

プレイヤーパフォーマンス低下を抑制するオンラインゲーム向け推定技術に関する一検討

本生 崇人[†] 川崎 慈英[‡] 藤橋 卓也[‡] 猿渡 俊介[‡] 渡辺 尚[‡]

[†] 大阪大学工学部 [‡] 大阪大学大学院情報科学研究科

1 はじめに

家庭へのブロードバンドネットワークの普及によって、e-Sports に挙げられるネットワークを介したオンラインゲームへの需要が増加している。オンラインゲームでは、一般的に、ネットワーク中で生じる遅延がプレイヤーのパフォーマンスに影響を与える [1] [2]。本稿では、ネットワーク遅延がプレイヤーのパフォーマンスにもたらす影響を軽減するプレイヤー位置推定技術を提案するとともに、提案手法の効果をシミュレーション評価および複数名のユーザによる実験評価を通して明らかにする。

2 オンラインゲームにおけるネットワーク遅延の問題

一般的に、オンラインゲームは、あるサーバにネットワークを介して複数プレイヤーが参加するクライアント・サーバ型と、サーバを介さずにプレイヤー同士が接続するピアツーピア型に分けられる。ネットワークを介して、あるサーバに複数プレイヤーが参加して協力、対戦を行うクライアント・サーバ型のゲームでは、サーバがゲームに参加するプレイヤー端末間でゲーム情報の同期を取ってからゲームに各プレイヤーのゲーム情報を反映する必要がある。サーバとあるプレイヤー端末間のネットワークで生じる遅延がプレイヤーのパフォーマンスに影響を与える。具体的には、サーバがネットワーク遅延のあるプレイヤーとネットワーク遅延の無いプレイヤーとの間でゲーム情報の同期を取るには、ネットワーク遅延のあるプレイヤーのゲーム情報を受信するまでサーバがゲームへの反映を待つ必要がある。プレイヤーのターンが順番に回ってくるゲームなど同期のために生じる待機遅延を許容可能なゲームでは、サーバにおけるゲーム情報の同期の遅れを演出によって対処できる。しかしながら、シューティングゲームなど、リアルタイム性が高く同期のために生じる待機遅延を許容できないゲームでは、サーバはある周期にしたがって各プレイヤーのゲーム情報を同期しないまま各時点の情報をゲームに反映する。ゲーム情報の同期ずれはプレイヤーのパフォーマンス低下を招く。

オンラインシューティングゲームにおけるネットワーク遅延によるゲーム情報の同期ずれを緩和する既存手法として、サーバ側でネットワーク遅延を補償する方法が提案されている [3]。本手法では、サーバが各銃弾に対する命中判定を行う際、サーバが観測したクライアント間のネットワーク遅延と過去のプレイヤー位置情報から、ネットワーク遅延量に対応する過去のプレイヤー位置を命中判定に利用するプレイヤー位置としてみなす。サーバ側での遅延補償技術はネットワーク遅延によるプレイヤーパフォーマンスの低下を一部抑制できる。一方で、サーバ側での遅延補償技術は未だ実力以上あるいは実力以下のプレイヤーパフォーマンスを招く可能性がある。より具体的には、ネットワーク遅延発生時のプレイヤー位置を命中判定に利用するため、ネットワーク遅延発生後にあるプレイヤーが相手プレイヤーからの攻撃を回避するための操作をしても、その操作に関わらず銃弾はプレイヤーに命中する。

3 提案手法

本稿では、クライアント・サーバ型のオンラインシューティングゲームを対象としてネットワーク遅延によるプレイヤーパフォーマンスへの影響を軽減するために、プレイヤー端末上で相手プレイヤー位置推定手法を提案する。プレイヤー端末とサーバ間でやり取りするパケットに対してネットワーク遅延が発生すると、サーバが保持する相手プレイヤーの位置情報とプレイヤー端末が保持する相手プレイヤーの位置情報の間にずれが生じる。オンラインシューティングゲームにおけるプレイヤー位置情報のずれは、位置情報を元にしたプレイヤーによる射撃命中確率の低下、すなわちプレイヤーパフォーマンスの低下につながる。そこで、提案手法では、相手プレイヤーの位置情報を正確に推定しつつ、プレイヤーが本来のパフォーマンスを発揮できることを目的として、各プレイヤー端末が推定した相手プレイヤーの位置情報をプレイヤー端末上に表示する。プレイヤー端末は表示された相手プレイヤーの推定位置に向けて射撃することで、ネットワーク遅延による命中確率低下を抑制する。

