



5G ToB业务体验标准白皮书

2021.01



目 录

1	概要.....	7
2	5G ToB业务介绍.....	8
2.1	业务发展趋势.....	8
2.2	参考协议.....	9
2.2.1	3GPP TR38.913	9
2.2.2	ITU-R IMT-2020	13
2.2.3	ETSI TR 103 702	15
2.2.4	5G-PPP.....	16
2.3	业务介绍.....	22
2.3.1	视频传输.....	23
2.3.1.1	重大事件.....	24
2.3.1.2	智慧城市.....	24
2.3.1.3	远程医疗.....	27
2.3.1.4	远程教育.....	29
2.3.2	工业园区.....	31
2.3.2.1	智慧港口.....	31
2.3.2.2	商业园区.....	32
2.3.2.3	智慧鱼塘.....	34
2.3.3	工业自动化.....	34
2.3.3.1	智慧电网.....	34
2.3.3.2	5G-ACIA.....	错误!未定义书签。
2.3.4	工业无人机.....	38
2.3.5	FWA专线.....	39
2.3.6	智慧城市.....	41
2.3.7	广连接业务.....	44
2.4	相关技术.....	46
2.4.1	UDP协议.....	46
2.4.1.1	Zixi	47

2.4.1.2	SRT	48
2.4.1.3	RIST	49
2.4.1.4	UDT	49
2.4.1.5	QUIC	49
2.4.2	RTSP协议	50
2.4.3	物联网协议	52
2.4.3.1	PROFINET	52
2.4.3.2	ZIGBEE	53
2.4.3.3	S7COMM	55
3	5G ToB业务特征分析	57
3.1	视频回传业务	57
3.1.1	C局点高清直播	58
3.1.2	K局点高清直播	63
3.1.3	X局点工业园区视频回传	错误!未定义书签。
3.2	交互类业务行为	70
3.2.1	PLC-PNIO	70
3.2.2	PLC-S7COMM	72
3.3	FWA业务	79
4	5G ToB业务建模框架	82
4.1	ToB&2C建模差异	82
4.2	ToB建模方法探索	83
4.2.1	细粒度时空建模	83
4.2.2	场景化事件驱动建模	85
4.3	ToB建模框架	90
4.3.1	指标驱动建模框架	90
4.3.2	事件驱动建模框架	91
5	5G ToB业务指标体系	92
5.1	上行多媒体回传业务	92
5.1.1	影响因素	92

5.1.2	指标体系.....	94
5.1.3	建模方法.....	95
5.1.4	体验基线.....	99
5.2	下行多媒体传输业务.....	99
5.2.1	影响因素.....	99
5.2.2	指标体系.....	100
5.2.3	建模方法.....	100
5.2.4	体验基线.....	100
5.3	增强现实业务.....	101
5.3.1	影响因素.....	101
5.3.2	指标体系.....	103
5.3.3	建模方法.....	104
5.3.4	体验基线.....	105
5.4	实时交互业务.....	105
5.4.1	影响因素.....	105
5.4.2	指标体系.....	106
5.4.3	建模方法.....	106
5.4.4	体验基线.....	107
5.5	广连接业务.....	108
5.5.1	影响因素.....	108
5.5.2	指标体系.....	108
5.5.3	建模方法.....	109
5.5.3.1	连接数密度.....	109
5.5.3.2	并发连接业务数.....	110
5.5.3.3	网络能效指数.....	110
5.5.4	体验基线.....	111
5.6	FWA替代专线.....	111
5.6.1	影响因素.....	111
5.6.2	指标体系.....	112



5.6.3	建模方法.....	113
5.6.4	体验基线.....	114
6	参考文献.....	115

缩略语

缩略语	英文全称	中文全称
ToB	To Business	商业到商业
B2C	Business to Consumer	商业对客户，用户移动业务
B2H	Business to Home	企业对家庭，家庭宽带业务
CDF	Cumulative distribution function	累计分布功能
eMBB	enhanced Mobile Broadband	增强型移动宽带
FWA	Fixed Wireless Access	固定无线接入
gNB	Next generation NodeB	下一代基站
GoP	Group of Picture	图片组（I帧到I帧之间）
IPSec	Internet Protocol Security	互联网安全协议
MDT	Mean Down Time	平均中断时间
MEC	Mobile Edge Computing	移动边缘计算
MIT	Mobility Interruption Time	移动中断时间
mMTC	Massive Machine-Type Communications	海量机器类通信
MTBF	Mean Time Between Failures	失败之间平均时间
MUT	Mean Up Time	平均可用时间
QoS	Quality of Service	业务质量
QoE	Quality of Experience	业务体验
RIST	Reliable Internet Streaming Transport	可靠的互联网视频传输协议
RTCP	RTP Control Protocol	实时传输控制协议
RTP	Real-time Transport Protocol	实时传输协议
RTSP	Real-Time Streaming Protocol	实时流媒体协议
SLA	Service Level Agreement	业务质量承诺
SRT	Secure Reliable Transport	安全可靠传输协议
UDT	UDP-based Data Transfer	基于UDP的可靠数据传输
uRLLC	ultra-reliable low-latency communication	超低时延高可靠通信
V2X	Vehicle-to-Anything	车联网

1 概要

【适用范围说明】

因为5G的业务刚刚起步，目前Cloud VR/AR、高清视频、生活圈覆盖、工业园区是可见需求，未来很多业务在蓬勃发展中，mMTC、uRLLC业务还未见大规模使用。所以该文档目标是5G建网和业务推广初期，以可见需求为出发点，进行的业务特征分析，网络需求分析，指标体系分析，建模算法分析。

2 5G ToB 业务介绍

2.1 业务发展趋势

ITU-R定义的5G应用场景：

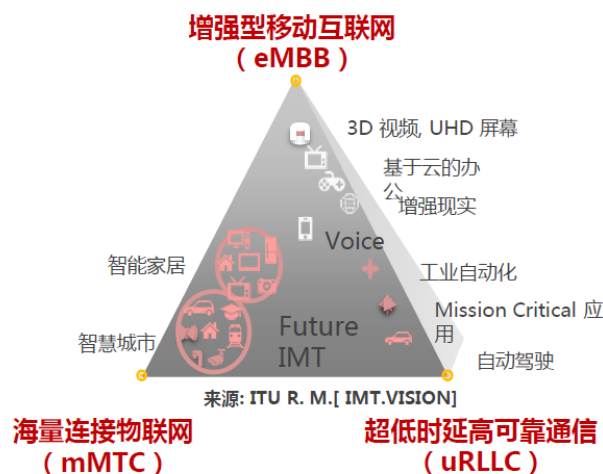


图 2-1 5G三大业务场景

5G关键能力需求：

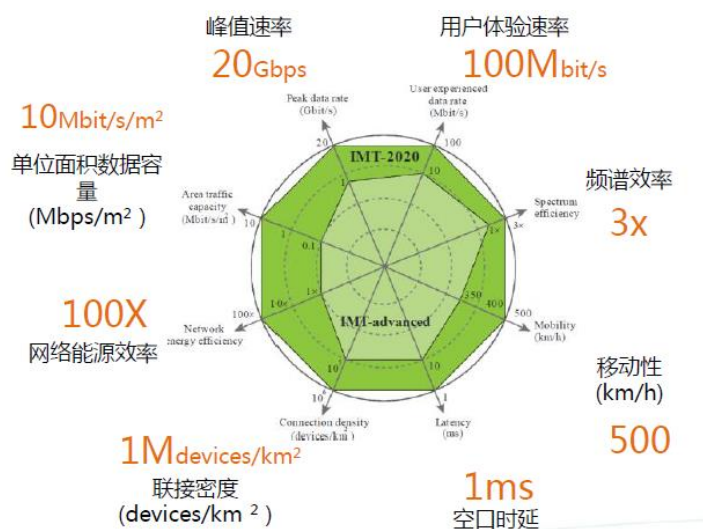


图 2-2 5G关键能力需求

5G ToB业务发展中，分为两个阶段：

- 初期：还是以eMBB场景为主，部分有超低时延诉求的业务场景，其实也没有到10ms

以内，目前5G项目需求中还基本未见mMTC场景；

- 发展期：uRLLC场景应用会逐渐增多，eMBB场景进一步发展；
- 成熟期：mMTC场景增多；应用场景复杂，各种行为综合交织，组成万物互联世界；

ToB买家希望获得“类似B2C”体验的最有力理由是，它使供应商能够提供更个性化的服务，甚至个性化的服务。

当前ToB业务发展中的主要问题：

- 企业专网方案不标准，定制化强
- 行业应用协议多种多样
- 网络被动测量方案实施困难
- 路测方案存在覆盖率问题，市内等很多重点区域难以覆盖
- 众测方案渗透率低

总体上，运营商端到端方案设计和交付能力欠缺。本文梳理ToB业务场景，将各种复杂的业务场景分解到典型的几大传输业务行为，然后针对各个传输业务行为进行建模，给出指标体系，建模方法，基础理论支撑。作为ToB业务体验评估、记录存储、优化解决方案的理论基础。

2.2 参考协议

本章节为5G ToB业务设计到的业务体验评价规范相关的协议描述。

2.2.1 3GPP TR38.913

5G网络业务主要指标：

指标中文	Definition	Description
峰值速率	Peak data rate	Peak data rate is the highest theoretical data rate which is the received data bits assuming error-free conditions assignable to a

		single mobile station, when all assignable radio resources for the corresponding link direction are utilised
峰值频谱效率	Peak Spectral efficiency	Peak spectral efficiency is the highest theoretical data rate (normalised by bandwidth), which is the received data bits assuming error-free conditions assignable to a single mobile station, when all assignable radio resources for the corresponding link direction are utilised
带宽	Bandwidth	Bandwidth means the maximal aggregated total system bandwidth
控制面时延	Control plane latency	Control plane latency refers to the time to move from a battery efficient state (e.g., IDLE) to start of continuous data transfer (e.g., ACTIVE). The target for control plane latency should be 10ms.
用户面时延	User plane latency	The time it takes to successfully deliver an application layer packet/message from the radio protocol layer 2/3 SDU ingress point to the radio protocol layer 2/3 SDU egress point via the radio interface in both uplink and downlink directions. For URLLC the target for user plane latency should be 0.5ms for UL, and 0.5ms for DL. For eMBB, the target for user plane latency should be 4ms for UL, and 4ms for DL.
小包业务时延	Latency for infrequent small packets	For infrequent application layer small packet/message transfer, the time it takes to successfully deliver an application layer packet/message from the radio protocol layer 2/3 SDU ingress point at the mobile device to the radio protocol layer 2/3 SDU egress point in the RAN, when the mobile device starts from its most "battery efficient" state
移动中断时间	Mobility interruption time	Mobility interruption time means the shortest time duration supported by the system during which a user terminal cannot

		exchange user plane packets with any base station during transitions. The target for mobility interruption time should be 0ms
系统间移动性	Inter-system mobility	Inter-system mobility refers to the ability to support mobility between the IMT-2020 system and at least one IMT system.
可靠性	Reliability	Reliability can be evaluated by the success probability of transmitting X bytes within a certain delay, which is the time it takes to deliver a small data packet from the radio protocol layer 2/3 SDU ingress point to the radio protocol layer 2/3 SDU egress point of the radio interface, at a certain channel quality (e.g., coverage-edge)
覆盖	Coverage	MaxCL in uplink and downlink between device and Base Station site (antenna connector(s)) for a data rate of 160bps, where the data rate is observed at the egress/ingress point of the radio protocol stack in uplink and downlink. The target for coverage should be 164dB
极端覆盖	Extreme Coverage	The coupling loss is defined as the total long-term channel loss over the link between the UE antenna ports and the eNodeB antenna ports, and includes in practice antenna gains, path loss, shadowing, body loss, etc
终端电池使用寿命	UE battery life	UE battery life can be evaluated by the battery life of the UE without recharge. For mMTC, UE battery life in extreme coverage shall be based on the activity of mobile originated data transfer consisting of 200bytes UL per day followed by 20bytes DL from MaxCL of 164dB, assuming a stored energy capacity of 5Wh
终端能效	UE energy efficiency	UE energy efficiency means the capability of a UE to sustain much better mobile broadband data rate while minimizing the UE modem energy consumption

小区/传输 点/TRPx频 谱效率	Cell/Transmission Point/TRPx spectral efficiency	TRPx spectral efficiency NOTE1 is defined as the aggregate throughput of all users (the number of correctly received bits, i.e. the number of bits contained in the service data units (SDUs) delivered to Layer 3, over a certain period of time) divided by the channel bandwidth divided by the number of TRPxs
区域负载容 量	Area traffic capacity	Area traffic capacity means total traffic throughput served per geographic area (in Mbit/s/m ²). This metric can be evaluated by two different traffic models: Full buffer model and Non full buffer model area capacity (bps/m ²) = site density (site/m ²) × bandwidth (Hz) × spectrum efficiency (bps/Hz/site)
用户体验速 率	User experienced data rate	For non-full buffer traffic, user experienced data rate is the 5%-percentile (5%) of the user throughput. User throughput (during active time) is defined as the size of a burst divided by the time between the arrival of the first packet of a burst and the reception of the last packet of the burst user experienced data rate = 5% user spectrum efficiency × bandwidth
5%分位数 用户频谱效 率	5th percentile user spectrum efficiency	5th percentile user spectrum efficiency means the 5% point of the cumulative distribution function (CDF) of the normalized user throughput. The (normalized) user throughput is defined as the average user throughput (the number of correctly received bits by users
连接密度	Connection density	Connection density refers to total number of devices fulfilling a target QoS per unit area (per km ²), where the target QoS is to ensure a system packet drop rate less than 1% under given packet arrival rate λ and packet size S . Packet drop rate = (Number of packet in outage) / (number of generated packets), where a packet is

		in outage if this packet failed to be successfully received by destination receiver beyond packet dropping timer
移动性	Mobility	Mobility means the maximum user speed at which a defined QoS can be achieved (in km/h).
网络能效	Network energy efficiency	The capability is to minimize the RAN energy consumption while providing a much better area traffic capacity

2.2.2 ITU-R IMT-2020

3G，4G的标准协议都是在区域性标准组织如3GPP里开发的。而ITU对3G/4G/5G标准化的影响力主要体现在提出市场需求，构画蓝图和愿景，营造全球共识和生态圈。ITU-R刚刚公布了对5G（IMT-2020）无线性能要求，大致可以归纳为以下几点：

1. 小区峰值数据速率
 - ✓ 下行：20 Gbps。
 - ✓ 上行：10 Gbps。
2. 小区峰值频谱效率
 - ✓ 下行：30 bit/s/Hz。
 - ✓ 上行：15 bit/s/Hz。
3. 每用户实际体验数据速率
 - ✓ 下行：100 Mbps。
 - ✓ 上行：50 Mbps。
4. 百分之五分位数用户频谱效率

Test environment	Downlink (bit/s/Hz)	Uplink (bit/s/Hz)
Indoor Hotspot – eMBB	0.3	0.21
Dense Urban – eMBB (NOTE 1)	0.225	0.15
Rural – eMBB	0.12	0.045

NOTE 1: This requirement will be evaluated under Macro TRxP layer of Dense Urban – eMBB test environment as described in Report ITU-R M.[IMT-2020.EVAL].

5. 平均频谱效率

Test environment	Downlink (bit/s/Hz/TRxP)	Uplink (bit/s/Hz/TRxP)
Indoor Hotspot – eMBB	9	6.75
Dense Urban – eMBB (NOTE 1)	7.8	5.4
Rural – eMBB	3.3	1.6

NOTE 1: This requirement applies to Macro TRxP layer of the Dense Urban – eMBB test environment as described in Report ITU-R M.[IMT-2020.EVAL].

6. 单位面积数据吞吐量

✓ 下行室内热点：10 Mbit/s/m²

7. 用户面时延

✓ eMBB：4 ms

✓ URLLC：1 ms

8. 控制面时延：20 ms

9. 链接密度：1 000 000 devices per km²

10. 网络能效

✓ 负载情况下的有效数据传输；

✓ 无数据时能耗低；

11. 可靠性：1-10⁻⁵

12. 移动性

移动等级：

Indoor Hotspot – eMBB	Dense Urban –eMBB	Rural – eMBB
Stationary, Pedestrian	Stationary, Pedestrian, Vehicular (up to 30 km/h)	Pedestrian, Vehicular, High speed vehicular

按带宽标准化的业务信道链路数据速率：

Test environment	Normalized traffic channel link data rate (Bit/s/Hz)	Mobility (km/h)
Indoor Hotspot – eMBB	1.5	10
Dense Urban – eMBB	1.12	30
Rural – eMBB	0.8	120
	0.45	500

13. 移动中断时间：移动中断时间包括执行适用于候选RIT/SRIT的任何无线接入网络过程、无线资源控制信令协议或移动台与无线接入网络之间的其他消息交换所需的时间；最低要求为0ms。
14. 系统带宽：带宽要求至少为100MHz。RIT/SRIT应支持高达1GHz的带宽，以便在更高的频带（例如6 GHz以上）中运行。

2.2.3 ETSI TR 103 702

5G业务指标体系规范，华为针对VR体验指标体系进行ETSI规范推标。目前规范还未正式发布。

Service Type	Service Indicator	Indicator Requirements
Terminal	Terminal resolution	2K–4K
Strong-interaction Cloud VR services	Content resolution(equivalent full-view resolution)	2K–4K(equivalent full-view: 4K–8K)
	Color depth (bits)	8
	Coding mode	H.264/H.265
	Bitrate (Mbit/s)	≥40
	Frame rate (FPS)	50–90
	FOV (degrees)	90–110
	Interactive latency (ms)	≤100
	MTP (ms)	≤20
	Valid frame rate	100%(note)
Cloud VR video services	Content full-view resolution	4K–8K
	Color depth (bits)	8
	Coding Mode	H.264/H.265
	Bitrate (Mbit/s)	≥40
	Frame rate (FPS)	30
	FOV (degrees)	90–110
	Interactive latency (ms)	≤100
	Initial buffer latency (s)	≤1
	Stalling duration ratio	0
	Pixelization duration ratio	0

2.2.4 5G-PPP

5G Infrastructure Public Private Partnership (5G PPP) 是欧盟委员会与欧洲ICT行业 (ICT制造商, 电信运营商, 服务提供商, 中小企业和研究机构) 共同发起的一项举措。

5G-MoNArch: 5G Mobile Network Architecture for diverse services, use cases, and applications in 5G and beyond, 是5G PPP发起的一个项目。

5G-MoNArch通过将工业, 媒体和娱乐以及智慧城市用例所需的功能完全集成到整体架构中, 将5G移动网络架构带入了下一步发展。网络功能的这种集成使得移动网络架构可用于实际应用中。为了验证和验证所开发的概念在现实环境中的可行性和适用性, 5G-MoNArch建立在两种手段之上: 项目测试平台和验证框架。

- 测试平台: 实施了两个测试平台: 汉堡的Smart Sea Port测试平台和都灵的Touristic City测试平台。这两个测试平台都进一步促进了性能目标的验证, 并成为技术经济验证的基准。
- 验证和确认: 为了量化5G-MoNArch中开发的技术的技术和社会经济利益, 已定义了一个框架, 其中包括一个流程以及一组技术和商业/经济KPI, 并根据定义的三个评估案例进行评估在工作中。

5G网络业务主要指标:

指标中文	Definition	Description
General KPI		
每区域的流量容量 (3GPP/ITU-R)	Area traffic capacity	每个地理区域服务的总流量吞吐量 (以bps / m2为单位)。 该指标可以由两个来评估不同的流量模型: 全缓冲区模型和非全缓冲区模型。 •通过全缓冲区模型: 计算每个地理区域服务的总流量吞吐量基于全缓冲区流量。 •通过非完整缓冲区模型: 同样, 每个地理区域服务的总流量吞吐量为计算出来的, 但除了区域流量容量之外, 用户还需要体验数据速率使用相同的流量模型同时进行评估区域流量容量是网络每单位面积可以承载多少流量的度量。 这取决于现场

		密度，带宽和频谱效率。在完全缓冲流量和单层的情况下单频带系统，可以表示为： $\text{Area traffic capacity (bps/m}^2\text{)} = \text{site density (site/m}^2\text{)} \times \text{bandwidth (Hz)} \times \text{spectrum efficiency (bps/Hz/site)}$
可用性 (3GPP/5G PPP/NGMN/ETSI)	Availability	系统可提供服务的时间量的百分比值（%）除以预期在特定区域提供服务的时间。可用性对于通信服务可能是特定的。在这种情况下，它指的是百分比根据商定的端到端通信服务交付时间的值QoS除以系统预期提供端到端服务所需的时间符合特定领域的规范。 注1：“端到端”中的端点被认为是通信服务接口。 注2：如果通信服务不符合相关的QoS，则认为该通信服务不可用要求。
带宽 (3GPP)	Bandwidth	系统的总带宽
小区边缘用户吞吐量 (3GPP)	Cell-edge user throughput	小区边缘用户吞吐量定义为用户平均数据包CDF的第五个百分点 通话吞吐量
连接密度 (3GPP/ITU-R)	Connection density	每单位面积（每平方千米）已连接和/或可访问的设备总数。 连接性或可访问性是指满足目标QoS的设备，目标QoS是为了确保系统数据包在给定的数据包到达率[I]和数据包大小[S]下，丢包率小于[x]%。丢包率是等于中断中的数据包数量除以生成的数据包数量，其中如果目标接收者无法成功接收到该数据包，则该数据包将处于中断状态下降计时器。
覆盖 (3GPP)	Coverage	UE和TRxP之间的UL和DL中的最大耦合损耗（MaxCL）[x] bps的数据速率，其中在无线协议堆栈的出口/入口点处观察到数据速率在每个方向上。
覆盖区域概率(5G PPP)	Coverage area probability	覆盖区域概率定义为所考虑区域的百分比，其中移动无线网络以质量（即数据速率，等待时间，分组）向最终用户提供服务。丢失率）足以满足预期的应用（QoS / QoE级别）。RAN

		可能包含单无线电小区或多小区部署。对于不同类型和QoS / QoE级别的服务，覆盖区域的概率通常也会有所不同。
端到端时延 (3GPP/5G PPP)	End-to-end latency	信息从源传输到目的地所花费的时间，以通信接口为例，指从源发送它到它被发送的那一刻在目的地成功收到。也称为一跳时间（OTT）延迟。另一个延迟度量是往返时间（RTT）延迟，它是指从数据开始到出现的时间从发送端发送数据包，直到从接收实体接收到确认为止。
能效 (3GPP/ITU-R)	Energy efficiency	能源效率意味着维持一定的数据速率，同时将能耗降至最低。
小包时延(3GPP)	Latency for infrequent small packets	对于不频繁的应用层小数据包/消息传输，成功交付所需的时间来自UE的无线协议层2/3 SDU入口点的应用层数据包/消息到当UE从其最“电池”开始时，RAN中的无线协议层2/3 SDU出口点有效状态。
平均正常运行时间 (ETSI)	Mean time between failures (MTBF)	MTBF是系统/组件发生故障之前的统计平均正常运行时间。
平均停机时间 (ETSI)	Mean time to repair (MTTR)	MTTR是系统/组件再次运行之前的统计平均停机时间。
移动性 (3GPP/ITU-R)	Mobility	定义的QoS和TRxP之间可能无缝传输的最大速度可以实现不同的部署层和/或无线接入技术（多层/ RAT）（在公里/小时）。
移动中断时间 (3GPP/5G PPP)	Mobility interruption time	UE无法交换UP数据包的系统所支持的最短持续时间 在过渡期间使用任何TRxP。此KPI适用于频率内和频率间移动性以及AIV内部和内部之间的流动。
峰值速率 (3GPP/5G PPP)	Peak data rate	最高理论上的单用户数据速率（以bps为单位），即假设理想的无错误传输条件，当利用了对应链路方向的所有可用无线电资源时（即不包括无线电用于物理层同步的资源，参考信号或导频，保护频带和守卫时间）。
峰值频谱效率	Peak spectral	峰值数据速率由所应用的带宽归一化。较高的频段可能具有

(3GPP)	efficiency	较高的频段带宽，但较低的频谱效率和较低的频段可能具有较低的带宽，但更高的光谱效率。因此，峰值数据速率不能直接从峰值频谱效率和带宽乘法中得出。
可靠性 (3GPP/ITU-R/5G PPP/NGMN)	Reliability	成功传送到给定系统的已发送网络层数据包数量的百分比（%）目标服务所需的时间限制内的节点（包括UE）除以总数发送的网络层报文数。
弹性 (ITU-R)	Resilience	弹性是网络在自然或人为干扰（例如主电源中断）期间和之后继续正常运行的能力。
业务连续性 (3GPP)	Service continuity	UE时使用活动通信的服务的不间断用户体验进行访问更改，而用户没有注意到该更改。
每个小区/发射和 接收点（TRxP） 的频谱效率 (3GPP/ITU-R)	Spectral efficiency per cell/transmission and reception point (TRxP)	TRxP频谱效率定义为所有用户的总吞吐量（正确数量接收到的比特，即传送到第3层的服务数据单元（SDU）中包含的比特数，在一定时间范围内）在无线电覆盖区域（站点）中除以信道带宽除以TRxP的数量。一个3扇区的站点由3个TRxP组成。如果有多个不连续的“载波”（一个载波是指一个连续的频谱块），则这KPI应按每个运营商计算。在这种情况下，总吞吐量，通道带宽和使用特定载波上的TRxP数量。
频谱和带宽的灵 活性 (ITU-R)	Spectrum and bandwidth flexibility	频谱和带宽的灵活性是指5G系统设计可以处理不同的灵活性场景，尤其是在不同频率范围（包括更高频率）下运行的能力频率和更宽的信道带宽。
终端电池生命 (3GPP)	UE battery life	无需充电即可评估的UE电池的使用寿命。 注意：对于mMTC，3GPP提出，在极端覆盖范围内的UE电池寿命应基于活动由移动发起的数据传输，包括每天200个字节的UL和随后的20个字节的DL假设存储能量为5 Wh，最大CL为164 dB。
用户体验速率 (3GPP/ITU-R)	User experienced data rate	可以针对非满缓冲区流量和满缓冲区流量评估用户体验的数据速率，但是评估此KPI时，最好使用非完整缓冲区系统级别的模拟，同时使用突发流量模型。对于非完全缓冲区流量，用户

		体验的数据速率为用户的5%吞吐量。 用户吞吐量（活动时间内）定义为数据突发大小除以从突发的第一个数据包到达接收突发的最后一个数据包之间的时间。 对于完整的缓冲区流量，用户体验的数据速率计算如下： 用户体验数据速率= 5%用户频谱效率×带宽
用户面处理时延 (3GPP/5G PPP)	User plane latency	从无线电协议成功交付应用层数据包/消息所花费的时间：从第2/3层SDU入口点到第2/3层SDU出口点，包括UL和DL方向。
Resource Elasticity KPIs		
可用性	Availability	可用性定义为所研究功能产生输出的相对时间它会在理想条件下生产的，重点是资源配置。
节省成本	Cost efficiency gain	该指标衡量部署和运营网络基础架构以支持的平均成本可以预见的服务。弹性系统应具有最佳尺寸，以便减小需要资源来支持相同的服务；此外，在轻载情况下，弹性系统应避免使用不必要的资源并减少能耗。
弹性资源负荷	Elasticity orchestration overhead	实现业务流程功能（即启用NF的功能）所需的资源量弹性（例如VNF的替换），而不是传统体系结构的一部分。 比如可能是包含CPU，RAM和网络资源数量的向量
最小资源	Minimum footprint	给定用于执行功能的一组资源，最小占用空间是这些资源的组合的集合产生任何输出所需的资源。 根据这些资源的异质性，可能是存在一个最小足迹的“区域”，其中包括所有可能的资源组合，可成功执行功能。
并行能力	Multiplexing gains	可以在特定资源的同一组资源上并行运行的功能的数量和种类表现水平。
性能下降功能	Performance degradation function	此KPI表征了可用资源减少（从100%到最低要求）并降低功能性能。在这种情况下，应使用弹性NF实现正常的性能下降，避免在峰值下突然崩溃。
可援性	Rescuability	发生资源短缺时，最有可能扩大或扩大正在执行VNF的VM

		要采用的解决方案。不过，重新编排流程通常会在较大的时间范围内运行。
资源开销	Resource consumption	给定资源（CPU，RAM等），其消耗量定义为占用时间的百分比因为执行了一个功能。
资源节省	Resource savings	弹性函数执行成功操作所消耗的资源量和类型与无弹性的同类产品进行比较（例如，节省资源的百分比，同时提供99%的无弹性对应物的性能）
资源调整响应时间	Response time	需求变化时，资源调配所需的时间。响应时间越短，弹性越好。
资源利用效率	Resource utilisation efficiency	这是一种测量如何有效利用资源来提供所需输出的方法。弹性系统应该能够保障更大的资源利用效率，因为它可以部署更高的资源，同一物理基础架构上的VNF数量。
切片服务创建时间	Service Creation Time	此参数定义为从请求到达到在网络上设置网络切片的时间运营商的管理系统，直到分片完全运行为止。
切片重分配时间	Time for reallocation of a device to another slice	此KPI定义为从请求将终端设备连接到特定网络的持续时间切片，直到此设备可以开始通信。
Application-specific KPIs		
帧率判断	Frame Rate Judder	$\frac{n/75}{\sum_1^n t_n \epsilon(t > \frac{1}{75})}$ 其中t是每个帧渲染所需的时间，n是渲染帧的总数。上面的公式表示帧速率较小的VR应用期间帧率超过75的时间百分比。最小化此时间可减少眩晕的可能性。
最大传感器设备数	Maximum number of simultaneously active IoT devices	预计将来，货运集装箱将配备智能传感器，用于记录和在报告过程中在线报告环境条件（例如温度，湿度，颠簸等）旅程。 如今，集装箱船最多可容纳20,000个集装箱。当这样的船从海外来的时候进入第一个移动无线电小区的覆盖区域，可能将尝试所有20,000个容器几乎同时访问无线电小区。此KPI应测量

		传感器在网络切片可以支持的给定部署区域内的最大数量。
任务成功率	Task Success Rate	任务成功率是正确完成任务的用户百分比。
任务时间	Time on Task	任务完成时间或任务时间。该指标基本上是用户完成任务所花费的时间（以分钟和秒为单位）。
搜索与导航的使用	Use of Search vs. Navigation	这是评估信息体系结构和导航效率的宝贵指标。通常，当用户尝试通过导航查找某些内容并迷路时，搜索是他们的最终选择。使用此KPI，可以衡量用户对网络故障的感知，找到对应根因。

2.3 业务介绍

预计下一代通信的预期用例将要求服务质量要求。这种多样性包括更高的最终用户数据率和单元级别比目前的网络吞吐量更大，以满足增强型移动宽带（eMBB）的要求，以及满足超可靠性、低延迟连接（uRLLC）以及大量机器型通信设备（mMTC）——这三种设备都可能是极端解释。

这些考虑的重点包括：

- 5G网络需要为各种服务支持多个QoS，而不是专门为有限的一组QoS构建网络。
- 网络切片管理和编排层可以通过评估支持QoS管理当前网络切片性能和协调虚拟环境中必要的资源分配到不同域（RAN、CN和传输）中的网络功能（VNFs）以满足所需的QoS。
- 有效的E2E QoS协商需要在各种网络多点上进行应用和业务的感知。
- 机器学习和人工智能是未来使能多点数据源，实时流分析的关键。

说明：介绍5G项目和UC的文档很多，本文不做重点描述，针对5G项目的需求和未来可能成为主要趋势的项目场景进行介绍说明。

2.3.1 视频传输

5G网络提供大带宽，低时延的传输能力，进一步孵化和促进了视频业务的发展与应用；除了2C场景的Cloud VR、Cloud Game、高清视频观看等场景外。在ToB业务中，高清视频记录、VR/AR视频传输也是个主要的业务场景。

近年来，高清（4K/8K）的实时直播/视频记录变得越来越流行，并随着5G的发展，发展为企业应用中的一个重点应用场景：

但是该应用也对网络的诉求提出了新的挑战：如果观众的位置远离全球视频源头，则由于缓慢的启动和拥塞控制机制，TCP吞吐量将变得基本上不是最佳的，移动接收器感知的数据速率可能无法满足4K视频流的高要求，这会导致体验质量（QoE）下降。另外，由于视频推流端和拉流端是通过无线通信接入的，对时延和上行带宽有很高的要求，时延长会影响实时性；上行带宽受限会导致引起观看卡顿。

其实5G园区中的视频记录也是实时视频直播中的一个特殊场景，很少有拉流场景，主要是终端实时采集视频源，并及时送给服务器进行存储，此场景的实时性要求不高，但是对视频质量的要求更高。工业使用场景中，视频回传可能用于问题诊断，以便及时触发下一步操作，此场景实时性要求较高。

关于编解码：

H.265 / HEVC标准将带宽要求降低了50%，而没有质量的明显损失。H.265的最新速度改进证明了其在5G网络中替代H.264编解码器的潜力，H.265编解码器将帮助缓解UHD视频所需的大幅增加的带宽，潜在的空间分辨率高达8K，帧速率高达每秒300帧（fps）。

总结来看：

- 视频回传业务，会因为使用场景的不同而产生不同的网络要求，尤其不同时延要求。
对传输丢包的要求也不同，如果直播类，丢包会导致花屏，影响体验。但是对于回传到服务器的场景，丢包会触发重传机制，对业务影响不大。
- 为了保证传输的实时性，会采用基于UDP协议的传输。
- 传输的速率并非网络最大带宽，而是近似于视频编码速率。
- 对网络稳定性的要求高，网络波动时，瞬时速率和时延无法满足SLA，影响体验。
- 对上行无线带宽瓶颈要求高，如果一个基站并发接入业务数高于基站能力容量，那么

