



WHITE PAPER

关键视觉网络视频 在千兆以太网上进行实时视频传输的特殊优势

本白皮书对千兆以太网 (GigE) 网络视频的优势进行了详述，对其在一些主要应用场景下的关键特性进行了说明，并就其易于实施以及未来发展的方向得出了结论。

Pleora Technologies Inc.
www.pleora.com

要点概述

无论是当一个医生使用影像辅助系统做一个挽救生命的手术，还是一个机械手在一个全自动装配线上把元器件放置到精确位置，均要求进行即时的验证。这种通过视频的实时视觉确认如今已在需求越来越大的应用场景中被运用，而且所有这些均依赖于以秒为单位的决策。

使用千兆以太网 (GigE) 的全网络视觉系统具备高性能和灵活性，而GigE高速增长的工业应用证明了这一点。当各种不同的视觉系统的架构均可用时，GigE普及背后的其中因素之一是全球几乎所有用户和商业网络均普遍应用了该技术。



这种技术的高成熟度意味着现有的设备广泛可用、价格合理，且非常易于安装和维护。对于实时视频应用，全球公认的GigE Vision标准通过提供共同的参照标准进一步地促进了以太网的使用，且完全符合各类国际标准并紧密地与之相结合。

服务于工业自动化、医学成像、安全防护、智能交通市场的成像设备制造商和系统集成商能够充分利用GigE Vision兼容组件于新设计安装、系统升级，或从其他网络拓扑中进行成本效益的转换。随着GigE Vision 2.0的发布以及标准中正式包含了10 GigE，GigE Vision over NBASE-T技术以及其他诸如压缩、精确触发等重要特性的发展，保证了GigE Vision在未来成为关键视觉应用占据主导地位的通信媒介。

简介

自动化工业成像使用早期机器视觉系统中的模拟摄像机，为现代的数字系统铺平了道路。高速数码摄像机已完全超越了模拟摄像机的功能和性能，能够快速地发展为全数字基础结构。广泛沿用至今的点对点拓扑是唯一能够实现实时和可靠传输的方法，但依然存在一些弊端，如有限的传输距离和接口的不够灵活。

以太网的灵活架构，一对多、多对多的连接提供了本地视频的分布和聚集，结合AIA的GigE Vision标准，节约了成本，并快速实现了视频的捕获、传输、分析和显示。

本白皮书对GigE网络视频的优势进行了详述，对其在一些主要应用场景下的关键特性进行了说明，并就其易于实施和未来发展的方向得出了结论。

网络视频的重要性

实时功能实现了视觉传感器与计算机中图像捕获器或帧捕获器之间的点对点连接——见图1。

当图像需要在多台显示器上显示或在多台PC上处理时，复杂性便增加了，因此不得不在另外的PC、显示控制器以及其他特定硬件上进行额外的点对点连接配置。

另一方面，以太网提供了特殊的网络灵活性：采用标准交换机、支持几乎所有可连接配置，如点对点、星型（一对多）、拓扑型（多对多）。

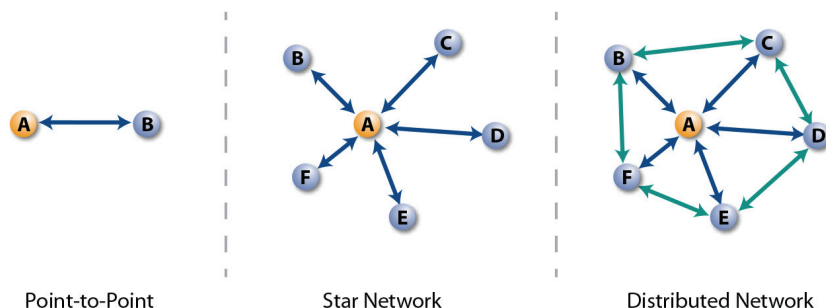


图1：公共网络拓扑；分布网络提供最佳灵活性

由于主要标准应用于全世界绝大多数网络的部署，包括军队要求和工业应用，以太网支持基于低成本、非专有芯片集成、交换机、布线的良好基础结构。此外，10 Mb/s至10 Gb/s之间不同的传输速率能够采用相同转换处理，确保了向后兼容性，并在不牺牲已有的传统摄像机或成像设备的情况下，允许系统升级。

