

信息与电子工程导论

Introduction to Information Science and Electronic Engineering

5.1 通信与网络

章献民 主编

浙江大学出版社

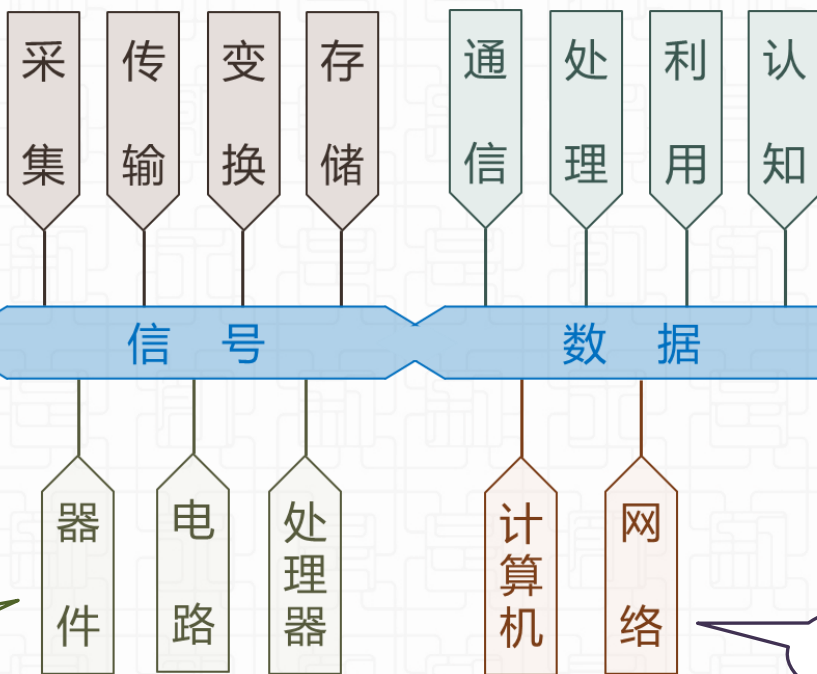
2023年9月

知识图谱

- 2.1 时域和频域
- 2.2 模拟和数字
- 2.3 编码和调制
- 2.4 电磁场与波

2 信号与数据

场与波



3 电子器件与电路

- 3.1 电路模型和基本定律
- 3.2 晶体管 and 集成电路
- 3.3 集成运算放大器

4 逻辑与数字系统

- 4.1 数字逻辑和电路
- 4.2 组合逻辑和时序逻辑
- 4.3 微处理器和计算机系统
- 4.4 嵌入式系统
- 4.5 EDA技术

1 信息与信息技术概述

- 1.1 信息
- 1.2 信息科学技术概述
- 1.3 知识图谱

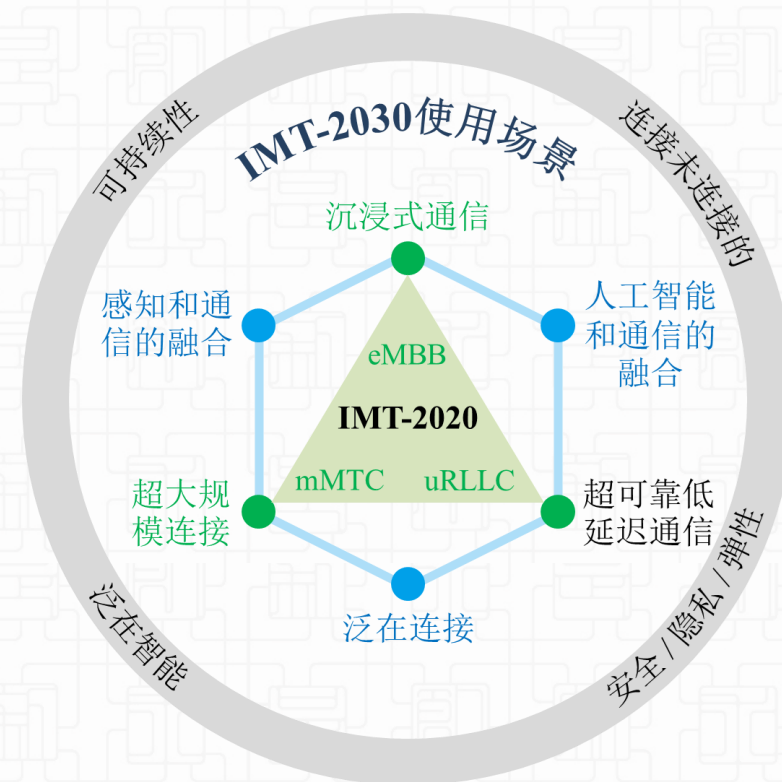
5 互联与计算

- 5.1 通信与网络
- 5.2 物联与数联
- 5.3 计算与智能

内容提要

❖ 通信技术的发展

❖ 计算机网络



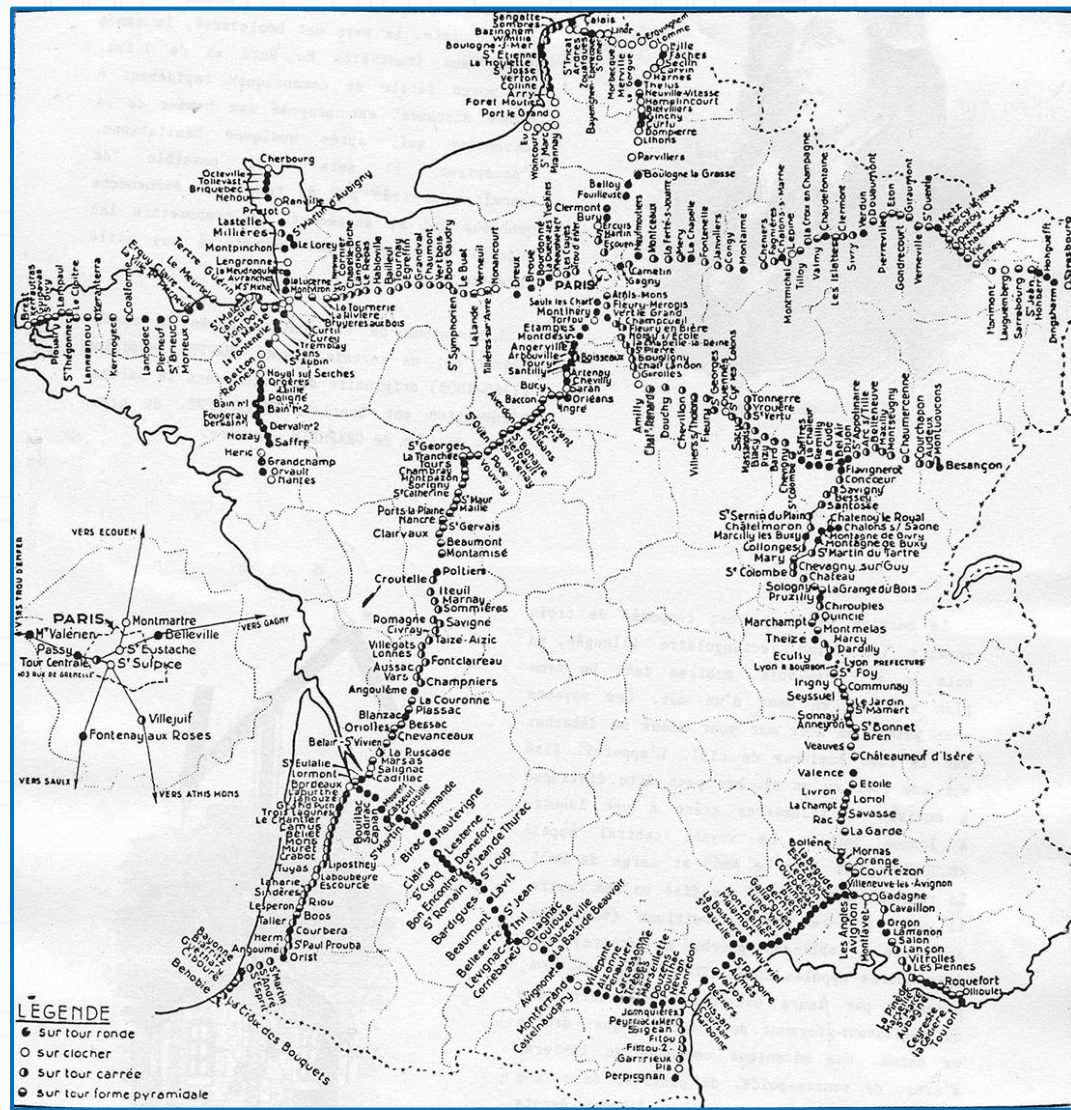
原始的通信方式

- ❖ 烽火台、击鼓鸣金、信鸽、旗语、驿站
- ❖ 法国发明家**克洛德·沙普**在 1792 年发明了信号机
 - 信号机模仿一个手握旗子伸开手臂的人
 - 手臂和手的不同角度组合可以产生几百种可能的信号



Claude Chappe

Dec 25, 1763—23 Jan 23, 1805



法国远距离传讯网络全盛时期示意图

有线电报

❖ 莫尔斯 (MORSE) 电码 (1838)

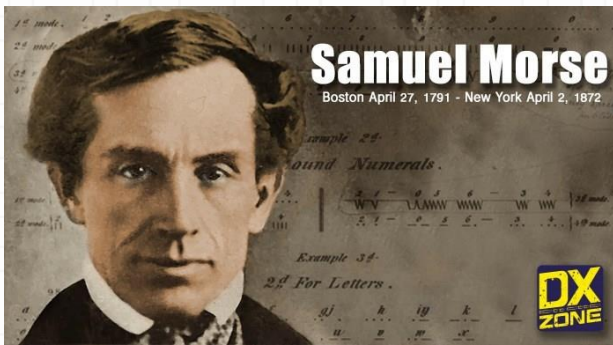
- 点、划、空表示字母和数字

❖ 电报机

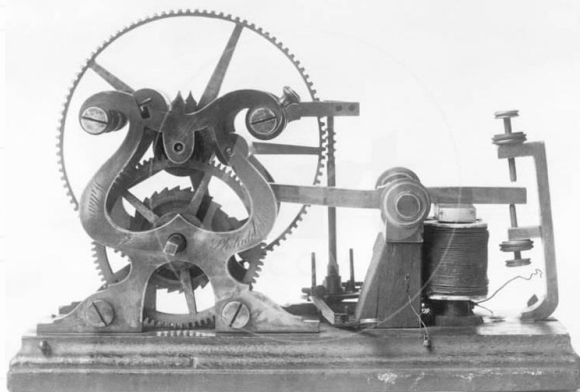
- 能够传递莫尔斯电码

❖ 电报系统:

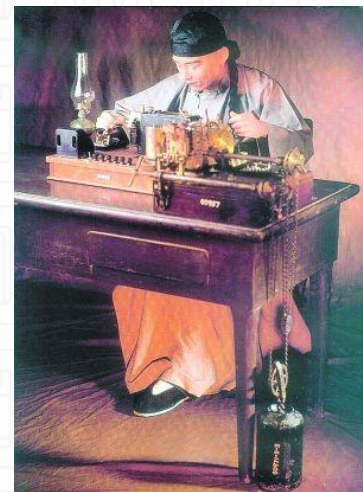
- 1844年5月24日, 莫尔斯启用第一条电报线, 由华盛顿特区至巴尔的摩, 64km。
- Morse sent the historic first message: “**What hath God wrought!**”



Samuel Finley Breese Morse
Apr 27, 1791—Apr 2, 1872



1877年10月11日, 福建巡抚丁日昌 (1813—1882) 在台湾架设完工第一条电报线, 由旗后 (即今高雄) 至府城 (即今台南), 全线长95华里。这是中国人自己修建、自己掌管的第一条电报线, 开创了中国电信的新篇章。



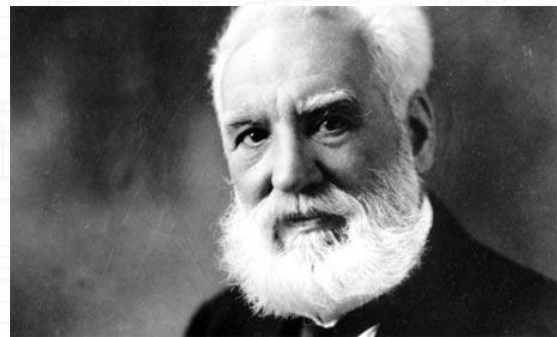
19世纪末的中国电报员

MORSE CODE

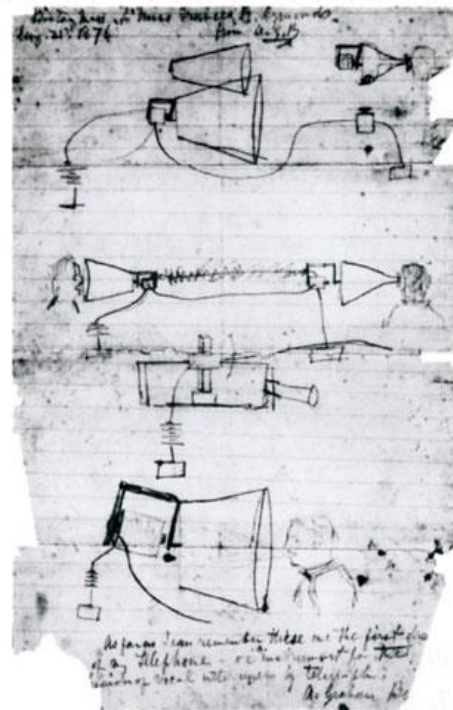
A . —	M — —	Y — . — —
B — ...	N — .	Z — — . .
C — . — .	O — — —	1 . — — — —
D — . .	P . — . .	2 . . — — —
E .	Q — — . —	3 . . . — —
F	R . — .	4 —
G — — .	S . . .	5
H	T —	6 —
I . .	U . . —	7 — — . . .
J . — — —	V . . . —	8 — — — . .
K . — .	W . — —	9 — — — . .
L	X — . . —	0 — — — — —

有线电话

- ❖ 1876年2月14日，贝尔在美国专利局申请电话专利权
- ❖ 1876年6月25日，费城世纪博览会，通过一条几百英尺长的铜线电缆，在一个单方向上用电流传送了声音。
- ❖ 1877年，在波士顿和纽约间架设的第一条电话线路开通，300km。
- ❖ 1877年，贝尔电话公司正式成立
- ❖ 1893年，贝尔电话专利到期，大量电话公司进入竞争，达6000家
- ❖ 1899年，AT&T兼并贝尔电话公司
- ❖ 1879年 (清光绪五年)，招商局在天津架设由大沽码头至紫竹林货栈的电话线，这是中国人自己敷设的第一条电话专用线。



