

複数の魚眼カメラと LRF を用いた重畳型全方位俯瞰画像提示手法の構築

○佐藤貴亮 (東京大学), Moro Alessandro (ライテックス),
山下淳 (東京大学), 浅間一 (東京大学)

A Construction of a Multi Layered Bird's-Eye View Image with Multiple Fish-Eye Cameras and a LRF

○Takaaki SATO (The University of Tokyo), Alessandro MORO (Ritecs),
Atsushi YAMASHITA (The University of Tokyo), and Hajime ASAMA (The University of Tokyo)

Abstract: This paper describes a new method to make a bird's-eye view image with obstacle detection by using multiple fish-eye cameras and a LRF. In a teleoperation system for a rescue robot, it's important to show a good image to an operator. To improve a teleoperation, we propose a multi layered bird's eye view system that shows a robot and surroundings from bird's eye view. In addition, the system detects obstacles such as walls and power codes.

1. 序論

本研究では複数の魚眼カメラと LRF を用いた重畳型全方位俯瞰画像提示手法を提案する。

近年、レスキューロボットの技術開発が盛んに行われている。レスキューロボットをより多様な災害環境下に対応できるようにすると、災害現場での作業者を減らすことができ、二次災害リスクの低下が実現できる。このリスクの低下を図ることは災害の対応において非常に重要な課題であり⁽¹⁾、このためにもレスキューロボットの技術開発は必要不可欠である。

また、技術開発の中でも、遠隔操作型レスキューロボットの提示情報に関する開発は盛んに行われている。オペレータに提示する情報の質を高めると、遠隔操作性の向上により作業の効率化が図れる⁽²⁾。この点において情報の質を高めることは重要な課題である。

この課題を解決するために、画像処理による俯瞰画像の研究が行われている。文献⁽³⁾は自動車の周囲に6台の魚眼カメラを取り付け、これらの画像を俯瞰画像に変換し、統合を行うことで、自動車の全周囲を真上の視点から俯瞰したような画像を提示している。この手法では一画面に全周囲を表示できるため、ロボットと周囲の関係を把握しやすい。しかし、表示された俯瞰画像は地面に対しては正しい映像を表示できるが、高さのある物体や、その物体により撮影が遮られる死角に対しては不自然な表示となる。このため、障害物が映り込む場合は誤認が起りうるという問題がある。そこで、この問題を解決するために本研究では複数の魚眼カメラを用いると共に、LRF を用いることで物体を検知し、その検知結果を提示する。

また、文献⁽⁴⁾⁽⁵⁾ではロボットの前面にカメラを取り付けている。GPS を用いて自己位置推定を行い、過去

画像の中でロボットのモデルを現在位置に合成することで、後ろから俯瞰したような画像を提示している。このような後ろからの俯瞰画像はロボットを移動する際に有効である。しかし、レスキューロボットのような災害調査目的においては、ロボットと周囲の環境の相対的な把握が重要であるため、後ろからの俯瞰よりは真上からの俯瞰が有効である。また、これらの手法では GPS 計測により自己位置推定を行うが、屋内の使用には向いていない。屋内は一般的に周囲の環境が複雑であることから、環境をする LRF の位置合わせによる自己位置推定が利用されている⁽⁶⁾。

以上、遠隔操作における情報の伝達では、死角や誤認が少ないことや、ロボットと周囲の環境を相対的に確認できることが重要である。そこで本研究では、これらの要件を満たすために、複数の魚眼カメラを使用し、真上からの俯瞰画像を生成するとともに、LRF による物体の検出を行い、これらを重畳して1つの画面に提示する手法を提示する。これにより、レスキューロボットの遠隔操作性をより高いものとする。

2. 提案手法

本研究では、複数の魚眼カメラから得られる俯瞰画像と、LRF から得られる障害物の検出データを重畳して1つの画面として表示する手法を提案する。提案手法の処理手順を図1に示す。俯瞰画像では、各魚眼カメラから撮影される画像を変換し、真上から俯瞰したような画像を生成する。次に、各俯瞰画像の統合を行う。ここで、得られた画像から地面の障害物を検知するための特徴抽出を行う。次に、LRF で高さのある障害物の検出及び計測を行う。最後にこれらの結果を1つの画面に重畳して提示する。