则会导致拥塞。这个在终端是固定场景时，需要从网络建设角度保障。对于终端是移动场景时，是难以提前保障的，一旦终端移动高流量区域时，容易产生上行拥塞问题

2.3.1.1 重大事件

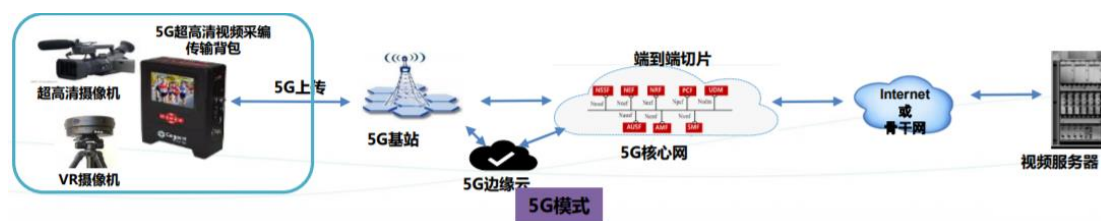


图 2-3 高清直播场景组网

- 中国X项目直播业务：直播采集方式主要是有线+微波方式，范围小，不灵活，微波和卫星上行带宽不足以支持4K直播。
- 采用5G超高清视频采编传输背包，可以在有5G覆盖的地方灵活部署，单小区4路4K上行，满足大部分场景。采播环节更高效，成本大幅降低；方案灵活、性能有保障、成本较低。

2.3.1.2 智慧视频回传分析系统

随着我国智能交通等各项建设的持续开展，以及教育、金融、物业等各行业用户安全意识的不断增强，视频记录市场一直保持稳定增长。然而，大多数摄像头一直没能摆脱传统人工观察分析方式，由此导致大量的视频数据堆积、记录存储实时性差、视频检索困难等问题，海量摄像头带来的检索工作需要耗费大量人力。为解决这些问题，近年来，视频记录存储行业加速向“高清化、网络化、智能化”趋势演进。视频记录存储系统的升级创新不断创造新的市场需求。一般而言，高清视频所需的码率在1Mbps以上，而超高清视频则需要更高的码率、更多的网络流量和存储空间，现有的4G网络无法满足要求，只有通过5G 网络才能满足超高清视频数据量大、实时性高的要求。

【5G智慧视频存储分析系统1】

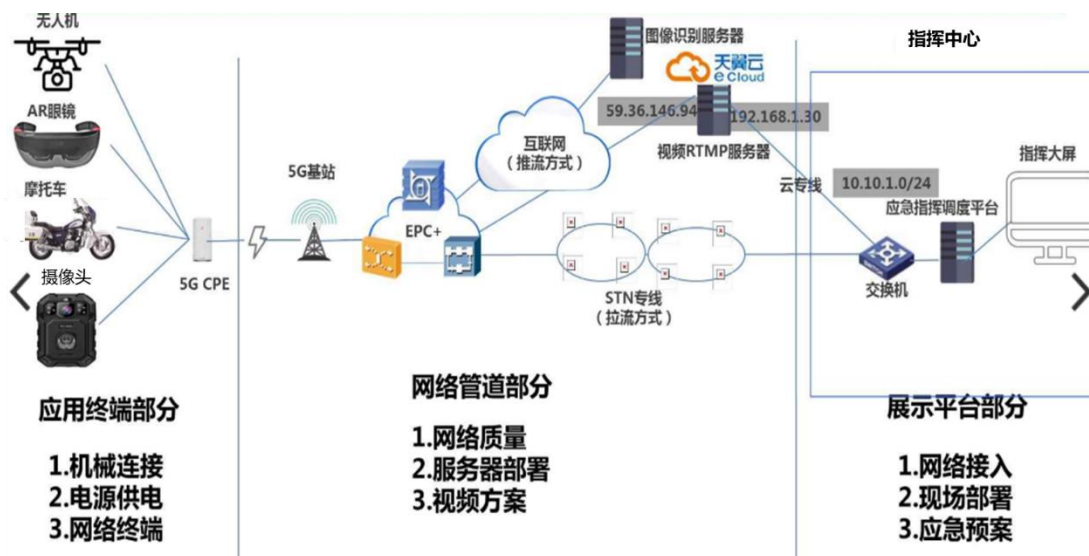


图 2-4 智慧视频存储分析系统

介绍：叠加5G网络能力，结合无人机、AR眼镜、摩托等技术，打造立体评估预测辅助系统。

主要应用场景：

- 1) 无人机视频推流：无人机按照指定巡航路线巡航，空中无人机对地面实时视频记录存储，显示待分析关键人员移动路线。1080P 30帧 8M码率视频，视频清晰流畅。（无人机芯片暂不支持4K及更高码率）。
- 2) 摩托车摄像杆视频推流：使用者戴上AR眼镜骑摩托车进行巡逻，摩托车实时视频推流，1080P 30帧8M码率视频，视频清晰流畅。AR眼镜的作用是通过分析系统，在AR眼镜上标识出待分析物信息。该场景AR应用并不产生网络大流量需求。

网络需求：目前因为终端设备还不支持4K，所以上行带宽要求不高，上行80Mbps可以满足要求。

【5G智慧视频存储分析系统2】

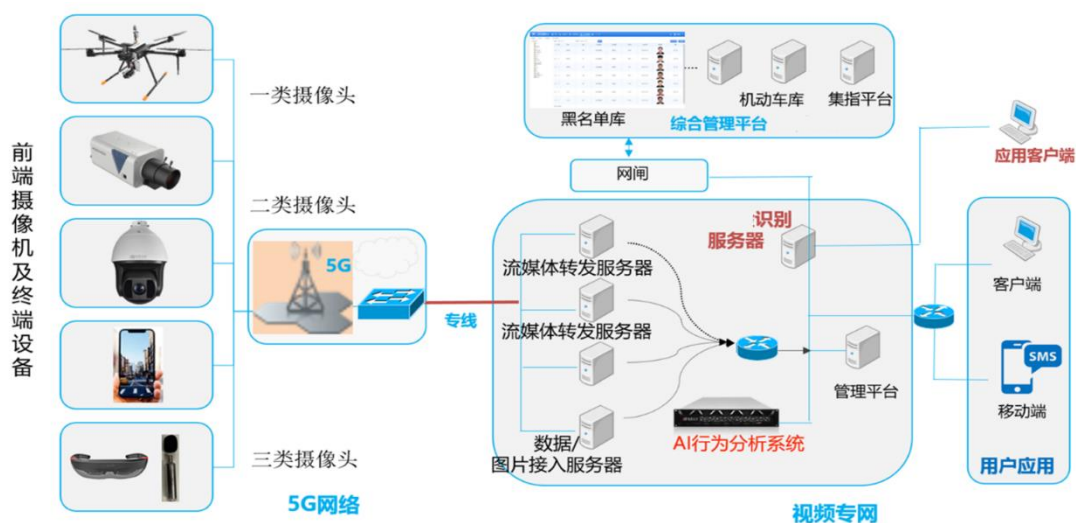


图 2-5 云视频场景组网

业务介绍：3路摄像输入，接入视频专网；云平台AI算法服务器，从视频中识别出待分析事件。

● 无线网络层设计

- ✓ 当UE发起业务请求时，gNodeB读取N2接口中各QoS Flow的QoS属性值，高优先级业务映射到高优先级逻辑信道上，保证优先调度
- ✓ 信令面始终优先调度

● 传输网络层设计

- ✓ 核心网及邻站之间传输QoS控制，按数据传输优先级标记不同DSCP，再映射到VLAN优先级，运营商可灵活配置
- ✓ 根据客户业务要求确定优先级，可参考华为推荐值

QoS指标要求：

● 地面场景

业务场景	子场景	设备数量	视频路数/设备	视频总路数	业务属性	上行速率指标	下行速率指标	移动速度
地面巡查	天眼视频记录存储（固定杆）	10	1	10	4K 视频回传	25Mbps	NA	0Km/h
	机器人	2	1	2	4K 视频回传	25Mbps	NA	5Km/h
	AR 眼镜	2	1	2	1080P	6Mbps	NA	5Km/h

图像识别	手机（2）	2	1	2	2K	10Mbps	10Mbps	5Km/h
	车（1）	1	2	2	4K 视频回传	25Mbps	NA	50Km/h
行为识别	卡口/广场固定杆	10	1	10	4K 视频回传	25Mbps	NA	0Km/h

● 空中场景

业务场景	业务属性	上行速率指标	下行速率	端到端时延（业务）	端到端时延（控制）	飞行最大高度	飞行最快速度
无人机	1080P/2K	6Mbps~10Mbps	1Mbps	<500ms	<100ms	150m	60Km/h
	4K 视频回传	25Mbps	1Mbps	<200ms	<20ms	150m	60Km/h

2.3.1.3 远程医疗

主要应用场景：

- 远程B超：B超设备医生端部署在医院，患者端部署在基层医疗机构；医生通过远程超声系统采集超声影像进行诊断，医患通过实时音视频进行互动。
- 远程急救：车辆的实时位置、患者的心电图、超声图像、血压、心率、氧饱和度、体温等数据实时同步到5G远程急救指挥中心确诊患者病症；中心医生通过实时音视频指导急救人员进行急救。
- 远程手术：医生通过远程桌面控制手术臂进行操作；各方通过移动云视讯进行远程会诊。

网络需求：

应用Case	业务场景	患者端带宽需求	时延
远程B超	高清视频影像回传	上行速率10Mbps	100ms
	医患视频通话	上下行速率8Mbps	100ms
	操作控制	上下行速率1Mbps	20ms
远程急救	救护车视频回传	上行速率12Mbps	50ms
	车与急救中心视频通话	上下行速率8Mbps	100ms
远程手术	手术台视频回传	上行速率12Mbps	100ms
	会诊视频通话	上下行速率8Mbps	100ms
	操作控制	上下行速率1Mbps	2ms

远程B超：

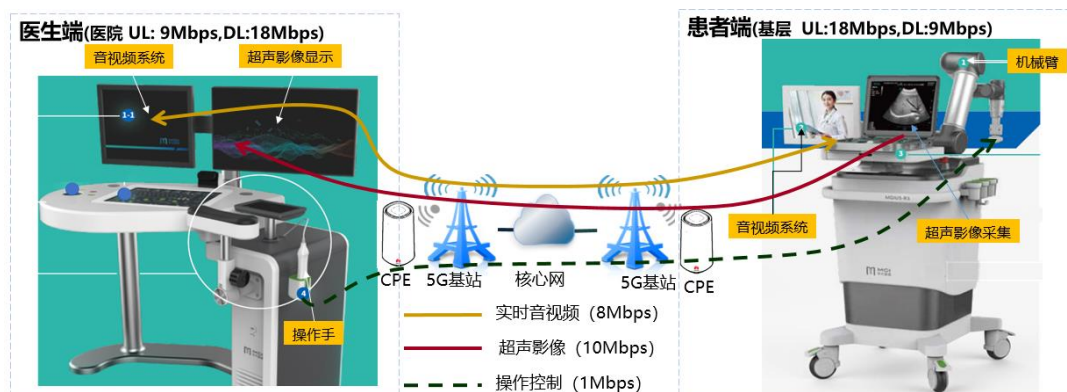


图 2-6 远程B超场景组网

网络需求：

	UL	DL
医生端	9Mbps (操作信息1Mbps+医患通信视频8Mbps)	18Mbps (超声影像10Mbps + 医患通信视频8Mbps)
患者端	18Mbps (超声影像10Mbps + 医患通信视频8Mbps)	9Mbps (操作信息1Mbps+医患通信视频8Mbps)

说明：视频以1080p计，如果是4K，需要25Mbps。

远程急救：



图 2-7 远程急救场景组网

	UL	DL
急救中心	8Mbps (实时音视频8Mbps)	20Mbps (医疗数据12Mbps+实时音视频8Mbps)
救护车	20Mbps	8Mbps

	(医疗数据12Mbps+实时音视频8Mbps)	(实时音视频8Mbps)
--	-------------------------	--------------

说明：视频以1080p计，如果是4K，需要25Mbps。

远程手术：

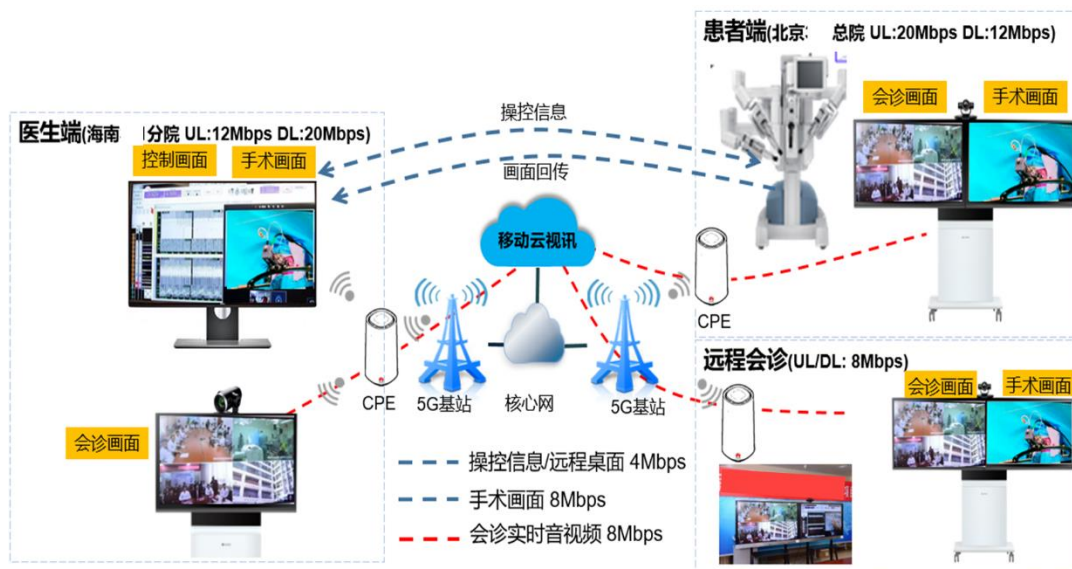


图 2-8 远程手术场景组网

	UL	DL
医生端	12Mbps (远程桌面控制4Mbps+会诊视频8Mbps)	20Mbps (远程桌面4Mbps+手术画面8Mbps +会诊视频8Mbps)
患者端	20Mbps (远程桌面4Mbps+手术画面8Mbps +会诊视频8Mbps)	12Mbps (远程桌面控制4Mbps+会诊视频8Mbps)
远程会诊端	8Mbps (会诊视频8Mbps)	8Mbps (会诊视频8Mbps)

说明：视频以1080p计，如果是4K，需要25Mbps。

2.3.1.4 远程教育

关于智慧校园的建设和其他的智慧园区并无太大差异，本章节只描述远程教育特色的业务场景：

- ✓ AR辅助教学
- ✓ VR远程教学

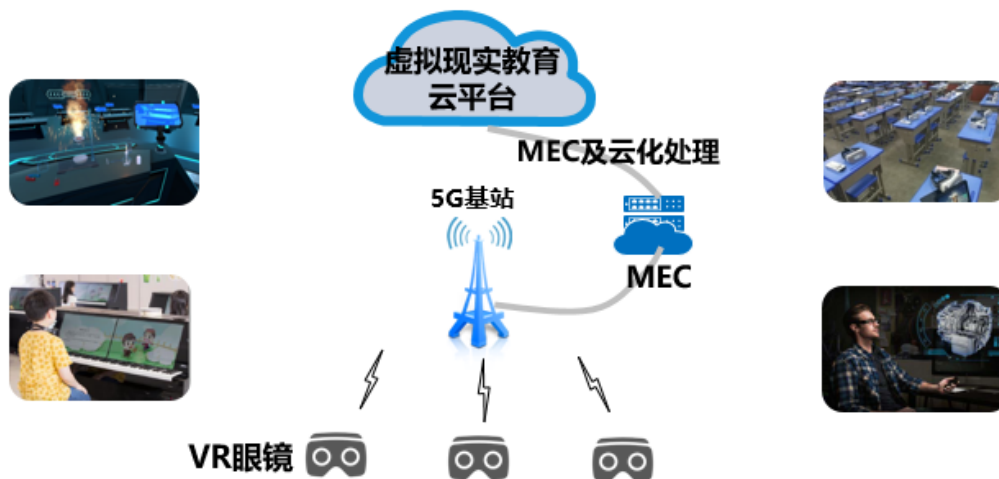
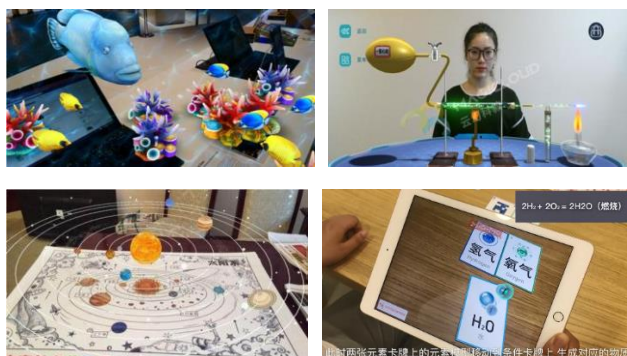


图 2-9 远程教育组网

将AR/VR教学内容上云端，利用云端算力实现AR/VR运行、渲染、展现和控制，借助5G大带宽和低时延特性实时传输到VR眼镜终端；建设AR/VR云平台和应用，包括虚拟实验室、科普教学、三维互动课堂。

AR教学内容示例：



VR教学内容示例：



网络要求：

VR教学：

✓ 带宽（4K）：25Mbps~40Mbps

✓ 时延：80ms

AR教学：

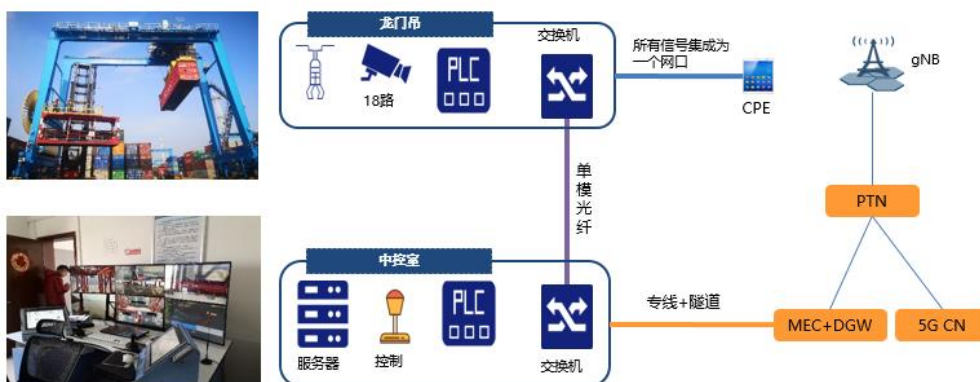
✓ 带宽（4K）：25Mbps~40Mbps；实际上大多数场景并不需要4K的视频质量。

✓ 时延：10ms；对于互动式AR交互操作，对时延要求高。

2.3.2 工业园区

2.3.2.1 智慧港口

通过5G建设智慧港口。



使用场景：远程吊床控制/AGV自动控制/集卡自动驾驶

1) 塔吊和桥吊上部署无线摄像头，图像实时回传，实现装卸员在室内远程操作

2) AGV自动引导运输车远程辅助操控

3) 基于5G的无人集卡自动驾驶控制

综上，可以看到工业园区是一种企业应用，业务场景主要还是视频回传与远程控制。

业务场景对网络的要求：

高清视频流

✓ 时延：50-80ms

✓ 带宽：30-100Mbps

✓ 可靠性：99.9%

说明：每个吊台按照18路高清视频，视频格式1080P，20fps，以保守估算：媒体流平均速率2Mbps，需要上行带宽： $18 \times 2\text{Mbps} = 36\text{Mbps}$ 。

每个堆场占地450*350米，每个堆场14列，每列2-3台龙门吊，每个堆场上行总带宽：

$14 \times 3 \times 36 = 1510\text{Mbps}$ 。

吊台控制信号流：

✓ 时延：18ms

✓ 带宽：50-100kbps

✓ 可靠性：99.999%

说明：PLC看门狗信号时延18ms；在5G场景下，如何保证18ms的可用率。

2.3.2.2 商业园区

主要业务场景：

✓ 工业高清视频记录存储；

✓ 工业相机：利用机器视觉实现装配过程智能化检测；

✓ AR辅助：装配过程中AR应用，实时指导员工操作，并对不规范进行预警和记录；

场景介绍：

1) 4K视频实时记录存储：巡逻车上安装3个4K高清摄像头，通过CPE回传视频到体验车的

远程记录存储平台上；

业务对网络的诉求：

a) 推流场景：25~40Mbps上行带宽。并发3路，共75~120Mbps上行带宽。

b) 拉流场景：取决于并发接入的视频个数，最大峰值速率1Gbps。

2) 工业相机：对物体进行360度拍照和扫描，通过5G CPE网络将扫描图片通过MEC直接旁路到私有云，异常检测在私有云上完成。

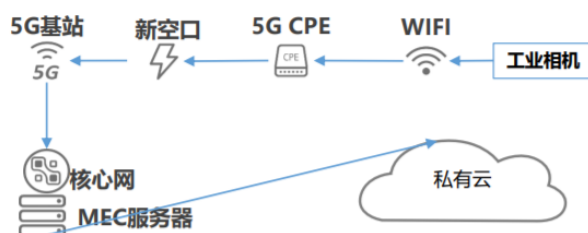


图 2-10 工业相机场景组网

业务对网络的诉求：工业摄像机对模组进行拍摄，每秒3张，每张300KB~600KB，7~8台同时上传，要求上行速率达到50~115Mbps；云端对照片进行组合处理后，形成最终图纸≤500MB，现场技术人员通过PAD或者PC需3秒内下载完，要求下行速率达到1.3Gbps。

3) AR辅助：利用AR设备，实现对装配区域图像获取；通过5G网络将装配现场图像实时上传至云端；装配人员能够在AR设备从私有云中下载相应的资料，在AR显示端口实时观察到可视化的工艺文件信息，实现实时指导。

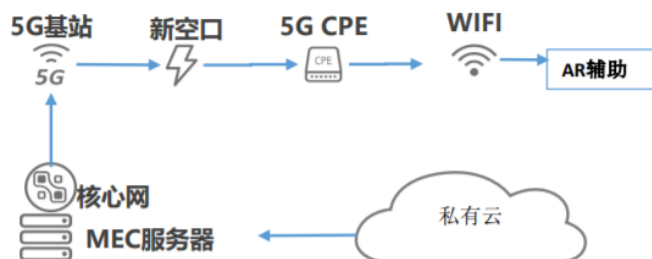


图 2-11 AR辅助场景组网

业务对网络的诉求：当前的AR眼镜为微软的hololens眼镜，主要做720P的视频流，下行要求1.5Mbps，但对时延要求很高，要求在20ms内，需5G+MEC解决方案，后续对视频流有2K~4K需求。

2.3.2.3 智慧鱼塘

渔场通常位于偏远地区，主要是视频记录存储、喂养等相关行为。养鱼是水产养殖的用例之一，需要从整体上研究沿海生态系统，以利用潜在的5G网络功能。

客户挑战：疾病、鱼类健康、食肉动物、食物浪费、污染、生物质、逃脱农场物种、极端/恶劣天气条件、高成本。

主要业务场景：

- ✓ 高清视频记录存储
- ✓ 远程喂养

技术要求：

- ✓ 上行链路要求：，上行7.5Mbps/摄像头，75-135Mbps/渔场
- ✓ 视频记录存储体验延迟：最大延迟为0.5秒，可为最终用户提供完整的视频体验。
- ✓ Ping时间：现在~30ms和2021+~10ms
- ✓ 交互延迟时间：200ms（往返）

2.3.3 工业自动化

2.3.3.1 智慧电网

建立在高速双向通讯网络基础上，利用先进的传感和测量技术、控制方法及决策支持系统，实现电网的智能化，贯穿发电、输电、变电、配电和用电五个环节。

低压集抄场景这个是典型的广连接业务诉求。

业务类别	通信需求		典型电力终端	5G 通信终端形态	终端数量 (通信终端)	5G 网络切片类型	对网络的特殊要求
	时延	带宽					
智能配网差动保护	≤15ms	≥2Mbps	智能DTU	CPE	6	uRLLC	时钟同步功能要求：< 10us
配电自动化三遥	≤50ms	≥2Mbps	智能DTU	CPE		uRLLC	无

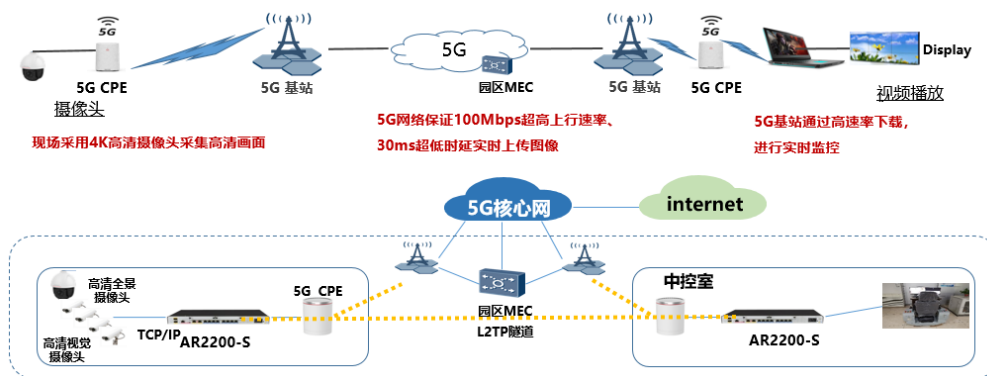
配电自动化三遥	≤50ms	≥2Mbps	智能DTU	CPE	6	uRLLC	无
电网应急通信	≤200ms	20~50Mbps	无人机、手机、摄像头	HUB、CPE	4	uRLLC eMBB	无
低压集抄	≤3s	1~2Mbps	集中器、电表	定制化通信仓	100	mMTC	大连接
精准负荷控制	≤50ms	1.13Mbps	智能DTU	CPE	6	uRLLC	高可靠 低时延

智慧电网的主要业务场景：包括了eMBB、uRLLC和mMTC业务场景，但是从对网络挑战来讲，mMTC挑战较大。

2.3.3.2 智慧钢铁

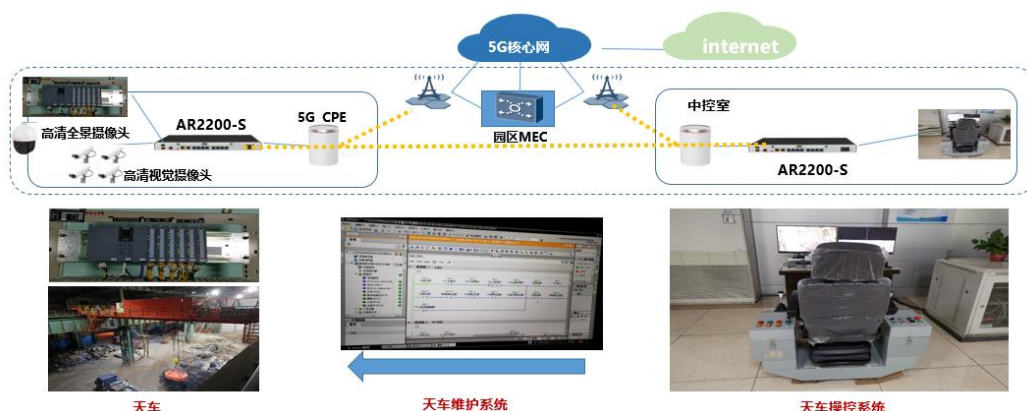
吊运天车需要精准操控：需要远程零等待，动作低时延；高清晰，高精度，多视野超高清视频信号切换。

业务场景1：高危区域、恶劣环境高清视频实时监控



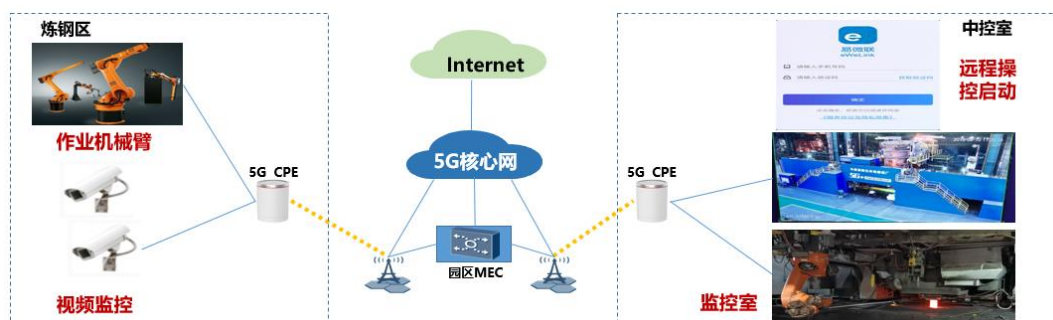
通过高清实时视频监控，控制中心通过高清监控可及时准确掌握现场动态，实时预警，提前干预，避免安全事故。减少人员工作巡检，提高效率，并避免安全生产事故。

业务场景2：高危区域、恶劣环境远程视频操控（PLC）



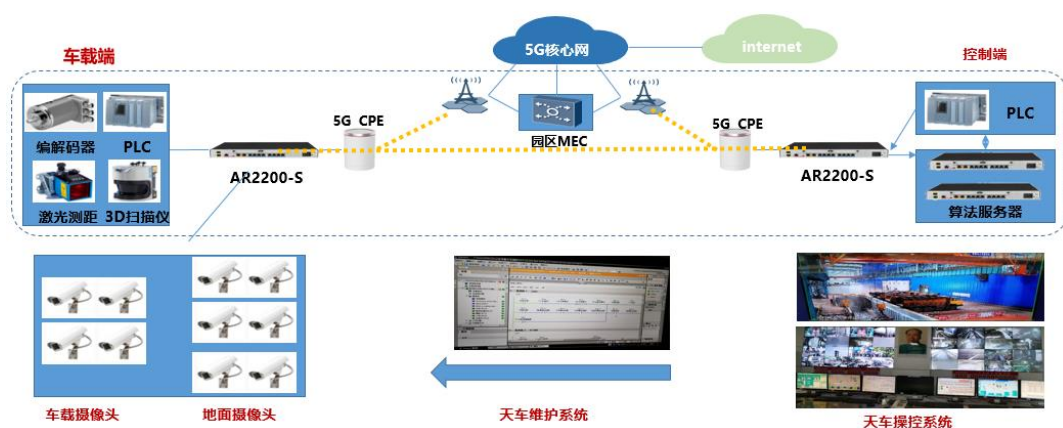
由天车操作系统、5G网络与天车（含PLC、摄像头）三部分组成，通过天车操作系统实现实时远程操控天车。通过5G低时延网络下发指令，向操作员提供第一视角的高清视频，执行“零”延迟操控，保障远程操控精准、实时操控性。将操作人员从噪音、粉尘、高温环境中解放出来，改善工作环境，提供工作效率，避免安全生产事故。

业务场景3：高危区域、恶劣环境远程机械臂（一键加渣）



机械臂通过远程一键控制进行自主运行，加渣机械臂通过5G手机远程连接到控制系统，实现随时随地一键启动远程控制。让高温锅炉旁边的机械臂自动运行，同时加渣机械臂均匀的将铁矿渣喷洒到炼钢锅炉里，提升钢铁生产质量。避免工人在高温锅炉旁现场作业，改善工作环境，降低了人力成本，避免安全生产问题。

业务场景4：无人驾驶天车



无人天车系统由采集器（含3D扫描仪、激光测距仪、编解码器、摄像头）、5G网络与PLC控制器三部分组成。通过扫描仪采集水平方向与垂直方向信息、测距仪采集距离信息，获取周边物料、坑料、车辆、车斗高度及装卸位置信息和画面，实时将数据传输至MEC（后续部署）端进行数据处理，建立现场三维数据模型。同时构建AI智能算法构建动作指令集，下发给天车执行，从而实现天车无人化自主生产。

对5G网络的总体需求：

表 2-1 视频监控业务管道要求

应用场景	终端数量	带宽需求
视频回传	每个天车上共 M 个摄像头（1080P）和 1 个全景摄像头（4K）	1080P：4Mbps/路，每个天车共需 N*4Mbps 4K：32Mbps/路，每个天车共需 32Mbps

表 2-2 远程视频操控 PLC 业务管道要求

应用场景	终端数量	带宽需求	RTT 时延需求
远程控制	每个天车上 1 个 PLC 模块	-	20-50ms

具体的体验要求和体验基线参见5.1.4章节。

2.3.4 工业无人机

无人机是在5G应用Case中的一个具体业务场景，上一章节也提到了智慧城市中的无人机应用。其实不管在什么应用Case中使用，无人机可以提供的基本业务是雷同的，本节介绍无人机的基本传输机制和基本业务场景。

当前的无人机主要采用点到点的传输技术，传输内容分为三类：

业务场景	描述	带宽	时延
实时飞控指令	控制飞行器的指令，从请求到响应，属于交互行为	10Kbps	20~100ms
多媒体数据传输	拍照，回传图像数据，包括高清图像、红外图像、VR图像等	xKbps ~ xMbps	/
视频回传	应用场景需要，搭载不同摄像头，视频供勘查、观赏、搜寻、巡检	几兆到几十兆	20~100ms

