



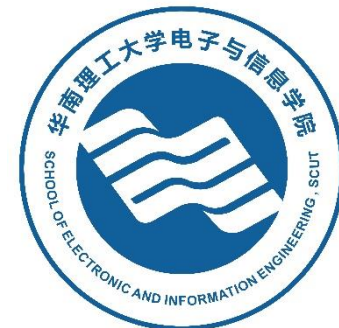
# 通信原理 (Principle of Communications)

华南理工大学  
电子与信息学院  
余翔宇

[yuxy@scut.edu.cn](mailto:yuxy@scut.edu.cn)

2019级信息工程5班

2021/9/14



# 本课要求



## ◆ 课堂要求

- 请保持高信噪比
- 关于出勤与点名



## ◆ 作业要求

- 可以不会做
- 一定要**按时交**

## ◆ 其他

- 课件地址 <http://www2.scut.edu.cn/misip/> 右下角
- 点名 5分；
- 作业 25分
- 奖励分（上限为加到上面两项满分）
- 期末考试 70分
- **注意：**谢绝以任何理由（如出国需要GPA等）要求老师照顾或提高分数，如果收到相关信息或邮件，平时成绩30分为零！！。

# 课程安排



## ◆ 上课时间

➤ 1-4周,7-16周 周二&周四 1-2节 博学楼407

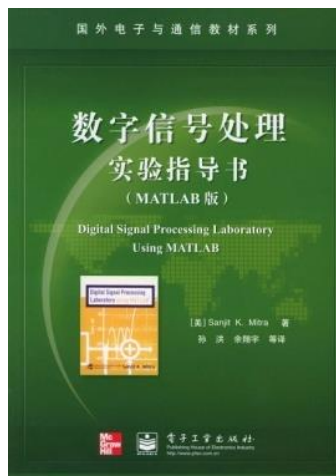
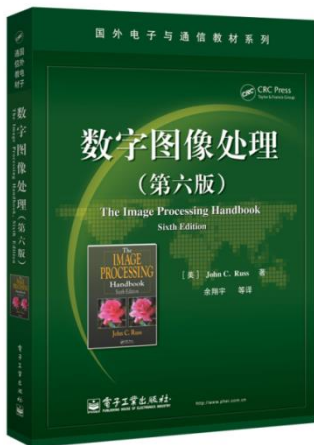
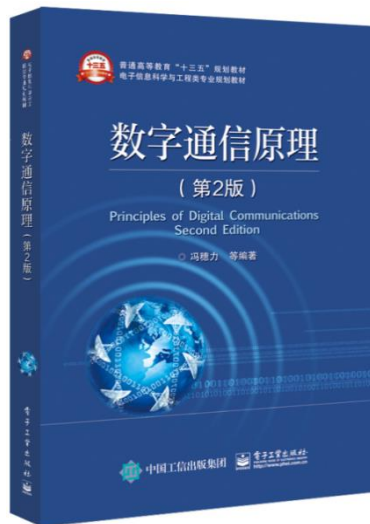
## ◆ 实验时间

➤ 8-15周双周周一下午 310405

## ◆ 考试时间

➤ 考试周（19-20周）进行

# 授课教师简介 (1)



# 授课教师简介 (2)



根叔

2010年  
余名学子起  
展、身边人  
了波澜，也  
数次“指示”

此后20

今天，李兰娟院士再次建议，震撼人心：这次疫情过后，希望国家给青少年一代树立正确的人生导向和价值观！高薪美名，应该留给德才兼备的科研、医疗、军事等真正推动国家发展和进步的人员！政府要控制娱乐圈所谓的“明星们”，动则上千万的片酬。

+ | ★ 收藏 | 5 | 9

讲16分钟，赢得30次掌声，全场7700李培根把4年来的国家大事、学校发讲不仅在华中大以及其他大学校园掀起经历，都聆听过无数次“教诲”，接受过无数点。

# 授课教师简介 (3) 往年讲授课程



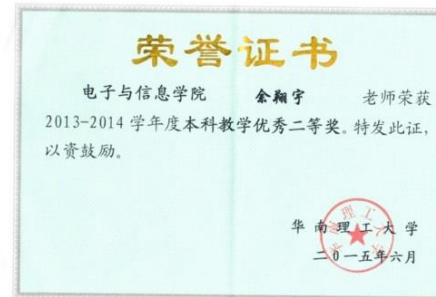
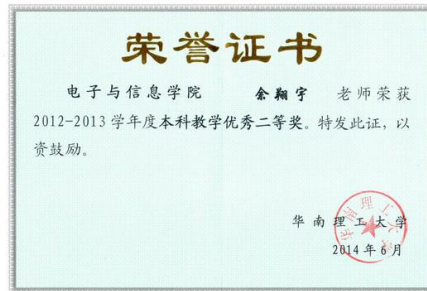
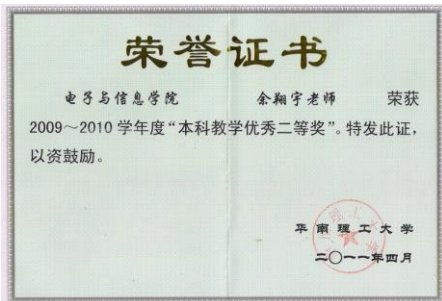
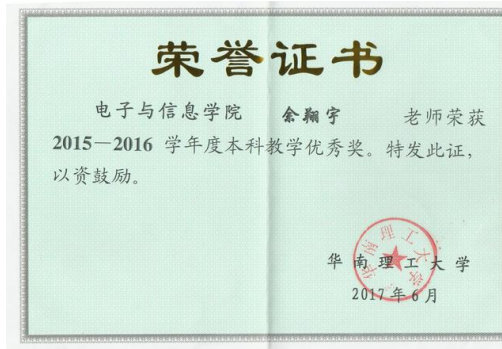
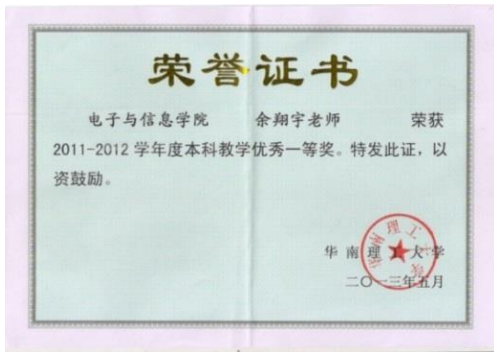
## ◆ 本科生课程

- 2006-2010级及辅修班 《数字通信原理》
- 2011-2013、2016-2018级 《通信原理》
- 2008-2013、2015-2018级 《移动通信》
- 2004级 《信号与系统》
- 2010级 《数字电子技术》
- 2007年 南校区通选课 《通信概论》
- 2006级 计算机学院 《通信原理》
- 2004级 交通学院 《通信技术基础》
- 2010级 机械学院 《数字电子技术》

## ◆ 硕士研究生课程

- 2006-2007级硕士研究生 《接入网技术》
- 2013-2015 2017级非全日制工程硕士 《移动通信新进展》
- 2018-2020级 全日制硕士研究生 《数字图像处理》
- 2016-2020级留学生硕士班 《Principle of Modern Communications》

# 教师在教学中获得的荣誉 (1)



# 教师在教学中获得的荣誉 (2)



华  
南

## 荣誉证书

电子与信息学院 余翔宇 同志荣获 2020 年度

华南理工大学教学优秀奖，特发此证，以资鼓励。



# 教师在教学中获得的荣誉 (3)



# 教师在教学中获得的荣誉 (3)



## 电子与信息学院举办“德生奖教金”颁奖典礼

时间：2020-01-19 单位：电子与信息学院 浏览量：585

分享到



1月13日下午，“德生奖教金”颁奖典礼在华南理工大学电子与信息学院举行。学校副校长李卫青，无线电78级校友、东莞市德生通用电器制造有限公司董事长梁伟，学院负责人以及全体教职工出席活动。



# 近几年本课程授课评价



2012-2013 学年第 1 学期 数字通信原理Ⅲ

\*学年: 2020-2021      \*学期: 1      \*课程: 通信原理Ⅱ      \*学时名称: 理论

\*评价对象: 教师

查询 导出

上课校区: 五山校区    对教师评价分: 4.8208    参评学生人数: 30    有效参评学生人数: 24    对教师所有课程的加权平均分: 4.8171

注: 如果课程没有评价或者没有进行评价统计, 则不能导出, 查询以及查看评语

查看学生评语

评价号	评价指标	单项均值	满意度	权重	理论/实验	完全同意	同意	基本同意	不同意	完全不同意
1	老师教学认真负责, 关心我的课程学习状况	5.00	5.000	0.1	理论	24				
2	老师讲课熟练, 清晰易懂	4.92	4.917	0.1	理论	22	2			
3	老师的授课内容充实, 安排合理, 重点突出	4.92	4.917	0.2	理论	22	2			
4	老师采用多样化的教学方法开展教学, 善于启发和引导学生, 有	4.96	4.958	0.2	理论	23	1			
5	老师注重与学生的交流和互动, 有良好的交流技巧	5.00	5.000	0.1	理论	24				
6	老师课内外均乐于答疑解惑	4.79	4.792	0.1	理论	19	5			
7	通过该课程的学习, 我觉得很有收获	4.38	4.375	0.2	理论	9	15			

5: 东老师教子非常认真负责, 讲课条理清晰, 且刀水生动有趣。  
6: 余老师的通原课把课内知识和生活联系起来, 不是教我们考试, 而是运用这些知识, 并且对作业的讲评十分清晰。

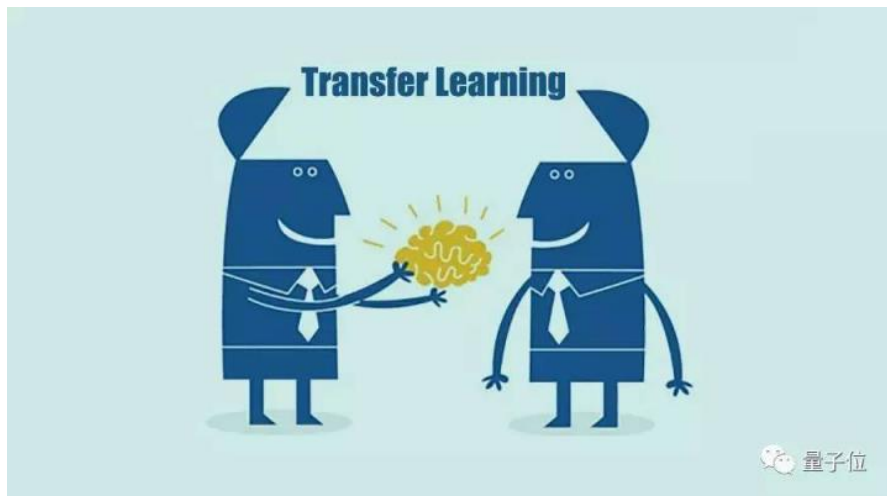
# 闲扯两句话



◆ 学过 Vs 学到

◆ 看问题的维度

◆ 迁移学习



# 本课在本专业的课程体系中处于C位



## 专业基础课

电路

大学物理

## 数学基础课

微积分

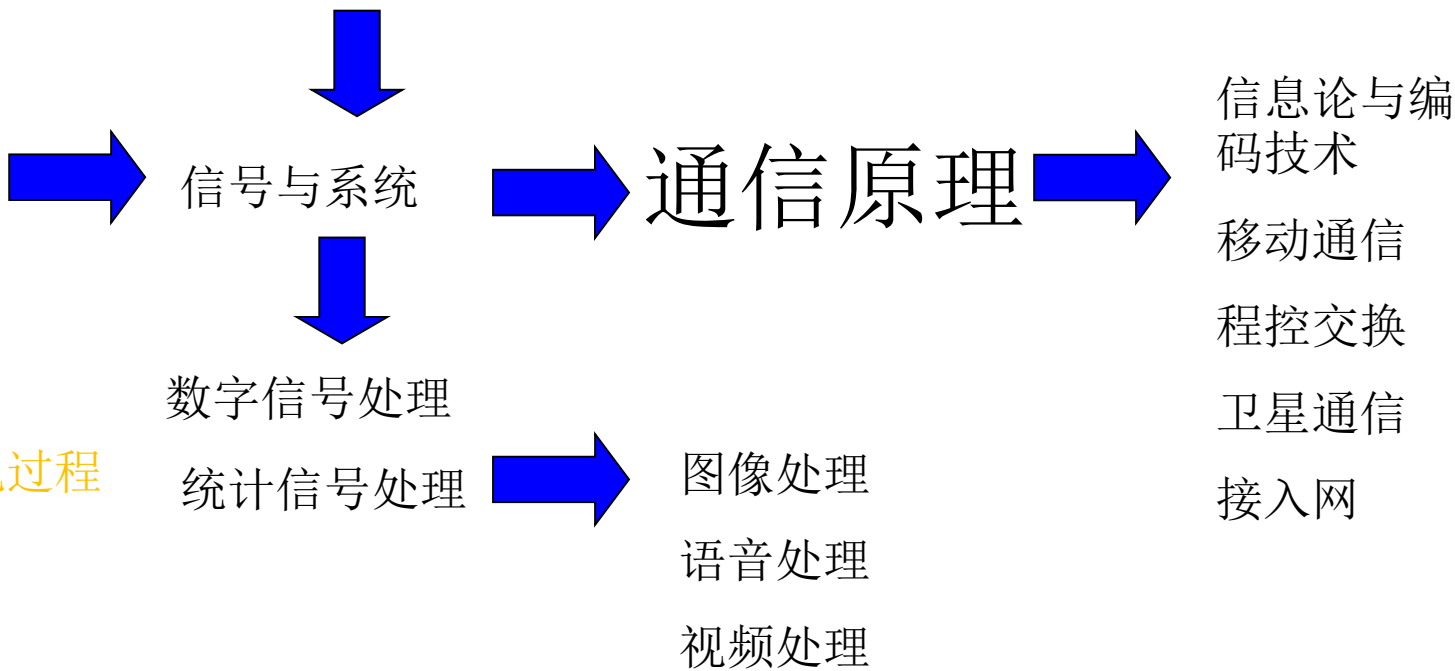
微分方程

复变函数

积分变换

线性代数

概率论和随机过程



# 这是一门很Skr的课程



## ◆ 更接地气

- 较之前的专业课有更多联系实际的内容

## ◆ 某些学校的考研专业课

- 北邮 同济 西电...

## ◆ 就业

- 面试经常被问到相关知识

## ◆ 还有就是...

- 计算机学院和软件学院的学生不懂

# 硬核的课必然非常难学



- ◆ 需要相当丰富的先修课知识
- ◆ 从系统的角度分析通信，涉及的内容比较广泛
- ◆ 数学推导很多
- ◆ 例题比较少
- ◆ 更注重理解而不是套公式和套例题，学起来比较难，考起来也比较头疼

# 本课程学习什么？

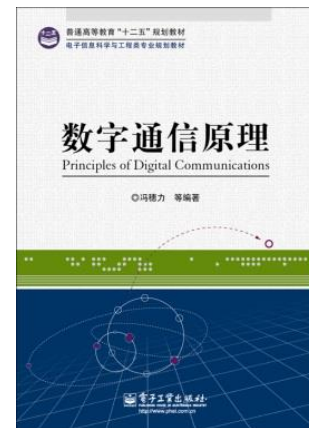
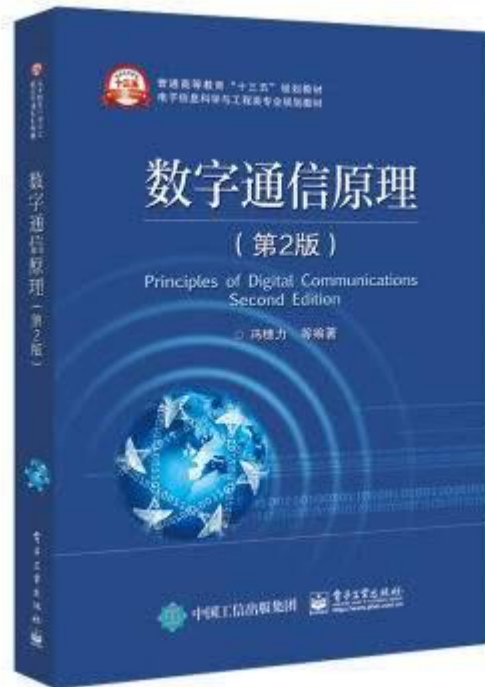


- ◆ 绪论 包括通信发展史、数字通信的基本概念
- ◆ 信号分析基础：确定与随机信号分析
- ◆ 模拟信号的数字编码
- ◆ 数字基带传输系统
  - 通常情况---判决方法
  - 带限---ISI的消除
- ◆ 数字载波调制传输系统
- ◆ 传输信道
- ◆ 同步原理与技术
- ◆ 扩展频谱通信技术
- ◆ 信道复用与多址技术

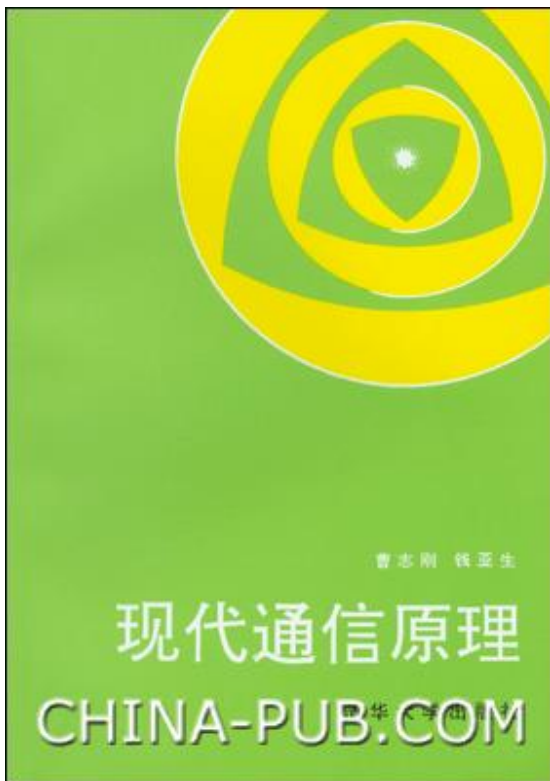
# 本课程近年来几个变化



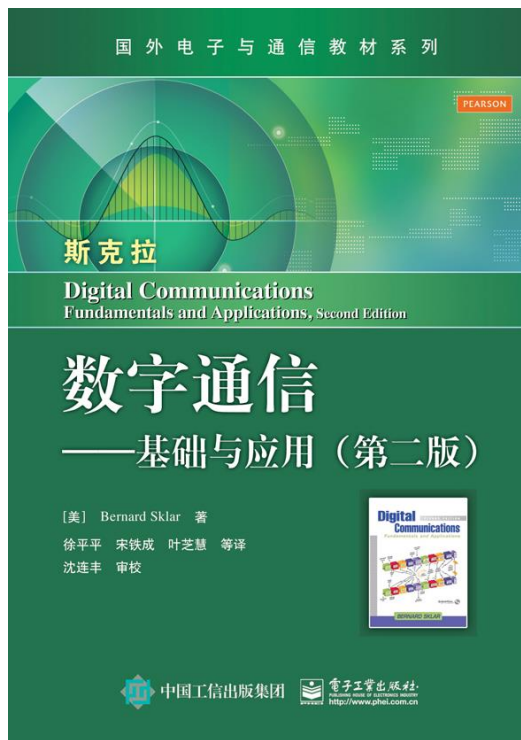
- ◆ 理论课时从最初的72课时变成64课时到08级变成了48课时，09级改为54课时（72-18），10级开始改为58课时，17级开始改为56课时。
- ◆ 课本从08级开始改用自编讲义，经过两年试用于2012年正式出版，2016年更新第二版
- ◆ 11级开始，部分章节剥离成新课《信息论基础》



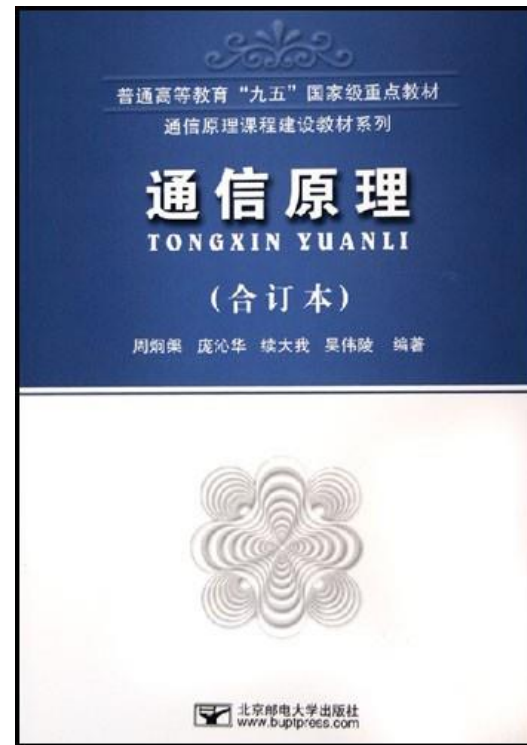
# 近十多年来本课课本的变化



03级及之前



04和05级及11级电联班



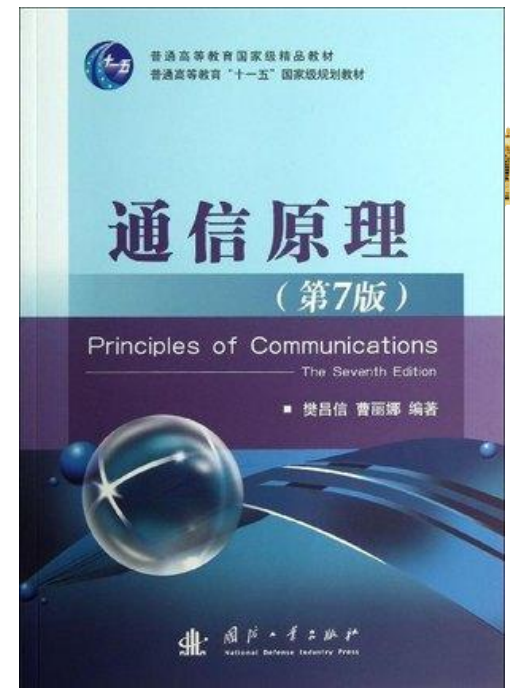
06-07级及0809级部分班级

# 较好的参考书—国内

- ◆ 通信原理（第7版）
- ◆ 普通高等教育“十一五”国家级规划教材
- ◆ 樊昌信，曹丽娜 编著
- ◆ 国防工业出版社

- ◆ 12级电联班课本

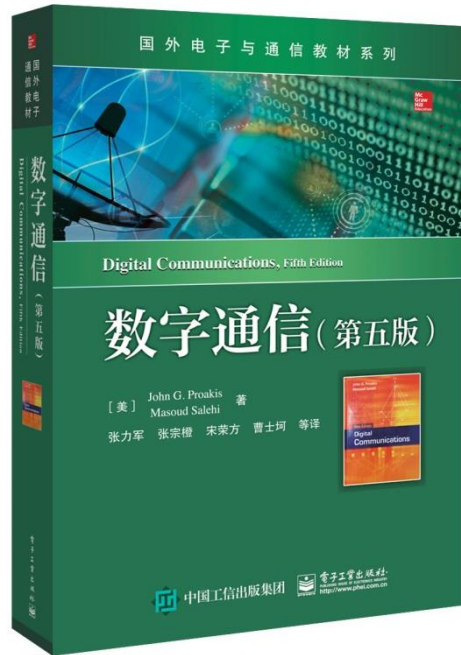
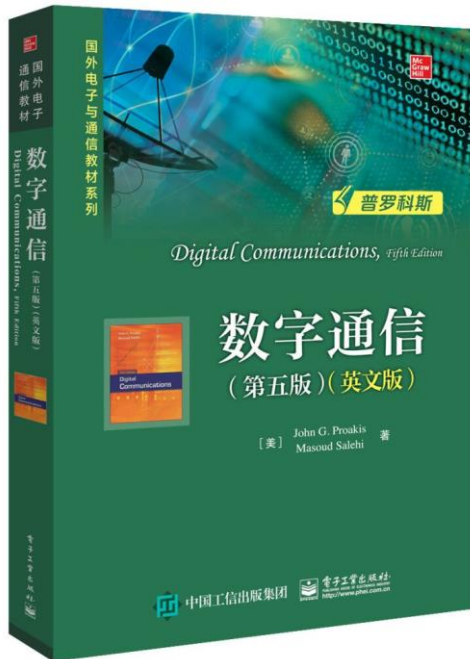
- ◆ 樊昌信，1931年9月出生，1952年毕业于北京大学，现任西安电子科技大学教授、博士导师、中国通信学会理事、中国电子学会学术工作委员会委员。先后被评选为中国通信学会会士、中国电子学会会士、（美国）电气电子工程师学会会士（IEEE Fellow）、（英国）电气工程师学会会士（IEE Fellow）。曾发表过通信工程领域学术论文100余篇，著译10余本。其中《通信原理》（1980年）一书曾获电子工业部优秀教材特等奖、国家教委优秀教材奖。



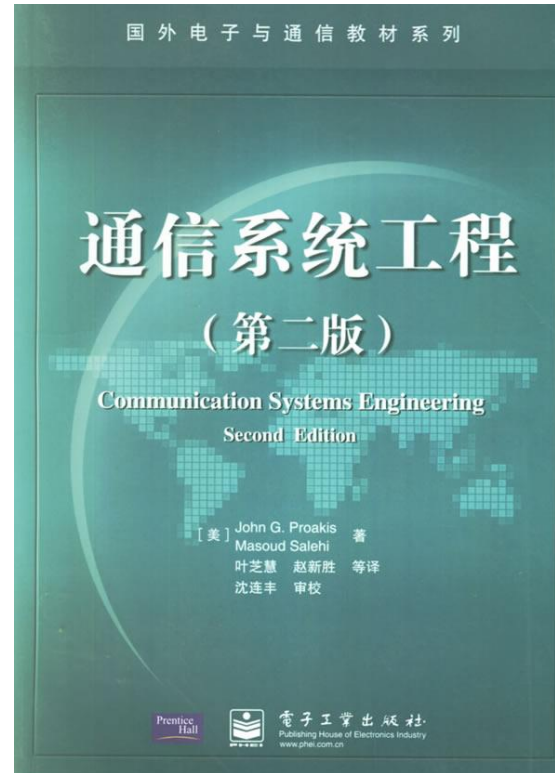
# 较好的参考书—国外 (1)



- ◆ Digital Communications by Proakis
- ◆ 内容较多较深



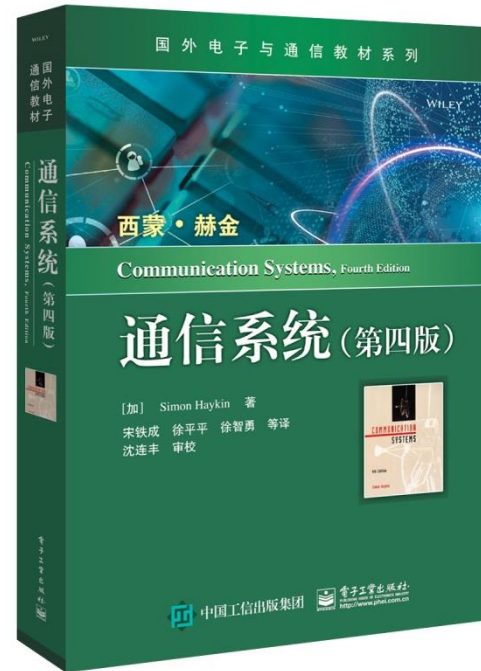
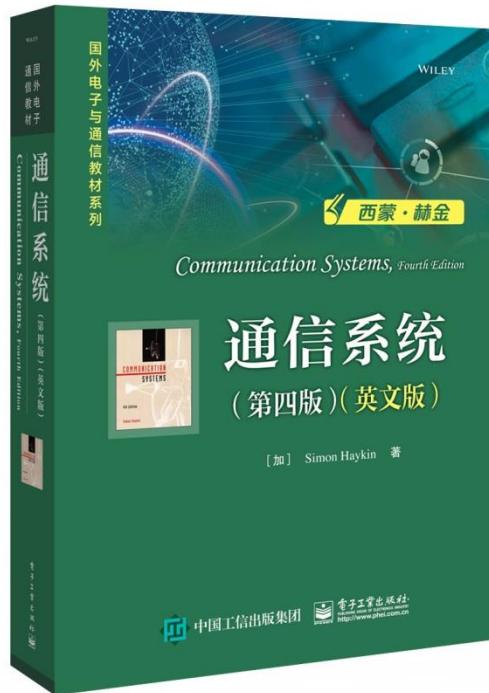
# 较好的参考书—国外 (2)



