

J-048

## ロボット遠隔コミュニケーションにおける視覚フィードバックの遅れの影響

## Influence of Sight Feedback Delay in Communication with a Humanoid Robot

吉岡 昇平†  
Shohei Yoshioka平野 靖‡  
Yasushi Hirano梶田 将司‡  
Shoji Kajita間瀬 健二‡  
Kenji Mase

## 1. まえがき

ヒューマノイドロボットを用いて遠隔地にいる人と雰囲気共有しながらコミュニケーションを行うことをロボット遠隔コミュニケーションと呼ぶ。ロボット遠隔コミュニケーションシステムによって、空間を越えて対面と同等なコミュニケーションが可能になると考えられる。しかしながら、現状では対面と同等なコミュニケーションには至っていない。その原因としてロボットの容姿が遠隔ユーザと異なることやロボットの自由度の問題など多々考えられるが、本研究では遠隔ユーザとロボットの間の通信遅延の影響に注目した。通信遅延は地球規模では距離に依存するため、今後通信速度が向上したとしても距離が離れば通信遅延の影響が問題となる。

さまざまな通信遅延状況下でシミュレーションとロボット遠隔コミュニケーションシステムを用いて実験を行い、通信遅延による遠隔ユーザの頭部運動への影響を分析した。その結果、遠隔ユーザは適切な頭部運動が行えなくなり、冗長な頭部運動を行うことを確認した。

## 2. 関連研究

William ら[1]は、被験者の手元の映像を約 500msec 遅延させて提示するシステムを構築し、視覚フィードバックに遅延がある状況下で文字や図形を書かせる実験を行った。その結果、視覚フィードバックに遅れがある場合、人は手を上手く動かさず、文字を重複記述する現象を確認している。また、音響分野では、聴覚フィードバックの遅れによって、発声が不可能になることや重複発声してしまうことが広く知られている[2]。このように、手の動作の視覚フィードバックや聴覚フィードバックに遅れがある場合、人の行動に不都合が生じる。

## 3. ロボット遠隔コミュニケーションシステム

ロボット遠隔コミュニケーションシステムとしては、人間に酷似したヒューマノイドロボット、ジェミノイドを用いた石黒らのシステム[3]やコックピット型の操縦席を設けた館らのテレサ2[4]などがある。石黒らのシステムは、ジェミノイドを用いることで人の存在感を伝えることを可能にしており、館らのシステムは遠隔ユーザの手先の動きを伝えることが可能になっている。

本研究では、森田ら[5]が提案したロボット遠隔コミュニケーションシステムを用いた。森田らのシステムでは、遠隔ユーザの頭部運動をロボットに伝達することが可能である。また、中心視野と周辺視野を用いてロボットの動作遅延の補償を行っている。そのため、本研究の通信遅延の影響を分析するのに適していると考えられる。

