

## 全方位ステレオによる環境マップ生成に関する検討 Environmental Map Generation by Omnidirectional Stereo

後藤 望<sup>†</sup>  
Nozomu Goto

鈴木 基之<sup>†</sup>  
Motoyuki Suzuki

伊藤 彰則<sup>†</sup>  
Akinori Ito

牧野 正三<sup>†</sup>  
Shozo Makino

### 1. はじめに

自律移動ロボットの環境認識デバイスとして視覚(カメラ)を用いる方法が広く研究されている。この方法には、ステレオ視など複数のカメラを使うことにより空間の3次元情報を取得する方法などがある。また最近では、全方位カメラを他のセンサなどと併用し、効率良く環境認識を行い、ロボットが移動可能な領域を示す環境マップの生成をするという試みもある[1][2]。しかし、これらの研究では局所的なマップを環境全体のマップへ統合する際に工夫が必要であったり、得られたマップの精度の評価が必要であった。また、得られる環境マップは移動可能領域と未知領域の2領域からなるものであった。

そこで本研究では、全方位カメラをステレオで用いて、ロボットがいる周囲360度の3次元情報を効率良く獲得し、高精度な環境マップの推定を行うことを目的とする。ここで、マップの生成におけるステレオ画像からの対応点探索アルゴリズムや、床領域の抽出に関しては既存の方法を用い、局所的なマップを環境全体のマップへ統合する際の方法を検討し、統合方法の工夫により環境マップの精度の向上を目指す。ここで、生成する環境マップは、移動可能領域、未知領域、壁領域の3領域からなる。また本報告では全方位ステレオ情報として、レイトレーシングにより得られるCG画像を用い、シミュレーション実験により環境マップの推定を行う。そして推定されるマップの精度を評価し、その可能性を検討する。

### 2. 環境マップの生成方法

まず始めに、カメラの光軸が同じ鉛直軸上になるように、2つの全方位カメラを配置することを想定し、そこから得られる2枚の全方位パノラマ画像に対して、通常SAD法[3]に基づくステレオ対応付けアルゴリズムを適用し、全方位における距離データを計測する。その後、カメラ位置から理想的に得られる床領域の距離データと計測された距離データとを比較し、床領域上の誤検出を除くことで全方位パノラマ画像上で移動可能領域を検出する[1]。また全方位における最近傍の障害物までの距離データを取得する。

以上で得られた全方位パノラマ画像上の移動可能領域における距離データと方向(角度)を基に、それらを極座標変換することで各観測点で環境マップの生成を行う。ここで、各観測点で得られる環境マップをローカルマップ、それらを統合して得られる環境マップをグローバルマップと呼ぶ。また今回は、計測距離の増大によるステレオ画像からの対応点探索の精度の減少、全方位画像中の遠距離部の歪み、などを考慮し計測距離を3m以下に制限して精度の向上を図る。

### 3. ローカルマップの生成

#### 3.1 実験条件

CGにより図1のような環境を構築し、観測点を19箇所設定した。想定した環境の大きさは、 $6 \times 6m$ である。また、各観測点では視野角90度の4方向のCG画像を全方位パノラマ画像の代わりとし、これを同じ鉛直軸上の2箇所取得しステレオ画像とした。これらの画像を基に各観測点でのローカルマップの生成実験を行った。

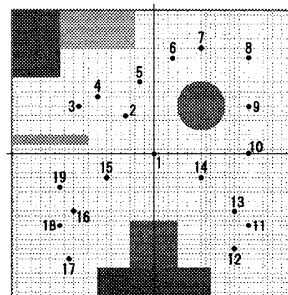


図1: 実験環境と観測点

#### 3.2 実験結果

実験により生成されたローカルマップの例を図2に示す。ここで、生成されたローカルマップは、移動可能領域(白色領域)、未知領域(黒色領域)、壁及び障害物領域(灰色領域)の3つの領域からなる。また、生成されるマップの解像度は $400 \times 400$  [pixel]である。

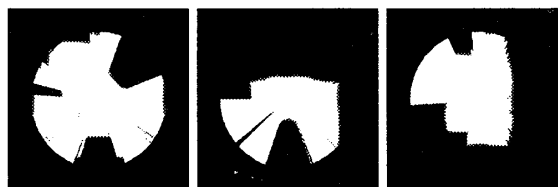


図2: 観測点1, 7, 13でのローカルマップ

実験により生成されたローカルマップでは、制限距離の3m以内において、ほぼ正確に移動可能領域を検出し、マップを生成することができた。また観測点7などで生成されたローカルマップの移動可能領域上に見られる誤検出は、ステレオ画像からの対応付けを行う際の誤対応が原因であると考えられる。しかし本研究で用いているステレオ対応付けアルゴリズムにおいて、誤対応が検出されるのはやむを得ない。そこで、これらローカルマップ上の誤検出をグローバルマップへ統合する際に補正する必要がある。そのため、次節ではグローバルマップ推定のための統合方法を提案し、検討を行う。

