

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適応型 Δ 因果順序制御に関する研究

学籍番号 23413558 氏名 原 裕輔
 指導教員名 石橋 豊

1 はじめに

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により、利用者は仮想空間内の物体に触ることができ、ゲームへの没入感が高まることが期待されている。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、パケット欠落などの影響により、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。そのような問題を解決するために、これまでの研究では、適応型 Δ 因果順序制御 [1] などの QoS 制御が提案されている。しかし、適応型 Δ 因果順序制御では、因果関係の維持のために情報をバッファリングしているため、インタラクティブ性が劣化する。

この問題を解決するために、文献 [2] 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 因果順序制御を提案し、その効果を検証している。その結果、予測時間にはネットワーク遅延に応じて最適値が存在することが示されている。従って、予測時間をネットワーク遅延に応じて動的に変更することが考えられる。しかし、そのような検討はこれまでに行われていない。

そこで、本論文では、予測を用いた適応型 Δ 因果順序制御における予測時間を、ネットワーク遅延に応じて動的に変更するように制御を改良する。そして、文献 [2] のネットワーク型エアホッケーゲームに対して、その効果を QoE 評価により調べる。また、ネットワーク遅延変動による制御の振舞いに問題がないかを調べるため、ネットワーク遅延が時間的に大きく変化する場合における制御の効果も調査する。

2 予測時間の動的制御を用いた適応型 Δ 因果順序制御方式の効果

本章では、予測を用いた適応型 Δ 因果順序制御方式において、予測時間をネットワーク遅延に応じて動的に変更するように改良する。そして、文献 [2] の力覚を利用したネットワーク型エアホッケーゲームに対して、その効果を QoE 評価により調査する。

2.1 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 3 次元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 (スマッシャー) であり、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 (以下、PHANToM と略す) を用いて自分のマレットを操作し、相手ゴールをめがけてパックを打ち合う。マレットとパック及び壁との接触時に PHANToM に反力が返される。

このゲームは P2P (Peer-to-Peer) 型で構成されており、各端末は画面の更新を 60Hz で行うとともに、60Hz でメディアユニット (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) のことであ

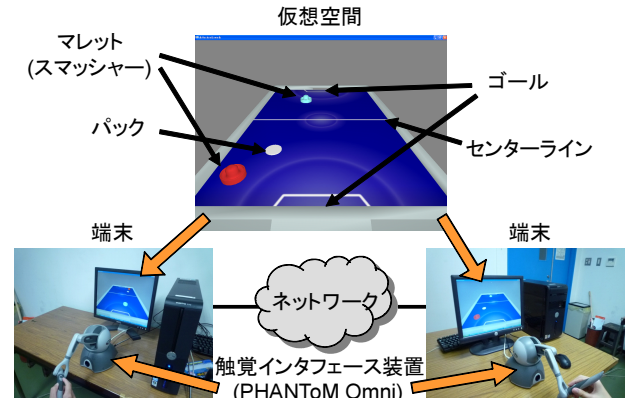


図 1: システム構成と仮想空間の表示例

り、以下、MU と略す) を相手端末に送信する。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、相手端末に送信する。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 [3] を使用する。

2.2 予測時間の動的制御を用いた適応型 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た後、出力する。ただし、 Δ には最小値 Δ_L と最大値 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、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 (フレームは画面の更新間隔を表す。1 フレームは 16.7ms) とする。

予測時間の動的制御においては、ネットワーク遅延の値に応じて T_{predict} の値を動的に変更する。本論文では、 Δ の値がネットワーク遅延に揺らぎ吸収のためのバッファリング時間を加えたものになるので、 Δ の値に応じて T_{predict} の値を変更することにする。予備実験の結果から、 T_{predict} と Δ がほぼ線形関係にあることがわかったので、回帰分析により T_{predict} の予測式を以下のように求めた。

$$T_{\text{predict}} = 0.05\Delta - 2.00 \quad (1)$$

ただし、 T_{predict} の値は 0 以上の整数になるように式 (1) により求めた値を四捨五入する。式 (1) により求めた T_{predict} の四捨五入後の値と実際の最適値の相関係数は

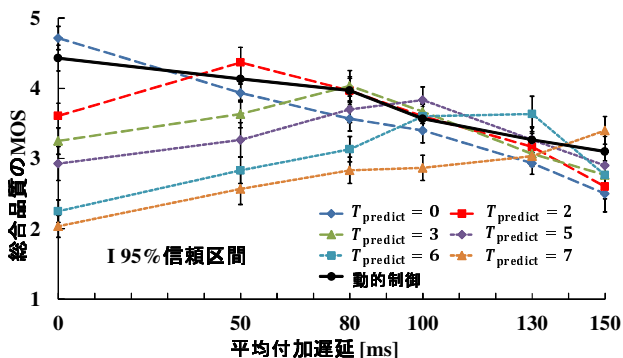


図 2: 総合品質の MOS

約 0.99 と高い値を示しており、予測式から十分な精度で $T_{predict}$ の最適値を求められる。

2.3 評価システムと評価方法

評価システムは、図 1 における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。

評価では、 $\Delta_L = 10\text{ms}$, $\Delta_H = 200\text{ms}$ とする。また、NIST Net による付加遅延の平均を 0ms, 50ms, 80ms, 100ms, 130ms, 150ms とし、付加遅延の標準偏差を 10ms とする。そして、各平均付加遅延に対して、 $T_{predict}$ を固定する場合 (0, 2, 3, 5, 6, 7 フレームの 6 種類) と動的制御する場合について評価を行う。