# 较好的参考书—国外 (3)



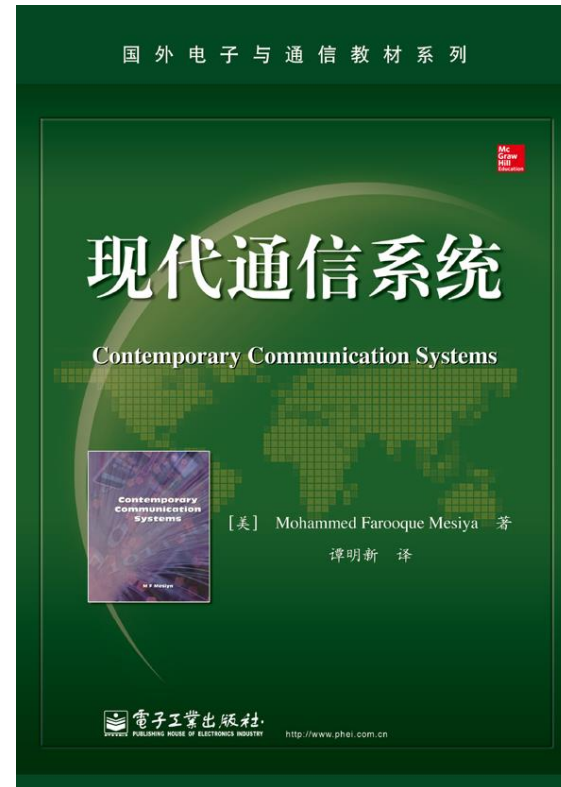
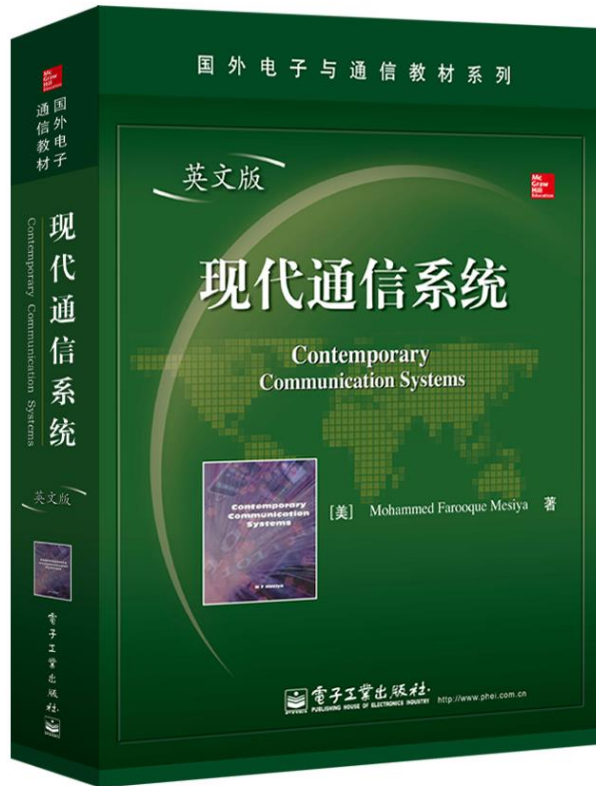
## ◆ Simon Haykin (西蒙·赫金) 通信系统 (第四版)



# 较好的参考书—国外 (4)



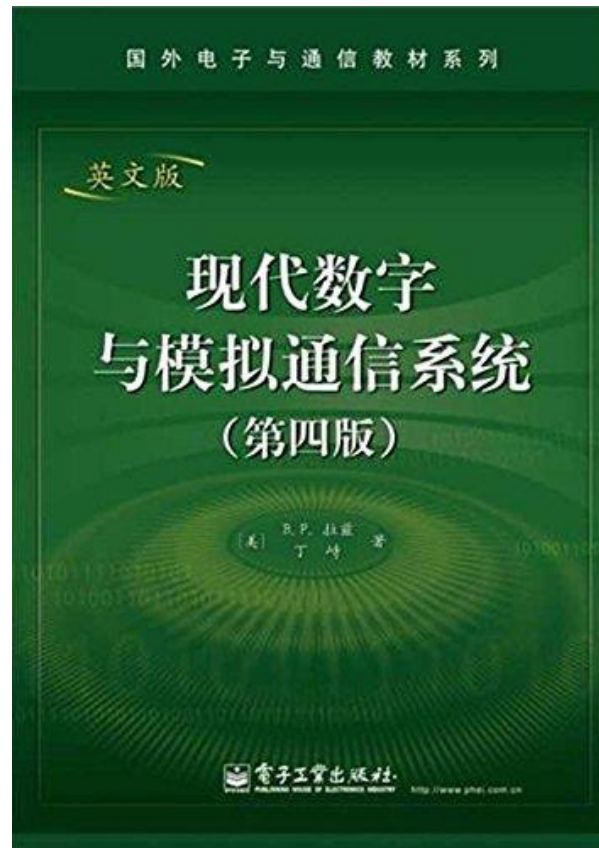
## ◆ Mohammed Farooque Mesiya (M. F. 莫西亚) 现代通信系统



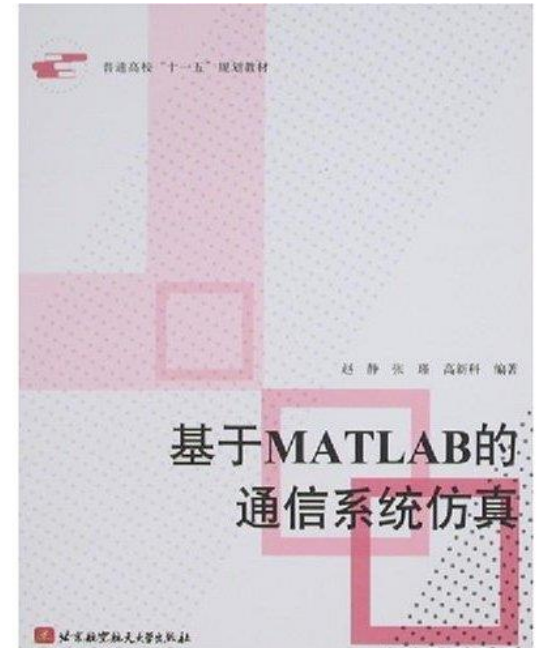
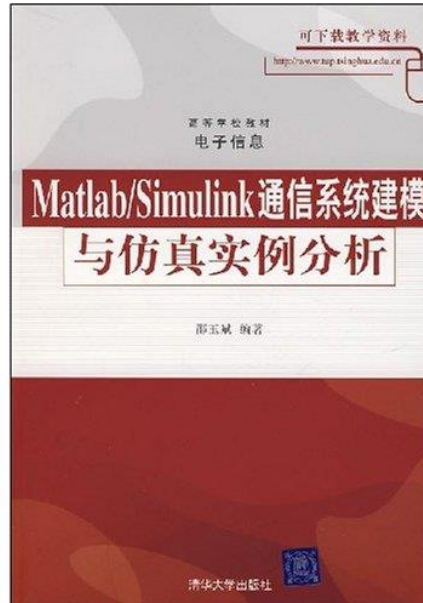
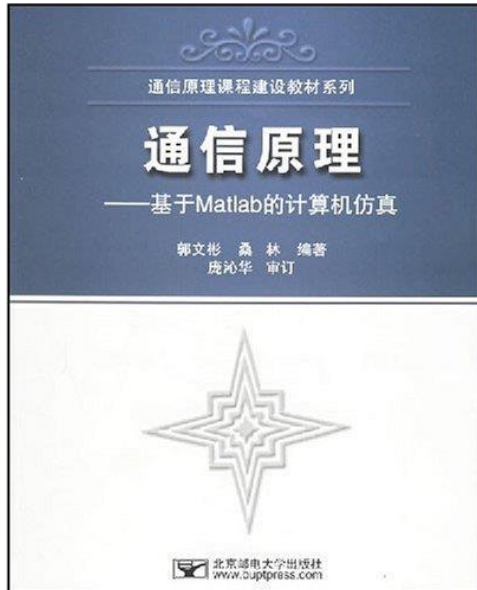
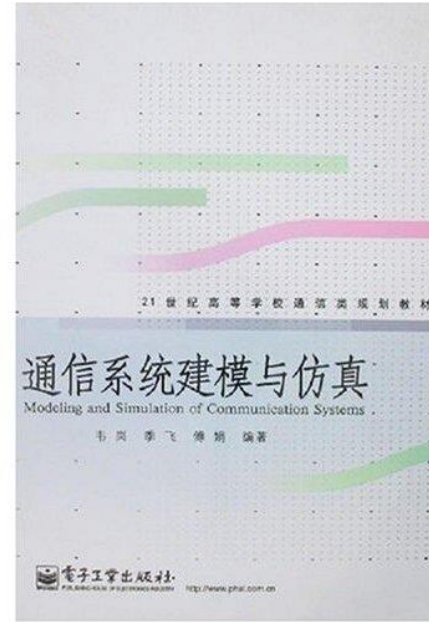
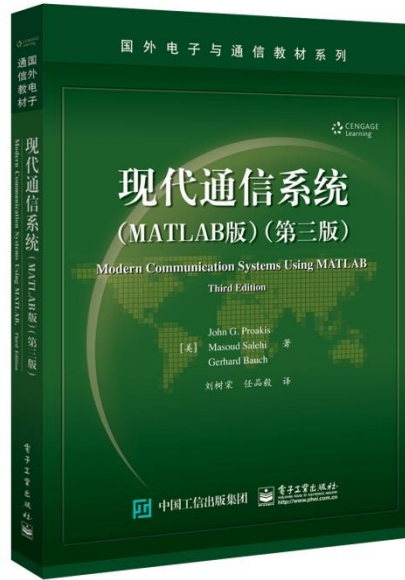
# 较好的参考书—国外 (5)



## ◆ B.P.拉兹(B.P.Lathi), 丁峙(Zhi Ding)现代数字与模拟通信系统(第4版)(英文版)



# Matlab参考书



# 课外资源



## ◆ 网上资源

MIT OPEN COURSEWARE  
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

6-450 Principles of Digital Communication

<https://www.bilibili.com/video/BV1Ep4y1a7fz/>



A System View of Communications:  
From Signals to Packets (Part 1)

## ◆ 多做题

HKUSTx - ELEC1200.1x  
Started - 2015/08/25



查看课程

## ◆ 编程实现

### ➤ Matlab

<http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/45135/6-450Fall-2002/OcwWeb/Electrical-Engineering-and-Computer-Science/6-450Principles-of-Digital-Communication---IFall2002/LectureNotes/index.htm>

[https://www.edx.org/course/system-view-communications-signals-hkustx-elec1200-](https://www.edx.org/course/system-view-communications-signals-hkustx-elec1200-1x-3)

1x-3

# 机器学习与通信原理的联系



- ◆ 机器学习要用到第二章随机过程的知识
- ◆ 机器学习需要用特征简洁地表示信号，需要用第三章的知识
- ◆ 分类器就是做判决，与第五章第六章如出一辙
- ◆ 机器学习中熵的概念及定义被反复使用，而熵是信息论中最重要的概念
- ◆ 近年来已经有将深度学习用于通信的论文



# 第一章 绪论





本章的基本内容：

- ◆ 简要介绍通信的目的；
- ◆ 简要介绍通信技术发展的历史；
- ◆ 介绍通信系统、特别是数字通信系统的基本组成和特点；
- ◆ 介绍数字通信系统的有关术语、主要性能指标和度量参数。



# 1.1 近代与现代通信技术的发展与现状

# 通信的基础



通信的目的：  
准确地传递。

- (1) 克服距离
- (2) 克服时间

信息高效、准确  
专送；  
广泛和传承。



习近平近日到

2019-11-02 12:53:00 来源：中



发现



信祝

优秀传统

乃至

发现的年代

中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平在贺信中指出，甲骨文是迄今为止中国发现的年代最早的成熟文字系统，是汉字的源头和中华优秀传统文化的根脉，值得倍加珍视、更好传承发展。

习近平在贺信中指出，甲骨文是迄今为止中国发现的年代最早的成熟文字系统，是汉字的源头和中华优秀传统文化的根脉，值得倍加珍视、更好传承发展。

# 通信的基本概念(续)



**狭义的通信系统：**

**利用电信号和光信号来传递信息的电通信、光通信或电光混合的通信系统。**

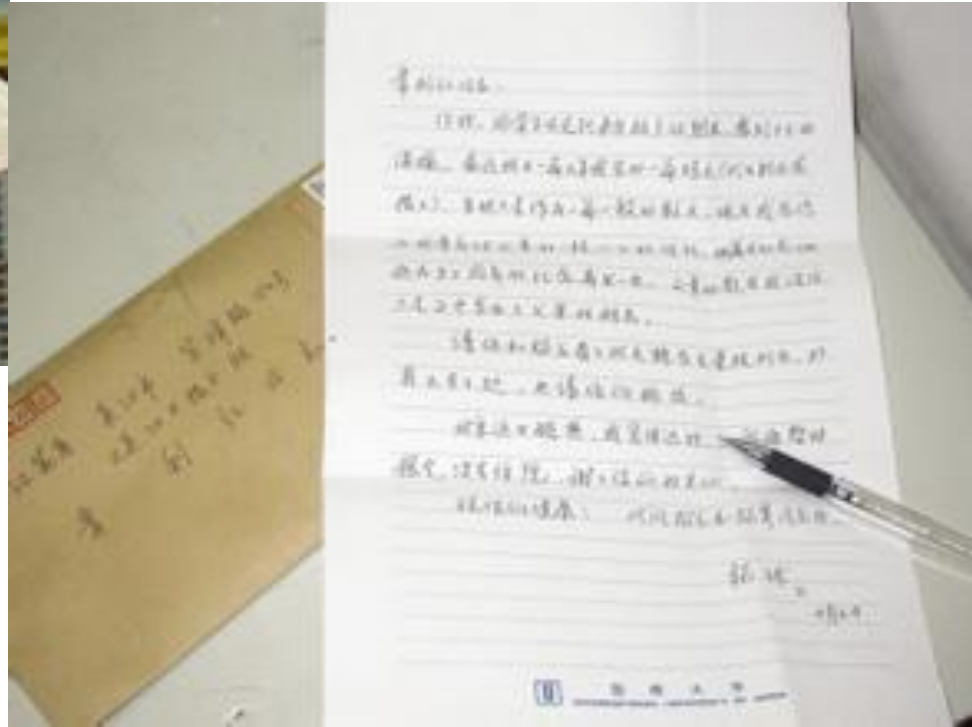
**广义的通信系统：**

**电通信、光通信，普通邮件、报纸、杂志、各种介质的记录与重放等等。**

# 讨论 这是否属于通信(1)



# 讨论 这是否属于通信(2)



# 讨论 这是否属于通信(3)



红动中国 Redocn.com

编号: 294536 红动中国 (www.redocn.com) - cafebabe

# 讨论 这是否属于通信(4)



# 讨论 这是否属于通信(5)



# 通信的基本概念(续)



**通信：**克服距离上的障碍，交换和传递消息；

**消息：**文字、符号、数据、图片、语音和活动图像；

**信息：**信息是消息的内涵，消息是信息的载体；

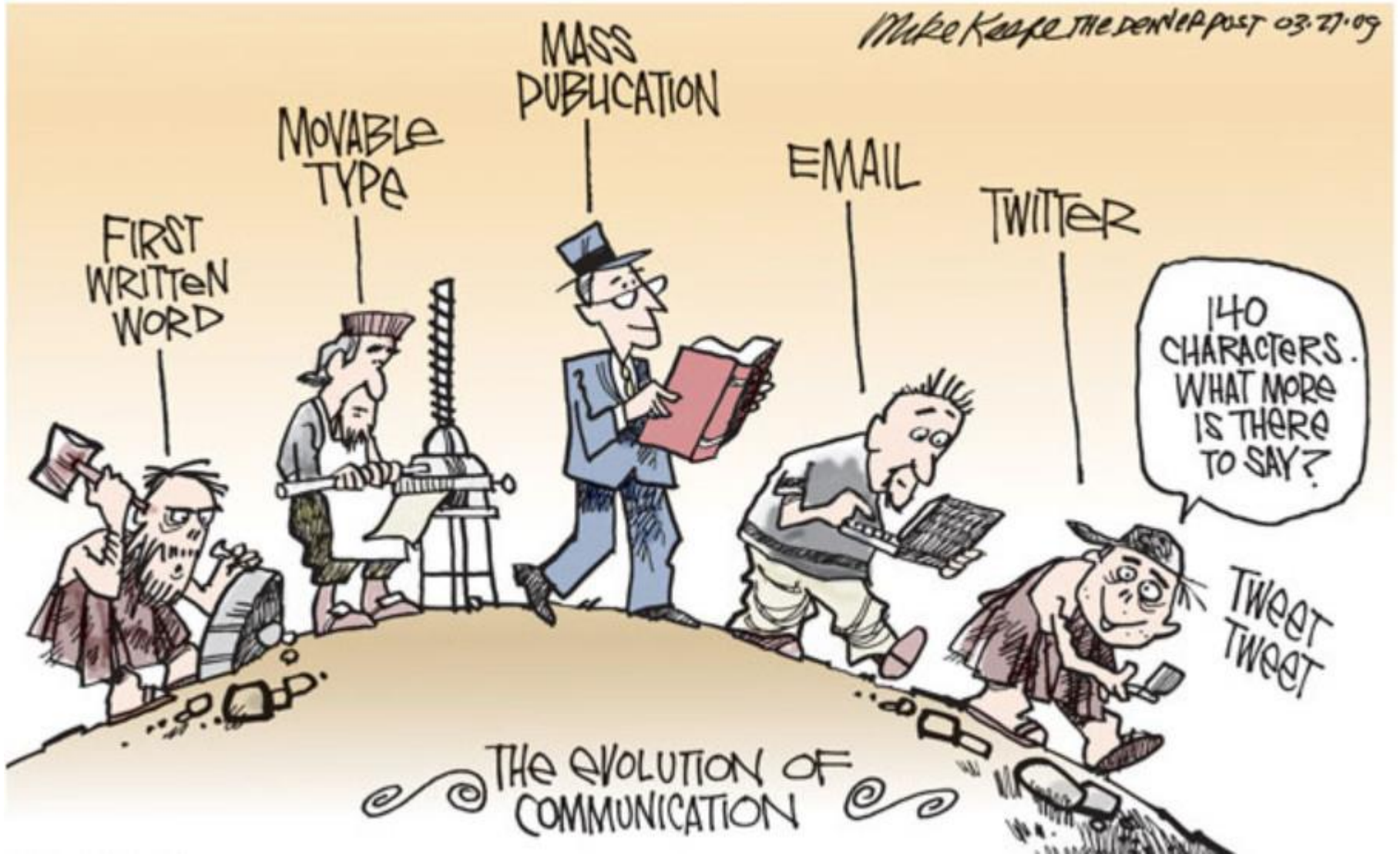
**信号：**与消息一一对应的电量，它是消息的物质载体；

**数字信号：**时间和幅度取值均为离散的信号；

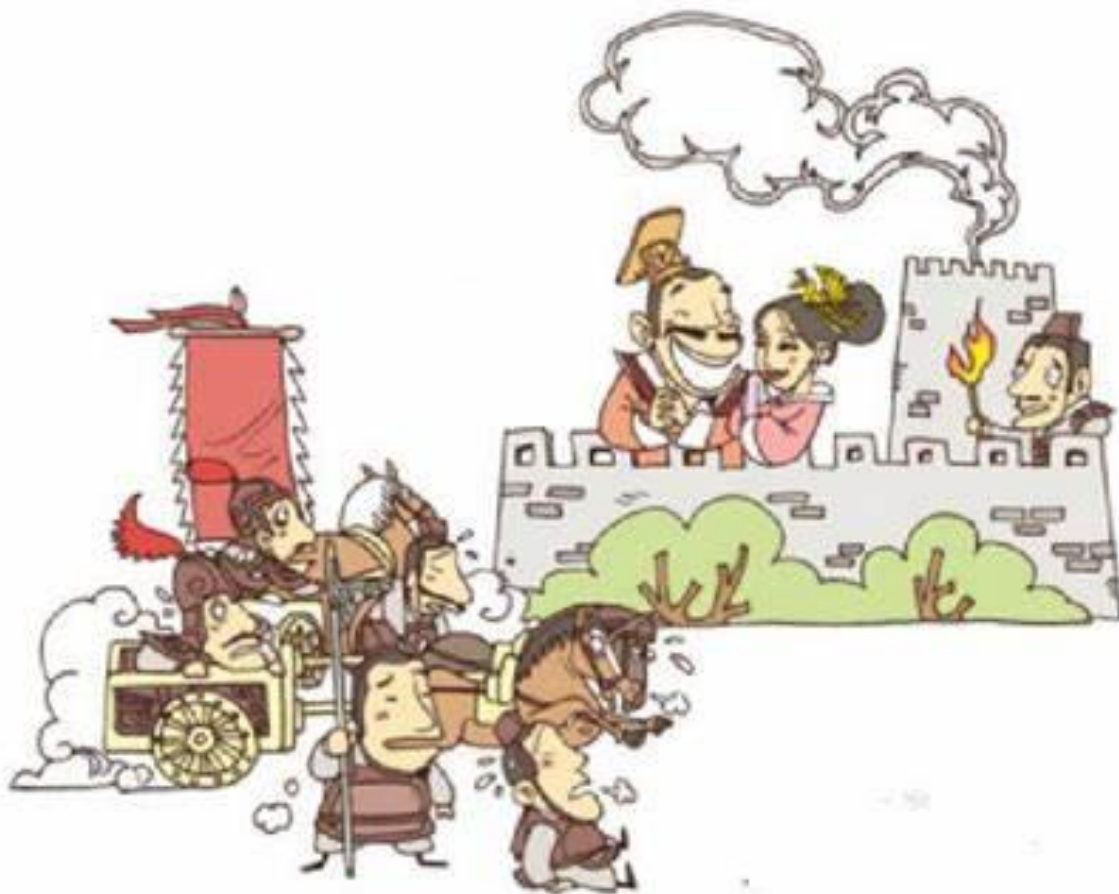
**通信系统：**传递信息所需的一切技术设备的总和；

**数字通信系统：**传输数字信号的通信系统。

# 通信发展史



# 早期的通信



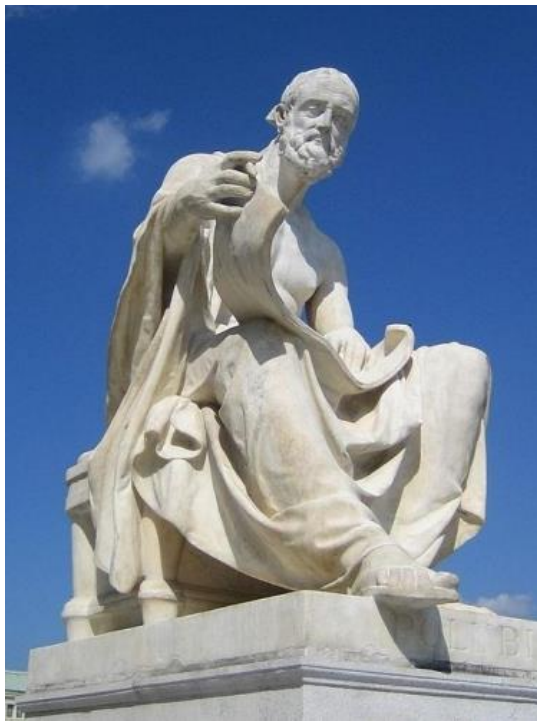
来冲关  
要有太多

决，结果  
19公  
备。

手。

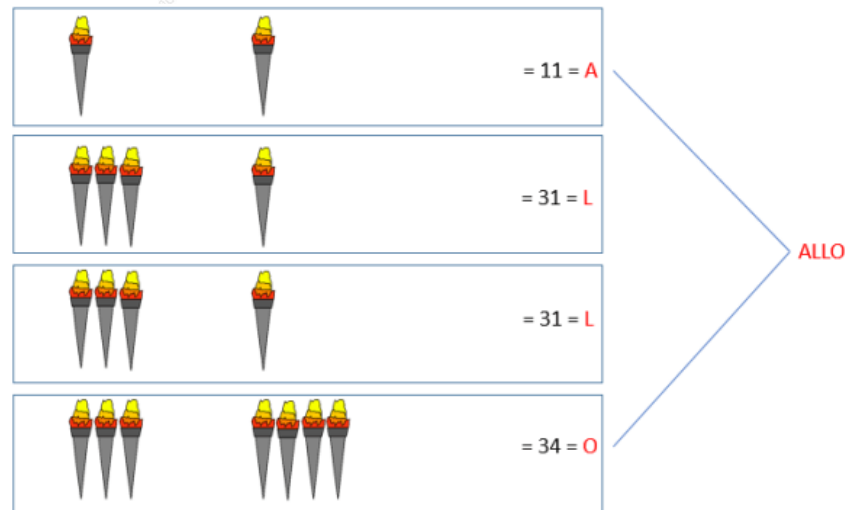


# 古希腊的通信系统

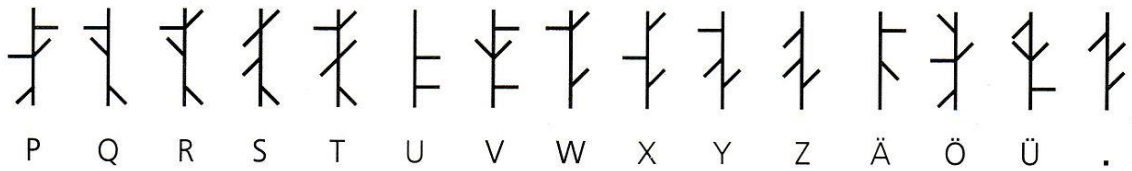
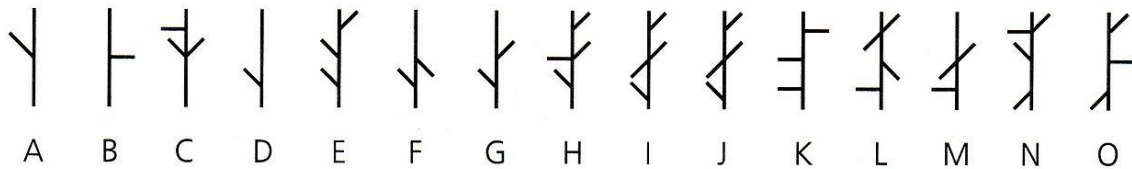
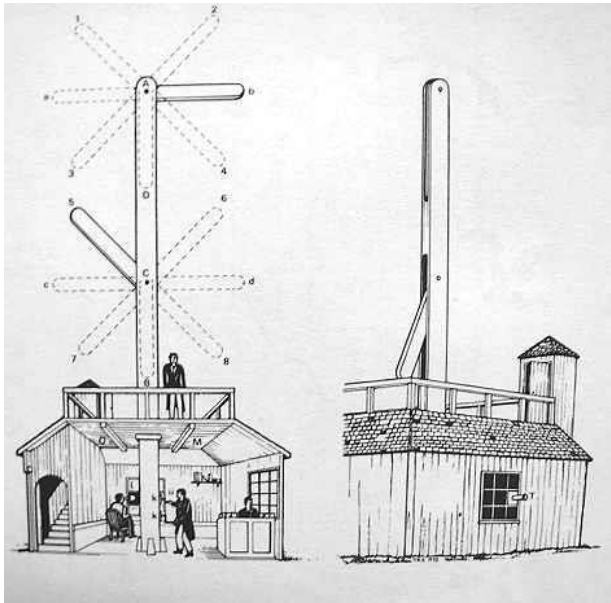


**Polybius**

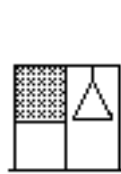
	1	2	3	4	5
1	Α	Β	Γ	Δ	Ε
2	Ζ	Η	Θ	Ι	Κ
3	Λ	Μ	Ν	Ξ	Ο
4	Π	Ρ	Σ	Τ	Υ
5	Φ	Χ	Ψ	Ω	



