



第一章 交换概论

袁 泉

yuanquan@foxmail.com

2023年2月20日

实验室介绍



网国重



1992

程控交换技术与通信网
国家重点实验室



2005

网络与交换技术
国家重点实验室

State Key Laboratory of Networking
and Switching Technology

SICRC 大交换



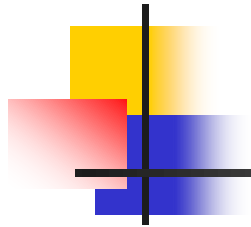
交换与智能控制研究中心
Switching and Intelligent Control
Research Center

⋮



提要

- 1. 交换的概念
- 2. 通信网三对基本概念
- 3. 各种交换方式
- 4. 交换系统的基本结构
- 5. 课程安排



1. 交换的概念

交换？



Switch/Switching

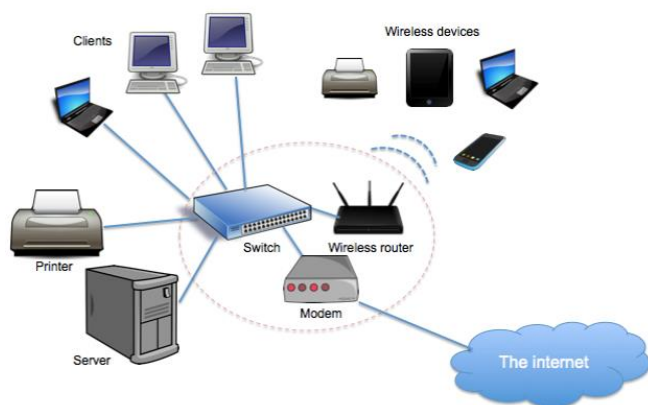


Exchange/Interchange

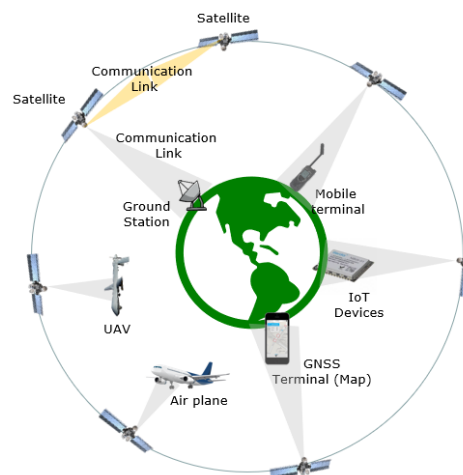
相关，但远不止于此！

通信系统

通信系统的作用就是传送信息



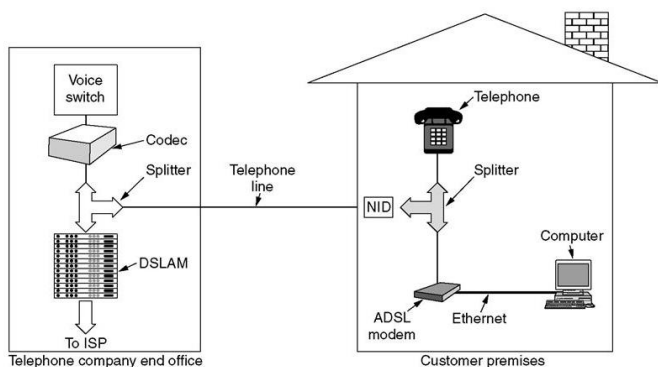
计算机网络



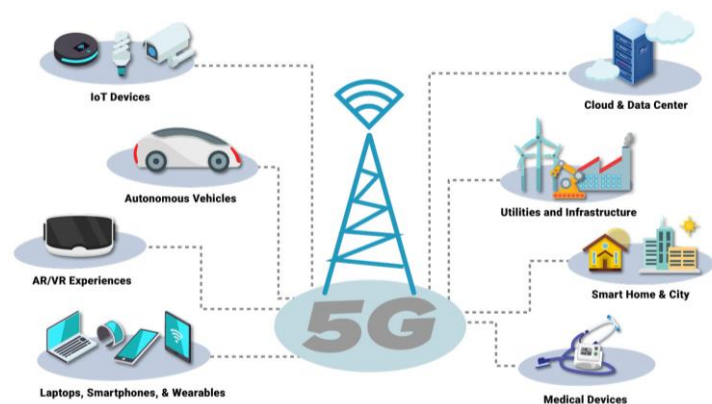
卫星通信系统



北邮一号

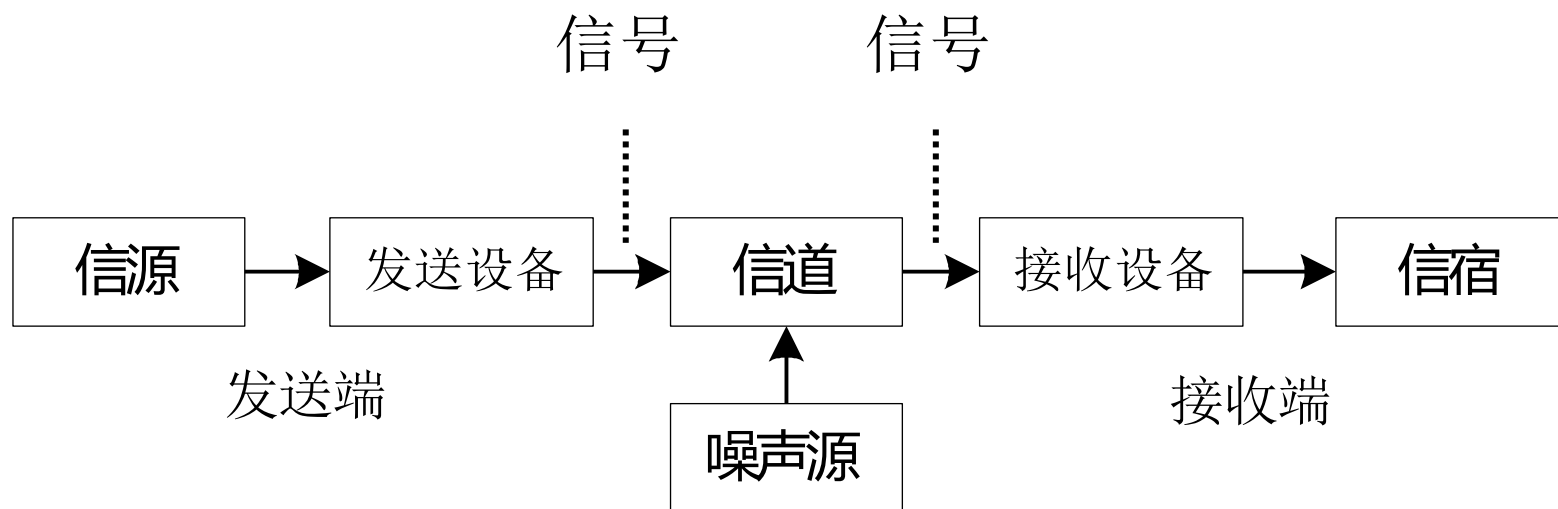


固定电话网



移动通信系统

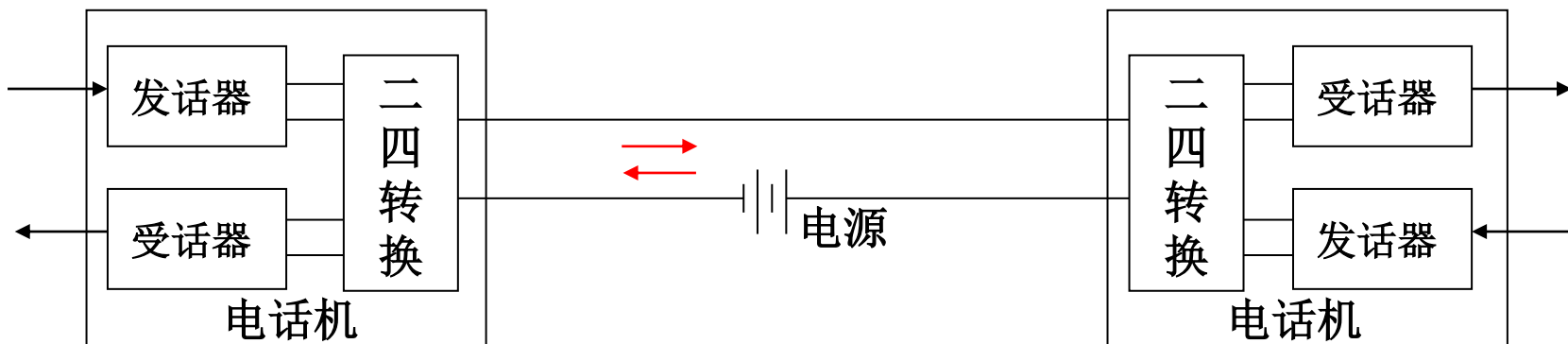
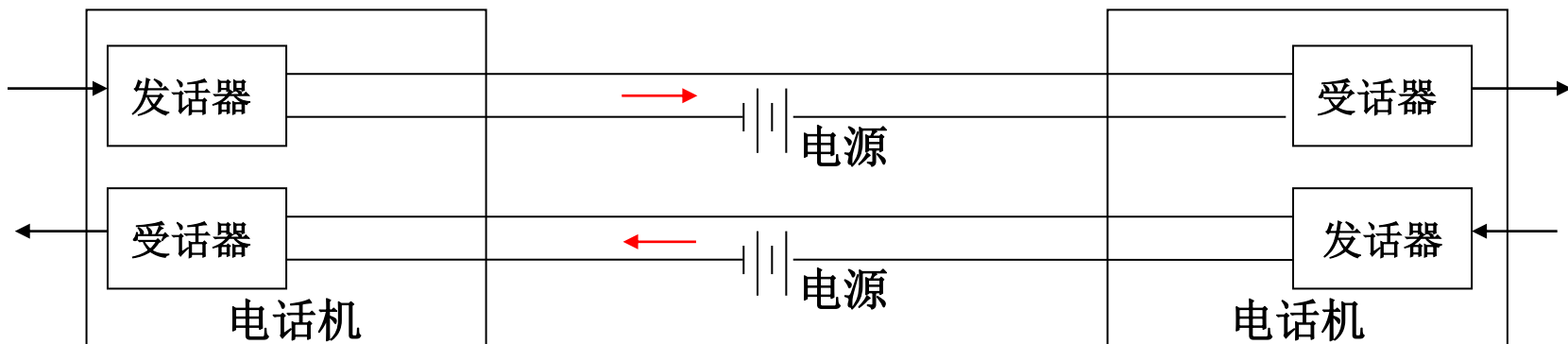
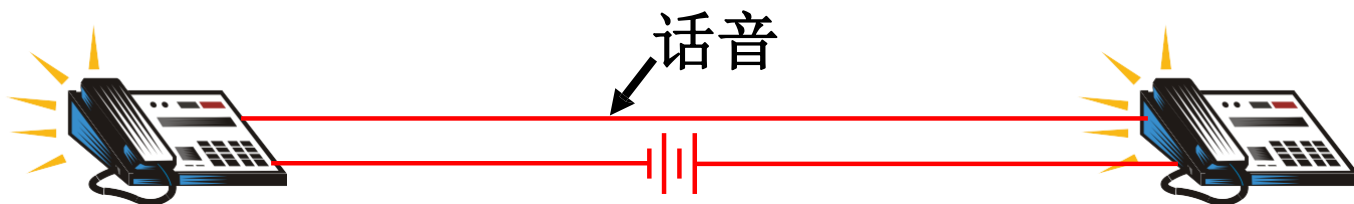
通信系统模型



