

高速运动物体的“3D 影像捕手”

■本报记者 赵广立

如何清晰地拍摄一颗破膛而出的子弹? 只有一台摄像机显然是不够的, 善于捕捉物体三维影像的3D成像技术或许能帮上忙。然而, 由于成像速度的限制, 当前的3D成像方法也很难记录在极短时间内发生的动态事件。

近日, 一支来自清华大学的研究团队研制了一种3D图像采集系统, 给解决上述难题提供了一种可行的思路。据该团队负责人、清华大学电子工程系教授陈宏伟介绍说, 他们研制搭建的超高速扫描3D成像系统, 能以每秒50万帧的帧率录制视频影像, 并在速度为25米/秒的运动对象上实现了实时、连续扫描成像的概念验证。

陈宏伟在接受《中国科学报》采访时表示, 这套系统有潜力以1毫米的分辨率拍摄速度高达500米/秒的移动物体。目前, 他们的研究成果“基于时间编码的单像素3D成像”(TESP-3D)已经在论文预发布平台arXiv网站上公布, 该系统的原理设计也已取得相关国家发明专利。目前, 麻省理工学院《技术评论》关注并简要报道了应该成果。

科技制高点的竞争

陈宏伟向记者介绍道, 广泛应用于工业在线检测、生命医学、消费电子等领域的3D成像技术, 是各个国家竞相争夺的又一科技制高点, 将在未来信息社会中占据重要地位。然而, 目前国内大部分3D成像技术从业者多集中于算法和应用层面, 缺乏对于底层核心硬件和系统的创新, 所使用的许多3D成像系统亦多基于已成熟的硬件平台, 核心技术与核心专利多受制于国外。

记者了解到, 目前较为常见的高速3D成像技术中, 用于主动照明的结构光源、用于捕获图像的图像传感器和用于数字光处理的数字微镜晶片(DMD), 大部分市场被国外传感器厂商占领。

陈宏伟和其同事的这项成果有望打破这一局面。《中国科学报》通过采访了解到, 该团队历经2年研制并搭建的“超高速扫描3D成像系统”(目前处于工程样机阶段), 从原理实现上另辟蹊径, 摆脱了核心器件对国外3D成像设备的依赖。该系统不仅具有完全自



“当前主流技术的成像速度比较慢, 均无法做到在线实时的三维检查, 或需要将样品置于静止或慢速运动状态才可以进行三维成像, 严重限制了工业生产效率。”

主知识产权, 更在拍摄速度、时间分辨率等性能方面远胜现有系统。

“希望通过我们的努力突破这个短板, 完成具有完全自主知识产权的3D成像硬件系统。”陈宏伟对《中国科学报》表示。

另辟蹊径实现两大突破

陈宏伟团队是如何实现突破的? 这要从3D成像技术的背景讲起。

目前有两种主要的高速3D成像技术: 被动和主动方法。其中被动成像的代表性技术是双目视觉(或称立体视觉), 即模仿生物的双眼视物原理, 利用数字摄像机的图像传感器(CCD或CMOS)从至少两个不同的视角捕获图像, 然后结合两枚图像传感器的位置, 根据几何关系测量原理计算出景深。在此方法中, 摄像机的帧率和复杂的成像重建过程, 通常导致3D成像速率低于每秒1000帧。

相比而言, 主动3D成像具有更好的性能。这种方法是使用一个有源投影仪代替立体视觉中的一个数字

摄像机, 并通过产生编码照明以识别物体表面上的每个点的立体信息。这种方法可缩减计算时间, 同时重建精度也会得到改善。

“现有的3D成像技术从硬件配置上来看, 比较有前景的是主动照明成像, 但它也有两个速度限制: 主动照明的调制速度和成像单元的刷新速度, 目前这两点都不可避免地限制着3D成像的帧率。”陈宏伟告诉记者。

陈宏伟团队针对这两个限制进行了改进。他介绍说, 在主动照明成像系统中, 照明光需要进行调制才能获得物体表面的三维信息(即凹凸起伏等), 目前这个步骤主要使用数字微镜阵列(DMD)来实现, 速度被限制在几十kHz以下。“我们则采用了一种全新的时域编码技术, 突破了这一限制, 可以把速度提升至几十MHz以上甚至更高, 比DMD快了1000倍以上。”

另外一个限制是CCD成像单元的刷新速度。记者了解到, CCD芯片由一个产生2D图像的光敏像素阵列构成, 但CCD芯片的底层技术限制着刷新率, 现在的刷新率通常在

1kHz以下。

“我们采用的是单点光探测技术, 可以实现GHz以上的探测速度。”陈宏伟告诉记者, 他们的新方案基于与之前完全不同的底层技术, 采用单像素来记录光线, 并以每秒50万帧的频率刷新。

