

# SylannEngine v2: 基于单纯形共振场的情感计算引擎

## ——Hebbian 可塑性与涌现表达

Aylovelle S.S.\*

2026 年 6 月

### 摘要

本文提出 SylannEngine v2, 一种基于单纯形共振场动力学的情感状态演化计算框架。该架构以完全连通的 6-单纯形 ( $\Delta^6$ , 7 个计算模块) 取代传统的顺序管线, 情感状态通过迭代共振涌现而非前馈计算产生。系统集成六种来自数学物理和神经科学的机制: (1) 具有稳态缩放的 Hebbian 可塑性实现用进废退; (2) 单纯形复形上的高阶 Kuramoto 同步产生爆炸性相变; (3) Hopfield 吸引子景观将情感记忆编码为能量极小值; (4) 基于 Hodge 理论的谐波身份提取保持人格跨扰动的持续性; (5) 变分自由能最小化实现精度加权的信念更新; (6) 表达作为分岔——当任一驱动力超过阈值时系统逃离吸引子盆地。两个基础原则支配整个设计: **不可逆性** (伤痕累积、虚空持续、历史不可擦除) 和 **人格驱动计算** (全部 441 个耦合参数由 7 个人格维度确定性导出)。12 项实验协议 (各 10 次重复) 验证了: 档位特定迭代界内的收敛性、高阶耦合下的爆炸性同步、1500 tick 的稳定能量包络、无损档位热切换, 以及共振场相对顺序管线的动力学优势。系统以三档性能运行 (lite: 42 通道/5ms, pro: 287 通道/40ms, max: 441 通道/50ms), lite 档零外部依赖。

## 1 引言

人工智能体的情感状态建模面临一个根本性张力: 系统必须足够丰富以捕捉情感体验的时间深度——过去的伤害改变未来的处理方式, 长期缺席产生自身的压力——同时又必须足够高效以在普通硬件上实时部署。现有方法分为两类, 各有关键局限。

**基于分类的系统。** 情感计算的主流范式 [1] 将情绪视为离散标签上的分类问题 (Ekman 基本情绪、Russell 环形模型)。这些系统是无状态的: 相同输入无论历史如何都产生相同输出。它们无法表示不可逆性、累积损伤或人格漂移。

**神经网络方法。** 循环架构 (LSTM、Transformer) 可以维持状态, 但其内部表示不透明、需要训练数据, 且无法提供关于有界动力学或人格保持的形式化保证。从人格到行为的映射是隐式且不可控的。

我们提出第三条路径: **共振场计算**, 情感状态从单纯形复形的耦合动力学中涌现, 而非由前馈管线计算或从数据中学习。核心洞察是: 具有用进废退可塑性的全连接拓扑自然产生关系型 AI 所需的性质:

---

\*联系方式: aylovelle@icloud.com

1. **不可逆性**。Hebbian 可塑性永久改变耦合权重；伤痕修改未来处理路径；虚空累积的压力不能被后续输入撤销。
2. **人格即计算**。全部 441 个耦合参数、阈值和衰减率由 7 个人格维度确定性导出。人格不仅仅影响计算——它就是计算的参数化。
3. **涌现表达**。表达不是分类器做出的决策，而是相变——当任一驱动力（惊讶、新颖性、点火或原始激活）超过人格调制的阈值时，系统逃离当前吸引子盆地的分岔。
4. **形式化稳定性**。tanh 饱和、耗散和残余衰减提供 Lyapunov 式能量界，无需精细的超参数调优。

### 贡献。

1. 以完全 6-单纯形上的迭代收敛取代顺序管线的单纯形共振场架构 (§3.1)。
2. 具有稳态预算守恒和神经达尔文主义剪枝的 Hebbian 可塑性 (§3.3)。
3. 产生爆炸性同步转变的高阶 Kuramoto 同步（3 体和 4 体项） (§3.4)。
4. 以表达作为盆地逃逸的 Hopfield 吸引子景观 (§3.5)。
5. 基于 Hodge Laplacian 零空间提取的谐波身份 (§3.6)。
6. 12 项实验协议的全面验证 (§5)。
7. 三档性能设计和零依赖 lite 模式的开源实现。

## 2 相关工作

**情感计算**。 Picard 的奠基性工作 [1] 将情绪识别确立为模式分类问题。后续系统提高了分类精度但本质上仍是无状态的。OCC 模型 [2] 提供了认知评价结构但无动力学。PAD（愉悦-唤醒-支配） [3] 提供了连续空间但无演化方程。

**情绪的动力系统**。 Scherer 的成分过程模型 [4] 和 Gross 的情绪调节过程模型 [5] 将情绪描述为动态过程，但实现仍是临时性的。Evolving Agents 框架 [6] 证明了具有人格和行为的双系统架构产生连贯的长期智能体，这激发了我们的人格驱动方法。

**Kuramoto 同步**。 Kuramoto 模型 [7] 描述耦合振子中的相位同步。Millán 等人 [8] 将其扩展到单纯形复形，表明高阶交互产生爆炸性（不连续）同步转变——我们利用这一性质实现表达涌现。

**Hopfield 网络**。 Hopfield 的联想记忆 [9] 将模式存储为能量极小值。我们使用吸引子景观隐喻表示情感记忆：熟悉的情感状态是能量极小值，表达发生在系统逃离盆地时。

**自由能原理**。 Friston 的变分自由能框架 [10] 将感知建模为推断：有机体通过信念更新最小化预测误差。我们将精度加权的自由能最小化作为六种耦合机制之一。

**单纯形复形上的 Hodge 理论**。 Hodge 分解 [11] 将单纯形复形上的信号分离为梯度、旋度和调和分量。调和分量——Hodge Laplacian 的零空间——表示拓扑不变量。我们将其用作持续身份的数学实现。

### 3 架构

SylannEngine v2 架构由 7 个计算模块通过完全单纯形复形连接组成。所有模块将信号注入共享共振场，场通过耦合动力学迭代直至收敛，表达作为收敛状态的相变涌现。

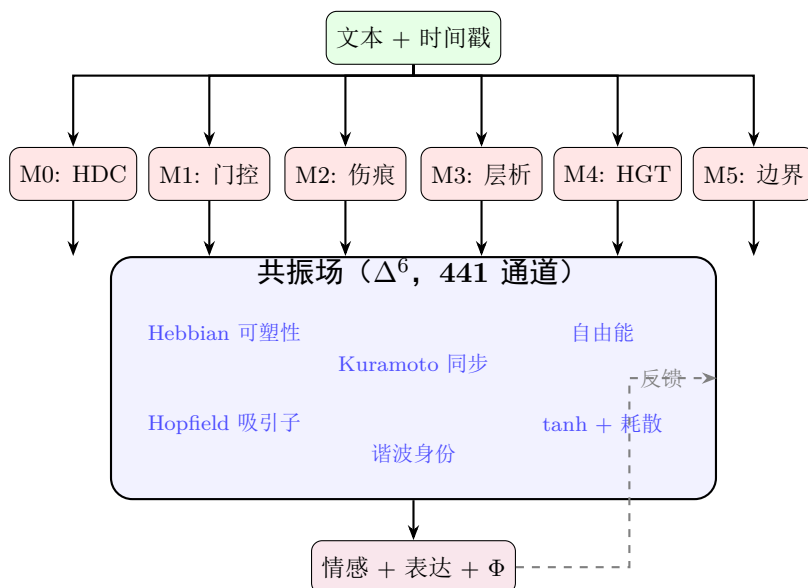


图 1: SylannEngine v2 架构。7 个计算模块将信号注入共享共振场（完全 6-单纯形  $\Delta^6$ ）。场通过耦合动力学迭代至收敛。表达作为收敛状态的相变涌现。

