

从物联网工厂到手术室： 如何设计更好的通信系统

Richard Anslow, 系统应用工程师;
Neil Quinn, 产品应用工程师

工业4.0的基础是可靠的通信基础设施。决策者通过基础设施从机器、现场设备和工厂提取数据。要保证机器人和人机接口的可靠性，先要深入了解底层技术选项。

工厂车间和手术室虽然截然不同，但所使用的设备都必须可靠、精准地运行，这对于所执行的任务至关重要。随着设备需要更智能的系统、更多数据和更高的保真度，它们对带宽的需求也不断增加。与此同时，速度更快的通信接口必须在抵抗环境危害和电磁兼容性(EMC)的同时，提供同等的可靠性和安全性。EMC是指系统能够在其操作环境中发挥预期作用，不生成电噪声，也不被电噪声过度影响。

机器人和机器视觉

视觉引导机器人可以在高价值制造环境中提供更高的灵活性和更高的生产可靠性。如果没有视觉引导，机器人只能重复执行同样的任务，直到被重新编程。有了机器视觉，机器人可以执行更加智能的任务，例如，在生产线中，可扫描传送带上的缺陷产品，并由经过调节的机器人捡取缺陷产品，如图1所示。在危险性EMC环境（例如工厂自动化）中，视觉/机器人接口的可靠性和有效性由所选的有线传输技术决定。有多种方式可以实现机器视觉摄像机接口，包括USB 2.0、USB 3.0、Camera Link，或千兆以太网。

表1对比了USB、以太网和Camera Link标准的几大关键指标。工业以太网具有多种优势，采用2对100BASE-TX和4对1000BASE-T1标准的线缆最长可达100米，采用新推出的10BASE-T1L标准的单条双绞线最长可达1 km，且EMC性能较高。使用USB 2.0或USB 3.0的线缆不超过5米，除非使用专门的有源USB电缆，且需要使用保护二极管和滤波器来提高EMC性能。但是，随着工业控制器普遍采用USB端口，且带宽最高达到5 Gbps，这为设计人员提供了一些优势。

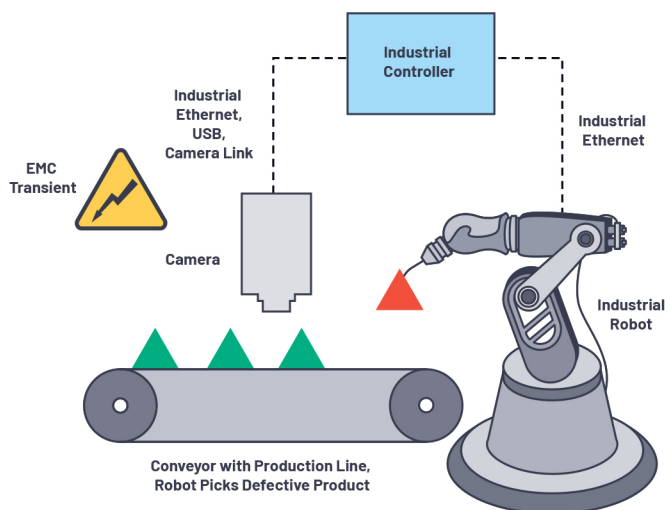


图1. 摄像机机器视觉和机器人——以太网、USB或Camera Link接口

Camera Link要求工业控制器配备专用的帧捕获器硬件。USB或以太网无需工业控制器配备额外的帧捕获器卡。Camera Link这个标准最早出现于2000年末，是机器视觉系统最常用的接口。如今，基于USB和以太网的机器视觉摄像机的使用更加广泛，但是，需要对多个摄像机实施预先处理的应用仍在使用Camera Link和帧捕获器，以降低主CPU负载。与千兆以太网相比，即使在基本速度下，Camera Link标准输出的数据量也多达其两倍，且输出距离更短。Camera Link物理层基于低压差模信号(LVDS)，由于与每条线路耦合的共模噪声都会在接收器端有效消除，因此本身具有EMC鲁棒性。LVDS物理层的EMC鲁棒性可通过电磁隔离进行改善。

