

令和元年5月27日現在

機関番号：13302

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2018

課題番号：17K19968

研究課題名（和文）名人の大局観メカニズムの解明および思考の可視化システムの開発

研究課題名（英文）Understanding master's thinking mechanism and developing its visualized system

研究代表者

飯田 弘之（IIDA, HIROYUKI）

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：80281723

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究で提案したシングル共謀数（SCN）は、現局面のミニマックス値がある評価値に更新される可能性を示す共謀数と証明数から派生した概念である。それによって、共謀数の弱点とされた計算コストの問題を解決し、異なる探索枠組みでも容易に応用可能となった。本研究では、SCNの推移を分析することで長期試合パターンを理解することに成功し、思考の可視化への応用を可能にした。思考ゲームの様々なタイプの局面を題材として、提案手法を実装したAIによる評価実験を行ったところ、提案手法の有用性を確認できた。SCNは長期的理解において局面評価の従来アプローチより優れており、局面評価を併用することでさらに効果的となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現局面のミニマックス値がある評価値に更新される可能性が低いことは解の安定性を意味する。解の安定性の指標を見つけることはより優れた解、つまり最善手を見つける上で重要不可欠である。名人の大局観はまさに解の安定性を精密に判断する能力と言える。この意味で、本研究は人工知能の観点から名人の大局観の本質を明らかにした。ただし、名人が解の安定性の指標である共謀数またはシングル共謀数をどのように計算しているのかは今後の課題である。本研究により、試合パターンの長期視野での理解が可能となり、特に、不利な状況に陥ることが予想される場合、早めのリスク管理として対処可能となるので、一般分野への幅広い応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Single Conspiracy Number (SCN) is a variant concept of conspiracy number and proof number which indicates the difficulty of a root node changing its MIN/MAX value to a certain score. It makes up the drawbacks of conspiracy number on computing complexity, and can be easily applied into different search frameworks. This study explores the potential usage of SCN as a long-term position evaluation to understand in-depth game progress patterns. Board game is chosen as a testbed, whereas a strong AI is used. It is implemented with alpha-beta search and modified to produce SCNs during the search process. Experiments are conducted on different types of positions including tactical positions and opening positions. The experimental results show that SCN is more consistent and accurate for long-term position evaluation than the conventional way using evaluation function values only, and using SCN together with evaluation function values enables us to better understand game progress patterns.

研究分野：ゲーム情報学

キーワード：ゲーム木探索 証明数 共謀数 シングル共謀数 大局観 思考の可視化

1. 研究開始当初の背景

Deep Blue (1997) がチェス世界チャンピオンに勝利し、「如何にして試合に勝利するかをコンピュータに教える」という従来のパラダイムはピークを迎えた。自然な延長として、将棋にもそのパラダイムは引き継がれた。ところが、Alpha Go (2016) が囲碁世界チャンピオンを圧倒し、「自己学習によって名人をはるかに超える驚異的な高いレベルに成長させる」という新たなパラダイムが一躍脚光を浴びることになった。その後、Alpha GoはAlpha Zero (2017) へと拡張され、囲碁だけでなく、チェスや将棋などでもゼロベースから自己学習をスタートし、数時間後には世界チャンピオンを超えるレベルに到達する。こうして「自己学習によって驚異的な高いレベルに成長させる」という新たなパラダイムが急ピッチで確立された。思考ゲームを題材としたAIの歴史を振り返ってみると、チェスを題材としたAIの「思考モデル」として、Shannon (1950) や Turing (1953) がミニマックス均衡の概念 (von Neumann 1928) に基づくゲーム木探索方式を提案した。つまり、自分 (相手) の手番では自分の利益を最大化 (最小化) する手続きを先読み探索中に、現在局面 (ルートノード) から再帰的に実行し、指定された深さ (葉ノード) まで探索し、葉ノード局面に評価スコアを与え、ミニマックス値が最大となる指し手を「最善手」とする。実際は、真の意味で最善手であるか否かは、一般に、局面評価法を含めた探索方式に依存する。具体的には、選択的探索かしらみつぶしの全幅探索であるか否か、あるいは、それぞれの局面に評価スコアを割り当てる評価関数の完成度や先読み探索の深さなどがパフォーマンスに影響を与える主な要因となる。このようにして、名人を超える強いAIを実現することのみ重視され、AIはおろか人間の思考プロセスを明らかにする方向の研究が停滞してしまった。

