

金工研究/深度研究

2020年07月01日

林晓明 执业证书编号：S0570516010001
研究员 0755-82080134
linxiaoming@htsc.com

黄晓彬 执业证书编号：S0570516070001
研究员 0755-23950493
huangxiaobin@htsc.com

何康 021-28972039
联系人 hekang@htsc.com

韩哲 0755-82493656
联系人 hanxi@htsc.com

源洁莹 0755-82366825
联系人 yuanjieying@htsc.com

相关研究

- 1《金工：易方达养老目标 FOF 投资价值分析》2020.06
- 2《金工：企业间力的产生、传播和作用效果》2020.06
- 3《金工：行业全景画像：改进杜邦拆解视角》2020.06

经济系统中有序市场结构的进化

华泰周期起源系列研究报告之九

全文摘要

本文作为周期起源系列研究的第九篇报告，主要论述了有序的市场结构是如何进化而成的。瓦尔拉斯一般均衡所描述的市场最优状态依赖于完全信息的条件，我们认为分散知识理论更适用于解释金融经济系统的运行。虽然企业不能获得所有的信息，但是竞争与利润的存在使得企业能够有效把握核心矛盾而逐步趋同。同时，企业之间小世界网络的连接方式保证了信息和知识传递的高效。元胞自动机模型对于市场秩序的进化过程具有重要的借鉴意义，我们完成了相关的模拟与类比，探讨了变异与自然选择的重要性，也形成了对市场更深刻的理解。

分散知识理论描述了均衡产生过程中反馈机制的运作

传统经济学研究中，瓦尔拉斯一般均衡所描述的市场最优状态依赖于理想化的完全信息条件，奥派的分散知识理论体系能够更好地刻画真实的市场环境。市场参与者所做的决策均是基于自身具备的信息，因此当信息与知识发生变化时，参与者可能会推翻之前的决策。市场中的竞争价格是信息的符号，能够促使参与者调整决策方案，也有助于市场构建反馈机制。

利润竞争机制促使企业行为趋同

市场中企业的生存目标是利润最大化。因此在分散知识理论体系下，虽然企业不具备完全信息，但为了进行利润竞争，企业有动力主动去获取更多的信息并进行帕累托改进。站在全市场层面上看，帕累托改进的结果是逐步实现市场的协调。此外，企业之间的连接方式满足高集聚系数与低平均路径长度的特征，这一小世界现象保证了信息和知识传递的高效。

元胞自动机模型是有序市场结构进化过程的缩影

元胞自动机模型解决多数分类问题的过程，与金融经济系统的运作过程具有较强的可比性。系统中企业受到竞争利润的刺激而趋同的现象能被元胞自动机较好地刻画，遗传算法中遗传变异的思想更是企业创新、市场秩序形成的缩影。更核心地，人为的设计所无法解决的问题，均可以通过不断的进化生成更好的方案。进化的过程是不需要人工干预的，对于确定的目标，与目标统一的筛选机制保证了进化的效率。

风险提示：把元胞自动机模型与真实世界进行类比，存在过度简化的可能；周期规律基于历史数据总结，历史规律可能失效；周期规律对市场长期规律进行研究，无法判断短期的市场情绪与政策冲击带来的影响；市场在某些极端情形下可能出现规律以外的交易风险。

正文目录

周期起源：从自上而下、自下而上的视角理解周期产生的根源	4
企业面临风险与效率的同源矛盾，周期波动是系统稳态	4
利润最大化是企业生存的目标，竞争驱动企业之间相互影响	6
开放的经济系统中，信息的扩散推动秩序的进化	6
不完全信息下市场最优状态的刻画	8
一般均衡理论依赖于理想化的假设，着眼于静态均衡点	8
分散知识理论描述更贴近真实市场环境的场景，强调均衡产生的过程	9
利润竞争机制激励企业趋同，小世界网络便于信息扩散	11
价格作为信息符号刺激市场协调	11
小世界网络提供信息扩散的捷径	12
元胞自动机模型揭示市场秩序的进化	15
元胞自动机与多数分类问题	15
遗传算法可实现规则的进化	16
进化效率依赖于新信息的产生以及筛选机制的稳定明确	20
随机变异为进化注入信息	20
筛选机制与进化目标的统一有助于提升进化效率	21
经济系统中秩序的进化	22
总结	24
参考文献	24
风险提示	24

图表目录

图表 1: 周期产生的四个条件及研究逻辑.....	4
图表 2: 企业风险与效率的矛盾	5
图表 3: 企业类型与供需调节周期	5
图表 4: 企业之间的相互作用.....	6
图表 5: 系统的复杂度与资源、信息的变化关系	7
图表 6: 完全竞争条件下瓦尔拉斯均衡与帕累托最优等价	8
图表 7: 一般均衡理论与分散知识理论	10
图表 8: 风险与不确定性	11
图表 9: 利润竞争促进市场协调	12
图表 10: 经济系统中参与者的交互网络 (示意)	12
图表 11: 小世界网络与规则网络、随机网络	13
图表 12: 元胞自动机规则 (示例)	15
图表 13: 元胞自动机运行结果前四步 (示例)	16
图表 14: 元胞自动机运行结果 (局部多数投票规则)	16
图表 15: 多数分类问题适应度计算	17
图表 16: 遗传算法中规则的交叉互换 (示例)	17
图表 17: 遗传算法中的变异 (示例)	17
图表 18: 遗传算法生成适应度较高的规则.....	18
图表 19: 元胞自动机多数分类问题示例 1	18
图表 20: 元胞自动机多数分类问题示例 2	18
图表 21: 每一代规则的最高、最低、平均适应度及趋势线	19
图表 22: 第 100 代中适应度最高的规则.....	19
图表 23: 第 1 代中适应度最高的规则.....	19
图表 24: 随机变异与限制变异的最高适应度对比.....	20
图表 25: 有效筛选机制与无效筛选机制的最高适应度对比	21
图表 26: 有效筛选机制与无效筛选机制的平均适应度对比	21
图表 27: 有效筛选机制与无效筛选机制的最低适应度对比	21
图表 28: 金融市场与元胞自动机的类比	22

周期起源：从自上而下、自下而上的视角理解周期产生的根源

华泰金工周期起源系列截至当前已发布 8 篇深度报告，系列研究重新梳理了我们对周期的认识，有助于更加深入、更加本质地理解周期产生的根源。我们在探索的过程中逐渐完善逻辑框架，也从自上而下、自下而上两个不同的角度解释经济周期的起源。不同于货币周期理论、投资过度理论、心理周期理论等定性认识经济周期的相关理论，我们基于统一性的视角对金融经济系统进行观测，构建理论框架的同时，也弥补了相关经济学理论仅讨论周期如何在各个指标之间传播，而对周期产生的本源解释力度不足的缺陷。

在前期的研究中，我们借鉴了自然科学、生态系统等现象，对金融经济系统进行探索，并初步对周期的起源进行了刻画。在报告《从微观同步到宏观周期》（20191227）中，我们通过对萤火虫闪烁、节拍器同步等现象进行类比推理，总结出周期性同步的四个可能的条件，分别是 1. 微观个体在做类周期的运动；2. 不同个体之间相互影响；3. 系统存在一定的随机性；4. 有能量的注入保持系统的运转。这四个条件也成为我们后续研究的基础，我们也持续致力于剖析金融系统中这四个条件的工作机理。

图表1：周期产生的四个条件及研究逻辑



资料来源：华泰证券研究所

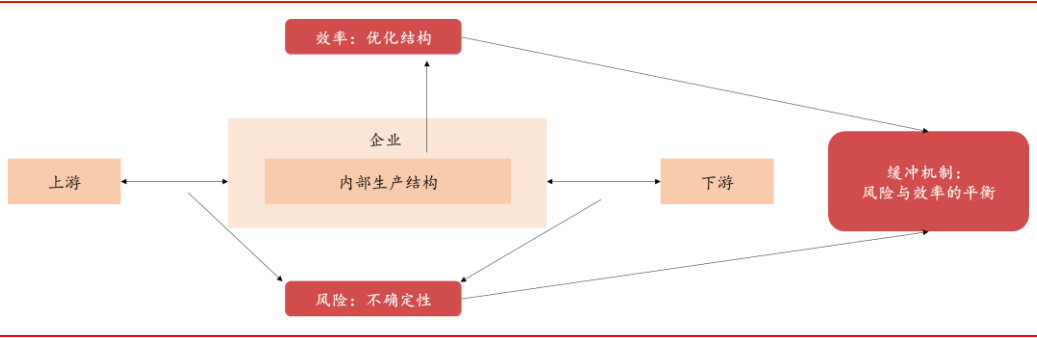
对于上述四个条件，我们不对随机性做过多的说明，金融系统具备随机性应该是普遍的共识。第一和第二个条件主要是从自下而上的视角去论证微观个体的震动与同步如何推演至宏观周期。第四个条件则是从自上而下的角度去探讨开放系统的核心矛盾如何导致系统产生周期。更深入地，我们认为自上而下和自下而上的两个视角，本质上是统一的，信息和资源在系统中的自由流动与交换保证了系统运作的秩序。

企业面临风险与效率的同源矛盾，周期波动是系统稳态

在报告《不确定性与缓冲机制》（20200317）中，我们对企业的库存进行了定量刻画，更为直观地探讨了微观个体的周期可能是不确定冲击在缓冲机制下的过滤与传导。我们认为，市场上的企业就跟生态系统中的生物一样，都以生存为目标。因此站在单个企业的角度上看，企业生存的核心是利润最大化，只有提高利润率才能增加生存的概率，甚至实现进一步的扩张。事实上，站在全市场的整体性角度来看，所有企业所面临的输入输出是一样的。输入指的是企业生产所需要的劳动力与资本，在资源的竞争上所有企业应当是公平的。输出指的是产品，不同类型的产品归根结底都是在竞争消费者有限的消费能力。

基于统一性的视角，任何企业本质上都是一个函数，输入和输出都是所有企业的竞争，而竞争的核心是利润。因此我们可以发现，即便不同的企业会面临不同的具体问题，但核心矛盾是一致的，风险与效率这对矛盾是企业生产所无法回避的关键。更具体地，企业对内需要完成生产，对外需要面对市场以及形成与其他企业的连接，这两者恰好是效率与风险的直接反映。

