

2021年度 卒業論文

イロレーティングシステムを用いた
オンライン対戦ゲームにおける
マッチングアルゴリズムの研究

指導教員：渡辺 大地 教授

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト
学籍番号 M0118307
佐藤 淳史

2022年2月

2021 年度 卒 業 論 文 概 要

論文題目

イロレーティングシステムを用いた
オンライン対戦ゲームにおけるマッチングアルゴリズムの研究

メディア学部

学籍番号： M0118307

氏
名

佐藤 淳史

指導
教員

渡辺 大地 教授

キーワード

イロレーティング、ゲーム、マッチメイキング、
待機時間、オンライン対戦

近年、オンライン対戦ゲームが人気を博している。オンライン対戦ゲームでは、より拮抗した試合を行うため、実力の近い対戦相手とマッチングすることが求められている。そこで、多くのオンライン対戦ゲームではレーティングシステムを利用して、実力の近い対戦相手とのマッチングを実現している。しかし、既存のレーティングシステムはマッチングの待機時間が長いという欠点を持つ。これは、適した対戦相手が見つからないために起こっており、特に極端に高いレーティングを持つプレイヤーや、プレイ人口の少ないゲームでは、待機時間の長期化が顕著である。長い待機時間は、心理的負担を与える上、ユーザー離れの要因になりうるため改善が求められている。また、待機時間の短縮の工夫をしているゲームは存在するが、その手法に関する詳細は公表されておらず、再現は困難である。

そこで、本研究では待機時間の短縮を目的とする。待機時間の長期化に伴い、レーティング値の差が大きい相手とマッチングするマッチングアルゴリズムと対戦結果によるレーティングの変化量を小さくするレーティング計算手法を提案する。本手法がオンライン対戦ゲームのマッチングにおいて、待機時間の短縮効果があるか、仮想プレイヤーデータとレーティング対戦を想定したシミュレータを作成し、シミュレートを行った。シミュレートの結果、提案するマッチングアルゴリズムでは、プレイヤー全体の待機時間と各プレイヤーの最長待機時間の短縮において、その有用性を確認することができた。しかし、提案するレーティング計算手法では、プレイヤー全体の待機時間の短縮は確認できたが、各プレイヤーの最長待機時間の短縮は確認できなかった。

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文構成	4
第 2 章	提案手法	5
2.1	提案手法概要	5
2.2	前提となるレーティングシステム	6
	2.2.1 イロレーティング	6
	2.2.2 マッチングアルゴリズム	6
2.3	提案手法式	7
第 3 章	実験	8
3.1	実験概要	8
3.2	プレイヤーデータ	8
	3.2.1 現レーティング	9
	3.2.2 適正レーティング	9
	3.2.3 プレイ状況	10
	3.2.4 待機時間	12
3.3	シミュレータ	12
	3.3.1 シミュレートフロー	12
	3.3.2 シミュレート設定	13
	3.3.3 出力データ	14
第 4 章	評価	16
4.1	結果	16
	4.1.1 試合数	16
	4.1.2 現レーティングの分布	16
	4.1.3 待機時間	18
	4.1.4 最長待機時間	21
4.2	考察	24

第5章	まとめ	25
	謝辞	26
	参考文献	27

目次

1.1	山裾の長いレーティング分布	3
1.2	山裾の短いレーティング分布	4
2.1	提案手法模式図	5
3.1	プレイ状況略図	11
3.2	シミュレータフロー図	13
4.1	従来手法の現レーティング分布	17
4.2	条件1の現レーティング分布	17
4.3	条件2の現レーティング分布	18
4.4	従来手法の待機時間	19
4.5	条件1の待機時間	20
4.6	条件2の待機時間	20
4.7	従来手法の最長待機時間	22
4.8	条件1の最長待機時間	22
4.9	条件2の最長待機時間	23
4.10	最長待機時間が2以上のプレイヤーの分布	23

表 目 次

3.1	シミュレートの変動率設定条件	8
3.2	シミュレータの設定項目と設定値	14
4.1	試合数	16
4.2	待機時間集計表	19
4.3	最長待機時間集計表	21

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

近年、オンライン対戦ゲームが人気を博している。オンライン対戦ゲームでは、より拮抗した試合を行うため、実力の近い対戦相手とマッチングすることが求められている。League of Legends[1]、ぷよぷよ e スポーツ [2]、STREET FIGHTER V[3] などのオンライン対戦ではレーティングシステムを利用して、実力の近い対戦相手とのマッチングを実現している。レーティングシステムでは実力の指標を、試合の勝敗によって変動するレーティングという数値として表せる。また、レーティングを参照することで実力の近い対戦相手とマッチングする仕組みである。レーティングシステムは、レーティングの計算手法と対戦相手を見つける手法であるマッチングアルゴリズムの 2 つの要素から成り立っている。そのため、レーティングの計算手法のみに焦点を絞った研究や、マッチングアルゴリズムのみに焦点を絞った研究が盛んに行われている。

例として、レーティングの計算手法の研究では、熊谷 [4] はプレイヤーのグループ間の対戦が疎になる場合に、より正確にレーティングを算出する事を目指した研究を行っている。大渡ら [5] や、森岡 [6] は相性により勝率が変動する場合に、レーティングを適切に算出することを目的とした研究を行っている。さらに、Glickman の考案した Glicko system[7] と、その改良手法である Glicko-2 system[8] は、レーティングに信頼性という概念を追加し、信頼度によりレーティングの変動量を変化させる手法が提案されている。マッチングアルゴリズムの研究では、Gargolinski ら [9] は、オンラインゲームにおいて通信遅延はゲームプレイに影響を与えると考え、複数のプレイヤーの通信遅延を許容範囲内に収めるためのマッチングアルゴリズムを考案した。Xue ら [10] はオ

オンラインゲームにおいて、プレイヤーがより長くゲームを継続するように、マッピングシステム及び機械学習を用いてマッチングを最適化する手法で特許を取得している。

オンライン対戦ゲームでは、ゲームの特性や方針に適したレーティング計算手法とマッチングアルゴリズムを選び、利用している。

しかし、既存のレーティングシステムの多くはマッチングの待機時間が長いという欠点を持つ。これは適した対戦相手が見つからないために起こっており、特に極端に高いレーティングを持つプレイヤーや、プレイ人口の少ないゲームでは、待機時間の長期化が顕著である。長い待機時間は心理的負担を与えたとの研究報告もされており [11][12]、ユーザー離れの要因になりうるため改善が求められている。さらに、特に長時間待機するプレイヤーがゲームを去った場合、残ったプレイヤーの中から新たに長時間待機するプレイヤーが発生する。そのため、より多くのプレイヤーにゲームを継続させるためには、全てのプレイヤーの待機時間の短縮と、特に長い待機時間の短縮を同時に行う必要がある。前述した League of Legends を含め、待機時間の短縮の工夫をしているゲームは存在するが、その手法に関する詳細は公表されておらず、再現は困難である。また、オンラインゲームの待機時間の短縮を目的とした研究として、山下 [13] によるマイクロログ情報を利用することで、ゲーム可能なプレイヤーを推測し、オンラインゲームのマッチングへの応用を想定した研究が存在する。しかし、この研究ではマッチングアルゴリズムへ応用した手法は提案されていない。

