

情報収集ロボットへの全方向ステレオシステムSOSの搭載

横山 哲也 平湯 秀和

Improvement of Mobile Robot to Gather Information using Stereo Omni-directional System

Tetsuya YOKOYAMA Hidekazu HIRAYU

あらまし 大震災等の大規模災害後の救助活動において、被災者やその周囲の情報を収集する情報収集ロボットの活用が期待されている。当研究所では、瓦礫や階段等の不整地の走行が可能なクローラ型の全方向移動ロボットCUBIC-R2を開発し、情報収集ロボットの活動範囲を拡大させた。本年度はロボットを遠隔で操作するにあたり、ロボット周辺環境の映像を操作者に提示するため、全方向ステレオシステムをロボットに搭載し、その機能を確認した。

キーワード 全方向移動ロボット、レスキュー、全方向ステレオシステム

1. はじめに

大規模災害直後の2次災害の回避や迅速な被災者の捜索のために、情報収集ロボットの運用が期待されている。情報収集ロボットには崩壊した建造物の瓦礫上や瓦礫内部を移動できる機能が必須となる。このような情報収集ロボットの移動機構に関して、当研究所では、半壊した建物や地下街を活動範囲とした新たな移動機構を提案し、そのプロトタイプCUBIC-R2を開発した^[1]。今後の課題としては、ロボットの遠隔操作が挙げられる。

ロボットを遠隔で操作するには、ロボットの周辺環境を操作者が理解する必要がある。周辺環境を把握するための各種センサが存在するが、人にとって理解しやすいのはカラー映像による視覚情報である。しかし、遠隔地の操作者がロボットの周辺環境の情報を得るためには、本ロボットの搭載カメラ(27万画素×4)では解像度が低く、また段差や障害物を回避しようとしてもロボットとの3次元的な位置情報が把握できないため、安全にロボットを操作できないといった問題点がある。その解決策として、カラー映像のほかに3次元情報である距離情報の取得可能なステレオカメラの搭載が考えられる。しかし、一般的なステレオカメラは画角が限られており、一度に収集できる情報量は限られている。このため、ロボット周辺部の環境を遠隔にいる操作者が理解するにはロボットを停止した後、旋回して見回すなどの動作が必要となり、周辺の状況を迅速に収集する目的には適さない。

そこで本研究では、ソフトピアジャパンにおいて開発された全方向ステレオシステム(Stereo Omni-directional System, 以下SOS)^[2]をロボットに搭載し、ロボット周辺環境の映像を操作者に提示する。SOS

はセンサを中心として全方向のカラー映像と3次元距離情報を死角無くリアルタイムに観測することができるため、これらの情報を基に遠隔にいる操作者にロボット周辺部の様子を広角な映像で提示することが可能となる。これにより、操作者はロボット周辺部の状況を容易に理解することができ、ロボットの操作性向上が期待できる。

2. ロボットへのSOS実装

図1にSOSの全景を示す。SOSは直径116mm、重量0.615kg、カメラ数36個(ステレオユニット12個)から構成されている。ステレオユニットは、L型に配置された3台のカメラから構成され、上下と左右の2つのステレオ画像ペアが得られる。SOSは12個のステレオユニットで全方向の視覚および位置情報を得ることができる。

図2に、SOSを情報収集ロボットCUBIC-R2に搭載した写真を示す。SOSはロボットの中央クローラユニットに取り付けられ、その重心高さは地面から650mmである。



図1 SOSの全景

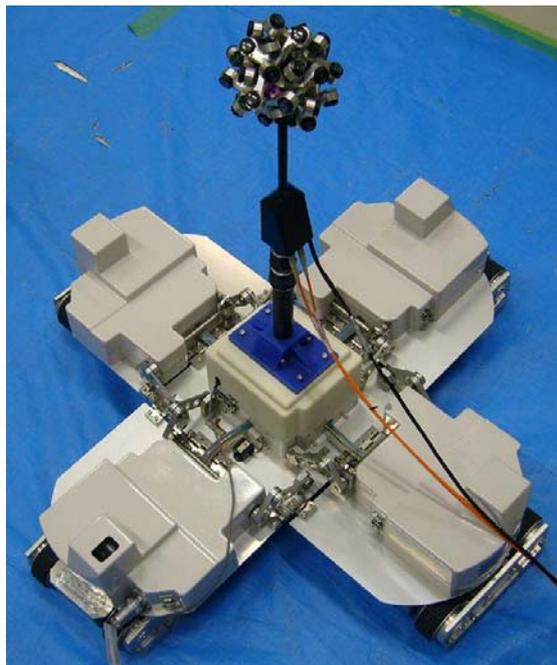


図2 SOS搭載の様子

SOSから得られる球面投影映像を図3に示す。画面の中央にロボットが写るように視点を設定することで、ロボット周辺の映像が指向性を有することなく提示できる。ロボットは全方向に移動できるため、映像に指向性がないことは、ロボットの操作に与える影響が小さいと考えられる。しかし、SOSは全方向の視野を持つため、カメラの姿勢変化に対して情報量が変化せず、映像からはロボットと地面の水平関係を知ることはできない。そこで、ロボットの加速度センサから得られる傾き情報を用いて、球面投影映像に地面に対する水平線、垂直線を描くことで、操作者にロボットの姿勢を提示した。

