

某科技公司计划为西部某偏远地区部署一个新型通信网络，用于同时支持两种关键服务：

- (1) 紧急语音通信：要求极低的延迟和通话清晰度，保证指令能实时、可靠传达；
- (2) 环境监测数据传输：由大量传感器定期上传温度、湿度等小批量数据，允许一定的延迟，但需要高效利用网络带宽。

已知该地区网络基础设施薄弱，链路带宽资源极其宝贵。

问题：

- (1) 请简述电路交换和分组交换的核心工作机理。
- (2) 从“信道资源共享方式”和“传输可靠性保障”两个角度，对比这两种交换方式的本质区别。
- (3) 如果仅从技术特性出发，上述两种关键服务分别更适合采用哪种交换方式？请阐述你的理由。
- (4) 考虑到带宽资源极其宝贵这一硬性约束，请设计一个合理的网络架构方案，并论证为何分组交换技术最终成为现代互联网（包括你设计的这个网络）的绝对主导方案。
- (5) 如果选择分组交换技术，会为“紧急语音通信”服务带来什么潜在问题？
- (6) 针对上述问题，现代网络是如何在分组交换的架构基础上，通过哪些技术或机制来保障语音服务的质量（QoS）的？（请至少阐述两点）

1

- 电路交换就是在通信双方建立一条专用的物理/虚拟电路的交换
- 分组交换将要传输的数据分割成一个个独立的、大小固定的数据包，然后不断存储转发

2

- 从“信道资源共享方式”看，电路交换是独占的，分组交换是共享的。
- 从“传输可靠性保障”看，电路交换由于电路是专用的，所以具有高可靠性。分组交换的可靠性则需要额外的协议保障。

3

- 语音通信适合电路交换
 - 紧急语音通信对低延迟和高实时性有要求
- 环境监测适合分组交换
 - 环境监测数据的特点是定期上传，而非持续传，对带宽利用率有高要求。

4

- 采用分组交换技术，并部署 QoS 机制，区分不同业务流量，给紧急通信的数据包打上极高的优先级来保证其低延迟和稳定。
- 论证分组交换成为主导方案的原因：
 - 资源利用率高
 - 可扩展性好
 - 鲁棒性强，即便某条链路故障也可以保证通信

5

选择分组交换技术为语音服务（VoIP）会带来以下几个核心问题：

1. 延迟（Latency）：数据包在每个路由器都需要经过存储、排队、处理和转发，这些都会累积延迟。当网络繁

忙时，排队延迟会显著增加，过高的延迟会严重影响通话的实时交互体验。

2. **抖动 (Jitter):** 指的是数据包到达时间的差异性。由于每个数据包可能经过不同路径、经历不同的排队时间，它们到达接收端的间隔是不均匀的。这会导致声音播放时出现卡顿、断续或变速的现象。
3. **丢包 (Packet Loss):** 当网络发生拥塞时，路由器的缓冲区可能会被填满，后续到达的数据包将被直接丢弃。对于语音通信而言，丢包意味着部分语音片段的永久丢失，会造成声音的“缺字”或“中断”。

6

现代网络通过多种QoS技术来解决上述问题，确保在分组交换网络上也能提供高质量的语音服务。以下是其中两种关键技术：

1. 差分服务 (Differentiated Services, DiffServ):

- **机制:** 这是一种在网络层实现的QoS模型。它通过在IP数据包头部的 DS 字段设置不同的标记 (DSCP 值) 来区分不同类型的业务。例如，将语音数据包标记为高优先级 (如 EF - Expedited Forwarding)，将普通上网数据标记为低优先级。
- **作用:** 网络中的路由器被配置为能够识别这些标记，并据此提供“差别对待”。当发生拥塞时，路由器会优先转发高优先级的数据包（语音），并可能优先丢弃低优先级的数据包。这保证了语音数据包能够以更低的延迟和更低的丢包率通过网络。

2. 抖动缓冲 (Jitter Buffer):

- **机制:** 这是一种在接收终端（例如VoIP电话或手机App）实现的技术。它会创建一个小缓冲区，先将接收到的语音数据包缓存起来，而不是立即播放。
- **作用:** 通过缓存，即使数据包到达时间有早有晚（抖动），抖动缓冲也能以一个平滑、恒定的速率将语音数据从缓冲区中取出并播放给用户。它以增加一个微小的固定延迟为代价，极大地消除了网络抖动对通话质量的影响，使得声音听起来连贯、自然。

其他相关技术还包括：

- **资源预留协议 (RSVP):** 允许应用在传输数据前向网络请求预留特定资源（如带宽），以获得类似电路交换的保障。
- **流量工程 (Traffic Engineering) / MPLS:** 通过在网络核心规划显式的传输路径 (LSP)，可以引导语音流量走上那些时延、丢包率都得到保障的优化路径。