そこで本研究では、プレイヤー全体の待機時間および各プレイヤーの最長待機時間の短縮を目的とする。待機時間の長期化に伴い、レーティング値の差が大きい相手とマッチングするマッチングアルゴリズムと対戦結果によるレーティングの変化量を小さくするレーティング計算手法を提案する。レーティング差の大きい相手との対戦を許容することで対戦相手候補の数を増加させ、プレイヤー待機時間の短縮を図る。図 1.1、図 1.2 は、レーティングごとのプレイヤーの人数を示した分布図である。プレイヤーの実力が正しく図れている場合、山形の分布となる。しかし図 1.1 では、山裾の幅が長くなっている。山裾に属するプレイヤーは、人数が極端に少なく対戦相手が見つかりづ

らいため、待機時間が長くなる。提案するレーティング計算手法では、待機時間の長いプレイヤーのレーティング値の変動を小さくすることで、図 1.2 のように山形を維持しつつ、山裾の幅を短くする。対戦相手が見つかりづらい山裾に属するプレイヤーの人数を減らし、最長待機時間の短縮を図る。レーティング計算手法は A.E.Elo[14] が提案したイロレーティングを用いて改善を行う。イロレーティングは FIFA ランキング [15] や、日本アマチュア将棋連盟 [16] のレーティング計算手法として用いられている。

本手法がオンライン対戦ゲームのマッチングにおいて、待機時間の短縮効果があるか、仮想プレイヤーデータとレーティング対戦を想定したシミュレータを作成し、検証実験を行った。実験では、本手法を適用していない場合と、提案するマッチングアルゴリズムのみを適用した場合、提案するマッチングアルゴリズムとレーティング計算手法のどちらも適用した場合で、シミュレートを行い比較した。結果、提案するマッチングアルゴリズムでは、プレイヤー全体の待機時間と各プレイヤーの最長待機時間の短縮において、その有用性を確認することができた。しかし、提案するレーティング計算手法では、プレイヤー全体の待機時間の短縮は確認できたが、各プレイヤーの最長待機時間の短縮は確認できなかった。

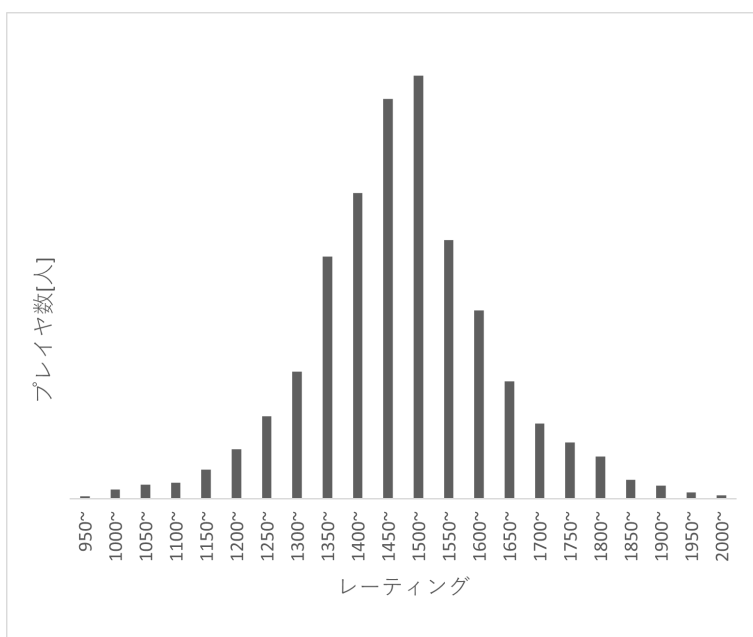


図 1.1 山裾の長いレーティング分布

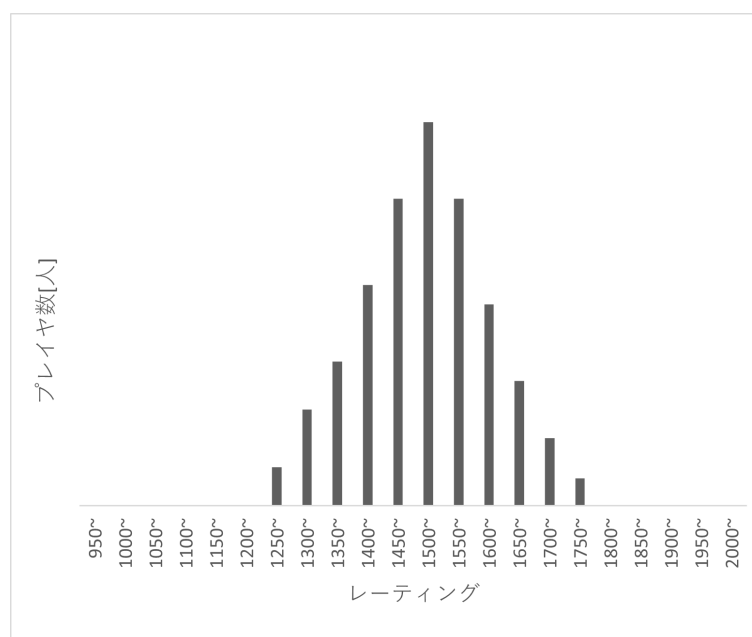


図 1.2 山裾の短いレーティング分布

1.2 論文構成

本論文は全 5 章で構成する。第 2 章では提案手法について述べる。第 3 章では実験手法について述べる。第 4 章では実験の評価、および考察を行う。第 5 章では本研究のまとめを述べる。

第 2 章

提案手法

本章では、提案するマッチングアルゴリズムとレーティングの計算手法について説明する。2.1 節では提案手法の概要について述べる。2.2 節ではイロレーティングとマッチングアルゴリズムについて述べる。最後に 2.3 節では提案手法で用いる式について述べる。

2.1 提案手法概要

本研究では、レーティングシステムの中でも多く利用されている、イロレーティングシステムを用いた改善手法を提案する。待機時間の長期化に伴い、よりレーティングの離れた相手とマッチングするマッチングアルゴリズムと、対戦結果によるレーティングの変化量を小さくするレーティング計算方法を提案する。

図 2.1 は、提案手法の方針を模式化した図である。

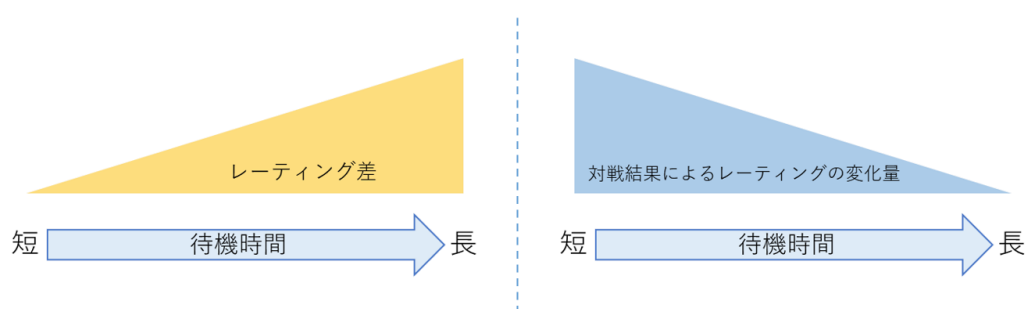


図 2.1 提案手法模式図

2.2 前提となるレーティングシステム

2.2.1 イロレーティング

イロレーティングとは対戦型の競技において、実力を示すための指標であるレーティングの算出手法の一つである。レーティングは対戦を行う度に対戦に参加したプレイヤーのみ変動する。この時のレーティングの更新は以下の手順で行う。

