航空智能制造创新实践

面向数字化装配与集成测试产线的孪生系统助力企业制造管控升级

随着数字化转型的推进，航空制造企业的数字化、信息化程度得到大幅提升，ERP、MES、CAD、CAM、MDC和PDM等系统已经普遍应用于飞机产品的研发、设计及制造的各个环节。但是面对航空装备复杂制造场景下制造过程管控维度多、制造资源组成复杂性高、质量问题跟踪定位难度大等问题，传统制造模式下以人工经验为主的决策控制手段，已经难以适应当前航空制造智能化转型发展的要求，也难以满足航空智能制造生产模式下复杂制造系统“动态感知、实时分析、自主决策、精准执行”的需求。

数字孪生的出现使上述问题得以解决。在航空制造领域，数字孪生具有极大的应用潜力。①航空产品的设计研发。通过建立飞行器的数字孪生体，可以在各部件被实际加工出来之前，对其进行虚拟数字测试与验证，及时发现设计缺陷并加以修改，避免反复迭代设计所带来的高昂成本和漫长周期。②航空产品的制造装配。在进行飞行器各部件的实际生产制造时，建立飞行器及其相应生产线的数字孪生体，可以跟踪其加工状态，并通过合理配置资源减小停机时间，从而提高生产效率，降低生产成本。③航空产品的服务保障。利用飞行器的数字孪生体，可以实时监测结构的损伤状态，并结合智能算法实现模型的动态更新，提高剩余寿命的预测能力，进而指导更改任务计划、优化维护调度、提高管理效能。

航空工业金航数码利用数字孪生作为解决航空企业智能制造信息物理融合难题和践行智能制造理念与目标的关键使能技术，适配航空智能制造管理要求，推出“面向数字化装配与集成测试产线的孪生系统”解决方案，该方案2022年荣获“第二届智能制造创新大赛”智能制造软件系统和平台创新赛道三等奖以及人气奖。

顶层设计理念先行

构建数字孪生场景体系，按照总场景－主题场景－生产单元实现由宏观整体管控到微观单元操作的全场景孪生建模、映射与交互。

总场景规划：按照场景设计原则，根据企业的需求制定企业总体场景中的具体展示业务域、主体、内容、转换关系、交互模式；

主题场景分解：主题场景根据客户需求定制，设置以产线装配孪生、物流配送孪生、质量管理孪生、测试中心孪生等，对某一主题管理的情况进行过程数字化场景设计；

生产单元设计：依据每个主题中表达的元素，确定相关模型形成单元级的管控中心，对单元中的人机料环进行精细化孪生应用。

在数字孪生场景抽取基础之上，构建数字孪生系统总体架构，依托总体业务框架划分，通过金航数码独立自主研发的V6平台，从底层的数据集成、数据管理、三维孪生管理到应用场景，实现孪生驱动数据抽取与管理、孪生模型建模管理、驱动数据与模型适配管理、孪生数据高阶应用管理。利用虚拟现实、全息投影、AI算法等技术在平板、大屏、便携设备、头显、智能眼镜等载体实现对生产制造过程的孪生展示和虚实空间的动态互动。

技术创新面向应用

（1）车间、产线、单元多级场景孪生

整合企业现有信息系统和软硬件设施，以MES、ERP、车间信息协同平台为信息源，并通过对生产过程数据、设备、传感器信息的实时采集、分析，实现对生产、设备、物流信息构建车间、产线、单元的多维度、分层级、动态化管控。