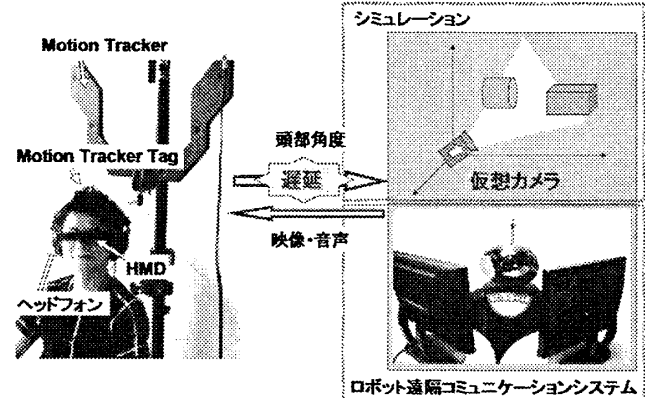


図1: 実験システム

## 4. 実験

通信遅延から生じる視覚フィードバックの遅れが遠隔ユーザに与える影響を調べるため、通信遅延状況を再現可能なシステムを構築して3種類の実験を行った。

## 4.1. 実験システム

被験者は、6自由度のモーショントラッカ (InterSense社, IS-900) の超音波センサを設置したステレオヘッドフォン、ヘッドマウントディスプレイ (HMD, Icutti V920, 32bitFullColor, リフレッシュレート 60Hz, 解像度 640×480pixel) を装着する。モーショントラッカは被験者の頭部位置および3軸回りの回転角を毎秒60回検出する。モーショントラッカによって取得した被験者の頭部運動データは視野提示に反映される。シミュレーション実験ではOpenGLで描写した仮想空間(以下、VR)上に設置された仮想カメラ(視野角 52°)の3軸回りの回転角に適用し、ロボット遠隔コミュニケーションシステムではロボットの頭部回転角度に適用する。本実験で用いたロボットはRobovie-R ver.2[5](目のパンチルトカメラの視野角 52°)である。視覚頭部データをそれぞれのシステムに適用するとき遅延を加えることで、通信遅延を再現することが可能になっている(図1)。

## 4.2. ターゲット追跡実験(実験1)

VRシミュレーション実験として、ターゲットを被験者の初期頭部角度からみて、左右40°(Yaw軸)の位置にターゲットを交互に表示する。表示時間は5秒間であり、右側から表示される。右側から表示されることは予め被験者に伝え、視線を移動させることによってHMDの画面中央に表示したサークルの中へターゲットを入れるように被験者へ指示した。ターゲットの直径は50pixel、サークルの直径は100pixelとした。4種類の通信遅延時間(0msec, 500msec, 1000msec, 2000msec)を1回ずつ、計4回を実験時間(2分間)のうち不規則な順に変更した。

この実験を被験者4人(情報科学を専攻する大学院生: 男性3人, 女性1人)に対して行った。

† 名古屋大学大学院情報科学研究科

‡ 名古屋大学情報連携基盤センター

### 4.3. スライド閲覧実験 (実験2, 実験3)

スライド閲覧実験では注視対象をスライドとした。被験者の初期頭部角度から左右 40° (Yaw 軸回り) の位置で HMD の中心にスライドが映るように設定した。スライドショーは 2 種類用意し、スライド枚数はどちらも 25 枚である。スライドショー終了までの時間は 7 分 5 秒, 7 分 39 秒である。被験者には、録音したスライドの説明をヘッドフォンで聞きながら自由に視聴してもらった。スライドの説明は被験者から見て右側のスライドから始まり、被験者には実験開始前にその事を伝えた。

実験 2 では VR シミュレーション実験としてスライドは VR 上に表示した。遅延時間は、0msec, 500msec, 1000msec, 2000msec の 4 種類とした。4 種類の通信遅延状態を 1 回ずつ、合計 4 回を不規則な順に変更した。

実験 3 ではロボット遠隔コミュニケーションシステムを用いた実験としてロボットの前に 17 インチディスプレイを 2 台設置し、そのディスプレイにスライドを表示した。ロボット遠隔コミュニケーションシステムでは、頭部データに基づいて動作するまでに 100msec かかるため、0msec, 400msec, 900msec, 1900msec の遅延を加えることで、100msec, 500msec, 1000msec, 2000msec の 4 種類の遅延を発生させた。4 種類の通信遅延状態を 1 回ずつ、合計 4 回を不規則な順に変更した。

実験 2, 3 を被験者 9 名 (情報科学を専攻する大学生と大学院生: 男性 8 人, 女性 1 人) に対して行った。

## 5. 結果

実験 1, 2, 3 における遅延時間毎の被験者の頭部角度と注視対象 (実験 1: ターゲット, 実験 2, 3: スライド) が HDM の中央に映る角度差の絶対値の平均を図 2 に示す。図は角度が小さいほど注視対象を HDM の中央で見ていることを示している。遅延時間と角度差の相関係数は実験 1: 0.99, 実験 2: 0.86, 実験 3: 0.39 となった。

被験者の頭部運動の Yaw 軸の軌跡に注目すると、注視対象の位置に対して過度に頭部を動かす冗長な頭部運動が確認できた。冗長な頭部運動を次のターゲットの位置に向けて頭を動かしている時に、遅延時間+280msec (視覚反応時間) 以内に逆方向に 5° 以上頭部角度を変化させる運動とし、遅延時間ごとの冗長な頭部運動の平均割合を表 1 に示す。

