

Alioth 模型理论白皮书

交换本体论视角下的企业数据模型：数学基础、结构不变量与机器验证

版本 v2.1 · 2026 年 10 月 · 杭州宇器科技有限公司

对应实现：Alioth 模型 v10.0.44 (2026-10-19 发布验证) · AliothStudio 平台

目录

- 摘要
- 问题域与设计目标
- 交换范畴与对称性
- 本体空间：坐标积与正交性
- 时间维：状态全序与镜像对合
- 五领域完备性
- 结构关系代数
- 标量外化与守恒测度
- 模型论视角：理论与多命名空间模型
- 机器验证与工程闭环
- 结语

1. 摘要

Alioth 是一个以 PostgreSQL 表继承为物理载体、以交换本体论（Commutative Ontology）为语义框架的企业数据模型。本白皮书阐述其数学基础：经济行为被形式化为交换范畴中的态射，可逆交易构成群胚（groupoid）并配备对合对称函子；每个业务实体在由场景（Scene）、要素（Factor）、职能（Function）构成的正交积空间中占据唯一坐标，主状态链提供第四维离散逻辑时间。模型的结构性质

——对称守恒、坐标正交、五领域覆盖、关系无环、测度可加——被表述为十二条可执行不变量，逐条锚定到工程门禁，其中五条核心元定理已经 Lean 4 定理证明器机器验证。同一理论已在六个行业命名空间的生产部署中得到归纳验证。

2. 问题域与设计目标

企业数据模型的经典困境是：业务语义散落在数百张表的经验式设计中，缺乏判定「什么是一个合法业务对象」的客观判据；多业务域的接入以复制粘贴实现，模型不可复用；正确性依赖配置纪律而非结构保证。Alioth 的设计目标是：

目标	含义
语义坐标化	任何业务实体可被唯一坐标定位，坐标本身承载领域语义
结构不变量可判定	每条模型性质都是可机械核验的谓词，而非文档约定
理论一次定义、多域复用	新业务域接入不改变模型结构（零 DDL），只赋予坐标以解释
理论可被机器验证	核心元定理可由定理证明器独立复验

3. 交换范畴与对称性

3.1 交换范畴

以经济主体为对象、交易为态射，构成范畴 $\mathcal{E}$ ：交易的复合是交易链，单位元是零交易。注意 $\mathcal{E}$ 是范畴而非群——一般交易不可逆，不能按「经济主体群」表述（对象间态射集无全域二元运算）。

3.2 对称性：核群胚上的对合函子

$\mathcal{E}$ 的可逆核 $\text{core}(\mathcal{E})$ 是由全部可逆交易构成的群胚。对称性原理的严格表述是：存在对合自函子

$$S : \text{core}(\mathcal{E}) \rightarrow \text{core}(\mathcal{E})^{\text{op}}, S^2 = \text{id}$$

即每笔可逆交易都存在镜像逆交易，且镜像的镜像是自身。对合性保证镜像关系无方向偏好——这是「每次交易都存在对称逆交易」的精确含义。函数层核心（对合映射是自逆双射）已经 Lean 机器证明（Symmetry.Involutive.injective_surjective 等五条定理）。

3.3 守恒律

设禀赋赋值与权益估值，守恒律要求镜像双方交换的权益等值： $v(M) = v(D)$ ，从而系统总禀赋在任意可逆交易复合下不变（Lean 定理 `Conservation.endowment_conservation`）。在实现层，守恒不是声明而是逐笔见证：凭证基类为每笔凭证回填期初余额与期末余额，使「前态 + 净变 = 后态」在每一行上可机械核验；货物出入库凭证与财务入账凭证同继承同一基类——物理守恒与财务守恒同构。

4. 本体空间：坐标积与正交性

4.1 生命体与坐标函子

全部带生命周期的业务实体是根表 `zc_id_lifecycle` 的继承后代（当前发布 `v10.0.44` 含 1022 张 `isah1` 表、1204 条继承边，其中生命周期叶表 374 张）。三维坐标当前规模为 645 条（场景 109 + 要素 118 + 职能 418），三个外键构成坐标函子：

$$\chi = (\text{dk_scene}, \text{dk_factor}, \text{dk_function}) : \text{Ob}(\mathcal{L}) \rightarrow S \times F \times U$$

