

ヒント数 17 の数独パズルの効率的な生成に関する研究

223426015 長尾 卓

山本研究室

1. はじめに

数独パズルは、ペンシルパズルの一種である。ペンシルパズルとは、問題に対して答えを徐々に鉛筆で書き込んでいき、答えを導くようなパズルのことである。ペンシルパズルには、数独パズルのほかにスリザーリンクや虫食い算などが知られている。数独パズルは、与えられたヒント（例：図 1 左）から、1 から 9 の数字を用いて縦、横、 3×3 ブロックのどの数字も重複させないように、マス埋めていくパズルである。図 1 左で与えられる問題の答えは図 1 右である。また、1 つの問題から得られる最終盤面はただ 1 通りである必要がある。以降、数独パズルの最終盤面を「解」と表す。先行研究 [1] では、ヒント数が少ない数独パズルの問題を効率よく生成することを目的としていたが、本研究では、ヒント数 17 の問題を効率よく生成することを目的とする。ヒント数 17 の下限は 17 であることは [3] により証明されている。

2. 本研究の背景

ヒント生成アルゴリズムは [1] の方法を改善したものである。[1] のヒント生成アルゴリズムは、まず、ヒント集合 $H^{(0)} = \emptyset$ を用意する。 $H^{(0)}$ の右肩の数字はヒント集合のサイズを表す。次に、適切なヒント h を $H^{(i)}$ に追加していき、 $H^{(i)}$ から得られる解の集合の大きさ $|S(H^{(i)})|$ を徐々に減少させていく。 h はマスの位置 p と数字 n の組である。適切な h とは、 $H^{(i)}$ に追加した後に最も $|S(H^{(i)})|$ が減少するような h のことである。最終的には、 $|S(H^{(i)})| = 1$ となるまで h を $H^{(i)}$ に追加して問題を生成する。 h の選択方法は、 $H^{(i)}$ から得られる解を全て列挙し、得た解に出現した場所と数字の組である複数の要素のうち最も出現回数が少ない要素を h とする。なお、 $H^{(i)}$ から得られる解を列挙するためには、先行研究のようにバックトラック (BT) を用いればよい。一方で、 $H^{(i)}$ ($i < 14$) は十分に解集合が減少せず、AX で解を列挙することは効率が悪い。そのため、シミュレイトッド・アニーリング (SA) を用いることで $H^{(i)}$ から得られる解を偏りなく等確率に多く生成することを行い、確率的に h を選択する。

3. 執筆要領

3.1 マージン

マージンは以下を目安として、設定してください。

			2	1			3
5	9			8			
	2	3		4			
1			6			5	9
	3						4
			5			8	

7	4	8	5	2	1	9	6	3
5	9			8	3	2	4	1
3	2	1	9	4	6	8	7	5
6	5	2	3	9	4	7	1	8
1	3	4	2	7	8	5	9	6
9	8	7	6	1	5	4	3	2
2	7	3	8	6	9	1	5	4
4	6	9	1	5	2	3	8	7
8	1	5	4	3	7	6	2	9

図 1: 17 個のヒントによる数独パズルの問題（左）とその解（右）。

- 上マージン：30mm
- 下マージン：27mm
- 左マージン：25mm
- 右マージン：25mm
- カラム間マージン：7mm

3.2 タイトル情報

上部に以下のタイトル情報をページ全体にわたってセンタリングして 1 段組で記述してください。

- タイトル
- 学籍番号と氏名
- 所属研究室

3.3 本文

本文は 2 段組で記述してください。

本文は、必要に応じて節に分けて記述してください。ただし、2 レベルまでとし、1, 1.1, 1.2, … のようにナンバリングしてください。

3.4 図表

図および表には、図 1、表 1 のような通し番号と、名称を記述してください。ただし、図の場合には図の下部に、表の場合は表の上部に記述してください。

3.5 参考文献

参考文献は、本文内で [?][?] のように引用し、本文に続いて、参照した文献のリストを掲載してください。参考文献は原則として以下のように記してください。

(1) 雑誌の場合

著者: 標題, 雑誌名, 巻, 号, ページ (発行年).

(2) 単行本の場合

著者: 書名, ページ数, 発行所 (発行年).

