

关于计算的报告

——康威生命棋与细胞自动机

作者：黄鑫

学号：1500012648

摘要：自 20 世纪 80 年代兴起以来，复杂性科学迅速发展，已经成为了当代科学的前沿发展领域之一。霍金曾言“21 世纪将是复杂性科学的世纪”，而作为研究复杂性科学有力工具的细胞自动机，自然值得我们认真学习与研究。细胞自动机以及作为其特例的康威生命棋，不仅在生物学、物理学、军事科学等领域上具有广泛应用，甚至可以帮助人们理解实在与创造、生命与意识的命题，是人工生命的重要研究工具和理论方法分支。

关键词：康威生命棋 元胞自动机 人工生命

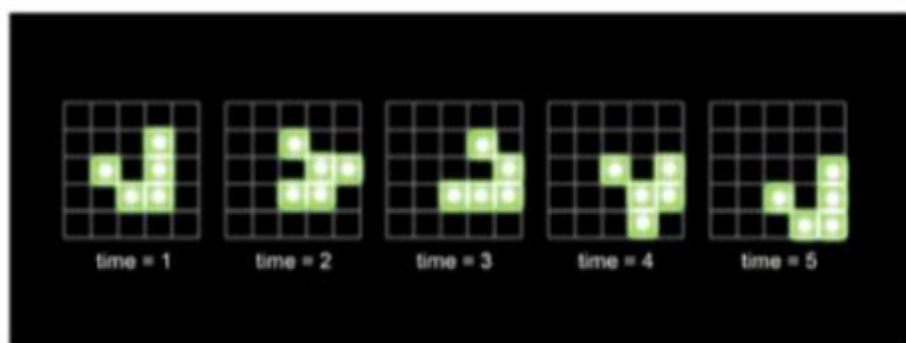
一、对康威生命棋的简单介绍

康威生命棋（Conway's Game of Life），又译作生命游戏，是由英国剑桥大学的数学家约翰·何顿·康威于 1970 年发明的一种细胞自动机。虽然被称为“游戏”，但是康威生命棋中不存在某个“玩家”，它是由一个理论上无限大的二维矩形空间和一组决定“生命演化”的“规则”组成的。这一游戏能够十分容易地在 C++、python 等环境下开发出来。

虽然具体的规则是可变的（当然，这将在很大程度上改变模拟生命的演化进程），但在康威生命棋中常用的规则是这样的：

1. 当前细胞为存活状态时，当周围低于 2 个（不包含 2 个）存活细胞时，该细胞变成死亡状态。（模拟生命数量稀少）
2. 当前细胞为存活状态时，当周围有 2 个或 3 个存活细胞时，该细胞保持原样。
3. 当前细胞为存活状态时，当周围有 3 个以上的存活细胞时，该细胞变成死亡状态。（模拟生命数量过多）
4. 当前细胞为死亡状态时，当周围有 3 个存活细胞时，该细胞变成存活状态。（模拟繁殖）

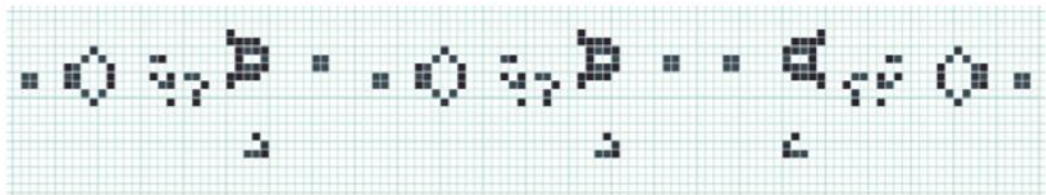
一旦给定了初始条件，在规则的作用下模拟生命就能一代接一代的演化下去，形成各式各样的图案。虽然上述的规则是十分简单的，每个细胞只与以自身为中心的周围八格细胞产生互动，但在游戏的进行过程中，各种杂乱无序的初始图案会逐渐演化出各种精致且有规律的、出人意料的结构，其中一种连续变化的结构被称为“滑翔机”。



