

# 法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-10-16

## 伝送時間遅れを考慮した作業ロボットの遠隔 作業システムの構築

大木, 保博 / TANAKA, Yutaka / NEMOTO, Yusuke / OHKI,  
Yashuhiro / 田中, 豊 / 根本, 祐介

---

(出版者 / Publisher)

法政大学計算科学研究センター

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学計算科学研究センター研究報告 / Bulletin of Computational Science  
Research Center, Hosei University

(巻 / Volume)

11

(開始ページ / Start Page)

11

(終了ページ / End Page)

15

(発行年 / Year)

1998-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00024803>

# 伝送時間遅れを考慮した作業ロボットの遠隔作業システムの構築

大木 保博

法政大学大学院工学研究科

根本 祐介

法政大学工学部

田中豊

法政大学工学部

一般に遠隔作業システムにおいてはデータ転送時に時間遅れが生じる。この時間遅れの大きさは、伝達媒体の特性やその負荷に依存する。そのため、作業側と操作側を含めたフィードバック系を安定して制御することは困難である。本研究では、この問題を解決するために、伝送時間遅れを考慮した作業環境を構築し、その時間遅れ補償の可能性を検討する。

## 1. はじめに

近年、科学技術の進歩と共に建設・土木・災害現場・深海探査・宇宙開発等、極限環境での作業の要求は益々増加している。このような条件下での作業を安全に行うために、また特殊な作業を行うオペレータの人的資源不足からロボットやマニピュレータのような作業用機械の遠隔操作技術が開発されている<sup>1)</sup>。

一方、近年、高度情報化社会の要求によりコンピュータネットワークは、その起源である合衆国のみならず、世界中に広がろうとしている。日本においても、年々増加の一途をたどる個人需要を満たし、さらには大きな通信速度でサービスを供給出来る程に成長している。イーサネットに目を向けると、最も普及しているインフラは 10[Mbit/sec]の通信速度を持つものであろう。しかし、公衆通信網の高速化に呼応するように 100[Mbit/sec]の速度を持つ通信網が普及し始め、最近では、1000[Mbit/sec]の通信速度を発揮する機器が登場した。通信機器の高速化や大容量化は、社会に対して有用である。

しかし、データ転送時に生じる時間遅れは必ず存在する。その大きさは物理的な通信距離や、通信機器の負荷に依存する。伝送時間遅れの大きさを特定したい場合、試験信号を使うことが一般的である。Fig.1 にその概略を示す。A から通信相手である B までの伝送時間遅れの大きさを特定する為に、A から試験信号を発信する。発信された試験信号は通信網を通過して B に到達する。そして、B の存在（通信可能な状態）

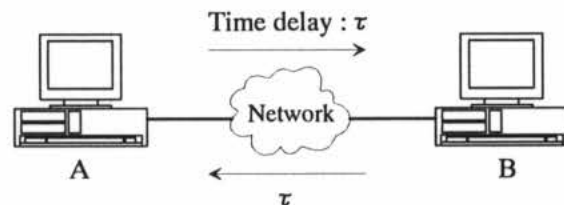


Fig.1 Time delay in communication

を確認し、再び通信網を通過して A に帰ってくるわけである。ここで、試験信号が A から B に到達するまでの時間を  $\tau$  とすると、往復で概ね  $2\tau$  の時間を必要とすることになる。従って、通信における伝送時間遅れの大きさの特定には、 $2\tau$  以上の時間が必要だと言える。またこのことから、作業側と操作側を含めたフィードバック系を安定して制御することは困難であると言われている<sup>2)</sup>。

こうした伝送時間遅れは、作業環境の劣化を引き起こさせる主因となる。この問題を解消する手段の一つとして、ヴァーチャルリアリティ技術の使用を挙げることができ、この技術を使用することによって、オペレータに作業に必要な情報だけを抽出して与える事もでき、オペレータを行おうとする作業に集中させることもできる。

