

# 直接操縦から自律制御へのオンライン移行型遠隔作業ロボットシステム レーザーレンジファインダとステレオカメラを用いた自由空間の獲得

浦本征吾、村上剛司、長谷川勉、倉爪亮

## On-line Transition to Autonomous Teleoperation from Master-slave Manipulation Aquisition of empty space structure using Laser Range Finder and Stereo camera

Seigo URAMOTO, Kouji MURAKAMI, Tsutomu HASEGAWA, Ryo KURAZUME

Kyushu University

**Abstract**— We propose a method to acquire the empty space structure using a laser range finder and a stereo camera. Once the position of surface of the object is measured, the space between the sensor and the surface is structured to be empty space. Collision-free path is planned based on constructed empty space structure.

**Key Words:** master-slave manipulation, automated execution, empty space structure

### 1. はじめに

従来、遠隔マニピュレータの操縦には、複数の監視モニタで現場の状況を確認しながら、マスタームで直接操縦を行うマスタ・スレーブ方式が用いられてきた。しかし限られた視野範囲と分解能しか持たない監視モニタの映像のみを頼りに、マニピュレータが障害物と衝突しないように操縦するのは熟練したオペレータでも難しい。そこで筆者らは、オペレータによる直接操縦時に作業環境の空間構造を把握し、オンラインで自律操縦に移行するシステムの開発を行ってきた [1]。本報告では、ステレオカメラとレーザーレンジファインダ (LRF) を用いて障害物表面の位置を計測し、作業環境の空間構造を獲得する方法を述べる。

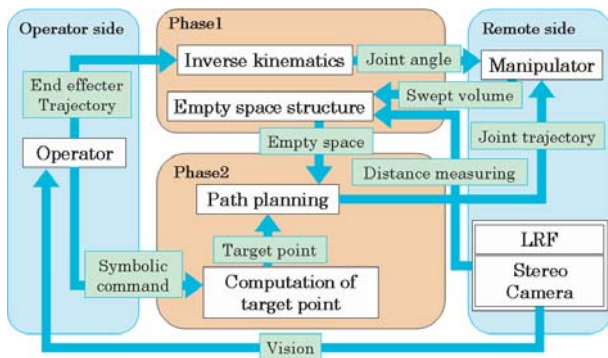


Fig.1 Outline of system

### 2. システム構成

#### 2.1 ハードウェア

マニピュレータとして7自由度を持つ多関節ロボットアーム (三菱重工, PA-10) を用いる。またマニピュレータ先端部にはグリッパのほか、ステレオカメラ (Point Grey Research, BumbleBee) と LRF (北陽電機, URG) を装着する。

#### 2.2 Phase1 : 直接操縦フェイズ

システムが自律的に作業を実行するためには、作業環境の空間構造を把握し、障害物と衝突しないようにマニピュレータを動かす必要がある。しかし、作業開始時に作業環境の完全な空間構造モデルを自動的に生成するのは困難である。そこで、作業の初期段階の Phase1 では、作業の実行をオペレータの直接操縦に任せる。直接操縦の間にシステムは、次の3種類の空間を障害物の存在しない安全な空間 (自由空間) とみなして、作業環境の空間構造を獲得する。

1. マニピュレータの掃引空間  
直接操縦でマニピュレータが掃引した空間には障害物は存在しない。
2. 障害物と位置計測機器の間の空間  
位置が計測された障害物表面と、機器の計測の原点を結ぶ間の空間には障害物が存在しない。
3. 自由空間に周囲を囲まれた未知空間  
障害物が空中に浮遊した状態で存在することはない。

#### 2.3 Phase2 : 自律作業フェイズ

作業実行経路を生成するのに十分な自由空間構造を獲得したら、Phase2に移行する。このフェイズではオペレータから作業対象物体と作業内容を指示されると、自律的に作業を実行する。ただし作業対象物体の3Dモデルはあらかじめ用意されているものとする。また、色情報を用いてカメラ映像に映った作業対象物体の2次元形状を抽出できるものとする。

まずステレオカメラの映像をオペレータに提示する。オペレータによって映像上の作業対象物体がポイントイングされると、作業対象物体の2次元輪郭形状を抽出する。そして2D3DAlignment [2] を用いて輪郭形状と3Dモデルの位置合わせを行い、カメラ座標系での作業対象物体の位置・姿勢を推定する。ステレオカメラの装着位置とマニピュレータ基部位置の関係は事前にキャリブレーションされており、マニピュレータ基部座標系での作業対象物体の位置・姿勢を求めることができる。この位置・姿勢とオペレータが指定した作業内容を基に、作業を行うのに最適なマニピュレータ手先位