4. テンプレートおよびスタイルファイル

Microsoft Word 用のテンプレートと、 \LaTeX 用のスタイルファイルを用意してあります。招待を受けた Google Classroom からダウンロードして利用してください。

4.1 Word 用テンプレート

マージンおよび以下のスタイルが登録してありますので、使ってください。

- アブストラクトタイトル
- アブストラクト著者
- アブストラクト所属
- アブストラクト見出し 1 (1, 2, 3, …)
- アブストラクト見出し 2 (1.1, 1.2, …)
- アブストラクト見出し 3 ((1), (2), …)
- アブストラクト本文
- アブストラクト箇条書き (これ)
- アブストラクト文献見出し (「参考文献」)
- アブストラクト文献

4.2 L^AT_EX 用のスタイルファイル

以下のように指定してください。

```
\documentclass[a4paper,9pt]{jarticle}
\usepackage{ieabst}
\usepackage{newenum}
\usepackage[dvipdfmx]{graphicx}
```

newenum.sty は、Word テンプレートのスタイル「アブストラクト見出し 3((1), (2),...)」に相当するものです。enumerate 環境と同様に以下のように使用してください。

```
\begin{newenumerate}
\item {\bf アブストラクト見出し}
...
\end{newenumerate}
```

その他は通常のコマンドを使って執筆してください。そのほかの注意事項は、サンプルファイルを参照してください。

また、.latexmk ファイルを同梱したので、latexmk コマンド一発でコンパイルできます。

5. PDF ファイルについて

Word, L^AT_EX とも、PDF ファイルを提出してください。Word の場合は docx ファイルを、L^AT_EX の場合はコンパイルに必要なソースファイル・図のファイルをまとめて圧縮した ZIP ファイル（特殊なスタイルファイルを用いた場合はそれも含める）を同時に提出してください。Word ファイルと PDF ファイルについては圧縮する必要はありません。PDF ファイルの作成時は、フォントをすべて埋め込んでください。また、アブストラクトを白黒プリンタで印刷する場合があります、その場合にカラー画像が見にくくなることを覚悟してください。

6. L^AT_EX 用サンプル

6.1 数式のサンプル

数式のサンプルです。下記の式 (1) のように入力します。

$$\begin{cases} \dot{\vec{x}}(t) &= \vec{A}\vec{x}(t) + \vec{B}\vec{u}(t) \\ \vec{y}(t) &= \vec{C}\vec{x}(t) \end{cases} \quad (1)$$

6.2 図表のサンプル

図および表には、図 2、表 1 のような通し番号と、名称を記述してください。ただし、図の場合には図の下部に、表の場合は表の上部に記述してください。

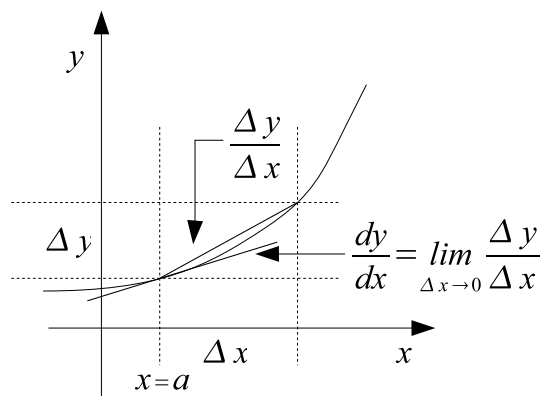


図 2: EPS 図のサンプル

6.3 参考文献のサンプル

参考文献引用のサンプルです [?][?].

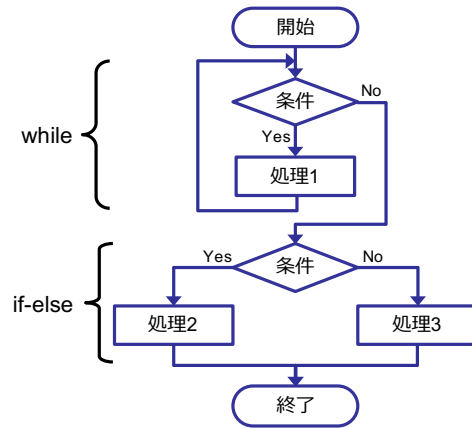


図 3: PDF 図のサンプル

表 1: 表のサンプル

p	q	$p \rightarrow q$	$(p \rightarrow q) \wedge q$
T	T	T	T
T	F	F	F
F	T	T	T
F	F	T	F

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] D. E. Knuth: Dancing links. *Millennial Perspectives in Computer Science*, pp. 187–214 (2000).