

1次元可逆セル・オートマトンの クリーン可逆シミュレーションの実現

2014SE048 木村孝大 2014SE114 矢澤拓海

指導教員 横山哲郎

はじめに-背景

文献[1]にて可逆セル・オートマトン(以下RCA)を

クリーンで可逆に実装する手法の提案



しかし...改善の余地があった

可逆プログラミング言語Janus

はじめに-研究目標

そこで...

可逆スタックを用いて無限長のセル空間を表現

分割セル・オートマトンで扱いやすい形での実現

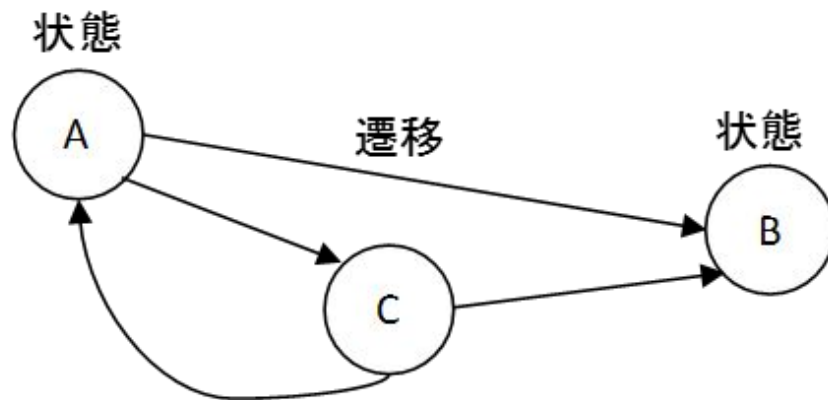
Janusプログラム上でクリーン可逆に実装

関連研究-セル・オートマトン

セル・・・有限オートマトン

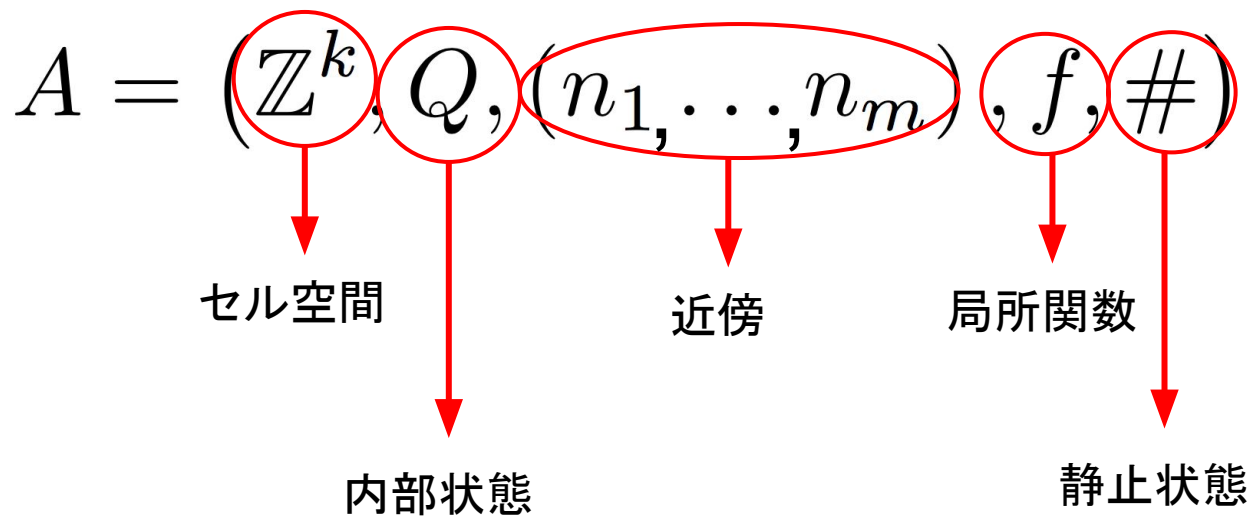
セル・オートマトン(以下CA)・・・セルを規則正しく並べたもの

セルの集合全体の状態・・・状相



関連研究-セル・オートマトン

CAの定義



関連研究-セル・オートマトン

状相...

$$\alpha : \mathbb{Z}^k \rightarrow Q$$

状相全ての集合...

$$\text{Conf}_k(Q) = \{\alpha \mid \alpha : \mathbb{Z}^k \rightarrow Q\}$$

関連研究-CAの具体例

フレドキンの自己複製セル・オートマトン

初期状態を与えると、一定時間後に複製されるCA

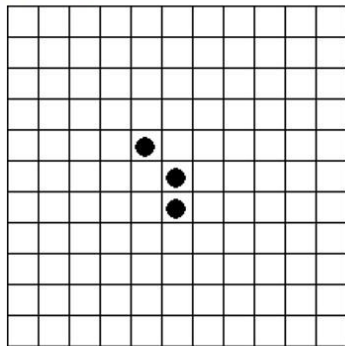
$$A_F = (\mathbb{Z}^2, \{0, 1\}, N_N, f_F, 0) \quad (1)$$

$$N_N = ((0, 0), (0, 1), (1, 0), (0, -1), (-1, 0)) \quad (2)$$

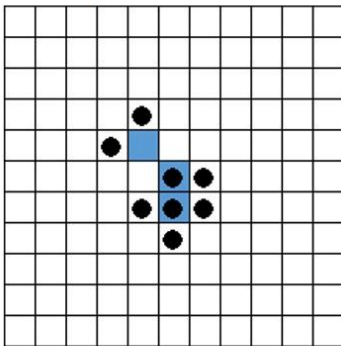
$$\forall q_0, q_1, \dots, q_4 \in \{0, 1\} : f_F(q_0, q_1, q_2, q_3, q_4) = q_1 \oplus q_2 \oplus q_3 \oplus q_4$$