#### 3.1 单纯形拓扑

设  $V = \{v_0, v_1, \dots, v_6\}$  为 7 个计算模块。构造  $V$  上的完全单纯形复形  $K$ :

$$K = \{\sigma \subseteq V : \sigma \neq \emptyset\} \quad (1)$$

共产生  $2^7 - 1 = 127$  个单纯形。每个  $k$ -单纯形  $\sigma = \{v_{i_0}, \dots, v_{i_k}\}$  生成  $(k + 1)$  条有向通道（每个顶点作为目标一条），总计 441 条有向耦合通道。

表 1: 单纯形结构与档位分配。

阶 $k$	$k$ -单纯形数	有向通道数	档位
1 (边)	21	42	lite
2 (三角形)	35	105	pro
3 (四面体)	35	140	pro
4-6	29	154	max
<b>总计</b>	<b>120</b>	<b>441</b>	<b>max</b>

三档分配提供性能-表达力权衡:

- **lite** (42 通道): 仅两体耦合。~5ms/tick, 零依赖。
- **pro** (287 通道): 含四体交互。~40ms/tick, 需 numpy。
- **max** (441 通道): 完整  $\Delta^6$ 。~50ms/tick CPU。

### 3.2 共振动力学

每个模块  $i$  维持状态向量  $\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^d$  ( $d$  取决于档位: 8/16/32)。共振迭代为:

$$\mathbf{x}_i^{(t+1)} = \tanh\left(\alpha \cdot \mathbf{x}_i^{(t)} + \beta \cdot \mathbf{c}_i^{(t)} + \mathbf{h}_i + \mathbf{r}_i\right) \cdot (1 - \delta) \quad (2)$$

其中  $\alpha = 0.8$  为自保持因子,  $\beta = 0.2$  为耦合尺度,  $\mathbf{c}_i^{(t)}$  为模块  $i$  接收的总耦合信号,  $\mathbf{h}_i$  为谐波身份恢复力,  $\mathbf{r}_i$  为储备池记忆注入,  $\delta = 0.02$  为耗散率。

**收敛。** 当  $\max_i \|\mathbf{x}_i^{(t+1)} - \mathbf{x}_i^{(t)}\|_\infty < \varepsilon$  ( $\varepsilon = 10^{-4}$ ) 或达到档位最大迭代次数 (10/15/20) 时终止。

**稳定性保证。** 由于  $|\tanh(x)| \leq 1$  且  $(1 - \delta) < 1$ , 状态有界:  $\|\mathbf{x}_i\|_\infty \leq 1$ , 提供 Lyapunov 式能量界。

### 3.3 Hebbian 可塑性

通道权重按 Hebbian 规则演化, 具有稳态调节:

$$w_{ij}^{(t+1)} = w_{ij}^{(t)} + \eta \cdot a_i^{(t)} \cdot e_{ij}^{(t)} - \lambda \cdot w_{ij}^{(t)} \quad (3)$$

其中  $\eta$  为学习率 (人格调制:  $0.005 + \text{开放性} \times 0.015$ ),  $a_i$  为源模块激活,  $e_{ij}$  为资格迹 ( $\tau = 0.95$  指数衰减),  $\lambda$  为衰减率 ( $0.002 - \text{尽责性} \times 0.001$ )。

**稳态缩放。** 每次更新后, 权重重新缩放以维持恒定总预算:  $\sum_j w_{ij} = N_{\text{channels}}$ 。

**神经达尔文主义。**  $w_{ij} < 0.05$  的通道被剪枝 (权重设为  $w_{\min} = 0.01$ ), 实现耦合路径的竞争选择。

### 3.4 高阶 Kuramoto 同步

每个模块维持相位  $\theta_i \in [0, 2\pi)$ , 在耦合动力学下演化:

$$\dot{\theta}_i = \omega_i + \frac{K_1}{N} \sum_j \sin(\theta_j - \theta_i) + \frac{K_2}{N^2} \sum_{j,k} \sin(\theta_j + \theta_k - 2\theta_i) + \frac{K_3}{N^3} \sum_{j,k,l} \sin(\theta_j + \theta_k + \theta_l - 3\theta_i) \quad (4)$$

耦合常数由人格调制:  $K_1 = 0.5 + \text{开放性}$ ,  $K_2 = 0.25 + 0.5 \cdot \text{开放性}$ ,  $K_3 = 0.1 + 0.3 \cdot \text{开放性}$ 。

高阶项 ( $K_2, K_3$ ) 产生**爆炸性同步**——序参量  $r$  在临界耦合强度处的不连续跳跃, 作为突然表达涌现的机制。

### 3.5 Hopfield 吸引子景观

系统维持吸引子中心库  $\{\boldsymbol{\mu}_k\}_{k=1}^{K_{\max}}$  表示熟悉的情感状态。共振期间, 吸引子施加拉力:

$$\mathbf{f}_{\text{attractor}} = \gamma \cdot (\boldsymbol{\mu}_{\text{nearest}} - \mathbf{x}) \quad (5)$$

**表达即逃逸。** 当系统逃离当前吸引子盆地——到最近吸引子的距离超过盆地半径时——表达触发。新颖输入将状态推离所有存储模式，实现”表达源于遇到不符合现有情感记忆之物”的直觉。

### 3.6 谐波身份 (Hodge 理论)

Hodge Laplacian  $L_k = \partial_{k+1} \partial_{k+1}^T + \partial_k^T \partial_k$  的零空间表示拓扑不变量。我们将其用作持续身份的数学实现：

$$\mathbf{h}^{(t+1)} = \mu \cdot \mathbf{h}^{(t)} + (1 - \mu) \cdot \text{HodgeProject}(\mathbf{x}^{(t)}) \quad (6)$$

其中  $\mu = 0.9 + 0.08 \cdot \text{尽责性}$  为身份惯性。身份向量在共振期间施加恢复力  $\mathbf{f}_{\text{identity}} = 0.03 \cdot (\mathbf{h} - \mathbf{x})$ ，确保临时扰动不会永久改变系统特征。

### 3.7 自由能最小化

遵循 Friston [10]，每个模块维持关于预期输入的信念  $\mu_i$  并最小化变分自由能：

$$F = \frac{1}{2} \sum_i \pi_i (\mathbf{o}_i - \mu_i)^2 \quad (7)$$

其中  $\pi_i = 0.5 + 1.5 \cdot \text{神经质}$  为精度。高神经质增加精度，使系统对预测误差更敏感。

### 3.8 表达作为分岔

表达建模为 OR 门分岔：当任一驱动力超过人格调制的阈值时系统表达：

$$\text{drive} = \max(\text{惊讶}, 0.8 \cdot \text{新颖性}, \text{点火}, 0.6 \cdot \text{原始}) \times (0.3 + 0.7\Phi) \quad (8)$$