Alexander Graham Bell
Mar 3, 1847—Aug 2, 1922



无线电报

- ❖ 1894年，马可尼去阿尔卑斯山度假时，在电气杂志上读到了赫兹几年前的实验报告：**电磁波存在的，以光速在空中传播**
- ❖ 1895年，马可尼发明了无线电报机
- ❖ 1896年，马可尼在英国取得了无线电报专利权
- ❖ 1897年5月18日，成功进行了**横跨布里斯托海峡**的无线通信
- ❖ 1897年7月成立了无线电报和信号有限公司（1900年更名为**马可尼无线电报有限公司**）
- ❖ 1899年**跨越英吉利海峡**在法国和英国之间建立了无线通信
- ❖ 1900年马可尼为其“调谐式无线电报”取得了著名的第7777号专利
- ❖ 1901年12月12日，实现由英格兰康沃尔（Cornwall）**横越大西洋**与加拿大纽芬兰（Newfoundland）的无线通信，相距3381km



Guglielmo Marconi
Apr 25, 1874—July 20, 1937

1909年获诺贝尔物理学奖

无线通信的发展

❖ 中波通信

- 1901年马可尼使用800kHz中波信号进行了从英国—北美纽芬兰的无线电波的通信试验。

❖ 短波通信

- 1923年发现了短波通信，直到20世纪60年代卫星通信的兴起，它一直是国际远距离通信的主要手段，并且对目前的应急和军事通信仍然很重要。

❖ 电磁波的划分（频率）：

- 长波： 30 ~ 300kHz
- 中波： 300kHz ~ 3MHz
- 短波： 3 ~ 30MHz
- 超短波： 30 ~ 300MHz
- 微波： 300MHz ~ 300GHz

低频

中频

高频

甚高频

微波

波长范围	频率范围	波段名称		
		按波段	按频率	代号
10~1 m	30~300 MHz	米波	甚高频	VHF
1~0.1 m	300~3000 MHz	分米波	特高频	UHF
10~1 cm	3~30 GHz	厘米波	超高频	SHF
10~1 mm	30~300 GHz	毫米波	极高频	EHF
1~0.1 mm	300~3000 GHz	亚毫米波	(太赫兹波)	

公众移动通信的发展

❖ 第一个系统

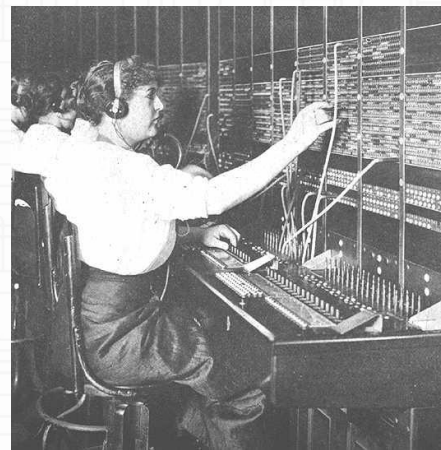
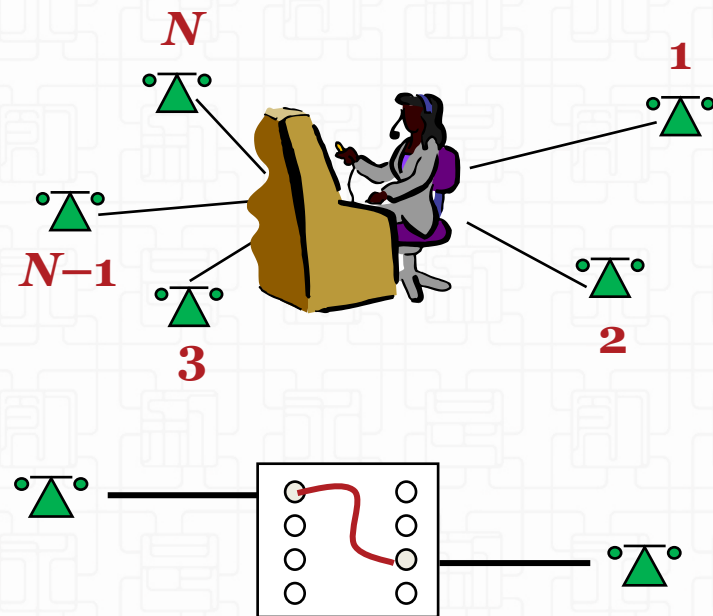
- 1946年美国在圣路易斯和密苏里首先开通了公众移动电话系统。
- 随后，联邦德国（1950年）、法国（1956年）、英国（1959年）等国相继研制了公用移动电话系统。
- 美国贝尔实验室完成了人工交换系统的接续问题。

❖ 存在的问题

- 由于用户成千上万地增加，而在当时一个载频只能为一对讲话者使用，因此频率资源紧张成了发展移动通信系统的瓶颈。

❖ 蜂窝移动通信系统诞生

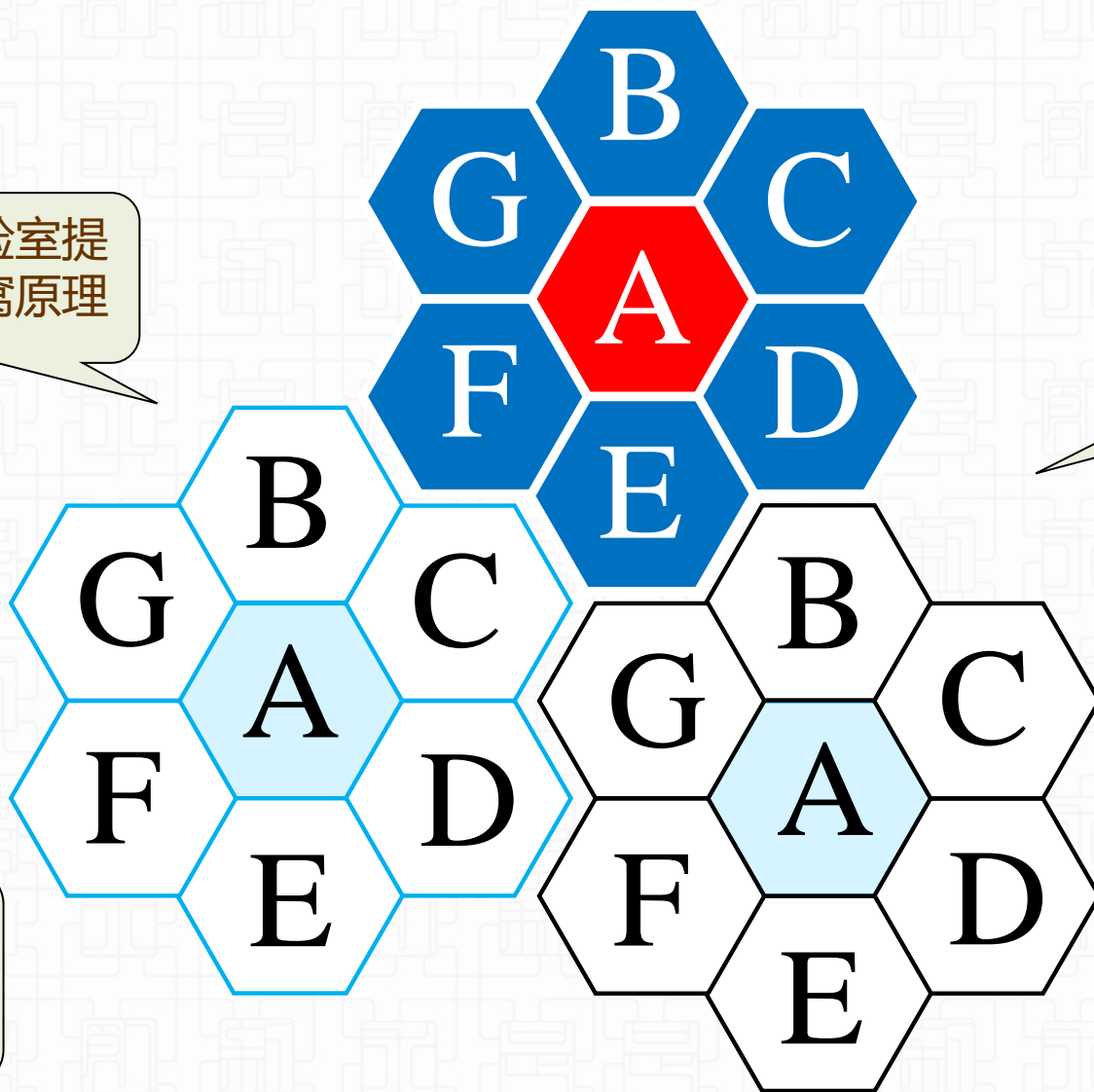
- 1978年以后，美国、日本、瑞典等国利用这一技术先后开通了大容量小区蜂窝移动电话试验系统。



蜂窝移动通信

贝尔实验室提出，蜂窝原理

多址复用技术：频分FDMA、时分TDMA和码分CDMA



把移动通信的区域按照蜂窝形状划分成若干小区，而两个小区之间只要相隔一定距离，无线载频就可以重复使用。

背景：频率资源紧缺，无法满足众多用户的需要！

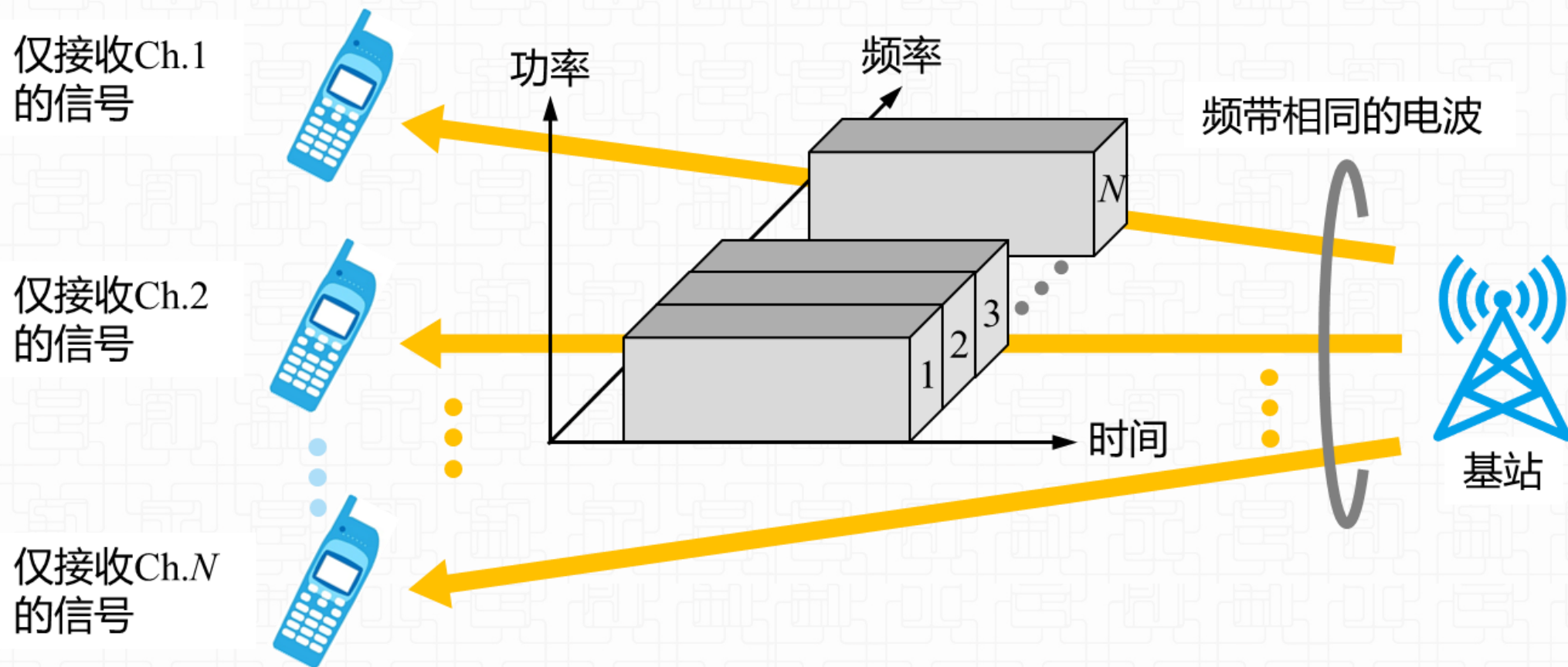
第一代移动通信 (1G)

- ❖ 如果说当年AT&T是有线通信之王，摩托罗拉就是移动通信的开创者。
- ❖ 1973年，经过10年开发，耗资1亿美元，**摩托罗拉工程师马丁·库珀**（被誉为手机之父）研制了世界上第一台蜂窝移动电话**DynaTAC**
- ❖ 1978年，美国贝尔实验室（当时隶属AT&T）研制了先进移动电话系统（Advanced Mobile Phone System, AMPS）。1983年，在芝加哥投入商用。到1985年3月，全美有10万用户。
- ❖ 同期，英国的TACS (Total Access Communication System, TACS)，和北欧的NMT (Nordic Mobile Telephony, NMT)。
- ❖ **1987年11月18日，广东省开通移动通信网 (TACS)**。首批的入网用户只有700人，当时的电话售价就高达20000元，入网费用6000元，每分钟通话费用0.6元。



Martin Cooper
Dec 26, 1928—

频分复用多址技术 (Frequency Division Multiple Access)



选择根据**频率**划分的信道来使用的FDMA

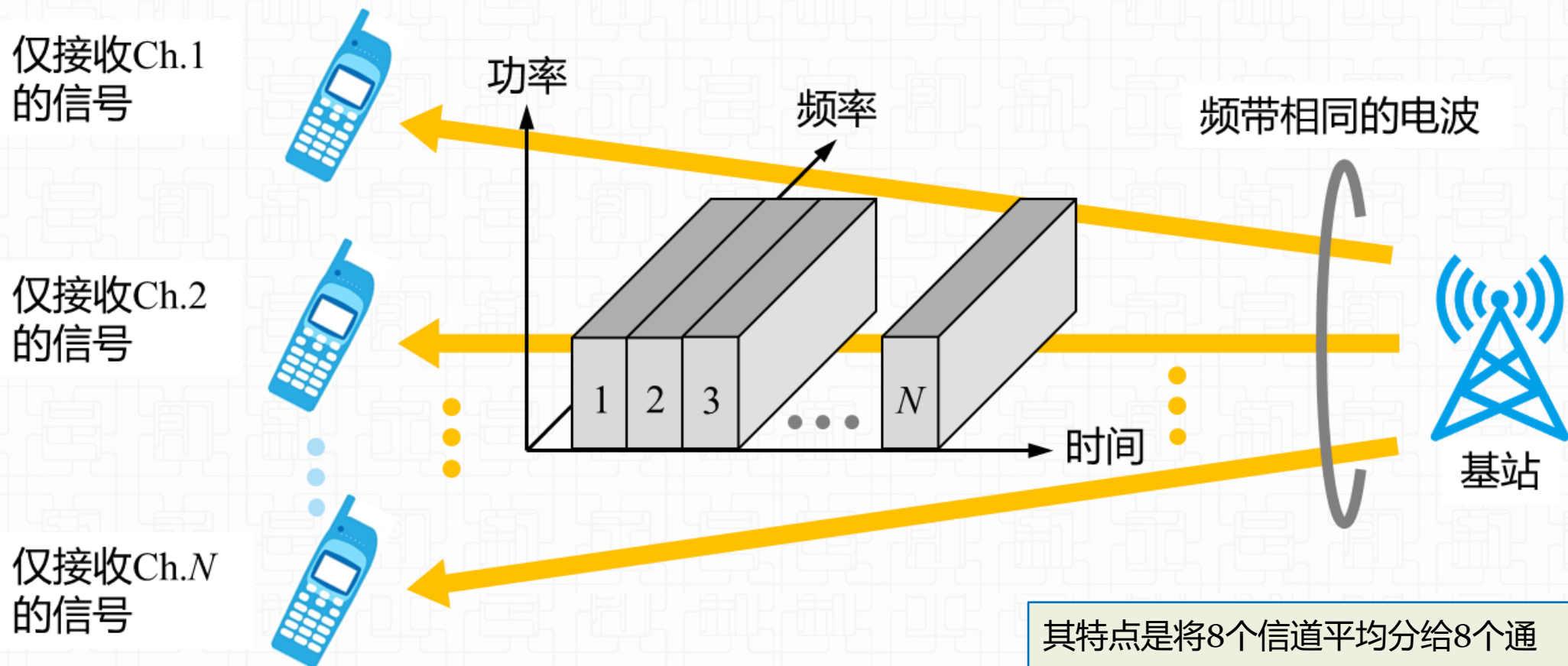
第二代移动通信 (2G)