更重要的是，以太网具有长距离传输能力—使用标准的低成本的Cat 5/6铜线缆可以实现网络节点间长达100米的传输距离，在使用交换机或光纤的情况下甚至能达到更长的距离。其高扩展性，支持分布网络配置，使得其易于适应新处理节点、显示器、交换机的加入。

网络视频意味着网络上的所有部件，比如图像传感器、摄像机、视频接收机、视频服务器、控制单元、显示器等，都完全实现了互联，并均采用相同的标准架构转送或接收视频和控制数据。

因此，高分辨率视频的网络传输的显著优势有：

- 降低系统成本：采用标准的以太网组件。
- 更高的设计灵活性：允许更多配置和分布选择。
- 系统的易维护性：几乎无中断地进行扩展和升级。

用以太网来传输高速图像的优势最初于十多年前当GigE被引进主流网络时，在机器视觉领域得到了认可。GigE工业视觉应用的普及使得GigE Vision标准于2006年被引入，这个全球开放的标准管理着视频的分布和以太网上的控制数据。GigE Vision标准建立了基于交换客户/服务器以太网架构的网络视频应用交付的标准化环境。应用于机器视觉的最普遍的摄像机接口技术的行业数据说明了其标准的成功—见图2.

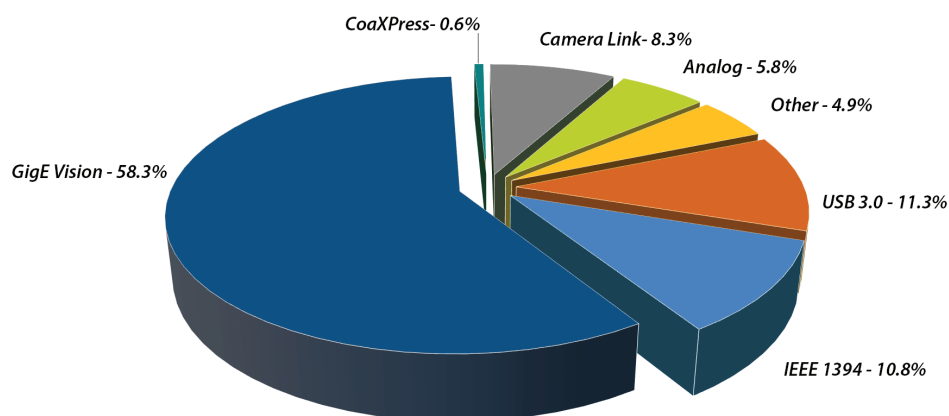


图2: 单位摄像机接口技术销售数量
(AIA 2016 Machine Vision Camera Study)

GigE Vision标准针对机器视觉网络系统所特有的四个主要领域进行了定义—见图3。重要的是，GigE Vision利用了大约25个现存的行业标准而不是引进新的专有方案。而现有的行业标准包括：IEEE 802.3 (Ethernet), IEEE 1588 (time synchronization), IETF RFC2026 (jumbo frames)、EMVA GenICam (XML设备描述文件)。

当GigE Vision标准为设备的相互连接创建了强大的架构时，供应商的实现质量显著地影响其应用，因为标准本身既未定义也未推荐性能标准。延时水平和系统内的固有抖动是受接口实现影响的一个关键区域

Device Discovery	Defines how compliant devices obtain IP addresses and are identified on the network
GigE Vision Control Protocol (GVCP)	Defines how to specify stream channels and control and configure compliant devices
GigE Vision Stream Protocol (GVSP)	Defines how images are packetized and the mechanisms by which images can be transferred
XML Device Description File GenICam Compliant	Provides computer-readable device datasheet permitting access to controls and image stream

图3: GigE Vision标准的四个主要要素

视觉系统的要素的比较

现如今使用的三个关键视觉系统接口分别是: Camera Link, CoaXPress和GigE Vision。图4比较了上述三个接口, 以及Camera Link HS, USB3Vision和GigE Vision over 10 GigE等三个新兴的接口