1. 対戦相手とのレーティング差をもとに期待勝率を推計する
2. 対戦結果に基づいてレーティングを更新する

プレイヤー A のレーティングが R_a 、プレイヤー B のレーティングが R_b の時、式 (2.1) はプレイヤー A の期待勝率 e_{ab} を推計する式である。

$$e_{ab} = \frac{1}{1 + 10^{(R_a - R_b)/400}}. \quad (2.1)$$

また、更新後のプレイヤー A のレーティング R'_a は式 (2.2) で求められる。この時 s_{ab} は対戦結果により変化する変数であり、プレイヤー A 勝利時に 1、敗北時に -1 を代入する。さらに K は任意に設定できる定数であり、レーティングの増減幅に影響する。

$$R'_a = R_a + K(s_{ab} - e_{ab}). \quad (2.2)$$

2.2.2 マッチングアルゴリズム

マッチングアルゴリズムとはオンライン対戦ゲームにおいて対戦相手の決定手法である。本研究では 1 対 1 での対戦を想定している。また、対戦する両者がマッチングする場合の条件式を式 (2.3) に示す。両者のレーティング差が許容値未満の場合に試合が行われる。この許容値を許容レーティング差 δR_{\max} とする。

$$\delta R_{\max} > |(R_a - R_b)|. \quad (2.3)$$

2.3 提案手法式

本節では本研究で提案する、マッチングアルゴリズムでの許容レーティング差を変動する式とレーティング計算でイロレーティング式の重み係数（以下 重み係数）を算出する方法について述べる。対戦する両者がマッチングするまでに待機した時間の合計により両者の許容レーティング差 δR_{\max} と重み係数 K を変動する。

式 (2.4) は待機時間によって変動する許容レーティング差 δR_{\max} を算出する式である。また、式 (2.5) は待機時間によって変動する重み係数 K を算出する式である。

$$\delta R_{\max} = R_0 x^{(T_a + T_b)}, \quad 1 < x. \quad (2.4)$$

$$K = K_0 y^{(T_a + T_b)}, \quad 0 < y < 1. \quad (2.5)$$

ここで、 R_0 は待機時間 0 の場合の許容レーティング差、 K_0 は待機時間 0 の場合の重み係数、 T_a 、 T_b は待機時間、 x 、 y は δR_{\max} 、 K の変化の割合であり、変動率と呼ぶ。

待機時間が長くなるにつれ、許容レーティング差は増加し、重み係数は減少する傾向がある。また、重み係数とレーティングの変化量は正の相関があるため、レーティングの変化量も減少する傾向がある。さらに、 R_0 と K_0 は任意の数値が設定できる。これにより求められる重み係数、及び許容レーティング差の待機時間による影響度を調節する事ができる。

第 3 章

実験

3.1 実験概要

本手法がオンライン対戦ゲームのマッチングにおいて、待機時間の短縮効果があるか、検証実験を行った。実験を行うにあたり、1万人の仮想的なプレイヤーデータとレーティング対戦を想定したシミュレータを作成した。プレイヤーデータについては 3.2 節プレイヤーデータ、シミュレータについては 3.3 節シミュレータにて詳細を説明する。実験では、待機時間による許容レーティング差と重み係数の変動率を変えて比較検証を行う。

表 3.1 は変動率の設定を示す表である。従来手法は提案手法を適用しない場合、条件 1 は提案するマッチングアルゴリズムのみを適用した場合、条件 2 は提案するマッチングアルゴリズムとレーティング計算手法のどちらも適用した場合である。

表 3.1 シミュレートの変動率設定条件

条件名	許容レーティング差変動率 x	重み係数変動率 y
従来手法	1	1
条件 1	1.25	1
条件 2	1.25	0.8

シミュレート内の時間で 15 分に一度、マッチメイキング及び対戦を行い、シミュレート内の時間で 100 日経過後のデータを出力した。

3.2 プレイヤーデータ

本節では、作成したプレイヤーデータについて述べる。

実験では、実際の対戦型オンラインゲームに近い環境でシミュレートを行うことが望ましい。そのため、現実のプレイヤー群を模倣して、仮想プレイヤーデータを作成した。

仮想プレイヤーは以下のパラメータを持つ。

- 現レーティング
- 適性レーティング
- プレイ状況
- 待機時間

各パラメータの詳細と初期値については各項で述べる。

3.2.1 現レーティング

現レーティングは、試合の勝敗によって変化するレーティングである。また、現レーティングの初期値は全プレイヤー一律で 1500 とした。

3.2.2 適正レーティング

適正レーティングは、プレイヤーの持つ実力を表す数値であり、初期値はプレイヤーごとに異なる。平均的な実力を持つプレイヤーの適正レーティングは、前述した現レーティングの初期値 1500 と等しい。これより数値が高ければ強いプレイヤー、低ければ弱いプレイヤーであることを示す。また、シミュレート中に適正レーティングは変化することがない。

さらに、適正レーティングの分布は、実際のオンライン対戦ゲームのプレイヤー群に近づける必要があると考えた。しかし、ゲームの勝敗に影響する実力を正確に計測する事は難しい。そこで本実験では、スポーツであるボウリングのプレイヤーの実力 [17] を参考に、オンライン対戦ゲームの実力分布は正規分布であると仮定した。正規分布の再現は、ボックス=ミュラー法 [18] を基とした方法で行う。

ボックス=ミュラー法の方程式は、式 (3.1) に示す。

[0,1] 上の一様分布上の独立な確率変数 U_1 、 U_2 があるとき、

$$\begin{aligned} X_1 &= \sqrt{-2 \log U_1} \cos 2\pi U_2 \\ Y_1 &= \sqrt{-2 \log U_1} \sin 2\pi U_2. \end{aligned} \quad (3.1)$$

とすると X 、 Y は独立に標準正規分布 $N(0,1)$ に従う。

さらに、レーティングの数値に適した正規分布を得るために、平均値 μ と標準偏差 σ の変数を追加したものが、式 (3.2) である。

$$\begin{aligned} X_1 &= \sigma \sqrt{-2 \log U_1} \cos 2\pi U_2 + \mu \\ Y_1 &= \sigma \sqrt{-2 \log U_1} \sin 2\pi U_2 + \mu. \end{aligned} \quad (3.2)$$

本実験では、平均値 μ を 1500、標準偏差 σ を 300 と設定した。

3.2.3 プレイ状況

プレイ状況は、プレイヤーがどの時間にマッチング可能状態にあるか示すものである。

状態は、マッチング可能状態であるオンライン状態、マッチング不可状態であるオフライン状態の二通り存在する。15 分ごとにどちらかの状態が割り当てられており、24 時間 (96 回) 分設定した。シミュレートでは 24 時間経過後、再び始めの状態から順に参照される。