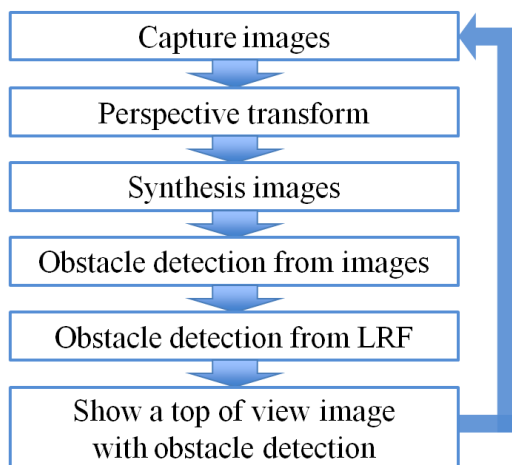


Fig.1 Procedure

2.1 魚眼カメラ

魚眼カメラは画角が 180° 前後と高く、一度に広い範囲を撮影できるカメラである。その射影方式は、通常のカメラが透視撮影方式をとるのに対して、魚眼カメラは一般的に画面の中心からの距離と角度が比例する等距離射影方式をとる。

魚眼カメラにより撮影される画像を図 2(a)に示す。また、この画像を透視撮影方式に変換すると認識が容易になる。その画像を図 2(b)に示す。また、変換の際は変換領域を画像中心以外とすることも可能である。画像の最左部から中心部付近を領域に含めた画像を図 2(c)に、最右部から中心部付近を含めた場合を図 2(d)に示す。このように、魚眼カメラは 1 つの画像から複数領域の透視撮影画像を得ることができる。そのため、通常カメラのように、パンやチルトを制御してカメラの姿勢を変えて撮影領域を変更する必要がないという利点がある。

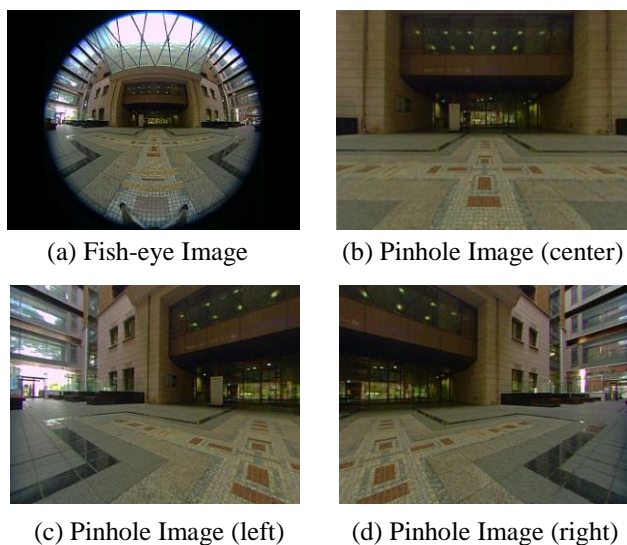


Fig.2 Fish-eye Images

2.2 俯瞰画像の生成

魚眼カメラの画像を透視撮影方式に変換した後に、真上からの俯瞰画像へ変換を行う。まず、ワールド座標系 $\mathbf{W} = [x, y, z]^T$ における、魚眼カメラの撮影位置姿勢の座標系 $\mathbf{P} = [u, v]^T$ を考える。これら 2 つの座標は 3×4 行列の透視撮影行列 \mathbf{H} によって関係付けることができる。すなわち、ワールド座標系を含む点行列 $\mathbf{W}_r = [x, y, z, 1]^T$ と、魚眼カメラの座標系を含む点行列 $\mathbf{P}_r = [u, v, 1]^T$ には次の関係式が成り立つ。

$$\mathbf{P}_r = \mathbf{H}\mathbf{W}_r \quad (1)$$

また、カメラの投影面を $z=0$ の平面であるとした場合、次のようにして透視撮影行列 3 列目の成分を省略することができる。

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_r &= \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \equiv \mathbf{H}_r \tilde{\mathbf{W}}_r \end{aligned} \quad (2)$$

上式により、ワールド座標とカメラの撮影画像の座標との関係が決定される。これと同様に、ワールド座標と仮想的な位置姿勢から撮影を行うカメラの座標との関係は、仮想カメラの座標を含む点行列を \mathbf{P}_h とすると、次の式で表わされる。

$$\mathbf{P}_h = \mathbf{H}_h \tilde{\mathbf{W}}_r \quad (3)$$

これらの式から、実際のカメラ取り付け位置と、仮想的なカメラの位置との対応関係は、次の式で表わされる。

$$\mathbf{P}_r = \mathbf{H}_r \mathbf{H}_h^{-1} \mathbf{P}_h \quad (4)$$

2.3 俯瞰画像の統合

各カメラから得られた俯瞰画像を統合して全周囲俯瞰画像を生成する。統合の際はワールド座標系における全ての仮想カメラの位置を同一に設定する。姿勢及び画角は、全ての仮想カメラによって全周囲が撮影できるように設定する。

2.4 画像処理による障害物検出

全周囲俯瞰画像から画像処理によって床面の障害物検出を行う。障害物検出には処理時間と断片的な直線検出に優れた確率的 Hough 変換を用いる。これにより、壁面や角形の障害物のエッジを抽出する。

