

Pict-Doku: 入力画像に基づく数独問題自動作成システムの提案

谷尾祐香里^{1,a)} 越後宏紀^{1,b)} 上河恵理^{1,c)} 阿原一志^{1,d)}

概要: 数独 (ナンバープレース) は多くの人に親しまれているペンシルパズルである。一般的には難易度で分類された問題を解くことだけに興味が集中されるため、ヒントの位置のデザインは重要視されないことが多い。しかし、数独を解くだけでなくデザインに重点を置いた数独の問題を作成するという楽しみ方もあると考えられる。そこで本稿では、ユーザが準備した画像を原画とするような数独の問題が容易に自動生成されるシステムを提案、実装した。

Pict-Doku: A proposal of automatic generator system of sudoku problems based on illustrations

YUKARI TANIO^{1,a)} HIROKI ECHIGO^{1,b)}
ERI KAMIKAWA^{1,c)} KAZUSHI AHARA^{1,d)}

Abstract. Sudoku is a pencil puzzle which is very familiar to many people all over the world. In general, Most of sudoku lovers are only interested in solving problems classified by difficulty, and they do not place great importance on clue designs. On the other hand, we suppose that joy of sudoku is not only solving a given problem but also generating an original sudoku problem over an original clue design. In this paper, we propose and implement a system that allows users to generate original sudoku problems automatically whose clue design is based on users' illustrations.

1. はじめに

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

図 1 提案システムで作成した数独の問題例

Figure 1 an example of a sudoku problem by our system

数独とは、図 1 のように 3×3 のブロックに区切られた 9×9 の正方形の枠内に 1 から 9 までの数字を入れるペンシルパズルのひとつである。数独の問題にはヒントとなる数字が予め配置されていて (以下、ヒントと呼ぶ)、そのヒントをもとにひとつしかない答えを導き出す。数独は新聞に掲載されていたり、数独の問題集が多くの書店で売られていたり、近年ではスマートフォンのアプリもあり数多くの人に普及し親しまれている。

このように、数独は問題を解くという楽しみ方が一般的である。その一方で、数独にはオリジナルな数独の問題を作成するという楽しみ方もある。数独の問題を作成する際、まずヒントのデザインを決めなければならず、そのうえで数独のルールを満たし答えがひとつに決まらなければならない。このことから、自分の気に入ったデザインの問題を作成したり、視覚的に楽しみながら問題を解けるようなデザインの問題を作成したりすることは大変難しい。そこで本稿では、画像をドラッグアンドドロップすることで数独の問題を自動生成するシステムを提案、実装した。

2. 関連研究

数独の問題を自動生成するシステムはすでに研究されていて、前田らは計算機による数独問題の作成支援について

1 明治大学 Meiji University

a) ev50584@meiji.ac.jp

b) ev40587@meiji.ac.jp

c) ev40592@meiji.ac.jp

d) ahara@meiji.ac.jp

提案している[1]. 座間らは初期配置が指定された場合に適した数独問題生成手法の提案と実装を行っている[2]. ヒントの配置を問題制作者に指定させ、それに従って問題を生成するシステムを実装し、かつヒントの少ない問題を高速に生成できる問題生成手法の実装を目的としている.

また, Gary McGuire らによってヒントの数が 16 以下のものが存在しないということが証明されている[3]. したがって, 数独のヒントの最小数は 17 であることがすでに分かっている.

本稿では, 座間らのようにユーザがヒントの配置を指定し, それに従って問題を自動生成するシステムを提案する. ただし, ヒントの数の少なさを追求するのではなく, ユーザにとって満足のいくデザインを自動生成することと, その作成の容易さを目的として実装する.

3. システムの実装

提案システムは Processing 2.2.1 を使用して実装した.

3.1 解法アルゴリズム

問題を作成するにはまず問題を解くプログラム (ソルバー) が必要である. 解く手段には様々な名称があるが, HoDoKu[4]を参考にした.

- **naked single**: そのマスに入る数字が 1 つしかないとき, その数字が入る.
 - **hidden single**: ある行, 列, 3×3 のブロックごとに入る数字が 1 つしかないとき, その数字が入る.
 - **Locked Candidates type1(Pointing)**: 3×3 のブロック内においてある数字が特定の行, 列に限定されるとき, その行, 列でブロックの外に同じ数字が入らない.
 - **naked pair**: ある行, 列, 3×3 のブロックにおいて, ある 2 つの数字のみが候補であるマスが 2 つしかないとき, その 2 つ以外のマスにその 2 つの数字は入らない.
 - **hidden pair**: ある行, 列, 3×3 のブロックにおいて, ある 2 つの数字が候補として入るマスが 2 つしかないとき, そのマスにはその 2 つの数字のみしか入らない.
 - **X-Wing**: 特定の 2 つの行, 列においてある数字が候補として入るマスがそれぞれ 2 か所ずつしかないとき, その行, 列における他のマスにはその数字が入らない.
- 以上の 6 つの手段を実装した.