滑翔机 滑翔机经过这些中途形态后回归到原初形态，并沿着对角线移动一个方格。

增加“细胞”的数量，我们还能够得到诸如“滑翔机发射枪”、“凤凰”等新奇有趣的复杂结构。尤其值得在意的是，两架“滑翔机”在发生碰撞时，将会“坠毁”成为“稳定砖块”结构，“滑翔机”在遭遇某个装置时，亦可能发生“转向”。利用这个特性，人们能在生命游戏

中构造出各种逻辑门结构，甚至是配置出一台计算装置ⁱ。事实上，可以证明康威生命棋是图灵完备的，这表明用康威生命棋可以模拟任何计算过程，甚至可以说，它本身就是一个通用计算机。



生命游戏中的逻辑与门

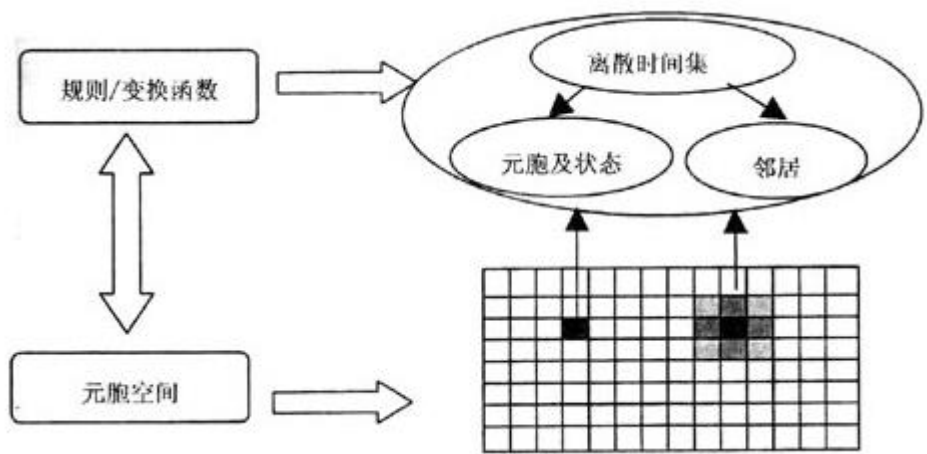
从本质上来说，康威生命棋是一种细胞自动机（元胞自动机）。细胞自动机最早由冯诺依曼于 1950 年为模拟细胞的自我复制过程而提出，但直到 1970 年康威生命棋被发明，它才真正引起了学界的重视。

二. 对细胞自动机介绍

自动机(Automaton)通常指不需要人们逐步进行操作指导的设备(夏培肃，1984)。例如，英国数学家艾伦图灵于 1936 年提出的图灵机就是一种典型的无限带自动机（储存带无限长）。细胞自动机，也是一种无限带自动机，它的构成需要以下几大要素：

- 决定细胞活动空间的维度
- 定义细胞可能具有的状态
- 定义细胞改变状态的规则
- 设定细胞自动机中各个细胞的初始状态

在数学上可以将之表示为 $A=(L,d,S,N,f)$ 。



细胞自动机的构成

细胞活动空间的维度可以是一维的，也可以是二维、三维甚至更高维度的。但无论维度多少，某一细胞的变化活动都只取决于周遭细胞的状况，这被称为“局部的”。在时间上来讲，所有的细胞都同时同步变化，这被称为“平行计算”性质。另外，由于所有细胞都受着同样规则制约，再数种不同的状态间发生改变，因此细胞自动机又是“一致性的”。值得注意的是，虽然某一代细胞的下一代的形态是确定的，但是我们无法从下一代的形态反推得知上一代的情况，因为它对应着多种可能，而且存在的可能数是随着反推步数而成指数形式增加的，这种性质被称作“Forward-Deterministic”。

在细胞自动机中，空间是一个一个分立的格子，时间也是不连续地流逝的，某个细胞所

受的影响也被简化为只考虑周遭数个细胞,这些特征使得细胞自动机成为模拟现实中种种宏观行为的利器。比如,细胞自动机能够很好的模拟肿瘤细胞的生长机理,艾滋病病毒的感染过程。在社会学上,细胞自动机也被广泛地应用于描述个人行为的社会性,流行现象等,如服装流行色的形成。

