

# 通信時間遅れ支援機能を有するロボットアームの RSNP 遠隔操作システムの開発

Development of a robot arm teleoperation system using RSNP  
with support function for communication time delay

安田 福啓\*<sup>1</sup>  
Motohiro Yasuda

新井 孝\*<sup>1</sup>  
Takashi Arai

松日楽信人\*<sup>1</sup>  
Nobuto Matsuhira

\*<sup>1</sup> 芝浦工業大学  
Shibaura Institute of Technology

We have developed a robot arm teleoperation system using RSNP protocol. In this research, a predictive display has been developed to support operation when communication time delay occurs and evaluation experiments were performed. From the experiments, the validity of the developed predictive display was verified.

## 1. 緒言

近年、身近で活躍するサービス分野でのロボットの開発に期待がかかっている[経済産業省 2012]。ロボットの開発に関して、ロボットシステムが標準化された規格であるかどうかは重要な問題である。標準化された規格で開発されたロボットシステムはシステムを再構築・再利用・交換が容易で、開発期間の短縮や種類の異なるロボットシステムの構築が容易になるといった利点がある。

本研究ではロボットシステムの構築、再利用が容易に行えることを目的に、標準化されたソフトウェアを用いたロボットの開発、提案を行っている。その一環として、インターネットを介して複数台のロボットを遠隔操作することが可能な RSNP(Robot Service Network Protocol) [RSi 2010] を使用している。RSNP はサービスロボット用の共通な通信プロトコルであるため、複数台のロボットを同じシステム上で遠隔操作することが可能である。本研究では、これまで RSNP を用いた遠隔操作システムと俯瞰視点を表示する共通操作画面の開発を行い操作性に関して評価を行ってきた[安田 2015]。また、ロボットが遠隔地で何か作業を行う際にはアームが必要となる。しかし、ロボットアームの遠隔操作についての RSNP の実装報告はこれまでなかった。そこで、RSNP を用いたロボットアーム遠隔操作システムの開発を進めてきた[新井 2015]。

本稿ではインターネットを用いた RSNP による遠隔操作システムの新たな構築、問題点である通信遅延とそのばらつきの影響を減少させるシステムの提案、およびその性能評価について報告する。

## 2. RSNP 用いたロボットアーム遠隔操作システム

### 2.1 システムの概要

本研究で用いる遠隔操作システムの概要を図 1 に示す。ロボットは、サーバに送信されたコントロールデバイスの情報をもとにして動作する。また、操作者はロボットからサーバに送信されたカメラのデータを GUI(Graphical User Interface)上で見ながら操作を行う。ロボットアームへの指令は RSNP のプロファイルの DataPushProfile を用いている。アーム側のカメラ画像は Multimedia Profile の distribute\_camera\_image を利用し、一定間隔で、RSNP サーバへ配信する。RSNP サーバへ送られた指令値や関節

角度データ、カメラ画像は Web ブラウザを用いて、あらかじめ決めた URL のページにアクセスし確認することができる。

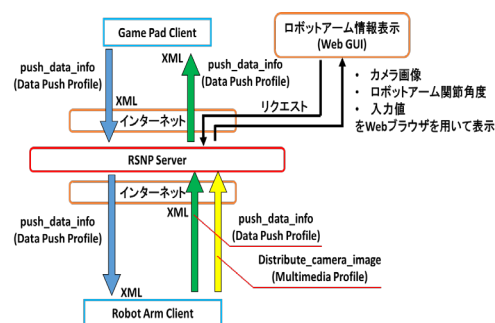


図 1 RSNP 遠隔操作システムの概要

### 3. 予測ディスプレイ

ロボットを遠隔操作する場合、遠隔地の状況やロボット動作の確認はカメラ画像による視覚情報が大部分を占める。しかし、カメラ画像は容量が大きく、特に RSNP はインターネットを用いているため、遅延とばらつきが大きい。そこで、本研究でも予測ディスプレイを用いて通信時間遅れに対応する[松日楽 1994]。予測ディスプレイは送受信する数値データをシミュレーションモデルに反映させ、目標姿勢として表示できるので直感的に確認できる。予測ディスプレイの表示イメージを図 2 に示す。