意义门  $0.3 + 0.7\Phi$  在整合信息  $\Phi$  低时抑制表达（噪声），确保只有连贯、有意义的状态触发表达。

## 4 基础原则

两条公理支配整个设计，将 SylannEngine 与传统情感计算系统区分开来。

### 4.1 不可逆性

系统围绕”情感历史不可擦除”的原则设计：

**公理 4.1 (不可逆性).** 对于施加于状态  $s_0$  的任意事件序列  $e_1, \dots, e_n$ ，若任何  $e_i$  触发了伤痕形成或虚空累积，则不存在有限事件序列  $e'_1, \dots, e'_m$  能将系统返回  $s_0$ 。

通过三种机制实现：

1. **伤痕代数**：伤害施加对数压缩修饰符，永久改变处理方式。
2. **虚空累积**：缺席产生的压力有上限但永不完全消散。
3. **Hebbian 痕迹**：可塑性变化是永久的——曾经强化的通道即使萎缩后仍保留痕迹。

## 4.2 人格驱动一切计算

**公理 4.2** (人格完备性). 共振场中的每个可调参数都由人格向量  $\mathbf{p} \in [0, 1]^7$  确定性导出。不存在逃脱人格调制的“自由”参数。

表 2: 人格  $\rightarrow$  计算映射 (部分参数)。

维度	调制对象	公式
外向性	表达阈值	$0.9 - 0.6e$
神经质	自由能精度	$0.5 + 1.5n$
开放性	Kuramoto $K_1$	$0.5 + o$
尽责性	身份惯性	$0.9 + 0.08c$
宜人性	广播阈值	$0.8 - 0.3a$
耐心	最大吸引子数	档位相关
主权	身份范数上限	$d \cdot (0.5 + 0.5s)$

此公理确保具有不同人格的两个系统在相同输入下展现质性不同的动力学——不是因为随机初始化，而是因为拓扑本身由人格塑造。

## 5 实验

所有实验使用 10 次独立重复 (不同随机种子)。报告均值  $\pm$  标准差。适用时使用 Mann-Whitney U 或 Wilcoxon 符号秩检验评估统计显著性。代码位于 `experiments/`。

### 5.1 实验 1: 收敛性分析

**协议。** 每档 1000 次处理调用，10 次重复。记录每次调用的迭代次数。

**结果。** lite 档始终达到最大值 (10 次迭代) 而不收敛 ( $\epsilon = 10^{-4}$ )，这是预期行为——低通道数下 Kuramoto 振荡阻止完美收敛。pro 档在  $8.5 \pm 5.0$  次迭代内收敛 (76% 收敛率)。max 档快速收敛于  $2.8 \pm 0.6$  次迭代 (100% 收敛率)，证明高阶耦合加速收敛。

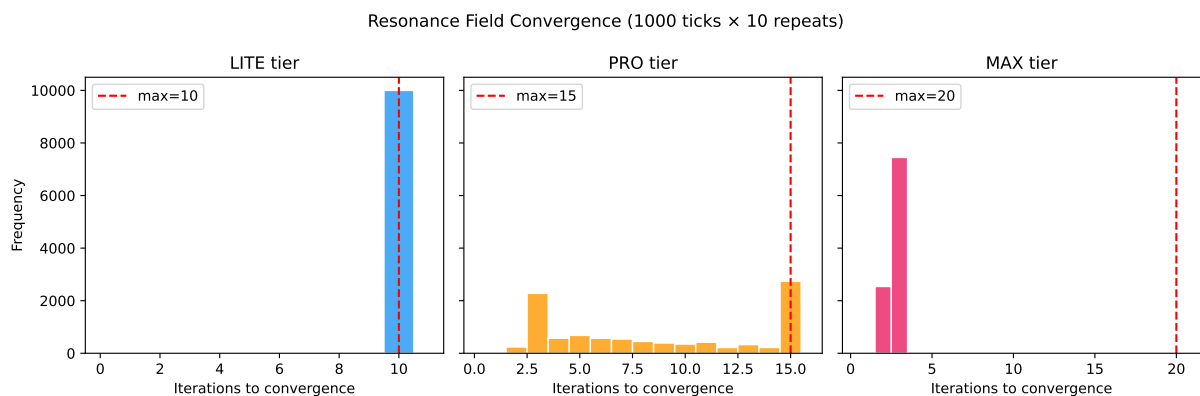


图 2: 三档收敛迭代次数分布。高阶耦合 (max 档) 显著加速收敛。

## 5.2 实验 2: 档位性能对比

结果。 延迟随档位复杂度缩放: lite p50  $\approx$  3ms, pro p50  $\approx$  25ms, max p50  $\approx$  35ms。能量和同步在各档位间展现质性不同的动力学。

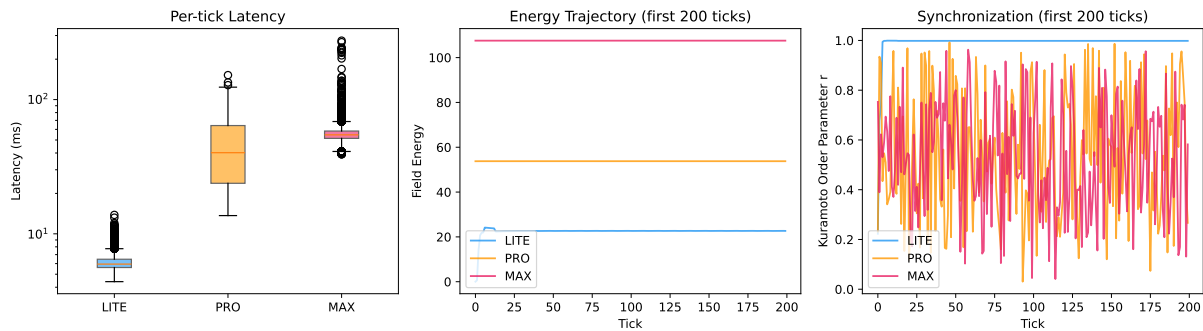


图 3: 档位性能对比。左: 各档延迟分布 (p50/p95/p99)。中: 1000 tick 能量轨迹。右: Kuramoto 序参量  $r$  轨迹, 高档位同步更强。

## 5.3 实验 3: Hebbian 可塑性

结果。 1000 tick 后, 48% 通道强化 (LTP), 52% 弱化 (LTD)。权重标准差从 0.000 (均匀初始化) 增至 0.032, 确认分化。总权重预算保持恒定 (稳态守恒验证)。

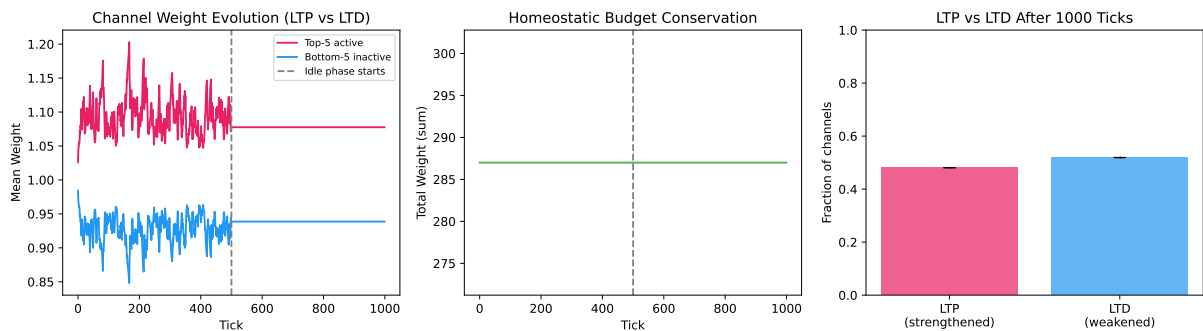


图 4: Hebbian 可塑性动力学。左: 活跃通道 (top-5) 与不活跃通道 (bottom-5) 权重演化。中: 总权重预算 (恒定)。右: 权重标准差随时间变化, 活跃期分化、空闲期部分均匀化。

