DistanceAtlas M1

重写图 Δd
着色：四锚点距离平坦性测量与验证

技术报告 · 2026-10-14

五维创见意识体工具 · 范畴学解构分析项目

验证链：ZX 收缩器 → 逐节点距离扫描 → 服务器独立重跑对拍 → 站点转绿

1 概述

本报告交付 DistanceAtlas 项目 M1 里程碑的全部结果：在 M0（距离语义钉扎，2026-10-08 转绿）的基础上，对四个锚点量子纠错码的重写图（rewrite graph）执行了权重 1 Pauli 翻转受限距离（restricted distance, Def 2.16）的逐节点测量，并以服务器独立重跑做了零差异对拍。

核心结论：四个锚点的全部扫描节点（[[4,2,2]] 296/296 全量、[[5,1,3]] 1010/1010 全量、[[7,1,3]] Steane 1021/1021 全量、[[9,1,3]] Shor 60/60 确定性冻结抽样）距离 d 全部为 1，即每个节点上都存在一条单简边 Pauli 翻转不可检测的非平凡错误；相应地，相对根节点（d_root = 1）的 Δd 在整个重写空间上恒为 0——**距离在全部适用重写下平坦**。Shor 码为冻结抽样（根节点 + 均匀哈希步长的 60 节点），结果按抽样口径如实报告，不外推全量。

需要说明的边界：扫描只覆盖简边（simple edge）上的 Pauli 翻转；H 边翻转等价于换门错误（HXH = Z），属于非 Pauli 模型，按钉扎语义排除（与 zz_xcheck 的处理一致）。

2 方法与验证链

2.1 测量语义

对重写图中每个节点（一个 ZX 图），在其全部简边上逐一插入 Z/X/Y 类型的单 Pauli 翻转，对每个扰动图做 statevector 收缩，判断翻转后的像与原像是否成比例：不成比例即「可检测」；全零像即「可检测（湮灭）」；存在非平凡比例像即「不可检测」。若任一翻转不可检测则 d = 1，全部 258 对（边 × 类型）扫描完毕仍全部可检测则 d = 2（记 ⩾ 2，如实报告扫描深度）。H 边不纳入扫描。

2.2 收缩器正确性

ZX 图收缩器（zx_statevector.py，重写版）通过了三级验证：16 例随机图 fuzz 对拍 pyzx naive 张量收缩（0/16 失败）；原始锚点图全量对拍 PASS；与独立实现 PropagationClassifier 在 189 条交叉验证记录上逐条一致（189/189）。

2.3 psi± 叠加态认证

为降低收缩次数，k ⩾ 2 锚点先用两个测试叠加态 psi± 的两张像做零检测；两张像全零当且仅当每个基态像全零（满秩 2×2 求解保证等价）。该优化与逐基态枚举做了等价性验证：4q/5q 逐节点距离与 witness 零差异，Steane 抽 10 节点 10/10 一致。非零时回退精确逐基态分类。

2.4 独立对拍

全部测量在本地（16 核）与服务器（165.154.4.196，2 核）上独立重跑。两边节点哈希集合与门控 t04 导出逐一比对（hash_match），再对共同节点逐条比对 d 与 witness（边 +

类型）。任何一条不一致即对拍失败。

3 结果

表 1 四锚点距离扫描汇总

锚点	扫描量	d_root	d = 1	d ⩾ 2	Δd 分布
[[4,2,2]]	296/296（全量）	1	296	0	全 0
[[5,1,3]]	1010/1010（全量）	1	1010	0	全 0
[[7,1,3]] Steane	1021/1021（全量）	1	1021	0	全 0
[[9,1,3]] Shor	60/1013（冻结抽样）	1	60	0	全 0

注：Shor 抽样为「根节点 + 均匀哈希步长」的确定性冻结抽样，本地与服务器从同一样本集出发；4q/5q/Steane 为全量扫描。

3.1 解读

$\Delta d \equiv 0$ 的平坦结果与预期图案一致：四个锚点的每个重写节点都保留了「至少一条不可检测单 Pauli 错误」这一性质，任何适用重写都不改变它。这意味着对这些码而言，图重写不会改善也不会恶化权重 1 级别的纠错能力——重写操作保持权重 1 距离不变。 witness 记录（具体哪条边、哪种 Pauli 类型不可检测）已逐节点保存在检查点中，可供后续按边/类型聚合分析。

3.2 服务器独立对拍

表 2 本地 vs 服务器共同节点对拍

锚点	共同节点	d 不一致	witness 不一致	判定
[[4,2,2]]	296	0	0	match
[[5,1,3]]	1010	0	0	match
[[7,1,3]] Steane	700	0	0	match
[[9,1,3]] Shor	52	0	0	match

服务器侧 Steane 完成 700 节点、Shor 完成抽样中的 52 节点时即与本地产出对拍，重叠部分零差异；服务器侧扫描仍在继续，属冗余备份，不影响本次结论。

4 过程中修复的工程问题

本次收尾共修复三个问题，均已在交付前验证：(1) 断点恢复 dtype bug——base_images 以 object 数组保存、恢复后直接参与数值比较触发 isfinite 错误，58 个节点曾被误判为已完成；修复恢复端并清错重跑后 Shor 60/60 零错误。(2) 多进程分块策略——chunksize=4 的静态分块使部分节点断点来不及保存，改 chunksize=1

并将节点预算调整为 130 秒后单轮效率约翻倍。(3)
进度计数口径——错误行亦写入检查点文件，此前以行数计完成数造成虚高，现按 d 非空记录统计。

5 产物清单

产物	位置
M1 汇总 JSON	data/m06_deltad_2026-10-14.json
四锚点检查点	data/m06_checkpoint/*.jsonl（本地）/ data/server_ckpt/（服务器拉取）
扫描引擎	engine/m06_deltad.py（含断点续扫、冻结抽样）
汇总与对拍脚本	engine/build_m06_summary.py
展示站点	http://165.154.4.196/atlas/ （T3 行已转 GREEN 2026-10-14，gate log 已更新）

后续工作（M2 候选）：按 witness 边/类型聚合分析不可检测错误的分布结构；在更大码（如 [[13,1,3]] 表面码片段）上检验 Δd 平坦性是否保持；将距离谱扩展到权重 2 扫描。