



电脑里的格子咖啡

本课讲 2014 年的一篇论文。科学家 Aaronson、Carroll 和 Ouellette 在电脑里做了一杯“格子咖啡”，真的量出了第 6 课说的那座小山。

适合 10 岁左右

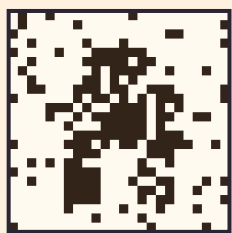
约 40 分钟

需要：铅笔、彩笔、一位同伴、2 个骰子、黑白棋子各 18 颗（或两色纸片）

1 热身：凑近看，站远看

第 6 课说过：咖啡里倒牛奶，乱的程度一直变大，有趣程度却像一座小山，先升后降。今天看科学家怎么真的把它量出来。先玩个看图游戏。

把纸凑到眼前看，再眯起眼睛（或者把纸拿远）看。



凑近看，我看到 _____

眯眼看，我看到 _____

哪种看法更好描述？ _____

凑近看，只有一堆乱点，要说很久。眯起眼睛，一座小房子就出来了，一句话就说完。**眯眼**就是抹掉小细节，只留下大样子。这一招是今天的主角。

2 电脑里的格子咖啡

第 6 课说过，Aaronson 想用电脑做实验。2014 年，他和物理学家 Sean Carroll、学生 Lauren Ouellette 把实验做出来了。

他们在电脑里画了一大张方格图。白格子是牛奶，黑格子是咖啡。开始时，牛奶在上半边，咖啡在下半边。然后，电脑一步一步地玩：

1

随便挑一个格子

2

再随便挑它旁边的一个格子

3

两格颜色不同，就交换

4

两格颜色一样，就不动

重复很多很多次

每一步只动两个格子。重复很多次以后，分界线先变得毛毛糙糙，牛奶和咖啡再慢慢渗到对方那边。最后，整张图变成了乱点。第 3 节图里的上面一排，就是它在三个时刻的样子。

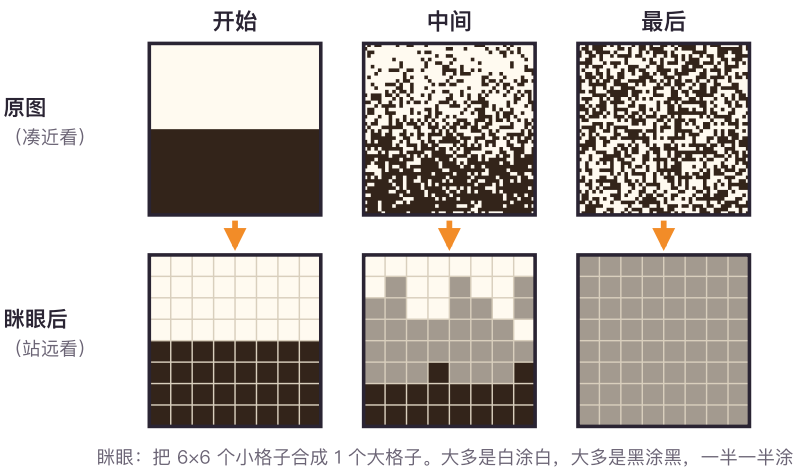
每个格子只和邻居打交道，大家守同一条简单规则。这种格子游戏叫**元胞自动机**。“元胞”就是小格子，“自动机”就是按规则自己动的机器。所以论文叫“咖啡自动机”。

3 两把尺子：直接压，眯眼再压

第 5、6 课讲过：有规律的东西能压缩，乱的压不小。压完的大小，可以粗略地代表“描述要多长”。科学家每隔一段时间给格子图拍一张“照片”，用两把尺子量一量。

尺子	怎么量	量的是什么
尺子 1	把原图直接交给压缩软件，看压完有多大	乱的程度（熵）
尺子 2	先眯眼，再把眯眼后的图交给压缩软件，看压完有多大	有趣程度（复杂程度）

电脑怎么“眯眼”？它把一小块格子合成一个大格子。大格子里大多是白，就涂白。大多是黑，就涂黑。差不多一半一半，就涂灰。科学家把这一招叫**粗粒化**。

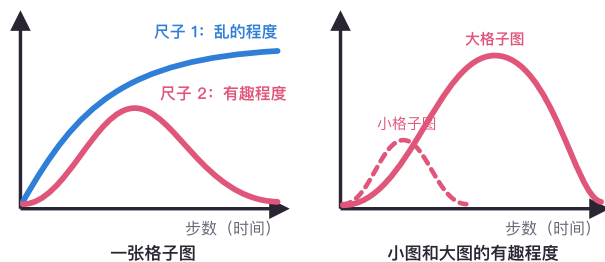


为什么一定要眯眼？

看“最后”那张原图：全是乱点。压缩软件找不到规律，只能一格一格照抄，压完最大。不眯眼的话，最乱的图会被当成“最复杂”。可它一点也不有趣，只是乱。

眯眼以后，乱点抹成一片灰，一句话就说完。眯眼抹掉**乱细节**，留下**大样子**。尺子 2 量的，就是大样子有多复杂。

4 结果：真的有一座小山



示意图：只画形状，不是真实数据。

用尺子 1 量，乱的程度一路往上走，最后不再变。用尺子 2 量，有趣程度先上去，再下来，真的像一座小山。换别的压缩软件，小山的形状也没变。

格子图越大，小山越高。换成更大的格子图再做，小山更高，山顶也来得更晚。可以这样想：大杯咖啡能冒出更多花纹，混匀也要更久。

要说清楚：这是电脑实验，不是证明。科学家看到了小山，可是还没有严格证明它一定会出现。

5 一定要“挤一挤”

