

多媒体数据在工业物联网中的传输效率与安全机制研究

赵 健

杭州海康威视数字技术股份有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：工业物联网中多媒体数据传输面临效率与安全双重挑战。本文先分析传输核心制约因素，包括传输特性、链路影响及数据自身特性。接着探讨传输效率优化方法，如数据压缩、路由优化和资源动态分配。随后设计安全机制，涵盖加密、身份认证和数据完整性保护。还提出传输效率与安全机制的协同适配策略，通过协同约束分析、适配工业场景调控及动态调整机制，实现多媒体数据在工业物联网中高效安全传输。

关键词：工业物联网；多媒体数据传输；传输效率；安全机制；协同适配

引言：工业物联网的快速发展，让多媒体数据在工业生产中的应用愈发广泛。从生产监控到质量检测，从设备维护到远程协作，多媒体数据发挥着关键作用。然而，工业环境的复杂性和特殊性，给多媒体数据传输带来诸多难题。一方面，工业生产对实时性和可靠性要求极高，需要数据快速准确传输；另一方面，数据安全至关重要，一旦泄露或被篡改，可能引发严重后果。因此，研究工业物联网中多媒体数据传输效率与安全机制具有重要的现实意义。

1 工业物联网中多媒体数据传输的核心制约因素

1.1 工业物联网多媒体数据的传输特性

工业物联网环境下，多媒体数据传输呈现出独特且复杂的特性。工业场景对实时性要求极为严苛，众多生产环节依赖多媒体数据即时反馈来做出决策^[1]。例如，在自动化生产线上，通过摄像头采集的产品图像数据需迅速传输至控制系统，以便及时检测产品缺陷并调整生产参数。若传输延迟，可能导致大量不合格产品产生，影响生产效率与质量。工业物联网中的多媒体数据传输还具备高可靠性需求。生产过程中的关键信息，如设备运行状态的视频监控数据，必须准确无误地传输至监控中心。一旦数据在传输中出现丢失或错误，管理人员将无法获取真实设备状态，进而无法及时采取维护措施，可能引发设备故障甚至生产事故。

1.2 传输链路对多媒体数据传输的影响

传输链路是工业物联网中多媒体数据传输的物理通道，其性能直接制约数据传输效果。工业环境中存在大量电磁干扰源，如高压设备、变频器等，这些干扰会破坏传输链路中的信号完整性，导致数据传输错误或丢失。尤其是在无线传输链路中，电磁干扰的影响更为显著，可能使无线信号强度减弱、频率偏移，严重影响多媒体数据的稳定传输。传输链路的带宽也是关键因素。

工业物联网中多媒体数据量巨大，高分辨率视频、音频等数据需要较高的带宽支持。若传输链路带宽不足，数据传输将出现拥塞，导致传输延迟增加，甚至无法满足实时性要求。此外，链路的稳定性还受工业现场温度、湿度等环境因素影响，进一步加剧了传输链路对多媒体数据传输的制约。

1.3 多媒体数据自身特性带来的传输制约

多媒体数据本身具有数据量大的特点。与传统的文本、数值数据相比，图像、视频等多媒体数据包含丰富的信息，需要更多的存储空间和传输带宽。在工业物联网中，大量多媒体数据的传输会占用大量网络资源，可能导致网络拥塞，影响其他数据的正常传输。多媒体数据对传输质量要求较高。图像数据要求高分辨率、低失真，视频数据要求高帧率、流畅播放。在传输过程中，任何微小的数据丢失或错误都可能导致图像模糊、视频卡顿等问题，影响对工业场景的准确监控与分析。因此，如何保证多媒体数据在传输过程中的质量，是工业物联网面临的重要挑战。不同类型多媒体数据的特性差异及传输制约各不相同，具体对比如表1所示。

表1

多媒体数据类型	核心自身特性	主要传输制约
图像数据	高分辨率、信息密度高，存在冗余信息	占用带宽大，易因数据丢失导致图像模糊、失真
视频数据	高帧率、连续帧关联，数据量极大	对带宽和实时性要求极高，易出现卡顿、帧丢失
音频数据	时序性强，对连续性要求高	易受干扰导致杂音、断音，影响指令传输准确性

