

数据采集系统架构的发展演化

全套 DAQ 解决方案，尽在度纬科技

度纬科技 Application Notes-042-V1.0

<https://www.doewe.com>

数采系统（数据采集系统）在现代测试与测量中扮演着非常重要的角色，承载着对高精度数据的采集、处理与分析的关键任务。随着计算机技术、总线技术以及通信技术的飞速发展，数据采集系统的硬件架构经历了从早期的基础架构到如今高性能、低延迟架构的演变过程。目前，常见的数采系统架构主要有四大类：cPCI、cPCIe、PXI 和 PXIe。这些系统架构在性能、带宽、模块化能力和应用领域上具有各自的特点与优势。本文将介绍它们的发展过程以及各自的特点，并分析其在现代测试应用中的作用和前景。



图 1 PXIe 存储卡

cPCI (CompactPCI)

cPCI (CompactPCI) 最早出现在 1994 年，由 PCI 标准演变而来，旨在弥补传统计算机系统在工业自动化、测试测量以及嵌入式领域中的一些局限性。与传统的计算机架构相比，cPCI 采用了标准的 PCI 总线，并对硬件进行了多方面的改进，使其能够更好地适应工业和嵌入式系统的严苛要求。cPCI 的设计注重抗干扰能力和稳定性，尤其适合在工业、军事等高要求的应用环境中使用，因此在这些领域得到了广泛应用。

作为一种模块化架构，cPCI 具有很高的灵活性。用户可以根据需求通过插槽扩展系统功能，使得在实际应用中能够更为便捷地进行系统升级和维护。然而，随着应用需求的不断提升，cPCI 在数据传输速率和扩展能力等方面逐渐暴露出一些瓶颈：cPCI 不支持热插拔，也无法做到板卡间的相互同步。这也促使了新一代高性能数采系统架构的诞生。

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation)

为了克服 cPCI 的一些局限性，PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) 出现了。PXI 是由 National Instruments (NI) 在 1997 年提出的，并在 cPCI 的基础上进行了重大优化。PXI 不仅继承了 cPCI 的模块化架构，还引入了更先进的高速背板通信技术和精确的时钟同步机制，大幅提升了系统的扩展性、带宽和实时性能。

PXI 的最大创新之一便是引入了高速时钟信号和同步功能，它确保了系统内多个模块之间能够以极高的精度进行同步，从而实现更高效的协调工作。这一特性特别适用于高性能数据采集、复杂信号分析以及精密测试等应用场景，满足了实时数据处理的需求。除此之外，PXI 还支持更广泛的测量模块种类，使其在实验室测试、自动化测试以及工业监控等多个领域中得到了广泛应用，成为高端测试系统的标准架构之一。

然而，虽然 PXI 在架构上进行了许多优化，但它依然沿用了 PCI 总线的传输协议，这意味着它继承了 PCI 的局限性。具体来说，PXI 在数据传输速率和带宽方面依然存在很多限制，无法与最新的传输技术相比。

此外，PCI 协议本身并不支持热插拔，因此 PXI 系统也同样无法实现这一功能。这些技术限制在具体应用中可能会成为系统扩展和实时响应的瓶颈。



图 2 PXIe 板卡

cPCIe (CompactPCI Express)

随着计算机总线技术的不断发展，cPCIe (CompactPCI Express) 作为 cPCI 的升级版应运而生。cPCIe 引入了先进的 PCI Express (PCIe) 技术，显著提升了系统的带宽、延迟和扩展性，特别适用于需要高速数据传输的应用场景。与传统的 cPCI 不同，cPCIe 采用了点对点连接方式，支持更高速、低延迟的数据传输，从而极大地提升了系统整体性能。cPCIe 自 2005 年发布以来，其兼容现有计算机主板上的 PCIe 插槽，使其更好地与现代计算机架构集成，增强了适应性和灵活性。

cPCIe 的推出为大规模数据采集、实时信号处理和精密测试等应用场景提供了更强大的支持。相比于传统的 cPCI，cPCIe 能够处理更多的传感器和信号通道，并支持更大规模的系统扩展，满足了更高性能和更复杂任务的需求。尤其在大规模数据采集、实时信号处理和精密仪器测试等对数据带宽要求较高的领域，cPCIe 展现了优异的性能，成为这些应用的理想选择。通过显著提升性能和扩展能力，cPCIe 不仅满足了苛刻的应用需求，还使得复杂任务的处理变得更加高效和可靠。