如何从单个像素创建图案? 陈宏伟解释说, 在这个环节中, 他们运用了压缩感知技术——像素记录着物体反射的光的大量而连续的测量值, 由于照射的光随机变化, 这些测量值看上去也是随机的。不过, 这些随机的测量值又相互关联, 这种相关性正是图像本身。通过对随机测量值的算法处理, 重构物体的3D图像。

“压缩感知成像技术并不是我们率先使用的, 在其他的成像技术甚至3D成像中也用过。不过, 我们是把软件与硬件相结合, 通过硬件速度的提升把压缩感知技术利用上, 最终实现了整个系统成像速度的提升。”陈宏伟向记者解释道。

尽管要在结构光源内部“动手脚”并对探测器后续的数据做复杂的处理, 但从整体上看, 陈宏伟团队搭建的这一

超高速扫描3D成像系统配置简单明了, 硬件上主要包括一个结构照明光源和多个单像素探测器, 并不需要高精度大规模的CCD探测阵列。同时, 陈宏伟透露, 通过对照明系统“简单”的改动以及单像素重建的优化, 他们还将进一步提升3D成像系统的速度, “挑战3D成像速度的极限”。

致力实现市场应用

得益于传感器、照明系统以及嵌入式处理技术的长足发展, 3D成像技术已经走出学术研究实验室, 广泛用于多种机器自动化实践中。然而, 在对高速运动物体的3D图像收集方面, 市场上的技术产品还存在着很大的局限性。陈宏伟举例说, 比如子弹弹道分析, 由于子弹的出射速度通常大于300米/秒, 并且伴有急速的旋转(高于1000转/秒), 这种速度下进行三维成像要求的时间分辨率要达到微秒量级, 相当于每秒拍摄20万帧以上的图像, 现在的3D成像技术还难以满足要求。

“任何成像系统对于时间分辨率的追求都是无止境的, 即便是常见的二维成像, 要拍摄子弹或飞机等高速运动的物体或者诸如爆炸等动态变化的现象都需要高速成像。”陈宏伟说, “3D成像技术作为未来信息社会必不可少的成像手段, 高时间分辨率或者说高帧率成像也将成为刚性需求。”

因此, 陈宏伟团队把提升超高速扫描三维成像系统的应用性作为未来重要的目标计划。“我们希望针对不同的应用进行参数和系统调整, 以适应市场的需求, 真正做成商品。”

陈宏伟向记者举例说, 工业上的三维成像有着极其广泛的应用, 包括工业产品和零件的三维信息扫描、获取制作误差及进行成品测试、对工业产品进行三维建模以利于改进和更新等。“当前的主流技术的成像速度比较慢, 均无法做到在线实时的三维检查, 或需要将样品置于静止或慢速运动状态才可以进行三维成像, 严重限制了工业生产效率。我们的技术可以实现50万帧/秒的线扫描三维成像, 相应的生产线速度可以超过100米/秒。”

相关论文信息:

DOI:arXiv:1901.04141

智造论坛

把危险工作交给机器人

■王继宏

当越来越多的机器人走进我们的生活, 带给我们惊喜的时候, 很多人开始关心这个问题: 它会抢走我们的饭碗吗?

我的答案是, 也许会, 但它更多是给我们带来职业安全。

卓别林主演的《摩登时代》曾极大地讽刺了不安全、不友好的“现代工业工作环境”。工人在工厂流水线上, 每天重复做着简单、枯燥无味的工作, 时间长了会怎样? 首先可能会患上生理上的职业病, 其次, 可能会给工人的心理健康带来非常大的损伤。

还有更重要的原因。2014年, 江苏昆山发生过一起震惊中外的工厂特大爆炸事故。事故发生后, 当地要求所有涉爆企业进行停产整顿, 甚至强硬地让这一类企业搬迁出去。那些没有发生爆炸的企业非常委屈, 因为迁出会造成本身的经济损失。但政府部门表示, 除非你们能够找到解决方案, 否则你们一定要走。

企业家们找到机电一体化协会, 我们给他们出了一套方案: 让自动化机器人抛光系统代替工人在工厂里工作, 这样我们的工厂就更加安全, 同时避免了伤亡和职业危害。

说到职业危害, “生命只靠一根绳子维系”的“蜘蛛人”更有发言权。由于技术标准以及安全管理的滞后, “蜘蛛

人”往往面临很多职业伤害: 长时间从事这种职业会造成比如腰间盘突出或颈椎疾病, 更令人揪心的是, 有时还会遭遇坠落伤亡事故。

2008年10月, 北京华贸中心, 3名正在从事高空作业的“蜘蛛人”突然坠落, 当场死亡; 2015年7月, 西安两名“蜘蛛人”在高空作业, 突然刮起的大风把他们刮起来, 撞到了玻璃墙面上, 当场死亡; 2016年10月, 郑州一名“蜘蛛人”正准备作业, 但是他的升降机没有固定好, 坠楼身亡, 而且这个现场之前就已经发生过一起事故, 一个蜘蛛人被下坠的吊篮砸死。