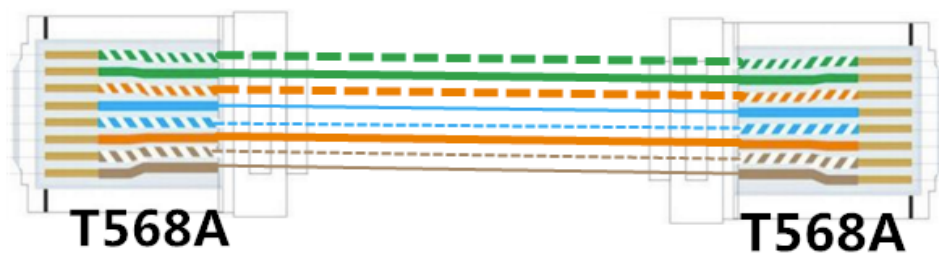
信号：模拟信号、数字信号

信道：有线信道、无线信道

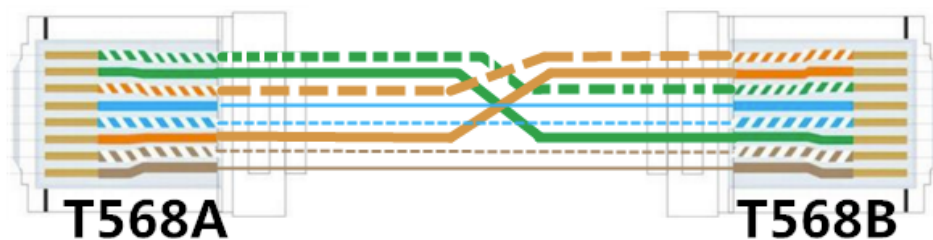
点到点电话通信



点到点计算机通信



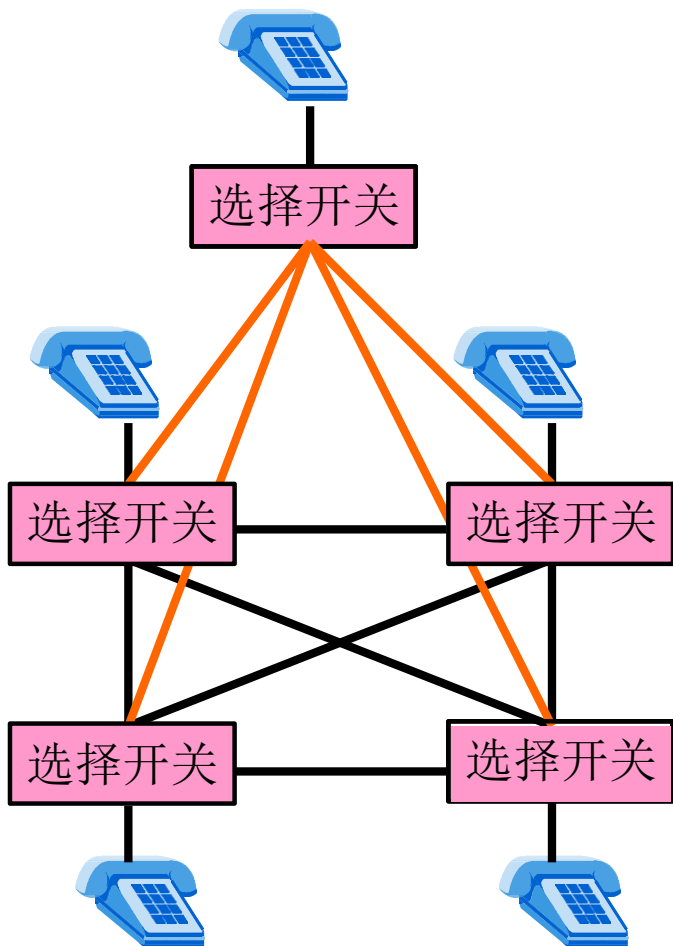
平行网线



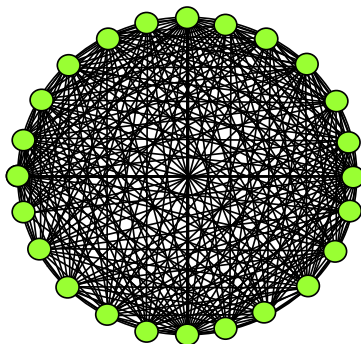
交叉网线



无交换的多点间通信

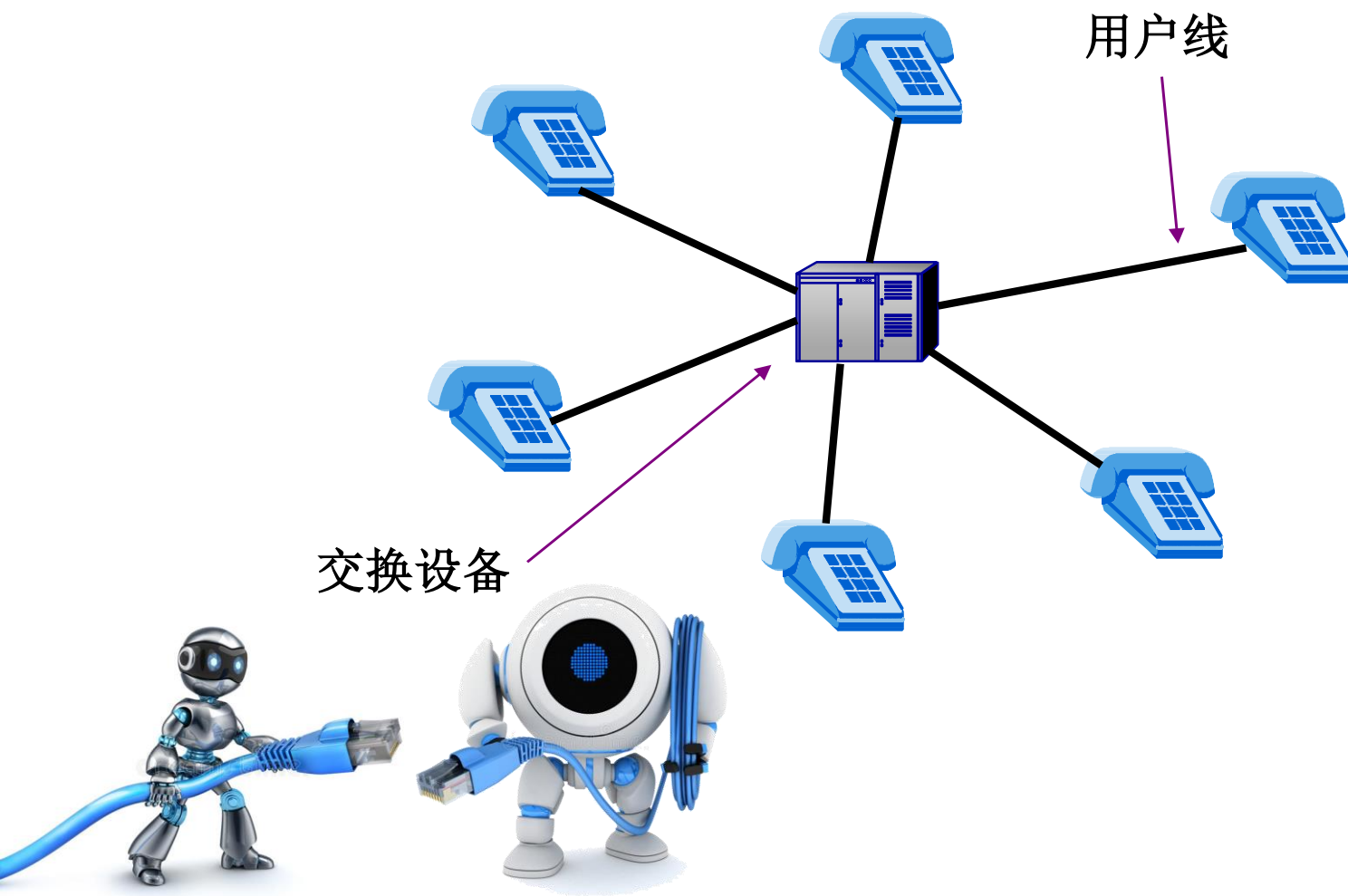


- 需全互连方式两两相连
- 若终端数为 N ，则线对数为： $C_N^2 = N(N-1)/2$
- 每个终端需配置一个多路选择开关
- 增加第 $N+1$ 个终端操作复杂（增加 N 对线路、更换所有多路选择开关）

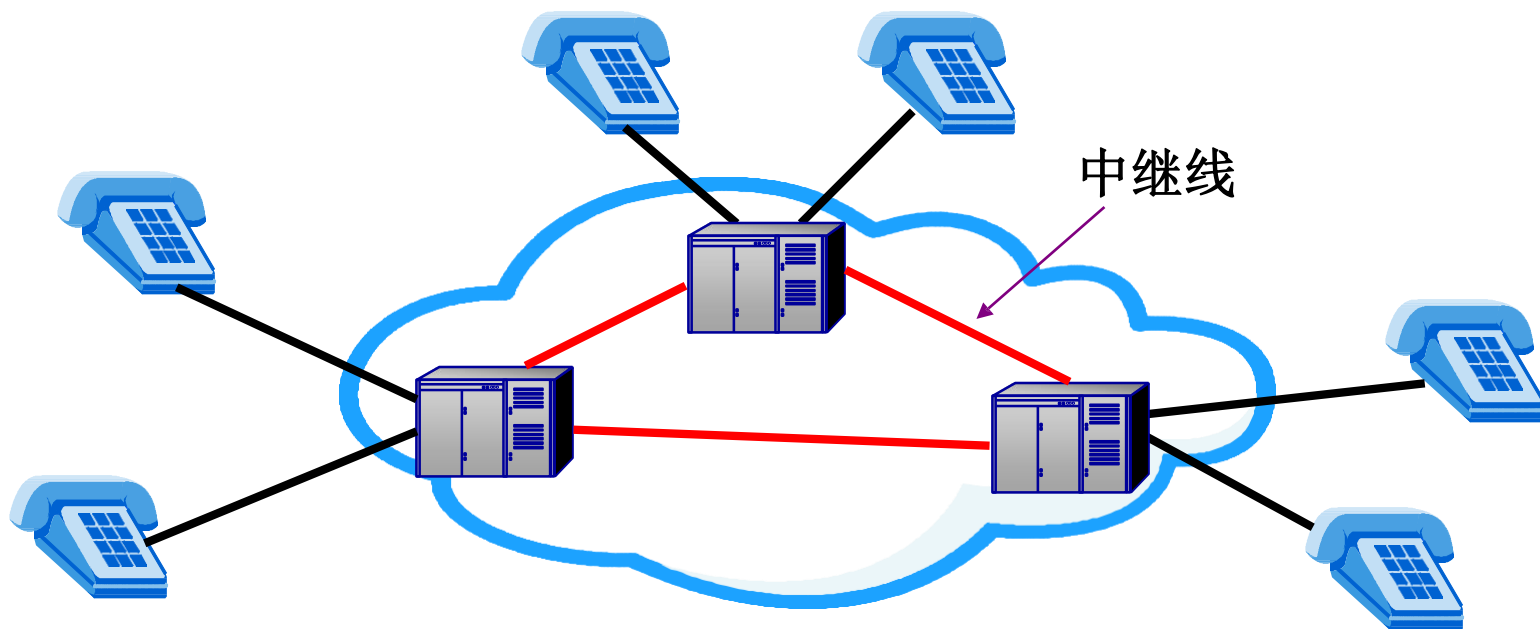


成本高，难扩展！
解决方案？

引入交换节点的终端间通信



多个交换节点组成的电话网



可扩展、广覆盖

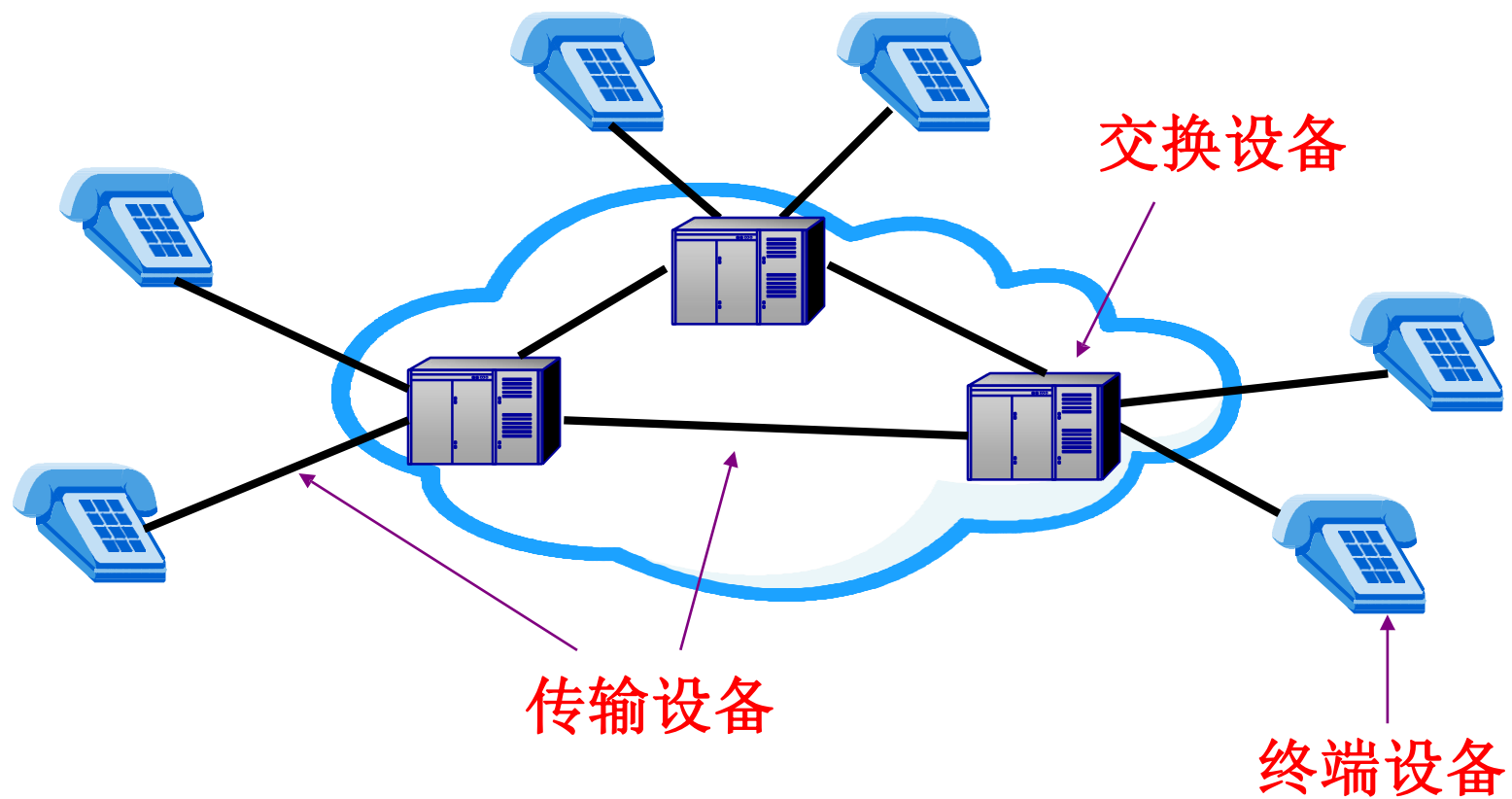


什么是交换

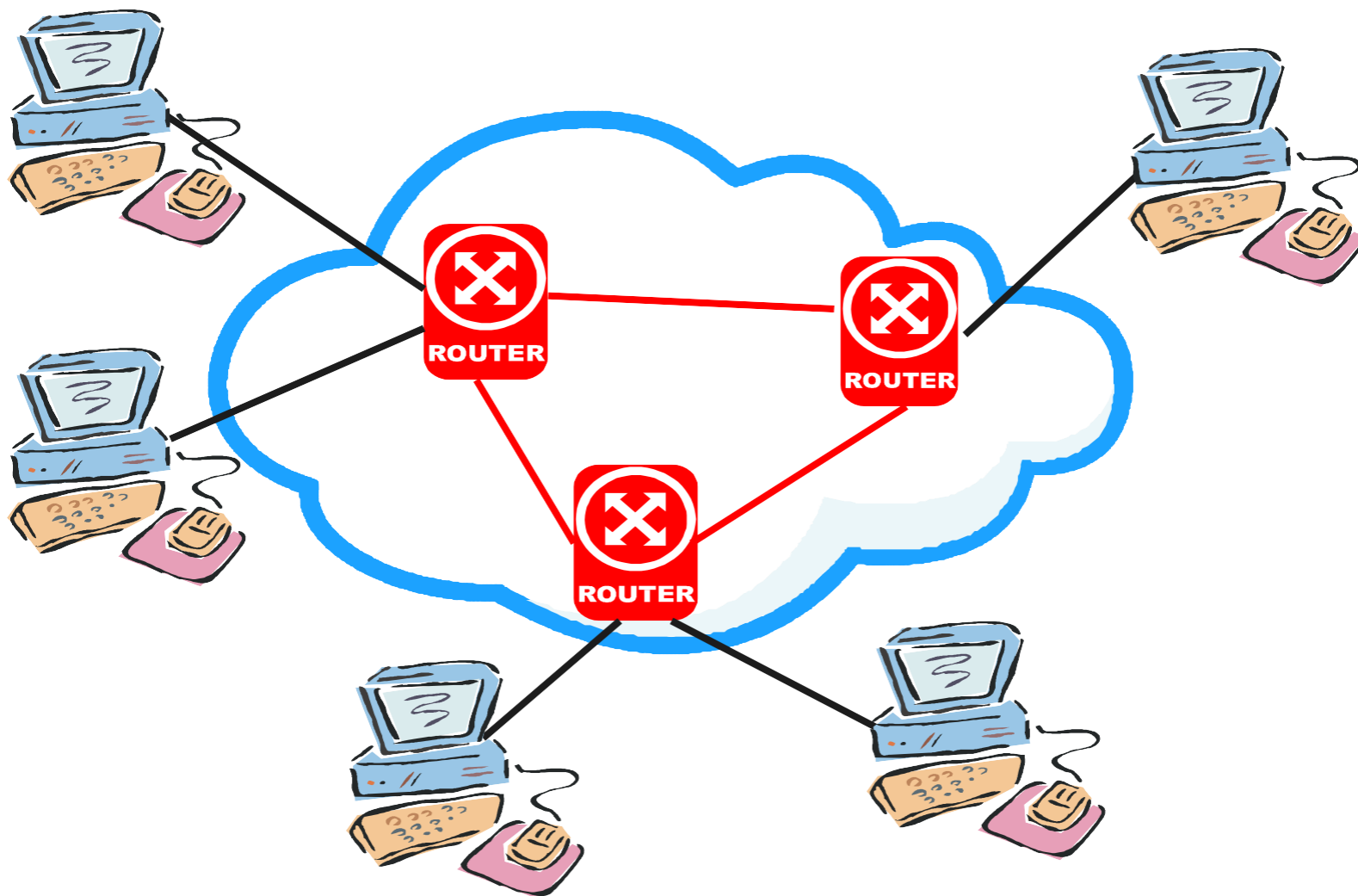
在通信领域中，所谓**交换**，就是在通信网上，负责在通信的源和目的终端之间**建立通信信道、传送通信信息**的机制（对话音/数据业务的控制）。