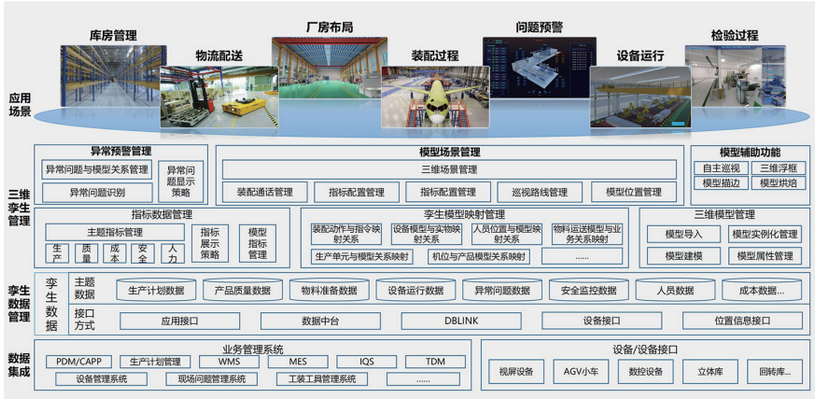


图2 孪生系统总体架构。

（2）装配动作、产品及物料移动控制

建立可配置调控的装配动作管理功能，能够实现对连贯装配动作的分段管理，对装配单元装配动作的复现，包括装配过程中所用到的工装、设备、物料等模型对象的展现。基于厂房各个装配生产单元的布局，可实现对产品位置移动、大部件运送的过程还原，实现装配产品从入厂到出厂整个过程的孪生展示，能够较为清晰地展现产品的装配总体流程。

（3）硬件、软件、状态、问题管理联动

通过与安灯系统的硬件以及异常问题处理系统软件集成，基于厂房机位、设备机床的实际布局，还原安灯报警设备的模型部署信息，达到现实与孪生体交互映射与操作，从而实现问题上报、异常处理、跟踪、闭环的全生命周期处理。

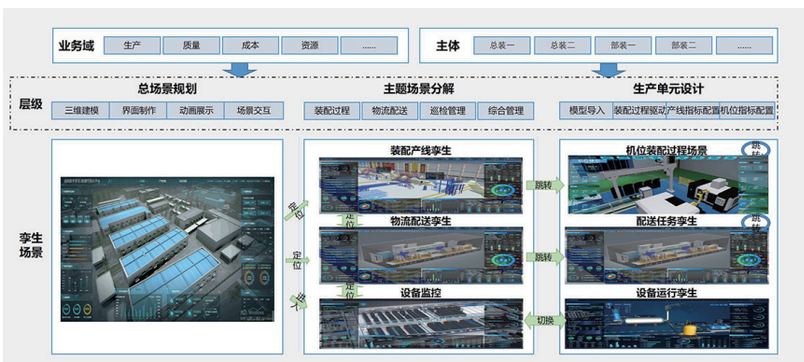


图1 数字孪生场景图。

（4）基于三维图形算法构建轻量化模型

通过三维图形算法，将模型内部的线面删除，对表面的线面进行自动减面操作，使模型在满足分辨率需要的情况下极大地缩减体积，实现模型大小跨数量级缩减，大大加快模型加载速度，减轻显存压力。

（5）可操作模型实现部段件分解和组合动态展示

通过对数字装配产线及产品模型的拆解和组合，利用可拆解模型的组成结构，对部件装配过程进行分解组合展示，动态还原部件的组合步骤，实现装配过程模拟预演与实际装配结果偏差校验。

实施成效

面向数字化装配和测试产线的孪生系统，应用于航空工业某主机厂某型号的科研试制管理孪生实现，航空工业某主机厂新厂房、新产线的装配制造与测试孪生管控，航空工业某主机厂产线装配制造过程孪生管控。

（1）生产场景可视化

通过三维可视化技术进行精细化建模，打造整个厂区环境，实现园区、车间、生产流水线、设备的逐级可视，同时实现跨业务域、跨主体、跨层级融合的数据现象级展示。通过孪生动画等手段增强展示效果，提高人员在现场快速提取关键信息的能力，缩短问题处理周期，提升生产管控效率。

