

---

# LTE 承载网网络规划探讨

## 1、LTE 承载网网络规划概述

LTE 是无线网络最主要的技术趋势，在北美，日韩，北欧等市场上已经大规模运营，中国市场也马上会迎来 LTE 应用的浪潮。相对 2G/3G，LTE 不但带来高的频谱效率，给用户更大的带宽，也因为其扁平架构和低时延设计，给用户更好的体验。LTE 承载网的规划设计，也因为 LTE 的新变化，带来很多新的规划和设计点。因此，做好 LTE 承载网网络规划设计，前提之一是必须理解 LTE 承载网的新需求，包括 X2 和 S1-flex 带来的多点互通需求，单站 150M~450M 的带宽以及与此相关网络收敛比规划需求，EPC 集中部署带来的 IPRAN 和 IP CORE 跨域设计需求，多业务承载带来的 QOS 需求，以及安全需求和时钟需求等等。对于这些需求，本文假设读者都已经完全理解，不做深入阐述分析，如需要可参考相关资料。

同时，针对一个具体运营商网络的 LTE 承载网规划，需要把该运营商业务规划作为 LTE 承载网络规划设计的基本输入，需要对运营商 LTE 及 FMC 业务规划进行分析，一般情况下，要根据运营商在不同场景，如大城市，中型城市，县乡镇，旅游景点等不同用户规模，不同业务类型，不同基站制式和密度，不同光纤机房等基础资源情况，进行分类，根据在不同场景下运营商的业务规划和建设节奏，进行网络规划。

另外，LTE 承载网络的建设，一般会在 2G/3G 承载网上演进和发展，运营商现网对 LTE 的支持能力和薄弱环节，需要进行网络的评估，这需要对运营商现网信息进行收集和分析，了解运营商当前网络的方案，规模，业务承载模式，机房光纤等基础设施，进行系统性评估，得到当前网络支持 LTE 的能力，便于后续针对性规划及网络迁移设计。

本文重点关注通用的 LTE 承载网网络架构的规划，从以下各个方面分别进行探讨，给出 LTE 承载网网络规划设计的原则和基本方法：

带宽和收敛比规划

网络架构规划

控制平面规划

IP/VLAN 规划

可靠性规划

QOS 规划

---

## 时钟同步规划

具体到一个运营商网络，需要结合业务规划和现网评估情况，使用上述原则和方法来进行网络规划和设计。

## 2、带宽/及收敛比规划设计

传统的 2G/3G 承载网，基本上没有考虑收敛比，承载网按无线基站带宽需求 1:1 端到端预留，由于无线基站带宽需求较小，这种粗放的规划方式最简单易行。而 LTE 网络中，单基站带宽会达到 150M~450M，端到端 1:1 预留的代价非常大，这种方式难以为继。另一方面，LTE 网络中数据业务成为主流，数据业务的统计复用特点，加上用户资费包封顶等原因的存在，使得承载网的带宽带宽规划上必须考虑收敛比。本节主要阐述收敛比规划的思路和原则。

在规划承载带宽和收敛比过程中，我们必须理解无线基站的峰值带宽和均值带宽，这里我们参考 NGMN 的建议，分析基站带宽时，分 busy time 和 quiet time 两种场景。

Busy time 是指大量 UE 在一个基站下，由于每个 UE 的位置和信号强度不同，多 UE 之间也存在资源争抢和分配，整体的带宽趋向一个平均值，称为 busy time mean。

Quiet time 是指少量甚至一个 UE 在一个基站下，这时基站带宽会变化较大，当一个 UE 靠近基站，信号强度高，可能采用高效的编码方式，该 UE 可以使用到该小区的所有资源，基站带宽达到峰值，称为 Peak。

按 NGMN 的仿真，以及无线厂家的经验值，均值和峰值之比，一般是 1/3~1/6 之间。

另外，需要注意的是，由于下行带宽是上行带宽的 4~6 倍，网络带宽规划的工程实践中，关注下行带宽即可以满足要求，在 XDSL 和 GPON 等不对称承载技术中，才需要专门考虑上行。