图表2： 企业风险与效率的矛盾



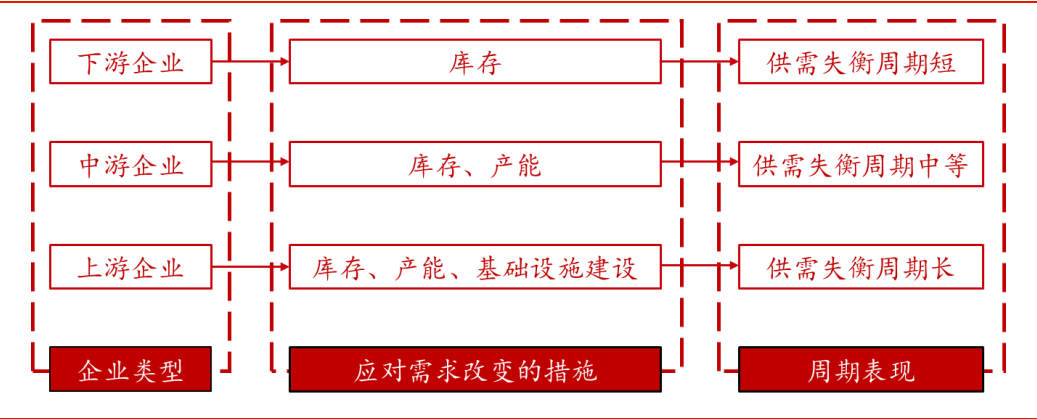
资料来源：华泰证券研究所

效率体现在企业对内应优化生产结构，降低成本，提高生产力；风险体现在企业需要面对需求的不确定性、其他企业的竞争以及市场的冲击。在生存目标一致，且生产要素、资源与信息可以自由流动的前提下，企业所管理的风险与效率的矛盾是同源的，因此在宏观层面上也倾向于呈现同步的行为。同时，为了降低外部不确定性对生产的冲击，企业都会设置一定的缓冲机制，比如库存。在研究了企业库存、劳动力、产量等指标后，我们发现企业库存的最优解并不是静态的均衡，而是随着供需呈现周期波动，且这种周期行为就是系统的稳态。

如果我们从产业链上下游的角度去观测各个企业，可以发现越靠近下游的企业越接近消费者，面临的需求就越零碎，产品也更加多样化。越靠近上游则企业数量越少，生产的产品更加单一，统治地位也越高。我们认为，这是因为整个生产过程依赖于原材料、产能与基础设施，上中下游的企业对于这三个要素的依赖程度不一样。上游通常进行大规模的生产，需要厂房设备，也更倚重基础设施；中游可能更偏重产能，一定程度上同质化的产品需要通过成本与效率形成竞争力；下游则可能更注重产品，需要以差异化的产品赢得消费者的购买能力。

本质上全市场关于原材料、产能与基础设施的核心问题，正好与华泰金工定量测算出的短中长三周期存在一定的对应关系。原材料的存储对应库存周期，产能的扩张对应库兹涅茨周期，基础设施的建造对应库兹涅茨周期。因此，下游企业主要通过调节库存来面对消费者的需求，管理的是基钦周期层面的矛盾；中游企业既有库存调节也有产能的调节，其供需关系逐渐形成库兹涅茨周期；上游企业的调整牵涉到基础设施建造的周期，是驱动产能与库存调节的根本因素，因此上游企业所需要管理的是长度最长的库兹涅茨周期。

图表3： 企业类型与供需调节周期



资料来源：华泰证券研究所

利润最大化是企业生存的目标，竞争驱动企业之间相互影响

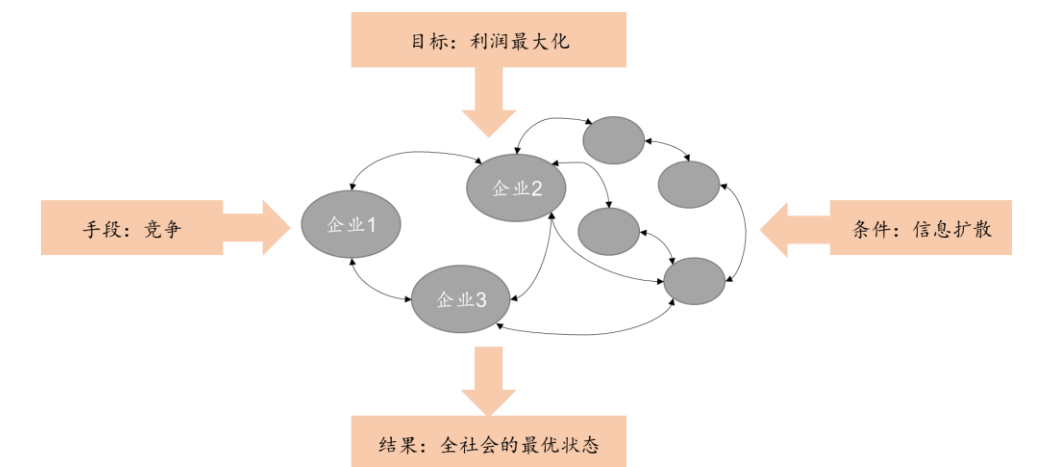
周期起源系列报告中，《周期趋同现象的动力学系统模型》(20200102)以及《耦合振子同步的藏本模型》(20200528)分别描述了心理学上的 HKB 模型和物理学中的藏本模型。

HKB 模型是动力学系统模型，通过模拟可以证明个体之间的相互影响是形成同步的必要条件。藏本模型是用于描述大量耦合振子运动的模型，振子的初始频率可能不同，但在一定条件下，经过充分长时间的相互作用后频率和相位都实现了同步。

HKB 模型与藏本模型其实是在描述力的传播机制，我们也进一步思考，在实际市场中，是什么力量使得企业之间能够相互作用。经济学中非常经典的瓦尔拉斯一般均衡理论对这个问题做了一定的解答。理论指出，在均衡条件下，存在一组均衡价格使得全市场的供需达到平衡。我们认为，这种所谓的“均衡状态”，实际上是系统的“最优状态”，我们不去探讨具体的均衡是什么样的，但我们知道在这个状态下，所有商品和服务的价格都是全市场共同决定的。也就是说，所有的企业，或者说市场的参与者之间都是强相关的，相互作用力的存在使得企业能够对各个要素共同定价。

更进一步地，我们认为企业之间存在相互作用力是因为**所有企业的生存目标都是利润**，同时生产方式、技术、信息可以在各个企业之间自由流动。因此，各个企业在进行利润竞争的时候，资源和信息的流动会使得企业行为相互影响和决定。如果企业不按照最优的生产结构或生产方式组织生产，那么资源和利润会自然流向其他企业。因此，只要存在市场竞争，企业就会有同步的动力，在资源和信息充分流动的前提下，大家都会采取最高效的生产方式与策略，从而在全社会宏观层面靠近“最优状态”。

图表4：企业之间的相互作用



资料来源：华泰证券研究所

开放的经济系统中，信息的扩散推动秩序的进化

站在整体性的视角上看，经济系统是一个自组织的有序系统，具备特定的结构，会远离平衡态。平衡态是热力学中的概念，指的是系统内部是混乱的，没有结构的，系统中的微观粒子处于最无序、无规则的运动状态。而远离平衡态是指，微观粒子的运动是有方向的，粒子的规则运动使得系统呈现出一定的结构。比如空间中运动速度快的粒子都集中于一个区域，使得该区域的气温恒定高于其他区域，那么系统就不是平衡态。

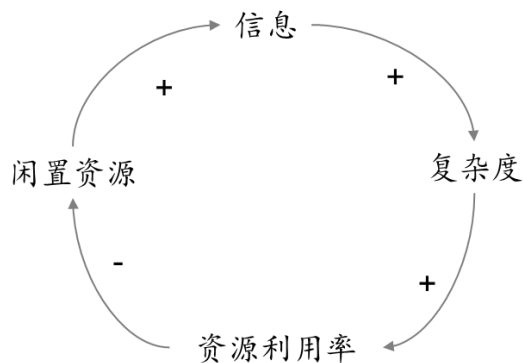
本质上来说，经济系统是耗散结构，核心在于与外界的物质和信息交换。物质是相对直观的，经济发展离不开劳动力、土地和资本。但仅有物质要素是不够的，有了信息才能正确定位供给与需求，才能把劳动力、土地和资本组织起来，使系统达到有序的状态。而这种有序，与前文我们讨论的瓦尔拉斯均衡的“最优状态”是一致的。

对于金融经济系统来说，我们强调信息的重要作用是因为**信息可以减少不确定性**。在生态系统中，生物唯一的目标就是生存和繁衍。类似地，经济系统中，企业的目标是生存以及扩张，而不确定性是企业面临的核心问题。信息是指能够改变系统的生产、供给、技术，能够切实对经济系统的生产模式产生效用的信息。基于这些有用的信息，社会秩序会逐步被建立。**本文的核心在于论述这种有序的市场结构是如何进化而成的。**

具体而言，进化的观点体现在信息的无方向性，所谓有效的信息，是通过变异、进化得到的。也就是说，当一种新的生产模式诞生时，并不能保证一定是优于原有的生产结构的，但经过一定的资源投入以及足够长时间的运作后，如果其持续存活并产生了利润，那就说明这是有用的信息。相反地，如果这种生产结构被社会淘汰，那就说明新的信息是无用的。我们认为所有的进化本质上都是一种计算，而信息是计算的结果，是否能创造利润决定了信息能否被自然选择所留下。类比而言，生物学科中基因的变异如果能更好地适应环境，就会被保留，否则就会被淘汰，这就是自然选择理论的核心。同时，变异是随机的，这就意味着企业需要去探索、去创新，在无方向的变异中找到能够产生利润的有意义的信息。

更进一步，由于企业生存的目标是获得利润，因此这种进化而成的有意义的信息，或者说是新的更有效的生产方式，会通过竞争在系统中传递。更确切地说，**市场是以利润为目标、以竞争为手段的信息传递过程，其结果是基于信息建立秩序**。站在系统的角度上而言，信息越多，效率会越高，系统也就更加复杂。但资源是有限的，当更多的资源用于高效生产，探索信息与产生变异的资源会变少，从而得到的新信息也会变少。在报告《周期是矛盾双方稳定共存的结果》（20200311）中，我们对著名经济学家朱格拉的观点“萧条的唯一原因就是繁荣”做出了一定的解析。经济繁荣时期，大概率是某些最有效率的生产模式在系统中大量扩张，资源的利用效率得到了提升，同时闲置的、用于采集信息的资源变少，导致系统潜在的稳定性降低，久而久之会呈现萧条的景象。而在萧条时期，更多的资源被释放出来，可以进行变异与探索，进化出的新的更有效的生产结构会重新集中资源，并催生出新一轮的繁荣。

图表5： 系统的复杂度与资源、信息的变化关系



资料来源：华泰证券研究所

概括而言，在周期起源的系列研究中，我们一方面从微观个体出发，论述企业的类周期行为，也指出了企业在面临风险与效率的主要矛盾时，在信息与资源自由流动的前提下，受到利润的驱使会相互影响最终形成同步。另一方面在宏观层面上，我们指出金融经济系统是开放系统下的耗散结构，运作的核心在于物质与信息的交换。系统会基于信息进化出一套秩序，在这套秩序下系统会朝着“最优的均衡状态”运作。