# 旗语系统



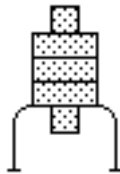
普鲁士旗语系统（图片来自武汉科学技术馆）



Hooke  
1684



Chappe  
1793



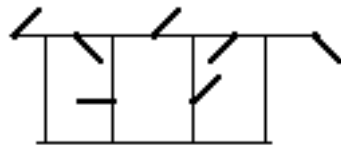
shutter  
Gamble 1795



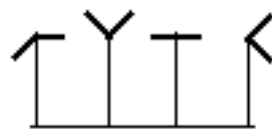
radiated  
Murray 1795



Murray  
1795

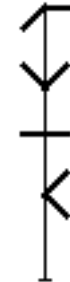


French semaphore  
Tuileries, 1796



first, 1804

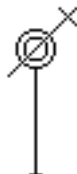
Pasley polygrammatic



second  
1808



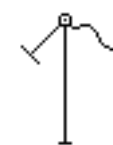
French coast,  
1803



Garnet  
1794-5



final



suggested

Edgeworth 1796



land  
Home Popham 1816



ship

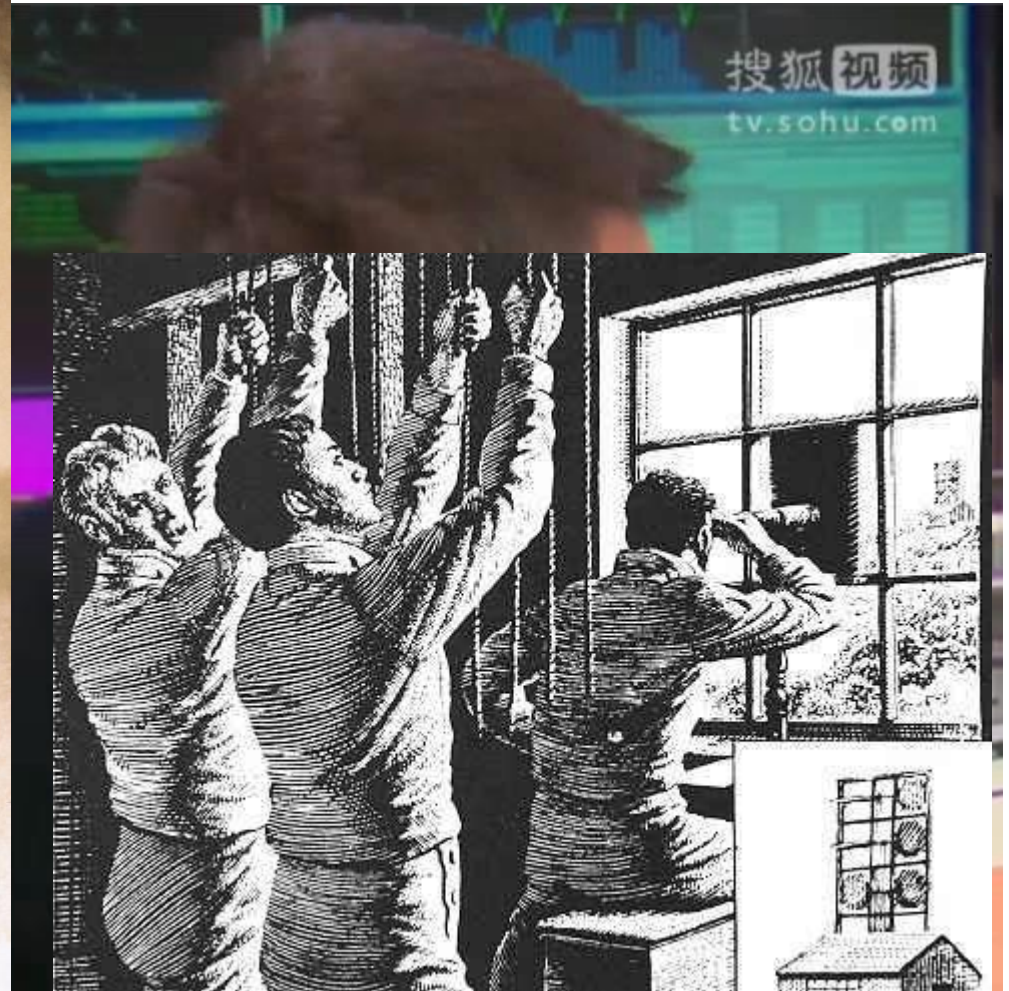
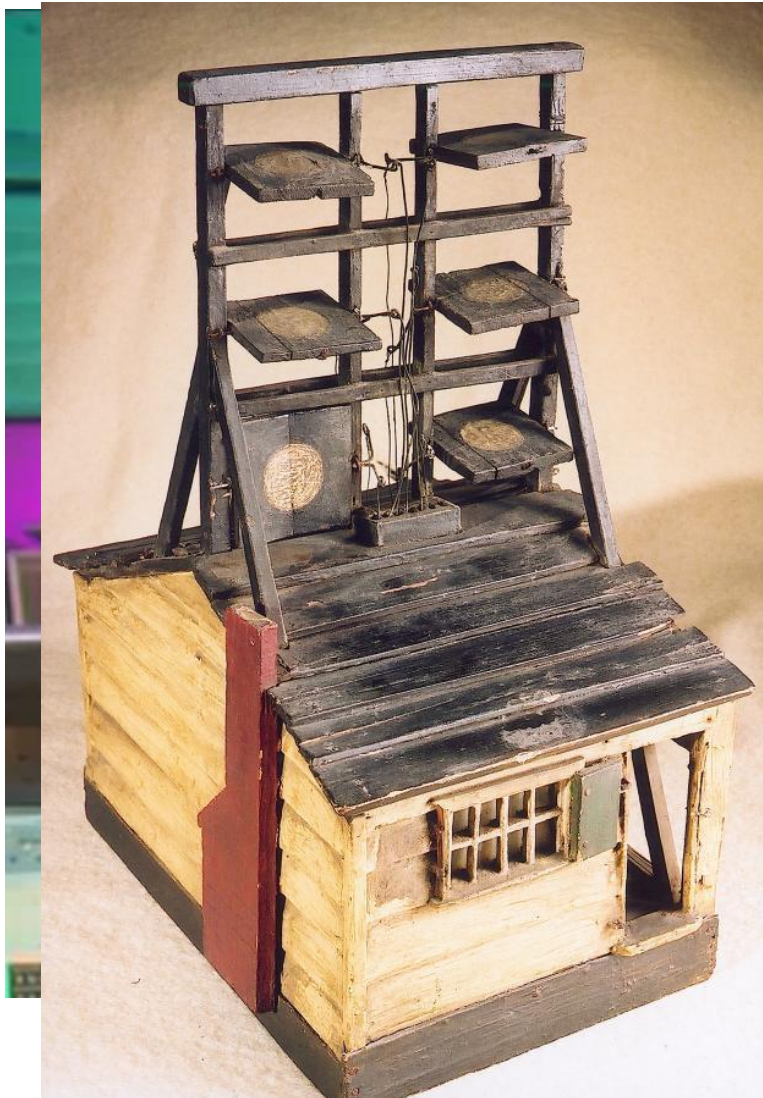


Pasley's  
Universal  
1822

**Telegraphs and Semaphores (Pasley, 1823)**



# Murray shutter telegraph



# 灯塔和望楼



# 动物与通信 (1) 马与驿站



过华清宫

唐 杜牧

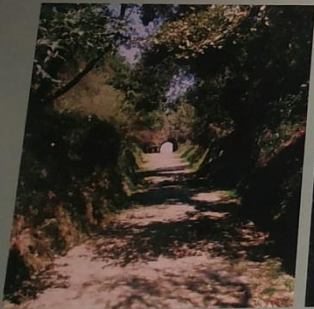
长安回望绣成堆，山顶千门次第开。  
一骑红尘妃子笑，无人知是荔枝来。

## ● 古代广东荔枝运输路线

早期以进贡荔枝干为主，后为获得鲜荔枝，采用了运送小株荔枝树的方法。据记载，清宫鲜荔枝进贡大多采用此方式，将已挂果的荔枝树连根带土移于桶中，装船后经数月可运抵京城，宫廷应需要采摘鲜果。

西京古道：早在两千多年前，南海尉赵佗就曾向汉高祖刘邦进贡荔枝。东汉初，南岭开辟了一条南起英德、途径乳源、北接湖南、通往西京（今西安）的驿道，成为传递官书、进贡荔枝的重要通道。

梅关古道：又称梅岭古道，梅岭为大庾岭要塞，位于今广东南雄与江西大余之间。唐代，岭南第一位宰相张九龄于开元年间奉诏重新凿通大庾岭，此后该通道承担了南北交通的重要功能。唐代岭南荔枝入京，走浈水到达南雄，经大庾岭，下赣江，入大运河前往长安。



梅关古道



南粤雄关

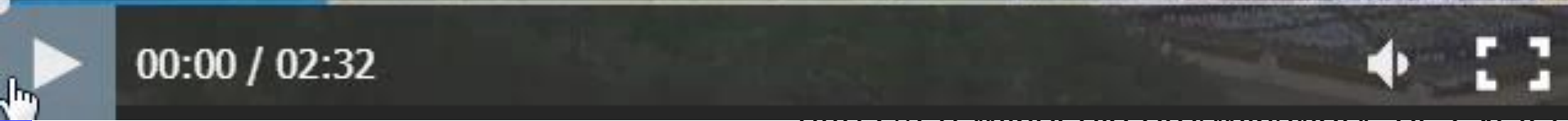


西京古道



西京古道梯云岭

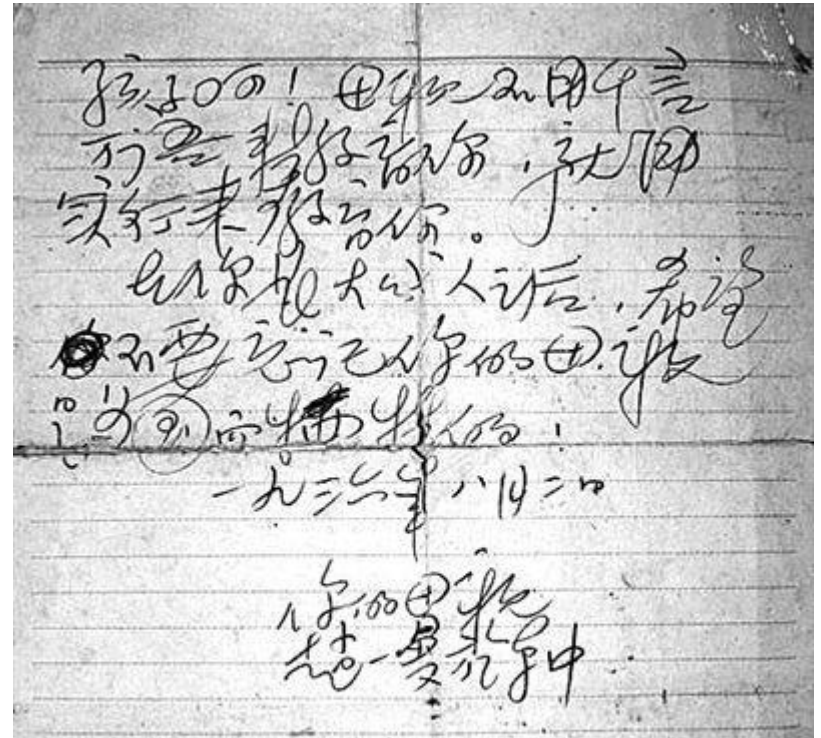
# 动物与通信 (2) 信鸽



# 关于二战中信鸽的影视作品



# 传统邮件



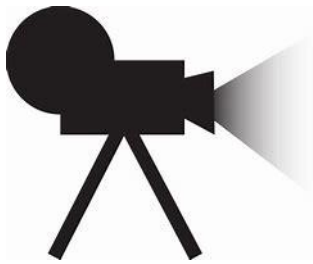
# 讨论



# 多伦多第一个邮局



# 最早的电报

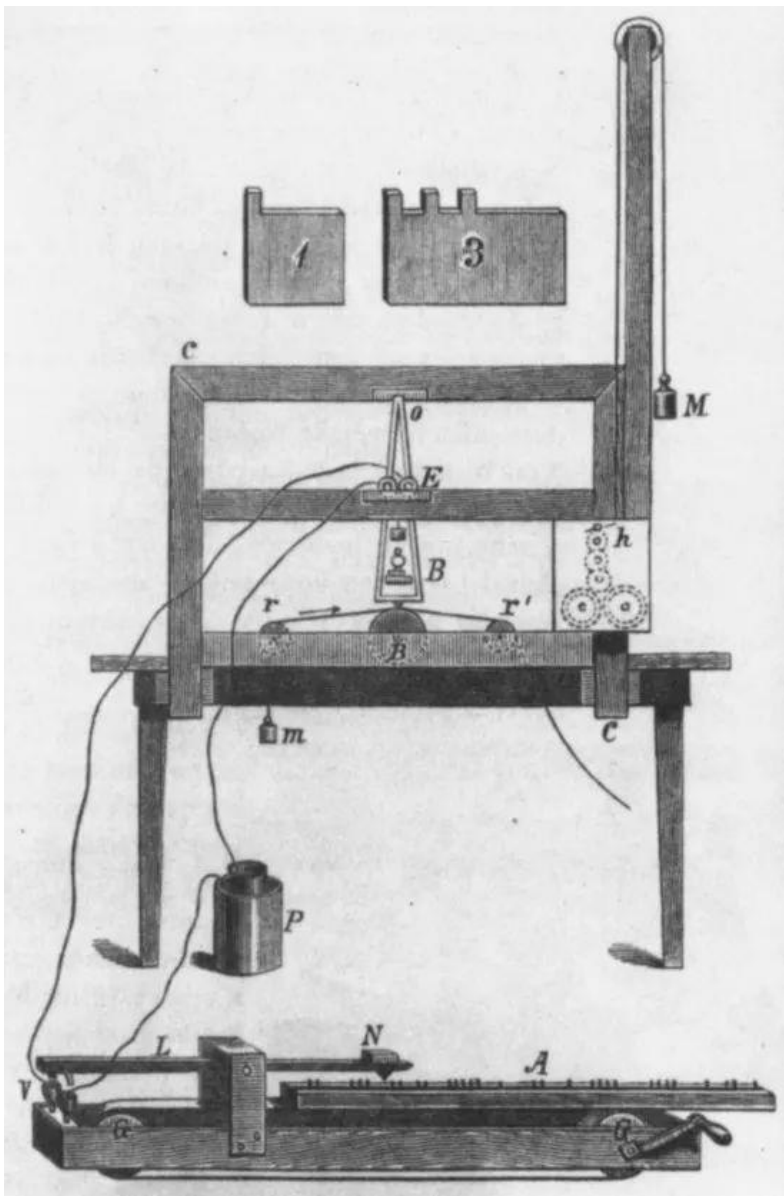


图片取自香港科学馆

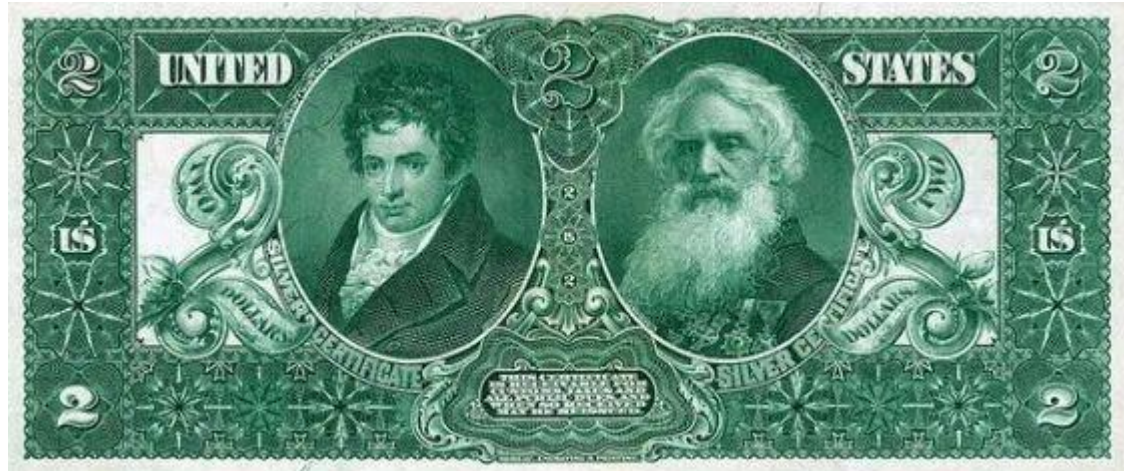
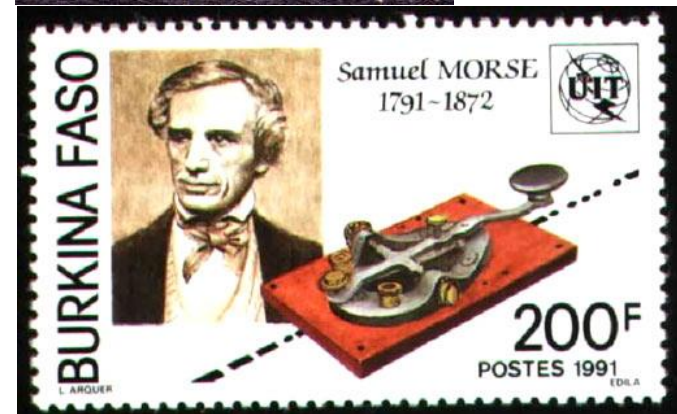
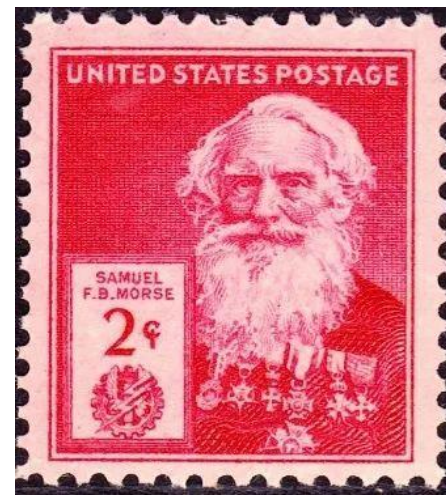
# Printing telegraph



# 莫尔斯与电报



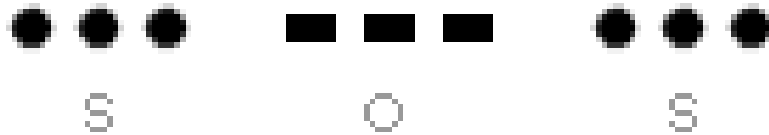
# 莫尔斯



# 莫尔斯电码



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



电影《星际穿越》截图

# 最早的yyds



## 特殊符号表

....

WDS - Words (词语)

WKD - Worked (工作)

WL - Will (将)

WUD - Would (会)

WX - Weather (天气)

XMTR - Transmitter (发射机)

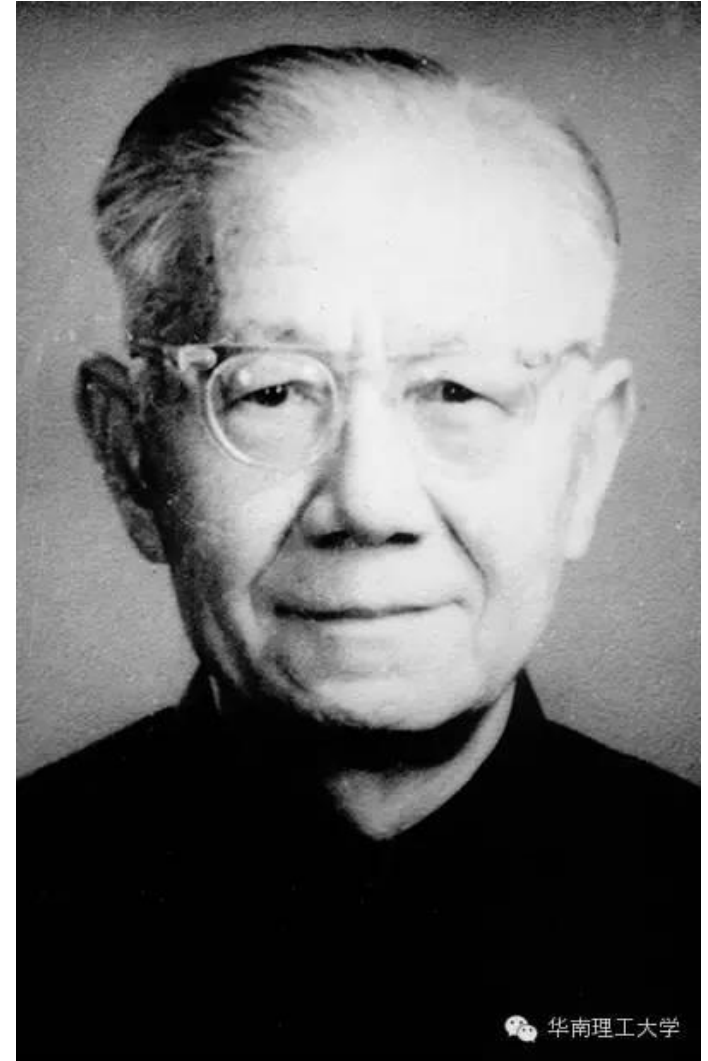
XYL - Wife (妻子)

YL - Young lady (used of any female) (年轻女子)

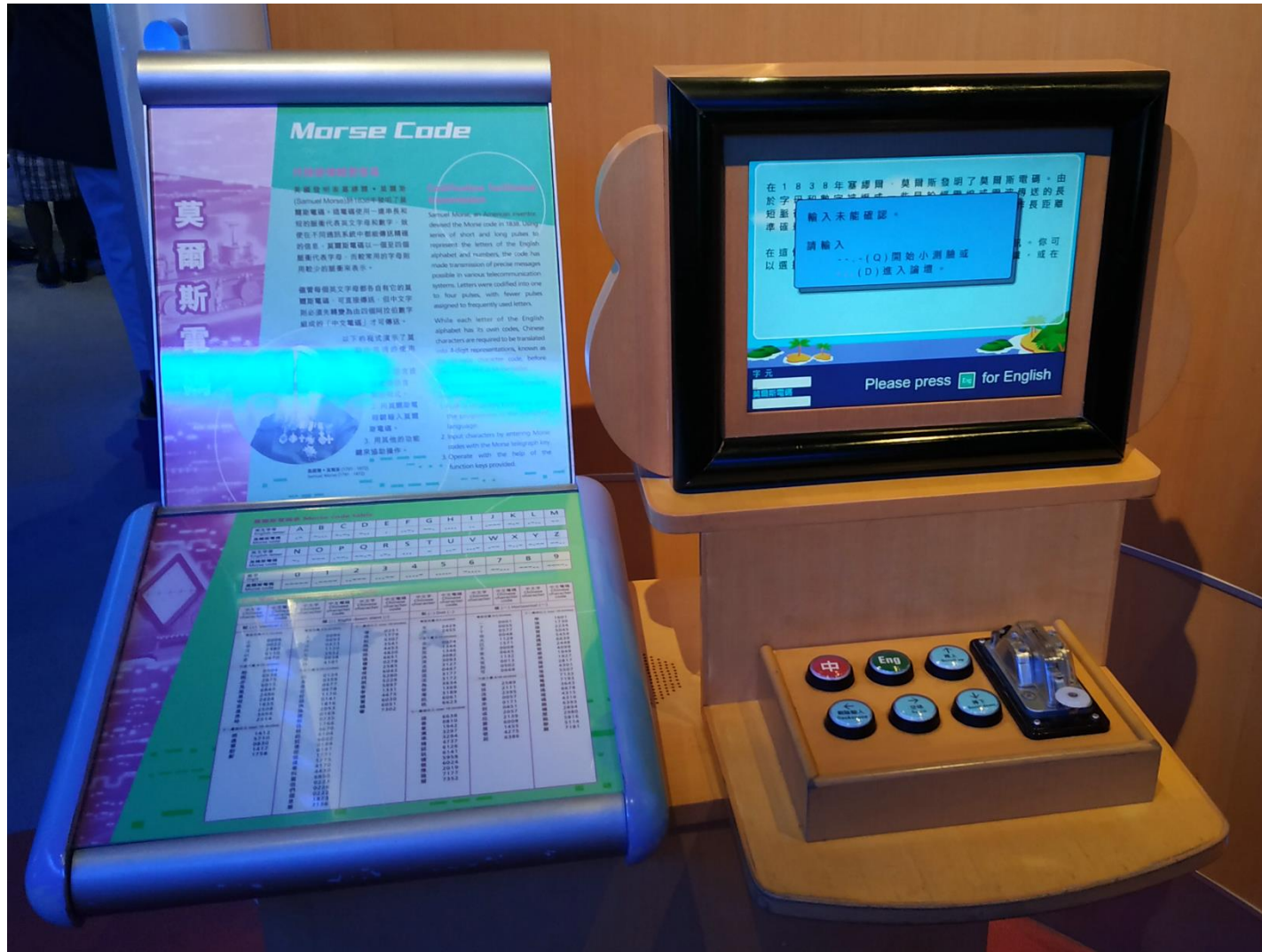
73 - Best regards (最好的祝福)

88 - Love and kisses (爱与吻之告别) (注意应该使用在“异性”之间)

99 - go away (被要求离开, 非友善)

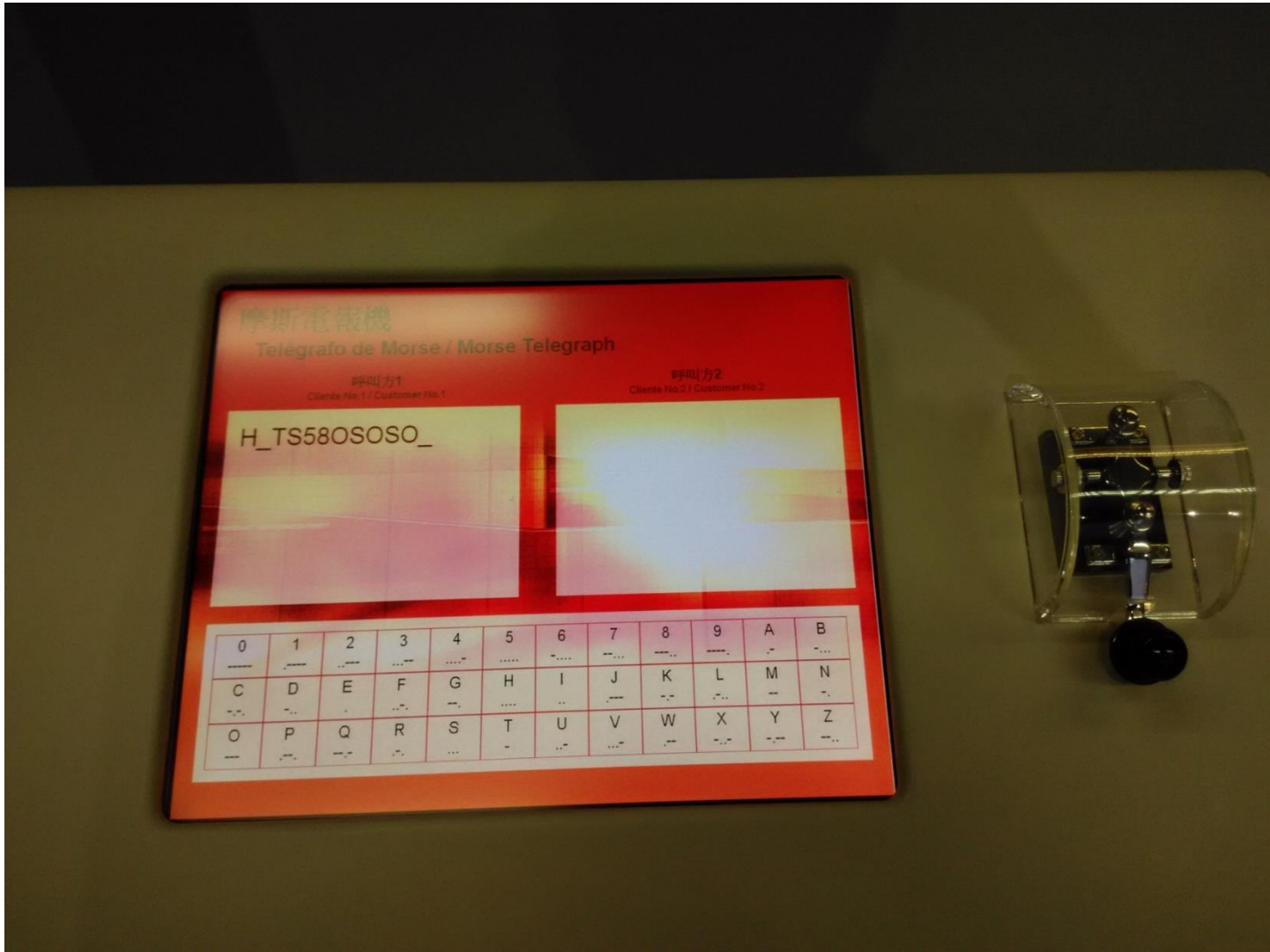


# 博物馆里的莫尔斯电码 (1)



图片来自香港科学馆

# 博物馆里的莫尔斯电码 (2)



图片取自澳门通讯博物馆

# 博物馆里的莫尔斯电码 (3)



图片摘自四川科技馆

# 莫尔斯电码的在线链接及APP



<https://morsecode.scphillips.com/translator.html>

# 电报在中国 (1)

咸豐元年正月鐫

真神堂在寧城西門虹橋頭  
耶穌會堂在東門內大街上

# 博物通書

耶穌降世一千八百五十一年

西醫士瑪  
高溫譯述

耶穌會士西醫瑪高  
溫撰紅寧府城外門  
外靈學堂講道勸人  
棄烟病最惡鴉片養  
心中國所禁尚有人  
心永解可來南堂療

1. 太平天國... 耶穌會... 鴉片... 禁烟... 西醫士瑪... 高溫譯述...