### 带宽和收敛比规划方法概述：

方法一，基站粒度估算法：单基站带宽×覆盖基站数×经验收敛比，这个方法中，经验收敛比难以获取，有些运营商规划成端到端 4:3:2 收敛，也有无线厂家给出端到端 3:1 收敛等数据，可以参考。

方法二，用户粒度估算法：在网络汇聚和核心层，可以考虑基于用户规模和用户平均带宽的估算方法。同时根据对网络流量的统计，定期或不定期扩容。这是一种 pay as you grow 的模式。

## 2.1 单基站带宽计算方法

单基站带宽的计算方法，一般考虑频谱资源，MIMO 阶数，UE 类型，有无 IPsec 等等进行计算，承载网侧可以找无线规划部门获取单站带宽需求数据，下表来自 NGMN，供参考。

All values in Mbps										Total U-plane + Transport overhead			
Scenario	Single Cell		Single base station		X2 Overhead		No IPsec		IPsec				
	Mean	Peak	Tri-cell Tput		overhead 4%		overhead 10%		overhead 25%				
	(as load-> infinity)	(95%ile @ low load)	busy time mean	peak (95%ile)	busy time mean	peak	busy time mean	peak (95%ile)	busy time mean	peak (95%ile)			
DL 1: 2x2, 10 MHz, cat2 (50 Mbps)	10.5	37.8	31.5	37.8	1.3	0	36.0	41.6	41.0	47.3			
DL 2: 2x2, 10 MHz, cat3 (100 Mbps)	11.0	58.5	33.0	58.5	1.3	0	37.8	64.4	42.9	73.2			
DL 3: 2x2, 20 MHz, cat3 (100 Mbps)	20.5	95.7	61.5	95.7	2.5	0	70.4	105.3	80.0	119.6			
DL 4: 2x2, 20 MHz, cat4 (150 Mbps)	21.0	117.7	63.0	117.7	2.5	0	72.1	129.5	81.9	147.1			
DL 5: 4x2, 20 MHz, cat4 (150 Mbps)	25.0	123.1	75.0	123.1	3.0	0	85.8	135.4	97.5	153.9			
UL 1: 1x2, 10 MHz, cat3 (50 Mbps)	8.0	20.8	24.0	20.8	1.0	0	27.5	22.8	31.2	26.0			
UL 2: 1x2, 20 MHz, cat3 (50 Mbps)	15.0	38.2	45.0	38.2	1.8	0	51.5	42.0	58.5	47.7			
UL 3: 1x2, 20 MHz, cat5 (75 Mbps)	16.0	47.8	48.0	47.8	1.9	0	54.9	52.5	62.4	59.7			
UL 4: 1x2, 20 MHz, cat3 (50 Mbps)*	14.0	46.9	42.0	46.9	1.7	0	48.0	51.6	54.6	58.6			
UL 5: 1x4, 20 MHz, cat3 (50 Mbps)	26.0	46.2	78.0	46.2	3.1	0	89.2	50.8	101.4	57.8			

按 NGMN 的计算方式，单基站带宽  $B = \max(N \times \text{busy time mean}, \text{Peak})$ ，这个公式假设，承载网只需满足每个小区都达到均值带宽，或者满足一个基站达到峰值带宽。其意义在于，在忙时，一个基站下的多个小区带宽都达到均值，在闲时，只需要一个小区达到峰值。单基站的带宽规划，只要选择其中较大的值即可。

## 2.2 用户粒度估算法

基于用户带宽信息的网络规划方法，基本原理是基于忙时用户平均带宽  $\times$  用户数得到总的带宽需求：

带宽需求可以从无线核心网部门直接获取，如果获取不到，可以采用如下方法计算。

规划期内带宽需求 = 规划期内忙时平均用户带宽  $\times$  规划期内用户规模

规划期内用户规模和规划期内平均用户带宽，可以从运营商无线部门获取，或者基于当前数据及增长率估算。

## 2.3 接入环容量规划

由于接入环一般在 10 个基站左右，统计复用效用不明显，建议不收敛或少收敛。因此，可采用方法一，基站粒度估算法，计算方法：单基站带宽  $\times$  环上基站数  $\times$  收敛比，在接入层，建议收敛比等于 1。

