



Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

关于我(王正)

- **教育经历:** 南航(本)—曼彻斯特大学(硕)—帝国理工学院(博)
- **工作经历:** 助理研究员, 2015-2016, 帝国理工学院
高级工程师, 2016-2017, 华为
- **办公地址:** 南京航空航天大学电子信息学院134
Email: z.wang@nuaa.edu.cn
- **研究方向:** 无线通信系统的信号传输与检测★
频谱态势数据处理★
认知信息理论
- **担任课程:** 《卫星通信》, 《科学技术讲座》



无线通信发展史

1G

盛行年代：1980 年后

发展：

第一套行动通讯系统在美国芝加哥诞生，采用的是模拟讯号传输，模拟式是代表在无线传输采用模拟式的 FM 调制，将介于 300Hz 到 3400Hz 的语音转换到高频的载波频率 MHz 上。

此外，1G 只能应用在一般语音传输上，且语音品质低、讯号不稳定、涵盖范围也不够全面。1G 主要系统为 AMPS，另外还有 NMT 及 TACS，该制式在加拿大、南美、澳洲以及亚太地区广泛采用。国内在 80 年代初期移动通信产业还属于一片空白，直到 1987 年的广东第六届全运会上，蜂窝移动通信系统正式启动。

2G

盛行年代：1995 年后

2G 时代由 GSM 脱颖而出成为最广泛使用的移动通信制式，此时新的通讯技术成熟，逐渐挥别 1G 时代。

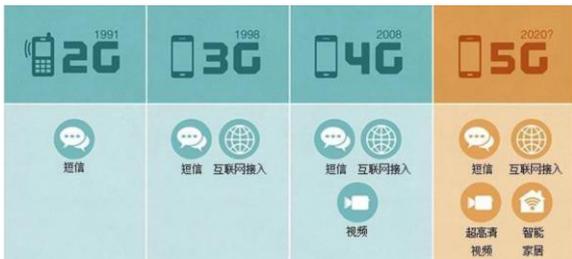
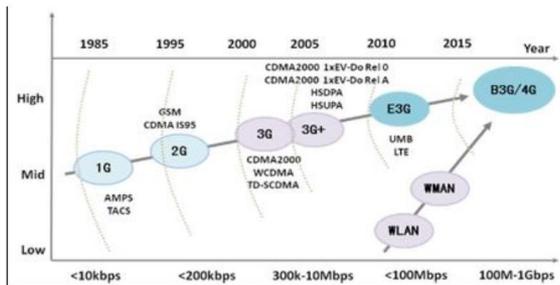
从 1G 跨入 2G 是从模拟调制进入到数字调制，相较而言，2G 声音质量较佳，比 1G 多了数据传输服务，传输速度为每秒 9.6—14.4Kbit，且第二代移动通信具备高度的保密性，系统的容量增加许多，同时从 2G 时代开始，手机也可以上网、发短信了。

3G

盛行年代：2009 年后

目前世界上主要的 3G 三大标准为 CDMA2000、WCDMA、TD-SCDMA，其中 WCDMA 是国际使用范围最广的 3G 网络制式，满足业务丰富、价格低廉、全球漫游、高频谱利用率 4 个基本要求。

而中国自主研发的第三代移动通信标准 TD-SCDMA，相较其他 2 个标准起步较晚且产业链薄弱，虽是国内电信史上重要的里程碑，不过随着 4G 时代的到来，中国移动将不再追加 TD-SCDMA 的新建投资，而是逐步将过去发展的 TD-SCDMA 用户过渡到 4G 网络上。



5G

盛行年代：指日可待，预测为 2020 年陆续推出

随着 AR、VR、物联网等技术的诞生普及，对于移动网络的要求也越来越高，第 5 代移动通信技术目前正积极研发中。

国际电联将 5G 应用场景划分为移动互联网和物联网两大类，除了支持移动互联网的发展，还将解决机器海量无线通信需求，极大促进车联网、工业互联网等领域的发展。就目前规划来看，5G 网络不仅传输速率更高，而且在传输中呈现出低时延、高可靠、低功耗的特点，低功耗能更好地支持物联网应用。

4G

盛行年代：2013 年后

发展：

4G 技术包括 TD-LTE 和 FDD-LTE 两种制式，其中 FDD-LTE 国际上采用较多，从技术标准来看，静态传输速率达到 1Gbps，用户在高速移动状态下可以达到 100Mbps，就可做为 4G 技术之一，其传输的速率更快，能使手机实现的功能变的更丰富。

中国移动 4G 采用了国内自主研发的 TD-LTE 网络制式，2016 年 6 月，基站超过 132 万个，覆盖人口超过 12 亿，与 126 个国家和地区开通了 4G 漫游服务，客户近 4.3 亿，已建成全球规模最大的 4G 网络系统。

what's new what's next 2018



无线通信发展前景



分论坛之五

天地一体的新一代无线通信网络技术

分论坛简介：

2016年12月,《“十三五”国家科技创新规划》提出要建设天地一体化信息网络,推进天基信息网、未来互联网、移动通信网的全面融合,该规划并将天地一体化信息网络工程列为面向2030年的科技创新重大项目。该项目通过构建天地协同、天地融合、全球覆盖的通信网络,对我国“一带一路”倡议、空天、海洋、走出去等战略的实施形成有力支撑。本论坛聚焦天地一体的新一代无线通信技术,邀请国内相关业界的专家和学者就国内外重大项目进展、关键技术研究、产业发展态势、应用服务拓展等议题进行专题技术报告和研讨。

论坛主席：

汪春霆研究员

中国电子科技集团公司首席专家、54所副总工程师
中国电子学会通信分会副主任委员

特邀报告：

- 尤肖虎教授：《5G移动通信研究进展》
- 吕子平研究员：《卫星移动通信和宽带通信发展》
- 陈明章研究员：《高轨道移动通信技术现状与发展趋势》
- 陆洲研究员：《高低轨混合卫星网络管理架构设计》
- 万屹研究员：《国际5G卫星融合项目》
- 张琳教授：《通信增强的位置协作获取与轨迹智能挖掘初探》
- 郭庆教授：《面向天地一体的卫星传感网关键技术探讨》
- 汪春霆研究员：《卫星通信与5G融合的发展思路》

天空地海一体化主题论坛

第十三届中国电子技术年会于2018年4月21-22日,在苏州吴江宾馆举行。为深入贯彻党中央、国务院、中央军委提出的加快建设创新型国家战略和加快推进军民融合发展战略,展望天空地海一体化未来,大会一项重要内容为“天空地海一体化主题论坛”,邀请相关领域的院士专家,围绕天空地海一体化的基础理论、关键技术、应用形态等方向,院士专家探讨天空地海一体化发展的机遇与挑战,探索军民融合式创新机制与协同创新模式,描绘军民融合一体化发展蓝图。群贤毕至,专家云集,期待您的光临。

