

距離センサと視覚センサの統合による倒壊環境の三次元地図の構築

Construction of the 3-dimensional Map for the Collapse Environmental Presentation in Rubble

by the Integration of a Range Sensor and a Image Sensor

○ 日笠 博史 (岡山大学) 石田 宏 (岡山大学) 正 永谷 圭司 (岡山大学) 正 田中 豊 (岡山大学)

Hiroshi HIKASA, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-naka, Okayama

Hiroshi ISHIDA, Okayama University Keiji NAGATANI, Okayama University

Yutaka TANAKA, Okayama University

In 1995, many rescue activities had faced difficulties at “the Great Hanshin Awaji Earthquake” because there were not effective rescue tools. In this background, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology set up “The Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Urban Areas” in 2002, and our research group has joined this project. Our research task is to develop a robot that searches victims inside collapsed buildings or houses. To realize such searching activity, it is effective to display a 3-dimensional environment map. Therefore this research objective is to construct a 3-D map using laser range finder and vision sensors that were mounted on mobile robots. This paper represents a constructing method of a 3-dimensional map, and shows a mapping result of a tentative disaster environment.

Key Words: Laser Range Sensors, VRML, Texture Mapping, Surface Model

1 はじめに

1995年の阪神淡路大震災、2001年の米同時多発テロでの国際貿易センターの倒壊などでは、有効なレスキュー器機が少なかったため、救助活動は難航した。このため、近年、世界中で防災やレスキューに関する研究が盛んに行われている。このような背景の下、文部科学省は、大都市圏において大地震が発生した際の人的・物理的被害を大幅に軽減するための研究開発を行い、地震防災対策に関する科学的・技術的基盤を確立することを目的とした「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」を発足させた。本研究グループは、このプロジェクトに参加し、倒壊した建物内部にできた空間を調査する移動ロボットの実現を目指している。この動作を実現するためには、不整地移動ロボットの開発、自己位置推定手法、環境情報提示手法の三つの要素が必要不可欠であり、本研究グループでは、これらの研究を平行して進めている。

本研究では、この中でも特に、オペレータへの環境情報提示を中心に行う。具体的には、倒壊建物内の未知環境において、オペレータへ環境情報を提供するため、距離センサと視覚センサより取得したデータから、倒壊環境の三次元地図の構築を目指す。この三次元地図を任意の視点から閲覧するため、ここではVRML (Virtual Reality Modeling Language) を利用することとした⁽¹⁾。

移動ロボットによる未知環境探索の研究は、これまでに数多く行われてきた。油田らは、屋内での倒壊環境を対象とした未知環境探索動作の研究を行っており、地下街などの広範囲の地図作成を目指している⁽²⁾。また、Thrunらも、複数台の移動ロボットを用いた未知環境探索の研究を行っている⁽³⁾。これらの研究では、三次元地図を構築するための移動ロボットの自己位置推定に、二次元距離情報を用いている。これに対し、本研究では、不整地である倒壊環境において必要不可欠となる三次元での距離情報を用いて自己位置推定を行うことを目指している点が特徴である。

2 研究プロジェクトの紹介

本研究グループの目的は、不整地移動ロボットのための自己位置推定と未知環境情報の獲得で、倒壊した建物の内部にできた空間を自律的に調査する移動ロボットの実現を目指している。このロボットシステムの実現のため、本研究グループでは、1)



Fig. 1 Res-Dog

不整地移動ロボットの開発、2)ロボットの自己位置推定手法、3)環境情報提示手法の三つに担当を分け研究を行っている。

1. 不整地移動ロボットの開発

三次元環境情報を獲得するため、レーザ距離センサ、ジャイロセンサ、視覚センサなどを有した不整地移動ロボット構築を目指している。1号機として開発したロボット「Res-Dog」(Fig.1)は、大きな段差を乗り越えられないという問題が生じたため、踏破能力を向上させた2号機「RD-II」の製作、整備を現在進めている。この「RD-II」は、踏破能力を向上させるため、重心移動機構を有し、また、現在軽量のセンサシステムを有する。