図4に、視点移動による球面投影映像を示す。SOSは全



図3 SOSから得られた球面投影映像

方向の視野を持つため、操作者はマウスを使って得たい方向の映像を球面投影図の中心に持ってくることで、映像から詳細な情報を得ることができる。

ロボットの全方向カメラとしてオムニカメラがある。オムニカメラは簡単な構造で、全方向の映像を得ることができるが、レンズの構造上、均一な解像度を得ることが難しい。SOSはカメラが球面上に複数配置されていることから、全方向に均一な映像を得ることができる。これより、災害現場の情報を迅速に収集するカメラシステムとしては、SOSが適していると判断できる。



図4 視点移動による球面投影映像

3. 重心投影点ビューアの実装

SOSをロボットに取り付けることで、ロボットの重心位置が高くなり、ロボットの転倒可能性が増加する。図5(a)(b)にロボットの重心投影を示す。ロボットの重心投影点が、ロボットの接地面で構成される支持多角形の中に存在する場合、ロボットの転倒可能性はないが、支持多角形の外に存在する場合は、ロボットの転倒可能性がある^[3]。仮に転倒した場合、元の状態に復帰させるために無駄な時間を費やすことから、転倒は避ける必要がある。そのため、重心位置を考慮したロボットの動作が必要となる。なお、支持多角形が水平面に対して傾きを有する場合は、支持多角形を水平面に投影した多角形で議論する必要がある。

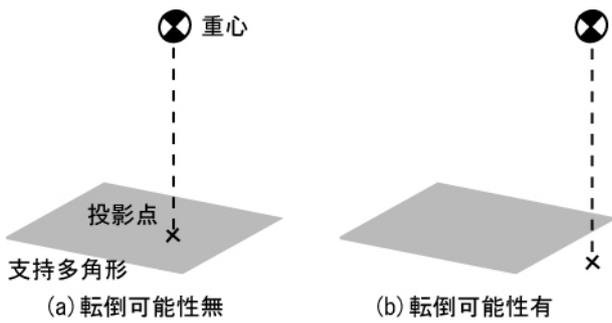


図5 ロボットの重心投影

ロボットの重心 X_0 を求めるにあたり、図2に示すロボットを、図6に示す簡易モデルに置き換えた。ロボットの各プラットフォームを質点重心(質量 m)に置き換え、各質点間はモータを介して直結する構造とした。SOSも質点重心(質量 m_s)に置き換えた。各面の質点重心とモータ間の距離は $L/2$ 、面1重心とカメラ間の距離は L_s とする。座標系の原点を、面1重心 X_1 に置いた場合の各プラットフォームの重心 $X_i (i=1, \dots, 5) = (x_i, y_i, z_i)^T$ およびカメラ重心 $X_s = (x_s, y_s, z_s)^T$ は以下のとおり求まる。

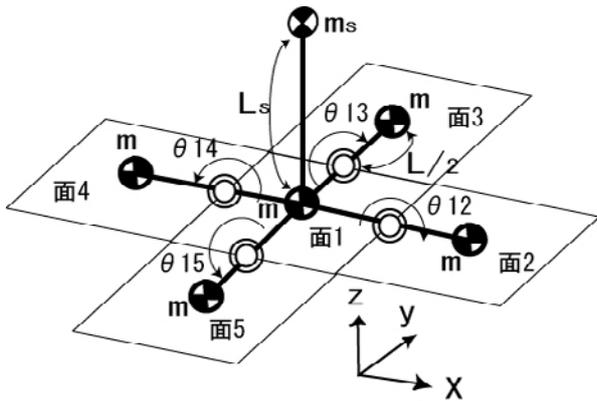


図6 ロボットの簡易モデル

$$x_1 = 0, \quad y_1 = 0, \quad z_1 = 0 \quad (1)$$

$$x_2 = \frac{L}{2} - \frac{L}{2} \cos \theta_{12}, \quad y_2 = 0, \quad z_2 = \frac{L}{2} \sin \theta_{12} \quad (2)$$