不完全信息下市场最优状态的刻画

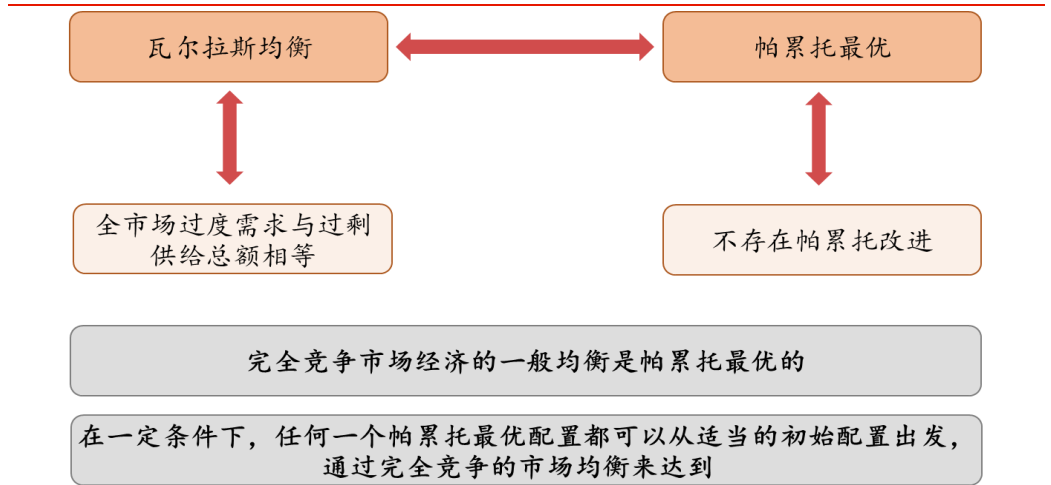
一般均衡理论依赖于理想化的假设，着眼于静态均衡点

经济学中经典的一般均衡理论告诉我们，在商品市场和生产要素市场中，一切商品及生产要素的价格与供求都是互相联系、互相影响和互相制约的。经过充分长时间的调节后，各个要素可以达到一个彼此相适应的稳定状态。这个稳定状态对应确定的价格与供给量，即为市场的瓦尔拉斯一般均衡。

从抽象意义上来说，瓦尔拉斯一般均衡描绘了市场的“最优状态”：所有市场参与者都达到最大程度的满意，消费者获得最大效用，企业获得最大利润，生产要素所有者获得最大报酬。事实上，瓦尔拉斯一般均衡关注的是确定的均衡点，描述的是静态均衡。在达到均衡状态之后参与者将没有动力去改变自身的行为。又或者说，各个参与者对于均衡的目标从一而终，在市场开始运作时就明确固定了决策的方向。

可以看出，瓦尔拉斯一般均衡与帕累托最优是一致的，因为所有市场参与者都无法在不牺牲自己或他人利益的前提下提高效用，也就是不存在帕累托改进。然而在真实的市场环境中，一般均衡似乎是可望而不可即的状态。瓦尔拉斯一般均衡假定完全竞争市场中所有参与者获得完全信息，且经济中不存在不确定因素。需要指出，完全信息这一理想化的假设在现实中不可能实现。即便是当前时间点在小地理范围内实现完全信息已经不可能，而在全市场更广泛的时间空间范围内要实现完全信息则更是异想天开。我们认为，完全信息是人类永远追求但是永远达不到的发展目标，因此把完全信息作为理论的假设，会导致理论脱离实际，从而失去参考价值。

图表6：完全竞争条件下瓦尔拉斯均衡与帕累托最优等价



资料来源：华泰证券研究所

真实的市场运作过程是，由于参与者不具备完全信息，每个时点都只能基于当下所获得的信息去进行“最优的”决策。因此，所谓的“最优”取决于信息，所有可能偶然获得的信息与知识都可能会导致参与者改变原有的决策。这么来看，市场的“最优状态”也依赖于参与者信息的总和，所以不是一成不变的。更确切地说，应当是随着信息的变化而动态发生变化的。这一动态的“最优状态”比一般均衡理论中的静态均衡更贴近市场，也描绘了更丰富的市场参与者行为。

我们强调信息在市场中的作用是因为我们认为，**社会的本质是人际关系的集合，经济是生产结构的集合，经济的发展在社会层面留下的痕迹就是生产关系**。因此从社会的角度来看，前文我们所提到的参与者做的帕累托改进，本质上是在推动经济的发展，又或者说，经济的发展本质上是生产关系的帕累托改进。新的生产关系的建立，或者是已有生产关系的再平衡，都是生产关系帕累托改进的主要途径，这两者都依赖于新的有效信息的获取。因为每一个现有的生产关系，都已是当前状态下的“最优”，唯有增量信息才能刺激改变。

总结来看，更贴近金融经济系统运作的场景，应该是各个参与者一直在基于最新的信息做帕累托改进，却达不到帕累托最优。也就是说，实际的市场环境会长期存在帕累托改进的空间，因为信息对于社会生产力和生产关系具有决定性作用，具体体现在信息有助于整合资源，并进一步改变生产、供给、技术，能够切实对经济系统的生产模式产生效用。由于生产关系决定产出水平进而决定生活水平，所以经济系统的参与者会一直有动力去做帕累托改进。

分散知识理论描述更贴近真实市场环境的场景，强调均衡产生的过程

由于市场参与者不能获得完全信息，因此讨论以瓦尔拉斯均衡为目标的最优状态不具备现实意义。奥地利学派的分散知识理论则更贴近真实的市场环境，更注重描述向最优状态靠近的过程，也更适用于对金融经济系统的分析。哈耶克是奥派经济学家的代表，被誉为二十世纪最具影响力的经济学家及社会思想家之一，其“分立的个人知识”、“自由秩序原理”等理论都对我们探讨经济系统中信息的传递以及市场如何形成秩序有指导意义。

奥派的经济学理论强调重视时间的“过程意识”，意在强调市场是一个变化的过程，而研究的核心应当在于分析促使市场不断变化的原因。特别地，哈耶克对经济的理解是从知识角度进行的，在他看来，经济秩序本质上是要实现对知识的有效利用。由于不同个人所处的时空和情境不同，所以产生了有利于自身的独一无二的知识。

可以看出，不同于传统的均衡理论中静态的分析视角，奥派的分散知识理论承认信息的不完全，基于时刻变化的信息去理解市场如何整合信息并向“最优状态”逼近的过程是更真实也更有价值的分析视角。哈耶克进一步主张，**市场竞争中的价格对于解决分散知识的使用、实现市场协调有着至关重要的作用**。

“实现市场协调”是经济系统运行过程中非常关键的环节，也就是使得市场更有序。本质上来说，瓦尔拉斯一般均衡也是指导市场进行协调的信号，但竞争价格对于分散知识的整合能够有效构建市场的反馈机制。举例而言，日常生活中我们都需要搭乘电梯，观察可以发现电梯调度的背后应该会有一套复杂的算法原理。假设有一种算法，能够一直以最佳的方案运作，让所有乘客等待的时间都最短。而另一种算法在初始运行时可能不够精确，使得大家等待的时间变长。但这种算法具有反馈功能，可以依据乘客的等待时间去调整电梯的调度方案，不断优化出更加理想的运算方案。

瓦尔拉斯一般均衡好比最理想的算法，只要市场参与者按照均衡价格去交易，就相当于做出了协调且最优的决策。均衡价格与产量的作用是传递正确的市场信息。分散知识理论体系下对市场信息进行整合的价格则更像是第二种电梯调度算法。市场参与者只能根据自己所获得的信息去定价、买卖，因此当参与者获得更多的信息时，可能会认为前期买高了或者卖低了，从而对自己的决策做出调整，进而实现全市场的协调与统一。

图表7：一般均衡理论与分散知识理论

一般均衡理论	前提：完全信息	结果：静态均衡	均衡价格的作用： 传递正确信息
分散知识理论	前提：不完全信息	结果：动态均衡	竞争价格作用： 反馈市场的不协调情况

资料来源：《自由秩序原理》，华泰证券研究所

著名经济学家柯兹纳为当代奥地利学派的掌门人，他指出：“**非均衡的混乱价格提供了一种反馈机制**。非均衡价格所起到的作用与均衡价格完全不同，最重要的不是指导人们以此为依据来行动，而是以其错误暗示市场上存在不均衡不协调的情况，激励人们发现以前自己并不知道的信息，并在新发现的知识的基础上协调行为”。

总结而言，我们更倾向于在分散知识理论体系下对市场进行研究，是因为完全竞争与完全信息的假设过于理想化，而分散知识恰恰描述了更为真实的市场环境。市场参与者基于自身信息做决策，竞争的价格反映了更新的市场信息，也促使参与者调整决策方案。竞争价格的存在有助于市场构建反馈机制，也反映了经济系统能够容纳错误并从错误中得到反馈信息进而加以改进。

利润竞争机制激励企业趋同，小世界网络便于信息扩散

在上一章中，我们指出市场不可能实现完全信息。本章我们将重点讨论，虽然企业不能获得所有的信息，但是竞争与利润的存在使得企业能够有效把握核心矛盾，同时企业之间小世界网络的连接方式保证了信息和知识传递的高效。

价格作为信息符号刺激市场协调

对于不具备完全信息的企业而言，如何过滤市场的噪音并提取有效的信息是决策的关键。分散知识理论强调市场中竞争价格的作用，因为价格是“滤去背后复杂市场变化原因的简单信息符号”。也就是说，价格在中作为信息传递的媒介，在一定程度上弥补了“分立的个人知识”的缺陷。通常而言，市场参与者可以根据产品或者要素的价格判断其处于供过于求还是供不应求的状态，从而直接做出决策。参与者不需要关心导致价格变化的因素，因为价格本身已经浓缩了对其而言有效的全部信息。

更深一层地，为什么市场参与者会根据价格改变决策？我们认为，**价格本质上是对市场不确定性的一个确定答复**。二十世纪最有影响力的经济学家之一、芝加哥学派创始人弗兰克·奈特在他的著作《风险、不确定性和利润》中指出：“不确定性是利润存在的基础”。因此概括而言，企业生存的目标是利润最大化，价格能影响决策是因为其背后预示着利润空间。

奈特最早对“风险”与“不确定性”进行区分，把不确定性定义为不可度量的风险，其特征是客观概率完全不可知。奈特认为，在不确定性假设下，所有的生产决策是在知识有限的情况下做出的，以至于对可能出现的结果进行概率计算是不可能的。也就是说，即便市场参与者都知道在瓦尔拉斯一般均衡理论的假设下，最优的决策是价格与成本一致，但实际市场中不能实现完全竞争，也就导致了价格与成本存在差额，从而产生了利润。

