

先山卓朗†

原口一馬†

島田伸敬†

白井良明†

SAKIYAMA Takuro

HARAGUCHI Kazuma

SHIMADA Nobutaka

SHIRAI Yoshiaki

## 1 はじめに

本研究では、外来者に研究室紹介をする際の補助として、小型移動ロボットに外来者を誘導してもらうことを考えている。ロボットに研究室案内をさせるには、研究デモが行われる場所への移動、安全に移動するための障害物回避、案内すべき人物の発見、およびその人物を誘導する際の人物がついてきているかどうかの確認といった機能が必要となる。本稿では、これらの要件のうちロボットの移動に関して、ロボット外部に設置した複数カメラによるロボットの追跡および誘導処理と、ロボット内蔵カメラを利用したステレオ視による障害物検出・回避処理について述べる。

ロボットの移動に必要な情報は、通常はロボット内のセンサを利用して取得する [1] が、ロボット内にはセンサを持たず、外部のカメラシステムのみで情報を取得しロボットを誘導するシステム [2] も提案されている。これに対して、本研究ではグローバルな位置推定処理と局所的な移動処理をロボット内外のシステムで分担することで、低速なシステムでの実時間処理を実現した。複数カメラの協調によるロボット追跡システムを構築して外部からのロボット誘導を可能とし、さらにロボット内蔵カメラによるステレオ視の高速・高精度化のためにセグメントベースの対応付け手法を考案した。

## 2 研究室案内ロボット

本研究では、案内ロボットとして NEC のプロトタイプパーソナルロボット「PaPeRo」 [3] を使用する。ロボット頭部に水平に設置された二つの CCD カメラを利用したステレオ視により、障害物を回避しながら目的地まで移動させる。

しかし、ロボットが小型であるためレンズの解像度が低く、また背が低いためにカメラ位置が床面に近い。このため、ロボット近辺については十分な解像度で情報が得られるが、遠方については粗い解像度となってしまい、局所的な移動は問題ないがグローバルな位置情報を取得することは困難である。

そこで、グローバルな位置情報の取得処理を外部システムに分担させる。ロボット内部では目の前の障害物の回避処理に重点を置き、研究室内に設置したカメラを利用したロボット追跡システムでロボットのグローバルな位置情報を検出して、ロボットを目的地まで誘導する。

## 3 外部カメラによるナビゲーションシステム

### 3.1 複数カメラを利用した移動ロボット追跡

研究室内に設置したカメラで移動ロボットを追跡することにより、ロボットを目的地へ誘導するシステムを構築する。

研究室内には机や棚などの静的な物体による遮蔽があるため、移動ロボットを追跡撮影しつづけるには複数のカメラを協調動作させる必要がある。さらに、椅子や小物などの移動や人物の出入りも多く、特に案内ロボットの場合、ロボットの後ろを人がついて歩くことになるため、移動人物による隠蔽が多く発生する。そのため、任意の場所を複数視点から観測できるように複数のカメラを設置し、それぞれのカメラを様々な方向に向けることで冗長な視野を確保する。

ただし、カメラキャリブレーションを簡易化するために、カメラの向きはあらかじめ指定した方向のみを選べることにする。ロボット撮影中はカメラを固定し、ロボットがカメラの視野内からはずれたときのみカメラを動かす。

†大阪大学大学院工学研究科

### 3.2 ロボットの検出と位置同定

各カメラで撮影される画像から、色情報を利用してロボットの候補領域を検出し、検出された全ての候補領域について、その面積と世界座標系での位置を評価値としてロボットの位置を同定する。

本研究で利用するロボットは全身がほぼ単色（水色）であり、この色は全周から観測できる。そこで、HSV 表色系におけるしきい値処理により水色領域を抽出し、ノイズ除去、膨張、ラベリング処理により連結領域ごとに分割してロボット候補領域とし、それぞれの領域の重心  $(x_t^{(i)}, y_t^{(i)})$  と面積  $s_t^{(i)}$  を算出する ( $t$  はフレーム番号,  $i$  は領域番号)。