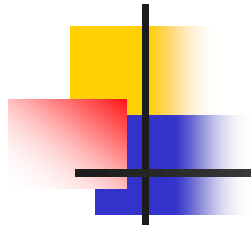
交换系统（设备）

通信网的组成（三要素）



计算机网络





2.通信网三对基本概念



通信网三对基本概念

- 通信网（信息传送）重要概念之：
 - 面向连接工作方式（物理连接、逻辑连接）
 - 无连接工作方式
- 通信网（时分复用）重要概念之：
 - 同步时分复用
 - 统计/异步时分复用
- 通信网（带宽分配）重要概念之：
 - 固定带宽分配
 - 动态带宽分配

面向连接工作方式（物理/逻辑连接）

物理连接：独占信道

逻辑连接：按需占用信道

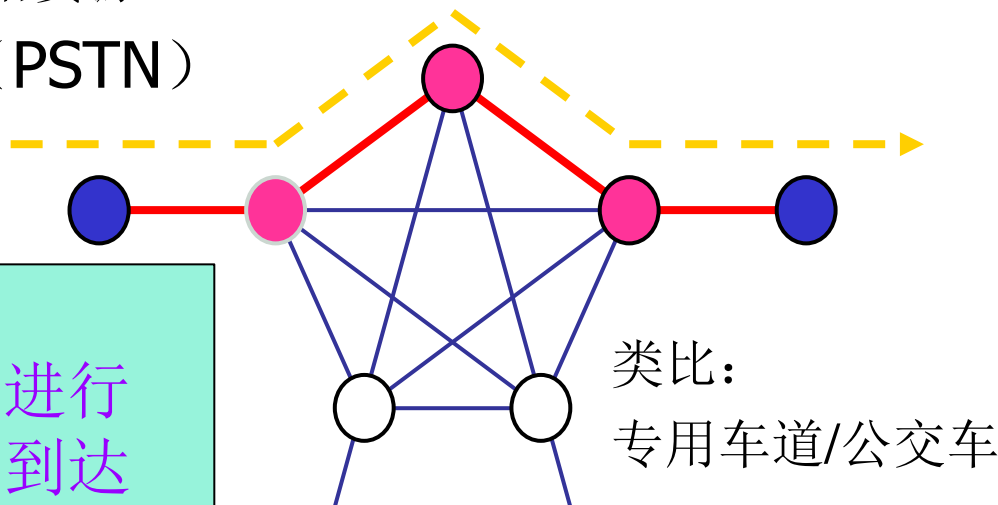
■ 面向连接的工作过程：

- 用户利用信令信号，把寻址要求通知信令网；
- 信令网在信源与信宿之间，利用网络资源**建立连接**；
- 然后**传递信号**；
- 呼叫结束，信令网**释放**网络资源。

■ 例如：传统固定电话网（PSTN）

特点：

1. 路由选择和数据转发分开进行
2. 数据传输路径相同，按序到达
3. 数据转发逻辑简单，处理时延小
4. 节点故障需要重新建立连接

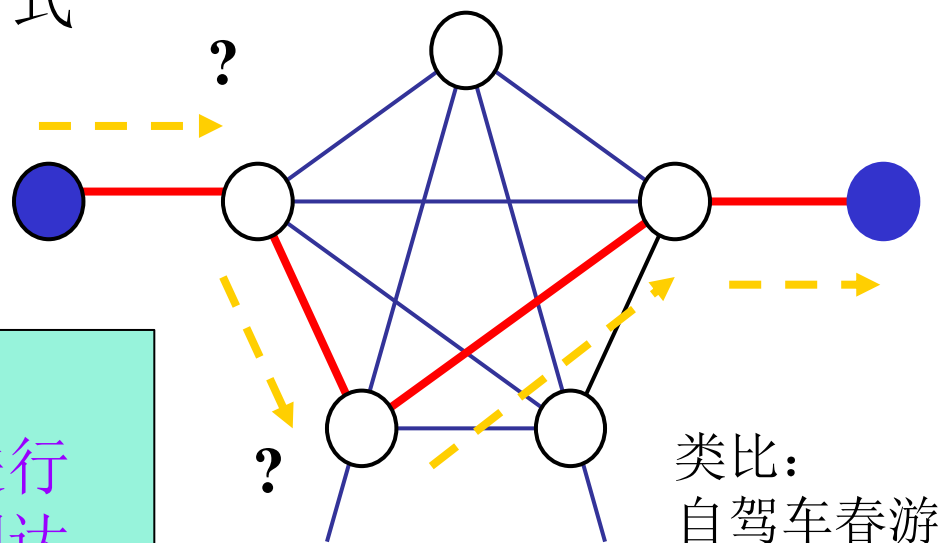


无连接工作方式

- 无连接的工作过程：在各个网络节点，根据信元中的**目的地址数据**，借助于路由器具有的地址知识，选择通往目的地的链路，在每个节点都进行竞争接入
- 例如：**IP网**为无连接工作方式

特点：

1. 路由选择和数据转发同时进行
2. 传输路径可能不同，无序到达
3. 路由选择具有一定处理时延





思考：

- TCP面向连接/UDP无连接，与通信网信息传送的面向连接/无连接的区别？

TCP、UDP是端到端的概念，不存在路由和转发，不适用通信网信息传送的面向连接和无连接

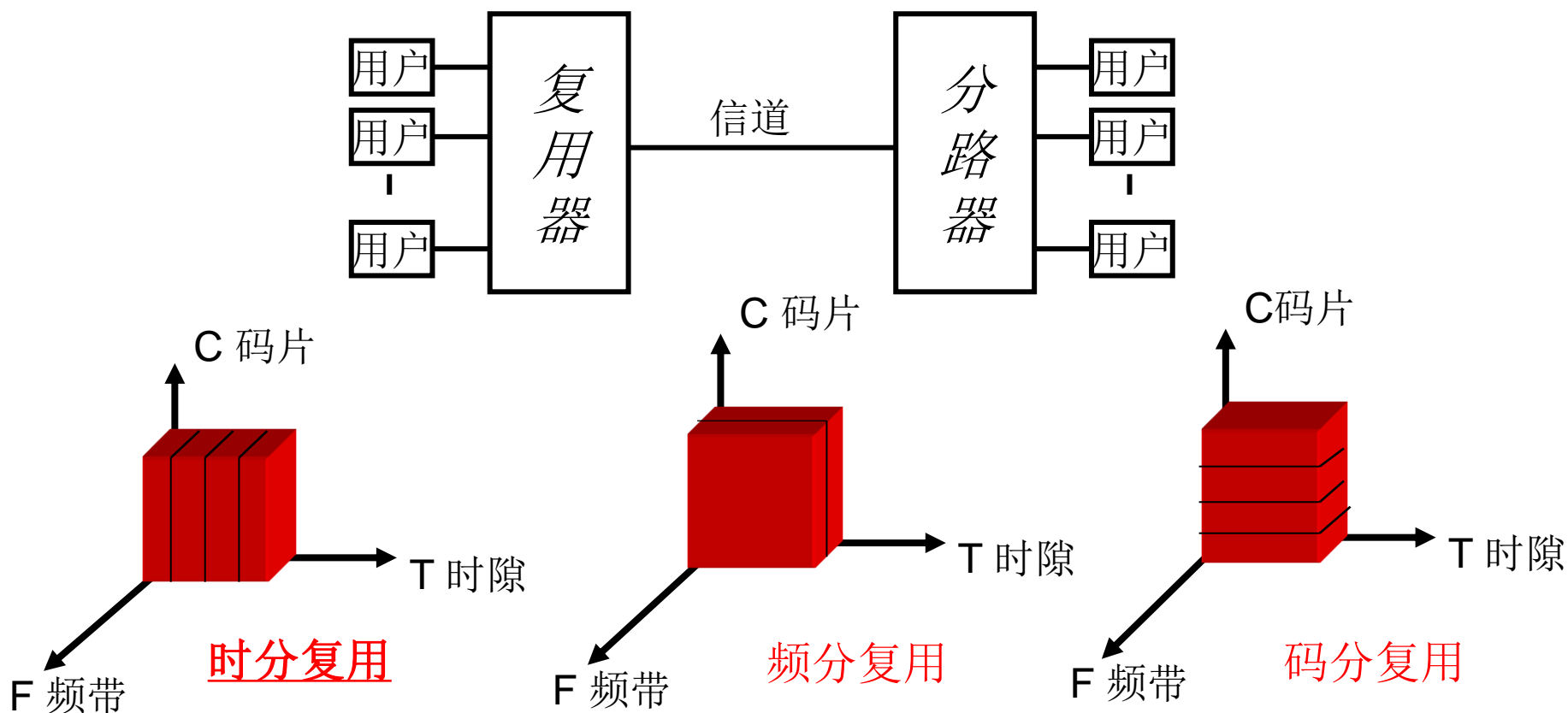


通信网三对基本概念

- 通信网（信息传送）重要概念之：
 - 面向连接工作方式（物理连接、逻辑连接）
 - 无连接工作方式
- 通信网（时分复用）重要概念之：
 - 同步时分复用
 - 统计/异步时分复用
- 通信网（带宽分配）重要概念之：
 - 固定带宽分配
 - 动态带宽分配

信道复用技术：在一个信道上传送多路信号

- “复用”是一种将若干个彼此独立的信号，合并为一个可在同一信道上同时传输的复合信号的方法





时分复用分类

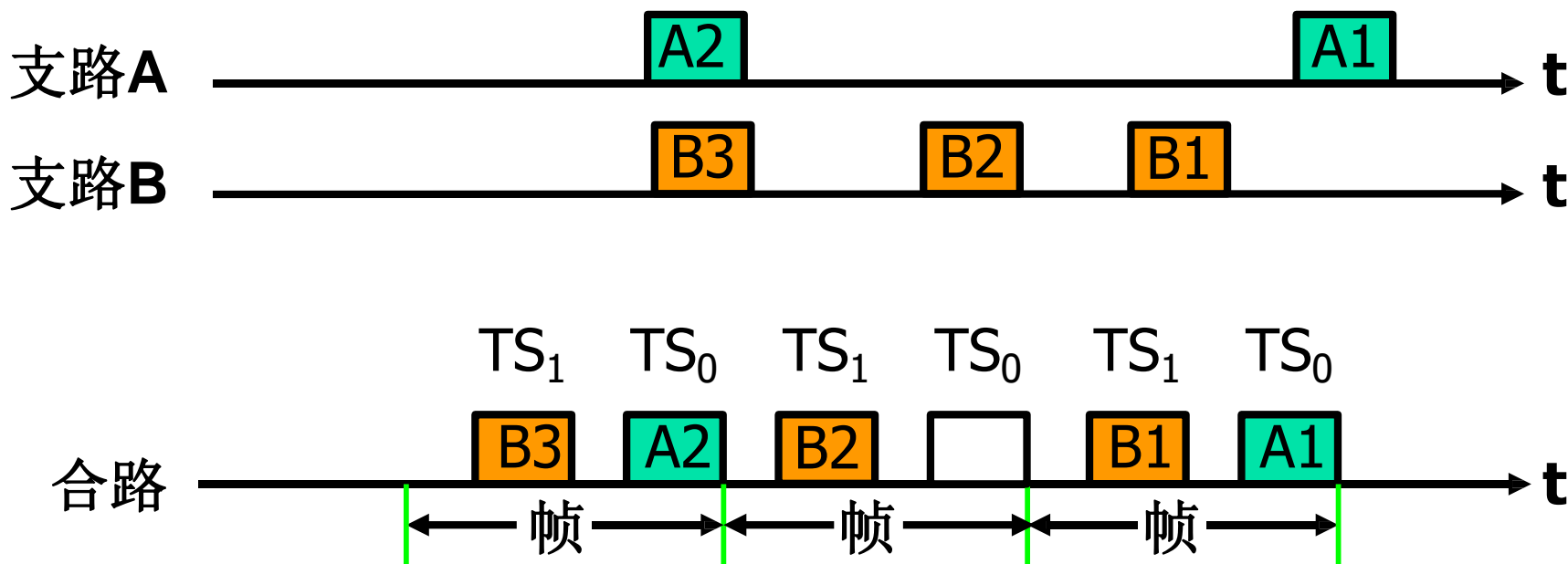
- 同步时分复用

- **位置化信道**：依据数字信号在时间轴上的位置区别各路信号
- 用于电路交换

- 统计/异步时分复用

- **标志化信道**：每个分组前附加标志码，标示分组的输出端或传送路径
- 用于分组交换和**ATM**交换

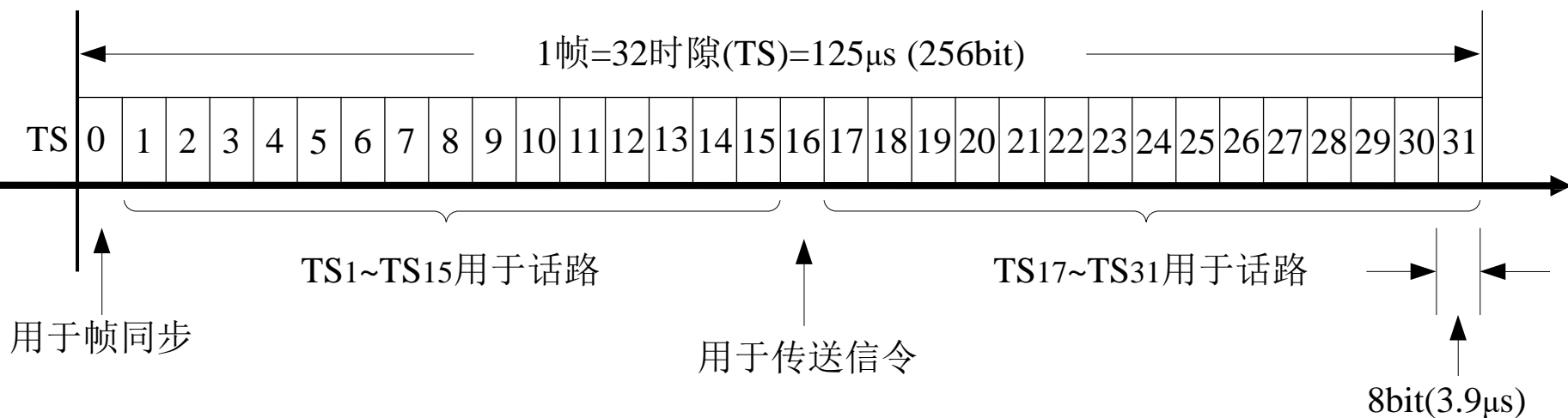
同步时分复用



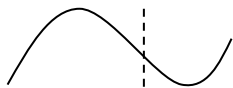
- ✓ **位置化信道**：依据信号在时间轴上的位置来区别每一路信号（逻辑信道），无信息传送时也占用信道
- ✓ 子信道信息流**速率恒定**，每帧一个定长数据

