BitsPuzzleの解答作成と問題作成

是川　空,小谷　善行,柴原　一友,五十嵐　力
東京農工大学

概要

BitsPuzzle というパズルについて計算機を使って工学的に解を導出する手法を考える.BitsPuzzle は５×５のマスに縦横に重複しないようにマークを配置するラテン方陣と,１１種類のピースを５×５の枠内にはめ込みパズルの両方の特徴を組み合わせて作られたパズルである.すでに用意された BitsPuzzle の問題について全解を求めるプログラムと,BitsPuzzle の根源にあるラテン方陣とはめ込みパズルを元に,BitsPuzzle の全ての解局面を求める.また BitsPuzzle のピース生成とヒントの追加を用いた問題作成を行う.

Solving and problem making of *BitsPuzzle*

Takashi Korekawa, Yoshiyuki Kotani, Kazutomo Shibahara, Tikara Igarashi
Tokyo University of Agriculture and Technology

Abstract

This paper studied solving method for *BitsPuzzle*. *BitsPuzzle* has two features of Latin magic square and polyomino puzzle. We make *BitsPuzzle* problem solver, which add Latin magic square rule to polyomino solver, and making *BitsPuzzle* problem with making pieces at random and hints.

１．　はじめに

株式会社バーナビーより発売され,市販されているパズル「BitsPuzzle」について解答作成と問題作成を行うプログラムを作成し,一意的に解が求まるような問題を出題するようなプログラムを作成する.

２．　BitsPuzzle

BitsPuzzle とは１１種類のピースを使用したはめ込みパズルの変形であり,ラテン方陣の特徴も持っている.

BitsPuzzle のピースの形状は 3 種類で,３つの正方形を１方向に連結した形の Bar が５つ,２つの Pair が４つ,１つの正方形の Single が２つ,計１１個のピースからなる.

それぞれのピースを構成している正方形一つごとに５種類のマークのうちどれか一つが書かれており,全ピース合わせると各マークが５つずつ書かれている.

これらのピースを５×５の枠内に,重なったり外にはみ出たりしないように,かつピースに書かれたマークがそれぞれの縦横に同じマークが２つ以上配置されることの無いように配置する（図１）.

ピースを箱の中にうまくはめ込むポリオミノパズルに,各マスのマークが縦横に重複しないように配置するラテン方陣の両方の特徴があらわれているパズルである.

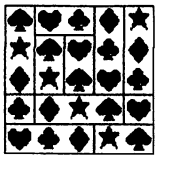


図１　BitsPuzzle ノーマルゲームの解

ピースの構成により多くの解が作られることになるが,BitsPuzzle のホームページ[1]によると,一つだけを正解として指定することになっている.

市販されている問題は８種類であるが,これ以外の問題作成も可能である.

解局面には回転や反転によって出来る派生解が非常に多く存在する.またマークの入れ替えによる類似の問題が存在する（図２）

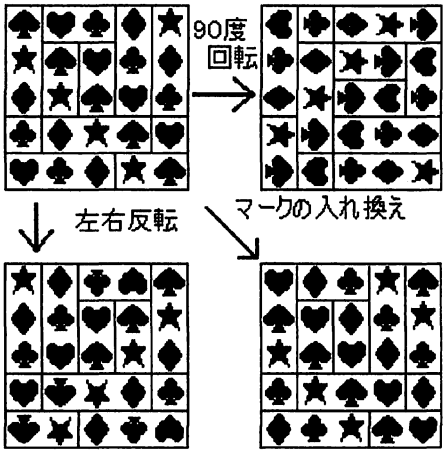


図２　BitsPuzzle の派生解

３．　BitsPuzzle の解答アルゴリズム

すでに作られた BitsPuzzle の問題について,その１１つのピースを使って作ることの出来る全ての解を列挙する探索アルゴリズムを考える.今回の方法ではピースを枠内にはめ込んでいくポリオミノパズルの要領で局面を探索し,その手詰まりやタブー操作の判定にマークの重複をチェックするような仕組みを追加する.