- ❖ 1982年，欧洲邮电管理委员会成立“移动专家组”负责通信标准研究。
- ❖ **GSM**即是移动专家组 (法语: **G**roupe **S**pécial **M**obile) 的缩写，后来其含义被改为“全球移动通信系统” (**G**lobal **S**ystem for **M**obile communications)，以向全世界推广GSM。
- ❖ 1991年，爱立信和诺基亚率先在欧洲大陆上架设了第一个GSM网络。短短十年内，全世界有162个国家建成了GSM网络，使用人数超过1亿、市场占有率高达75%。
- ❖ 主要通讯标准有**以诺基亚为代表的GSM欧洲标准**和**以摩托罗拉为代表的CDMA美国标准**。最终随着GSM标准在全球范围更加广泛的使用，诺基亚击败摩托罗拉成为全球移动手机行业的霸主。



1995年，中国GSM数字电话网正式开通；1996年，移动电话实现全国漫游，并开始提供国际漫游服务。

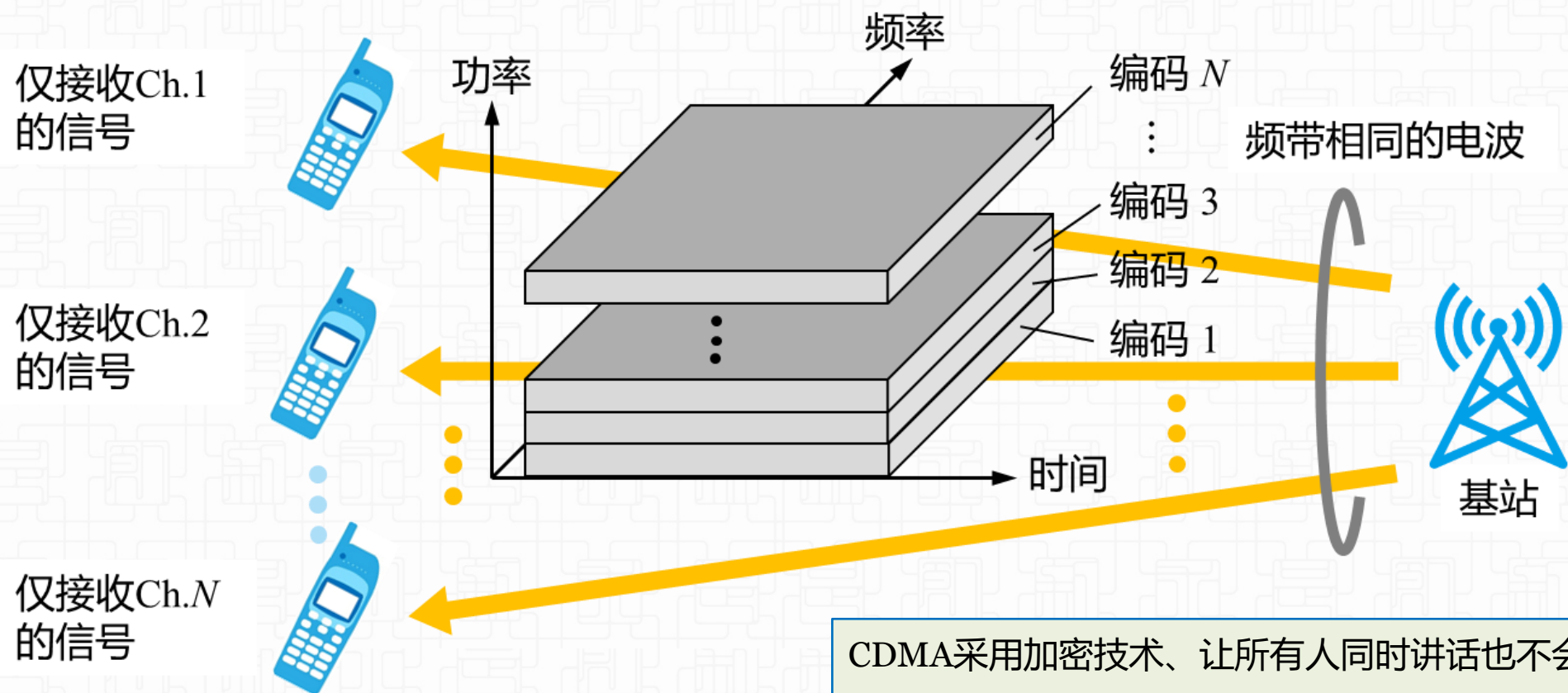
时分复用多址技术 (Time Division Multiple Access)



选择根据**时间**划分的信道来使用的TDMA

其特点是将8个信道平均分给8个通话者，一次只能一个人讲话、每个人轮流用 $1/8$ 的信道时间。

码分复用多址技术 (Code Division Multiple Access)

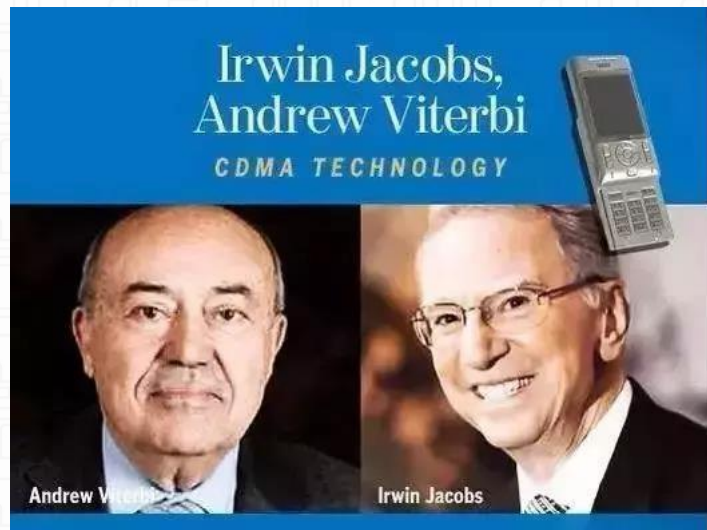


选择根据**编码**划分的信道来使用的CDMA

CDMA采用加密技术、让所有人同时讲话也不会被其他人听到 (编号1只能与编号1通话、编号2只能与编号2通话, 互不干扰), 容量大幅提升。从技术上来看, CDMA系统的容量是GSM的10倍以上。

高通与CDMA技术

- ❖ 1985年7月，雅各布和维特比等7人创立了高通公司。
- ❖ 组织团队攻关基于CDMA的新一代数字移动通信技术，并将CDMA提交到美国**标准**组织TIA和世界标准组织ITU。
- ❖ 把CDMA技术研发过程中所有大大小小的技术全部申请了**专利**，并且通过收购其他科技公司获得其专利来完善自己在CDMA技术上的专利布局。
- ❖ 高通公司开创了一种新的商业模式。
- ❖ 高通对CDMA技术知识产权的垄断，通过专利技术许可的方式，让全世界100多家通信设备生产商和众多的移动手机制造商为它“打工”。



Mar 09, 1935—

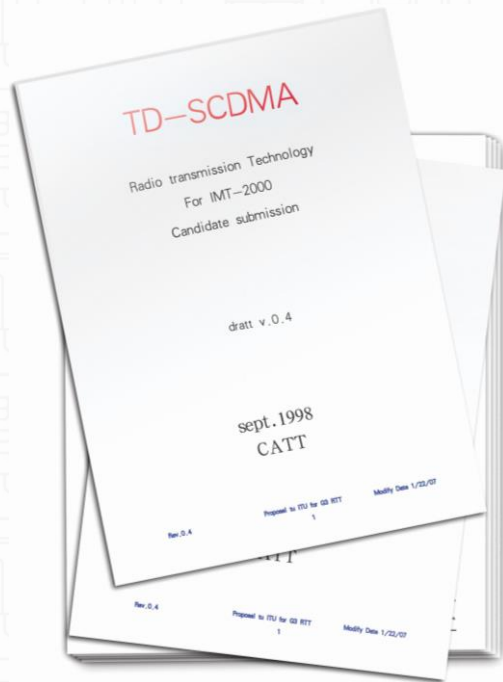
Oct 18, 1933—



Qualcomm Patent Wall

第三代移动通信 (3G)

- ❖ 欧洲与日本等原本推行GSM标准的国家联合起来成立了**3GPP**组织 (3rd Generation Partnership Project), 负责制定全球第三代通信标准。
- ❖ 3GPP参考CDMA技术, 尽量绕过高通设下的专利陷阱, 开发出了原理类似的**W-CDMA**。
- ❖ 高通与韩国联合组成3GPP2 与 3GPP 抗衡, 推出了**CDMA2000**。
- ❖ **TD-SCDMA**是中国主推的第一个国际通信标准。



- ❖ 由于都碰触到了CDMA的底层专利技术, 仍无法避免地被高通啃掉一块利润大饼, 所以高通是3G时代最大的赢家。



2009年1月7日, 工业和信息化部为中国移动、中国电信和中国联通发放3G牌照, 中国进入了3G时代。

第四代移动通信 (4G)

❖ 1999年, IEEE分别推出了 802.11b 与 802.11a 两种 **WiFi** 标准。

❖ IEEE引入OFDM技术, 传输速度从 11Mbps 提升至 54Mbps。

❖ **OFDM+MIMO** 技术, 解决了多径干扰, 提升了频谱效率, 大幅地增加系统吞吐量及传送距离。

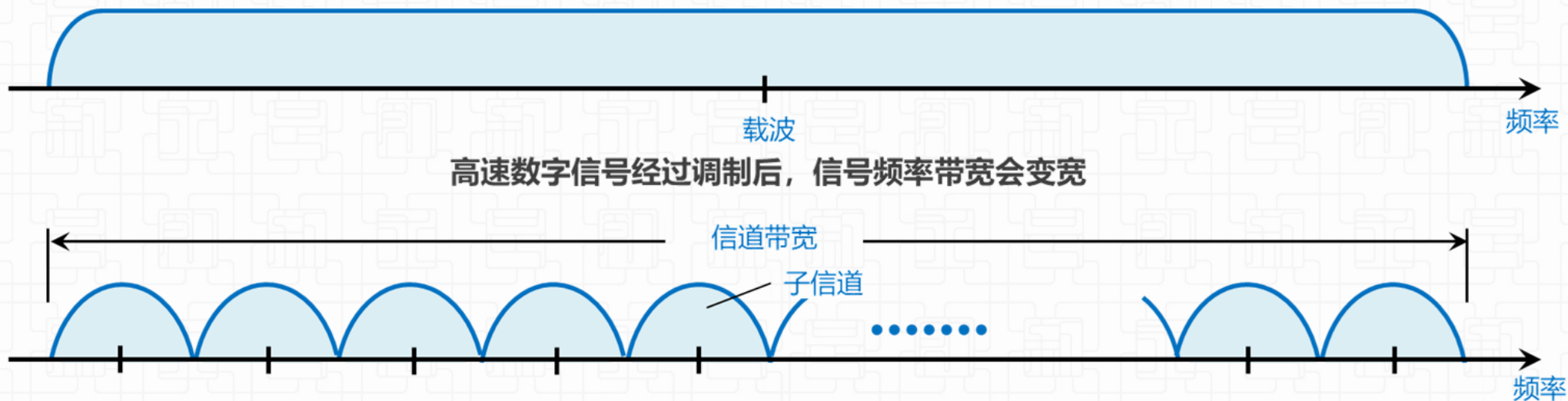
❖ 2008年时, 3GPP提出了**长期演进技术** (Long Term Evolution, **LTE**) 作为3.9G技术标准。

❖ 又在2011年提出了**长期演进技术升级版** (**LTE-Advanced**) 作为4G技术标准, 准备把 W-CDMA 淘汰换掉, 转而采用 OFDM。

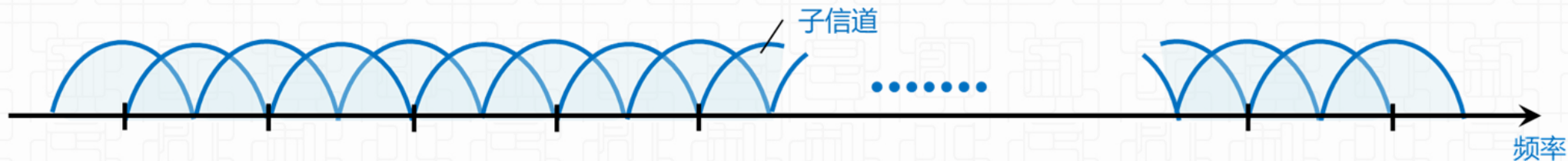
IEEE802.11系列标准

标准	发布时间	频段 (GHz)	信道带宽 (MHz)	调制	传输速率 bps	天线结构
802.11b Wi-Fi 1	1999	2.4	20	DSSS, CCK	11 M	1x1 SISO
802.11a Wi-Fi 2	1999	5	20	OFDM	54 M	1x1 SISO
802.11g Wi-Fi 3	2003	2.4	20	OFDM	54 M	1x1 SISO
802.11n Wi-Fi 4	2009	2.4/5	20 /40	OFDM	600 M	4x4 MIMO
802.11ac Wi-Fi 5	2013	5	20/40/ 80/160	OFDM	6.8 G	8x8 MIMO
802.11ax Wi-Fi 6	2019	2.4/5	20/40/ 80/160	OFDM	10 G	8x8 MIMO