3.1 想定するシューティングゲームモデル

図1に本研究の想定モデルとして開発したシューティングゲームシミュレータを示す。ゲームの種類はクライアント・サーバ型の対戦型シュー

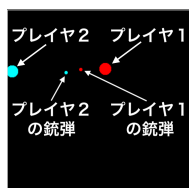


図1: 開発したシューティングゲームシミュレータ

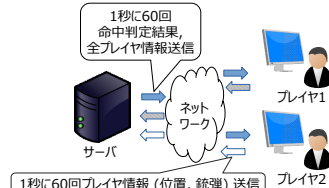


図2: サーバとプレイヤー端末間でやり取りする情報

ティングゲーム、障害物のない正方形の二次元のフィールド、プレイヤー数は2人である。図2にサーバから各プレイヤー端末に対して送信する情報、各プレイヤー端末からサーバに対して送信する情報を示す。各プレイヤー端末は自分の位置情報と発射した銃弾の位置情報を1秒に60回サーバに送信する。サーバは1秒あたり60回、受信した各プレイヤー端末の最新位置情報と銃弾の最新位置情報を元にして各プレイヤーに対する銃弾の命中を判定する。判定結果と各プレイヤーの位置はともにサーバから各プレイヤー端末に送信する。各プレイヤー端末はサーバから受信した相手プレイヤーの位置情報を保持している。本シミュレータでは、各プレイヤー・サーバ間のネットワークに対して任意の上り方向・下り方向の遅延を設定できる。各プレイヤー端末はサーバからデータを受信した際、現在の時間と受信したパケットに含まれる送信時間との差を計算することで、自身とサーバ間の下り方向のネットワーク遅延を計測する。

プレイヤーの移動方法として、キーボードとマウスを用いた人間による操作、事前に定義した確率モデルによる自動操作の2種類を可能としている。人間がプレイヤーを操作する場合は、キーボードのwキー、sキー、aキー、dキーを用いて画面上のプレイヤーを上下左右斜めに移動できる。このとき、プレイヤーの位置がフィールドの端に到達するとフィールドの反対側の端に移動する。人間が射撃をする場合は、マウスカーソルを使用して射撃の照準を定め、プレイヤーの位置からマウスのカーソルがある方向に向かって左クリックで射撃する。プレイヤーを確率モデルにしたがって自動操作する場合は、各プレイヤーが上、下、左、右に動く確率をそれぞれ1/8、左上、右上、左下、右下に動く確率をそれぞれ1/12、静止する確率を1/6として、各動作を平均0.5秒・標準偏差0.125秒のガウス分布にしたがったランダム時間継続するものとした。プレイヤーを自動操作する場合、プレイヤーはサーバから得られた相手プレイヤーの最新位置情報を参照して、常に相手プレイヤーの中心を狙って0.1秒に1回射撃する。

3.2 プレイヤー位置推定方式

各プレイヤー端末は自身が保持する過去の相手プレイヤー位置情報を利用して、相手プレイヤーの本来の位置を推定する。具体的には、過去 M 個の相手プレイヤーの位置情報を元にして回帰直線を算出する。回帰直線はpythonライブラリであるscikit-learnに含まれるLinearRegressionクラスを用いて算出する。得られた回帰直線、プレイヤー端末上で相手プレイヤーの位置情報、サーバからプレイヤー端末への下りネットワーク遅延の大きさにしたがって、遅延時間経過後に相手プレイヤーがいる位置を推定してプレイヤー端末上に表示する。なお、本方式では遅延時間の間、相手プレイヤーが回帰直線にしたがってフィールドを移動し続けているものと仮定する。

このとき、相手プレイヤーは得られた回帰直線と、現在の位置から遅延時間後に移動可能な位置との交点にいると予想できる。相手プレイヤーが1フレームあたりに移動できるピクセル数を d (px)、ネットワーク遅延によってプレイヤー端末上に表示されている相手プレイヤーの位置情報が N フレーム前の位置情報であると仮定すると、相手プレイヤーが N フレーム後にいる位置は、現在の相手プレイヤーの位置を中心とする半径 dN の円上に相当する。半径 dN の円が得られた後、プレイヤー端末は回帰直線と半径 dN の円との交点を相手プレイヤーの位置と推定してフィールド上に表示する。その後、各プレイヤー端末は推定した相手プレイヤーの位置に照準を合わせて射撃する。このとき、推定した相手プレイヤーの位置情報とサーバが保持する相手プレイヤーの位置情報との間にずれが生じれば、プレイヤーは相手プレイヤーに対して銃弾を命中することができる。