同步时分复用举例

30/32路PCM系统

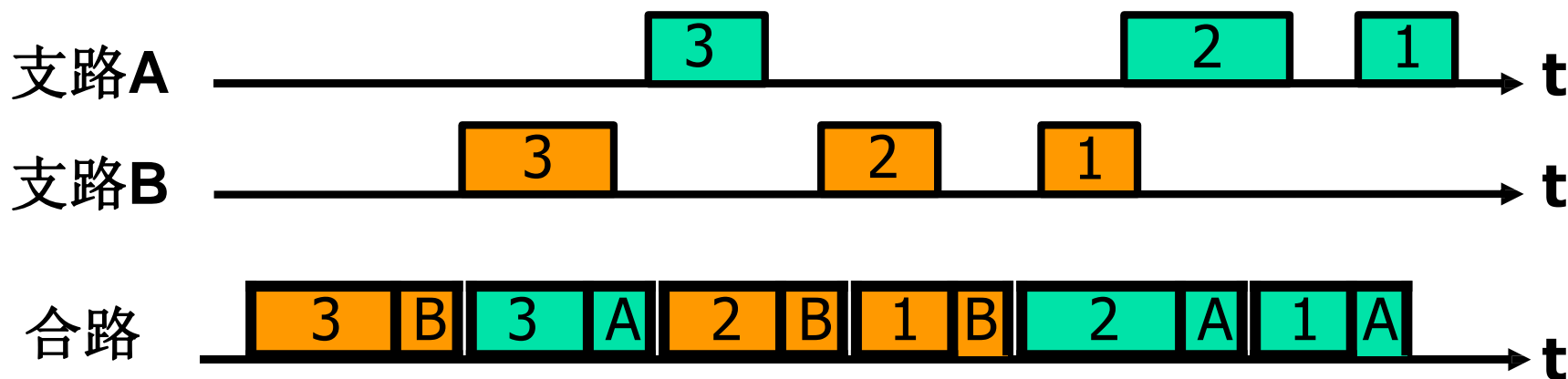


话音信号：模拟信号 $\xrightarrow{8\text{kHz采样, } 8\text{bit量化编码}}$ 数字信号 (64kbit/s)



10110011

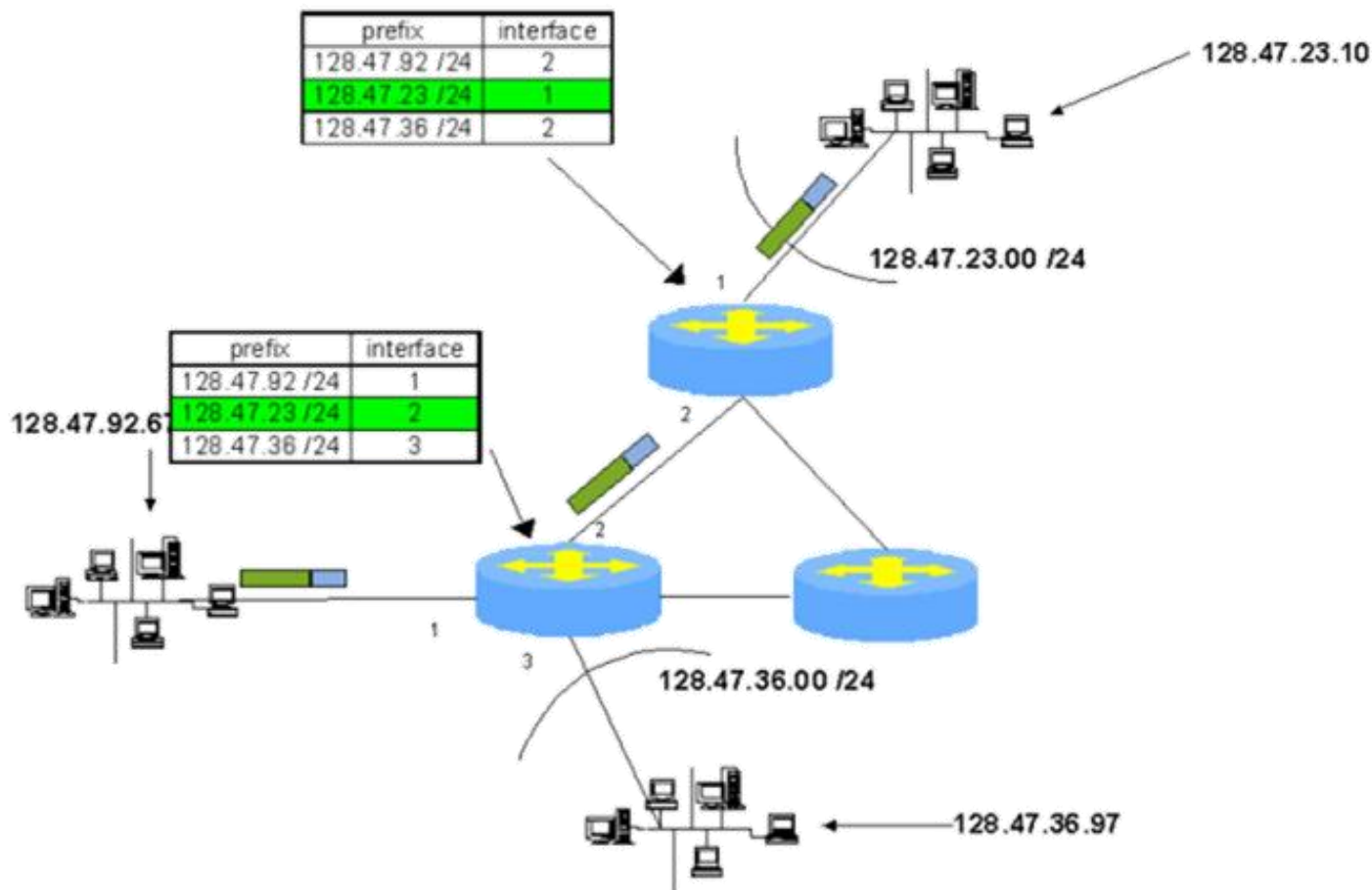
统计/异步时分复用



- ✓ 标志化信道：标志码标识哪路信息，与时间位置无关
- ✓ 分组长度可变，分组头起定界作用
- ✓ 统计复用提高信道利用率

统计时分复用举例

IP网络





通信网三对基本概念

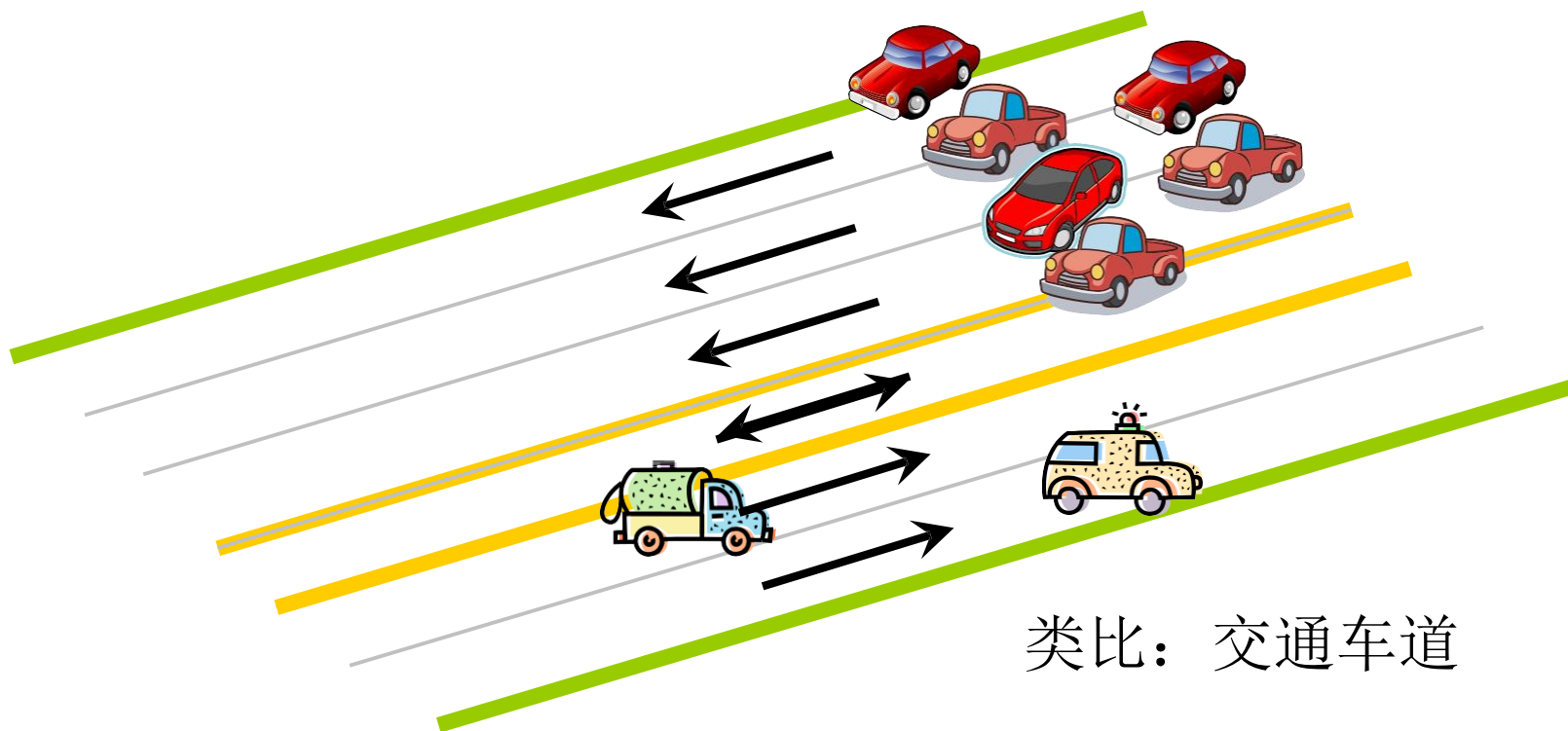
- 通信网（信息传送）重要概念之：
 - 面向连接工作方式（物理连接、逻辑连接）
 - 无连接工作方式
- 通信网（时分复用）重要概念之：
 - 同步时分复用
 - 统计/异步时分复用
- 通信网（带宽分配）重要概念之：
 - 固定带宽分配
 - 动态带宽分配