Attribute	Camera Link	Camera Link HS	CoaXPress	USB	GigE Vision	GigE Vision over 10 GigE
Cable Type	Camera Link	Copper or Optical	Coaxial	USB 3.0	Cat5/6 or Optical	Copper or Optical
Power over Cable	13 W	Possible	4 W	4.5 W	13 W	15.4 W
Industry Adoption	Broad	Low	Limited	Broad	Broad	Emerging
Relative System Cost	High	Medium	Medium	Low	Low	Medium
Max Payload Throughput on Single Cable	2.08 Gb/s	16.8 Gb/s	6.25 Gb/s	2.8 Gb/s	980 Mbps (GigE) 2.4 & 4.8 Gb/s (GigE over NBASE-T)	9.0 Gb/s
Requires Non-standard Hardware	Yes	Yes	Yes	No	No	No
Max Distance	10 m	15 m (copper, 2.4 Gb/s) 100 m (optical 16.8 Gb/s)	130 m @ 1.25 Gb/s 40 m @ 6.25 Gb/s	3 m	100 m (Cat 5) 40 km (optical) Unlimited with switches	7 m (Direct Attach Copper) 100 m (Cat 6a) 40 km (optical) Unlimited with switches
Network Topology	Point-to-point	Point-to-point	Point-to-point	Star	Distributed	Distributed
Native OS Support	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Guaranteed Delivery	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Standard Ratification	2000	2012	2009	2013	2006	2006

图4: 主要视觉系统接口的关键性能

关于各接口技术的背景概括如下：

- Camera Link于2000年就开始投入使用并拥有大量的用户安装，主要因为其高吞吐量和低延时。然而，其26线连接线和有限的线缆长度增加了安装的复杂性和成本

- Camera Link HS于2012年发布，克服了应用于线扫描的Camera Link摄像机的速率限制；然而其最多15米的线缆长度仍然是个问题

- CoaXPress拥有速率、范围、简单的同轴电缆等优势，但和其他基于非以太网的标准一样，不具备网络能力。CoaXPress于2010年引进，用于一些大量的现有同轴电缆的安装，因此仅得到了有限的行业认可。另外，它必须使用更加昂贵的多芯主动式电缆以及在短距离的情况下，才能达到和10 GigE相比较的传输速率。

- GigE Vision于2006年引进，是基于于1980年开始使用的802.3 以太网标准，因此是到目前为止是最成熟的和认可度最高的标准。Cat 5/6电缆广泛可用，具有全双工的8-线芯。NBASE-T规格提高了双绞线的速率，可以在长达100米的距离上克服1 Gbps的设计速率从而支持2.5和5 Gbps的传输速率。

- 10 GigE Vision Version 2.0于2011年11月发布，并支持10 GigE。使用10 GigE进行传输的GigE Vision确保了现有GigE Vision设备的向后兼容性。而下一代的Camera Link设备则不具备这个兼容能力

- USB3 Vision是一个全球化的标准，通过广泛可用的USB 3.0总线（吞吐量接近3 Gb/s）将高速的图像和视频数据传输至计算机。USB3 Vision标准于2013年2月获得批准，通过简单利用USB 3.0平台的固有的性能优势，如高带宽、电缆供电、易用性等，帮助减少设计、部署、维护的成本。

在所有的接口中，只有GigE Vision和USB3 Vision具有多通道聚合功能（不要与链路集合相混淆），从而使得多个摄像机可以通过单个口进行接收。通道聚合符合以太网交换机和USB 3.0集线器标准，体现了标准的多功能性。此外，GigE Vision是唯一一个标准适用于采用了分布式网络配置—最灵活、低成本的、可扩展的拓扑。

总之，GigE Vision和以太网所具有的优势远多于Camera Link和CoaXPress，同时USB3 Vision适用于高带宽、短距离的应用。GigE Vision则提供了联网能力、吞吐量、灵活性、传输距离、可扩展性等多种独特的性能，是其成为了数字视频接口的最佳选择。

许多重要性能特性对于实时视频是至关重要的的一如低延时、低抖动、高吞吐量、可靠数据传输、低CPU使用率等，这些特性对于每个系统都不尽相同。在这些特性中，低延时和低抖动是实时系统的关键因素，因为延时或时间误差超过某阈值通常是不能容忍的。

在以太网网络构想的起初，秒级的延时是可以接受的。即使到现在，闭合线路安全视频网络也同样有约2秒的延时，因为大多数的视频是存储的用于后期查看，因此延时不是个问题。与之相比，如今复杂的工业视频系统的“玻璃到玻璃”（从镜头到监视器）对于延时的阈值容差只有大约100 ms或更小。

与延时紧密相关的是信号抖动的影响。当系统补偿了抖动的影响，通常便增加了延时，使得对延时进行补偿更加复杂。图5展示了延时和抖动的原因和影响。

	Definition	Causes	Effects
Latency	The minimum time between image capture and image reception/display.	Data processing, line speed, and the receive and retransmit delay.	Delay between the actual event and the availability of the image data for processing.
Jitter	The variation in the latency.	CPU processing and scheduling, buffering in network switches, crosstalk, and EMI (electromagnetic interference).	Synchronization errors, delayed images, late/useless data, and reduced processing time.