図 3.1 は、プレイ状況の略図である。

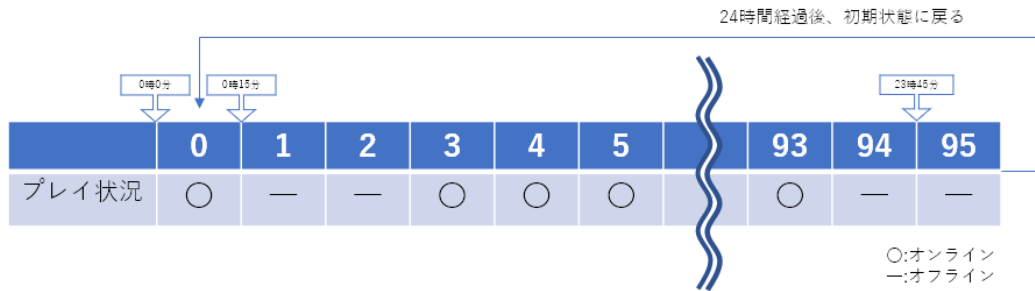


図 3.1 プレイ状況略図

また、現実のオンライン対戦ゲームプレイヤーは、連続してプレイや休憩を行うと仮定した [19]。したがって、オンライン状態とオフライン状態が連続性を持つように、確率によって状態が遷移する手法を用いてプレイ状況を作成した。

C は状態が連続している回数、 p は状態遷移確率、 p_s 、 p_e は任意の定数とした時、オンライン状態への遷移確率は式 (3.3)、オフライン状態への遷移確率は式 (3.4) とした。

$$p = (p_s + C) \quad (3.3)$$

$$p = (p_e + C). \quad (3.4)$$

この時、 p_s はオンライン状態への遷移しやすさに影響する定数、 p_e はオフライン状態への遷移しやすさに影響する定数であり、プレイヤーごとにランダムに設定した。また、始めの 15 分の状態においては 15 分前の状態を仮定して算出した。

式 (3.5) は、仮定する 15 分前の状態がオンライン状態にある確率を決定する式である。

$$p_{\text{online}} = \frac{1}{2} + (p_s - p_e). \quad (3.5)$$

3.2.4 待機時間

待機時間は、仮想プレイヤーがオンライン状態にありながら、マッチングしていない連続の回数を記録する変数である。

待機時間の初期値は 0 であり、マッチングが成立した場合初期値に戻す。

3.3 シミュレータ

本節では、作成したシミュレータについて述べる。

本シミュレータは、オンライン対戦ゲームでのマッチメイキング、ゲーム、レーティング変動を、再現したものである。

3.3.1 シミュレートフロー

本項では、シミュレータの一連の処理について説明する。

シミュレートでは、15 分ごとに仮想プレイヤーに対し、一連の処理を繰り返す。一連の処理は同時刻に行ったものとし、繰り返しのタイミングで時間を 15 分進める。

はじめに、全プレイヤーに対して現時刻でのプレイ状況の確認を行う。現在オンライン状態にあり、マッチングの待機キュー（以下 待機キュー）に存在しないプレイヤーは、待機キューへ加える。この時、同時刻での待機キューへの追加は、ランダムな順序で行う。同時に、オフライン状態のプレイヤーは、待機キューから削除する。

次に、待機キューのプレイヤーに対して処理を行う。待機を開始したのが早いプレイヤーから順に取り出し、待機キュー内の他のプレイヤーとマッチングを行う。条件は、式 2.4 で算出した許容レーティング差を、式 2.3 に代入する。その結果が真である場合マッチングする。複数人条件を満たすプレイヤーが存在する場合、待機キューへの参加が早かったプレイヤーと優先的にマッチングする。さらに、マッチングしたプレイヤーの待機時間は 0 にする。マッチングしなかったプレイヤーにおい

ては、待機時間に 1 を加算する。

次に、マッチングしたプレイヤー同士で対戦を行う。対戦は 1 戦のみ行い、引き分けはなく必ず勝敗がつくものとする。勝敗は期待勝率を求め、勝率に従って決定する。期待勝率の算出には、式 2.1 において R_a にプレイヤー A の適正レーティング、 R_b にプレイヤー B の適正レーティングを代入したものを用いる。その後、レーティングの更新を行う。対戦後のレーティングは、式 2.5 で算出した重み係数を、式 2.2 に代入して、小数第一位を四捨五入したものとなる。

最後に、対戦したプレイヤーを待機キューから削除して始めの状態に戻る。

図 3.2 は、本シミュレータが仮想プレイヤーに行う処理のフロー図である。

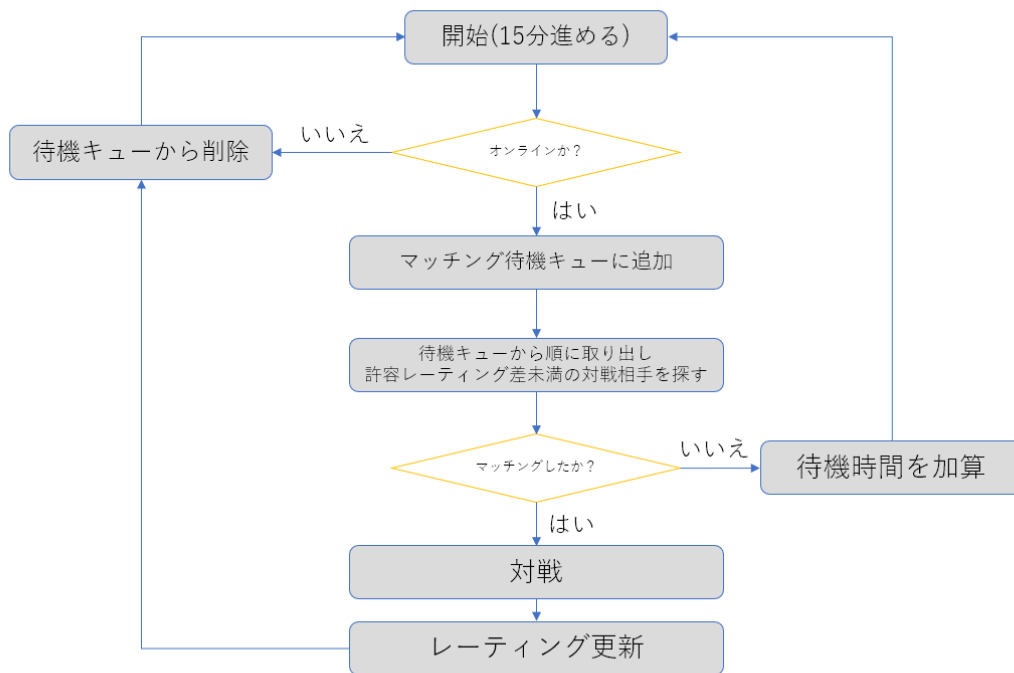


図 3.2 シミュレータフロー図

3.3.2 シミュレート設定

本項では、シミュレータの設定について述べる。

表 3.2 はシミュレータの設定項目と設定値を示した表である。

表 3.2 シミュレータの設定項目と設定値

設定項目	設定値
重み係数初期値	32
許容レーティング差初期値	150
重み係数変動率	条件により異なる
許容レーティング差変動率	条件により異なる
重み係数最小値	1
許容レーティング差最大値	1500