2. 研究の目的

本研究では共謀数の時間推移に着目し、名人の大局観メカニズムの解明を目指す。また、解明されたメカニズムに基づき、名人の思考を可視化するシステムを開発する。共謀数探索において、共謀数はミニマックス木探索におけるノード展開の順序を決定する指標として用いられる。探索の途中でミニマックス値は更新され続け、ミニマックス解が更新されなくなるまで探索が続けられる。これはミニマックス解が十分に安定している (つまり最善手である可能性が高い) ことを意味する。共謀数はミニマックス解の安定性を表す指標と言える。ただし、共謀数は一般にスカラー値ではなく、ある幅を持つ値として表される。有効な情報であるが、計算コストが高いため、強いソフトを開発するには不向きである。

シングル共謀数という共謀数をスカラー値として用いるアイデアを考案・実装した。これによって、膨大な量の探索中でもシングル共謀数を効率よく求めることができる。アルファベータ探索アルゴリズムの枠組みの中でシングル共謀数を求める手法を考案した。象棋を題材として、シングル共謀数の時間推移を解析した結果、通常の評価関数による局面評価の推移分析ではわからない、局面評価の長期的予測が可能となった。これらの成果を名人やアルファ碁などの強いAIの思考可視化に応用できる見込みである。

評価関数の質が高まるか、末端局面まで探索が可能なとき、共謀数は証明数と等価になる。これまでの証明数に関する深い理解は共謀数の応用をさらに発展させるものとして期待される。本研究では、証明数の致命的欠点の一つとなっているシーソー効果を解決するための深層証明数探索アルゴリズムを考案し、いくつかの対象題材で実装しその有用性を検証した。その成果を今後さらに発展させることで、本研究の主目的を実現する上で大いに役立つと期

待される。

3. 研究の方法

共謀数の従来研究のサーベイに基づいて、スカラー値に変換するアイデア（シングル共謀数）を考案したので、そのアイデアをミニマックス木探索アルゴリズムに実装し、有効性を確認した。具体的には、象棋などのゲームを題材として、シングル共謀数を迅速に求めるアルゴリズムを開発し、その値の推移を分析することで試合パターンを分類した。それによって、試合の中長期視野での試合パターンあるいは形勢判断が可能となった。同時に、強いAIの思考過程を把握する指標としてシングル共謀数を利用し、将来の結果予測が可能となったことで、試合途中での戦略変更への応用が可能となった。

4. 研究成果

シングル共謀数という共謀数をスカラー値として用いるアイデアを考案・実装した。これによって、膨大な量の探索中でもシングル共謀数を効率よく求めることが可能となった。アルファベータ探索アルゴリズムの枠組みの中でシングル共謀数を求める手法を考案した。象棋を題材として、シングル共謀数の時間推移を解析した結果、通常の局面評価関数による局面評価値の推移分析ではわからない、局面評価の長期的予測が可能となった。これらの成果を名人やアルファ碁などの強いAIの思考可視化に応用し一定の成果を得た。評価関数の質が高まるか、末端局面まで探索が可能なとき、共謀数は証明数と等価になる。これまでの証明数に関する深い理解は共謀数の応用をさらに発展させることになった。本研究では、証明数の致命的欠点の一つとなっているシーソー効果を解決するための深層証明数探索アルゴリズムを考案し、いくつかの対象題材で実装しその有用性を検証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 24 件)

1. Punyawee Anunpattana, Mohd Nor Akmal Khalid, Umi Kalsom Yusof, [Hiroyuki Iida](#). Analysis of REALM OF VALOR and its Business Model on PC and Mobile Platform Comparison, Asia-Pacific Journal of Information Technology and Multimedia, 査読あり, vol.7, no.2-2, 2019, pp.1-11
2. Zhang Song, [Hiroyuki Iida](#), H. Jaap van den Herik. Probability based Proof Number Search, 11th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART2019), 査読あり, vol.2, 2019, pp.661-668
3. Sarot Busala, Song Zhang, Mohd Nor Akmal bin Khalid, [Hiroyuki Iida](#) and Umi Yusof. Single Conspiracy Number Analysis in Checkers, 11th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART2019), 査読あり, vol.2, 2019, pp.539-546
4. Htun Pa Pa Aung, [Hiroyuki Iida](#). Advantage of Initiative Revisited: A case study using Scrabble AI, The 2nd International Conference on Advanced Information Technologies (ICAIT), 査読あり, vol.1, 2018, pp.1-5
5. Zhang Song, [Hiroyuki Iida](#). Using Single Conspiracy Number for Long Term Position Evaluation, ICGA Journal, IOS Press, 査読あり, vol.40, no.3, 2018, pp.1-12
6. Saajid Abuluaih, Azlinah Mohamed, Muthukkaruppan Annamalai, [Hiroyuki Iida](#). Fog of Search Resolver for Minimum Remaining Values Strategic Coloring of Graph, In: Yap B., Mohamed A., and Berry M. (eds) Soft Computing in Data Science (SCDS 2018). Communications in Computer and Information Science, Springer, 査読あり, vol.937, 2018, pp.201-215
7. Fatin Izzyan, Duy Huynh, Shuo Xiong, Norshakirah Aziz and [Hiroyuki Iida](#), Comparative Study: A case study in Analyzing Gamification between Mindsnacks and Duolingo, JP Journal of Heat and Mass Transfer, Advances in Mechanical System and ICT-convergence, 査読あり, vol.1, 2018, pp. 101-106
8. Bao N.P.H., Xiong S., [Iida H.](#) Reaper Tournament System. In: Chisik Y., Holopainen J., Khaled R., Luis Silva J., Alexandra Silva P. (eds) Intelligent Technologies for Interactive Entertainment. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications

- Engineering, 査読あり, vol. 215, Springer, 2018, pp.16-33
9. Hiroyuki Iida, Where is a line between work and play? 情報処理学会研究会報告, 査読なし, Vol.2018-GI-39, No.13, 2018, pp.1-6
 10. Suwanviwatana Kananat, Jean-Christophe Terrillon, Hiroyuki Iida, Possible Interpretation of Mass-in-Mind: a case study using SCRABBLE, eKNOW 2018: The 10th International Conference on Information, Process, and Knowledge Management, 査読あり, vol.1, 2018, pp. 26-31
 11. Xin O.W., Zuo L., Iida H., Aziz N., Gamification Effect of Loyalty Program and its Assessment using Game Refinement Measure: Case Study on Starbucks, Computational Science and Technology (ICCST 2017). Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, 査読あり, vol.488, 2018, pp.161-171
 12. Shuo Xiong, Wenlin Li, Xinting Mao, Hiroyuki Iida, Mafia Game Setting Research Using Game Refinement Measurement, Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2017), Lecture Notes in Computer Science, Springer, 査読あり, vol.10714, 2017, pp.830-846
 13. Duy Huynh, Hiroyuki Iida, An Analysis of Winning Streak's Effects in Language Course of Duolingo, Asia-Pacific Journal of Information Technology and Multimedia, 査読あり, vol.6, no.2, 2017, pp.23-29
 14. Shuo Xiong, Long Zuo, Zeliang Zhang, Hiroyuki Iida, Individual Game Information Evaluation using Signal Processing Measurement, The 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2017), 査読あり, vol.1, 2017, pp.1400-1404
 15. Long Zuo, Shuo Xiong, Hiroyuki Iida, An Analysis of Hotel Loyalty Program with a focus on the Tiers and Points System, The 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2017), 査読あり, vol.1, 2017, pp.507-512
 16. Suwanviwatana Kananat and Hiroyuki Iida, First Results from Using Game Refinement Measure and Learning Coefficient in Scrabble, CoRR, abs/1711.03580, 査読なし, 2017
 17. Duy Huynh, Phuc Luong, Hiroyuki Iida and Razvan Beuran. Design and Evaluation of a Cybersecurity Awareness Training Game, The 14th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), Lecture Notes in Computer Science, 査読あり, vol.10507, 2017, pp.183-188
 18. Shuo Xiong, Long Zuo and Hiroyuki Iida, Possible Interpretations for Game Refinement Measure, The 14th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), Lecture Notes in Computer Science, 査読あり, vol.10507, 2017, pp.322-334
 19. Long Zuo, Shuo Xiong and Hiroyuki Iida, An Analysis of DOTA2 using Game Refinement Measure, The 14th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), Lecture Notes in Computer Science, 査読あり, vol.10507, 2017, pp.270-276
 20. Long Zuo and Hiroyuki Iida, An Analysis of Sales Promotion 'Discount' using Game Refinement Measurement, The 14th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), Lecture Notes in Computer Science, 査読あり, vol.10507, 2017, pp.487-491
 21. H. Iida, Serious games discover game refinement measure, 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), 査読あり, 2017, doi:10.1109/ICECOS.2017.8167112
 22. Z. Song and H. Iida, Using single Conspiracy Number to analyze game progress patterns, 2017 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS), 査読あり, 2017, doi: 10.1109/CITS.2017.8035312
 23. Zhang S., Iida H., van den Herik H.J. Deep df-pn and Its Efficient Implementations. In: Winands M., van den Herik H., Kusters W. (eds) Advances in Computer Games (ACG 2017). Lecture Notes in Computer Science, 査読あり, vol. 10664. 2017, pp.73-89
 24. Carvalho D.S., Nguyen M.L., Iida H. An Analysis of Majority Voting in Homogeneous Groups for Checkers: Understanding Group Performance through Unbalance. In: Winands M., van den Herik H., Kusters W. (eds) Advances in Computer Games (ACG 2017). Lecture Notes in Computer Science, 査読あり, vol. 10664, 2017, pp.1-11