“天空地海一体化主题论坛”于4月22日全天分两部分进行,上午进行天空地海一体化院士论坛,下午分专题进行天空地海一体化分论坛。



吴曼青院士

中国电子科技集团有限公司副总经理、
总工程师

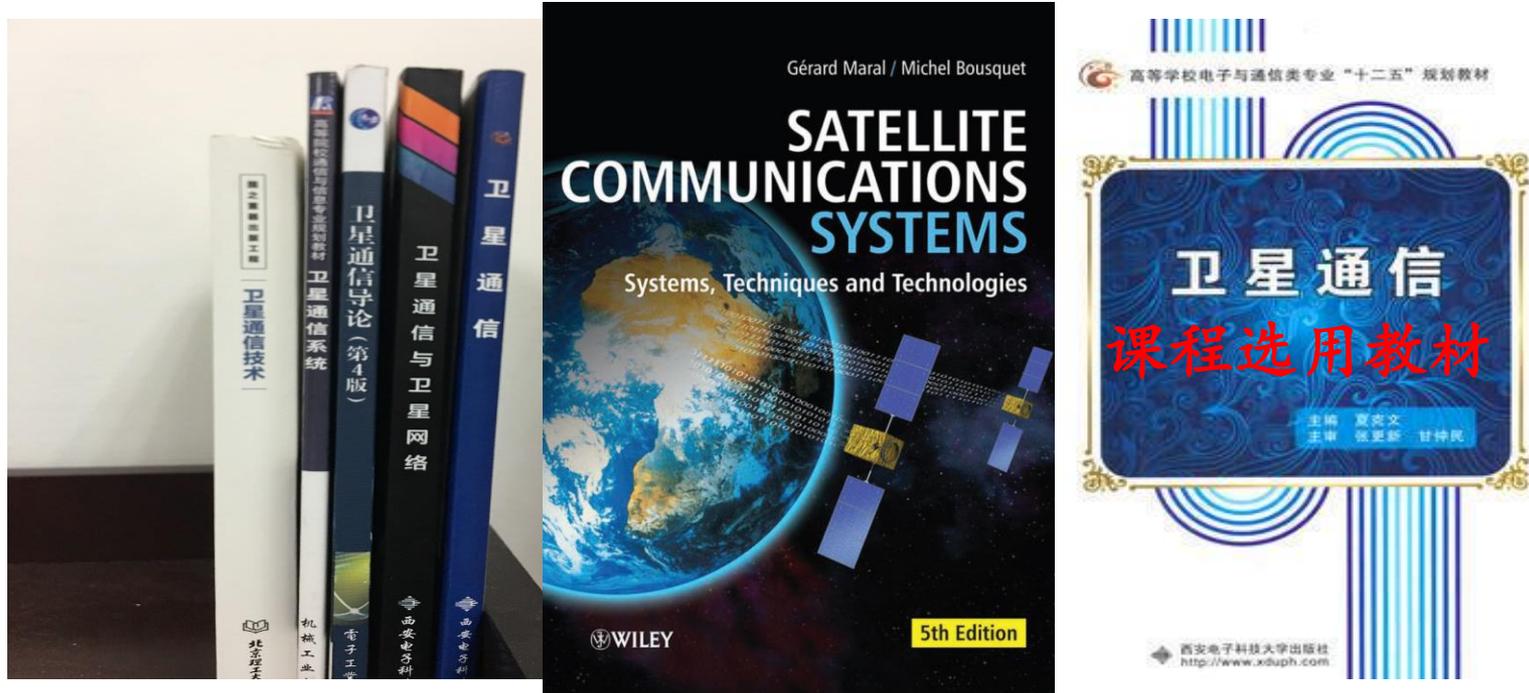
《天地一体化信息网络》



吴建平院士

清华大学计算机科学与技术系主任
《一体化融合网络的发展与思考》

课程设计



- ❑ 课程设置：24学时，选修课，大四课程
- ❑ 课程设计原则：侧重通信基础知识；侧重基本原理和概念，对于复杂的数学推导及物理规律计算从略
- ❑ 考试方式：考试，平时成绩占30%

课程内容

1

卫星通信概述 (5学时)

2

卫星通信基本技术 (9学时)

3

卫星通信链路设计 (4学时)

4

卫星通信网 (3学时)

5

移动卫星通信系统 (3学时)

第一章 卫星通信概述

1.1 卫星通信的基本概念和特点

1.2 卫星通信地球站

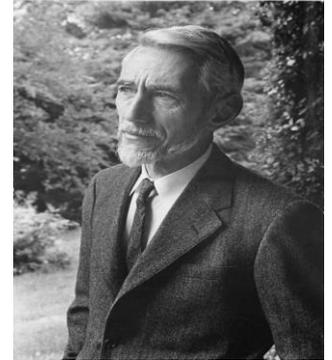
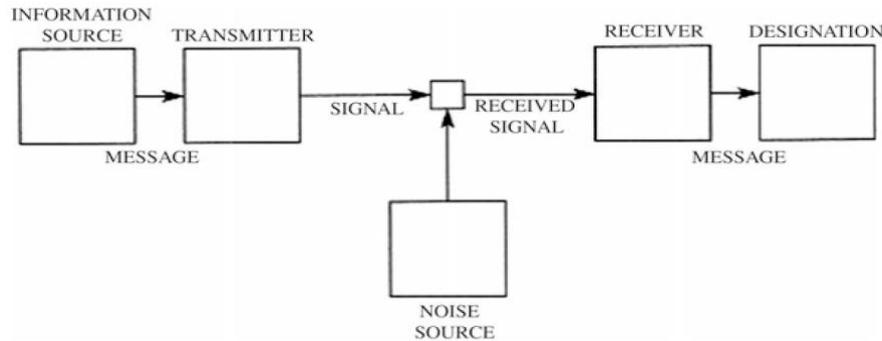
1.3 通信卫星

1.4 卫星通信工作频段选择及电波传播特点

1.5 卫星通信发展动态

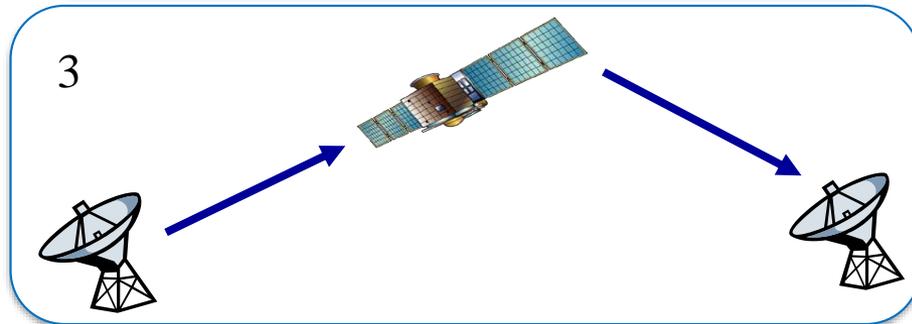
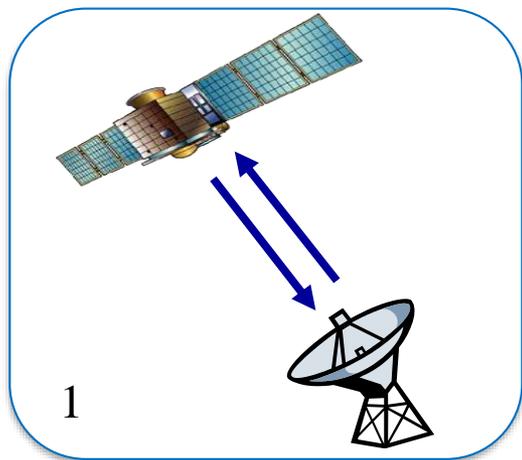
1.1.1 卫星通信的基本概念