通过在摄像机和机器人链接上使用以太网，以及采用IEEE 802.1时间敏感网络(TSN)交换机的工业控制器，可以最大限度地实现工业摄像机和机器人操作同步。TSN定义了交换式以太网网络中用于时间控制数据路由的第一个IEEE标准。ADI提供全套以太网技术，包括物理层收发器和TSN交换机，以及系统级解决方案、软件和安全功能。

表1. 机器视觉摄像机的通信接口标准

参数	USB 2.0	USB 3.0	工业以太网	Camera Link
带宽	1.5 Mbps (低速) 12 Mbps (全速) 480 Mbps (高速)	Gbps (超高速)	10 Mbps、100 Mbps、 1 Gbps	2.04 Gbps (基本) 4.08 Gbps (全速) 6.8 Gbps (deca)
电缆长度	5米	3米	10 Mbps, 最长1 km, 100 Mbps/1 Gbps, 最长100米	10米
电源和数据通过同一 电缆传输?	是	是	是, 通过以太网供电 (PoE) 或通过数据线供电 (PoDL)	是
需要帧捕获器?	否	否	否	是
电缆成本	低	低	低	高
EMC性能	低, 需要EMC保护、滤波器和 信号/电源隔离	低, 需要EMC保护、滤波器和 信号/电源隔离	高 (变压器磁性是以太网 规格的一部分)	中(LVDS), 要求实施信号/电源 隔离, 以实现最佳性能

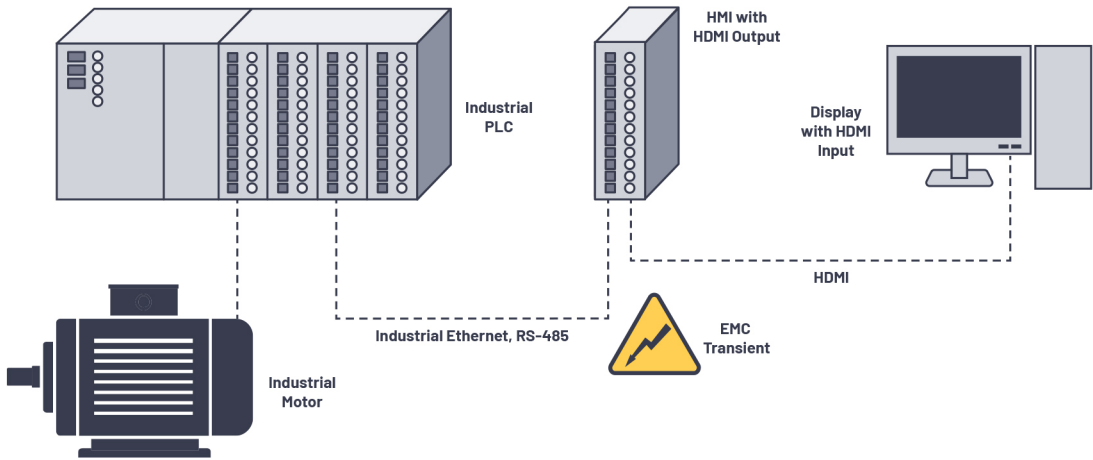


图2. 具备以太网和RS-485输入，以及HDMI输出的人机接口(HMI)。

人机接口(HMI)

人机接口(HMI)常用于通过人类可读视觉表示方式显示来自可编程逻辑控制器(PLC)的数据。标准HMI可用于追踪生产时间，同时监控关键绩效指标(KPI)和机器输出。操作员可使用HMI执行多项任务，包括开启或关闭交换机，以及增加或降低过程中的压力或速度。HMI通常配备集成式显示屏；但是，配备外接显示屏选项的HMI具有多种优势。采用外部高清多媒体接口(HDMI®)端口的HMI装置更小巧，更容易安装到采用标准DIN电源轨的控制台中，也可用于监控PLC。

使用HDMI时，电缆长度可达15米，便于路由到触摸显示屏和控制室，如图2所示。在工业环境中，在更长的电缆上扩展HDMI具有挑战性，因为EMC危害会影响布线。在电机和泵连接至DIN轨道式PLC时，HMI上也可能出现间接瞬变过压。