（2）数字孪生车间、产线、机位单元级智能管控

通过数字孪生技术，实现对以生产装配产线、机位为单元的生产制造过程的数字孪生，形成以装配单元为对象的小型生产管控中心，实时复现实际生产过程，从而对整个过程进行追踪和管控，实现单元级的生产管控数字孪生，一次加工合格率提高10%。

（3）提升生产管控辅助决策效率

根据数字孪生系统动态感知的现场作业进度、人员状况、资源利用、生产线负荷等数据，实时分析生产进度和节拍的偏离情况，自主决策是否进行资源重新配置优化，指导生产现场的资源优化与生产作业的精准执行，实现脉动生产线的动态平衡和持续优化。

图3 总装生产线孪生示意图。

结合MES、库存管理等业务系统和AGV车辆信息，进行路径优化算法结果的模拟仿真，验证物料配送算法结果的合理性，通过对物料配送路径优化和孪生模拟预演，实现物料的准时、快速、精确配送，使物流配送效率提高30%。

数字化监测以检测模型和设备为输入，采集MES和质量系统信息，完成模拟检测过程、监测培训和仿真，实现所见即所得的问题处理，并且对异常问题分层、分级全过程追踪管控，问题发现及时率提升45%，问题闭环处理时间缩短20%。

金航数码针对航空企业智能制造需求构建数字孪生整体解决方案，助力航空制造企业管控升级。面向数字化装配和测试产线的孪生系统结合航空制造业多品种、小批量、离散型的行业特点，以MES、ERP等为信息源，通过对生产过程数据、设备、传感器信息的实时采集、分析，构建数字孪生车间，可实现对生产、设备、物流信息的多维度分层级管控，物理车间与虚拟车间中人、机、物、环境等全要素相互映射、实时交互和高效协同；实现基于数字孪生的物理实体映射、诊断预测、智能决策优化、实体全生命周期跟踪、回溯与管理，满足航空制造产品周期、数量和质量及企业数字化转型要求。

（航空智能制造创新中心和航空工业信息技术中心联合供稿）

碳基量子技术新研究

量子技术前景广阔，但也充满了复杂性。预计在未来几十年里，量子技术将带来一系列技术进步，为我们提供更紧凑、更精确的传感器，更强大、更安全的通信网络，以及更大容量的计算机。这些进步将超越现有计算技术的能力，有助于快速开发新药物和新材料、控制金融市场和加强天气预报。

要实现这些优势，我们需要所谓的量子材料，它们能显示出显著的量子物理效应。石墨烯就是这样一种材料。这种碳的二维结构形式具有不同寻常的物理特性，例如超高的拉伸强度、导热性和导电性，以及某些量子效应。进一步限制这种二维材料，例如使其具有带状形状，就会产生一系列可控的量子效应。

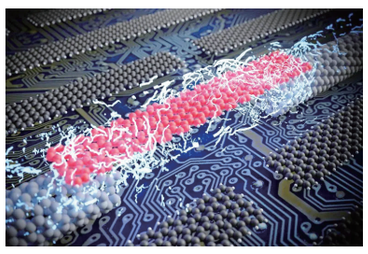
这正是Mickael Perrin团队在工作中所利用的：几年来，在Michel Calame的领导下，瑞士联邦材料科学与技术实验室（Empa）纳米界面传输实验室的科学家们一直在开展石墨烯纳米带的研究。Perrin解释说：“石墨烯纳米带甚至比石墨烯本身更令人着迷。通过改变石墨烯纳米带的长度和宽度、边缘形状以及添加其他原子，可以赋予它们各种电学、磁学和光学特性。”

极致精确——精确到单个原子

研究前景广阔的纳米带并非易事。纳米带越窄，其量子特性就越明显，但同时也更难同时获得单个纳米带。要了解这种量子材料的独特特性和可能的应用，并将它们与集体效应区分开来，就必须这样做。