正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 技术



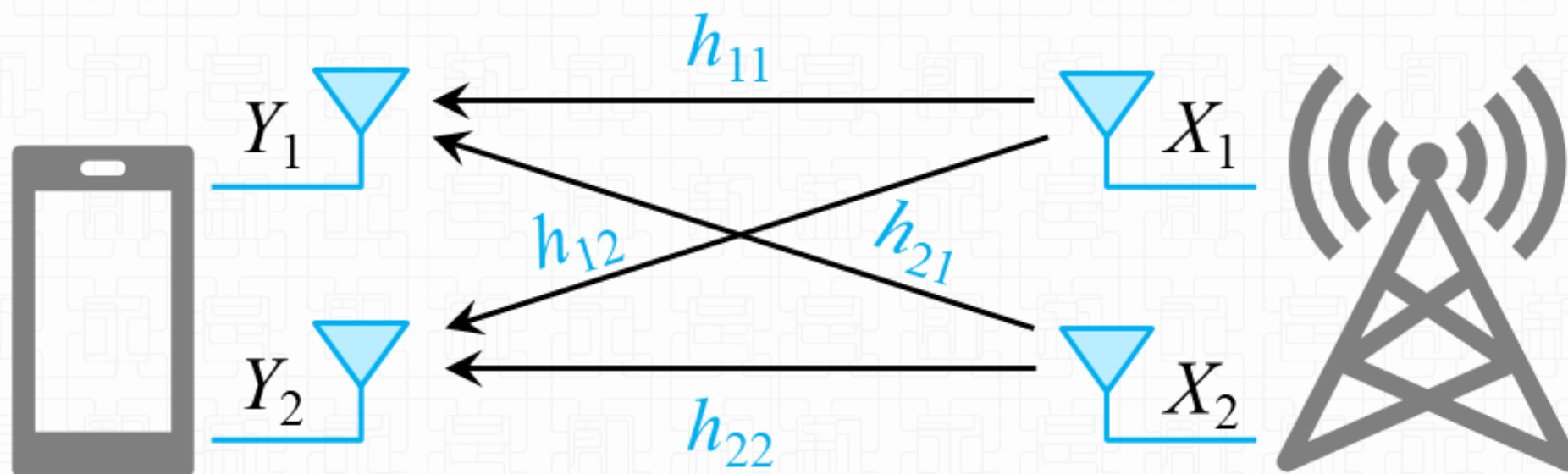
将信道带宽分割成若干个窄带, 分别对低速数字信号进行调制后传输, 到时达接收端后再将其合成为高速数字信号



将各个窄带信号一半的频率重叠后排列, 由于同样的带宽可以发送更多的窄带信号, 所以可以实现一定的高速传输

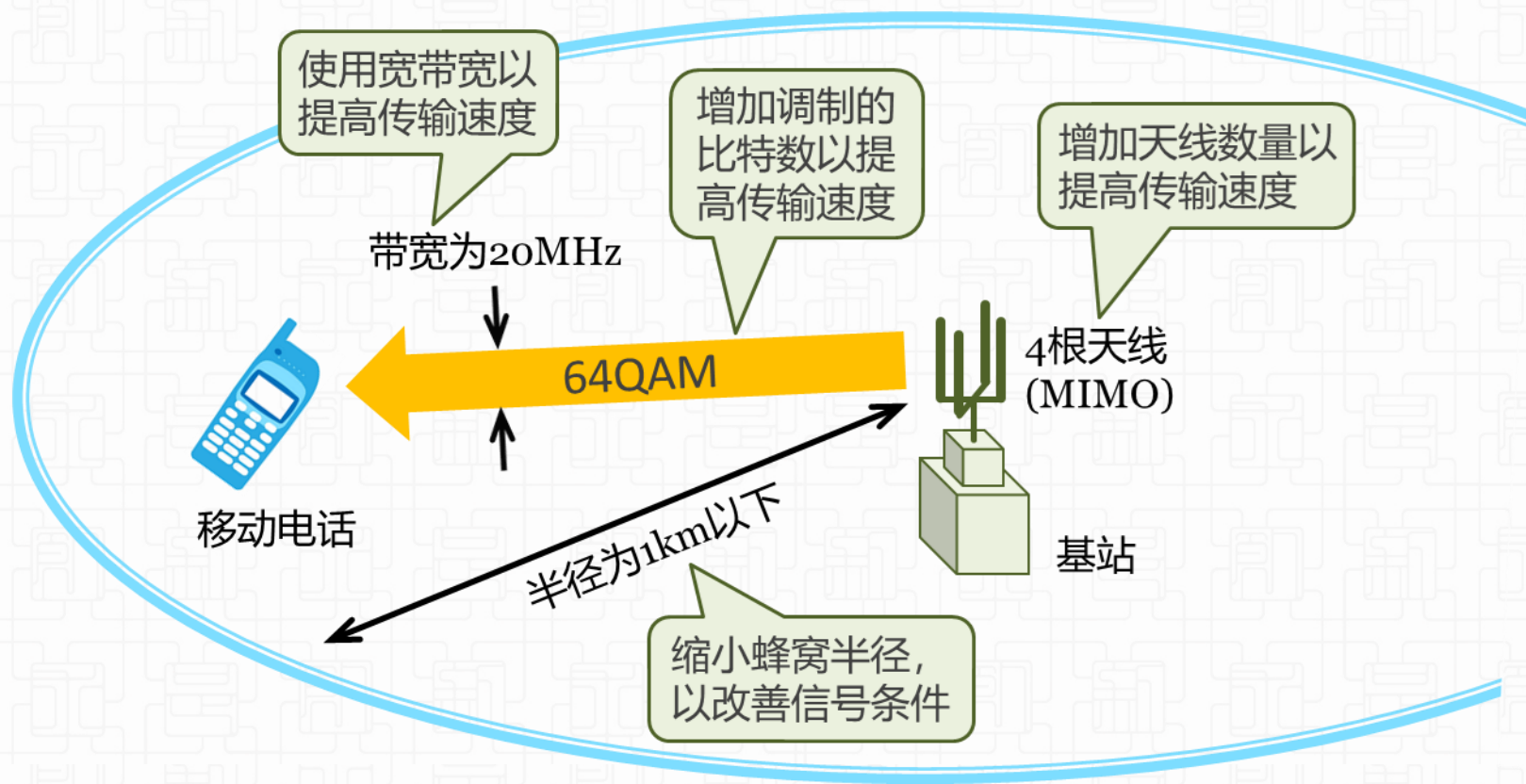
OFDM在1960年代由贝尔实验室发明, 技术框架约在1980年代建立完成。

MIMO (Multi-Input Multi-Output)



$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}$$

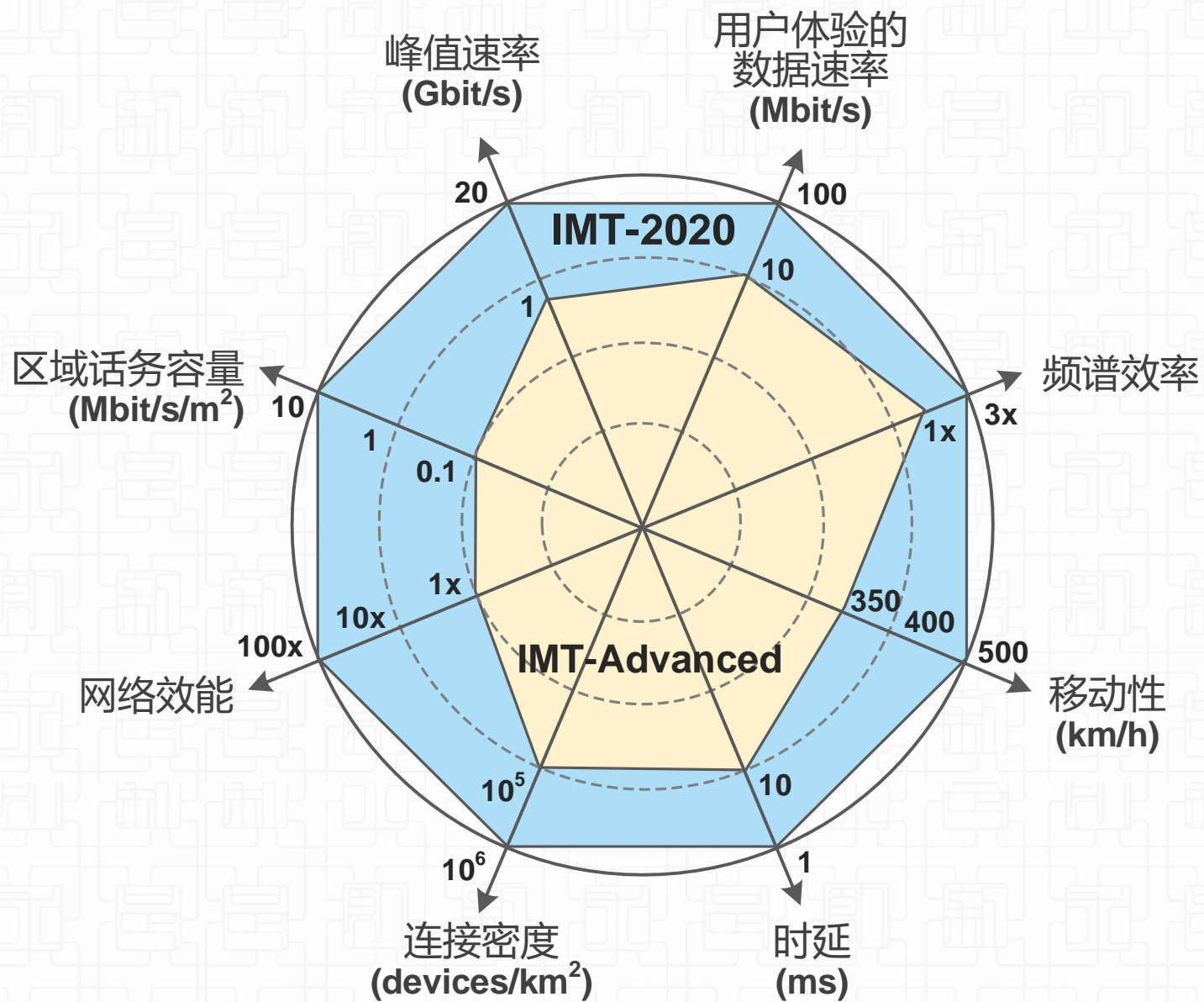
LTE实现高速传输



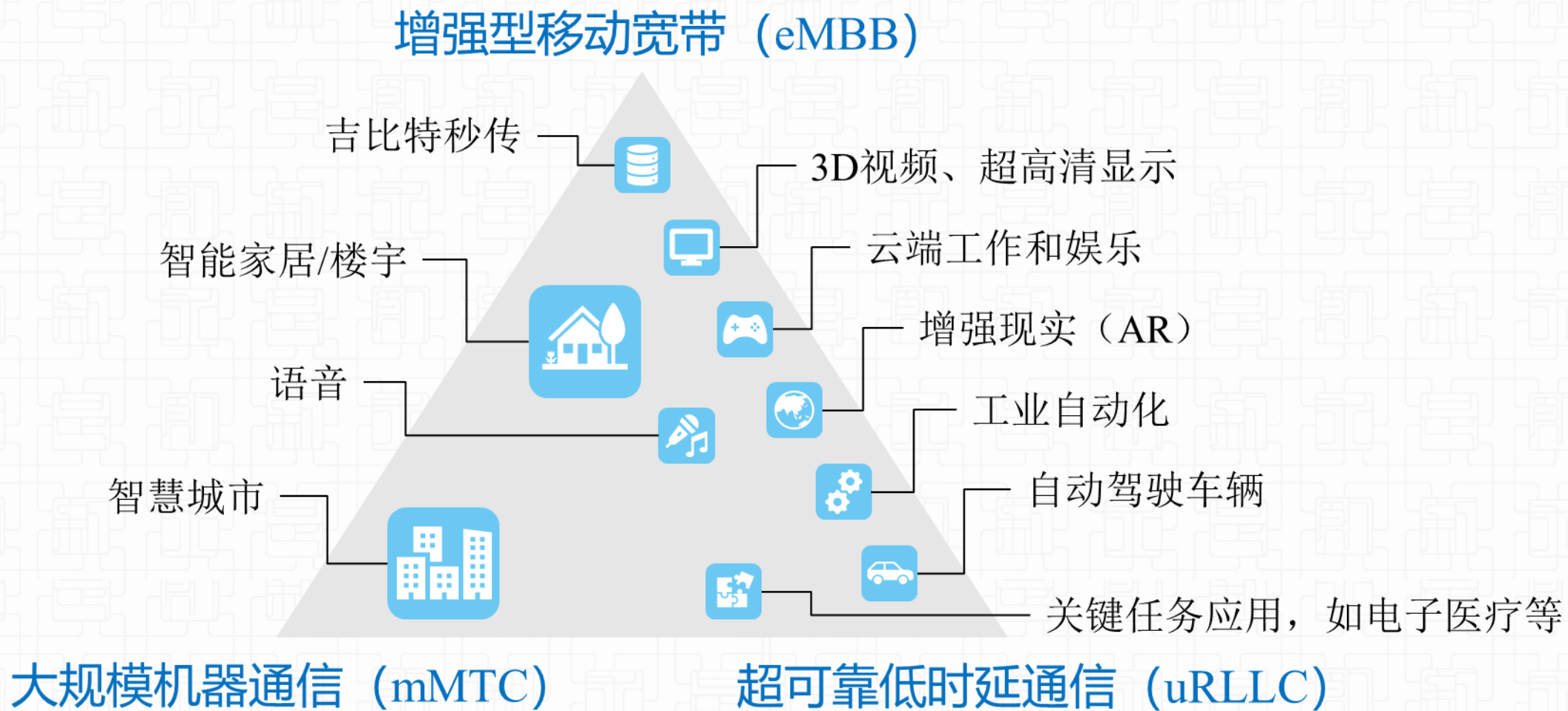
❖ LTE (Long Term Evolution) , 以OFDM/FDMA 为核心的技术, 在20MHz 频谱带宽下能够提供下行100Mbit/s与上行50Mbit/s的峰值速率。

第五代移动通信 (5G)