枠内にピースが一つも入っていない状態を初期局面とする.その状態において,一番上の行で一番左の列にある空きマスを探索セルとして設定する.現在使われていないピースのうち一つを選び,そのピースの一番左上の部分が探索セルと一致するように配置する.その後探索を再帰させ,次の局面を探索する.

ピースを配置した際に,ピースが枠からはみ出したり,縦横の列においてマークのルールに違反したりした場合,そのおき方は出来ないので,次の探索候補へ移る.また,その局面において全ての探索候補を探索し終えたり,一つも探索候補が存在しなかったりした場合,局面をバックトラックする.

局面のバックトラックなどで次の探索候補に移る場合,次の探索候補は,まずランダムゲームの場合は,最後にはめたピースを回転させて次の局面へ移る,ノーマルゲームでは回転を行わないルールである.そのピースについて全ての回転方向がチェックされている場合,そのピースを取り外し,次の未探査のピースをはめ込み,探索を続ける.

全てのピースが無事にはまりきればそれが解である.ノーマルゲームでは同じ形をしたピースがない限りは重複した解は検出されないが,ランダムゲームではこの後に重複した解を検出する必要がある.

ピースのはまる条件にマークの重複チェックがあるので,探索の分岐数は単純なはめ込みパズルより少ない.そのため計算機による探索が効果的であるが,一方で人間が解く場合は発生するバックトラックが大きくなり難しく感じる.

４．　BitsPuzzle の解局面作成

４．１　BitsPuzzle の解局面

BitsPuzzle の解局面はラテン方陣によるマークの組み合わせと,１１種類のピースのはめ込みパズルの解の組み合わせによって表現される.（図３）

今回の全解局面を生成する方法では全ての５×５ラテン方陣の解と,全てのはめ込みパズルの解を取り出し,それぞれに含まれる重複解を取り除いた後にお互いを組み合わせて BitsPuzzle の全解局面を作成することにする.

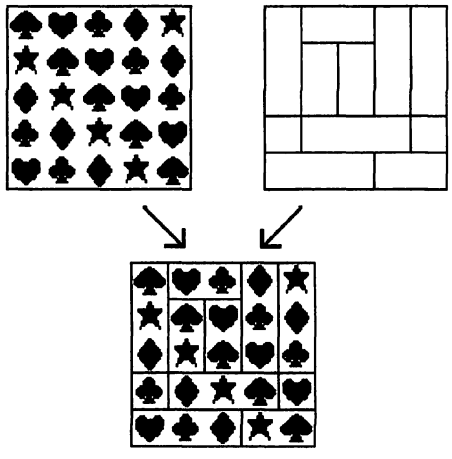


図３　BitsPuzzle の解局面作成

４．２　5×5ラテン方陣の全解

まず５×５ラテン方陣の全解を作成する.５×５のマスの一つずつにマークを当てはめて,ラテン方陣のルールを満たすように全てのマスが埋まるまで探索を行う.

ラテン方陣では,ある解局面において,使われているマークを入れ換えた際にも解が成り立つ.これを利用して図４の様に仮の番号をマスの一部分に割り振り,後で番号をマークに置き換えることで解局面の重複を防ぐ.ラテン方陣は１列の中に同じマークが登場しないので,１列をあらかじめ決めておけば十分である.

また１つの解局面はそれの回転,反転,又は回転と反転の組み合わせによって重複した解局面を持つ.それらを防ぐために,ハッシュ法を用いて重複解を登録しない様にする.

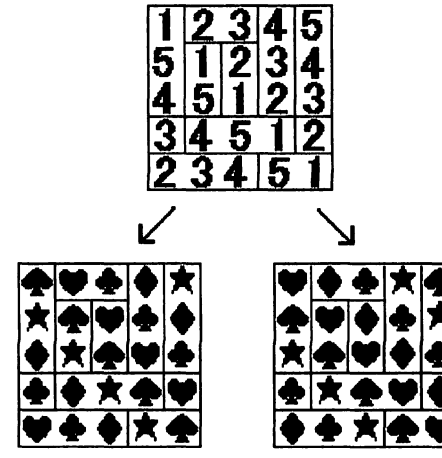


図４　マークの入れ替えによる重複

マークを固定し,回転反転による全ての重複解を取り除いた場合の 5×5 ラテン方陣の全解数は 1298 通りであった.