图表8：风险与不确定性

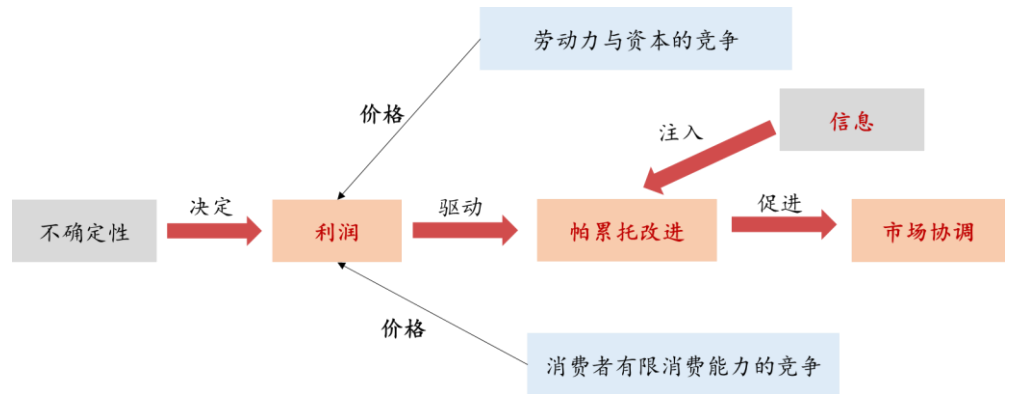
风险	定义：可度量的不确定性	概率分布可知，可根据过去推测未来
不确定性	定义：不可度量的风险	无法预知没有发生过的将来事件

资料来源：《风险、不确定性和利润》，华泰证券研究所

以企业之间的相互作用机制作为切入点，我们发现企业做帕累托改进的驱动因素是竞争与利润。我们指出，正因为真实市场中竞争不完全，所以竞争才越重要。企业以最大化利润为目标，同时需要管理不确定性，而在生产与交易的过程中，确定的价格是管理不确定性的重要途径。价格是市场环境的浓缩，更是信息的集中体现，企业通过价格可以最快地接收全市场的有效信息。

一般均衡理论指出，均衡价格是由所有市场参与者共同决定的，因此价格具备一定的“权威性”，不易被改变。我们认为在分散知识理论体系下，竞争价格的指示性作用同样显著。虽然竞争价格是非均衡、存在高低差别的，但价格有助于市场构建反馈机制，不断减少高买低卖的交易，使得价格越来越具备公允性。进而，价格可以成为一个重要的信息符号，是企业决策的关键。

同时，竞争是重要的信息传播途径。即便全市场不具备完全竞争的条件，但竞争依然是普遍存在的，核心在于企业对利润的追求。只要有利润空间，企业就会有动力去获取更多的信息与资源，并进一步提升生产效率、改进生产关系。利润的竞争提升了企业对于更广泛信息获取的紧迫性，也使得信息能更容易在全市场范围内扩散与流动。信息并不指代某种技术或者某些设备，而是对能进一步改变生产、供给、技术与能切实对经济系统的生产模式产生效用的信息的总称。信息不带给企业具体的改变方向，但有助于企业进行帕累托改进。

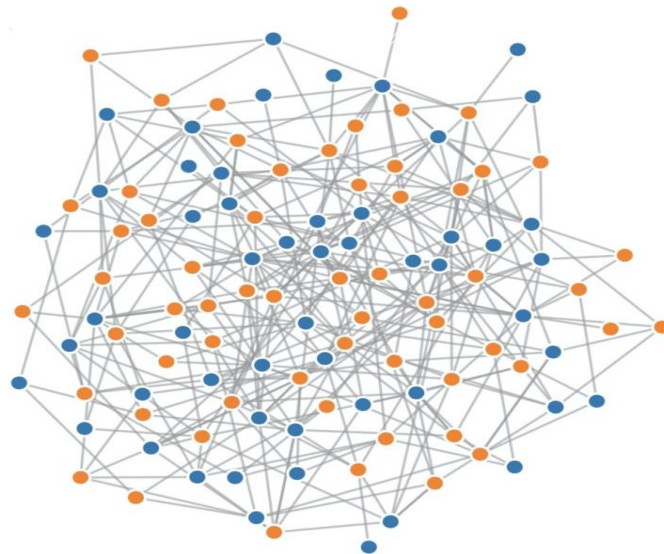
图表9： 利润竞争促进市场协调

资料来源：华泰证券研究所

总结而言，企业以利润最大化为目标，进行决策时总是基于现有的信息考虑最优的方案。由于利润基于不确定性，且利润空间普遍存在，管理不确定性以及市场竞争成为企业发展中的关键环节。为了进行利润竞争，企业有动力去获取更多的信息并进行帕累托改进。站在全市场层面上看，帕累托改进的结果是逐步实现市场的协调。此外，在企业所获取到的信息中，竞争价格是其中浓缩了丰富信息的简单信号。因此，价格的存在使企业竞争的手段更为透明，也促使了重要信息更有效地传播，并进一步推动市场实现协调。

小世界网络提供信息扩散的捷径

在上一节中，我们探讨了企业的决策、市场的协调都离不开信息的传递，本节里我们将论述经济系统的特殊组织方式保证了信息扩散的高效。复杂的经济系统可以视为众多参与者及其之间关系的总和，经济参与者可以理解为网络中的一个节点，发生在两个个体之间的交互作用则是两个节点之间的连线，大量的个体组成了以交易、合作、竞争等关系为媒介的复杂网络。这个网络中的点通过成千上万条连线产生直接或间接的联系。比如产业链上下游因为交易直接影响，同行业通过相同的上下游产生竞争而间接影响。

图表10： 经济系统中参与者的交互网络（示意）

资料来源：华泰证券研究所

事实上，经济系统中的参与者通过小世界网络的方式进行连接。所谓小世界网络，是一类特殊的复杂网络结构，大部分的节点彼此不相连，但绝大部分节点之间经过少数几步就可到达。日常生活中，小世界网络的连接方式随处可见，小世界结构促进了信息的流动、社交的影响、流行病的传播等。

Duncan Watts 和 Steven Strogatz 最早于 1998 年在 *Nature* 杂志上发表了关于小世界网络模型的论文 *Collective dynamics of 'small-world' networks*，论文将高集聚系数和低平均路径长度作为网络的特征，在数学上严格定义了 WS 模型，也是最典型的小世界网络的模型。在学界，小世界网络被广泛应用于人际关系、生物学、物理学、计算机科学等领域的研究，常见的万维网、公路交通网、脑神经网络和基因网络也都被证实呈现小世界网络的特征。

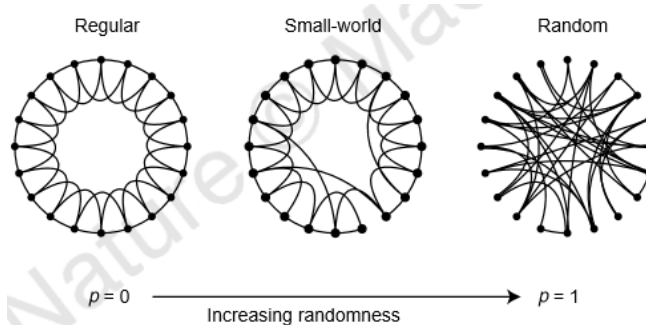
日常生活中，有时候我们会发现某些似乎距离很“遥远”的人其实离我们“很近”，也时而惊叹于“这个世界好小”。经典的“六度分隔理论”描述的正是这种小世界现象。二十世纪 60 年代，美国哈佛大学社会心理学家 Stanley Milgram 做了一个连锁信实验。参加实验的志愿者被要求把信件通过自己的熟人交到信封上指明的收件人手上。最后 296 封信件中有 64 封送到了目标人物手上，且平均只要经过 5 个熟人。Stanley Milgram 推断在社会网络中，任意两个人之间的“距离”是 6。

尽管 Stanley Milgram 的实验设计不尽完善，但小世界现象得到了更高的关注。Game of Kevin Bacon 也是类似的实验，“Bacon 数”用于描述与好莱坞著名演员 Kevin Bacon 的“合作距离”。如果一个演员与 Bacon 合作过电影，那么他的“Bacon 数”为 1；如果一个演员没有与 Bacon 合作过，但与某个“Bacon 数”为 1 的演员合作过，那么他的“Bacon 数”为 2，以此类推。实验对超过 133 万名世界各地的演员进行统计，发现他们平均的“Bacon 数”是 2.981，最大的也仅仅是 8。

数学界中的“埃尔德什数”(Erdős number)也是类似的实验。现代匈牙利数学家保罗·埃尔德什是随机图理论的开创者之一，实验定义与他一起发表过论文的学者的“埃尔德什数”是 1，与这些学者合作过但没有跟埃尔德什本人合作过论文的学者的“埃尔德什数”是 2，以此类推。根据美国数学会数据库中的统计，超过 40 万名数学家的“埃尔德什数”平均为 4.65，最大的也仅是 13。

通过上述的一些例子与实验，我们发现小世界属性普遍存在，生活中网络的导航菜单、电网、食物链、脑神经网络、社交影响网络等等都是小世界网络的连接方式。接下来我们从小世界网络模拟构建的方法入手，分析小世界网络的稳健与高效。

图表11：小世界网络与规则网络、随机网络



资料来源：Collective dynamics of 'small-world' networks，华泰证券研究所

在图论研究领域，小世界网络是介于规则网络与随机网络之间的一类复杂网络。上述图表中左图为规则网络，20 个节点中每个节点与其相邻的 4 个节点相连。对图中的每条边，以概率 p 进行随机重连，其中 $0 \leq p \leq 1$ 。 p 为 0 即对应左图的规则网络， p 为 1 对应右图的随机网络， p 介于 0 到 1 之间即可得到中间的小世界网络。

对于通过规则网络随机重连得到的小世界网络，其特征表现为高集聚系数和低平均路径长度。出现这种现象的核心在于随机重连的过程中，一些长边被添加，形成了网络结构中的“捷径”。这些长边两端的节点由于捷径的存在而距离大幅缩小，且长边端点附近的节点通过长边也能更快地到达另外的节点。这样局部的微小变化，最终带来的是全局性的影响，使得网络在信息传递、计算能力上都得到了显著的提升。

我们指出，经济系统中的参与者之间也倾向于形成小世界网络。这是因为所有的远程连接以及沟通与交互都是有成本的，但高效与节约是市场不变的追求，因此市场会有构建“捷径”的需求和动力。举例而言，高铁、飞机等交通工具逐步减弱物理距离对交易的影响，使得处于不同地域的材料与产品能够交互与流通；互联网的发展使得沟通与交流变得更加便捷，不受时间与空间的限制。更确切地说，两种存在一定矛盾的压力选择导致了小世界网络的形成：在系统内快速传播信息的需要，以及产生和维持可靠的远程连接的高成本。

产业链的上下游自然形成集群，同行业之间也因为竞争合作关系聚集成群。进一步地，随着生产力水平的不断提升，劳动分工越加精细，相互依赖程度较高的各个产业也会形成集群。同时，市场参与者之间的物理距离与信息距离都因为科技的发展而缩短。总结来看，小世界结构的高集聚系数和低平均路径长度两个特征都能在经济系统中得到合理的体现。也正因为小世界网络的连接方式，信息的传播成本大幅降低，扩散更为高效。

不难发现，小世界网络比随机网络更有序，同时其复杂性比规则网络更低，因此稳定性相对规则网络更高。小世界网络的连接结构是对规则网络与随机网络的平衡，维护了系统的秩序，也更稳定高效，反映了真实市场的实践智慧。

