

多传感器融合技术在复杂工业环境检测系统中的精度提升研究

刘兵

浙江煦美智能科技有限公司，浙江杭州，310000；

摘要：在复杂工业环境中，由于设备运行条件多变、检测对象种类繁多以及环境干扰因素强烈，单一传感器往往难以满足高精度、强鲁棒性的检测需求。多传感器融合技术作为一种将多源异构数据综合处理以增强信息完整性与可靠性的手段，已成为提升工业检测系统性能的重要方向。本文围绕多传感器融合在复杂工业环境下的应用展开研究，深入探讨了多源信息获取的协同机制、数据融合算法的优化策略以及融合系统的鲁棒性增强方法。通过理论分析与实践案例结合，验证了多传感器融合在故障诊断、过程监控与异常检测等工业应用中的显著精度提升作用，并提出了一种面向实际部署的融合架构优化路径。研究表明，合理的传感器布局、适应性的融合算法与高效的数据交互机制是构建高性能工业检测系统的关键。

关键词：多传感器融合；工业检测；精度提升；异构数据处理；信息鲁棒性；系统优化

DOI：10.69979/3041-0673.25.10.049

1 复杂工业环境下的多源感知问题与融合需求

1.1 工业环境感知的复杂性与单一传感器局限

复杂的工业环境呈现出高温高压的状况，还伴有高湿高噪的特点，同时存在强电磁干扰，并且其运行条件会频繁发生变化等。这些环境方面的诸多因素常常会给传感器的数据采集工作带来极为严重的干扰，进一步对检测系统的可靠性以及精度产生影响。单个的传感器由于自身物理原理以及感知能力存在一定限制，在采集某些特定类型的数据时，能够呈现出较为明显的效果，不过在对设备的运行状态进行全面感知或者面对复杂事件的时候，就天然地存在着一些不足之处。就拿红外传感器来说，它对热源的变化相当敏感，然而却容易受到遮挡方面的影响；振动传感器虽说比较适合用于故障预警工作，可对于非机械故障却完全无能为力；至于图像传感器，在强光或者粉尘环境下，其性能也会出现衰减的情况。所以说，仅仅依靠单一的感知手段，往往是没办法适应工业系统在全天候、多场景以及多任务这样的条件下所产生的动态感知需求的。基于此，有必要去构建起一种以多传感器协同感知作为基础的系统结构，以此来提升针对环境多维信息的覆盖程度以及检测的准确程度。

1.2 多源数据之间的异构性与互补性分析

多传感器融合的关键之处就在于对来自不同传感器的数据加以处理并进行整合，而这些数据一般都有着颇为明显的异构特点，具体表现为数据的类型是不一样

的，采样的频率也不一致，时间戳无法做到同步，空间位置存在着偏差，而且信息的粒度同样也不相同等情况。在工业的场景当中，温度传感器以及压力传感器会提供那种连续的模拟信号，摄像头还有激光传感器则会产生结构化或者是图像化的相关信息，而 RFID 或者是编码器又有可能会提供离散的事件数据。要是这些异构的数据没办法得到有效的对齐以及融合的话，那么就会造成信息出现冲突或者是导致数据产生冗余的情况，这样一来反而会使系统的整体性能有所降低。不过在与此同时，不同模态的数据往往也有着天然的互补性质，在检测不同维度特征的时候能够起到互证以及补充的作用。究竟该如何去构建一个统一的特征表达框架，进而实现跨模态的对齐以及动态信息的融合，这已然成为了在融合系统设计过程当中的的一个极为关键的挑战。只有真正实现了从物理层一直到语义层的高效互操作，才可以让感知系统从单纯的数据采集阶段提升到具备认知智能的层面。

1.3 高精度工业检测的融合感知需求

工业检测对于精度方面的要求，相比通用场景那可是要高出许多的。通常情况下，它得在微秒级这么短的时间里就完成响应动作，在毫米级这样的空间范围内实现精准定位，甚至要在纳级这样极其微小的级别上去识别材料所存在的缺陷。要知道，任何一点点感知上的偏差，都很有可能引发生产故障，或者造成安全事故。所以说，传感器融合可不能仅仅局限于解决信息方面的覆盖问题，还得着重去提升整个系统的判别能力以及抗干

扰的能力才行。就拿故障早期识别、工业设备寿命预测、还有复杂流程监控等这些任务来讲,融合感知系统是能够借助对多源数据展开协同处理的方式,去捕捉到那些十分微弱的异常信号的,如此一来,就可以实现比单一传感器更早一些、也更准一些的检测效果。比如说在制造线上的多通道视觉检测与红外温控协同系统,它在识别表面缺陷的同时,还能够检测出热传导方面存在的异常情况,这可就明显地提升了综合识别的精度。而这种对于‘高通量、高保真、高鲁棒’信息融合的需求,实实在在地推动着融合感知技术朝着更加智能、更加精准、也更加稳定的方向去发展。