４．３　はめ込みパズルの全解

１１種類のピースを５×５の枠内にはめ込むパズルの全局面を求める.枠内に図のピースを一つずつはめていき,全てのピースが重なり合わないように,枠からはみ出ないで全て収まる解を探索する.

このパズルにおいて同じ形をしたピースは全て同じピースとして考え,同じピースを入れ換えた局面は全て同じ解として扱う.

回転反転による重複解を取り除いたこのはめ込みパズルの全解数は 45970 通りであった.

４．４　考察

ラテン方陣とはめ込みパズルの両方について前述の通りマークやピース,回転反転の重複解を全て取り除いた解局面の数求めた.どちらか片方について回転反転を改めて考慮して掛け合わせることで,まずはマークを固定した場合の全解局面数を求める.

ラテン方陣について,マークを固定し,回転と反転による重複を取り除かない全解局面数は161,280通りであった.はめ込みパズルの全ての重複を取り除いた全解局面数は45,970 通りであったから,全解局面数はそれらの掛け合わせの 7,414,041,600 通りである.

また,実際にパズルを人が遊べるようにするにはマークを配置する必要があり,マークの組み合わせを全て考えると,その全解局面数は 889,684,992,000 通りになる.

5. BitsPuzzle の問題作成

BitsPuzzle は１１種類のピースが与えられた時点で,複数の解が存在する場合や,ひとつも解が存在しない場合がある.解が一つも存在しない場合は特にノーマルゲームで発生する.（図５）

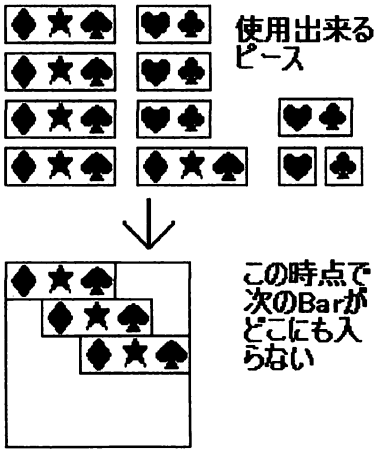


図５　解を持たないピース群

まずはゲームがノーマルゲームであるかランダムゲームであるかを決める.ノーマルゲームの場合は全てのマークが同じ向きになり,ピースの回転が出来ない.

続いて１１種類の各ピースについて,縦で使用するか横で使用するかを決めた上で,マス一つ一つにマークを割り振る.マークは一つにつき合計で５つまでしか使用できない.同じピースが存在しても構わない.

こうして１１種類のピースが完成したら,それを使って３章のプログラムを用い全解数を求める.もし解数が０の場合はこの問題は成り立たない.逆に解が複数存在する場合は,解のうち２つを使い,①あるマスのマーク,②ある箇所ピースの形のどちらかの差を調べる.二つの解に差がある部分をヒントとして追加し,ヒントの条件を満たす全解を探索する.こうして解数が１つになるまでヒントの追加をくりかえす.

6. 終わりに

BitsPuzzle のラテン方陣とはめ込みパズルの特徴を用いて解探索プログラムを作成した.BitsPuzzle はピースのはまる条件が厳しく,計算機による探索が効果的である.

全解局面は重複解が非常に多く発生しているため,重複を取り除く工夫が必要である,今回の手法では BitsPuzzle をラテン方陣とはめ込みパズルの二つの特徴に分解し,重複を取り除いた後に合成している.

BitsPuzzle の問題作成プログラムは BitsPuzzle のホームページにあるような出題形式を作成している.ランダムゲームは稀に非常に多くの解を持つことからヒントが非常に多くなる場合がある.

参考文献

[1] BitsPuzzle　ホームページ
http://www.bitspuzzle.com