太平天國... 耶穌會... 鴉片... 禁烟... 西醫士瑪... 高溫譯述...

## 电报在中国（2）



19世纪60—70年代，政府因为害怕电报会助长外国对中国的政治和经济渗透，以“不便”为由拒绝了电报的引入。

俄国大使就要求总理衙门批准在北京和西伯利亚的恰克图之间铺设电缆。朝廷拒绝了这一请求，而英国和丹麦公司随后也要求获权将国际电报线延至中国。1865年，一名英国商人甚至开始在上海浦东一带架设电线杆，只不过出于民众反对才放弃了这一计划。五年后，尽管当地官员三番五次表示抗议，丹麦的大北公司（Great Northern）还是顶风作案，在吴淞口和上海之间建成了一条线路。

江西巡抚沈葆楨报告：“外洋之轮船，捷于中国之邮递……若再任其设立铜线，则千里而遥，瞬息可通。更难保不于新闻纸中造作谣言。”

# 电报在中国 (3)



1870年，大东公司要求获权从香港向上海铺设水下电缆。公司的管理者们想在公共租界开办一家电报局，将其商业业务延伸至内地，然后再扩展到其他通商口岸。然而，由于他们提出的线路侵犯了中国的海疆，总理衙门拒绝了他们的计划。作为替代，总理衙门允许英国公司在上海的港湾里停泊一条驳船，将水下电缆引到甲板上来收发消息。当局称：“所有安设线端船只，准其在沿海埠口各洋船向来湾泊码头之外近海处所停泊，以示限制。”这一安排在海陆之间画出了一条明确的界线，也在此后为中国融入国际网络提供了模板。欧洲公司要么接受总理衙门的规定，要么为能在中国经营业务而做出的所有努力化为泡影。例如，北京后来以相同的理由拒不同意大东公司在香港岛、九龙和广州之间铺设电缆。李鸿章在一封奏折中指出：

香港系英国属境，海面系各国公共之地。若欲添设水线，自无劝阻之理。至粤省上岸，则应由总督与广东督抚主矣……惟陆路电线必须由中国自设。无论何国断不得搀越一步。

# 电报在中国（4）



英国、俄罗斯、丹麦敷设的香港至上海、长崎至上海的水线，全长2237海里。于1871年（清同治十年）4月，违反清政府不得登陆的规定，由丹麦大北电报公司出面，秘密从海上将海缆引出，沿扬子江、黄浦江敷设到上海市内登陆，并在南京路12号设立报房。于1871年6月3日开始通报。这是帝国主义入侵中国的第一条电报水线和在上海租界设立的电报局。

清同治十二年（1873），英商大东两电报公司敷设海底电缆在上海登陆，设局经营电报业务。从此，北京清政府与驻外使节的通信即以邮传方式经上海水线接转收发电报。



清末丹麦大北电报公司在上海的电报房

# 电报在中国 (5)



1874年，台湾岛上的少数民族杀死数名来自琉球群岛的水手，日本随后派军远征台湾以示惩戒。结果，清朝当局面临着一个危急情况，那就是在距政治中心北京千里之外的地方，战事可能会一触即发。沈葆楨被朝廷任命为钦差大臣去解决这一危机，而他发现，要跨越台湾海峡使信息及时互通简直是天方夜谭。身处位于福建省省会福州的衙门，他无法对备战活动进行协调指挥。结果，沈葆楨摒弃了自己早先对于电报的怀疑猜忌，指出：“由津而沪而粤，洋人均有电报，而我无之。外国消息外国知之，而中国不知，犹之可也。中国消息外国知之，而中国不知，可乎哉？”

沈葆楨要求允许将他在福州的指挥部与沿海的船坞相连，然后将水下电缆铺设到台湾。中国在技术上没有完成这一工程所需的专业知识，因此他建议朝廷与大北公司签订合同。尽管一份对日外交协议使这次突发事件宣告结束，但是到那时，丹麦人已经完成了一小段陆上电缆。他们建议沈葆楨利用多余的建材来联通厦门港和福州。1875年，朝廷批准了福州至厦门的电缆建设，但之后由于“民众”反对，大北公司取消了这一工程。当地官员和士绅组织人手侵吞了公司的财物，而这一暴力事件很快就失控了。大北公司的管理者们判断，危机发展下去将不堪设想，转而要求其政府提请清廷官方对大北公司进行保护。为向公司赔礼道歉，北京虽然全款买下了这条线路，但是这还是使福州—厦门线的建设就此结束。

# 电报在中国（6）



福建巡抚丁日昌1875年在福建船政学堂附设了电报学堂，培训电报技术人员。这是中国第一所电报学堂。1876年，福州城至马尾港的电报线建成并投入使用。从此中国有了第一条电报线路。

7月1日，李鸿章致信福建船政大臣兼署福建巡抚丁日昌：

“此间水雷学堂兼习电报，诸童颇有进益。昨将东局（天津机器东局）至敝署（直隶总督衙署）十六里内试设电线，需费数百元，使闽、粤学生司其事，能用浅俗英语及翻出华文，立刻往复通信，洵属奇捷。闽中学堂已散，台地电报将如何试造，幸速筹办，俾可逐渐推广。”

李鸿章建议丁日昌在台湾等地迅速架设电报线路，并进一步逐渐推广。

1877年，福建巡抚丁日昌利用去台湾视事的机会提出设立台湾电报局，先由旗后（即今高雄）造至府城（即今台南）。负责工程的是武官沈国光。于1877年8月开工，使用曾一度废弃的“福州——厦门线”的电缆、木材和设备同年10月11日完工，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。

# 电报在中国 (7)



1877年6月15日，李鸿章在天津机器东局到直隶总督衙署之间搭设了一条电报线路。这条电报线路长约16里，是有记录可查的中国第一条电报线路。

6月27日，这条电报线路进行了第一次发电报，内容只有六个字：“行辕正午一刻。”

这里的“行辕”，指的是直隶总督衙署。显然，这件电报是从直隶总督衙署发往天津机器东局，时间为“正午一刻”。

晚清学人姚公鹤在《上海闲话》中记录了这件事：

“至电线设置，自光绪元年总署奏准开办后，迄光绪三年五月五日（6月15日），上海电线成。而第一次发电，则由李文忠行辕中通电至制造局。其电文为“行辕正午一刻”六字。官民视为怪事，不减铁路之开车。当时《申报》著有论说，其主旨仍不免目为奇技淫巧云。”

1879年，清朝政府为了沟通军情，派李鸿章多次与在我国开设电报局的丹麦大北电报公司交涉，由中国出钱，委托其修建大沽（炮台）、北塘（炮台）至天津，以及从天津兵工厂至李鸿章衙门的电报线路。这是中国大陆上自主建设的第一条军用电报线路。

# 电报在中国 (8)



1880年10月，李鸿章在天津设立电报总局，派盛宣怀为总办。并在天津附设电报学堂，聘请丹麦人博尔森和克利钦生为教师，委托大北电报公司向国外订购电信器材，为建设津沪电报线路作准备。

1881年4月，在李鸿章的支持下，中国第一条长途电报线路——津沪直达电报线路在上海、天津两地同时开工架设。工程进展迅速，到年底，这条全长3075里，用费17.87万湘平银的电报线路就全线竣工，并投入使用。



# 电报在中国 (9)



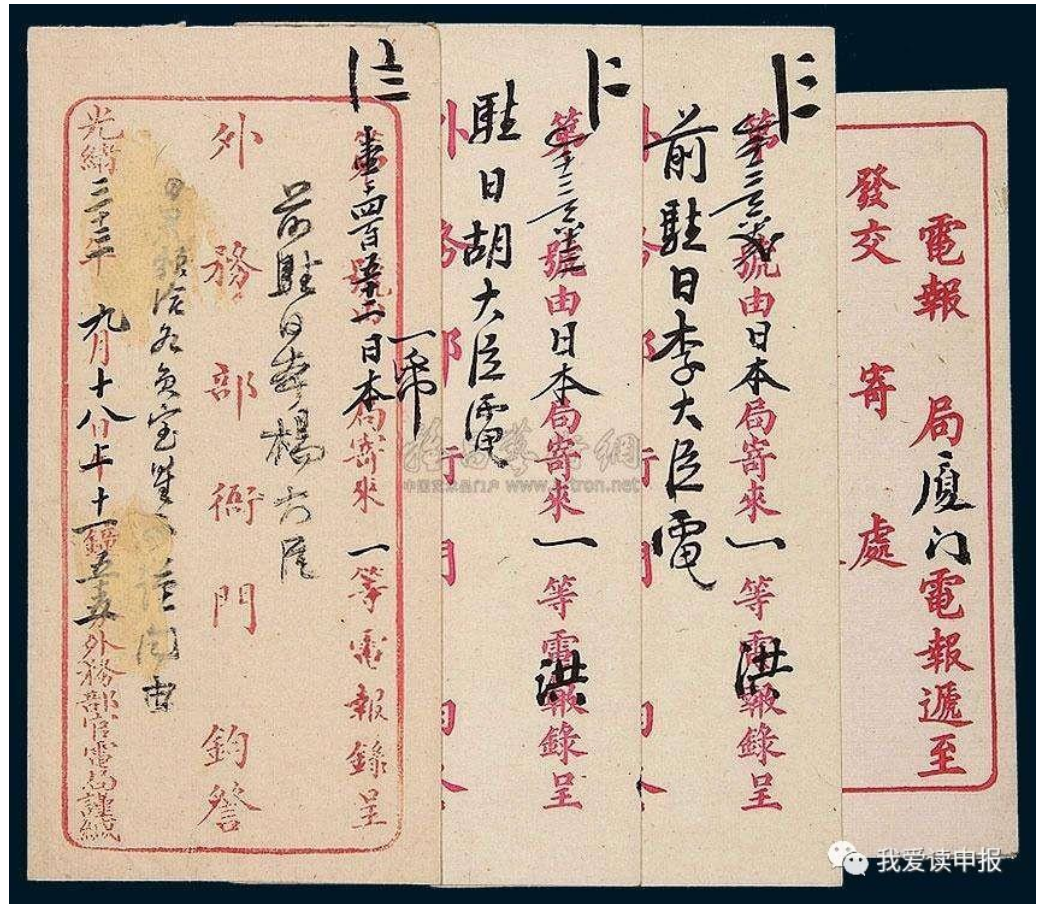
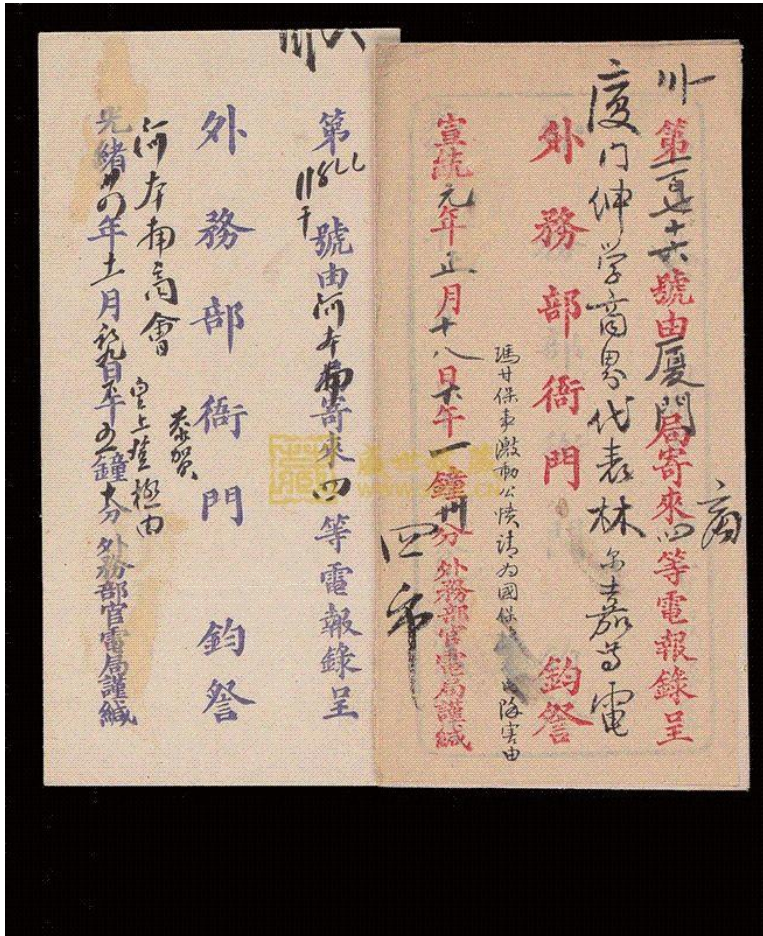
1882年4月改为官督商办，募集商股80万元。1883年春开始架设沪粤线，次年夏全线通报。

1882年1月16日，《申报》刊登了中国新闻史上第一条新闻专电：“清廷查办云南按察使渎职。”

清光绪九年(1883年)，中国电报总局使用单根铁线建成通州(今北京通州区)至天津的电报线，用大地作为低电阻回流环路，传送电报信号。光绪十年(1884年)，沪津、津通、通京陆线延伸至京，自此北京开始有了自办官、商电局，经营电报业务。

电报总局也迁往上海，在各地设分局、子局、子店、报店四个等级的分理机构。1884年接收华合公司，改为广州电报分局，电线通至九龙。同年长江陆线竣工。至80年代末，通往西南、西北、北京、东北的干线也陆续建成，初步形成了贯通全国的电讯网。1908年改为官办，隶属邮传部，称电政局，兼办电话事业。电报总局是洋务派经营的民用企业中比较成功的一个，对于促进经济交往，抵制外商，收回利权以及国防情况的迅速传递都发挥了积极作用。到1908年，包括商用和官用在内，电报线总长达45448里建立了将近400个电报局分局，一个完备的电报网络就此形成。

# 电报在中国 (10)








# 电报在中国 (12)



北京电报大楼于1956年5月动工兴建，1958年9月29日建成竣工。



大快活兔    +关注

6月15日 12:24 来自 HUAWEI Mate 8

#手机出品# 电报大楼营业厅今天开始关闭了，作为一个老电报人，只有以此纪念了。😭😭😭

7193 1032 1129 2869 9976 7193 1032 0086 3057 6678 4104 1906 2037 9982 📍北京·电报大楼营业厅

↑ 收起 🔍 查看大图 ↶ 向左旋转 ↷ 向右旋转

发件人姓名		收件人姓名	
电报类别		电报日期	
电报地址		电报日期	
电报内容	<p style="text-align: center;">以下由发件人填写 <span style="float: right;">字码等按电报法填</span></p> <p> <span style="font-size: 1.2em;">电报</span> </p> <p> <span style="font-size: 1.2em;">报</span> </p>		
电报内容	<p> <span style="font-size: 1.2em;">北京</span> </p> <p>           吾于(阴)年入职北京电报局目睹(35)年变迁；时代变革天翻地覆无以言表，故以此纪念。胡东毅于北京电报大楼         </p>		

(以下各栏按电报法填写，不写汉字，不写标点)

电报局 收 日期 月 日 时 分  
 请注意背面“发电须知”

@大快活兔

# 电报在世界的现状



所  
美  
  
国  
支

香港  
有电  
国最  
2006  
发行

南美侨报网 > 巴西 > 正文

在很多国家已停用的电报 巴西依然使用

发布时间: 2017-12-23 12:03:17 来源: 本站原创 作者: 浏览次数: 691 评论: 0

【南美侨报网讯】12月29号, PROXIMUS公司宣布将在比利时停止电报服务。世界上已经有很多国家很早就已经停止使用电报, 比如美国在2006年、爱尔兰是2002年、瑞士是2002年、印度是2013年等等。

## 德国将停止国外电报业务

<http://www.sina.com.cn> 2000/09/04 09:07 华声报

华声报讯柏林9月2日消息, 据《法兰克福汇报》2日报道, 德国电信公司将在今年年底停止在德国已延续了150年的国外电报业务。

报道说, 德国电信作出上述决定是由于传真、电子邮件和移动电话等现代化通信技术的普及, 电报业务的需求越来越小, 预计今年只有7万份。

由于德国人时常还用电报互致问候, 因此德国邮电部门仍将保留国内的电报业务。

## 美国停止电报业务

[www.sina.com.cn](http://www.sina.com.cn) 2006年02月06日10:11 大洋网-广州日报

美国西部联盟公司宣布, 停止电报业务。具有讽刺意义的是, 该公司的。而互联网这一高科技通信手段恰恰就是导致电报“退”越来越少的人使用电报, 这个消息竟然足足被人忽略了一个星期意。

## 国际电报业务将在瑞典退出历史舞台

<http://finance.sina.com.cn> 2002年03月01日 11:18 新华网

新华网斯德哥尔摩2月28日电(记者吴平)瑞典国有泰利亚(TELIA)电信公司28日宣布, 给人们交往提供极大便利的国际电报业务, 将于今年4月30日完成其在瑞典长达一个半世纪的使命, 正式退出历史舞台。

后10份电报的内容包括生日祝福、对死者的哀悼和一次紧急报的人并非忠实的电报拥趸, 是冲着“发出美国历史上最后一

1855年, 当时电报是先进、流行的通讯手段, 后来被称, 该公司也是美国最后一个提供电报服务的公司。相关报道见

# 电报在国内的现状



广州电报业务关停至今即消 仅少数领域保留

新京报网 深度 快讯 直播 评论 深度 财经 更多

11:10 南方都市报

2017-07-06 02:30:57 | 新京报 作者：陶若谷 实习生 黄孝光

原创版权禁止商业转载 授权 >>

## 电报已“死” 电报人还活得好好的

2017年6月15日，北京电报大楼营业厅正式宣布停业。虽然电报业务还象征性地存在，但在媒体的报道中，这几乎标志着一个时代的终结。在这条曾经的信息高速公路上，他们沉默地忙碌，沉默地让路，沉默地挥别。

记者本周走进了电报大楼，

三人中最资深的报务员，本

## 市井：打探成都最后的电报柜台

四川新闻网 2011年01月26日 10:51

## 上海仅剩1家营业厅可发电报

杭州最后的电报房 还有5位报务员在坚守

2013-07-30 07:39:23 杭州网

— 2015 —

07/01

02:50

新闻晨报





50年代电报大楼营业厅

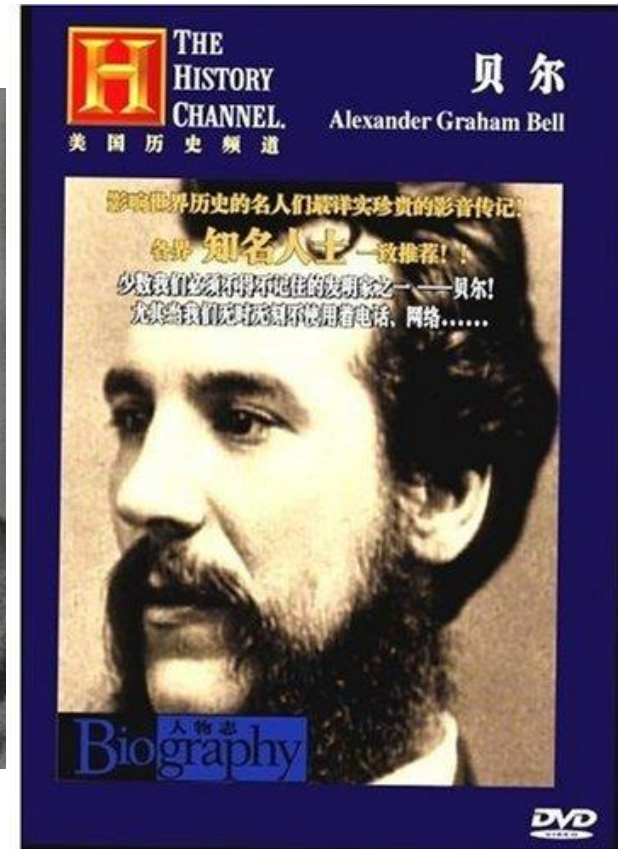
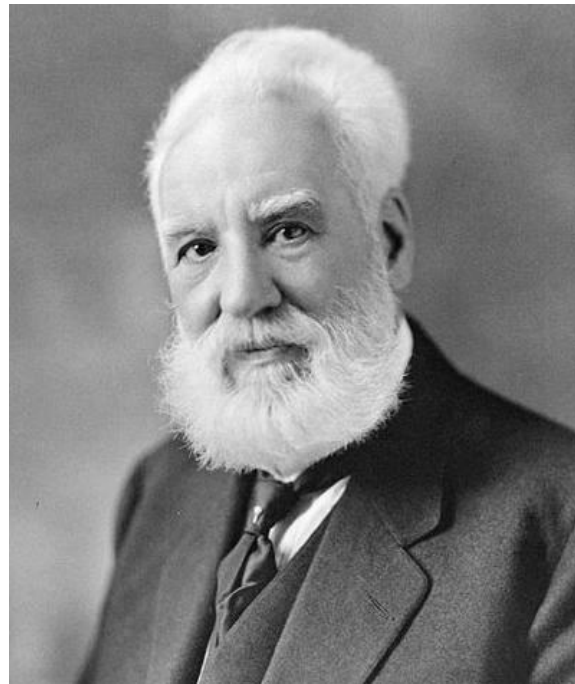


80年代初电报大楼营业厅

# 贝尔与电话



## ◆ Alexander Graham Bell (1847~1922)



A. G. BELL.  
TELEGRAPHY.

No. 174,465.

Patented March 7, 1876.

Fig. 1.

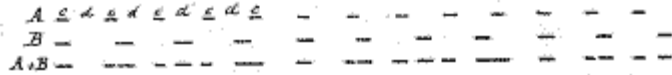


Fig. 2.

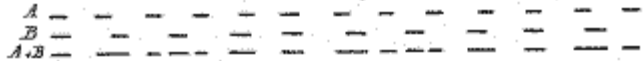


Fig. 3.

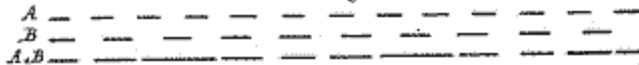


Fig. 4.

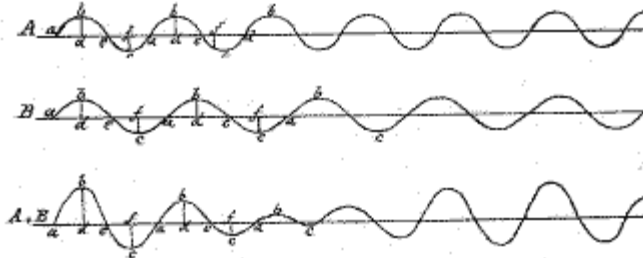
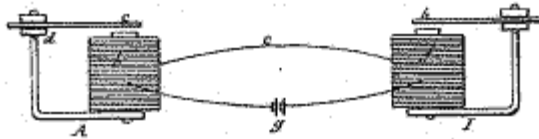


Fig. 5.



Witnesses

*Ewell & Clark*  
*W. J. Hutchinson*

Inventor:

*A. Graham Bell*  
*by Atty. Miller & Bailey*

A. G. BELL.  
TELEGRAPHY.

No. 174,465.

Patented March 7, 1876.



Fig. 6.

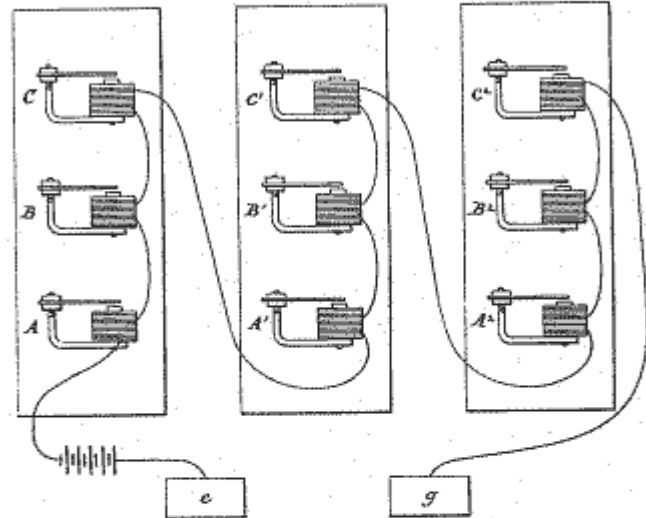
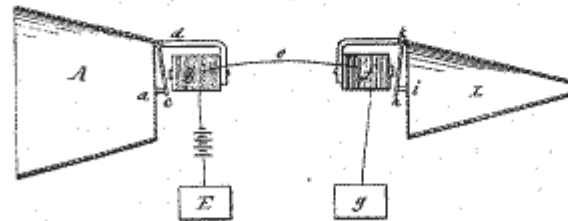


Fig. 7.

