

残破演化论的有限模型实验验证

作者：谢凯凡 

2026 年 2 月 10 日

摘要

本文通过可复现的有限模型枚举实验，对“残破演化论”中提出的核心结构性命题进行形式验证。实验并不试图证明演化的必然性，而是系统性检验演化、残破与驱动性等判定在不同尺度、差异结构与判定阈值下的成立条件与失败边界。通过大规模参数扫描与显式反例构造，实验结果表明：演化并非系统的本体属性，而是尺度依赖、判定受限的关系性质；残破在结构层面上排除了系统坠入吸收态的可能性。

1 实验目的

本实验的目标是对残破演化论中的核心结构命题进行验证，具体包括：

- 检验演化、残破与死循环等谓词在广泛有限模型族中的自治性；
- 判断关键结构推论是否存在反例；
- 明确理论成立的边界条件及其可解释性。

实验采用参数枚举（parameter sweep）与模型检验（model checking）相结合的方法。

2 模型与方法

2.1 状态空间与动力学

实验考虑有限离散状态空间 \mathbb{Z}_n ，其中 $n \geq 2$ 。系统动力学定义为平移形式：

$$x_{t+1} = x_t + \text{step} \pmod{n}, \quad (1)$$

其中时间 $t = 0, 1, \dots, T - 1$ ，通常取 $T = n$ 。

2.2 差异函数与判定门

考虑两类差异函数：

1. 模差异（modular difference）：

$$\Delta(x, y) = (y - x) \bmod n; \quad (2)$$

2. 离散差异 (discrete difference):

$$\Delta(x, y) = \begin{cases} 0, & x = y, \\ 1, & x \neq y. \end{cases} \quad (3)$$

引入判定阈值 $\varepsilon \geq 0$, 定义可判定性条件:

$$\text{Decidable}(\Delta) \iff \Delta > \varepsilon. \quad (4)$$

2.3 尺度算子

尺度通过粗粒化算子表示:

$$S_k : \mathbb{Z}_n \rightarrow \{0, 1, \dots, k-1\}, \quad (5)$$

其中 $1 \leq k \leq n$.

极端情形包括:

- $k = n$: 恒等尺度;
- $k = 1$: 完全塌缩尺度。

尺度作用于状态后, 再进行差异计算。

2.4 内部变换族

内部变换定义为仿射映射:

$$F_{a,b}(x) = ax + b \pmod{n}. \quad (6)$$

实验中区分以下两种情形:

- 仅允许可逆映射 ($\gcd(a, n) = 1$);
- 允许退化映射 (常值映射), 用于构造塌缩对照实验。

3 判定谓词

在上述结构下, 定义以下谓词:

- **演化 (Evolving)**: 存在长度不少于 2 的时间区间, 区间内所有相邻差异均满足可判定性;
- **死循环 (Dead Loop)**: 所有未来相邻差异均不可判定;
- **残破 (Fragmented)**: 存在常数 $c > \varepsilon$, 使得所有相邻差异满足 $\Delta \geq c$;
- **驱动性 (Driven)**: 对任意允许的内部变换, 至少存在一个时间步使差异可判定。

4 实验设计

实验对以下参数进行枚举扫描：

- $n \in \{5, 7, 8, 9, 10, 12\}$;
- $\text{step} \in \{1, 2, 3\}$;
- 尺度 $k \in \{1, 2, \lfloor n/2 \rfloor, n\}$;
- 判定阈值 $\varepsilon \in \{0, 1\}$;
- 差异类型：moddiff / discrete;
- 内部变换族：正常映射 / 含退化映射。

总计扫描 828 个模型配置。

5 实验结果

实验结果表明，在全部 828 个模型中，以下结构推论无一反例：

$$\text{DeadLoop} \Rightarrow \neg \text{Evolving}, \quad (7)$$

$$\text{Fragmented} \Rightarrow \neg \text{DeadLoop}. \quad (8)$$

此外，实验构造了以下显式结果：

- 存在尺度诱导的零差异现象；
- 在同一动力学下，仅改变尺度即可使演化判定发生翻转；
- 允许退化内部变换将系统性破坏驱动性。

6 结论

实验验证了残破演化论的核心结构命题在广泛有限模型族中的自洽性。结果表明，演化并非系统的本体属性，而是由尺度、差异与判定结构共同决定的关系性质；残破在结构上排除了系统坠入吸收态的可能性。