

光连机器：机器视觉的传输革命



目录



- 1.引言
- 2.数据传输对机器视觉应用的重要性
- 3.机器视觉的传输方案:现状、瓶颈与未来
- 4.在机器视觉中使用光纤的10个理由
- 5.基于铜缆的CameraLink和CoaXPress传输方案的问题与局限
- 6.光纤万兆网vs电缆万兆网
- 7.为何机器视觉应用中,较少看到采用光纤传输的案例?
- 8.基于光纤的万兆网工业相机,有哪些特点与价值
- 9.我想使用光纤工业相机,需要做哪些准备工作?需要注意什么?
- 10.光连机器,让视觉传输不再受限,让机器应用再扩疆界

1. 引言

“随着技术的不断升级，以铜线为基础的通信材料劣势逐渐显露。原本的铜线受限于传输速率与传输质量的问题，已无法满足人们对于传输速率的需求，逐渐成为通信传播的瓶颈。而光纤则完美地解决了其在传输上的弊端，以光纤为代表的光通信技术，在传输速率与传输质量上的提升，完美地契合了人们对于高带宽的需求。伴随着光通信的逐步普及，也预示着人类文明将步入又一新阶段——光联时代”

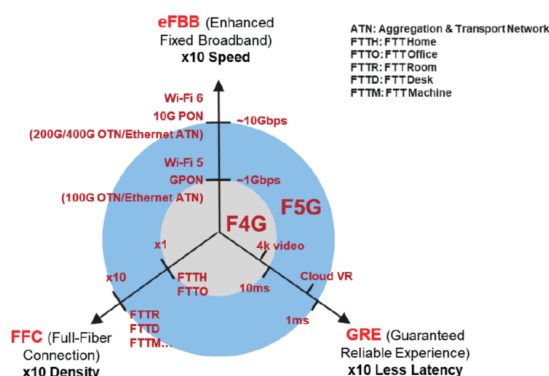
---《F5G赋能千行百业推动数字经济转型升级--全球光通信产业白皮书》

F5G,即Fifth Generation Fixed Network, 第5代固定网络。由中国电信、华为、意大利电信等企业发起, ETSI(欧洲电信标准协会)于2020年正式成立F5G标准工作组, 着力推动全光连接, 实现全社会绿色、数字化转型。

F1G – F3G代表铜连接时代, F4G代表铜连接+光连接的融合, F5G将代表着全光连接的时代。F5G有三个主要目标:

- FFC (full-fiber connection): 在工业和消费应用中提供**全光纤连接**
- eFBB (enhanced fixed broadband): 增强的固定宽带。消费级连接, 普遍进入1Gbps时代; 工业级连接, 普遍进入10Gbps时代
- GRE (guaranteed reliable experience): 安全、低延迟、可靠的体验

全光连接, 赋能智能制造, 助力工业4.0。无论是智能制造、工业物联网还是工业4.0, 其本质, 都离不开对各类数据的采集、传输与处理。未来的制造业, “以数据为核心要素实现全面连接, 构建起全要素、全产业链、全价值链融合的新制造体系和新产业生态; 通过人、机、物全面互联的新型网络基础设施, 形成智能化发展的新兴业态和应用模式。”



图片来源: ETSI -《Driving Towards an F5G Gigabit Society》

2. 数据传输对机器视觉应用的重要性

机器视觉,通过采集图像,将图像传输至具备足够处理能力的设备中,设备对图像信息进行处理分析,输出结果,反馈至屏幕(人处理)或产线(自动处理),实现更高效的生产。

这个过程,本质就是信息的采集、传输和处理,典型的物联网应用。

传输,就像是机器视觉的动脉,决定了一个机器视觉应用能否顺畅、稳定地运行。机器视觉对传输的要求,与其他物联网应用相比,有三个重要特征:

高带宽

图像作为二维数据,对带宽有着更高的要求。千兆带宽是机器视觉应用的基本配置,万兆及万兆以上带宽的机器视觉应用,增长迅猛。

低时延

机器视觉能让制造更智能,更高效,本质上是因为机器视觉提高了产线的“快速、准确的响应能力”。一个典型的机器视觉应用,从工业相机采集到图像,传输至处理中心,处理中心处理完图像,做出反馈,这个过程通常要求在几十毫秒、甚至更短时间内完成。

持续稳定

一个机器视觉应用,能否有效运转,依赖于图像信息的准确性(不丢帧)、及时性(发现即处理)和持续的数据传输(传输能力与产能匹配,产线不停,数据不断)

