arXiv:2301.00897v1 [cs.NE] 2 Jan 2023

智能生命游戏 *

Marlene Grieskamp Interactive Intelligence 华盛顿大学 华盛顿州西雅图
markamp@uw.edu

Chaytan Inman Interactive Intelligence 华盛顿大学 华盛顿州西雅图
chaytan@uw.edu

Shaun Lee
Interactive I ntelligence 华盛顿大学 华盛顿州西雅图
shauncl8@uw.edu

摘要

元胞自动机因简单的全局交互规则所产生的涌现式、复杂且各具特色的行为而令研究人员着迷。该领域近期的进展将元胞自动机与卷积神经网络结合，实现了图像的自我再生。这一元胞自动机的新分支称为神经元胞自动机 [1]。本项目旨在运用神经元胞自动机的理念来培育预测机器。我们在网格中放置了许多不同的卷积神经网络。每个卷积网络单元格都会输出对下一状态的预测，并尽量减少预测误差。每个单元格接收邻居的颜色和适应度作为输入。每个单元格的适应度分数描述了其预测的准确程度。单元格也可以移动，以探索周围环境。

关键词 元胞自动机 · 卷积神经网络 · 残差网络

1 引言与背景

总体而言，我们探索了在多智能体环境中涌现行为的可能性，目标是预测游戏的下一状态。通过赋予每个单元格由卷积神经网络驱动的自主能力，我们得以探索更复杂的多智能体行为，为每个智能体提供以卷积参数形式存在的短期记忆，并使其能够通过输出的移动来探索或利用周围环境。我们的目标是探索由一群卷积神经网络智能体所产生的涌现行为类型，这些智能体受到选择压力的影响，力求更准确地预测下一状态。

问题

在一个赋予像素智能体自我复制、竞争、交流和预测机制的环境中，这些渠道是否足以让集中式控制从彼此独立的智能体中涌现?

相关工作

本研究深受论文《Growing Neural Cellular Automata》1 的启发，也受到约翰·康威最初提出的生命游戏2的启发。ResNet 架构也借鉴并改编自本教程3。最后，细胞适应度值这一理念源自遗传算法领域。研究的核心问题及其引出的哲学意涵，与德勒兹、西蒙东以及其他哲学家和物理学家的著作密切相关。

假设

- 宏观整体可以从离散化原子主体中涌现
- 对世界做出智能而准确的预测，源于资源稀缺；因此，一个需要准确预测才能成长的系统，会施加与生命对细胞分裂和生长施加的资源约束相关的资源约束。
- 我们可以将原初自我建模为自我复制的简化代理，并以像素的形式为其设定任意的、非平稳边界。

*完整演示视觉效果： https://chaytanc.github.io/gil

- 生命的根本目标是自我复制，而自我复制并不意味着智能，但更高的智能往往能够改善自我复制。

- 通过自我复制存在体之间的协作，自我得以扩展。

2 方法

1. 卷积神经网络在 100x100 网格上随机生成。
   - 一个单元格_网格对象会跟踪对象位置。
   - 网格对象会跟踪各位置上细胞的向量化形式。
   - 一个中间 cell grid 对象会跟踪细胞可能发生的重叠移动。
2. We begin the first frame by running forward on all 卷积网络，passing each one its 3x3 neighboring cells. 3. 输出是下一帧中 3x3 邻居的预测颜色和适应度，以及用五个通道表示的移动。

- 更新细胞的移动属性。4. 根据输出移动通道计算细胞的移动。这会更新中间细胞网格。5. 如果细胞发生重叠，则根据它们的适应度确定优先顺序，从而解决中间细胞网格中的冲突。6. 根据解决冲突后的中间细胞网格，更新细胞_网格和 grid 对象，以生成新帧。7. 将输出的预测颜色和适应度与新帧的实际颜色和适应度进行比较。8. 使用反向传播更新卷积网络。9. 更新网格中各卷积网络的颜色，以反映网络参数的变化。10. 更新网格中各卷积网络的适应度，以反映所接收的损失。

3 评估

本实验的结果旨在探索，并无预期结果；我们的目标是了解不同设计选择对模拟行为的影响。为了解这些影响，我们使用均方误差评估卷积神经网络的损失，比较细胞对游戏下一帧的预测与游戏实际的下一帧。

我们测试以下两种预测方法：

- 每个单元格只能部分观测 100x100 网格，同时预测网格的部分状态（3x3 输入和 3x3 输出）。

- 每个单元格只能部分观测 100x100 网格，并预测网格的完整状态（3x3 输入和 100x100 输出）。

对于部分可观测性的情况，我们针对不同数量的初始细胞（范围为 [30, 100, 500] ）运行以下模拟，并绘制网格上随机选取的单元格每轮次的细胞损失，同时计算平均单元格损失，以此衡量卷积网络在不同初始状态下的整体预测能力。