- 通信系统是指传递信息所需要的一切技术设备的总和，它包括信源、发送设备、传输媒质、接收设备和信宿等部分

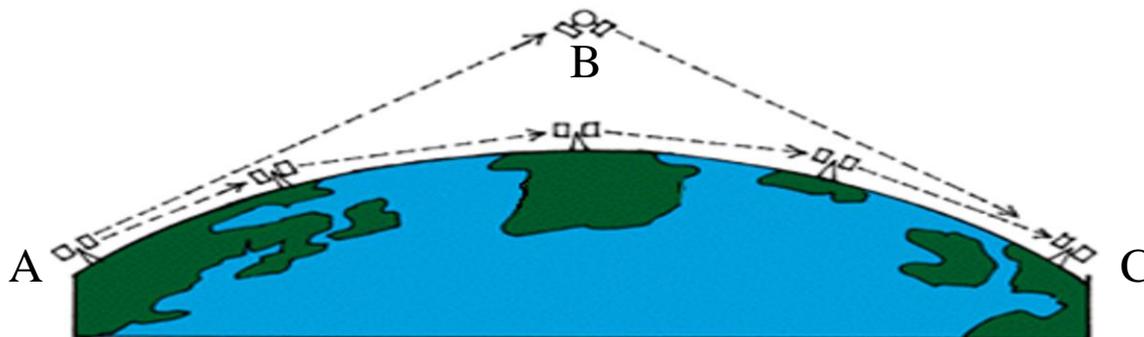


Claude Shannon

- **空间通信的三种形式**
 - 空间站与地球站之间的通信
 - 空间站之间的通信
 - 地球站相互间通过空间站的转发或反射而进行的通信(卫星通信)
- **上行链路**：地球站发射信号到通信卫星
- **下行链路**：通信卫星将信号发射到地球站



- ❑ 卫星通信是指利用人造地球卫星作为中继站转发无线电波(微波频段300MHz-300GHz), 在两个或多个地球站之间进行的通信
- ❑ 卫星通信是个人通信网的组成部分, 是地面通信网的补充



□ 同步卫星(静止卫星)

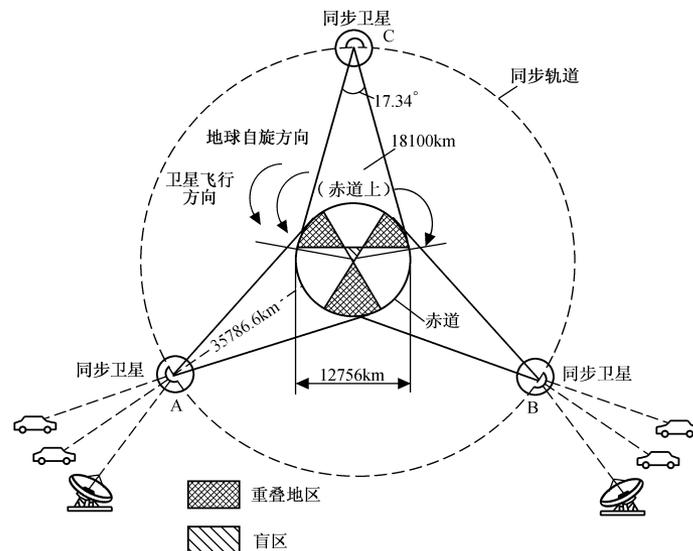
- 卫星运行轨道在赤道平面内，高度约为35786Km，卫星运行方向与地球自转方向相同，且围绕地球公转周期与地球自转周期(24小时)相等
- 从卫星向地球引两条切线，切线夹角为17.34度，两切线间弧线距离为18100Km，则该卫星电波波束覆盖范围内的地球站都能通过该卫星来实现通信

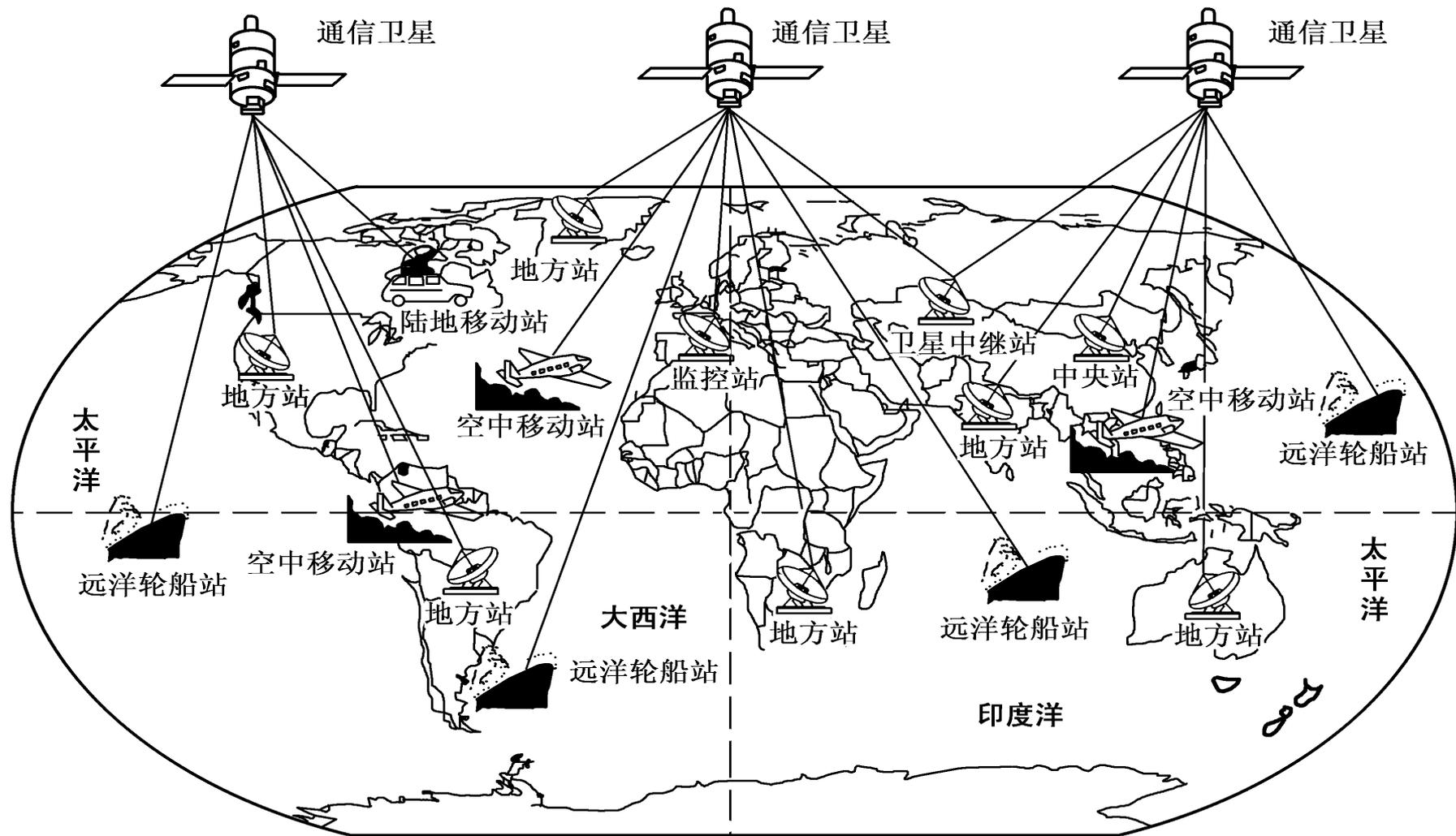
□ 全球覆盖

- 以120度的等间隔在静止卫星轨道上配置三颗卫星，则地球表面除了南北极盲区外，其它区域均在卫星覆盖范围之内，而且部分区域为两颗卫星波束的重叠地区
- 借助于在重叠区内的地球站的中继(双跳)，可以实现在不同卫星覆盖区域内的地球站之间的通信。因此，只要三颗卫星等间隔排列，就可以实现全球通信