机器视觉的这些传输特性,使得其成为物联网应用中,对传输要求最高的几个实践之一。

物联网的大量应用对传输的要求,通常只需上述3个特性中的0-2个满足即可。

0:无线抄表(水表、电表、水表),每个月只需要传输几十K的用量数据,无需高带宽、低时延、持续的稳定传输。只需在工作的那十来分钟,采集并传出数据即可。传输失败也能接受,可多次重传,直至成功。

1:扫码交易。线下扫码购物,需确保交易信息的及时传递,以便在交易现场完成支付。这类应用,每次传递信息只有几十K,无需高带宽,也无需持续传输(有交易时才有传输需求)。扫码交易对时延有一定的要求,不能太高,一般在几百毫秒以内。

2:智慧安防。通过安防摄像头采集到的视频,需要传输至数据中心。这类应用对带宽要求较高,且需要持续的传输数据。但这类应用对时延没有太高要求。

机器视觉能够在各行业得到如此广泛的应用,数据传输的带宽、准确性、及时性和持续性,是重要的基础保障。

3. 机器视觉的传输方案： 现状、瓶颈与未来

现状

机器视觉目前主流的传输方案，按传输带宽来划分的话，主要包括两大类

- 千兆网级别：包括了USB2.0 (低于千兆)、USB3.0、GigE、2GigE、5GigE
- 万兆网级别：包括CameraLink、CoaXPress、10 GigE以太网

千兆网应用，仍是机器视觉的主流。万兆网应用，受限于相机成本、传输方案成本，以及应用端需求，普及度不如千兆网应用。

瓶颈

上述传输方案，几乎都基于电缆传输，普遍有着传输距离短，带宽上限低，会受到电磁干扰的问题。

- 传输距离：最远传输距离，是千兆以太网的传输方案，无中继可达100米
- 传输带宽：单根线最高带宽是基于同轴电缆的CoaXPress 12方案，最高速度可达12.5Gbps
- 电磁干扰：基于电缆的传输，都会受到电磁干扰的影响

未来

机器视觉应用对传输的要求，将向着高带宽、低延时、持续稳定和更低成本方向发展。而具备上述优势的光纤方案，将与无线方案WIFI6，5G一起，逐步替代现有的千兆网，万兆网方案

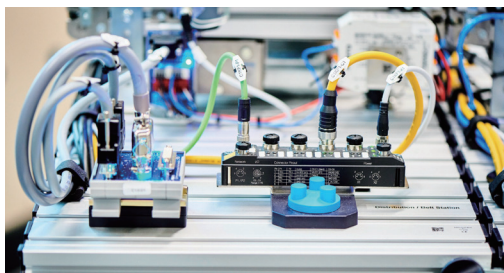
- 光纤将作为万兆网和千兆网的主流传输介质，替代现在的电缆传输。
- 随着数字孪生、边缘计算、深度学习、AI在各行业的广泛落地，大量千兆网应用，将逐步演变为万兆网应用，部分万兆网应用，演变为十万兆，甚至百万兆级应用。
- 随着需求的增加，高分辨率/帧率相机成本将进一步下降；同时，光纤的应用，使得每G数据的传输成本更低。
- 随着无线网络的带宽增长，其连接的便捷性，将使得部分千兆网应用，演变为WIFI6 和5G无线应用。

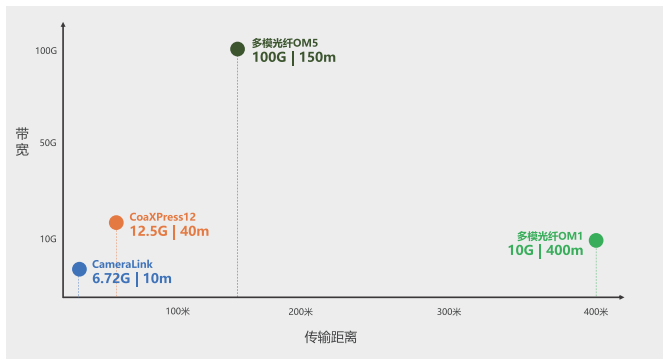
4. 在机器视觉中使用光纤的10个理由

在我们担心光纤易碎, 质疑其能否用在工厂里时, 光纤早已大规模应用在其他比工厂环境更恶劣的工业场景里。

- 矿井: 需要非常稳定、不易被干扰的传输网络, 确保作业的安全。潮湿、封闭环境, 光纤比电缆有着更稳定的性能
- 海上石油、天然气钻井平台: 使用光纤连接, 确保钻井、消防、安全、空调等设施的顺利运行
- 石油和天然气精炼厂和液体终端站
- 军队与国防
- 轨道交通: 光纤能在这类高电磁干扰环境下, 实现稳定的传输
- 污染排放检测系统, 例如, 火力发电厂的监控