本研究では、その大きさの特定が困難な伝送時間遅れそのものを小さくするシステムの構築を目的とするのではなく、その存在を認めた上で、高い操作性を兼ね備えた遠隔操作環境を実

現するために、ヴァーチャルリアリティ技術を使用し、伝送時間遅れを考慮した遠隔作業システムの構築とその可能性の検証を目的とする。

## 2. 遠隔作業システム

### 2.1 各サブシステムの仕様

Fig.2 は本研究で使用了システム全体の構成である。システムは以下に示す8つのサブシステムと操作者およびネットワークにより構成されている。

#### (1) マニピュレータ

三菱電機エンジニアリング社製 Move Master (RV-M1 型) に電動ハンドを装備。

- ・ 構造 垂直他関節型
- ・ 軸数 5 軸+ハンド 1 軸
- ・ ハンドの形態 掴み型

#### (2) 操縦アーム

マニピュレータと相似形状アームにより各軸の角度を検出する。なお、各各軸の角度検出には、0.1[deg]の分解能を持つロータリエンコーダを使用する。

#### (3) デコーダ

操縦アームのエンコーダから来るパルス列を

文字列に変換してシリアル信号として出力する。

#### (4) PC1

デコーダから来るシリアル信号を視覚感覚呈示用コンピュータ PC2 に通過させつつ Ethernet 経由で PC3 に制御データを送信する。

#### (5) PC2

オペレータに視覚感覚を提示するコンピュータ。

#### (6) PC3

Ethernet 経由で PC1 から来る制御データをシリアル信号に変換してマニピュレータ制御部に送信するコンピュータ。

#### (7) マニピュレータ制御部

シリアル信号による司令に基づいて、マニピュレータの制御を行う。

#### (8) PC4

マニピュレータ制御部に接続されマニピュレータの初期化とその動作の監視（主にエラー検出）を行う。

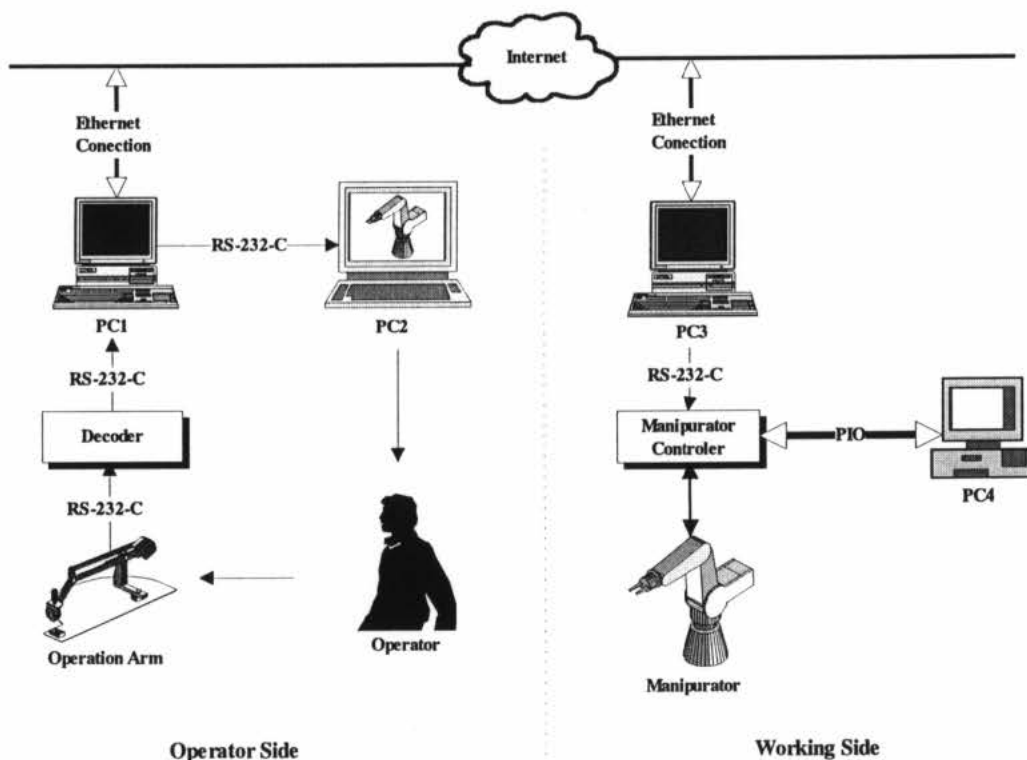


Fig. 2 Experimental System

## 2.2 サブシステムの相互関係

オペレータが操縦アームを用いて作業指令を入力すると、操縦アームに取り付けられたロータリエンコーダから角度情報としてパルス列が発信される。そのパルス列をデコーダが ASCII 変換された文字列の形式でシリアル信号に変換する。