图5：视觉系统中延时和抖动的原因和影响

而专用的电气连接系统，如基于图像采集卡的系统就具有非常低的延时，以太网标准的分组化系统具有固有的延时和抖动，部分是由于数据包和传输处理协议中的开销导致的。高性能GigE Vision的实施通过优化链路端数据包传输和接收的处理进程解决了上述的问题。测试表明，在Camera Link系统的基础上加上网络连接以及GigE Vision软件加起来所引入的微小抖动通常<100 微秒 (μ s)—在绝大多数视觉系统容差的范围内。

超长帧的使用

其他帮助提高性能的措施包括超长以太帧的使用，减少了CPU的负担。与标准帧长1,500 bytes相比，超长帧传输了更大的负荷，通常约为9,000 bytes。在6倍帧长的情况下，其开销只有0.55%—而标准帧有4%的开销。这是一个很大的优势，考虑到在1 GigE的链路上采用最大吞吐量每秒钟有约有13,800超长数据包被发送出去。

因此，超长帧的使用不仅对吞吐量产生有利影响，而且对CPU的使用率也产生有利影响—见图6—因为CPU只在每帧到达时进行处理和复制。例如，在图5的测试中，700 Mb/s的数据是在GigE连接上可实现的最大值。当采用超长帧时，由于开销减少，使得数据吞吐量可以增加至960 Mb/s。

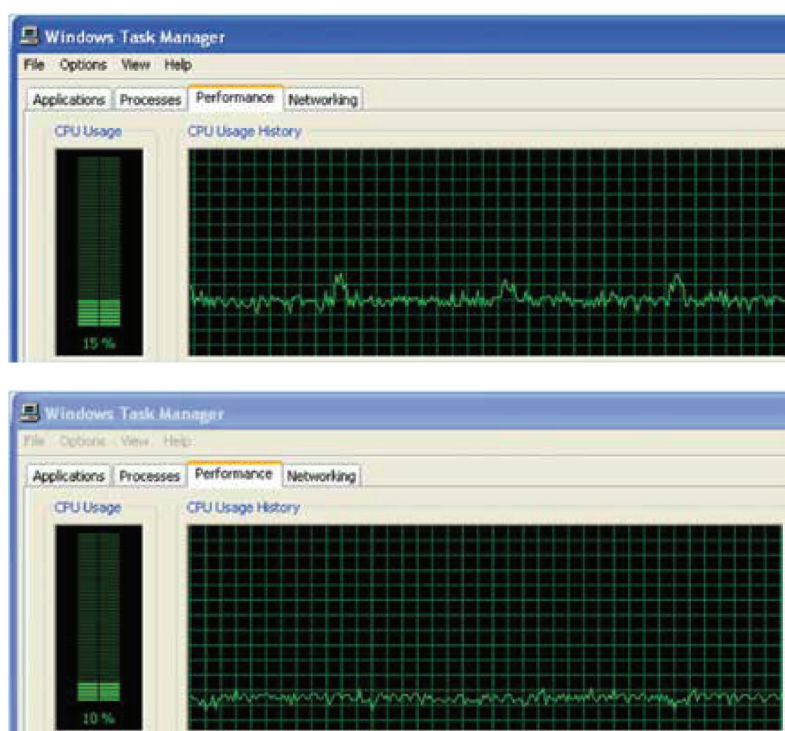


图6：采用标准帧和超长帧时CPU的使用率

CPU负担的减少

GigE Vision与Camera Link之间的一个关键不同之处是，GigE Vision没有独立的输入数据管理。Camera Link帧捕获器具备通过FPGA组装完整图像的能力，并产生单一OS中断。与之相反，GigE Vision依赖于CPU处理每个数据包，因此每个收到的图像需要多个中断，然后将每个图像传送给应用。因此，CPU不仅处理数据流，还要组装接收到的网络包图像，如果管理不当，将可能增加负担。高负荷的CPU导致主机PC在处理上延时，降低图像处理能力。超长帧的使用明显地减少了中断的次数，相应地减少了CPU的负担，增加了处理带宽。

