

遠隔操作ロボットと全方位カメラを用いた 遠隔臨場感システムに関する一考察

三浦 誠^{†1} 内林 俊洋^{†2} 阿部 亨^{†3} 菅沼 拓夫^{†3}

^{†1} 東北大学工学部情報知能システム総合学科 ^{†2} 東北大学電気通信研究所

^{†3} 東北大学サイバーサイエンスセンター/大学院情報科学研究科

1 はじめに

遠隔地に存在する物が、あたかも自分の近くに存在しているかのような感覚 (遠隔臨場感) を提供する遠隔臨場感システムが注目を集めている [1]。多くの遠隔臨場感システムは、遠隔地の映像を取得することで臨場感の向上を図っている。そのうちのひとつに、遠隔操作ロボットにカメラを搭載し、ロボットが向いている方向の映像を取得する手法がある。この手法は、ロボットを遠隔操作することで遠隔地を自由に移動し映像を取得できるという利点を持つが、取得される映像がロボットに搭載されたカメラの向きに制限されるため、臨場感や利便性の観点からは未だ十分とは言えない。

そこで、本稿では、遠隔操作ロボットと全方位カメラを組み合わせることによって、ロボットの向きに依存しない自由視線映像の取得が可能な遠隔臨場感システムを試作する。また、試作システムを実装して、その動作について考察する。

2 関連研究

ロボットの向きに依存しない映像を取得する遠隔臨場感システムが提案されている [2, 3]。

Kratz らの研究 [2] では、ユーザが装着する Head Mounted Display (HMD) のトラッキング情報をネットワークを介して受信し、そのトラッキング情報に従って回転させたカメラからユーザへ映像を送信することで、ロボットの方向に依存しない任意方向の映像の取得を実現している。しかし、カメラを動かす際の物理的な遅延と、データをやり取りする際のネットワーク上の遅延のため、HMD を動かして視界を変える際、映像の変更に遅れが生じ、臨場感が損なわれてしまうと考えられる。

一方、Johnson らの研究 [3] は、カメラから取得した水平方向 360 度のパノラマ映像をディスプレイに表示することで、ロボットの方向に依らない映像を取得する遠隔臨場感システムを提案している。

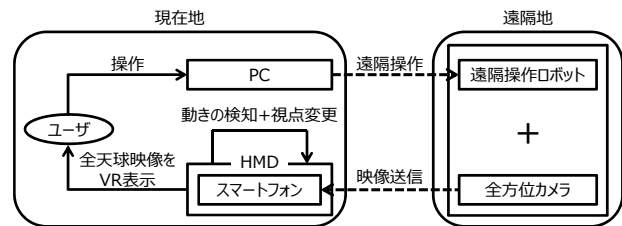


図1 試作システム概要

この手法では、常に視野を 360 度に拡張したような映像を見ることが可能であるため、視界を変えて映像を変更する際の遅れは生じないと考えられる。しかし、ユーザ評価において、視野の拡張は臨場感の向上に寄与しないという結果が示されている。これは、人間の本来の視野でないところまでディスプレイに表示されるためと考えられる。

3 試作システム

本稿では、遠隔操作ロボットに全方位カメラを搭載し、全天球映像を HMD の動きに追従して Virtual Reality (VR) 表示する遠隔臨場感システムを試作する。全方位カメラから取得した映像をもとに作成した全天球映像を利用して、HMD 内で視界を移動することで、体感する遅延の少ない映像の切り替えを図る。また、その全天球映像を HMD を用いて没入的に見ることで、臨場感の向上を図る。

試作システムの概要を図 1 に示す。試作システムでは、ユーザは PC を操作してロボットを遠隔操作する。遠隔操作ロボットに搭載した全方位カメラは、遠隔地のライブストリーミング映像をユーザの HMD にセットしたスマートフォンへ送信する。遠隔地の映像を受信したスマートフォンでは全天球映像を作成する。そして、ユーザの頭の動きに応じて取得した回転角をもとに、頭の向きに合わせた映像をディスプレイに映し出すことで、VR 表示を実現する。

4 実装

全方位カメラが送信するライブストリーミング映像を VR 表示するアプリケーションをスマートフォンに実装した。

遠隔操作ロボットには Double[4]、全方位カメラには RICOH THETA S[5] を使用した。また、HMD には Android 端末 (Galaxy S6, Android 6.0.1) とハコスコ タタミー眼を組み合わせたも

A Study on a Telexistence System Using a Teleoperated Robot and an Omnidirectional Camera

Makoto MIURA^{†1}, Toshihiro UCHIBAYASHI^{†2}, Toru ABE^{†3}, and Takuo SUGANUMA^{†3}

^{†1} Department of Information and Intelligent System, School of Engineering, Tohoku University

