

Title	A Study on Delay and Traffic Reduction for Cloud Gaming Systems
Author(s)	石岡, 卓将
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/96225">https://doi.org/10.18910/96225</a>
rights	Copyright(C)2024 IEICE
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 ( 石岡 卓将 )	
論文題名	A Study on Delay and Traffic Reduction for Cloud Gaming Systems (クラウドゲームシステムの遅延とトラフィック削減に関する研究)
論文内容の要旨	

近年、クラウドゲームがゲーム分野において注目を集めている。クラウドゲーミングシステムを利用することで、高価なハードウェアを利用することなく、プレイヤーはどこからでも高品質のゲーム体験を楽しむことができる。しかし、クラウドゲーミングシステムでは、特に応答遅延に関して、体感品質が低下する問題がある。応答遅延、つまりプレイヤーのアクションが映像に反映されるまでの時間の経過は、特にペースの速いアクションゲームや素早い反射神経が必要なゲームにおいて重要となる。遅延が増加することにより、プレイヤーの没入感が大幅に低下し、ゲーム体験全体が低下する可能性がある。本稿では、クラウドゲーミングシステムの応答遅延を軽減する革新的な戦略として投機的実行を導入し、その実用化を検討する。投機的実行では、潜在的なプレイヤーの入力を予測し、その結果を事前計算して、実際のプレイヤーのアクションに即座に応答する。

まず、クラウドゲームにおける投機的実行のための新しいパターン削減方法を紹介する。提案手法では、入力信号のパターン分析手法 (TPA) と LSTM ベースのパターン予測手法 (LBPP) を使用してプレイヤーの入力ログを分析する。考えられるすべての入力パターンに対してゲームフレームを生成して送信する CloudHide ベース (CHB) の投機的手法に対して、TPA と LBPP では投機的実行パターン数が大幅に減少した。特に LBPP では、投機的に処理するフレーム数が増加してもほぼ一定数のパターンを維持した。実験結果は複数のゲームタイトルにわたって一貫したものであり、提案手法が投機的処理における指数関数的なパターン数増加を効果的に抑制することが確認された。

次に、ネットワーク遅延の軽減を目的として、クラウドゲーミングシステムにおける投機的実行に特化したトラフィック削減手法を提案する。提案手法では、各フレームをタイルに分割し、変化のあるタイルのみを送信する新しい方式を提案する。本技術は、投機的手法における従来のビデオ圧縮技術の制限を回避し、より効率的なデータ転送を実現する。提案手法の実現可能性と商用ゲームへの適応可能性を評価した結果、画像品質を維持しながら大幅なトラフィック削減を達成した。さらに、クラウドゲーミングシステムのモバイルネットワークへの展開に焦点を当て、アナログ RoF (Radio over Fiber) 技術と RoF スイッチを統合した新しいネットワークアーキテクチャである Software Defined Radio over Fiber (SD-RoF) を提案した。SD-RoF では、モバイルデバイスからネットワークへのワイヤレス信号の直接ストリーミングが可能になり、物理遅延が大幅に削減される。SD-RoF は 2 つの主要な機能として、elastic wireless service と elastic bidirectional passthrough を具備する。本研究では、elastic wireless service のプロトタイプ実装におけるコストの見積もりや実験的評価、および elastic bidirectional passthrough の性能評価やデモンストレーションを行った。

本研究は、クラウドゲーミングシステムにおいての最も困難な課題である応答遅延に対して総合的に取り組んだものである。投機的実行の実現に向けた検討と革新的なネットワークアーキテクチャを含む包括的なアプローチによって、モバイルネットワーク上でクラウドゲーミングシステムの体感品質の改善を実現を目指す。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 石岡卓将 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	渡辺 尚
	副 査	教授	村田 正幸
	副 査	教授	山口 弘純
	副 査	教授	長谷川 亨
	副 査	教授	下西 英之

## 論文審査の結果の要旨

近年ゲーム分野において注目を集めているクラウドゲーミングシステムは、高価なハードウェアを利用することなく、任意の場所で品質の高いゲームをプレイヤーに提供することができる。一方、クラウドゲーミングシステムには、情報通信ネットワークの応答遅延の影響により体感品質が低下する課題がある。応答遅延、すなわちプレイヤーがアクションを入力してから映像に反映されるまでの時間が増加すると、プレイヤーの没入感が低下し、ゲーム体験品質が低下する。特に、時間変動が大きいアクションゲームや素早い反射神経を要求されるゲームではその欠点は顕著であり、応答遅延を最小化することが重要となる。本論文は、クラウドゲーミングシステムにおける応答遅延の改善を目的とし、投機的実行とネットワークアーキテクチャを含む多角的なアプローチを提案し、その効果を評価したものである。

投機的実行では、潜在的なプレイヤーの入力を予測し、その結果を事前に計算して映像を事前伝送することにより、実際のプレイヤーのアクションに即座に対応する映像を表示する。本論文では、第1にクラウドゲームにおける投機的実行のための新しいパターン削減手法を提案している。提案手法は、入力信号のパターン分析手法 (TPA; Temporal Pattern Analysis) と LSTM (Long Short Term Memory) を元にしたパターン予測手法 (LBPP; LSTM-Based Pattern Prediction) を使用してプレイヤーの入力ログを分析することで、全パターンで投機的実行を行う従来の手法に対して、パターン数の大幅な削減を実現した。投機的実行では、潜在的なプレイヤーの入力を予測し、その結果を事前計算して、実際のプレイヤーのアクションに即座に応答する。特にLBPPでは、投機的に処理するフレーム数に関わらず、ほぼ一定の計算量で投機的処理を行うことができる。実験結果は複数のゲームタイトルにわたって一貫しており、提案手法が投機的処理の指数関数的なパターン増加を効果的に抑制することを確認している。

第2に、クラウドゲーミングシステムにおける投機的実行に特化したトラフィック削減手法を提案している。投機的実行における映像伝送では、予測映像を逐次的に伝送する必要があるため、従来の差分符号化技術を適用できない。提案手法では、各フレームをタイルに分割し、変化のあるタイルのみを送信する新しい方式を提案する。提案手法の実現可能性と商用ゲームへの適応可能性を評価した結果、画像品質を維持しながら大幅なトラフィック削減を達成している。

第3に、クラウドゲーミングシステムのモバイルネットワークへの展開に焦点を当て、アナログRoF (Radio over Fiber) 技術とRoFスイッチを統合した新しいネットワークアーキテクチャであるSD-RoF (Software Defined Radio over Fiber) を提案する。SD-RoFでは、モバイルデバイスからネットワークへのワイヤレス信号の直接ストリーミングが可能になり、物理遅延が大幅に削減される。SD-RoFは2つの主要な機能として、elastic wireless serviceとelastic bidirectional passthroughを具備する。本論文では、elastic wireless serviceのプロトタイプ実装におけるコストの見積もりや実験評価、およびelastic bidirectional passthroughの性能評価やデモンストラーションを行っている。

以上の成果は、ゲームのみならず遠隔操作等の情報通信を利用した次世代アプリケーションを支える基本技術であり、学術的価値が高くまた社会への貢献も大きい。よって、博士 (情報科学) の学位論文として価値あるものと認める。