ロボットは背が低く、カメラに対して十分床面に近い一定の高さを移動するので、カメラ座標系における候補領域の重心位置  $(x_t^{(i)}, y_t^{(i)})$  を同次変換により世界座標系  $(X_t^{(i)}, Y_t^{(i)})$  に変換する。変換行列  $A$  は、各カメラの既定方向ごとに最小自乗法によりあらかじめ算出しておく。

$$s \begin{pmatrix} X_t^{(i)} \\ Y_t^{(i)} \\ 1 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x_t^{(i)} \\ y_t^{(i)} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

各カメラで抽出されたすべての候補領域のうち、世界座標系での位置と面積に関する評価値  $v_t^{(i)}$  が一定値以上となるものの平均位置を現在のロボット位置  $(X_t, Y_t)$  として検出する。

$$v_t^{(i)} = \omega_1 \exp(-k_1 d_t^{(i)2}) + \omega_2 \exp(-k_2 (r_t^{(i)} - 1)^2) \quad (2)$$

$$d_t^{(i)2} = (X_{t-1} + U_{t-1} - X_t^{(i)})^2 + (Y_{t-1} + V_{t-1} - Y_t^{(i)})^2$$

$$r_t^{(i)} = \frac{s_t^{(i)}}{s_{t-1}}$$

ただし、 $\omega_i (> 0)$  は重みであり  $(U_t, V_t)$  は過去  $N$  フレーム間の平均移動量である。

6 台のカメラでロボット追跡システムを構築したときの処理結果の例を図 1 に示す。

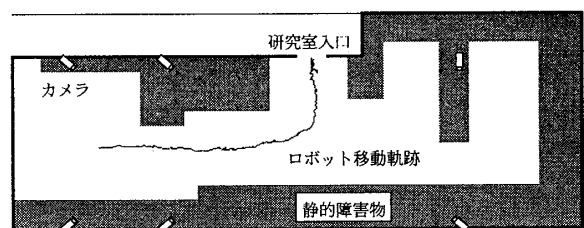


図 1: 外部カメラによるロボット追跡結果

### 3.3 ロボットのナビゲーション

3.2 節の手法により、ロボットの現在位置や移動方向、および目的地との位置関係がわかる。これらの情報から、ロボット座標系における目的地の相対位置を計算してロボットに伝達することで、ロボットを目的地へ誘導する。

## 4 ステレオ視による障害物回避

### 4.1 SAD による対応付けの問題点

ロボットに内蔵された二つのカメラの位置関係やパラメータは既知であるので、双方のカメラで撮影された画像からステレオ

対応付けによる視差を求めることで対象物までの距離を測定することができる。

ステレオ対応付けには、双方の画像から一定の大きさのウィンドウを切り出し、画素ごとの差分和 (Sum of Absolute Difference: SAD) が最小となるウィンドウ同士を対応付ける方法が多く利用されている [4]。しかし、この手法では計算量が膨大となるため、実時間で移動するロボットの制御には利用しづらい。そこで、高速化・高精度化のために以下のような手法を考案した。

- セグメントベースの対応付けによる高速化 [5]
- 特徴点の両側の個別探索による隠蔽時の検出安定化

#### 4.2 セグメントベースの対応付け

ステレオ対応付けの際に、任意の点についてウィンドウを設けるのではなく、セグメント単位でウィンドウを設定することで高速に対応付けを行う。

安定したステレオ対応付けを行うには、画像特徴のある領域を含むようにウィンドウを選択する必要がある。そこで、Sobelフィルタによりエッジ点を抽出し、さらに、類似した方向成分を持つ連続したエッジ点は同一の対象物に属すると見なして、それらのエッジ点を結合してセグメントを形成する。左右の画像それぞれで検出されたセグメント同士で対応付け探索を行うことで、ウィンドウ数・探索範囲ともに減らすことができ高速化できる。

探索時には、エピソード拘束により、水平方向に重なりのあるセグメントについてのみ SAD を計算する。ただし、左右の画像で同じ長さのセグメントが検出されるわけではないので、セグメントのうち一部でも重なりのあるものについては、その重なり部分を中心としたウィンドウを設定して SAD を計算する。また、セグメントが一対多となるような対応付けも認める。

#### 4.3 隠蔽を考慮した対応付け

ステレオ視においてウィンドウ内に隠蔽領域が含まれていると、必ずしも正しい対応箇所では SAD が最小になるとは限らない。セグメントの多くは対象物の輪郭部分で検出されるため、隠蔽部分の背景の違いを考慮した処理が必要となる。