具体到工业场景应用中的网络要求：

应用场景	业务	上行速率	控制时延	覆盖高度	覆盖范围
物流	自动飞行	200kbps	<100ms	-	城区、城郊、农村
	基于高清视频的人工接管	25Mbps	<20ms	<100m	
农业	喷洒农药	300kbps	<100ms	<10m	农村
	土地勘测	20Mbps	<20ms	<200m	
巡检 视频记录 救援	4K视频回传	25Mbps	<20ms	<100m	巡检覆盖基础设施，视频记录覆盖城市
测绘	激光测绘	100Mbps	<20ms	<200m	城市农村
直播	4K视频回传	25Mbps	<20ms	<100m	城市、旅游景点
	8K视频回传	100Mbps	<20ms	<100m	

关于无人机在工业场景中的连续性覆盖要求：

无人机飞行范围如超过5KM，且有实时视频回传需求时，需要运营商网络提供连片覆盖，满足全航线覆盖和上行带宽需求。

- ✓ 林区或海域巡检、测绘：当前受限于4G网络在无人机作业环境（野外，空中100至200米高度）无法提供覆盖和稳定性带宽保障，因此大多采取视频录制后做后期分析的模式。
- ✓ 智慧云视频，火险扑救：由于无人机飞行高度在50米左右，且在市区范围，4G网络覆

盖较好，当前无人机自带4G模块可支持480p或720p实时视频回传业务。

- ✓ 快递派送：固定航线飞行，飞行过程中无人控制。无实时视频回传需求。

说明：5G massive MIMO立体网络覆盖，垂直维度多波束优势进行低空联合覆盖：主瓣覆盖地面，旁瓣覆盖低空，供无人机使用。

2.3.5 FWA 专线

用例来源：FWA专线改造项目。

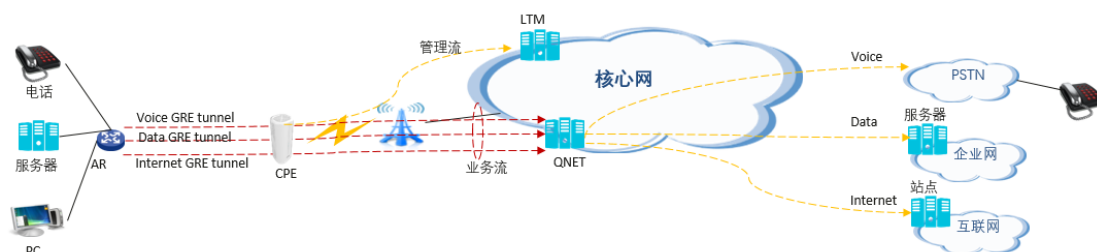


图 2-12 5G ToB FWA专线组网

5G ToB FWA专线3种业务场景（AR路由器会建立GRE隧道区分不同业务）：

- Voice：企业语音业务：IP电话、视频会议
- Data：企业FAX、POS数据业务
- Internet：企业上网业务（网页、视频、邮件等）

5G ToB FWA专线SLA指标要求：

- 服务可用性：传输管道的可用性
- 时延&丢包：传输管道的性能
- 速率：传输管道的性能

客户两个方面的需求：

- 1) FWA管道性能保障：不区分业务，管道性能SLA（速率、时延、丢包、可用性）保障

2) 业务的体验指标保障：Voice、Data、Internet重点业务的指标保障

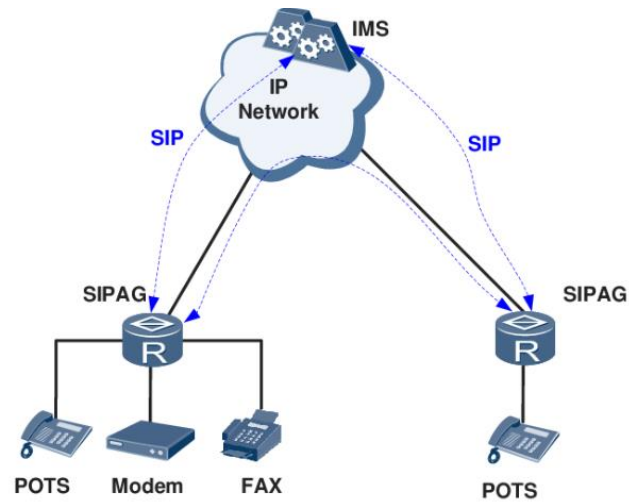


图 2-13 企业业务典型组网

话音业务采用SIP（Session Initiation Protocol）协议，媒体流采用RTP协议。



对于未来智慧城市环境的更广泛，更通用的示例场景：

- 2021-1-22

- ✓ 环境监测，智能运输系统（ITS）基础设施（例如道路）交通拥堵控制）和废物管理传感器；
- ✓ 智能能源，涵盖例如智能计量和智能电网；
- 物流包括：
 - ✓ 用于跟踪运输中货物的传感器数据。

业务要求如下：

因素	影响
最小需求速率/ Min required Throughput	这是保证的最低速率必须交付以确保该服务的可接受的用户体验；用户体验网络部署的速率将与此进行比较，以确保提供可接受的体验。
端到端时延/E2E Delay	这是保证最低用户感知延迟交付，以确保可接受的用户体验的应用程序的响应时间或响应时间这项服务。由于这是用户感知的延迟，因此它涵盖了往返时间（RTT）和在应用层接收和确认数据的时间，覆盖协议栈的所有层。
数据量/Volume per Service per Day	每台设备消耗的平均数据量。
设备数量/ Number of devices	给定服务的指示性预期设备密度。可以与给定区域的某项服务的流量密度进行匹配。
可以接受服务比例 /Percentage of scenario with service coverage	是目标需求的百分比所考虑的场景中设备应该能够接收服务的位置

业务场景对应的网络要求如下：

Service component	Min. required bit rate	E2E latency	Reliability and security	Number of devices or users per km2
eMBB supporting 360-degree video (high throughput but not necessarily low latency)	50 Mbps	<100ms	Best effort reliability and Consumer grade security	Up to 150k
AR/VR-based eMBB with low latency (i.e., <10 ms) and high throughput	50 Mbps	<10ms	Best effort reliability and Consumer grade security	Up to 150k
Intelligent traffic signal control (high reliability, low throughput MTC service)	Minimum connectivity	>100 ms	High reliability and high security	100s of road sensors in the port area.

eMBB service supporting 4k+ video (high throughput MTC service, but not necessarily low latency)	10 Mbps	<100ms	Best effort reliability and high security	10s of video surveillance points in the port area
Low throughput, high density MTC for environmental data analysis or logistics	Minimum connectivity	>100 ms	Best effort reliability and Consumer grade security	10s of thousands of containers in the port area per day 100s of environmental sensors in the port area
eMBB – consumer portable devices (driven by video applications)	10 Mbps Downlink (DL)/Uplink (UL) (4k video quality experience)	<100ms	Best effort reliability and Consumer grade security	10s of thousands per km^2
V2I – infotainment (eMBB)	10 Mbps DL (4k video quality to at least one passenger)	<100ms	Best effort reliability and Consumer grade security	100s of vehicles per km^2
V2I – driver information service (mMTC)	0.5 Mbps DL/UL	<100ms	Best effort reliability and Consumer grade security	100s of vehicles per km^2
Environmental monitors, waste management and ITS (mMTC)	Minimum connectivity UL	> 50 ms	Best effort reliability and Consumer grade security	100s of devices per km^2
Smart meters – sensor data, meter readings, individual device consumption (mMTC)	Minimum connectivity UL	> 50 ms	Best effort reliability and Consumer grade security	10s of thousands per km^2
Smart grid sensor data and actuator commands (mMTC)	Minimum connectivity UL	> 50 ms	Best effort reliability and Consumer grade security	10s of thousands per km^2
Logistics sensor data for tracking goods (mMTC)	Minimum connectivity UL	> 50 ms	Best effort reliability and Consumer grade security	Up to 10k items to track per km^2

V2I – assisted driving	0.5 Mbps DL/UL	<100ms	High reliability	100s of vehicles per km^2
------------------------	-------------------	--------	------------------	--------------------------------

2.3.7 广连接业务

3GPP蜂窝系统主要是为人类语音和数据使用而设计的，而针对机器需求的设计则较少。对于所有要求要考虑的重要一点是向后兼容性。这是因为IoT设备（无论是cIoT还是iIoT）可能会在现场停留更长的时间，从而影响技术迁移等。

1) 需要“零复杂性”

最严格的要求之一是将设备复杂度降低到几乎为零的要求。由于实际上不存在硅成本，因此这将对器件的成本产生积极影响。为此，3GPP研究项目确定了MTC设备不需要的几个功能，这些功能可以显着降低设备的复杂性。值得注意的是，LTE建议将设备功能限制为单个接收RF链，将支持的峰值数据速率限制为IoT应用所需的最大值，减少支持的数据带宽和支持半双工操作，这是降低设备复杂性的关键。其他几个。需要进行标准化工作，以确保能够实现具有附加调度程序限制的普通3GPP设备维护系统性能以服务于这些低复杂度设备。考虑时间表 3GPP已在版本12中关闭了LTE的一些降低复杂性的规范；其余和新的复杂性项目将在版本13和后续版本中处理。

2) 需要较长的电池寿命

大部分的物联网设备将由电池供电，并且可能位于偏远地区，在这些地区可能无法更换电池或为电池充电或在经济上不可行。设备的小型化也意味着电池的物理尺寸将变小，这意味着即使电池技术发展，电池中的总可用能量也可能不会增加。因此，物联网设备中的通信模块需要非常节能，以实现数十年的电池寿命。对于不经常使用LPWA技术和LTE Rel-12进行数据传输的情况，电池寿命为10年已经是可行的。因此，5G面临的挑战可能是对于更频繁的数据传输也要允许电池寿命超过十年。

3) 需要改善覆盖范围

许多工业甚至消费者物联网应用都需要高覆盖率。此类应用的示例包括智能计量，具有地

地下室覆盖范围的工厂自动化等。许多连接业务模型仅在且仅当可以访问网络中的几乎所有设备时才起作用。由于无线信道的性质，例如在地下室中提供包括室内位置在内的100%覆盖是非常昂贵的。还需要在挑战性的位置也能使用最后百分之几的设备，而又不会显著增加整个解决方案的总成本。从理论上讲，增加基站的数量是一个解决方案，但是要付出额外的成本，例如站点获取/租赁，回程供应等。一种可行的方法可能是在某些关键应用程序环境中提高覆盖范围，而又不显著增加解决方案的总体成本。为此，3GPP规定了低复杂度和改进的覆盖范围的MTC设备，以促进可扩展的IoT普及。值得注意的是，覆盖范围的改善是通过重复3GPP Release 12 Stage 3中提供的具有更多详细信息的信息来实现的。

4) 需要MTC用户识别和控制

大部分低成本MTC设备都将集成有SIM。但是，可以设想，出于可伸缩性，配置和复杂性的原因，一些MTC设备将不包含SIM卡。在这种情况下，必须能够使用预先定义的SIM卡配置文件分别调节访问权限。通常，SIM卡包含与HLR直接链接的订户的IMSI。后者包括有关已订阅的MTC服务和功能配置文件的详细信息。运营商已经能够基于订阅配置文件支持定制的MTC服务，例如最佳数据包大小，具有MTC服务专用接入点名称（APN）的最佳路由等。通过IMSI，为MTC订阅提供了特定的计费策略由运营商负责，并且运营商可以完全控制网络中允许的用户。3GPP可能为MTC定义一个或多个新的LTE UE类别。如果它们影响网络性能并能够限制MTC设备的访问，这将是识别和隔离MTC设备的一种方法。运营商共同关心的问题之一是限制对漫游设备的访问。显然，运营商应该能够从MTC特定用户设备（UE）类别中识别出此类漫游MTC设备，并且如果运营商不希望为这些设备提供服务，则能够限制对这些设备的访问。

【关于5G mMTC业务的客户需求】

物联网中连接的“物”的数量未达到几年前的预测。总体而言，物联网的部署在市场研究预测方面是落后的。对于许多人来说，这确实令人惊讶，因为毫无疑问，利用物联网功能为地球提供仪器将带来可观的运营节省和/或财务收益。要了解潜在的市场动态，必须理解为使新技术成功，需要三件事：i) 技术本身的提供；ii) 将供应与需求联系起来的成熟商业模式；iii) 强劲的市场需求。

当今有大量可用的连接技术和标准。这些已经过测试，其中许多已成功用于世界各地的各

种部署中。

从业务建模的角度来看，当今有许多模型可用，其中一些已经在实际的商业部署中成功进行了测试。例如，在智能城市市场中，市政厅可以使用智能停车传感器，智能垃圾桶传感器和/或智能路灯传感器。智能停车传感器不仅能够将驾驶员引导到空闲的停车位（从而减少驾驶时间，减少污染等），而且还可以将占用数据与付款数据相关联；后者可以更有效地发现侵权行为，从而提高城市停车的财政收入。智能垃圾箱传感器能够检测出何时需要准确清空垃圾箱，从而改善提取时间表并节省市政厅的费用。智能路灯传感器能够根据环境光条件以及街上的移动情况来调节灯的使用（即，如果没人在凌晨3点通过，它们就会关闭）。据估计，这可以节省30%的城市电费。

为什么在提供技术和强大的业务模型的情况下，物联网没有像我们希望的那样迅速起飞？原因是市场需求始终保持较低水平。对于新技术和新市场，这是完全正常的。例如，互联网花费了十多年的时间才得到广泛使用：人们在没有互联网的情况下进行会计和购物已经有很多年了，要改变这种习惯需要花费一些时间。在物联网智慧城市的背景下：城市多年来一直在手动测量空气污染-他们为什么现在要开始使用自主传感器？可以说，这是当今物联网面临的最大挑战，即在行业 and 消费者之间创造真正的需求。一旦需求产生，采购和供应链适应，物联网将成倍增长，就像互联网在2000年左右一样。互联网经历了从基础架构驱动（以太网电缆，路由器，计算机等）到业务驱动（Facebook，eBay，Google）的巨大转变。物联网正在经历类似的转变，在电信生态系统视角，5G 物联网将会带来新的商业模式翻转。

2.4 相关技术

2.4.1 UDP 协议

5G业务高实时性要求、高可靠性要求趋势下，传统的TCP协议逐渐被抛弃，基于UDP的协议演进趋势明显。

实时流媒体业务传输协议的对比：

Implementation	Advantages	Disadvantages	Examples of implementations
TCP	+ Fairness + Guaranteed delivery	- May lead to buffering at receiver - Limited control of latency	HLS MPEG-DASH
UDP	+ High throughput + Low latency	- Does not handle lost packets	RTP RTMP
ARQ	+ High throughput + Guaranteed delivery within window	- Latency higher (but often fixed)	Zixi SRT RIST LRT

Reference: Official NAB 2019 Conference Paper: White-paper-Cloud-ingest-of-live-video—An-open-approach-to-RIST-SRT-and-retransmission-protocols

由于开源选项的可用性，但更多重要的是因为重传技术很容易在软件中实现，互联网中的供应商数量贡献空间与新进入者持续惊人进入市场。因为适用范围、大型生态系统、开放性的优势而被选择。其中三个是Zixi，安全可靠的传输（SRT）和可靠的互联网流媒体传输（RIST）趋势明显。

Protocol	Firewall traversal	FEC support	Encryption	Path protection	No packet compression
SRT	Yes, both sides	No (planned)	Yes AES 128/256	No (SMPTE 2022-7 planned)	Yes
RIST	Yes, sender only (both planned)	Yes SMPTE 2022-1	No (planned)	Yes (bonding optional)	No (planned)
ZIXI	Yes, both sides	Yes, proprietary content aware	Yes, AES 128/256 & DTLS	Yes. SMPTE 2022-7, bonding, primary/standby	Yes

2.4.1.1 Zixi

- 链路质量的动态评估
- 内容感知带宽优化技术
- 动态去抖动缓冲区和空位序列压缩选项

- 混合智能纠错机制：
- 内容感知前向纠错（CA-FEC）
- 内容感知自动重复请求（ARQ）丢包恢复
- UDP，单播或多播上的无缝自适应比特率
- 支持所有行业标准的视频编解码器和格式（MPEG-TS（UDP，RTP）RTMP等）

Zixi为100多家合作伙伴和OEM提供前所未有的互操作性；在100多个国家/地区提供10,000多个实时视频频道。

<https://zixi.com/>

2.4.1.2 SRT

SRT(Secure Reliable Transport)是一款商业级别的开源工具包，由 Haivision Systems 公司开源发布。它在 UDT 的基础上进行了一些扩展和定制，具备网络传输丢包检测/延迟控制/视频加密功能，可用于商业化的 P2P 视频流传输。

- 支持：ARQ、FEC、视频加密；

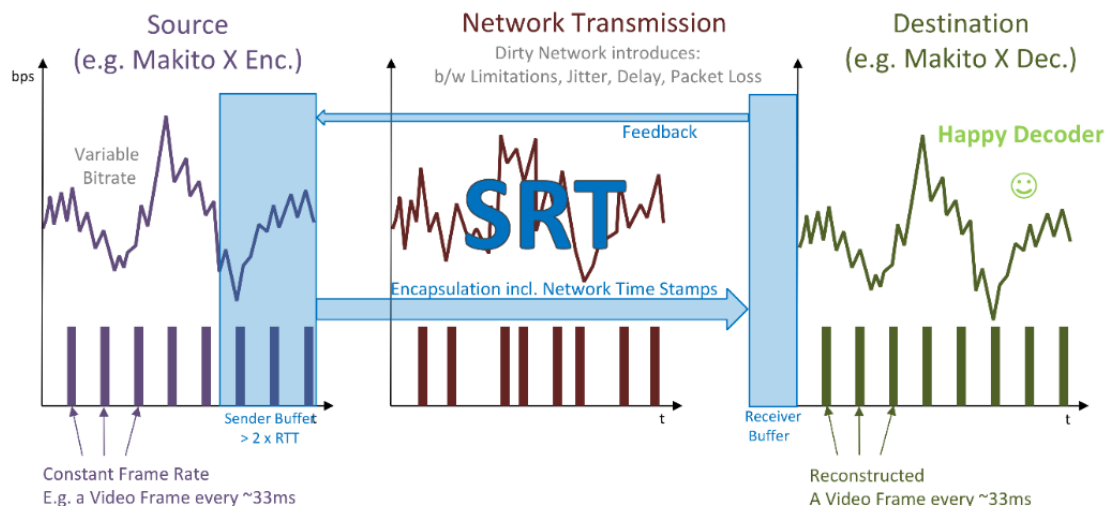


图 2-15 SRT协议效果示意

云公司为了进一步提升Cloud VR Game的性能，已经采用的基于UDP的SRT协议。

<http://www.haivision.com/>

2.4.1.3 RIST

RIST(Reliable Internet Streaming Transport), 也许与实际标准最接近的是VSFs RIST, 或者TR-06。RIST技术建议已经达成一致通过类似标准化的过程。已经有30多名支持成员并迅速发展。

<https://www.rist.tv/members>

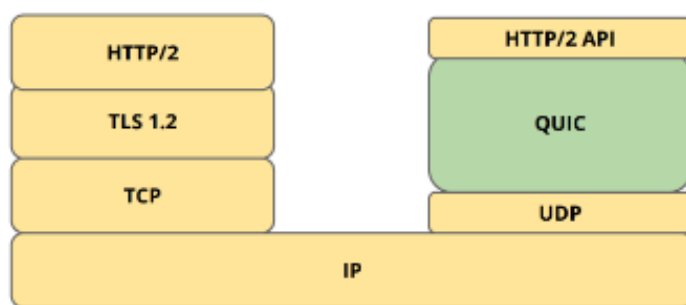
2.4.1.4 UDT

UDT: UDP-based Data Transfer Protocol, 基于UDP的可靠数据传输协议。UDT建于UDP之上, 并引入新的拥塞控制和数据可靠性控制机制。UDT是面向连接的双向的应用层协议。它同时支持可靠的数据流传输和部分可靠的数据报传输。

- UDT双工, 每个UDT包含发送、接收两个实体。
- 发送方根据流量控制和速率控制来发送(和重传)数据
- 接受者接受数据和控制包, 并反馈。
- 发送、接收程序共享一个UDP端口来发送和接收。
- 接受者也负责触发和处理所有的控制事件, 包括拥塞控制和可靠性控制, 以及他们的相对机制, 如RTT估计、带宽估计、应答和重传。
- UDT把包打成固定大小(数据不够除外)。固定包大小叫做MSS。UDT期望用来传输大块数据流, 则假设大部分包都是MSS大小。MTU是最优值(含包头)。
- UDT拥塞控制算法将速率控制和窗口合并起来, 前者调整包的发送周期, 后者限制最大的被应答包数量。在速率控制中使用的参数通过带宽估计技术来更新。

2.4.1.5 QUIC

QUIC全称quick udp internet connection, “快速UDP互联网连接”, 是由 google 提出的使用 udp 进行多路并发传输的协议。2015年提交草案至IETF, 2018年QUIC在Internet上占据了7%左右的流量。



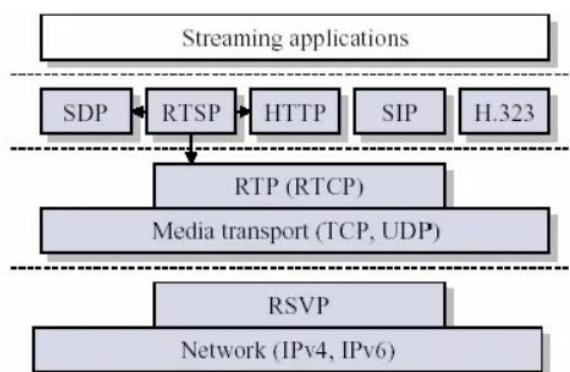
Quic 相比现在广泛应用的 http2+tcp+tls 协议有如下优势：

- 减少了 TCP 三次握手及 TLS 握手时间。
- 改进的拥塞控制。
- 避免队头阻塞的多路复用。
- 连接迁移。
- 前向冗余纠错。

2.4.2 RTSP 协议

实时流媒体协议：RTSP（Real-Time Streaming Protocol）是IETF提出的协议，对应的RFC文档为RFC2362。它是一个应用层协议（TCP/IP网络体系中）。它以C/S模式工作，它是一个多媒体播放控制协议，主要用来使用户在播放流媒体时可以像操作本地的影碟机一样进行控制，即可以对流媒体进行暂停/继续、后退和前进等控制。

协议栈如下：



RTSP协议族的优势，在于可以控制到视频帧，因此可以承载实时性很高的应用。这个优点是相对于HTTP方式的最大优点。企业网H.323视频会议/固网IPTV业务一般采用RTSP协议。目前ToB的视频回传业务，也普遍使用RTSP协议传输。

RTSP消息由客户端到服务器的请求和由服务器到客户端的响应组成。

RTSP方法如下：

方法	方向	要求	含义
DESCRIBE	C→S	推荐	检查演示或媒体对象的描述，也允许使用接收头指定用户理解的描述格式。DESCRIBE 的答复-响应组成媒体 RTSP 初始阶段
ANNOUNCE	C→S S→C	可选	当从用户发往服务器时，ANNOUNCE 将请求 URL 识别的演示或媒体对象描述发送给服务器；反之，ANNOUNCE 实时更新连接描述。如新媒体流加入演示，整个演示描述再次发送，而不仅仅是附加组件，使组件能被删除
GET_PARAMETER	C→S S→C	可选	GET_PARAMETER 请求检查 URL 指定的演示与媒体的参数值。没有实体时，GET_PARAMETER 也许能用来测试用户与服务器的连通情况
OPTIONS	C→S S→C	要求	可在任意时刻发出 OPTIONS 请求，如用户打算尝试非标准请求，并不影响服务器状态
PAUSE	C→S	推荐	PAUSE 请求引起流发送临时中断。如请求 URL 命名一个流，仅回放和记录被停止；如请求 URL 命名一个演示或流组，演示或组中所有当前活动的流发送都停止。恢复回放或记录后，必须维持同步。在 SETUP 消息中连接头超时参数所指定时段期间被暂停后，尽管服务器可能关闭连接并释放资源，但服务器资源会被预订
PLAY	C→S	要求	PLAY 告诉服务器以 SETUP 指定的机制开始发送数据；直到一些 SETUP 请求被成功响应，客户端才可发布 PLAY 请求。PLAY 请求将正常播放时间设置在所指定范围的起始处，发送流数据直到范围的结束处。PLAY 请求可排成队列，服务器将 PLAY 请求排成队列，顺序执行
RECORD	C→S	可选	该方法根据演示描述初始化媒体数据记录范围，时标反映开始和结束时间；如没有给出时间范围，使用演示描述提供的开始和结束时间。如连接已经启动，立即开始记录，服务器数据请求 URL 或其他 URL 决定是否存储记录的数据；如服务器没有使用 URL 请求，响应应为 201（创建），并包含描述请求状态和参考新资源的实体与位置头。支持现场演示记录的媒体服务器必须支持时钟范围格式，smpte 格式没有意义
REDIRECT	S→C	可选	重定向请求通知客户端连接到另一服务器地址。它包含强制头地址，指示客户端发布 URL 请求；也可能包括参数范围，以指明重定向何时生效。若客户端要继续发送或接收 URL 媒体，客户端必须对当前连接发送 TEARDOWN 请求，而对指定主机新连接发送 SETUP 请求
SETUP	C→S	要求	对 URL 的 SETUP 请求指定用于流媒体的传输机制。客户端对正播放的流发布一个 SETUP 请求，以改变服务器允许的传输参数。如不允许这样做，响应错误为“455 Method Not Valid In This State”。为了透过防火墙，客户端必须指明传输参数，即使对这些参数没有影响
SET_PARAMETER	C→S S→C	可选	这个方法请求设置演示或 URL 指定流的参数值。请求仅应包含单个参数，允许客户端决定某个特殊请求为何失败。如请求包含多个参数，所有参数可成功设置，服务器必须只对该请求起作用。服务器必须允许参数可重复设置成同一值，但不让改变参数值。注意：媒体流传输

			参数必须用 SETUP 命令设置。将设置传输参数限制为 SETUP 有利于防火墙。将参数划分成规则排列形式，结果有更多有意义的错误指示
TEARDOWN	C->S	要求	TEARDOWN 请求停止给定 URL 流发送，释放相关资源。如 URL 是此演示 URL，任何 RTSP 连接标识不再有效。除非全部传输参数是连接描述定义的，SETUP 请求必须在连接可再次播放前发布

注： C----用户端，S----服务器端

RTSP通过以会话(Session)的方式描述一个连接的生命周期。会话(Session)通过RTSP客户端使用RTSP的SETUP方法建立，然后RTSP客户端可以通过PLAY、PAUSE、RECORD等方法(Method)来控制实时流的播放、暂停以及回放等。当不再需要实时流的时候，RTSP客户端通过TEARDOWN方法(Method)来结束这个会话(Session)。

2.4.3 物联网协议

2.4.3.1 PROFINET

PROFINET是一个开放式的工业以太网通讯协定，是由PROFIBUS & PROFINET国际协会所提出。PROFINET应用TCP/IP及资讯科技的相关标准，是实时的工业以太网。自2003年起，PROFINET是IEC 61158及IEC 61784标准中的一部分。

按照报文类型分为两种：一种是非实时数据，通过TCP/UDP协议栈来传递，一般用于PLC和PLC之间或者与组态软件之间的对等通信；另一种是即时数据，叫做Profinet IO，则直接跳过TCP/UDP/IP，以西门子自由的底层协议栈来实现，用I/O数据高速交换。

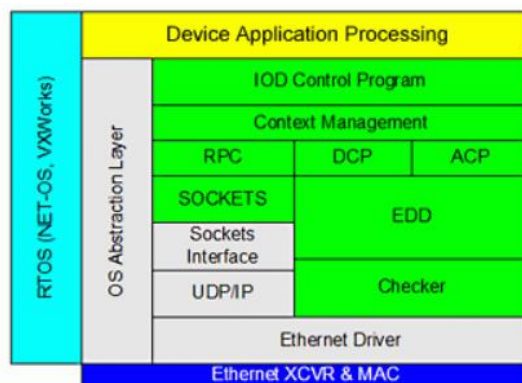


图 2-16 PROFINET协议栈

其中绿色的部分为Profinet IO协议栈。

非实时周期读的报文：

15625 104.150649	192.168.16.201	192.168.16.210	PNIO-CM	206 Read request, IODReadReqHeader, Api:0x0, Slot:0x0/0x0, Index:PDRealData, 4032 bytes
15628 104.157526	192.168.16.210	192.168.16.201	PNIO-CM	610 Read response, OK, IODReadResHeader, Api:0x0, Slot:0x0/0x0, Index:PDRealData, 404 bytes,

表 2-3 Profinet报文格式

报文类型	用途	应用场景
PN-PTCP	以太网精确时钟协议，1588 协议。本环境由 slave 发起的 LLDP 多播报文，间隔 200ms 的轮训帧，主站未回应。帧类型 0x8892，协议定义了 Sync、DelayResp、Followup 和 DelayReq。	开机时的报文，从站间隔 200ms 发一次。
LLDP	链路层发现协议，将自身设备的主要能力、管理地址、设备标识、接口标识等信息组成不同的 TLV 发给直连的邻居。报文类型 0x88cc。	开机时的报文，从站间隔 5s 发一次。
PN-DCP	发现和基本配置协议，用于标识与发现有无指定 IP 地址的节点，然后配置其 IP、网关和子网掩码。	只在 Profinet 网络中使用。
PNIO_PS	Profinet 的周期性实时报文，主从连接后，各隔 256 个 cycle(8ms)发送一次，各发各的。过程数据，也是使用周期性实时报文传输的。	Profinet 主从传输，大部分情况
PNIO-CM	主从之间的非周期报文。主要是建立和断开连接。以及非周期读写时使用。	Profinet 主从连接建立，非周期读写。

2.4.3.2 ZIGBEE

ZigBee协议适应无线传感器的低花费、低能量、高容错性等的要求。Zigbee的基础是IEEE 802.15.4。但IEEE仅处理低级MAC层和物理层协议，因此Zigbee联盟扩展了IEEE，对其网络层协议和API进行了标准化。Zigbee是一种新兴的短距离、低速率的无线网络技术。主要用于近距离无线连接。它有自己的协议标准，在数千个微小的传感器之间相互协调实现通信。

Zigbee是一个由可多到65000个无线数传模块组成的一个无线数传网络平台，十分类似现有的移动通信的CDMA网或GSM网，每一个Zigbee网络数传模块类似移动网络的一个基站，在整个网络范围内，它们之间可以进行相互通信；每个网络节点间的距离可以从标准的75米，到扩展后的几百米，甚至几公里；另外整个Zigbee网络还可以与现有的其它的各种网络连接。通常，符合如下条件之一的应用，就可以考虑采用Zigbee技术做无线传输：需要

数据采集或视频记录存储的网点多；要求传输的数据量不大，而要求设备成本低；要求数据传输可靠性高，安全性高；设备体积很小，不便放置较大的充电电池或者电源模块；电池供电；地形复杂，监测点多，需要较大的网络覆盖；现有移动网络的覆盖盲区；使用现存移动网络进行低数据量传输的遥测遥控系统；使用GPS效果差，或成本太高的局部区域移动目标的定位应用。值得注意的是，在已经发布的ZIGBEE V1.0中并没有规定具体的路由协议，具体协议由协议栈实现。

Zigbee 技术的目标就是针对，工业，家庭自动化，遥测遥控，例如灯光自动化控制，传感器的无线数据采集和视频记录存储，油田，电力，矿山和物流管理等应用领域。工业现场对无线数据传输的要求及Zigbee 技术的特点：低功耗，低数据量（250KPS），低成本，使用免费的ISM 频段（2.4G），高的抗干扰性能的直序扩频通信方式(DSSS)，高保密性(64 位出厂编号和支持AES-128 加密)，高集成度和高的可靠性；节点模块之间具有自动动态组网的功能，采用了包括网状网在内的拓扑结构，使用了碰撞避免机制，信息在整个Zigbee 网络中通过自动路由的方式进行传输，从而保证了信息传输的可靠性。

技术特点：

- 1) 低功耗。在低耗电待机模式下,2 节5 号干电池可支持1个节点工作6~24个月，甚至更长。这是ZigBee的突出优势。相比较，蓝牙能工作数周、WiFi可工作数小时。
- 2) 低成本。通过大幅简化协议(不到蓝牙的1/10),降低了对通信控制器的要求，按预测分析,以8051的8位微控制器测算，全功能的主节点需要32KB代码,子功能节点少至4KB代码，而且ZigBee免协议专利费。每块芯片的价格大约为2 美元。
- 3) 低速率。ZigBee工作在20~250 kbps的较低速率,分别提供250 kbps(2.4GHz)、40kbps (915 MHz)和20kbps(868 MHz) 的原始数据吞吐率，满足低速率传输数据的应用需求。
- 4) 近距离。传输范围一般介于10~100 m 之间,在增加RF 发射功率后，亦可增加到1~3 km。这指的是相邻节点间的距离。如果通过路由和节点间通信的接力,传输距离将可以更远。
- 5) 短时延。ZigBee的响应速度较快，一般从睡眠转入工作状态只需15 ms ,节点连接进入网络只需30 ms ,进一步节省了电能。相比较，蓝牙需要3~10 s、WiFi 需要3 s。
- 6) 高容量。ZigBee可采用星状、片状和网状网络结构,由一个主节点管理若干子节点，最多一个主节点可管理254 个子节点；同时主节点还可由上一层网络节点管理,最多可组

成65000 个节点的大网。

- 7) 高安全。ZigBee提供了三级安全模式，包括无安全设定、使用接入控制清单(ACL) 防止非法获取数据以及采用高级加密标准(AES 128) 的对称密码,以灵活确定其安全属性。
- 8) 免执照频段。采用直接序列扩频在工业科学医疗(ISM) 频段，2.4 GHz (全球) 、915 MHz(美国) 和868 MHz(欧洲)