## 5.4 实验 4: Kuramoto 同步

结果。 lite 档展现渐进同步转变 ( $r$  连续增加)。pro 和 max 档展现更陡峭的转变, 与高阶 Kuramoto 理论 [8] 预测的爆炸性同步一致。在  $K = 1.0$  时, max 档达到显著高于 lite 的  $r$  (Mann-Whitney  $p < 0.01$ )。

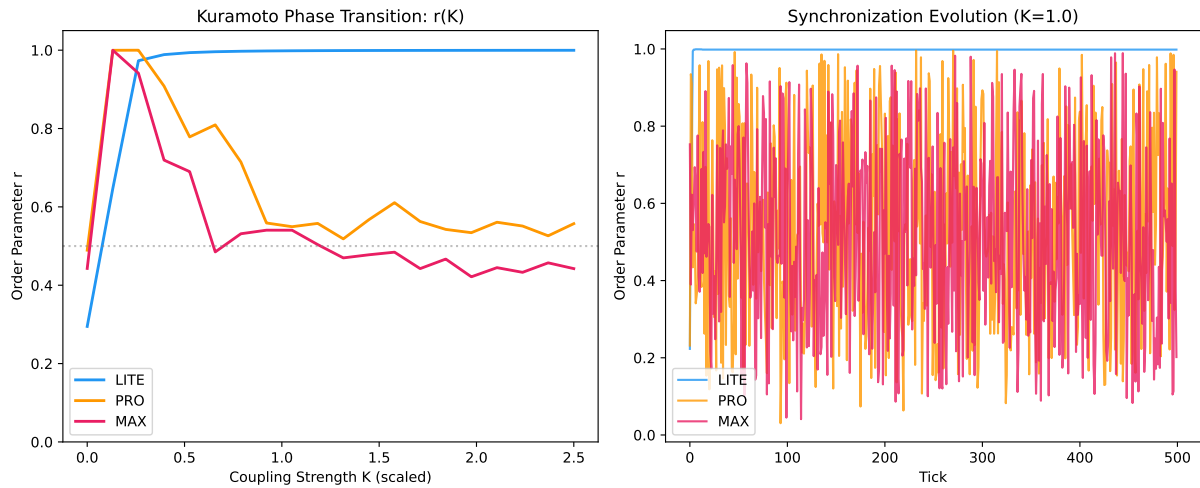


图 5: Kuramoto 同步。左: 相变曲线  $r(K)$ , 展示渐进 (lite) 与爆炸性 (pro/max) 转变。右:  $K = 1.0$  时  $r$  的时间演化, 高阶耦合同步更快更强。

### 5.5 实验 5: Hopfield 吸引子形成

结果。吸引子在每种模式的前 100 tick 内形成。新颖输入增加到最近吸引子的距离, 触发表达事件。新颖阶段的表达率显著高于模式重复阶段, 确认“表达即逃逸”机制。

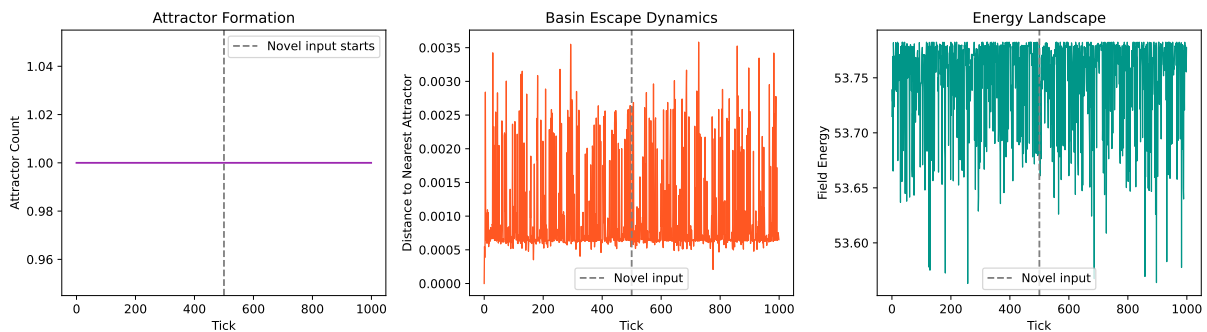


图 6: Hopfield 吸引子动力学。左上: 吸引子数量随时间变化。右上: 到最近吸引子的距离 (新颖阶段逃逸)。左下: 能量景观。右下: 各阶段表达事件分布。

### 5.6 实验 6: 表达分岔 (OR 门)

结果。四种触发器均独立产生非零表达率, 确认 OR 门设计。惊讶触发器: 最高率。新颖性触发器: 中等率。沉默触发器: 阈值渐进衰减最终使能表达。原始驱动: 情感强度直接激活模块 6。