GigE Vision过滤器、堆栈、和性能驱动器能够进一步地减少负担。比如说，一些驱动器能够将大视频数据包直接传送至应用软件，从而大大释放了CPU的处理负荷。以太网技术已证明是视觉接口和实时图像传输可靠、强健的媒介。GigE Vision兼容设备在跨越多元化市场各种关键任务应用中的大范围使用进一步证明了其多功能性。

关键视觉应用

大范围的医疗、军队、交通、工业视频应用系统设计者在寻找具有低延时、高可靠性、低成本功能的传输实现。

例如，满足影像辅助手术室的性能要求，需要仔细选用设备以符合规定的标准。X射线设备以及其他医疗影像设备的制造商已将GigE Vision网络接口嵌入到了系统中。其中的产品如小尺寸视频传送机和接收机，实时地将来自传感器和平板探测器的图像数据流传送至PC进行处理和显示。用以性能为导向的GigE Vision软件代替图像捕获卡（图像采集卡）精确实现减少系统成本。

工业自动化系统是最先采用机器视觉技术的，其要求超低的延时性能是为了促进在生产设备中快速自动化和快速组装线的使用。同样地，在自动整理设备如用于的邮政和包裹服务中的设备，速率是至关重要的。此外，GigE Vision采用数据重发功能，确保在电磁干扰或其他原因导致数据包丢失或损坏的情况下，数据仍然能得到正确的传输。在工业领域，能实现跨越工厂场地的长距离电缆同样重要，因此，现有的以太网基础架构可以很容易地得到利用。

在图7中，自动检验过程使用行扫描摄像机所摄制的图像分析产品可能的缺陷—每个PC具有不同的缺陷检测算法。在这个例子中，外部图像采集卡将来自Camera Link摄像机的视频转换成GigE Vision格式。或者，制造商可以使用GigE Vision和GigE Vision over NBASE-T嵌入式硬件开发1G、2.5G、5G、10G的摄像机。主控器PC收集结果并发送分级指令给GigE Vision冲压设备。可编程逻辑控制器(PLC)提供的触发同步使用编码器提供共同时间参考，确保延时和抖动—无论是网络、主机PC还是应用本身产生的一均同等地被移除。

随着高分辨率、高灵敏度传感器的出现，NBASE-T技术为高级图像的带宽支持、低成本布线以及符合GigE Vision标准提供了自然的演变。IEEE 802.3bz标准包含了NBASE-T规格，定义了以太网的新的信令体系，提高了双绞线的速率，可以在长达100米的距离上克服1 Gbps的设计速率从而支持2.5和5 Gbps的传输速率。