2. ロボットの自己位置推定手法⁽⁴⁾

移動ロボットが未知環境を探索し、それを三次元環境情報として逐次構築するためには、観測地点におけるロボットの自己位置を正確に把握する必要がある。ロボットの姿勢については、傾斜センサにより獲得可能であるが、倒壊現場では、対象とする環境が不整地かつ閉空間であるため、オドメトリを用いた位置推定や、GPSの利用は難しい。さらに、平面移動とは異なり、ロボットの標高情報も必要となる。この標高情報を含むロボットの位置推定を行うため、本研究では「構築した三次元環境情報と、新たに獲得したセンサ情報比較し、現在位置を推定する」手法を用いることとした。この手法の概略を Fig.2 に示す。

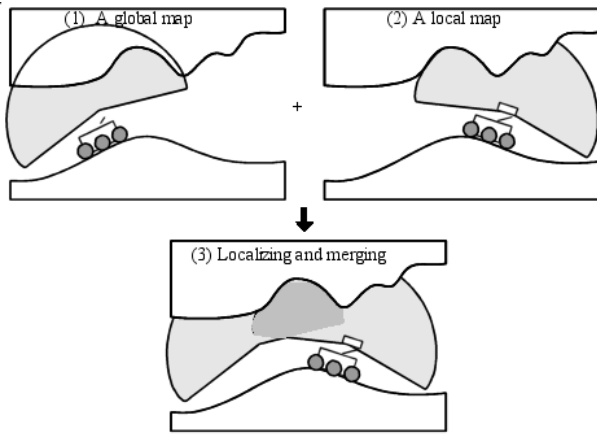


Fig. 2 Localization method

3. 環境情報提示手法

距離センサで距離情報を獲得すると同時に、視覚センサで画像情報獲得し、この画像を距離センサによって得られた三次元環境地図に付加することによって、オペレータにとってわかりやすい形で環境を提示する。

本研究では、この中でも特に「環境情報提示手法」に関する研究を中心に行う。具体的には、移動ロボットによる行方不明者の搜索時に、オペレータへ環境情報を提供するため、距離センサと視覚センサより取得したデータより、コンピュータ内に三次元地図を構築し、VRMLを用いてオペレータに提示するシステムの構築を目指す。

この三次元地図を構築するため、1) 環境情報獲得、2) サーフィスモデル構築、3) 自動テクスチャマッピングの手順を用いる。次章より、これらの手法について説明する。

3 環境情報獲得手法

本研究では、距離センサと視覚センサを搭載したクローラ型移動ロボット『Res-Dog』(Fig.1)を用いて環境情報を獲得することとした。ここで、環境情報とは、三次元の距離情報と画像情報である。

3.1 三次元距離情報獲得

距離センサには、前方±90度に存在する物体までの距離を二次元的にスキャンする非接触レーザ測定システムである、SICK社製 LMS-200を用いる。このセンサ本体をチルト回転させることにより、Fig.3に示すように、三次元の距離データを獲得することが可能となる。本研究では、センサと地面が水平となるチルト回転の角度を0度として、下方-30度から上方120度までを1度ずつスキャンすることとした。距離センサにより獲得した物体の位置情報は、距離 r と角度 θ 、角度 ϕ で表現されるため、この r, θ, ϕ より物体の位置を直交座標 (x, y, z) に変換し、 θ, ϕ を加えた5つのパラメータを用いて、ある反射点からの情報を $Point(x, y, z, \theta, \phi)$ として定義する。

3.2 画像情報の獲得

本研究では、画像情報の獲得装置として、有効画素数35万画素、水平画角60度のUSBカメラ、I-O DATA社製USB-CCDCHATを3台使用する。これらのカメラを距離センサの上部にFig.4のように設置し、チルト回転の角度、0度、30度、60度の時に画像情報を獲得する。