2 工业物联网多媒体数据传输效率优化方法

2.1 多媒体数据压缩传输技术

在工业物联网场景中，多媒体数据量往往极为庞大，这给数据传输带来了巨大压力。为提升传输效率，多媒体数据压缩传输技术成为关键手段。图像数据在工

业监控、质量检测等环节应用广泛,其包含大量冗余信息。通过有损压缩算法,可在保证一定图像质量的前提下,去除这些冗余,大幅减少数据量。例如,针对工业场景中相对固定的背景,可采用背景差分等方法,仅传输变化部分的信息,降低传输数据规模。视频数据在工业物联网里同样占据重要地位,如设备运行状态的视频监测。对于视频数据,可运用帧间压缩技术,利用相邻帧之间的相关性,仅对帧间差异部分进行编码传输。

2.2 工业物联网传输路由优化策略

工业物联网中设备分布广泛且拓扑结构复杂,合理的传输路由对提升多媒体数据传输效率至关重要。传统路由算法往往难以适应工业物联网的动态变化特性,因此需要采用智能路由优化策略。基于网络状态感知的路由算法,通过实时监测网络中的链路质量、带宽利用率、节点负载等参数,为多媒体数据选择最优传输路径。当某条链路出现拥塞或故障时,能迅速调整路由,避免数据传输中断或延迟。考虑工业生产流程的路由优化也不容忽视。根据不同生产环节对多媒体数据的实时性要求,为数据分配不同优先级。对于实时性要求极高的设备状态监测视频数据,优先选择传输延迟低、可靠性高的路径;而对于实时性要求相对较低的历史数据回传,可选择成本较低、带宽利用率较低的路径,以此提高整体传输效率。

2.3 传输资源动态分配方法

工业物联网中多媒体数据传输需求具有动态性和不确定性,固定分配传输资源难以满足实际需求。传输资源动态分配方法可根据实时传输需求和网络状态,灵活调整资源分配。采用基于流量预测的动态分配策略,通过对历史传输数据的分析,预测未来一段时间内不同区域、不同类型多媒体数据的传输量,提前分配相应的带宽、存储等资源。引入竞争机制实现资源动态分配也是一种有效方式^[2]。多个数据传输任务竞争有限的传输资源,根据任务优先级、数据量大小、实时性要求等因素,为任务分配不同比例的资源。对于紧急且重要的多媒体数据传输任务,给予更多资源保障其快速传输;对于普通任务,则合理分配剩余资源,确保整体传输系统的高效运行,提升工业物联网中多媒体数据的传输效率。

3 工业物联网多媒体数据传输安全机制设计

3.1 多媒体数据传输加密技术

工业物联网环境里,多媒体数据传输面临诸多安全挑战,加密技术是保障数据安全的核心手段。对称加密算法凭借高效的加密解密速度,在工业场景中应用广泛,加密解密速度可达100MB/s-1GB/s。这类算法使用相

同密钥进行加密与解密操作,像一些经过优化的对称加密算法,针对工业物联网设备计算能力有限的特点,在保证一定安全强度的前提下,尽可能减少计算量,密钥长度通常为128位或256位。发送方用约定好的密钥对多媒体数据加密后传输,接收方用相同密钥解密,能快速获取原始数据,有效防止数据在传输途中被窃取。非对称加密算法则为工业物联网多媒体数据传输增添了更灵活的安全保障。它拥有公钥和私钥两个不同密钥,公钥可公开,私钥则由持有者严格保密。在数据传输时,发送方用接收方的公钥加密数据,接收方用自己的私钥解密。这种机制解决了密钥分发难题,即便公钥在传输过程中被截获,攻击者没有私钥也无法解密数据。

3.2 传输过程中的身份认证机制

身份认证是工业物联网多媒体数据传输安全的重要防线,确保只有合法设备与用户能接入网络并传输数据。基于数字证书的身份认证方式较为常用,数字证书由权威认证机构颁发,包含了设备或用户的身份信息、公钥等内容,并经过认证机构签名,具有权威性和不可抵赖性。在数据传输前,发送方和接收方交换数字证书,通过验证证书的有效性和真实性来确认对方身份,防止非法接入。多因素身份认证机制进一步提升了认证的可靠性。除了数字证书,还可结合密码、动态口令等多种认证因素。例如,在设备登录时,要求用户输入密码的同时,输入动态生成的口令。多因素认证增加了攻击者获取合法身份的难度,即便攻击者获取了密码,没有动态口令也无法通过认证。