□ 同步卫星通信系统已被广泛使用

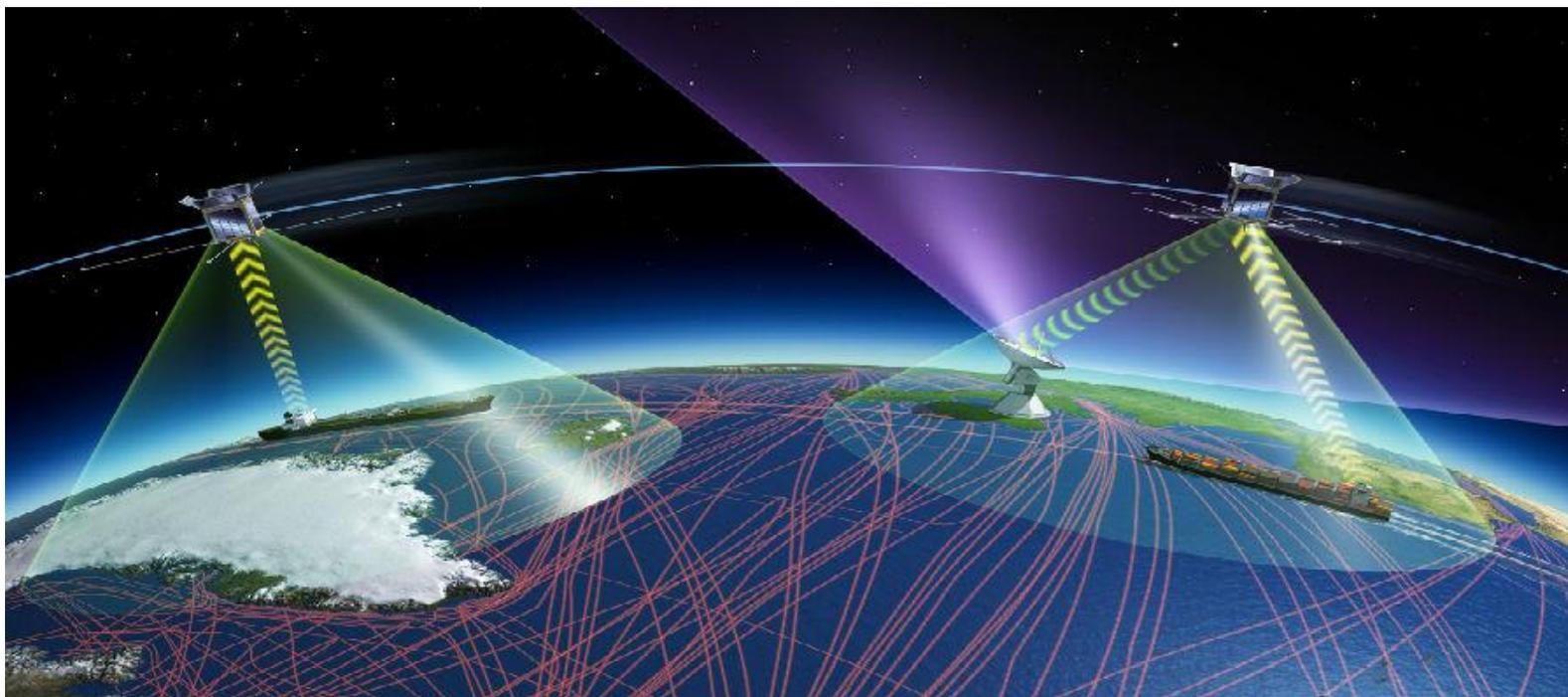
- 世界卫星通信系统(INTELSAT, 简称IS)利用三颗配置在太平洋，印度洋，大西洋的同步卫星建立国际通信业务和全部国际电视转播工作





□ 低轨移动卫星通信系统

- 当卫星运行轨道较低，相聚较远的两个地球站不能同时“看”到同一颗通信卫星，则需要利用多颗卫星转发，才能进行远距离实时通信
- 星间链路 (Inter Satellite links, ISL)：同轨道通信卫星之间的转发
- 星际链路 (Inter-Orbit Links, IOL)：不同轨道通信卫星之间的转发



1.1.2 卫星通信的特点

□ 通信距离远，且费用与通信距离无关

- 空间最大传输距离可达18100Km，建站费用与维护费用并不因地球站之间的距离远近及地理条件恶劣程度而所有变化。相比于地面传统的微波中继通信、光纤通信以及短波通信具有无可比拟的优势

□ 覆盖面积大，可进行多址通信

- 空间只要在卫星天线波束的覆盖区域内，地球站都可共用一颗卫星进行双边或多边通信，或者说多址通信

□ 通信频带宽，传输容量大

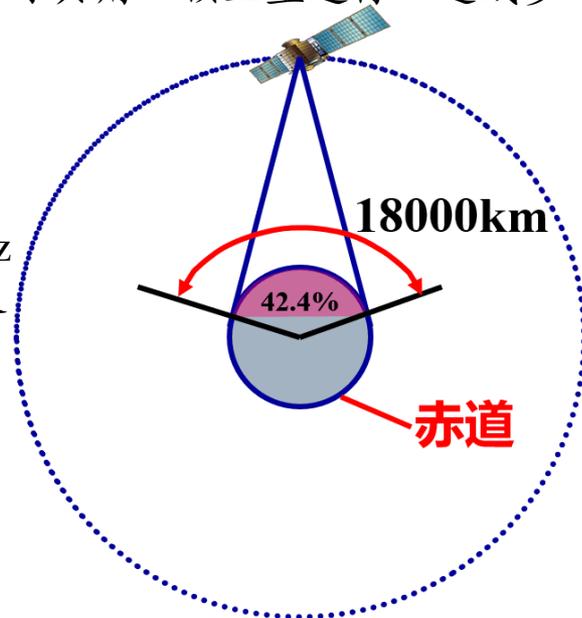
- 卫星通信通常使用300MHz以上的微波频段，因而可用频带宽。目前，通信卫星带宽已达到3000MHz以上，一颗卫星的通信容量可支持上万路电话以及其它数据信息传输

□ 机动灵活

- 可服务车载、机载、船载以及个人终端通信需求

□ 通信链路稳定可靠，传输质量高

- 可无线电波主要在大气层以外的宇宙空间中传播，不受自然条件和干扰的影响



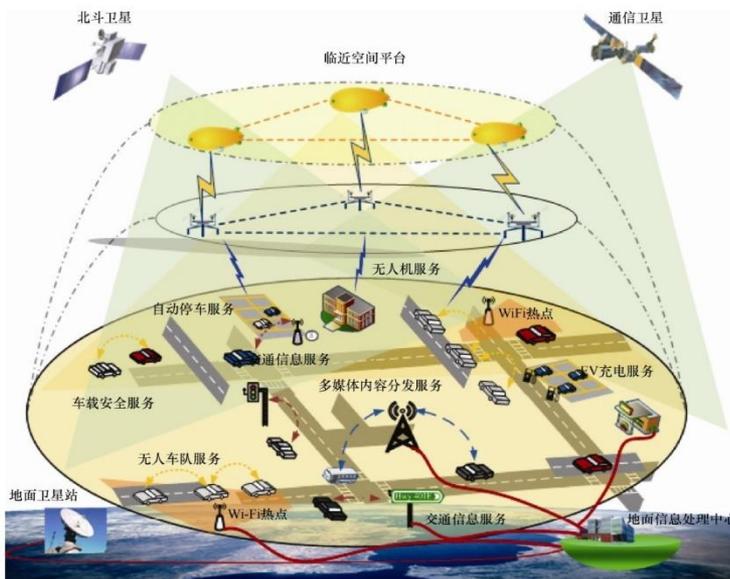
□ 当前，卫星通信的市场定位应该是地面通信网的延伸和补充，主要服务于地面通信网不能覆盖的区域及有特殊通信需求的人群