4 サーフィスモデル構築手法

三次元地図を構築するため、距離情報からサーフィスモデルを作る必要がある。そこで、三次元のPointから面を形成する

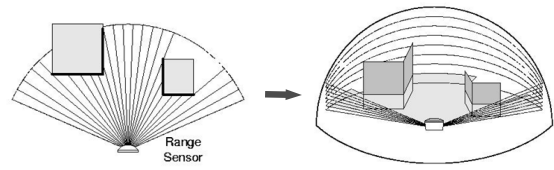


Fig. 3 The 3-dimensional distance data acquisition technique

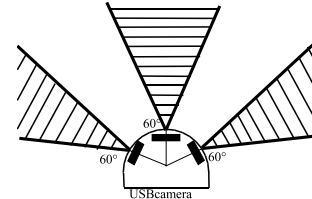


Fig. 4 Installation of three cameras

ため、適当な3つのPointを算出し、三角パッチを生成することとした。以下に、距離センサからの情報としてのx座標、y座標、z座標、チルト回転の角度、レーザ距離センサの走査角度 ϕ を用いたサーフィスモデルの構築手法を例を用いて説明する。

まず、距離センサより、 $Point(\theta_1, \phi_1)$ 、 $Point(\theta_1, \phi_2)$ 、 $Point(\theta_1, \phi_3)$ 、 $Point(\theta_2, \phi_1)$ 、 $Point(\theta_2, \phi_2)$ 、 $Point(\theta_2, \phi_3)$ が得られたものとする。

1. $Point(\theta_1, \phi_1)$ に対して、チルト角 θ_2 となるPointの中で距離が最小となるPointを選定する。ここでは $Point(\theta_2, \phi_1)$ が選ばれたものとする (Fig.5のProcedure 1)。
2. $Point(\theta_1, \phi_1)$ 、 $Point(\theta_1, \phi_2)$ 、選定された $Point(\theta_2, \phi_1)$ の三つのPointを結び面を形成する (Fig.5のProcedure 2)。もし、各Point同士の距離が、しきい値を越えたものが存在する場合、面は形成しない。
3. 面が形成された場合には、 $Point(\theta_1, \phi_1)$ の次の $Point(\theta_1, \phi_2)$ 、選定された $Point(\theta_2, \phi_1)$ 、そのPointの次の $Point(\theta_2, \phi_2)$ の三つのPointを結び面を形成する。この場合も各Point間距離がしきい値を越えるか判別する (Fig.5のProcedure 3)。

上記の手順を繰り返すことによりサーフィスモデルの構築が可能となる (Fig.5のProcedure 4)。

5 自動テクスチャマッピング手法

テクスチャマッピングとは、対象物の面の上に絵を貼り付ける処理のことである。作成されたサーフィスモデルにテクスチャを貼り付けることにより、三次元地図を作成できる。しかし、手でテクスチャを貼ることは、非現実的である。そこで、本研究では、カメラキャリブレーションを行い、実世界上のPointから画像座標を算出し、その画像座標からテクスチャ座標に変換することで自動テクスチャマッピングを行うこととした。本研究では、Tsaiのキャリブレーション手法を用いることにより、三次元座標から画像座標への変換を行うこととした。

6 模擬倒壊環境での本手法の適用

6.1 サーフィスモデルの構築

Fig.6の上図に模擬倒壊環境、Fig.6の下図に構築したサーフィスモデルをVRMLで表示したものを示す。

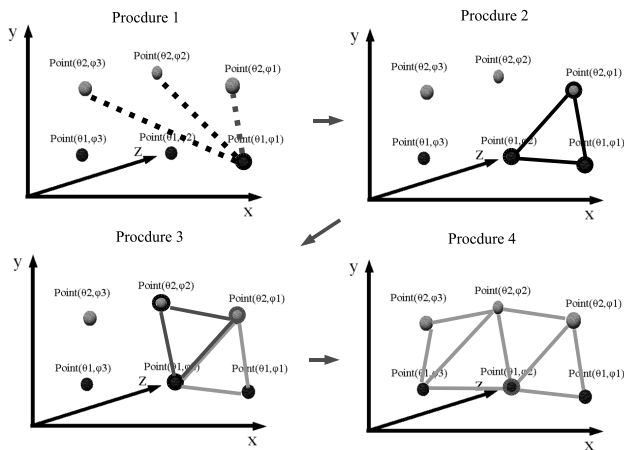


Fig. 5 The procedure of surface model construction

6.2 自動テクスチャマッピング

三次元距離情報により構築されたサーフィスモデルに環境画像を自動で張りつける自動テクスチャマッピングを行ったところ、画像と三次元座標とのずれが多少生じていることが確認できた。この原因には、精度の高いキャリブレーションができていなかったことが挙げられる。ここでは、VRMLに出力されたものを目視し、外部パラメータを変化させることで、誤差を修正した。