3.3 传输数据完整性保护方法

保障传输数据的完整性是工业物联网多媒体数据传输安全的关键环节。哈希算法是常用的数据完整性保护手段,发送方在传输数据前,用哈希算法对数据进行计算,生成唯一的哈希值,并将哈希值随数据一同发送^[3]。接收方收到数据后,用相同哈希算法对数据重新计算哈希值,与发送方发送的哈希值比对。若两者一致,说明数据在传输过程中未被篡改;若不一致,则表明数据可能遭到攻击,接收方可拒绝接收。数字签名技术为数据完整性保护提供了更高级别的保障。发送方用自己的私钥对数据的哈希值加密生成数字签名,随数据一起发送。接收方用发送方的公钥解密数字签名得到哈希值,再对接收到的数据计算哈希值并比对。这种方式不仅能验证数据完整性,还能确认数据来源的真实性,防止数据被伪造,确保工业物联网多媒体数据传输的安全可靠。

4 传输效率与安全机制的协同适配策略

4.1 效率与安全的协同约束关系

在工业物联网多媒体数据传输领域,传输效率与安全机制存在着紧密且复杂的协同约束关系。从资源占用层面分析,安全机制中的加密、认证等操作往往需要消耗大量的计算资源与存储空间。以高强度的加密算法为例,对多媒体数据进行加密解密时,设备需进行复杂的数学运算,这会显著增加处理时间,进而降低数据传输效率。而传输效率的提升,有时又可能以牺牲一定程度的安全性为代价。例如,采用轻量级的加密方式虽能减少计算开销、加快传输速度,但可能无法提供与高强度加密同等级别的安全防护。从传输流程角度看,安全机制中的身份认证环节会增加数据传输的中间步骤。在数据传输前,发送方与接收方需进行多次信息交互以完成身份验证,这一过程会引入额外的传输延迟。反之,若过于追求传输效率,简化或省略某些安全验证步骤,又会使数据在传输过程中面临被窃取、篡改等安全风险。

4.2 适配工业场景的协同调控方法

不同工业场景对多媒体数据传输效率和安全性的要求存在差异,需采用适配的协同调控方法。在实时性要求极高的工业生产监控场景,如自动化生产线的实时状态监测,可优先保障传输效率,采用高效的加密算法与简化的身份认证流程,例如选用计算量较小的对称加密算法对监控视频数据进行加密,同时采用基于预共享密钥的快速身份认证方式,减少认证环节的时间消耗。对于安全性要求严苛的工业场景,如涉及核心生产数据传输的精密制造领域,应将安全性置于首位,采用高强度的非对称加密算法对数据进行加密,确保数据在传输过程中的保密性。同时,实施严格的多因素身份认证机制,结合数字证书、设备硬件标识等多种认证方式,防止非法访问,并通过优化网络拓扑结构、合理分配带宽等手段,尽可能减少安全机制对传输效率的影响。

4.3 协同策略的动态调整机制

工业物联网环境处于动态变化之中,网络状况、设备状态等因素随时可能发生改变,这就要求协同策略具备动态调整能力。建立实时监测系统,对网络带宽、延迟、丢包率等网络性能指标以及设备的计算能力、存储容量等资源状况进行持续监测。根据监测结果,动态调整加密算法的强度、身份认证的复杂度等安全机制参数。以某智能工厂为例,系统实时采集网络状态,当带宽 $\geq 100\text{Mbps}$ 且设备CPU负载 $< 60\%$ 时,自动切换至AES-256加密与RSA-2048数字签名的高安全模式;当带宽降至50Mbps以下或CPU负载 $> 80\%$ 时,无缝降级为AES-128加密与HMAC-SHA256完整性校验的高效模式,整个切换过程耗时不超过200ms,确保传输不中断。

结束语

工业物联网中多媒体数据传输效率与安全机制的研究是一个复杂且重要的课题。通过对传输制约因素的分析、效率优化方法的探索、安全机制的设计以及协同适配策略的提出,为解决工业物联网中多媒体数据传输问题提供了全面的思路和方法。在实际应用中,需根据不同工业场景的特点和需求,灵活运用这些方法,不断优化传输系统,以实现多媒体数据在工业物联网中的高效、安全传输,推动工业物联网的持续发展。

参考文献

- [1]刘堂伟.基于物联网的工业互联网数据安全轻量化传输技术[J].中国宽带,2025,21(11):7-9.
- [2]陈琰.基于5G通信的工业物联网设备数据低延时传输方法[J].电工技术,2025(14):237-239,242.
- [3]张晓宇.基于无线能量传输的物联网联合资源分配算法[J].现代电子技术,2026,49(2):23-28.