其应用领域主要包括：

- 家庭和楼宇网络：空调系统的温度控制、照明的自动控制、窗帘的自动控制、煤气计量控制、家用电器的远程控制等
- 工业控制：各种视频记录存储器、传感器的自动化控制
- 商业：智慧型标签等
- 公共场所：烟雾探测器等
- 农业控制：收集各种土壤信息和气候信息
- 医疗：老人与行动不便者的紧急呼叫器和医疗传感器等。

2.4.3.3 S7COMM

西门子的S7Comm协议（适用于S7-300、S7-400、S7-1200），是西门子专有的协议，S7协议的TCP/IP实现依赖于面向块的ISO传输服务。S7协议被封装在TPKT和ISO-COTP协议中，这使得PDU（协议数据单元）能够通过TCP传送。

它用于PLC编程，在PLC之间交换数据，从SCADA（视频记录存储和数据采集）系统访问PLC数据以及诊断目的。

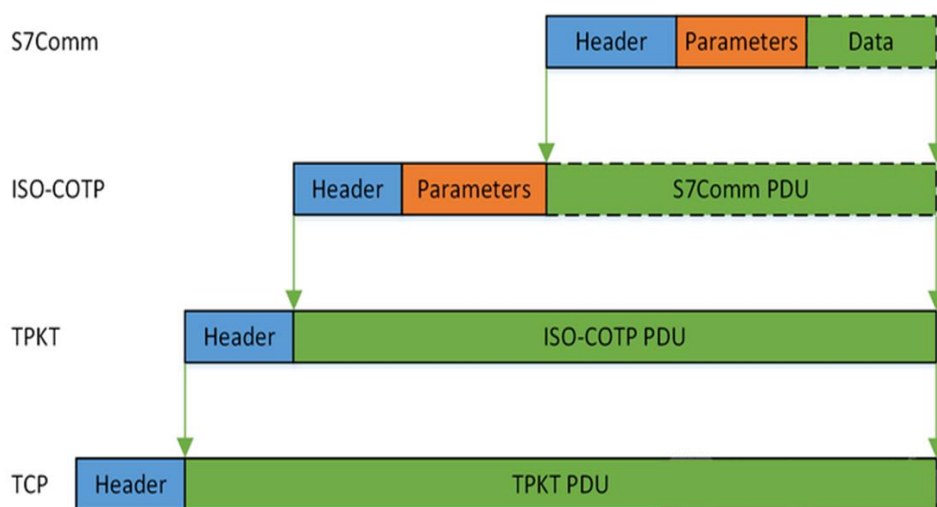


图 2-17 S7Comm协议OSI模型

S7Comm协议包含三部分：

- Header
- Parameter
- Data

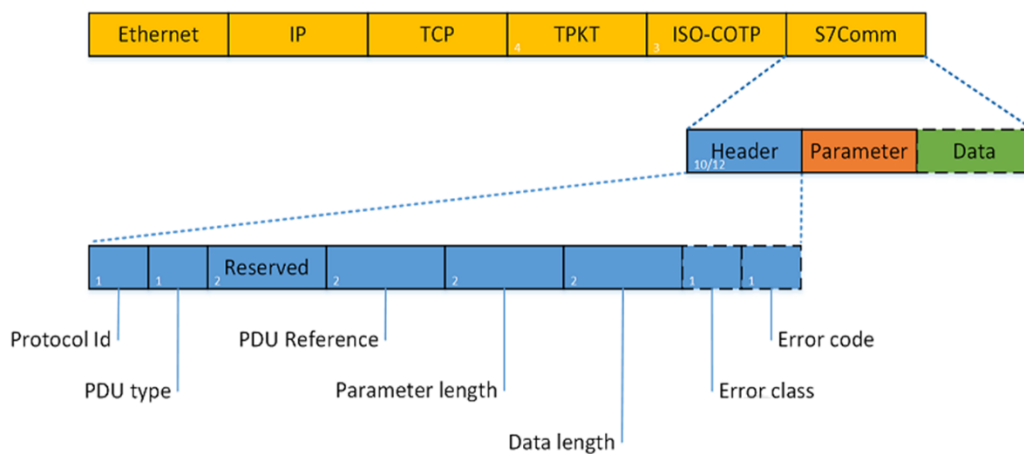


图 2-18 S7Comm Header结构

PDU type, PDU的类型，一般有以下值：

- 0x01: 作业请求（JOB, request: job with acknowledgement），由主设备发送的请求（例如，读/写存储器，读/写块，启动/停止设备，设置通信）；
- 0x02: 确认响应（ACK, acknowledgement without additional field），没有数据的简单

确认；

- 0x03: 确认数据响应 (ACK_DATA, Response: acknowledgement with additional field)，这个一般都是响应JOB的请求；
- 0x07: 协议的扩展 (USERDATA)，参数字段包含请求/响应ID (用于编程/调试，读取SZL，安全功能，时间设置，循环数据...)。

当PDU类型是JOB和ACK_DATA时，常见的功能码，如下表：

Hex	Value	值
0x00	CPU services	CPU 服务
0xf0	Setup communication	建立通信
0x04	Read Var	读取值
0x05	Write Var	写入值
0x1a	Request download	请求下载
0x1b	Download block	下载块
0x1c	Download ended	下载结束
0x1d	Start upload	开始上传
0x1e	Upload	上传
0x1f	End upload	上传结束
0x28	PI-Service	程序调用服务
0x29	PLC Stop	关闭 PLC

3 5G ToB 业务特征分析

5G具有基站大面积密集部署、微基站覆盖范围小等典型特征，这在给网络带来如提升数据速率、支持泛在接入等好处的同时，也给网络带来了新的挑战和要求，如小基站的部署选址问题、能效问题以及资源管理问题。为支持下一代移动服务的需求，5G 网络的部署必然会涉及新基站设备的安装问题，因此，为最小化目标资本支出，5G网络规划本身就是一个复杂的问题，尤其是在人口密集的城市地区，这一问题更加凸显。

3.1 视频回传业务

视频记录存储实时回传行为、多媒体消息回传行为、无人机视频回传行为等都属于多媒体回传业务范围。

3.1.1 C 局点高清直播

【中国C局点4K直播】

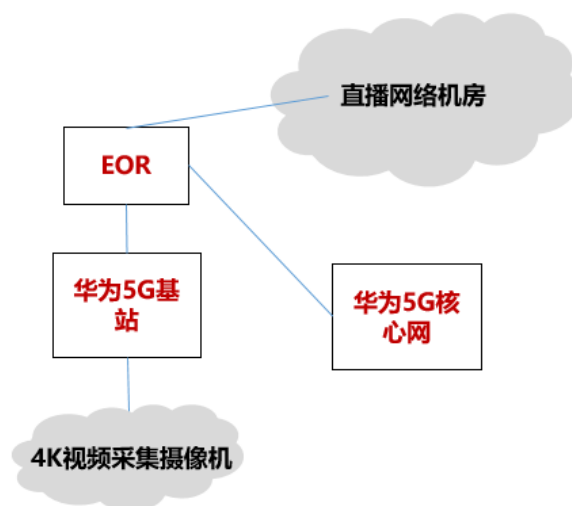
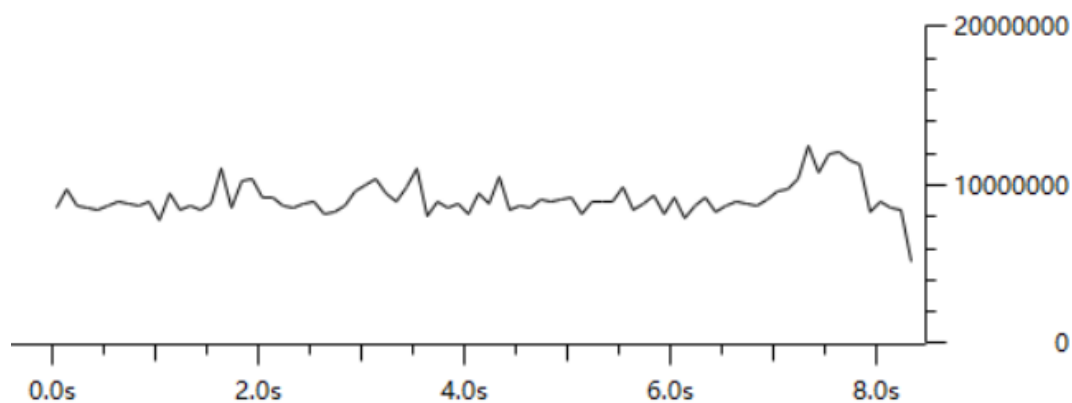


图 3-1 C局点4K直播组网示意图

回传业务体现为实时的上行数据传输，上行传输速率100Mbps左右，实际上并非网络上行速率能力只有100Mbps，而是直播类业务采用摄像头实时编码速率进行传输；4K视频实时编码后平均码率为100Mbps。



从特征分析可以看到，该业务主要瓶颈是上行链路带宽，以及网络带宽的稳定性。

码流分析：

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Identification	Info
22692	5.962101	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7722 (30498)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22693	5.962192	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7723 (30499)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22694	5.962192	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7724 (30500)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22695	5.962193	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7725 (30501)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22696	5.962194	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7726 (30502)	NULL packet
22697	5.962195	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7727 (30503)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22698	5.962195	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7728 (30504)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22699	5.962196	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7729 (30505)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22700	5.962197	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x772a (30506)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22701	5.962247	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x772b (30507)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22702	5.962249	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x772c (30508)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22703	5.962250	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x772d (30509)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22704	5.964726	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x772e (30510)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22705	5.964726	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x772f (30511)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22706	5.964728	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7730 (30512)	NULL packet
22707	5.964729	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7731 (30513)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22708	5.964781	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7732 (30514)	[MP2T fragment of a reassembled packet]

从原始报文分析可知，4K直播业务流具有如下6个典型的特点：

- 1: 只有上行数据流，无下行数据流（整条业务流没有一个下行报文）；
- 2: 所有报文都是基于UDP协议承载的；
- 3: 所有报文长度都是1358字节；
- 4: wireshark识别的协议类型有三种：MPEG TS，MPEG-I，MPEG PES(99.99%以上的报文均为MPEG TS)；
- 5: 基本上所有报文的IP.ID都是连续的（最大65535然后翻转为0），存在极少数IP.ID不连续的情况；
- 6: 报文与报文之间的间隔时间都很短，基本上都远小于1ms（平均间隔时间为0.000270ms），这一点也符合4K视频直播的业务特点；

● 报文分析异常现象一：存在个别相邻报文IPID连续但其间隔时间大。

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Identification	Info
22731	5.967298	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7749 (30537)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22732	5.967298	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x774a (30538)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22733	5.967298	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x774b (30539)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22734	5.967299	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x774c (30540)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22735	5.967733	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x774d (30541)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22736	6.293440	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x774e (30542)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22737	6.293446	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x774f (30543)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22738	6.293452	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7750 (30544)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22739	6.293453	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7751 (30545)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
22740	6.293454	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7752 (30546)	[MP2T fragment of a reassembled packet]

如上图所示，22735号报文和22736号报文，这两个报文间隔时间高达325ms，远远高于平均值0.000270s。与此同时，这两个报文的IPID序号是连续的，大概率可以认为这两个报文之间没有网络丢包，也没有抓包丢包，只是额外的引入了时延。在整个业务流中，存在上述“相邻报文IPID连续，报文间隔时间较大”现象的点共有10处，文档中不在一一列举。

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	IPID	相邻报文时间间隔	相邻报文IPID差值
107278	29.430586	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	52385	0.459527	1
66818	18.401589	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	10590	0.434810	1
104288	28.353861	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	48594	0.385808	1
189113	51.321481	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	4904	0.347195	1
22736	6.29344	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	30542	0.325707	1
144454	39.285049	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	24850	0.313194	1
185429	50.278367	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	1117	0.302819	1
147675	40.272301	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	28627	0.300078	1
25789	7.261629	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	34280	0.297445	1
63386	17.205598	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	6800	0.238225	1
106451	28.80706	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	51558	0.044192	1
205329	55.388888	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	21634	0.016707	1
122037	33.090958	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	2443	0.013780	1
41288	11.172392	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	50248	0.012393	1
146471	39.65716	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	27425	0.012128	1
208289	56.16684	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	24592	0.011413	1

该表为使用excel汇总统计的结果，200ms是一个明显的分水岭。在58秒的时间内，存在10个点出现了报文间隔200ms以上，最大的达到了459ms。结合4K视频直播业务流的常态特点，该现象大概率是导致直播出现花屏的原因之一。

● 报文分析异常现象二：存在个别时间点相邻报文IPID不连续

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Identification	Info
23291	6.302543	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7a3c (31292)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
23292	6.302544	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7a3d (31293)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
23293	6.302545	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7a3e (31294)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
23294	6.302546	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7a3f (31295)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
23295	6.302547	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7a40 (31296)	NULL packet
23296	6.309228	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7c2d (31789)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
23297	6.309230	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7c2e (31790)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
23298	6.309768	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7c2f (31791)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
23299	6.312540	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7c30 (31792)	[MP2T fragment of a reassembled packet]
23300	6.312541	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	0x7c31 (31793)	[MP2T fragment of a reassembled packet]

如上图所示，23295号报文和23296号报文，这两个报文间隔时间约为6.7ms，IPID序号相差493。与此同时，这两个报文前后其他报文的序号都是顺序递增的，序号差值为1。在整个业务流中，存在IPID序号不连续的地方共计35处，此处不一一列举。

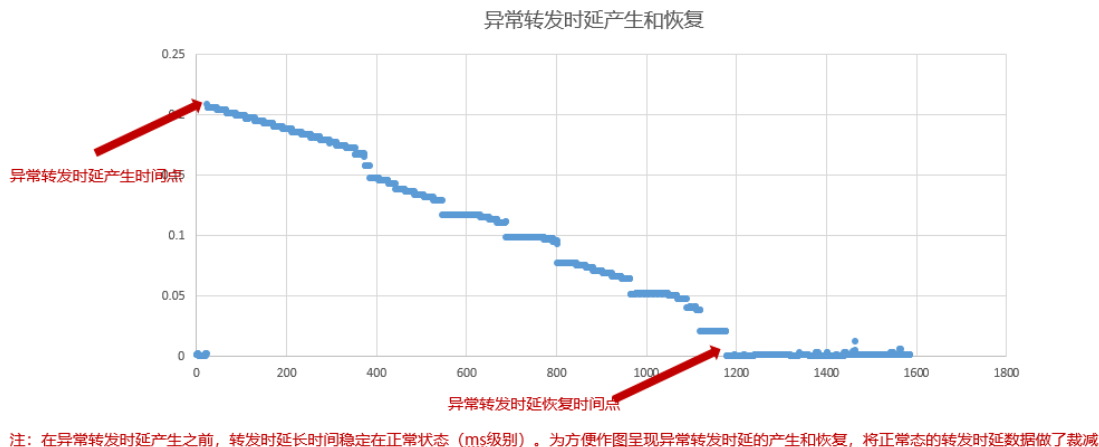
1	No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	IPID	相邻报文时间间隔	相邻报文IPID差值
23106	23296	6.309228	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	31789	0.006681	493
23291	104923	28.365712	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	50032	0.000001	362
26129	144976	39.295332	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	25806	0.003733	353
26314	108172	29.442863	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	54122	0.000001	323
26332	67907	18.413642	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	11995	0.000000	317
26460	63905	17.214972	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	7679	0.003116	283
26499	26506	7.277012	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	35472	0.003416	268
63697	104715	28.362026	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	49269	0.002518	249
63882	67913	18.413785	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	12247	0.000001	247
67882	189942	51.33354	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	6255	0.000000	221
67888	26321	7.27199	10.204.32.2	10.114.0.49	MPEG TS	1358	35015	0.002838	201

该表为使用excel汇总统计的结果，相邻报文IPID差值最大的为493，最小为2；出现相邻报文IPID不连续的报文，其报文之间间隔时间无明显规律，最大的为6.7ms，最小为0ms。

● 核心网转发时延分析

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	GTP层IPID	内层IPID	No.	Time	内层IPID	flg	UGW转发时延
66045	5.807495	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58891	29334	66067	5.807922	29334	0	0.000427
66046	5.807496	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58892	29335	66068	5.807922	29335	0	0.000426
66047	5.807604	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58893	29336	66069	5.807923	29336	0	0.000319
66048	5.807604	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58894	29337	66070	5.807923	29337	0	0.000319
66049	5.807605	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58895	29338	66071	5.807923	29338	0	0.000318
66050	5.807605	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58896	29339	66072	5.807924	29339	0	0.000319
66051	5.807605	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58897	29340	66073	5.807924	29340	0	0.000319
66052	5.807606	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58898	29341	66074	5.807924	29341	0	0.000318
66053	5.807606	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58899	29342	66075	5.809895	29342	0	0.002289
66054	5.807607	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58900	29343	66076	5.809896	29343	0	0.002289
66055	5.807607	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58901	29344	66078	5.809896	29344	0	0.002289
66056	5.807607	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58902	29345	67231	6.015565	29345	0	0.207958
66077	5.809896	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58903	29346	67232	6.015565	29346	0	0.205669
66079	5.809897	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58904	29347	67233	6.015565	29347	0	0.205668
66080	5.809897	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58905	29348	67234	6.015676	29348	0	0.205779
66081	5.809897	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58906	29349	67235	6.015676	29349	0	0.205779
66082	5.809898	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58907	29350	67236	6.015677	29350	0	0.205779
66083	5.809992	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58908	29351	67237	6.015677	29351	0	0.205685
66084	5.809992	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58909	29352	67238	6.015677	29352	0	0.205685
66085	5.809993	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58910	29353	67239	6.015677	29353	0	0.205684
66086	5.809993	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58911	29354	67240	6.015677	29354	0	0.205684
66087	5.809993	10.204.32.1	10.114.0.49	GTP <MPEG TS>	1394	58912	29355	67241	6.015678	29355	0	0.205685

- 1: 核心网正常转发时延都是ms级别，个别时候还小于1ms
- 2: 核心网在转发过程中确实引入了额外的转发时延，
- 3: 异常转发时延是突然间产生的（在200多ms转发时延产生之前，数据包的转发时延长时间都保持在ms级别），异常转发时延产生之后，后逐步恢复正常。下图是异常转发时延产生和恢复的图例。Y坐标为报文转发时延，X坐标为报文编号。在经过约1150个报文转发时延异常之后，转发时延恢复正常。



4K视频直播业务流典型特点总结：

- 1) 基于UDP承载
- 2) 单向上行数据流
- 3) 报文IPID连续
- 4) 报文间隔时间小

通过4K高清视频直播花屏的问题分析过程进行总结，可以构筑如下指标体系用于衡量4K视频直播业务的业务质量：

- 1) 单位时间的报文数/流量
- 2) 单位时间相邻报文平均间隔时长、最大间隔时长
- 3) 单位时间相邻报文IPID跳变次数（最大跳变值）



3.1.2 K 局点高清直播

K局点视频直播业务组网示意图：

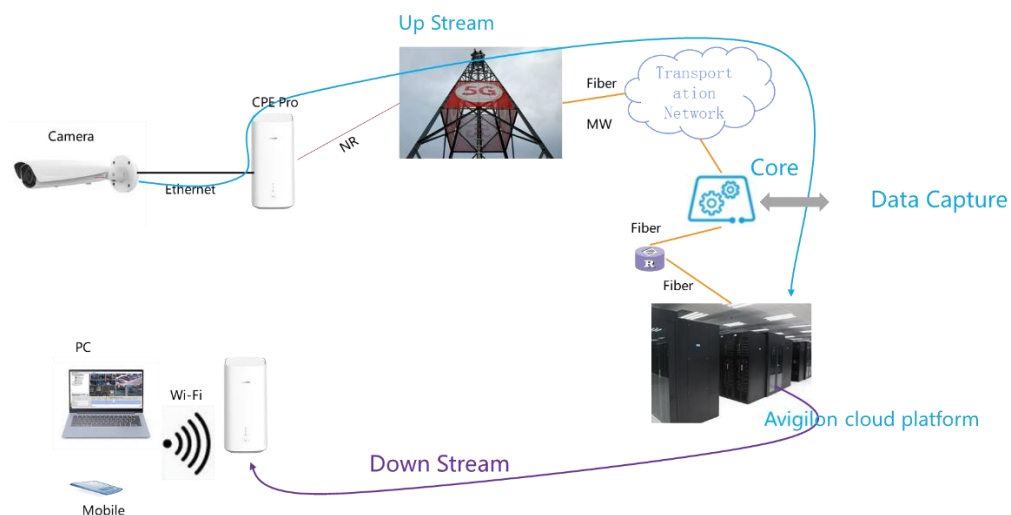


图 3-2 K局点视频直播组网示意图

协议分析：采用标准的RTSP/RTP/RTCP报文传输，视频回传典型协议栈描述如下：

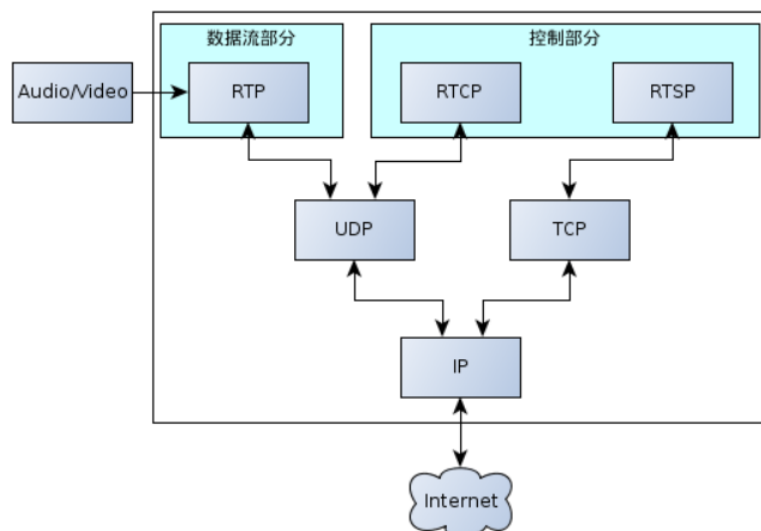


图 3-3 RTSP/RTP/RTCP协议栈

视频回传的业务流程如下：

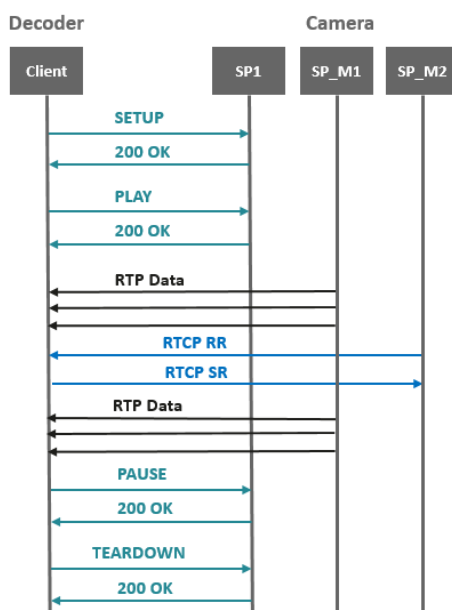
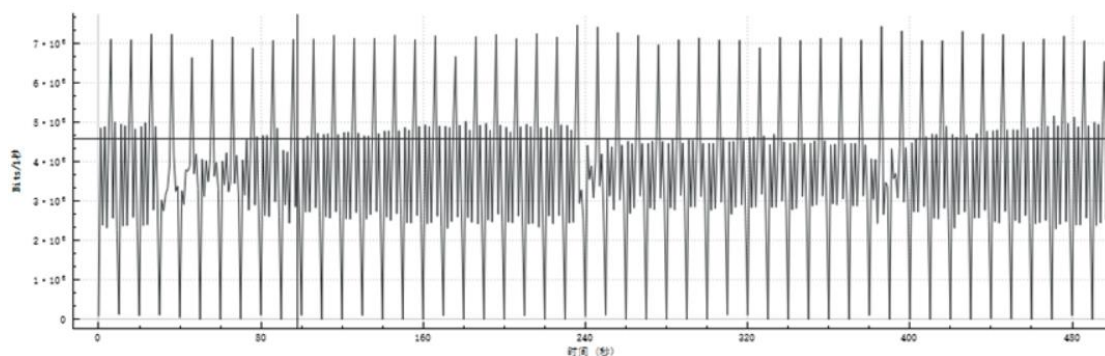


图 3-4 RTSP视频直播消息流程

RTSP是基于TCP协议的:

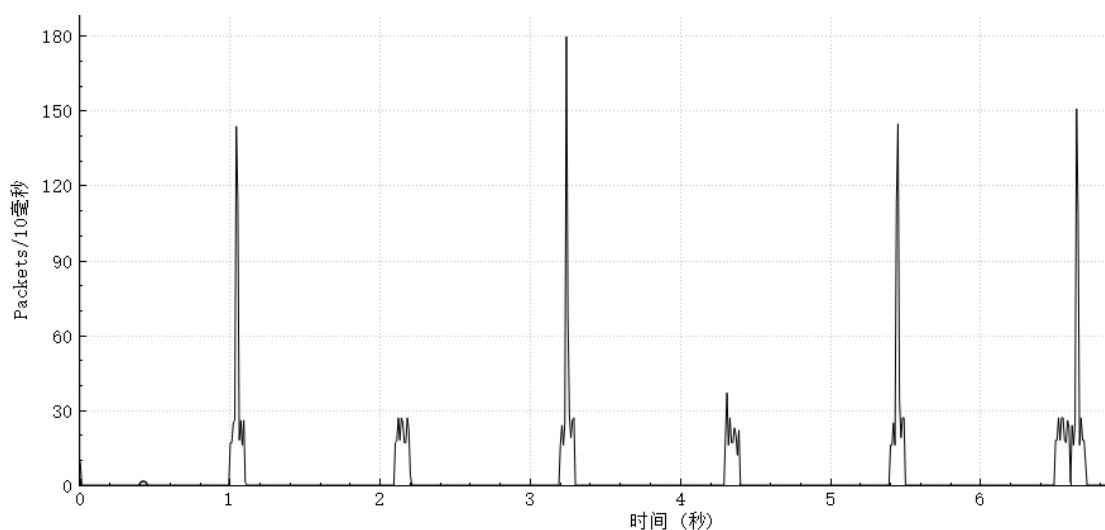
6...	72.269000	10.79.215.139	10.92.63.253	TCP	66	55820 → 554 [SYN, ECN, CWR] Seq=0 Win=8192 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM=1
6...	72.270000	10.92.63.253	10.79.215.139	TCP	66	554 → 55820 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=29200 Len=0 MSS=1416 SACK_PERM=1 WS=128
6...	72.270000	10.79.215.139	10.92.63.253	TCP	54	55820 → 554 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=131584 Len=0
6...	72.270000	10.79.215.139	10.92.63.253	RTSP	223	OPTIONS rtsp://10.203.255.253:554/LiveMedia/ch1/Media1 RTSP/1.0
6...	72.271000	10.92.63.253	10.79.215.139	TCP	54	554 → 55820 [ACK] Seq=1 Ack=170 Win=30336 Len=0
6...	72.272000	10.92.63.253	10.79.215.139	RTSP	153	Reply: RTSP/1.0 200 OK
6...	72.272000	10.79.215.139	10.92.63.253	RTSP	249	DESCRIBE rtsp://10.203.255.253:554/LiveMedia/ch1/Media1 RTSP/1.0
6...	72.275000	10.92.63.253	10.79.215.139	RTSP/SDP	694	Reply: RTSP/1.0 200 OK
6...	72.275000	10.79.215.139	10.92.63.253	TCP	283	SETUP rtsp://10.203.255.253:554/LiveMedia/ch1/Media1/trackID=1 RTSP/1.0
6...	72.281000	10.92.63.253	10.79.215.139	TCP	54	554 → 55820 [ACK] Seq=740 Ack=594 Win=32512 Len=0
6...	72.291000	10.92.63.253	10.79.215.139	RTSP	188	Reply: RTSP/1.0 200 OK
6...	72.291000	10.79.215.139	10.92.63.253	RTSP	256	PLAY rtsp://10.203.255.253:554/LiveMedia/ch1/Media1 RTSP/1.0
6...	72.292000	10.92.63.253	10.79.215.139	TCP	54	554 → 55820 [ACK] Seq=874 Ack=796 Win=33536 Len=0
6...	72.293000	10.92.63.253	10.79.215.139	RTSP	154	Reply: RTSP/1.0 200 OK
6...	72.298000	10.79.215.139	10.92.63.253	TCP	54	55820 → 554 [ACK] Seq=796 Ack=974 Win=130560 Len=0

视频传输过程中的数据IO图:



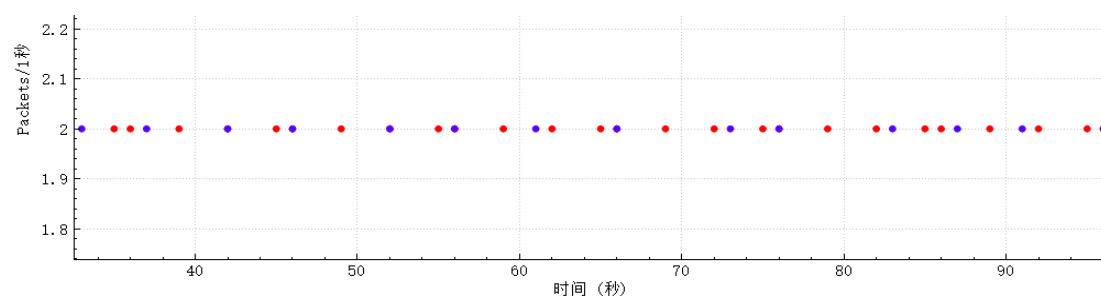
IP上行传输的速率为3~4Mbps。

微观上IO图分析:



每秒集中发送一批数据，这个是摄像头视频采样率主动控制的，所以视频回传的平均速率通常情况下体现为视频平均码率。

RTCP报文，双向报文，大概每间隔5s发送一次。



RTSP协议是直播的信令面流程，可以关注如下指标：

- 会话建立成功率
- 会话建立时延
- 视频播放成功率
- 视频播放时延
- 视频停止成功率
- 视频停止时延
- 上行RTT（TCP承载）
- 下行RTT（TCP承载）

说明：从实际情况看，信令面成功率是非常高的，视频记录存储的信令面指标的必要性不大，因为信令面层的失败通常是应用层、内容层的问题，而不是网络问题。如果RTSP基于

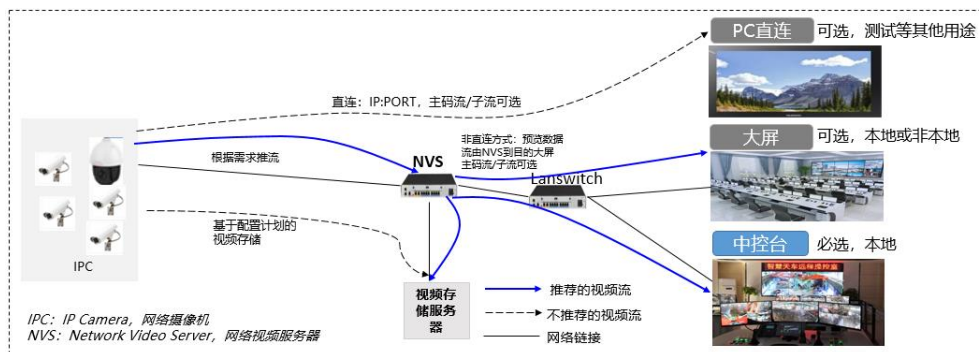
TCP承载，那么可以记录观察分析上下游RTT，从而反映信令面数据包的网络侧传输时延状况。

RTP是用户面传输协议，RTCP是传输控制协议，可以做的指标如下：

- 上行平均速率
- 上行峰值速率
- 平均丢包率
- 突发丢包率
- 环路时延
- 时延抖动

3.1.3 X 局点视频监控

视频监控业务逻辑组网图：



视频监控数据流：

- 摄像头可支持同时给多台服务器推流
- 从视频监控UC设计要求，只需要给NVS视频服务器推流即可，不建议其他服务器直连摄像头，直连会增加视频流数，增加网络负荷
- 摄像头给NVS推流，NVS同时转发给存储服务器/监控大屏/视频中控台

摄像头主辅流技术：

- 摄像头产品可同时支持两种规格的视频流，称为主码流和子码流，兼顾了不同质量，

不同带宽要求的视频传输需求。推荐主码流用于本地监控与存储；子码流可选，适用于低带宽远距离通信需要，流畅度优先。

The screenshot shows a configuration window for a video camera. It includes tabs for '视频' (Video), 'ROI', '码流信息' (Stream Info), and '区域裁剪' (Region Cropping). The '视频' tab is active, showing settings for '码流类型' (Stream Type) set to '主码流 (定时)' (Main Stream (Timed)), '分辨率' (Resolution) set to '1920*1080P', '码率类型' (Bitrate Type) set to '定码率' (Constant Bitrate), '图像质量' (Image Quality) set to '中' (Medium), '视频帧率' (Video Frame Rate) set to '25' fps, '码率上限' (Bitrate Limit) set to '2048' Kbps, '视频编码' (Video Encoding) set to 'H.265', 'Smart265' set to '关闭' (Off), '编码复杂度' (Encoding Complexity) set to '中' (Medium), 'I帧间隔' (I-frame Interval) set to '50', 'SVC' set to '关闭' (Off), and '码流平滑' (Stream Smoothing) set to '50' [清晰<->平滑]. A '保存' (Save) button is at the bottom left. To the right, there are three tables of recommended configurations:

码流类型:	码率类型:	视频帧率:
※ 主码流 (定时)	※ 定码率	※ 25
※ 子码流	※ 变码率	※ 1/16
		※ 1/8
		※ 1/4
		※ 1
		※ 2
		※ 4
		※ 6
		※ 8
		※ 10
		※ 12
		※ 15
		※ 16
		※ 18
		※ 20
		※ 22

分辨率:	码率上限:
※ 1280*720	※ 256
※ 1920*1080	※ 512
※ 2560*1440	※ 1024
※ 3072*1728	※ 2048
※ 3072*2048	※ 4096
※ 3840*2160	※ 6144
	※ 8192
	※ 12288
	※ 16384

视频编码:
※ H.264
※ H.265

Below the tables, there are two bullet points: '● 海康威视摄像头, 型号DS-2CD6984F-HIS, 选择4K分辨率+H265典型配置' and '● 视频监控场景, 摄像头帧率要求不高'.