関連研究-CAの具体例

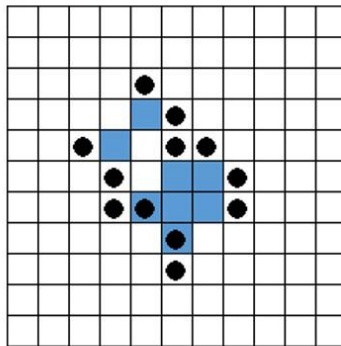
$t = 0$



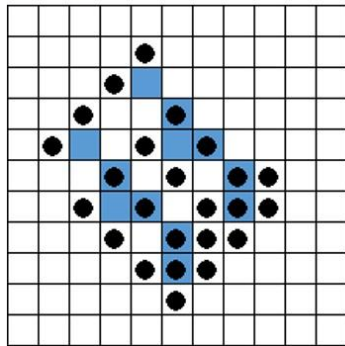
$t = 1$



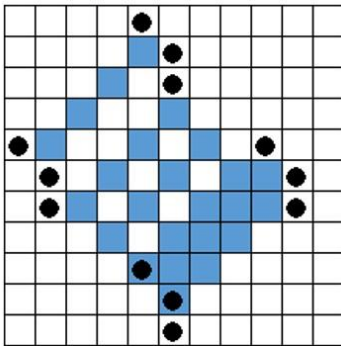
$t = 2$



$t = 3$



$t = 4$



関連研究-CAにおける可逆性

大域関数に対する制約によって可逆性は定義される

可逆セル・オートマトン(以下RCA)は大域関数が全単射であるCA

大域関数が単射であるか判別するアルゴリズム・・・1次元CAのみ存在

RCAの実装には何らかの手法が必要

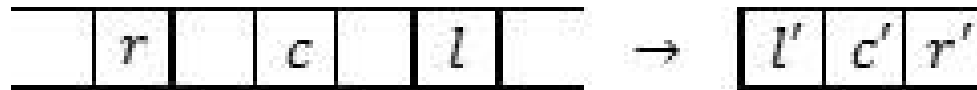
分割セル・オートマトン

- 各セルをいくつかの部分に分割したCA
- 局所関数を単射に定義すれば可逆化可能
- 本研究では1次元3近傍分割CAを扱う



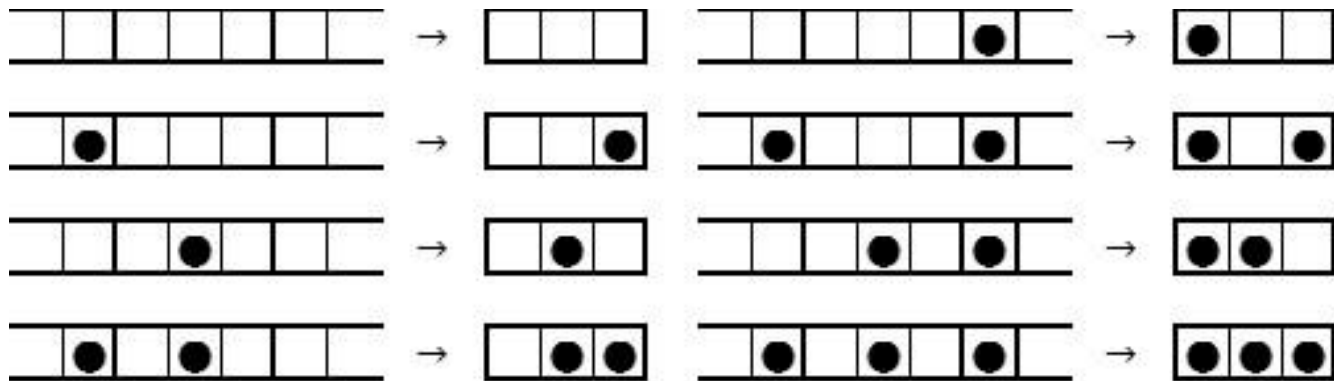
1次元3近傍分割セル・オートマトン

- $A_p = (\mathbb{Z}, (L, C, R), (1, 0, -1), f_p, (0, 0, 0))$
- $L = C = R = \{0, 1\}$
- セルの左部分, 中央部分, 右部分をそれぞれ l, c, r と表現
- 遷移規則 $f(l, c, r) = (l', c', r')$ の図