在最近发表在《自然－电子学》（Nature Electronics）杂志上的一项新研究中，Perrin和Empa研究员张健以及一个国际团队首次成功地接触到了单个长的、原子精度高的石墨烯纳米带。张建说：“仅有9个碳原子宽的石墨烯纳米带宽度仅为1纳米。为了确保只接触到一条纳米带，研究人员采用了类似尺寸的电极，他们使用的碳纳米管直径也只有1纳米。”

对于如此精细的实验来说，精度是关键。首先是原材料。研究人员通过与Roman Fasel领导的实验室的长期紧密合作，获得了石墨烯纳米带。“Roman Fasel和他的团队长期从事石墨烯纳米带的研究工作，可以从单个前驱体分子中以原子精度合成多种不同类型的石墨烯纳米带。”Perrin解释说。前驱体分子来自德国马克斯－普朗克聚合物研究所。



Empa研究人员及其国际合作者成功地将碳纳米管电极连接到单个原子级精确纳米带上。

正如推动技术进步通常所要求的那样，跨学科是关键，不同的国际研究小组都参与其中，各自发挥专长：碳纳米管是由北京大学的一个研究小组培育出来的，为了解释研究结果，Empa的研究人员与华威大学的计算科学家进行了合作。

用纳米管接触单个碳带给研究人员带来了巨大的挑战。张健解释说：“碳纳米管和石墨烯纳米带分别生长在不同的基底上。首先，纳米管需要转移到设备基底上，并与金属电极接触。然后，我们用高分辨率电子束光刻技术对其进行切割，将其分成两个电极。最后，我们将纳米带转移到同一基板上。精度是关键，即使是基板最轻微的旋转也会大大降低成功接触的概率。能够使用位于吕施里孔的IBM研究院宾尼格和罗赫尔纳米技术中心的高质量基础设施，对于测试和实施这项技术至关重要。”

从计算机到能量转换器

科学家们通过电荷传输测量确认了实验的成功。由于量子效应通常在低温下更为明显，因此在接近绝对零度的高真空环境下进行了测量。但他们很快又补充了石墨烯纳米带的另一个特别有前景的特性“由于这些纳米带的尺寸极小，我们预计它们的量子效应将非常强大，甚至在室温下也能观察到。”研究人员说，这将使他们能够设计和运行主动利用量子效应的芯片，而无需复杂的冷却基础设施。

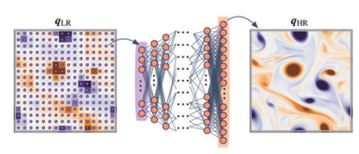
参与该项目的华威大学教授Hatef Sadeghi补充说：“这个项目能够实现单个纳米带器件，不仅可以研究基本量子效应，如电子和声子在纳米尺度上的行为方式，还可以利用这种效应在量子开关、量子传感和量子能量转换等方面进行应用。”

石墨烯纳米带尚未准备好投入商业应用，仍有许多研究工作要做。在后续研究中，张健和Perrin的目标是在单个纳米带上操纵不同的量子态。此外，他们还计划在串联的两条纳米带的基础上创建设备，形成所谓的双量子点。这样的电路可以作为量子计算机中最小的信息单位——量子比特。此外，Perrin最近还获得了欧洲研究理事会（ERC）的启动资助（Starting Grant）和瑞士国家科学基金会（SNSF）的教授奖学金（Sccellenza Professorial Fellowship），他计划将纳米带用作高效能源转换器。在苏黎世联邦理工学院的演讲中，他描绘了这样一个世界：我们可以利用温差发电，同时几乎不会损失任何热能——这将是一个真正地质的飞跃。（逸文）