元胞自动机模型揭示市场秩序的进化

在前文中，我们探讨了企业以利润为目标、以竞争为手段的信息传递过程。本章我们将重点分析市场秩序的建立过程，关注宏观层面上系统如何完成信息的扩散，以及系统实现从无序到有序的工作机理。特别地，元胞自动机对于这个问题的研究具有启发性的意义，我们具体利用元胞自动机模型完成相关的模拟与类比。

元胞自动机与多数分类问题

多数分类问题也被称为密度分类问题，一个简单的例子是：假设房间里有一定数量的灯泡，如果初始状态下亮灯的占多数，那么最后应使得所有灯泡都亮灯；相反地，如果初始状态下熄灯的占多数，那么最后所有灯泡都应该熄灯。假如具有完全信息，能够知道房间里所有灯泡的状态，那么这个问题非常简单，只需要统计初始状态的亮暗灯泡数目就可以轻易解决。但假如不具备完全信息，这个问题会变得异常复杂。

在不完全信息的假设下，每个灯泡只能观察附近几个灯泡的亮暗状态，并据此决定自身下一时刻的亮暗。事实上，这一情景是许多现实案例的缩影，夏夜闪烁的萤火虫需要根据周围萤火虫的状态来调整自己的亮暗节律；大脑神经元与周围少数神经元连接，最终被激发或被抑制；市场中的企业只能观察邻近企业的决策，对自己所处的环境进行判断进而做出决策。这些恰恰都是分散知识理论的应用场景，而元胞自动机则是统一解决这类问题的抽象模型。

“元胞”是模型中的独立个体，相当于上述例子中的灯泡。元胞自动机运作的每一步中，每个元胞观察邻域元胞的状态，依据规则决定自身下一时刻的状态。其中“规则”定义为由邻域的元胞状态到下一时刻自身状态的映射。也就是说，根据给定的规则，每个灯泡可以唯一确定下一时刻应该是暗还是亮。下述图表给出了邻域包含 3 个元胞的规则示例。假设红色为亮灯，白色为灭灯，那么每个元胞都能在左列找到自身当前邻域元胞的状态，对应的右列即为该元胞下一时刻的状态。特别地，如果规定亮灯为 1 状态，灭灯为 0 状态，且左列的邻域元胞状态都按下述图表的顺序排列，那么规则可以编码为右列的 8 位数字“01110110”。每一个规则都唯一对应这样一个 8 位数。

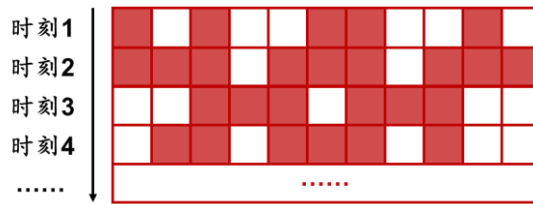
图表12：元胞自动机规则（示例）

当前邻域 元胞状态	下一时刻 自身状态

资料来源：《复杂》，华泰证券研究所

假设共有 11 个灯泡环形排列（环行保证每个灯泡的邻域均有明确定义），元胞自动机按照上述规则运行，前四步的结果示例如下图表所示。

图表13：元胞自动机运行结果前四步（示例）

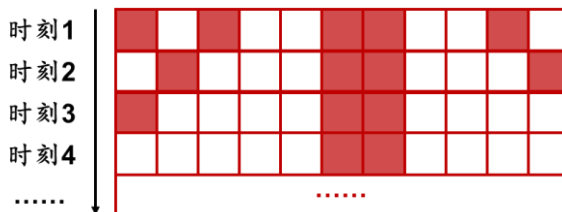


资料来源：《复杂》，华泰证券研究所

从上述图表可以看出，3 个元胞有 $2^3 = 8$ 种可能的状态集合，每种状态可以对应亮或暗两种下一时刻的元胞状态，因此共有 $2^8 = 256$ 种可能的规则。特别地，这一元胞自动机被 Stephen Wolfram 称为初等元胞自动机，这 256 种规则也被 Stephen Wolfram 统一定义与研究，且为了更深入计算元胞自动机，Stephen Wolfram 还发明了数学软件 Mathematica。

对于多数分类问题，“局部多数投票”是最简单直接的想法：每个元胞在下一时刻都变成邻域中当前占多数的状态。然而，这个规则却连上述仅有 11 个元胞的场景都无法解决。在上述示例中，初始时刻 1 灭灯的灯泡更多，因此多数分类问题要求最后所有灯泡均灭。按照局部多数投票的规则，运行至时刻 4 后，所有灯泡的状态都不会再变化，但中间始终有两个灯泡处于亮灯状态。

图表14：元胞自动机运行结果（局部多数投票规则）



资料来源：华泰证券研究所

“局部多数投票”的规则甚至无法应付初等元胞自动机的简单情形。若是假定每个元胞可以观察附近 6 个元胞的状态，算上其本身，邻域共包含 7 个元胞，那么元胞自动机背后的计算量将变得非常庞大。一方面，每个元胞有 0 与 1 两种状态，对于每一个元胞而言，其邻域的 7 个元胞共有 2^7 即 128 种可能，因此可能的规则共有 2^{128} 种。另一方面，假设共有 149 个元胞，选择奇数可以避免初始条件下两种状态的元胞数量相等导致多数分类目标不明确。那么最完美的规则是对于所有可能的初始状态，按照这个规则执行都能完成多数分类问题，若是逐一验证的话需要验证 2^{149} 个场景。

以上超乎想象的计算量大概无法通过个人完成，想要人为设计出完美的规则来解决多数分类问题可能性近乎为零。真实的金融市场复杂度远比元胞自动机模型更高，企业的数量、可能的状态数量都难以估量，因此人为设计的运行规则也大概率是不完美的。

遗传算法可实现规则的进化

在本节中我们指出，虽然人为设计的规则难以解决多数分类问题，但遗传算法可以实现规则的进化，逐步生成更优的规则。遗传算法（Genetic Algorithm, GA）是一种模拟自然进化过程的求解方式，利用生物学中的遗传和变异机理以及进化论中的自然选择对解进行修正与筛选。经过足够长时间的更新迭代后，通常能获得适应度较高的优化结果。适应度是遗传算法中的重要概念，类似于进化过程中对个体的环境适应能力的评估指标，遗传算法中的适应度根据目标问题而设定，用于判断个体的优劣。

对于上一节中的多数分类问题，论文 *Evolving Cellular Automata with Genetic Algorithms: A Review of Recent Work*(1996)中给出了计算规则适应度的方法如下图表所示。其中随机生成灯泡的初始状态时，需要先随机生成灯泡的初始 0-1 状态所服从的伯努利分布的参数 p 。这是因为 p 为 0.5 时，0 与 1 状态的数量可能最接近，也是多数分类问题中面临的最困难的情景。因此，先随机生成 1 状态的概率占比参数 p 一方面是为了提升遗传算法的运算效率，另一方面也便于测试更多更普遍的场景。

图表15：多数分类问题适应度计算

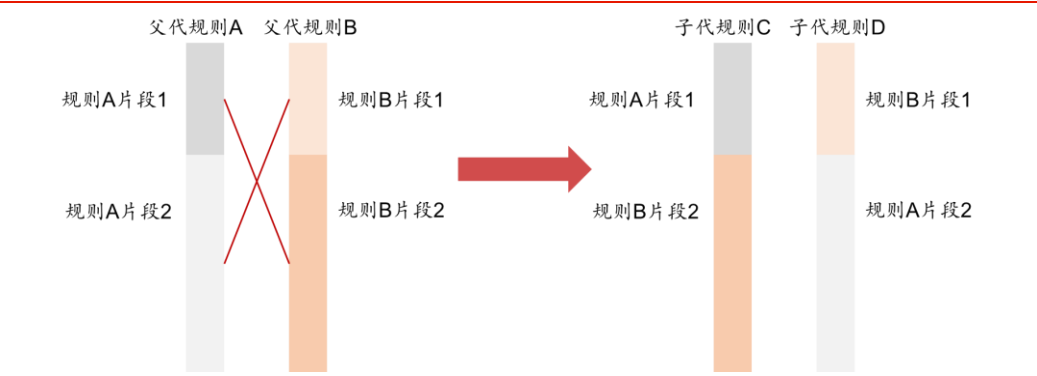
初始状态：149个灯泡	设定奇数避免初始状态下灯泡恰好亮暗各半使得分类目标不明确
初始状态：随机生成100组0-1状态	0与1分别代表灯泡的暗和亮状态，随机生成亮状态的占比概率 p ，随机生成灯泡状态，每个灯泡以概率 p 为1，概率 $1-p$ 为0
迭代计算：规则作用于初始状态开始迭代，迭代至定点或迭代300次停止	迭代至定点即规则继续作用但灯泡状态不再发生变化
计算适应度：100组初始状态下，最后正确完成多数分类的比例	每组初始状态均有唯一一个多数分类目标（灯泡全亮或全暗），迭代计算后完成多数分类目标即为正确分类

资料来源：Evolving Cellular Automata with Genetic Algorithms: A Review of Recent Work，华泰证券研究所

基于上述适应度计算方法，计算得到“局部多数投票”规则的适应度为 0，重复上述过程 500 次计算平均适应度仍为 0。可见“局部多数投票”规则在大多数场景下均无法解决多数分类问题。

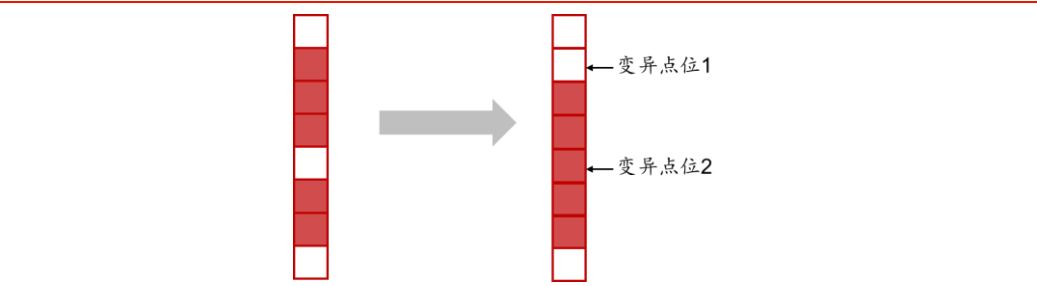
接下来我们深入探讨如何利用遗传算法生成适应度较高的规则。遗传算法的核心在于遗传与变异，遗传指的是子代规则由两个父代规则发生交叉互换而得到，变异则是指子代规则中随机两个点发生突变。突变在元胞自动机的规则里具体指由 0 状态变成 1 状态，或是由 1 状态变成 0 状态。

