

# 5G网络切片技术在工业物联网中的资源分配与QoS保障机制

谷春先

江苏钰明集团有限公司 江苏盐城 224000

**摘要:** 本文深入探讨了5G网络切片技术在工业物联网中的资源分配与QoS (Quality of Service, 服务质量) 保障机制。首先介绍了5G网络切片技术的原理, 包括其概念、架构以及关键技术支撑。接着详细阐述了在工业物联网场景下的资源分配策略, 如动态资源分配、优先级管理、负载均衡和安全性保障等。然后分析了5G网络切片在工业物联网中的QoS保障机制, 涵盖利用QoS参数定义服务质量标准、业务流量分层管理与优先级调度、差异化服务和流量控制策略以及保障低优先级切片的服务质量等方面。最后得出结论, 强调5G网络切片技术对于工业物联网发展的重要性以及未来的研究方向。

**关键词:** 5G网络切片技术; 工业物联网; 资源分配; QoS保障机制

## 引言

伴随着工业4.0时代的兴起, 工业物联网 (IIoT) 经历了飞速的进步。工业物联网的目的是将工业生产中的各类设备互联在一起, 从而达到提高生产效率、降低成本、改善产品质量的目的。但是在工业物联网的各种应用场景下, 对于网络的性能需求千差万别, 比如在工业自动化和机器人控制场景下, 都要求低延迟、高可靠性网络支持, 同时大规模传感器数据采集更加强调高连接数、低功耗。传统网络架构很难一次性满足上述多样化需求。5G网络切片技术应运而生, 为应对工业物联网网络需求提供了一种高效解决方案。网络切片就是把一个物理网络按照不同业务需求分割成若干个基于统一基础设施的虚拟而又彼此独立的逻辑网络。各网络切片可针对具体业务需求定制化配置, 以针对不同工业物联网应用开展个性化网络服务。本论文将对5G网络切片技术应用于工业物联网资源分配和QoS保障机制进行深入探讨。

## 一、5G网络切片技术原理

### (一) 网络切片概念与架构

网络切片作为5G网络中的一个核心属性, 使运营商可以在同一个物理基础设施中建立若干个虚拟且彼此孤立的逻辑网络。各网络切片可独立配置与管理, 满足各种业务的具体需要。网络切片的结构由三层组成, 分别是接入层、传输层、核心层。

接入层承担终端设备接入网络的任务, 其能够针对不同切片需求对终端设备进行不同无线资源分配。传输层承担着向核心层传输接入层数据的任务, 其要求确保

不同切片间相互隔离并可可靠地传输数据。核心层在网络切片中处于控制中心地位, 负责切片的管理与调度工作, 主要包括切片创建、删除和资源分配。

### (二) 关键技术支撑

5G网络切片技术的成功实施依赖于一系列核心技术, 主要涵盖了软件定义网络 (SDN) 和网络功能虚拟化 (NFV) 这两个方面。

SDN作为一种新的网络架构实现了网络中控制平面与数据平面的分离。运营商可通过SDN控制器集中管理网络与分配网络资源, 以达到动态分配与最优。在5G网络切片上, SDN技术能够针对不同切片要求对网络带宽、路由以及其他资源进行灵活分配, 增强了网络灵活性与可扩展性。

NFV就是把网络功能与专用硬件设备解耦, 并在通用服务器上用软件完成。利用NFV技术, 运营商可以将网络功能 (如防火墙、路由器等) 部署到虚拟环境中, 形成独立的网络实例。在5G网络切片上, 采用NFV技术可实现对网络功能快速部署、灵活调整、减少网络建设及运营成本等功能。

## 二、5G网络切片技术在工业物联网中的资源分配策略

### (一) 动态资源分配

工业物联网不同应用场景下网络资源需求动态变化。以生产高峰期为例, 工业自动化设备对于网络带宽及延迟的需求将明显增加。所以5G网络切片技术要求有动态资源分配来适应各种应用场景实时要求。

动态资源分配多是在SDN与NFV的基础上进行的。

SDN控制器能够对网络运行状态及各切片资源利用情况进行实时监控,并根据业务需求变化对网络资源配置进行动态调整。如在某切片业务量骤增情况下,SDN控制器能及时地为该切片配置较大带宽及计算资源;当某一切片的业务量下降时,SDN控制器有能力释放额外的资源,并将其分配给其他所需的切片。

## (二) 优先级管理

工业物联网中的不同业务对网络性能的要求不同,有些业务(如工业自动化控制)对延迟和可靠性非常敏感,属于高优先级业务;而有些业务(如传感器数据采集)对延迟和可靠性的要求相对较低,属于低优先级业务。所以5G网络切片技术要求区分并管理不同优先级业务,保证高优先级业务服务质量。