光纤, 不仅没有人们误以为的那样易碎、易断, 反而比电缆具备更广的环境适应能力, 有着更稳定、鲁棒性更强的数据传输能力。





与电缆相比, 光纤的10个优势

1. **更高的带宽**。单根光纤的理论速率已经达到了26000Gbps, 不同的光纤, 有着不同的带宽, 常见的有1Gbps, 10Gbps, 40Gbps, 100Gbps。工业级光纤, 一般都是10Gbps以上带宽。

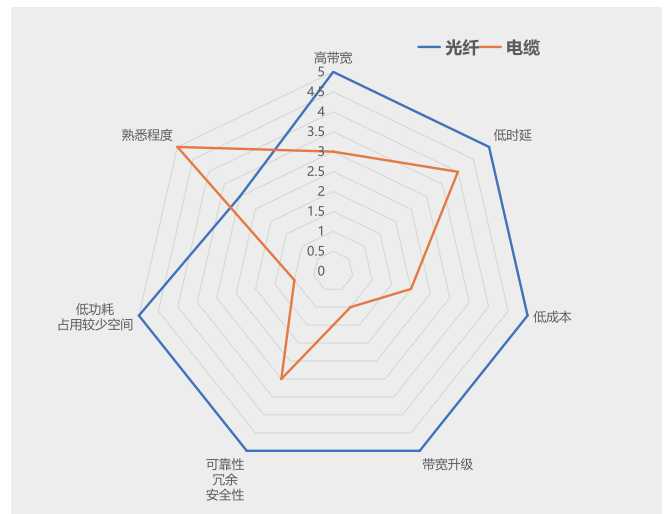
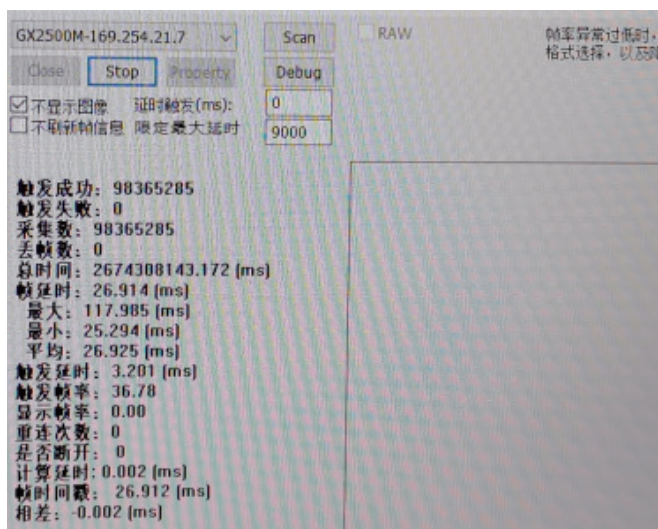
2. **更长的传输距离**。光纤的信号损失远低于电铜。多模光纤, 10Gbps速率下, 传输距离可达400米, 100Gbps速率下, 传输距离可达150米。单模光纤, 传输距离更是可达到1000千米以上。在工业级应用中, 距离不再是问题。

3. **光纤可以传输各种数字和模拟信号, 同时适配各种协议**, 包括现在机器视觉行业常用的传输协议。

4. **光纤更安全**。因为光纤不会产生电磁波, 黑客无法通过解析电磁波而窃取传输信息。

5. **光纤的传输更稳定, 无惧电磁干扰**。光纤不导电, 不受电磁干扰, 可在电磁噪声环境和拥挤的线路中实现高度可靠的传输。

在度申的光学实验室里, 我们用12个月的时间, 每个月做一次连续30天, 24小时不间断的图像光纤传输测试, 累计传输了11亿帧图像, **0丢帧**。



6. **光纤不会携带和产生火花、也不需要接地回路**, 可有效保护连接的设备及操作人员的安全, 避免受到雷击及电气故障的破坏。

7. **光纤结构紧凑, 重量轻**, 节省了面板、电缆和管道的空间。它还具有耐腐蚀性, 并且比铜或同轴电缆具有更长的预期寿命。

8. **光纤传输系统更容易维护、扩容和升级**。光纤作为一项已经使用了10多年的技术, 其安装和维护, 都已经做到极其简单和容易, 无需专业技能人员就能完成光纤的连接。

