

劣悪通信環境下における遠隔自動車運転操作のシステム設計

石黒康裕 (東大) 入江清 (千葉工大) 横小路泰義 (神大) 杉原知道 (阪大) 中村仁彦 (東大)

1. はじめに

災害現場などの劣悪通信環境下では、通信速度や帯域が十分に確保できないことが多いため、逐一全身関節の制御をオペレータが行うようなことは現実的ではない。そのため、その中で作業するロボットにはある程度の自律性が求められるが、すべての行程をロボットが自律的に行うことは未だ不安要素が多く、特に災害現場のような不測の事態の起こりやすい環境では、オペレータによる状況判断を介入させたほうが好ましい。本稿では、災害現場などの通信帯域が限られた環境を想定して構成されたテレオペレーションシステムを基に、実際にヒューノイドロボット HRP-4[3] を車に乗せて、障害物のあるコースを試走させた結果から、本システムの有効性と、課題の評価を行う。

2. 遠隔操作システムの概要

2.1 劣悪通信環境下に対応

本システムは ROS[2] に基づいて構成されている。ただし、実験用の機体に HRP-4 を用いているので、ハードウェア制御部に OpenRTM[1] を用いている。そのため、ROS システムと OpenRTM のシステム間の通信にソケット通信を用いている。図 1 がシステム概念図。前提となる今回のシステムは、オペレータとロボットシステムがほとんど独立し、わずかな指令コマンドだけで動作するように設計されている。遠隔地での災害救助活動等を想定して、屋外では、常時接続遅延なし上り下り 9600bps + 常時接続遅延なし下り 300Mbps, 屋内では、常時接続遅延 1s 上り下り 9600bps + 1s/60s 間断続的接続遅延 1s の下り 300Mbps という制限が設けられており、オペレータ PC から定常的に全身の関節指令値を送って制御することはほぼ不可能である。また、カメラ画像やポイントクラウドの点群データ等も、下りは比較的高速な通信が用意されているとはいえ、通常の ROS を用いた通信システムはパケットロスやポート別の制限のあるこの環境では使用できず、必然的に自分たちでシリアルライズしたデータを UDP 通信に乗せて送る事になった。通常の ROS のノード間通信が成立しないため、必然的にオペレータ PC 内の ROS システムと、ロボット内の ROS システムは独立する必要があるが、2 つの ROS システム間の通信は、特殊な通信制御ノードによって行われている。

2.2 事前プレビューによる操作安全性の確保

ロボットの制御システムの自律性が高い以上、リアルタイムでのタスク実行には自己干渉を起こしたり、破綻した姿勢をそのまま実行してしまう危険がある。そのため、今回のオペレータ側システムには、ロボットの本体システムと同じ IK モジュール [4] を配置し、実際に実行コマンドを送る前にプレビュー用のポリゴンモデルを駆動させてみることで、あらかじめ自己干渉