置・姿勢を設定し、目標状態とする。

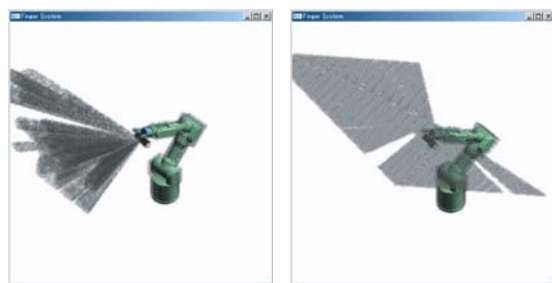
次に、Phase1 で得られた自由空間内を覆うロードマップを生成し、現在状態と目標状態を結ぶ経路を探索する。この経路に沿ってマニピュレータを動作させ、障害物と衝突することなく安全に作業を実行する。

### 3. LRF とステレオカメラを用いた自由空間構造の獲得

レーザーレンジファインダ (LRF) とステレオカメラでマニピュレータ周囲にある障害物表面の位置を計測する。障害物表面とこれらの機器の間の空間を自由空間とみなし、その構造を獲得する。

ステレオカメラは視野内の距離画像のほかにカラー画像を得ることができるため、作業監視用カメラとしても使用する。しかし、位置計測の精度は、物体表面のテクスチャや環境の照明の影響を受けやすい。また、自律作業を行うためには、マニピュレータ基部や肘部周辺の自由空間構造を広く獲得する必要がある。ステレオカメラは作業監視のためマニピュレータ手先方向に向けて装着されているので、この周辺の空間構造を獲得することができない (Fig.2(a))。

一方、LRF は自らが赤外線を射出して周囲の物体の距離を計測するため、物体表面のテクスチャや照明の影響を受けにくい。本システムではマニピュレータ手先に搭載できる小型の一次元型 LRF を使用している。この LRF の距離計測によって獲得される自由空間構造は平面的である (Fig.2(b)) ため、一度の計測では自律作業を行うのに十分な自由空間構造は得られない。そこで、マニピュレータの最先端の関節である第 7 関節の回転軸に LRF の計測平面が一致するように LRF を装着する。そして第 7 関節を回転させながら連続して計測を行い、マニピュレータ基部・肘部を含めた広範囲の自由空間構造を安全に獲得する。



(a) Stereo camera (b) LRF

Fig.2 Acquisition of empty space

## 4. 実験

### 4.1 実験環境と手順

マニピュレータから 1m 前後の距離にパイプ構造物 (パイプ直径 6cm) を配置した実環境 (Fig.3) を使用する。まずマニピュレータの第 7 関節を除く全関節を固定し、第 7 関節のみを 360 度回転させながら、関節の回転角度 0.5 度毎に LRF で距離画像を取得する。次にこの距離画像を基に自由空間構造を構成する。

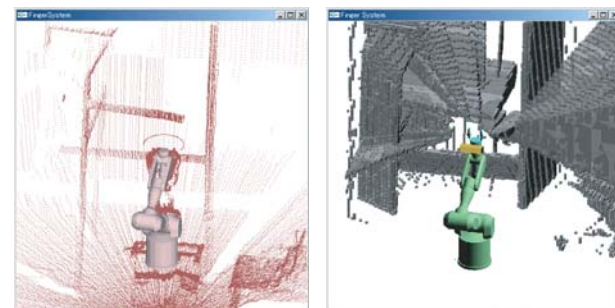
## 4.2 結果

Fig.4(a) は、LRF で取得した距離画像を仮想空間にプロットし、パイプ構造物周辺のみを表示したものである。パイプや壁面、床面を障害物と認識し、人間がこれらの構造を判別できる程度の解像度で距離計測点を得ることができた。

さらにこの距離画像を基に自由空間を構成した。Fig.4(b) は獲得した空間構造である。Fig.4(a) と同一の方向から撮影した。空間構造が未知である空間 (未知空間) や、障害物が占有する空間を灰色の空間セルの集合として表した。自由空間はその補空間である。直接操縦では獲得するのが困難なパイプ構造物の隙間の空間構造を獲得できた。また、ステレオカメラでは撮影するのが困難なマニピュレータ基部・肘部周辺の空間構造も獲得できた。ただし、パイプの背後の空間や、位置を計測できなかった点が存在する方向の空間は、未知空間となった。



Fig.3 Environment



(a) Distance map (b) Empty space

Fig.4 Result of experiment

## 5. 結び

LRF を使用し、マニピュレータを大きく動かすことなく、安全に広範囲の自由空間構造を獲得できることを確認した。ステレオカメラを併用し作業環境の空間構造を獲得すれば、オペレータから簡単な作業指示を受けて、自律的に作業を実行することができる。

### 参考文献

- [1] 長谷川勉, 中川公輔, 村上剛司, “遠隔マニピュレータの作業空間構造獲得と障害物回避動作計画”, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.4, pp.515-518, 2004
- [2] 岩下友美, 倉爪亮, 小西晃造, 中本将彦, 橋爪誠, 長谷川勉, “2次元距離場を用いた3次元幾何モデルと濃淡画像の高速な位置合わせ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-D2, pp1889-1899, 2005