[学会発表](計 19 件)

1. Zhang Song, Hiroyuki Iida, H. Jaap van den Herik. Probability based Proof Number Search, 11th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART2019), 2019
2. Sarot Busala, Song Zhang, Mohd Nor Akmal bin Khalid, Hiroyuki Iida and Umi Yusof. Single Conspiracy Number Analysis in Checkers, 11th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART2019), 2019
3. Htun Pa Pa Aung, Hiroyuki Iida. Advantage of Initiative Revisited: A case study using Scrabble AI, The 2nd International Conference on Advanced Information Technologies (ICAIT), 2018
4. Saajid Abuluaiah, Azlinah Mohamed, Muthukkaruppan Annamalai, Hiroyuki Iida. Fog of Search Resolver for Minimum Remaining Values Strategic Coloring of Graph, Soft Computing in Data Science (SCDS 2018). 2018

5. Bao N.P.H., Xiong S., Iida H. Reaper Tournament System. Intelligent Technologies for Interactive Entertainment (INTERTAIN2017). 2018
6. Hiroyuki Iida , Where is a line between work and play? 情報処理学会研究会 , 2018
7. Suwanviwatana Kananat, Jean-Christophe Terrillon, Hiroyuki Iida, Possible Interpretation of Mass-in-Mind: a case study using SCRABBLE, eKNOW 2018: The 10th International Conference on Information, Process, and Knowledge Management, 2018
8. Xin O.W., Zuo L., Iida H., Aziz N., Gamification Effect of Loyalty Program and its Assessment using Game Refinement Measure: Case Study on Starbucks, Computational Science and Technology (ICCST 2017). 2018
9. Shuo Xiong, Wenlin Li, Xinting Mao, Hiroyuki Iida, Mafia Game Setting Research Using Game Refinement Measurement, Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2017), 2017
10. Shuo Xiong, Long Zuo, Zeliang Zhang, Hiroyuki Iida. Individual Game Information Evaluation using Signal Processing Measurement, The 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2017), 2017
11. Long Zuo, Shuo Xiong, Hiroyuki Iida. An Analysis of Hotel Loyalty Program with a focus on the Tiers and Points System, The 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2017), 2017
12. Duy Huynh, Phuc Luong, Hiroyuki Iida and Razvan Beuran. Design and Evaluation of a Cybersecurity Awareness Training Game, The 14th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), 2017
13. Shuo Xiong, Long Zuo and Hiroyuki Iida. Possible Interpretations for Game Refinement Measure, The 14th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), 2017
14. Long Zuo, Shuo Xiong and Hiroyuki Iida. An Analysis of DOTA2 using Game Refinement Measure, The 14th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), 2017
15. Long Zuo and Hiroyuki Iida. An Analysis of Sales Promotion 'Discount' using Game Refinement Measurement, The 14th International Conference on Entertainment Computing (ICEC2017), 2017
16. H. Iida. Serious games discover game refinement measure, 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), 2017
17. Z. Song and H. Iida. Using single Conspiracy Number to analyze game progress patterns, 2017 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS), 2017
18. Zhang S., Iida H., van den Herik H.J. Deep df-pn and Its Efficient Implementations. Advances in Computer Games (ACG 2017). 2017
19. Carvalho D.S., Nguyen M.L., Iida H. An Analysis of Majority Voting in Homogeneous Groups for Checkers: Understanding Group Performance through Unbalance. Advances in Computer Games (ACG 2017). 2017

〔図書〕(計1件)

Rayner Alfred, Hiroyuki Iida, Ag. Asri Ag. Ibrahim, Yuto Lim (eds). Springer, Computational Science and Technology - ICCST 2017. 2018. 466

6 . 研究組織

(2)研究協力者

研究協力者氏名：ヤップ・ファン・デン・ヘリック

ローマ字氏名：Jaap van den Herik (Leiden University, The Netherlands)

研究協力者氏名：ウミ・カルソン・ユソフ

ローマ字氏名：Umi Kalsom Yusof (University of Science Malaysia, Malaysia)

研究協力者氏名：ハドザリア・イスマル

ローマ字氏名：Hadzariah Ismail (Universiti Malaysia Sabah, Malaysia)

研究協力者氏名：ノルシャキア・アジズ

ローマ字氏名：Norshakirah Aziz (Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia)

研究協力者氏名：ウエンリン・リ

ローマ字氏名：Wenlin Li (Huazhong University of Science and Technology, China)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。