有没有一种机器人可以替代这些人去从事这些危险的高空作业? 答案是肯定的。新加坡的一家公司和南洋理工大学合作开发出一款玻璃幕墙清洁机器人, 它有摄像机和机械臂, 可以对外墙进行扫描和计算, 同时配备有喷头, 除了能用水把表面清洗干净, 还可以给墙外上颜色。来自福建厦门的刘昌臻团队的科研人员, 也研发了一种类似的幕墙清洗的机器人, 它的清洁速度比“蜘蛛人”还快。以后, 这些工作都可以请机器人来完成。

现在, 由于人力资源成本的上升, 很多工厂已经开始用工业机器人代替人, 去从事一些繁重和危险的工作。除了成本, 工厂实际上是被迫应用这些机器人——因为没有工人可以招。

有经验的工人也越来越少, 年轻人不愿意到工厂上班, 慢慢的, 我们的企业就越来越招不到人, 工资再高, 也无法留住人才。这种情况下, 我们就设计出绿色的、宽敞明亮的工厂, 去吸引年轻人来工作。他们不需要再去从事有害有毒、重复无味的劳动, 可以学一些技术去操作甚至设计、研制控制器, 让机器替我们工作。

当今, 在信息技术的带动下, 我们已经进入到数字化和智能化的社会。面对数字化和智能化的浪潮, 我们无法拒绝, 只能去适应它。未来, 我们将与机器人一起友好地协作, 而不是敌对。

(作者系中国机电一体化技术应用协会副秘书长, 本报记者赵广立根据其“我是科学家”上的演讲整理)

匠人匠心

梅刚华: “20年就干好了一件事”

■本报见习记者 赵利利

科学家的“工匠精神”是什么? 听到这个问题, 中国科学院武汉物理与数学研究所原子频标研究部主任梅刚华顿了一下, 对《中国科学报》记者说: “不知道我说得对不对, 在我看来, ‘天上不会掉馅饼’, 做科学工作心态一定要静下来, 要肯花时间专注地做好每一件事情。”

作为我国星载原子钟技术的开创者之一, 北斗系统星载原子钟主要研制者梅刚华及其团队通过不断创新探索为星载原子钟留下了中国印记, 为“北斗”装上了“中国心”。

大处着眼 小处着手

梅刚华的工作履历中, 很长一段时间都与星载原子钟紧紧联系在一起, 直到今天。

星载原子钟被称为导航卫星的“心脏”, 它的性能直接决定卫星导航系统定位和授时精度。上世纪90年代, 我国制定了北斗卫星导航系统“三步走”发展战略。梅刚华告诉《中国科学报》, 作为卫星导航系统的关键技术, 当时星载原子钟技术仅为少数西方国家所掌握, 在我国属于技术空白。

能否实现原子钟技术突破关系到我国北斗系统建设的成败。在从国外引进星载铷原子钟遭拒后, 要建成完全自主可控的卫星导航系统, 中国只能靠自己。而星载原子钟机理复杂、技术难度极大, 要实现从无到有的突破, 其难度可想而知。

1997年, 梅刚华担起了我国第一个星载原子钟预研项目的重任, 从此与北斗系统结下了不解之缘。为打破西方垄断, 让我国拥有自己的星载原子钟, 他带领团队一头扎进星载原子钟技术研究, 一干就是二十年。

“刚开始做的时候, 我们跟西方发达国家的差距有两个数量级, 在卫星

环境适应性方面连设计概念都没有, 差不多是一片空白。”梅刚华对当时的情景记忆犹新。他告诉《中国科学报》, “在那种情况下, 没有别的办法, 只能下苦功夫。”

原子钟是精密技术, 做原子钟是个精细活。梅刚华告诉《中国科学报》, 原子钟的问题非常复杂, 影响精度的因素很多, “往往一次只能解决一个问题, 如果把很多问题堆在一起一并解决, 往往事倍功半, 达不到目的。”

“因此, 做原子钟不能急功近利, 必须坐得住冷板凳, 一个个做, 一个个解决。”梅刚华说。

“天下难事必作于易, 天下大事必作于细”, 在梅刚华的工作中, 这句话的意义尤其重要。

“大处着眼, 小处着手”, “眼”和“手”在梅刚华看来有着特殊的内涵。大处着眼, 就是眼睛盯着国际前沿, 心里装着国家需求, 不计较个人得失, 坐得住冷板凳, 耐得住寂寞。而小处着手, 就是用科学严谨的态度去解决每一个问题, 迎难而上, 不找捷径, 注重细节, 精益求精。