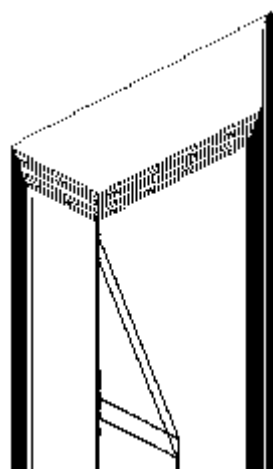
在实际的使用中,一般会对细胞自动机的某些特征加以拓展,如把空间背景替换为复杂的空间网络,以相邻结点为邻元。又如给细胞加上各种不同的特征,如年龄、性别等要素,以更好的模拟大型场所中的人群。

作为一种动态模型,细胞自动机是一种通用性的建模方法,其应用几乎涉及社会和自然科学的各个领域。哲学上来说,细胞自动机将简单与复杂,微观与宏观,局部与整体,有限与无限,离散与连续等概念紧密联系在了一起。

三. 康威生命棋与细胞自动机背后的逻辑

康威生命棋以一种微妙的方式模拟了细胞的增殖和死亡,但在较大尺度上,人们可以构造出复杂的逻辑结构,那么当我们观察的尺度达到足够大,格子设计足够精巧(运用种种逻辑结构),使之能够对于种种“刺激”做出相应“反应”,再考虑到康威生命棋中细胞们移动、增殖、消亡等类似于真实生命的特征,是否可以认为在生命游戏中创造出了有“意识”的生命呢?。

如果把生命定义为“具备有限尺度、稳定的并能自我复制的复杂系统”,那么基于冯·诺依曼的早期工作,人们估计要在生命游戏中放置最小尺度的,能进行自我复制的图样需要十万亿个方格,巧合的是,这大致等于单个人体细胞中分子的数量。目前人们所构建的最大的有意思的图样是卡特彼勒,包含超过1千万个细胞。



卡特彼勒 (Caterpillar)

康威生命棋中的例子表明即使是非常简单的一组定律也能导致类似于智能生命那样的复杂特征,那么我们能够很自然地联想到,可能在最基本的层面上,也存在着一组决定了不同尺度表现定律的,最为基本、简洁的定律。

霍金在其著作《大设计》中写道:“假如你对生命游戏的宇宙在任何特定的尺度上观察片刻,你会推断出在那个尺度中制约物体的定律……你会推断出在那个尺度中制约物体的定律……这些规则中,本质上没有诸如碰撞或运动的概念,只有描述单独格子的生与死。也许这正如我们的宇宙。”这一观点引人深思,模拟生命的演变由一小组规则制约,但在任何尺度上都能得出相应的“演化规律”,我们的宇宙是否也是相似的呢,或者说,宇宙是否是以一种近于细胞自动机的形式运行着呢?

宇宙也有着类似于细胞自动机的三大特征,宇宙是平行处理的,宇宙中每一点受临近点影响最大,宇宙各处自然规律相同。专著《一种新科学》的作者斯蒂芬·沃尔夫勒姆曾经指

出：“细胞自动机的数学架构，与一些造成真实世界的复杂物理系统之数学架构是完全一样的，也许这正是掌管遗传重任的 DNA 所赖以工作的原理。”比如自然界贝壳上的复杂图案，也许就是基于 DNA 中类似于康威生命棋的简单规则决定的，证据就是生命游戏中复杂而有规律的各色图案。

-
1. 史蒂芬·霍金 (作者), 列纳德·蒙洛迪诺 (作者), 吴忠超 (译者). 《大设计》. 湖南科学技术出版社. 第 1 版 (2011 年 1 月 1 日)
 2. 迈克尔·西普塞 (作者), 段磊 (译者), 唐常杰 (译者). 《计算机原理导论》. 机械工业出版社. 2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
 3. 陈凯. 透过技术的表象看本质_生命游戏中的逻辑. 中国信息技术教育. 2014 年第 23 期
 2. 郭娟, 吴迪, 赵宪明. 生命游戏复杂性的模拟研究. 计算机仿真. 2007
 5. <http://stanford.edu/~cpiech/cs221/handouts/pythonTutorial.html>
 6. <https://www.daniweb.com/programming/software-development/code/217028/the-game-of-life#>
 7. <http://www.atlas-zone.com/complex/alife/ca/index.html>
 8. <http://www.swarma.org/complex/models/ca/ca1.htm>
 9. <http://www.gabrielnivasch.org/fun/life/caterpillar>