3.2 作問アルゴリズム

問題生成アルゴリズムは, とん氏が述べているものを実装した[5]. 以下のアルゴリズムは[5, pp.105-106]から引用したもので, 数字が決まらなかったマスの数を最小にするという方法である.

① ヒント配置を入力する.

② ①で入力したヒント位置に, ルールに違反しないように数字をランダムに入れる.

③ ヒントの数字を変更する.

③-1 ヒントを 1 個選ぶ.

③-2 選んだヒントの数字を変更する.

③-3 解ける問題ならば終了.

③-4 ソルバーによって数字が決まらなかったマスの数が減った場合, その変更を採用する.

④ ③へ戻る. ただし, どのヒントを変更しても上記のマスの数が減らない場合は②へ戻る.

3.3 提案システム

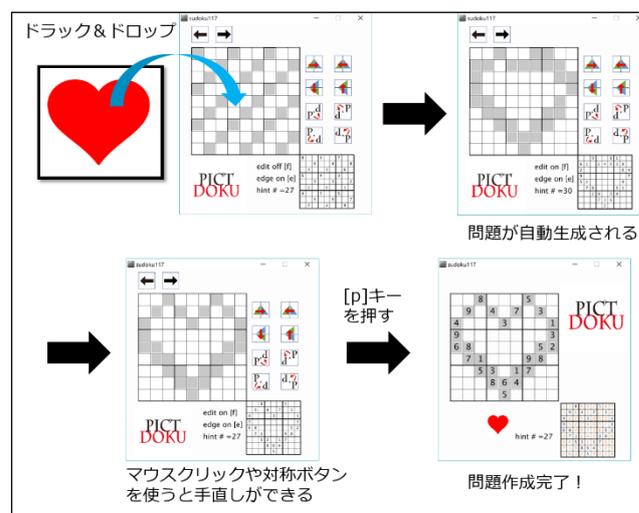


図 2 問題作成の手順

Figure 2 Procedure of a generate problem

図 2 のように, ユーザが画像をドラッグアンドドロップすると, システムはその画像をもとにヒントの位置を決定し, 数独の問題を自動生成する. 具体的には, 入力された画像から線を主体とする画像に変換し二値化したのちに画像全体を 81 分割して黒画素の個数の多い順に 30 か所程度を取り出してヒントの位置として決定する. その後に作問アルゴリズムで問題の自動生成を行う.

ヒントの位置はマウスクリックにより容易に編集することができる. 編集されたヒントの位置に応じて問題が自動生成される. また, 点対称機能及び線対称機能があり, ヒントの位置が点対称または線対称である問題をユーザが容易に生成できるようにした.

図 3 はモニターによる作例である. 文字画像を入力した場合には, 線を主体とする画像であるので二値化ののちにヒントの位置を決定した. ハートマークのように面を主体とする画像のときには, 線を主体とする画像に変換するためにエッジ検出を行うオプションを用いて二値化ののちにヒントの位置を決定することも可能である.

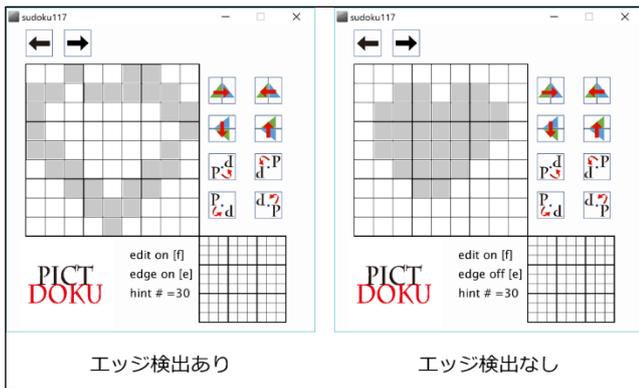


図 3 エッジ検出の有無
Figure 3 About edge detection

4. ユーザビリティ

4.1 ユーザビリティ検証と調査

本システムのユーザビリティ及びユーザが容易に数独の問題を制作できるかを検証するために、2016年8月18、19日に行われた明治大学のオープンキャンパスにてデモブースを設置し、来場者（主に中高生）を対象に本システムの実演デモンストレーションを行った。また、2016年9月にはアンケートによるユーザビリティの調査を行った。