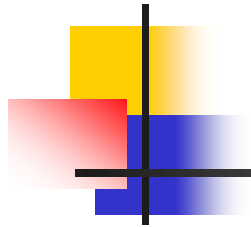
通信带宽分配

- 固定带宽分配
- 动态带宽分配

适用于固定比特率业务
(如语音)，需资源预留

适用于时变比特率业务，
需资源动态分配或竞争





3.各种交换方式

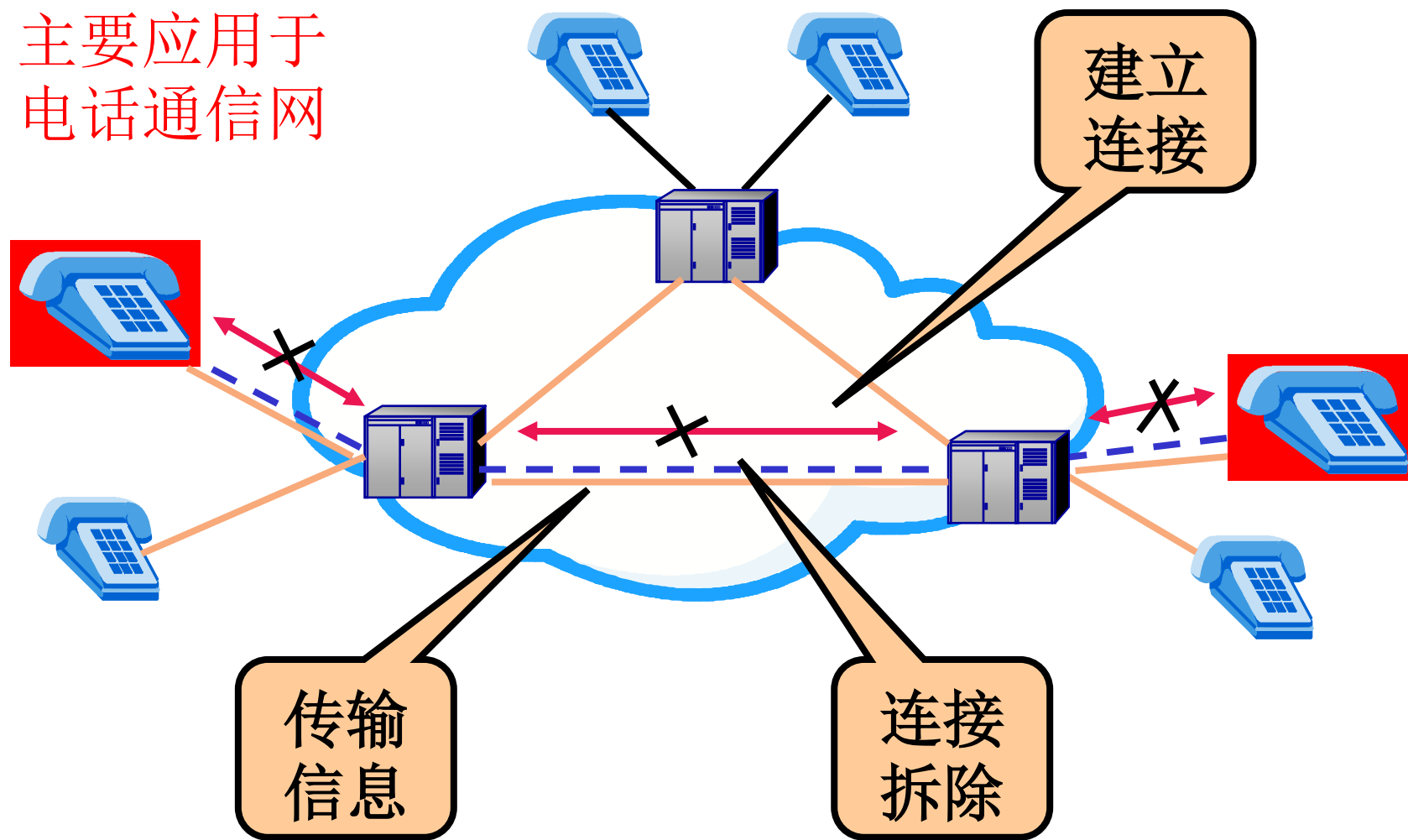


各种交换方式

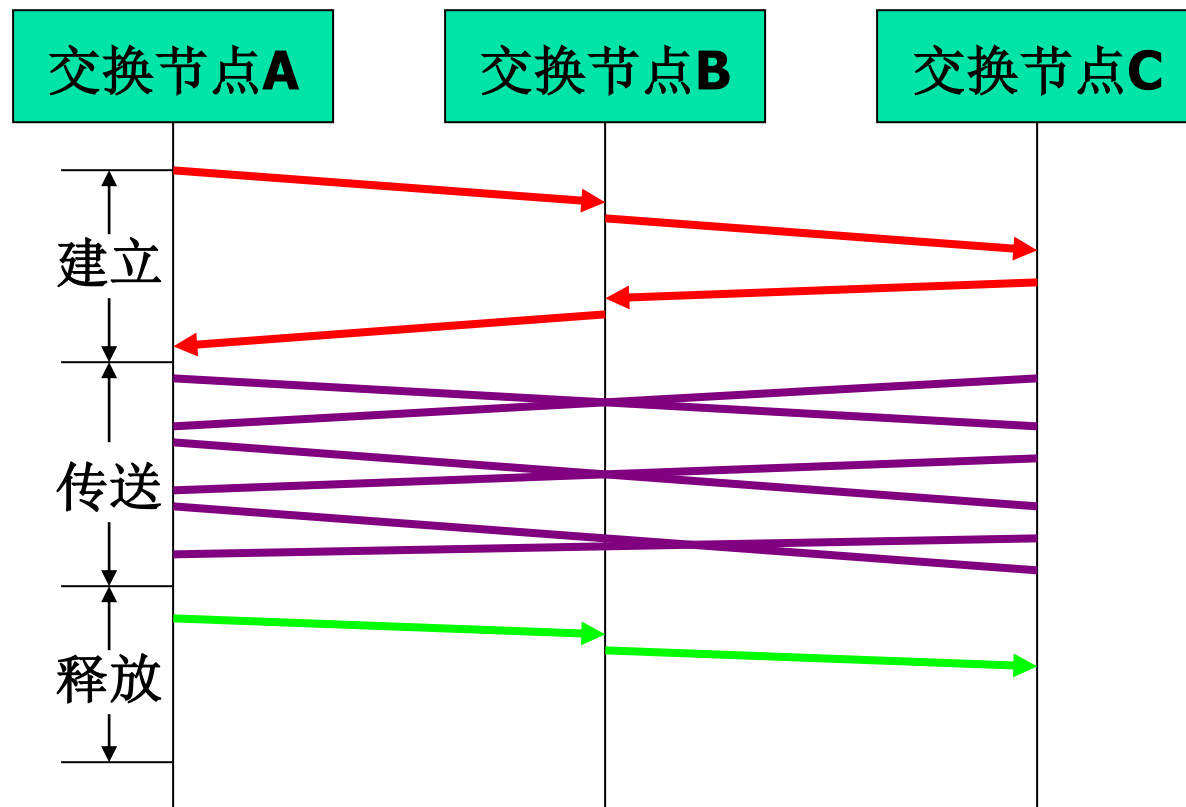
- 电路交换
- 多速率电路交换
- 快速电路交换
- 报文交换
- 分组交换
- 帧中继
- ATM交换
- IP交换

3.1 电路交换 (Circuit Switching)

主要应用于
电话通信网



电路交换的基本过程



“三个阶段”是**面向连接**方式最显著的特征

电路交换的特点

从通信网三对基本概念思考？

- 面向连接的工作方式（物理连接）
- 同步时分复用
- 固定带宽分配
- 无差错控制机制
- 对通信信息不作处理（透明传输）
- 流量控制基于呼叫损失制

实时性要求高，可靠性要求一般：无校验、无重传

实时性要求高：不解析、不变换

不影响已建立的呼叫

电路交换的特点

问题：

为什么电话通信网（PSTN）采用电路交换方式？

业务？



实时、恒定速率的话音业务



这些特点是否满足业务需求？



3.2 多速率电路交换

- 目标
 - 在电路交换基础上支持多速率的数据业务
- 思路
 - 在64kb/s的基本速率信道基础上，提供 $n \times 64$ kb/s的高速信道
- 方法
 - 信道捆绑，多个信道要保持同步

3.3 快速电路交换

■ 目标

- 在电路交换基础上适应波动和突发的业务

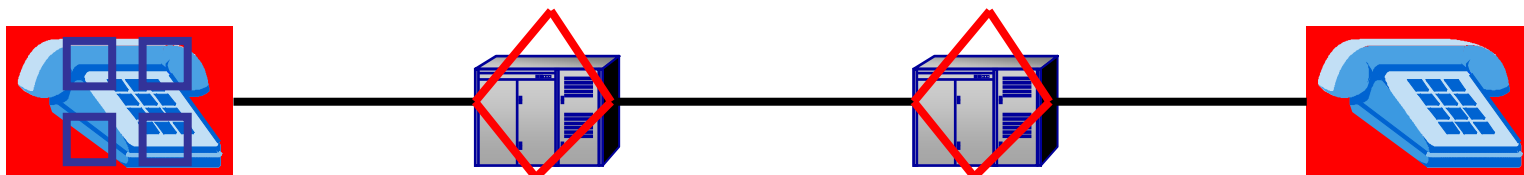
■ 思路

- 有信息传送时，快速建立通道；没有信息传送时，释放传输通道

软硬件要求高

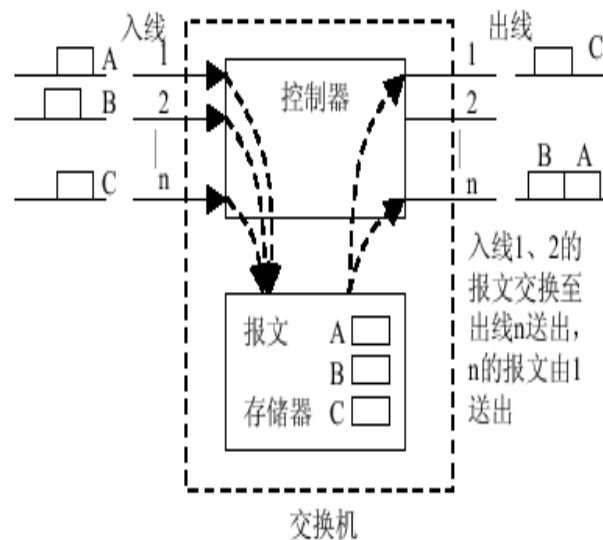
■ 方法

- 用户申请资源——网络预分配资源——现传输现连接



3.4 报文交换

- 采用“**存储—转发**”，以报文为单位进行交换
- 无呼损，不需要叫通对方就可发送报文
- 有多个报文送往同一地点时，要排队按顺序发送
- 报文传送中有检错和纠错措施
- **提高了线路的利用率**
- 交换机需有大的存储容量
- 不适用于即时交互式数据通信，**报文的存储时延大**



公用电信网的电报自动交换是报文交换的典型应用

3.5 分组交换

分组交换信息传送的最小单位——分组

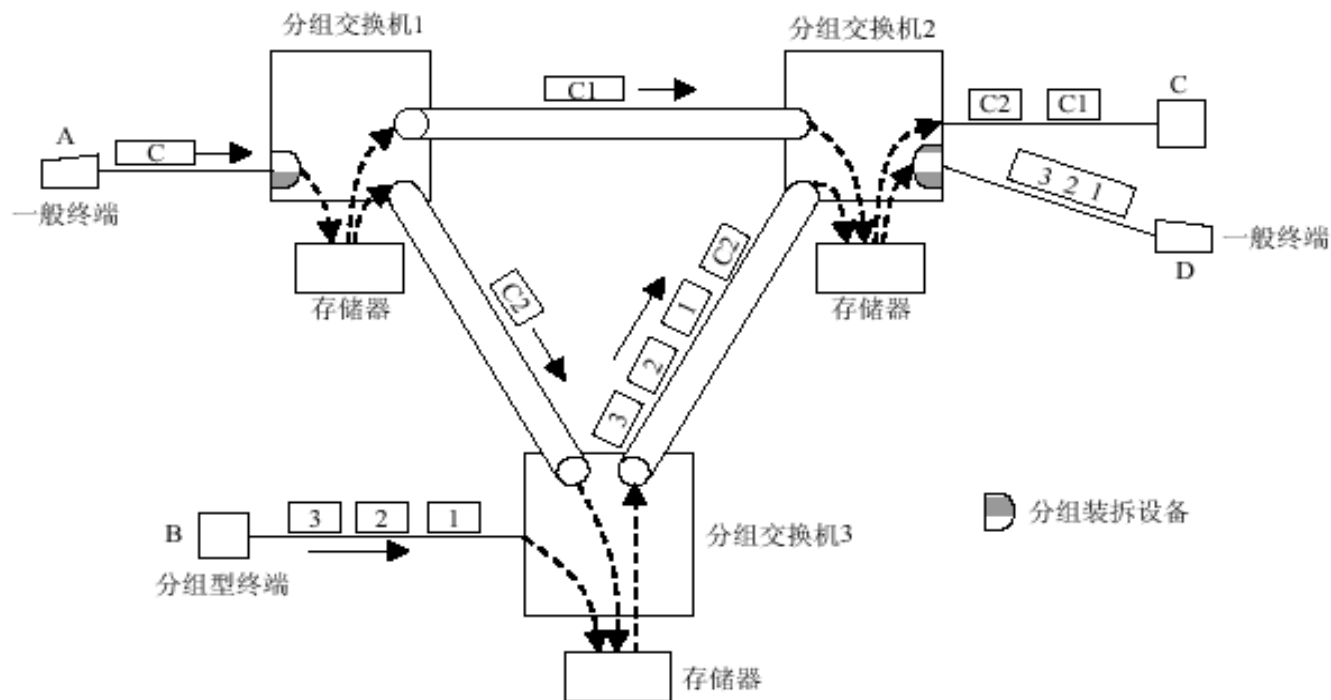


存储
|
转发



分组交换——分组的形成

- 分组头：选路信息及其它控制信息
- 分组大小：可变长，长度兼顾时延和开销





分组交换——两种交换方式

■ 虚电路 **Virtual Circuit (VC)**

- 类似电路交换，通信要经过 **连接建立、数据传输、连接拆除** 三个阶段
- 它不同于电路交换中的物理连接，而是**逻辑连接**
- 分组头中只含有对应于所建立的VC的**逻辑信道标识**
- 传输时延小，抖动小，分组有序到达，网络故障时要重新连接
- 如PSPDN (Packet Switched Public Data Network): X.25、X.75

■ 数据报 **Datagram (DG)**

- 每个数据分组都包含**终点地址**信息，**独立寻找路径**，在网络终点需要重新排序
- 传输时延大，抖动大，对网络故障适应性强
- 如IP网络



虚电路的分类

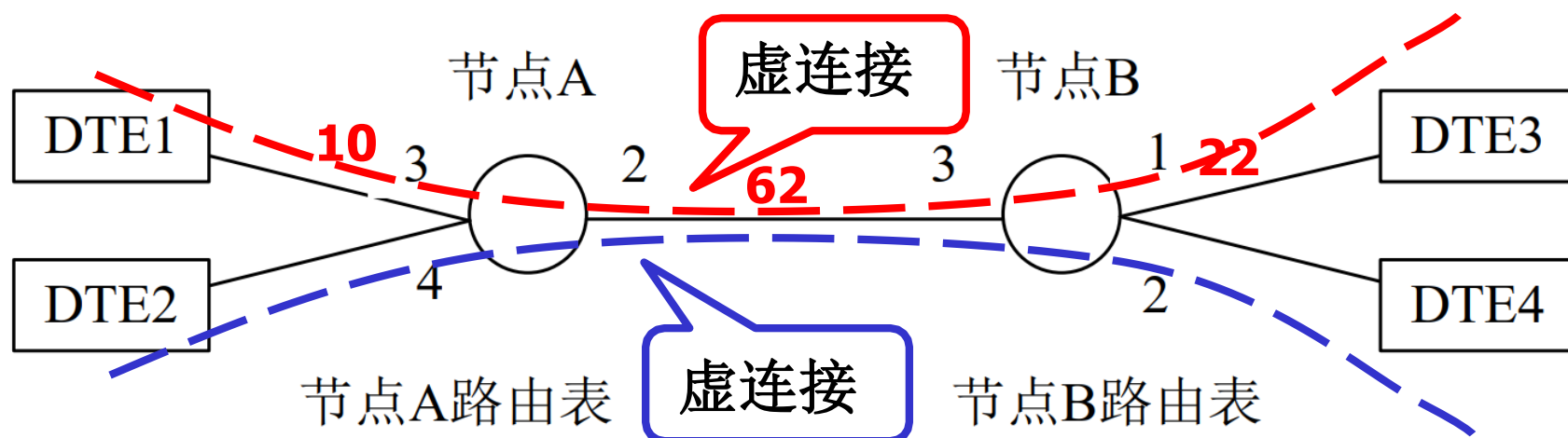
- 交换虚电路 (SVC: Switched Virtual Circuit)
 - 用户通过发送**呼叫请求分组**来建立虚电路的方式
 - 三阶段：在用户数据传送前先要通过发送**呼叫请求分组**建立端到端之间的虚电路；一旦虚电路建立后，属于同一呼叫的**数据分组**均沿着这一虚电路传送，最后通过**呼叫清除分组**来拆除虚电路
- 永久虚电路 (PVC: Permanent Virtual Circuit)
 - 应用户预约，由网络运营者为之建立**固定的虚电路**，而不需在呼叫时临时建立虚电路，可直接进入数据传送阶段的方式

虚电路的逻辑连接

对比物理连接？

呼叫1：DTE1-DTE3

呼叫2：DTE2-DTE4



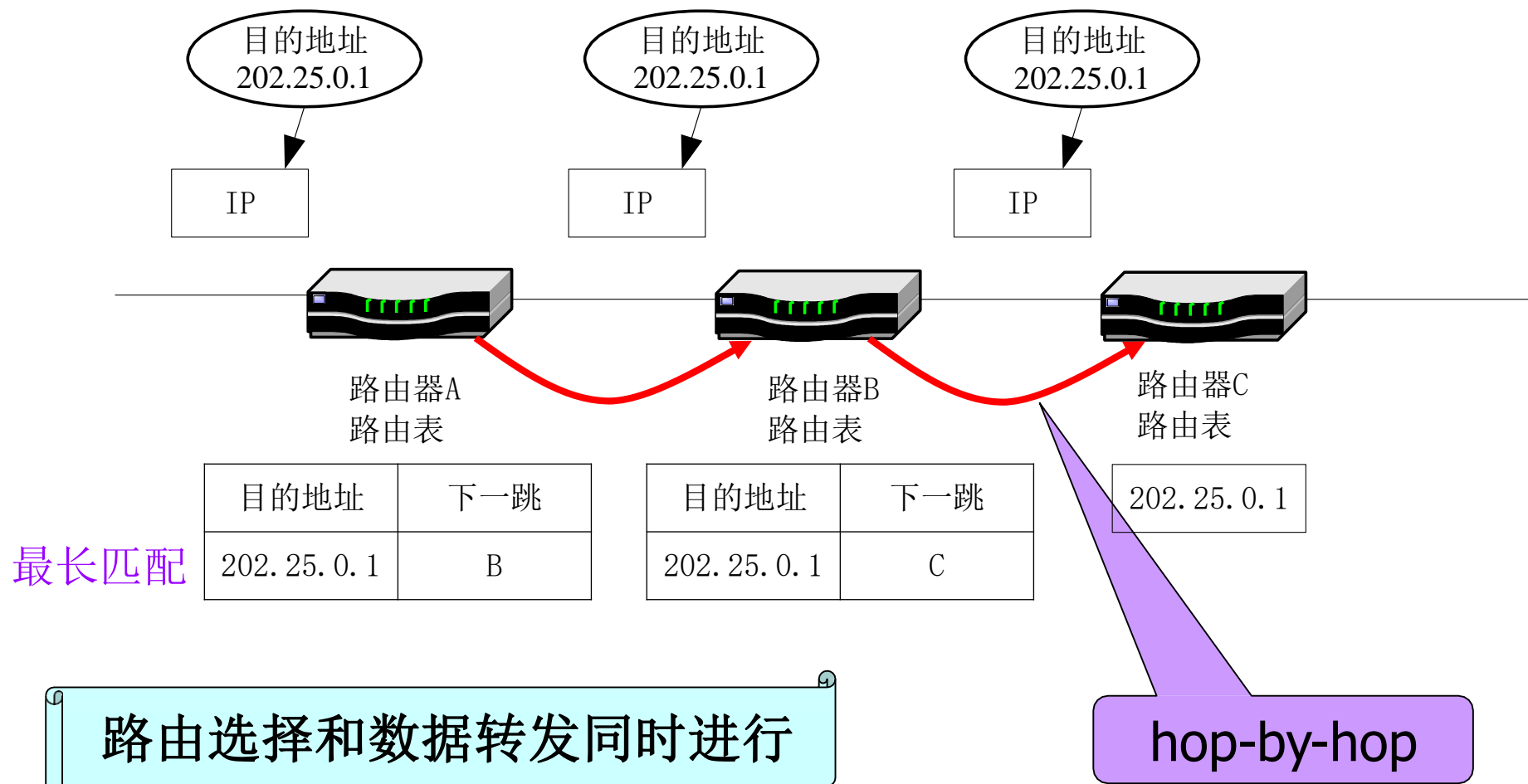
呼叫	入		出	
	端口号	LCN	端口号	LCN
1	3	10	2	62
2	4	12	2	63

