

力覚を利用したネットワーク型リアルタイムゲームにおける 予測を用いた適応型 Δ 因果順序制御方式の効果

楠瀬 祐司† 石橋 豊† 福嶋 慶繁† 菅原 真司†

†名古屋工業大学 大学院 工学研究科 創成シミュレーション工学専攻

1 まえがき

ネットワーク型リアルタイムゲームに力覚メディアを用いることで、利用者は仮想空間内のオブジェクトに触ることができ、ゲームへの没入感を高められると期待されている。しかし、インターネットなどの QoS (Quality of Service) 保証のないネットワークを介してこの種のゲームを行うと、ネットワーク遅延やその揺らぎ、パケット欠落等の影響により、端末間の状態の一貫性や公平性が損なわれる可能性がある。特に、端末間で共有オブジェクトの一貫性が損なわれると、ゲーム自体が成立しなくなり、ユーザ体感品質 (QoE: Quality of Experience) が大きく劣化する恐れがある。

力覚を利用したネットワーク型リアルタイムゲームを対象に QoE 評価を行った研究の例として文献 [1] がある。この文献では、エアホッケーゲームを対象に、QoE 評価によって、端末間で共有オブジェクトであるパックの管理者が異なった場合に、予め決められた優先度に従って管理者を決定する優先方式と、AtoZ (Allocated Topographical Zone) と CDP (Count Down Protocol) を組み合わせた方式 (AtoZ + CDP と呼ぶ) を比較し、ネットワーク遅延の影響を調査している。AtoZ + CDP は、各端末のマレット (スマッシャー) やパックの位置、速度により、パックに最も早く到達できる端末を決定し、その端末を管理者とする方式である。評価の結果、AtoZ + CDP を用いることにより、公平性や QoE を高く維持できることが示されている。また、文献 [1] では、端末間の一貫性と公平性を維持するために、適応型 Dead-Reckoning を用いた適応型 Δ 因果順序制御方式 [2] を使用している。しかし、適応型 Δ 因果順序制御方式は、端末間で出力タイミングを合わせるため、相手端末から受信した情報だけでなく、自端末の情報も出力を遅らせるので、インタラクティブ性が劣化する。この問題を解決する手法として、文献 [3] の予測を用いることが考えられる。

そこで本稿では、力覚を利用したネットワーク型エアホッケーゲームを対象に、相手端末から受信した位置

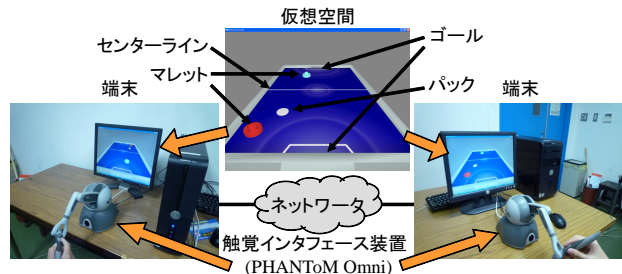


図 1: システム構成と仮想空間の表示例

から将来の位置を予測して出力し、それに合わせて、自端末の位置情報の出力を早める [3]、予測を用いた適応型 Δ 因果順序制御方式を提案する。そして、その効果を QoE 評価により調査する。

2 力覚を利用したネットワーク型エアホッケーゲーム

二人の利用者が対戦する場合のシステム構成と仮想空間の表示例を図 1 に示す。図 1 の仮想空間の手前と奥にあるオブジェクトがマレットで、円形の薄いオブジェクトがパックである。二人の利用者は、それぞれ触覚インタフェース装置 (PHANToM Omni) を用いて自分のマレットを操作し、パックを打ち合う。

このゲームは P2P (Peer-to-Peer) 型で構成されており、各端末は 60Hz で画面の更新と MU (Media Unit) の送信を行う。ここで MU とは、マレットまたはパックの位置、速度、タイムスタンプを含む情報の処理単位である。MU には、マレットの MU とパックの MU がある。パックの MU については、最後にパックを打った端末をパックの管理者とし、管理者のみがパックの位置と速度を計算し、相手端末に送信される。パックの管理者でない端末は、受信した位置にパックを出力する。また、端末間でパックの管理者が異なった場合 (ネットワーク遅延により一貫性が乱されると発生)、AtoZ + CDP を使用する。

3 予測を用いた適応型 Δ 因果順序制御方式

適応型 Δ 因果順序制御方式では、相手端末から受信した MU と自端末の MU を期限 (発生時刻 + Δ) までバッファリングし、その後、出力する。ただし、 Δ には最小値 Δ_L だけでなく、リアルタイム性を損なわないために、最大値 Δ_H ($\Delta_H \geq \Delta_L > 0$) が設定されている。 Δ の値は、ネットワーク遅延に応じて増減され、出力タイミングを

Effect of Adaptive Δ -Causality Control Scheme with Prediction in Networked Real-Time Game with Haptic Media

†Yuji KUSUNOSE †Yutaka ISHIBASHI †Norishige FUKUSHIMA †Shinji SUGAWARA

†Department of Scientific and Engineering Simulation, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