本手法では、ネットワーク遅延の大きさに応じて、相手プレイヤーの位置情報を推定するパラメータ N を適切に定める必要がある。ネットワーク遅延に対して設定した N が小さすぎる、あるいは、大きすぎる場合、相手プレイヤーの位置情報を正確に推定できず、命中確率低下に起因するプレイヤーのパフォーマンス低下を招く。一方で、ネットワーク遅延に対して設定した N 次第では、プレイヤーが持つ本来のパフォーマンス以上の命中確率を招く可能性もある。オンラインシューティングゲームに長けたプレイヤーは、プレイヤー同士の距離が離れた状態で相手プレイヤーに攻撃をするとき、相手の移動方向、移動速度、銃弾速度を考慮して、あえて相手プレイヤーの位置からいくらかずれた位置に射撃することで銃弾を命中させる。この技術を偏差撃ちと呼ぶ。設定する N 次第では、偏差撃ちと同じ現象がプレイヤーの実力に関係なく発生する可能性がある。

提案手法では、ネットワーク遅延に応じて、プレイヤーが本来のパフォーマンスを発揮できる N を適切かつ適応的に設定することを考える。具体的には、ネットワーク遅延がない場合と同等のパフォーマンスが得られ、位置推定精度が高い N を算出する。ここで、サーバ上の時刻 t における相手プレイヤーの位置情報を $\mathbf{p}^{(t)}$ 、下り遅延 l を体感した場合の時刻 t 時に N フレーム先を推測して得られた相手プレイヤーの推定位置情報を $\mathbf{p}_{i,N}^{(t)}$ とする。また、ネットワーク遅延がないときに相手プレイヤー

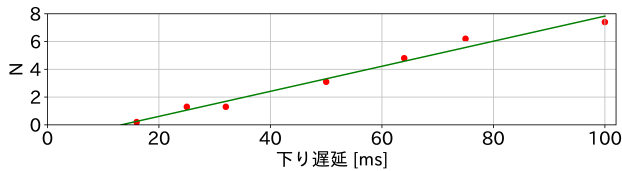


図 3: 下り遅延に対する最適な N

に対して自身が命中させた総銃弾数を h , 下り遅延 l を体感して N フレーム先を推測したときに相手プレイヤーに対して自身が命中させた総銃弾数を $h_{l,N}$ とする。ここで、提案手法では下り遅延 l での最適な N を式 (1) に基づいて定める。

$$\arg \min_N \left(\frac{f(l, N) - \min \mathbf{F}}{\max \mathbf{F} - \min \mathbf{F}} + \frac{g(l, N) - \min \mathbf{G}}{\max \mathbf{G} - \min \mathbf{G}} \right), \quad (1)$$

$$f(l, N) \in \mathbf{F}, g(l, N) \in \mathbf{G}$$

$$f(l, N) = \frac{1}{|\mathbf{T}|} \sum_{t \in \mathbf{T}} \| \mathbf{p}^{(t)} - \mathbf{p}_{l,N}^{(t)} \|^2, g(l, N) = \begin{cases} h - h_{l,N}, & h - h_{l,N} > 0 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

第 1 項はネットワーク遅延 l を体感してパラメータ N で相手プレイヤーの位置推定をしたときにネットワーク遅延がない場合の位置情報と比較したときの誤差量を示している。ここで、第 1 項が取りうる値の範囲は 0-1 である。なお、異なる N を設定したときの誤差量の集合を \mathbf{F} としている。第 2 項は、同様に、ネットワーク遅延 l を体感してパラメータ N で相手プレイヤーの位置推定をしたときの銃弾命中数とネットワーク遅延がない場合の銃弾命中数とを比較したときの誤差量を示している。ここで、第 2 項が取りうる値の範囲も 0-1 である。同様に、異なる N を設定したときの誤差量の集合を \mathbf{G} としている。提案手法では、あるネットワーク遅延 l において、双方の指標の和が最小になる N を使用して相手プレイヤーの位置情報を推定する。