要确保系统鲁棒性，就需要仔细选择接口技术。随着工业以太网迅速发展，现场总线技术（例如CAN或RS-485）变得普及。据业内消息，全球安装的RS-485 (PROFIBUS®)节点已超过6100万个，PROFIBUS过程自动化(PA)设备同比增长7%。PROFINET（工业以太网实施）安装基数为2600万个节点，仅2018年安装的器件数量就达到510万。¹如之前所述，利用基于以太网的技术可以实现高EMC

性能，这是因为电磁被写入IEEE 802.3以太网标准，且必须在每个节点使用。RS-485器件可以包含电磁隔离，以提高抗噪声能力；保护二极管可以集成在片内，或者置于通信PCB上，以提高对静电放电和瞬变过压的抵抗力。

HMI通常需要抗静电放电，且利用ESD保护二极管来提高信号鲁棒性。对于工业HMI，集成增强隔离可保护操作人员免除电气危险。虽然目前提供了面向以太网和RS-485的合理的隔离解决方案，但如今，视频传输主要利用成本高昂的光纤来隔离，这些光纤支持千兆传输速度。ADI公司关于电磁隔离技术的最新进展（例如ADN4654/ADN4655/ADN4656系列，其数据速率可以超过1 Gbps）为设计人员提供了具有竞争力，且成本更低的替代解决方案。

内窥镜

外科成像，包括内窥镜在内，是一种独特的应用，必须在提供高保真图像的同时确保患者的安全。上一代内窥镜设备被称为视频内窥镜，使用一系列玻璃镜片和一个光导管将图像从摄像头传输到电荷耦合器件(CCD)传感器。以可见光为媒介，将来自患者的图像传输至内窥镜，这种方法可以隔离有害电流，但是，在制造成本和图像质量方面的表现并不理想。²

近期的外科成像设备通过转向数字化来克服这些挑战，且从CCD转向CMOS传感器，后者的尺寸易于扩展，且可嵌入摄像机头部。使用CMOS摄像机之后，无需串行连接多个镜头，且可以改善整体的图像质量。生产成本降低，使得一次性外科内窥镜的使用成为可能，如此则无需担心消毒问题。摄像机进一步缩小，使得微创手术成为可能。³

在转向数字内窥镜之后，CMOS图像传感器（接触患者）和摄像机控制器(CCU)之间必须提供高速电子接口。LVDS和可扩展低压信号(SLVS)层逐渐成为实现这种互连的常用的物理层，提供高带宽和相对较低的功率。⁴ 这种接口与视频内窥镜中的接口不同，它目前是电子式的，可能能够传输危险电流。因为不具备光学介质的隔离性，所以该系统在设计时，必须保证隔离患者和潜在的有害电流。

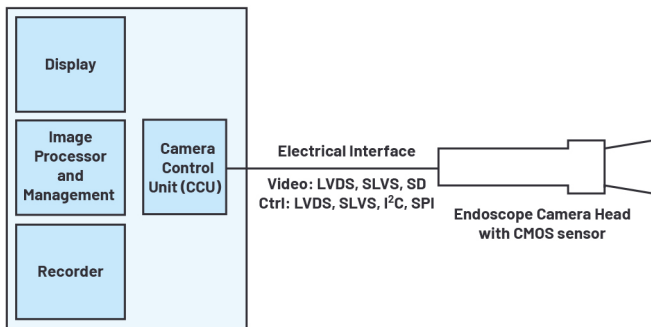


图3. 带CMOS图像传感器的数字内窥镜的电子接口。

对于任何连接主电源的医疗系统，患者的安全至高无上。IEC 60601医疗电气设备标准对保护患者(MOPP)免受有害电压伤害的组件提出了严格要求。要使用高带宽解决方案传输图像数据，同时满足这些严格的安全要求，这为系统设计人员带来了重大挑战。从CMOS图像传感器到内窥镜CCU之间的电子视频传输就是这样一个示例，两者之间需要建立符合安全要求的高速连接。ADI公司的独有解决方案在可信的安全壁垒内执行高带宽传输，以满足IEC 60601-1标准的要求。