設定値はシミュレート中変化しない定数である。重み係数初期値と許容レーティング差初期値はともに待機時間 0 の場合の重み係数と許容レーティング差である。重み係数初期値はチェスのプロレベル [20] では 10 が採用されているが、オンライン対戦ゲームでは実力のばらつきが多い事が想定できるため、本研究では 32 を採用している。また、許容レーティング差初期値 150 は最大で上位者の勝率が 70% となる数値である。重み係数変動率と許容レーティング差変動率は実験条件によって表 3.1 の数値を代入する。待機時間の長期化により、この重み係数最小値と許容レーティング差最大値を超える場合、この数値に補正する。

3.3.3 出力データ

本項では、シミュレート終了後に出力するデータの内容について述べる。データは、各仮想プレイヤーから計測したものである。出力するデータを次に示す。

- 対戦数
- 現レーティング
- 待機時間
- 最長待機時間

最長待機時間は、プレイヤーがシミュレート中に最も長く待機した時間である。待機時間は、プ

レイヤの待機時間の累計値である。また、待機時間は 15 分ごとに 1 として出力している。

第 4 章

評価

本章では、シミュレータで行った、検証実験の結果と考察を述べる。4.1 節では、各条件での実験結果について述べる。4.2 節では、4.1 節での結果をもとに考察を述べる。

4.1 結果

本節では、実験の結果について述べる。

4.1.1 試合数

表 4.1 は、各条件での試合数を示した表である。

試合は、すべての条件で約 240 万試合行われ、ほとんど差は出なかった。

表 4.1 試合数

条件名	試合数
従来手法	23955551
条件 1	23957835
条件 2	23958287

4.1.2 現レーティングの分布

図 4.1、図 4.2、図 4.3 は、各条件での現レーティングの分布を示したヒストグラムである。

現レーティングの分布は、すべての条件で類似した分布となった。分布の特徴として、右方向への歪みと現レーティングで周期的なうねりが見られた。

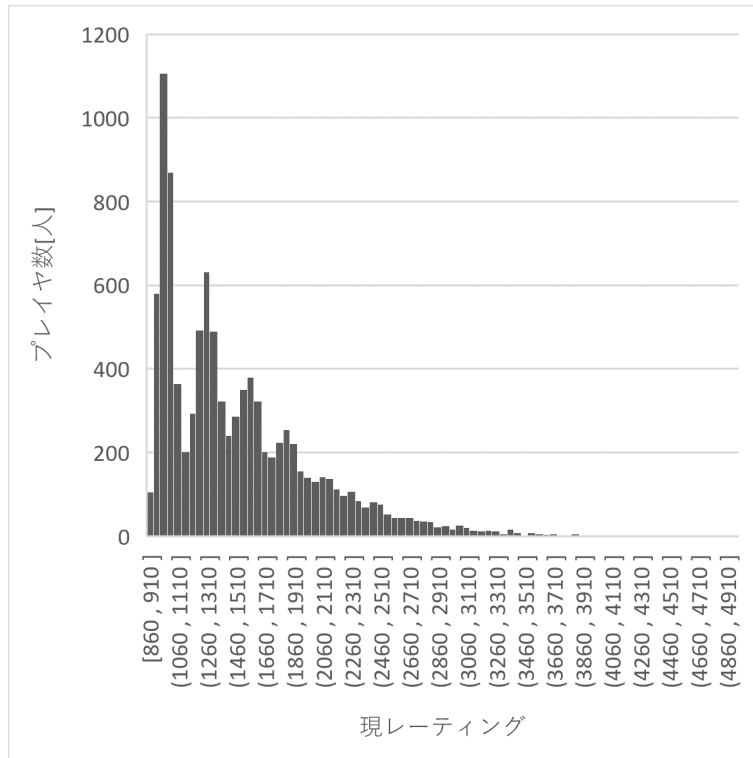


図 4.1 従来手法の現レーティング分布

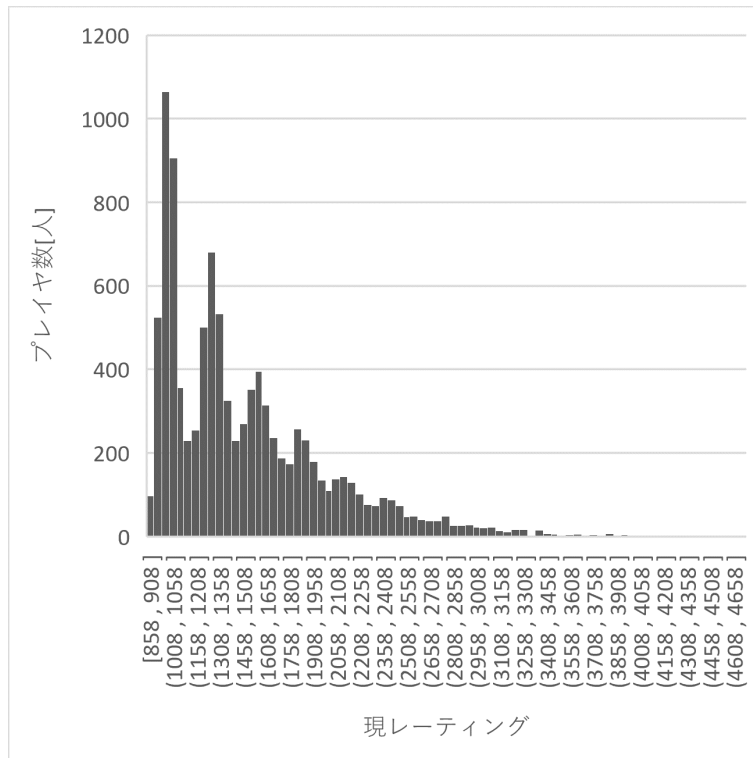


図 4.2 条件1の現レーティング分布

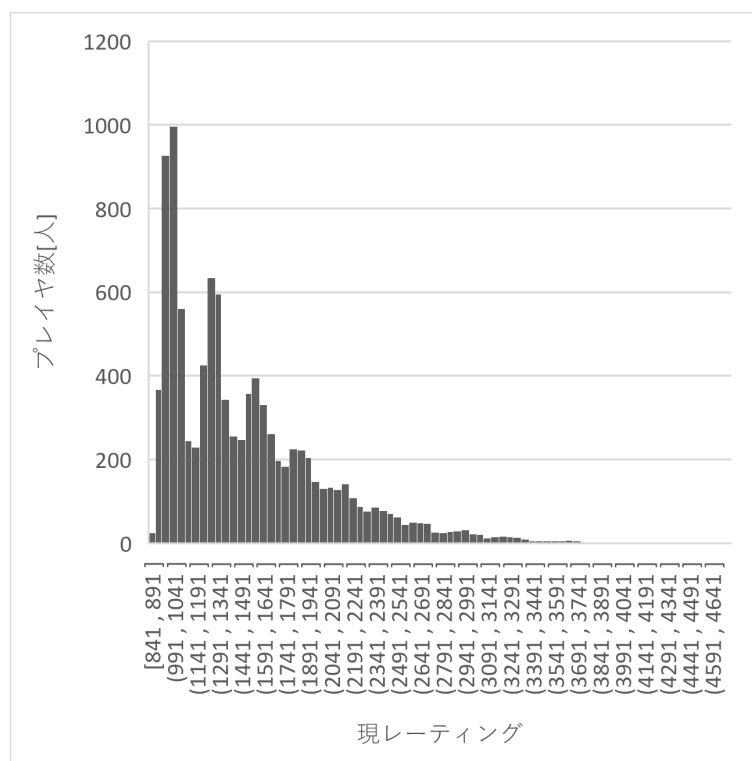


図 4.3 条件2の現レーティング分布

4.1.3 待機時間

表 4.2 は、各条件での待機時間の合計値、平均値、標準偏差、最大値を示した表である (小数第四位以下切り捨て)。図 4.4、図 4.5、図 4.6 は、各条件での待機時間の分布を示したヒストグラムである。