呼叫	入		出	
	端口号	LCN	端口号	LCN
1	3	62	1	22
2	3	63	2	23

LCN-Logic Channel Number

数据报的无连接

数据报方式典型应用 ——IP网络





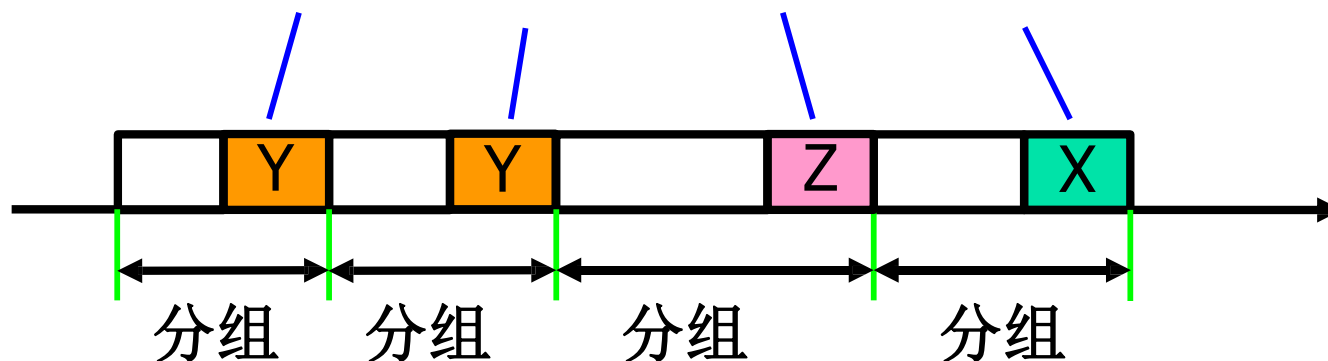
虚电路与数据报的比较

	虚电路	数据报
分组头	简单 (逻辑信道号)	复杂 (详细的选路信息)
选路	基于虚连接表	每个分组独立选路, 选路复杂
分组顺序	不会失序	失序现象
故障敏感性	敏感	不敏感 (可靠性高)
应用	连续数据流 时延小、抖动小	询问/响应

分组交换——统计时分复用

不论虚电路
还是数据报！

分组头中有一个表明属于哪路逻辑信道的**标识**



- 通过标识来区分每一个逻辑信道
- **动态带宽分配**（可变速率）

分组交换的特点

从通信网三对基本概念思考？

- 面向连接方式（逻辑连接）和无连接方式
- 统计时分复用
- 动态分配带宽
- 有差错控制机制
- 非透明传输，对通信信息作处理
- 流量控制基于呼叫延迟制

数据业务可靠性要求高，实时性要求一般

解析分组头

可以缓存



特点分析

问题：

为什么数据通信网采用分组交换方式？

业务？ →

可靠性要求高、可变速率的数据业务



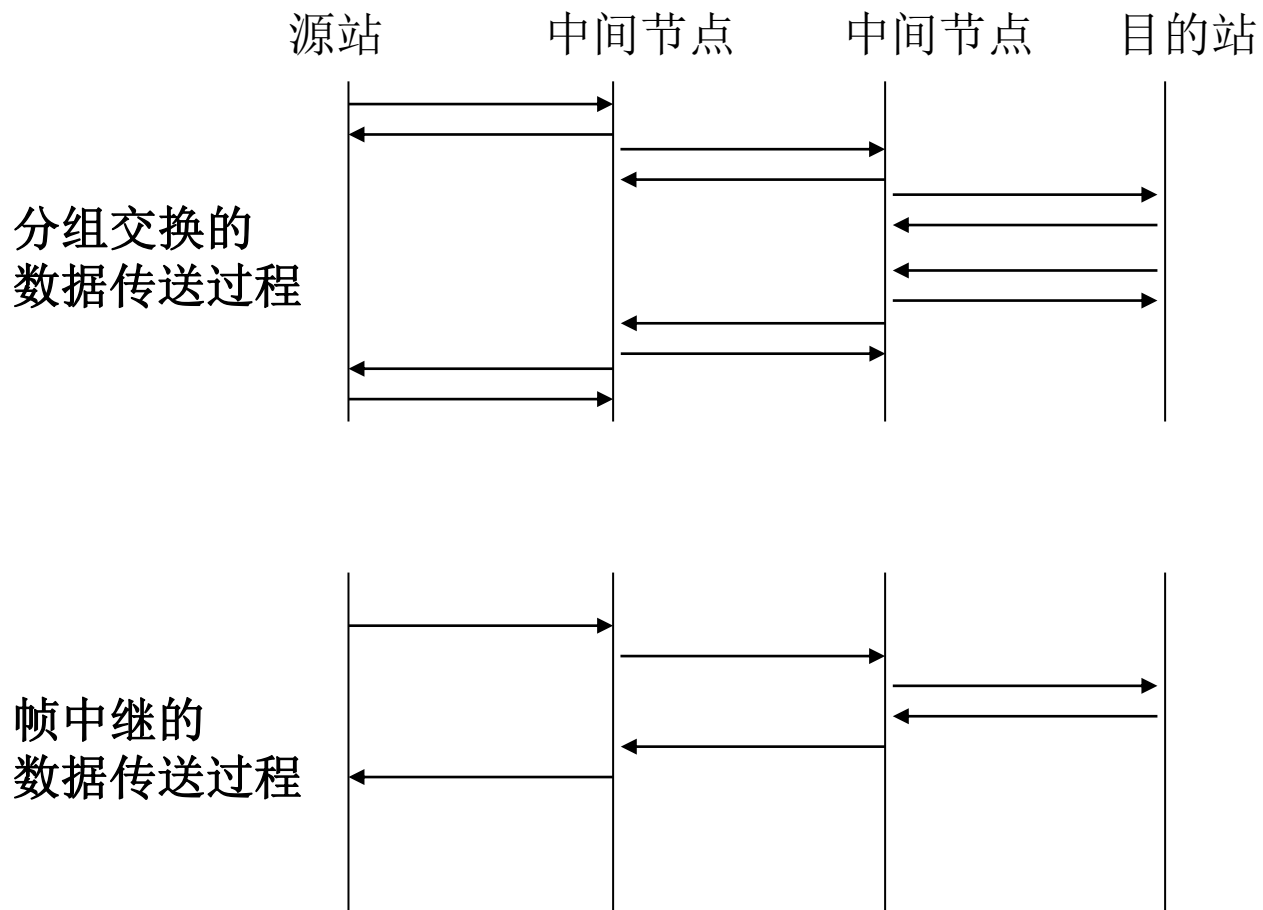
这些特点是否满足业务需求？



3.6 帧中继

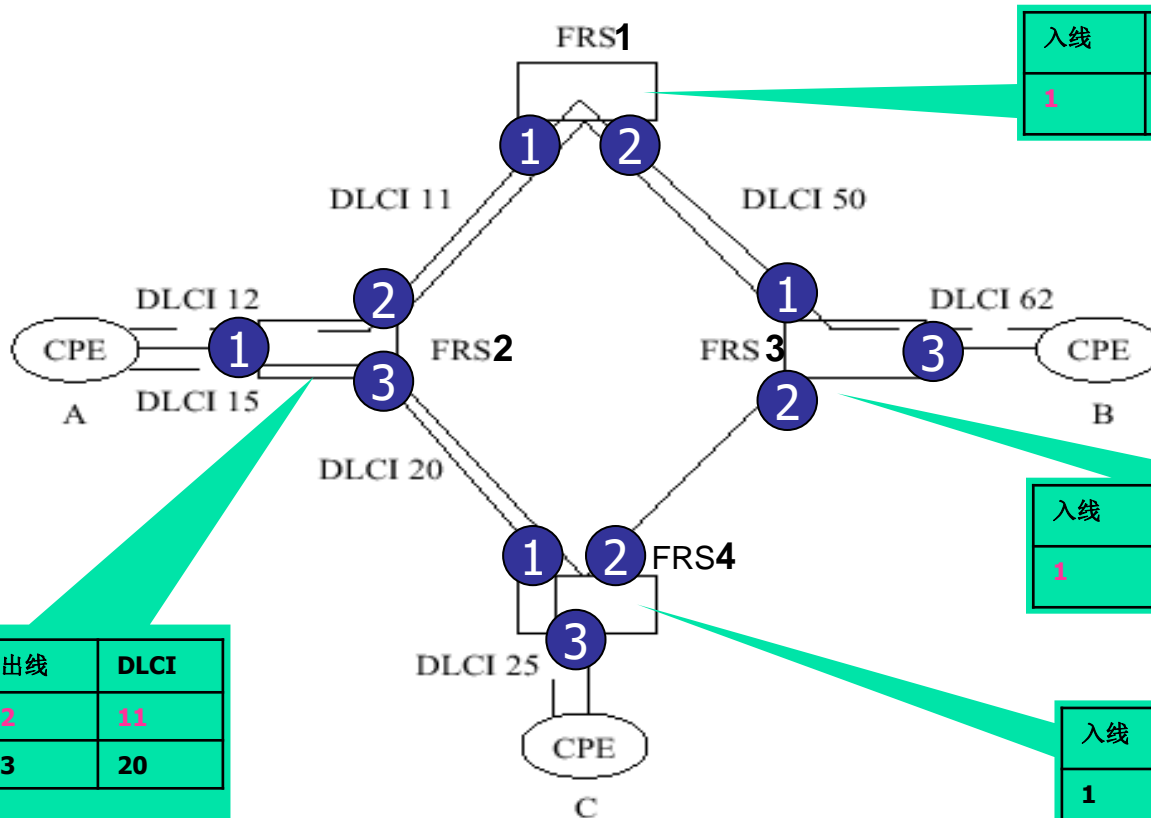
- 目标
 - 在分组交换基础上适应实时和高速的业务
- 思路
 - 降低网络中交换节点的处理负荷，减少网络中的时延
- 方法
 - 差错控制方式由“点-点”改为“端-端”；交换节点只进行差错检测，没有流量控制、重发等功能
 - 在链路层引入数据链路连接标识符**DLCI**，完成分组交换的虚电路功能
 - 基本数据交换单元为帧

