

RoboCupRescue Simulation における エージェントのランキング手法に関する考察

Statistical ranking in RoboCupRescue Simulation

鷹見 竣希 ^{*1*2} 野田 五十樹 ^{*2} 大西 正輝 ^{*2}
Shunki Takami Itsuki Noda Masaki Onishi

^{*1}筑波大学大学院システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

^{*2}産業技術総合研究所人工知能研究センター

Artificial Intelligence Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

In this paper, we consider the validity of ranking of agents in RoboCupRescue Simulation. The simulation contains stochastic variable. Therefore, rank the agents by simple ranking methods such as the average score of multiple experiments. We define a proper ranking and discuss differences between it and simple rankings through experiments.

1. はじめに

大規模な地震災害に対する様々な取り組みの 1 つに、RoboCupRescue Simulation (以降, RRS) プロジェクトがある。RRS は、地震災害における数種類の災害救助隊などをエージェントとして再現したマルチエージェントシミュレーションであり、災害救助隊の救助活動戦略を研究できるプラットフォームである [Takahashi et al., 2001]。

RRS プロジェクトでは近年、エージェントのプログラム構造を研究者間で共通化する取り組みが行われている。その成果として、複数の研究者が開発した優秀なエージェントのアルゴリズムを組み合わせることで、より優秀な災害救助隊を作り出す試みがされるようになった。

この際優秀なエージェントを選出するためには、エージェントの順位付けを行うことが必要であるが、シミュレーションは確率的要素を含んでいる。そこで、1 回のシミュレーションのスコアや、複数回のシミュレーションの平均スコアなどで順位付けがなされてきた。しかしながら、このような順位付けは経験的なものであり、具体的な根拠があるものではない。

本稿では、RRS のようなシミュレーションのエージェントを評価する上で順当と言える順序を定め、平均値などによる順位付けが、どの程度順当であるかを実験により調査する。

2. 関連研究

2.1 RoboCupRescue Simulation

RRS は地震災害を対象に、被災地域と災害救助活動をコンピュータ上で再現し、災害救助隊の救助活動戦略を取り扱うことができる研究プラットフォームである。災害救助隊は、消防隊・救急隊・土木隊と各隊の司令部の 6 種類のエージェントで構成される。これらのエージェン

トの救助活動戦略を設計・実装することで、災害環境下における経路探索や情報共有、タスク割当アルゴリズムなどの研究が可能である [Skinner and Ramchurn, 2010]。

エージェントの評価にあたっては、シミュレータが出力する都市価値を表したスカラー値のスコアが主に使用される。このスコアは、都市価値であるため被害が拡大するとともに減少する。そのためシミュレーション開始時に算出されたスコアを、維持できたエージェントがより優秀であると判断できる。

RRS プロジェクトでは毎年、技術交流を目的としてエージェントプログラムを用いた競技会が開催されている。さらに近年では、エージェントのプログラム構造を研究者間で共通化する Agent Development Framework が導入された [Takami et al., 2018, Visser Arnaud et al., 2015]。これにより、それぞれの研究者が開発したエージェントのアルゴリズムを組み合わせることで、より優秀な災害救助隊を作り出す取り組みが行われるようになった。

この際、組み合わせによって作り出されたエージェントの評価をするために、その順位付けを行う必要がある。しかしながら、シミュレーションには確率的要素が含まれている。そのため、運も実力の内とした 1 回のシミュレーションのスコアや、複数回のシミュレーションの平均スコアなどで順位付けがなされてきた。ただし、このような順位付けは経験的なものであり、具体的な根拠に基づいたものではない。

2.2 対戦ゲームのレーティングシステム

チェスやサッカーなどのプレイヤー対プレイヤーのゲームにおいて、そのプレイヤーもしくはチームの強さを示す手法として、レーティングシステムがある [Elo, 1978, Keener, 1993]。レーティングシステムでは、そのプレイヤーの強さを示す指標として、レートが与えられ、対局に勝つことで上がり、負けることで下がる。よって、レートが高いプレイヤーが強いとされ、そのレート順に各プレイヤーがランキング付けされる。

しかし、このようなレーティングシステムでは基本的に、対戦相手とのレートの差が考慮されるようになって

連絡先: 鷹見竣希, 産業技術総合研究所, 茨城県つくば市梅園
1-1-1 中央第 1 つくば本部・情報技術共同研究棟, TEL:029-861-2000, s-takami@aist.go.jp

おり、レート算出時に各プレイヤーの状態が必要となる。さらに、対戦相手のレート以外に対戦相手のランク付けや、試合独自の固有値が導入される場合がある。よってプレイヤー対環境の対戦がベースの RRS には不向きである。

2.3 一対比較法

一対比較法とは、比較判断のために用いられる方法の 1 つで、RRS で例えるなら、他のエージェントや複数回のシミュレーション結果など、比較の対象が複数存在する場合に 2 つずつ組み合わせ、リーグ戦形式で比較判断を繰り返して対象の順位を決定する手法である [Scheffe, 1952].