医疗显示器

其他医疗设备，例如呼吸机和心电图(ECG)，都是直接与患者相连，用于呼吸辅助和监测。关于患者的信息会显示在医疗设备自带的图形显示器中，便于操作员查看。根据IEC 60101标准，该医疗设备中的显示器是已知的、可信的且已经过认证，可作为医疗设备使用。对于任何现成的外部电视和显示器，则无法保证这一点。为了确保患者的安全，应在医疗设备与外围设备之间的外部连接中增加隔离，以保护患者。对于传统的低速接口（例如RS-232、RS-485和CAN）来说，这种隔离可能并不重要，可以使用标准数字隔离器来实现。

另一方面，视频端口与外部显示器的隔离会造成独特的挑战。显示器的标准化接口的带宽要求远远超过使用合适数量的光耦合器或标准数字隔离器可以实现的带宽。尝试隔离视频接口的整个信号链会使复杂度进一步增加。例如，HDMI 1.3a协议不止包含用于传输视频数据的转换最小化差模信号(TMDS)，还包括用于交换视频/格式信息、电源电路，以及检测显示（接收器）设备之间的连接和断开的双向控制信号。⁵ 在添加系统设计人员视为障碍的电气隔离时，必须考虑所有这些因素。在许多情况下，可能无法使用之前的方法为这些显示器端口添加安全隔离栅，所以医疗系统中不包含外部显示器端口。ADI公司提供对常用的视频协议（例如HDMI 1.3a）实施电气隔离的参考设计，如此，在需要对患者实施保护时，可以直接增加额外的安全保护。

千兆数字隔离

当视频和摄像机应用需要高带宽和可靠的安全性时，系统设计人员可以使用ADN4654系列LVDS数字隔离器这种新选择。这些器件提供双通道隔离，每个通道的数据速率高达1.1 Gbps，这代表着数字隔离在速度方面的一大飞跃。它们采用20引脚SSOP封装，提供2.2 Gbps总吞吐量，相比基于传统的数字隔离器的解决方案，其体积大大减小。

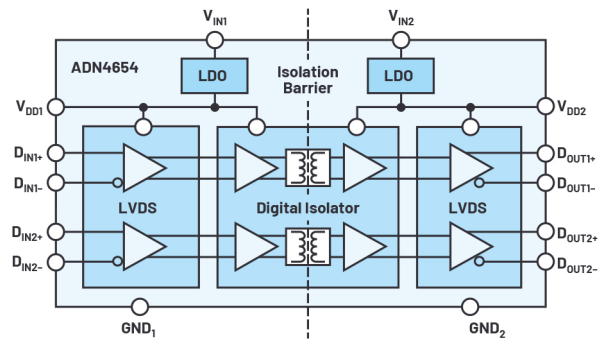


图4. ADN4654千兆LVDS隔离器框图。

以视频链接为例，可以在60 Hz下传输24位颜色，分辨率为1920 × 1080 (1080 p)。要跨越隔离栅传输所需的信息，需要总带宽达到4.4 Gbps。典型的光纤解决方案具有足够的带宽，但是从铜介质转换为光纤，需要用到序列化器、反序列化器和电光转换器。使用标准数字隔离器的解决方案还需要用到序列化器、反序列化器，以及30个以上的通道隔离，每个通道以150 Mbps运行。给简单的高带宽接口添加隔离时，对系统设计人员来说，这两种方案都会产生开销。

利用ADN4654的千兆数据速率，可以降低系统的复杂性，而且，仅使用两个设备即可实现4.4 Gbps带宽。每个设备都有两个通道，总共四个，每个通道都以1.1 Gbps运行。具备高通道带宽之后，则不再需要信号链中的任何SERDES模块。在需要对不止一个接口实施隔离的系统中，空间和复杂性的改善得以兼顾。