図 2 に示したように、同じアームのシミュレーションモデルを色違いで、重ね描きしている。グレースケールのアームが入力装置の入力(指令値)をそのまま反映したものである。カラーで表示したアームは実際のアームの関節角度を反映したものである。これにより、指令値と実際のアームの状態を直感的に確認できる。また、シミュレーション上で、カメラの位置や倍率を自由に操作できるので、実際に確認できない位置からの動作確認を行うことができる。図 3 には予測ディスプレイを用いた遠隔操作システムの入力装置側システム図を示す。

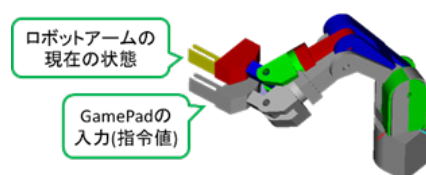


図 2 予測ディスプレイの表示例

連絡先: 芝浦工業大学 松日楽信人, 芝浦工業大学 機械機能工学科, 東京都江東区豊洲 3-7-5, TEL 03-5859-8054, FAX 03-5859-8001, matsuhira@shibaura-it.ac.jp

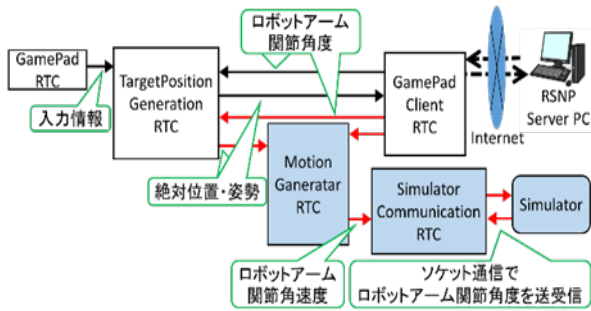


図3 予測ディスプレイを用いた遠隔操作システムの入力装置側システム構成

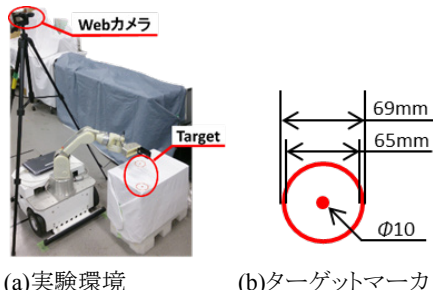
## 4. 予測ディスプレイ評価実験

本実験では予測ディスプレイを用いた場合と用いない場合で、Pick and Place 作業を行い、作業時間、精度について比較、評価した。

### 4.1 実験環境

ロボットアームとサーバは同じ室内に有り、無線 LAN を用いて通信する。操縦者とサーバ PC は同じ建物の別室にあり、LTE を用いた通信を行った。今回、無線 LAN は芝浦工業大学の無線 LAN を用いた。LTE は上り最大 37.5Mbps、下り最大 187.5Mbps である。

ロボットアームのハンド先端の初期位置をロボットアーム座標系で  $(x_0, y_0, z_0) = (425, 300, 100)$  [mm] とした。対象物の位置 Target1 と目標位置 Target2 を  $(x_1, y_1, z_1) = (515, 330, 0)$  [mm],  $(x_2, y_2, z_2) = (325, 350, 0)$  [mm] とした。ターゲットマークは内径 65mm、外形 69mm の円と直径 10mm の円である。実際の実験環境とマークを図 4 に示す。操作対象物は最大幅 65mm、高さ 200mm からなる円柱状の空のペットボトルを用いた。



(a) 実験環境 (b) ターゲットマーク  
図4 実験環境及びターゲットマークの概要

### 4.2 実験内容

Target1 上に設置した対象物を Target2 に移動させる作業を行う。予測ディスプレイを用いない場合はカメラ画像と入力装置からの指令値を確認しながら作業を行う。予測ディスプレイを用いる場合はさらに予測ディスプレイを確認する。それぞれ 2 回、計 4 回を健常な成人男性 3 人で行った。