## 2.4 汇聚层容量规划

---

汇聚层根据覆盖基站数和用户规模，可以选择两种不同的规划方式，两种方式规划出的带宽需求，可以互相参考，根据情况选取折中值。

方法一，采用基站粒度估算法，单基站带宽×覆盖基站数×收敛比，汇聚层收敛比，可以选择 4: 3 或者 2: 1 等

方法二，采用用户粒度估算法，适用汇聚层覆盖基站数较大，或者业务发展初期，计算方法：忙时用户平均带宽×汇聚层覆盖用户数

## 2.5 核心层容量规划

核心层汇聚大量基站，网络流量与无线用户规模及使用习惯相关，建议选择方法二，基于用户粒度估算法，容量规划参考无线网络业务数据，进行未来 3 到 5 年的规划；计算方法：忙时用户平均带宽×总用户数，一般来说，这种算法计算带宽会偏小，适用于网络发展初期，伴随用户和流量增长，再做网络扩容。

## 3、网络架构规划设计

### 3.1 网络逻辑规划

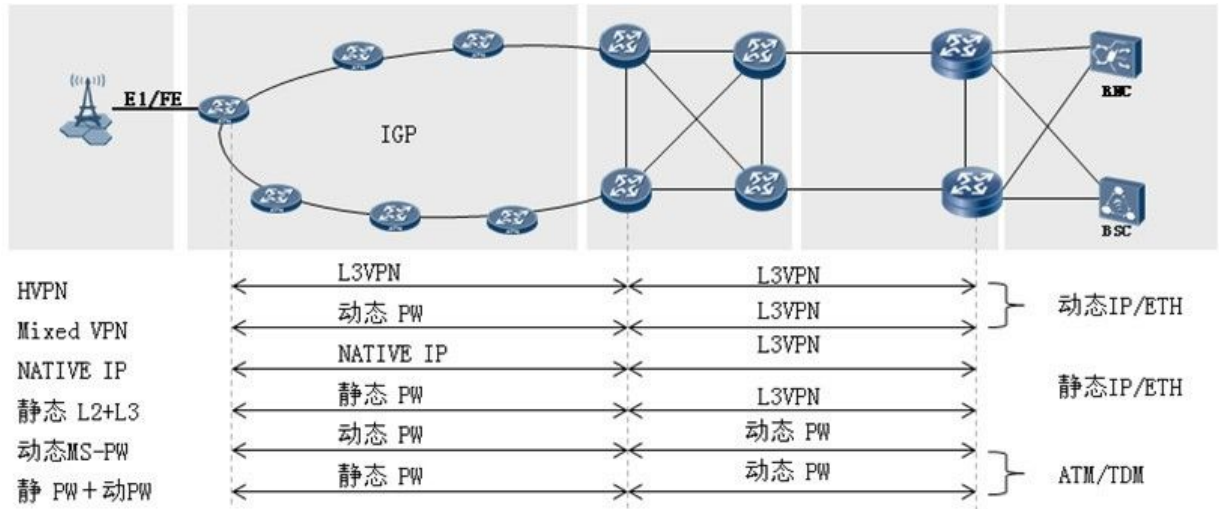
移动承载网络中，IP 节点达到 10K 到几十 K，规模远远大于传统的 IP 城域网或 IP 骨干网络，IPRAN 网络的逻辑架构规划，如何规划解决大规模组网可扩展性，成为网络架构规划的首要问题。

基于目前成熟的技术方案，可行的架构是层次化 VPN 架构，即通过引入业务分层点，分割大规模网络为多个小规模网络，通过 SPE 的业务处理，完成端到端业务的处理，在本地网内，这将是主要的技术架构。

同时，由于 EPC 集中部署的现实，LTE 必然要跨越本地网，经过省干网络，到达 EPC 机房，这里就涉及跨域方案的规划和不同技术选择考虑，本节重点分析这些内容。