### 4. グローバルマップ推定

#### 4.1 提案する統合方法

本節では、各観測点で得られたローカルマップを統合し、環境全体のグローバルマップを推定する方法を述べ

<sup>†</sup>東北大学大学院工学研究科

る。ただし、今回はシミュレーション実験のため観測点の位置は既知とする。

まず、 $i$  番目の観測点によって得られるローカルマップ上の各ピクセルが取る値を  $L_i(x, y)$  (ただし、 $1 \leq x, y \leq N$ ;  $N = 400[\text{pixel}]$ ,  $1 \leq i \leq M$ ;  $M$ (観測数)) と表すと、それらは  $f$  (移動可能領域),  $w$  (壁),  $u$  (未知領域) のいずれかの値を取るとする。また、推定されるグローバルマップ上の各ピクセルを  $G(x, y)$  と表す。このとき、すべての観測点で得られるローカルマップにおいて、マップ上のあるピクセルが取る値 ( $f, w, u$ ) のそれぞれの数の和は式1のように表される。

$$S_v(x, y) = \sum_{i=1}^M \delta(L_i(x, y), v) \quad v \in \{f, w, u\} \quad (1)$$

ただし

$$\delta(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{if } a = b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

である。

以上式1の結果より、各観測点のローカルマップを統合したときのグローバルマップ上の各ピクセルが取る値を式3で表す。

$$G(x, y) = \begin{cases} u & \text{if } S_f(x, y) = 0 \text{ and } S_w(x, y) = 0 \\ f & \text{if } \alpha S_f(x, y) > (1 - \alpha) S_w(x, y) \\ w & \text{if } \alpha S_f(x, y) \leq (1 - \alpha) S_w(x, y) \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 $0 \leq \alpha \leq 1$  である。

このとき  $\alpha$  の値を変化させてグローバルマップの推定実験を行う。

また推定されたグローバルマップの各ピクセルの値を正解マップの各ピクセルの値と比較し、グローバルマップの精度を評価する。精度の評価方法は、グローバルマップ上のピクセル (総数  $400 \times 400[\text{pixel}]$ ) の内、いくつかのピクセルの値が正解の値と一致したかで正解率を求める。

#### 4.2 実験結果

第4.1節の方法を用いたグローバルマップ推定実験を、実験環境を増やし、3つの環境において行った。この3つの実験環境の正解マップを図3に、また推定されたグローバルマップを図4, 5に示す。また、 $\alpha$  の値を変化させたときのグローバルマップの正解率を図6に示す。

実験結果より、 $\alpha$  の値が大きくなるにつれ、壁の領域が少なくなっていくことがわかる。これにより環境1では薄い障害物が  $\alpha$  の増加とともにマップ上から消えてしまう、という問題が起きている。

また推定されたグローバルマップの正解率は、環境1では  $\alpha = 0.16$  付近で最大値 84.86%、環境2では  $\alpha = 0.13$  付近で最大値 84.87%、また環境3では  $\alpha = 0.11$  付近で最大値 85.39%であった。これに関して特に、移動可能領域と未知領域では高い精度の推定が行われているが、壁領域に対しては精度が低くなった。これらの問題について、さらに統合式の検討やその他の統合法の検討が必要である。

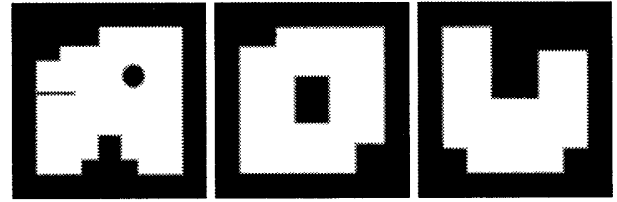


図3: 正解マップ (左から環境 1, 2, 3)



図4:  $\alpha = 0.2$  のとき



図5:  $\alpha = 0.7$  のとき

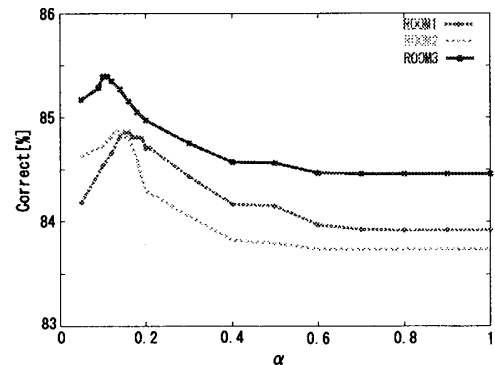


図6: グローバルマップの正解率

#### 5. まとめ

本報告では、CGにより構築した空間上で、全方位のステレオ画像からローカルマップを生成し、また提案する統合方法を用いてグローバルマップの推定、評価を行った。その結果、85%前後の正解率でグローバルマップを推定することが可能であった。

今後は、ローカルマップの統合方法の検討をさらにを行い、精度の向上を目指す予定である。

#### 参考文献

- [1] M. Doi, et al., "Environmental recognition in a mobile robot using omni-directional image sensing and stereophonic distance measurement", Proc. IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, 2001.
- [2] J. Miura, et al., "Mobile Robot Map Generation by Integrating Omnidirectional Stereo and Laser Range Finder", Proc. IROS-2002, pp.250-255, Oct.2002.
- [3] 奥富正敏, 金出武雄, "複数の基線長を利用したステレオマッチング", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J75-D-II, No.8, pp.1317-27, 1992.