尽管 cPCIe 在许多方面都优于传统的 cPCI 和 PXI 系统，但它仍有一些不足之处。一个主要的限制是，cPCIe 无法像 PXI 系统那样提供板卡间的高精度同步。PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) 作为一种专为测试和测量应用设计的标准，支持高精度的时钟同步和触发机制，使得多卡系统能够精确协同工作。这种同步能力在需要多通道协同操作的应用中，尤其是实时信号处理和大规模数据采集场景中至关重要。然而，cPCIe 主要侧重于提供更高的数据传输速率和扩展性，对于板卡间的同步控制支持较弱，导致其在某些高精度同步应用中无法完全替代 PXI 系统。



图 3 PXIe 控制器

PXIe (PXI Express)

PXIe (PXI Express) 是 PXI 标准的进一步升级版，于 2005 年发布，采用了 PCI Express 的高速连接技术。相比传统的 PXI，PXIe 提供了更高的带宽和更低的延迟，显著提升了数据传输速率，能够满足更高

实时性的数据采集和处理需求。PXIe 通过采用 PCIe 的点对点连接方式，不仅提高了单卡的性能，也增强了多卡协同工作的能力。

PXIe 的问世大大提升了 PXI 系统的性能，尤其在处理高频信号采集、大数据量处理以及多模块协同工作等复杂应用中，表现尤为出色。它继承了 PXI 标准的模块化设计、灵活性以及精准的板卡间同步优势，同时支持更高的吞吐量和更多的功能，使得其在高端测试、测量以及复杂系统集成领域中得到了广泛应用。

PXIe 的高性能和高度的可扩展性，使其成为许多需要高精度、高吞吐量的测试与测量系统的首选架构，特别是在航空航天、汽车电子、通信和半导体等行业中。

PXIe (PXI Express) 通过其独特的技术优势，快速占据了高端测试与测量系统的主流地位，成为许多行业中对精度、带宽和实时性要求极高应用的理想选择。然而，与 cPCIe 相比，PXIe 尽管在板卡间同步方面具有明显的优势，但也存在一定的性能权衡。由于 PXIe 增加了额外的同步机制和时钟信号管理，这些功能在保证板卡间高精度协同工作的同时，也使得每个槽位的数据传输速率往往低于 cPCIe。因此，尽管 PXIe 在多卡同步和复杂系统集成中表现出色，但在某些对带宽要求极高的应用场景中，cPCIe 依然具有不可替代的优势。



图 4 PXIe 机框

结语

cPCIe 和 PXIe 各有其适用的优势和特点。在选择数采系统时，需要根据具体应用的需求来决定哪种架构更为合适。对于需要大规模数据传输且对同步要求相对较低的应用，cPCIe 无疑是一个理想选择。而对于那些需要多卡协同工作、高精度同步的高端测试和测量系统，PXIe 则更具优势。

从 cPCI 到 PXI，再到 cPCIe 和 PXIe，数采系统的演化历程不仅见证了计算机总线技术的不断进步，也反映了测试与测量需求的日益提高。每一代技术在前一代的基础上进行优化，提供了更高的带宽、更优的同步性能以及更强的系统扩展能力。随着数据采集系统性能的持续提升，未来的数采系统将朝着更加模块化、智能化的方向发展。这些系统将能够更好地应对日益复杂和高精度的测试需求，满足不同领域中对实时性、带宽、精度等多方面要求的挑战，推动科技创新和行业发展。

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，共同开启数据采集的新篇章。