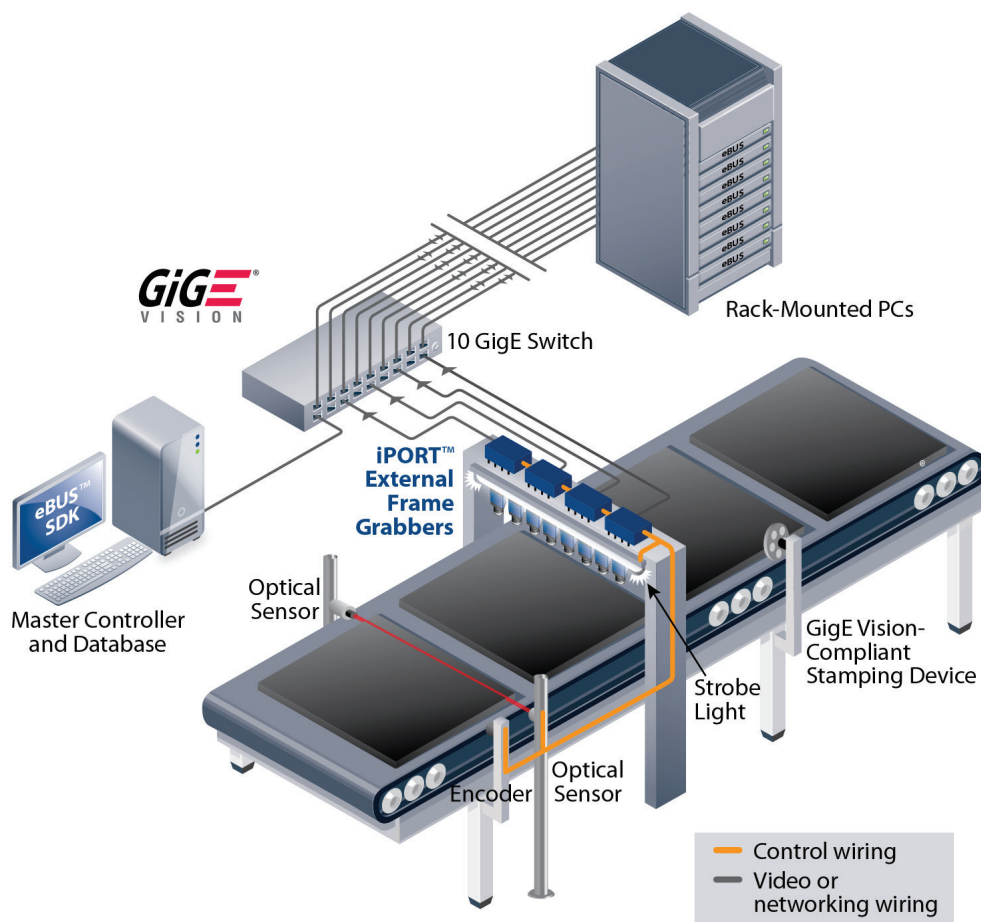


图7: GigE网络上使用机器视觉的自动检测过程

随着高分辨率、高灵敏度传感器的出现，NBASE-T技术为高级图像的带宽支持、低成本布线以及符合GigE Vision标准提供了自然的演变。IEEE 802.3bz标准包含了NBASE-T规格，定义了以太网的新的信令体系，提高了双绞线的速率，可以在长达100米的距离上克服1 Gbps的设计速率从而支持2.5和5 Gbps的传输速率。

利用GigE Vision over NBASE-T，设计者能够以吞吐量达5Gbps的速率并使用低成本 Cat 5e铜线缆传输未压缩的图像。范围可扩展、灵活、现场可终止的布线能够通过系统轻松地部署，且易于安装和维护。设计者设计出的NBASE-T图像设备和视觉系统自然地符合GigE Vision兼容软件、Linux以及其他系统。这意味着现有的GigE Vision软件和software development kits (SDKs)均符合NBASE-T且无须改动。GigE Vision over NBASE-T为制造商提供了直接的升级路径，使下一代图像设备高级应用的设计成为可能。

在交通领域，GigE由于其长距离范围和网络性能是非接触式收费系统中视频传输的自然选择，并支持一系列不同的计算平台。

GigE Vision摄像机在上述系统中很有用，但可能在安装方面的实用性并没有那么强，如果现有的视频传输系统是基于模拟或Camera Link接口进行设计的，或基于现有系统并不适合改变摄像机、传感器、光学器件设计的新系统中。在上述情况下，制造商和系统集成商可以使用外部图像采集卡以简化系统实现和维护，延长传统系统、保持原有设计的生命周期，增强性能。在图8中，通过外部图像采集卡将现有的Camera Link摄像机转换成GigE制式。

以太网的长距离布线能力允许设计者将处理计算机移出台架放置在方便维护的位置。在PC上，所有接口通过GigE连接，从而不需要带有外围卡槽的计算平台。因此，系统设计者可以通过使用更小尺寸的计算平台如笔记本、嵌入式PC、单板机等从而减少系统体积、成本以及功耗。

为增强可靠性，外部图像采集卡设置成将图像数据同步多路广播至多个计算平台，使用现成的GigE交换机。如果主机PC是采用线下维护或新图像处理算法在线测试，识别技术和计费功能可在备份PC上实现，且无需交换线缆或更改软件设置。