2.5 LRF

LRF は赤外線レーザを発振させ、障害物へ衝突して反射されたレーザを受信することで障害物の検知及び距離の測定を行うことのできる装置である。図 3 にその測定結果の一例を示す。廊下の壁を検出して青で表示をしている。ただし、本研究で使用した LRF はスキャン範囲が 270° であるため、スキャン範囲外は測定が行われていない。

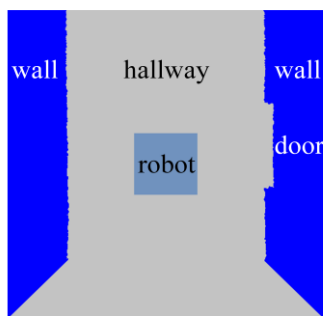


Fig.3 Example of Laser Range Finder

2.6 LRF と俯瞰画像の統合

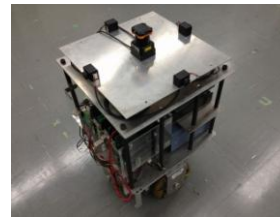
LRF と俯瞰画像の統合では、LRF のワールド座標系を俯瞰画像の生成で用いたワールド座標系に合わせて統合を行う。つまり、LRF を取り付ける際の位置姿勢は任意であるが、ワールド座標系は原点をロボット中心（仮想的な位置に設置したカメラから鉛直下方向でロボットの上面）とする。

3. 実験

実験では、床とロボット上面の水平を仮定し、重畳型俯瞰画像システムが提示されることを確認するために 1 箇所での撮影を行う。また、地面の障害物に対して確率的 Hough 変換、高さのある障害物に対して LRF による検出を行う。

3.1 実験内容

図 4 に移動型ロボット(全方向ロボット ZEN⁽⁷⁾)と、実験環境である建物廊下内の様子を示す。移動型ロボットには上面の端に魚眼カメラ(オプト株式会社製 NM33)、中心に LRF(北陽電気株式会社製 UTM-30LX)がそれぞれ取り付けられている。また、処理は PC により行われる。PC はロボット内部に設置されている。



(a) ZEN



(b) Environment

Fig.4 Experiment

各カメラの取り付け位置はロボット上面の中心から対称とした。中心面からカメラまでの距離は 22.5cm であり、高さは地面から 70.0cm、向きは地面に水平とした。また、LRF も向きを地面と水平にした。測定領域は地面から高さ 76.0cm、最大測定距離は 30m である。なお、スキャン範囲が 270° であるため、本研究では進行方向の反対から左右 45° の領域(後ろのカメラの俯瞰画像領域)については LRF の表示は行われていない。

3.2 実験結果

図 5 に実験結果を示す。図 5(a)には、俯瞰画像処理及び統合を行わずに画像を一画面に提示した結果を示す。この場合では、提示される画像の情報量は多いが、ロボットと周囲の関係は理解しにくい。

図 5(b)には、全周囲俯瞰画像を示す。図 5(a)に比べ、ロボットと周囲の状況を容易に理解することが可能となっている。なお、図では表示領域を一边約 3m の正方形としたが、この表示領域は実際の魚眼カメラが撮影した範囲内であれば仮想カメラの位置もしくは画角の設定により自由に変更することができる。

図 5(c)には、全周囲俯瞰画像と LRF を重畳表示した結果を示す。これにより、高さのある障害物や壁面を注視することなく容易に認識することが可能となる。特に暗い環境下ではカメラの画像からは障害物と床の区別が付きにくい、このような環境でも本手法を用いれば遠隔操作を行うことができると考えられる。

図 5(d)では、重畳表示に加えて画像処理による障害物検出も行った結果を示す。このようにして、LRF では捉えることのできないような地面上の電源コード等も注視することなく容易に認識することが可能となる。

最後に図 5(e)では、全周囲俯瞰画像をサブ画像として、メイン画像であるロボット進行方向の画像の隅に表示している。通常のカメラでこのような画像を提示する際は、俯瞰画像用のカメラを下向きに取り付け、別途メインカメラを地面と水平の向きに取り付けなければならないが、画角の広い魚眼カメラは内部処理により複数領域の画像を生成することで、1 つで両方の役割を果たすことができる。