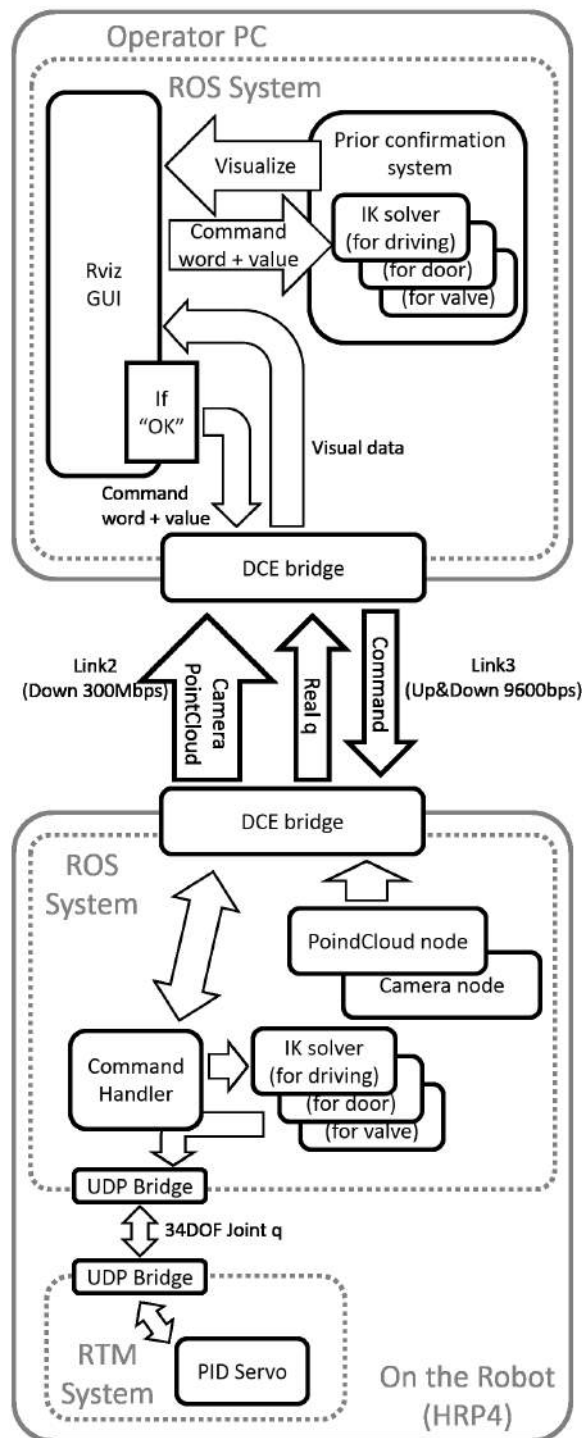


図 1 Robot and Operator system

や姿勢のジャンプ等をチェックできるようにしている (図 2 の半透明ポリゴン部)。

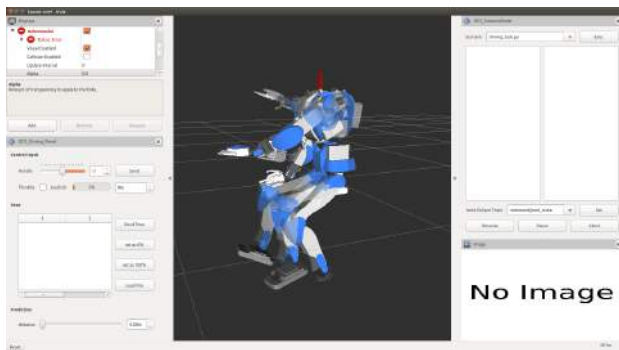


図2 Operator's GUI



図3 Operator's desk

2.3 断片的指令値にもロバストな関節制御

ロボット本体の姿勢制御におけるロバスト性やフェイルセーフの観点から、関節速度制限+関節可動域制限+指令値ジャンプ補間等が実装され、基本的に、5[ms]で回り続けるHRP-4の内部制御ループに対して、いつ、どんな指令値を与えても、自己干渉や過大な負荷がない限り、指令された姿勢を実現できるようになっている。この機能は、特に今回のような通信が断絶する可能性のあるシステムや、複数の制御モジュールが切り替わり制御を担うような場合に有効であった。

3. 実験準備

3.1 ハンドル回し用延長ロッド&固定用手袋

ロボットを車に載せる場合、ロボットの保護や運転モーション実行時の利便性からいくつかの治具を取り付ける必要があった。ハンドルを直接ロボットに把持させると、ハンドルを回す際に手首や肘がハンドルと干渉する可能性が高いため、ハンドルから数センチ浮かせた位置に把持できるロッドを取り付けた。本来HRP-4の腕のパワーとフレーム構造では一般車のハンドルを回すことは厳しいが、今回使用したバギーにはパワーステアリングが効いているので、エンジンONの時のみHRP-4でも軽く回すことができる。

3.2 ベースリンク固定用の木製スタンド

運転中の振動や加速度によってロボットの乗車位置がズレる事を防ぐため、滑り止めクッション等を座席に敷くことが必要である。それに加え、ハンドル回しのための可動域を確保するために胴体をひねるようなモーションを実行するためには、車の座席にもたれかかるような姿勢は座席背面と干渉するため不適切である。最終的にベースリンクである腰を座席底面、背面から浮かせた状態で固定できる治具を作成した。

3.3 アクセルかさ上げ台

HRP-4は比較的小型のため、アクセルに足を届かせるためにアクセルかさ上げ台を作成した。アクセルペダルは奥に押しこむように踏むため、踏み込んだ際に可動域が足らなくなるように注意する。

4. 実験

ここではバギー運転についての実験結果を述べる。

前述の治具と、HRP-4に搭載した3DレーザースキャナとUSBカメラで、バギーの運転実験を行った。50[m]

ほどの直線コースの中に2ヶ所障害物があるコースであったが、HRP-4でバギーを運転してゴールに到達することに成功した。ただし、やはり遠隔操作では急ストップ等のシビアなタイミングが求められる操作は失敗しがちなので、自動ブレーキや定速クルージング機能などを実装すべきである。また、アクセル操作は足首関節の角度の操作 $\pm 1^\circ$ で変わってくるため、用意していたジョイスティックによるコントロールは逆に操作しにくく、結局マウスホイールによる操作が一番安定であった。また、ハンドル回し角からのバギー進行経路予測機能やロボット側に搭載された自動2Dマップ生成機能も正常に機能していた。特に、2Dマップデータはポイントクラウドに比べて軽量なので、ポイントクラウドのデータが巨大すぎて正常に受信できなかった時にも正常に機能しており、とても有用であった。

5. おわりに

通信帯域制限下で運用可能な遠隔操作システムを構築し、実際にバギーの運転を実行し、障害物を避けつつゴールすることに成功した。その結果から、遠隔操作における各種プレビュー機能の有効性を確認し、フェイルセーフの観点での課題を発見した。本研究は、平成26年度NEDO「環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト/ロボット分野の国際研究開発・実証事業/災害対応ロボット研究開発(アメリカ)」「災害対応ロボット・オープンプラットフォームの研究開発」(代表:中村仁彦)の支援を受けて実施した。

参考文献

- [1] Openrtm-aist official website. <http://www.openrtm.org/>.
- [2] ROS wiki. <http://wiki.ros.org/>.
- [3] 赤地一彦, 金平徳之, 宮守剛, 林篤史. 働く人間型ロボット研究用プラットフォーム hrp-4の開発. 川田技報, Vol. 31, 2012.
- [4] 杉原知道. ロボティクスのためのソフトウェアライブラリ. <http://www.mi.ams.eng.osaka-u.ac.jp/open-j.html>.