一対比較法に関わる研究の中で、最尤ランキングとして、最終的に順位づけた順序の矛盾の個数が少ないほうが望ましい順位付けだとする順位付けの手法が提案されている [Remage and Thompson, 1966]. この考え方では矛盾の個数のみで、その度合いが考慮されていないが、順序の矛盾の度合いを考慮し、これを最小化した順序付けをすることで、ランキング上位の個体が下位の個体より、確率的に優位といえる順序付けを実現できると考える。

3. 勝敗度・最順当順序

3.1 勝敗度

最も矛盾の少ない順序付けをするためには、前節で述べたように順序の矛盾の度合いを得るための指標が必要である。本稿では、2 つのエージェント a, b に対して、それぞれの成績として確率密度関数 f_a, f_b がある時、 a の b に対する対戦の勝敗度を以下のように定める。

$$\Delta(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f_a(x) dx \int_{-\infty}^x f_b(y) dy - \int_{-\infty}^{\infty} f_b(y) dy \int_{-\infty}^y f_a(x) dx \quad (1)$$

この Δ は、 a, b 各々の確率密度関数で決まる成績を比べ、その大小で勝ち負けを決めたときの a の勝率から b の勝率を引いた優位度を示しており、 a が全勝で 1、全敗で -1、引き分けで 0 となる。また、 $\Delta(a, b) = -\Delta(b, a)$ である。

この勝敗度を用いて、 a, b に優劣をつけるとする。よって、 $\Delta(a, b) \geq 0$ の時、 a は b に優位であるとし、 $a \geq b$ と表せる。

3.2 最順当順序

本節では、最順当順序という考え方を定義する。前節で述べた優位関係に推移律が成り立つ場合は、個別の対戦成績から容易に全順序をつけることが可能である。しかしながら、確率密度関数で表される成績の優位関係においては、推移律が成り立たない場合があることがわかっている。そこで本稿では、エージェントの集合全体を通した順序の順当さを以下のように定める。

ある順序にエージェント集合を並べた時、全体を通して、上位のエージェントが下位のエージェントに勝つ確率が、大きいほど、よりその順序は順当であるとする。

よって、その確率が最大化される時を最順当順序と呼ぶことにする。

つまり、形式的に書くとエージェント集合 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ があり、各エージェント対の勝敗度を $\delta_{ij} = \Delta(a_i, a_j)$ とする。この時 δ_{ij} を (i, j) 要素として持つ行列 D を考える。この D は交代行列となるが、この行列の右上領域の負要素の総和が 0 に近くなるように、つまりは行列の右上領域の総和が最大になるように、エージェント集合を順序付けた場合に最順当順序となる。

4. 他の順位付け手法との比較

4.1 実験目的

前章までに定義した最順当順序と平均値などによる順位付けを比較し、それらが順当であるか調査する。また最順当順序に並べた際に全順序にならないようなエージェント集合がある場合は、これについて考察する。

4.2 実験内容・結果

最順当順序で並べた順位付け (most proper) とその他の手法として、成績の平均値による順位付け (average)、成績の中央値による順位付け (median)、総当たり戦における勝率や勝点による順位付けに相当する各エージェント毎の総合的な勝点による順位付け (winning)、また参考値として、1 回のシミュレーションによる順位付けに相当するランダムにサンプリングしたスコアによる順位付け (sampling)、ランダムに順位付け (random) したものを取り上げる。また、順位と比較にあたっては、最順当順序で並べた順位に対するそれぞれのスピアマンの順位相関係数 [Spearman, 1904]、ケンドールの順位相関係数 [Kendall, 1938]、及び最順当順序の節で述べた行列 D の右上部分の負要素の総和を用いる。

実験にあたっては、2017 年の RRS の世界大会で使用されたエージェント 12 種類 (a_1, \dots, a_{12}) と災害シナリオ 5 種類 (m_1, \dots, m_5) を使用する [Faraji et al.,], 各シミュレーションは成績の確率分布を得るため、15 回繰り返し実験を行った。