4.1.1 オープンキャンパスによるユーザビリティ検証

オープンキャンパスのデモブース（写真1）では、数独のデザインのもとになる文字・記号・マークの画像を80種類以上用意した。来場者の中高生を対象に本システムの説明を一通りした後、実際に本システムを用いて問題を作成してもらい、完成した数独の問題を紙に印刷してプレゼントした。印刷した数独問題は図4のようなものである。

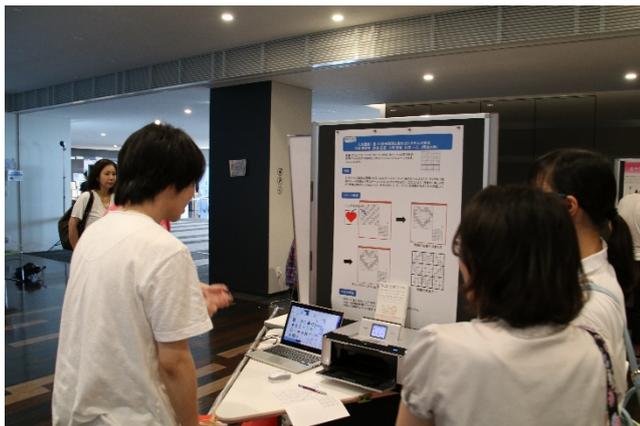


写真 1 オープンキャンパスの様子
Photo 1 state of the open campus

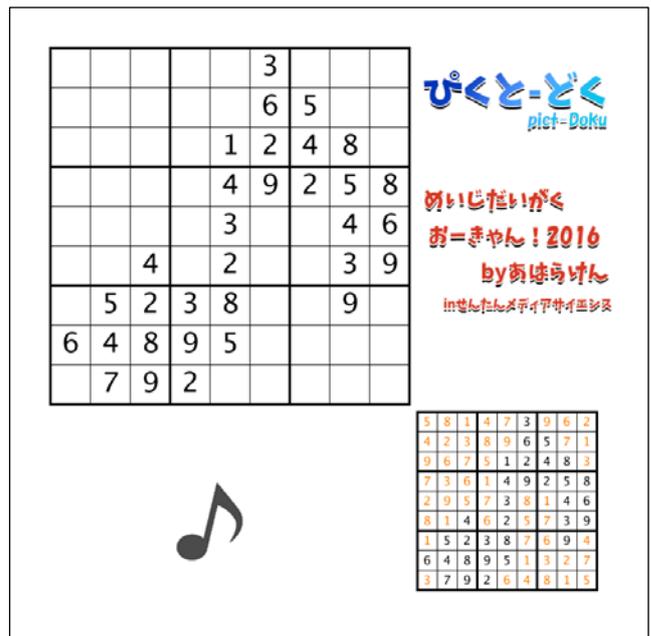


図 4 オープンキャンパスで印刷した数独問題
Figure 4 Printed paper of a sudoku problem at open campus

4.1.2 アンケートによるユーザビリティ調査

オープンキャンパスでの検証を踏まえて、より詳しい調査をアンケートにて行った。調査の最初に数独に関する経験や被験者の考え方を聞き（事前アンケート）、その後システムの説明をして実際にシステムを使ってもらう。その後に本システムに対する意見を聞き取った（事後アンケート）。アンケート内容は以下の通りである。

①事前アンケート

- ・年齢はいくつか。（10代・20代・30代・40代・50歳以上）
- ・数独でよく遊ぶか。（はい・いいえ）
- ・数独の問題を自分で作ったことがあるか。（はい・いいえ）
- ・もし数独の問題を自分で作ることができたら解いてみたいと思うか。（はい・いいえ）
- ・数独の問題図案が絵になっていると楽しいと思うか。問題図案が絵になっていてもあまり関係ないか。（楽しい・ふつう・関係ない）
- ・数独の問題について、デザインと難易度のどちらかを選べるとすれば、どちらを重視するか。（デザイン・難易度・どちらもでない）
- ・ヒント数の少ない数独の問題を作成することに興味があるか。（はい・いいえ）
- ・難易度の高い数独の問題を作成することに興味があるか。（はい・いいえ）
- ・ヒントの位置が同じでいろいろな問題を作れるとしたら面白いと思うか。（はい・いいえ）