以高于1 Gbps的速率运行的物理层接口具有严格的抖动和偏斜要求，以保证可靠通信。添加至信号链的任何组件（例如数字隔离器）的抖动和偏斜必须最小，以免影响系统性能。过多的抖动和偏斜可能会影响接收器的采样裕量，增加总体误码率。ADN4654在给定通道上能达到行业领先的偏斜性能，最大100 ps，器件与器件之间则为600 ps，因此非常适合隔离这些高带宽接口。ADN4654只会带来最少的抖动，最大的随机抖动性能为4.8 ps rms，最大的峰峰确定抖动为116 ps，采用PRBS-23（伪随机二进制序列）模式。模式运行长度少于23位，这很常见，而在编码方案的运行长度更短的协议（例如8B/10B编码）中，抖动性能得到改善，改善后超过了这些值。

ADN4654/ADN4655/ADN4656器件利用内部LDO调节器来提供灵活的电源配置，可用于多种通道配置。ADN4654采用20引脚宽体SOIC封装，或者节省空间的20引脚SSOP封装。SOIC封装提供5 kV rms隔离和7.8 mm爬电距离和间隙，使得这些器件适合1 MOPP（来自250 V rms电源）至IEC 60601标准。通过利用封装将器件的爬电距

离和间隙增加到大于8 mm，它们能够作为2 MOPP隔离系统的组件使用。

根据电路笔记CN-0422隔离HDMI

在给视频接口添加安全隔离时，视频协议本身的复杂性会成为一大挑战。必须建议隔离各个视频、控制和电源信号，对于设备制造商来说，这是一个非常棘手的问题。即插即用型设计解决方案帮助缩短了实现功能设计所需的系统开发时间。

自2002年年底推出以来，HDMI已成为商用高清电视和显示器的实际标准之一。HDMI之所以能大获成功，因归功于其功能组和可靠的互操作性。

EVAL-CN0422-EBZ参考设计可作为一种即插即用型解决方案，适合想要给现有的HDMI 1.3a视频端口添加电气隔离功能的用户。结合iCoupler®技术，以跨越隔离栅传输所需的功率和高速视频，以及控制信号。