分组交换 vs. 帧中继



帧中继的虚电路

跟分组交换的虚电路很类似？
工作在不同层！



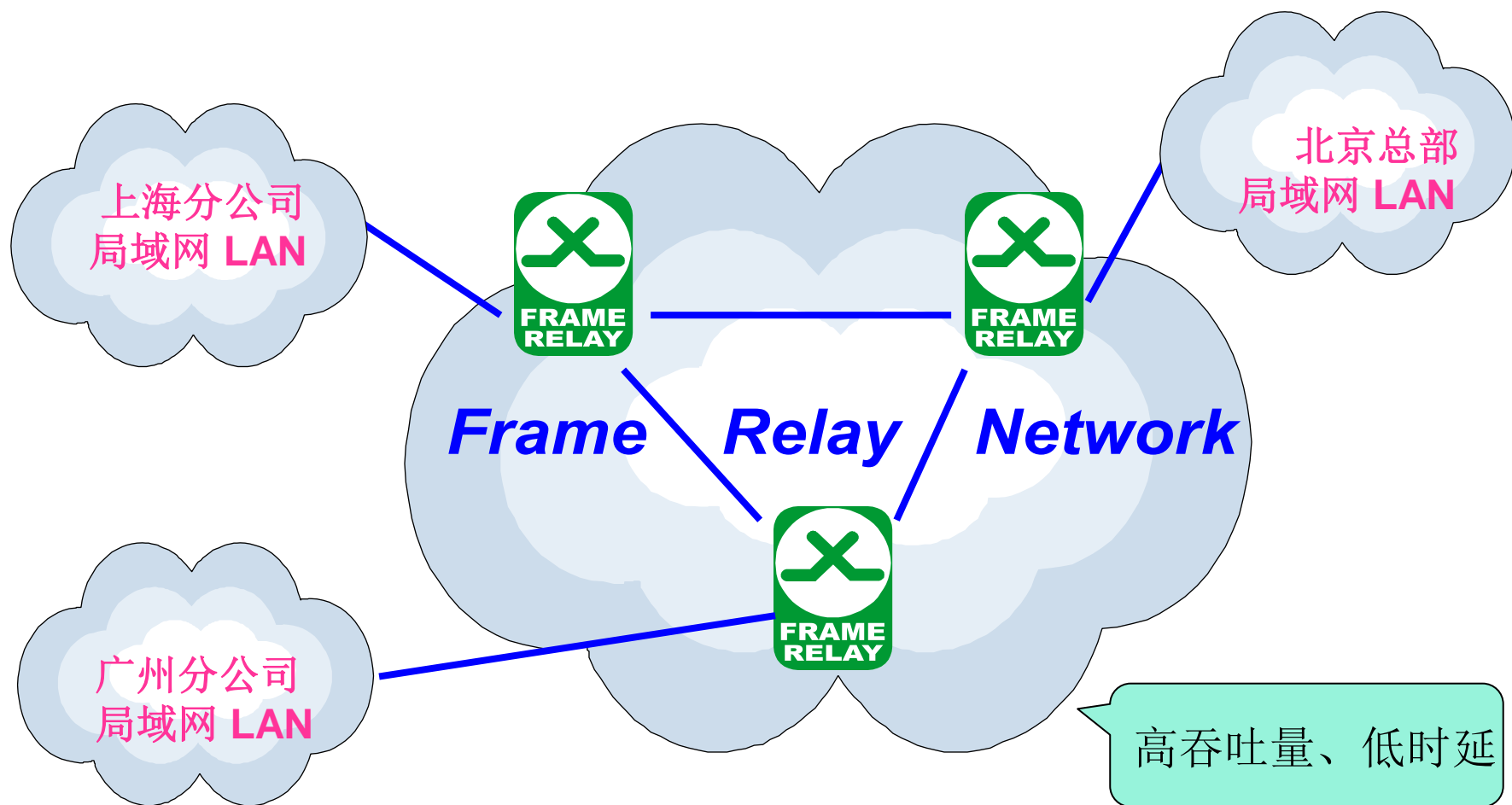
注：FRS—帧中继交换机 CPE—用户前端设备

DLCI—数据链路连接标识符

从A到B的帧中继逻辑链路—DLCI的12, 11, 50, 62

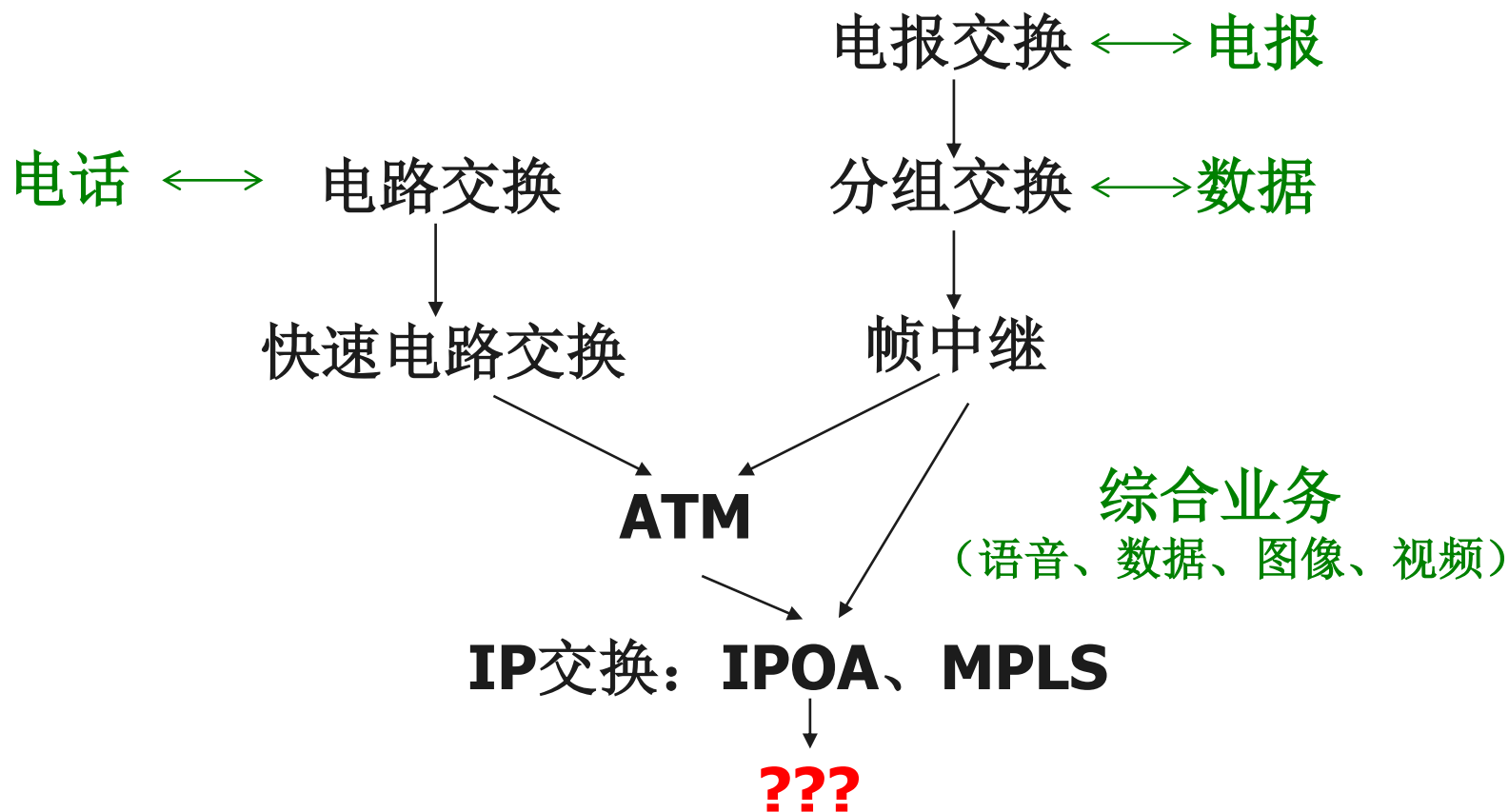
从A到C的帧中继逻辑链路—DLCI的15, 20, 25

帧中继的应用——LAN互联



3.7 ATM交换

电路传送模式 CTM
分组传送模式 PTM
异步传送模式 ATM



ATM交换——结合电路和分组的优势

电路交换

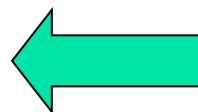
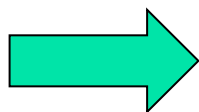
物理信道
定长、单速率
同步时分复用
实时
控制简单

ATM

逻辑信道
定长、多速率
异步时分复用
实时
控制复杂

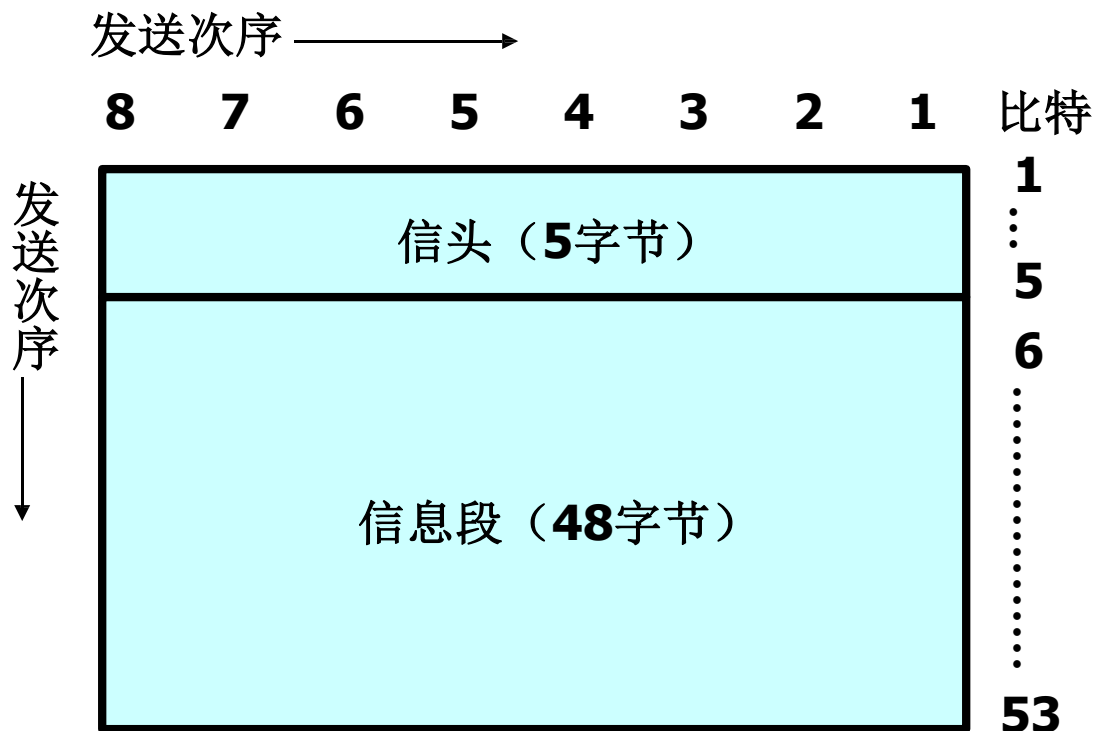
分组交换

逻辑信道
不定长、多速率
统计时分复用
非实时
控制复杂



ATM交换——固定的信元长度

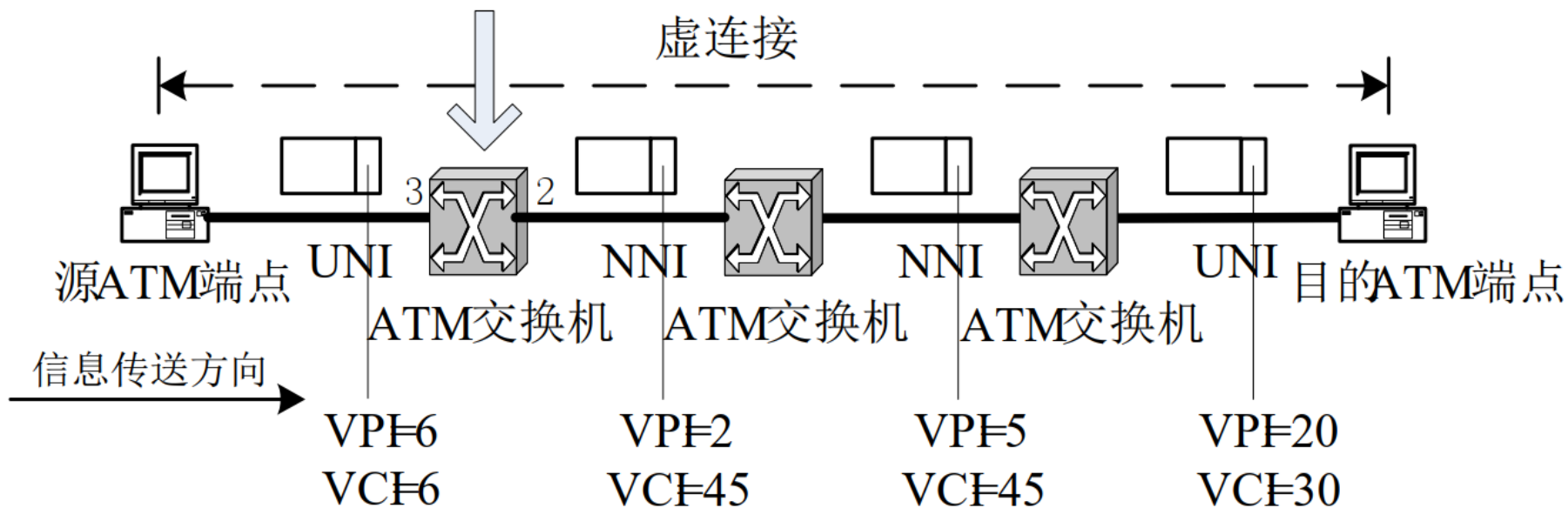
- **短信元**可以减少交换节点内部的缓冲器容量以及排队时延和时延抖动
- **信元的长度固定**，可用硬件实现交换，有利于简化交换控制和缓冲器管理



数据交换单元为：**信元**

ATM交换——逻辑连接

入			出		
端口号	VPI	VCI	端口号	VPI	VCI
3	6	6	2	2	45

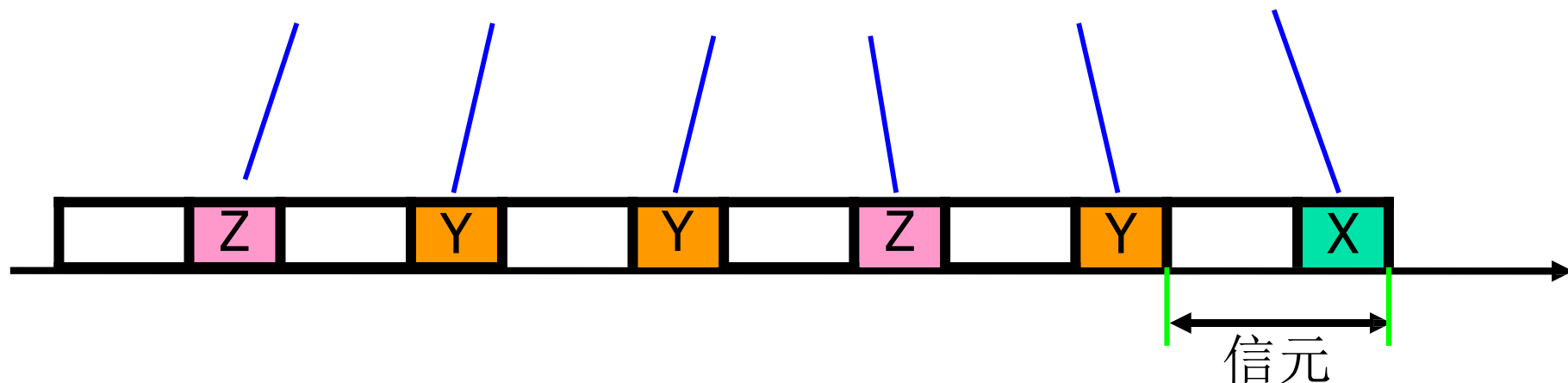


VPI: 虚路径标识符

VCI: 虚通道标识符

ATM交换——异步时分复用

有一个表明属于哪路逻辑信道的标记（**VPI/VCI**）



- 通过标记来区分每一个逻辑信道
- 动态分配带宽

ATM交换的特点

- 以分组传送模式为基础，融合电路传送模式高速化的优点
 - 固定长度的短信元
 - 面向连接且资源预约，减少时延差、传输有序，但有呼损
 - 异步时分复用
 - 动态分配带宽
- 简化了分组通信中的协议，并由硬件对简化的协议进行处理，交换节点不再对信息进行流量控制和差错控制——极大提高了网络传输处理能力