- ・ヒントの数が同じでいろいろな形の問題を作れるとしたら面白いと思うか。(はい・いいえ)
- ・数独の問題を自分で作れるソフトがあったらどのような使い方をしてみたいか。(自由回答)

②事後アンケート

- ・Pict-Dokuを使うと数独の問題が容易に作成できると思うか。(はい・いいえ)
- ・Pict-Dokuでヒントの図案を編集する機能は使いやすいか。(はい・いいえ)
- ・Pict-Dokuで絵をドラッグアンドドロップした結果、そこにあらわれたヒントの図案が元の絵を反映していると思ったか。(はい・いいえ)
- ・Pict-Dokuでドラッグアンドドロップで絵を投げ込める仕組みについてどう思うか。(自由回答)
- ・Pict-Dokuで図案がファイルで出力されることについてどう思うか。(自由回答)
- ・数独の問題図案が対称図形(線対称, 点対称)なものとは違うものとは何か印象が変わるか。(自由回答)
- ・Pict-Dokuで対称機能・Undo機能があるのとないのでは問題を作成する際に何か変わるか。(自由回答)
- ・Pict-Dokuに他にあってほしいと思う機能はあるか。(自由回答)
- ・作ったファイル名を書いて下さい。(作ったファイルを提供していただいた場合のみ)

4.2 検証と調査の結果

以下に検証と調査の結果について述べる。オープンキャンパスにおいては、聞き取り調査を行った中から主要なものを引用する。

4.2.1 オープンキャンパスでの検証結果

オープンキャンパスにおける本システムの説明を聞いた中高生は、数独が好きの人から数独のルールを知らない人までさまざまであった。参加者は数独を解いたことがあるかないかに関係なく、システムを利用した人全員が準備した画像を用いて容易に数独の問題を作成することができた。来場者の中には、画像をドラッグアンドドロップした後、その形を判別できる範囲ぎりぎりまでヒント数を減らそうと試みる人もいた。また、点対称機能や線対称機能を用いてデザインを制作する人もいた。

数独の知識がある人には、画像をドラッグアンドドロップした後、難易度を考えて制作している人が多く見受けられた。その一方で、数独の知識がない人には、画像をドラッグアンドドロップした後、ヒントの位置のデザインに重視して制作する人が多く見られた。数独を解いたことがある人の中には、解くだけではなく自分で問題を制作するという視点を持つことが新鮮でとても面白いと感想を持つ人

もいた。デザインについて「問題を見たときに何の形か分かりにくいけれど、実際の元画像と一緒に見ると何の形か分かった」という意見をもつ参加者もいた。

4.2.2 アンケートによる調査結果

アンケート回答者は17名、年齢構成は次の通りである。10代が4名、20代が10名、30代が0名、40代が0名、50歳以上が3名である。

まず、事前アンケートでは17名中14名が数独の問題を自分で作ったことがないということが分かった。また、問題を難易度で選ぶ人が11名であるのに対して、デザインで選ぶ人が2名であり、難易度で選ぶ人が多いということが分かった。

次に、事後アンケートでは「Pict-Dokuを使うと数独の問題が容易に作成できると思うか」という質問に対して、17名全員が「はい」と回答した。また、「Pict-Dokuでヒントの図案を編集する機能は使いやすいか」という質問には、16名が「はい」と回答した。「Pict-Dokuで絵をドラッグアンドドロップした結果、そこにあらわれたヒントの図案が元の絵を反映していると思ったか」には、12名が「はい」、5名が「いいえ」と回答した。このことから、本システムによって誰もが数独の問題を容易に作成することができ、ヒントの図案をユーザが編集して問題を作成することができるということが分かった。

作成したヒントの図案は、図5のように読み込んだ画像をそのまま利用して、その画像により近づくように編集していたユーザも数人見受けられた。また、同じ画像を読み込んだ場合でも、ユーザの編集によっては図6のように違うヒントの図案となることが分かった。

