

# HyRAS: 一种用于硅通孔的混合冗余与串行化容错架构

孙成龙<sup>1,2</sup>, 周衍庆<sup>1,2</sup>, 王奇<sup>3</sup>, 张岩<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>阜阳师范大学计算机与信息工程学院, 中国阜阳市, 236037

<sup>2</sup>阜阳师范大学, 安徽省智能计算与信创应用工程研究中心, 中国阜阳市,  
236037

<sup>3</sup>合肥工业大学计算机与信息学院, 中国合肥市, 230601

**摘要:** 三维片上网络 (3D NoCs) 在多核系统中的应用日益广泛, 其核心价值在于显著提升系统的可扩展性。硅通孔 (TSV) 是实现片上网络层间垂直互连的关键技术。然而, 基于硅通孔的层间互连极易因制造缺陷、器件老化及其他因素产生故障, 进而严重影响系统可靠性。针对上述问题, 尤其在芯粒架构的三维片上网络场景中, 亟需构建高鲁棒性容错机制, 以保障硅通孔故障状态下系统稳定运行。本文提出一种名为HyRAS的新型容错架构, 该架构基于混合冗余与串行化方法, 旨在当垂直链路发生永久性失效时, 持续保障片上网络的通信可靠性。该架构融合两种协同工作的容错机制: 首先, 采用一种轻量级空间冗余策略, 通过复用共享硅通孔资源, 缓解单点独立故障带来的性能损耗; 其次, 面向大规模严重故障场景, 引入自适应串行传输机制, 高效调度剩余可用正常链路, 维持网络全局连通性。结合合成流量模型与真实应用负载开展全功能仿真实验, 对所提架构进行全面性能验证。实验结果表明, 相较于现有主流容错方案, 在存在大规模缺陷簇的真实负载环境下, HyRAS架构的网络吞吐量最高可提升28.2%; 该架构硬件开销可控, 相较于传统冗余路由架构, 芯片面积开销仅增加14.53%, 功耗开销提升8.87%。

**关键词:** 三维片上网络; 硅通孔; 冗余; 故障容错

<https://doi.org/10.1631/ENG.ITEE.2025.0156>