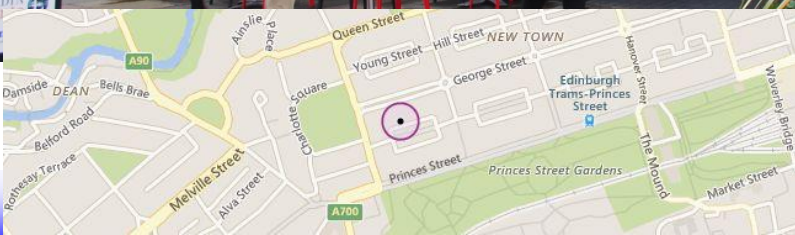


Witnesses

*Ewell & Clark*  
*W. J. Hutchinson*

Inventor:

*A. Graham Bell*  
*by Atty. Miller & Bailey*



爱丁堡乔治街上的贝尔餐厅

# 电话在中国

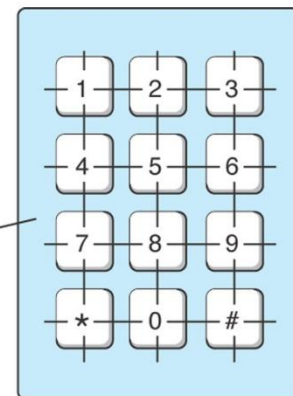
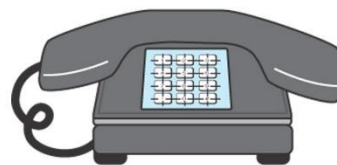


清光绪二十七年(1901年)，丹麦商人璞尔生（Poulson）趁“庚子之乱”擅自将天津的电话线路延伸到北京，，在城里的东交民巷架设电话线路，并在东城船板胡同设立了“电铃公司”进行营业，一对线路可通一个电话。

光绪二十九年十一月十五日（1904年1月2日），北京电报局开始兼办北京电话局，自行经营市内电话和长途电话业务。



# 电话拨号盘的变迁



# 从脉冲拨号到音频拨号



电话上的 P-T 按键有什么用

我来答 分享 举报

浏览 2383 次

1 个回答

#活动# 提高答率: 1分钟识破网络诈骗

唐山好心人  
推荐于 2017-09-07

就是一个拨号方式选择转换键：“P - T” 开关脉冲（PULSE）/ 音频（TONE）转换开关。开关拨至“TONE” 位时，每拨一个号码，便发出一组双音频信号。这种方式适用于程控交换机，它具有发号稳定、接续速度快的优点，适用于多种新业务的开放；开关拨至“PULSE” 位，则每拨一个号码，便送出一组代表这个数的脉冲。这种方式拨号速度慢，给使用多种电话新服务项目带来一定的局限性。

周鸿祎手机号码被破解 李开复争夺人才

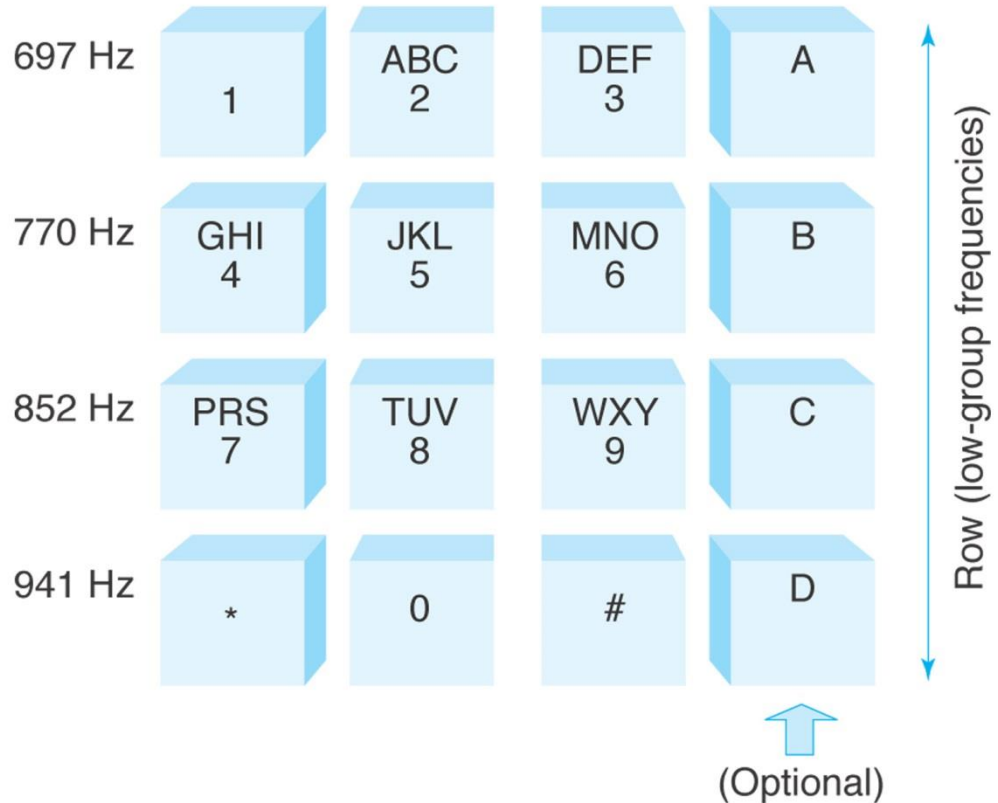
陈世敏@爷爷帮 · 2012-08-31 21:27:45 · 互联网

一名大学生通过电话按键声音破解了奇虎360董事长周鸿祎的手机号码，引来无数惊叹。在周鸿祎证实该事件后，创新工场CEO李开复与周鸿祎开始人才争夺战

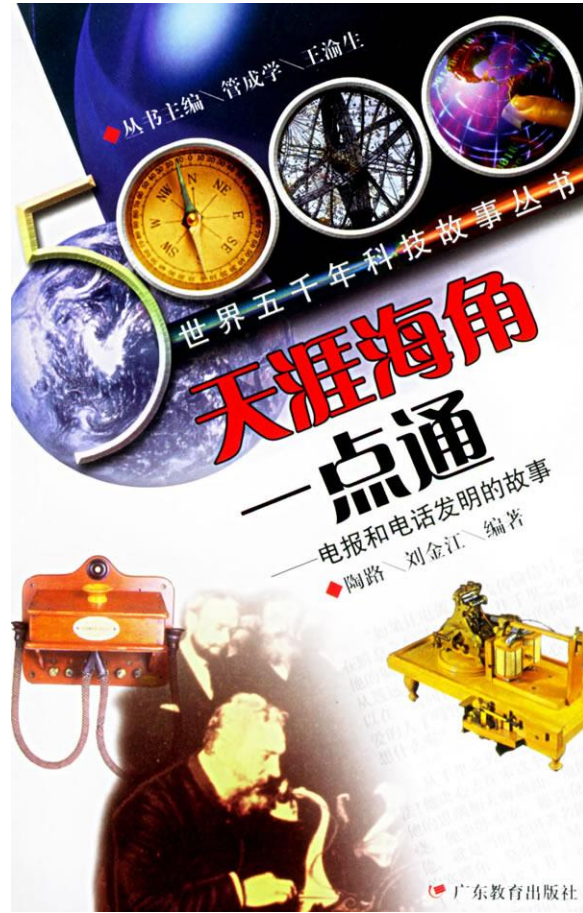


emouse的技术专栏

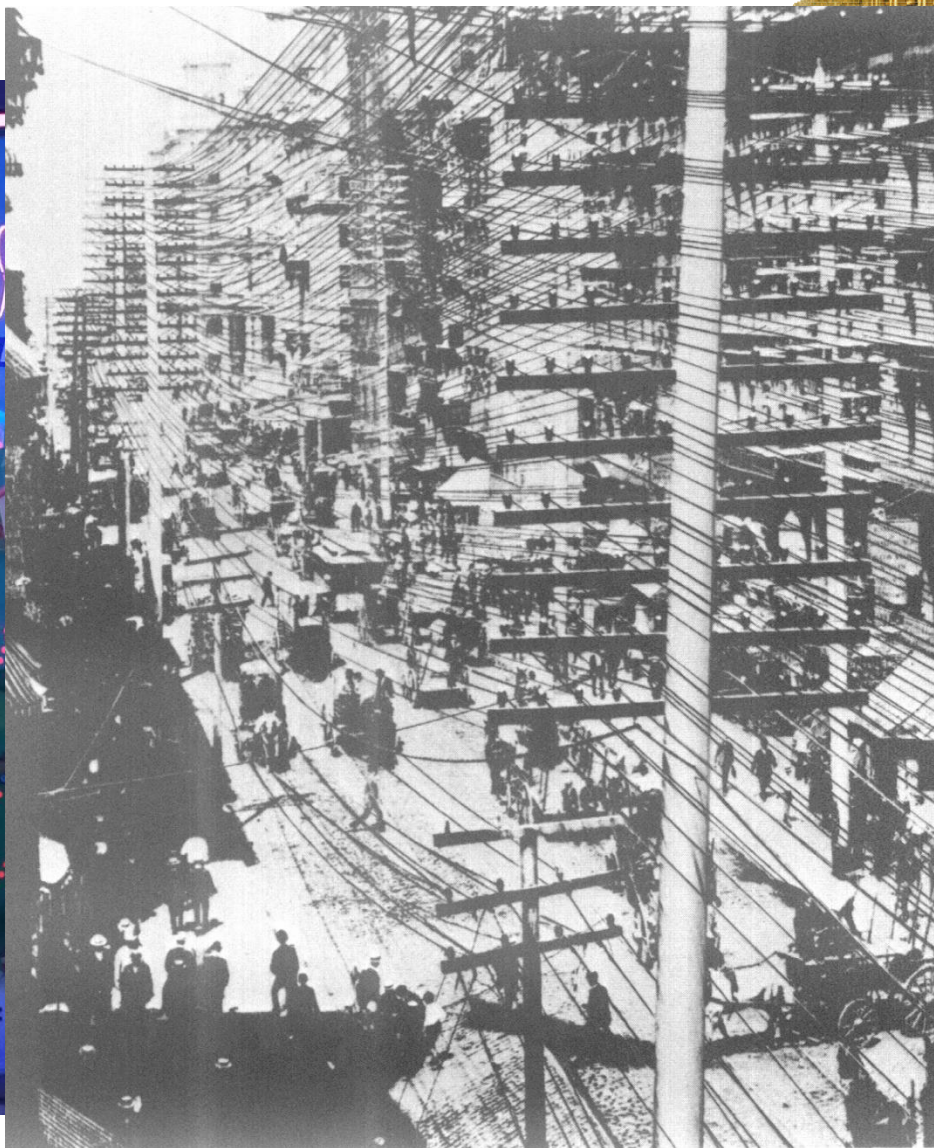
Column (high-group frequencies)  
1209 Hz 1336 Hz 1477 Hz 1633 Hz



# 华工图书馆里的一本科普小读物



# 交换

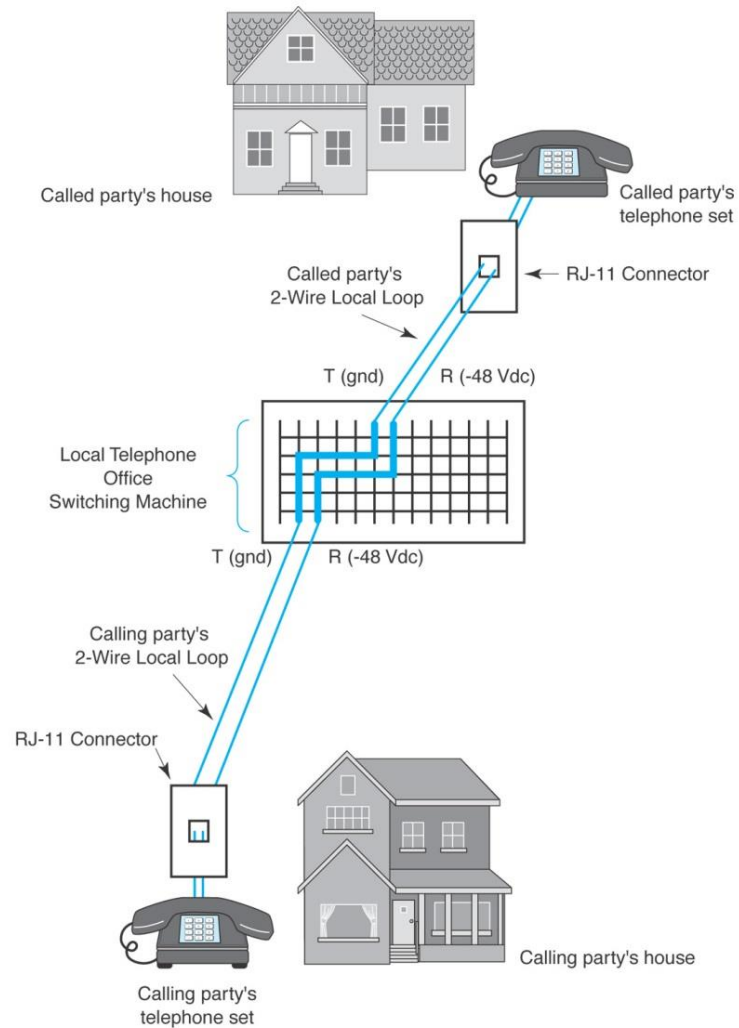


# 从人工交换到自动交换



总是跟同一个人说

英国邮政总局海报，作者John Cooper



# 各式各样的人工交换设备

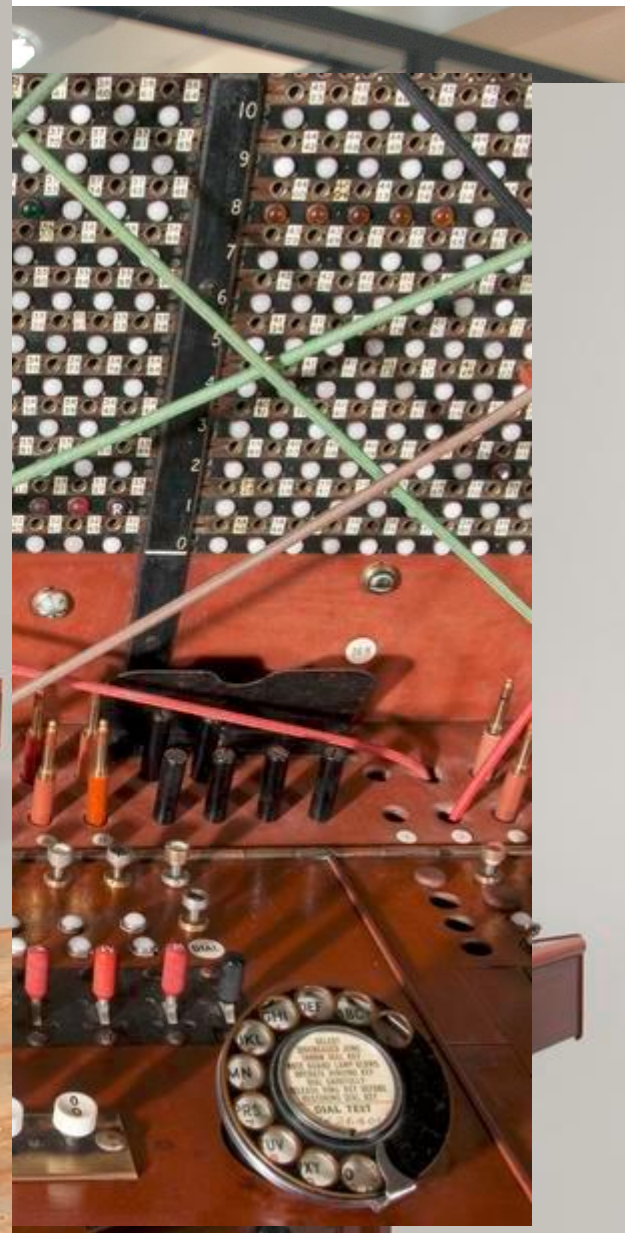


Floor-standing telephone exchange made by Allmänna Telefonaktiebolaget L. M. Ericsson, Stockholm c. 1920.



PMBX 2+4/6 manual telephone exchange, c.1930

图片取自伦敦 科学博物馆网站



图片取自伦敦 科学博物馆网站

# 人工交换的影视片段



Changeling (2008)

# 博物馆里的人工交换机



# 单选择开关交换



呼叫方接入到单位数  
终端线.

数量有限!!!



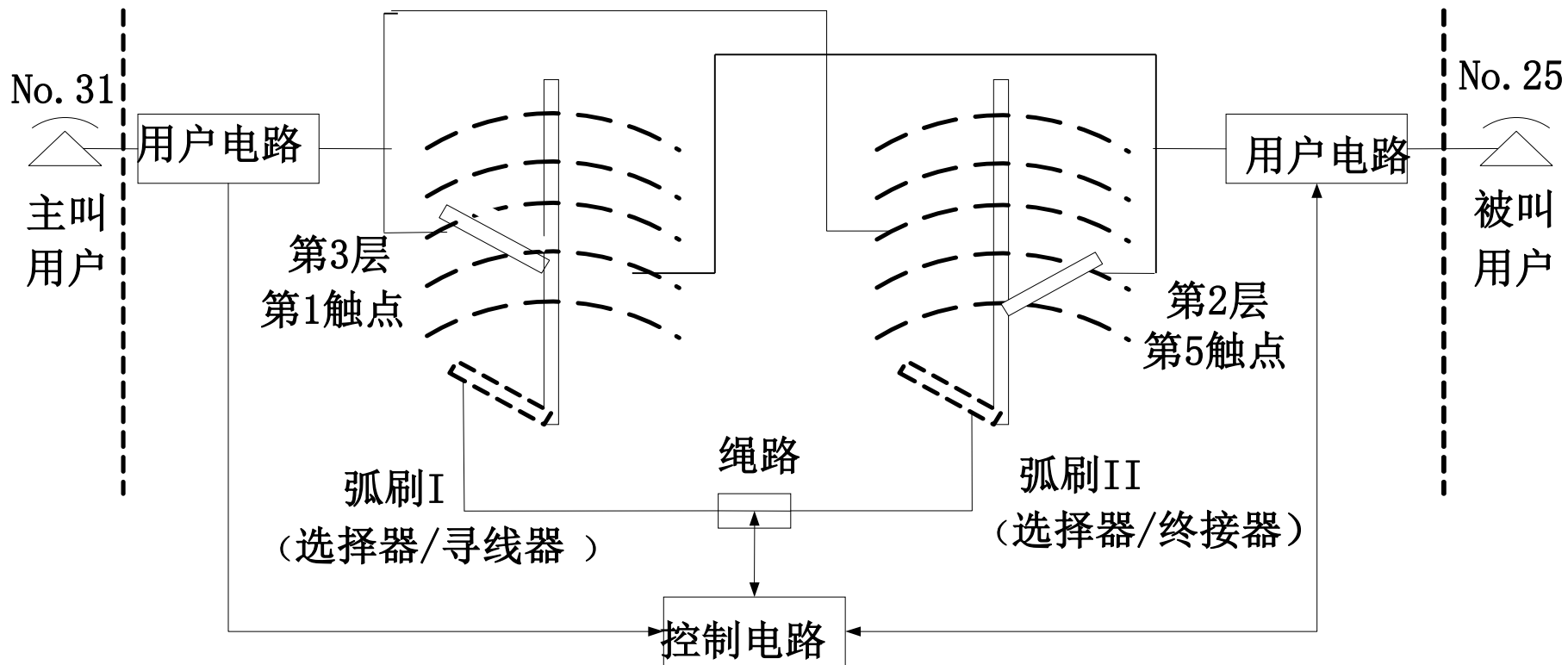
Almon Brown Strowger 1839 - 1902

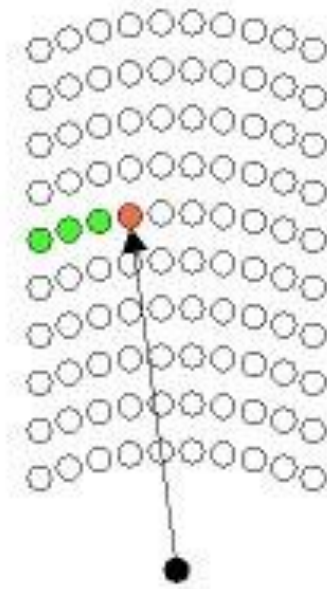
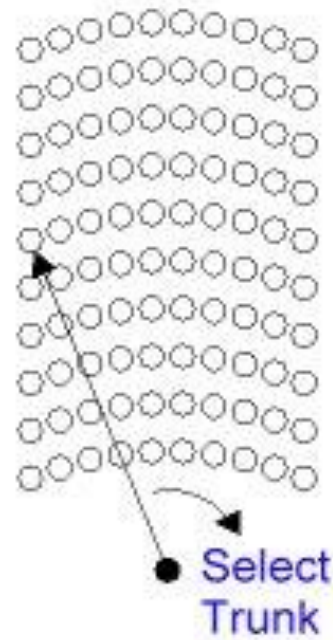
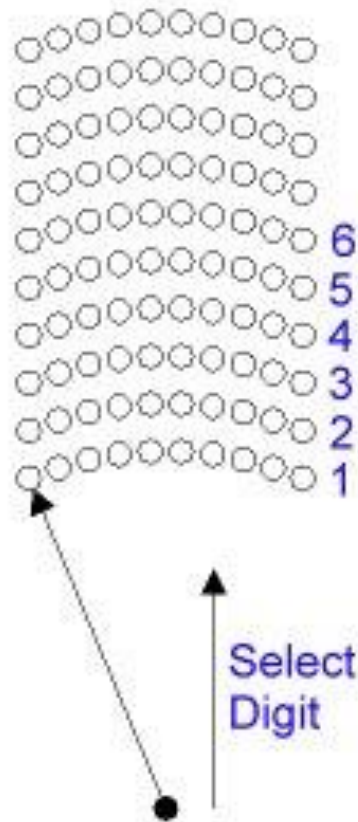
# 步进交换系统



In 1892 by A.B. Strowger

利用话机拨号脉冲直接控制步进接线器的上升和旋转。









# 自动交换的影视片段



# 博物馆里的自动交换机



# 交换在中国



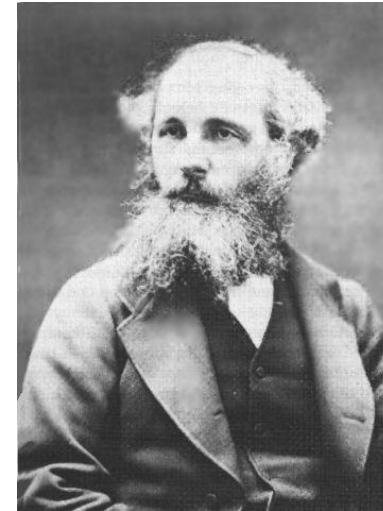
- ◆ **1882年2月21日**，丹麦大北电报公司在上海开通了第一个人工电话交换所。
- ◆ **1900年**，南京首先自行开办了磁石式电话局。此后，**1900年到1906年**，苏州、武汉、**广州**、北京、天津、上海、太原、沈阳等城市也先后自行开办了市内电话局。它们使用的都是磁石式电话交换机。
- ◆ **1924年3月29日**，上海华洋德律风公司在租界装设了爱立信生产的自动电话交换机并投入使用。这是中国最早使用的自动电话交换机。
- ◆ **1982年**，中国第一部万门程控电话交换机在福州启用，引进的是日本**F-150**万门程控交换机。
- ◆ **1987年9月**，泉州、晋江、石狮建成全国第一个市、县、乡三级联网的程控电话本地网。
- ◆ **1989年9月23日**，广州电信局召开“广州市内电话全部实现程控化新闻发布会”。至此，**广州市成为全国第一个开通程控电话的省会城市**。
- ◆ **1993年9月**，福建在全国第一个实现了县以上电话交换程控化，传输数字化。

# 麦克斯韦提出电磁辐射方程组



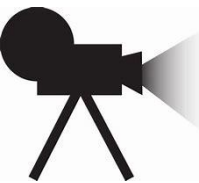
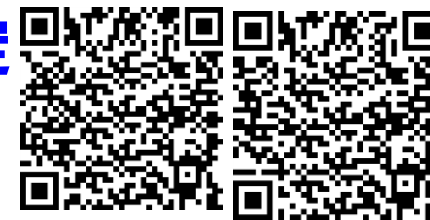
## ◆ James Clerk MAXWELL, 1831-1909

➤ In 1860s~1870s, James Clerk Maxwell 提出了4个著名的电磁方程.



THE BASIC EQUATIONS OF ELECTROMAGNETISM (MAXWELL'S EQUATIONS) *			
Name	Equation	Describes	Crucial Experiment
Gauss's law for electricity	$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = q$	Charge and the electric field	1. Like charges repel and unlike charges attract, as the inverse square of their separation. 1'. A charge on an insulated conductor moves to its outer surface.
Gauss's law for magnetism	$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	The magnetic field	2. It is impossible to create an isolated magnetic pole.
Ampère's law (as extended by Maxwell)	$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i$	The magnetic effect of a changing electric field or of a current	3. The speed of light can be calculated from purely electromagnetic measurements. 3'. A current in a wire sets up a magnetic field near the wire.
Faraday's law of induction	$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$	The electrical effect of a changing magnetic field	4. A bar magnet, thrust through a closed loop of wire, will set up a current in the loop.

➤ 2004年，英国的科学期刊《物理世界》举办了一个活动：让读者选出科学史上最伟大的公式。结果，麦克斯韦方程组力压质能方程、欧拉公式、牛顿第二定律、勾股定理、薛定谔方程等”方程界“的巨擘，高居榜首。





# 与麦克斯韦的“偶遇” (2)



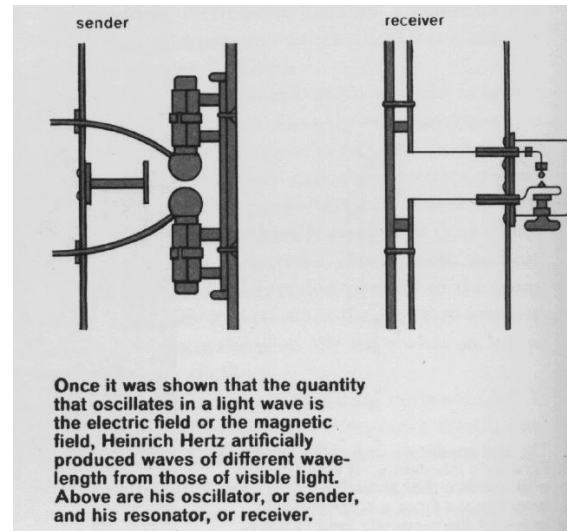
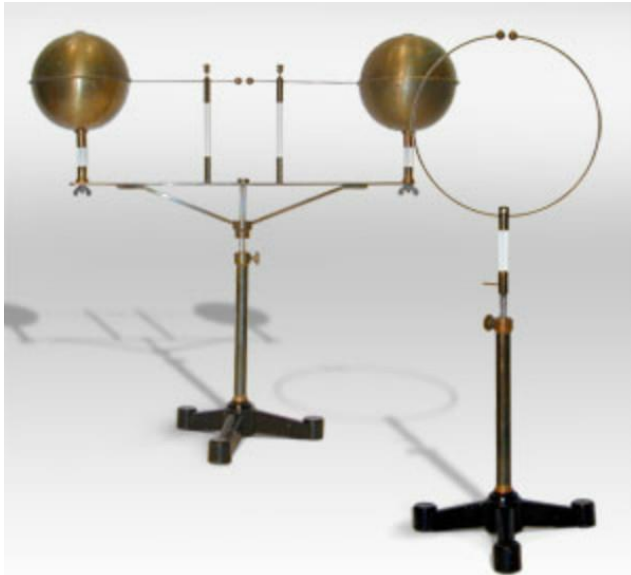
于爱丁堡乔治街拍摄的麦克斯韦雕像  
及地面上的麦克斯韦方程

# 赫兹验证电磁波的存在



## ◆ Heinrich Rudolf Hertz, 1857-1894

- 1888年, Heinrich Hertz制造了一个5米长的设备来接受电磁波.
- 赫兹在1894年元旦去世, 终年不到37岁。但是, 赫兹对人类的贡献是不朽的, 人们为了永远纪念他, 就把频率的单位定为“赫兹”。





◆ 1894年，Oliver Lodge发现了含有金属细末的非导性管可以被用来检测电磁波的存在。



Sir Oliver Lodge  
Smithsonian Institution Photographic Services.

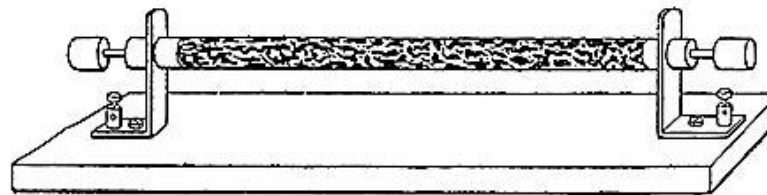
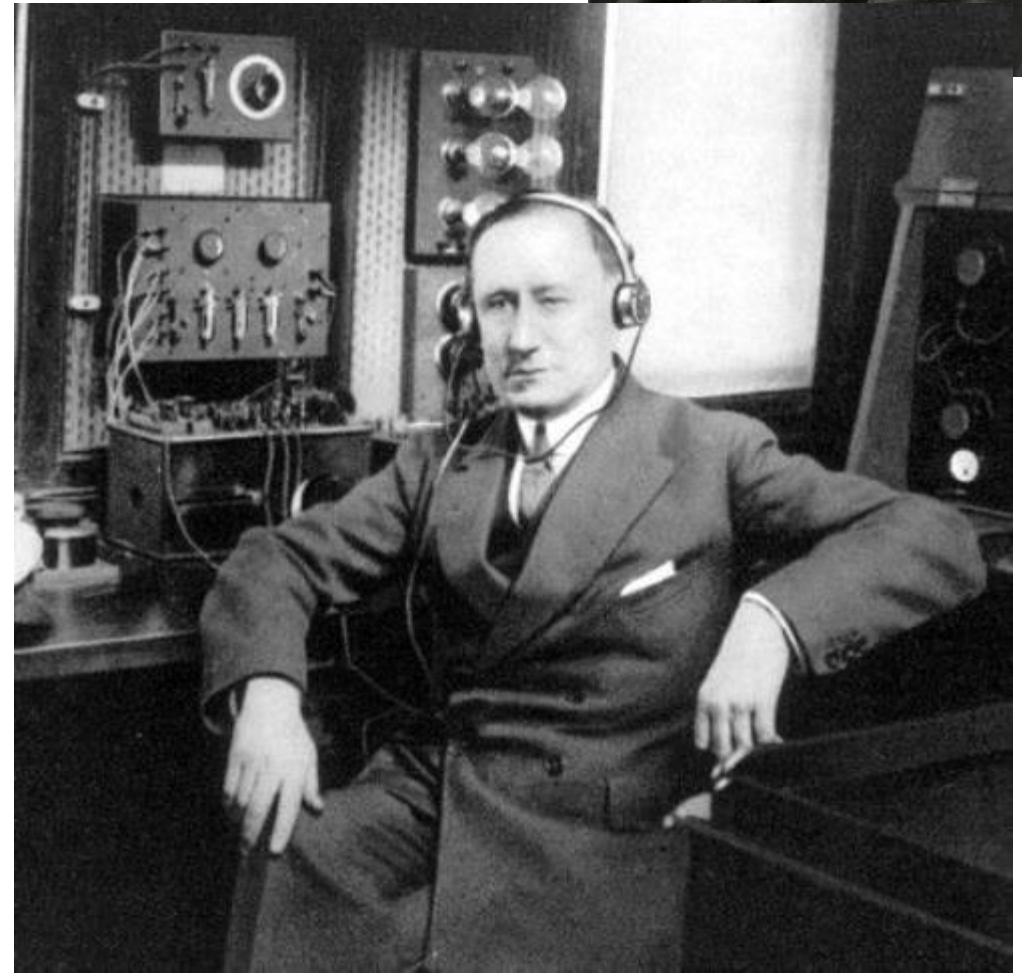


Fig. 3. Lodge's early "metal filings coherer" used to detect electromagnetic waves.