2 多传感器数据融合算法的优化路径

2.1 低层次数据级融合算法分析

数据级融合属于多传感器融合里最基础的形式,它会直接把原始传感器所产生的数据拿来组合操作,同时还要完成对齐方面的处理,进而构建起一个可供后续展开分析的联合数据空间。这一方式在实时性以及信息完整性这两方面有着比较高的要求,常常会被应用到那些数据一致性表现得很强、同步性也很不错的传感器组合当中,就好比温度传感器和压力传感器这一对,又或者是加速度传感器与陀螺仪这样的组合。常见的数据级融合算法有卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波以及自适应滤波等,这些算法是借助加权平均或者贝叶斯估计的方法来达成多源数据的误差修正,并且实现对数据的最优估计。不过,该方法对数据噪声是比较敏感的,而且当不同模态之间的数据结构存在着较大差异的时候,就很难把自身的优势发挥出来了。在工业系统里面,数据级融合这种方式适用于对实时响应有着极高要求的一些场景,像是飞行器姿态控制、旋转机械稳定性检测之类的情况,但是它并不适合异构模态融合,所以得和更高层级的融合方法搭配起来使用,这样才能让系统的整体性能得以提升。

2.2 特征级融合中的深度表示学习方法

和直接融合原始数据比起来,特征级融合先是针对各模态数据开展特征提取以及表示学习方面的工作,之后再对多源特征加以整合,以此达成信息融合的目的。这种方法能够针对不同的数据类型,运用专门的提取器去处理,像是用卷积神经网络(CNN)来处理图像,利用长短时记忆网络(LSTM)处理时序信号,借助嵌入编码器处理离散标签等,如此一来便能够实现模态之间的对齐以及抽象表达。在融合策略这块,研究者提出了像特征拼接、特征加权、注意力融合、图神经网络融合等不少的方法,其作用是提升融合特征的判别力以及鲁棒

性。深度表示学习还进一步通过自监督对比学习、协同注意力机制等途径来强化模态间的语义协同,这就使得融合系统不但融合了低级的物理信号,而且还融合了高层的语义理解。特征级融合在工业故障诊断、图像识别以及行为预测这些方面展现出了更高的灵活性与可扩展性,已然成为当前多传感器融合算法研究的主流走向。

2.3 决策级融合与动态协同推理机制

在融合系统到了最终做决策的时候,决策级融合这种方法会把各个传感器自己单独做出的判断结果加以综合起来,这样就能输出系统最终的判断内容了。这种方法在各传感器功能相对来说比较独立,或者在结构层面上不太容易去做底层融合的那些场景里是挺适用的。就好比在复杂的工业系统当中,不同的传感器或者子系统有可能是由不同的厂商去进行部署的,而且数据接口是封闭着的,计算资源也是处于隔离状态,在这样的情况下,决策级融合就变成了一种实际能行得通的方案了。像加权投票机制、置信度融合、贝叶斯推理网络、模糊逻辑推理系统等等这些都属于典型的方法,它们是通过去设定不一样的权重或者规则,来对多个判断结果进行融合操作的,如此一来,系统输出的稳定性以及合理性就能够有所提高了。近些年来,随着边缘计算不断地发展起来,动态协同推理机制渐渐成了决策级融合方面的新潮流趋势,具体来说,就是借助边端协同计算这样的框架,依据实时的数据质量情况、网络延迟的状况以及系统负载的情况,动态地去调整融合的路径以及推理的结构,进而实现那种具有弹性并且能够被控制的系统部署方式。这些方法更是进一步地提升了融合系统在工业现场那种复杂条件之下的适应能力以及响应的效率。

3 融合系统的工业部署与工程优化

3.1 传感器选型与部署结构的优化策略

在实际的工业检测系统当中,融合系统所呈现出来的性能状况,并非仅仅取决于算法的设计环节,实际上,它和前期所开展的传感器选型工作以及部署结构的安排,都存在着极为紧密的关联。要知道,合理规划出的传感器布局方案,可是实现高效进行信息采集以及达成可靠融合效果的重要前提条件呀。在那种较为复杂的工业环境之下,进行传感器选型的时候,必须得充分周全地去考量诸多方面的因素,像环境的适应能力、感知所涉及的维度、通信方面的协议、功耗的控制情形以及安装是否便捷等这些方面。就拿高温环境来举例说明,在这样的环境下,那就应当去选用具备耐热特性的红外传感器或者超声传感器;要是处于高噪声的车间之中,那么优先考虑使用抗干扰性能比较强的电磁式设备或者