□ 卫星通信在我国特殊地位

- 幅员辽阔，人口众多，地区发展不平衡
- 60%左右的地区是地面网盲区



□ 随着市场对于通信技术需求的不断提高，各种新的需求潮水般涌现，以及对于卫星通信制造与发射成本的快速下降，卫星通信正在快速成为新一代通信技术发展的热点前沿



国家重大专项“天地一体化信息网络”项目首次公开展出

发布时间: 2018-04-26 14:12:36 | 来源: 中国网 | 作者: 谢露莹 陈海龙

中国航天白皮书：打造天地一体化信息网络 2030年 跻身世界航天强国

来源: 中国政府网等 | 2016-12-27 03:42

摘要:

国新办今天发布航天白皮书称，未来五年，我国将构建形成卫星遥感、卫星通信广播、卫星导航定位三大系统，并大力发展商业航天。中国未来十年预计将发射约100颗卫星，2020年发射首个火星探测器。

吴启晖教授应邀出席空天地一体化组网关键技术论坛

供稿: 霍会 | 发表日期: 2017-11-28 | 点击数: 414 次

11月25日，吴启晖教授应邀出席了在西安电子科技大学举办的空天地一体化组网关键技术论坛。本次论坛由中国电子学会通信分会信息网络与服务专业技术委员会主办，西安电子科技大学通信工程学院 ISN 国家重点实验室承办。本次论坛汇聚了包括中国工程院院士、西安电子科技大学、北京航空航天大学、南京航空航天大学、北京邮电大学等众多高校、研究所及产业界通信领域的专家领导。

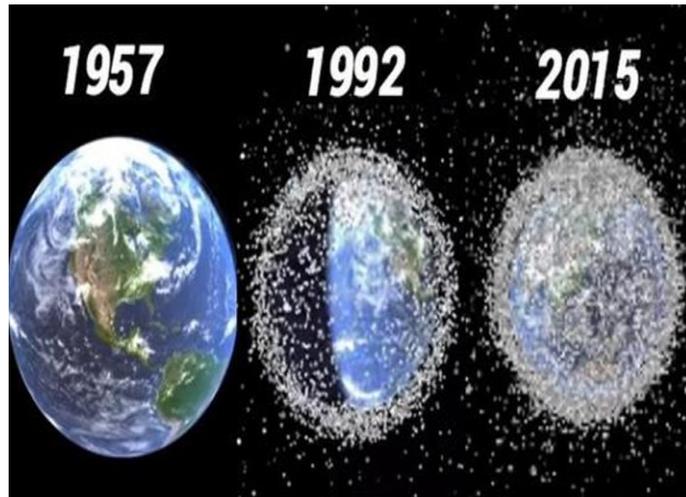
论坛上吴启晖教授做了关于无人机群频谱认知与捷变研究的报告，分析了频谱发展面临的挑战与难题，展示了天地一体频谱认知实验室的相关工作。在天地一体的复杂电磁环境中，通过结合人工智能和无人机群，应用到电磁频谱空间中去，强调协同智能，对抗智能，以达到健全的频谱作战体系，无线电频谱的有序管理以及频谱资源的共享。



1.1.3 卫星通信的局限性

□ 造价高昂，使用寿命短

- 零件无修复可能，一个问题，全盘失败
- 为了控制通信卫星的轨道位置和姿态，需要消耗不可再生的推进剂
- 太空垃圾回收成本高昂，安全隐患严重



□ 卫星通信系统技术复杂

- 目前静止卫星的制造、发射和测控等需要先进的空间技术和电子技术

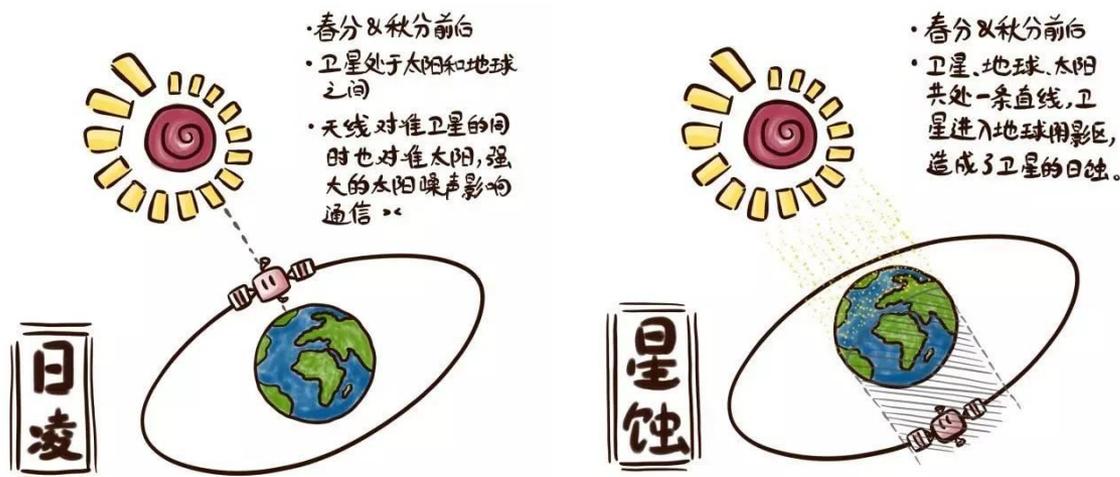
□ 同步通信卫星在地球高纬度地区通信效果不好

□ 电波的传播时延较大且存在回波干扰

- 目前以同步卫星为例，信号由发端地球站经卫星转发到收端地球站，单程传输时间约为0.27秒，双向通信时则是0.54秒，延迟感明显
- 由于收、发话音的混合线圈不平衡等原因，产生回波干扰

