

Title	パズルの解法アルゴリズムと情報推移に伴うエンターテインメントの解析
Author(s)	劉, 暢
Citation	
Issue Date	2022-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/18136">http://hdl.handle.net/10119/18136</a>
Rights	
Description	Supervisor:飯田 弘之, 先端科学技術研究科, 博士

氏 名	LIU, Chang
学 位 の 種 類	博士 (情報科学)
学 位 記 番 号	博情第 480 号
学 位 授 与 年 月 日	令和 4 年 9 月 22 日
論 文 題 目	Solving Puzzles and Its Entertaining Analysis in Informational Progresses
論 文 審 査 委 員	主査 飯 田 弘 之 北陸先端科学技術大学院大学 教授
	池 田 心 同 教授
	白 井 清 昭 同 准教授
	Shun-Chin Hsu 国立台湾大学 名誉教授
	橋 本 剛 国立松江工業高等専門学校 教授

## 論文の内容の要旨

As a human activity with an ancient history, games not only serve for fun but also promote the development of entertainment technology. The vast majority of puzzle games are known as single-agent games in the area of mental exercises, such as N-puzzle and Rubik's Cube. Solving puzzles helps to understand better information variation and stochastic characteristics in the solving progress. Puzzles can be divided into two categories: puzzles without hidden information and puzzles with hidden information, representing the certainty and uncertainty factors in the puzzle-solving process, respectively. Uncertainty in a puzzle affects the way players experience entertainment and affects the solvability of the puzzle. In general, the purpose of a puzzle is to allow the player to explore for the optimal solution. Recent related work on applying search algorithms to the puzzle domain can be divided into two directions. The first direction is using puzzles as experimental platforms to verify the performance of the algorithm, while the other is using the search algorithm to find the optimal solution to the puzzle. Few studies have focused on hidden information in puzzles on solvability. However, observing the information in the puzzle-solving process may lead to a link between the puzzle and the game.

In this thesis, the A\* algorithm was used to solve N-puzzle and dynamic information in the solving progress. It explores information by solving puzzles in an optimal way and entertaining analysis way. In addition, a solving strategy based on Gauss–Jordan Elimination and Constraint Satisfaction Problem was proposed to solve Minesweeper to explore the link between puzzles and games. The winning rate based on this strategy provides a new perspective on the definition of puzzles.

This thesis focuses on solving puzzles, and its entertaining analysis of information progresses.

(1) Solving an 8-puzzle with the randomly generated initial position using the A\* algorithm as the AI player. By adopting total steps to solve the game and the success rate as the game progress model, the attractiveness and sophistication of this puzzle have been discussed. Such findings could contribute to the evolutionary changes in sliding puzzle games.

(2) To develop an AI solver of Minesweeper with the configuration of 9 x 9 | 10, 16 x 16 | 40, and 16 x 30 | 99, based on the obtained information on the board, called the 'PAFG' strategy, which stands for the primary reasoning, the advanced reasoning, the first action strategy, and the guessing strategy. The first two strategies take advantage of knowledge-based rules and linear system transformation (Gauss-Jordan elimination algorithms) to determine the probability of making a move independently. The last two strategies explore the beginning and ways to determine hidden puzzle states to enhance the winning rate of the AI solver. Such an AI solver could contribute to classifying single-agent stochastic puzzles and establishing the boundary of the puzzle-solving and game-playing paradigm.

(3) To explore puzzle categories based on the perspective of Minesweeper solvability and find the border between puzzles and games, as well as study the motion in mind to the entertainment analysis of solving puzzle field. Moreover, to discover significant characteristics from the perspective of information dynamics in the solving process and reveal the internal laws behind players' behavior. The experiment demonstrates the link between solving puzzles and playing games from an entertaining analysis view. Even more, it has become indispensable in the field of puzzle-solving and entertainment analysis and influences the way of puzzle-solving and the solving experience.

Keyword: Puzzle Solver; Information Dynamic; A\* algorithm; Gauss–Jordan Elimination; Constraint Satisfaction Problem

## 論文審査の結果の要旨

本学位論文ではパズルの遊戯性の新たな評価法を提案しその妥当性を検証した。この目的を達成するために、確定的/非確定的の観点から異なるタイプのパズルのソルバを開発し、様々なパズルを対象として開発したソルバの性能評価実験を行い種々のデータを収集し、遊戯性評価のための分析を行った。パズルの遊戯性評価に際してゲーム洗練度指標および思考の世界の力学から導出される指標を用いた。本研究を通して得られた主な知見を以下に記載する。

(第3章) 確定的パズルである N-puzzle (N は 3 以上の自然数) を題材としてソルバを開発し、様々な初期局面を問題として与え、解に到達するまでの合計ステップ数 (解の長さ) など解答プロセスでの種々のデータを収集した。また、N-puzzle 問題を解くタスクに 10 人の被験者が参加し、同じようにデータ収集した。これらのデータを比較し、パズル問題の遊戯性の特性を考察した。

(第4章) 非確定的パズルのマインスイーパーを題材として、知識指向型のプログラム実装を行い、従来の解性能を上回るソルバを開発した。非確定的パズルに対して最強ソルバを自前で用意することで、解答プロセスでの種々のデータを収集し、遊戯性評価に利用することが可能となる。

(第5章) 対象となるゲームの確定性/非確定性に着目し「ゲームを解く」ことについて考察し、決定論的に解けるパズルと確率的に解けるパズルに分類することでパズルの遊戯性についてより深い洞察が得られた。ゲームの面白さとパズルの面白さの相違点を考察し、これまで確定的ゲームに限定されていた「ゲームを解く」ことの定義を非確定的ゲームへと拡張した。結果として、ゲームとパズルの境界を特定することになり、その境界近傍が思考の世界の力学の指標である客観的強化 (位置エネルギーに相当) が最大化する。つまり、パズル創作の際に、当該強化を最大化するように設計するとその魅力が高めることができる。

当該学位論文提出者は、令和4年8月1日に開催された公聴会において以上の内容を簡潔にまとめ丁寧に説明した。その後の質疑においても、一つ一つの質問に対して適切に回答し、本研究での新規性や妥当性を確認することができた。

以上、本論文は、ゲーム・エンタテインメント分野においてパズルを題材とした遊戯性評価およびその応用としてのパズル設計について先駆的研究を遂行したものであり、学術的に貢献するところが大きい。よって博士 (情報科学) の学位論文として十分価値あるものと認めた。