图表16：遗传算法中规则的交叉互换（示例）



资料来源：华泰证券研究所

图表17：遗传算法中的变异（示例）



资料来源：华泰证券研究所

在生物进化的过程中，基因变异是随机的，变异本身并不意味着生物对环境的适应性增加。但自然选择会使适应性更高的变异更可能被保留下来，并遗传到后代。相反地，适应性较低的变异则由于不能持续存活而被淘汰。因此，进化的过程意味着细微的有利变异不断累积。遗传算法中的变异也是类似的，我们特别强调变异的作用是因为，随机的变异产生了新的信息，未知的变异位置与变异方向都是对原有规则的信息注入（只有 0 与 1 两种状态时，变异只可能是由 0 变成 1 或由 1 变成 0，但如果有多种可能的状态，变异的方向是不定的）。适应度的计算会对新的信息进行检验，进化的过程倾向于保留使得适应度提升的信息。利用遗传算法生成规则的步骤如下图表所示。

图表18：遗传算法生成适应度较高的规则

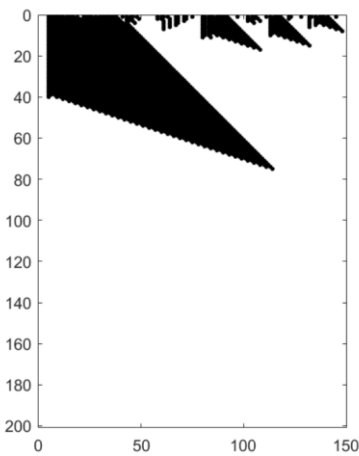
每一代中同时处理100个规则	对一定样本数量的规则进行“优胜劣汰”
随机生成100组149个灯泡的0-1状态	每一代均随机生成初始状态，保证适应度的计算可靠
计算每个规则的适应度，对规则按适应度从大到小排序	适应度的算法见上述图表
适应度排名前20的规则保留至下一代	保留适应度较高的规则
随机选取两个排名前20的规则进行交叉互换，生成的子代规则随机选取两个位置进行突变	适应度较高的前20个规则通过遗传变异生成80个新规则

资料来源：Evolving Cellular Automata with Genetic Algorithms: A Review of Recent Work，华泰证券研究所

从上述流程可以看出，每一代的规则计算都是一个优胜劣汰的过程，完整保留适应度最高的 20 个规则，并利用这些规则的遗传变异生成子代规则。在《复杂》中，作者给出了一个能够较好解决共 149 个元胞，每个元胞的邻域包含 7 个元胞的多数分类问题的规则为“000001010000011000010101100001110000011100000100000101010101011101100100011101100000101000000010111110111111111011011101111111”。

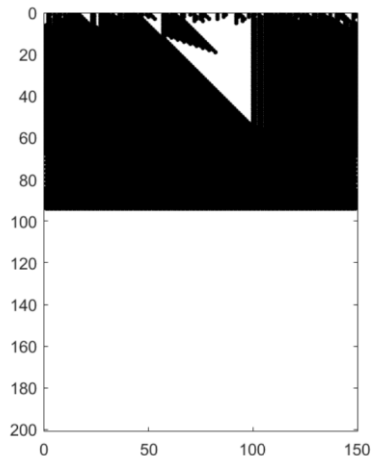
下图给出了正确解决多数分类问题的两个元胞自动机示例，其中横轴为元胞，纵轴从上到下为元胞自动机随时间变化的运作过程。左图初始状态下 149 个元胞中共 79 个白色，运行至第 76 步时所有元胞均为白色；右图初始状态下共 82 个黑色元胞，第 93 步时所有元胞均为黑色。

图表19：元胞自动机多数分类问题示例 1



资料来源：华泰证券研究所

图表20：元胞自动机多数分类问题示例 2

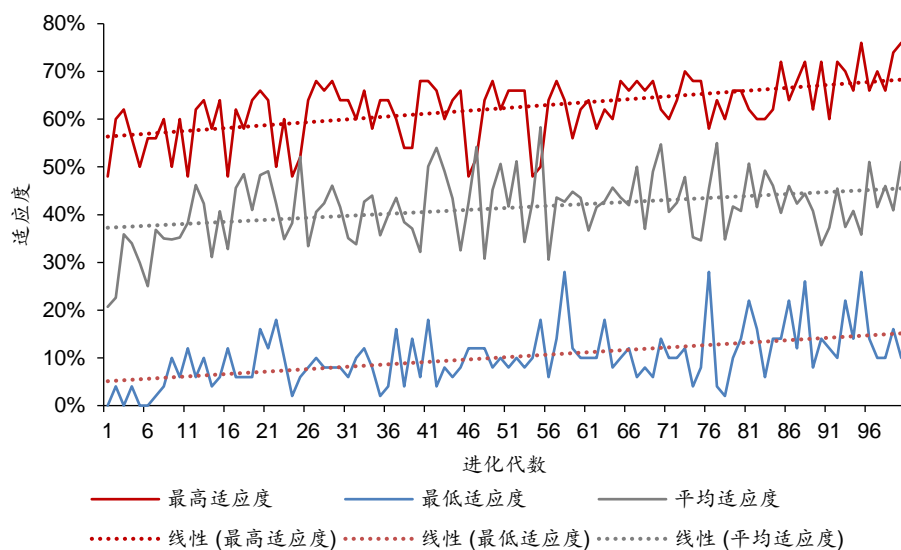


资料来源：华泰证券研究所

接下来我们尝试利用遗传算法训练解决元胞自动机多数分类问题的规则，以初等元胞自动机为例，元胞自动机模型包含 11 个元胞，每个元胞以附近 3 个元胞为邻域。若考虑包含 149 个元胞，每个元胞以附近 7 个元胞为邻域的元胞自动机，计算步骤与方法完全相同，但耗时相对更长，在本文中暂不做详细分析。

下图呈现前 100 代规则的最高、最低以及平均适应度，可以看出适应度并不是随着迭代次数的增加严格递增的。这是因为每一代中均随机生成 100 个不同的初始状态，上一代中适应度最高的规则仅代表其能较好解决上一代的 100 个初始状态的多数分类问题，但却未必能较好适应这一代的 100 个初始状态。从趋势上看，随着迭代次数的增加，规则的最高、最低、平均适应度呈现波动上升的态势。

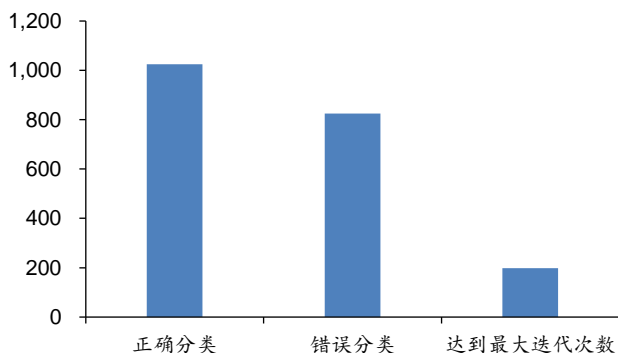
图表21： 每一代规则的最高、最低、平均适应度及趋势线



资料来源：华泰证券研究所

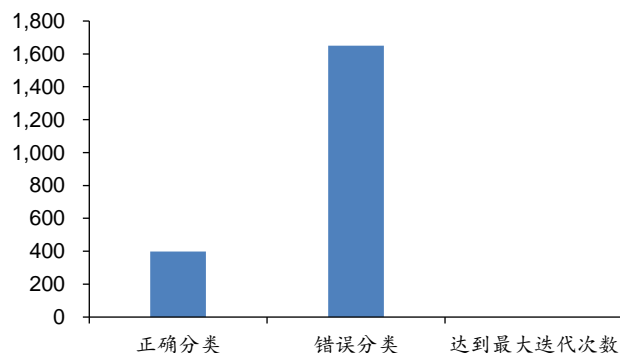
用遗传算法进化到第 100 代时，适应度最高的规则适应度达到了 76%，适应度最低的规则适应度也有 10%，远高于初代随机生成规则的 0% 适应度。由于我们仅讨论包含 11 个元胞的模型，因此可能的初始状态共有 2^{11} 即 2048 种可能。对于计算机而言，这一计算量不算特别大。进一步地，我们遍历这 2048 中可能的初始状态，考察第 1 代及第 100 代适应度最高的规则能多大程度应对多数分类问题。下图呈现了该规则正确解决多数分类问题、错误分类、达到最大迭代次数的比例。

图表22： 第 100 代中适应度最高的规则



资料来源：华泰证券研究所

图表23： 第 1 代中适应度最高的规则



资料来源：华泰证券研究所

可以看出，在运行 100 代后，规则依然不完美，从全局来看正确分类的比例略高于 50%。但相比起第一代适应度最高的规则，已经有了明显的提升。对于更为复杂的情形，通常都无法遍历所有可能的状态，而只能通过规则的不断进化去寻优。在进化的过程中，规则大概率逐步提升适应度，能更好地解决目标问题。

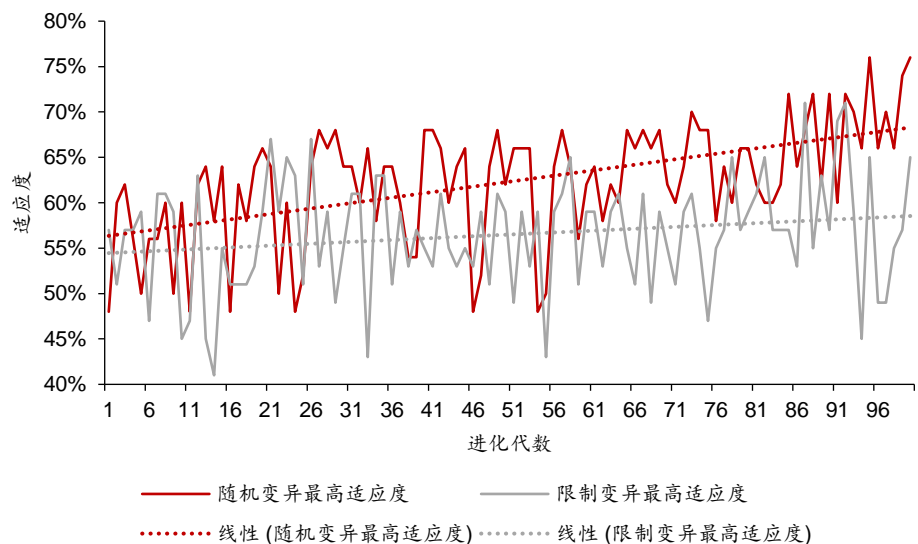
进化效率依赖于新信息的产生以及筛选机制的稳定明确

随机变异为进化注入信息

上一节我们利用遗传算法时，子代规则会在随机某个点位发生变异，我们强调变异在进化过程中的重要作用是因为其带来了新的信息。在本节中我们将进一步探讨，如果在生成子代规则时，限制特定的点位不允许发生变异，那么进化的效率和结果会有怎样的变化。

限制子代规则在第一个点位不发生变异，得到限制变异下每一代规则的最高适应度如下图所示。与上一节中随机变异的结果进行对比，可以发现在进化的初期，两种方式最高适应度差别不大。随着时间的推移，随机变异生成的最高适应度平均而言高于限制变异所生成的最高适应度。从趋势线可以看出，两者的斜率存在较为明显的差别，限制变异下适应度提升的斜率较缓，意味着在给定适应度目标的前提下，随机变异能更快生成符合要求的规则。

