

鎌倉尚也, 藤原暁宏  
(九州工業大学大学院情報工学府)

## 1. はじめに

自然界の生命活動を並列計算として扱うナチュラルコンピューティングの一つとして、膜計算(Pシステム)[1]が注目を集めている。この膜計算においては、様々な計算困難問題に対するアルゴリズムが提案されているが、少ない膜数で計算を行うことが重要である。

本研究では、グラフにおける計算困難問題の一つであるNパズルに対して、非同期膜計算の解法を提案する。また、シミュレータ上に提案手法を実装し、提案手法の有効性を検証する。

## 2. 膜計算モデル

膜計算の計算モデルであるPシステム $\Pi$ は以下のように定義される。

$$\Pi = (O, \mu, \omega_j, R_j, i_{in}, i_{out})$$

O:使用するオブジェクトの結合

$\mu$ :膜の初期構造

$\omega_j$ :膜 $j$ の中に初期状態で存在するオブジェクトの集合

$R_j$ :膜 $j$ に対して適用される進化規則の集合

$i_{in}, i_{out}$ :入力膜, 及び, 出力膜

本研究では、オブジェクト進化規則、内部通信規則、外部通信規則、膜分解規則、及び、膜分割規則という5種類の進化規則を用いる。

## 3. 膜計算によるNパズルの解法

Nパズルとは、 $n \times n$ 個のマスに対して $1 \sim n^2 - 1$ の数字と空きマスを配置し、空きマスを隣接するマスに動かして数字の昇順に並べ替える問題である。その際に探索する手数の上限 $s$ を定めておき、その手数以内に解答可能か否かを調べる。

本研究では、分枝限定法により全解探索よりも必要な膜数を減らした非同期Pシステムを提案する。

以下に、提案Pシステムの概要を示す。なお、本Pシステムは最外膜である膜1、及び、膜1に内包される膜2により構成されている。

Step 1 膜1に対して与えられたすべての入力オブジェクトを膜2に移動する。

Step 2 Step1において生成した膜2を繰り返し分割することで、空きマスが進行可能な全方向に移動する暫定解を同時に生成し、現在の手数を記録しながらすべての解を生成する。

その際に、以下の2つの限定操作を用いて暫定解の数を減らす。

(限定操作1)直前に移動してきたマスを記録しておき、元のマスに戻らないようにすることで解法の数を減らすことを目的とする。

(限定操作2)残りの手数以内に1の数字が入ったマスと空きマスが解となる地点に辿り着けないなら、その膜を分解することで解法の数を減らすことを目的とする。膜の生成が終わると、解けた解のみを膜1に移動し、初期入力を含む膜を除く全ての膜を分解する。

Step 3 膜1において求めた解の手数を比べ、解の手数の最小値を求める。

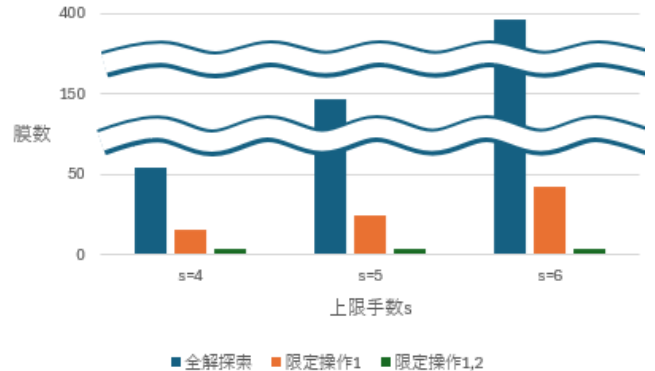


図1:2つの分枝限定法と全解探索の比較

Step 4 Step 3で求めた手数の上限を膜2に移動させ、残しておいた膜2を繰り返し分割することですべての解を再度生成する。その際に、Step 2と同じ分枝限定法を用いて、生成する暫定解を減らす。また、Nパズルを解く手順を記録しておき、最小手数以内に解けない場合は膜を分解する。

Step 5 解と最小手数を膜1から出力する。

上記の提案Pシステムについて、以下の定理が得られた。

定理1: $n \times n$ 個のマスで手数の上限を $s$ とするNパズルに対して、Nパズルを解く非同期Pシステム $\Pi$ は、 $O(n^2)$ 種類のオブジェクト及び $O(n^4s)$ 種類の進化規則を用いて、 $O(n^2s)$ 並列ステップ及び $O(3^s n^2)$ 逐次ステップで実行可能である。□

## 4. 実験結果

Nパズルを解く提案Pシステムをシミュレータに実装し、実行時に必要な最大膜数の検証を行った。2つの分枝限定法を用いた場合と全解探索の比較結果を図1に示す。

実験結果より、 $n=3$ で、 $s=5$ のときは97.5%、 $s=6$ のときは99.1%の最大膜数の削減ができており、提案手法は解候補を全て計算する手法よりも有用であるといえる。

## 5. まとめ

本研究では、分枝限定法によりNパズルを解く非同期Pシステムを提案した。今後の課題としては、さらなる分枝限定法による膜数の削減や、進化規則数、及び、オブジェクト数の削減が考えられる。

## 参考文献

[1] R.Freund: Asynchronous P systems and P systems working in the sequential mode, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3365, pp. 36-62, 2005.