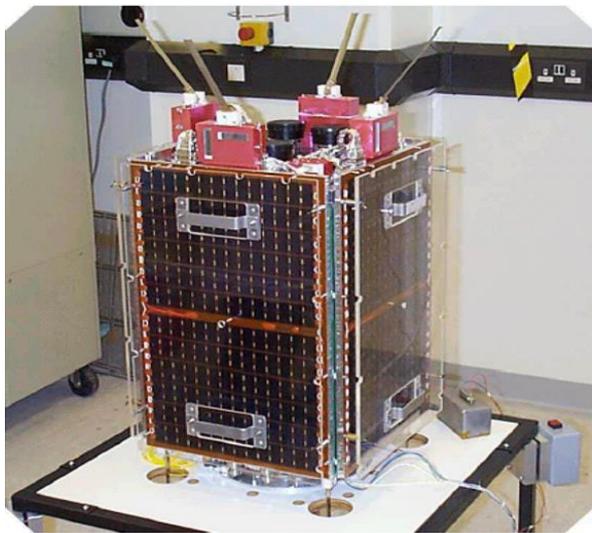
□ 存在日凌中断和星蚀现象

- 日凌中断：地球站天线对准卫星的同时也对准了太阳，引入强大的太阳噪声
- 星蚀现象：卫星上太阳能电池不能正常工作，星载蓄电池只能维持卫星自转

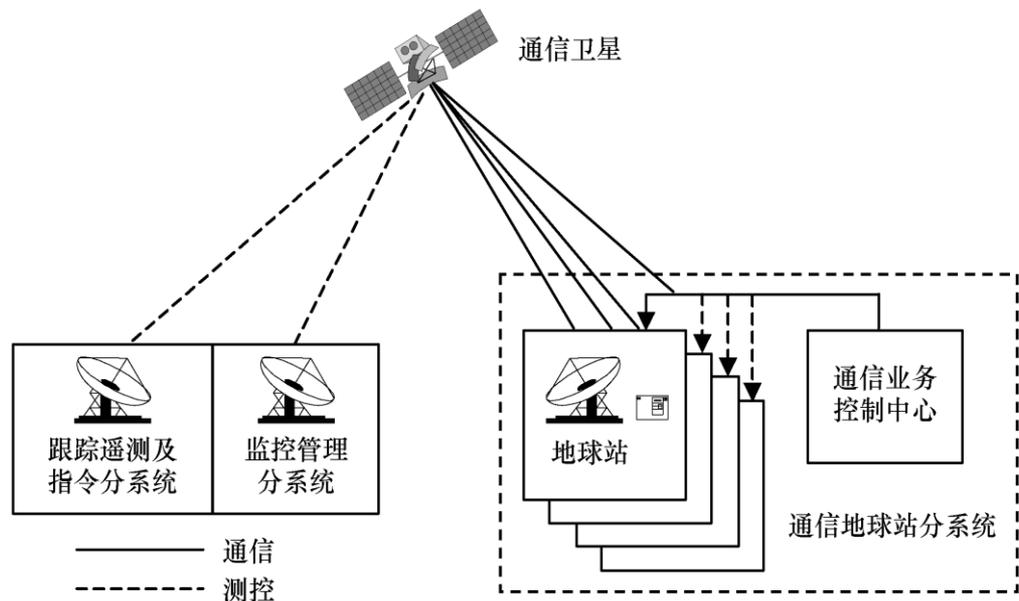


1.1.4 卫星通信系统的组成和分类

- 一个卫星通信系统是由通信卫星、通信地球站分系统、跟踪遥测及指令分系统和监控管理分系统四大部分组成
- 通信卫星包括收发天线、通信转发器、跟踪遥测指令，控制和电源等
 - 按运动方式分为静止卫星和运动卫星(主要包括相位卫星和随机卫星)
 - 按重量分为巨卫星(>3500kg)、大卫星(1000-3500kg)、中卫星(500-1000kg)、小卫星(100-500kg)、微小卫星(10-100kg)、纳卫星(1-10kg)等
 - 按高度分为低轨卫星(<5000km)，中轨卫星(5000-20000km)，高轨卫星(>20000km)



清华一号微小卫星



□ 通信地球站分系统包括地球站和通信业务控制中心

➤ 主要有天馈设备、发射机、接收机、信道终端、跟踪与伺服系统等

□ 跟踪遥测及指令分系统对卫星进行跟踪测量，准确控制卫星位置，并进行监视和校正

□ 通信地球站分系统对卫星的通信性能及参数进行检测与控制

➤ 主要参数有转发器功率、天线增益、地球发射功率、射频频率和带宽等



□ 卫星通信系统的组成还可以分为空间段、地面段和控制段三部分

1.2.1 地球站的技术要求

- 发送的信号应是宽频带、稳定、大功率的信号，能接收由卫星转发器转发来的微弱信号
- 可以传输多路电话、电报、传真，以及高速数据、电视等多种业务的信号
- 性能稳定、可靠，维护、使用方便
- 建设成本和维护费用不应太高



南京卫星地球主站
(长江站)
建于2016年10月



拉萨卫星地球主站
(青藏站)
建于2016年11月



北京卫星地球主站
(长城站)
建于2016年3月



昆明卫星地球主站
(昆仑站)
建于2016年5月



□ 地球站的性能指标——品质因数 (G/T)

- G/T是地球站接收天线的增益G与地球站接收系统的等效噪声温度T的比值，它表征了地球站对微弱信号的接收能力，称为地球站的品质因数

□ 有效辐射功率及其稳定度

- 为了保证所传送信号的质量，要求地球站的发射机能够发射较大的功率，一般为几百瓦~十几千瓦，而且要求所发射的射频信号功率非常稳定

□ 射频频率的稳定度

- 地球站所发射的射频信号的频率必须很精确，如果有较大漂移，不但要影响卫星转发器频带的有效利用，还会在卫星转发器中产生交调噪声

□ 射频能量的扩散

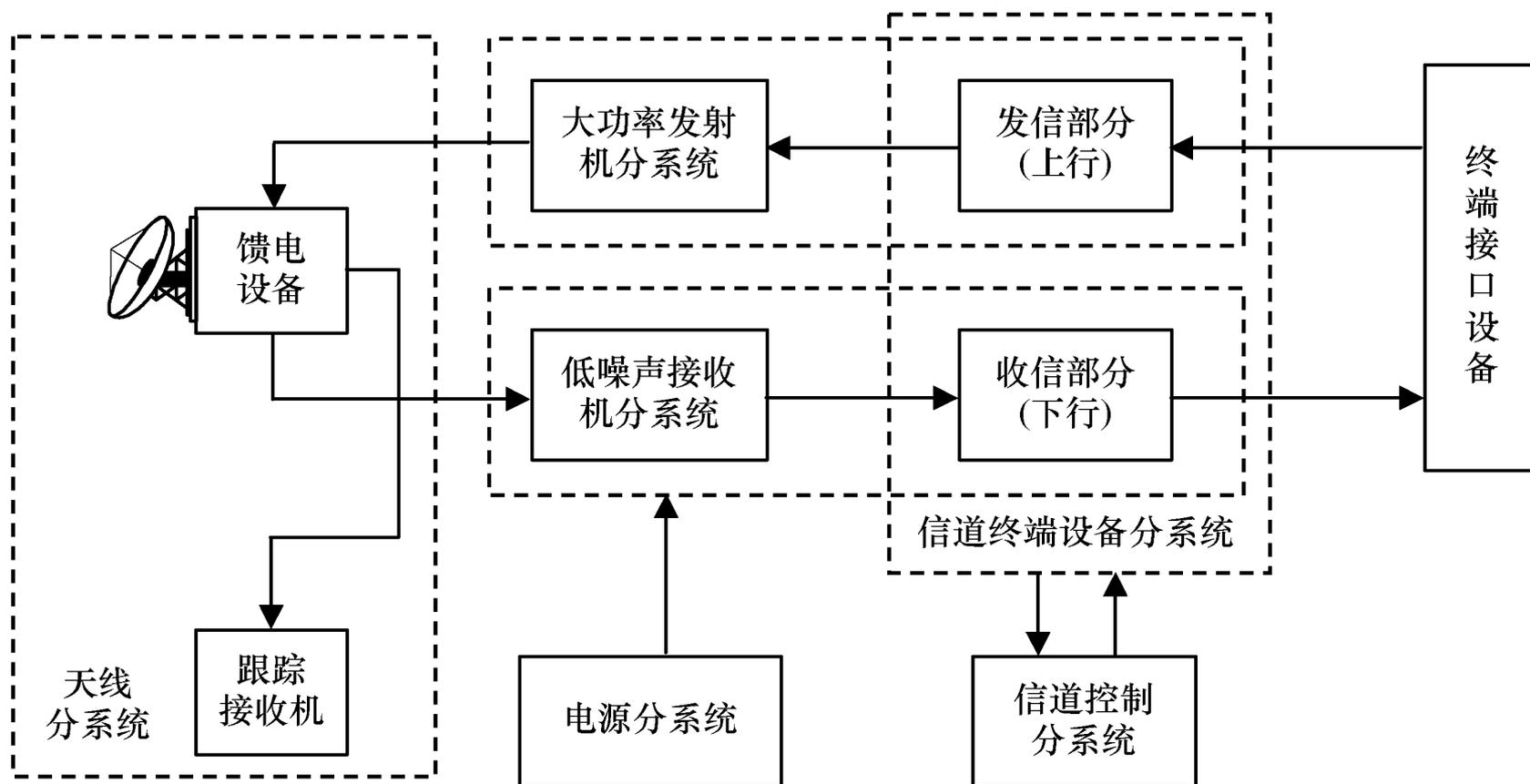
- 为减小交调干扰，必须对地球站在负载轻（即通话数少）的时候所发射的射频频谱能量密度加以限制