$$x_3 = 0, \quad y_3 = \frac{L}{2} - \frac{L}{2} \cos \theta_{13}, \quad z_3 = \frac{L}{2} \sin \theta_{13} \quad (3)$$

$$x_4 = -\frac{L}{2} + \frac{L}{2} \cos \theta_{14}, \quad y_4 = 0, \quad z_4 = \frac{L}{2} \sin \theta_{14} \quad (4)$$

$$x_5 = 0, \quad y_5 = -\frac{L}{2} + \frac{L}{2} \cos \theta_{15}, \quad z_5 = \frac{L}{2} \sin \theta_{15} \quad (5)$$

$$x_s = 0, \quad y_s = 0, \quad z_s = L_s \quad (6)$$

ロボット重心 $X_0 = (x_0 \ y_0 \ z_0)^T$ は、式(1)~(6)の加重平均により以下のとおり求まる。

$$x_0 = \frac{Lm(\cos \theta_{14} - \cos \theta_{12})}{2(5m + m_s)} \quad (7)$$

$$y_0 = \frac{Lm(\cos \theta_{15} - \cos \theta_{13})}{2(5m + m_s)} \quad (8)$$

$$z_0 = \frac{Lm(\sin \theta_{12} + \sin \theta_{13} + \sin \theta_{14} + \sin \theta_{15}) + 2L_s m_s}{2(5m + m_s)} \quad (9)$$

水平面に対するロボット重心の投影点 $X'_0 = (x'_0 \ y'_0)^T$ を式(10)のとおり求める。ここで R は、ロボットが水平面に対して傾きを有している際の回転行列を示す。

$$X'_0 = \underbrace{\begin{pmatrix} r_{xx} & r_{xy} & r_{xz} \\ r_{yx} & r_{yy} & r_{yz} \end{pmatrix}}_R X_0 \quad (10)$$

図7に重心投影点ビューアを示す。図中のロボットCGは、ロボットに搭載された各種センサ情報が反映されており、そのCG上に重心投影点 X'_0 を表示する。ロボットの接地面は、接地センサ^[4]の情報を基に色の変化で提示する。接地面で構成された凸形状が支持多角形に該当し、操作者は重心投影点 X'_0 の位置に応じて、ロボットの動作を決めることが可能となる。

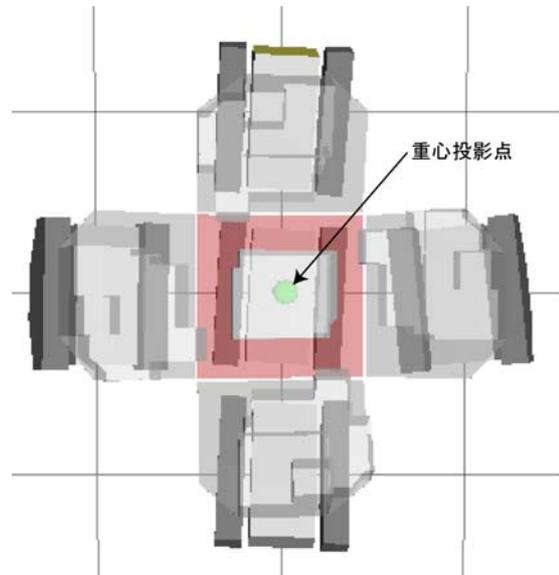


図7 重心投影点ビューア

4. まとめ

本研究では情報収集ロボットに全方向ステレオシステムを搭載し、ロボット周辺環境の映像を操作者に提示した。SOSは全方向のカラー映像を死角無くリアルタイムに観測することができるため、遠隔にいる操作者はロボット周辺部の様子を広角な映像で把握することができる。

また、ロボットの転倒を防止するため、ロボットの重心位置を考慮できるよう、重心投影点をビューア上に描写した。これにより操作者は重心を意識してロボットの動作を決定でき、ロボットの操作性向上に期待ができる。

文 献

- [1] 田畑克彦, 稲葉昭夫, 天野久徳, “不整地走行用全方向移動システムの開発”, 計測自動制御学会論文集 Vol.41, No.12, pp.998-1004, 2005.
- [2] 山本和彦, 棚橋英樹, 桑島茂純, 丹羽義典, “実環境センシングのための全方向ステレオシステム”, 電気学会論文誌C 電子・情報・システム部門誌, Vol.121-C 5 2001, pp.876-881, Mar. 2001.
- [3] 日本ロボット学会編, “ロボット工学ハンドブック”, コロナ社, 2005.
- [4] 横山哲也, 稲葉昭夫, 天野久徳, “情報収集(被災者搜索)ロボットの遠隔操縦インターフェースに関する研究”, 岐阜県生産情報研究所研究報告 第8号, pp.44-47, 2007.