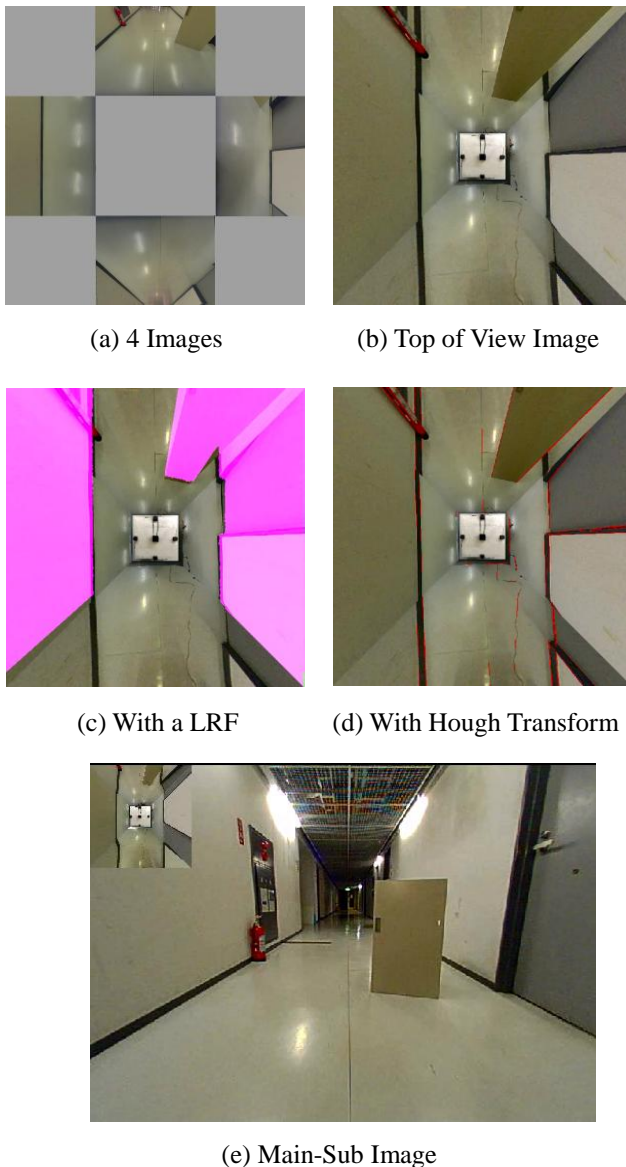


Fig.5 Multi Layered Bird's-Eye View Image

4. 結論

本研究では、複数の魚眼カメラと LRF を用いた重畳型全方位俯瞰画像提示手法の構築を行った。

複数の魚眼カメラによる俯瞰画像と、確率的 Hough 変換、LRF による障害物の検知を重畳して表示することで、ロボットと周囲の環境との相対的な把握や、障害物の認識に優れた画像提示システムを提案した。

今後は、さらに死角や障害物に対応できる画像提示手法を構築する。複数の魚眼カメラと LRF を用いたロボットの自己位置推定の手法も構築する予定である。

謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 「災害対応無人化システム研究開発プロジェ

クト」, 科研費若手研究(A)22680017, および科研費基盤研究(B)24300198の一部として実施されたものである。

参考文献

- [1] 田所諭, 松野文俊, 大須賀公一, 浅間一, 小野里雅彦: “「レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発」の現状”, 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概要集, pp.518-519, 2006.
- [2] Keiji Nagatani, Seiga Kiribayashi, Yoshito Okada, Satoshi Tadokoro, Takeshi Nishimura, Tomoaki Yoshida, Eiji Koyanagi, and Yasushi Hada: “Redesign of rescue mobile robot quince –toward emergency response to the nuclear accident at fukushima daiichi nuclear power station on march 2011–”, Proceedings of 2011 IEEE International Workshop on the Safety, Security and Rescue Robotics, pp.13-18, 2011.
- [3] Yu-chih Liu, Kai-ying Lin, and Yong-sheng Chen: “Bird's-Eye View Vision System for Vehicle Surrounding Monitoring”, Robot Vision - RobVis, pp.207-218, 2008.
- [4] Masataka Ito, Noritaka Sato, Maki Sugimoto, Naoji Shiroma, Masahiko Inami and Fumitoshi Matsuno: “A Teleoperation Interface using Past Images for Outdoor Environment”, Proceedings of the SICE Annual Conference, pp.3372-3375, 2008.
- [5] Shiroma Naoi, Kagotani Georges, Sugimoto Maki, Inami Masahiko, and Matsuno Fumitoshi: “A Novel Teleoperation Method for a Mobile Robot hiUsing Real Image Data Records”, Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.233-238, 2004.
- [6] Hartmut Surmann, Andreas Nuchter, and Joachim Hertzberg: “An autonomous mobile robot with a 3D laser range finder for 3D exploration and digitalization of indoor environments”, Robotics and Autonomous Systems, vol. 45, pp.181-198, 2003.
- [7] Hajime Asama, Masatoshi Sato, Luca Bogoni, Hayato Kaetsu, Akihiro Matsumoto and Isao Endo: “Development of an Omni-Directional Mobile Robot with 3 DOF Decoupling Drive Mechanism”, Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1925-1930, 1995.