対象物の輪郭部分で検出されたセグメントの場合、少なくともセグメントの左右いずれかの領域はその対象物の内部にあたるため、隠蔽領域にはならない。これを利用して、セグメントを中心としたウィンドウではなく、セグメントが左右端となるようなウィンドウについて SAD を計算すれば、隠蔽に影響されずに正しい対応付けができること期待される (図 2)。

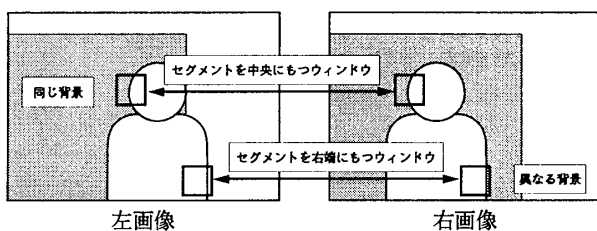


図 2: セグメントに対するウィンドウ設定

しかし、予備実験の結果、

- 背景に変化がない領域ではセグメントを中心としたウィンドウについて SAD を計算した方が安定する
- セグメント同士の重なりが一定長以下の場合には誤対応が増える

表 1: 対応付けの処理順序

		セグメント長	
		長	短
ウィンドウ内でのセグメント位置	中央	1	2
	左右端	3	4

という傾向が見られたため、表 1 で示すように信頼性の高い手法から順番に処理し、対応の確定したセグメントを除外しながら処理を繰り返すことで、誤対応の少ない安定した対応付けを行う。対応付けの結果の例を図 3 に示す。



図 3: ステレオ対応付け結果

#### 4.4 障害物を回避した移動

セグメントベースの対応付けにより得られた視差から、エッジ点ごとに対象物までの距離を計算し、測定誤差を考慮しながらロボット座標系の環境地図に投票する。環境地図上で投票数の多い部分をロボットの大きさだけ膨張させて障害物領域とし、それ以外の部分をロボットを質点とみたとときの移動可能領域とする (図 4)。ロボットは、環境地図と外部システムから伝達された目的地情報に基づいて、移動可能領域内で目的地に近く方向に移動・回転を繰り返す。

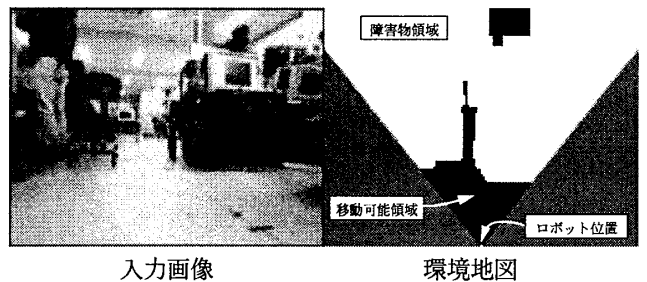


図 4: 作成された環境地図

#### 5 おわりに

研究室案内ロボットののための、ロボットの移動に関するシステムを構築した。複数カメラによるロボット追跡システムによりグローバルな位置情報を検出し、ロボット内カメラによるセグメントベースのステレオ視により局所的な障害物を検出・回避する手法を考案した。

本手法により、ロボットは障害物を回避しながら移動を続けることが可能となるが、障害物回避のためにロボットの移動量が落ちると、外部システムによる移動方向の推定が不安定となる。このため、現状ではロボットが低速で移動しているときは適切な方向へ誘導することができない。ロボット内部のエンコーダを利用したデッドレコニングによりおおまかな向きを推定し、その情報を外部システムへ転送することを検討中である。

#### 参考文献

- [1] H. Koyasu, J. Miura and Y. Shirai: "Recognizing Moving Obstacles for Robot Navigation Using Real-Time Omnidirectional Stereo Vision," J. of Robotics and Mechatronics, Vol. 14, No. 2, pp.147-156, 2002.
- [2] 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.1009-1016, 1999.
- [3] <http://www.incx.nec.co.jp/robot/>
- [4] S. Kagami, K. Okada, M. Inaba and H. Inoue: "Design and Implementation of Onbody Real-time Depthmap Generation System," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1441-1446, 2000.
- [5] 河合良浩, 植之俊夫, 石山豊, 角保志, 富田文明: "セグメントベースステレオにおける連結性に基づく対応評価," 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 8, pp.3219-3229, 1999.