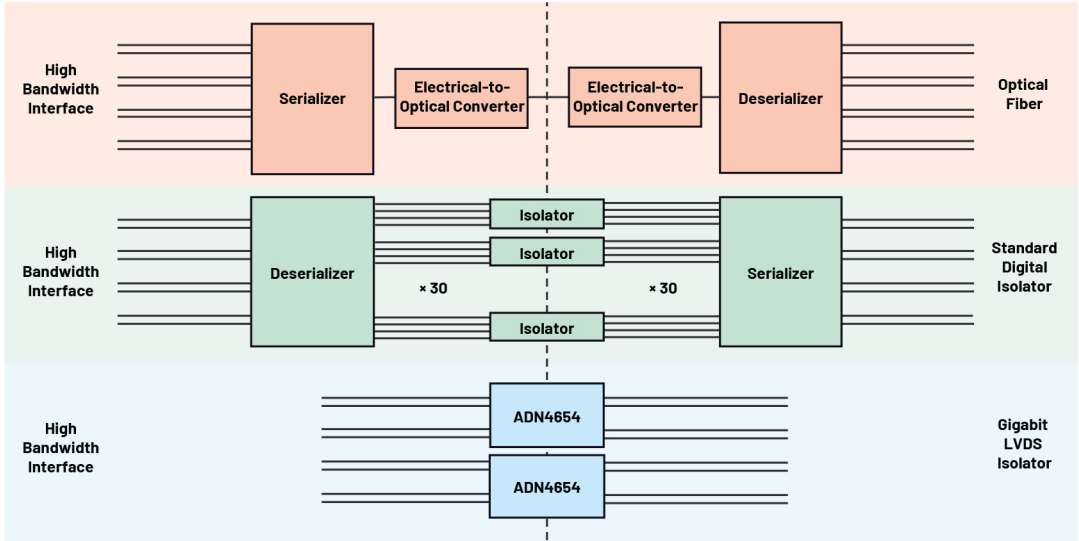


图5. 基于ADN4654的系统可以轻松隔离高带宽接口。

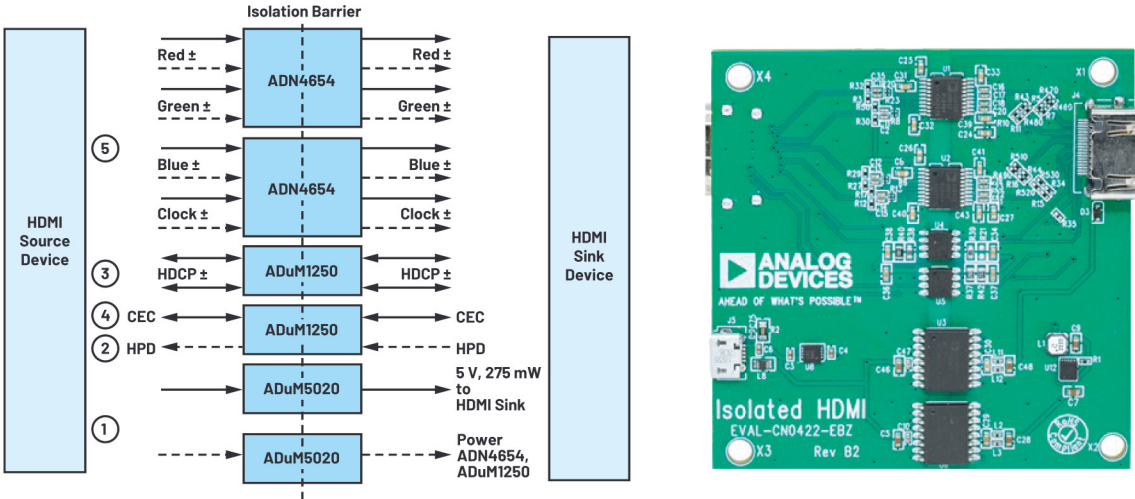


图6. EVAL-CN0422-EBZ参考设计，用于隔离HDMI 1.3a协议。

HDMI 1.3a协议中的视频数据在四条TMSD线路中传输：三条数据线路，一条时钟线路。每条线路都必须单独隔离。传统的数字隔离器不支持TMSD的高带宽或差分特性，因此不太适用。虽然TMSD与LVDS稍有不同，但可通过简单的无源组件兼容符合LVDS要求的设备。这些无源组件结合两个双通道千兆ADN4654隔离LVDS收发器，以隔离全部四条TMSD线路。可以实现高达110 MHz的像素时钟频率，在帧率为60 Hz时，支持720 p分辨率。

HDMI协议包含其他用于进行控制的低速信号：显示数据通道(DDC)、消费电子控制(CEC)和热插拔检测(HPD)。DDC用于允许源极读取来自EEPROM的显示器EID数据，并交换相关的格式化信息。CEC信号允许在多个连接的源设备和接收设备之间共享功能。检测到HPD具有附加源（表示有与之相连的器件）时，HPD由接收设备置位。这些控制信号都使用两个ADuM1250器件隔离，在必要时，可以对这些信号实施双向隔离。使用ADuM1250可以大大简化与实施双向隔离通道相关的设计挑战。

参考设计包括一个隔离式DC-DC电源转换器ADuM5020，用于给隔离器件的显示（接收）侧供电。根据标准要求，275 mW会传输至HDMI电缆，以支持接收设备。参考设计用于隔离HDMI源设备，但可以轻松采用隔离电源电路来隔离HDMI接收设备。

工业以太网

对于机器视觉应用，ADI公司的多协议以太网交换机、以太网物理层收发器，以及所有平台解决方案产品组合都确保实现无缝连接和运行效率。

ADI公司的fido5100/fido5200 REM交换机系列包括两个2端口工业以太网嵌入式交换机，这两个交换机可连接到任何处理器，包括任何Arm® CPU和ADI的fido1100通信控制器。

通过使用这些工业以太网嵌入式交换机，您可以选择适合您应用的处理器类型，无需被迫使用特定供应商的协议栈。REM连接到处理器的内存总线，看起来与该总线上的任何其他外设都一样。REM的存储周期降至32 ns（32位总线为125 Mbps）以支持EtherCAT的12.5 μs周期，以及PROFINET IRT的31.25 μs周期。数据使用优先信道队列在交换机之间来回传输，因此实时数据传输可以无延迟地中断非实时数据传输。这些队列由交换机驱动程序管理并与协议栈接口，以实现尽可能高效的数据传输。这也意味着应用软件不必费心管理交换机，设置低电平寄存器或跟踪复杂的时间管理过程。