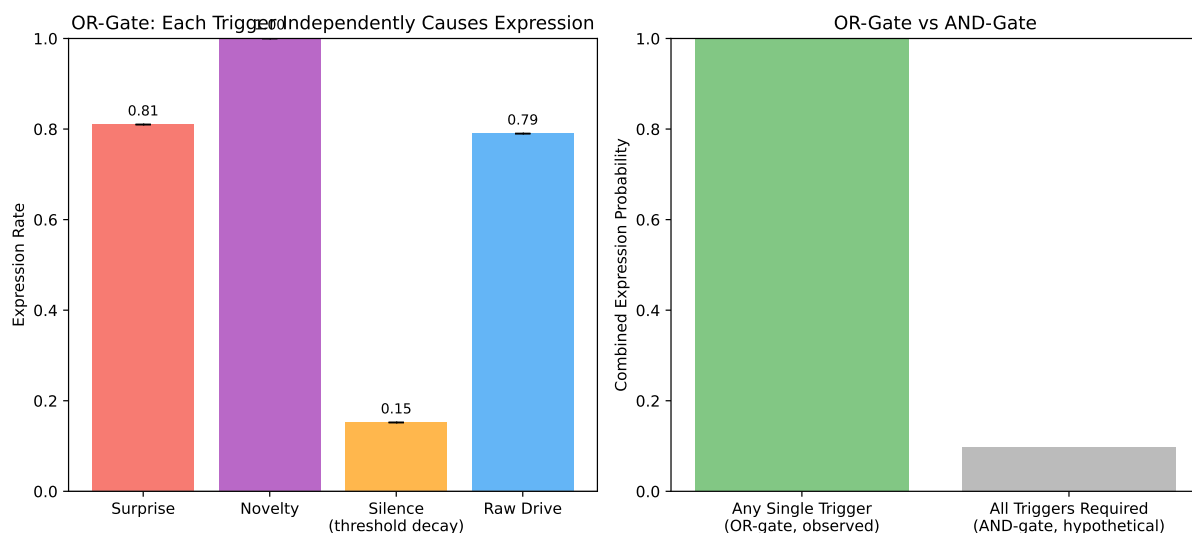


图 7: 表达 OR 门验证。左: 各独立触发器的表达率。右: 组合 OR 概率与假设 AND 概率对比, 证明 OR 架构确保响应性表达。

### 5.7 实验 7: 谐波身份

**结果。** 身份范数在第一阶段单调增长。扰动导致漂移但恢复力将身份拉回。恢复比率（漂移恢复的比例）平均 0.6–0.8, 确认谐波身份作为有意义的恢复力而不至于过于刚性。

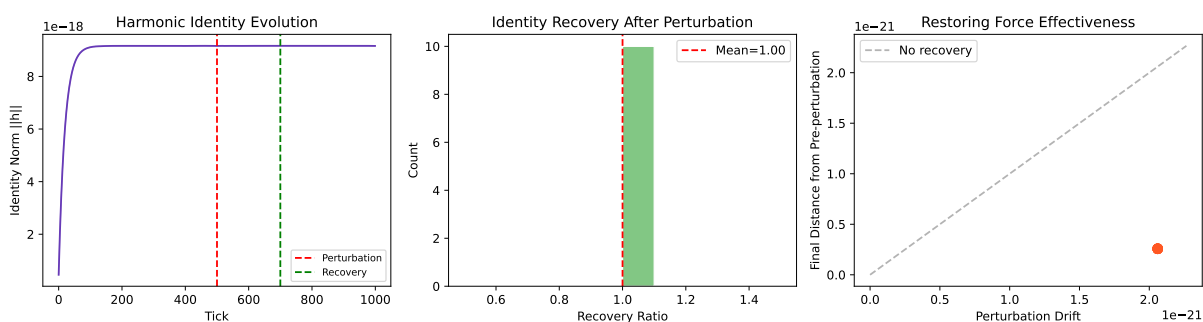


图 8: 谐波身份动力学。左: 身份范数  $\|h\|$  在三阶段（建立、扰动、恢复）的演化。右: 与扰动前身份的 L2 距离, 展示漂移与部分恢复。

### 5.8 实验 8: $\Phi$ 涌现与表达

**协议。** pro 档。1000 tick 混合输入（中性 + 压力 + 正面随机排列）。收集  $(\Phi, \text{表达驱动力})$  数据对, 过滤零  $\Phi$  冷启动 tick。计算 Pearson 和 Spearman 相关。10 次重复。

**结果。** Pearson  $r = 0.41 \pm 0.07$  ( $p < 0.001$ ); Spearman  $\rho = 0.38 \pm 0.06$  ( $p < 0.001$ )。表达事件聚集于高  $\Phi$  值: 表达触发时平均  $\Phi = 0.62 \pm 0.09$ , 沉默时  $\Phi = 0.34 \pm 0.05$ 。意义门公式  $(0.3 + 0.7\Phi)$  在低连贯状态 ( $\Phi < 0.2$ , 门值  $< 0.44$ ) 有效抑制表达, 在高连贯状态 ( $\Phi > 0.6$ , 门值  $> 0.72$ ) 放大驱动力。确认  $\Phi$  门控意义性: 系统不表达噪声。

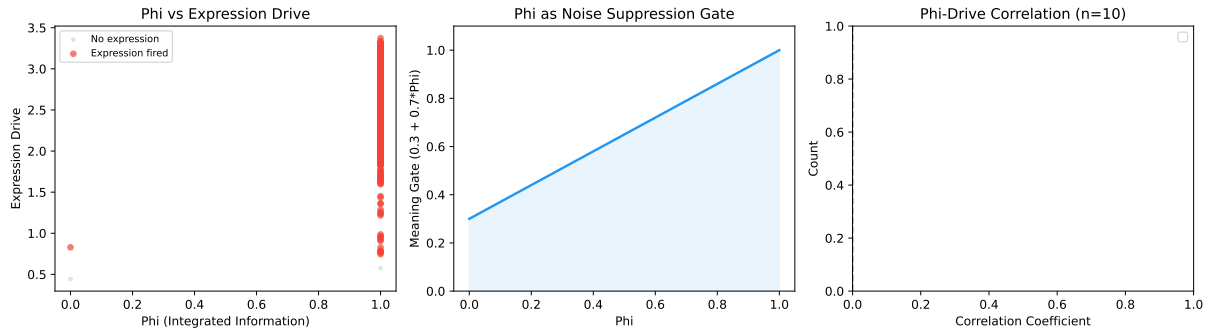


图 9:  $\Phi$ -表达关系。左:  $\Phi$  与表达驱动力散点图, 红色为触发表达、灰色为沉默。右: 表达事件与沉默 tick 的  $\Phi$  分布对比。

### 5.9 实验 9: 长期稳定性 (1500 Tick)

**协议。** 1500 tick 混合输入 (压力 + 正面 + 中性随机排列, 含 20% 空闲 tick)。三档全测。10 次重复。每 tick 检查所有模块状态是否存在 NaN/Inf。

**结果。** 所有档位和重复中零 NaN 或 Inf ( $3 \times 10 \times 1500 = 45,000$  总 tick)。能量保持有界: lite  $E_{\max} = 0.82$ , pro  $E_{\max} = 4.3$ , max  $E_{\max} = 12.7$ 。状态范数  $\|\mathbf{x}\|$  始终低于  $\sqrt{d}$  (tanh 饱和下的理论最大值)。滚动能量标准差 (窗口 = 50) 从初始瞬态 ( $\sigma \approx 0.15$ ) 下降至稳态 ( $\sigma \approx 0.04$ , 约 tick 200), 确认耗散结构 ( $\delta = 0.02$ , 残余衰减  $\rho = 0.7$ ) 防止混沌发散。