# 马可尼发明无线电报

◆ Guglielmo Marconi 1874-1937





- ◆ **1895年**马可尼在他父亲的蓬切西奥（**Pontecchio**）庄园开始了他的实验室实验。在这里他成功地把无线电信号发送到了**1.5英里（2.4km）**的距离，他成了世界上第一台实用的无线电报系统的发明者。
- ◆ **1896年**，**22岁**的马可尼告别故乡，偕同父亲到达英国。在英国邮政部门的支持和帮助下，马可尼进行了多次无线电收发表演，还在公开场合做了**10公里至20公里**的无线电报通信演示，并获得了成功。
- ◆ **1897年**，在伦敦成立了由英国政府代办的马可尼无线电报公司。有了资金的支持，马可尼开始把无线电通信向商业化发展。
- ◆ **1898年**，英国举行游艇赛，终点是距海岸**20英里**的海上。《都柏林快报》特聘马可尼用无线电传递消息，游艇一到终点，他便通过无线电波，使岸上的人们立即知道胜负结果。这是无线电通信的第一次实际应用。
- ◆ **1899年10月**，马可尼在怀特岛上播发了第一封收费电报。电码飞越英国和法国之间的英吉利海峡，通信距离达**45公里**。后来人们将这作为无线电诞生的标志。

# 马可尼与怀特岛



# 马可尼与他人分享了1909年的诺贝尔物理学奖



## Nobel Prize in Physics · 1909

### WINNERS



Guglielmo Marconi  
Nobel Prize in Physics

### MOTIVATION FOR WINNING

For their contributions to the development of wireless telegraphy.



Karl Ferdinand Braun  
Nobel Prize in Physics

For their contributions to the development of wireless telegraphy.

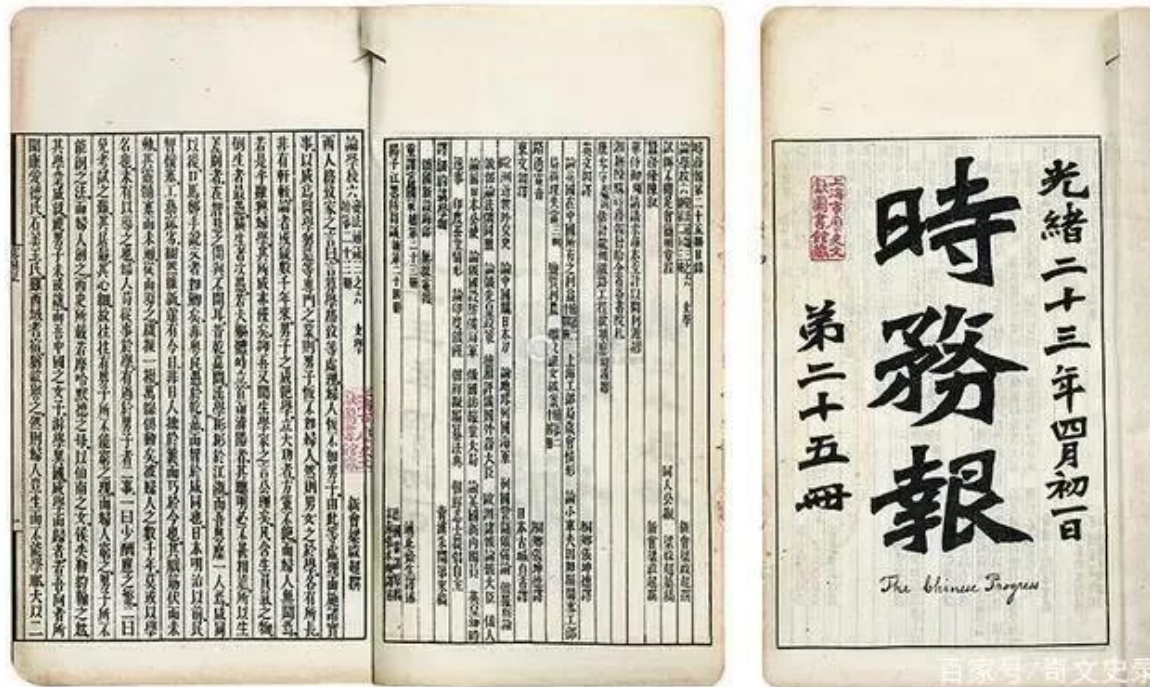
1933年12月7日至12日，马可尼曾到我国访问，并在南京停留，宣传普及无线电知识，他特别讲到：“贵国地大民众，无线电最有用处，望贵国人士深明此意，联络民众，交换情感，可造成一强大无匹之国家”。



# 我国的无线电历史 (1)



◆ “无线电报”一词最早在中国出现是1897年《时务报》刊出的译文——《无线电报》，介绍了1896年马可尼进行无线电报通信试验的情况。



## 我国的无线电历史（2）



- ◆ 我国最早使用无线电通信的地区是**广州**。清光绪二十四五年间(1899-1900)广东当局于广州城督署内及马口、前山、威远各要塞、宝璧、龙骧，江大、江巩、江固、江汉各江防舰艇设置无线电机，专为江防通信之用，所用机器均系马可尼旧火花式(MARCONI SPARK GAP)，由丹麦人那森(NARSEN)承办，无线电报生亦由那森训练，并于广州设无线电总办掌理其事。这是我国使用无线电通信的开端。

# 我国的无线电历史（3）



- ◆ 1905年7月，北洋大臣袁世凯在天津开办了无线电训练班，聘请意大利人葛拉斯为教师。他还托葛拉斯代购马可尼猝灭火花式无线电机，在南苑、保定、天津等处行营及部分军舰上装用，用无线电进行相互联系。
- ◆ 1906年因广东琼州海缆中断，在琼州和徐闻两地设立了无线电机，在两地间开通了民用无线电通信。这是中国民用无线电通信之始。
- ◆ 1911年，德商西门子德律风公司向清政府申请，要求在北京、南京设立无线电报机，进行远距离无线电通信试验。电台分设在北京东便门和南京狮子山

# 我国的无线电历史（4）



- ◆ 1926年10月，无线电专家刘瀚创办了第一个由中国人自己经营的广播电台——哈尔滨无线电广播电台。1927年3月，上海新新公司开办了我国第一座商业无线电广播电台。此后，天津、北京也先后创办了广播电台。

# 我党的无线电历史（1）



## ◆一切从中共六大说起



中共六大旧址早期模样



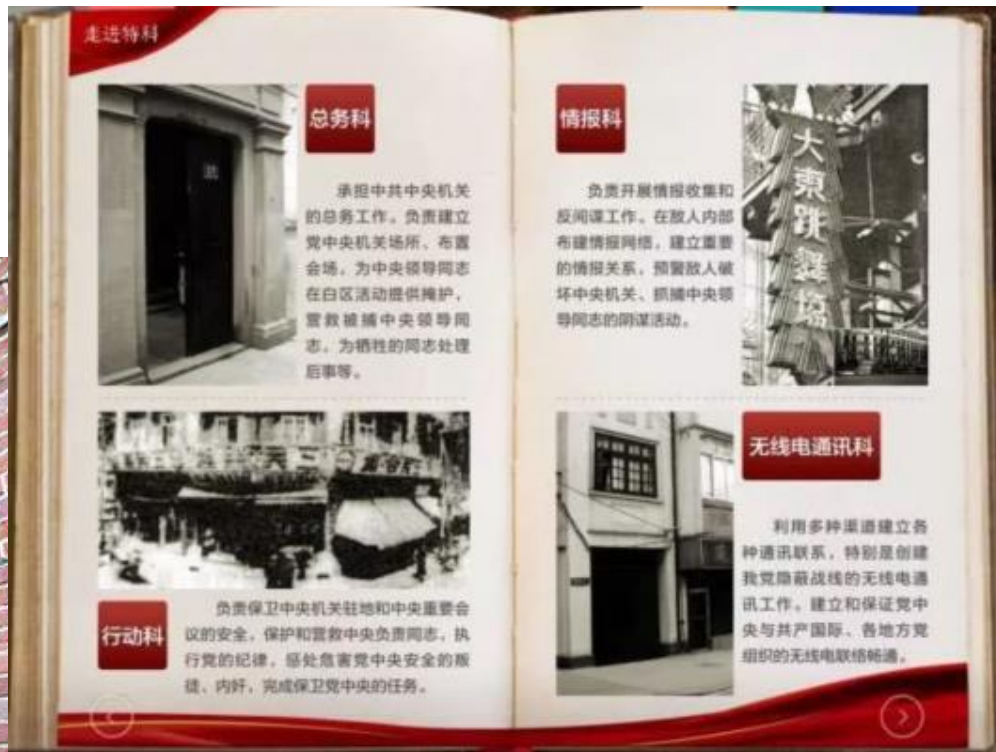
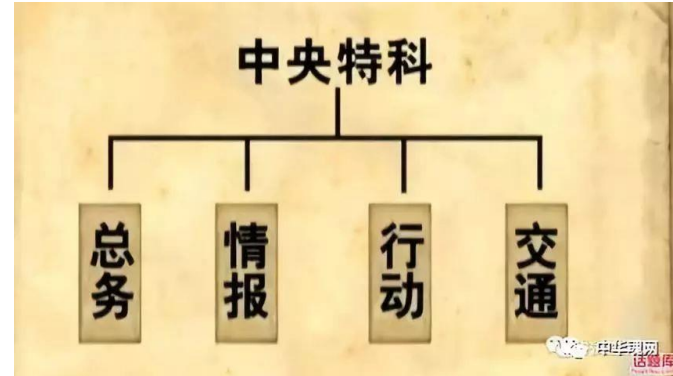
# 我党的无线电历史



2016年7月4日，在俄罗斯首都莫斯科，时任中共中央政治局委员、国务院副总理刘延东（右）和俄罗斯副总理戈洛杰茨共同为中国共产党第六次全国代表大会会址常设展览馆揭幕。

# 我党的无线电历史 (3)

## ◆ 中共中央特科



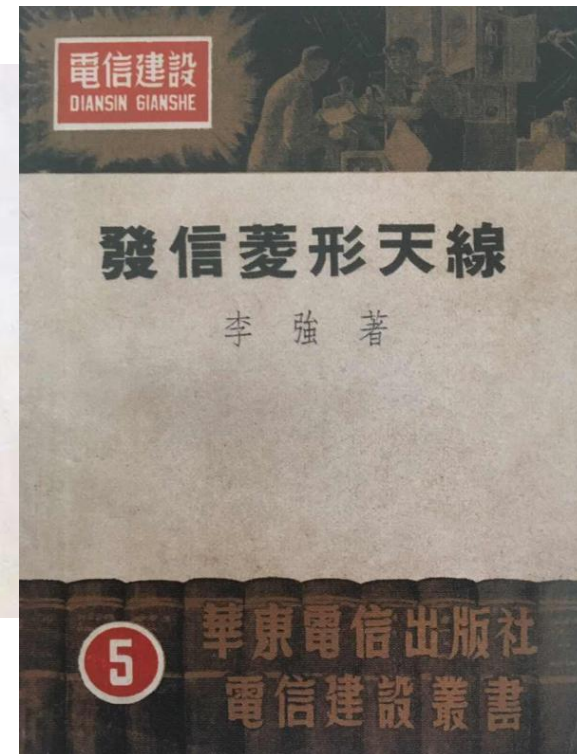
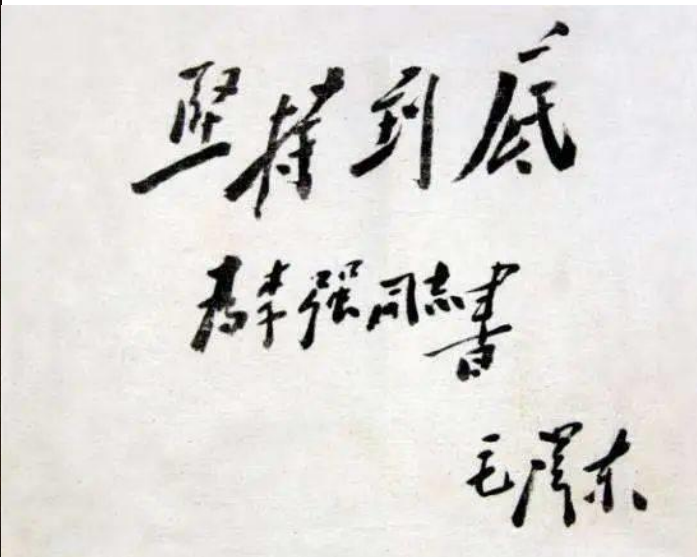
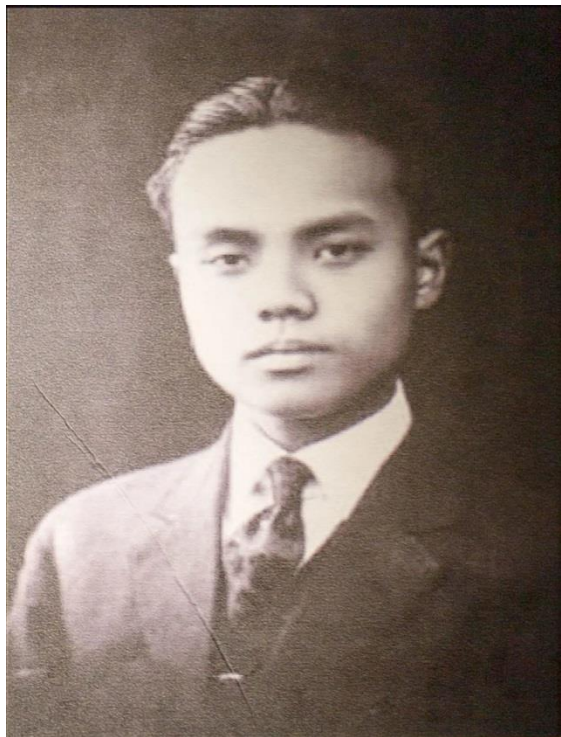
位于上海市静安区武定路930弄14号的中共中央特科机关旧址。



# 我党的无线电历史（4）



## ◆特科奇才 李强



# 我党的无线电历史 (5)



## ◆ 中共中央第一座无线电台



# 我党的无线电历史（6）



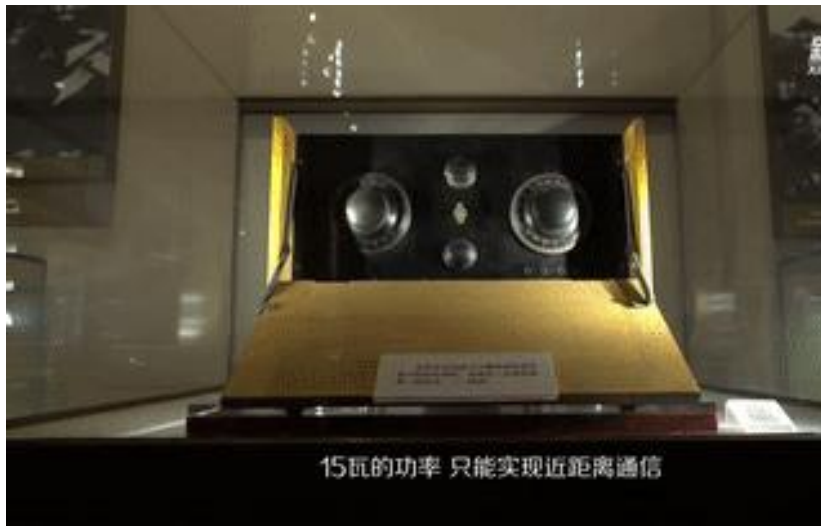
## ◆我党的第一个无线电训练班



# 我党的无线电历史 (7)



## ◆半部电台

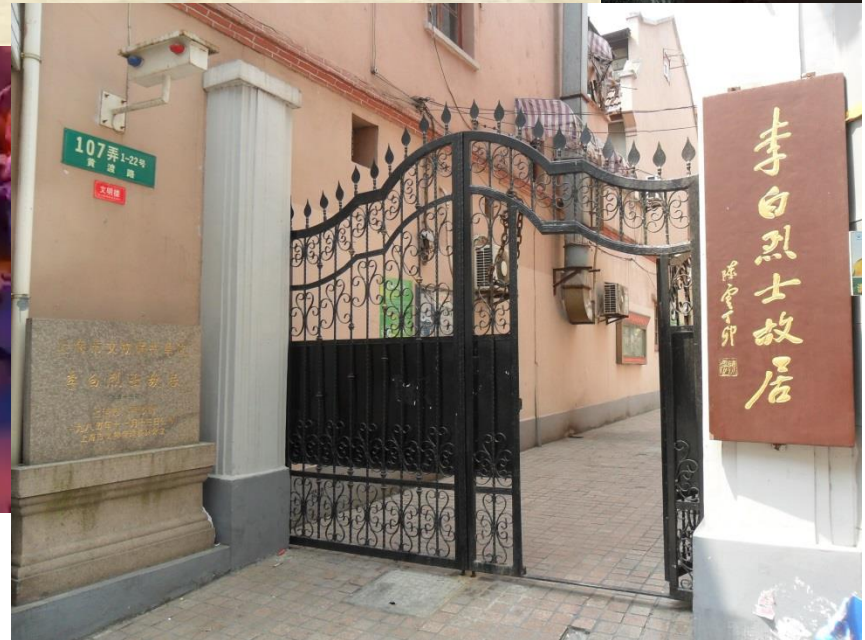


# 影视剧中的红色通信--永不消逝的电波



李白 (1910-1949), 湖南浏阳人, 中共党员。1930年参加红军。抗战开始后在上海从事与中共中央的通讯工作。曾3次被捕, 坚贞不屈。1948年12月再次被捕。1949年5月7日在上海被杀害。

Li Bai (1910-1949), born in Liuyang, Hunan, CPC member. He joined the Red Army in 1930. After the breakout of the Anti-Japanese War, he worked in Shanghai in charge of liaison between the local Party organization and the CPC Central Committee. He was arrested three times but never gave in. He was arrested again in December 1948 and murdered in Shanghai on May 7, 1949.



# 影视剧里的无线通信系统



图片翻拍自法国电影《大饭店》（1966）  
图片翻拍自意大利电影《Pierrot Le Fou》（1965） 图片翻拍自电影《攀登者》（2019）

# 第一次无线电语音广播



◆ **Reginald Fessenden (Canadian born, 1866-1932): 1905年第一次无线电语音广播**

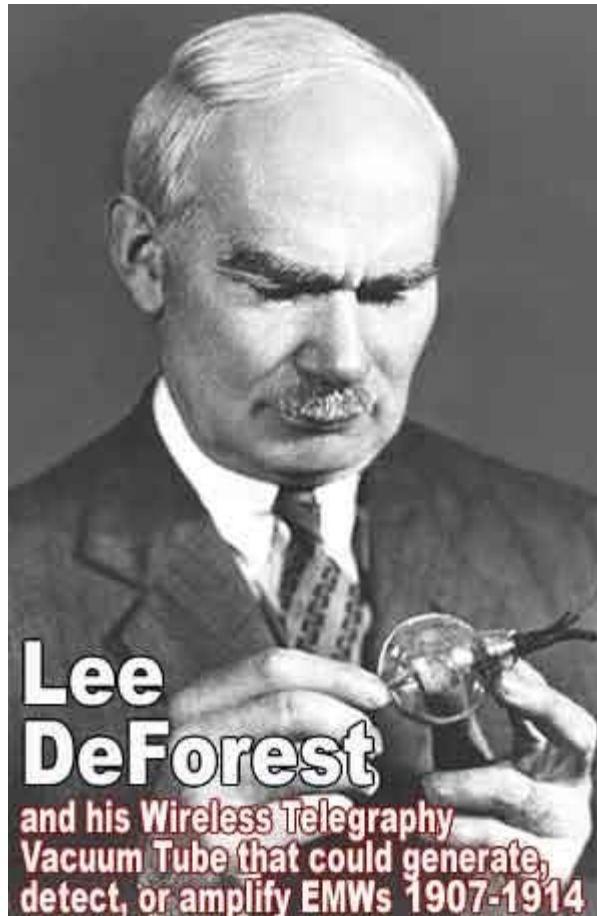


# 三极管放大器



◆ Lee De Forest, (August 26, 1873 - June 30, 1961)

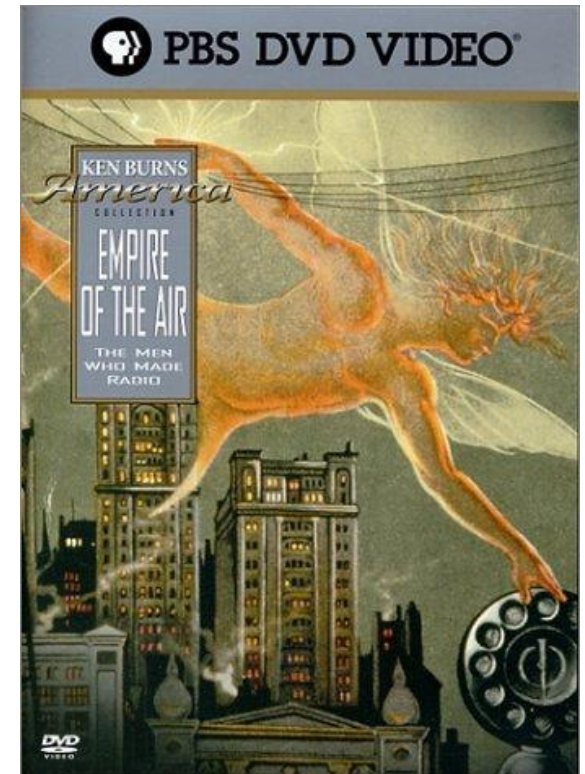
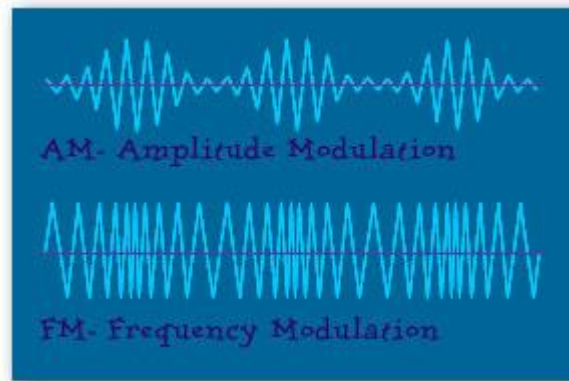
◆ In 1906



# Edwin Armstrong和无线电服务



- ◆ Edwin Armstrong (1890-1954)
- ◆ 1918年超外差无线电接收器
- ◆ 1933年推出FM



# Alec Reeves和PCM



- ◆ 1937年在法国巴黎International Standard Electric Company工作的英国工程师Alec Reeves(1902-1971)获得了脉冲编码调制, (PCM)的专利。PCM将语音转换成编码的数字脉冲并在远端转换回声音。

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORPORATION

320 PARK AVENUE

NEW YORK, N. Y. 10022

HAROLD S. GENEEN  
CHAIRMAN AND PRESIDENT

July 14, 1969

Mr. Alec Reeves  
Standard Telecommunication Laboratories Ltd.  
STC House  
190 Strand  
London W. C. 2, England

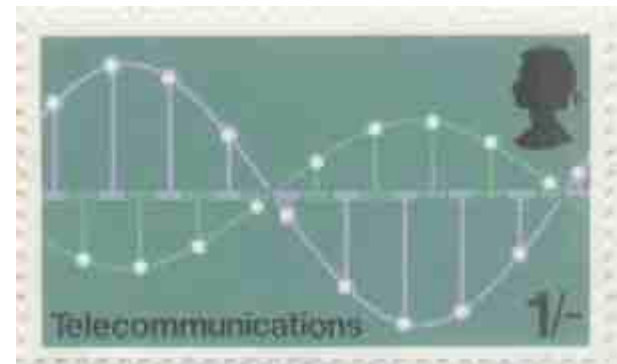
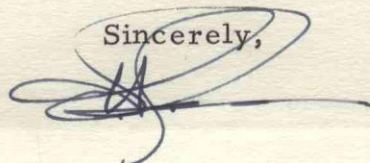
Dear Mr. Reeves,

Congratulations on your receipt of the latest honor  
for your pulse-code-modulation concept.

PCM is certainly revolutionizing the science of  
communications and recognition of your contribution by  
the CBE is well deserved.

Again, please accept my congratulations.