表 1-表 5 にそれぞれの災害シナリオにおける順序付け手法の比較結果を示す。

4.3 考察 1:最順当順序との比較と計算コストについて

シナリオ m_1, \dots, m_5 の結果を見ると比較的、総合的な勝率による順位付けが最順当順序による順位付けに近く、次に僅差ではあるが中央値による順位付け、平均値による順位付けと並んでいる。サンプリングしたスコアによる順位については、一部のシナリオでは中央値や平均値に並ぶ結果を示している。また負要素の総和は、より 0 に近いほど順当であることを示しているが、各順位付け手法に対して、スピアマン・ケンドール順位相関係数ともに同様の傾向を示している。

一方、各順位付け手法の計算コストを考えると、最順当順序を求めるためには、シナリオ m_1 のように全順序で並べることができない場合、単純に計算すると、すべての順序を試行してみる必要がある。これはエージェント数の階乗回の試行が必要であることを示している。また格段に計算時間は短くなるが、総合的な勝率による順位を求める場合についても、総当たりでスコアの比較を行う必要がある。対して、平均値や中央値は各エージェントのスコアのみから求められる、よって、エージェント数と順序の計算に当てられる時間に応じて、適した手法を選択すべきである。

表 1: シナリオ m_1 における比較結果

Method	Spearman	Kendall	Negative
most proper	1.000	1.000	-0.1333
average	0.860	0.636	-2.4444
median	0.818	0.697	-1.5111
winning	0.951	0.818	-0.9778
sampling	0.783	0.697	-2.3022
random	0.175	0.091	-19.9733

表 2: シナリオ m_2 における比較結果

Method	Spearman	Kendall	Negative
most proper	1.000	1.000	0.0000
average	0.930	0.818	-1.2533
median	1.000	1.000	0.0000
winning	0.979	0.909	-0.1733
sampling	0.916	0.818	-2.0089
random	0.259	0.182	-19.8622

表 3: シナリオ m_3 における比較結果

Method	Spearman	Kendall	Negative
most proper	1.000	1.000	0.0000
average	0.958	0.879	-1.8844
median	1.000	1.000	0.0000
winning	1.000	1.000	0.0000
sampling	0.944	0.818	-3.3156
random	0.105	0.091	-25.0756

表 4: シナリオ m_4 における比較結果

Method	Spearman	Kendall	Negative
most proper	1.000	1.000	0.0000
average	1.000	1.000	0.0000
median	0.818	0.986	-0.1156
winning	0.993	0.970	-0.0222
sampling	0.986	0.939	-0.5244
random	-0.259	-0.182	-34.9733

表 5: シナリオ m_5 における比較結果

Method	Spearman	Kendall	Negative
most proper	1.000	1.000	0.0000
average	0.979	0.909	-0.3422
median	0.986	0.939	-0.0800
winning	0.993	0.970	-0.0133
sampling	0.979	0.909	-0.8933
random	0.182	0.152	-23.2089

表 6: シナリオ m_1 を最順当順序で並べた時の勝敗

Agent	Winning ratio	Win(O) or Lose(X)
a_1	1.000	-0000000000
a_2	0.481	X-0000000000
a_3	0.521	XX-0000000000
a_4	0.456	XXX-0000000000
a_5	-0.084	XXXX-0000000000
a_6	-0.081	XXXXX-0000000000
a_7	0.057	XXXXXX-0000000000
a_8	-0.463	XXXXXXXX-000X
a_9	-0.261	XXXXXXXXX-000
a_{10}	-0.492	XXXXXXXXXX-OX
a_{11}	-0.593	XXXXXXXXXXX-O
a_{12}	-0.535	XXXXXXXXXOX-

表 7: 各シナリオの平均値と中央値による順位付けの相関

Scenario	Spearman	Kendall
m_1	0.692	0.515
m_2	0.930	0.818
m_3	0.958	0.879
m_4	0.986	0.939
m_5	0.972	0.909

4.4 考察 2: 全順序にならない場合について

シナリオ m_1 は、最順当順序の負要素が 0 でないことから、最順当順序が全順序にならなかった。表 6 にシナリオ m_1 を最順当順序で並べた時の勝ち負けを示す。表からもわかる通り、エージェント a_8 以下は全順序がつけられない状態にある。この状態はランキングの下位でエージェントの優劣をつけられなくなっていると捉えられる。つまり下位のエージェントはこの災害シナリオに対して、ほとんど有効な行動を取ることができていないと考えられる。