9. **光纤拥有更高的ROI, 以及更低的生命周期成本**。同时, 其安装成本也低于铜缆。

10. **光纤有着工业级的强度**。工业光纤网络专为最恶劣的环境而设计。光纤的很多部件, 可轻松达到工厂车间的要求, 易于安装、维护和管理。

从光纤与电缆的综合对比, 可以看出光纤传输所具有的巨大优势。

5. 基于铜缆的CameraLink和CoaXPress传输方案的问题与局限

带宽局限和距离局限

基于铜缆的CameraLink和CoaXPress传输方案，作为目前主流的高带宽传输方案，已经有十多年的历史，虽然也在不断迭代，提升传输带宽。但碍于铜缆电信号传输的特点，二者的带宽上限，已没有太大的提升空间。

目前，单根铜缆CameraLink的传输速率上限，是6.72Gbps，传输距离10米。单根铜缆CoaXPress的传输速率上限，是12.5Gbps，传输距离40米。而单根光纤，100Gbps速率下，传输距离仍可达150米。

图像专用采集卡带来的额外成本

CameraLink和CoaXPress协议的特殊性，使得其均需要在主机端配备专用的、高价的采集卡。不同分辨率相机，适配不同速率的采集卡，价格有较大差异，平均来说，每采购1000万货值的CameraLink或CoaXPress相机，通常还需额外花费300万元来采购对应的图像采集卡。



铜缆线材的高成本、电磁干扰及部署局限

与光纤相比，铜缆的加工、使用成本更高；更粗的线径，使得其弯曲半径更大，部署灵活性较差；同时，基于电信号的传输，在电磁环境下易被干扰。

6. 光纤万兆网 vs 电缆万兆网

二者在软件协议层，都基于GigE协议，故，都被简称为万兆网，这常给使用者带来困惑。实际上，基于光纤的万兆网，和基于电缆的万兆网，有很大区别：

抗干扰能力不同

电缆万兆网，使用电信号传输，会受到电磁干扰，导致丢包、丢帧。而光纤万兆网则不同，基于光的传输，完全不受电磁干扰的影响。从原理上，光纤万兆网比电缆万兆网要更可靠、更安全。

带宽上限不同

光纤的带宽，可以达到100G, 400G, 甚至更高。

传输距离不同

同样是10G带宽，电缆最大传输距离为100米；光纤，可达400米。

功耗不同

光纤传输的功耗，一般都低于电缆传输，光纤万兆网，有着更低的功耗。低功耗，意味着相机的红外噪声更低，同时，不会出现因相机发热导致的镜头变形，确保了更好的成像质量。

与电缆万兆网相比，光纤万兆网有着更稳定的性能、更长的传输距离和更高的带宽扩展空间。未来的的十万兆网、百万兆网应用，将依赖光纤这一核心基础设施。



7. 为何机器视觉应用中,较少看到采用光纤传输的案例?

基于铜缆的CameraLink和CoaXPress传输方案,已经使用了十多年,在没有更好的高带宽传输方案前,是机器视觉高带宽应用里的唯二选择。光纤技术,虽然也很早就出现了,但早期光器件成本高昂,使得其主要应用于数据交换中心和骨干网,未能大规模应用于其他领域。

2018年,随着5G网络的推广,大量5G基站使用光纤作为干线连接,使得光纤传输相关的产品价格以每年20-30%的幅度下降。目前,光纤传输方案的成本,已经极大低于基于铜缆的CameraLink和CoaXPress传输方案。