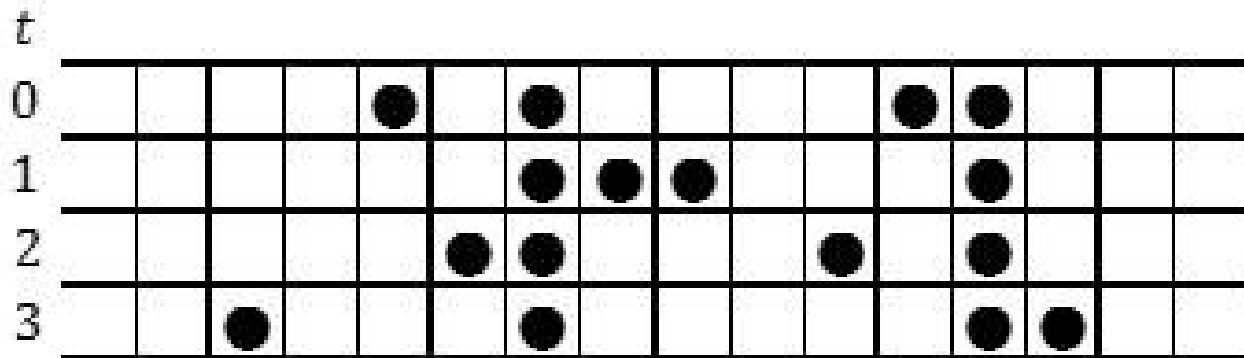


1次元3近傍分割セル・オートマトン

• f_p の図による表現



A_p の時間発展例

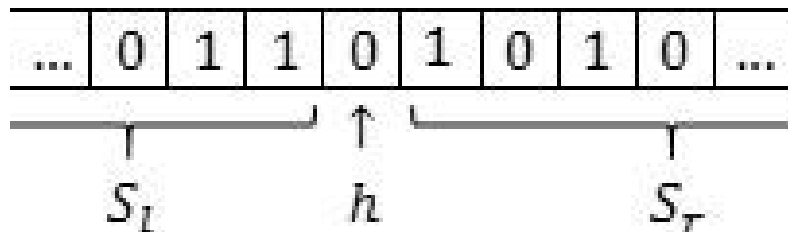


既存のクリーン可逆シミュレーション

- 1次元3近傍分割CAをJanus上でシミュレート
- スタックによる無限長のセル空間の実現
- Janusには可逆スタックが存在

無限長のセル空間の実現

- 無限に連続する#を空スタックで代替
 - #以外の要素が無限個存在するCAは不可能
- スタック S_l, S_r と基準となるセル h を使用



Janusでの実現

- スタック sl, sr とint型変数 h を使用
- 変数 h のみ読み取り可能
- セル空間の右送り, 左送りが必要

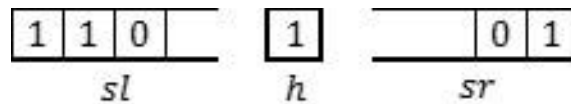
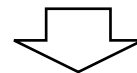
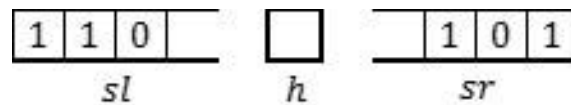
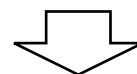
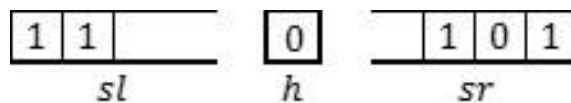
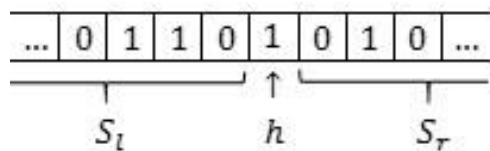
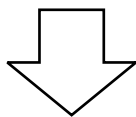
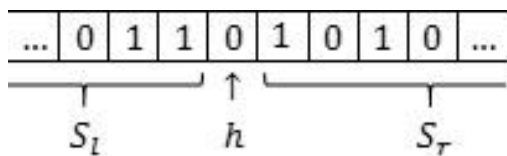
左送り・右送り

- 左送り `push(h, sl)`
`pop(h, sr)`

- 右送り `push(h, sr)`
`pop(h, sl)`

- 空スタックからのpopは適宜定義

左送り



問題点

- 分割位置の定義が必要
- 空スタックに対するpushが未定義
 - 連続する静止状態の正確な代替が不可能

おわりに

- 現状と成果
 - 分割CAの調査
 - 過去の実現方法の解析
- 今後の課題
 - 空スタックに対するpushの定義
 - 分割位置を明示化したセル空間の実現
 - 問題の形式化

参考文献

- [1] 渡邊恭平:可逆スタックを用いた可逆セル・オートマトンのクリーン可逆シミュレーション.南山大学情報 理工学部 2013 年度卒業論文
- [2] Claus, S.N.and Michael, B.: Janus Playground, DIKU(online), available from <http://topps.diku.dk/janus-playground/>
- [3] 森田憲一:可逆計算, ナチュラルコンピューティング・シリーズ Vol. 5, p. 87-118, 近代科学社 (2012)