4 性能評価

4.1 評価環境

3 節で開発したシューティングゲームシミュレータを用いて、ネットワーク遅延発生時における提案手法によるプレイヤーパフォーマンスへの影響を評価した。本評価では、サーバに接続する 2 プレイヤ端末に異なるネットワーク遅延を与える。具体的には、プレイヤー 1 とサーバ間にはネットワーク遅延を与えず、プレイヤー 2 とサーバ間には下り方向に 0 ms から 100 ms までのネットワーク遅延を与えるものとする。プレイヤー 2 とサーバ間の下り方向の遅延が大きくなるにつれて、プレイヤー 2 が保持するプレイヤー 1 の位置情報のずれが大きくなる。また、4.2 節では、各プレイヤーが事前定義した確率モデルにしたがって自動的に動作、4.3 節では、ユーザがキーボードとマウスを使用して各プレイヤーを操作するものとする。

提案手法による効果を示す指標として、対戦時間中にプレイヤー 2 が発射した全銃弾に対してプレイヤー 1 に命中した銃弾数の割合を示す命中率、プレイヤー 1 の位置情報とプレイヤー 2 が推定したプレイヤー 1 の位置との誤差、対戦時間中にプレイヤー 1 に命中した銃弾数を利用する。なお、提案手法において位置推定に用いるフレーム数 M は 3 とする。

4.2 基礎評価

提案手法では、プレイヤー 2 が式 (1) を満たす N を用いて、プレイヤー 1 の位置情報を推定することで、ネットワーク遅延に起因するプレイヤー 2 のパフォーマンス低下を抑制する。プレイヤー 2 がネットワーク遅延を観測したとき、ネットワーク遅延に応じて最適な N を適応的に決定するために、ネットワーク遅延に対して式 (1) を満たす N を評価した。図 3 に、サーバとプレイヤー 2 間に異なる下り遅延を与えたときにおける式 (1) を満たす N を示す。横軸は下り遅延の大きさ、縦軸はそれぞれの下り遅延における式 (1) を満たす N を示す。下り遅延が大きくなるにつれて、先読みする必要があるフレーム数 N が線形的に大きくなることが分かる。また、それぞれの下り遅延に対する最適な N の値を元にして、次式のとおり、下り遅延を変数とする 1 次関数から N を求めることがで

きる。

$$N = -1.2 + 0.090 \times l_{\text{downlink}} \quad (2)$$

ここで、サーバとプレイヤー 2 間の下り遅延は l_{downlink} としている。 N を適応的に決定する提案手法では、プレイヤー 2 が式 (2) に基づいて決定した N を用いてプレイヤー 1 の位置情報を推定する。ただし、式 (2) から得られた N が 0 を下回る場合には、下り遅延が十分に小さいと考えられるため、プレイヤー 2 はプレイヤー 1 の位置情報を推定しないものとする。

まず、提案手法によるプレイヤーパフォーマンスへの影響を明らかにするため、サーバとプレイヤー 2 間に下り遅延を与えたときの命中率および位置推定精度を評価した。図 4 および図 5 に、各比較手法におけるサーバとプレイヤー 2 端末間に与えた下り遅延に対するプレイヤー 2 の命中率およびプレイヤー 1 の位置情報とプレイヤー 2 が推定したプレイヤー 1 の位置情報とのユークリッド距離をそれぞれ示す。ここで、図 4 における赤の実線は、ネットワーク遅延がない場合のプレイヤー 2 の命中率、図 5 における赤の実線は、ネットワーク遅延がない場合のプレイヤー 1 の位置情報とプレイヤー 2 が推定したプレイヤー 1 の位置情報とのユークリッド距離である。プレイヤー 1 の位置情報を推定しない場合、下り遅延が増加するにしたがって命中率と位置推定精度がともに悪くなる。一方で、提案手法では下り遅延の大きさに関わらず、ネットワーク遅延がない場合と同等の命中率と位置推定精度を得ることができる。提案手法ではネットワーク遅延に応じて N を適応的に決定することで、下り遅延 100 ms まで安定したプレイヤーパフォーマンスの再現、プレイヤー位置推定精度を発揮するといえる。