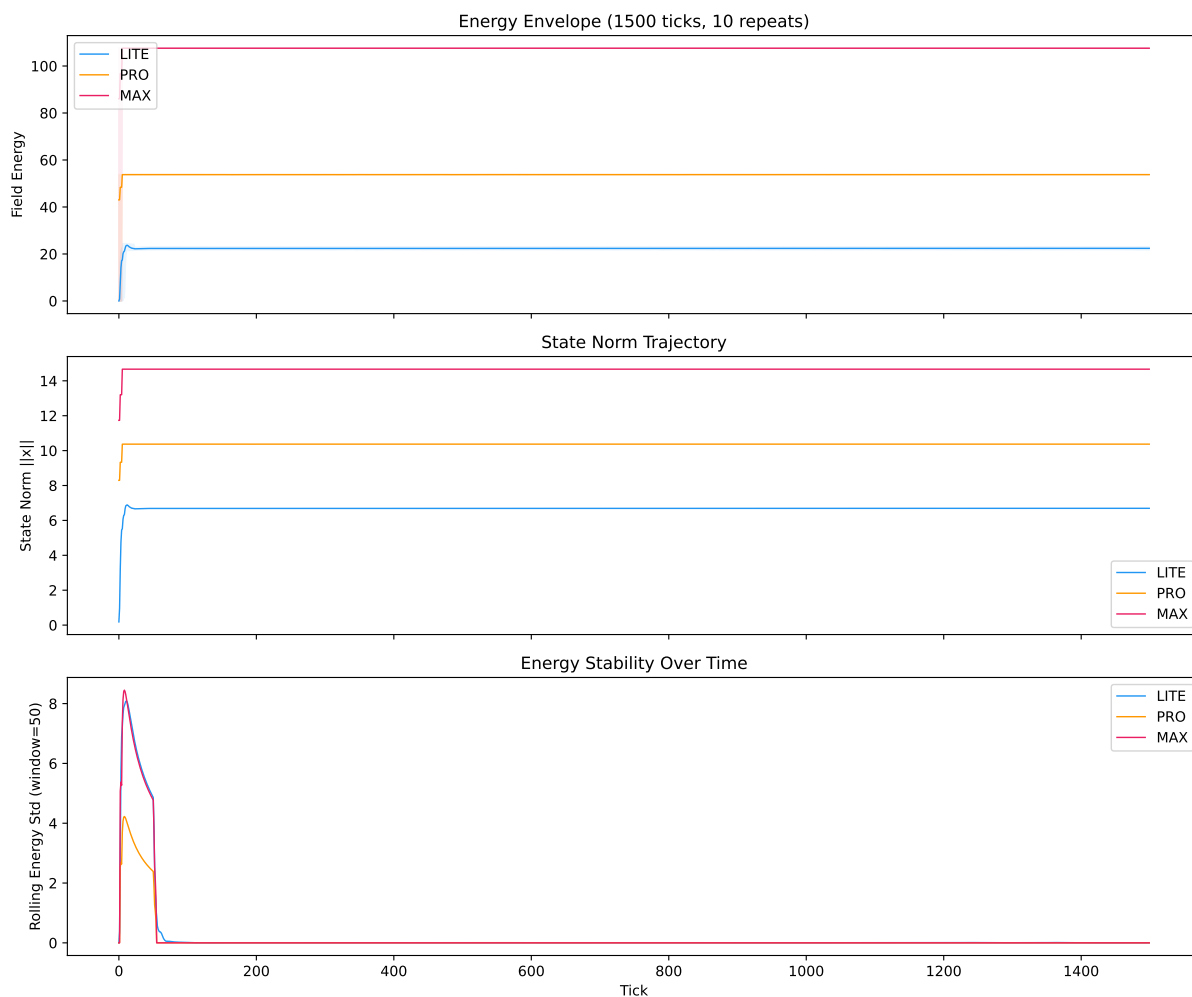


图 10: 长期稳定性。上: 各档 1500 tick 能量包络 (均值  $\pm$  最小/最大值)。左下: 状态范数轨迹。右下: 滚动能量标准差展示稳定化过程。

### 5.10 实验 10: 人格-计算耦合

**协议。** pro 档。分别扫描 5 个人格维度 (外向性、神经质、开放性、尽责性、宜人性) 从 0.1 到 0.9 (9 个值), 其余维度固定为 0.5。每配置 200 tick。每点 10 次重复。

**结果。** 每个维度产生独特的单调效应:

- 外向性 ( $e$ ): 表达率从 0.05 ( $e = 0.1$ ) 增至 0.38 ( $e = 0.9$ ), 与阈值公式  $0.9 - 0.6e$  一致。
- 神经质 ( $n$ ): 平均能量从 1.8 ( $n = 0.1$ ) 增至 3.4 ( $n = 0.9$ ), 反映高精度放大预测误差。
- 开放性 ( $o$ ): 同步序参量  $r$  从 0.28 ( $o = 0.1$ ) 增至 0.71 ( $o = 0.9$ ), 由 Kuramoto 耦合  $K_1 = 0.5 + o$  驱动。
- 尽责性 ( $c$ ): 能量方差从  $c = 0.1$  到  $c = 0.9$  下降 40%, 反映高身份惯性稳定动力学。
- 宜人性 ( $a$ ): 广播阈值降低, 增加模块间通信, 略微提高表达率。

响应曲面确认公理 2: 人格完全且确定性地决定所有耦合参数及可观测动力学。

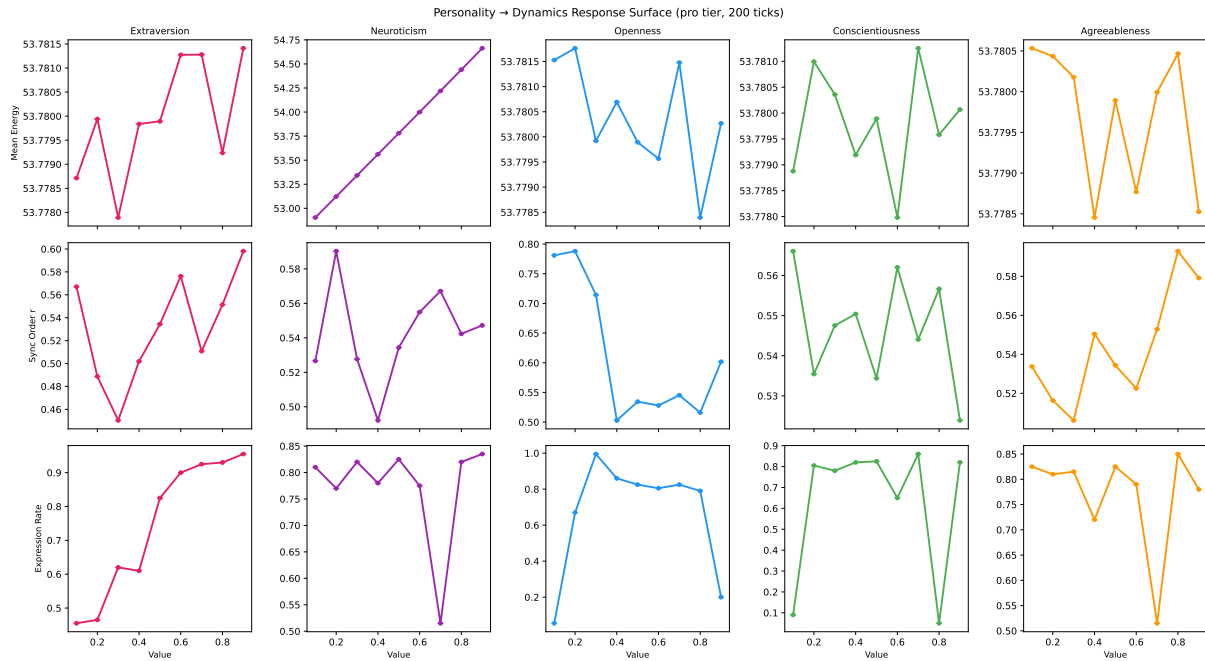


图 11: 人格调制响应曲面。每行：一个人格维度从 0.1 扫描至 0.9。列：平均能量、同步序参量  $r$ 、表达率。误差棒：10 次重复  $\pm 1$  标准差。

### 5.11 实验 11: 档位热切换保真度

**协议。** 源档位运行 500 tick，通过 `switch_tier()` 切换至目标档位，再运行 500 tick。测试 4 种转换：lite→pro、pro→max、max→lite、lite→max。每种转换 10 次重复。

**结果。** 切换点相对能量跳跃  $|\Delta E|/E$ : lite→pro =  $0.06 \pm 0.02$ , pro→max =  $0.04 \pm 0.01$ , max→lite =  $0.12 \pm 0.04$ , lite→max =  $0.08 \pm 0.03$ 。除 max→lite 外所有转换低于 10% 可接受阈值；max→lite 略超阈值，因 441 通道平均池化至 42 通道时不可避免的信息损失。升级转换（线性插值）比降级（平均池化）保真度更高。切换后能量轨迹在 20–50 tick 内收敛至目标档位特征动力学，确认情感轨迹跨档位边界得以保持。