□ 干扰波辐射的限制

- 为防止干扰波对卫星转发器和其他微波通信系统形成干扰，规定地球站因多载波引起的交调干扰及带外总的有效全向辐射功率应小于限定值
-

1.2.2 地球站的组成

- 地球站一般由天线分系统、发射机分系统、接收机分系统、通信控制分系统、信道终端设备分系统和电源分系统6个分系统组成



□ 天线系统(天馈设备)将发射机送来的射频信号经天线向卫星方向辐射(发)，同时它又接收卫星转发的信号送往接收机(收)

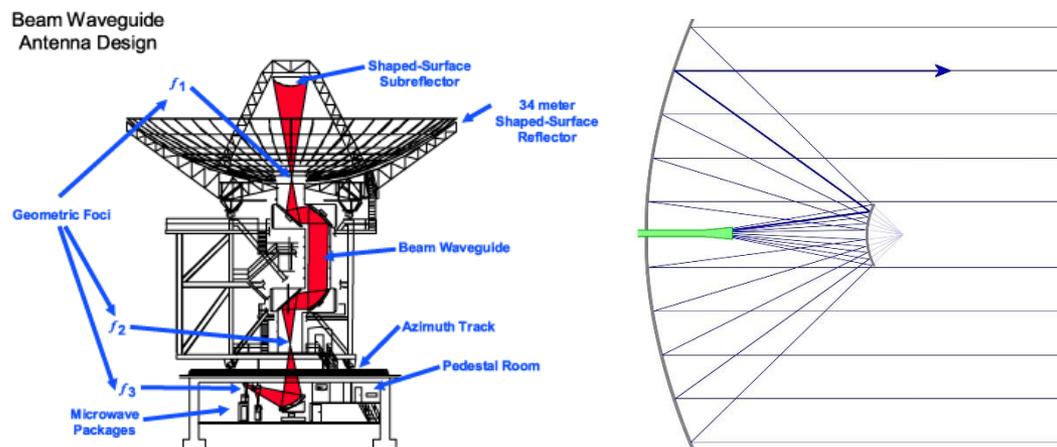
- 天线系统的建设费用约占整个地球站的1/3，因此收发往往共用一副天线
- 为使收发隔离，一般需要一个双工器，作为发送波与接收波的分路器

□ 地球站可以采用抛物面天线、喇叭天线和喇叭抛物面等多种形式

- 对于大中型天线一般使用卡塞格伦天线可以把大功率发射机或低噪声接收机直接与馈源喇叭项链，从而降低因馈电波导过长而引起的损耗噪声。同时，从馈源喇叭中辐射出来经过反射镜边缘泄露出来的电波是射向天空而不是地面，降低大地反射噪声
- 按天线口径大小，地球站可分为大(20m)、中(15m)、小(10-3m)三种站型

□ 天线系统技术要求

- 高增益
- 低噪声温度
- 宽频带特性
- 旋转性好
- 机械精度高



-
- 发射机将由上变频器和功率放大器组成，主要作用是将已调制的中频信号经上变频器变换为射频信号，并放大到一定的电平，经馈线送至天线进行发射
 - 发射机的技术指标要求发射功率大，频带宽，射频频率稳定度高，放大器线性好，增益稳定

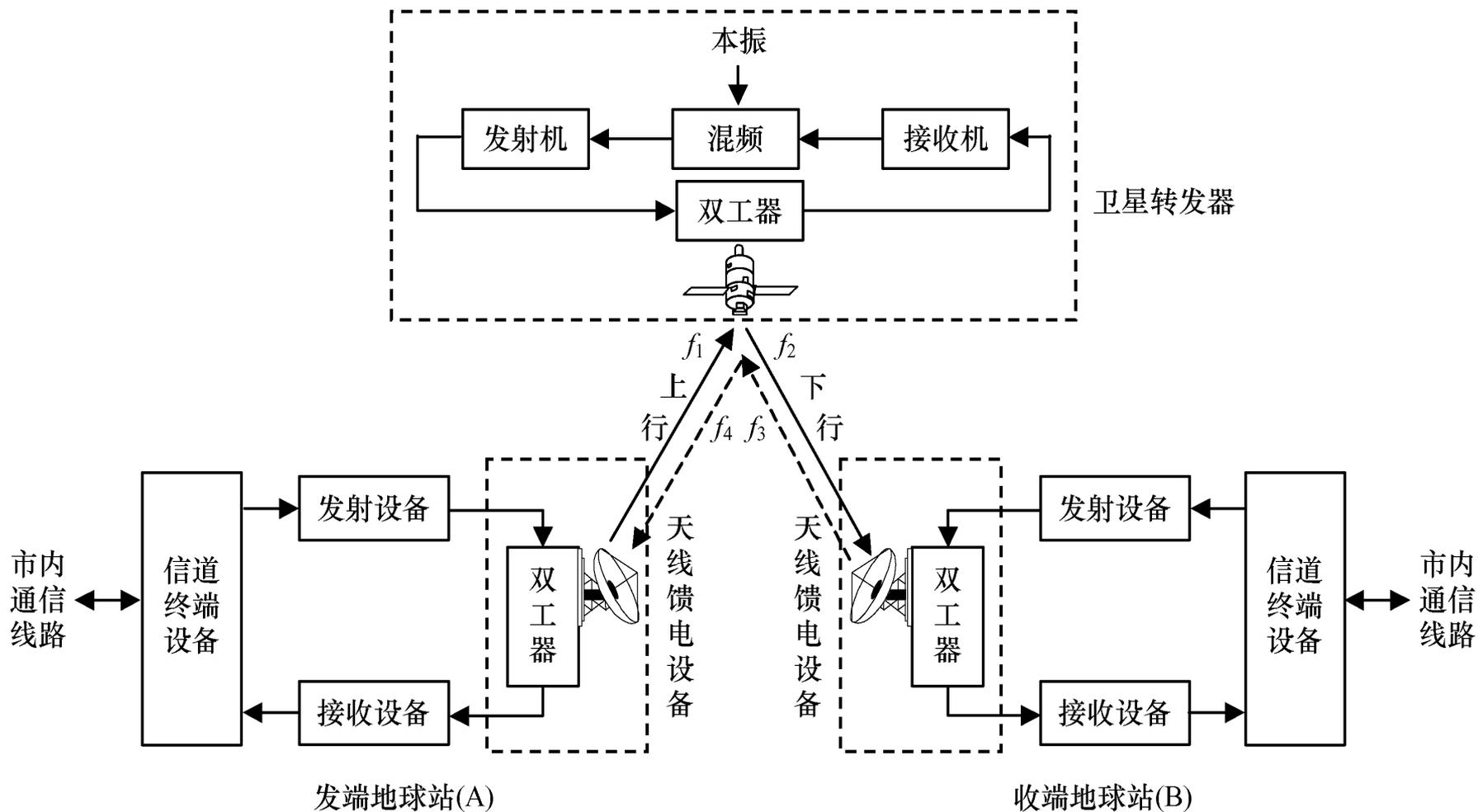
 - 接收机将由下变频器和低噪声放大器组成，主要作用是从噪声中接收来自卫星的有用信号，经下变频器变换为中频信号，送至解调器
 - 由于卫星转发器的发射功率较小，只有几瓦至几十瓦，而且天线的增益也不高，经200dB左右的下行线路损耗之后，到达地球站的信号极微弱
 - 接收机的技术指标要求噪声温度低，工作频带宽，增益稳定