优先级管理,主要是通过对网络建立不同优先级队列。对高优先级业务数据优先处理并发送,对低优先级业务数据在高优先级业务处理完毕后重新发送。同时,网络切片的管理系统可以根据业务的优先级,为不同的切片分配不同的资源,优先保障高优先级切片的资源需求。

## (三) 负载均衡

工业物联网设备分布不均匀性、业务流量动态变化等因素可能造成网络部分节点或者链路负荷过高、其他节点或者链路负荷太低。这种负载不均衡将影响到网络整体性能及可靠性。所以5G网络切片技术要求有负载均衡来保证网络资源得到合理使用。

负载均衡有很多途径,如根据流量进行负载均衡和根据节点性能进行负载均衡。基于流的负载均衡就是根据网络各节点或者链路上的流量,把业务流分配给负荷小的节点或者链路;基于节点表现的负载均衡就是依据网络各节点处理能力及资源利用情况,为表现较优的节点分配业务流量。在5G网络切片上,负载均衡可由SDN控制器集中管理与调度,使网络资源达到动态均衡。

## (四) 安全性保障

在工业物联网领域,由于存在大量的敏感数据和关键业务,网络安全显得尤为关键。因此,5G网络切片技术需要为每一个网络切片制定专门的安全策略,以防止不同业务之间可能出现的安全风险。切片隔离作为关键环节,采用逻辑隔离与物理隔离相结合的方式来完成。逻辑隔离利用软件定义网络(SDN)技术,通过流表规则和策略下发区分不同切片的流量路径,同时也采用了网络功能虚拟化(NFV)技术,通过使用虚拟局域网(VLAN)与虚拟路由器(vRouter)来达到广播域的隔离效果;物理隔离是通过使用专门的硬件或专用基带处理单元(BBU)来划分物理资源,并结合独立天线与波束

赋形技术来实现空口资源的隔离,降低切片之间的信号干扰、确保每个切片的延迟及吞吐量符合业务需求、避免数据泄露及恶意攻击等。

访问控制对切片的访问权限进行了严格的管理,只允许被授权用户及设备对相应切片进行访问,并通过OAuth 2.0中NF之间接入令牌等统一身份认证机制进行认证;为了实现双向TLS认证等功能,采用了切片专属证书体系,以控制不同切片之间的相互访问。

## 三、5G网络切片在工业物联网中的QoS保障机制

### (一) 利用QoS参数定义服务质量标准

使用QoS参数来定义服务质量标准可以对网络质量进行精准衡量与优化,保证不同的业务都能得到相应性能保障。QoS的核心指标主要有带宽、延迟、抖动、丢包率等,这些指标对业务体验的影响也是不一样的。高带宽可以支持更多的并发用户以及大数据量的业务,比如高清视频流、大文件传输等;当带宽较低时,可能会引发视频的卡顿和文件下载的缓慢等问题。高延迟带来了显著的延迟感,比如语音通话回音、游戏操作没有跟手等;低延迟适用于实时交互类业务的处理,使用户的体验顺畅。抖动表现为数据包到达时间不一致,抖动小使得语音、视频平滑、自然,抖动大则造成音视频时断时续。丢包率,高丢包率导致视频马赛克和语音断续。

不同业务对5G网络的QoS需求是特殊的,从超可靠、低延迟通信、增强型移动宽带以及大范围机器类型的通信等都覆盖了很宽的范围。网络能够通过管理QoS配置文件中的各种参数,例如优先级、数据包延迟预算和数据包错误率等,来动态地分配资源,从而确保关键应用程序能够获得必要的性能保障。比如对视频会议这样的关键应用进行带宽的优先配置,以避免非关键流量对资源的过度占用;通过优化路由和降低中间节点跳数等措施,对低延迟敏感型流量进行优先选择;采用缓冲机制与流量整形相结合的方法平滑数据包的传输并降低抖动;通过实施重传策略、优先级调整以及拥塞管理,成功地减少了数据包的丢失率。

### (二) 业务流量分层管理与优先级调度

在工业物联网的背景下,由于不同业务对网络性能的需求存在很大的差异,因此业务流量的分层管理变得尤为重要。它根据业务的重要程度、实时性等把业务流量分为核心业务流量、重要业务流量以及普通业务流量等几个等级。核心业务流量与工业生产中的关键环节密切相关,就像是工业自动化控制信号一样,对于延迟与可靠性都有极高需求;设备状态监测数据等重要业务流量对生产效率的影响显著;传感器数据采集等常见的业