4.3 実験評価

これまでの評価では、各プレイヤーが確率モデルにしたがって自動的に動作する場合、提案手法によってネットワーク遅延に起因するプレイヤーのパフォーマンス低下を抑制できることを明らかにした。本節では、2 プレイヤがキーボードとマウスを使用して対戦する場合、提案手法による位置推定技術が有効であるかを実験評価する。

本実験では、4 人のプレイヤーが 2 名ずつのグループに分かれる。グループ内ではキーボードとマウスを使用して 2 名のプレイヤーが 60 秒間対戦をするとともに、対戦時の各プレイヤーの操作ログを取得する。このとき、各プレイヤーとサーバ間のネットワーク遅延は与えないものとする。その後、取得した各プレイヤーの対戦ログを元にして、一方のプレイヤー (以下、プレイヤー 2) に任意の下り方向のネットワーク遅延を与えたとき、もう一方のプレイヤー (以下、プレイヤー 1) の位置情報がサーバからどのように得られるかシミュレートする。同時に、遅延が与えられたプレイヤー 2 端末上で、提案手法を用いてプレイヤー 1 の位置情報を推定することで、実ユーザの操作に対する提案手法の有効性を評価する。

図 6 に、サーバとプレイヤー 2 との間に与えた下り遅延に対する各手法利用時の命中率を示す。式 (2) に示した N の係数は、事前定義した確率モデルにしたがって定められている。キーボードとマウスによる操作においては、下り遅延が大きくなるにつれて事前定義した確率モデルとユーザ操作との差異が起因してプレイヤー 2 の命中率が低下した。しかしながら、位置情報を推定しない場合と比べると命中率も改善しているため、提案手法はシミュレータ上の移動モデルだけではなく人間による操作にも適用できる可能性があることがわかった。

5 おわりに

本稿では、オンラインシューティングゲームにおける過去のプレイヤー位置情報を用いてネットワーク遅延に起因するプレイヤーのパフォーマンス低下を軽減する手法を提案した。今後は高遅延環境下でも相手プレイヤーの位置を高精度で推定できる手法、人間による操作でも高精度で推定できる手法の考案に取り組んでいる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 (JP19H01101, JP18H03231, JP17K12672) および NTT アクセスサービスシステム研究所の支援の下で行った。本研究をサポートして下さいた相浦一樹氏、上田貴之氏、上野創史氏に感謝致します。

参考文献

- [1] M. Claypool, K. Claypool, "Latency and Player Actions in Online Games," Communications of the ACM, Vol. 49, No. 11, pp. 40-45, 2006.
- [2] 本生 崇人, 川崎 慈英, 藤橋 卓也, 猿渡 俊介, 渡辺 尚, "ネットワーク遅延がもたらすオンラインゲームプレイヤーへの影響に関する基礎評価," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, pp.1-1, 2019.
- [3] Y. Bernier, "Latency compensating methods in client/server in-game protocol design and optimization," Proc. Game Developers Conference, 2001.

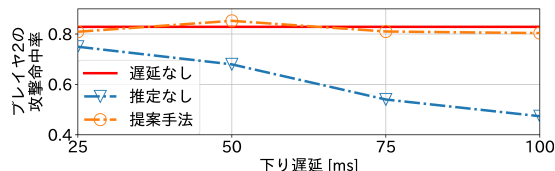


図 4: 下り遅延に対する各手法の銃弾命中率

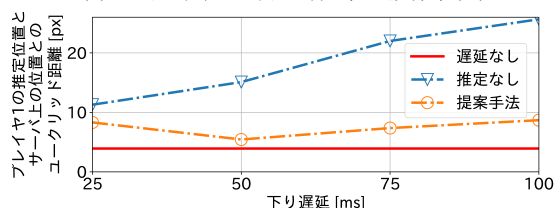


図 5: 下り遅延に対する各手法の位置推定精度

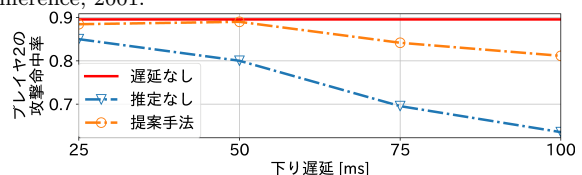


図 6: 人間による操作ログを利用した場合の下り遅延に対する銃弾命中率