Fig.7の上図に、チルト回転0°の時の正面のカメラ画像を示す。また、Fig.7の下図に、前節で構築したサーフィスモデルに、そのカメラ画像を本手法を用いてテクスチャマッピングしたものをVRMLで表示したものを示す。これらの図より、USBカメラで獲得した画像が、三次元地図上に貼り付けられていることがわかる。

7 おわりに

本稿では、本研究で提案する三次元地図構築手法の説明を行った。また、本手法の有効性を確かめるため、模擬倒壊環境において、本手法の適用を行った。現段階では、キャリブレーション誤差などにより、まだ高精度の三次元地図の構築を自動で行うことまでは至らなかったが、本手法の有効性を示すことができたと考えられる。

今後の課題として、自動テクスチャマッピングのずれの修正や、データ量削減のための、有効でない距離情報の削減などが挙げられる。さらに、倒壊環境での自己位置推定が可能となった後に、画像情報を含む三次元地図を逐次連結する手法を考案する予定である。

謝辞

本研究は、文部科学省の大都市大震災軽減化プロジェクトの支援を受けて行われた。ここに感謝の意を表す。

【参考文献】

- (1) Jed Hartman Josie Werenecke: "VRML2.0 ハンドブック-Web上の世界に動きを-", 出版社 アジソン・ウェスレイ
- (2) 油田信一, 坪内孝司: 遠隔移動ロボットとオペレータの強調による被災地環境モデル生成システムの開発大都市大震災軽減化プロジェクト報告書 p.366-375(2002)
- (3) Yufeng Liu, Rosemary Emery, Deepayan Chakrabarti, Wolfram Burgard, Sebastian Thrun: Using EM to Learn 3D Environment Models with Mobile Robots
- (4) 石田 宏, 山中 郷司, 永谷 圭司, 五幅 明夫: "過去に獲得した環境情報を用いた不整地移動ロボットのための自己位置推定", 第3回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 予稿集 Vol.1 P65-66 (2002-12)

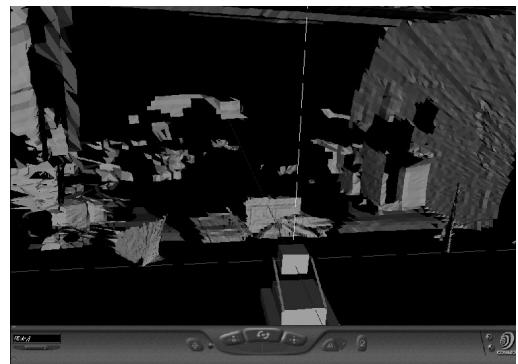
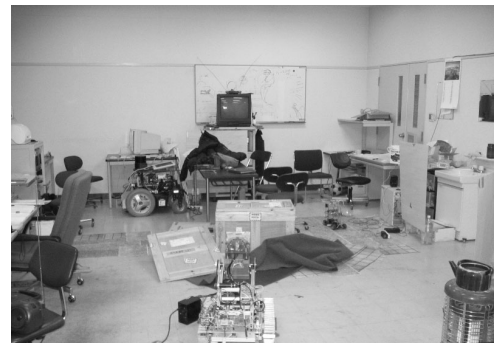


Fig. 6 Image of target environment and surface model

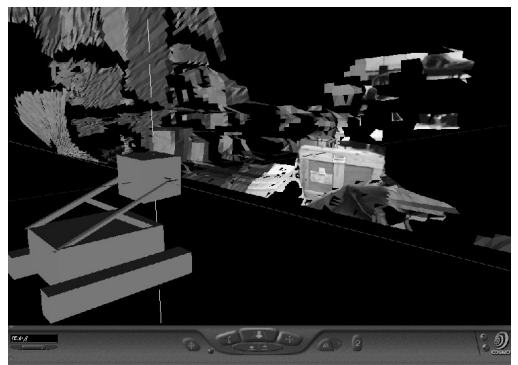


Fig. 7 Texture and texture mapping