### 3.2 本地网内分层架构规划



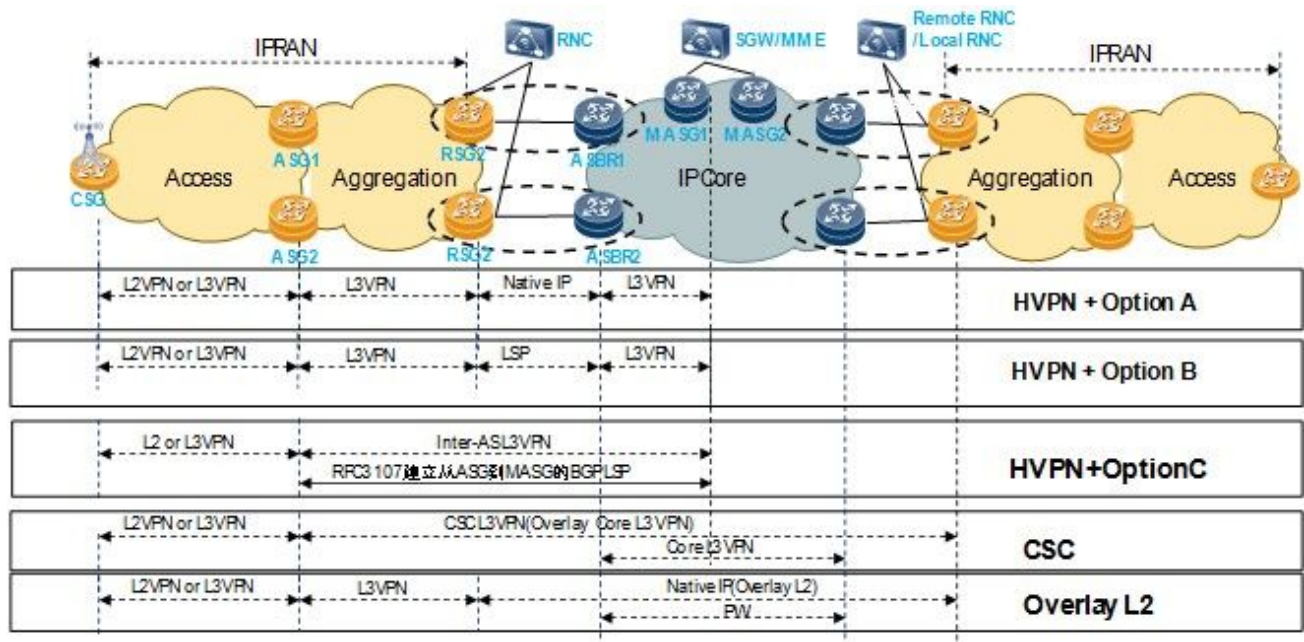


接入汇聚层分层的业务模型如上图所示，不同业务类型选择了不同的分层方式，主流技术选择是 HVPN，L2VPN+L3VPN，MS-PW 等技术，实现业务架构的分层。这种分层架构的引入，使得 IGP 可以分层分域，MPLS 隧道分段，避免端到端隧道和 OAM 部署，同时通过私网路由策略控制，限制 CSG 上的私网路由数量，这种分层架构可以极大提高网络的扩展性，实现 LTE 网络几十 K 网络节点的组网要求，而且不必增加对 CSG 设备的性能和成本要求。因此，业务分层的架构作为本地网内 LTE 网络规划的首选架构。

### 3.3 核心层跨域架构规划

前面提到，由于 EPC 部署在省中心机房，在 LTE 阶段，承载网面临跨本地网和省干的需求；同时，跨域专线的需求也很常见。但是，由于存在多种跨域技术，如何选择和规划，是 LTE 承载网需要仔细分析和考虑的。