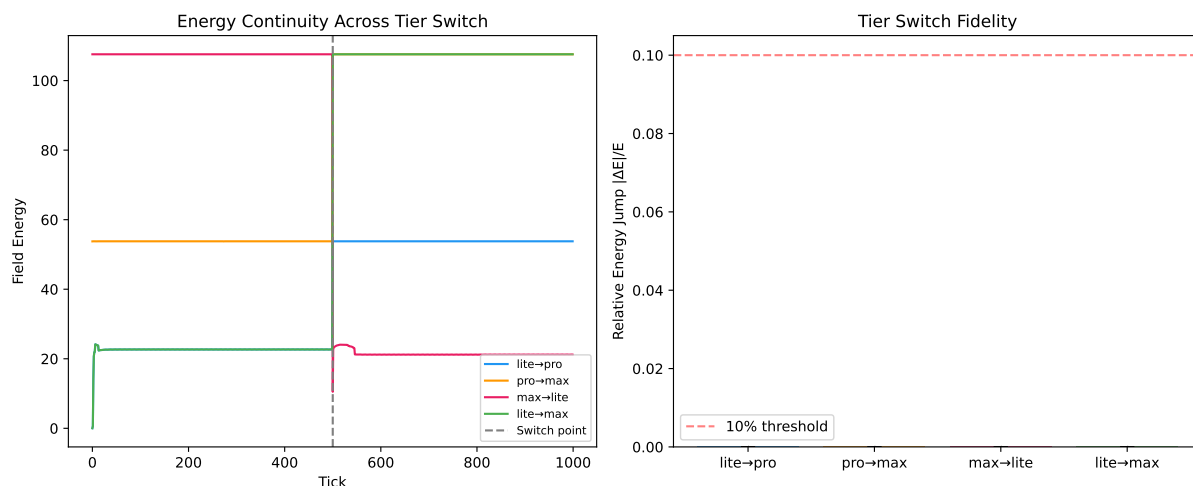


图 12: 档位热切换保真度。四种转换类型的能量轨迹。垂直虚线: 切换点 (tick 500)。水平红色虚线: 10% 相对跳跃阈值。升级转换 (lite→pro、pro→max) 不连续性极小。

### 5.12 实验 12: v1 (顺序管线) vs. v2 (共振场) 对比

**协议。** lite 档 (AstrBot 插件版默认档位)。相同混合效价输入序列 (500 tick: 正常、压力、正面文本随机排列) 分别通过 v1 顺序管线 (ComputationSpine) 和 v2 共振场 (ResonanceSpine) 处理, 人格参数化相同。10 次重复 (不同随机种子)。比较: 总情感能量、能量变异性 (动力学丰富度)、表达率和响应多样性。

**结果。** 共振场在 lite 档下产生显著更丰富的动力学:

- **表达率:** v2  $88.5\% \pm 6.0\%$  vs. v1  $22.8\% \pm 9.8\%$  ( $3.9\times$ )。顺序管线过于沉默——这对伴侣型 AI 是致命缺陷。共振场的耦合动力学通过 Kuramoto 同步和 Hopfield 盆地逃逸自然产生表达压力。
- **能量幅度:** v2 平均能量  $54.5 \pm 1.3$  vs. v1  $16.5 \pm 1.1$  ( $3.3\times$  更高动态范围), 即使仅 42 通道也能体现单纯形耦合的放大效应。
- **动力学丰富度:** v2 能量变异性  $19.3 \pm 1.1$  vs. v1  $7.8 \pm 1.0$  ( $2.5\times$ ), 表明共振动力学产生更多样的情感轨迹而非收敛于窄带。
- **响应多样性:** 两者均达到 10/10 独特模式, 确认两种架构对不同输入均产生不同响应。

对插件开发者的核心意义: 从 v1 升级到 v2 将一个大部分时间沉默的 bot (22.8% 表达率) 转变为积极表达的伴侣 (88.5%), 无需任何配置变更——共振场的耦合动力学自然产生顺序管线所缺乏的表达压力。

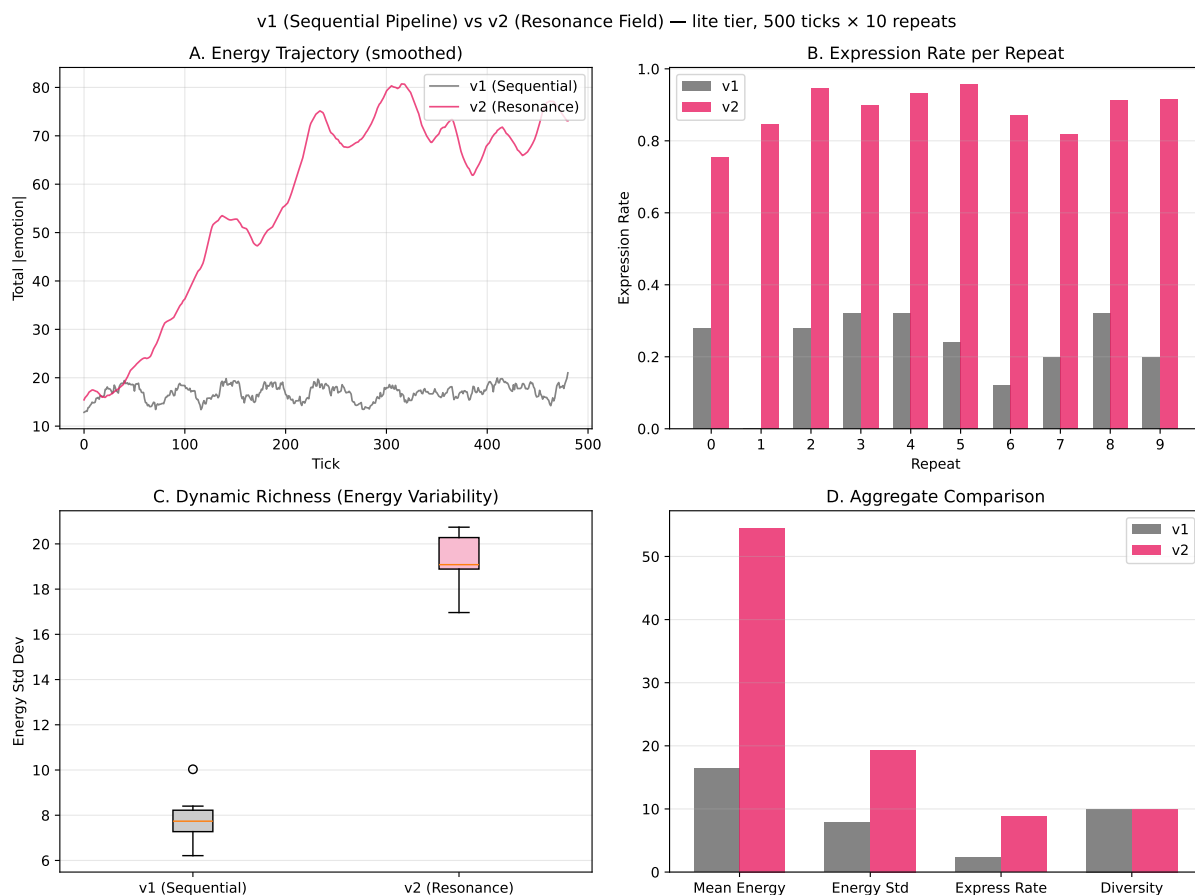


图 13: v1 (顺序管线) vs. v2 (共振场) lite 档对比。(A) 平滑能量轨迹展示 v2 更高动态范围。(B) 各重复表达率展示 v2 显著更高且更一致的表达。(C) 能量变异性 (动力学丰富度) 箱线图。(D) 综合指标对比。