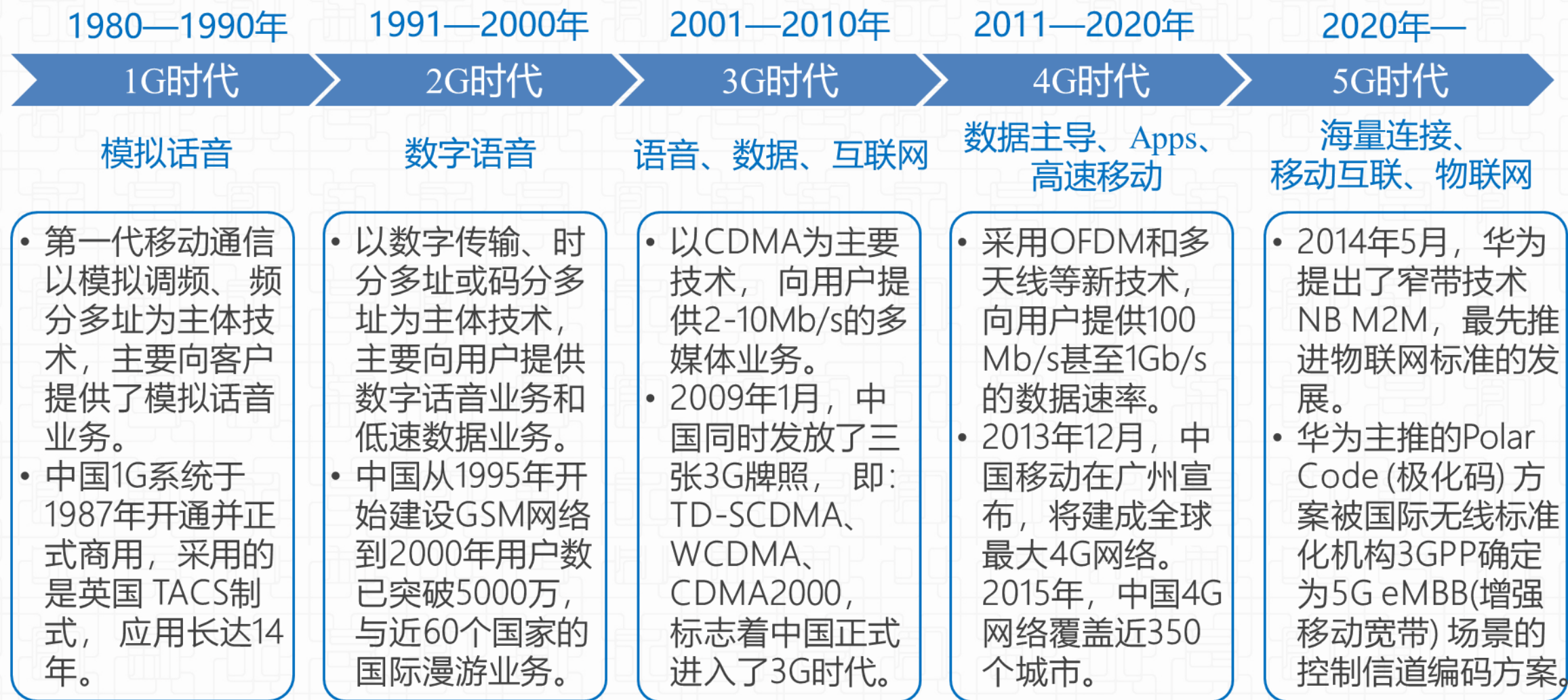
- ❖ 5G 弥补了 4G 技术的不足，在吞吐率、时延、连接数量、能耗等方面进一步提升系统性能。
- ❖ 5G 既不是单一的技术演进，也不是几个全新的无线接入技术，而是整合了新型无线接入技术和现有无线接入技术（WLAN, 4G、3G、2G 等），通过集成多种技术来满足不同的需求，是一个真正意义上的**融合网络**。



5G的三大应用场景



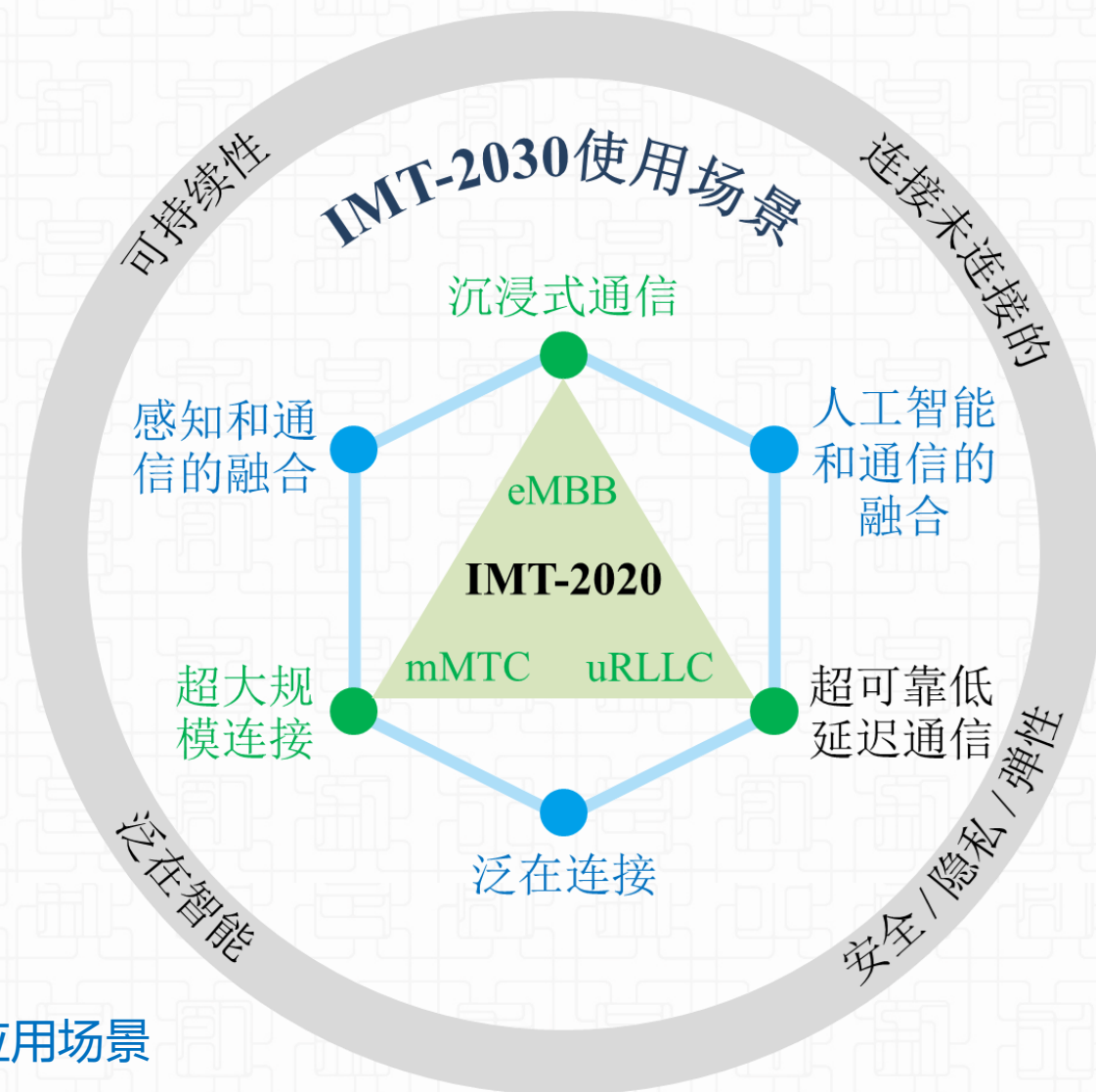
移动通信的时代变迁



第六代移动通信 (6G)

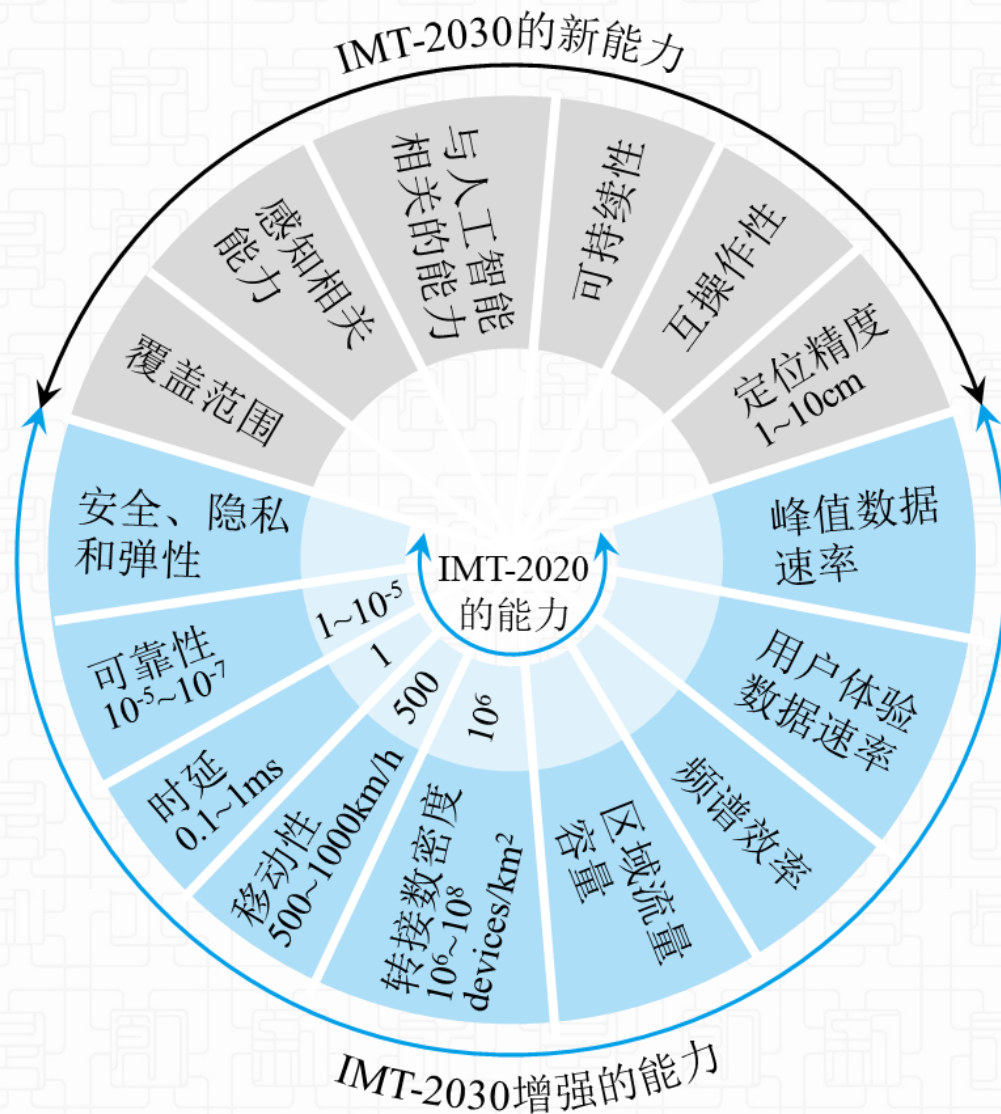
- ❖ 随着5G通信进入规模商用阶段，全球针对6G研发的战略布局已全面展开。
- ❖ 2023年6月12日—22日，国际电信联盟无线电通信部门5D工作组 (ITU-R WP5D) 第44次会议在瑞士日内瓦举行，如期完成了《IMT面向2030及未来发展的框架和总体目标建议书》，为全球6G发展按下了实质性启动键。

6G六大应用场景



IMT-2030能力指标体系

- ❖ ITU的建议书定义了6G的15个能力指标，包括了9个IMT-2030增强的能力和6个IMT-2030的新能力。
- ❖ 6G将充分利用低中高全频谱资源，实现空地一体化的全球无缝覆盖，随时随地满足安全可靠的“人机物”无限连接需求。



光通信的发展

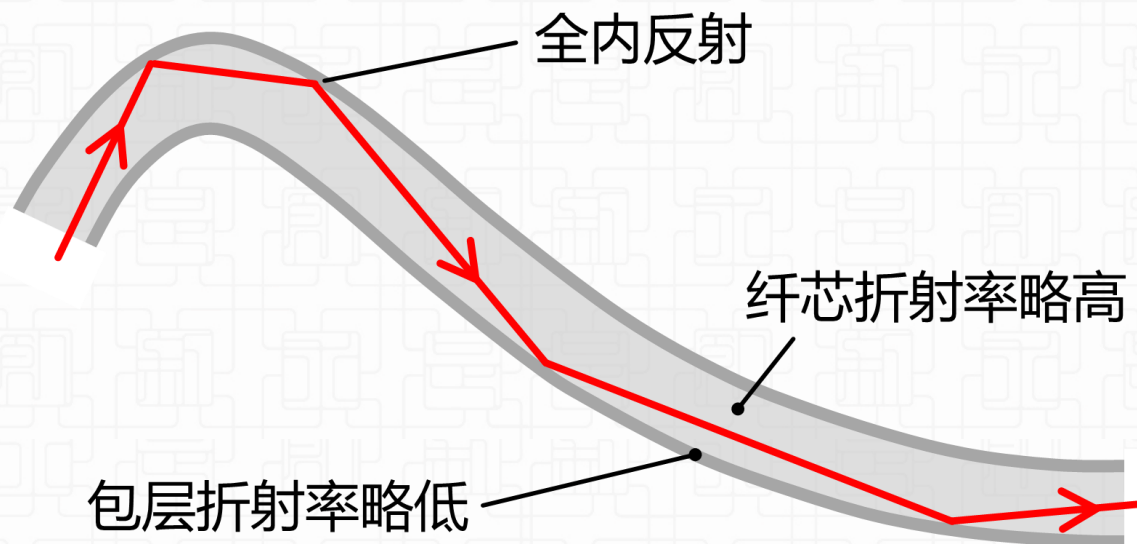
- ❖ 1880年，美国人贝尔发明了用光波作载波传送话音的“光电话”。贝尔光电话是现代光通信的雏型。
- ❖ 1962年第一只**半导体激光器**诞生，随后半导体光检测器也研究成功。1970年发明了LD的双异质结构，使得光源与光检测器的寿命都达到了10万小时的实用化水平。
- ❖ 1966年高锟与Hockham提出用玻璃可以制成低衰减的通信光导纤维；1970年美国康宁公司首先制出20dB/km的**光纤**。1979年发现了光纤1310nm和1550nm低损耗窗口，光纤的衰减系数降到0.5dB/km。
- ❖ 1989年掺铒**光纤放大器**（EDFA）的研制成功，不仅解决了光纤传输衰减的补偿问题，而且为一批光网络器件的应用创造了条件。