图表24： 随机变异与限制变异的最高适应度对比



资料来源：华泰证券研究所

限制变异仅规定了一个点位不发生变异，在进化过程上似乎与随机变异差别并不大，但从结果中却能看出两者在进化效率上的明显差距。这一实证结果具有一定的启发意义，尽管变异是没有方向的，不一定能提升规则的适应度，但不允许变异的发生却大概率会降低进化的效率。这也就意味着，新信息虽然不一定是有效的信息，但杜绝新信息的产生却是阻碍系统进化的做法。

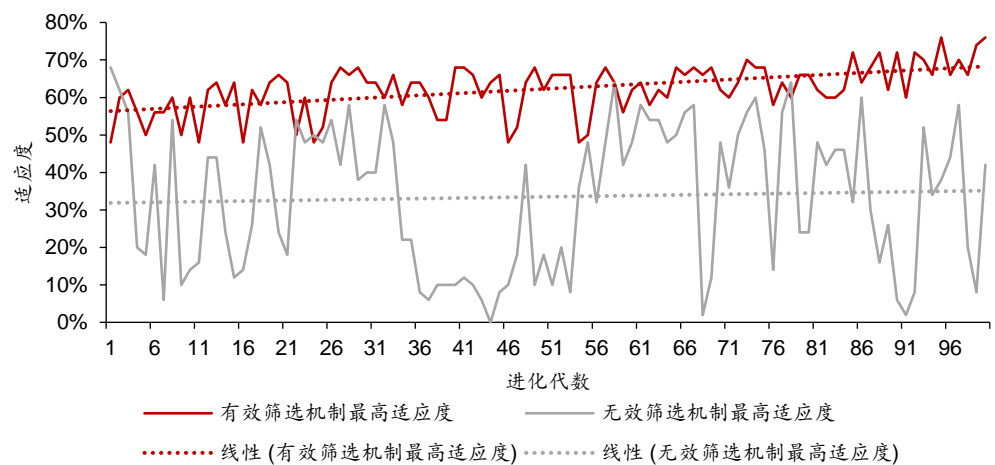
变异的随机发生能够提升规则进化的效率，本质上是因为筛选机制与进化目标是一致的，筛选机制能够保留有利的变异并及时淘汰掉不利的变异。也就是说，虽然变异没有方向，但自然选择的过程在一定程度上决定了“适应环境”这一进化方向。同样地，信息的注入不一定能够促进进化的进程，信息的筛选可能发挥了更关键也更核心的作用。

筛选机制与进化目标的统一有助于提升进化效率

适应度的计算是遗传算法中非常重要的环节，适应度较高意味着规则能较好解决目标问题。因此，作为评价规则的核心指标，适应度同时也是进化进程的标志。由此看来，适应度的算法在一定程度上决定了规则进化的方向。本质上来说，遗传算法中以高适应度为评价指标的筛选机制保证了进化过程的顺利进行，筛选机制与进化目标的统一是遗传算法能够解决目标问题的关键。

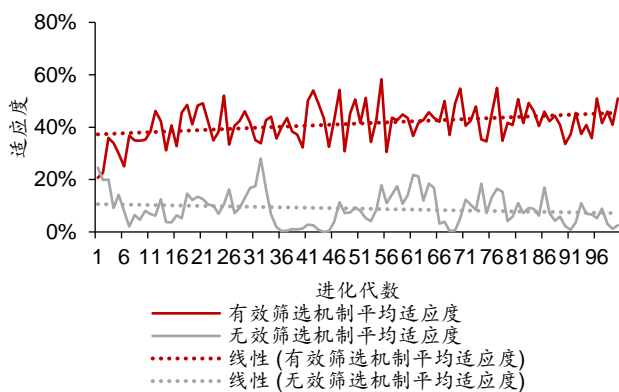
如果筛选机制与进化目标出现偏离，比如适应度不能反映规则对于目标问题的解决程度、每轮进化过程中淘汰了适应度高的规则等，那么进化的效率会显著变慢。下图呈现了每轮进化过程中随机保留 20 个规则，并利用这 20 个规则进行遗传变异生成余下的 80 个规则时，适应度的变化过程。更确切地说，这一进化过程的筛选机制是失效的，无法实现“优胜劣汰”，也就导致了规则对目标问题的解决程度呈现随机波动，与前文中逐步生成更加有效的规则的情形存在明显差别。

图表25：有效筛选机制与无效筛选机制的最高适应度对比



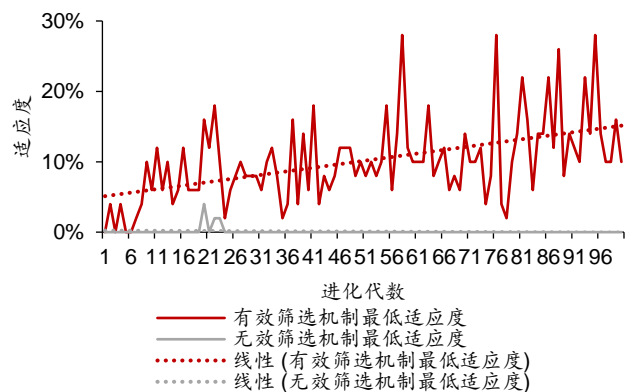
资料来源：华泰证券研究所

图表26：有效筛选机制与无效筛选机制的平均适应度对比



资料来源：华泰证券研究所

图表27：有效筛选机制与无效筛选机制的最低适应度对比



资料来源：华泰证券研究所

从上述图表可以看出，在筛选机制有效的情况下，每一代规则的最高、最低、平均适应度均呈现上升趋势。当筛选机制无效时，最高适应度与平均适应度的趋势线斜率非常接近 0，说明不存在随着进化时间增加而明显上行的趋势。特别地，每一代规则的最低适应度大多是 0%，意味着在进化过程中长期保留着无效的规则。

由此看来，遗传算法能够训练出较好解决多数分类问题的规则，本质上依赖于合理的适应度算法与筛选机制。与目标问题统一的筛选机制是有效的，所谓的“统一”体现在每一代的进化中总是保留更能解决目标问题的规则。与随机挑选规则相比，这种“统一性”能够保证进化过程中发生遗传变异的基础规则都相对更接近进化目标。当筛选机制被干扰，与目标问题不统一时，算法的效率大概率降低，且未必能得到理想的结果。

经济系统中秩序的进化

本节中我们将重点探讨元胞自动机模型对经济金融系统运行的启示。尽管元胞自动机与多数分类问题并没有被广泛应用于解释金融市场的现象与变化，但我们在研究过程中，发现相关的理论与规律跟金融经济系统的运行具有合理的对应关系，进行类比思考之后有助于我们完善周期起源系列研究的逻辑，也加深了我们对于市场的理解。

在微观层面，金融市场以单个企业为工作单元，企业的行为构成了市场的变化，分析企业的决策过程对金融经济系统的研究具有指示性作用；在宏观层面，市场的运作遵循一定的秩序，探究秩序如何使企业更高效、使市场更协调有助于我们更好地理解金融经济系统的规律。

事实上，单个企业好比元胞自动机模型中的元胞。每个企业独立运作而又与系统中的其他企业存在联系，也正如元胞自动机中各个元胞与其邻域之间的关系。在分散知识理论体系下，每个企业都不具备完全信息，企业也仅能依据有限的信息来做决策，这一场景与元胞自动机中每个元胞仅能观察邻域元胞的状态非常类似。我们在元胞自动机的运行过程中看到了真实市场的缩影，也更进一步去思考二者之间的关系。

图表28： 金融市场与元胞自动机的类比

元胞自动机	金融市场
工作个体：元胞	工作个体：企业
初始状态：随机的0-1状态	初始状态：各企业独立定价与运营
目标状态：如果初始状态0占多数，最后所有元胞均为0状态；如果初始状态1占多数，最后所有元胞均为1状态	目标状态：均衡，企业行为趋同
每个元胞只观察邻域元胞的状态	分散知识
如何依据邻域元胞状态决定自身下一时刻的状态	如何依据附近企业的定价与行为做出决策
遗传算法进化出规则	构建金融经济系统的市场秩序
高适应度的筛选机制	利润竞争机制
变异是随机的	技术进步、企业创新是随机的

资料来源：华泰证券研究所

前文中我们讨论到系统的“最优状态”是瓦尔拉斯一般均衡，在均衡状态下各个企业会做出相同的决策，同时不会再有动力去改变自身的行为。这一最优状态或是市场运行的目标，不存在帕累托改进的空间意味着全社会在一定程度上达到了协调与最优。元胞自动机中的多数分类问题也是同样的道理，所有元胞都呈现同样的状态是其运作的方向。需要指出的是，无论是真实市场还是简化的元胞自动机，运行的目标都暗含着各个工作单元行为的趋同。个体行为的一致性多数分类问题最简单直接的目标，也是真实市场向最优状态靠近的表现形式。

进一步地，利用遗传算法解决多数分类问题的过程对我们理解金融市场的运行具有指导性意义。遗传算法的核心在于通过遗传变异进化出适应度更高的规则，而金融经济系统中不断进化的，是秩序。元胞自动机中的规则指导每个元胞如何依据邻域元胞的状态决定自身下一时刻的状态，系统中的秩序则决定了每个企业的行为。更确切地说，市场中的秩序不是特定的行为规范，而更像是一种指引，引导企业如何在不完全信息的条件下，依据附近企业的定价与行为做出决策。在市场秩序的作用下，企业行为逐步趋同，使得经济系统在宏观层面上呈现出有序的市场结构。在本报告中，我们仅探讨秩序的形成过程，而不对有序的市场结构做详细展开，我们会在后续研究中进行更为深入的分析。

在类比思考中，我们强调市场秩序是进化而来的，无法通过人为设计而得到。面对初等元胞自动机我们尚且无法计算出解决多数分类问题的规则，面对复杂千千万万倍的真实市场，要人为设计出一套秩序更是难上加难。事实上，我们在研究元胞自动机时，甚至不知道是否存在一个能解决所有初始状态的多数分类问题的完美规则，但我们发现，随着遗传算法的迭代与进化，得到的规则能够越来越有效地解决目标问题。在金融经济系统中，我们同样不知道是否存在确定的路径使得全市场到达均衡状态，但市场秩序的不断改进与升级，也确实使得市场的运行更为有序。

进化的产物往往比人为设计的更加精妙，大自然的智慧总是令人惊叹。自然选择的过程是适者生存与优胜劣汰，这一筛选机制保证了进化的方向总是更适应环境。在上一节中我们提到，在利用遗传算法训练解决多数分类问题的规则时，有效的筛选机制确保了进化的效率与效果。而在真实的金融经济系统中，筛选机制可以理解为利润竞争机制。利润具有筛选和淘汰的作用是因为所有企业都以利润最大化为生存目标，也就促使了企业都会采取效率更高的生产结构。