对于每次模拟，我们针对以下超参数进行网格搜索：

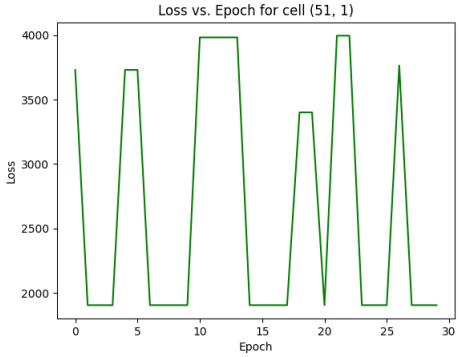
- 学习率 = [0.1、0.05、0.01、0.005、0.001]
- 动量 = [0.9, 0.95, 0.97, 0.99]

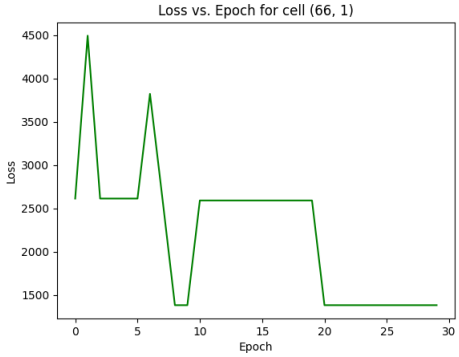
4 个结果

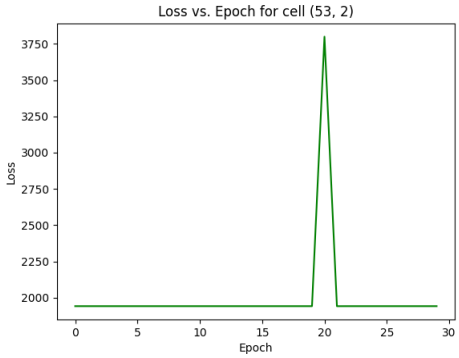
对于采用部分状态预测的部分可观测性，我们绘制了从网格中选取的 3 个单元格的损失：实验 1 - 500 个初始细胞，训练 30 轮

