

用图像采集卡优化高速机器视觉

探讨图像采集卡和有效图像拼接在高速机器视觉生态系统中的关键作用。

高速流式摄像机为机器视觉 (MV) 开辟了一个新天地, 将其从一个过程控制工具转变为了一个诊断工具。传统上, MV 系统集成了现成的商用成像传感器、光线模块和处理器, 以便在零件沿生产线移动时对其进行引导、检查或识别。与人工操作相比, MV 系统具有快速、准确和可重复的特点, 可以在快节奏的制造环境中大大地提高生产率。

高速摄像机进一步增强了这些功能和优势, 可以捕捉到传统 MV 系统无法捕捉到的东西。由于其高分辨率、快速帧速率和流式传输能力, 高速摄像机使 MV 在需要实时分析或长时间录像的挑战性应用 (如半导体检测、3D 打印和航天飞机发射) 中也找到了其立足之地。

然而, 高速摄像机只是大 MV 生态系统的一部分。为了有效地工作, 它们需要适当的辅助技术来克服与数据处理和管理有关的挑战, 特别是在高帧速率下。

开发者:



PHANTOM®

VISION
RESEARCH

AMETEK®



PHANTOM® 机器视觉摄像机的威力

与传统的 MV 摄像机相比,高速流式摄像机具有定制设计的互补金属氧化物半导体 (CMOS) 传感器,像素高达 900 万 (Mpx),曝光时间低至 1 微秒 (μs),速度高达每秒 68 万帧 (fps)。例如,世界上最高吞吐量的机器视觉摄像机,也就是 Vision Research 的 Phantom S991 和之前的 S990,具有世界一流的高速图像质量和高达 9 千兆像素/秒 (Gpx/sec) 或 70 Gbps 的直接数据传输速度,在 9 Mpx 全分辨率下可以捕获 938 fps。

其他例子包括:Phantom S710,这是一款 1 Mpx 摄像机,具有 7 Gpx/sec 的数据吞吐量 (60 Gbps);Phantom S640,这是一款 4 Mpx 摄像机,具有 6 Gpx/sec 的数据吞吐量 (超过 48 Gbps);以及 Phantom S210 和 S200 紧凑型摄像机,它们具有 2 Gpx/sec 的数据吞吐量,可以在高帧速率下生成细节清晰的图像。同时,它们可以最大限度地利用光线。它们的 CMOS 传感器具有高达 20 微米的像素尺寸,因此原生 ISO 较高,这使这些摄像机在高速 MV 应用中的低曝光时间下仍能提供出色的图像质量。



Phantom S200

除了高超的传感器技术外,Phantom 高速流式摄像机还采用标准协议,这使它们更加通用。例如,它们依靠铜质 CoaXPress (CXP) 电缆技术,能够将大量数据直接传输到图像采集卡、PC 或具有 TB 级内存的长时间数字录像机 (DVR)。CXP6 协议是一种非常快速的标准数据传输方法,每根铜缆从摄像机到后端接收机的数据传输速率可达每秒 6.25 千兆字节 (GB)。最新的 CXP12 标准将这一速率提高了一倍,因此 CXP6 和 CXP12 都是高吞吐量摄像机的理想选择。高速 MV 摄像机使用的第二个标准协议是 GenICam,这是一种通用编程接口,便于将摄像机配置和集成到现有系统中。