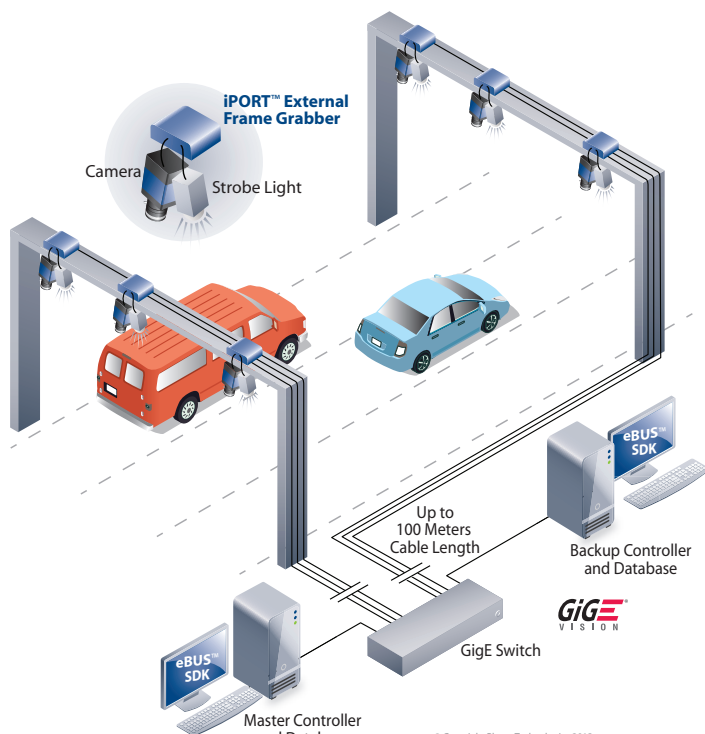


图8：GigE给非接触式收费系统带来的长距离布线能力、网络化、小型化计算平台等优势。

以太网的未来

以太网技术持续发展，以满足用户、企业、网络化的应用。行业联盟Ethernet Alliance与IEEE和其他标准机构一起发布关于以太网技术预期演化的年度路标。

在最新的路标中，Ethernet Alliance于2016年发布的持续演化计划，以实现更高带宽、运行速率达200 Gbps和400 Gbps的路由和交换端口，并在不久的将来每秒传输速率将超过兆兆位。Ethernet Alliance还强调下一代网络应用的扩展方案，使用Internet of Things (IoT), Internet of Device (IoD)和云服务促进满足10 GbE, 40 GbE, 100 GbE、400 GbE技术的要求。

同样地，NBASE-T Alliance—超过40家公司组成的联盟代表了网络基础设施的所有主要方面，包括视觉市场—支持广泛使用和应用经过IEEE 802.3bz标准改进的2.5G和5G以太网，测试并合理规划以促进互操作产品的发展和应用。

NBASE-T的规格定义了以太网信号新的类型，提高了双绞线的速率，可以在长达100米的距离上克服1 Gbps的设计速率从而支持2.5和5 Gbps的传输速率。其规格支持新的NBASE-T速率与较慢的1 Gbps速率或10 Gbps的速率（如果网络基础设施支持）之间的自动协商。

结论

随着技术的进一步发展，GigE视频网络将担任关键视觉应用重要的技术平台，实现视频的实时显示、处理和存储。

以下其众多的优势吸引了许多的用户：

- 通用的系统设计
- 普遍的采用
- 低成本的基础设施
- 优秀的互操作性
- 国际标准化

首先，高质量的实现将满足工业要求的极高的性能水平。实时视频的必要性—超低延时、低抖动、高吞吐量、数据的可靠传输、低CPU使用率—这些都要求能够满足系统集成商和设计者的需求，使其在未来能够扩展进入新的市场。

参考文献

Mark Claypool and Jonathan Tanner: The Effects of Jitter on the Perceptual Quality of Video. Worcester Polytechnic; 2000.

Wikipedia: Ethernet Frame. Source: http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_frame; September 2011.

Ethernet Alliance: Ethernet Jumbo Frames. Whitepaper; November 2009.

Ethernet Alliance: The 2016 Ethernet Roadmap. Market Report, March, 2016.

NBASE-T Alliance: NBASE-T 2.5G/5G Ethernet Technology Basis for the IEEE 802.3bz Standard. Whitepaper, December 2016.

Neil Martin: Bridging the bandwidth gap in vision. MVPro; March, 2017

GigE Vision Standard: <http://www.visiononline.org/vision-standards-details.cfm?type=5>; Version 2.0; November 2011.

AIA: AIA 2016 Machine Vision Camera Study. Market Report; 2016.

关于 Pleora

Pleora科技有限公司率先针对实时网络视频连接采用了千兆以太网，并进行了工业成像的改革。本着创新的精神，Pleora设计出了针对关键任务应用的网络视频连接解决方案。Pleora以其丰富的视频网络产品线，与客户一道针对其个性化的需求制定适合的解决方案，从定义到部署，提供全方位的支持。

想知道为什么更多军队、医疗、工业自动化制造商和系统集成商选择一并且持续使用Pleora的产品，请访问<http://www.pleora.com>。

Pleora Technologies Inc.
340 Terry Fox Dr., Suite 300
Kanata, ON K2K 3A2
Canada