机器学习在流体超分辨率重建领域的应用

美国加州大学和日本庆应义塾大学合作，研究了机器学习在流体超分辨率重建领域的应用。

目前超分辨率重建问题主要利用计算机视觉技术实现，如插值、高频传输等，但在高波数重建中效果不佳。机器学习已用于图像超分辨率重建，可建立多种条件下的输入和输出间的非线性关系。在流体力学中，机器学习技术也可以用于低分辨率流体图像的超分辨率重建。这种重建可通过监督、半监督、无监督方式实现，其中监督学习方式最常用。监督学习中，使用一组低分辨率以及对应的高分辨率流体图像为训练数据，训练卷积神经网络，从而对新输入的低分辨率流体图像进行超分辨率重建。这种方法可实现数据压缩，即将高分辨率数据压缩为低分辨率数据存储。监督超分辨率技术还可获取小规模、大规模涡旋结构间关系，实现由小空间的温度场重建城市温度场。半监督/无监督超分辨率技术使用少量标记数据或大量无标记数据训练卷积神经网络和生成对抗网络，可实现湍流场重建。超分辨率重建面临的问题包括：监督学习所需的标记数据不足，研究集中于特定流体问题，通用性不足。



这项研究概述了机器学习在流体超分辨率重建领域的应用，提出了存在的问题，有望促进该技术发展。

（周智伟）

芝麻大小的雷达可感知比头发丝小100倍的运动

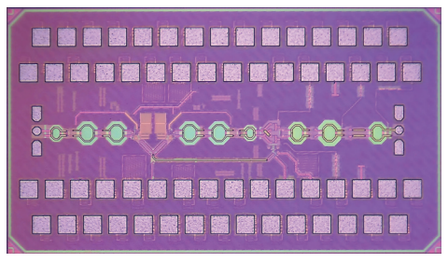
加州大学戴维斯分校（UC Davis）的工程师开发了一种新型雷达传感器，可以捕捉到人类头发丝宽度100分之一的运动。更好的是，传感器本身只有芝麻粒大小，而且节能。

该系统基于毫米波雷达技术，毫米波雷达技术是短程雷达传感器，顾名思义，在微波和红外线之间的毫米波频率上运行。这些传感器可以准确地检测微观物体的极其微小的运动，有可能在安全、生物识别监测和盲人引导等领域得到应用。然而，它们存在功耗和过滤背景噪声的问题。

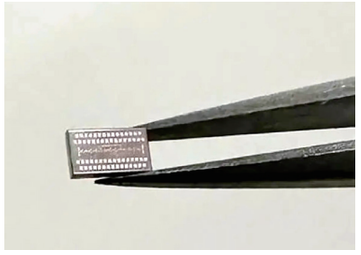
加州大学戴维斯分校团队的设备旨在解决这两个问题。通过调整传感器本身的拓扑结构，团队能够对其进行调整，以从测量中减去不需要的噪声。这使得传感器能够检测到仅为人类头发宽度的百分之一的目标位置变化，并检测小至头发丝千分之一的振动。

与具有类似精度的其他传感器不同，该传感器要小得多，测量结果约为芝麻粒大小。同时，其设计提高了能源效率，并且相对容易生产。

研究人员表示，该传感器旨在通过跟踪叶子厚度的微小变化（水合作用或脱水的标志）来检测植物的干旱程度。拥有一套这些低成本传感器对于农业至关重要。该团队表示，其他潜在用途包括监测建筑物的结构完整性，或更准确的虚拟现实系统。



原型雷达传感器的拓扑结构使其能够有效滤除背景噪声。



研究人员计划继续完善他们的设计，同时允许其他科学家进行实验。该研究发表在《IEEE固态电路杂志》上。（辛文）

《中国航空报》社有限公司出版 地址：北京市东城区交道口南大街67号 邮政编码：100712 社长：孙伟 总编：魏轶群 总编室主任：袁新立 010-58354180 广告/发行部电话：010-58354176 传真：010-58354167
投稿邮箱：news@cannews.com.cn 每周二、五出版 全年定价288元 广告经营许可证：京东工商广字第0113号 承印：新华社印务有限责任公司 厂址：北京市西城区宣武门西大街97号