更优越的性能、更低的成本,将使得高带宽应用中,光纤成为替代铜缆CameraLink和CoaXPress的最佳方案。



8. 基于光纤传输的万兆网

工业相机, 有哪些特点与价值

工业相机的核心功能, 有三个: 图像采集、图像预处理、图像传输。



图像采集

利用光电转换, 把光信号转换为电信号, 输出二维的图像数据。



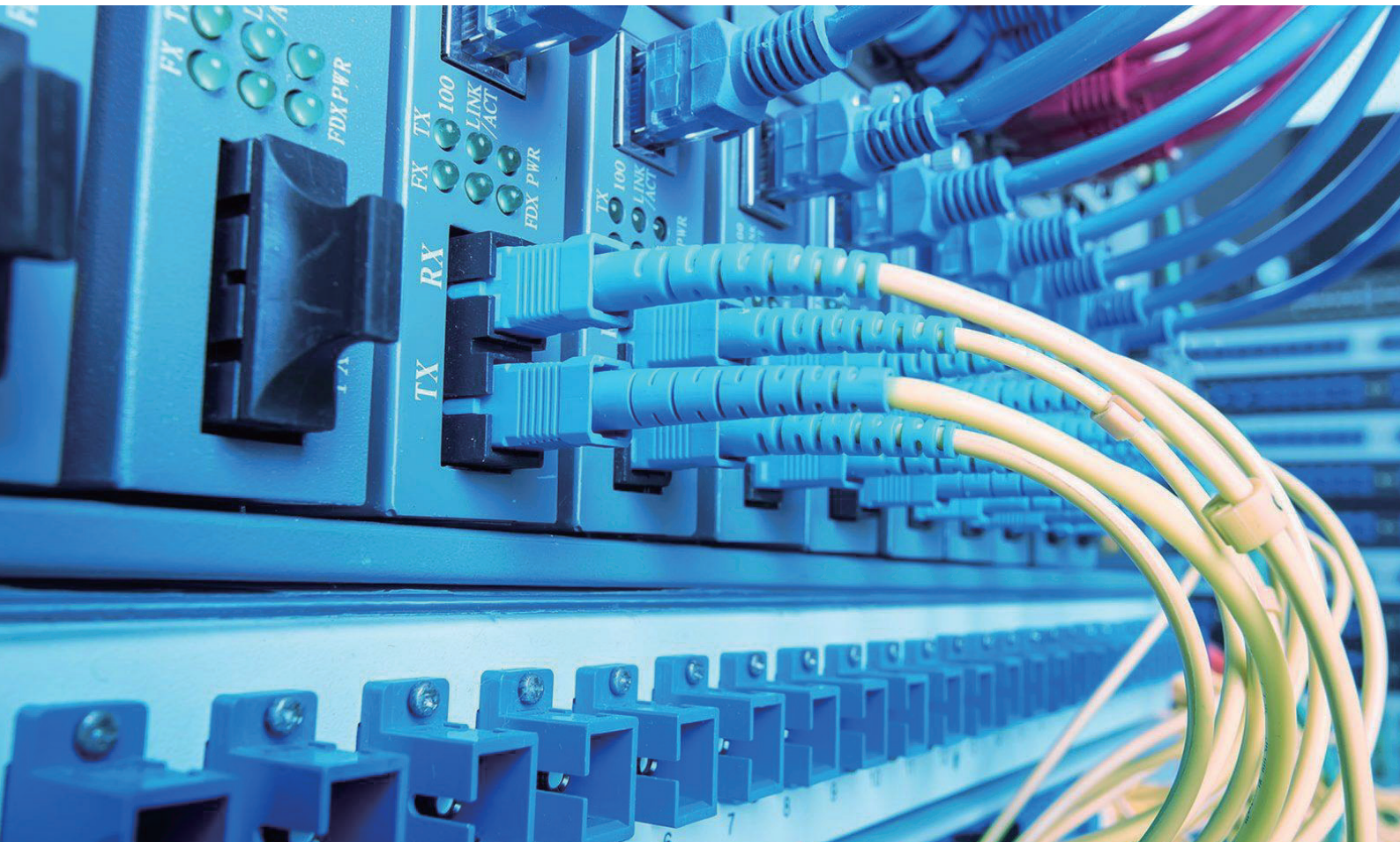
图像预处理

对采集到的原始图像做初步的处理, 提升传输侧和主机的处理效率。例如, 利用ROI功能, 去掉无效的图像区域, 仅保留有效图像区域, 降低图像大小, 减轻带宽压力和主机处理压力。



图像传输

通过数据接口和数据线, 将数据传输至主机端。目前主要使用基于电缆的USB2.0, USB3.0, GigE, 10GigE, CameraLink, CoaXPress等传输方案。



