

智能化带宽分配技术——数采系统高效运行的关键

全套 DAQ 解决方案，尽在度纬科技

度纬科技 Application Notes-054-V1.0

<https://www.doewe.com>

随着智能制造、车载电子、航空航天及新能源装备对高带宽、高精度、多通道同步测试的需求持续增长，PXIe 数据采集系统已从研发实验室迅速扩展到生产线和现场调试等场景。采集板卡和专用处理模块的并行数量不断上升，单通道采样率也从百兆级跃升至吉级，每秒产生的数据流量呈指数级增长；在这种背景下，背板 PCI Express 总线由传统的“顺序通道”演变为承担海量并行吞吐的“核心枢纽”。位于拓扑中心的 PXIe 控制器除了承担 CPU 运算、I/O 管理与时钟同步，还必须动态调度总线链路资源以避免瓶颈和时延；其带宽分配策略、链路自适应能力以及交换架构设计对整机的实时性、吞吐率和系统可靠性具有决定性影响。



图 1 度纬 PXIe 控制器侧面图

评估 PXIe 控制器的综合性能时,应综合考量处理器架构(核心数量、主频、缓存层级)、内存容量与带宽,以及本地存储子系统的持续读写能力;这些硬件参数决定指令执行效率、数据缓冲深度与任务调度余度。然而,从系统级视角观察,真正限定整机吞吐上限的,是背板 PCI Express 总线的链路宽度、有效传输速率和动态带宽分配机制。背板带宽犹如数据采集系统的动脉,负责在采集板、处理板和存储介质之间搬运并行数据流。若链路拓扑固定且无法随业务负载按需调整,局部链路在峰值阶段易陷入拥塞,导致 DMA 事务延迟增加、采样率被迫下降甚至缓存溢出;与此同时,其余链路利用率偏低,整体带宽被闲置,系统吞吐随之下降,实时性与数据完整性均受影响。由此可见,除了提供充足裸带宽, PXIe 控制器还必须具备链路自适应和精细带宽调度能力,方能在多板卡并行、高数据流量的应用场景中维持高效且稳定的运行。

为突破固定链路拓扑的带宽瓶颈, ASMC-PXIe-1216 在内置 PCIe 交换芯片上实现了智能化带宽分配:控制器上电后,固件首先读取机箱背板的 LINK 训练结果,实时掌握各根链路的协商宽度与速率;随后根据检测到的拓扑与业务负载,自动将交换芯片配置为两路模式 ($1 \times 16 + 1 \times 8$) 或四路模式 (4×4)。当系统运行过程中出现链路占用不均或采集板热插拔等情况,固件还会动态重平衡转发路径,使高速链路始终服务于带宽需求最高的板卡,低速链路承接辅助数据流。通过这一自适应调度机制,控制器能够在不改变物理连接的前提下,将背板带宽利用率提升至最优状态,显著降低 DMA 事务延迟与 CPU 中断负荷,充分释放多板卡并行采集与存储的系统性能。

为满足多板卡并行、高带宽数据采集对动态总线管理的需求,度纬科技在其 PXIe 控制器系列中率先融入智能化带宽分配技术:控制器上电后自动检测机箱 LINK 状态,依据拓

扑和负载在 $(1 \times 16 + 1 \times 8)$ 与 (4×4) 两种链路模式之间自适应切换,并在运行过程中持续重平衡带宽,避免瓶颈与闲置。ASMC-PXle-1216 作为该系列的旗舰型号,完整集成了这一技术并配备多项高速传输与可靠性设计,是面向高通道数同步采集场景的理想控制核心。



图 2 度纬 PXle 控制器正面图

ASMC-PXle-1216 在 3 U 双槽机身内集成基于 PCIe Gen3 x16 Root-Complex 的交换芯片及自适应链路管理固件:上电后固件自动读取机箱背板的 LINK 训练结果,并在 $(1 \times 16 + 1 \times 8)$ 与 (4×4) 两种链路模式间实时切换;运行期间持续监测链路利用率,动态重平衡转发路径,使高速通道始终服务于带宽需求峰值板卡,从而保持低 DMA 延迟与高有效吞吐量。内部 P2P 直连通路允许采集板与高速存储板在交换芯片内直接完成大块数据搬运,实测在多板并行工况下可进一步削减端到端传输延迟。为支撑这一高速交换架构,控制器搭载工业级 COM-E 处理平台、标配 16 GB DDR4 (可扩展至 32 GB) 及 512 GB SSD 系统盘,并通过高效散热通道确保 0°C – 50°C 连续运行;实时功耗与温度监控电路以毫秒

级分辨率追踪热斑和能耗波动，为极端负载场景提供动态保护策略。外部 I/O 包括 2 × Gigabit Ethernet、4 × USB 3.0、2 × USB 2.0 及 1 × DisplayPort (3840 × 2160 @ 60 Hz)，满足高速数据回传与本地人机交互需求。控制器对内可提供 16 GB/s 背板带宽，并经交换芯片扩展至对外 24 GB/s；在多板并行采集与高速存储测试中，智能带宽分配使背板利用率提升逾 40%，为大规模同步采集与长时高速记录提供充分保障。



图 3 度纬科技 PXIe 采集卡组合图

综上所述，随着数据采集系统迈入总线带宽主导的性能瓶颈阶段，动态链路重配置与板间 P2P 直连已成为提升吞吐率和实时性的关键技术路径。度纬科技的智能化带宽分配方法能够在无需增加机箱插槽或更换板卡的前提下，根据瞬时负载自动调整 PCIe 拓扑，并通过交换芯片内部直通机制显著降低传输延迟，为高通道数同步采集和长时高速记录提供稳定的带宽保障。基于该方案实现的 ASMC-PXIe-1216 控制器在实测中表现出明显的背板利用率提升，同时保持低 DMA 延迟、高链路饱和度及良好的热稳定性，充分验证了智能带宽调度在复杂采集场景中的有效性。对于希望在现有 PXIe 平台中进一步挖掘带宽潜力、提升

系统可持续运行能力的用户而言，该控制器提供了一种即插即用的技术选型，并为未来的大规模数据采集与边缘实时处理奠定了可扩展的硬件基础。

度纬科技始终致力于在数据采集领域中实现创新、独特和可靠的产品方案。我们深知，这些要素是企业市场竞争中立足的基石。正因为如此，我们将创新的灵感来源于客户的真实应用需求，而非仅仅为了展示华而不实的产品特性。通过不断优化和提升数据采集方案，度纬科技助力合作伙伴迈向高效精准的未来。欢迎选择度纬科技（010-64327909），共同开启数据采集的新篇章。