実験では作業時間、通信遅延状況の計測、指令値、アームの関節角度の値を記録する。また、作業中の状況を目視で確認し、記録する。確認する項目は、対象物とアームの意図しない接触を「接触」、把持時に掴めずにハンドだけが上昇する「掴めず滑る」、対象物を置くときに押し付ける「押しつけ」、対象物を置くときに落とす「落とす」、対象物を置くときに Target2 の円内に置けなかった場合の置き直しを「置き直し」とした。

### 4.3 実験結果

Target2 に置かれた対象物の位置の誤差と作業時間について表 1, 2 に示す。作業中の状況を表 3 に示す。表 1, 2

より、どの操縦者も予測ディスプレイを用いた場合に精度が上がり、最小で操縦者 B の 11mm、最大で操縦者 C の 41mm 改善されている。作業時間は操縦者 A が短縮されており、41sec 早くなっている。C の操作時間は大幅に伸びたものの、誤差は平均 1.5mm 以下になり、予測ディスプレイの効果が確認できた。表 3 より、作業状況はどの項を比較しても改善されており、作業の質が良くなったといえる。

表 1 予測ディスプレイを用いない場合の実験結果

操縦者	作業時間 [sec]	作業時間 標準偏差 [sec]	誤差 [mm]		誤差標準偏差	
			X軸	Y軸	X軸	Y軸
A	191.6	24.1	-27.0	-20.5	4.5	10.0
B	384.0	59.1	-20.5	-15.5	5.5	1.5
C	257.3	59.9	-41.0	-26.0	15.0	8.0
平均	277.6	94.5	-29.5	-20.7	12.8	8.6

表 2 予測ディスプレイを用いた場合の実験結果

操縦者	作業時間 [sec]	作業時間 標準偏差 [sec]	誤差 [mm]		誤差標準偏差	
			X軸	Y軸	X軸	Y軸
A	152.1	38.3	-5.5	-4.0	1.0	0.5
B	385.0	27.1	9.5	1.3	1.5	0.8
C	307.5	29.2	0.3	-1.5	4.3	0.5
平均	316.9	125.5	1.4	-1.4	6.7	2.2

表 3 作業状況

項目	予測ディスプレイ無し		予測ディスプレイ有り	
	合計[回]	平均[回]	合計[回]	平均[回]
接触	7	1	0	0
掴めず滑る	1	0	0	0
落とす	2	0	1	0
押しつけ	3	1	2	0
置き直し	2	0	0	0

## 5. 結言

本稿では、RSNP を用いたロボットアーム遠隔操作システムを構築し、通信遅延支援機能として予測ディスプレイを開発した。予測ディスプレイを用いることで、作業の質と精度の改善がみられることが確認できた。今後はロボットアームにおける RSNP の標準仕様の提案を行うとともに、多様な作業を実施し、操作性向上を目指す。また、遠隔操作において人とロボットの役割分担は重要な課題であり、研究を進めていく。

なお、本成果の一部は JSPS 科研費 26330299 によるものである。

## 参考文献

- [経済産業省 2012] 経済産業省 製造産業局産業機械課, “2012 年 ロボット産業の市場動向調査結果概要”, 2012
- [RSi 2010] Robot Service Network Protocol 2.3 仕様書
- [安田 2015] RSNP を用いた複数ロボットの遠隔操作システムに関する GUI 開発と基礎実験, 2015 年度 人工知能学会全国大会 (第 29 回), 3H4-NFC-03b-4, 2015
- [新井 2015] 新井, 松日楽, RSNP を介した 6 軸ロボットアームの遠隔操作, 第 33 回日本ロボット学会学術講演会, 3N2-05, 2015
- [松日楽 1994] 松日楽, 朝倉, 番場, 神徳, 高宗, 通信時間遅れのある遠隔操作ロボットの操作方式, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'94 講演論文集, pp.861-864, 1994