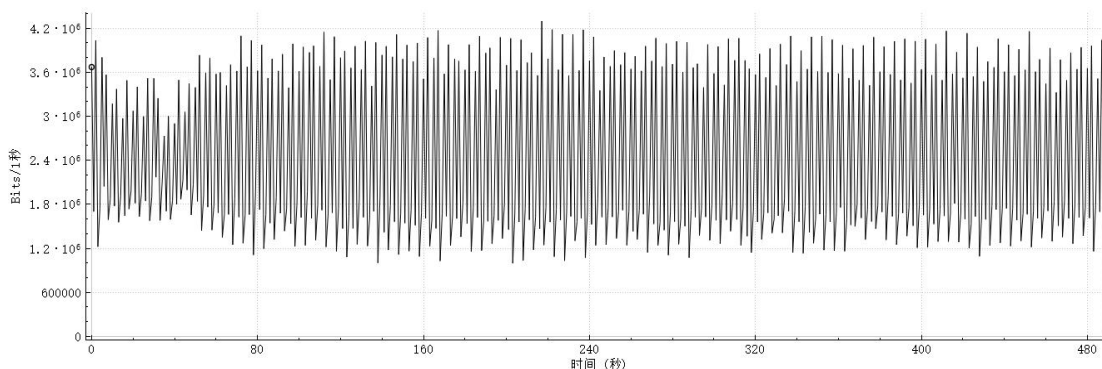
图 3-6 视频监控摄像头配置说明

视频摄像头配置:

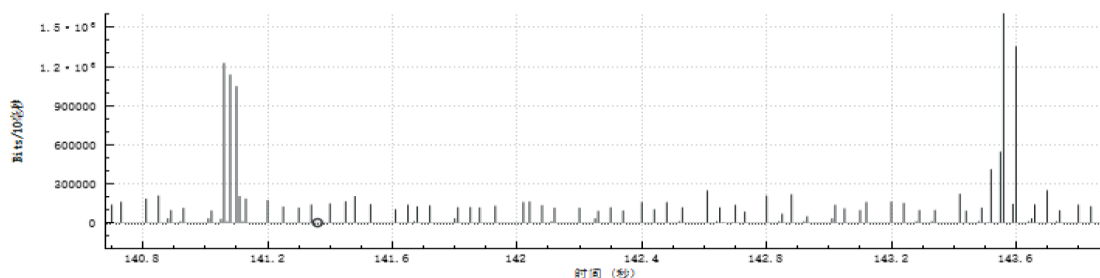
- 摄像头配置对网络的流量特征和性能负荷有较大影响，建议采用推荐配置
- 关键配置：分辨率、码率类型、视频帧率、码率上限、编码方式、I帧间隔（1~250之间，默认50）

抓包分析数据:

全景视频回传：回传速率2.5Mbps，并在一定范围内波动。



从微观上看视频回传的数据，其数据发送周期与设置的帧率和I帧间隔有关系，例如帧率25，则1s内有25次需要发送视频帧数据，每一次间隔40ms，即这40ms内没有任何数据发送。另外I帧间隔控制着I帧发送周期，如下I帧间隔为50，则每50个视频帧中有一个I帧，此时发送的数据量巨大。



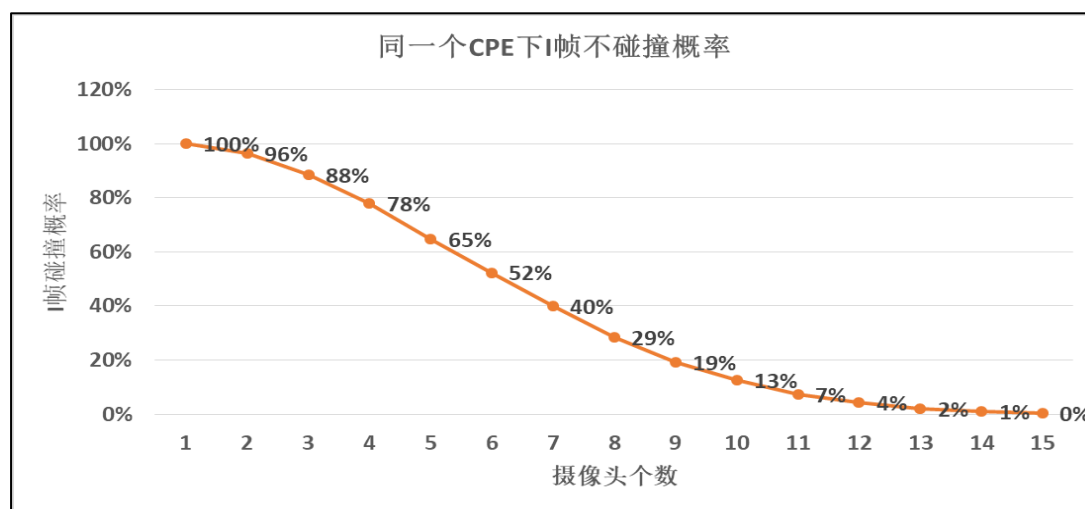
I帧的大小与码率和分辨率设置相关，从2K~4K，码率2~16Mbps，其I帧间隔范围大约为500kbits~14Mbits。在I帧发送时，带宽需求巨大，以I帧在40ms内发送完毕，不影响下一帧发送的情况，其对应的速率需求范围可能为12.5~350Mbps。此时可以看到单路摄像头的真实带宽需求远远高于码率。

分辨率	码率 Mbps	I 帧大小-H265/Mbits	I 帧带宽 Mbps	峰均比
4k	4	3.4	34	8.5
4k	8	10.1	101	12.6
4k	16	14.1	141	8.8
2.5k	2	2.2	22	11
2.5k	4	4.2	42	10.5
2.5k	8	7.6	76	9.5
2k	2	1.1	11	5.5
2k	4	2.3	23	5.75

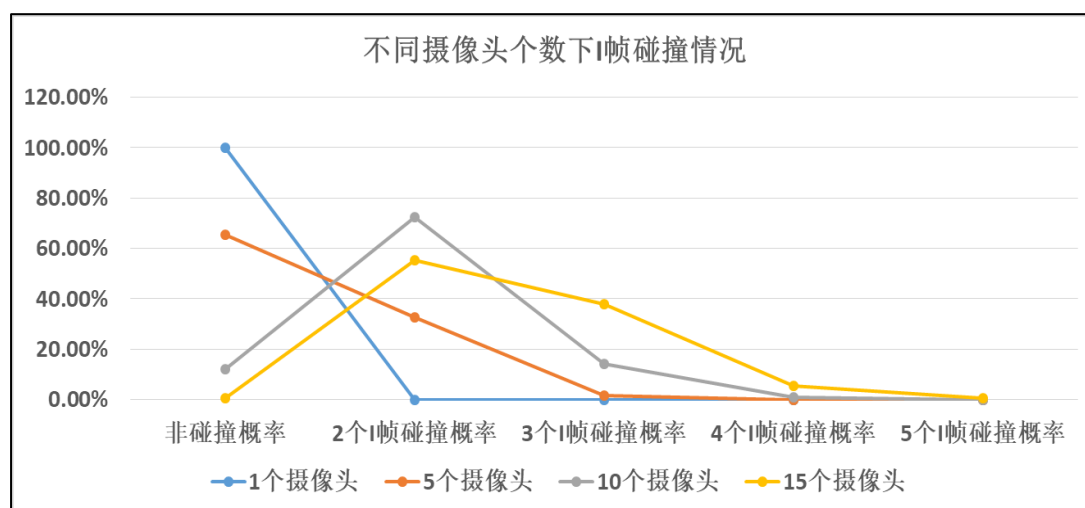
单路摄像头的带宽需求考虑完毕后，对于多路摄像头，需要考虑I帧的碰撞问题。如下纵向是摄像头，横向是时间窗，这里认为一帧和一帧是连续发送的，任意两个I帧的发送窗口一样，则会出现I帧碰撞的问题，带宽需求相应的也会翻倍。

	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型	帧类型
摄像头1	I帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧
摄像头2	P帧	P帧	I帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧
摄像头3	P帧	P帧	P帧	P帧	I帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧
摄像头4	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	I帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧
摄像头5	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	I帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧
摄像头6	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	I帧	P帧	P帧	P帧	I帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧
摄像头7	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	I帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧
摄像头8	P帧	P帧	P帧	I帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧
摄像头9	P帧	P帧	I帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧
摄像头10	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	I帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧	P帧

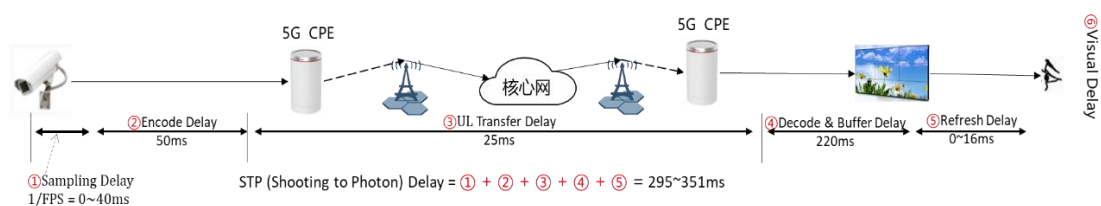
经过仿真模拟，FPS为25，I帧间隔50，I帧的传输需求占用100ms，可以看到摄像头路数越多，碰撞概率越大。



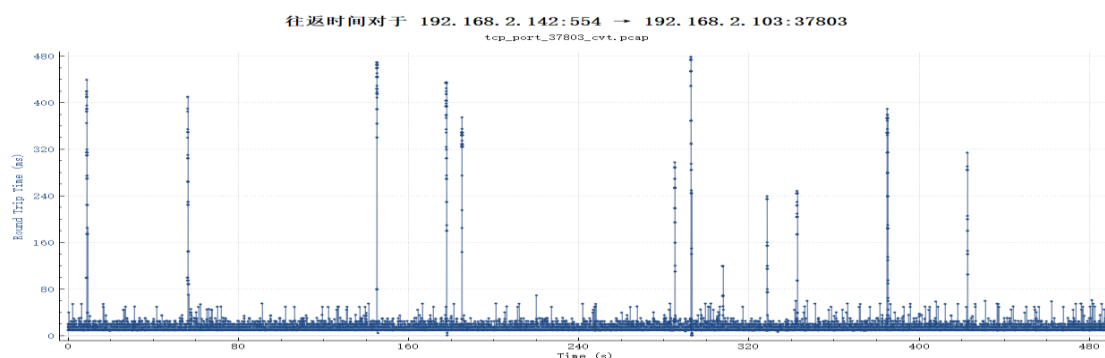
多路摄像头的最大I帧碰撞个数，以及概率仿真如下，可以看到15路摄像头时，为保证99%不卡顿，带宽需要能保证5个I帧碰撞在一起。



实时视频回传的端到端时延分解如下，一般的典型单向总时延大约在295~351ms，其中很多设置都会影响时延，如码率，分辨率，视频压缩方式，视频实时性和流畅度选择，预端缓存等。



平均RTT20ms左右，但是偶尔有超大RTT存在



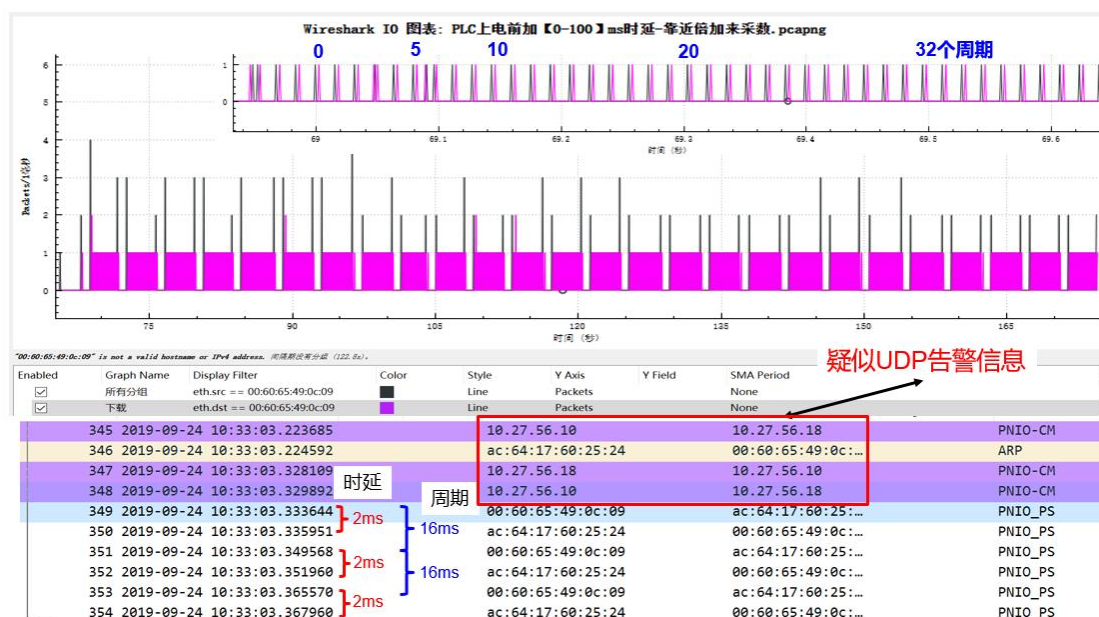
可以支持的指标：

- 上行平均速率
- 上行峰值速率
- 上行速率摆动指数
- 上行RTT
- 上行RTT质差比例
- 上行RTT抖动

3.2 交互类业务行为

3.2.1 PLC-PNIO

智慧港口远程吊床控制行为业务特征分析如下：



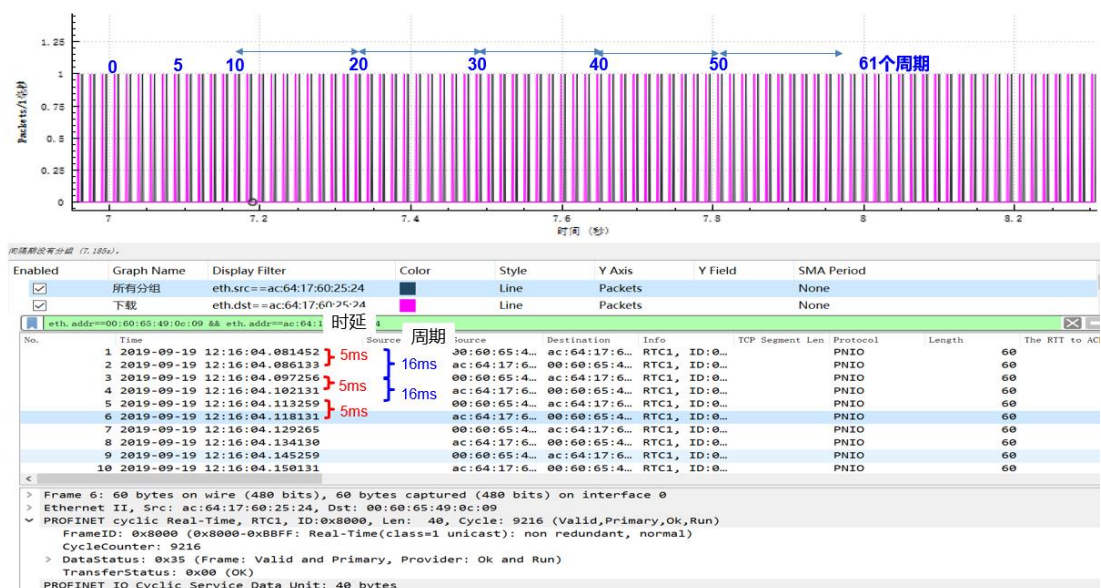
可以看到两种特征行为:

- 16ms周期小包交互行为: 交互时间大约在2ms左右。包大小60字节。
- 上行突发小包传输行为: 设备发送告警给服务器。包大小500字节。

No.	Time	Source	Destination	TCP Segment Len	Protocol
6	2019-09-19 12:08:14.386976	10.27.56.10	10.27.56.18		PNIO-CM
Frame 6: 496 bytes on wire (3968 bits), 496 bytes captured (3968 bits) on interface 0 Ethernet II, Src: 00:60:65:49:0c:09, Dst: ac:64:17:60:25:24 Internet Protocol Version 4, Src: 10.27.56.10, Dst: 10.27.56.18 User Datagram Protocol, Src Port: 49152, Dst Port: 34964 Distributed Computing Environment / Remote Procedure Call (DCE/RPC) Request, Seq: 0, Serial: 0, Frag: 0, FragLen: 374 PROFINET IO (Device), Connect Distributed Computing Environment / Remote Procedure Call (DCE/RPC) Request, Seq: 0, Serial: 0, Frag: 0, FragLen: 374					
Version: 4 Packet type: Request (0) Flags1: 0x28, Idempotent, No Fack Flags2: 0x00 Data Representation: 100000 (Order: Little-endian, Char: ASCII, Float: IEEE) Serial High: 0x00 Object UUID: dea00000-6c97-11d1-8271-00640101002a Interface: PNIO (Device Interface) UUID: dea00001-6c97-11d1-8271-00a02442df7d Activity: 178a6fd0-2b00-1001-804f-006065490c09 Server boot time: Unknown (0) Interface Ver: 1 Sequence num: 0 Opnum: 0 Interface Hint: 0xffff Activity Hint: 0xffff Fragment len: 374 Fragment num: 0 Auth proto: None (0) Serial Low: 0x00 Complete stub data (374 bytes) PROFINET IO (Device), Connect					

- 从PNIO协议中可以看到, 有设备ID (UUID) 信息, 有告警请求信息 (AlarmCRBlockReq)

质差场景行为分析:



- 可以看出交互时延从2ms增加到5ms，时延变大趋势明显；

3.2.2 PLC-S7COMM

X局点工业园区远程控制及数据采集行为：

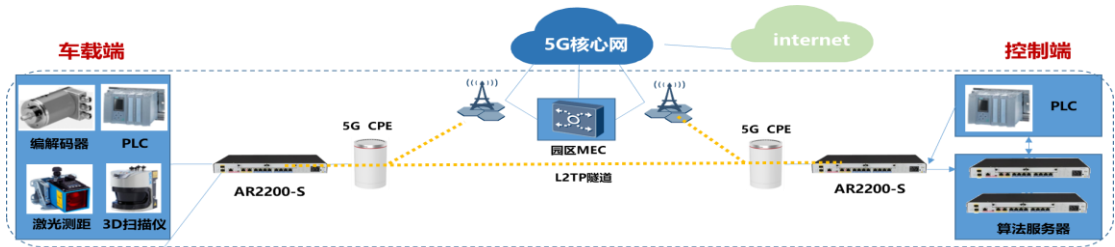


图 3-7 X局点工业园区远程控制业务组网示意图

表 3-1 工业园区 PLC 业务管道要求

应用场景	终端数量	带宽需求	时延需求
远程控制	1、每个天车上共 1 个 PLC 模块 2、共 5 个天车	—	30-40ms
数据采集（测距和扫描）	1、每个天车上共 1 测距仪和 1 个扫描仪 2、共 1 个天车	—	

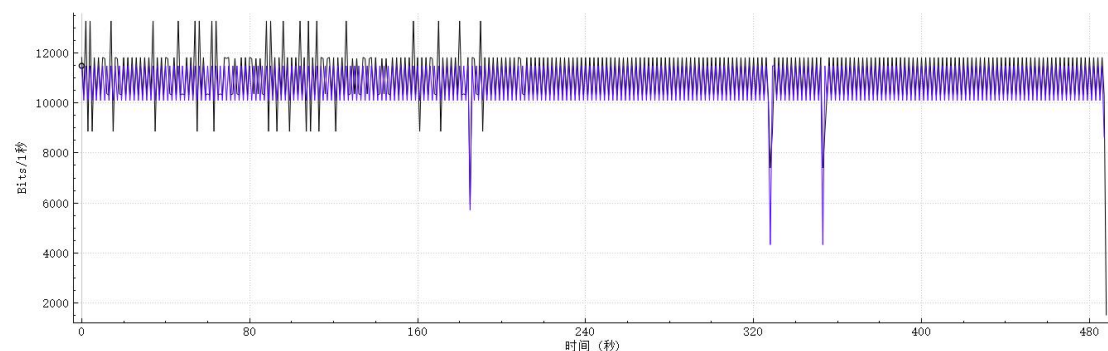
PLC行为抓包分析：

采用西门子S7COMM协议：

No.	Time	Source	Destination	Protocol	ROSCTR	Function	The RTT	Length	Info
1	0.000000	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <TCP>				158	49175 → 102 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=4096 Len=0
3	0.124565	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var		183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
4	0.139485	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	0.014...	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
5	0.185111	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <TCP>			0.045...	158	49175 → 102 [ACK] Seq=32 Ack=32 Win=4096 Len=0
7	0.224752	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var		188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
8	0.239524	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	0.014...	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
9	0.294481	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <TCP>			0.054...	158	49175 → 102 [ACK] Seq=68 Ack=54 Win=4096 Len=0
11	0.324987	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var		183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
12	0.339458	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	0.014...	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
13	0.390030	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <TCP>			0.050...	158	49175 → 102 [ACK] Seq=99 Ack=85 Win=4096 Len=0
15	0.524502	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var		183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
16	0.539456	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	0.014...	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
17	0.590105	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <TCP>			0.050...	158	49175 → 102 [ACK] Seq=130 Ack=116 Win=4096 Len=0
19	0.625062	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var		188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
20	0.644432	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	0.019...	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
21	0.694476	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <TCP>			0.050...	158	49175 → 102 [ACK] Seq=166 Ack=138 Win=4096 Len=0
23	0.734467	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var		183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
24	0.749436	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	0.014...	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
25	0.785008	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <TCP>			0.035...	158	49175 → 102 [ACK] Seq=197 Ack=169 Win=4096 Len=0
27	0.924492	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var		183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
28	0.939445	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	0.014...	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]

> PPP Bridging Control Protocol Bridged PDU
 > Ethernet II, Src: Siemens_56:b5:31 (28:63:36:56:b5:31), Dst: SiemensI_84:ac:d1 (e0:dc:a0:84:ac:d1)
 > Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.171, Dst: 192.168.2.172
 > Transmission Control Protocol, Src Port: 49175, Dst Port: 102, Seq: 1, Ack: 1, Len: 51
 > TPkt, Version: 3, Length: 31
 > ISO 8073/X.224 COTP Connection-Oriented Transport Protocol
 > S7 Communication

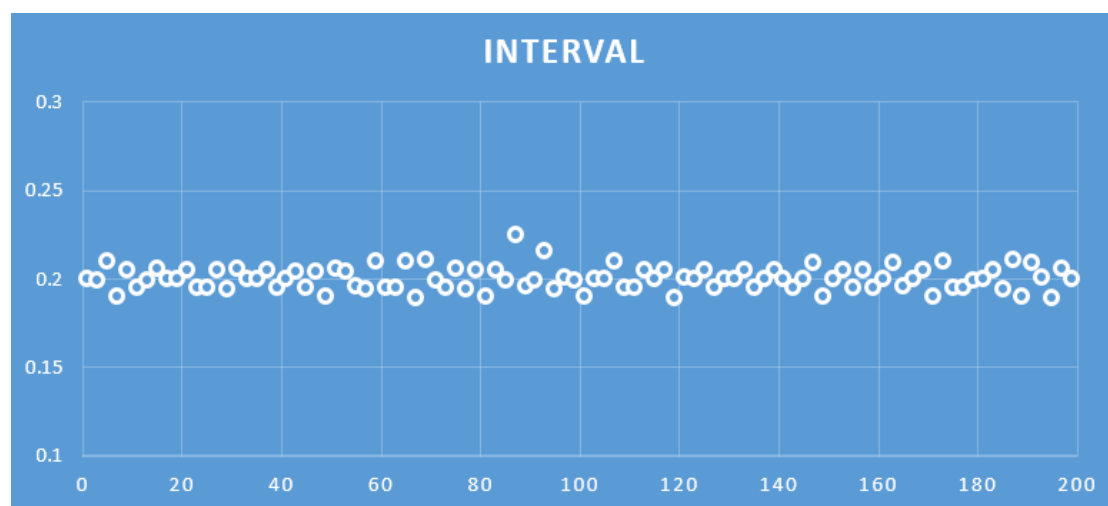
数据的IO图如下：



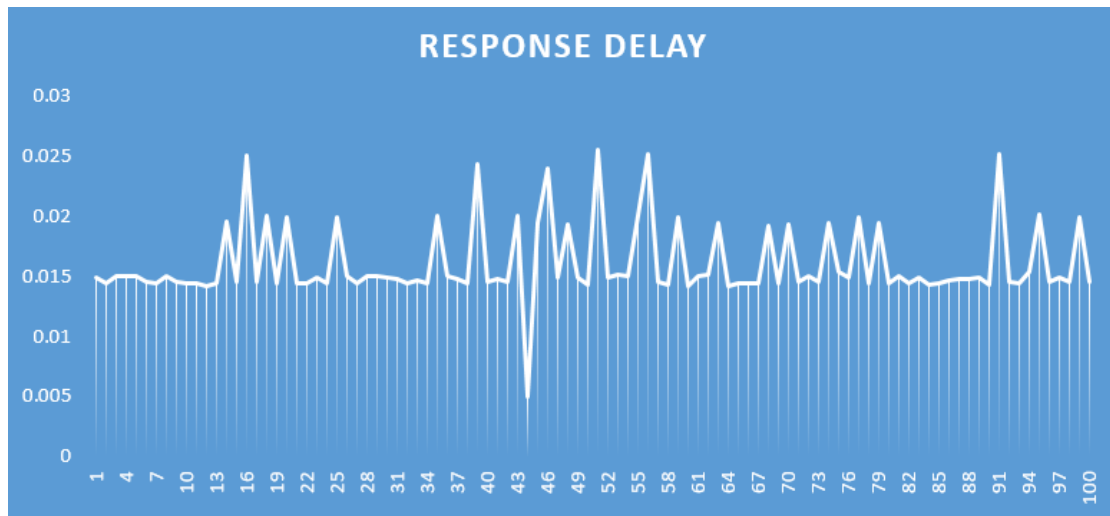
Read Var的功能报文如下：

No.	Time	Source	Destination	Protocol	ROSCTR	Function	Length	Info
3	0.124565	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
5	0.139485	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
15	0.324987	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
17	0.339458	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
21	0.524502	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
23	0.539456	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
33	0.734467	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
35	0.749436	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
39	0.924492	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
41	0.939445	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
51	1.1299	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
53	1.14445	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
57	1.325067	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
59	1.339494	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
69	1.524465	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
71	1.539424	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
75	1.729958	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
77	1.744479	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
87	1.930045	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
89	1.944422	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
93	2.130011	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
95	2.144431	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
105	2.335203	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
107	2.34943	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
111	2.529973	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
113	2.544406	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]
123	2.724898	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Read Var	183	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
125	2.744419	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Read Var	183	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Read Var]

每组“请求->响应”的周期间隔为200ms；。



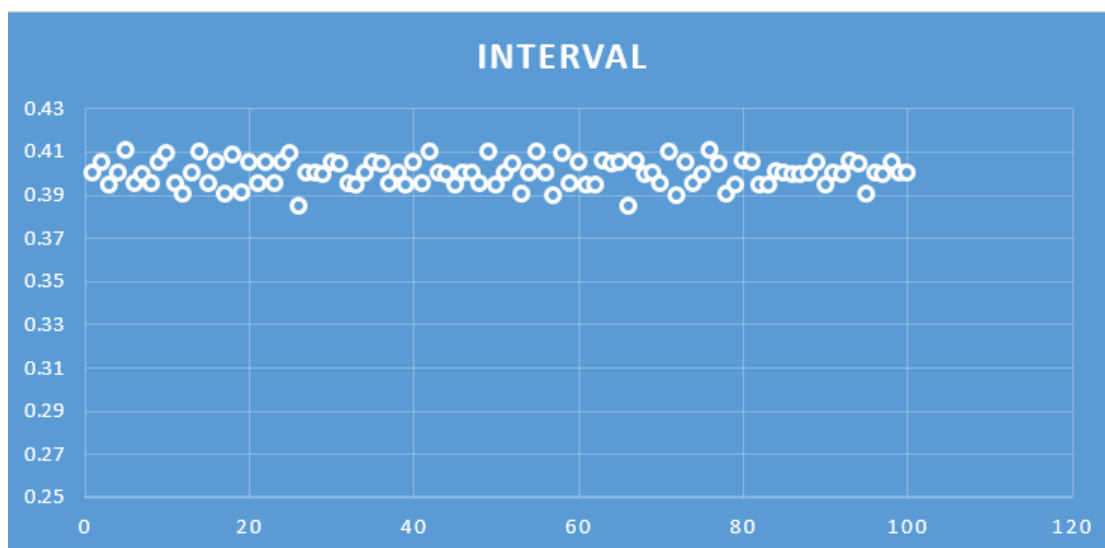
从请求到响应时延的平均值为15ms左右。会随着网络质量而波动。



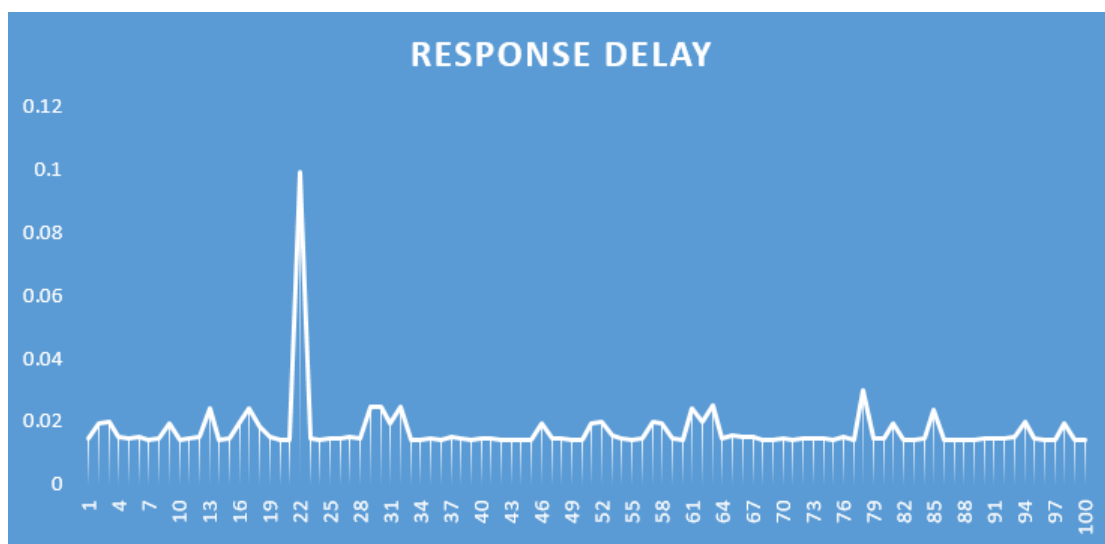
Wright Var的功能报文如下：

No.	Time	Source	Destination	Protocol	ROSCTR	Function	Length	Info
9	0.224752	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
11	0.239524	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
27	0.625062	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
29	0.644432	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
45	1.029947	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
47	1.049974	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
63	1.424476	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
65	1.439474	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
81	1.824552	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
83	1.839426	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
99	2.234961	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
101	2.249934	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
117	2.630164	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
119	2.644408	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
135	3.029892	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
137	3.0444	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
153	3.42494	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
155	3.444448	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
171	3.830155	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
173	3.844442	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
189	4.239556	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
191	4.254412	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
207	4.634541	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
209	4.649694	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
225	5.024919	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
227	5.049388	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
243	5.425033	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]
245	5.439461	192.168.2.172	192.168.2.171	GTP <S7COMM>	Ack_Data	Write Var	174	ROSCTR:[Ack_Data] Function:[Write Var]
261	5.834822	192.168.2.171	192.168.2.172	GTP <S7COMM>	Job	Write Var	188	ROSCTR:[Job] Function:[Write Var]