目前存在的一些跨域技术，包括 Option A，Option B，Option C/Seamless MPLS，CSC，L2overlay 等等。



这些技术的细节本文不做详细论述，如需要可参考相关文献资料，下表是各种技术适合的场景分析：



方案	优点	缺点	适合场景分析
Option A	方案简单 应用广泛，成熟 与大多数运营商运维团队划分匹配	业务分段配置 ASBR上要配置业务实例，可扩展性差 跨域接口用VLAN标识业务，可扩展性差 TDM/ATM业务需要在ASBR上配置低速接口板	适合RAN和CORE分别运维场景 对LTE承载来说，全网只有几个VRF，扩展性不是问题，同时这些VRF可以在CORE上预先配置，发放基站时，只需要在接入层和ASG上配置，无需端到端配置。因此，Option A是LTE承载较好的选择。 对专线业务来说，Option A有扩展性问题，尤其对于TDM/ATM专线，Option A基本不能接受。
Option B	全程MPLS，专线业务扩展性相对Option A提升 TDM/ATM专线不需要ASBR上配置低速接口板	ASBR上要配置业务实例，可扩展性差 业务分段配置 技术相对复杂，部署较少	适合RAN和CORE分别运维场景 对LTE承载来讲，与Option A相当，没有选择的Option B的理由 不适合专线业务承载，仍然存在可扩展性问题，也不能实现端到端配置 不建议选用。
Option C	业务端到端配置 全程MPLS 可扩展性好，ASBR不需要配置业务实例	技术和保护方案复杂，多了一层BGP LSP，不易部署和维护	适合RAN和CORE运维团队融合情况，可用于LTE承载和专线承载，保护方案比较复杂。
CSC	可扩展性好 网络层次清晰	仅适合LDP应用，TE场景下，还是需要三层标签，技术复杂	适合RAN和CORE分别运维场景，LTE承载和专线承载可用，但采用LDP可靠性差，采用TE时可靠性方案复杂（比Option C更复杂）
Overlay L2	可靠性方案简单 网络层次清晰	对CORE有要求，一般CORE不提供L2管道 不太适合专线业务承载。对于专线业务，需要在core内full mesh的L2专线，扩展性有问题，或VPLS有广播风险，尤其是在core上部署。	适合RAN和CORE分别运维场景，LTE承载和P2P专线承载可以采用，不适合多点到多点专线。

LTE 承载 VPN 数量少，运维团队划分清晰，IPRAN 由本地网维护，IPCORE 是省中心维护，这种情况，适合的跨域方案是 OptionA。

#### 4、IP/VLAN 规划原则

在 LTE 承载网络的规划中，IP 和 VLAN 的规划，并不存在技术问题，但需要考虑如何节省 IP 地址资源，同时无线基站的 IP 和 VLAN 规划，也要避免承载网侧复杂的配置。VLAN 的规划，有时要考虑传统的运维习惯，基于 VLAN 来标识基站，即采用每基站每 VLAN 的规划方案。

IP 地址规划：对于移动承载网络，IP 地址可分为 Loopback/管理地址、设备互联地址、业务地址，均可以采用私网 IP（或者公网私用）进行规划。



---

VLAN 规划：E2E L3VPN 方案，VLAN 区分同一接口的不同业务，建议全网按业务规划相同 VLAN，免去按每基站的 VLAN 规划工作。对于 L2+L3 方案，网络的 L2 部分，需要采用不同的 VLAN ID 标识不同基站，符合 L2 网络运维习惯，方便问题定位。

对无线系统的建议：为简化网络部署方案，减少 VLAN，IP 地址以及相应 VPN 数据的规划和配置，基站和承载设备对接时，建议尽量减少 VLAN 和 IP 地址，目前一般采用一个 IP/VLAN 作为业务接口，另外一个 IP/VLAN 作为管理接口。不建议 S1 和 X2 采用不同的 VLAN 和不同 IP 地址。

对于无线基站，建议采用接口 IP 作为业务 IP 地址，避免在承载网路由器上配置静态路由，降低部署难度。

## 5、控制面规划

在 LTE 承载网中，控制面规划的重点，是考虑如何应对大规模组网的诉求，满足前面提到分层的网络架构，下面分别在 IGP，BGP，LDP，RSVP-TE 方面，给出规划建议，以满足大规模组网的要求。

### 5.1 IGP 规划

IGP 协议的选择，根据运维团队的能力，现网的匹配度进行 IGP 协议选择 OSPF 或 ISIS 链路状态型协议。

LTE 承载网的 IP 节点数在 10K 以上，基于目前的设备能力，IGP 的规划必须分层分域。通过 IGP 的分层分域，避免协议数据库过大，降低设备 CPU 压力；实现故障域间隔离，增强网络健壮性；较小的 IGP 有更短的故障收敛时间