务流量对网络性能的要求比较低。

优先级调度是基于请求元数据，例如HTTP头、服务标签，对不同级别的业务流量进行分类，并为它们分配不同的处理优先级。对高优先级业务流量进行重点处理并发送，以保证核心业务服务质量。具体实现中，可以通过建立不同优先级队列，使高优先级业务中的数据位于队列的最前端，并优先选择网络资源。同时，网络切片中管理系统将按照业务优先级对不同切片进行资源分配，以优先保证高优先级切片所需资源。在网络资源吃紧的情况下，有可能对低优先级业务流量进行适当约束，从而确保高优先级业务能够畅通。

### (三) 差异化服务和流量控制策略

在5G网络切片为工业物联网服务的情景下，差异化服务与流量控制策略是确保网络有效运行，满足业务多样化需求的重点措施。差异化服务可以根据客户群体、年龄、付费方式以及业务功能的维度进行。在顾客群体方面，可以根据集团顾客与个人顾客的不同特征，为集团内大顾客量身定做个性化服务、解决方案式服务、跨区域无差异服务等；基于不同年龄段的客户需求和支付能力的差异，开发各种不同的业务，并以各种不同的价格为他们提供服务。

流量控制策略的核心目标是合理地配置网络资源、设置合适的阈值，并优先确保核心业务的安全，以确保系统在面对高并发和高负载的情况下能够稳定运行。流量整形利用滑动窗口协议对数据包的大小进行约束，从而避免了网络由于突然的大流量而瘫痪；我们还可以实施基于探测的准入控制策略，这样可以使流式流量对TCP更为友好，而无需对每一流进行速率控制，从而确保TCP和流式流量之间的公平和合理分配。

企业在实践中需要综合考虑自身业务特点、系统架构以及数据体量等因素，为其量身打造适合的差异化服务及流量控制策略。不断监控流量的变化，并结合实际情况对策略进行自动调整；为了适应市场环境的持续变化和满足用户的不断变化的需求，需要定期评估流量控制的效果，并对参数进行调整和技术升级，从而提高网络服务的品质和企业的市场竞争力。

### (四) 保障低优先级切片的服务质量

在5G网络切片为工业物联网服务场景下，确保低优先级切片服务质量是不可忽略的。尽管高优先级业务需优先保障，但低优先级切片也关乎部分重要业务的稳定运行。给低优先级切片留出部分网络资源是一项基本措施，可以在网络规划阶段根据整个网络的资源情况以及低优先级业务对它的总体要求，分割部分带宽、计算资

源等，以使得低优先级切片能够在高优先级业务流量较小的情况下正常工作。

动态资源分配策略同样是极其关键的，在高优先级业务对资源的要求降低时，可以将多余的资源分配到低优先级切片中。通过SDN控制器对每个切片资源的利用进行实时监控，当检测到高优先级切片资源剩余时，则快速分配到低优先级切片中，以提高其服务质量。

优化后的网络拓扑结构及路由算法能够间接地保证低优先级切片的服务质量。合理拓扑结构可以降低网络拥塞点，使得数据传输更加有效；该智能路由算法能够根据实时网络状况对低优先级切片中数据进行最优传输路径选择，以减少延迟与丢包率。也可以通过引入多级缓存队列，给低优先级业务一定缓存空间，以避免数据丢失并保证业务连续性、稳定性，同时不会影响对高优先级业务的优先转发。

### 结论

5G网络切片技术为工业物联网的进步提供了坚实的后盾，通过资源的灵活配置和高效的QoS保障策略，可以满足工业物联网在各种应用场景下对网络性能的多元化需求。在资源分配上，采用动态资源分配、优先级管理、负载均衡以及安全性保障的策略，能够保证网络资源得到合理使用，保证网络平稳运行；QoS保障中，采用QoS参数界定服务质量标准、业务流量分层管理及优先级调度、差异化服务及流量控制策略、确保低优先级切片服务质量的机制，能够确保不同业务的服务质量。今后研究方向主要有：进一步优化资源分配算法与QoS保障机制，以改善网络切片性能与可靠性；加强各厂家技术合作，促进5G网络切片技术标准化、产业化进程；探索5G网络切片技术与其他新兴技术（比如人工智能、区块链）的融合应用，为工业物联网的发展创造更多的可能性。

### 参考文献

- [1] 李绿波. 5G网络切片技术在融媒体多业务分发中的动态资源分配策略[J]. 电视技术, 2025(7).
- [2] 张晓莉, 雷雨声, 刘夏茜, 等. 基于深度强化学习的工业SDN网络切片资源分配[J]. 电讯技术, 2025(8).
- [3] 陈超. 5G网络端到端QoS保障技术分析[J]. 通信与信息技术, 2022(1): 55-58.
- [4] 杨瑞华. 基于网络切片的确定性网络三层资源分配机制研究[D]. 华中科技大学, 2022.
- [5] 张艳. 基于5G切片专线的组网技术和实现方法[J]. 电信科学, 2021(010): 037.