光纤

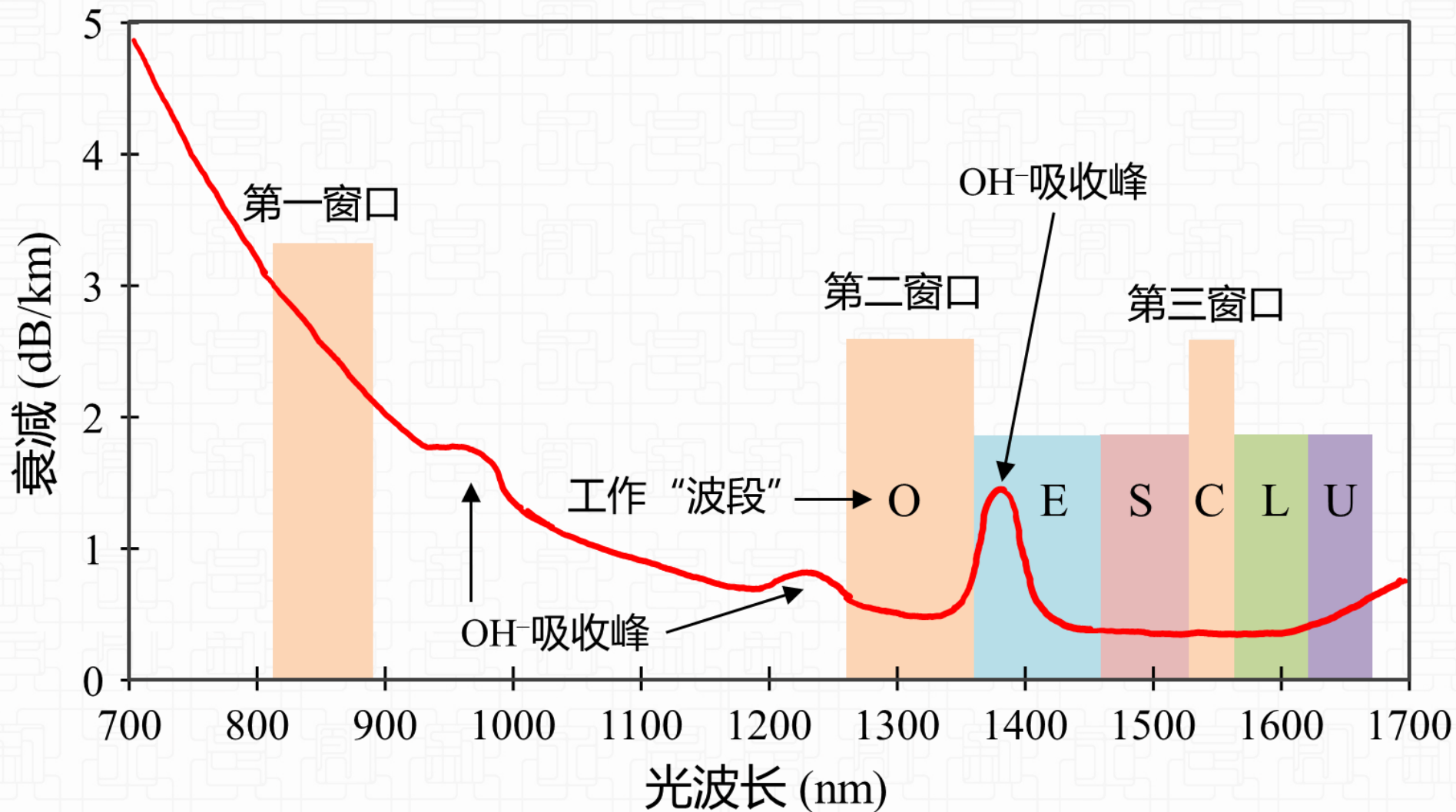
- ❖ 1966年，高锟和霍克哈姆 (C. A. Hockham) 发表了利用光纤进行信息传输的可能性和技术途径。
- ❖ 1971年，世界上第一条1公里长的光纤问世。



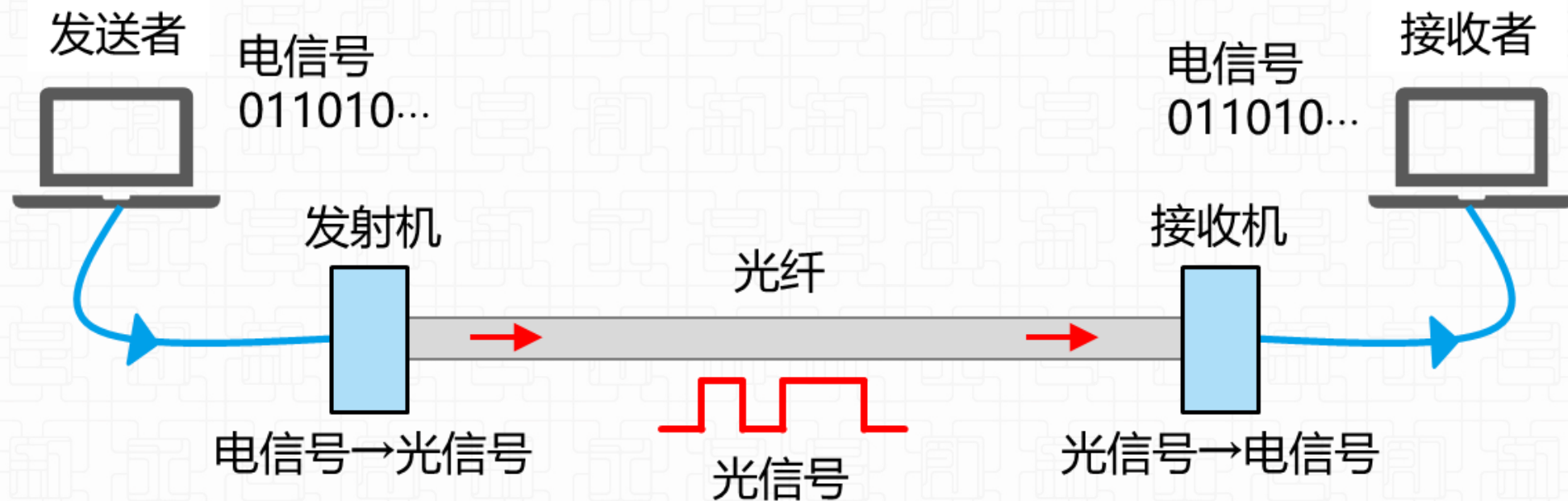
高锟 (Charles Kuen Kao)
Nov 4, 1933—Sep 23, 2018



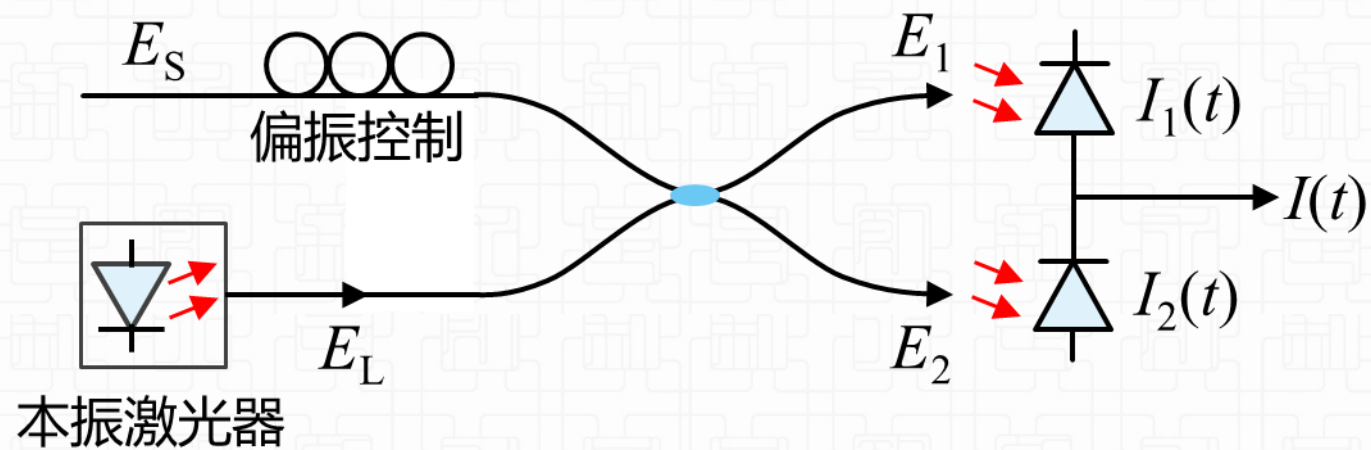
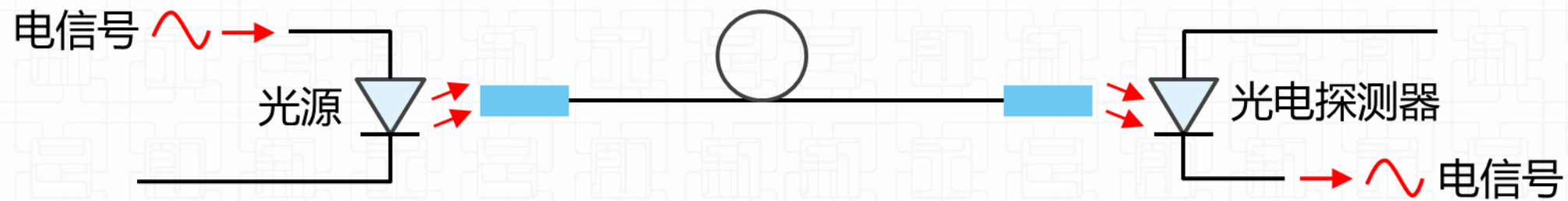
光纤损耗谱



光纤通信

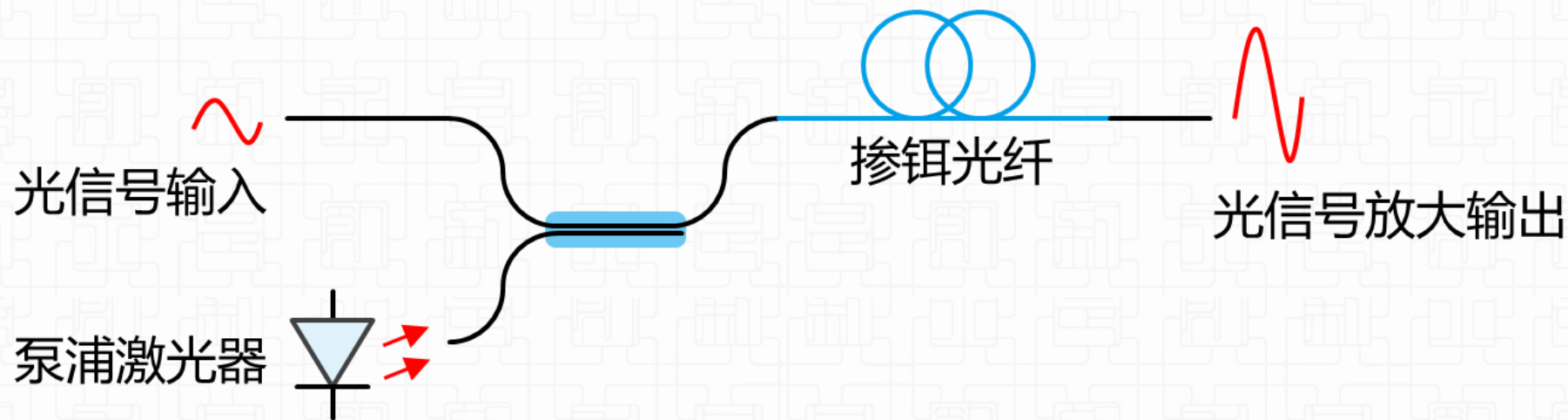


直接检测和相干检测

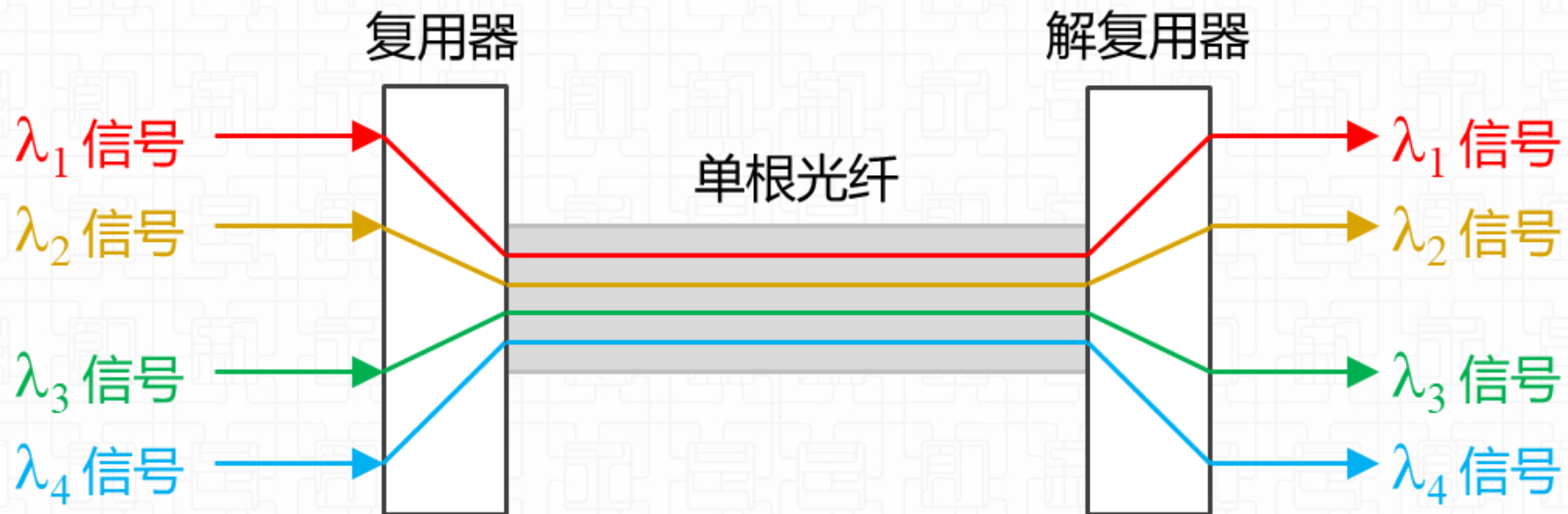


掺铒光纤放大器 (Erbium-doped Optical Fiber Amplifier, EDFA)

- ❖ EDFA的发明堪称光纤通信史上的一个里程碑，1987年由英国南安普顿大学和贝尔实验室首次实现。
- ❖ 掺铒光纤是在石英光纤中掺入了少量稀土元素铒离子的光纤，在泵浦光源作用下，可直接对光信号进行放大。



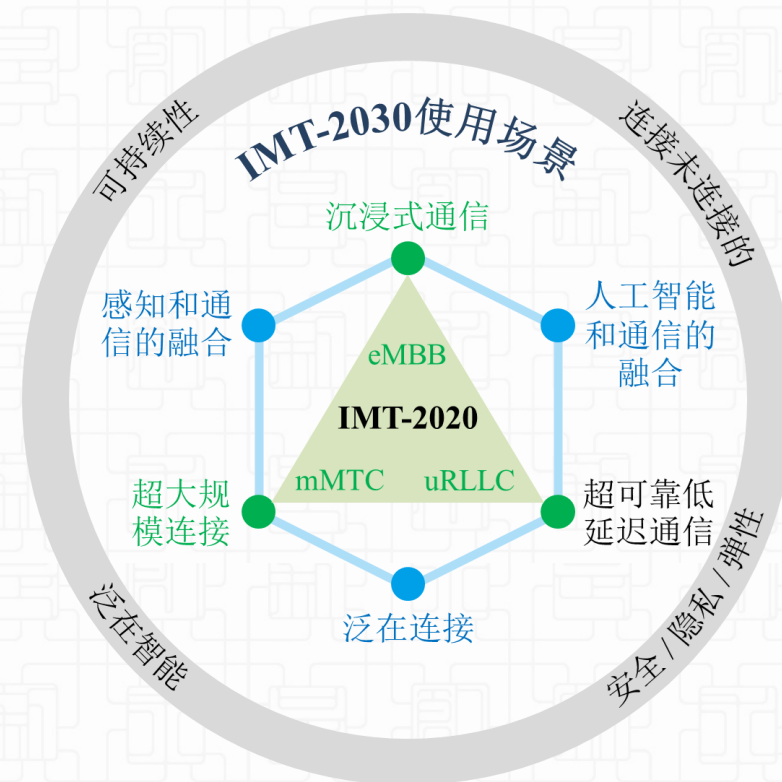
时分复用 (WDM: Wavelength Division Multiplexing)