### 5.2 隧道规划

隧道技术主要包括 LDP，RSVP-TE 两种方式。

LDP LSP 隧道特点：配置简单，自动使能标签；可通过 LDP FRR 做到路径快速收敛；隧道数量不易控制，带宽不可控；LDP FRR 使用场景受限；保护倒换依赖于路由快速收敛，性能稍弱；适用于 full mesh 转发的 LTE X2 业务。

RSVP TE 隧道特点：建立可控性强，路径调度能力强，带宽控制能力强；保护倒换手段丰富，推荐使用 Hot-Standby，也可使用隧道保护；倒换性能较好；配置相对复杂，需指定宿端；适合于点到点业务模型(如 UMTS ETH 业务和 LTE S1 业务)

对于 LTE 承载，如果对 S1 的倒换要求较高，可采用 RSVP TE+LDP 的隧道方式，兼顾 S1 保护倒换性能和 X2 就近互通业务需求。

### 5.3 BGP 规划



---

L3VPN 需要部署 IBGP, 为了满足可扩展性, 组大网要求, 标准的技术是部署路由反射器 RR, HVPN 就是借助 RR 技术实现, 在 ASG 设备上部署 inline RR 功能, 并对 VPN 路由进行下一跳修改 NHS。汇聚环一般部署独立 RR, RSG 和 ASG 对独立 RR 来说是 RR Client。

## 6、可靠性规划设计

可靠性规划, 首先要在网络物理拓扑上充分考虑, 保证物理拓扑有迂回路径, 如环网, 双归属, 口字形组网, Mesh 组网等常见组网方式, 分别适用于不同的网络位置, 如, 接入层推荐使用环网, 汇聚层可用环形或双归, 核心层建议使用 Mesh 组网, 跨越对接建议口字形组网。

在 IPRAN 网络中, 可靠性技术可以分为两类, 第一类是保护切换类, 第二类是收敛恢复类。

对于第一类, 基本原理是在数据面建立主备两个转发路径, 通过 OAM 技术检测主用路径, 发现故障后迅速切换到事先建立好的备用路径。

第二类, 基本原理是发现故障后, 通过控制平面重新计算路由, 给数据面下发新的转发路径, 一般情况下收敛性能弱于第一类。

因此在移动承载解决方案中, 一般建议采用第一类, 保护切换技术做为可靠性方案。

### 6.1 故障检测技术

故障检测技术, 是可靠性方案的前提, 一般使用 BFD, MPLS OAM 等技术实现, 设备需要具备基于硬件的 OAM 和 BFD 实现, 在大规模组网情况下保证高性能。

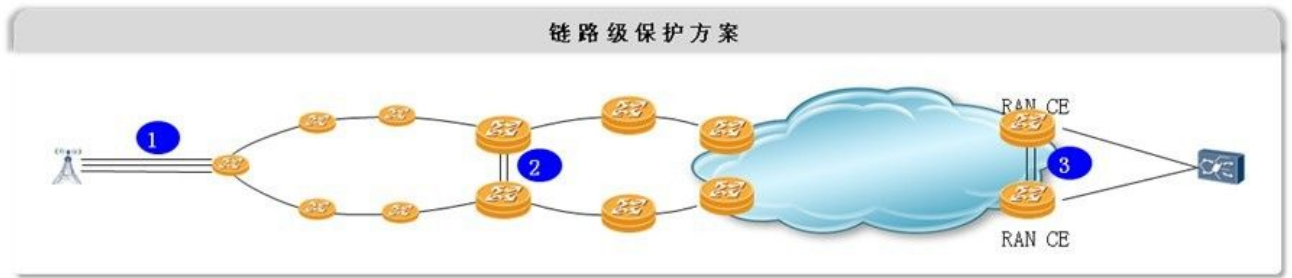
故障检测技术一致性, 为简化部署, 各层次的故障检测, 尽量部署相同的机制, 建议使用 BFD 作为故障检测技术。BFD 可以应用到链路层, 隧道层, 业务层, 以及网关保护的检测。