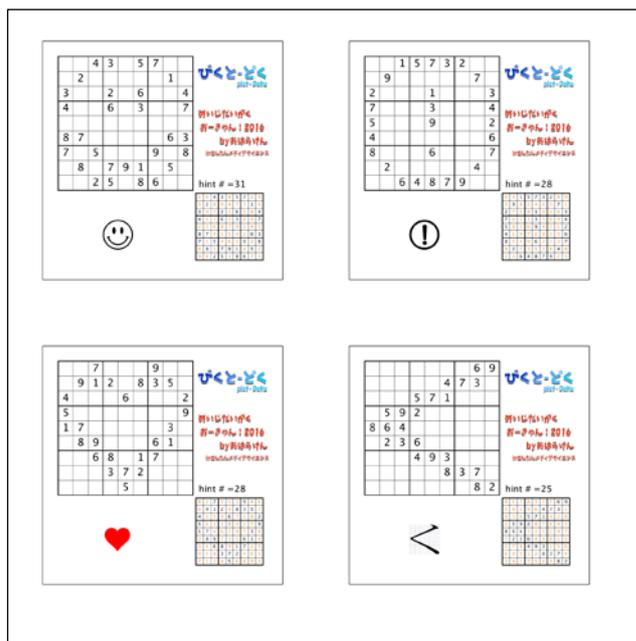


図5 アンケートによる作成例1

Figure 5 Examples of sudoku problems 1

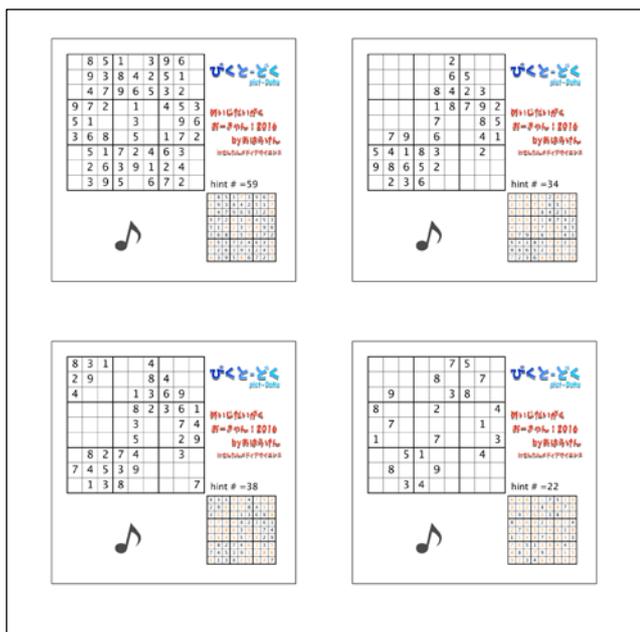


図 6 アンケートによる作成例 2

Figure 6 Examples of sudoku problems 2

対称機能については、「あまり変わらない」といった意見があったが、「きれいに見えていい」「あった方が利用価値がある」「あると作りやすい」といった肯定的な意見が多かった。

Pict-Doku にあった方が良い機能として、「パソコンでも問題を解ける機能が欲しい」「ヒントのマスに色をつけるとよりデザインが目立って楽しいと思う」という意見があった。

5. まとめと今後の課題

本システムでは、イラスト、ひらがな、カタカナ、記号など、ユーザが望む様々なデザインの数独問題を容易に作成することができ、数独のヒントの位置のデザインに着目した数独作問への新たなアプローチを提案した。ユーザビリティ調査をとおして、ユーザの選んだ図柄で数独の問題を作成できることに対する肯定的な反応が検証された。

今後、ヒントの位置による問題成立条件の解析や、作成した数独を画像のイメージに近づけるような機能を追加していきたい。また、提案システムで作成した数独の問題が、それを解くユーザに対してどのようなメリットをもたらすかについて調査していきたい。数独におけるデザインの楽しさを定量化するような研究への展開も考えられる。

謝辞

オープンキャンパス及びアンケートにご協力いただいた皆様に、謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1]前田一貴, 奥乃博. 数独問題作成支援システムの設計と開発, 第 70 回情報処理学会全国大会講演論文集, pp.799-800, (2008).
- [2]座間翔, 篠埜功. 初期配置が指定された場合に適した数独問題生成手法の提案および実装, 情報処理学会研究報告, Vol.2016-GI-35 No.1, pp.1-7, (2016).
- [3]Gary McGuire, Bastian Tugemann, Gilles Civario. There is no 16-Clue Sudoku: Solving the Sudoku Minimum Number of Clues Problem, pp.1-40, (2012).
- [4]"HoDoKu". <http://hodoku.sourceforge.net/en/index.php>, (参照 2016-09-26).
- [5]とん. ナンプレの自動生成, 岩波データサイエンス Vol.2, pp.101-109, (2016).