光电式设备,才是较为妥当的做法。

与此同时,各类不同类型的传感器在空间上的布置务必要依据检测目标所处的位置、其运动的轨迹以及空间结构等方面来做合理的优化处理,切不可因为传感器之间存在相互遮挡的情况、出现监测死角又或者是受到信号干扰等因素而致使感知方面出现盲区。除此之外,借助于结构化的布设方式,像是采用环状布置这种形式,亦或是做好冗余备份工作,再或者是进行分层部署等,如此这般便能够增强整个系统的鲁棒性,从而有效降低由于个别节点发生故障而给系统带来的风险。在融合系统刚开始进行设计的阶段就引入工程优化方面的思维,这对于提升整体感知网络的稳定性以及可维护性是很有帮助的,能够为后续融合算法得以高效执行奠定一个颇为良好的基础。

3.2 融合系统在工业场景中的部署挑战

虽说多传感器融合技术从理论层面来讲,有着不错的适应性以及在精度提升方面存在一定潜力,不过在真正落实到工业部署的实际操作进程之中,却依旧碰到了不少难题。首当其冲的便是数据同步方面的问题,由于不同传感器的采样率并非完全一致,再加上网络通信时会有延迟情况出现,甚至还可能发生丢包现象,这些情况常常使得时间上难以做到准确对齐,进而对融合结果的精确程度产生影响。其次,系统集成的难度颇高,多模态设备的接口标准并不统一,其驱动软件也存在不兼容的状况,而且采集协议方面的差异也相当严重,如此一来便造成了集成开发所需的周期变得很长,同时成本也居高不下。与此同时,在工业场景当中,往往还存在着诸如电磁干扰比较强烈、结构空间受到限制、对数据安全有着较高要求等这样一些特殊的条件,这些条件对融合系统的稳定性、抗干扰的能力以及实时性都提出了更为严苛的要求。所以说,融合系统在进行工程化部署的时候,务必要将软硬件的协同优化、通信网络的重新构建以及系统的自诊断机制相互结合起来,只有这样才能保证其在高度复杂的环境之下可以长期保持稳定运行的状态。

3.3 工业智能融合平台的构建路径

为了能够更加高效地达成多传感器融合系统集成以及应用的目标,去构建一个面向工业场景的智能融合平台,这已然变成了行业发展的一种趋向。该平台一般来说会包含像数据采集、实时开展通信、进行数据处理、对融合算法加以调度、设置可视化界面以及实现远程管理等诸多的功能模块,并且凭借着模块化、能够进行配置的系统架构来让平台的通用性以及拓展性获得提升。

在软件这个层面上,可以引入面向服务的体系结构也就是 SOA 的设计方式,把各类传感器的数据都封装成标准的服务接口,以此来达成跨平台集成并且实现统一调度的效果;在硬件层面,则可以去构建那种以边缘计算网关作为核心的分布式融合架构,进而实现本地的预处理以及和云端的协同推理。在算法这方面,可以去设计一个融合算法库,对不同工业任务的快速切换以及适配给予支持,从而提升算法复用的效率。

4 结语

多传感器融合作为智能检测系统发展的关键技术之一,正在深刻改变传统工业检测模式。本文从复杂工业环境下多源感知的实际需求出发,系统分析了多模态数据的异构性与互补性,探讨了当前主流的数据级、特征级与决策级融合算法,并重点分析了融合系统在工业部署中的选型策略、结构优化与平台构建问题。研究表明,融合技术在提高检测系统精度、增强信息鲁棒性、拓展适应场景等方面具备显著优势,特别是在多源数据协同处理与动态推理能力方面,已展现出广阔的应用前景。然而,多传感器融合在工程实践中仍面临数据同步、接口标准、系统集成与运维管理等多方面挑战,未来需进一步从系统工程、算法模型与智能平台三个层面加强协同创新。

参考文献

- [1] 张香竹, 张立家, 宋逸凡, 等. 基于深度学习的无人机单目视觉避障算法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版). 2022, 50(1). DOI: 10.12141/j.issn.1000-565X.210096.
- [2] 郑欣悦, 赖际舟, 吕品, 等. 基于红外视觉/激光雷达融合的目标识别与定位方法[J]. 导航定位与授时. 2021, (3). DOI: 10.19306/j.cnki.2095-8110.2021.03.005.
- [3] 刘明德, 王江. 基于双目视觉的药房机器人局部避障控制系统设计[J]. 现代电子技术. 2021, (18). DOI: 10.16652/j.issn.1004-373x.2021.18.038.
- [4] 成怡, 郑腾龙. 深度学习的无人机双目视觉避障研究[J]. 电光与控制. 2021, (10). DOI: 10.3969/j.issn.1671-637X.2021.10.007.
- [5] 王海霞, 吴清锋, 吴相彬, 等. 多传感器融合在机器人位置感知中的应用研究[J]. 机电工程技术. 2020, (12). DOI: 10.3969/j.issn.1009-9492.2020.12.026.
- [6] 肖铮. 基于BP神经网络的工控系统入侵检测[J]. 山东工业技术. 2020, (1).