故障检测技术的选择, 需要考虑穿越中间网络, 尽量不对中间网络有特殊要求, 从这个角度, BFD 是较好的选择。

多层故障检测技术, 需要在发包间隔上给予规划, 或者使用 Holdoff 机制, 避免多层倒换。

### 6.2 链路级保护

如下图所示, 链路层保护, 主要是 IMA, MLPPP, ETH Trunk 等保护技术, 一般在链路层实施, 用于用户侧业务保护, 以及重要链路的可靠性提升, 如两台 PE 设备之间。



保护技术	链路类型	应用场景	示意图	规划原则
IMA	E1 IMA	1		<ul style="list-style-type: none"> <li>接入层设备与基站之间</li> <li>根据实际业务需求配置，一般2~4个</li> </ul>
Trunk	FE GE 10GE ...	2 3		<ul style="list-style-type: none"> <li>汇聚层CX之间：（可选）初期2×10GE，条件允许建议跨板，后续根据业务需求扩容</li> <li>核心层同机房RAN CE之间：2×GE，条件允许建议跨板</li> </ul>

### 6.3 网络级保护

网络级保护是端到端的保护技术，又可细分为隧道保护，业务保护，网关保护，具体故障点和相应保护技术如下。

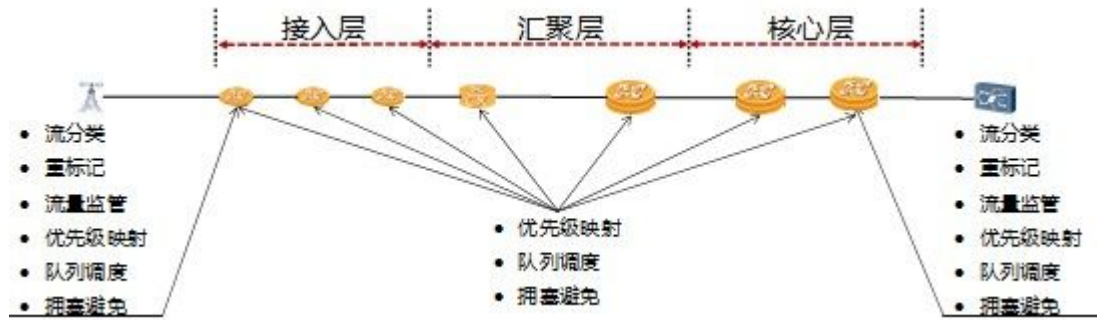
**网络级保护技术**

故障点	保护模式
1 3	隧道保护
2 4	业务保护&网关保护
5	网关保护

保护模式	应用场景	保护技术	示意图	规划原则
隧道保护	源宿节点不变	LSP 1:1 TE FRR		<ul style="list-style-type: none"> <li>建议与业务保护同时部署</li> <li>建议部署回切延时</li> </ul>
业务保护	源宿节点变化	PW Redundancy VPN FRR		<ul style="list-style-type: none"> <li>PW和L3VPN的主备尽量一致</li> </ul>
网关保护	网关场景	E-VRRP E-APS		<ul style="list-style-type: none"> <li>VRRP的初始主备关系与业务系统一致</li> </ul>