科学家还做了另一个版本，我们叫它“幽灵牛奶”。两个版本比一比：

	挤一挤版本（第 2 节那个）	幽灵版本
怎么动	每格只放 1 个。牛奶和咖啡只能和邻居换位置，互相挡路。	每颗牛奶自己乱走，不管别人。一个格子能叠好几颗。
有没有小山	有	几乎没有（科学家先修好了眯眼规则的小毛病，去掉了分界线上的“假花纹”）

可以这样想：幽灵牛奶互不打扰，眯眼看是从上到下慢慢变深，几句话就说完。挤一挤的版本里大家互相挡路，会冒出不规则的形状。结论是：粒子之间要互相影响，有趣的花纹才会明显出现。

6 这和今天有什么关系

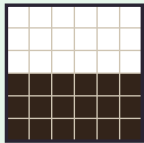
聊天 AI 要学的，也是“眯眼后的样子”。ChatGPT、Claude 这些聊天 AI 读过海量的文字。它们要学规律，不是背下每个字。第 5 课讲过，会猜就会压缩。2023 年，DeepMind 公司的科学家真的把这种猜字程序当压缩软件用，压文字比普通压缩软件还小。

也要说清楚不足。这篇论文没有造出 AI。它的压缩软件只会找“重复”，认不出漩涡。怎样分清“有意义的样子”和“乱细节”，科学家今天还在想。

7 动手：方格纸上的格子咖啡

玩法（2—3 个人，约 20 分钟）

1. 画 6×6 方格（每格约 3 厘米）。上 3 行放白子（牛奶），下 3 行放黑子（咖啡）。
2. 掷两次骰子定第几行、第几列。这个格子有不同色的邻居，就交换，记 1 步（不止一个时，让同伴闭眼指一个）。没有就重掷。
3. 走到 10、20、30 步时，描下棋盘，写下描述它要几句话。



0 步

10 步	20 步	30 步
要 _____ 句话	要 _____ 句话	要 _____ 句话

你会发现：0 步时 1 句话就够。后来分界线弯弯曲曲，要说好几句。再走下去，黑白越来越乱。

8 动手：眯眼打分

玩法（2 个人，约 15 分钟）

1. 橙色粗线把每张图分成 16 个 2×2 小块。数每块的黑格：0—1 个涂白，2 个涂灰，3—4 个涂黑，涂进旁边的 4×4 空格。
2. 一人描述，一人背过身照着画。数一数原图和眯眼后的图各要几句话。

	图 A	图 B	图 C
原图 → 眯眼后 (右边你涂)			
原图要几句			
眯眼后要几句			

你会发现：原图里图 C 最费话。眯眼后图 C 是一片灰，最费话的变成图 B。A、B、C 就像开始、中间、最后，眯眼后的句数是一座小山。

9 词语小卡片

元胞自动机

格子游戏：每个格子只看邻居，按同一条规则变化。

眯眼看（粗粒化）

把小格子合成大格子，抹掉乱细节，留下大样子。

熵（乱的程度）

原图直接压缩后的大小。越乱，压完越大。

复杂程度（有趣程度）

先眯眼再压缩后的大小。太整齐、太乱都小。

10 想一想

1. 不眯眼，直接压缩原图，为什么最乱的图会被当成“最复杂”？

2. 如果眯眼时把整张图合成 1 个大格子，开始、中间、最后三张图还分得出谁有趣吗？为什么？

3. 挤一挤的版本有小山，幽灵版本几乎没有。你身边还有什么花样，是大家互相挡路才出现的？

一句话记住：直接压缩量出乱的程度，眯眼再压缩量出有趣程度，它像一座小山。

给家长和老师：本课讲的是 Scott Aaronson、Sean M. Carroll、Lauren Ouellette 2014 年的论文 [Quantifying the Rise and Fall of Complexity in Closed Systems: The Coffee Automaton](#)。论文用 gzip 压缩精细状态估计熵，粗粒化后再压缩估计“表观复杂度”：熵单调上升，复杂度先升后降；3 档阈值有边界伪影，改用 7 档加行多数修正后，非交互模型（讲义的“幽灵牛奶”）几乎不出现复杂度；网格越大，峰值越高、出现越晚。作者承认这还没有严格证明。

示意与简化：第 3 节格子图是我们按交互模型规则在 48×48 网格上自己跑的模拟（6×6 粗粒化、3 档），不是论文原图，“最后”一张挑了没有边界伪影的时刻；第 4 节曲线只示意形状；房子点图随机生成；图 A、B、C 是设计的例子（图 C 每个 2×2 块正好 2 个黑格）；动手 1 只在有异色邻居的格子上交换，比论文规则快；“幽灵版本眯眼后很平滑”是帮助理解的说法。规模关系的具体比例见 [第 7 天中文导读](#)，代码见 [30u30 第 7 天目录](#)（英文）。