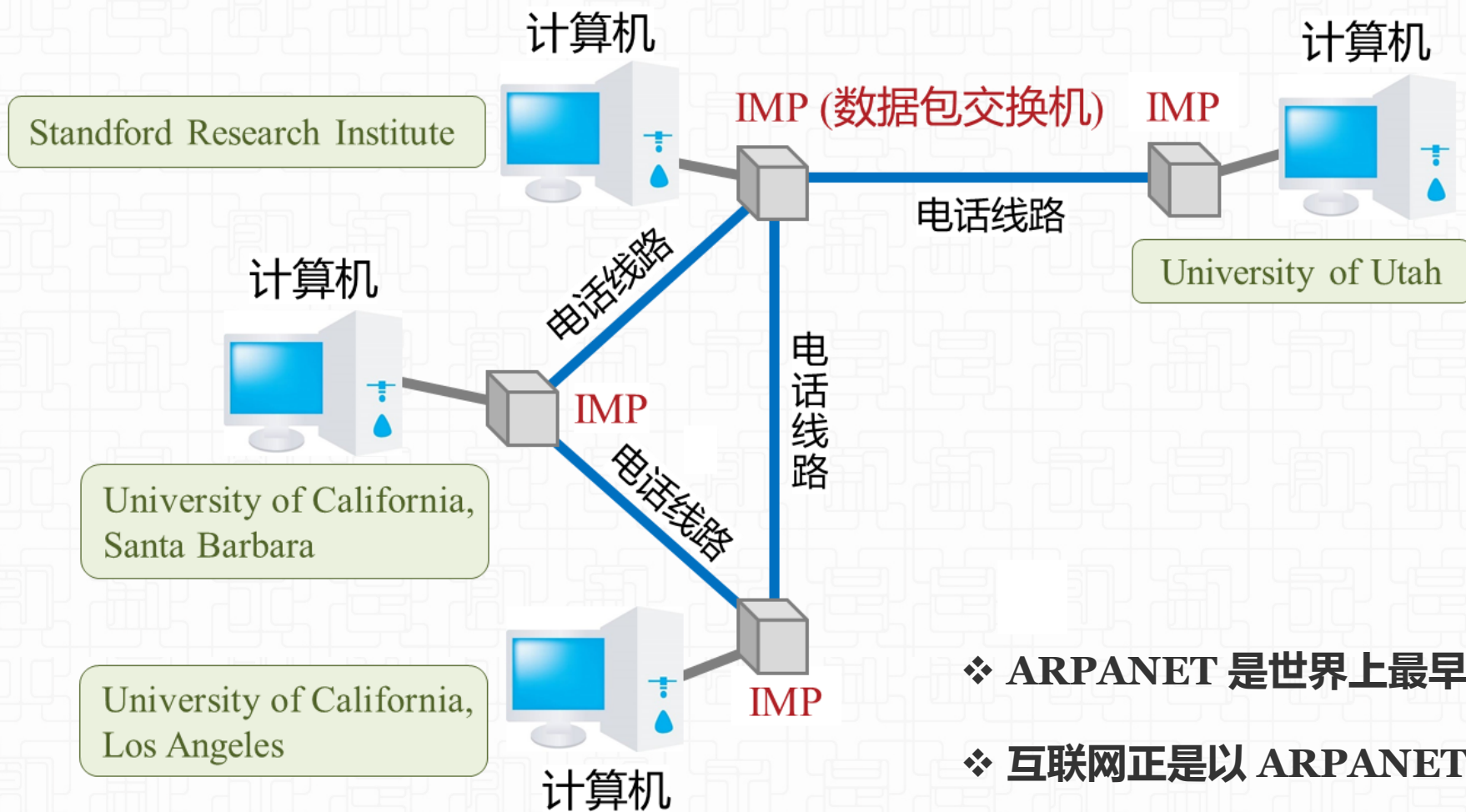
内容提要

❖ 通信技术的发展

❖ 计算机网络

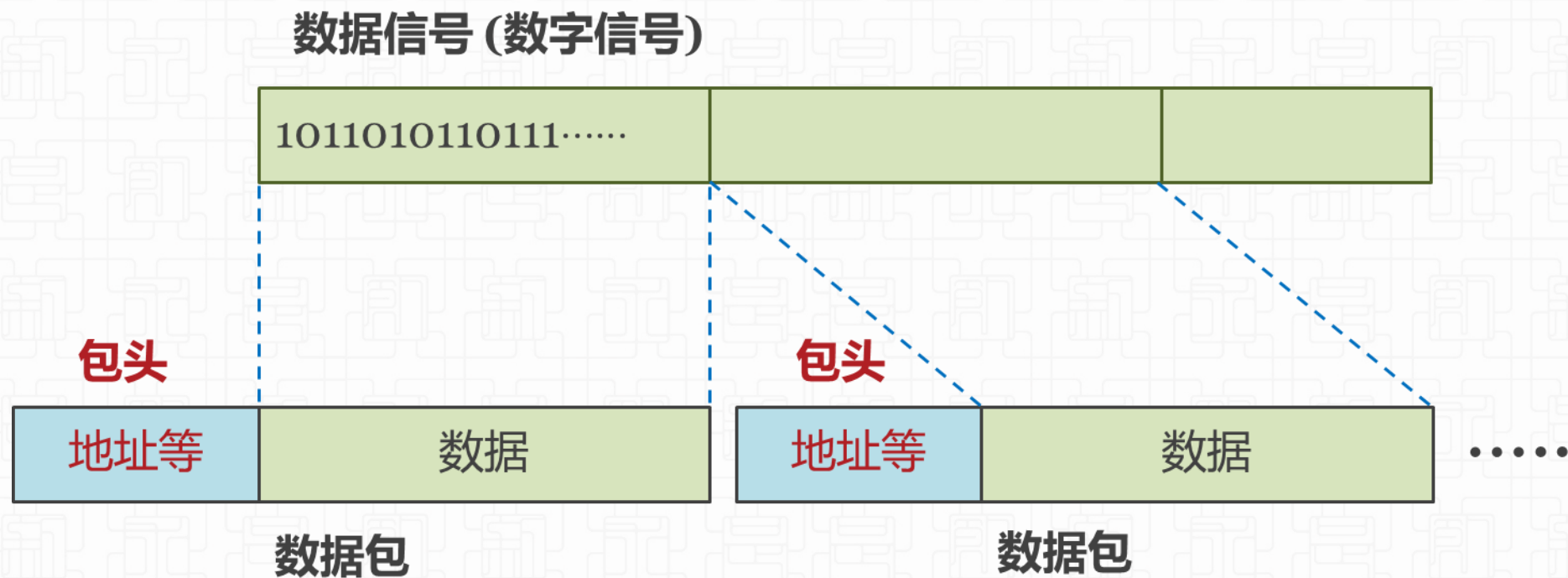


阿帕网 (Advanced Research Projects Agency Network, ARPANET)



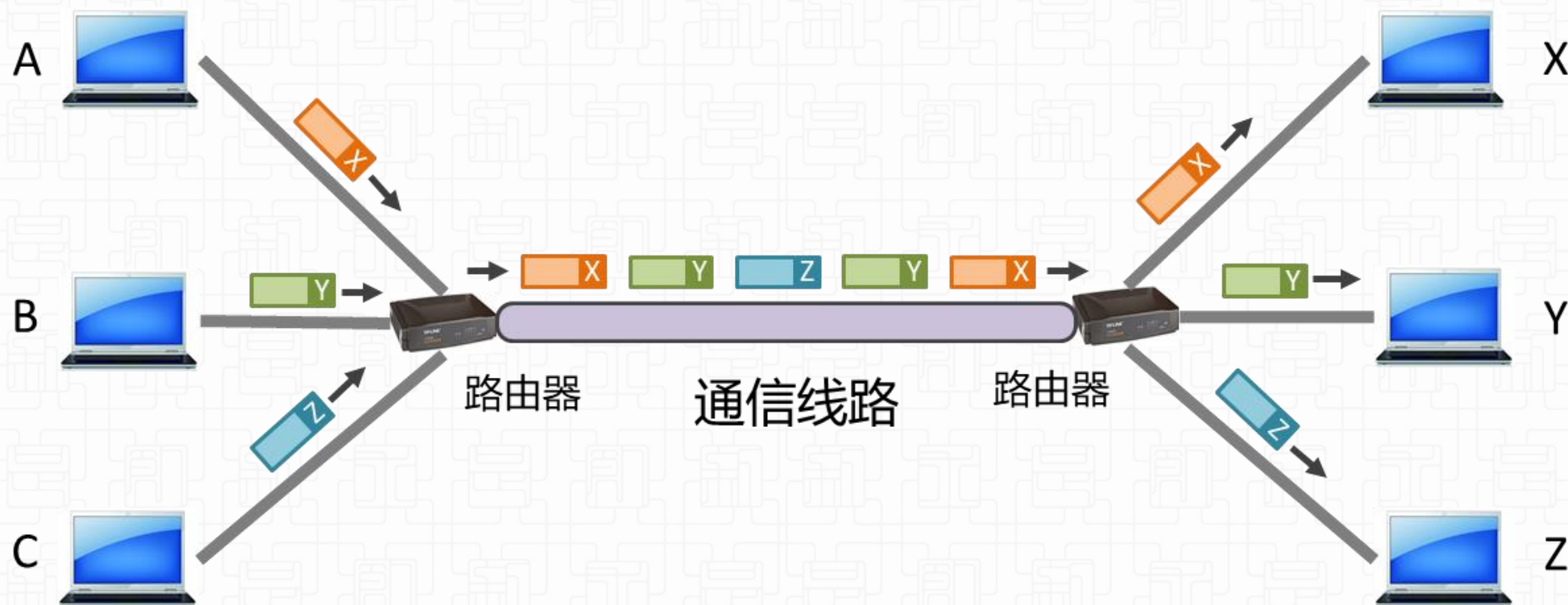
- ❖ ARPANET 是最早使用数据包通信的网络。
- ❖ 互联网正是以 ARPANET 为模型而建造的。

数据包通信



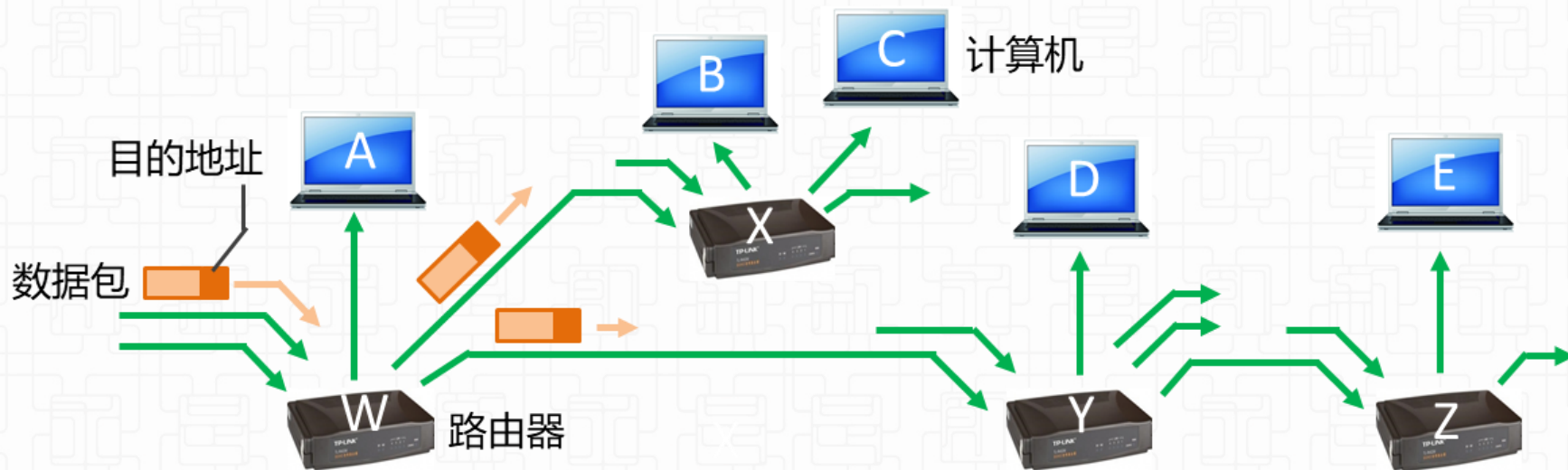
❖ 将数据信号按照一定的长度分开，加上包含地址等的包头后形成数据包。

数据包通信适用于计算机的数据通信



- ❖ 路由器根据数据包包头中包含的接收端目的地址向接收端转发数据包。
- ❖ 即使在同一条通信线路中混合放入去向各异的信号，由于可以通过地址来识别，都可以准确送达目的地。

路由器根据路由表决定转发数据包的路径



接收端计算机的目的地址	下一个路由器的目的地址
A	W (自己)
B	X
C	X
D	Y
E	Y
⋮	⋮

路由器W的路由表

接收端计算机的目的地址	下一个路由器的目的地址
D	Y (自己)
E	Z
⋮	⋮

路由器Y的路由表

路由器表定期与相邻的路由器进行信息的交换，更新数据

网络协议

- ❖ 计算机通信是一个复杂的过程，相互通信的两个计算机系统必须高度协调工作才行，而这种“协调”是相当复杂的。
- ❖ 在计算机之间通信需要特定的无歧义的规则
- ❖ **协议就是一组控制两个或多个通信实体之间相互作用的规则**
 - Internet Protocol (IP)
 - Transmission Control Protocol (TCP)
 - Hyper Text Transfer Protocol (HTTP)
 - Simple Mail Transfer Protocol (SMTP)

