

図2 改良前のヒント生成アルゴリズム。解の個数が1のヒント集合 H を生成した時点で終了する。ヒント数14時点の解の個数 C と閾値 R の大小関係によって処理を分岐する。 $(v, \rho) = (4, 2)$ と設定している。本研究では緑色の処理をなくすことを目的としている。

あるBSとAXを説明する。

BSは木構造上に根からスタートする v 本のパスを考へて、それらのパスから同時に伸ばしながら最適なノードを探索するヒューリスティックな探索アルゴリズムである。BSの性能は v によって大きく変化するため慎重に設定する必要がある。AXは深さ優先探索の効率を改良したものであり、厳密集合被覆問題 (exact set cover problem) という問題を解くためのアルゴリズムである。

4 最適ビーム幅について

本研究ではBSのビーム幅 v と上限 ρ の組の最適値を調べる。 v と ρ を適切な値に設定することで先行研究 [2] のアルゴリズムのリセット処理 (図2の緑色の遷移) をなくした場合でも [2] のヒント数17の問題生成確率である約83%から低下させないようにすることを考える。実験の詳細は、ビーム幅 v を3~10の範囲で変化させるとともに、上限 ρ を2~ v まで変化させて得る全ての組 (v, ρ) を用いて先行研究 [2] のアルゴリズム図2からリセット処理をなくしたアルゴリズムでヒント生成を行い、各組のヒント数17の問題生成確率を調べた。実験結果を図3に示す。図3より、 $(v, \rho) = (10, 2)$ の場合が最もヒント数17の問題生成確率が高く、約87%であった。1つの問題の平均生成時間*1は先行研究 [2] で約75分であったのに対し、 $(v, \rho) = (10, 2)$ の場合は約86分であった。1つの問題の平均生成時間が先行研究 [2] と同等であった $(v, \rho) = (8, 2)$ のヒント数17の問題生成確率は約79%であった。

5 まとめと今後の課題

ヒント数17の問題生成確率は $(v, \rho) = (10, 2)$ の場合に最も高く、約86%であった。これは、先行研究 [2] の約83%より良い結果である。 v を大きくするほど、 ρ を小さくするほど様々な種類のヒント集合を生成できる

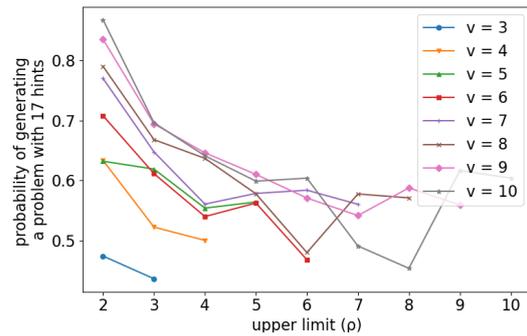


図3 ビーム幅 v と上限 ρ の組とヒント数17の問題生成確率の関係。

ため、このような結果になったと考えられる。しかし、先行研究 [2] の1つの問題の平均生成時間は約75分に対し、 $(v, \rho) = (10, 2)$ の場合は約86分であった。ヒント数14まで生成する際に用いるSAの効率を向上させることは今後の課題である。本研究ではSAとAXを用いるパートの実行時間比が約3:1であったため、SAの効率を改善することにより問題生成時間を大きく短縮させることができる。また、リセット処理 (図2の緑色の遷移) の有無により生成する問題の質が変化するか調べることも今後の課題である。

参考文献

- [1] 古川 湧：ヒントの少ない数独パズルの生成に関する研究。2020年度名城大学大学院理工学研究科修士論文 (2021)。
- [2] 長尾 卓：ビームサーチを用いたヒント数17の数独パズルの効率的な生成について。ゲームプログラミングワークショップ2022論文集, pp. 96-103 (2022)。
- [3] G. McGuire, B. Tugemann, and G. Civario: There is no 16-clue Sudoku: Solving the Sudoku minimum number of clues problem via hitting set enumeration. *Experimental Mathematics*, 23:2, pp. 190-217 (2014)。
- [4] 池田 智悟, 窪田 耕明：シミュレーテッドアニーリング概説。http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/monthly/monthly00/20000415/ikeuchi_kubota.pdf, 参照 2021-01-06 (2000)。
- [5] 長谷洋斗, 川原純, 笠原正治：解の多様性を考慮したビームサーチと局所探索法によるフロンティア法を高速化するための変数順序付け。第112回人工知能基本問題研究会, pp. 30-35 (2020)。
- [6] D. E. Knuth: Dancing links. *Millennial Perspectives in Computer Science*, pp. 187-214 (2000)。

*1 実行環境は以下の通りである：OS：Linux Ubuntu 16.04.7, CPU：Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2640 v4 @ 2.40GHz, メモリ：64G, コンパイラ：gcc5.4.0。