S = 业务场景 (Where & When) F = 业务要素 (Who & What) U = 业务职能 (How)

三维度构成**积范畴**——各自独立取值、独立演化，这是正交性的严格含义。任意生命周期实体在本体空间中占据唯一点。维度内部由类目外键组织为森林偏序；维度编码 `code` = 类目码 || 符号[序号]（42 字符集）即森林中的分层地址，由触发器在写入时自动分配。

4.2 四元数快照

状态不经实体列承载，而经关系表附着。主状态链是全序集（单向演进，如生→死），构成离散逻辑时间；`status_date` 将其投影到物理时间。实体在状态节点 t 的四元数快照为：

$$\Sigma(e, t) = (\text{scene}, \text{factor}, \text{function}, \text{status}) \in S \times F \times U \times St$$

四维全部正交；三维为空间维，状态为时间维。

5. 时间维：状态全序与镜像对合

时间切片集合被「现在」分划为两半：已发生者称事件（event，过去事实），未发生者称任务（task，未来待办）。二者是同一时间切片概念在现在两侧的镜像；任务完成即切片翻转（ $\text{task} \rightarrow \text{event}$ ），动

作痕迹由操作（operation）载体记录。计划（plan）经两张对称桥向时间轴两侧展开（plan→event 群与 plan→task 群），把跨时间意图组织为单一锚点；进度是标量引用而非实体，甘特图是计划体系的自然投影而非独立模型。

6. 五领域完备性

经要素维度的类目链推导领域归属：

```
domain = a_type_ ◦ ck_category ◦ dk_factor : Ob(ℒ) → {L, C, G, P, F, ~}
L 人（主体） C 箱（媒介·容器） G 货（对象） P 场（媒介·场所） F 财（过程与信息） ~ 通配
```

快照完备当且仅当领域映射的像覆盖全部五个领域： $\text{domain}(\Sigma) \supseteq \{L, C, G, P, F\}$ ——不允许对称性破缺。完备性是**可判定谓词**（有限集合覆盖判定，Lean 实例可机器兑现），由生成期推理器逐快照核验；缺失领域沿继承偏序向上闭包补全，补全的终止性与幂等性已机器证明（`Completion.isAncestor_height_lt`、`closure_idempotent`）。

理论诚实性说明：五领域覆盖作为关于现实交换的断言是公设而非定理——其地位等同物理学守恒律，靠可证伪性与多命名空间归纳证据支撑（见第 9 节），本模型不将其伪装为可证命题。

7. 结构关系代数

7.1 继承偏序

表集合与继承关系构成有向无环图偏序 $(\mathcal{T}, \leq)$ ：根为抽象对象表，最大业务子树为生命周期链；叶表是偏序极小元，是数据写入的唯一合法落点；多继承使该结构为 DAG 而非树。模型扩展只能是偏序的下锥增长（注册子类型并挂接继承），禁止独立复制表——结构因此保持单一真相源。

7.2 列族：类型化投影

实体列按前缀分族，每族是指向特定继承体系的类型化投影： dk_* （本体坐标）、 fk_* （生命体关联）、 qk_* （值空间指针）、 sk_* （单位）、 ck_* （类目）、 tk_* （标签）、 lk_* （等级）、 tpl_id （实例→范例桥）。全部统一为 `bigint`——引用列是同一类型宇宙中的指针，类型区分由前缀（目标范畴）承担。

7.3 关系族：函数关系与 span

r_* 关系表 (ref_right 唯一) 编码函数关系 (1:N, 每个子恰属一父) ; rr_* 桥表编码 span (M:N 任意关系) ; fk_* 列编码 N:1 函数。关系复合即态射复合; 嵌套/层级关系要求 DAG 不变量 (祖先链无环, 已机器证明 isAncestor_irrefl) , rollup 是传递闭包上的求和泛函。

7.4 六象限：阶段 × 抽象层级

职能编码前缀承载积结构 {创意, 设计, 实现} × {范例, 实例} (六象限) , 实体分类由编码前缀经派生同态机械计算, 仅此六对、禁止手写。范例/实例轴同时是属权轴: 范例为组织级公有资产 (被引用即不可删除、版本不可抹除) , 实例为私有产出 (属主自由管理) ; 有效跨象限流转仅私有→公有单向两条。