- 最佳超参数：学习率 $= 0.01$，动量 $= 0.99$
- 平均细胞损失：2017.8651

图 1.1–1.3：



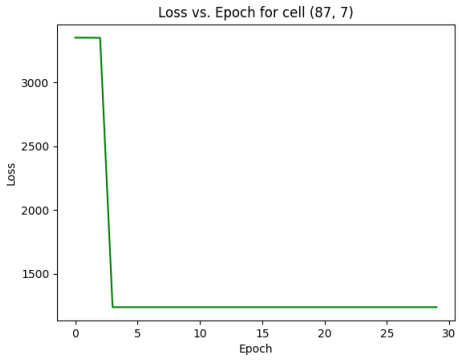


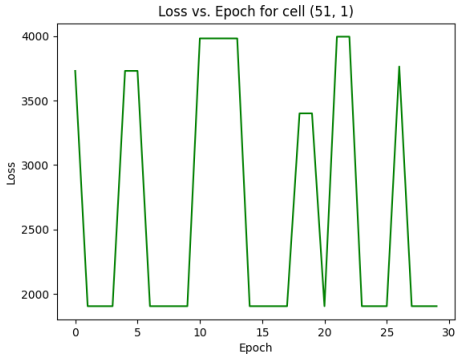


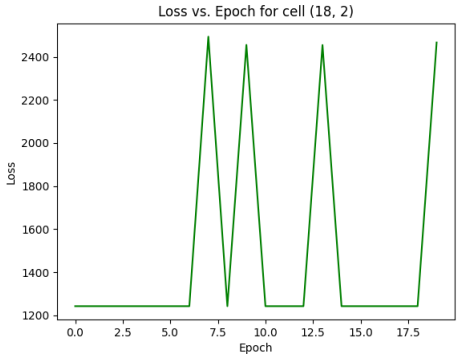
实验2 - 100个初始细胞，训练30轮

- 最佳超参数：学习率 $= 0.01$，动量 $= 0.99$
- 平均细胞损失：1817.7762

图 2.1-2.3



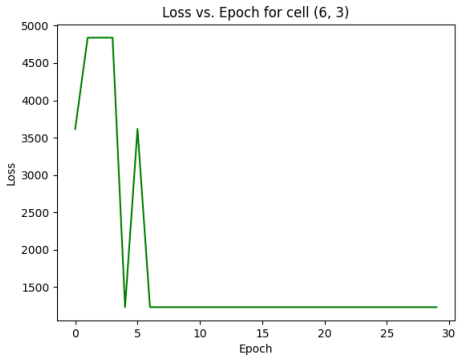


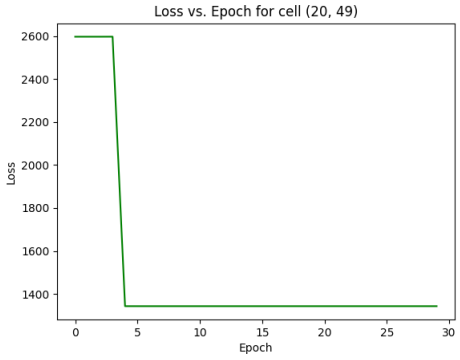


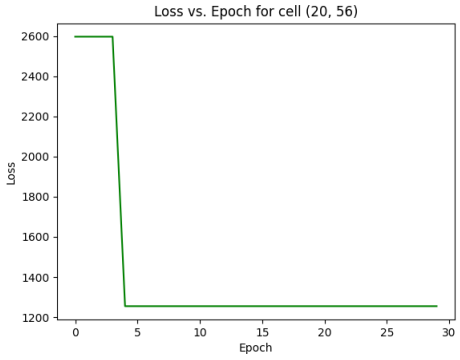
实验3 - 30个初始细胞，训练30轮次

- 最佳超参数：学习率 $=0.005$，动量 $=0.97$
- 平均细胞损失：1502.6859

图3.1-3.3







5 讨论

使用 ResNet 架构时，我们在将 3x3 输入上采样为覆盖整个网格的 100x100 输出预测时遇到了许多问题。结果是损失值非常高且难以预测，无法收敛。我们发现，PyTorch 提供的卷积神经网络上采样方法并不适用于输入尺寸的大幅变化，而且为了得到所需的输出尺寸，我们需要添加超过 20 个单元格的填充。我们认为这是损失值偏高的原因之一，因此改用一种仅预测单元格邻居的方法。这意味着单元格的输入和输出都是 3x3x9。

我们发现，在前一种情形中，也就是尝试在部分可观测的情况下预测网格的完整状态时，损失会飙升，且始终无法收敛。而在后一种情形的实验 1–3 中，损失虽然也会飙升，但往往会回落到较低的基线水平（见图 1.1–1.3、2.2、2.3），有时还可能收敛到更低的值（见图 2.1、3.1–3.3）。尽管这些结果的成因尚不完全确定，我们推测，损失飙升是因为单元格网络学会了邻居的位置，而当相邻单元格移动时便会遭遇较高的损失。对于其他单元格，我们推测，当细胞在网格中移动并遇到很少或没有邻居时，就会出现收敛现象；此时预测会更准确，因为新的细胞不会突然出现在它们的视野中。这也可能得到以下事实的支持：开始游戏时初始细胞越少，平均细胞损失就越低（如实验 1–3 所示），因为当细胞不断进出 3×3 邻居网格时，卷积神经网络更难预测游戏的下一状态。我们推测，损失值较高，是因为移动部分由网络的输出决定，部分由随机噪声决定（每个细胞都有 0.1 的概率采取随机动作）。这可能会令细胞难以学习，也可能是损失偏高或飙升的原因之一。

下一步可以让卷积神经网络在完整状态或更大的部分状态上进行训练，而不是仅使用 3x3 部分状态邻居。向卷积神经网络提供更多信息后，每个细胞或许都能更好地预测游戏的下一状态。初步研究表明，这会显著增加训练时间和计算成本，因此建议使用性能强大的设备（图形处理器/张量处理器）运行。

未来方向除此之外，我们提出以下未来的实现方案：

- 细胞间的权重共享或混合– 每个细胞不必再单独学习，而是可以“吸收”其他细胞学到的参数来提升自身。这可能会加快收敛速度，并降低每个细胞的平均损失。
- 随机繁殖适应度最高的细胞，以形成高适应度细胞集群– 与权重共享类似：这使预测能力最强的细胞能够克隆自身，从而加快收敛速度并降低平均细胞损失。
- 改进循环卷积神经网络的实现
- 随机死亡适应度最低的细胞– 移除损失发散的细胞，使模型在生物学上更加准确。
- 卷积网络可以通过这些通道向其他网络发送标量信号，并在某种意义上进行交流– 使模型能够模拟细胞之间的语音／语言，从而产生更有趣的效果。
- 邻近细胞对某个细胞适应度的预测会影响该细胞自身的适应度– 使模型能够模拟细胞之间的「群体思维」，从而产生更有趣的效果。