### 7、QOS 规划设计

LTE 网络的 QOS 规划，为简化部署，常见的 QOS 方案采用 Diffserv 技术，网络的不同位置设备，完成不同的功能，基本的方案如下。



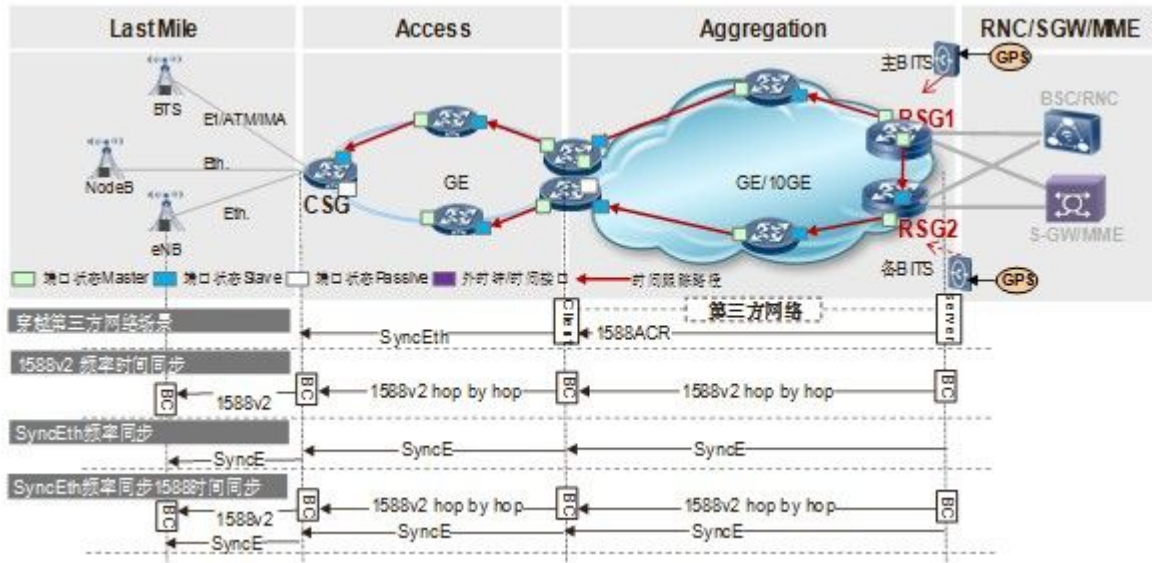
这种方案，QoS 规划主要解决无线系统的 QoS 标记和网络 QoS 标记相互映射的问题，具体的映射机制，如下所示：

业务	802.1p	DSCP	MPLS EXP	流量特点
保留	7	CS7	7	保留
协议	6	CS6	6	控制层面协议报文，需严格保证
时钟	5	EF	5	1588v2 协议报文，需严格保证
无线语音	5	EF	5	最高优先级业务，对时延、抖动、丢包敏感，需严格保证
NGN AG	5	EF	5	对时延、抖动、丢包敏感，需严格保证
O&M	4	AF4	4	管理报文
政企专线	按 SLA 执行		1~5	
无线数据	2	AF2	2	较固网业务优先级高
WLAN	0	BE	0	优先级最低，无需保证
其他	0	BE	0	优先级最低，无需保证

## 8、时钟方案规划

时钟的规划，首先要识别基站时钟需求，不同制式无线基站对时钟的需求不同，简单分类可以分为频率同步需求和时钟同步需求，对应的技术分别是同步以太网和 1588V2，这些技术都必须逐跳部署。所以，还需要考虑网络中有不支持时钟能力的设备，需要考虑穿越中间网络的方案规划，基本的方案选择如下图所示：





越第三方网络场景：双时钟源接入双 server，server 间通过同步以太进行频率同步。通过 1588ACR 技术，将时钟信息从穿越第三方网络的报文中恢复出并由 client 接受，下游再通过同步以太传递频率同步信息。

1588v2 频率时间同步：接入外部时钟源，下游设备通过 PTP 协议逐条传递，通过 BMC 算法防止成环。

SyncEth 频率同步：接入外部时钟源，全网开启 SSM 协议，同步信息逐跳传递。

SyncEth 频率/1588 时间同步：1588 与 SyncEth 同时开启，SyncEth 进行频率同步，1588v2 进行时间同步。

## 9、总结

本文在 LTE 承载的带宽收敛比规划，架构规划，控制面，可靠性，QOS，时钟等关键内容给出了规划指导原则，限于篇幅，不能深入探讨。同时，LTE 承载网络的规划，涉及的内容方方面面，本文也无法一一涵盖。对于具体一个运营商 LTE 承载网络，除了上述阐述的一些规划思想和原则，还需要根据运营业务的规划和节奏，以及现网能力的评估结果，进行针对性的量化规划设计。

LTE 网络部署运营，规划设计先行。通过专业的 LTE 网络规划，确保 LTE 承载网的业务承载能力，可扩展性，可靠性，可维护性等架构方面的竞争力，最终提升客户的体验，降低网络的 CAPEX 和 OPEX。

华为公司规划并建设了国内外大量的 3G IPRAN 网络及 LTE 承载网络，在 LTE 及 IPRAN 网络规划领域，积累了大量的规划和设计经验，可以成为运营商在 LTE 承载网络规划领域的合作伙伴。