Sincerely,

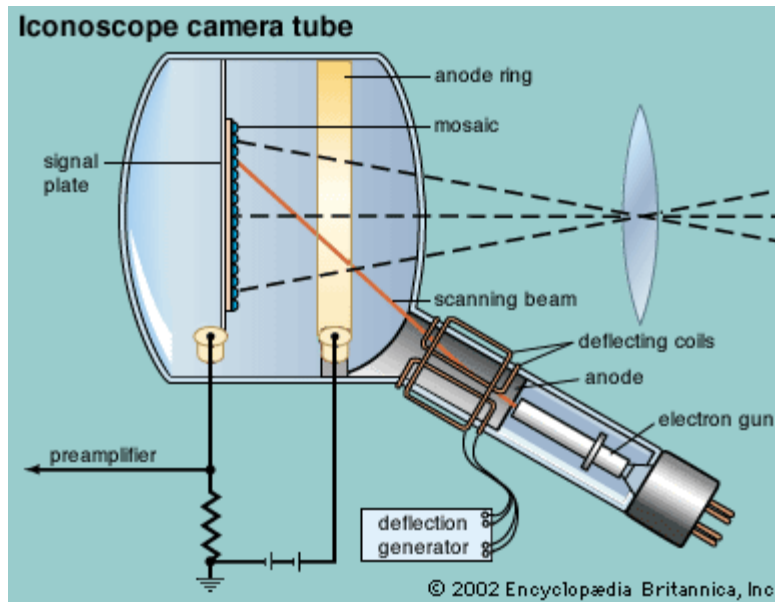


# 电视



◆ Vladimir Kosma Zworykin (1889-1982)

◆ 最早的电视于1929年出现在美国



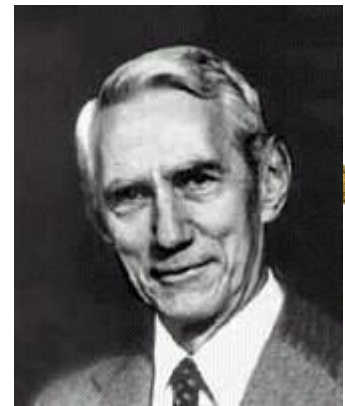
# 香农和他的经典文章

◆ Claude E. Shannon, 1916 – 24 February

➤ 信道容量

➤ 信息论

◆ 经典文章--A mathematical theory of communication in 1948



# 数字通信的其他早期工作

## ◆ Nyquist

- Nyquist率

## ◆ Hartley

- 信号幅度极限

## ◆ Wiener

- 最优线性滤波器

## ◆ Kotelnikov

- 不同数字通信的相干分析

## ◆ Hamming

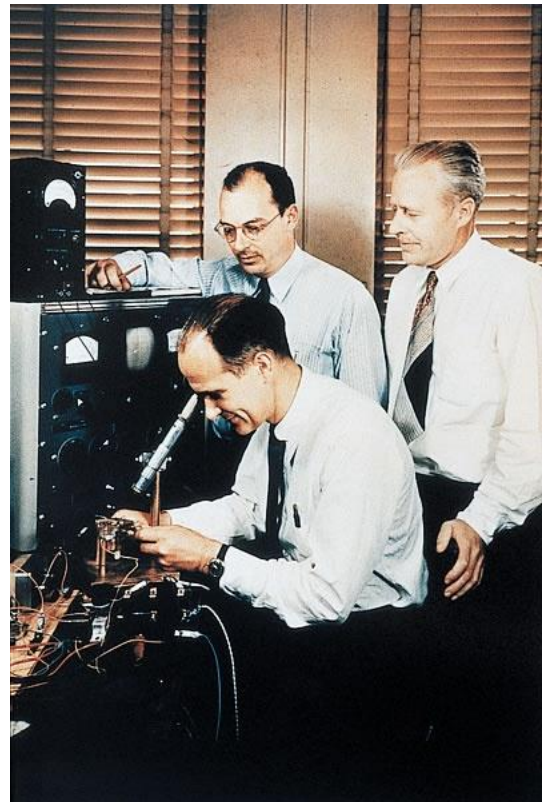
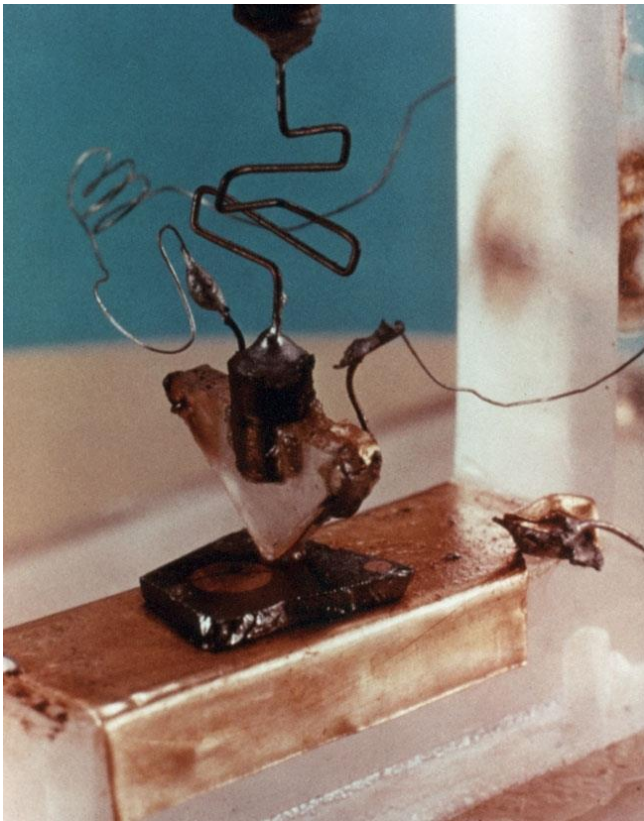
- 检错和纠错码



# 晶体管的发明



◆发明晶体管的William Shockley, John Bardeen和Walter Brattain于1956年分享了Nobel物理学奖.



# 卫星

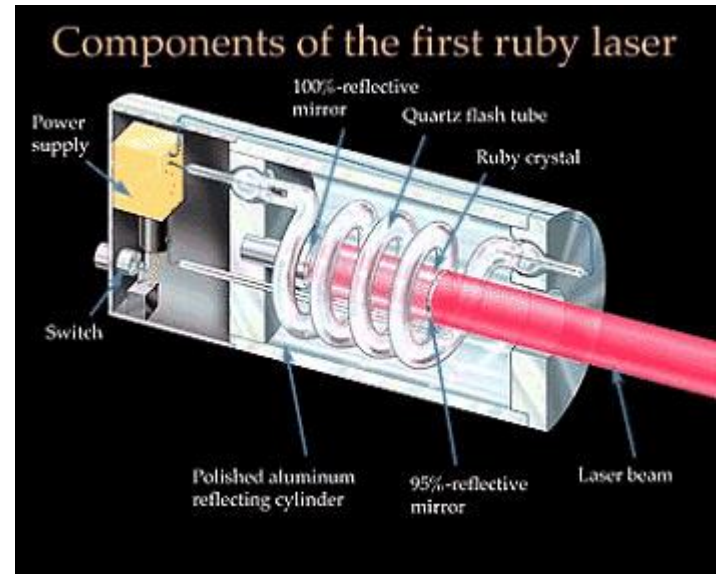
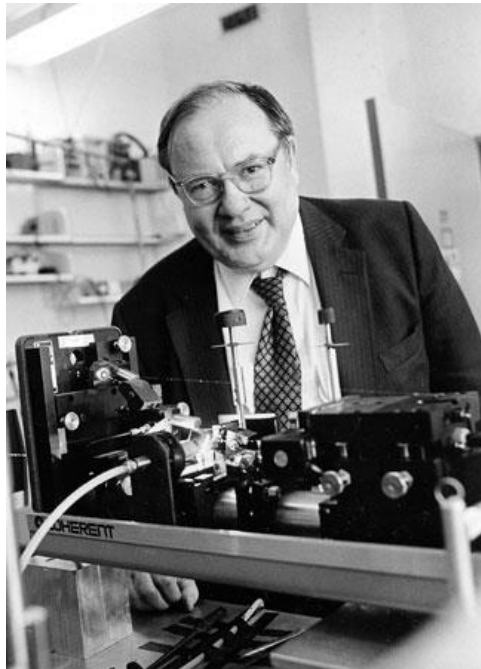
- ◆ 最初的思想由A C Clark于1945年提出
- ◆ John R. Pierce与1955年首次提出
- ◆ 苏联于1957年发射Sputnik I
- ◆ 美国于1958年发射Explorer I
- ◆ Telstar I @ July 10, 1962
- ◆ Early Bird @ 1965



# 激光



- ◆ Laser(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) 由贝尔实验室的Arthur Schawlow(May 5 1921 - Apr 28 1999)和Charles Townes (1915- )发明
- ◆ 为此, Townes和Nikolai Basov以及Aleksander Prokhorov分享了1964年Nobel物理学奖. 之后, Schawlow获得了1981年Nobel物理学奖.



## Infrared and Optical Masers

A. L. SCHAWLOW AND C. H. TOWNES\*  
Bell Telephone Laboratories, Murray Hill, New Jersey  
(Received August 26, 1958)



The extension of maser techniques to the infrared and optical region is considered. It is shown that by using a resonant cavity of centimeter dimensions, having many resonant modes, maser oscillation at these wavelengths can be achieved by pumping with reasonable amounts of incoherent light. For wavelengths much shorter than those of the ultraviolet region, maser-type amplification appears to be quite impractical. Although use of a multimode cavity is suggested, a single mode may be selected by making only the end walls highly reflecting, and defining a suitably small angular aperture. Then extremely monochromatic and coherent light is produced. The design principles are illustrated by reference to a system using potassium vapor.

### INTRODUCTION

AMPLIFIERS and oscillators using atomic and molecular processes, as do the various varieties of masers,<sup>1-4</sup> may in principle be extended far beyond the range of frequencies which have been generated electronically, and into the infrared, the optical region, or beyond. Such techniques give the attractive promise of coherent amplification at these high frequencies and of generation of very monochromatic radiation. In the infrared region in particular, the generation of reasonably intense and monochromatic radiation would allow the possibility of spectroscopy at very much higher resolution than is now possible. As one attempts to extend maser operation towards very short wavelengths, a number of new aspects and problems arise, which require a quantitative reorientation of theoretical discussions and considerable modification of the experimental techniques used. Our purpose is to discuss theoretical aspects of maser-like devices for wavelengths considerably shorter than one centimeter, to examine the short-wavelength limit for practical devices of this type, and to outline design considerations for an example of a maser oscillator for producing radiation in the infrared region. In the general discussion, roughly reasonable values of design parameters will be used. They will be justified later by more detailed examination of one particular atomic system.

\* Permanent address: Columbia University, New York, New York.

<sup>1</sup> Gordon, Zeiger, and Townes, *Phys. Rev.* **99**, 1264 (1955).

<sup>2</sup> Combrisson, Honig, and Townes, *Compt. rend.* **242**, 2451 (1956).

<sup>3</sup> N. Bloembergen, *Phys. Rev.* **104**, 329 (1956).

<sup>4</sup> E. Allais, *Compt. rend.* **245**, 157 (1957).

### CHARACTERISTICS OF MASERS FOR MICROWAVE FREQUENCIES

For comparison, we shall consider first the characteristics of masers operating in the normal microwave range. Here an unstable ensemble of atomic or molecular systems is introduced into a cavity which would normally have one resonant mode near the frequency which corresponds to radiative transitions of these systems. In some cases, such an ensemble may be located in a wave guide rather than in a cavity but again there would be characteristically one or a very few modes of propagation allowed by the wave guide in the frequency range of interest. The condition of oscillation for  $n$  atomic systems excited with random phase and located in a cavity of appropriate frequency may be written (see references 1 and 2)

$$n \geq hV\Delta\nu / (4\pi\mu^2 Q_c), \quad (1)$$

where  $n$  is more precisely the difference  $n_1 - n_2$  in number of systems in the upper and lower states,  $V$  is the volume of the cavity,  $\Delta\nu$  is the half-width of the atomic resonance at half-maximum intensity, assuming a Lorentzian line shape,  $\mu$  is the matrix element involved in the transition, and  $Q_c$  is the quality factor of the cavity.

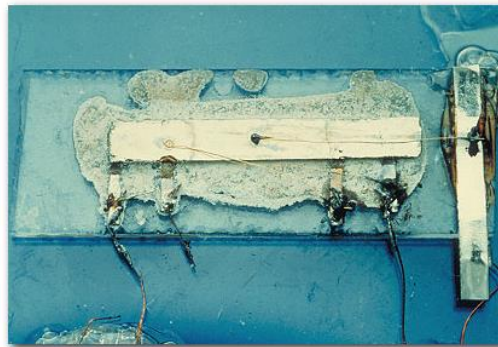
The energy emitted by such a maser oscillator is usually in an extremely monochromatic wave, since the energy produced by stimulated emission is very much larger than that due to spontaneous emission or to the normal background of thermal radiation. The frequency range over which appreciable energy is distributed is given approximately by<sup>1</sup>

$$\delta\nu = 4\pi kT (\Delta\nu)^2 / P, \quad (2)$$

# 集成电路



◆ 集成电路在1958年由Jack Kilby和Robert Noyce(12 December 1927--03 June 1990)发明



 TEXAS  
INSTRUMENTS





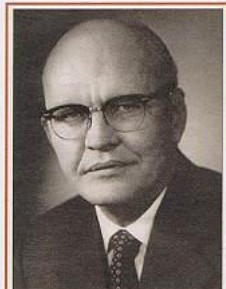
# Kilby Wins the Nobel

## Integrated circuit inventor honored 40 years later



BY HEIDI ELLIOTT

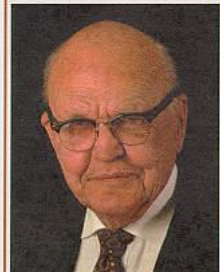
Inventor. Patent holder. Distinguished professor. And, now, Jack Kilby can add Nobel Laureate to the list of his accomplishments.



Kilby in 1958, the year he invented the world's first integrated circuit while working at Texas Instruments.

**"I was very pleased. It's a real honor. Most impressive."**

*Jack Kilby, Nobel Prize winner for the invention of the integrated circuit*



While working at Texas Instruments, Kilby invented the integrated circuit in 1958, and he was a co-inventor of the electronic handheld calculator in 1967. He is the recipient of two of the nation's most prestigious honors in science and engineering—the National Medal of Science and a member of the National Inventors Hall of Fame.

Last week the Royal Swedish Academy of Sciences announced that Kilby would share half of this year's Nobel Prize in Physics for his part in the invention of the integrated circuit.

Kilby shares the prize, worth nearly \$1 million, with Zhores I. Alferov of the A.F. Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia, and Herbert Kroemer of the University of California at Santa Barbara, Calif., who were cited for developing semiconductor heterostructures used in high-speed and opto-electronics.

"Jack S. Kilby is being rewarded for his part in the invention and development of the integrated circuit, the chip. Through this invention microelectronics has grown to become the basis of all modern technology," said the Royal Swedish Academy of Sciences in announcing the Nobel prizes in Physics.

"Examples are powerful computers and processors, which collect and process data and control everything from washing machines and cars to space probes and medical diagnostic equipment such as computer tomographs and magnetic-resonance cameras. The microchip has also led to our environment being flooded with small electronic apparatuses, anything from electronic watches and television games to minicalculators and personal computers."

Born in 1923, Kilby joined Texas Instruments Inc. in 1958 as an engineer, having earned a bachelor's degree in electrical engineering from the University of Illinois and a master's degree in electrical engineering from the University of Wisconsin. On Sept. 12, 1958, he successfully demonstrated the first electronic circuit that included both active and passive components on a piece of semi-conductive material that was half the size of a paper clip. Reached by telephone last week, Kilby said he first learned of the award when a European journalist called him early in the week.

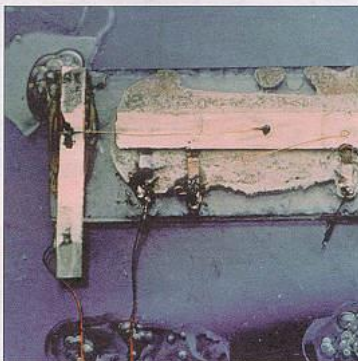
The 77-year-old said he was surprised to receive the Nobel Prize. "I was very pleased. It's a real honor. Most impressive," Kilby said.

Asked if he considered at the time whether one day his invention might bring him a Nobel Prize, Kilby said, "I certainly did not. It's been a surprise all the way along."

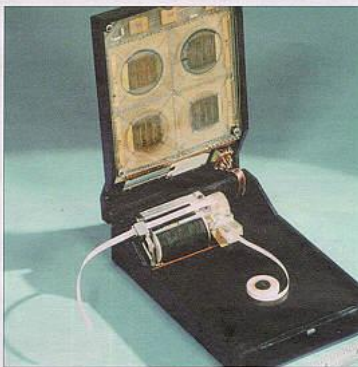
After the IC breakthrough, Kilby went on to head development teams that built military systems and computers that incorporated ICs. While at TI, he is also credited as the co-inventor of the handheld calculator and thermal printer. He later became a Distinguished Professor of Electrical Engineering at Texas A&M University. He holds more than 60 patents and TI's research center is named after him.

Among his other awards, Kilby received the National Medal of Science in 1970 and was inducted into the National Inventors Hall of Fame in 1982. He retired in 1983, but still does consulting work.

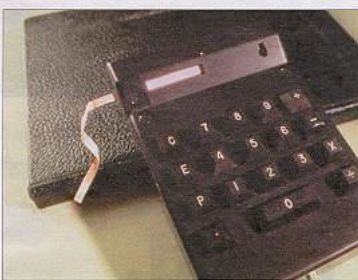
And even after learning of the award, Kilby still had no idea how he came to be nominated. "I have no idea how the nomination process works," he said. "I don't know how the process works or even if 40 years (after an invention) is all that unusual." ■



Jack Kilby invented the integrated circuit at Texas Instruments in 1958. Transistor and other components on a slice of germanium, Kilby's invention in size, revolutionized the electronics industry. The roots of almost every device today can be traced back to Dallas more than 40 years ago.



The working heart of the first miniature calculator, invented at Texas Instruments, was an integrated semiconductor circuit array that contained all the logic for performing addition, subtraction, multiplication, and division.



The electronic handheld calculator was invented at Texas Instruments by Jack Kilby, and James Van Tassel. Measuring 4-1/4 x 6-1/8 x 1-3/4 inch, the minicalculator had the high degree of computational power found in considerably larger machines.



# 光纤之父：高锟 Charles K. Kao



- ◆ 1933年11月4日生于中国上海。
- ◆ 1966年7月，在高锟与G.A.霍克哈姆合作的一篇论文中提出：“只要设法降低玻璃纤维中的杂质，就能够获得能用于通信的传输损耗较低的光导纤维。”这一预言，不仅给人们带来振奋和希望，同时也吹响了人类通信史上一次新的革命的进军号角。
- ◆ 1970年8月，美国康宁公司首次成功地研制出了损耗为20分贝/千米的玻璃纤维；同一年，美国内尔实验室又成功地研制出了能在常温下连续工作的半导体激光器。这些重大突破都使远距离光通信逐步成为可能。
- ◆ 1996年，国际编号3463小行星被命名为“高锟星”；1999年12月《亚洲新闻》评其为亚洲“世纪科技领袖”。



# 因特网

◆ Vint Cerf

◆ Robert Elliot "Bob" Kahn



# 移动通信



- ◆ 诞生于1970s, 分别在US(by Bell/Motorola), 欧洲和日报
- ◆ 日本于1979, 欧洲于1981年, 美国于1983年最早使用
- ◆ 第一代: AMPS(Advanced Mobile Phone System)
- ◆ 第二代, 1990s开始使用: GSM(Global System for Mobile) 以及CDMA(Code-Division Multiple Access)
- ◆ 第三代: 1990s中期开始研究, WCDMA, CDMA2000 以及TD-SCDMA
- ◆ 第四代: 基于OFDM技术, 两大商用标准分别是FDD-LTE和TD-LTE
- ◆ 第五代: 万物互联



# 重温通信发展史



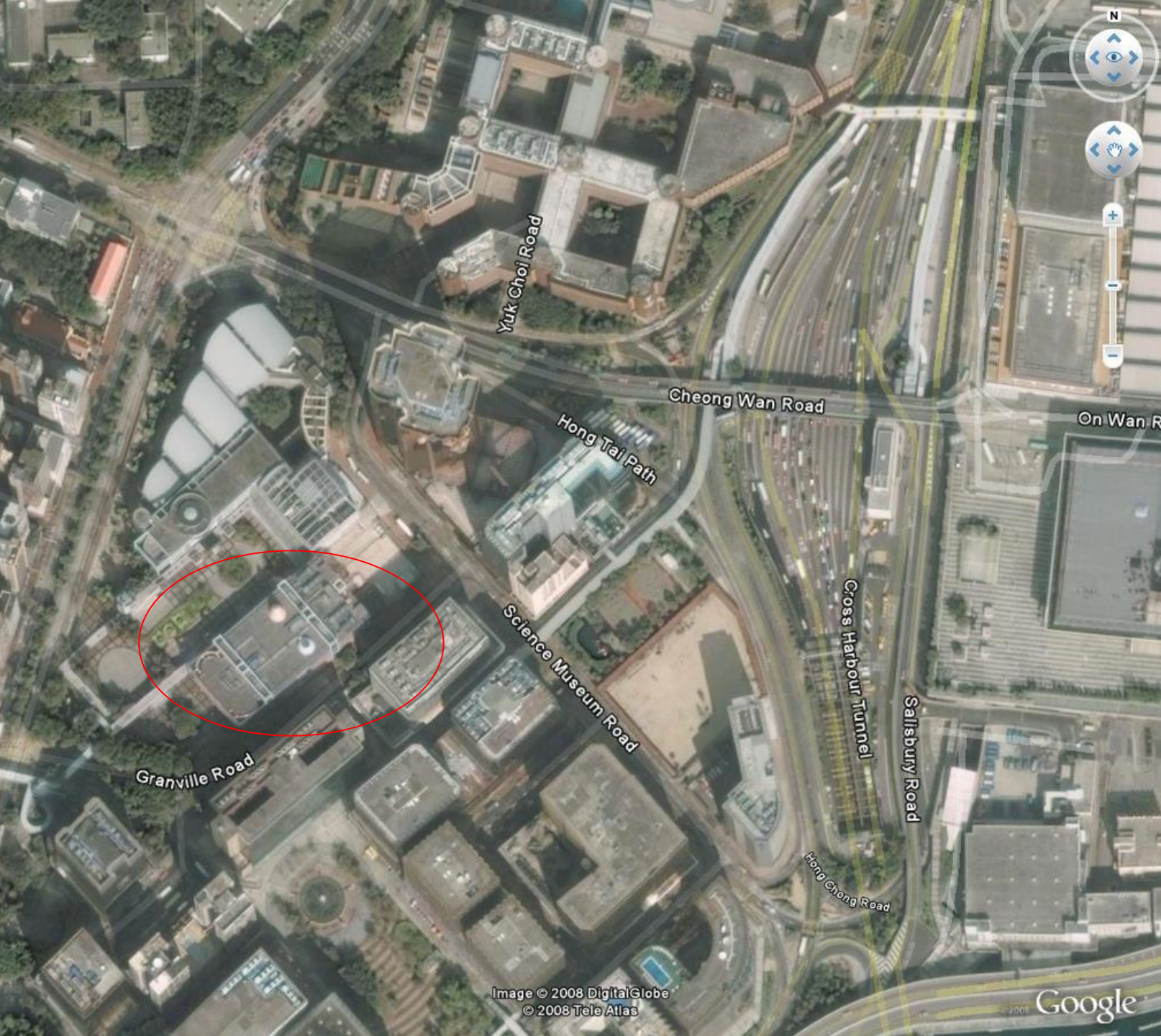
# 通信到底是让人更近还是更远？



“世界上最远的距离不是天涯海角，而是我站在你面前，你却在玩手机。”

# 值得一去的两个地方





# 澳门通讯博物馆



通訊博物館  
MUSEU DAS COMUNICAÇÕES

澳門郵政 CORREIOS DE MACAU



# 国内的另外三座博物馆



◆ 中国电信博物馆

◆ <http://museum.chinatelecom.com.cn/>

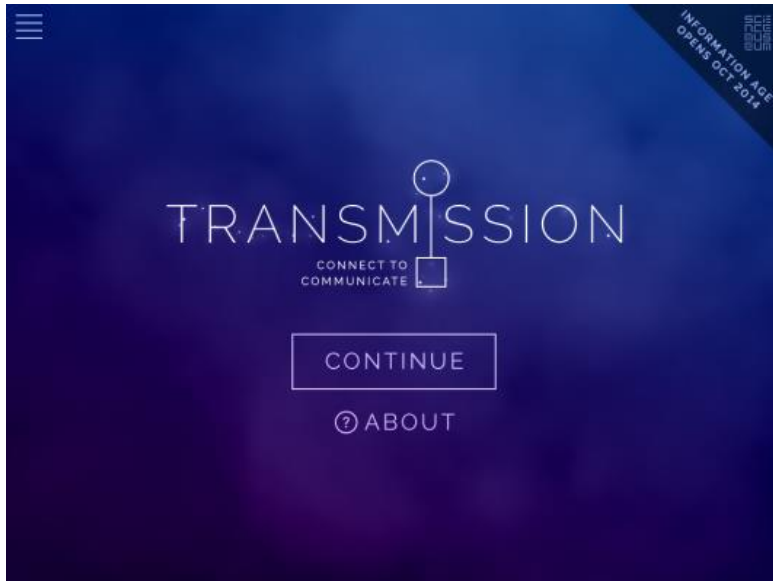
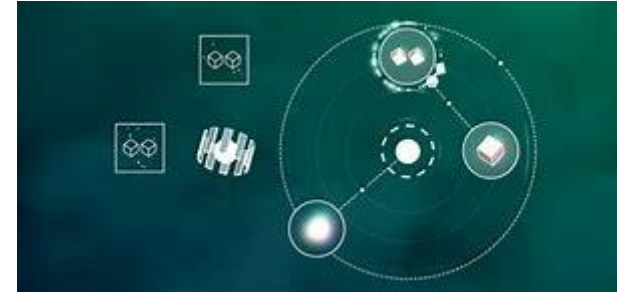
◆ 北京通信电信博物馆

◆ <https://baike.baidu.com/item/%E5%8C%97%E4%BA%AC%E9%80%9A%E4%BF%A1%E7%94%B5%E4%BF%A1%E5%8D%9A%E7%89%A9%E9%A6%86>

◆ 上海电信博物馆

◆ <http://www.shdxbwg.com/shtm/>

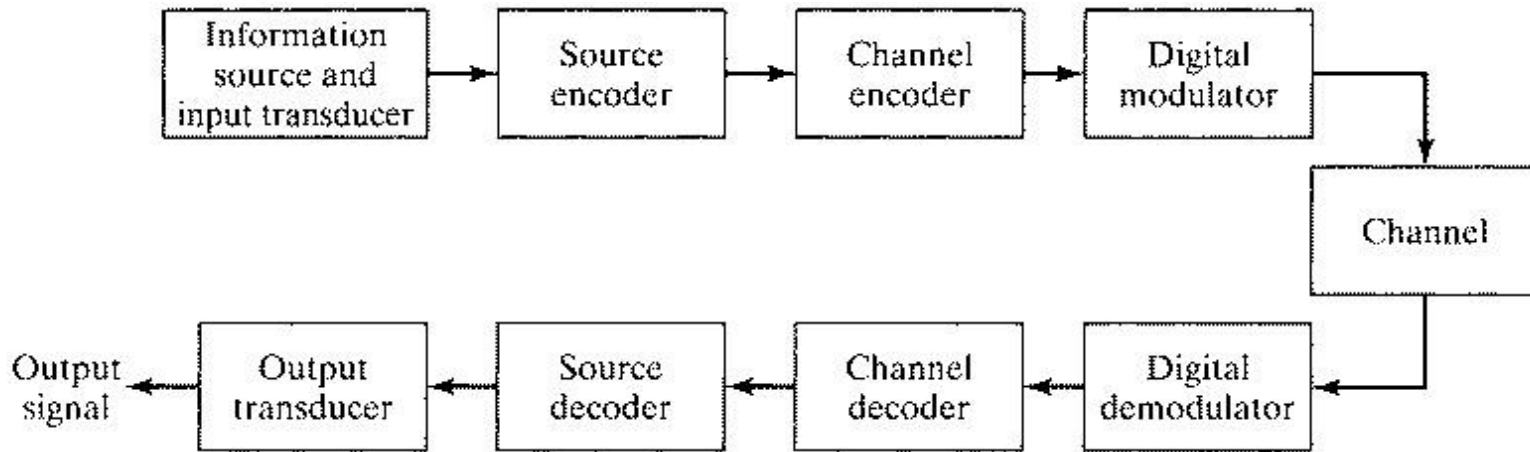
# 推荐一款以通信为主题的手机游戏





## 1.2 数字通信系统的基本组成

# 通信系统的基本要素



## ◆ 基本部分

- 发射机—将电信号转换成适合传输的形式（电磁、光等）
  - ✓ 调制
- 信道
  - ✓ 噪声
- 接收机
  - ✓ 解调

# 数字通信系统的基本组成(续)



**信源：**输出的待传输的消息；

**信源编码器：**信源编码器完成模拟信号到数字信号的转化；

**信道编码器：**对传输的数字信号提供差错控制的保护；

**数字调制器：**将数字符号序列变换成适合在特定的信道中传输的信号波形；

**信道：**信道是传送信号的物理媒质。

**数字解调器、信道译码器、信源解码器完成与数字调制器、信道编码器和信源编码器相反的功能**



What is the main role of the **transmitter** in a communications system?