可能的应用场景

- 自组装图像
- 对生物系统进行建模——细菌菌落、多细胞生物形成
- 在粒子层面对物理系统进行建模
- 经济学，以及其他具有部分可观测性的动态多智能体系统

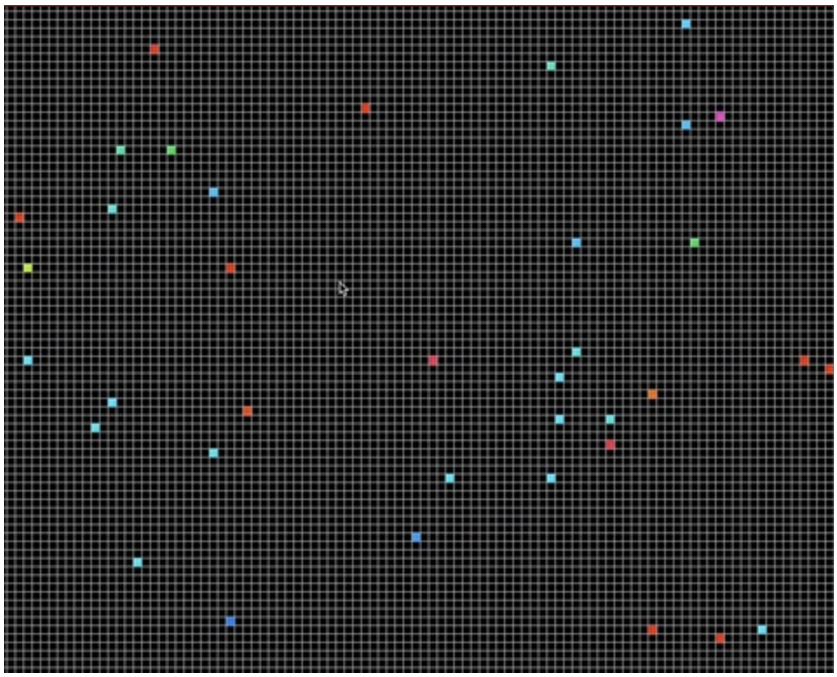
6 演示和源代码

本项目的源代码是开源的：源代码

若想深入了解 该演示，以及从个体通过细胞自动机涌现这一现象中引申出的哲学意涵 l
机 ，请参阅：完整演示和原始出版物

完整演示 GIF 1

完整演示 GIF 2



本作品由 Interactive Intelligence 创作，该组织是华盛顿大学一个由学生主导的研究小组。我们感谢 I2 顾问 Eric Chudler 博士给予的支持与指导。

7 参考文献

[1] 生长型神经元胞自动机 Mordvintsev, Alexander 等人。《生长型神经元胞自动机》。Distill，2020 年 8 月 27 日，https://distill.pub/2020/growing-ca/.[2] 康威生命游戏《康威生命游戏》。维基百科，维基媒体基金会，2022 年 12 月 15 日，https://en.wikipedia.org/wiki/Conway%27s_游戏_的_生命。

[3] 从零开始实现 PyTorch 残差网络

[4] 个体的生成 西蒙东，吉尔贝。“吉尔贝·西蒙东——个体的生成。”Scribd，Scribd，https://www.scribd.com/document/228161394/Gilbert-Simondon-Genesis-of-the-Individual.[5] 荒岛 德勒兹，吉尔，等。《荒岛：及其他文本，1953—1974》。Semiotext(e)，2004年。[6] 相对论 vs 量子力学 鲍威尔，科里·S。“相对论 vs 量子力学——宇宙之战。”《卫报》，2015年11月4日，https://www.theguardian.com/news/2015/nov/04/relativity-quantum-mechanics- universe-physicists.[7] 广义相对论两体问题 “广义相对论中的两体问题。”维基百科，维基媒体基金会，2022年10月29日，https://en.wikipedia.org/wiki/Two-body_problem_in_general_relativity.[8] 弦理论 西格尔，伊桑。“为什么弦理论既是梦想也是噩梦。”《福布斯》，《福布斯》杂志，2020年2月26日，https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2020/02/26/why-string-theory-is-both-a-dream-and-a-nightmare/?sh=38683fba3b1d.[9]相对论 “广义相对论。”维基百科，维基媒体基金会，2022年12月14日，https://en.wikipedia.org/wiki/General_relativity。