よって、このような場合は下位のエージェントの成績を無視することで、上位のエージェントを全順序でもって、より短時間で順序付けすることが可能である。

4.5 考察 3: 平均値・中央値による順位の違いについて

表 7 に各シナリオの平均値と中央値による順位付けのスピアマンとケンドールの順位相関係数を示す。2 つの順位付けの相関が強いということは、それだけ順序付けされる対象が安定していると考えられる。実際に今回の実験においても、平均値と中央値による順位付けの相関が大きいほど、最順当順序による順位と他の順位付け手法の相関は大きくなった。特に平均値による順位とサンプリングしたスコアの順位については、同一の傾向を示していた。

本稿の実験回数だけでは不足しているが、十分な回数実験を行えば、今後平均値と中央値による順位付けの相関係数を、各シナリオにおける成績の分布の特徴を知る指標として用いることも可能であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、RRS のようなシミュレーションのエージェントを評価する上で順当と言える順序を定め、これまで経験的に使われてきた平均値などに基づいた順位付けとの比較し、それらが順当といえるものであったかを調査した。結果として全体的に、勝率による順位付けが、最も最順当順序による順位付けと高い相関を示した。続いて中央値や平均値による順位付けも高い相関を示す場合があった。ただし、最順当順序で並べたときにエージェント集合が全順序に並ばない時には、どの手法もあまり順当といえる結果にはならなかった。また全順序にならない場合の傾向の一つとして、下位のエージェントが被災地の被害に対して有効な行動を取れていない場合があることがわかった。さらに、平均値による順位と中央値による順位の相関係数を見ることで、平均値やサンプリングなどによる順位付けと最順当順序による順位付けの近さを知ることができる可能性を示した。

よってやはり順当な順序を得るためには、本稿の最順当順序の節で示した手法で並べる必要があるが、場合によっては平均値などの順位付け手法から、それに近い順序を得られることがわかった。

今後の課題としては、エージェントや災害シナリオの種類、また実験の回数を増やし、平均値と中央値による順位の相関係数から見られた傾向が正しいものであるかの調査すること、より高速に最順当順序を求める手順の確立などが挙げられる。

謝辞

本研究は、文部科学省「ポスト京 萌芽課題」の成果である。

References

- [Elo, 1978] Elo, A. E. (1978). *The rating of chessplayers, past and present*. Arco Pub., New York.
- [Faraji et al.,] Faraji, F., Nardin, L. G., Modaresi, A., Helal, D., and Ito, N. RoboCup Rescue Simulation League Agent 2016 Competition Rules and Setup.
- [Keener, 1993] Keener, J. P. (1993). The Perron-Frobenius Theorem and the Ranking of Football Teams. *SIAM Review*, 35(1):80–93.
- [Kendall, 1938] Kendall, M. G. (1938). A New Measure of Rank Correlation. *Biometrika*, 30(1-2):81–93.
- [Remage and Thompson, 1966] Remage, R. and Thompson, W. A. (1966). Maximum-Likelihood Paired Comparison Rankings. *Biometrika*, 53(1/2):143–149.
- [Scheffe, 1952] Scheffe, H. (1952). An Analysis of Variance for Paired Comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 47(259):381–400.
- [Skinner and Ramchurn, 2010] Skinner, C. and Ramchurn, S. (2010). The RoboCup Rescue Simulation Platform. In *Proceedings of the 9th International*

Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: Volume 1 - Volume 1, AAMAS '10, pages 1647–1648, Richland, SC. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.

- [Spearman, 1904] Spearman, C. (1904). The Proof and Measurement of Association between Two Things. *The American Journal of Psychology*, 15(1):72–101.
- [Takahashi et al., 2001] Takahashi, T., Takeuchi, I., Koto, T., Tadokoro, S., and Noda, I. (2001). RoboCup Rescue Disaster Simulator Architecture. In *RoboCup 2000: Robot Soccer World Cup IV*, pages 379–384, London, UK, UK. Springer-Verlag.
- [Takami et al., 2018] Takami, S., Takayanagi, K., Jaishy, S., Ito, N., and Iwata, K. (2018). *Agent-Development Framework Based on Modular Structure to Research Disaster-Relief Activities*, volume 6.
- [Visser Arnoud et al., 2015] Visser Arnoud, Ito, N., and Kleiner Alexander (2015). RoboCup Rescue Simulation Innovation Strategy. In Bianchi Reinaldo A. C., Akin, H. L., Ramamoorthy Subramanian, and Sugiura Komei, editors, *RoboCup 2014: Robot World Cup XVIII*, pages 661–672. Springer International Publishing, Cham.