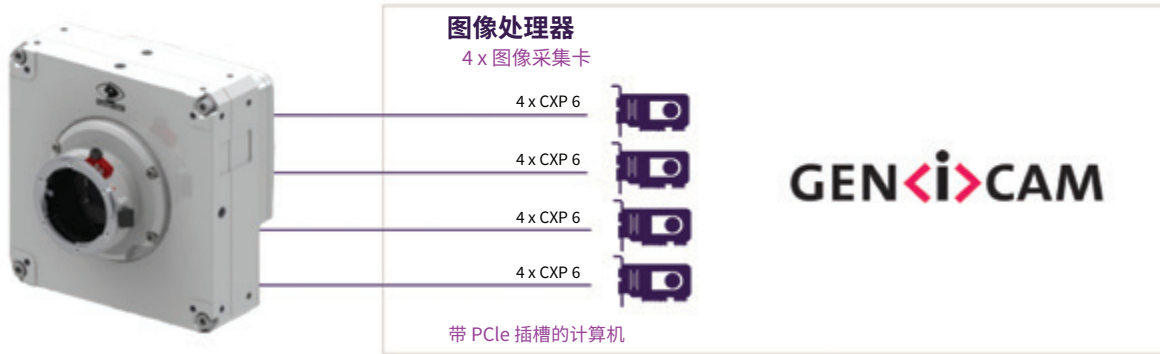
高速 MV 摄像机由于结合了高帧速率、高分辨率和高数据吞吐量这几大优势,非常适合许多研究微观物体的工业和科学应用。例如,在半导体晶圆检测过程中,它们可以通过在感兴趣的区域提供高像素分辨率来减少晶圆处理时间,使操作人员能够检测到明暗区域之间的细微差异,从而发现缺陷。流式摄像机的其他新兴应用领域包括生命科学 (如细胞诊断、样品鉴定、溶血、细胞学)、弹道测试、激光焊接、3D 打印等等。

拼接和图像抖动挑战

然而,高速流式摄像机只是 MV 生态系统的一部分。为了真正实现摄像机功能的最大化,用户必须有适当的技术来管理从流式摄像机上传来的大量数据。图像采集卡可以实时处理数据,克服了长时间录像应用中传统摄像机 RAM 有限的问题,成功地解决了这些挑战。



所示设置用于高速 机器视觉分析



MV 流式摄像机使用标准的 CXP 协议，将数据传输到后端图像采集卡。然后，通过外设部件快速互连 (PCI-e) 总线标准插到计算机主板上的图像采集卡现场可编程门阵列 (FPGA) 或图形处理单元 (GPU) 将实时处理这些数据。这种流式传输也避免了在长时间录像应用中，先将数据保存到传统摄像机的 RAM 中再下载到电脑上的耗时过程。在每台 Phantom 流式摄像机上，用户可以使用多达 16 个标准 CXP6 通道。在一个被称为拼接的过程中，摄像机按行分割传输的图像，并在图像到达图像采集卡 FPGA 时交错排列它们。然后使用一个简单的算法将每个图像“拼回去”。

然而，尽管有这些好处，高速 MV 也并非没有挑战。首先，虽然拼接是高速流式传输过程的一个重要部分，但它占用了计算资源，如果处理不当，可能需要很长的处理时间。第二个问题是，特别是在较高的帧速率下，会出现图像“抖动”现象，当传入的帧量超过主机的 CPU 时，就会出现这种情况。换句话说，计算机接收和处理帧的速度跟不上摄像机传输帧的速度。抖动通常发生在较高的帧速率时，通常在 20,000 fps 左右或更高。

为了解决拼接和抖动问题，两家图像采集卡制造商已经开发出了独特的处理方案。

EURESYS 和 BITFLOW 如何进行图像拼接

Euresys 是一家图像采集卡公司，它在模拟和数字视频采集、FPGA 编程、高频电子、视频压缩、流媒体和摄像机控制方面拥有 30 多年的经验。该公司是一家著名的 FPGA IP 核、图像采集卡和图像处理软件设计商和提供商，其产品被广泛用于计算机视觉、工厂自动化、医疗成像和视频监控领域。虽然 Euresys 生产许多不同类型的图像采集卡，但其用于 CoaxPress 标准接口的 Coaxlink 系列是最受欢迎的型号之一。这些图像采集卡具有一个至八个 CoaxPress 接口，适用于 CXP-1 和 CXP-12 之间的所有速度。

Euresys 图像采集卡	输入	摄像机带宽
Coaxlink Quad G3 板	四个 CXP-6 输入	高达 2.5 GB/sec
Coaxlink Octo 板	八个 CXP-6 输入	高达 5 GB/sec
Coaxlink Mono CXP-12	一个 CXP-12 输入	高达 1.25 GB/sec
Coaxlink Duo CXP-12	两个 CXP-12 输入	高达 2.5 GB/sec
Coaxlink Quad CXP-12	四个 CXP-12 输入	高达 5 GB/sec