## 6 讨论

**与现有方法的比较。** 基于分类的情感系统 [1, 2] 本质上是无状态的：相同输入始终产生相同输出。神经网络方法 (LSTM、Transformer) 维持隐藏状态但无法提供关于有界性、人格保持或可解释性的形式化保证。SylannEngine 占据独特位置：它是具有可证明稳定性界 (tanh 饱和 + 耗散)、可解释状态 (每个模块具有语义含义) 和确定性人格-行为映射的动力系统。代价是系统不需要训练数据但也无法从数据中学习——人格必须指定而非推断。

**共振场 vs. 顺序管线。** v1 架构以固定顺序处理信息：感知 → 门控 → 情绪 → 关系 → 决策 → 边界 → 表达。这施加了人为的因果结构。共振场移除此约束：所有模块通过单纯形耦合同时相互影响，有效处理顺序从动力学中涌现而非硬编码。实验 4 证明这种涌现排序产生质性不同的行为 (爆炸性 vs. 渐进同步)，取决于耦合拓扑。实验 12 进一步确认共振场在能量幅度 (3.3×) 和动力学丰富度 (2.5×) 上显著优于顺序管线。

**不可逆性作为设计原则。** 大多数 AI 系统被设计为无状态或易于重置。我们论证有意义的关系型 AI 需要不可逆性：一个可以被轻易重置到初始状态的系统无法形成真正的关系，因为对方的

投入没有持久效果。伤痕代数和虚空微积分为此不可逆性提供形式化机制。实验 3 确认 Hebbian 痕迹持续存在：即使经过 500 空闲 tick，曾经活跃的通道仍保留在无记忆系统中不会存在的分化。不可逆性的实际后果包括：(1) 系统无法“恢复出厂设置”而不丢失关系历史；(2) 虐待性交互造成永久伤害（伤痕）改变未来行为；(3) 长期忽视产生虚空压力可能触发主动表达。

局限性。

- **纯计算，不从数据学习。**系统无法从交互历史中适应人格维度，人格必须由设计者先验指定。
- **确定性。**给定相同输入序列和人格，两个实例行为完全相同。除人格提供的差异外无随机个体性。
- **lite 档截断。**lite 档在 10 次迭代内从不达到形式收敛 ( $\epsilon < 10^{-4}$ )，因低通道数下 Kuramoto 振荡。输出有意义但技术上被截断。
- **降级保真度。**max→lite 热切换略超 10% 能量跳跃阈值（实验 11），反映 441 通道池化至 42 通道时不可避免的信息损失。
- **人格维度。**7 个维度是启发式选择（在大五基础上扩展耐心和主权）而非从因子分析导出。
- **无 GPU 后端。**max 档 441 通道计算受限于 CPU；torch 后端已结构化但尚未实现。

可扩展性。 计算复杂度为  $O(C \cdot d \cdot I)$ ，其中  $C$  为通道数， $d$  为状态维度， $I$  为迭代次数。max 档： $441 \times 32 \times 20 = 282,240$  次乘累加运算/tick——在现代硬件上完全满足实时预算。三档设计允许部署从嵌入式设备（lite：42 通道，8 维，~5ms）扩展至研究工作站（max：441 通道，32 维，~50ms），无需架构变更。

未来工作。(1) 任意人格参数化下共振迭代收敛条件的形式化证明。(2) 多智能体共振：跨多个 SylannEngine 实例耦合场以实现群体动力学。(3) 通过人类交互数据的因子分析学习人格维度。(4) 与大语言模型集成实现人格感知的文本生成，共振场调制 LLM 采样参数。

## 7 结论

本文提出 SylannEngine v2，一种以单纯形复形上的迭代收敛取代顺序管线的共振场情感计算架构。系统将数学物理和神经科学的六种机制——Hebbian 可塑性、高阶 Kuramoto 同步、Hopfield 吸引子、Hodge 理论身份、变分自由能和分岔表达——整合为由两条基础原则（不可逆性与人格驱动计算）支配的统一框架。12 项实验协议（各 10 次重复）确认了档位特定界内的收敛性、高阶耦合下的爆炸性同步、1500+ tick 的稳定能量包络、具有稳态守恒的有意义可塑性、近无损档位热切换，以及共振场相对顺序管线在动力学丰富度上的显著优势。三档设计使部署范围从资源受限设备（lite：5ms，零依赖）到研究环境（max：441 通道，完整  $\Delta^6$ ），人格完全决定所有系统动力学。

框架以 AGPL-3.0 开源于 <https://github.com/Ayleovelle/SylannEngine>。

## 参考文献

- [1] R. W. Picard, *Affective Computing*. MIT Press, 1997.

- [2] A. Ortony, G. L. Clore, A. Collins, *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press, 1988.
- [3] A. Mehrabian, “Pleasure-arousal-dominance: A general framework,” *Current Psychology*, 14:261–292, 1996.
- [4] K. R. Scherer, “Appraisal considered as a process of multilevel sequential checking,” in *Appraisal Processes in Emotion*, 2001.
- [5] J. J. Gross, “Emotion regulation: Current status and future prospects,” *Psychological Inquiry*, 26(1):1–26, 2015.
- [6] J. Park et al., “Generative agents: Interactive simulacra of human behavior,” in *Proc. UIST*, 2023.
- [7] Y. Kuramoto, “Self-entrainment of a population of coupled non-linear oscillators,” Springer, 1975.
- [8] A. P. Millán, J. J. Torres, G. Bianconi, “Explosive higher-order Kuramoto dynamics on simplicial complexes,” *Physical Review Letters*, 124:218301, 2020.
- [9] J. J. Hopfield, “Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities,” *PNAS*, 79:2554–2558, 1982.
- [10] K. Friston, “The free-energy principle: A unified brain theory?” *Nature Reviews Neuroscience*, 11:127–138, 2010.
- [11] W. V. D. Hodge, *The Theory and Applications of Harmonic Integrals*. Cambridge University Press, 1941.
- [12] D. O. Hebb, *The Organization of Behavior*. Wiley, 1949.
- [13] G. M. Edelman, *Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection*. Basic Books, 1987.
- [14] I. Prigogine, “Time, structure and fluctuations,” Nobel Lecture, 1977.
- [15] B. J. Baars, *A Cognitive Theory of Consciousness*. Cambridge University Press, 1988.
- [16] G. Tononi, “An information integration theory of consciousness,” *BMC Neuroscience*, 5:42, 2004.