評価尺度は、自分のマレットのインタラクティブ性、パ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、パックの出力品質、それらの総合品質 [2] とし、それぞれについて付加遅延のない状態を基準として 5 段階妨害尺度 (5: 劣化が分からない ~ 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。評価は二人一組のペアで行われ、平均付加遅延の値および $T_{predict}$ を固定する場合と動的制御する場合は、被験者のペア毎にランダムな順序で提示された。なお、被験者は 21 歳から 23 歳までの男女 30 名、1 ペアあたりの総評価時間は説明と練習を含め約 1 時間であった。

2.4 評価結果と考察

総合品質の MOS のみを図 2 に示す。この図から、動的制御の MOS は、各平均付加遅延に対して $T_{predict}$ を最適な値に選んだときの MOS に近い値をとっていることがわかる。従って、動的制御は有効である。

3 ネットワーク遅延が時間的に大きく変化する場合の評価

本章では、第 2 章と同様のネットワーク型エアホッケーゲームを対象に、ネットワーク遅延が時間的に大きく変化する場合における予測時間の動的制御の振舞いを QoE 評価により調べる。

3.1 評価方法

評価では、第 2 章と同じシステムを用い、 Δ_H の値を 200ms, Δ_L の値を 10ms とする。NIST Net により表 1 に従う遅延を付加し、被験者に 80 秒間作業を行ってもらう。この付加遅延に対して、 $T_{predict}$ を固定する場合 (0 フレーム, 7 フレームの 2 種類) と、動的制御する場合について評価を行う。なお、動的制御する場合の $T_{predict}$ の予測式は、2.2 と同じものを用いる。

評価では、被験者は実験開始 8 秒後から評価を開始し、口頭で総合品質について、付加遅延のない状態を

表 1: 付加遅延の変更方法

経過時間 [秒]	0 - 20	20 - 40	40 - 80
平均付加遅延 [ms]	0	150	0
付加遅延の標準偏差 [ms]	0	10	0

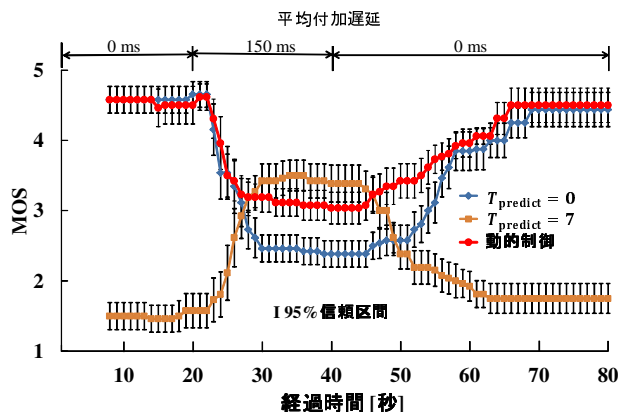


図 3: 経過時間に対する総合品質の MOS

基準として、5 段階妨害尺度に基く評点を記録者に伝えてもらった。その後、評点に変化のある場合に、その時点での評点を口頭で伝えてもらった。但し、評点に変化のない場合は、以前の評点を維持しているものとした。そして 1 秒毎の被験者の評点の平均をとり、MOS を求めた。なお、被験者は 21 歳から 23 歳までの男女 30 名、評価時間は説明と練習を含め一人あたり約 10 分であった。

3.2 評価結果と考察

経過時間に対する総合品質の MOS を図 3 に示す。この図より、動的制御の MOS は、すべての経過時間に対して最も、または二番目に高い値をとっていることがわかる。従って、ネットワーク遅延が時間的に大きく変化する場合においても、予測時間の動的制御は有効であるといえる。

4 まとめ

本研究では、力覚を利用したネットワーク型リアルタイムゲームとして、エアホッケーゲームを対象に、予測を用いた適応型 Δ 因果順序制御方式における予測時間を、ネットワーク遅延に応じて動的に変更するように改良し、その効果を QoE 評価により調査した。その結果、総合品質の MOS は、平均付加遅延に対して最適な予測時間を選んだときとほぼ同様の値であり、予測時間の動的制御は有効であるという結論を得た。また、ネットワーク遅延が時間的に大きく変化する場合における効果についても調査した。そして、この場合においても、予測時間の動的制御は有効であるということがわかった。

今後の課題としては、文献 [1] と同様に適応型 Dead-Reckoning と組み合わせた場合の予測時間の動的制御の効果を調査することや、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 制御を検討することなどが挙げられる。

5 参考文献

[1] 池戸他, 信学総大, B-11-12, Mar. 2005.
 [2] 楠瀬他, 情処学全大, 3Y-6, Mar. 2012.
 [3] Y. Kusunose et al., ICAT'11, Nov. 2011.