^{†2} Research Institute for Electrical Communication, Tohoku University

^{†3} Cyberscience Center / Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

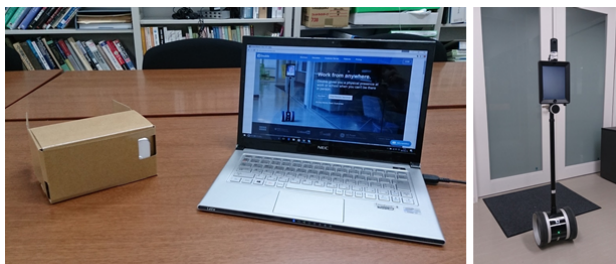


図2 試作システム

のを使用した。全方位カメラと Android 端末間は Wi-Fi (IEEE802.11) で通信を行った。VR 表示アプリケーションの実装においては RICOH THETA SDK を利用した。

Android 端末の回転角の取得には、端末に搭載された 3 軸ジャイロセンサを利用した。3 軸ジャイロセンサで取得した端末の X, Y, Z 軸まわりの角速度をハイパスフィルタへと通し、ドリフトを補正した後、その角速度から、端末の X, Y, Z 軸まわりの回転角を求めた。

VR 表示を実現するために、OpenGL ES 2.0 を利用した。Android 端末に搭載された GPU で生成した球に、全方位カメラから受信した Equirectangular 形式のフレームをマッピングし、全天球映像を作成した。求めた回転角を用いて、Android 端末の回転に合わせて球の中心に設置した OpenGL のカメラを回転させることで、球上の注視点を決定した。これにより、HMD 上に表示される映像が頭の向きに追従して切り替わることを可能にした。

5 考察

図 2 に示した試作システムの動作確認として、VR 表示アプリケーションを起動した HMD を装着して、任意の方向を向いた。また、RICOH THETA S を取り付けた Double を PC の方向キーで操作し、Double を移動・回転させた時の動作を確認した。

HMD を動かして視界を変更すると、図 3 に示したように、表示される映像は HMD に追従して切り替わった。その際、映像の切り替えの遅延はほとんど感じられなかった。したがって、HMD を動かす際、遅延による臨場感の低下は発生しないと考えられる。

ロボットを移動させた際や、ロボット自体を回転させた場合には、表示される映像に大きな遅れを感じた。これは、ネットワークを介してロボットを移動・回転させると、実際の操作とロボットの動きの間に遅れが生じるためだと考えられる。ネットワークを介してロボットを遠隔操作するシステム [2, 3] においても、同様の問題が生じると考えられる。この問題に対しては、ロボットへの移動・回転の指示を Android 端末にも送信し、Android 端末で映像を仮想的に修正する手法が考えられる。

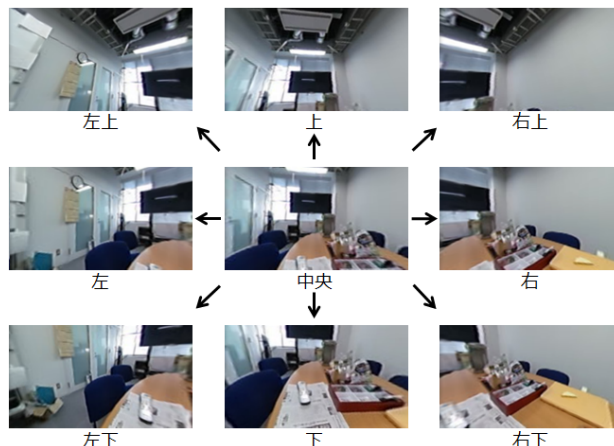


図3 HMD の動きに追従した映像の変化

6 おわりに

本稿では、遠隔操作ロボットと全方位カメラを組み合わせた遠隔臨場感システムを試作し、実装したシステムの動作確認と考察を行った。

今後は、Kratz らの研究 [2] で HMD を動かす際に生じると考えられる映像の切り替えの遅れを、試作システムがどの程度緩和できるかを実際にユーザに使用してもらうことで評価する。また、ロボットを遠隔操作する際に生じると考えられる遅延への対処法を検討する。

参考文献

- [1] 館暲: テレイグジスタンスの研究 - 「テレイグジスタンス」の概念の提唱とその工学的実現可能性の実証-, 産工会 (オンライン), 入手先 (https://sankoukai.org/secure/wp-content/uploads/untold_stories/susumu-tachi_teleexistence.pdf) (参照 2016-12-12).
- [2] Kratz, S., et al.: Immersed Remotely: Evaluating the Use of Head Mounted Devices for Remote Collaboration in Robotic Telepresence, *Proc. RO-MAN'16*, pp. 638–645 (2016).
- [3] Johnson, S., et al.: Can You See Me Now? How Field of View Affects Collaboration in Robotic Telepresence, *Proc. CHI'15*, pp. 2397–2406 (2015).
- [4] Double Robotics (online), available from (<http://www.doublerobotics.com/>) (accessed 2016-12-12).
- [5] リコー (オンライン), 入手先 (<https://theta360.com/ja/about/theta/s.html>) (参照 2016-12-12).