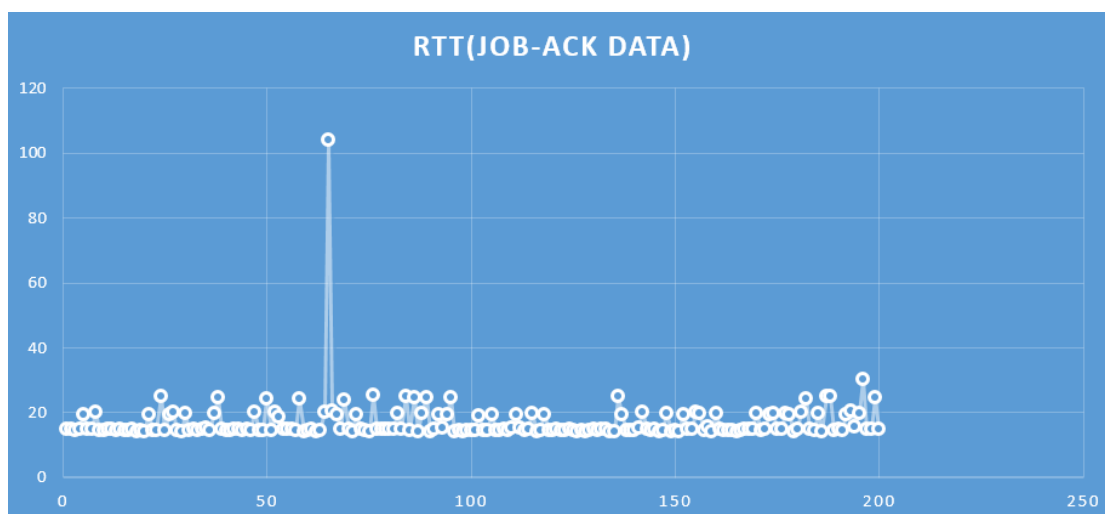
每组“请求->响应”的周期间隔为400ms。



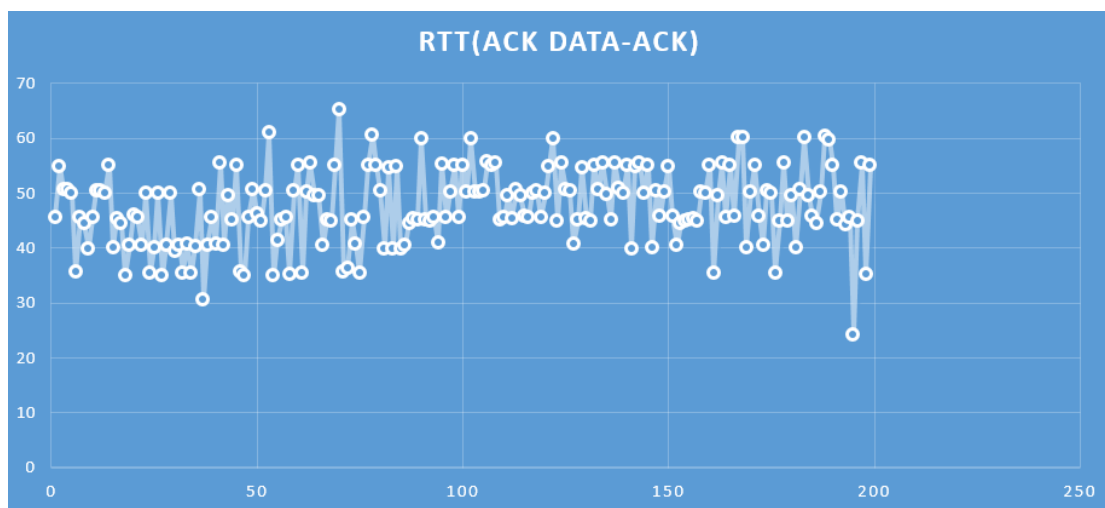
从请求到响应时延的平均值为17ms左右。会随着网络质量而波动。



因为是TCP承载所有，两个方向的RTT都是可以测量的。两个方向的RTT如下：



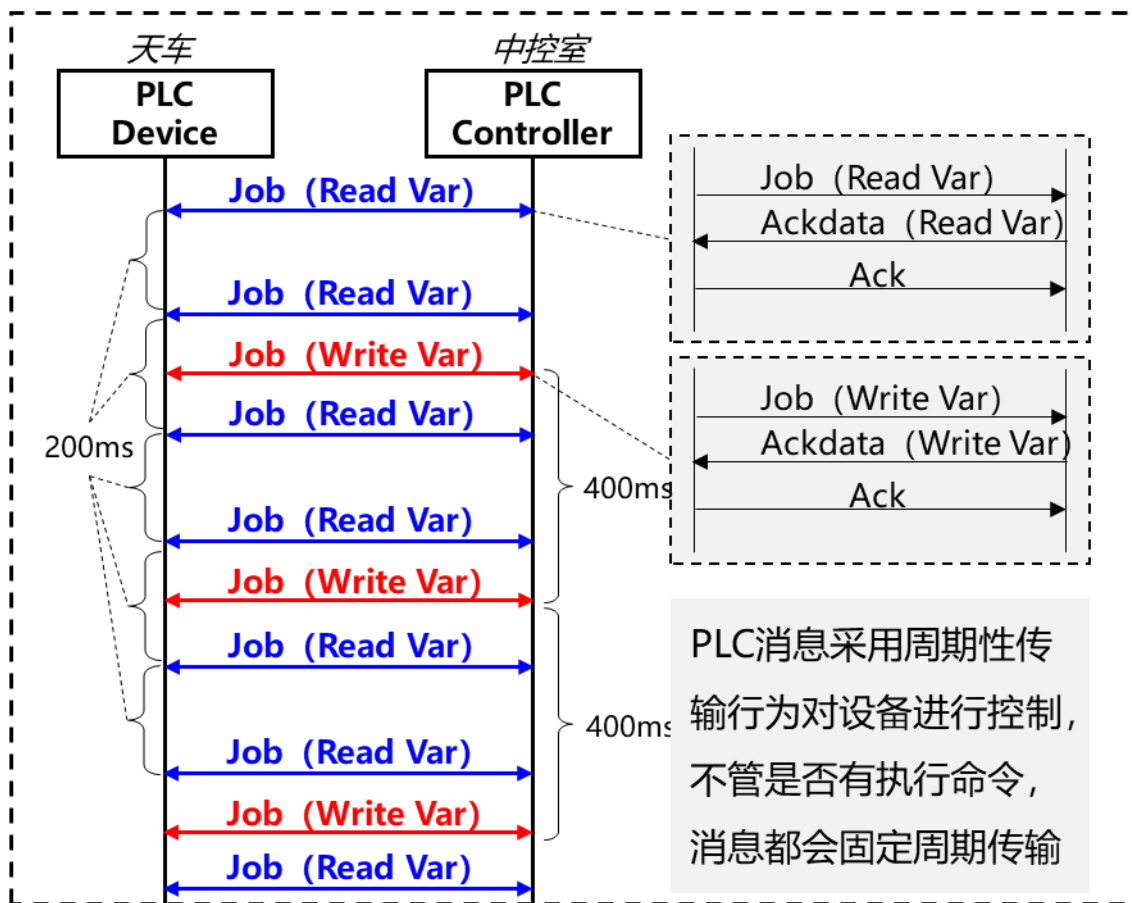
平均值17ms，其中一个点RTT很大，达到了104ms。和上图Response Delay的高点相对应。



平均值在47ms。波动相对聚类，从30ms到65ms之间；这个RTT反映了ACK_DATA到ACK这侧的网络质量，是Response Delay无法覆盖的。

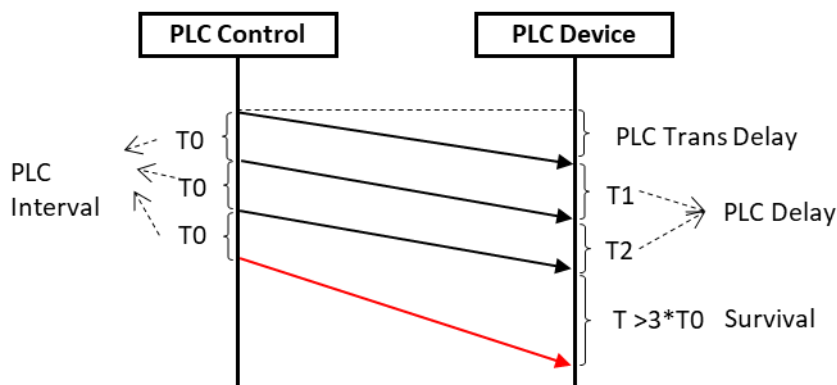
经上述分析，可以看到，S7COMM在这种场景下的交互行为如下。

S7COMM应用消息流程图示例



其应用层对消息没有编号，以及时间校验，因此，实际上并不是要求网络一定要在xxms内将消息传到，而是在xxms内一定要有消息，即稳定的收到消息比快速但抖动大的收到消息更好，更不容易触发告警和业务中断。

如下图中，黑色线条的消息在网络上经过一段时间到达另一端，当消息稳定到达对端时，对端不会触发告警，但如果网络时延抖动很大，突然有一段很长时间没有收到消息，如红色的消息，则会触发告警。



通过以上分析可以支持的指标为：

表 3-2 PLC 消息指标

指标名称	打点测量原理
Response Delay	从Job到Ack Data的时延
RTT（Job-Ack）	从Job到Ack的RTT时延
RTT（Ack Data-Ack）	从Ack Data到Ack的RTT时延
Interval Delay	Job之间的周期时延

3.3 FWA 业务

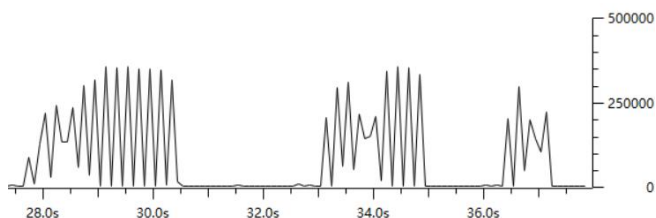
Filter: shake.extensions_server_name and !(!tcp.analysis.retransmission) Expression... Clear Apply Save SNI									
No.	Time	Source	Destination	Protocol	sni	Length	Stream	Info	
2249	2.350000	62.150.94.226	52.139.250.253	TLSv1.2	client.wns.windows.com	268		33	Client Hello
8339	9.176000	62.150.94.226	66.102.1.108	TLSv1	imap.gmail.com	236		77	Client Hello
9142	11.341000	62.150.94.226	74.125.71.109	TLSv1	imap.gmail.com	236		85	Client Hello
21940	32.985000	62.150.94.226	172.217.19.142	TLSv1.2	play.google.com	667		209	Client Hello
22230	33.580000	62.150.94.226	3.90.123.37	TLSv1.2	lc96.dsr.livefyre.com	319		211	Client Hello
24309	38.780000	62.150.94.226	64.233.167.109	TLSv1	imap.gmail.com	248		242	Client Hello
24310	38.780000	62.150.94.226	64.233.167.109	TLSv1	imap.gmail.com	248		243	Client Hello
24760	40.100000	62.150.94.226	64.233.167.109	TLSv1	imap.gmail.com	248		249	Client Hello
25008	40.600000	62.150.94.226	64.233.167.109	TLSv1	imap.gmail.com	248		255	Client Hello
26774	43.316000	62.150.94.226	74.125.71.108	TLSv1	imap.gmail.com	236		268	Client Hello
27862	44.556000	62.150.94.226	74.125.71.108	TLSv1	imap.gmail.com	236		279	Client Hello
33892	52.250000	62.150.94.226	172.217.171.195	TLSv1.2	clientservices.googleapis.com	681		345	Client Hello
34824	53.391000	62.150.94.226	172.217.19.142	TLSv1.2	play.google.com	667		354	Client Hello
36392	55.911000	62.150.94.226	157.240.195.24	SSL	edge-mqtt.facebook.com	302		380	Client Hello
36394	55.911000	62.150.94.226	157.240.195.24	SSL	edge-mqtt.facebook.com	278		380	TCP out-of-order
36804	56.976000	62.150.94.226	172.217.18.234	TLSv1.2	android.googleapis.com	621		390	Client Hello
37292	58.056000	62.150.94.226	172.217.171.214	TLSv1.2	lyyl.com	607		402	Client Hello
37294	58.056000	62.150.94.226	216.58.198.74	TLSv1.2	youtubei.googleapis.com	607		401	Client Hello
37622	58.670000	62.150.94.226	172.217.19.34	TLSv1.2	www.googleadservices.com	607		408	Client Hello
40867	65.950000	62.150.94.226	172.217.18.46	TLSv1	clients5.google.com	221		472	Client Hello
42156	69.505000	62.150.94.226	66.102.1.108	TLSv1	imap.gmail.com	236		498	Client Hello
42982	71.585000	62.150.94.226	74.125.71.109	TLSv1	imap.gmail.com	236		519	Client Hello
43158	72.006000	62.150.94.226	74.125.71.109	TLSv1	imap.gmail.com	236		524	Client Hello
43760	73.226000	62.150.94.226	74.125.71.109	TLSv1	imap.gmail.com	236		539	Client Hello
47861	78.696000	62.150.94.226	157.240.195.56	TLSv1.2	pps.whatsapp.net	402		590	Client Hello
47969	78.816000	62.150.94.226	157.240.195.56	TLSv1.2	pps.whatsapp.net	402		589	Client Hello
49993	79.986000	62.150.94.226	52.155.169.137	TLSv1.2	tsfe.trafficshaping.dsp.mp.micr	313		602	Client Hello
52382	83.646000	62.150.94.226	172.217.171.238	TLSv1.2	app-measurement.com	260		633	Client Hello

Ethernet: 1 Fibre Channel FDDI IPv4: 271 IPv6 IPX JXTA NCP RSVP SCTP TCP: 1194 Token Ring UDP: 302 USB WLAN									
TCP Conversations									
Address A	Port A	Address B	Port B	Packets	Bytes	Packets A→B	Bytes A→B	Packets B→A	Bytes B→A
62.150.94.226	49770	74.125.71.109	imap	3 488	2 987 260	1 190	87 884	2 298	2 899 376
62.150.94.226	50415	64.233.166.109	imap	3 126	2 602 814	1 106	80 454	2 020	2 522 360
62.150.94.226	49776	74.125.71.109	imap	2 846	2 515 404	964	70 478	1 882	2 444 926
62.150.94.226	51114	74.125.71.108	imap	2 942	2 272 560	972	75 094	1 970	2 197 466
62.150.94.226	51117	74.125.71.108	imap	2 900	2 268 970	948	73 330	1 952	2 195 640
62.150.94.226	55893	64.233.167.109	imap	2 868	2 155 552	992	90 218	1 876	2 065 334
62.150.94.226	49764	74.125.71.109	imap	2 202	1 964 966	744	53 526	1 458	1 911 440
62.150.94.226	49766	74.125.71.109	imap	1 632	1 074 532	566	45 552	1 066	1 028 980
62.150.94.226	59981	157.240.195.56	https	1 050	1 018 220	348	31 464	702	986 756
62.150.94.226	49608	172.217.18.36	https	1 310	1 006 850	466	51 088	844	955 762
62.150.94.226	53274	77.238.180.12	https	1 556	896 698	642	126 032	914	770 666
192.168.4.254	65291	192.168.1.59	citriximac	7 172	1 024 768	4 006	301 368	3 166	723 400
62.150.94.226	59984	64.233.166.108	imap	772	668 860	258	19 886	514	648 974
62.150.94.226	53731	143.204.106.100	https	756	663 038	298	41 108	458	621 930
62.150.94.226	50414	64.233.166.109	imap	1 284	562 610	452	39 158	832	523 452
62.150.94.226	61323	66.102.1.108	imap	1 048	469 826	360	31 422	688	438 404
62.150.94.226	61319	66.102.1.108	imap	1 040	467 546	364	31 488	676	436 058
62.150.94.226	55892	64.233.167.109	imap	1 138	461 346	404	40 436	734	420 910

从码流分析结果看，FWA业务特征和2C的对应业务流特征没有区别，可以采用2C对应的业务进行评估。差异在于源IP地址是CPE的IP地址，没有办法区分到用户级；但是不同的业务CPE分配不同的端口号，从五元组层面是可以分开看到每个业务的流数据。

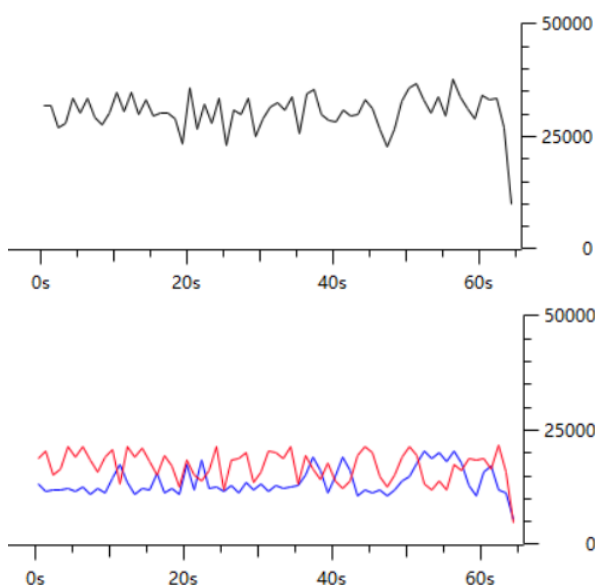
【企业Internet业务】

● Gmail收邮件行为



下载码流，下行速率为2.5Mbps左右。这个是企业Internet的主要流量。

● VOIP业务码流



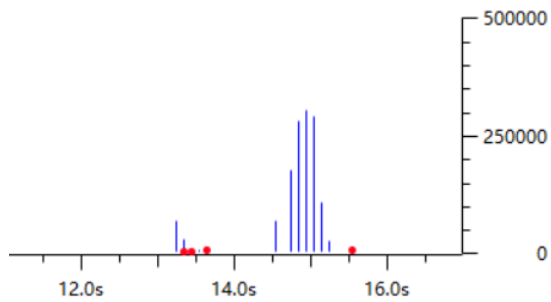
其中红色为上行，蓝色为下行，平均上行速率在18kbps，平均下行速率在15kbps左右。

从包长统计看，包大小主要分布在80~159范围内，实际上90%以上分布在50~200范围内。

都是小包，平均包大小120Byte，平均包间隔32ms。都属于VOIP业务特征。

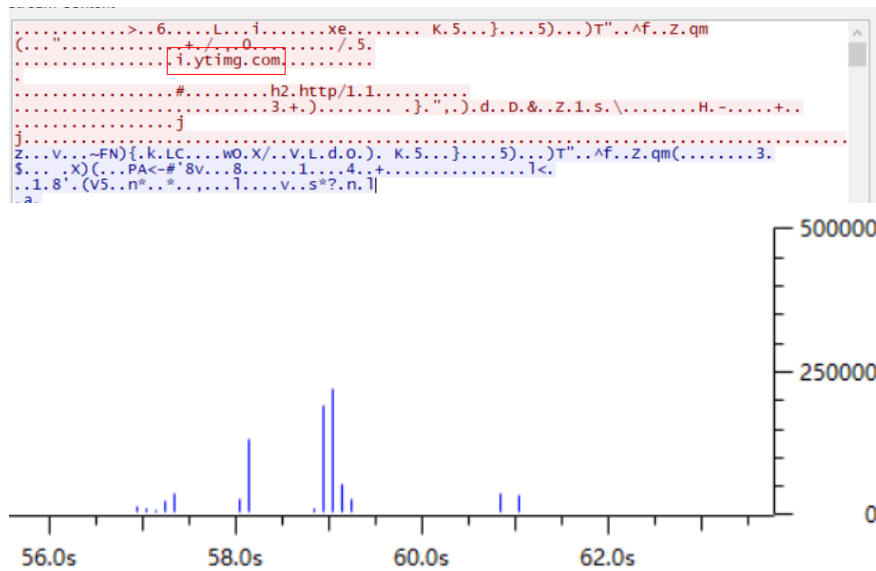
Topic / Item	Count	Rate (ms)	Percent
Packet Lengths	2053	0.031921	
0-19	0	0.000000	0.00%
20-39	0	0.000000	0.00%
40-79	413	0.006422	20.12%
80-159	1052	0.016357	51.24%
160-319	588	0.009143	28.64%

● Whatsapp下载数据码流



其中红色部分为上行码流，蓝色部分为下行码流。下行速率为2.5Mbps。

● 网页浏览数据流



从码流中看到SIP的注册流程，可能是IPPBX的IP话机与服务器的注册行为，SIP消息不加密，源目的号码等相关信息都可见。

Filter: sip								Expression... Clear Apply Save SNI	
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	sni	Stream	Info	
9237	11.616000	62.150.94.226	74.116.151.234	SIP	831			Request: REGISTER sip:43.voncp.com:10000	
9239	11.616000	62.150.94.226	74.116.151.234	SIP	807			Request: REGISTER sip:43.voncp.com:10000	
9351	11.852000	74.116.151.234	62.150.94.226	SIP	443			Status: 200 OK (1 bindings)	
9352	11.852000	74.116.151.234	62.150.94.226	SIP	467			Status: 200 OK (1 bindings)	
21328	31.595000	62.150.94.226	74.116.151.234	SIP	831			Request: REGISTER sip:43.voncp.com:10000	
21330	31.595000	62.150.94.226	74.116.151.234	SIP	807			Request: REGISTER sip:43.voncp.com:10000	
21458	31.832000	74.116.151.234	62.150.94.226	SIP	443			Status: 200 OK (1 bindings)	
21459	31.832000	74.116.151.234	62.150.94.226	SIP	467			Status: 200 OK (1 bindings)	
33006	51.596000	62.150.94.226	74.116.151.234	SIP	831			Request: REGISTER sip:43.voncp.com:10000	
33010	51.596000	62.150.94.226	74.116.151.234	SIP	807			Request: REGISTER sip:43.voncp.com:10000	
33350	51.832000	74.116.151.234	62.150.94.226	SIP	443			Status: 200 OK (1 bindings)	
33351	51.832000	74.116.151.234	62.150.94.226	SIP	467			Status: 200 OK (1 bindings)	
41904	69.033000	77.247.109.29	62.150.94.224	SIP	456			Request: OPTIONS sip:100862.150.94.224	
41905	69.033000	77.247.109.29	62.150.94.224	SIP	480			Request: OPTIONS sip:100862.150.94.224	
41906	69.033000	77.247.109.29	62.150.94.225	SIP	456			Request: OPTIONS sip:100862.150.94.225	
41907	69.034000	77.247.109.29	62.150.94.225	SIP	480			Request: OPTIONS sip:100862.150.94.225	
Ethernet II, Src: HuaweiE10000000000000000000, Dst: HuaweiE10000000000000000000, Protocol: 0x0800, Length: 1542 Internet Protocol Version 4, Src: 10.191.5.20 (10.191.5.20), Dst: 10.91.5.250 (10.91.5.250) Generic Routing Encapsulation (GRE) Internet Protocol Version 4, Src: 62.150.94.226 (62.150.94.226), Dst: 74.116.151.234 (74.116.151.234) User Datagram Protocol, Src Port: ndmp (10000), Dst Port: ndmp (10000) Session Initiation Protocol (REGISTER) Request-Line: REGISTER sip:43.voncp.com:10000 SIP/2.0 Message Header Max-Forwards: 70 Content-Length: 0 Via: SIP/2.0/UDP 192.168.0.172:10000;branch=z9hG4bKfbb422a52 Call-ID: 14b86dbab1c9f1b0e1cc59c8d29cc028192.168.0.172 From: "12067747949" <sip:12067747949@43.voncp.com>;tag=0fc95460f154526 To: "12067747949" <sip:12067747949@43.voncp.com:10000> CSeq: 1549079 REGISTER Contact: "12067747949" <sip:12067747949@192.168.0.172:10000;transport=udp>;expires=20 Allow: INVITE, ACK, CANCEL, BYE, NOTIFY, REFER, OPTIONS, UPDATE, PRACK Authorization: Digest response="af59efcf68128c8e8e277f366c5cb40" username="12067747949", realm="74.116.151.234", nonce="531399145", algorithm=MD5, uri="sip:43.voncp.com:10000" User-Agent: VDV23 14202741E88 3.2.12_0.0.0 75xs10zza/bcm14202741E88.xml									

4 5G ToB 业务建模框架

4.1 ToB&2C 建模差异

表 4-1 2C和ToB的建模分析维度

分析维度\业务类型	2C体验建模	ToB体验建模
质量承诺	运营商不对单用户承诺SLA	运营商对企业客户承诺业务SLA
满意度	单用户体验差会投诉、离网：个体体验建模很重要	物不投诉，但是总体SLA不达标，企业会进行合同索赔：群体体验建模更重要
可排障性	C用户可以自排障（关机，打热线求助，咨询朋友…）	而ToB用户则不行，一旦出问题就憋死
流量模型	2C是突发性的（长时或短时数传）	ToB则大多数都是持续型或规律突发性，永远在线
软件应用	面向2C的软件系统以寡头垄断形式为主	面向ToB的软件系统则呈现长尾特征
网络特点	共享网络：多种业务QoS难以差异化保障	SA组网、切片：可以保障不同业务不同的QoS需求
技术挑战	加密识别、体验建模、流量爆炸	端到端QoS难以测量（UDP），QoS动态保障
指标差异性	速率、时延	除了速率、时延外，还有物的能耗、网络资源占用、异常物分布也需要关注
可优化的点	无线RF质量、CN-SP路由/限速/丢包	无线RF质量、网络结构调整、资源分配策略

表 4-2 2C和ToB的建模差异

2C体验建模	ToB体验建模
PSPU个体体验建模	“物”群体质量建模，质量分布建模
保障垄断寡头的应用，分大类体验建模	应用场景太多，定制化建模+通用的大类建模
追求极致用户体验	网络资源与体验最优平衡
QoS精准测量（如RTT 99.9%准确）	精准测量+基于AI的质量预测（带有置信度的结果）
体验评估定界为服务解决方案驱动力	体验保障为服务解决方案驱动力

4.2 ToB 建模方法探索

4.2.1 细粒度时空建模

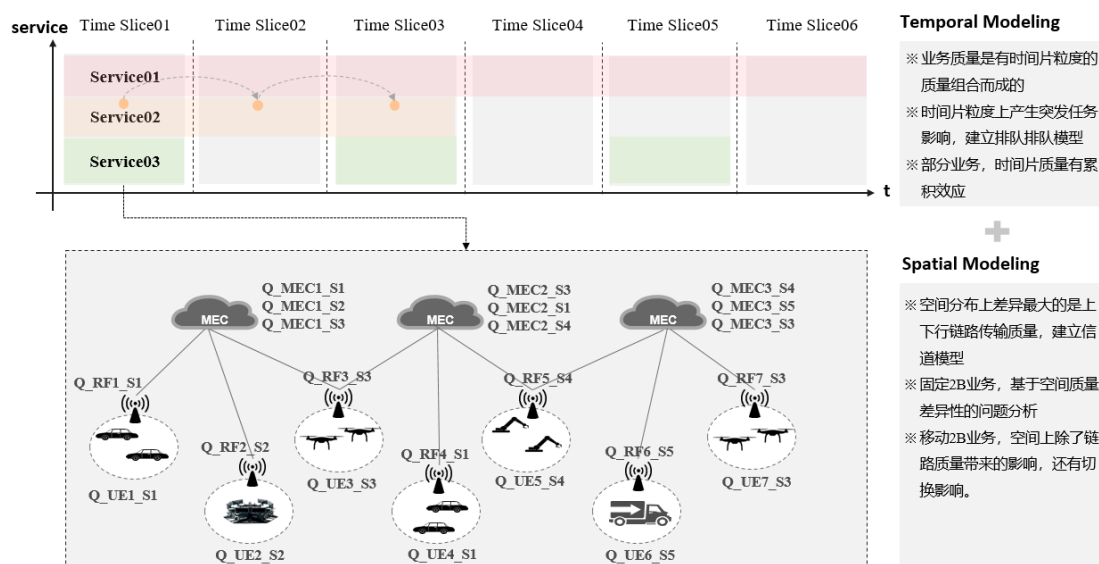


图 4-1 ToB业务质量与时空关系示意图

整个ToB业务质量建模需要结合时间和空间进行：

- 时域上：基于事件驱动的瞬时流量冲击/包数冲击，会带来突发时延和突发丢包；无线设备和核心网/承载网设备会进行瞬时排队，需要对不同业务的排队机制进行建模，从而量化时间片内业务处理的延迟、丢包、带宽等QoS影响。
- 空间上：由移动性和通信位置引起的信道质量快速变化，体现在信道质量建模上进行量化。同时MEC的资源分配也会影响总体的ToB业务质量，MEC规划和资源分配合理的情况下，MEC处理时延和应用层的处理时延，和位置关系不大；暂时不考虑。

- 时空建模：先对单一时间片的质量进行建模，在单一时间片内充分考虑排队模型和信道模型对质量的影响。然后对于跨多个时间片的业务，考虑时间片之间的质量是否存在某种联系，如果存在可以使用状态迁移方法（Markov等）进行关联评价；如果时间片间质量是独立的，那么可以进行加权平均或考虑新近效应的移动加权平均进行综合业务质量评价。

在ToB的业务质量评价中，只看平均性能是不够的，瞬时质差（突发时延、突发拥塞、突发丢包、突发抖动）都是时间片级别产生的。在同一个时间片内不同的物代表空间上不同位置，且可能随时间的变化而变化。可以假定在同一个时间片内物的位置是固定的。值得注意的是不同位置的业务质量差异是很大的，也就是最终的综合质量是时间和空间的二维函数。

以端到端时延为例，假设时延 D 是时间和空间的二维函数：

$$D(x_i, y_j), i \in [1, N], j \in [1, M]$$

其中 x_i 是当前时间片，评估周期最大的时间片个数为 N ， y_j 是当前物，每个物的位置不同，所以代表不同的空间位置，物最大个数为 M 。

$$f(x, y) = \iint_{i=1, j=1}^{i=N, j=M} D(x_i, y_j) dx dy$$

$f(x, y)$ 是 D 在时空维度上的二重积分，代表了时延的累计度量，如图中蓝色区域的体积。

$$f^*(x, y) = \iint D^*(x_i, y_j) dx dy, D^*(x_i, y_j) > D_{boundary}$$

$f^*(x, y)$ 代表时延超出边界的部分的样本积分。

$$r(x, y) = P(D > D_{boundary}) = \frac{f^*(x, y)}{f(x, y)} \times 100\%$$

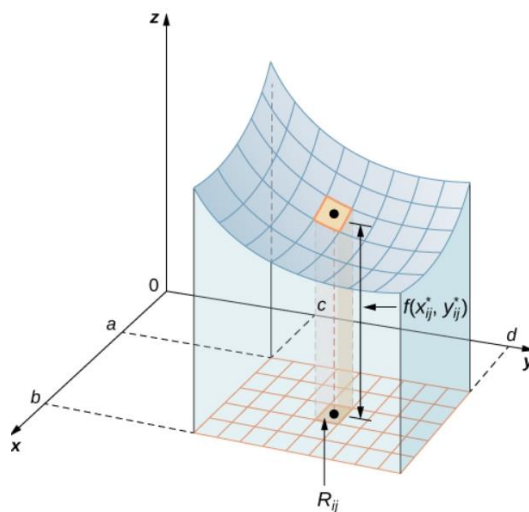


图 4-2 质量时空分布的二重积分表示

一段测量周期内，所有物的E2E时延可以使用 $f(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 来度量。

4.2.2 场景化事件驱动建模

ToB网络中，无线传感器使用频度高，所有使用原位传感器的应用都强烈依赖于它们的正确操作，但这很难保证。事实上，这些传感器通常很便宜并且容易发生故障。对于许多任务，传感器也在恶劣的天气条件下部署，使其更容易破损。此外，工业设备也对可靠性有很高的要求。对于一般物的故障，在租客系统中有明确的告警可以发现。但是物的隐性故障，因为外界因素或自身老化等原因导致，很难被发现，如果不及时处理，逐渐形成故障，降低SLA。因此物行为异常的预检测，问题预分析，对企业的预防式管理有显著意义；而且由于物的数量和种类繁多，检测过程必须是自动化的，可扩展的并且足够快以适用于实时流数据。

综上，5G未来的各种物联网应用中，基于机器学习和启发式学习的异常检测技术，将会发挥越来越大的作用。

【智能居住环境中的异常检测】

在智能的居住环境中，嵌入式传感器技术在记录乘员行为方面起着重要作用，居民与家庭对象进行交互，并且嵌入式传感器生成时间序列数据以识别已执行的活动。生成的传感器数据非常稀疏，因为当居民与物体交互时，传感器值会发生变化。在任何智能环境中，对

于鲁棒的异常检测模型的需求都是至关重要的。

✓ 智能居住环境中的统计方法

Methods	Nature of Data	Type of Anomaly	Availability of Data	Type of Sensors	Application Area	Evaluation Criteria
Dissimilarity Measures [17]	Binary and continuous data	Collective anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	State and motion sensors	Smart home	Distance index
Percentiles [18]	Binary and continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	Motion and door sensors	Senior's inhabitant home	False alert rate and sensitivity
Gaussian Mixture Model [19]	Binary and continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	Occupancy, motion and door sensors	UK sheltered housing scheme	Histogram Visualization
Hierarchical Markov Model [20]	Binary and continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	Embedded state sensors in Home	MIT Placelab smart home	Accuracy
Switching Hidden Semi-Markov Model [21]	Continuous data	Collective anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	Video cameras	Smart kitchen	Average Accuracy
Bayesian Model [22]	Binary and continuous data	Collective anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	Binary sensors, motion sensors and pressure sensors	Smart home	Precision, Recall, and F-measures

✓ 智能居住环境中的机器学习方法

Methods	Nature of Data	Type of Anomaly	Availability of Data	Type of Sensors	Application Area	Evaluation Criteria
Single Class Support Vector Machine (SVM) [16]	Binary data	Collective anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	State sensors deployed in living room, kitchen and dining area	Smart home	Type I and II error, Precision, Recall, F-Measure
Multi-class SVM [24]	Continuous data	Collective anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	Accelerometer and gyroscope sensors	Wearable gadgets	Accuracy, Precision, Sensitivity
Support Vectors [25]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	Infrared motion sensors	Ubiquitous Health-care House	Positive predictive value
Principal Component Analysis (PCA) and Fuzzy Rule-based System [26]	Binary and continuous data	Collective anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	state and motion sensors	Smart home	Hotelling's T ² and Square prediction error (SPE)
Kernel Nonlinear Regression and SVM [27]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	Light, temperature, microphone, accelerometer, magnetometer	Human activities	False positive rate
Convolutional neural network (CNN) and Recurrent Neural Network (RNN) [28]	Continuous data and Images	Collective anomaly	Supervised learning over the patterns of normal behavior	Microwave sensor and video camera	Smart home	Accuracy and Mean Absolute Error (MAE)