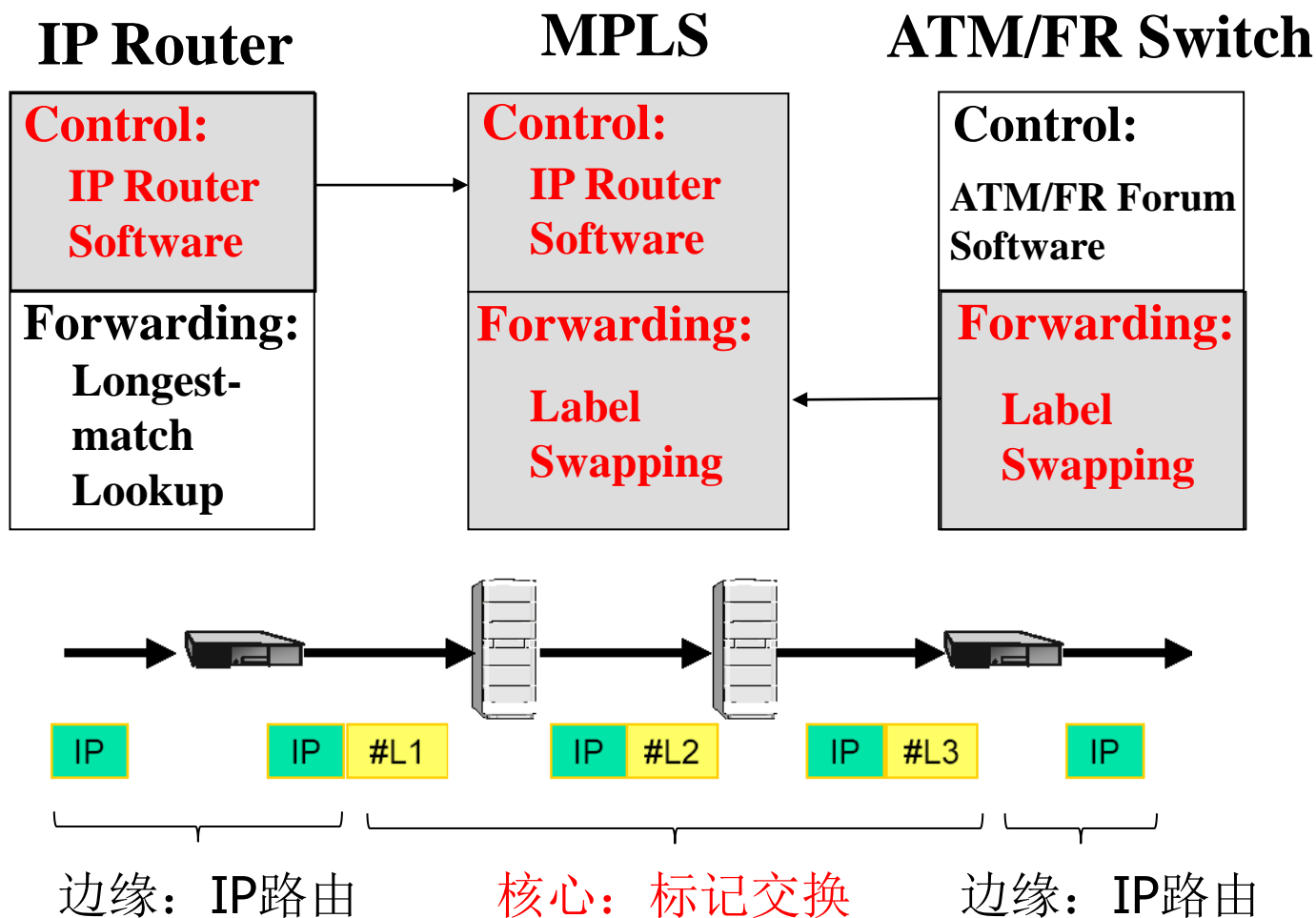


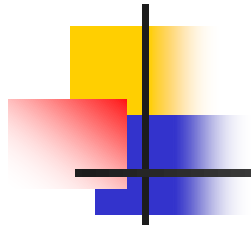
3.8 IP交换

- IP交换指一类IP与ATM融合的技术
 - 叠加模型：IP层运行于ATM层之上，如IPOA
 - 两套地址（ATM、IP）
 - 两种选路协议（ATM、IP）
 - 地址解析（IP→ATM）
 - 集成模型：使用ATM的思想承载IP，如MPLS
 - 一套地址（IP）
 - 一种选路协议（IP）
 - 无地址解析，但需完成3层选路到2层直通交换机构的映射

MPLS (多协议标记交换, Multi-Protocol Label Switching)

- 使用ATM的思想承载IP



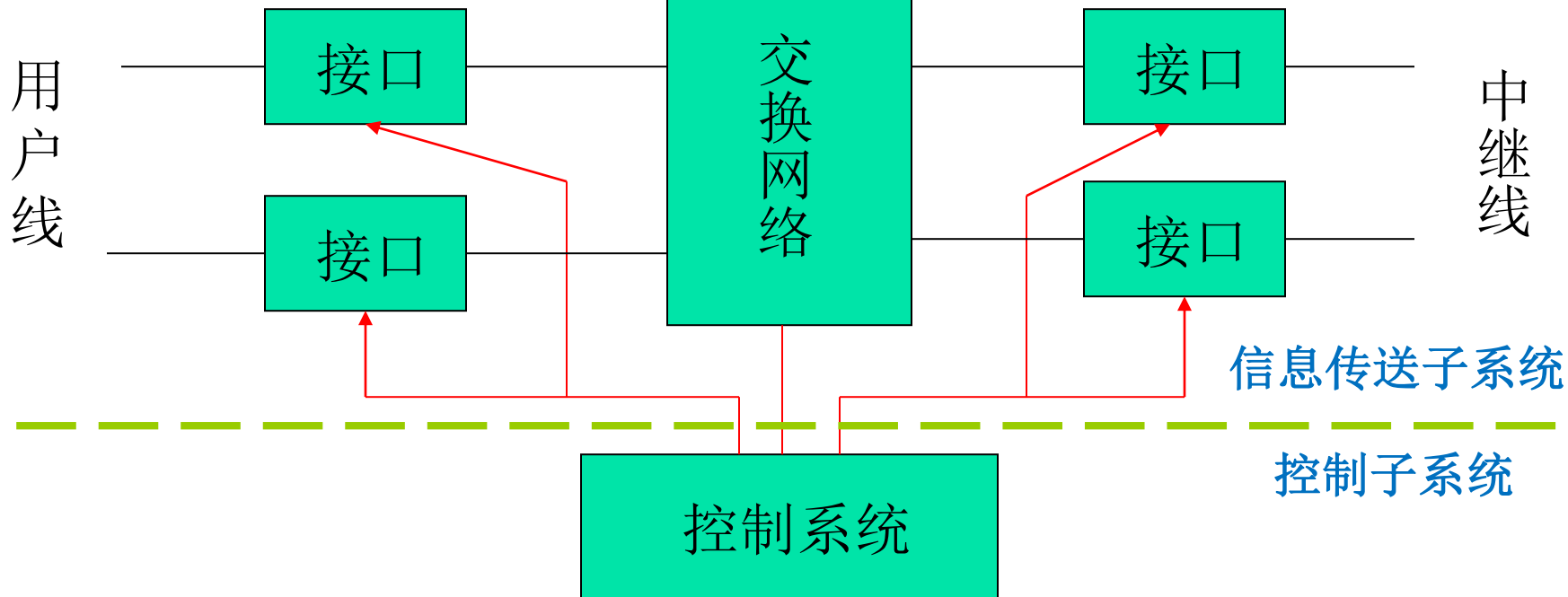


4.交换系统的基本结构

交换系统的基本结构

在任意的入线和出线之间建立连接

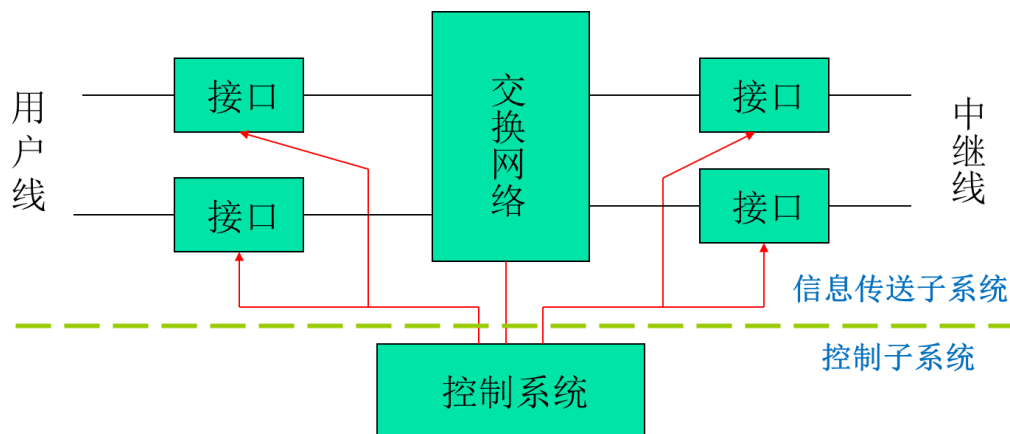
外部线路信号与交换单元信号的转换



控制交换网络、各种接口的动作

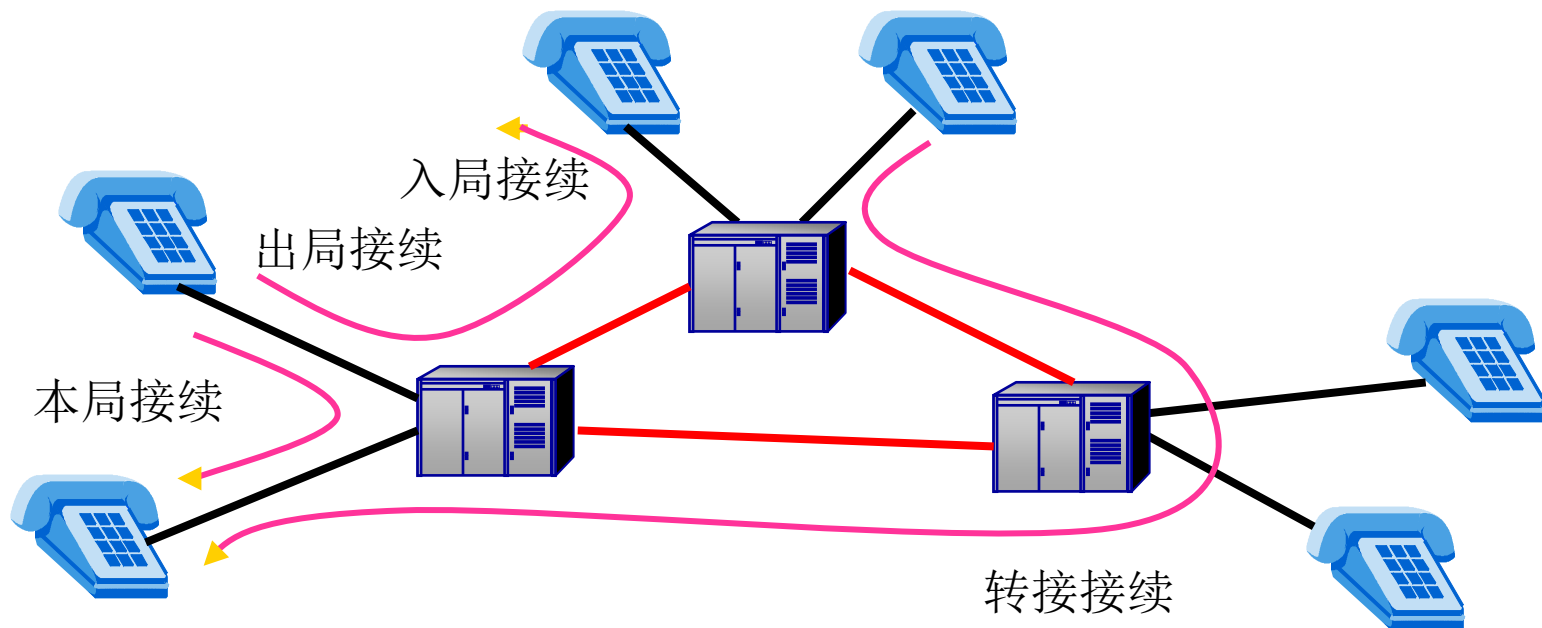
电信交换的基本技术

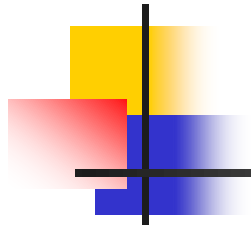
- **互连技术**：交换网络的拓扑结构、选路策略、控制机理、多播方式、阻塞特性、故障防卫
- **接口技术**：模拟用户接口、数字用户接口、模拟中继接口、数字中继接口
- **信令技术**：用户信令、局间信令
- **控制技术**：控制系统的结构方式、处理机间的通信方式、多处理机结构



交换节点的基本功能

- 能正确接收和分析从用户线或中继线发来的呼叫信号、地址信号
- 能按目的地址正确地进行选路以及在中继线上转发信号
- 能控制连接的建立与拆除

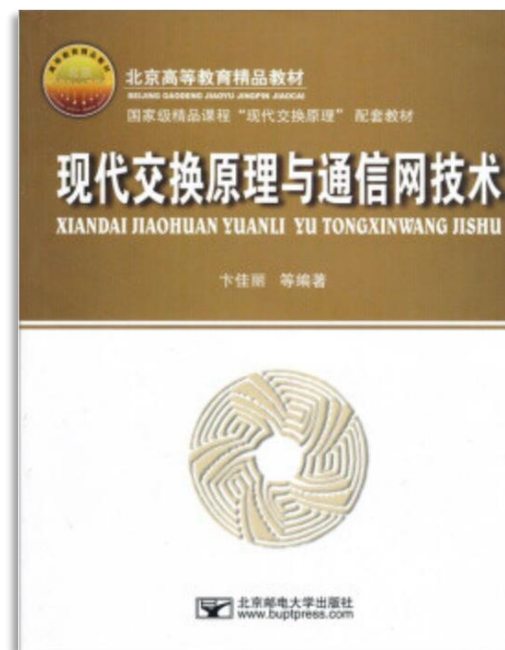




5.课程安排

教学安排

- 上课时间：共16周教学，周一，9-11节（15:40—18:10）
- 上课地点：教2-240
- 考试方式：
 - 平时25% + 实验10% + 期末65%（暂定）
 - 平时：作业、测验（线上+线下）、研讨
 - 期末：闭卷考试
- 教材
 - *现代交换原理与通信网技术*，卞佳丽
- 参考书
 - 程控数字交换与现代通信网，叶敏
 - 软交换系统与IMS，杨放春、孙其博





线上资源

- 中国大学MOOC (<https://www.icourse163.org/>)
 - 选课→现代交换原理 (袁泉)
 - 关键知识点的视频讲解、线上测验
- 教学云平台 (<https://ucloud.bupt.edu.cn/>)
 - 课程讲义
- PTA (<https://pintia.cn/>)
 - 课后作业
- QQ群 (710373441)
 - 通知、答疑

注意：

线上测验和课后作业按时提交，**不可补交！**

为什么要学习《现代交换原理》？

- 只对新技术感兴趣？

看到表象！难以领会！不懂创新！

人工智能

确定性网络

5G

边缘计算

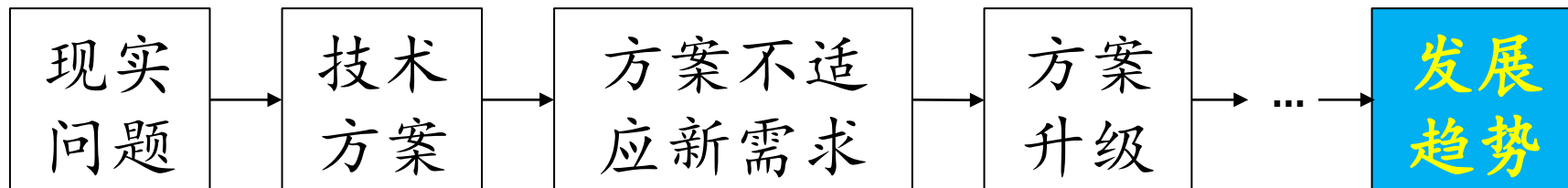
...

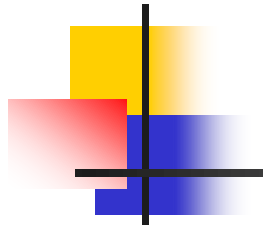
SDN

算力交换

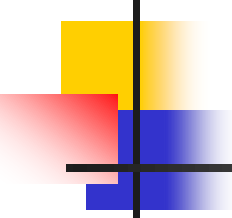
- 从技术演进的视角探索？

知其所以然！发现新问题！





作业

- 
- 从以下几方面比较电路交换、分组交换（VC/DG）和ATM
 - ①支持的业务类型和典型业务特征；
 - ②信息传送单元和传送长度；
 - ③适合的信息复用方式和电路利用率；
 - ④连接类型和信息传输时延；
 - ⑤对业务冲突或过载的处理方式；
 - ⑥所传输信息在语义和时间上的透明性（注：语义透明指信息无差错传输，时间透明指信息低时延传输）
 - 利用第一章MOOC复习，并完成测验



Q & A

袁 泉

yuanquan@foxmail.com

2023年2月20日