利润的背后集中了资源，不适应市场环境或是效率较低的生产关系会流失资源，失去竞争力、无法完成扩张则会逐步被淘汰。尽管在分散知识理论体系下，市场可能出现短暂的资源错配，但竞争与利润形成了最佳的反馈机制，有助于市场中各个要素的协调运作。由此看来，利润竞争的存在也如自然选择般让人叹服——不需要人为的干预，价格就是最好的指引。在复杂市场各种元素交织的背后，利润作为始终不变的核心，促进了全市场秩序的进化。

需要指出的是，在市场运作的过程中，信息的流动与交互也是不可忽视的环节。遗传算法借鉴了进化论中变异的思想，子代规则会随机发生变异。尽管变异是无方向的，变异本身不一定会加快进化的进程，但上一节中的实证研究告诉我们，限制变异的发生大概率是降低效率的做法。实际市场中，科技的进步、企业的创新都是变异的表现形式，正是变异的随机性与不定向为金融经济系统注入活力。经济学家熊彼特的“创造性毁灭”论述的也是这个道理，新的更有效率的生产方式会集中资源，从而摧毁老的生产结构。本质上而言，变异是信息产生的重要途径，信息是否有效留待筛选机制去评判，但信息的产生过程是值得被保护与重视的。

总结来看，我们认为金融经济系统的运行，可以类比简化成元胞自动机解决多数分类问题的过程。系统中企业受到竞争利润的刺激而趋同的现象能被元胞自动机较好地刻画，遗传算法中遗传变异的思想更是企业创新、市场秩序形成的缩影。更核心地，人为的设计所无法解决的问题，均可以通过不断的进化生成更好的方案。进化的过程是不需要人工干预的，对于确定的目标，与目标统一的筛选机制保证了进化的效率。

总结

本文是周期起源系列研究的第九篇报告，我们首先回顾也重新梳理了周期起源系列的研究逻辑，明确了自下而上、自上而下两个研究视角的统一。本文主要论述了有序市场结构的进化过程，利用元胞自动机模型完成了类比。在探究多数分类问题与遗传算法的过程中，我们对于金融经济系统的运行有了全新的认识。

传统经济学研究中，瓦尔拉斯一般均衡描述了市场的最优状态，所有参与者共同决定各个要素的价格，也达到了自身的最优。然而一般均衡理论依赖完全信息，这一过于理想化的条件使得瓦尔拉斯一般均衡的实际参考价值有限。我们认为，奥派的分散知识理论体系能够更好刻画真实的市场环境。市场参与者所做的决策均是基于自身具备的信息，因此当信息与知识发生变化时，参与者可能会推翻之前的决策。市场中的竞争价格是信息的符号，能够促使参与者调整决策方案，也有助于市场构建反馈机制。具备反馈机制的市场是有活力、不断进化的，能够容纳错误并从错误中得到反馈信息进而加以改进是真实市场的生命力所在。

任何企业本质上都是一个函数，而企业的生存目标也都是利润最大化。因此在分散知识理论体系下，虽然企业不具备完全信息，但为了进行利润竞争，企业有动力主动去获取更多的信息并进行帕累托改进。站在全市场层面上看，帕累托改进的结果是逐步实现市场的协调。因此，利润竞争机制能够促使企业行为趋同。此外，企业之间的连接方式满足高集聚系数与低平均路径长度的特征，这一小世界现象保证了信息和知识传递的高效。

元胞自动机模型解决多数分类问题的过程，与金融经济系统的运作过程具有较强的可比性。元胞与市场中的企业相对应，邻域的概念也恰好是分散知识理论体现。利用遗传算法训练解决多数分类问题的规则时，我们体会到了进化的魅力，同时也意识到遗传变异的思想是企业创新、市场秩序形成的缩影。本质上来说，多数分类的规则、市场中的秩序均是无法通过人为设计解决的，但进化总能带来更好的方案。进一步地，实证研究告诉我们，进化的效率有赖于筛选机制与目标问题的统一，对于进化问题的探索与分析也让我们再次叹服于自然选择的智慧。

参考文献

- 梅拉尼·米歇尔. (2011). 复杂. 湖南科学技术出版社.
- 富兰克·H·奈特. (2005). 风险，不确定性和利润. 中国人民大学出版社.
- 弗里德里希·奥古斯特·冯·哈耶克. (1997). 自由秩序原理. 生活·读书·新知三联书店.
- Watts, D. J. & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of small world networks. *Nature*, 393(6684), 440-442.
- Mitchell, M., Crutchfield, J. P., & Das, R. (1996). Evolving Cellular Automata with Genetic Algorithms: A Review of Recent Work. In *proceedings of the First International Conference on Evolutionary Computation and Its Applications (EvCA's 96)*. Moscow: Russian Academy of Sciences, 42-55.

风险提示

把元胞自动机模型与真实市场进行类比，存在过度简化的可能；周期规律基于历史数据总结，历史规律可能失效；周期规律对市场长期规律进行研究，无法判断短期的市场情绪与政策冲击带来的影响；市场在某些极端情形下可能出现规律以外的交易风险。

免责声明

分析师声明

本人，林晓明、黄晓彬，兹证明本报告所表达的观点准确地反映了分析师对标的证券或发行人的个人意见；彼以往、现在或未来并无就其研究报告所提供的具体建议或所表达的意见直接或间接收取任何报酬。

一般声明

本报告由华泰证券股份有限公司（已具备中国证监会批准的证券投资咨询业务资格，以下简称“本公司”）制作。本报告仅供本公司客户使用。本公司不因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告基于本公司认为可靠的、已公开的信息编制，但本公司对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载的意见、评估及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，本公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。同时，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。以往表现并不能指引未来，未来回报并不能得到保证，并存在损失本金的可能。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司研究报告以中文撰写，英文报告为翻译版本，如出现中英文版本内容差异或不一致，请以中文报告为主。英文翻译报告可能存在一定时间延迟。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供参考，不构成所述证券的买卖出价或征价。该等观点、建议并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对客户私人投资建议。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

除非另行说明，本报告中所引用的关于业绩的数据代表过往表现，过往的业绩表现不应作为日后回报的预示。本公司不承诺也不保证任何预示的回报会得以实现，分析中所做的预测可能是基于相应的假设，任何假设的变化可能会显著影响所预测的回报。

本公司及作者在自身所知情的范围内，与本报告所指的证券或投资标的不存在法律禁止的利害关系。在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为之提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。本公司的销售人员、交易人员或其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。投资者应当考虑到本公司及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一信赖依据。有关该方面的具体披露请参照本报告尾部。

本研究报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布的机构或人员，也并非意图发送、发布给因可得到、使用本报告的行为而使本公司及关联子公司违反或受制于当地法律或监管规则的机构或人员。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人等任何形式侵犯本公司版权。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华泰证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

针对美国司法管辖区的声明

美国法律法规要求之一般披露

本研究报告由华泰证券股份有限公司编制，在美国由华泰证券（美国）有限公司（以下简称华泰证券（美国））向符合美国监管规定的机构投资者进行发表与分发。华泰证券（美国）有限公司是美国注册经纪商和美国金融业监管局（FINRA）的注册会员。对于其在美国分发的研究报告，华泰证券（美国）有限公司对其非美国联营公司编写的每一份研究报告内容负责。华泰证券（美国）有限公司联营公司的分析师不具有美国金融监管（FINRA）分析师的注册资格，可能不属于华泰证券（美国）有限公司的关联人员，因此可能不受 FINRA 关于分析师与标的公司沟通、公开露面和所持交易证券的限制。任何直接从华泰证券（美国）有限公司收到此报告并希望就本报告所述任何证券进行交易的人士，应通过华泰证券（美国）有限公司进行交易。

所有权及重大利益冲突

分析师林晓明、黄晓彬本人及相关人士并不担任本研究报告所提及的标的证券或发行人的高级人员、董事或顾问。分析师及相关人士与本研究报告所提及的标的证券或发行人并无任何相关财务利益。声明中所提及的“相关人士”包括 FINRA 定义下分析师的家庭成员。分析师根据华泰证券的整体收入和盈利能力获得薪酬，包括源自公司投资银行业务的收入。

重要披露信息

- 华泰证券股份有限公司和/或其联营公司在本报告所署日期前的 12 个月内未担任标的证券公开发行或 144A 条款发行的经办人或联席经办人。
- 华泰证券股份有限公司和/或其联营公司在研究报告发布之日前 12 个月未曾向标的公司提供投资银行服务并收取报酬。
- 华泰证券股份有限公司和/或其联营公司预计在本报告发布之日后 3 个月内将不会向标的公司收取或寻求投资银行服务报酬。
- 华泰证券股份有限公司和/或其联营公司并未实益持有标的公司某一类普通股证券的 1%或以上。此头寸基于报告前一个工作日可得的信息，适用法律禁止向我们公布信息的情况除外。在此情况下，总头寸中的适用部分反映截至最近一次发布的可得信息。
- 华泰证券股份有限公司和/或其联营公司在本报告撰写之日并未担任标的公司股票证券做市商。

评级说明

行业评级体系

一报告发布日后的 6 个月内的行业涨跌幅相对同期的沪深 300 指数的涨跌幅为基准；

一投资建议的评级标准

增持行业股票指数超越基准

中性行业股票指数基本与基准持平

减持行业股票指数明显弱于基准

公司评级体系

一报告发布日后的 6 个月内的公司涨跌幅相对同期的沪深 300 指数的涨跌幅为基准；

一投资建议的评级标准

买入股价超越基准 20%以上

增持股价超越基准 5%-20%

中性股价相对基准波动在-5%~5%之间

减持股价弱于基准 5%-20%

卖出股价弱于基准 20%以上

华泰证券研究

南京

南京市建邺区江东中路 228 号华泰证券广场 1 号楼/邮政编码：210019

电话：86 25 83389999/传真：86 25 83387521

电子邮件：ht-rd@htsc.com

深圳

深圳市福田区益田路 5999 号基金大厦 10 楼/邮政编码：518017

电话：86 755 82493932/传真：86 755 82492062

电子邮件：ht-rd@htsc.com

北京

北京市西城区太平桥大街丰盛胡同 28 号太平洋保险大厦 A 座 18 层

邮政编码：100032

电话：86 10 63211166/传真：86 10 63211275

电子邮件：ht-rd@htsc.com

上海

上海市浦东新区东方路 18 号保利广场 E 栋 23 楼/邮政编码：200120

电话：86 21 28972098/传真：86 21 28972068

电子邮件：ht-rd@htsc.com

法律实体披露

本公司具有中国证监会核准的“证券投资咨询”业务资格，经营许可证编号为：91320000704041011J。

华泰证券全资子公司华泰证券(美国)有限公司为美国金融业监管局(FINRA)成员，具有在美国开展经纪交易商业业务的资格，经营业务许可编号为：CRD#298809。

电话：212-763-8160

电子邮件：huatai@htsc-us.com

传真：917-725-9702

http://www.htsc-us.com

©版权所有 2020 年华泰证券股份有限公司