【智能交通系统中的异常行为】

✓ 智能交通系统中的统计方法

Methods	Nature of Data	Type of Anomaly	Availability of Data	Type of Sensors	Application Area	Evaluation Criteria
Kernel Feature Space and PCA [30]	Multi-dimensional time-series	Collective anomaly	Supervised learning over Telemetry data from space station	System components (Soft sensors) in spacecraft	Aerospace	False alarms
K-means and GMM [31]	Numerical, categorical, and binary.	Contextual anomaly	Unsupervised learning over EuroFOT database	403 parameters of hardware and software sensors,	Anomaly detection for road traffic	Colorscales (red for anomalies)
Structured sparse subspace learning [32]	Continuous data.	Contextual anomaly	Supervised learning on Thor Flight 107 and 111 flight data	flight-critical sensors	Anomaly detection for flight safety	Accuracy and ROC

✓ 智能交通系统中的机器学习方法

Methods	Nature of Data	Type of Anomaly	Availability of Data	Type of Sensors	Application Area	Evaluation Criteria
Decision tree (C4.5) and Fusion Model [33]	Unstructured data in the form of reports	Collective anomaly	Supervised learning over historical data collected over 5 years	Operational data of engines of A-320	Aerospace	Accuracy and Error rate
Multiple Kernel Learning [34]	Discrete and continuous data	Collective anomaly	Supervised learning over the pattern of flights	Different 160 parameters of FOQA dataset	Aviation safety	Accuracy
Extreme Learning Machines [35]	Continuous data	Collective anomaly	Supervised learning on 43000 flights data	Radar, aircraft trajectories and nearby aircraft distance	Aviation safety	Area under the curve
Reinforcement Learning [36]	Continuous data	Point anomaly	Supervised learning on drone captured data	Temperature sensor	Unmanned aerial vehicles	Accuracy
Regression Model [37]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning on historical data	Software Logs	Air Traffic Control systems	Precision, Recall and Accuracy
Support Vector Machine [38]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning on historical data	GPS and Accelerometer	Air Driving Patterns and Road Anomalies	Accuracy
Deep Convolutional Neural Network [39]	Image data	Point anomaly	Supervised learning on CTIV platform used to collect the images	Camera	Railway track	Accuracy
Autoencoders [40]	Continuous data	Point anomaly	Unsupervised learning on data from B777-200 of civil plane	Gas turbine engine	Aerospace	Precision, Recall, F1 Score

【智能对象中的异常行为】

智能对象是一个快速增长的区域，可将多个对象连接在一起并实现它们之间的通信。它收集有价值的数 据，可以将其作为广泛应用程序的信息和知识来源。在我们的研究调查中，我们发现了以下统计和机器学习文献，这些文献根据我们的研究问题和搜索标准而一致

✓ 智能对象中的统计方法

Methods	Nature of Data	Type of Anomaly	Availability of Data	Type of Sensors	Application Area	Evaluation Criteria
Threshold Level [41]	Continuous data	Point anomaly	Supervised learning on patterns of the food in trash bin	Gas sensors	Trash bin	No performance measures
Analysis of variance (ANOVA) [42]	Continuous data	Collective anomaly	Supervised learning on the driving section	Vehicle data from engine, fuel, gear and steering wheel.	Abnormal behavior of the vehicle	Normal vs abnormal data
Latent Correlation Probabilistic Model [43]	Continuous data	Collective anomaly	Supervised learning on patterns of concrete trucks	Engine speed and pump speed	Concrete pump trucks	Precision, Recall, area under the ROC
Expectation Maximization [44]	Binary data	Point anomaly	Unsupervised learning on switches patterns	Light switches	Smart nursing homes	False alarm rate

✓ 智能对象中的机器学习方法

Methods	Nature of Data	Type of Anomaly	Availability of Data	Type of Sensors	Application Area	Evaluation Criteria
Rule-based System [46]	Continuous and image data	Collective anomaly	Supervised learning	Temperature, humidity, light intensity, audio and image data	Efficient energy consumption in school building	Number of conflicts and Miss detection rate
Belief-rule-based Association Rules [45]	Continuous data	Collective anomaly	Supervised learning on patterns of incomplete and vague data	Temperature and rain gauge	Flood prediction	Area under the curve
Cluster heat maps [48]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning on patterns of smart cities IoT data	Measurement of total power, reactive power, phase angle, light, temperature, motion sensor, noise level, and vibration	Smart City	Normal vs abnormal comparisons
Temporal Clustering Technique [47]	Continuous data	Collective anomaly	Supervised learning on 8200 parking data	On-street parking spaces and gate controlled sensors	City parking of San Francisco	Correlations observations
Spatio-temporal Framework [49]	Continuous data	Collective anomaly	Supervised learning over 50 devices	Temperature, humidity sensor	Environmental data analysis of Taipei	Accuracy
Features Extraction and Visualization [50]	Continuous data	Collective anomaly	Supervised learning on patterns of smart cup usage	Raspberry Pi Zero, 9-DoF IMU, liquid level sensor, and force sensing resistors	Smart cup	No comparison

【医疗保健系统中的异常行为】

异常检测，分析和预测被认为是重新定义医疗保健系统的一场革命。在这样的系统中，可以看到对健康管理和健康的明显影响，以提高生活质量和对慢性病患者的远程视频记录存储。这样的系统对减少错误警报的产生提出了巨大的挑战。在我们的系统文献调查中，已经发现了足够的方法和方法来识别医疗保健环境中的传感器，人类或机器的异常行为。

✓ 医疗保健系统中的统计方法

Methods	Nature of Data	Type of Anomaly	Availability of Data	Type of Sensors	Application Area	Evaluation Criteria
RMS Graph [51]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning on wearable patterns	Accelerometer	Seizure complexities	Threshold configuration
Dynamic Time Warping (DTW) and Density Functions [53]	Continuous data	Contextual data	Supervised learning on Physionet PPG signals	Photoplethysmogram (PPG) signals	Cardiac behavior	Precision, Recall, Specificity
Autoregressive integrated moving average (ARIMA) [56]	Textual data	Point anomaly	Electronic health records	Electronic health records	Clinical decision support system	No performance measure
Hidden Markov Model [54]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning on eWALL Consortium parameters	Wearables Fitbit	Sleep analyzer	No performance measure
Hidden Markov Model [52]	Continuous data	Point anomaly	Supervised learning on glucose level	Medical devices insulin tolerance test	Blood glucose level behavior	Precision and Recall
Spectral Coherence Analysis [55]	Continuous data	Point anomaly		Accelerometer Sensor	Gait freezing in Parkinson's disease	Sensitivity

✓ 医疗保健系统中的机器学习方法

Methods	Nature of Data	Type of Anomaly	Availability of Data	Type of Sensors	Application Area	Evaluation Criteria
HEAL Model [57]	Binary data	Contextual anomaly	Supervised learning on smart home data	Tap sensors on the objects	Abnormal behavioral	No performance measures
Incremental learning algorithm [58]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning on the dataset from UCI repository	Heart rate and blood pressure measuring sensor	Anomaly pattern in the health records	Actual vs predicted values
Transductive Transfer Learning [60]	Continuous data	Contextual anomaly	Semi-supervised learning on arrhythmias dataset	ECG monitoring sensor	Electrocardiogram abnormalities	G-mean
A Graph-based Approach [59]	Textual data	Contextual anomaly	Supervised learning on Hospital dataset	Access logs	Anomalies in electronic medical record	ROC curves
Support Vector Machine [61]	Textual anomaly	Contextual anomaly	Supervised learning on EHR	Data logs	Patient-management actions	True alert rate

【工业系统中的异常行为】

在工业系统中，异常检测方法的设计和开发对于减少系统意外故障的可能性至关重要。已经发现，用于异常检测的已开发方法已成功应用于预测性和主动维护。此类方法被广泛用于提高生产率，节省机器的停机时间并进行故障的根本原因分析。

✓ 工业系统中的统计方法

Methods	Nature of Data	Type of Anomaly	Availability of Data	Type of Sensors	Application Area	Evaluation Criteria
Temporal Logic [62]	Continuous data	Point anomaly	Supervised learning on 50 collections of traces	air compressor motor speed	Fuel cell vehicle	Misclassification rate
Correlation Analysis [63]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning on 5 machines data	Tap sensors on generator	Electric generators in factories	Correlation coefficients
Density Function Model [64]	Continuous data	Point anomaly	Supervised learning on 24 solar panels data	Electric current data	Solar power generation systems	ROC curves
Markov chain [65]	Continuous data	Point anomaly	Supervised learning on pressure sensor data	Pressure sensor	Oil pipeline	Accuracy

✓ 工业系统中的机器学习方法

Methods	Nature of Data	Type of Anomaly	Availability of Data	Type of Sensors	Application Area	Evaluation Criteria
Extreme Learning Machines [69]	Continuous data	Point anomaly	Supervised learning on combustor chambers exhaust data	Temperature sensor	Power plant operations	ROC curves
Multivariate Clustering [71]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning on real-world sensory data	Sensor data from the electrical, water, and gas systems	Reduce electricity waste	Misclassification rate
Clustering [67]	Continuous data	Contextual anomaly	Unsupervised learning on five floor building	Temperature sensor	HVAC System in Smart Buildings	False alarms
One-Class SVM [66]	Continuous data	Point anomaly	Camshaft revolutions	A generic DAQ card (NI-6143)	An industrial seal machine	
Neural Network [68]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning on the data of thermal power plant	Superheated steam temperature, flow and steam cooling water flow.	Thermal power plant	Room mean square error
Conditional Gradient boosting decision tree (GBDT) [70]	Continuous data	Contextual anomaly	Supervised learning on the data of wind turbine	150 measurement parameters of wind turbine.	Wind turbine	Accuracy

4.3 ToB 建模框架

4.3.1 指标驱动建模框架

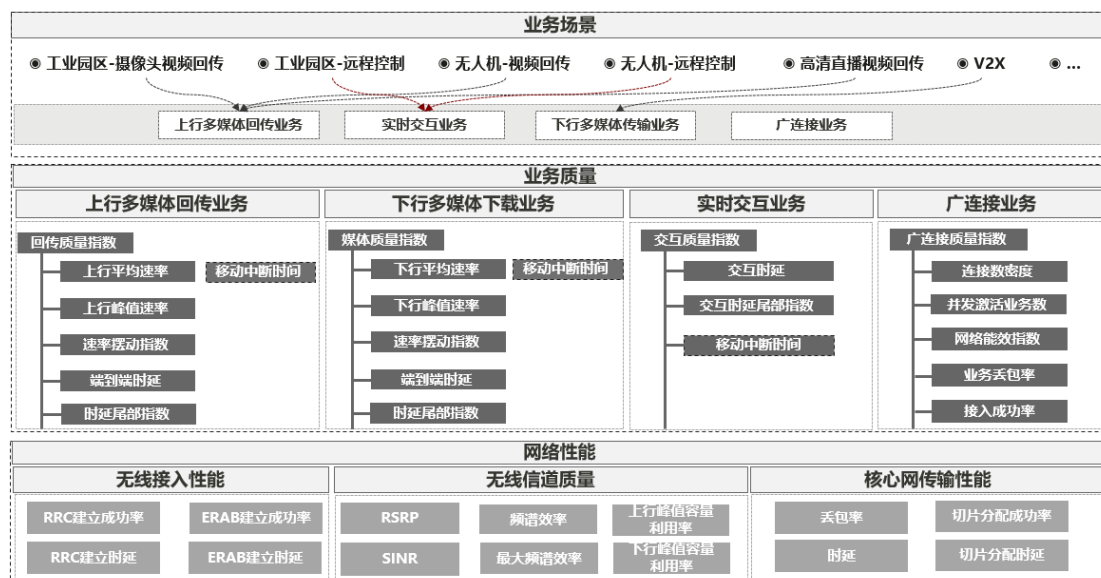


图 4-3 TOB业务指标驱动建模框架

TOB业务建模框架解读：

- 业务场景：ToB的业务场景繁多，但是总体上是eMBB、uRLLC、mMTC三类业务，基于5G当前项目业务需求的理解，从对网络诉求的角度，可以分为：上行多媒体回传业务、下行多媒体传输业务、实时交互业务、广连接业务。目前项目中还未见高移动性业务，高移动性业务，从理论上应该是多媒体业务和实时交互业务中一种特殊场景。
- 业务质量：不同的业务类型对管道的要求不同，建议差异性的指标体系。
- 网络性能：网络质量是对业务质量的关键支撑，可以分为无线接入性能、无线信道质量、核心网传输性能。

不管是4G网络或5G网络，由于无线资源抢占和资源受限等因素，并不能满足所有用户每次需求的质量要求，SLA并非针对个体，而是针对整体。

4.3.2 事件驱动建模框架

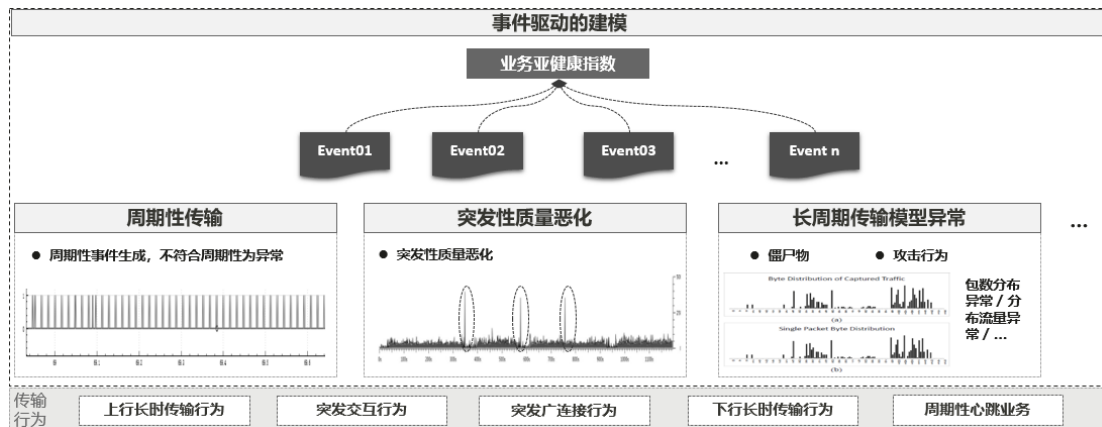


图 4-4 ToB业务事件驱动建模框架

本文提出基于异常事件驱动的建模方法，可以覆盖传统时延/速率指标无法覆盖的问题，不从PSPU体验建模视角出发，而是从发现异常问题，大数据分析聚类出问题原因类别视角出发。为了表征，某个业务行为的综合质差情况，可以设定业务亚健康指数，作为异常事件影响的综合业务质量评价指标。

笼统的网络数据传输行为，可以分为：

- ✓ 上行长时传输行为
- ✓ 下行长时传输行为
- ✓ 突发广连接行为
- ✓ 突发小包交互行为
- ✓ 周期性心跳行为

根据时间的业务场景和问题可能出现的现象出发，去定义异常事件的模式。需要注意的是并不存在普适性的异常检测方案，而是需要根据业务的特点，Case By Case的定义异常事件，从而进行检测。产品化可以考虑的是，异常事件定义的模板，调用机制，上层统计指标计算模型等可以固化下来，形成边缘和中心节点的产品能力。但是业务行为的分析，和基于业务行为分析的异常事件定义，需要业务交付专家在一线项目完成。

5 5G ToB 业务指标体系

5.1 上行多媒体回传业务

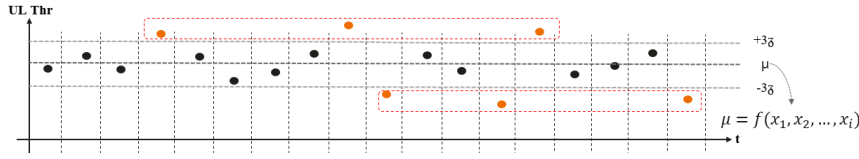
5.1.1 影响因素

多媒体回传业务分为两种：

- 1) 上行实时流媒体回传业务：比如直播的拉流，比如视频记录存储；其特点是根据视频编码的帧率、码率、分辨率等视频质量进行实时传输，对网络传输的速率要求要满足码率要求即可，对传输时延有要求。
- 2) 上行多媒体消息业务：比如语音消息、图片消息、视频消息传输到服务器上，非实时传输业务，是一般为一次性传输；这个是尽力而为的传输，速率的要求越大越好，业务体验主要是传输等待时延，而传输等待时延和速率、文件大小强相关，并非客观指标，需要采用上行速率作为核心评价指标。

表 5-1 上行实时流媒体回传业务核心影响因素

因素	影响
比特率 Bitrate	比特率（Bitrate）是指每单位时间传送或处理的音频或视频比特数。比特率是衡量音频和视频质量的一个更普遍的指标。高分辨率、高帧率和低压缩通常会导致相同编码环境下的比特率增加。
帧率 Frame rate	帧率（Frame rate）是以帧为单位的图像连续出现在显示器上的频率，视频内容的帧率应与显示设备的帧率属性相兼容。直播类业务对帧率的稳定性要求更高，因为实时性要求，帧率波动会导致回传视频的质量劣化。
分辨率 Resolution	视频分辨率（Resolution）是指视频内容中包含的像素点个数。视频内容分辨率应与显示设备的分辨率兼容，否则可能会在显示时导致视频分辨率下降甚至无法显示。对于实时直播回传业务，分辨率一般是固定的，和终端设备（如：摄像头）的能力强相关。
数据包丢失 Packet Loss	数据包丢失会极大地降低多媒体内容的质量，因为在包含I帧的数据包丢失的情况下，依赖于该帧的同一GoP的所有后续帧都将丢失，这可能会导致像素化，帧阻塞和视频输出卡顿；音频流具有相同的问题。在测量时，数据包丢失，分为平均丢包率测量，和突发丢包率测量，突发丢包带来的影响更大，需要单独考虑。
数据包延迟 Delay	当数据包从源传送到目的地时，存在传播延迟。如果此延迟达到较高值，则可能会出现图片阻塞和图像损坏。
抖动	由于传播延迟在一段时间内不是恒定不变的，因此整个网络的延迟都在变化。衡量此

Jitter	可变性的指标是抖动。实时流媒体业务需要稳定的IP流，抖动可能导致缓冲区溢出和欠载，从而导致所观看内容的像素化和帧冻结。
平均速率 Average Throughput	速率是保障视频回传质量的关键指标，只看平均速率是不够的，对于实时回传业务来讲，速率的波动性也会导致视频回传时缓冲区的溢出问题，从而导致视频帧无法流畅播放
峰值速率 Peak Throughput	实时流媒体回传业务来讲，测量出来的速率，在质量较好的情况体现为码率的水平，其实很大程度上不反映的网络传输能力。所以采用峰值速率，是瞬时可以达到的最大高速率，这个速率在某种程度上反映了管道的传输性能。
速率摆动 Throughput Swing	定义为速率超过上届或者下届的比例，表征速率的波动性。  平均性能难以体现上行多媒体回传业务的体验，突发拥塞/突发劣化会导致体验变差 ● 使用“动力指数”“摆动指数”的方法反映指标波动性 ✓ 向上运动超过 $\mu + 3\sigma$ 的范围的比例，为上摆指数； ✓ 向下运动超过 $\mu - 3\sigma$ 的范围的比例，为下摆指数；下摆指数最具意义，是质量恶化的信号； ✓ 对于上行实时回传业务来讲，摆动指数越低说明传输性能越稳定，体验越好； ● 从实时测量角度，μ 和 3σ 的值为到当前时刻的均值和方差计算，所以是动态变化的，图中 μ 和 3σ 实际为 $f(x)$ 曲线。
移动中断时延/Mobility Interruption Time	终端设备在移动时，产生的业务中断时延，固定终端无此指标。
交互时延/Interactive Delay	用户操作摄像头变化，或者用户操作视频播放、暂停等动作时产生的交互行为的时延。该时延影响用户对操作实时性的体验。

参照ITU-T P.1201协议对实时流媒体协议的研究，对于速率稳定性的研究是本文在业务分析过程中提出的。

表 5-2上行实时流媒体回传业务核心影响因素

因素	影响
传输等待时 长 /Transmission Waiting Time	在网络性能不佳的情况下，传输等待时长是比较大的，影响用户体验。 但是此场景下，因为传输等待时长和传输的文件大小强相关，所以并不是客观的业务质量的体现，不建议用于评估和视频记录存储场景。
上行速率	速率是保障视频回传质量的关键指标，对于多媒体消息回传，其实是上行文件上传业

Uplink Throughput	务，本质上是速率的保障。和实时流媒体业务不同，上传业务一般是尽力而为的，最大程度上体现了管道的上行传输性能。
速率摆动指数 Throughput Swing Index	在上传业务中，根据企业要求的不同，存在不同的文件大小；传输大文件时，传输时延较长，此时速率的波动性，也会对等待时长产生影响，从而影响体验。

5.1.2 指标体系

表 5-3 上行实时流媒体回传业务指标体系

分层	协议	指标	指标测量说明
综合评分	E-Score		
媒体质量 (MQI)	Media Quality Index		
	MPEG	视频分辨率	通常摄像头采集的分辨率是固定的
	MPEG	视频码率	通常摄像头采集的平均码率是固定的
	MPEG	视频帧率	通常摄像头采集的帧率是固定的
	MPEG	视频编解码	H. 264/H. 265编码压缩比不同
	MPEG	音频码率	通常摄像头采集的平均码率是固定的
	MPEG	音频帧率	通常摄像头采集的帧率是固定的
交互质量 (IQI)	Interaction Quality Index		
	SDK	交互时延	控制消息从请求到响应的时延
	MPEG	编码时延	摄像头的编码时延
	MPEG	解码时延	解码服务器的解码时延
	RTSP	视频播放时延	从PLAY到2000K的时延
	RTSP	视频停止时延	从PAUSE到2000K的时延
	RTCP	环路时延	根据RTCP的时间戳计算
	RTCP	时延抖动	根据环路时延计算抖动
表征体验 (PQI)	Presentation Quality Index		
	SDK	花屏/Slice	解码服务器SDK获取
	SDK	卡顿/Stall	解码服务器SDK获取
	RTP	上行平均速率	计算流级别的平均值
	RTP	上行峰值速率	需要设置采样窗口，测量最大值
	RTP	上行速率摆动指数	体验速率的波动性
	RTP	上行平均丢包率	根据RTP的Sequence来计算
	RTP	上行突发丢包率	根据RTP的Sequence来计算
	RTCP	环路时延	根据RTCP的时间戳来计算
	RTCP	时延抖动	根据环路时延计算抖动

对于上行多媒体消息回传场景：

表 5-4 上行多媒体消息业务指标体系

分类	指标名称
业务综合质量评价	回传质量指数/E-Score
上行传输质量	上行平均速率/UL Average Throughput
	上行峰值速率/UL Peak Throughput
	上行速率摆动指数/UL Throughput Swing Index

5.1.3 建模方法

Non-intrusive Real-Time Streaming Back hawk Service E-Score

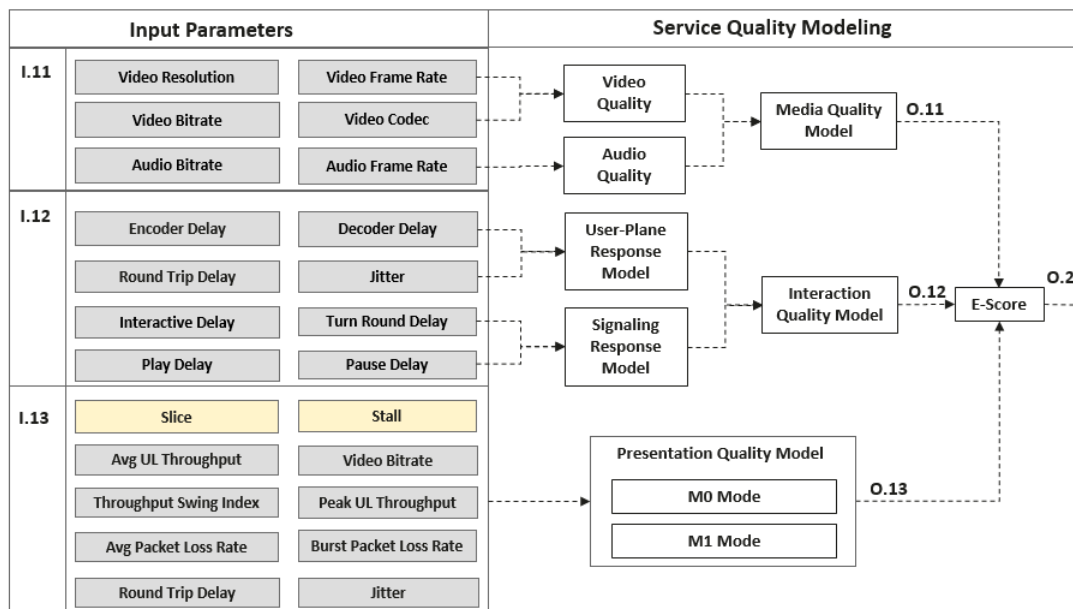


图 5-1 上行实时流媒体回传业务E-Score建模框架

表 5-5 I.11-媒体质量入参

入参名称	简写	取值	获取频次	数据源	模块
视频码率	<i>VideoBr</i>	Float, kbps	Per segment	Mode 0	MQI
视频帧率	<i>VideoFr</i>	Integer	Per segment		
测量周期	<i>TPD</i>	Float, ms	Per segment		
视频分辨率	<i>Res</i>	Length * width 2880*1600	Per segment		

入参名称	简写	取值	获取频次	数据源	模块
视频编码	<i>VideoCodec</i>	One of: H264-baseline, H264-high, H264-main, H265-high, H265-main	One Session		
音频码率	<i>AudioBr</i>	Float, kbps	One Session		
音频编码	<i>AudioCodec</i>	Integer	One Session		

表 5-6 I.12-交互质量入参

入参描述	简写	取值	获取频次	数据源	模块
编码时延	D_e	Float, ms	Per Segment	Mode 0	IQI
解码时延	D_d	Float, ms	Per Segment		
交互时延	D_i	Float, ms	Per Segment		
环路时延	D_{rt}	Float, ms	Per Segment	Mode 0 Mode 1	
时延抖动	$jitter$	Float, ms	Per Segment		
播放时延	$PlayDelay$	Float, ms	One Session		
暂停时延	$PauseDelay$	Float, ms	One Session		

表 5-7 I.13-呈现质量入参

入参描述	简写	取值	获取频次	数据源	模块
花屏开始时间	$Slice_{BT}$	Float, ms	Per Segment	Mode 0 Mode 1	PQI
花屏结束时间	$Slice_{ET}$	Float, ms	Per Segment		
卡顿开始时间	$Stall_{BT}$	Float, ms	Per Segment		
卡顿结束时间	$Stall_{ET}$	Float, ms	Per Segment		
视频码率	<i>VideoCodec</i>	Float, kbps	One Session		
平均速率	Thr_{avg}	Float, kbps	Per Segment		
峰值速率	Thr_{max}	Float, kbps	Per Segment		
速率上摆指数	Thr_{ulsi}	Float, %	Per Segment		
速率下摆指数	Thr_{dlsi}	Float, %	Per Segment		
平均丢包率	<i>ppl</i>	Float, ms	Per Segment		
突发丢包率	<i>bpl</i>	Float, %	Per Segment		
时延抖动	<i>jitter</i>	Float, ms	Per Segment		

- 上行实时流媒体业务指标计算方法：

1、媒体质量（参照ITU-T P.1201协议规范进行增强）

【E-Score】

$$EScore = \omega_1 * MQI + \omega_2 * IQI + \omega_3 * PQI$$

【媒体质量-MQI】

$$MQI = c1 * QA + c2 * QV$$

【音频质量】

$$QA = I_A - QcodA$$

QA 是预测的音频质量， $QcodA$ 是由于音频压缩带来的质量损伤。其中 I_A 为不同的音频编码AudioCodec的影响，PCM格式编码为100分，其他的音频编码（AAC-LC, HE-AACv2, MPEG1-LII, AC3）各有损伤。

$$QcodA = a_{1A} * \exp(a_{2A} * AudioBr) + a_{3A}$$

【视频质量】

$$QV = 100 - QcodV$$

QV 是预测的音频质量， $QcodV$ 是由于视频压缩带来的质量损伤。

$$QcodV = (a_{1V} + ResC) * \exp\left(a_{2V} * \frac{VideoBr * Res}{NumPixelsFr * VideoFr}\right) + a_{3V}$$

其中 $ResC$ 和 Res 和视频分辨率相关，比如1080P对应的 $ResC$ 和 $ResNumPixelsFr$ 和视频编解码格式相关，不同的编码每帧量化的像素数量不同。

【表征质量-PQI】

【Mode0】

$$PQI = b_{1V} * \log((b_{2V} * FreezingRatio + b_{3V} * SlicingRatio) + 1)$$

其中：

$$FreezingRatio = \frac{FreezingDuration}{TotalDownloadDuration}$$

$$SlicingRatio = \frac{SlicingDuration}{TotalDownloadDuration}$$

【Mode1】

$$PQI = c_{1V} * \log((c_{2V} * Q_{bandwidth} + c_{3V} * Q_{packetloss} + c_{4V} * Q_{jitter}) + 1)$$

$$Q_{bandwidth} = b_1 * \frac{Thr}{VideoBr} * \exp(b_2 * ULSI + b_3 * DLSI + b_4)$$

$$Q_{packetloss} = p_1 \times \frac{ppl}{\frac{ppl}{BurstR} + bpl} + p_0$$

$$Q_{jitter} = j_1 * \exp(j_2 * Jitter + j_3)$$

其中 $BurstR$ 为突发丢包相对随机丢包对业务的影响因子，对于实时视频直播是固定值。

【交互质量-IQI】

$$IQI = 100 - Q_{up} - Q_{sp}$$

【用户面响应模型】

$$Q_{up} = a_{1I} * \log(a_{2I} * (D_{rt} + D_e + D_d) + a_{3I} * Jitter + a_{4I})$$

【信令面响应模型】

$$Q_{sp} = b_{1I} * \log(b_{2I} * (D_i) + b_{3I})$$

其中 D_i 有不同的取值方法，有的应用可以直接从信令面交互消息获取，有的动作可以从协议获取，对于RTSP协议中的播放动作， $D_i = PlayDelay$ ，对于暂停动作， $D_i = PauseDelay$ 。成功率类的指标和网络关系不大，不建议纳入交互质量的计算中。

● 上行多媒体消息业务计算方法：

尽力而为的多媒体文件上行数据传输行为，只需要考虑上行带宽和其稳定性即可。

$$QM = 100 - I_{bandwidth}$$

$$I_{bandwidth} = \begin{cases} 0, & Thr < Thr0 \\ (b_1 \times Thr + b_0) \times \exp(b_2 \times ULSI + b_3 \times DLSI + b_4), & Thr \geq Thr0 \end{cases}$$

说明：

- 1) 速率的测量不存在技术难度，数据容易获取。但是速率的波动性测量存在一定技术难度，需要有相关产品实现或者基于细粒度的数据统计实现（比如基于MR数据实现）。
- 2) 时延的测量存在技术难度，大部分场景，细粒度的时延指标难以获取，本文中提出了端到端时延模型，是一种非侵入式细粒度的时延评价算法，一方面可以解决时延指标获取问题，另一方面可以将时延问题分解到拥塞、干扰、覆盖等无线因素上，给出各种因素的要求边界，实现问题界定的同时可以有效指导下一步的优化。

5.1.4 体验基线

根据X局点远程视频操控业务得到体验基线：

网络能力决定了网络可以承载业务类型，视频监控场景的帧率码率、分辨率、编解码等可根据业务需求与网络能力进行一定调整。

表 5-8 视频监控业务体验基线

典型应用实例	影响因素		入门级体验网络能力要求			优秀级体验网络能力要求		
	典型码率	摄像头个数	单向网络时延	带宽需求	速码比	单向网络时延	带宽需求	速码比
视频监控-2K	2Mbps/H. 265	5	<25ms	>30Mbps	>6	N/A*		
	2Mbps/H. 265	10	<25ms	>40Mbps	>6			
	2Mbps/H. 265	20	<25ms	>70Mbps	>6			
视频监控-2.5K	2Mbps/H. 265	5	<25ms	>46Mbps	>10			
	2Mbps/H. 265	10	<25ms	>74Mbps	>10			
	10Mbps/H. 265	5	<25ms	>130Mbps	>10	<10ms	>430Mbps	>20
	10Mbps/H. 265	10	<25ms	>370Mbps	>10	<10ms	>670Mbps	>20
视频监控-4K	4Mbps/H. 265	5	<25ms	>92Mbps	>10	<10ms	>87Mbps	>20
	4Mbps/H. 265	10	<25ms	>148Mbps	>10	<10ms	>268Mbps	>20