*Please select the correct answer.*

- To translate the information to a physical waveform ✓
- To recover the information from a physical waveform
- To provide the medium over which the physical waveform travels

# 两种基本的通信模式



## ◆ 广播模式

## ◆ 点对点(P2P)

思考一下？两个人对话是什么模式？

发短信是什么模式？

打电话是什么模式？

上网浏览又是什么方式？



# 1.3 数字通信的特点



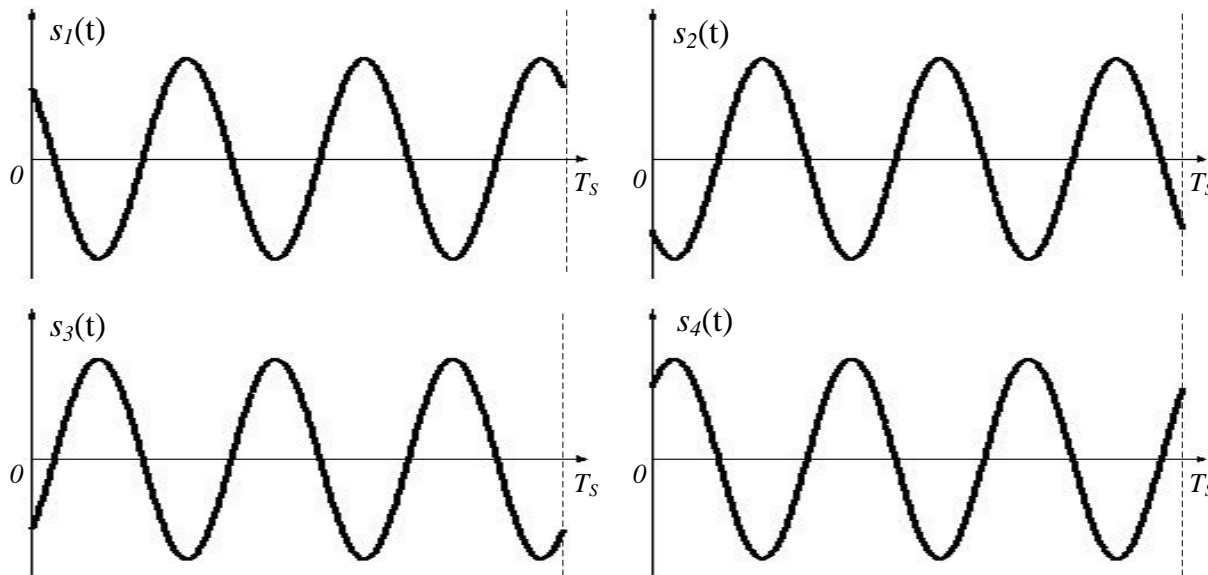
# 数字通信的优点



(1)抗噪声和干扰能力强：数字信号最大的特点是它只有有限种状态，易于识别和重构；

示例1：数字通信中的每个数字符号形式上可以是一个连续信号。

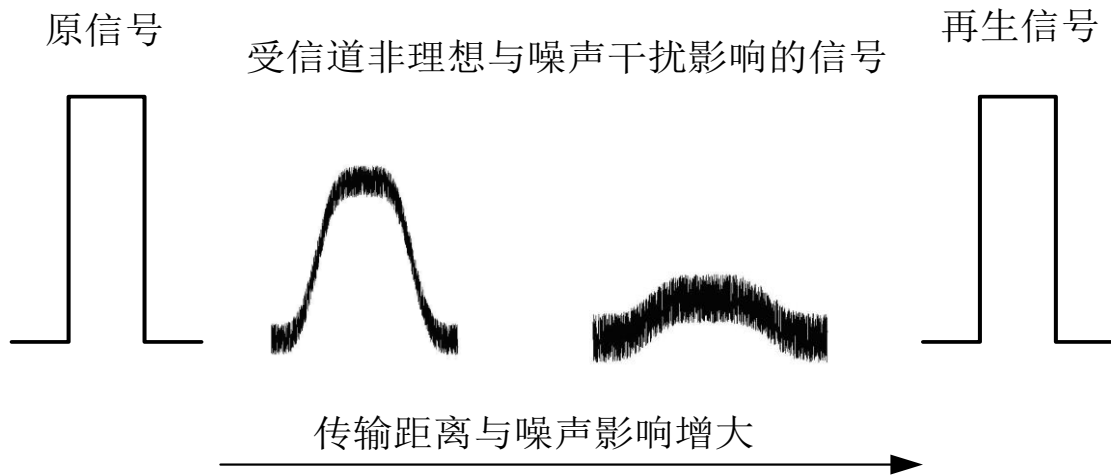
四相调相信号(QPSK)，每个的符号差异在于其不同的相位，QPSK信号只有有限的4种相位；



# 数字通信的优点(续)



示例2：两状态的基带信号经传输后在可识别情况下很容易实现重建。





Suppose the response of a communication channel to the training sequence discussed in the lecture video is given by

$$y(n) = 6 + 22u(n - 1500) - 22u(n - 2000).$$

The response to the training sequence is used to determine a threshold for estimating the input bit. Suppose that we receive an output sample with value 15, what would our estimate of the corresponding input bit be?

1

0 ✓

?

#### EXPLANATION

The minimum value of the response to the training sequence is 6, and the maximum was 28. We can decide whether the input bit was 0 or 1 by comparing to a threshold of  $(6+28)/2 = 17$ .

Since the output has value 15, which is less than 17, we decode to a bit 0.

# 数字通信的优点(续)

示例3：受扰的四相调相信号的失真容限。



失真容限



信号重建

# 数字通信的优点(续)

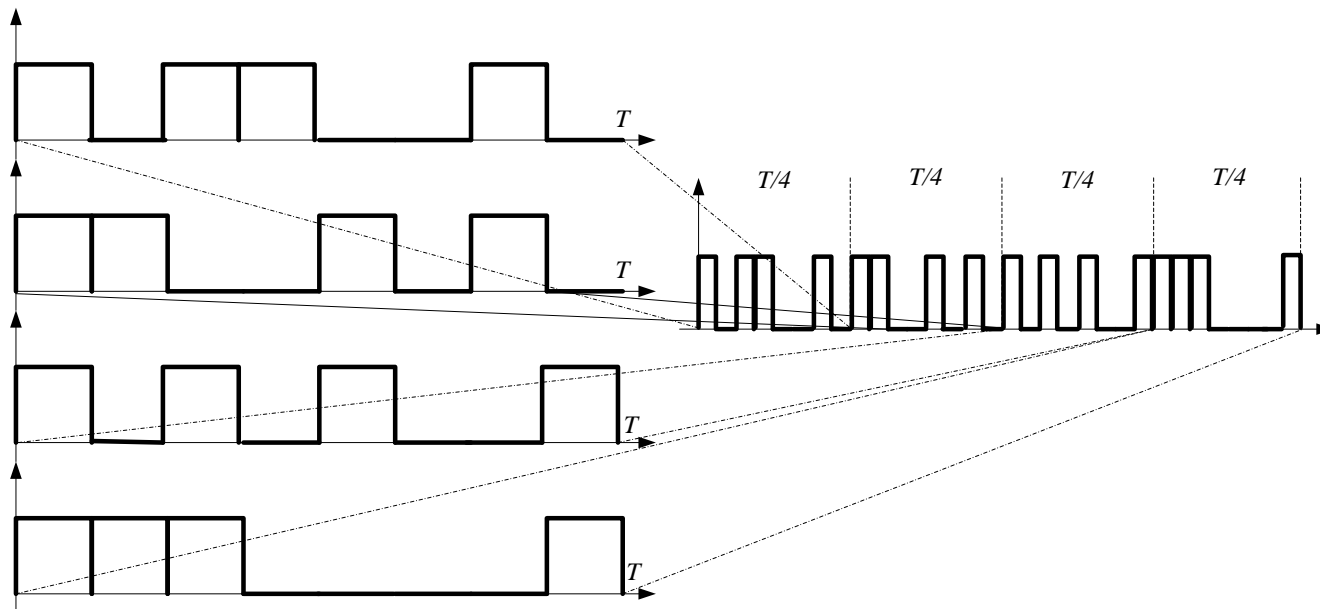


(2) 便于提高消息传输效率

很容易对数字信号进行各种压缩变换处理；

很容易实现时分复用以提高电缆光缆等的传输效率。

示例4：时分复用：



# 数字通信的优点(续)



(3)便于在传输过程进行差错控制

示例5 纠错编码：

原信息码组：100

- 通过纠错编码生成的码字：110100
- 传输，码字受到噪声和信道非理想等影响
- 因受干扰接收端收到出错的码字：110000
- 纠错译码恢复正确的码字：110100
- 译码后恢复原信息码组：100

# 数字通信的优点(续)



## (4) 便于对信息进行加密处理

### 示例6 古典置换密码编译码

密钥	C	H	I	N	A
	<b>D</b>	<b>i</b>	<b>g</b>	<b>i</b>	<b>t</b>
	<b>a</b>	<b>l</b>	<b>C</b>	<b>o</b>	<b>m</b>
	<b>m</b>	<b>u</b>	<b>n</b>	<b>i</b>	<b>c</b>
	<b>a</b>	<b>t</b>	<b>i</b>	<b>o</b>	<b>n</b>
	<b>I</b>	<b>s</b>	<b>F</b>	<b>u</b>	<b>n</b>

明文: **DigitalCommunicationIsFun**

密文: **tmcnnDamaIilutsgCniFioiou**

# 数字通信的特点(续)



## (5) 便于采用大规模集成电路实现

利用专用的集成电路芯片(ASIC)搭建

利用通用的集成电路芯片(FPGA)搭建

利用专用的数字信号处理器(DSP)构建

利用通用的通用的数字信号处理器(DSP)构建

利用通用计算机系统构建

# 为什么采用数字通信



## ◆ 优点

- 抗噪声和干扰能力强
- 可通过信源编码提高传输效率；
- 可通过信道编码降低传输的差错概率，便于进行差错控制
- 易于对信息进行加密和各种复杂的信号处理，保密性好
- 便于采用大规模集成电路实现
- 不同信源的数据可以综合到一个数字通信系统中传输
- 数字信号有良好的抑止噪声累积干扰的能力，信号易于再生，中继站之间的噪声不积累

## ◆ 缺点

- 带宽要求更高
- 需要同步
- 具有“门限效应”：当信噪比下降到一定程度时，传输质量会急剧恶化。



# 1.4 数字通信系统的基本性能指标 及其度量参数

# 数字通信系统性能的度量



有效性：单位时间内系统能传输信息量的大小；

(1) **二进制符号**：只有两种状态，每个码元符号最多能够携带1比特信息；

(2)  **$N$ 进制符号**：每个码元符号有 $N$ 种可能的状态，每个码元符号可携带的最大信息量为 $\log_2 N$ 比特。

(3) **波特率** ( $R_s$ )：单位时间内传输的码元数，又称符号速率、波特率。单位 波特 (Baud)；

(4) **比特率** ( $R_b$ )：单位时间内传输的二进制数据（“0”或“1”）的位数。单位 比特/s, b/s, bps。

波特率 ( $R_s$ ) 与比特率 ( $R_b$ ) 之间的关系：

$$R_b = R_s \log_2(N) \quad (\text{b/s})$$



◆例 已知某一采用64进制的数据传输系统，码元速率是1000波特，求该系统的比特速率。

◆解：由前页式，系统的比特速率为：

$$R_b = R_s \log_2 M = 1000 \times \log_2 64 = 6000b/s$$

# 比特时间（补充）



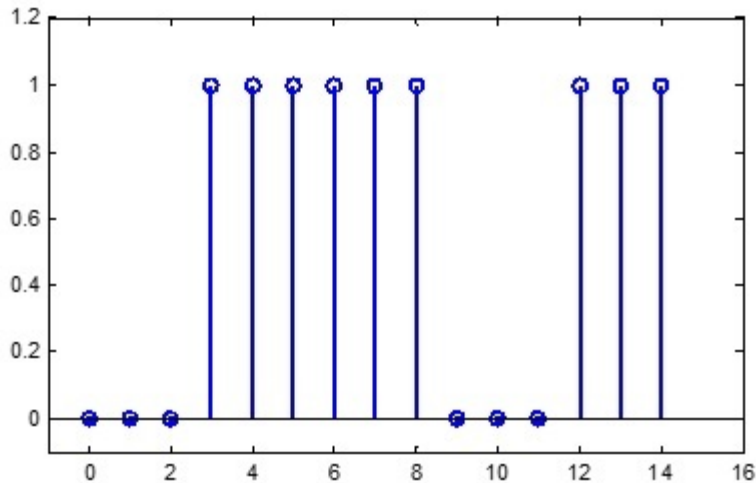
Consider a system that uses 8-bit ASCII codes to encode letters. How long will it take to transmit the bit sequence encoding "Hello" (not including quotation marks) if we use a bit time of 5 samples per bit, and transmit samples at a rate of 1MHz?

- Sample rate  $F_s = 1\text{MHz} = 1 \cdot 10^6 \text{ samples/second}$
- Sample period  $T_s = (F_s)^{-1} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ second} = 1\mu\text{s}$
- The bit time =  $\text{SPB} \cdot T_s = 5 \cdot 1\mu\text{s} = 5\mu\text{s}$
- The number of bits to encode "Hello" (5 characters) =  $8 \cdot 5 = 40$
- The transmission time = number of bits  $\cdot$  bit time =  $40 \cdot 5 = 200 \mu\text{s}$

# 比特时间 (补充)



Consider a communication system where the transmitter uses 0V to represent bit "0" and 1V to represent bit "1". An example of a transmitted waveform is given in the following figure.



Assume that the first bit starts at sample 0 what is the **largest** possible bit time (in SPB) used in the transmission?

Answer: 3



Consider the transmission of a binary sequence, for example "10010110". To increase the transmission data rate, the bit time should be \_\_\_\_\_?

*Please select the correct answer.*

Shorter ✓

Longer

# 带宽



- ◆ 信号带宽或系统带宽是指数字通信基带信号或通带信号所占据的频带宽度，**以赫兹为单位**。由于实际的信号都是时间有限的，理论上其所具有的频谱宽度延伸到无限大，在分析问题时往往根据信号的特点将信号幅度或功率小于某一定值所对应的频率外的信号成分忽略不计，因此对带宽有不同的定义。在介绍数据传输或计算机网络的书籍中，往往将信道的比特率称为其“带宽”，该“带宽”与本书带宽的定义虽有关联，但有不同的物理意义。
- ◆ 对信号来说，带宽一般是指该信号所占据的频带宽度；对信道来说，带宽一般是指该可利用的频带宽度。
- ◆ 带宽在第二章会有详细的定义，此处不赘述。

# 通信系统性能的度量



可靠性：接收信号的准确程度

(1) **信噪比 (S/N)**：信号平均**功率**与噪声平均**功率**之比。

通常

话音通信：要求S/N在20dB以上；

视频通信：要求S/N在40dB以上；

$$SNR = \frac{S}{N} \quad SNR \text{的分贝值: } (SNR)_{dB} = 10 \lg \frac{S}{N}$$

平均传输1比特所需能量 与噪声功率密度谱的比值

$$\frac{E_b}{N_0} \quad (\text{秒赫兹})^{-1}$$

# 比特能量 $E_b$ 与噪声功率 $N_0$ 谱密度比



- ◆ 在数字通信系统中，通常信噪比越大，出现错误的概率越小。在一定的噪声环境下，越大意味着所需的信号功率越大。对于M进制的数字通信系统，M取值的不同，每个码元携带的信息量或比特数不同。为了更有效地比较不同数字通信系统的性能，引入比特能量  $E_b$  与噪声功率谱密度  $N_0$  比这一指标参数。在同样的错误概率的情况下，从能量利用率高的意义上， $E_b/N_0$  有较小取值的系统具有较好的性能。需要注意的是， $E_b$  的单位为焦耳，噪声功率谱密度  $N_0$  表示单位频带上的平均噪声功率的大小，其单位为瓦/赫兹，或（焦耳/秒）/赫兹，因此  $E_b/N_0$  比值的单位是（秒赫兹）<sup>-1</sup>。

# 信噪比参数 $E_b/N_0$



数字通信中信息的单位为比特，某一通信系统的性能通常用满足某一误比特率  $P_B$  要求时传输一比特信号所需的信号能量  $E_b$  与噪声的功率密度谱  $N_0/2$  来衡量：

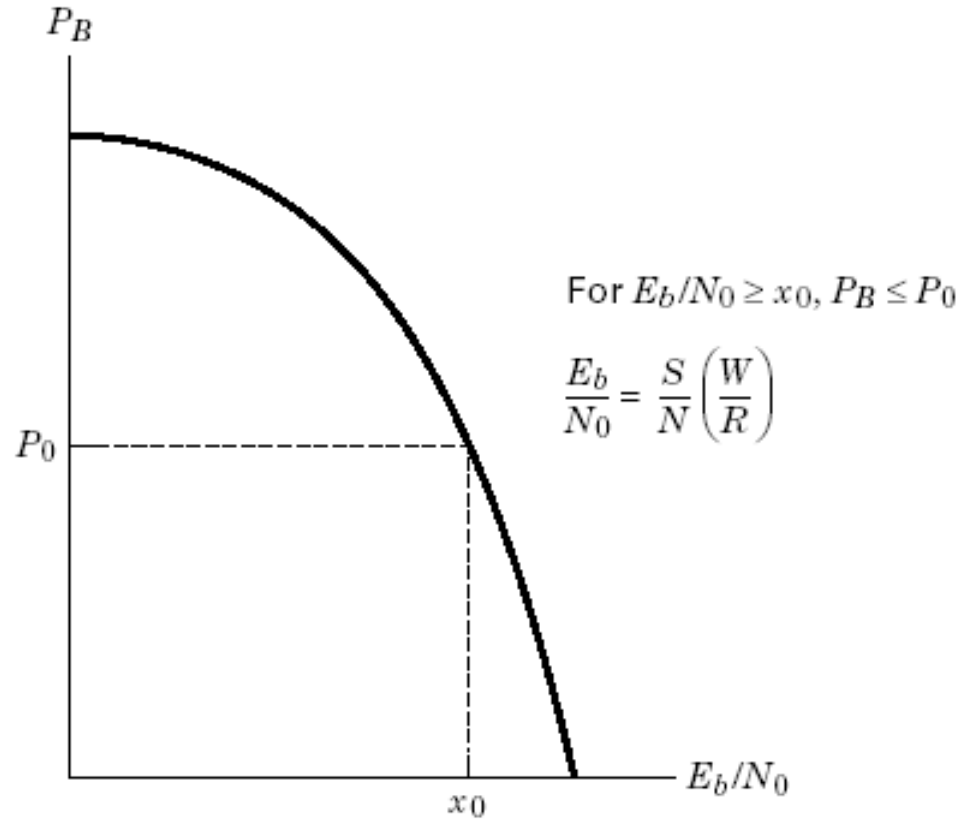
$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_0} &= \frac{S T_b}{N/W} = \frac{S/R_b}{N/W} \\ &= \frac{S}{N} \left( \frac{W}{R} \right) \end{aligned}$$

$E_b$ ：比特信号能量

$N_0$ ：噪声功率密度谱

$S$ ：信号功率， $N$ ：噪声功率

$W$ ：带宽， $R$ ：比特率



# 通信系统性能的度量



## 误码率与误信率

误码率 ( $P_s$ ) :  $P_s = (\text{错误码元符号数}) / (\text{总码元符号数})$  ;

误信率 ( $P_b$ ) :  $P_b = (\text{错误比特数}) / (\text{总比特数})$

数字话音通信: 要求 $P_b$ 在 $10^{-3}$ -- $10^{-6}$ 以下;

计算机系统: 要求 $P_b$ 在 $10^{-7}$ 以下。

## (3) 频带利用率 ( $B$ : 带宽) (带宽利用率)

每秒每赫兹可传输的符号数

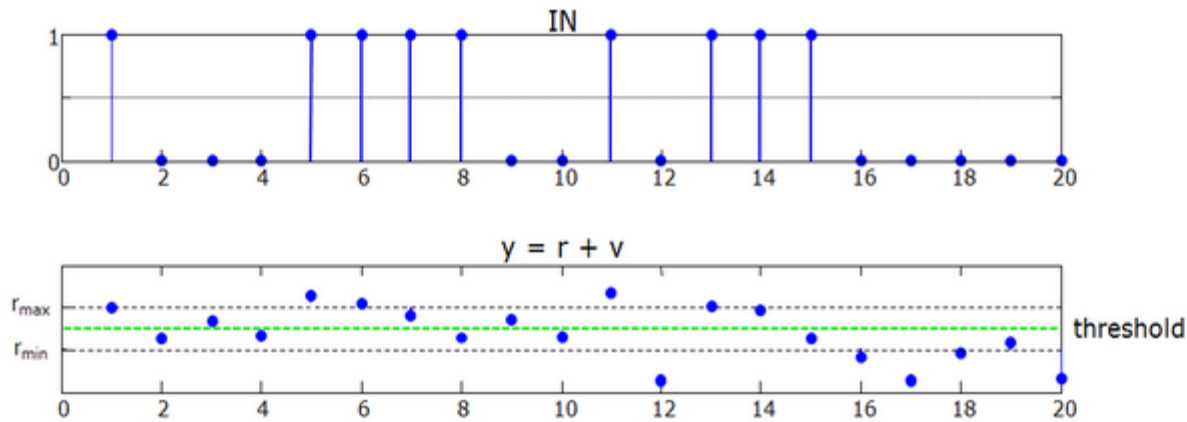
$$\eta = \frac{R_s}{B} \quad \text{Baud / Hz}$$

每秒每赫兹可传输的比特位数

$$\eta = \frac{R_b}{B} \quad \text{b / (s · Hz)}$$



The figure below shows the transmitted and received signal levels corresponding to 20 bits transmitted over a communication system with **additive noise**.

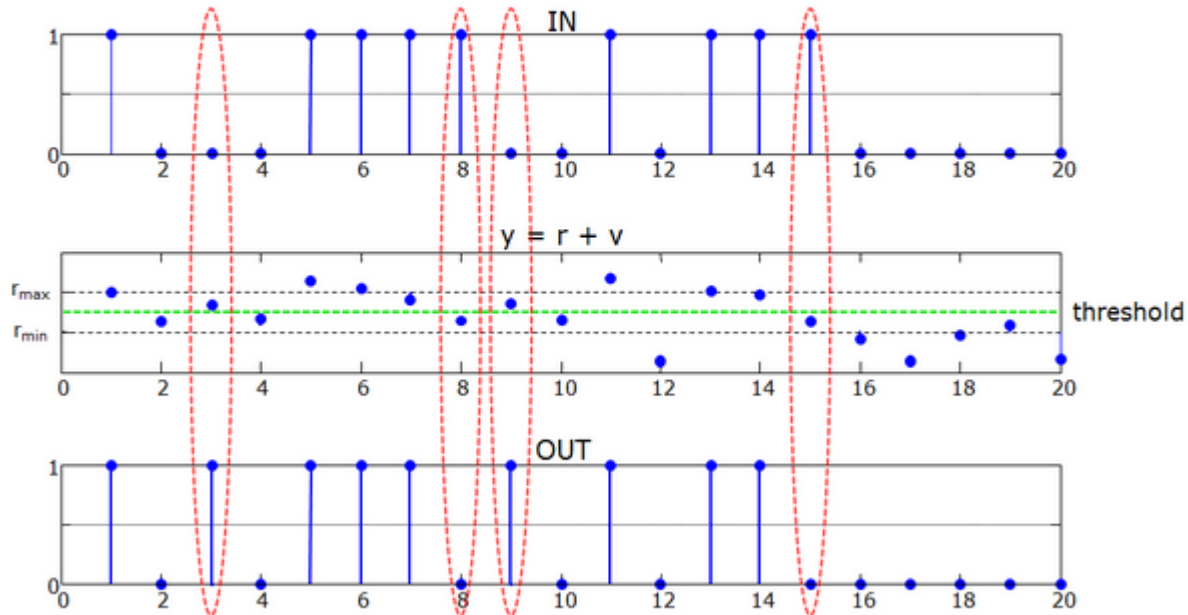


Assume that bit decisions are made by comparing the received signal level with the threshold shown by the green dashed line.

How many bit errors are made?

## EXPLANATION

There would be four bit errors: at indices 3, 8, 9, and 15.



Based on the data shown in Question 1, estimate the bit error rate (BER) of the communication channel. Express the BER as a ratio lying between 0 and 1.

## EXPLANATION

There are four bit errors in the 20 samples.

$$BER = \frac{4}{20} = 0.2$$

摘自Edx网站在线课程A System View of Communications: From Signals to Packets (Part 1)



The figure below shows an example set of input and output bit streams from a binary channel. Use the data in this figure to answer the four questions below.



n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
IN	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1
OUT	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0

Estimate the bit error rate (BER) of this channel.

EXPLANATION

Out of the 20 bits, there are five bit errors. Thus,  $BER = \frac{5}{20} = 0.25$

Estimate the probability the transmitter sends a 0 bit,  $P[IN = 0]$ .

EXPLANATION

There are nine 0 bits in the input stream.

Thus,  $P[IN = 0] = 9/20 = 0.45$



Estimate the probability of an error if a 0 bit is transmitted,  $P_{e0}$ .

EXPLANATION

Out of the nine transmitted 0s, three are received as 1s.

$$\text{Thus, } P_{e0} = 3/9 \approx 0.33$$

Estimate the probability of an error if a 1 bit is transmitted,  $P_{e1}$ ?

EXPLANATION

Out of the 11 transmitted 1s, two are received as 0s.

$$\text{Thus, } P_{e1} = 2/11 \approx 0.18$$



**例 采用4进制非归零脉冲信号、码元速率是1000波特  
的基带传输系统，若频谱宽度由信号的主瓣决定，  
求系统的频带利用率。**

**解：系统的比特速率为：**

$$R_b = R_s \log_2 M = 1000 \times \log_2 4 = 2000b/s$$

**由题假定，信号带宽定义为非归零脉冲的主瓣，为  
信号周期的倒数：**

$$B = \frac{1}{T} = \frac{1}{1/1000} = 1000Hz$$

**系统的频带利用率为：**

$$\eta = \frac{R_b}{B} = \frac{2000}{1000} = 2b/(s \cdot Hz)$$



If we choose a longer bit time, which of the following statements about bit rate and bit error rate (BER) is generally true \_\_\_\_\_?

*Please select the correct answer.*

Bit rate increases; BER increases;

Bit rate increases; BER decreases;

Bit rate decreases; BER increases;

Bit rate decreases; BER decreases; ✓

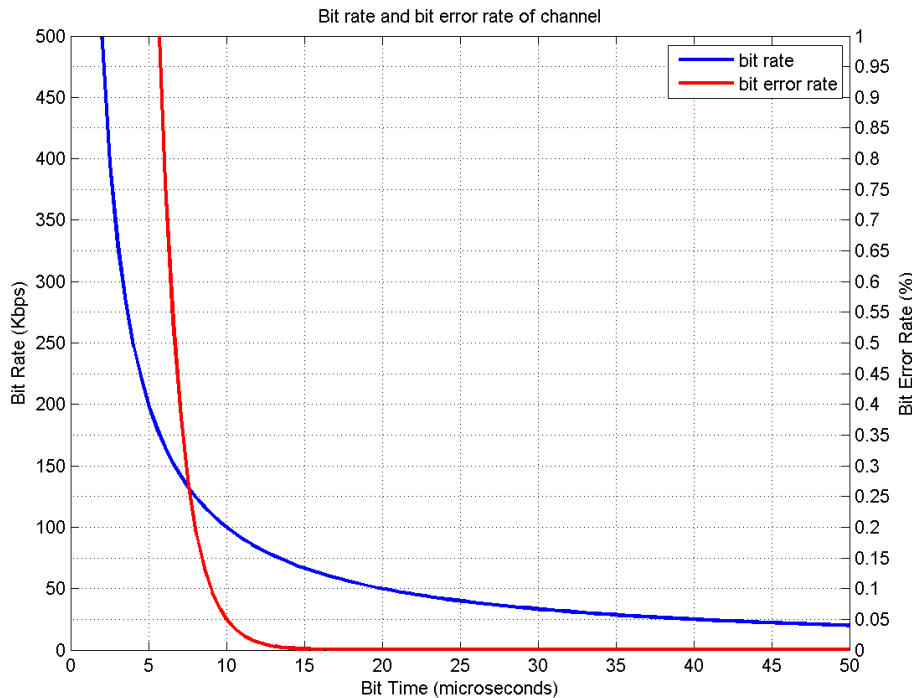
#### EXPLANATION

Since bit rate =  $1/(\text{bit time})$ , the longer the bit time, the lower the bit rate.

The longer the bit time, the more time the channel output has to cross the decision threshold, leading to fewer bit errors.



The relationships between bit time and the bit rate/bit error rate for a hypothetical communication channel are shown in the graph below.



100

If the maximum bit error rate we can tolerate is 0.05%, estimate the maximum bit rate in Kbps that we can use for transmission.

### EXPLANATION

The lowest bit time we can use and still obtain a BER less than or equal to 0.05% is 10 microseconds, corresponding to a bit rate of 100Kbps.

# 作业(与第二章作业一起交)



## ◆编程题（2选1）

- 1.用Jupyter Notebook编写一个程序，实现古希腊的通信系统
- 参考  
[http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/r.harbird/engduino/docs/pdf/Engduino\\_Communications.pdf](http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/r.harbird/engduino/docs/pdf/Engduino_Communications.pdf)
- 2.用Jupyter Notebook编写一个程序，对信息进行Morse编码



# 第一章 完