从空白到领跑 二十年如一日

为了突破工程技术瓶颈, 日复一日、年复一年投入工作成为梅刚华及其团队的生活常态。为保证产品质量, 他们不放过任何一个技术隐患, 一个一个排查, 一个一个解决, 力求做到万无一失。

在上百次实验的基础上, 梅刚华带领研究团队通过十年的艰苦攻关, 换来了星载铷原子钟精度、小型化、寿命、可靠性和卫星环境适应性五大关键技术的全面突破。

2007年, 梅刚华团队研制出我国第一代星载铷原子钟, 计时精度为10亿分之三秒, 达到当时国际先进水平,



梅刚华(中)及其团队成员在工作。

可满足卫星导航系统1米定位精度应用需求; 产品批量装备了北斗二号卫星, 为北斗二号系统在2012年建成并投入使用发挥了关键作用。

2009年, 我国启动北斗三号全球卫星导航系统建设, 梅刚华提出研制世界上性能最好的星载铷钟, 并带领团队进行了更加深入系统的技术攻关。

梅刚华自豪地告诉《中国科学报》, 近五年来, 其团队先后研制出第二代和第三代星载铷原子钟, 每天的计时精度分别达到10亿分之一秒和100亿分之三秒。其中第二代产品批量装备了北斗三号卫星; 第三代产品则是目前世界上性能最高的铷原子钟, 可满足分米级定位需求, 也在去年底首次用于北斗三号卫星。

用不到20年的时间走完了外国人40多年走过的路, 我国星载铷钟技术实现了从无到有、由有到强的跨越。星载原子钟技术从一片空白到领跑世界, 梅刚华及其团队可谓名副其实的

纵览

我国自主研发的近红外天光背景测量仪在南极投入运行

本报讯 2月19日, 记者从中国科学技术大学(下简称“中科大”)获悉, 由该校近代物理系核探测与核电子学国家重点实验室副教授王坚带领的团队及其合作者共同研制的近红外天光背景测量仪, 目前已在南极投入运行。

据了解, 王坚团队联合该校天文系副教授朱青峰以及中国极地研究中心天文学研究室, 从2015年12月就开展了近红外天光背景测量仪的研制工作, 并根据不同红外探测器的特点, 进行了多个版本的设计和测试, 解决了微弱信号探测、高增益灵敏放大、暗流及背景噪声抑制等关键技术, 首先在2016年基于碲化镉(InSb)探测器完成了J、H、K波段的近红外天光背景测量仪, 并完成了实验室楼顶测试, 相关成果发表在国际著名的仪器杂志《科学仪器评论》上。

根据碲化镉(InGaAs)探测器在J、H、K波段上的探测优势, 研究团队在2017年基于InGaAs探测器完成了面向南极的近红外天光背景测量仪的研制, 并于2017年7月在西藏阿里观测站进行了试观测, 获得首批阿里的近红外天光背景数据。

在此基础上, 2018年, 研究团队针对南极极低温度、高海拔、低气压、电力困难等极端条件, 对近红外天光背景测量仪的光学、低噪声读出电子学、结构和电控、自动观测等进行了相应改进, 并于2018年11月随“雪龙”号科考船前往南极, 2019年1月23日在南极昆仑站安装成功并投入运行。(赵广立)

华中科大脉冲强磁场入选“2018湖北十大科技事件”

本报讯 华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心创造64T脉冲平顶磁场强度世界纪录, 结束了我国强磁场下科研长期依赖国外装置的历史。日前, 该成果入选省科技厅公布的2018年湖北十大科技事件。

“这项重大成果的取得, 得益于国家在我省实施的大科学装置建设。”2月15日, 该中心主任李亮介绍说, 迄今, 全国已建成或在建的大科学装置不到50个, 湖北省现有的2个均由华中科大承建。

据了解, 2007年开建的华中科大脉冲强磁场实验装置, 是经国家发改委批复立项、教育部直属高校承建的首个国家大科学装置, 于2014年建成。如今, 该装置脉冲磁场强度达到90.6T(T为“特斯拉”, 1特斯拉相当于地球磁感应的2万倍), 使我国成为继美国、德国后第三个突破90T大关的国家。

李亮介绍说, 该中心对外开放4年来, 已为国内外69家科研单位提供了904项科学服务。利用该装置, 北京大学研究团队发现了对数周期量子振荡现象, 被誉为“近90年以来量子振荡领域最为重要的发现之一”。(赵鲁)