5.2 下行多媒体传输业务

5.2.1 影响因素

本章节描述的下行流媒体传输业务和传统2C的流媒体传输业务相同，只是载体不同，大体上分为以下几类：

- 视频点播/直播行为：比如V2X中的车载娱乐，观看车载视频点播/直播行为
- Cloud VR行为：面向ToB业务应用，例如远程教育的VR教育场景；

- Cloud PC行为：面向ToB的业务应用，例如云办公场景；

传统的视频流媒体评价体系已经成熟，具体可以参见高清视频、Cloud VR、Cloud PC等业务体验标准白皮书。

5.2.2 指标体系

表 5-9 下行流媒体传输业务指标体系

分类	指标名称
业务综合质量评价	媒体质量指数/Q-Score (Backhaul)
媒体质量/ MQI	视频码率/Video Bitrate
	视频帧率/Video Frame rate
	分辨率/Resolution
播放质量/PQI	平均丢包率/Average Packet Loss Rate
	突发丢包率/Burst Packet Loss Rate
	环路延迟/Round Trip Delay
	时延尾部指数/Delay Tail Index
	抖动/Jitter
	下行平均速率/UL Average Throughput
	下行峰值速率/UL Peak Throughput
	下行速率摆动指数/UL Throughput Swing Index
	移动中断时延/Mobility Interruption Time
交互质量/IQI	环路时延/Round Trip Delay
	编码时延/Encoder Delay
	解码时延/Decoder Delay
	渲染时延/Rendering Delay

5.2.3 建模方法

传统的视频流媒体评价体系已经成熟，具体可以参见高清视频、Cloud VR、Cloud PC等业务体验标准白皮书。

5.2.4 体验基线

暂无。跟踪项目需求来补充。

5.3 增强现实业务

5.3.1 影响因素

本节中针对ToB业务中发展较快的AR业务进行分析。

AR+5G是基于增强现实的远程视频可视化方案，完全不需要通过双手操作即通过5G 网络实时与后端专家进行高清直播互动，实现专家随时在线、远程指导等。适用于通信、医疗、制造、等多个行业。

AR智能眼镜的（ARSGs）发展，如谷歌眼镜和微软全息镜头，专门设计的AR应用程序，为用户提供了与AR内容交互的新颖方法。ARSGs已经在医药、旅游、教育、制造等领域引起了极大关注；比如用户可以通过增强现实手段进行远程的实时交互行为。

如何评估AR业务体验，我们提出了一个QoE框架，包含三个层次的影响参数，用模糊推理系统建模方法定量评估ARSGs的用户体验。

框架第一层提出了：内容质量、设备质量、环境理解、用户交互四个方面。

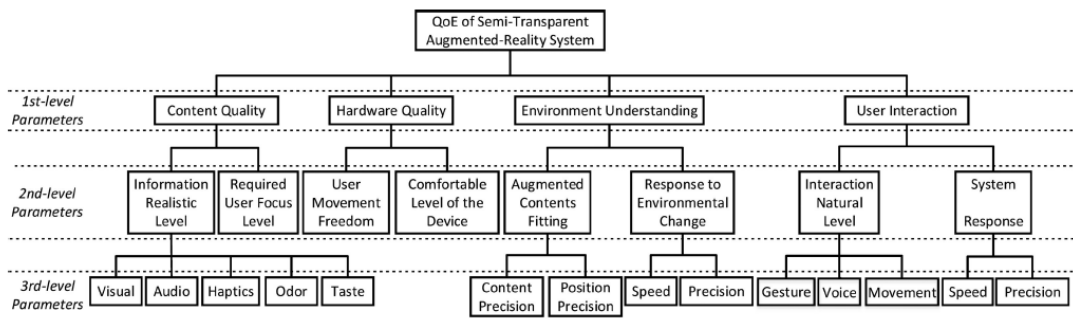


图 5-2 AR业务影响因素

核心影响因素描述如下：

表 5-10 AR 业务核心影响因素

第一层	第二层	第三层	影响
内容质量	信息现实等级	视觉	关键要素，体现为画面清晰、模糊
		听觉	关键要素，体现为声音清晰、模糊
		触觉	一般要素
		嗅觉	一般要素

		味觉	一般要素
	用户注意力等级	关注等级	应用所需要的用户对AR内容的关注度等级，等级越高，需要对AR内容的交互时延要求越高、质量要求越高
设备质量	用户移动自由度	DOF	用户和AR内容进行交互时的自由度
	舒适度	舒适度	佩戴AR眼睛/头盔的舒适程度
环境理解	增强内容适应性	内容精度	表征AR内容和环境的内容匹配度，比如桌子上应该放一个茶杯，而不是一辆汽车
		位置精度	表征AR内容和环境的位置匹配度，比如桌子上的茶杯应该是在桌面上，而不是漂浮在空气中
	环境变化响应	响应速度	在环境变化时，AR内容和环境变化的响应时延
		响应精度	在环境变化时，AR内容和环境变化的响应位置精度
用户交互	交互自然等级	手势	用户和AR内容之间手势互动方式、易用性；如点击“按钮”要求AR虚拟物体“关闭”。
		声音	用户和AR内容之间的声音互动方式、易用性；如发出“关闭”声音指令要求AR虚拟物体“关闭”
		移动	用户和AR内容之间的移动互动方式、易用性；如发出令AR虚拟物体移动的指令，要求AR虚拟物体进行移动
	系统响应	响应速度	用户和AR内容之间的互动时延
		响应精度	用户和AR内容之间的互动结果正确还是错误
表征体验	用户使用AR业务过程产生的主观体验	加载时延	用户接入AR应用的时延，一般这个时延体现为内容数据的初始加载的性能。但是并非只有网络性能影响，还有云端和终端编解码和渲染时延也会影响该时延。
		卡顿	针对AR高清视频类似的场景，还是会产生卡顿的体验，这个主要和管道带宽的满足度相关。
		模糊	针对在AR内容的呈现出的视觉体验，还会因为场景构建质量或网络丢包而引起模糊的体验。
		背景运动	AR内容和环境匹配度差时，在和AR内容互动时会产生背景运动的体验。
		视觉混乱	AR内容和环境匹配度差时，在和AR内容互动时会产生视觉混乱的体验。

说明：

- 1) AR业务建模要素中，网络侧因素起到较大作用的是表中蓝色部分。
- 2) AR业务商业使用过程中，可能伴随视频通话的行为，和AR行为分开分析，具体参见VOIP业务体验标准白皮书。

5.3.2 指标体系

表 5-11 AR 业务指标体系

分类	二层分类	指标名称
AR质量指数/Q-Score (AR)		
媒体质量/MQI	设备质量	屏幕刷新率/ Screen Frame Rate
		屏幕分辨率/ Screen Resolution
	视频质量	视频码率/Video Bitrate
		视频帧率/Video Frame rate
		分辨率/Resolution
	音频质量	音频码率/Audio Bitrate
		音频帧率/Audio Frame rate
	音视频同步	音视频同步/ A-V Synchronization
交互质量/IQI	操作体验	自由度/DOF
		内容精度/Content Precision
		空间精度/Spatial Precision
		交互易用性/ Ease of use Level
	响应体验	环境响应时延/Environment Response Delay
		环境响应精度/Environment Response Spatial Precision
		内容响应时延/Content Response Delay
		内容响应精度/Content Response Spatial Precision
		编码时延/Encoder Delay
		解码时延/Decoder Delay
		渲染时延/Rendering Delay
		环路延迟/Round Trip Delay
		时延尾部指数/Delay Tail Index
		抖动/Jitter
表征质量/PQI	表征体验	加载时延/Loading Delay
		模糊感/Blurriness
		视频卡顿/Stalling
		背景运动/Background Motion
		视觉混乱/Visual Clutter
	传输质量	平均下载速率/Average DL Throughput
		峰值下载速率/Peak DL Throughput
		下载速率摆动指数/DL Throughput Swing Index
		最大脉冲大小/Max Burst Size
		突发脉冲数/ Burst Pulse Number
		突发丢包率/Burst Packet Loss Rate

5.3.3 建模方法

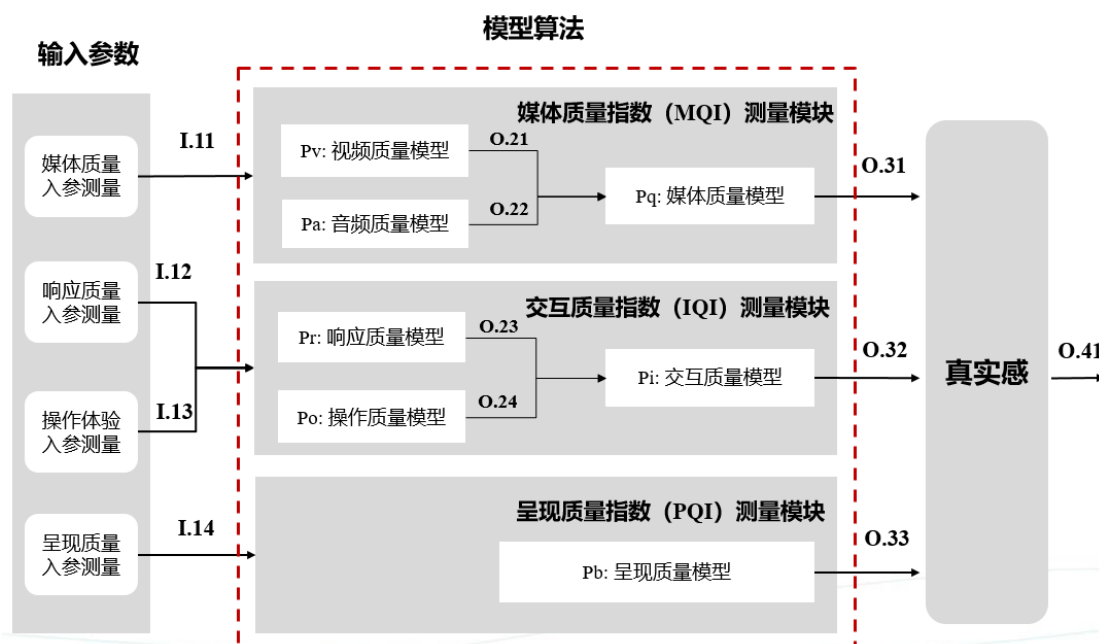


图 5-3 AR业务质量测量框架

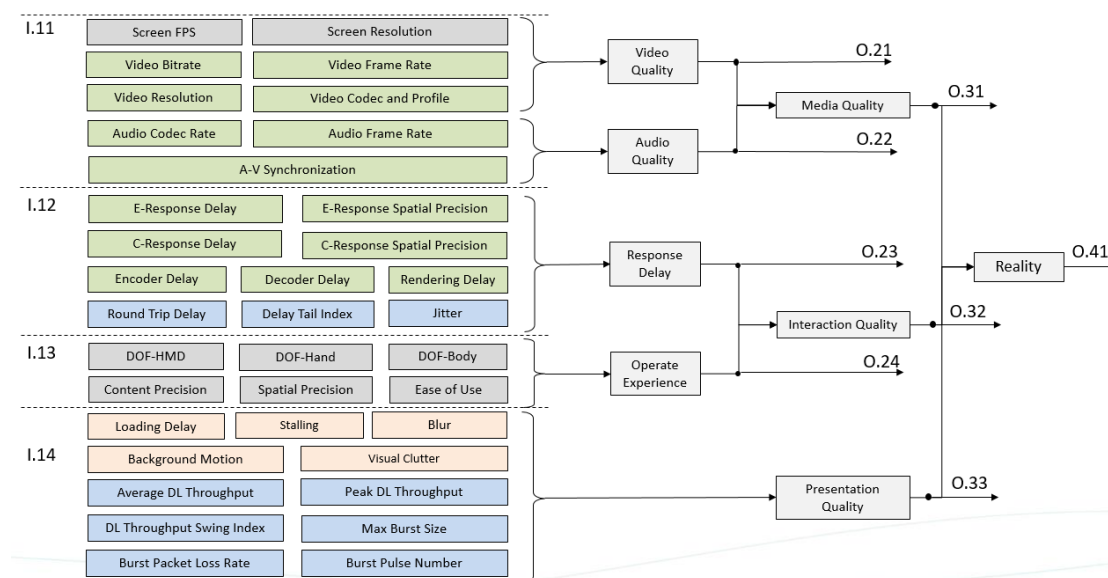


图 5-4 AR业务质量测量输入与输出

具体建模算法参见《AR业务体验标准白皮书》。

5.3.4 体验基线

暂无。跟踪项目需求来补充。

5.4 实时交互业务

5.4.1 影响因素

ToB业务中的实时交互业务，主要指的是远程控制、工业控制等场景。在5G SA组网中使用uRLLC切片，以保障超低时延要求。

实时交互业务，主要是小包传输业务，对网络带宽没有诉求，主要是超低时延要求。对于工业级的uRLLC业务，时延不达标导致的可能不是性能问题，而是失败。所以分析时延的达标边界非常重要，网络侧需要确保的不是时延的绝对值多少，而且需要确保时延低于边界。比如SLA要求为10ms，那么评估的重点是确保绝大部分业务单据在10ms边界范围内，或者说超过时延边界的单据比例越低越好。

表 5-12 实时交互业务核心影响因素

因素	影响
交互时延 Interactive Delay	交互时延是指应用层请求包到响应包的端到端时延。
时延长尾现象 Long Tail of Delay	时延的分布对于评价业务综合质量非常重要，尤其是分布中时延尾部的分布，通常情况下，在时延敏感类业务的统计数据中，会观察到时延长尾现象，这部分长尾的数据分布是满足时延边界要求与否的关键，所以需要时延长尾现象进行评估，以最大限度的降低时延尾部分布。
可靠性 /Reliability	对于uRLLC业务，可靠性是影响业务的关键因素，具体来讲可以分解为MTBF（失败之间平均时间）、MDT（平均中断时间）、MUT（平均可用时间）几个指标
可用性 /Availability	描述一个信道长期运行的概率。稳态信道可用性也可以解释为信道运行时间的平均的时间占比。
移动中断时延 /Mobility Interruption Time	对于uRLLC业务，移动中断时延要求为0。

说明：可靠性、可用性是业务的系统级指标，是在长期运行状态下统计的结果，不适用于短时间内的业务质量的评估。

5.4.2 指标体系

表 5-13 实时交互业务指标体系

分类	指标名称
业务综合质量评价	交互质量指数/Q-Score (Interaction)
业务交互质量/IQI	交互延迟/Interactive Delay
	交互时延尾部指数/Interactive Delay Tail Index
	移动中断时延/Mobility Interruption Time

5.4.3 建模方法

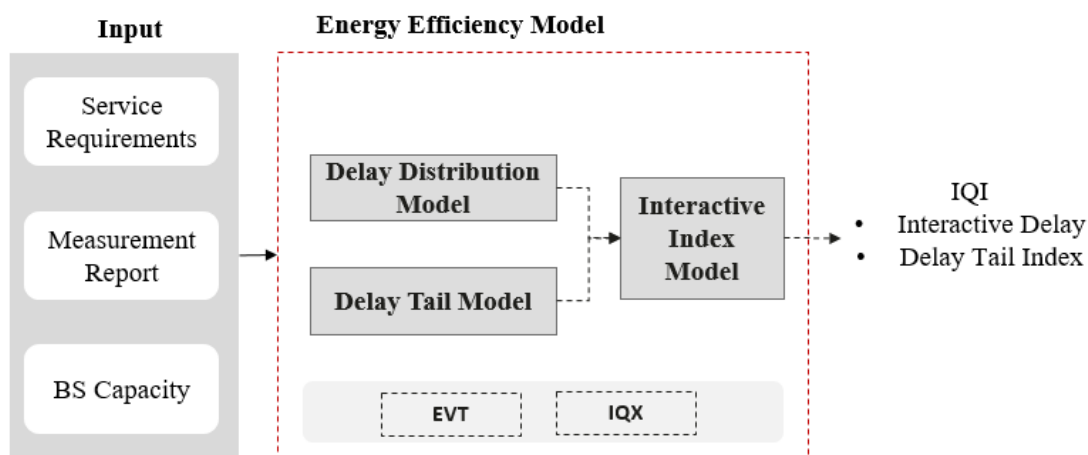


图 5-5 交互质量测量方法

第一步：在终端设备内容或者在网络镜像中测量时延是困难的，所以首先我们得分析清楚时延的测量获取方式。参见6.5节，提出了uRLLC业务的时延评估方法。

第二步：既然超出时延边界的长尾分布对业务的影响非常大，那么如何评估时延长尾现象。参见6.2节，提出使用基于EVT理论的时延尾部分布评估理论。

第三步：时延和时延尾部指标都是QoS指标，那么QoS和QoE之间的关系如何进行定量描述。参见6.3节，使用韦伯-费希纳理论建立QoE-QoS的定量关系。

根据韦伯理论，只有当一个物理刺激改变超过其实际刺激的恒定比例时，才能够注意到感觉上的差异。费希纳扩展了这种基本关系，假设差分感知 dP 与人体物理刺激的相对变化 dS/S 成正比，则人类感知与针对所谓的Weber-Fechner法则（WFL）的刺激相对变化之间的关系：

$$dp = \frac{dS}{S}$$

进一步：

$$P = k \cdot \ln \frac{S}{S_0}$$

其中 P 为感知幅度， S_0 为刺激阈值，

根据韦伯-费希纳定律， QoE - QoS 的映射可以表达为：

$$dQoS \propto QoS \cdot dQoE$$

基于6.2.5节的IQX假设理论建立函数如下：

$$I_{delay} = \begin{cases} 0, & MIT > 0 \\ d1 \cdot \exp(d2 \times delay + d3 \cdot DTI) + d4, & MIT = 0 \end{cases}$$

其中 $d1$ ， $d2$ ， $d3$ ， $d4$ 可以基于测试数据拟合来获得。

关于移动中断时延（MIT），因为uRLLC要求移动中断时延为0，实际工业系统中，是要定义出中断：一方面移动过程中测量或建模得到的时延，是低于时延阈值要求的，比如发生切换既不会导致业务中断，也不会造成时延超过边界。满足以上条件，则中断时延为0，否则不为0，一旦不为0，则交互指数设置为最低值。

5.4.4 体验基线

不同的项目对于实时交互类业务的时延基线要求不同。

5.5 广连接业务

5.5.1 影响因素

mMTC业务数据包大小和吞吐量要求通常很小，但是设备密度很高。最大的挑战和关注点是网络对高连接密度的支持能力和网络能效这两个方面。通常的业务质量评价是从业务体验和传输质量视角对业务进行评价，但是mMTC业务对传输要求低，但是对网络资源的开销，对网络能耗利用率影响大，也是从业务建网视角看的关键评价维度，目标是质量可以保障的同时，资源占用最少，能量开销最低。

表 5-14 广连接业务核心影响因素

因素	影响
连接数密度 Connection Density	连接密度是指每单位面积（每平方千米）达到目标QoS的设备总数，目标QoS是在给定的数据包到达率L和数据包大小S下，确保系统数据包丢失率小于1%。包丢失率 = （中断中的数据包数）/（生成的数据包数），如果目标数据包在丢弃数据包定时器之后未能成功接收到该数据包，则该数据包处于中断状态。
网络能效 Network Energy Efficiency	该功能是在提供更好的区域流量容量的同时最大程度地减少RAN能耗；因为物的密度很高，所以对能效的要求很高，需要综合评估下该业务对接入设备的网络能效，以便用于合理规划物的分布，确保物的能效等级满足建网要求。同时还可以分析物的行为和能效之间的关系，从而合理的规划物的业务行为，以便实现网络能效最大化。
丢包 Packet Loss	因为高密的mMTC业务对带宽和时延的要求都不高，但是要求数据包必须传输成功，所以丢包是影响mMTC业务的QoS是否达标的关键指标。
接入性 Accessibility	网络接入能力是影响mMTC业务的关键性能能力，接入性是指无线和核心网的接入能力，对于网络来讲，只要接入成功，可以进行正常数据传输即可。

5.5.2 指标体系

表 5-15 广连接业务指标体系

分类	指标名称
业务综合质量评价	广连接业务质量指数/Q-Score (mMTC)
密度	连接数密度/Connection Density
	并发激活业务数/ Concurrent Activation Services
能效	网络能效指数/Network Energy Efficiency Index
质量	丢包率/Packet Loss Rate
	接入成功率/Access Success Rate

5.5.3 建模方法

业务综合质量评价Q-Score(mMTC)主要是从质量角度评价的，在评估Q-Score时不考虑密度因素和能效因素。

Q-Score的建模方法如下：

接入性是影响业务可用的基本因素，丢包是性能影响因素。

假设接入成功率为ASR（Access Success Rate），丢包为PLR（Packet Loss Rate），则：

$$QScore = ASR \cdot f(PLR)$$

根据韦伯理论，丢包PLR和Q-Score的关系，符合IQX假设， f 展开：

$$QScore = ASR \cdot e^{-\alpha(PLR+\beta)}$$

5.5.3.1 连接数密度

每个物处于激活状态时，物和网络侧会有交互，从而在网络侧可以评估到物的激活状态，从而识别到激活物的数量和发起连接的数量。

覆盖范围的获取方法：

- 1) 从无线工参中获取基线的数据，可以估算出站间距，进一步估算出每个基线的覆盖范围以及总的覆盖范围；这种可以把连接数关联到每个基站上，和地域面积上。
- 2) 从MR数据获取，一般情况下MR中不携带经纬度信息，渗透率低。从而使得这个方法不能广泛使用。
- 3) 从物上报的信息中获取经纬度，这个取决于该业务的设计，一般在市内场景下没有GPS信号，不会报经纬度信息；另一个方面，由于安全要求和性能开销要求，也可能不会报经纬度信息。这两个方面都可能导致该方法，不能广泛使用。

说明：因为广连接业务对终端的能效要求很高，所以不太可能在终端上嵌入测量软件进行质量测量。

5.5.3.2 并发连接业务数

连接数密度是衡量5G网络对广连接业务的支持能力，但是接入到网络的终端，并不一定同时发起业务。当大量的终端同时给网络发起评估需求时，对网络的要求是最高的。会在瞬间产生大量的用户连接，从而可能会导致接入失败，网络拥塞等问题。

并发连接业务数，是指在同一个统计周期内，可以检测到的业务线数总和。

该指标可以直观反映广连接业务对网络的并发性能要求，从趋势上可以发现异常下降、异常上升等问题。

5.5.3.3 网络能效指数

【背景描述】

首先阐述为什么要做网络能效指数。

2016年6月的RAN#72次会议新增了两项网络性能指标，其中包括网络能效- Network energy efficiency（具体参考协议TR38.913），最终形成5G的网络性能指标，具体参见2.2节。

按照3GPP TR38.913的定义：

$$EE_{global} = \sum_{scenario K} b_K EE_{scenario K}$$

其中 b_K 指的是评估网络能效的每个部署场景的权重，单位FFS。

$$EE_{Scenario} = \sum_{load level 1} a_1 \frac{V_1}{EC_1}$$

- V_1 指基站服务的每秒流量（单位bps）。
- EC_1 指基站为 V_1 服务所消耗的功率（单位Watt = Joule/s）。
- a_1 指每个流量负载级别的权重（单位FFS）。

ToB的网络能效指数，不仅要考虑基线的能耗，还要考虑终端对网络能耗的影响；对于物联网来讲，物的数量是不受限的，物的能耗要求是很严格的，那么在海量物接入网络后，对于网络的能耗和2C的能耗是否类似，还是完全不同，对造成什么样的影响？同时，在使用5G网络进行物的业务之后，能耗是否可以接收？性价比如何？都是在物联网中，企业租

户很关注的因素之一。而对于网络运营商来讲，海量物的接入对网络的影响和冲击是否可控？在保障终端QoS需求的前提下，并非是最大化提升频谱效率为目标，还需要考虑频谱效率和网络效能之间的权衡。

具体的网络能效建模公式，可以参照6.3.4章节。

【说明】【NodeB的能耗】：

电源系统测量的基站制式能耗（NR）：系统每5分钟采样电源系统测量的基站能耗值，计算得到本次采样的NR制式能耗值，并在统计周期末累加所有上述计算得到的NR制式能耗值作为本指标值。NR制式能耗计算公式如下：

$SUM\{([\text{单个电源系统测量到的基站能耗}]/[\text{管理该电源系统的主控数}])/[\text{本端制式数}]\}$ 。

5.5.4 体验基线

暂无。跟踪项目需求来补充。

5.6 FWA 替代专线

5.6.1 影响因素

表 5-16 IP 语音和 iP 视讯业务核心影响因素

因素	影响
丢包率 /Packet Loss	丢包导致吞音、断续等语音质量问题。
单向时延 /One Way Delay	单向时延是指从语音数据包从发送端到接受端的单向总时延。对于RTCP协议，携带丢包、时延信息；时延长导致语音延迟，影响用户体验。
抖动/Jitter	抖动是指网络侧时延的变化，小的抖动在终端上会被Jitter Buffer消除掉，但是消除抖动的同时也会引入时延；而且过大的抖动是无法消除的，会导致语音忽快忽慢，影响通话体验。

5.6.2 指标体系

FWA企业业务的指标，其实和传统的未改造前的指标相同，建议从IMS网管或AR路由器网管系统获取。从管道传输能力视角，需要按照业务类型保障IP网络的SLA。

FWA组网图：

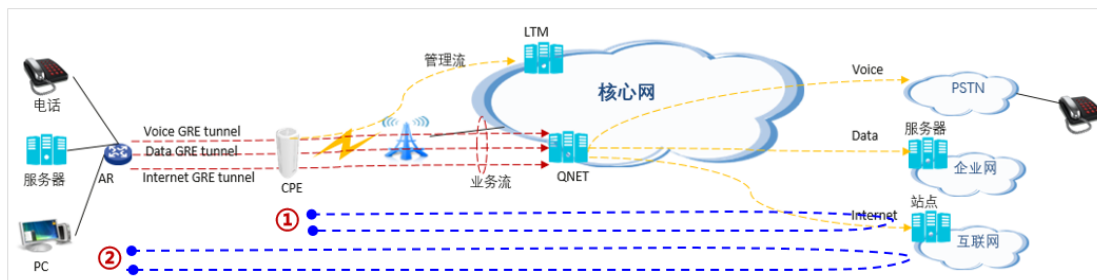


表 5-17 FWA 业务管道指标体系

指标	测量对象	测量方法	SLA阈值
服务可用性	CPE	SoC记录存储用户面信息，如果发现某个IP在某个时间段无数传，则通过LTM接口调用CPE IP Ping特性，对目标IP进行Ping测试；测不通则为故障；	99.995%（根据企业要求制定）
时延&丢包	CPE/AR	AR定时发起Ping测试；SoC通过LTM接口调用CPE IP Ping特性，对目标IP进行Ping测试；	0.5%（根据企业要求制定） 25ms（根据企业要求制定）
速率（上行速率、下行速率）	CPE	SoC通过LTM接口调用CPE 测速特性（TR.143）对目标IP进行上行测速和下行速率	10M UL，20M DL（根据企业要求制定）

FWA企业业务体验建模：针对企业网中的主流业务进行分析，包括IP话音业务，IP视讯业务，Internet：邮件收发业务、视频点播业务、浏览业务、VOIP业务。至于传真等企业数据业务，对网络的带宽和时延要求都很低，不用特殊建模和保障。

业务指标体系：

表 5-18 FWA 业务指标体系

业务分类	指标名称
IP话音、IP视讯	上行速率/Uplink Throughput
	下行速率/Downlink Throughput

	丢包率/Packet Loss Rate
	单向时延/One Way Delay
	抖动/Jitter
Internet-邮件业务	上行速率/Uplink Throughput
	下行速率/Downlink Throughput
Internet-网页业务	下行速率/Downlink Throughput
Internet-视频业务	XKB时延/Xkb Start Delay
	下行速率/Downlink Throughput
	下行RTT/Downlink RTT
	速率码率比/Throughput Bitrate Ratio
Internet-VOIP业务	上行速率/Uplink Throughput
	下行速率/Downlink Throughput
	丢包率/Packet Loss Rate
	单向时延/One Way Delay
	抖动/Jitter

说明：

- 话音业务特征：
 - ✓ 信令面SIP消息，用户面UDP/RTP，双向小包传输。
 - ✓ 带宽要求不高，影响业务体验的核心要素是：丢包、时延、抖动。
 - ✓ 信令面接通率、接通时延、掉话率和企业网关本身相关，和FWA管道关系不大，不建议在CEM平台记录存储。
- 视讯业务特征：
 - ✓ 信令面SIP消息，用户面UDP/RTP，双向大包传输。
 - ✓ 带宽保障是基础，满足后，影响视讯业务体验的核心要素是：丢包、时延、抖动。
 - ✓ 信令面接通率、接通时延、掉话率和FWA管道关系不大，不建议在CEM平台记录存储

5.6.3 建模方法

FWA是一种组网改造方式，并非业务本身。所以业务建模部分使用已有业务建模体系，不用增加。比如FWA的SIP呼叫，采用已有SIP话音业务指标体系；比如Internet的VOIP业务，采用已有网页、视频、邮件、VOIP业务的指标体系。

5.6.4 体验基线

【IP 语音业务】

企业网常见的编解码为 G.729, G.711 的有效速率分别为: 34.4kbit/s, 90.4kbit/s。

编解码	速率 (kbps)	编解码	速率 (Kbps)
G. 729	34.4	G. 723. 1	20
G. 711	90.4	iLBC	28

话音业务业务网络指标要求:

主观感知	时延 (ms)	抖动 (ms)	丢包 (%)
好	<=40	<=10	<=0.2%
中	<=100	<=20	<=1%
差	<=400	<=60	<=5%

说明: 参照 YD/T1071-2000 《IP 电话网关设备技术要求》和中移动 VoLTE 考核标准。
其中丢包是双向丢包, 单向要求 0.1%, 双向加起来为 0.2%。

【IP 视讯业务】

视讯业务所需网络的带宽即线路带宽, 为会议带宽 1.2~1.5 倍。

视频格式	建议会议带宽		
	H.265	H.264 HP	H.264 BP
720p25/30	768kbps	768kbps	1.5Mbps
720p50/60	1152kbps	1.5Mbps	2Mbps
1080p25/30	1152kbps	1.5Mbps	3Mbps
1080p50/60	2Mbps	3Mbps	4Mbps
4K30	5Mbps	--	--

主观感知	时延 (ms)	抖动 (ms)	丢包 (%)
好: 画面流畅、较清晰, 声音清晰	<=100	<=30	<=1%
中: 画面较流畅, 运动大时有轻微马赛克	<=100	<=30	<=3%
差: 画面较流畅, 运动大时有马赛克和卡顿, 感觉一定延迟	<=100	<=50	<=5%

【Internet-邮件】

基线参照:

上行速率	下行速率
1Mbps	2Mbps

基线参照：

<https://gobrolly.com/data-bandwidth-email-requirements/>

【Internet-网页】

Perception	Loading delay (s)	Throughput(kbps)
好：秒开	<1	>8000
较好：良好	<2	>4000
中：可以接受	<3	>2700
差：放弃	>10	<800

说明：速率和网页的大小相关；不同页面大小对应的速率要求不对。以上基线以较大的页面（1MByte）为参照。

基线参考：

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6263888/references#references>

<https://www.hobo-web.co.uk/your-website-design-should-load-in-4-seconds/>

【Internet-视频】

分辨率	速率 (Mbps)	RTT (ms)
480P	0.9	80
720P	2	60
1080P	3.9	45
2K	7.8	30
4K	17.6	20

【Internet-VOIP】

常见的编解码：SILK 编码(Skype)，Opus 编码(WhatsApp、Facebook_messenger)

业务类型	速率 (kbps)
Audio	64
Video	384

时延	抖动	丢包
<=150	<=30	<=3%

6 参考文献

1. Video Services Forum, Technical Recommendation TR-06-1:Reliable Internet Streaming Transport (RIST) –Simple rofile,http://vsf.tv/download/technical_recommendations/VSF_TR-06-1_2018_10_17.pdf, 2019-01-18
2. C. Keighrey, R. Flynn, S. Murray, N. Murray, "A qoe evaluation of immersive augmented and

- virtual reality speech language assessment applications", 2017 Ninth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), pp. 1-6, May 2017.
3. Recommendation itu-t p.910: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications, pp. 1-42, Apr. 2008.
 4. B. Bauman, P. Seeling, "Towards still image experience predictions in augmented vision settings", Proc. of the IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), pp. 1-6, Jan. 2017.
 5. M. Fiedler, T. Hossfeld, P. Tran-Gia, "A generic quantitative relationship between quality of experience and quality of service", IEEE Network, vol. 24, no. 2, pp. 36-41, March/April 2010.
 6. ETSI TR 126 944 V15.0.0 End-to-end multimedia services performance metrics, 2018-07.
 7. Al-Zubaidy H, Liebeherr J, Burchard A. Network-layer performance analysis of multihop fading channels[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN), 2016, 24(1): 204-217.
 8. Jiang Y. A basic stochastic network calculus[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2006, 36(4): 123-134.
 9. Jiang Y, Liu Y. Stochastic network calculus[M]. London: Springer, 2008.
 10. Xiao C, Zeng J, Ni W, et al. Delay guarantee and effective capacity of downlink NOMA fading channels[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2019, 13(3): 508-523.
 11. Durisi G, Koch T, Popovski P. Toward massive, ultrareliable, and low-latency wireless communication with short packets[J]. Proceedings of the IEEE, 2016, 104(9): 1711-1726.
 12. Muhammad Fahim, Alberto Sillitti, Anomaly Detection, Analysis and Prediction Techniques in IoT Environment: A Systematic Literature Review. IEEE Access, 10 June 2019, 18770310
 13. Profinet工业通信协议分析报告
 14. 5G Mobile Network Architecture for diverse services, use cases, and applications in 5G and beyond, 5G PPP
 15. 5G-ACIA_White_Paper_5G_for_Non-Public_Networks_for_Industrial_Scenarios, 5G ACIA(Alliance for Connected Industries and Automation)
 16. NGMN_5G_White_Paper_V1_0, NGMN Alliance.

17. WP_5G_for_Automation_in_Industry, Primary use cases, functions and service requirements.