条件1において、待機時間の平均値、合計値、標準偏差、最大値で従来手法の数値を下回る結果が得られた。本シミュレート結果では、すべての条件で、待機時間0から20のプレイヤーがほとんどの割合を占めている (図 4.4、図 4.5、図 4.6)。また、標準偏差、最大値の減少幅が大きい。したがって、合計値、平均値の減少は、極めて少人数の、待機時間の長いプレイヤーの待機時間が短縮された事が要因であると言える。

さらに、条件2では条件1と比較し、すべての項目でさらに下回る結果が得られた。

表 4.2 待機時間集計表

条件名	合計値	平均値	標準偏差	最大値
従来手法	59998	5.999	52.063	3689
条件 1	55430	5.543	38.250	2140
条件 2	54526	5.452	34.607	2005

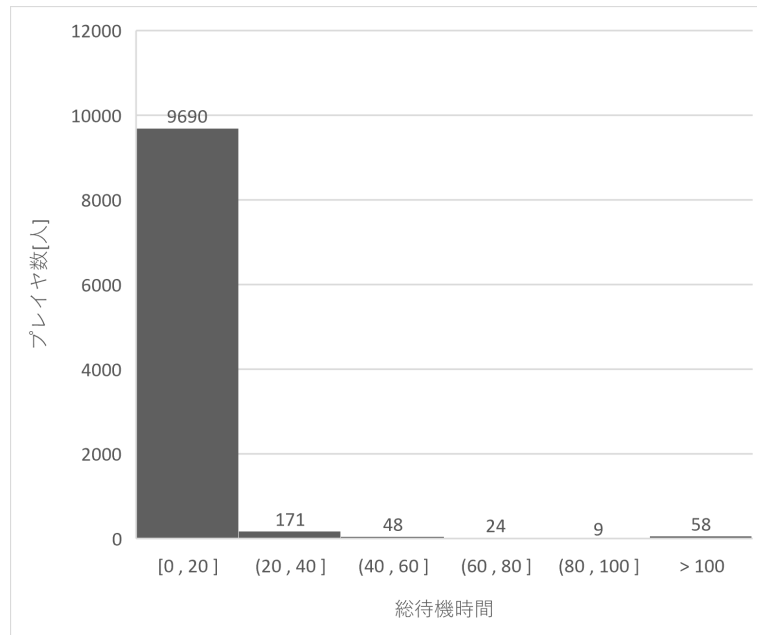


図 4.4 従来手法の待機時間

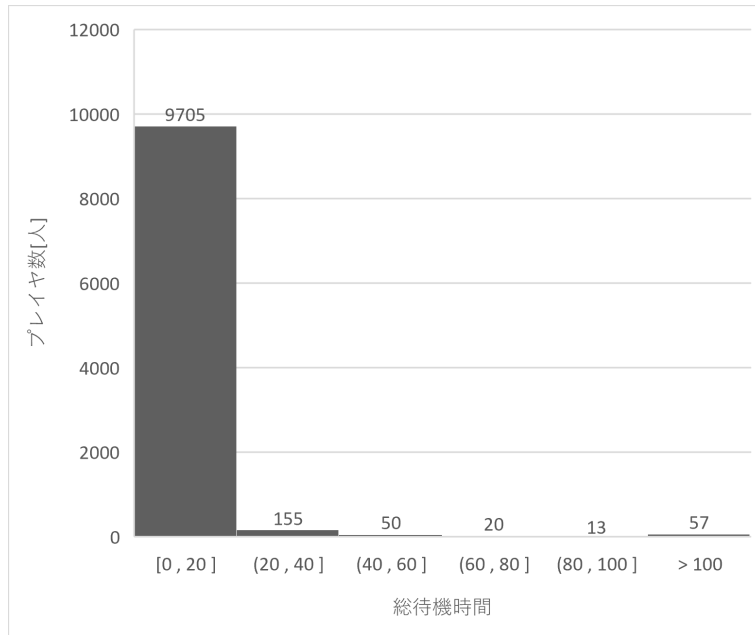


図 4.5 条件 1 の待機時間

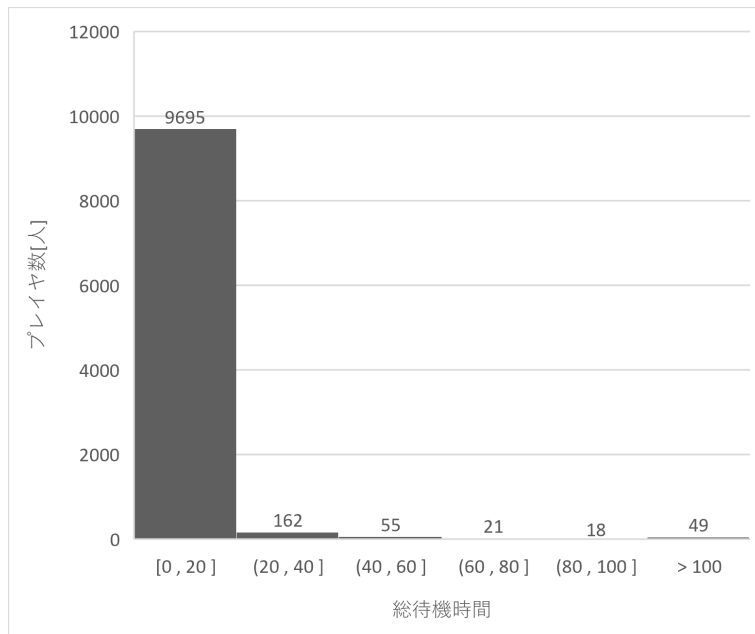


図 4.6 条件 2 の待機時間

4.1.4 最長待機時間

表 4.3 は、各条件での最長待機時間の合計値、平均値、標準偏差、最大値を示した表である (小数第四位以下切り捨て)。図 4.7、図 4.8、図 4.9 は、各条件でのレーティングと最長待機時間の関係を示した散布図である。図 4.10 は、最長待機時間が 2 以上のプレイヤーの分布を示した箱ひげ図である。

条件 1、条件 2 において、最長待機時間の平均値、合計値、標準偏差、最大値で従来手法の数値を下回る結果が得られた。従来手法でのシミュレート時、最長待機時間 8 以上を示すプレイヤーは 22 名であったが、条件 1、条件 2 では最長待機時間 8 以上を示すプレイヤーは存在しなかった。