基于光纤传输的万兆网工业相机,为用户高分辨率或高帧率视觉应用,提供了极具性价比的方案。

更高的带宽	目前,10Gbps能满足大部分应用的需求;未来,可轻松升级至20Gbps,40Gbps,100Gbps
更长的传输距离	20Gbps带宽,传输距离>300米;100Gbps带宽,传输距离仍可达150米。
更稳定的传输	无惧电磁干扰
更低的时延	高带宽带来的低时延
更低的功耗	光传输特性,使得相机可以更低功耗工作。同时,低功耗,意味着更低的红外噪声,镜头也不会因相机的发热而变形
更易部署	GigE协议的广泛应用及易实施
更小的空间需求	纤细的光纤,可使用较小截面积的管槽,更小的弯曲半径,让布线更容易
灵活的使用	支持热插拔
供应链安全	光纤方案的可获得性、大量成熟的产品和供应商可选
更低的成本	光纤方案,采集卡和线材成本更低
高带宽的易扩展性	无论从千兆向光纤万兆扩容,还是从光纤万兆,向十万兆、百万兆扩容,光纤万兆网方案,都可让用户轻松达成带宽扩展目标

9. 我想使用光纤工业相机, 需要做哪些准备工作? 需要注意什么?

光纤工业相机, 图像采集端的应用, 与其他非光纤工业相机没有区别, 方法论与落地方案, 都是相同的: 综合考虑被拍摄物、光源、镜头、空间、距离等因素, 给出适宜的视觉方案。

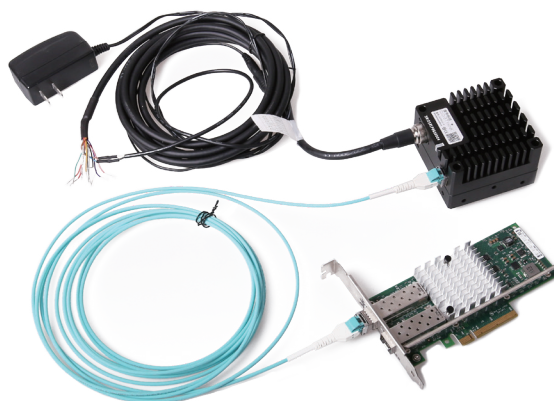
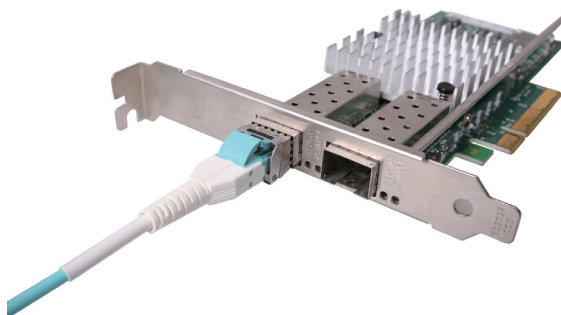
图像传输端, 光纤的连接和使用, 其实是比较简单的, 与千兆网线类似, 一端连相机, 一端连主机, 主机端需要配个支持光口的万兆网卡, 相机端也需要支持光纤连接。

由于光纤的传输距离长, 对于光纤万兆网而言, 400米以内, 不需要中继。

光纤的布线, 也有一套标准的流程, 参照其执行, 可确保连接的稳定、可靠, 光纤也不易被损坏。

光纤线材、光模块接口、万兆光纤网卡, 都是很成熟的商品, 线上线下均有大量正规渠道可获得, 您可以自行采购, 也可以让我们帮您配好。

光纤技术的可获得性、易获得性, 远优于CameraLink和CoaXPress技术。是保障客户机器视觉业务连续性, 极佳的高带宽传输方案。



10. 光连机器, 让数据传输不再受限, 让视觉应用再扩疆界

自从互联网诞生以来, 互联网的各种应用, 就在从低带宽向高带宽演进, 低带宽时无法想象的应用, 随着高带宽的普及, 瞬间涌现出来, 从文字、图片、视频、在线游戏到虚拟世界、元宇宙。

物联网, 机器互联的世界, 应用的发展, 也在遵从着“低带宽应用-->高带宽应用”的演进路线:

- 物联网初期, 主要的应用集中在低带宽领域: 无线POS, 电力抄表, GPS位置定位, 这些应用的共同特征, 是传输的信息都以几十K计, 普通的2G, 3G网络, 即可满足其需求。

- 物联网中期, 应用逐步扩展到基于图片和视频的应用领域, 如智慧安防, 智慧交通, 智慧农业, 以及机器视觉所处的智慧工厂, 智能制造领域。这个时期, 应用对带宽的需求, 不再以K计, 而是以百兆, 千兆, 甚至万兆计。

光纤正在走进企业, 实现企业级的稳定连接; 光纤正在走进工厂, 连接机器, 为绿色工厂、数字化制造提供了高带宽、低时延、更加稳定可靠和低成本的数据连接基础服务。