合わせるために、端末間でこれを共有する。

予測を用いた適応型 Δ 因果順序制御方式では、インタラクティブ性を高く維持するために、受信した MU の期限に $T_{\text{predict}} (\geq 0)$ ms 後の位置を予測して出力する。簡単のために、予測には線形一次予測を用いる。そして、自端末の MU の出力時刻を T_{predict} ms だけ早める。また、 T_{predict} は、フレーム単位 (画面の更新間隔のこと。1 フレームは 16.7ms) とする。

4 評価方法

4.1 評価システム

評価システムは、図 1 のネットワークをネットワークエミュレータ (NIST Net) に置き換えたものである。NIST Net は、通過するパケットにパレート正規分布に従う付加遅延を発生させる。MU の送信には、トランスポートプロトコルとして UDP が用いられる。

4.2 QoE 評価

評価では、 Δ_H の値を 150ms, NIST Net による付加遅延の平均を 80ms, 130ms とし、予測時間 T_{predict} を 0 フレームから 12 フレームまで 3 フレーム間隔で変更する。予測時間が 0 フレームのとき、予測を行わない方式になることに注意されたい。なお、付加遅延の標準偏差を 10ms とする。また、 Δ_L の値を 10ms とする。

被験者には、自分のマレットのインタラクティブ性、バックのインタラクティブ性、自分のマレットの出力品質、相手のマレットの出力品質、バックの出力品質、それらの総合品質について、付加遅延のない状態を基準とし、5 段階妨害尺度 (5: 劣化がわからない, 4: 劣化が分かるが気にならない, 3: 劣化が気になるが邪魔にならない, 2: 劣化が邪魔になる, 1: 劣化が非常に邪魔になる) で評価してもらい、MOS (Mean Opinion Score) を求めた。総合品質とは、その他の五つの品質の加重和である。評価は、二人一組のペアで行われ、平均付加遅延の値と予測時間の値は、被験者のペア毎にランダムに提示された。被験者は 21 歳から 30 歳までの男女 20 名であり、1 ペア当たりの総評価時間は 15 分程度であった。

5 評価結果と考察

予測時間に対する自分のマレットのインタラクティブ性の MOS と総合品質の MOS をそれぞれ図 2, 図 3 に示す。その他の MOS については、紙面の都合により割愛する。

図 2 より、予測時間が 0 フレームから約 6 フレームまでは、自分のマレットのインタラクティブ性の MOS は高くなり、それ以上ではほぼ一定となっていることがわかる。これは、予測時間が長くなることにより、自端末の MU の出力時刻が早くなるためである。

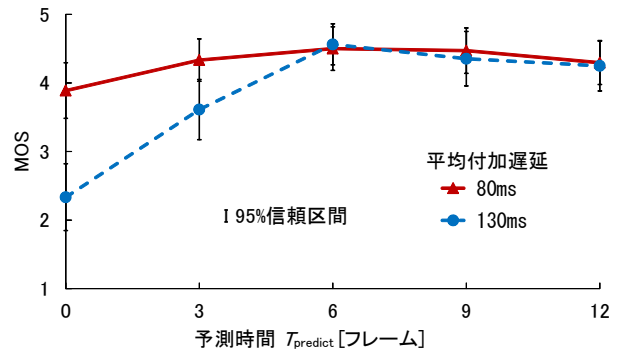


図 2: 自分のマレットのインタラクティブ性の MOS

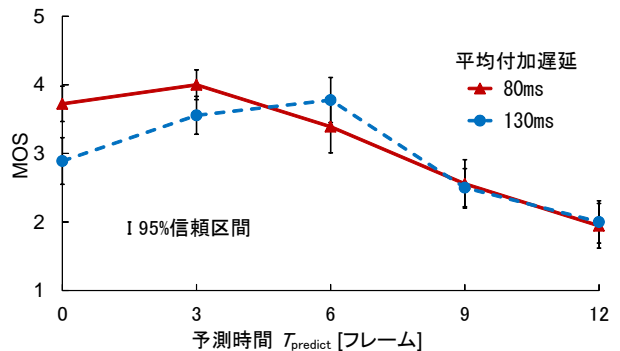


図 3: 総合品質の MOS

図 3 では、総合品質の MOS は、平均付加遅延が 80ms の場合、予測時間が約 3 フレーム、平均付加遅延が 130ms の場合、予測時間が約 6 フレームで MOS が最も高くなっている。よって、平均ネットワーク遅延が増大しても、予測を用いることにより MOS を高く維持することができ、予測時間には最適値が存在することがわかる。

6 むすび

本稿では、力覚を利用したネットワーク型エアホッケーゲームを対象に、予測を用いた適応型 Δ 因果順序制御方式を提案し、その効果を QoE 評価により調査した。その結果、平均ネットワーク遅延が増大しても、予測を用いた適応型 Δ 因果順序制御方式により MOS を高く維持することができ、予測時間には最適値が存在することがわかった。

今後の課題として、インターネットを利用した実験を行うことが挙げられる。また、ダブルスでゲームを行えるように拡張し、協調しながら対戦する場合の QoS 制御の効果を調べる予定である。

参考文献

- [1] Y. Kusunose et al., in Proc. ICAT'11, Nov. 2011.
- [2] 石井他, 信学論 (B), vol. J93-B, no. 6, June 2010.
- [3] Y. Kurokawa et al., in Proc. SPIE Optics East, vol. 6777, no. 24, Sep. 2007.