変換された信号は、PC1 によって、視覚感覚提示用コンピュータ (PC2) にそのままの形式で転送され、かつ Ethernet 経由で PC3 にも転送される。PC2 は PC1 から受け取ったシリアル信号をもとに仮想空間内で作業空間を生成し、オペレータに視覚感覚を与える。一方、PC3 は PC1 から受け取ったデータを再びシリアル信号に変換してマニピュレータ制御部に転送する。そのデータを目標値としてマニピュレータは制御されることになる。すなわち、この作業側のマニピュレータにはローカルな制御系が備わっている。

## 2.3 システムの特徴

本システムでは、オペレータには実作業環境を見せるのではなく、コンピュータ上に生成した仮想作業空間上の作業環境を見せることにより作業を行わせる。

Fig. 3 は仮想空間内のマニピュレータである。仮想空間は VRT と呼ばれる開発環境で作成された。オペレータに実際の作業現場を提示して作業させる環境の場合と異なり、操縦アームと仮想作業空間提示用コンピュータ間はオペレータ側に設置されているため、PC1 から PC2 にデー

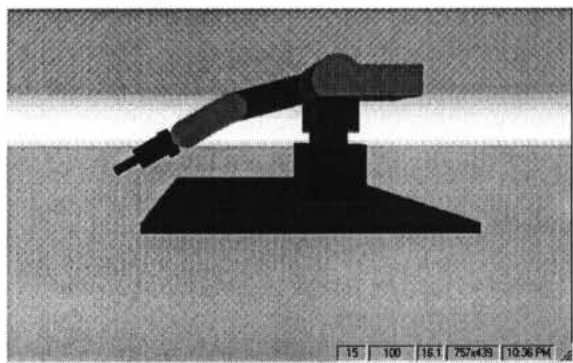


Fig. 3 Virtual Working Space

タ転送される際に生じる時間遅れが小さい場合、オペレータはリアルタイムで仮想作業空間上のマニピュレータを操作している感覚を得ることができる。操縦アームから出力されたデータは、仮想作業空間上のマニピュレータを動かすのと同時にネットワークを経由して作業側にある PC3 に転送される。オペレータは、一つの作業が完了した段階で作業終了信号をマニピュレータ指令用コンピュータに送信する。信号を受け取った指令用コンピュータは、一つの作業として完結している操作データをマニピュレータに送信しマニピュレータは作業を開始する。この間の通信は実作業側で行われるため時間遅れは無いと見なされるので、マニピュレータはオペレータが行った操作を正確に行う。オペレータは、実環境での作業が正確に行われたことを確認した後、次の作業に移ることができる。

## 3. 実験

このシステムは、その性格上、仮想作業環境からオペレータにリアルタイムで視覚感覚を提示出来なければならない。従って、Fig. 2 において PC1 から PC2 に転送されるデータがリアルタイムに転送されるかという事と、転送によってデータが欠損したり付加されたりしていないかという事が前提となる。そこで、データ転送時の信頼性を確認するための実験を行った。