また、最長待機時間の最大値は条件 1、条件 2 でどちらも 7 と同値であるが、条件 1 は、最長待機時間が 2 以上のプレイヤーにおいて、最も短い待機時間にプレイヤーが集中している点で優れた結果が得られた。

表 4.3 最長待機時間集計表

条件名	合計値	平均値	標準偏差	最大値
従来手法	8903	0.890	0.851	32
条件 1	8617	0.861	0.388	7
条件 2	8706	0.870	0.385	7

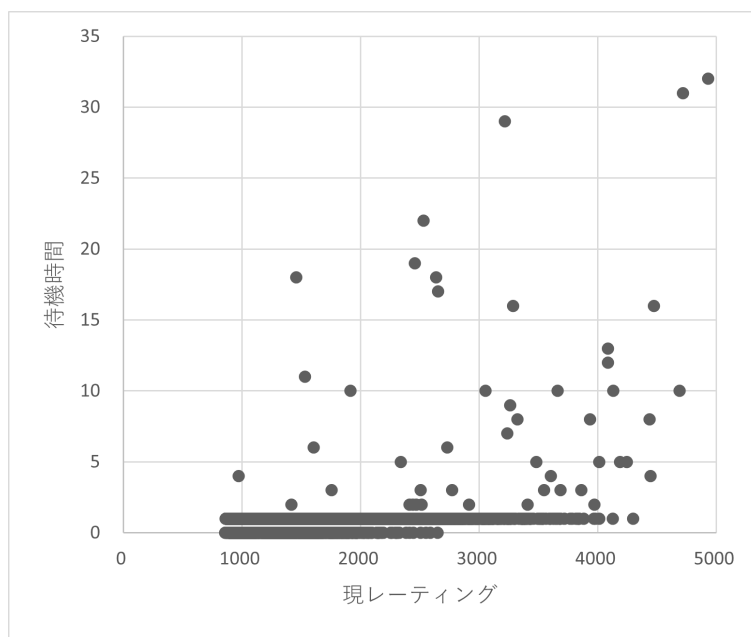


図 4.7 従来手法の最長待機時間

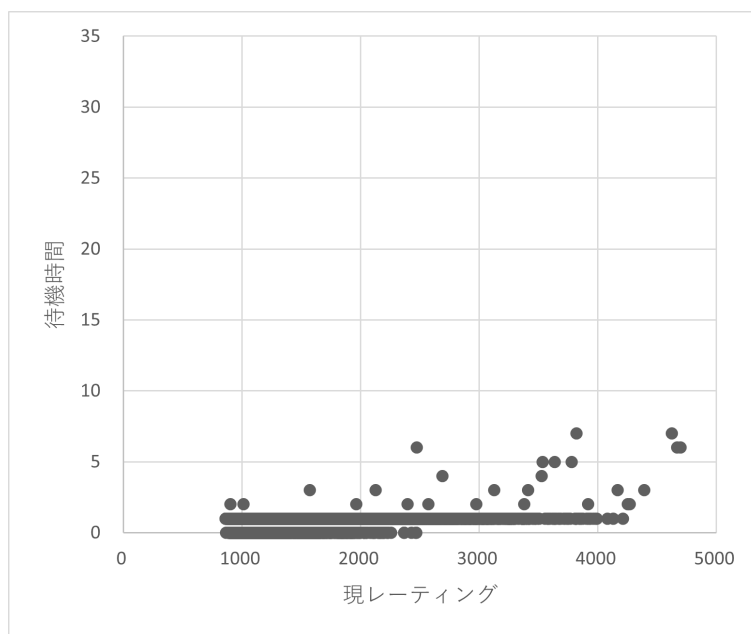


図 4.8 条件1の最長待機時間

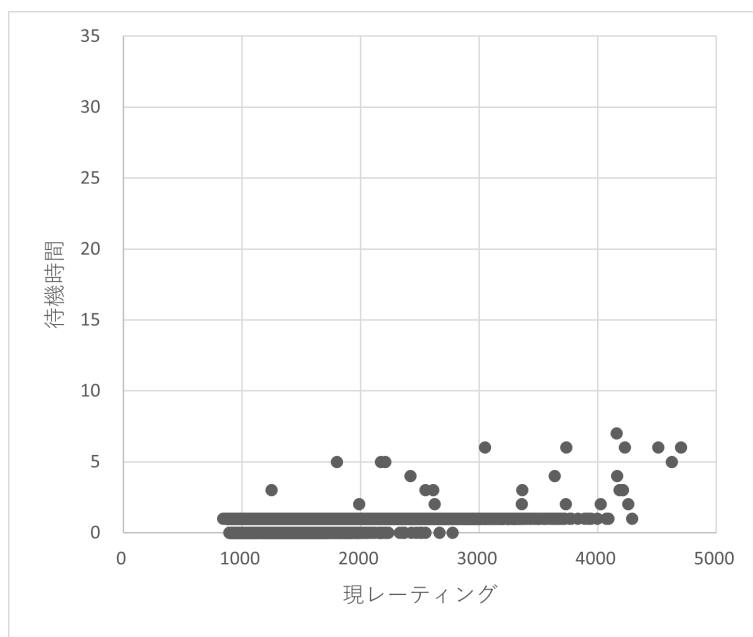


図 4.9 条件 2 の最長待機時間

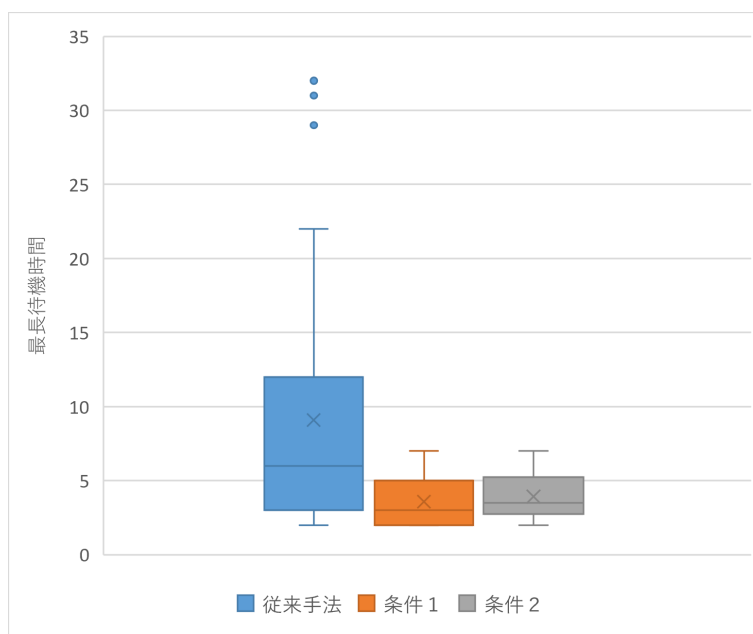


図 4.10 最長待機時間が 2 以上のプレイヤーの分布

4.2 考察

実験結果から、各条件の対戦数に差はほとんどなく、待機時間の平均値と最長待機時間の最大値はともに減少しているため、条件1、条件2では、待機時間と最長待機時間を短縮する効果があったと考える。また、長時間待機していたプレイヤーは、現レーティングが高いプレイヤーに多く、プレイヤー全体から見てこれらの特徴を持つプレイヤーの割合は小さい。そのため、本手法は、従来手法の時に長時間待機していたプレイヤーに対して、待機時間を短縮する効果が強くあると考えられる。