## 6. 考察

図 2 において、VR シミュレーション実験であった実験 1, 2 のグラフの傾きが異なることから、実験 1 では明示的に注視すべき位置を指示したのに対し、実験 2 のように注視対象が大きい場合、被験者は遅延によって見ようとした位置と多少異なる角度を向いてしまっても頭部角度を修正しない傾向がみられる。

冗長な頭部運動の割合は実験 1, 2 では一定遅延時間で最大値をとり、それ以降減る傾向が見られる (表 1)。遅延状況下で被験者は視覚フィードバックの遅れを予測して頭部運動を行うと考えられるが、遅延時間が一定を超えると予測が行えなくなり、HMD の映像と自身の頭部角度との関係が分からなくなると考えられる。

一方、実験 3 では冗長な頭部運動の割合に変化がなく、角度差の平均の変化 (図 2) においても相関が弱かった。

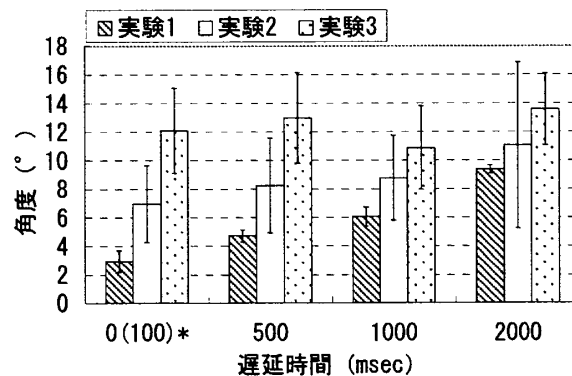


図 2: 遅延時間ごとの角度差の平均 (Yaw 軸回り)  
\* (実験 3 において遅延 0msec は 100msec である)

遅延(msec)	0(100)*	500	1000	2000
実験 1	4.2	15.6	12.5	2.1
実験 2	7.1	10.7	28.6	26.8
実験 3	11.1	11.1	11.1	11.1

表 1: 冗長な頭部運動の平均割合 (%)

\* (実験 3 において遅延 0msec は 100msec である)

これは、通信遅延の変化による影響が小さいことを意味するため、実験 3 において被験者は通信遅延に加えて別の遅延の影響を受けたと考えられる。

## 7. まとめと今後の課題

実験より、VR シミュレーションにおいて通信遅延が大きいほど頭部運動の正確さが低下することが分かった。また、遅延が大きくなると共に冗長な頭部運動の割合が増えるが、遅延が一定を超えるとあいまいな予測による動作が減少し割合が減ることも確認した。

一方、ロボット遠隔コミュニケーションシステムでは遅延の増加に対する冗長な頭部運動の増加が確認できなかった。その原因として、VR 上の仮想カメラの回転とモータ駆動によるロボットの頭部の回転の違いが考えられ、被験者はモータ駆動時間の影響を受けたと考えられる。今後、モータ駆動も考慮したシミュレーションを行うことで原因を明らかにする。

## 参考文献

- [1] William M. Smith, John W. McCrary and Karl U. Smith, "Delayed Visual Feedback and Behavior", *Science*, Vol.132, No.3433, pp. 1013 - 1014, 1960.10.14.
- [2] Bernard S. Lee, "Effects of delayed speech feedback", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.22, No.6, pp.824-826, Nov.1950.
- [3] D.Matsui, T.Minato, K.F.MacDorman and H.Ishiguro, "Generating Natural Motion in an Android by Mapping Human Motion", *In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.1089-1096, 2005.
- [4] T.Susumu, "Humanoid Robot "TELESAR 2" for Mutual Teleexistence", *Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers*, Vol.109, No.1051, pp.452-453, 2006.6.
- [5] Tomoyuki Morita, Kenji Mase, Yasushi Hirano and Shoji Kajita, "Reciprocal Attentive Communication in Remote Meeting with a Humanoid Robot", *Proceeding of the 9th International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI2007)*, pp.228-235, Nagoya, Aichi, Japan, 2008
- [6] <http://www.vstone.co.jp/top/products/robot/Robovie-R.html>, Robovie-R ver.2