图像拼接过程

原始图像拍摄

1



采集图像帧

2

S640/710



过程帧

3

S640/710



* 选择图像采集卡执行此功能。

最终图像拼接

4



CoaXPress-over-Fiber: 机器视觉的最新技术

CoaXPress 2.0 是 CoaXPress 规范的最新版本, 规定了 CXP-12 速度, 即一根同轴铜缆为一条 12.5 Gbps 链路。通过链路聚合, 四条 CXP-12 链路可以实现 50 Gbps (12.5 x 4) 的最大带宽。CoaXPress-over-Fiber 是 CoaXPress 2.0 规范的扩展, 提供了一种通过标准以太网连接 (包括光纤) 运行未经修改的 CoaXPress 协议的方法。CoaXPress-over-Fiber 使用为以太网设计的标准电子设备、连接器和电缆, 但协议是 CoaXPress, 而不是以太网或 GigE Vision。

CoaXPress-over-Fiber 在一个 QSFP+ (四通道或四个 SFP+) 模块上的带宽为 4 x 10 Gbps, 每根光纤的总带宽为 40 Gbps。这仅小于四根铜质同轴电缆的四条 CXP-12 链路的净带宽。Vision Research 已将这项技术整合到其最新的机器视觉摄像机产品 Phantom S991 中。S991 提供与其前身 S990 相同的吞吐量, 但只使用两个简单的 QSFP+ 模块和光缆。Euresys 还推出了 CXP-over-Fiber 图像采集卡, 而 BitFlow 打算在 2022 年发布该技术。

Phantom
S991



Phantom 流式摄像机最多有四组 CXP-6 接口,而每组有四个 CXP-6 接口,因此总共有十六个接口。为了在最高分辨率下达到最高速度,用户必须将四块 Coaxlink Quad G3 板或两块 Coaxlink Octo 板连接到一台摄像机上,这种设置可以减少所需的 PCI-e 插槽数量。为了说明从摄像机到 PC 的数据传输,我们以下面这种情况为例:一台 Phantom 流式摄像机与四个 Coaxlink Quad G3 图像采集卡相连。一旦摄像机获得了一个新图像,图像就会被分割成几个部分,然后这几个部分被分配给四组接口。然后,图像的每个部分被分别传输到不同的图像采集卡。

在标准应用程序中,每个图像采集卡自己分配一组内存缓冲区,并将它的那部分图像传输到自己的一个缓冲区中。一旦所有图像部分在内存缓冲区中可用,应用程序就会把它们拼接到一个更大的缓冲区中,以获得整个图像,这一操作会动用主机的 CPU,因此并不是最佳的。

使用 Euresys 图像采集卡的好处之一是,Coaxlink 驱动程序可以为主机中所有可用的图像采集卡分配同一组缓冲区,并且每块 Coaxlink 板可以被配置为在缓冲区的相关位置传输其数据。当所有的图像采集卡传输它们的数据时,图像的拼接就会实时进行。同样的原理也适用于两块 Coaxlink Octo 板。在这两种情况下,主机的 CPU 完全不参与,这提供了一个很大的优势。这种能力也使 Coaxlink 图像采集卡成为 Phantom 系列摄像机的理想选择。

Euresys 销售和支持部门副总裁 Michael Cyros 说:“我们最近还为我们的 eGrabber SDK 增加了新的功能,现在它可以自动检测具有多组接口的摄像机是何时连接到同一台 PC 的多个图像采集卡上的。”“这有利于每台 Phantom 流式摄像机的拼接。它还将所使用的所有接口组和图像采集卡归为一个单一的摄像机对象,这从用户的角度大大简化了这些摄像机的操作。”

Cyros 继续说道:“甚至我们的 eGrabber Studio 应用程序也利用了这种新功能,它使查看、录像和图像数据处理变得更加简单。”

另一家成功解决了拼接问题的图像采集卡制造商是 BitFlow。这家公司自 1993 年以来一直在开发工业图像采集卡和成像软件,主打高数据传输速率和高帧速率摄像机的接口。该公司还拥有在具有复杂触发、输入/输出和 CPU 周期要求的环境中工作的经验。

除了摄像机链路和差分 (LVDS 或 RS422) 接口外, BitFlow 还有几个支持 CoaXPress 协议的产品系列: Cyton CXP 多链路解决方案、Aon CXP 单链路解决方案以及用于最新 CXP-12 标准的 Claxon 解决方案。