Fig.4 にその実験方法の概要を示す。まず、操縦アームを初期化し、デコーダから角度デー

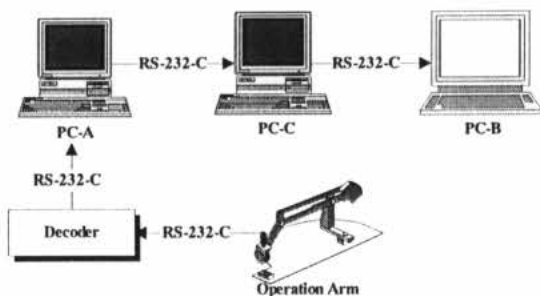


Fig. 4 Transfer Experiment

タを取得できるようにしておく。そして、操縦アームを動作させ、そのデータを PC-A の固定ディスクにテキスト形式で保存し、デコーダと操縦アームをこのシステムから切り離す。次に、PC-C では、Fig. 2 の PC-1 で実行するプログラムを走らせ、PC-A から、固定ディスクに保存したデータを送信し、PC-B は、PC-C から送られてくるデータを固定ディスクにテキスト形式で保存する。そして、PC-A と PC-B の固定ディスクに保存されているそれぞれのデータを比較した。なお、PC-C には、実際と同じ通信負荷をかけることにするため、ネットワークに接続されていないにも関わらず、Fig. 2 の PC-1 で実行するのと同じプログラムを実行させた。

送信データと受信データを比較すると、文字列の誤りは全く現れなかった、通信の分野では、ビット誤り率をとる事で、その信頼性を評価することが一般的である。しかし本システムでは、キャラクターコードをデータとしているので、1ビットの誤りは1バイトの誤りとなる。この事を考えると、1バイトの誤りすら出なかったことで、本システムは仮想空間を作るための通信に高い信頼性を有することが確認できた。また、この通信における時間遅れは 0.175[s]であった。

このシステムで仮想空間を操作させた時にオペレータに与える印象を確かめるため、数人の被験者に試してもらったところ、いずれも好感触を得るとのことであった。この事により、仮想空間でオペレータが作業できる作業環境の構

築が十分可能であることが検証された。

#### 4. おわりに

遠隔作業システムは、作業側とオペレータ側にシステムを起動させるシステムが更に必要となる。オペレータが作業側のシステムを起動させる事を考えた場合、UNIX のようにコマンドを遠隔地から実行できると大変便利である。一方、今回システムを動作させる為に使用したソフトウェアは、Windows95/NT 環境で C 及び C++ 言語によって開発した。UNIX はその歴史的背景から C および C++ 言語をサポートしているので、将来的に本実験で使用したソフトウェアを UNIX システムに移植するのも容易であると思われる。より便利な遠隔作業環境の構築が可能となると思われる。

#### 参考文献

- 1) 正、西田、VSAT によるロボットの遠隔操作システムの開発、日本機械学会山梨講演会論文集、1996
- 2) 三菱電機エンジニアリング株式会社、作業用マビュレータシステム仕様書
- 3) 横田、32 ビット通信プログラム作成法、CQ 出版社
- 4) 妻木、星、成瀬、内山：幾何学的モデル誤差にロバストなモデルに基づいた宇宙遠隔操作システム、ロボット学会誌、Vo.15, No.7, 1997
- 5) Kim, W.S., Hannaford, B., Bejczy, K.: Force-Reflection and Shared Compliant Control in Operating Telemanipulators with Time Delay, IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol.8, No.2, 1992

## キーワード

遠隔操作, ロボティクス, 時間遅れ, ネットワーク, 情報伝達

## Summary

# Control of Telerobotic System with Communication Delay

Yashuhiro OHKI

Graduate School, Hosei University

Yusuke NEMOTO

Department of Mechanical Engineering, Hosei University

Yutaka TANAKA

Department of Mechanical Engineering, Hosei University

A communication delay is an important problem for telerobotic projects. A delay time for communication link depends on a medium and a load for communication. Therefore it is difficult to control feedback systems for the communication link between a working space and the operating station. In this research, a working environment with consideration of transmission of time delay has been studied and a validity of a compensated time delay for the communication link has experimentally investigated.

## Keywords

Teleoperation, Robotics, Time Delay, Network, Communication