工业以太网嵌入式交换机的另一个性能优势是它们的优先信道技术使其不会受到网络加载的影响。该优势可确保您的应用程序在任何时候都能够启动并运行。REM交换机对数据包进行智能过滤，以防止来自处理器的干扰流量，根据处理器负载管理低优先级流量，并保证及时发送高优先级数据包，无需考虑总数据包负载。

ADI公司的ADIN1100、ADIN1200和ADIN1300工业以太网物理层器件(PHY)旨在实现严苛工业环境下的鲁棒性。这些产品已经完成了广泛的EMC和可靠性测试，适用于需要可预测和安全通信的应用。利用行业领先的低延迟和低功耗PHY技术，该产品组合支持10 Mbps、100 Mbps和1 Gbps的数据速率。它们专门为最大限度地提高数据传输和信号完整性而开发，采用小型封装，同时支持多个MAC接口。工业以太网物理层套件适合在扩展的工业环境温度范围内运行，可为当今和未来的工业以太网应用提供高水平可靠性。ADIN1100 10BASE-T1L PHY通过长达1 km的单根双绞线提供10 Mbps以太网连接，且支持危险区域使用案例（本质安全区域0应用），这些案例有时称为Ethernet-APL。ADIN1100为通过本质安全认证的器件提供以太网连接，例如在危险区域中运行的HMI、工业视频摄像机和热感摄像机。

ADI提供哪些首发产品？

本文描述了工业和医疗应用中安全可靠的高带宽视频或摄像机接口的应用要求，并讨论了在采用这些接口的同时保持关键性能可使用的重要技术选项。ADI公司提供创新解决方案，包括：

- ▶ 行业首款千兆数字隔离器系列ADN4654/ADN4655/ADN4656，提供了隔离高带宽接口的新选项。
- ▶ 行业首款电气隔离视频和摄像机端口，与庞大的光纤解决方案相比，有助于降低成本和复杂性。
- ▶ 经测试符合规定的系统解决方案，减少了测试和合规性难题。示例之一就是根据HDMI标准测试的参考设计。
- ▶ 整套工业以太网产品，包括技术、解决方案、软件和安全功能，这些产品旨在将现实世界连接到工厂网络，再连接到云。

结论

ADI利用其深厚的领域专业知识和先进技术，帮助合作伙伴连接未来工业套件和网络。行业首款千兆电气隔离技术提供替代方案，用于在各种医疗和工业应用中隔离视频和摄像机接口。ADI公司的以太网解决方案利用TSN以太网交换机和低延迟、低功耗、长线缆的物理层收发器，确保在严苛的工业应用中可靠传输关键数据。

参考资料

- ¹ Bob. “2018年，PROFINET和PROFIBUS节点的数量超过8700万。” Profibus Group. 2019年5月16日。
- ² Danny Scheffer. “内窥镜使用CMOS成像传感器。” 视觉系统设计。2007年7月30日。
- ³ Ricardo A. Natalin、Jaime Landman. “对于内窥镜，下一步要做什么？” Medscape。
- ⁴ Dave Wilson. “下一代图像传感器。” NovusLight. 2016年11月28日。
- ⁵ HDMI 1.3a规范。

作者简介

Richard Anslow是ADI公司自动化与能源事业部互连运动和机器人团队的系统应用工程师。他的专长领域是基于状态的监测和工业通信设计。他拥有爱尔兰利默里克大学颁发的工程学士学位和工程硕士学位。联系方式：richard.anslow@analog.com。

Neil Quinn是ADI公司的产品应用工程师，是爱尔兰利默里克的接口和隔离技术部的一员。Neil 2013年获得美国国立梅努斯大学电子工程学士学位。他主要研究工业和高速通信接口，例如RS-485和LVDS，以及ADI的iCoupler数字隔离产品。联系方式：neil.quinn@analog.com。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区，中文技术论坛
与ADI技术专家互动。提出您的
棘手设计问题、浏览常见问题
解答，或参与讨论。

请访问ez.analog.com/cn

