行う動作は，あらかじめ設定したコースの周回走行とした．各ロボットは，サーバが環境を把握するため，走行中サーバに自己位置の送信を行っている．

パン・チルトカメラは，人を認識している間，フレーム毎にその位置データをサーバに送信する．サーバは，データ獲得毎に人の移動ベクトルの作成を行う．次に，Fig.8に示すように，各ロボットの位置毎にそのベクトル

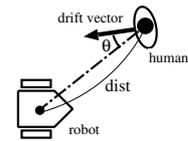


Fig.8 The value which human approach

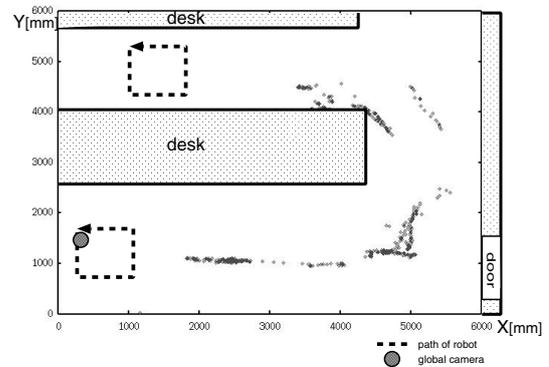


Fig.10 Environment and result of experiment

ルの向き θ とロボットまでの距離 $dist$ を考慮し，以下の式を人がロボットに近付く可能性として算出する．

$$w = dist * \cos\theta \quad (1)$$

サーバは，その値がある一定の値以上になると，人がロボットに近付く可能性があるとして判断して，ロボットに動作停止の命令を送信することとした．同様に，その値がある一定の値以下になると動作を再開させることとした．

6.2.2 パン・チルトカメラ

パン・チルトカメラは，SONY社製SNC-RZ30Nを使用する（Fig.9）．このパン・チルトカメラは，パン駆動角-170[deg]から170[deg]，チルト駆動角-25[deg]から90[deg]の駆動範囲がある．このカメラを，環境内の天井に取り付けることで，環境内の全体を認識することが可能である．



Fig.9 Pan-tilt camera

このカメラは，コンピュータに接続されているため，入力画像の処理やデータの送受信が可能である．また，パン角・チルト角をそれぞれ指定することで，目標角にそれぞれ追従することが可能である．

6.2.3 実機による動作検証

構築した「環境埋め込み型視覚センサシステム」を用いて，6.2.1節で説明した動作を行った．実験を行った環境をFig.10に示す．なお，パン・チルトカメラは，環境全体を認識することができる(300,1200,2550)[mm]の位置に設置した．

Fig.10中の破線と点は、それぞれロボットの走行経路、パン・チルトカメラから認識した人の位置である。図中の点の分布から、環境内の人の経路が分かる。点の分布に偏りがあるのは、人を追跡する際のパン角・チルト角の回転動作の時間により、人の認識ができない時間があるためである。

また、環境内の障害物である机のある位置に、人の位置と推定している箇所があることが分かる。この原因としては、人領域の認識を行った際に、その人の影領域も人領域として認識を行っているため、正確な人の位置を推定できていないことが考えられる。また、オクルージョンの影響で画像中の人領域の底辺が認識できない場合は、人の身長を利用して位置を推定している。しかし、この身長も画像中の人領域を利用して推定しているため、実際の身長よりも高く推定することがある。そのため、この身長の誤差が、人領域の上部から人の位置を推定する際に影響し、人の推定位置がカメラのある方向に誤差が発生したと考えられる。

しかしながら、今回は人がロボットに近づく可能性の値を、人の位置と移動ベクトルを用いて算出しているため、ロボットの動作には影響しなかった。そのため、特別な外界センサを持たない複数台ロボットが、環境内の人の行動を考慮した動作を行うことが可能となった。これにより、「環境埋め込み型視覚センサシステム」により、ロボットの「人へのモデスト動作」が可能になるといえる。

7. まとめと今後の課題

本稿では、本研究で提案する「環境埋め込み型視覚センサシステム」の概要について述べ、移動マニピュレータに要求される動作を、このシステムに適用し、実環境において実験を行った。結果として、特別な外界センサを持たない複数台ロボットが、環境内の人の行動を考慮した動作が可能となることが確認できた。これより、このシステムの有用性が確認されたといえる。

しかしながら、以下に示す問題点が確認された。

第一に、画像中の位置から実環境へのマッピングをTsaiのカメラキャリブレーション手法を用いて行っているため、視覚センサの位置・姿勢が既知である必要があるということが挙げられる。棚の上やディスプレイの上に設置することを想定している机の上などを認識するための視覚センサは、人の生活により設置した位置からずれる可能性がある。このため、このような位置に設置された視覚センサの情報を使用する場合、カメラ画像内の相対座標を使用して動作を行う必要がある。

第二に、今回パン・チルトカメラで行った人の追跡手法では、パン角・チルト角が動作する際の回転時間の影響から、環境内の人の追跡が難しい位置や、正確に行えない場合があることが分かった。これらの問題については、カメラのパン角・チルト角の動作を、人の移動と共にリアルタイムで追跡するなどの解決策が考えられる。

システム全体としての今後の課題は、システムの中にユーザを介入させることを考えている。この理由として、今回の「把持・運搬動作」を行う際の対象物は、物体の色情報を用いて行ったが、この方法では汎用性

や利便性に欠けるためである。システムにユーザを介入することで、ユーザが各視覚センサの情報を獲得し、ロボットに目標物の指定や探索を要求することが可能となる。

また、今回行ったロボットの人の行動に対するモデスト動作は、「人がロボットに近づく可能性がある場合、ロボットは動作を停止する」と設定した。しかし、このシステムを用いて人の行動を認識することで、ロボットは、人に対してモデストな動作だけでなく、人の役に立つ動作を行なうことが可能になると考えられる。そのため、このシステムを用いて人の経路予測や行動予測までを行い、そのデータをロボットが利用することで、人の行動に合わせたロボットの動作を実現することも今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は、財団法人大川情報通信基金(2002年度)の研究助成により実施された。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 三柳秀人, 永谷圭司, 五福明夫: “移動マニピュレータのための環境埋め込み型センサネットワークの構築”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, 2P1-L1-34.
- 2) 森岡一幸, 李周浩, 橋本秀紀: “知能化空間における移動ロボットの間追従制御”, 日本ロボット学会誌, vol.22, no.1, pp.103-111, 2004.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 久保田孝, 橋本秀紀, 原島文雄: “視覚センサとレンジセンサとの協調による移動ロボットのナビゲーション” 日本ロボット学会誌, vol.7, no.4, pp.275-283, 1988.
- 6) 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.66-72, 1999.
- 7) 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.
- 8) R.Y.Tsai: “A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses”, IEEE J. Robotics and Automation, vol.3, no.4, pp. 323-344, 1987.