条件1と条件2を比較すると、待機時間の短縮効果において条件2が優れていた。この理由として、待機時間が長いプレイヤーのレーティングの変化量が小さくなることで、シミュレート中に、マッチングのしづらい、突出した現レーティングを持つプレイヤーの出現頻度が減ったためと考える。

しかし、条件2では条件1と比べ、最長待機時間の短縮効果が僅かに劣っていた。この理由として、長時間待機するプレイヤーの待機時間が中程度の時間待機するプレイヤーに分散した結果であると推測する。以上の比較から、待機時間によって許容レーティング差を変動させることは待機時間の短縮に効果があり、重みを変動させることは突出した現レーティングを持つプレイヤーの出現を抑える効果があると考えられる。

第 5 章

まとめ

本研究では、待機時間の長期化に伴い、よりレーティングの離れた相手とマッチングするマッチングアルゴリズムと、対戦結果によるレーティングの変化量を小さくするレーティング計算手法を提案した。

本手法がオンライン対戦ゲームのマッチングにおいて、待機時間の短縮効果があるか、仮想プレイヤーデータとレーティング対戦を想定したシミュレータを作成し、検証実験を行った。実験では、本手法を適用していない場合と、提案するマッチングアルゴリズムのみを適用した場合、提案するマッチングアルゴリズムとレーティング計算手法のどちらも適用した場合で、シミュレートを行い比較した。結果、提案するマッチングアルゴリズムでは、プレイヤーが最も長く待機した時間とプレイヤー全体の待機時間の短縮において、その有用性を確認することができた。しかし、提案マッチングアルゴリズムのみを適用した場合に比べて、提案マッチングと提案レーティング計算を適用した場合、プレイヤー全体の待機時間の短縮は確認できたが、最長待機時間の短縮は確認できなかった。また、本実験結果の考察の中で、待機時間の長期化に伴い、対戦結果によるレーティングの変化量を小さくする手法が、シミュレート中に突出したレーティングを持つプレイヤーの出現を抑えるという仮説が生じたため、検証する必要がある。

今後の展望として、本実験ではすべてのプレイヤーが初期レーティングからシミュレートを開始したが、多くのプレイヤーの現レーティングが収束している成熟したレーティング環境でのシミュレートでは、どのような変化が出るかの検証を行いたい。また、本実験で使用した仮想プレイヤーのデータを現実のプレイヤーのデータに置き換えたとき、結果に変化が出るかの検証も同時に行いたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご協力頂いた方にこの場をお借りしてお礼させていただきます。

渡辺先生、研究に関する多くの助言や文献の調べ方をはじめ、データの見せ方、研究の進め方など、一から十までご指導くださりありがとうございました。ご指導いただいた日々は、未熟な自分にとって大きな成長に繋がり、またとても楽しくもありました。大変お世話になりました。

阿部先生、論文執筆でのご指導や、発表資料や発表表現での助言を頂きありがとうございました。はじめは、本研究は専門的で意図や方法が伝わり辛くありました。しかし相談の度に、私の意図を的確に読み取って、助言を頂いたおかげで多くの方に理解しやすい論文を執筆出来ました。大変お世話になりました。

吉田さん、本論文の添削にご協力頂きありがとうございました。迅速に対応して頂けてとても助かりました。ありがとうございました。

中間発表、学会にてご意見くださった方々に深く感謝いたします。頂いた多くの視点からのご意見は、研究を進めるにあたりとても参考になりました。ありがとうございました。

オンラインゲームのマッチングについて議論を交わした友人方、議論の多くが研究のきっかけや方向性を定めるために活きました。ありがとうございました。

最後に、どんな時も支えてくださった家族に心より感謝いたします。

全ての方のご協力のおかげで、研究を成し遂げる事が出来ました。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] League of Legends. <https://www.leagueoflegends.com>. 参照:2021.12.23.
- [2] ぷよぷよ e スポーツ. http://puyo.sega.jp/PuyoPuyo_eSports/. 参照:2021.12.23.
- [3] STREET FIGHTER V. <https://www.capcom.co.jp/sfv/>. 参照:2021.12.23.
- [4] 熊谷侑哉. 更新時に補正を行うレイティングシステムの提案. 学部卒業論文, 公立ほこだて未来大学情報アーキテクチャ学科, 2016.
- [5] 勝己大渡, 順二西野. 相性関係を考慮したレーティングシステム. Technical Report 24, 大学院情報理工学研究科情報・ネットワーク工学専攻, 大学院情報理工学研究科情報・ネットワーク工学専攻, mar 2019.
- [6] 森岡尚輝. 初期盤面勝率を考慮したグリコレーティングの手法. 学部卒業論文, 高知工科大学情報学群高度プログラミング研究室, 2010.
- [7] Mark E. Glickman. The glicko system, 2011.
- [8] Mark E. Glickman. Example of the glicko-2 system, 2013.
- [9] Gargolinski Steven, St. Pierre Christopher, and Claypool Mark. Game server selection for multiple players. Proceedings of 4th ACM SIGCOMM workshop on Network and system support for games, pp. 1-6, oct 2005.
- [10] Su Xue, Kazi Atif-Uz Zaman, Navid Aghdaie, John Kolen, and Zhengxing Chen. Multiplayer video game matchmaking system and methods, 2019. U. S. Patent 10286327.
- [11] 明哲早坂, 達洋木村, 典久瀬川, 正俊宮崎, 清之山崎, 優子村山. ソフトウェア操作における待ち時間が操作者の心理生理学的状態に及ぼす影響. 電気学会論文誌. C, 電子・情報・システム部門誌 = The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan. C, A publication of Electronics, Information and System Society, Vol. 127, No. 10, pp.

1770–1779, oct 2007.

- [12] Hannu Korhonen and Elina Koivisto. Playability heuristics for mobile multi-player games. Vol. 274, pp. 28–35, 01 2007.
- [13] 山下明日輝. オンラインゲームのマッチメイクに対するマイクロログ情報の応用の検討. 修士論文, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科情報処理学専攻, 2012.
- [14] A.E. Elo. *The Rating of Chessplayers, Past and Present*. Arco Pub., 1978.
- [15] FIFA. <https://www.fifa.com/fifa-world-ranking/men?dateId=id13505>. 参照:2022.01.12.
- [16] 日本アマチュア将棋連盟. <http://amaren.la.coocan.jp/>. 参照:2022.01.12.
- [17] 田中喜代次, 笹井浩行, 台洋一. 国際大会におけるボウリングスコアに関する記述的研究. 筑波大学体育科学系紀要, Vol. 34, pp. 53–60, 2011.
- [18] G. E. P. Box and Mervin E. Muller. A Note on the Generation of Random Normal Deviates. *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 29, No. 2, pp. 610 – 611, 1958.
- [19] ライムライト・ネットワークス. オンラインゲームの状況に関する調査 – 2020 年. <https://www.limelightnetworks.jp/resource/case-study-online-game-2020/>. 参照:2022.01.11.
- [20] International Chess Federation. Rating calculators. <https://ratings.fide.com/calc.phtml>. 参照:2021.12.23.