大型开放系统的验证式计算模型

刘华林

开放复杂巨系统的开放性是其首要性质。传统的开放系统的定义侧重于（引文）。但鉴于复杂系统的跨领域性，传统定义的物理直观性并不适用于描述一般化抽象化的开放复杂巨系统，为此重新用数学语言捕捉抽象化的开放性。

开放系统常表现为耗散结构、社会系统、超循环等，这些系统呈现出：

1. 输入鲁棒性：强烈的自组织性，系统的架构并非由外加意志的机械设计而成，具有输入鲁棒性；
2. 运作鲁棒性：并且在自然界表现出连续性，具有运作鲁棒性；

对开放系统将鲁棒性形式化定义为：对开放系统的输入/结构做出信息/命令的增加、删去、替换后开放系统仍然保持同样输出的能力。式 1 是开放系统的鲁棒性定义模型：

$$\mathrm{M} = \{\mathrm{I}, \mathrm{P}, \mathrm{O}, \{\mathrm{G}, \mathrm{S}\}_{\infty}\}$$

I 为系统输入，P 为系统的程序，O 为系统输出，该三项满足 P(I)=O。鉴于开放的复杂巨系统在各异的科学领域有大量的特征表示，设$\{G, S\}_{\infty}$为系统的无穷多种领域性表示，$\{G, S\}_i \in \{G, S\}_{\infty} (i = 1,2,3, \cdots)$，每个$\{G, S\}_i$对系统程序 P 给出一个特定领域的实现，其中 S 为领域词元，G 为组织词元的领域词法。以下将$\{G, S\}_i$记作 G/S 以简化记号，G/S 对 P 的实现是将 P 映射到领域词元为成员的集合，即$\mathrm{G/S}$：$\mathrm{P} \to \{\mathrm{s} | \mathrm{s} \in \mathrm{S}\}$，G/S 函数将不同领域视野下开放系统的差异视作表示方式的差异，使系统程序 P 抽象化，任何对系统信息的观测与系统程序的操纵必须先以 G/S 函数得到 P 的表示。

主要的开放复杂巨系统对象根据物理底层机制都可表示为极其庞杂的粒子体系，尽管这种表示的时空复杂性是几乎无限的，但仍可视此表示为系统程序 P，因此将开放系统对象的差异转化到领域表示 G/S 的差异。

定义 G/S^{-1} 为 G/S 的逆函数，$\mathrm{G/S^{-1}}$：$\{\mathrm{s} | \mathrm{s} \in \mathrm{S}\} \to \mathrm{P}$将系统的领域表示映射为系统程序 P，以此引出替换函数$\mathrm{alter(f, x)}$：

$$\begin{cases} f\text{：}\{s | s \in S\} \to \{s` | s` \in S\} \\ alter(f, x) = G/S^{-1}\big(f(G/S(x))\big), x \in \{I, P\} \end{cases}$$

对某个任意的领域表示$\{G, S\}_i$，f 在该领域表示下将已知的表示内容映射到另一段不同的表示内容，即修改系统的$\{G, S\}_i$表示的内容。定义显示替换函数作出无关领域表示的系统程序 P 的修改。

现有的开放复杂巨系统具有连贯性，复杂的人类社会基于人类个体、人类个体同时又在细胞或分子生物学的层次是复杂的，开放系统在不同尺度延续复杂性，

连贯性是领域无关而领域间相关的，alter 函数同样是表示无关的，借 alter 函数能更好地刻画抽象化的开放复杂巨系统。

如果有 f 函数使得：

$$\begin{cases} alter(f, P)(I) \neq P(I) \ \text{①} \\ P\big(alter(f, I)\big) \neq P(I) \ \text{②} \end{cases}$$

该式的①或②成立，则称这样的 f 函数为“扰动”，记为ρ 。将扰动和使该扰动生效的一个系统程序 P 或系统输入 I 记为一组异常：$\langle \rho, P/I \rangle$，定义$\sum E =$

$\left\{\langle\rho,x\rangle \middle| alter(\rho,x)(I) \neq x(I) 或 P\big(alter(\rho,x)\big) \neq P(x), x \in \{P,I\}\right\}$包含所有异常。

称$P_{\sim}$为划定不同系统程序 P 的等价关系，$\sum E/P_{\sim}$为按所作用的系统程序分类的异常，其中每一类的异常均作用于同一系统程序 P，证明开放系统$M \cong \sum E/P_{\sim}$。对开放系统 M，O=P(I)由 P 或 I 唯一确定，考虑异常为 P 上扰动的异常。

扰动与对系统的领域表示紧密相关，为观察表示无关的抽象结构 P 的扰动变化，考虑将$\{G,S\}_{\infty}$分为$\{G,S\}_{0\sim k}$和$\{G,S\}_{k\sim\infty}$总体考虑扰动效应，进行扰动 ρ 的领域表示为$\{G,S\}_k$，$\{G,S\}_{0\sim k}$为不可生成构造该扰动的所有表示，$\{G,S\}_{k\sim\infty}$为可以生成构造该扰动的所有表示，比$\{G,S\}_k$更细（即其词元可以组合出$\{G,S\}_k$的词元而不能由$\{G,S\}_k$构造出）的$\{G,S\}_{l(l>k)}$是无穷多的，每个$\{G,S\}_{l(l>k)}$对应一种分解$\{G,S\}_k$词元的模式。

考虑开放复杂巨系统的层次性，社会巨系统可以分解为各种规模或各类领域集体的组合，但原子化的人类个体是构成社会的最小原件，个体的行为具有简单性，可以由这些行为构造或表示出极其复杂的巨型集体结构。对应到词元分解问题，假设$\{G,S\}_k$经过 m 层分解后的$\{G,S\}_{k+m}$具有图灵机表示能力以及最少的词元和语法，使 k`=k+m，以$\{G,S\}_{k`}$表示对$\{G,S\}_k$的最细表示，重复此过程有$\{G,S\}_{nk`}$为$\{G,S\}_{(n-1)k`}$的最细表示，则总体扰动效应的分析为对$\{\{G,S\}_{ik`} | i \in N^+\}$序列性质的分析。