开放系统互连 (Open System Interconnection) 参考模型

❖ ISO (国际标准化组织) 在 1985 年研究的网络互联模型

❖ 七层功能



❖ 每一层利用下一层提供的服务与对等层通信; 每一层使用自己的协议。

TCP/IP四层模型

OSI参考模型



TCP/IP参考模型



各种服务及应用程序通过该层利用网络。
常用协议：HTTP、FTP、SMTP等

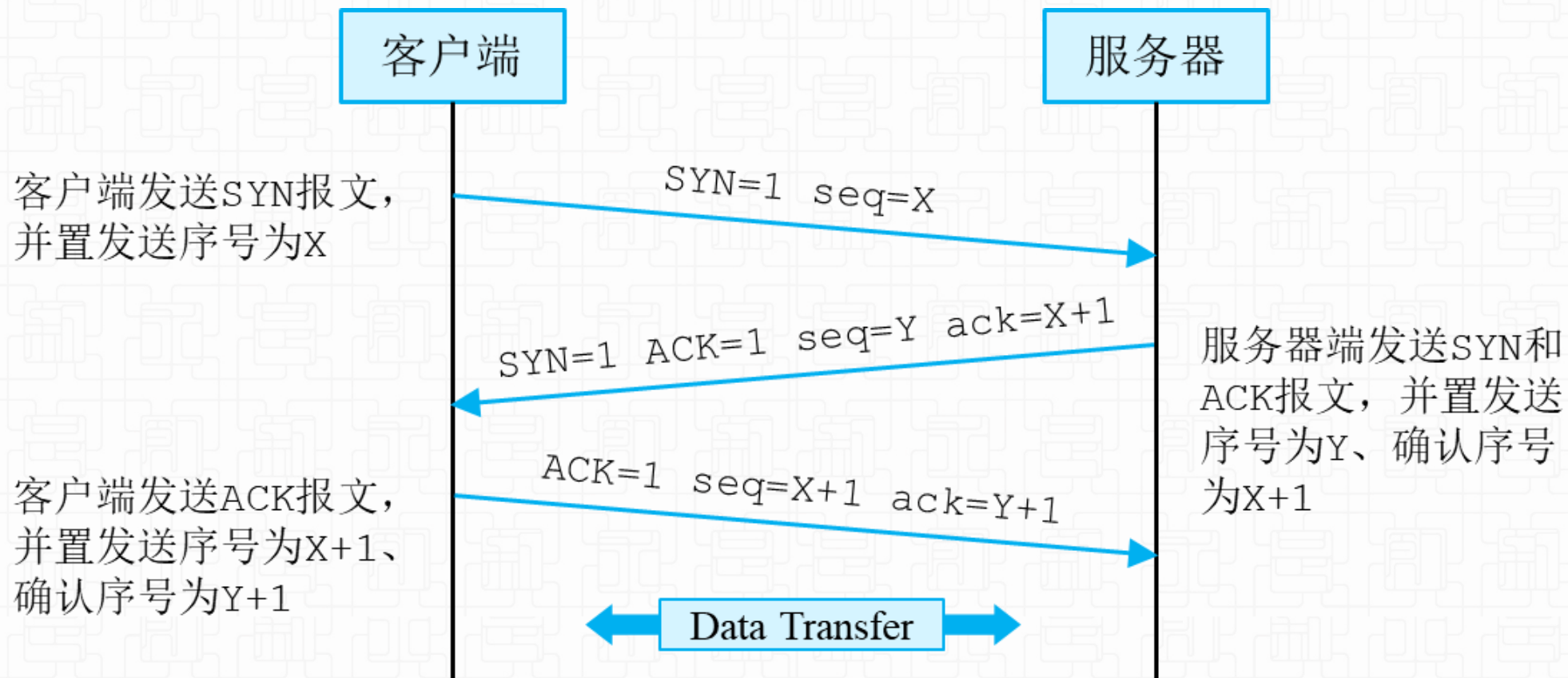
确认数据传输及进行纠错处理。常用协议：
TCP、UDP（用户数据报协议）

负责数据的传输、路由及地址选择。常用
协议：IP、ARP（地址解析协议）

针对不同物理网络的连接形式的协议。如：
Ethernet、FDDI、ATM

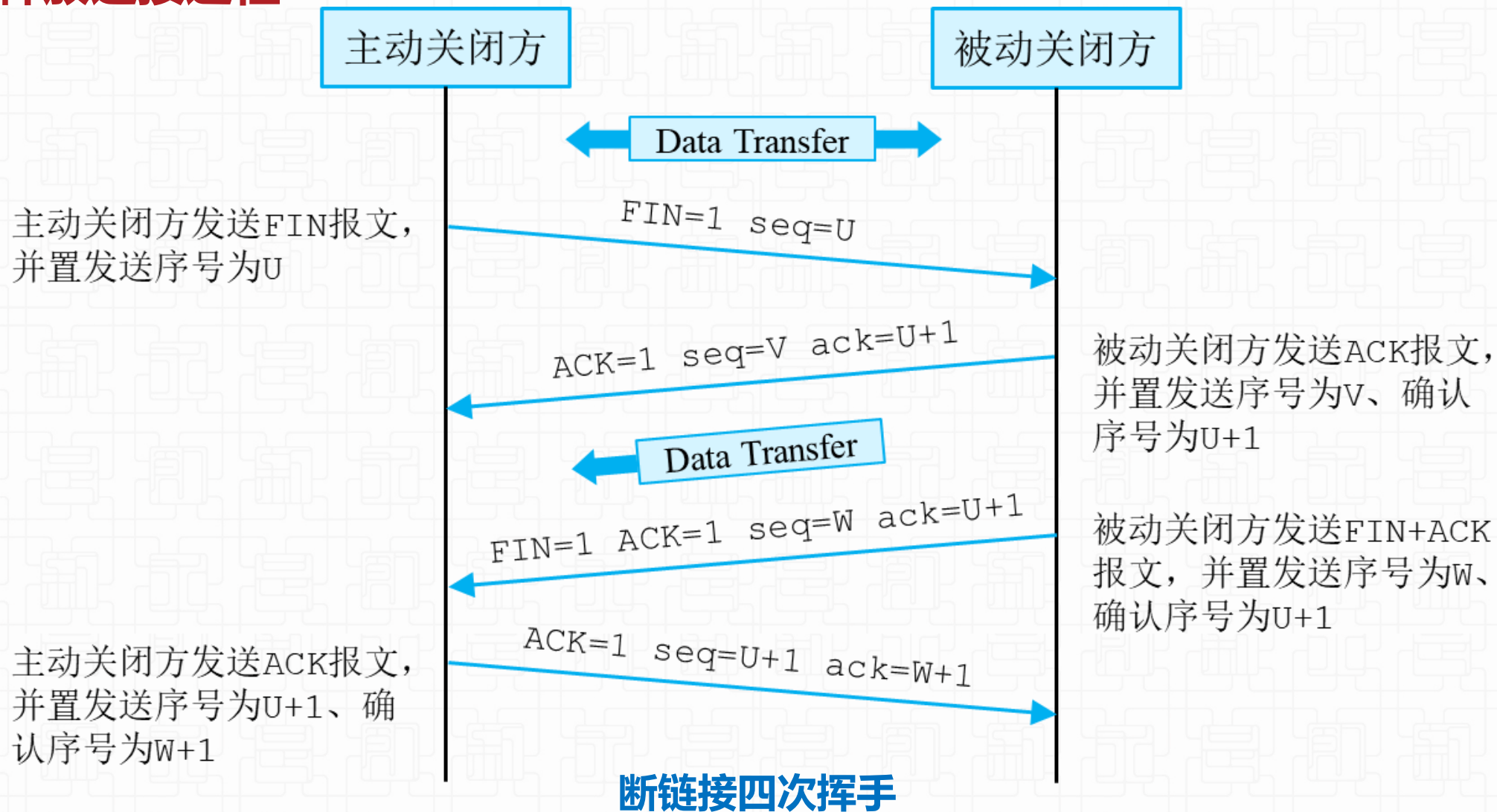
❖ 一组协议的代名词，它还包括许多协议，组成了TCP/IP协议簇。

TCP连接建立过程



建链接三次握手

TCP释放连接过程



网络地址

❖ 路由是根据32-bit **IP 地址**进行的

❖ 网络层地址由两部分地址组成：

- 网络层地址和主机地址
- 网络层地址是全局唯一的

❖ 用四位加点十进制数表示

- 115.231.171.70

❖ 主机也用名字来标识

- 容易记忆；分层名字结构
- www.zju.edu.cn

❖ 域名系统 **Domain Name System (DNS)** 提供名字和地址之间的转换

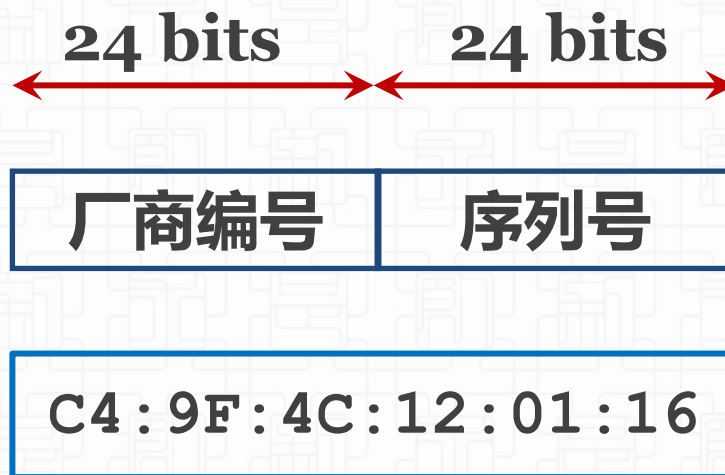
IP 地址

网络地址	主机地址
115	231.171.70

MAC/物理地址



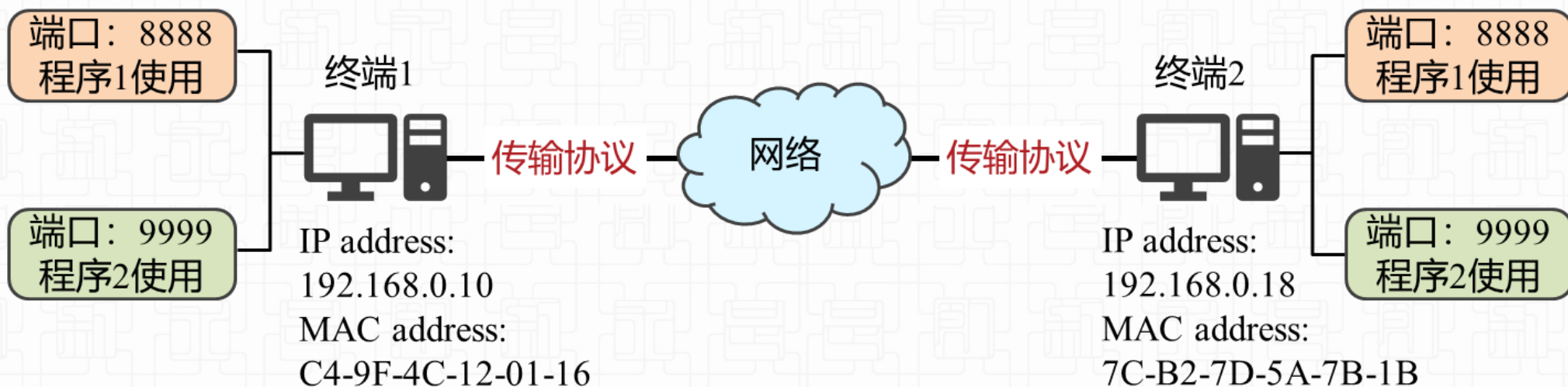
C4 : 9F : 4C : 12 : 01 : 16



- ❖ MAC地址由48位 (6个字节) 二进制数组成，通常表示为12个十六进制数 (1位十六进制数表示4位二进制数)。
- ❖ 其前3字节表示组织唯一标识符 (Organizationally Unique Identifier, OUI)，是IEEE的注册管理机构给不同厂家分配的代码，区分不同的厂家，如C4:9F:4C是分配给华为的代码。
- ❖ 后3字节由厂家自行分配。

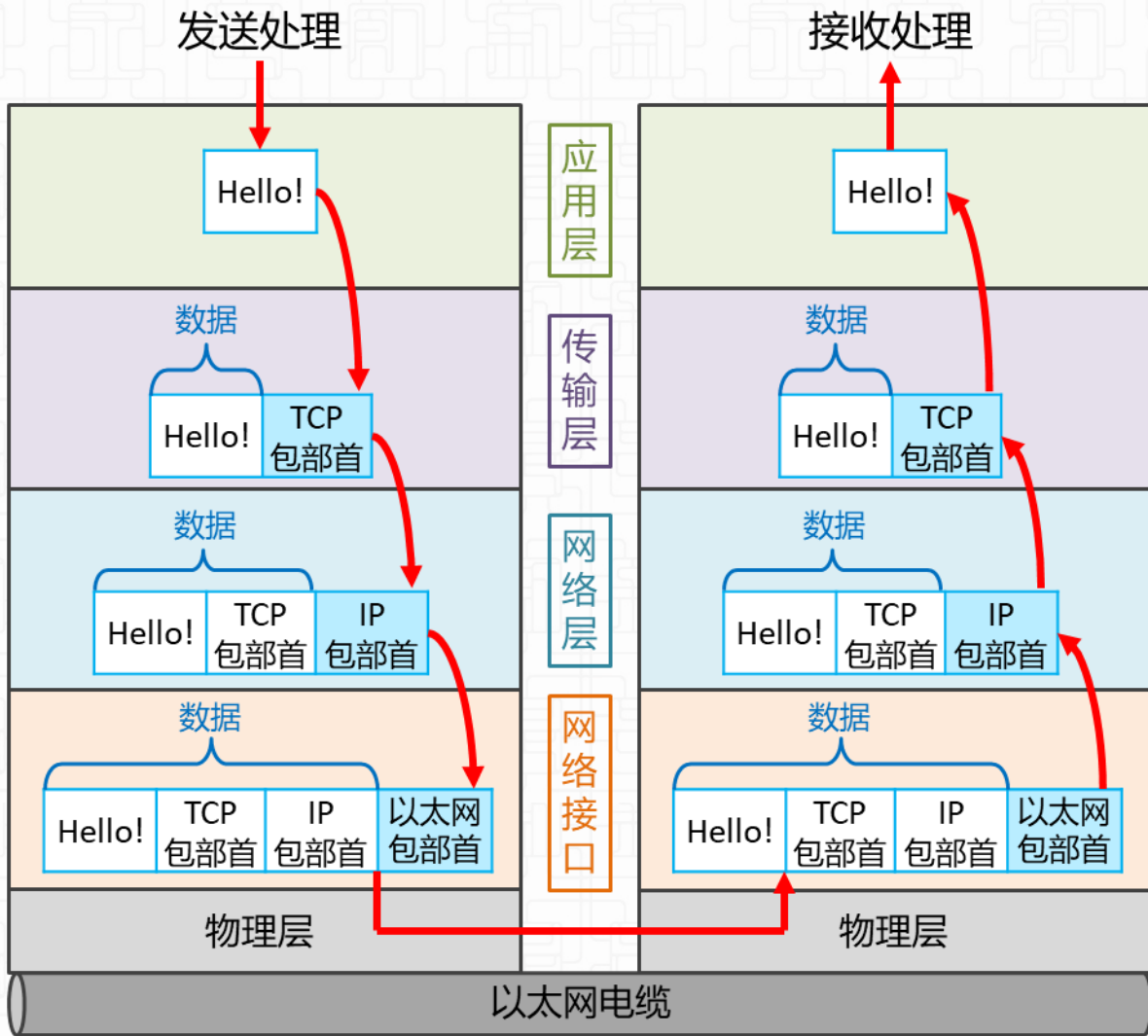
端口

- ❖ 用于区分不同的应用程序
- ❖ 端口就是应用层的各种协议进程和传输实体之间进行层间交换的地址
 - 数据链路层依靠 MAC 地址寻址；网络层依靠 IP 地址寻址，传输层依靠端口号寻址。
- ❖ 端口号的范围为0-65535，其中0-1023为系统的保留端口。
- ❖ 常用协议使用的端口：HTTP: 80, FTP: 21, TELNET: 23



TCP/IP各层对邮件的收发处理

主机A向主机B发送内容为“Hello!”的Email



主机B接收由主机A发送内容为“Hello!”的Email

The End.



中国大学MOOC

章献民

zhangxm@zju.edu.cn