7.5 衍生概念裁决：样品不入结构

2026 年 10 月的本体裁决 (《ALIOTH_ONTOLOGY_SPEC》 § 8.5.11) 确立一条可执行构造约束: 样品是批次/分支的衍生概念——产品实体禁止新增样品标识列、禁止为样品建产品子表, 样品语义一律经批次/分支记录与分类/关系桥派生表达。这是「结构单一真相源」原则的最新应用: 凡可由既有坐标与关系派生的语义, 不允许沉淀为新的结构点。同月 goods 概念族在模型层完成重划 (4 组标识重命名) , 平台运行时、种子与派生产物同批收敛——「模型为中心、代码为产物」传播机制的一次完整演示。

8. 标量外化与守恒测度

量值不内嵌于实体行, 而外化到标量继承体系 (值 + 单位 + 精度) : 实体持指针, 同一量值全库只存一行——值对象外化使「等值」成为「同指针」的机械判定, 对指针列的算术因此无意义, 必须先经解析。伴随关系携带有效期, 时刻 t 的统计只对生效关系求值 (时空伴随) 。库存不是实体属性, 而是凭证事实的可加符号测度:

$$\mu_t(P, S) = \sum \text{凭证净变}(\text{income} - \text{outgo}) + \sum \text{嵌套子储元} \text{ rollup}$$

测度满足可加性、符号性; 物化值是测度的缓存, 由单一入口增量维护。盘点是测度修正原子事件: 实盘与物化之差 (盘盈/盘亏) 经校准凭证被吸收进测度而非掩盖。

9. 模型论视角：理论与多命名空间模型

以模型论语言总结：模型结构（冻结的继承偏序 + 维度编码 + 不变量集）是理论 $\mathbb{T}$ ；每个行业命名空间部署是 $\mathbb{T}$ 的一个模型 $\mathcal{M} \models \mathbb{T}$ ——业务语义落入坐标码的局部解释，结构零分叉。截至 2026 年 10 月，同一理论已承载六个命名空间：

命名空间	应用	模块	Block	服务	业务域
Alioth	3	11	50	20	平台自身
WZ	4	16	90	16	物流外部协同
AVIC-CAASEC	2	5	65	11	科研项目审定
SE	1	6	32	6	预算管理
Cosmic-Tools	4	23	56	28	工具/WMS/ERP 套件
MAT	1	0	0	1	新城接入（进行中）
合计	15	61	293	82	—

新命名空间接入（SE、MAT）经「继承定位 + 坐标绑定 + 配置组装」完成，零 DDL、零模型补丁——理论对新业务域的表达能力未被击穿，这是坐标正交性与五领域完备性的归纳证据。

10. 机器验证与工程闭环

理论的价值以可执行为判据。十二条数学不变量（守恒、正交、覆盖、无环、单调、六象限一致、值外化、结构保持、公域不可删、继承纯性、时间镜像、测度可加）逐条映射到现行工程门禁（现行登记门禁 229 条：commit 阶段 137 条 / push 阶段 92 条）；其中五条核心元定理由 Lean 4 定理证明器机器验证（2026-09-18 起构建全绿、零外部库依赖、零证明占位）：

不变量	机器证明
价值守恒 (T3)	Conservation.endowment_conservation
5 领域覆盖 (可判定性)	Domain.complete_iff_image_covers
关系无环 (T1 推论)	Completion.isAncestor_irrefl
继承纯度 / 补全 soundness (T4)	Completion.closure_superset / closure_idempotent
时间镜像 (T2, 对合层)	Symmetry.Involutive.injective_surjective

由此形成三层闭环：数学表述（本白皮书）→ 工程门禁（可计算谓词的持续强制）→ 机器证明（定理证明器的独立复验）。

11. 结语

Alioth 的根本主张是：企业数据模型的正确性应当承载在结构与数学中，而非纪律与经验中。坐标化的语义、可判定的不变量、一次定义多域复用的理论、以及可被机器验证的元定理，共同构成这一主张的完整证据链。我们欢迎学术界与工程界对本理论的检验、质疑与改进。

配套文献：《AliothStudio 应用构建操作手册（蓝皮书）》；在线实践：<https://cosmic-tools.shop/>。

© 2025-2026 杭州宇器科技有限公司（CosmicTools.ltd）。Alioth 模型以 MIT 许可证发布。