

符号模型库作为 GRL 路径积分算法的结构载体 —— DERI 与 GCPOLAA 的形式化说明

- 作者：GaoZheng
- 日期：2025-03-19
- 版本：v1.0.0

1. 理论定位与角色分工

- GRL路径积分**构成了一个以逻辑性度量为核的广义优化范式，统一变分法、强化学习与拓扑控制逻辑。它不是单一算法，而是一类基于路径积分与偏序演化的计算框架。
- 符号模型库**承担该理论的**算法实施角色**，将GRL路径积分从形式结构转化为可计算模型，提供具体的计算图、泛函结构、参数演化机制等表达形式。
- DERI (Differential Encoding via Recursive Inversion)** 与**GCPOLAA (Global Control via Path Optimization and Logic-Aware Adjustment)** 分别完成：
 - 泛函数结构的符号逆建模；
 - 给定结构下的路径积分全局优化与反馈迭代。

2. DERI：符号泛函的反向建模机制

DERI 解决的问题是：**如何从路径-观测对中反推出作用泛函结构及参数空间**。其形式逻辑为：

$$\text{Given: } \{(\pi_i, v_i)\}_{i=1}^N \Rightarrow \mathbf{w}, L(\cdot, \mathbf{w}), T$$

即根据一组路径 π_i 与其对应的观测值 v_i ，构建一组参数化逻辑性度量函数 L ，使其逻辑路径积分 $G(\pi_i, \mathbf{w})$ 拟合 v_i 。

对应最小化目标函数：

$$\mathcal{L}(\mathbf{w}) = \sum_i \left(\sum_{s \in \pi_i} L(s, \mathbf{w}) - v_i \right)^2$$

该过程本质上是对 GRL 路径积分中的“泛函密度”进行逆向构型，是偏序场中的逻辑势能构造问题，可视
为路径空间上的反演微分。

3. GCPOLAA：路径积分驱动的全局优化与反馈机制

GCPOLAA 假定已知逻辑性度量函数 $L(s, \mathbf{w})$ 及路径结构空间 T ，其目标是寻找在当前参数下的最优
路径：

$$\pi^* = \arg \max_{\pi \in \text{Paths}(T)} \sum_{s \in \pi} L(s, \mathbf{w})$$

该优化过程等价于路径积分下的变分原理：

$$\delta S[\pi] = \delta \left(\sum_s L(s, \mathbf{w}) \right) = 0$$

但 GCPOLAA 在此基础上加入反馈机制：

$$\mathbf{w} \leftarrow \mathbf{w} + \eta \cdot \nabla_{\mathbf{w}} \left(\sum_{s \in \pi^*} L(s, \mathbf{w}) \right)$$

这构成一个路径优化与参数调整协同进化的偏序反馈系统，实现路径-结构-参数三者的动态联动，近似
于微分系统中的耦合变分流。

4. 总体结构关系

算法名称	输入方向	输出对象	数学机制	对应路径积分位置
DERI	路径 \rightarrow 泛函	\mathbf{w}, L, T	逆向泛函数构造	泛函生成器
GCPOLAA	泛函 \rightarrow 路径 \rightarrow 泛函修正	π^*, \mathbf{w}'	变分优化 + 参数反馈	结构积分器

DERI 与 GCPOLAA 分别实现 GRL 路径积分中：

- 泛函空间反演与逻辑密度构造；
- 路径空间搜索与可调控制反馈。

两者联动构成逻辑性路径积分在工程上的双向计算链路。

5. 理论闭环与数学意义

GRL路径积分以“路径-泛函-参数-结构”四元关系为核心，通过：

- DERI 实现逆向建模闭环（数据 \rightarrow 泛函）；
- GCPOLAA 实现正向反馈闭环（泛函 \rightarrow 优化 \rightarrow 泛函）；

使路径积分既具备数学结构完备性，又具备控制论所要求的可调节性与演化能力。

形式上构成以下通路的双向一致性验证：

$$\text{DERI: } (\pi, v) \rightarrow L \quad \dashrightarrow \quad \text{GCPOLAA: } L \rightarrow \pi^* \rightarrow L'$$

该闭环构成一种新的泛泛函-路径积分耦合学习逻辑，亦是元数学理论中的“自反性偏序系统”在计算上的体现。

6. 结语：GRL路径积分的算法实体结构

符号模型库并非简单的函数集或算子集，而是构成 GRL 路径积分理论在算法层面上的动态逻辑骨架。其中：

- DERI 负责反向推理：通过已有路径和输出重建逻辑结构；
- GCPOLAA 负责正向驱动：通过当前逻辑结构迭代最优路径并回馈调参。

最终实现的是：

从“路径是什么”到“路径如何优化”再到“路径如何反向重构”这一全息性路径计算系统。

这标志着一种新型的计算范式，其特点是：

- 可逆性 (Reversibility)
- 可解释性 (Explainability)
- 可优化性 (Gradient Feedback)
- 结构耦合性 (Topology-Aware Evolution)

此结构体系为从抽象数学到人工智能再到工程计算提供了连续性的桥梁，是当前主流 AI 与传统变分控制论尚未整合之处的系统性补全。

许可声明 (License)

Copyright (C) 2025 GaoZheng

本文档采用[知识共享-署名-非商业性使用-禁止演绎 4.0 国际许可协议 \(CC BY-NC-ND 4.0\)](#)进行许可。