图像采集卡	输入
Aon CXP	一个单链路 CXP-6 输入
Cyton CXP2	一个双链路或两个单链路 CXP-6 输入
Cyton CXP4	一个四链路、两个双链路或四个单链路 CXP-6 输入
Claxon CXP1	一个单链路 CXP-12 输入
Claxon CXP2	一个双链路或两个单链路 CXP-12 输入
Claxon CXP4	一个四链路、两个双链路或四个单链路 CXP-12 输入

BitFlow 图像采集卡可以与 Phantom S710 机器视觉摄像机以及之前的 Phantom S990 一起使用。由于上述摄像机的数据速率超过了单个图像采集卡的速度,集成有 16 个输出的摄像机需要四个 Cyton CXP4 图像采集卡。值得注意的是,在使用一个或两个图像采集卡的情况下,摄像机仍然可以运行,只是最大帧速率将成正比下降。

当 Phantom 摄像机以两组或四组接口模式运行时,它的输出会同时向每个连接的图像采集卡交错传输“大量”的线。这些线必须在 PC 主机中被原路交错回去。Cyton 的直接内存访问 (DMA) 引擎足够强大和灵活,可以在不使用任何 CPU 的情况下,实时执行这种逆向交错任务。



下面的过程概述了用户可以如何将 Cyton 图像采集卡与 Phantom 机器视觉摄像机相连：

用一个 Cyton 进行系统设置和测试。在安装 BitFlow SDK 并运行安装程序后，用户在一个 PCI-e x8 或 x16 Gen 2 或 Gen 3 插槽中安装一个 Cyton 图像采集卡。然后他们连接四根 CXP 电缆，将系统配置为单图像采集卡模式，并测试系统。通过运行 BitFlow 预览，用户可以看到摄像机的实时视频。在四图像采集卡模式下，最大帧速率将是摄像机最大帧速率的四分之一左右。BitFlow 销售总监 Donal Waide 说：“使用这种模式有助于设置和对焦摄像机。”

用四个 Cyton 测试系统。接下来，用户在四个 PCI-e x8 或 x16 插槽中安装四个 Cyton。操作系统将把每个 Cyton 视为四个虚拟图像采集卡 (VFG)；由于 S710 和以前的 S990 都需要四个 Cyton 来实现全分辨率和帧速率，因此操作系统将看到 16 个 VFG。用户将只使用每个 Cyton 上的第一个 VFG，这意味着他们将使用每个板上的 VFG0。这时，重要的是要确定哪块物理板与哪个 VFG 相对应。为了方便这一步骤，每块板在顶部靠近 CXP 连接器的地方都有一个小开关。在每块物理板上，用户可以将这个开关设置为不同的值，然后确定每个 VFG 的开关值。

下一步是确定 PC 中 Cyton 的顺序。“我们建议设置四个 Cyton 上的开关，使板上的开关设置与 VFG 的顺序相同，”Waide 解释说。“这在连接电缆时将不会造成混淆。”一旦用户知道了 Cyton 的顺序，他们就可以将摄像机的 16 根 CXP 电缆连接到 Cyton 上。在这一步之后，他们可以通过运行“BitFlow 预览”四次，在四图像采集卡模式下配置和测试系统。

接下来，用户使用 BiFlow2x 应用程序测试系统。BiFlow2x 被设计为同时从两个或四个图像采集卡获取图像。然后，它将对每个 Cyton 的图像线进行逆向交错，以使存储器中的图像与图像传感器上的图像完全一样。然后图像被记录到主机内存中。捕获图像后，用户可以使用播放器之类的东西或菜单命令播放它们。他们还可以将图像序列保存到磁盘上以便进行离线处理。值得注意的是，摄像机的默认开机帧速率为 100 fps。用户可以通过运行 BitFlow 的 Ximilon 应用程序轻松修改这个帧速率或者进行其他摄像机设置。



Phantom S640

EURESYS 和 BITFLOW 解决了抖动问题，实现了超高帧速率操作

据 Euresys 的专家介绍，超高帧速率下的抖动是大量系统中断造成的，通常，中断在一个图像帧结束时发出，以提醒主机应用软件。在正常情况下，每个来自流式摄像机的图像都会产生一个 PCI-e 中断。“当使用四组接口时，就好像您在系统中拥有四个不同的四通道摄像机，”Cyros 解释说。“因此，在四组接口模式下运行 S640、S710 或 S990 摄像机时，每个图像就有四个系统中断需要得到处理。”当用户使用这些摄像机每秒拍摄大约 10,000 张图像时，中断的次数就会跃升到每秒 40,000 次，这就达到了任何高端 CPU 的极限。Cyros 说：“CPU 完全忙于处理这些中断，无法再做其他事情。”



为了解决这个问题，Euresys 图像采集卡可以很容易地被配置为将用户指定数量的连续图像堆叠成一个更大的多图像帧。这样，它们只在这个多图像帧变得可用时才产生系统中断。据 Cyros 说：“例如，您可以在一个‘帧’中堆叠 20 张图像。通过以这种方式设置图像采集卡，您现在可以以比以前快 20 倍的‘帧速率’运行系统。因此，在超高帧速率应用中，减少系统中断的次数可以消除在个人电脑上看到的抖动问题。”

BitFlow 有两种方法来处理在非常高的帧速率下发生的抖动问题。“目标是避免计算机因较高的中断率而发生崩溃，”Waide 解释说。第一种方法被称为“中断抽取”，在这种方法中，每 N 个帧触发一个系统中断，其中 N 表示用户可配置的数字。“一旦设置了 N 值，驱动程序就知道每个中断对应 N 个帧，并将这一信息传递给用户。”

虽然 BitFlow 发现这种方法在连续采集时效果很好，但如果用户在将 N 设为 10 时想要采集 1024 个帧，它就会出现这个问题。“在这种情况下，板卡不会在最后的那四帧之后发出中断，”Waide 说。“用户必须确保他们想要获得的帧数是 N 的偶数倍。”

解决抖动的第二种方法是简单地关闭系统中断，并以合理的高速率轮询板卡，根据 BitFlow 专家的说法，这种方法的效果出奇地好。“驱动程序每秒对板卡进行 1000 次轮询。在每一次轮询时，它都会读取有多少新的帧进来，然后将这些信息发送给用户，”Waide 说。

BitFlow 公司总裁 Reynold Dodson 补充说：“由于我们的板卡不需要在图像的实际 DMA 中使用 CPU，所以无论帧速率如何，这种方法都有效。”“轮询只需要使用少量的 CPU，但显然比处理高中断率所需的要少。事实上，我们已经以每秒 25 万帧对这种方法进行了测试；CPU 几乎处于空闲状态，所有的帧都被正确捕获。”

用户可以通过使用 BitFlow 的 GUI 应用程序或发送到应用程序编程接口 (API) 的参数，轻松地用这两种方法来避免抖动，所有这些功能都包含在 BitFlow 的 SDK 6.40 (或更高版本) 软件中。

了解更多信息

Euresys 和 BitFlow 图像采集卡为高帧速率下的拼接和图像抖动所产生的数据问题提供了创新的解决方案，是 MV 应用中 Phantom 高速流式摄像机的理想搭档。

要了解更多关于 Vision Research 高速成像系统的信息，请访问 www.phantomhighspeed.com。要了解更多关于 Euresys 和 BitFlow 图像采集卡技术的信息，请访问 www.euresys.com 和 www.bitflow.com。

关于 Vision Research

Vision Research 是 AMETEK 公司材料分析事业部的一个业务部门，专门设计和制造高速摄像机。Phantom 摄像机以高感光度、高图像分辨率、采集速度和图像质量著称，这些特质对分析高速现象必不可少。

Vision Research 提供标准和机器视觉高速摄像机，可以满足各行各业的需求。从 VEO 系列到 TMX 系列，自带内存的标准摄像机是研发应用的完美选择。Phantom 机器视觉摄像机为需要实时处理或长时间录像的应用提供了质量不打折扣的成像性能。它们为变形细胞仪和详细的电子产品检查等具有挑战性的应用提供了出色的性能。



某些 Phantom 摄像机需要出口许可证。有关更多信息，请访问 www.phantomhighspeed.com/export。