 - 信道终端设备由基带处理与调制解调器、中频滤波及放大器组成，主要作用是将用户终端送来的信息加以处理，成为基带信号，对中频进行调制，同时对中频已调信号进行解调以及进行与发端相反的处理，输出基带信号送往用户终端(双向)

 - 通信控制系统在站内进行监视、控制和测试，保证各部分正常工作

 - 电源系统
-

1.2.3 卫星通信的基本工作原理



□ 下节课内容

1.3 通信卫星

1.4 卫星通信工作频段选择及电波传播特点





Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容



卫星通信概述 (5学时)



卫星通信基本技术 (9学时)



卫星通信链路设计 (4学时)



卫星通信网 (3学时)



移动卫星通信系统 (3学时)

第一章 卫星通信概述

1.1 卫星通信的基本概念和特点

1.2 卫星通信地球站

1.3 通信卫星

1.4 卫星通信工作频段选择及电波传播特点

1.5 卫星通信发展动态

1.3.1 开普勒三大定律

□ 假设地球是质量均匀分布的圆球体，忽略太阳、月球和其它行星的引力作用，忽略大气阻力，卫星运动服从开普勒三大定律

□ 开普勒第一定律(轨道定律)，1602年

➤ 卫星以地心为一个焦点做椭圆运动

$$r = \frac{P}{1 + e \cos \theta}$$

r 为卫星到地心的距离；

θ 为中心角；

$e = \sqrt{1 - (b/a)^2}$ 为偏心率；

$P = a(1 - e^2)$ 为二次曲线的参数；

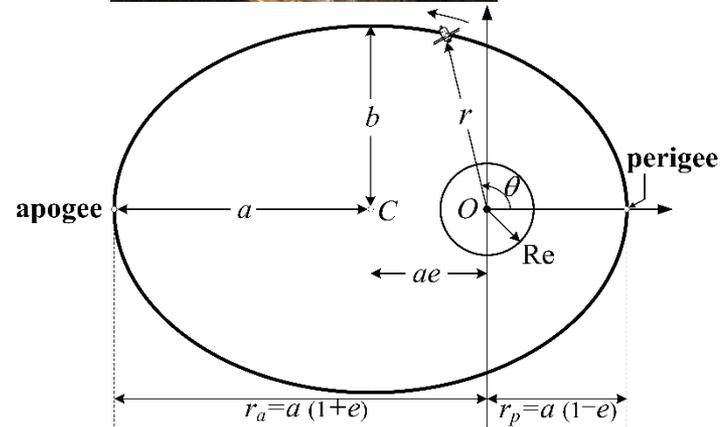
a, b 为椭圆的半长轴和半短轴；

e, P 的值均由卫星入轨时的初始状态所决定；

➤ 卫星离地球最远点称为远地点，离地球最近点称为近地点，卫星和地心的连线在地面上的交点称为星下点



Johannes Kepler

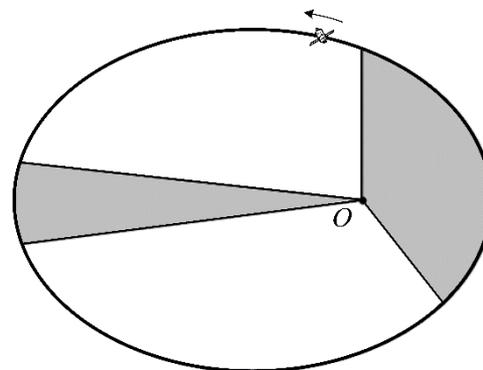


□ 开普勒第二定律(面积定律), 1605年

- 卫星与地心的连线在相同时间内扫过的面积相等
- 由第二定律可以推导出卫星在轨道上任意位置的瞬时速度为

$$v(r) = \sqrt{\mu\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)} \quad (\text{km/s})$$

$\mu = 3.986013 \times 10^5 \text{ km}^3 / \text{s}^2$ 为开普勒常数



□ 开普勒第三定律(轨道周期定律), 1618年

- 卫星运转周期的平方与轨道半长轴的3次方成正比
- 由第三定律可知, 卫星围绕地球运行一圈的周期为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}}$$



Isaac Newton

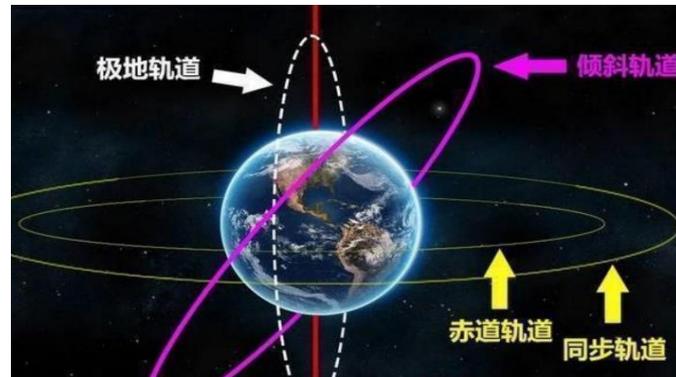
□ 1667年, 牛顿在开普勒三大定律基础上, 提出了万有引力定律

- 根据万有引力定律, 卫星围绕地球的运动可以看做是受地球中心引力作用的质点运动, 则可进一步推导出开普勒三大定律

1.3.2 卫星轨道分类

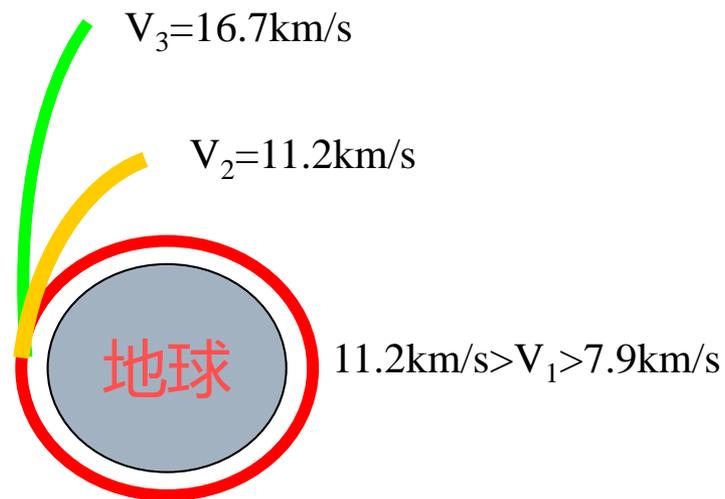
□ 按轨道与赤道平面的夹角：赤道轨道、倾斜轨道、极地轨道

- 静止通信卫星采用赤道轨道
- “铱星”系统采用极地轨道
- ICO卫星采用顺行倾斜轨道



□ 按偏心率：圆轨道、椭圆轨道、大椭圆轨道、抛物线轨道、双曲线轨道

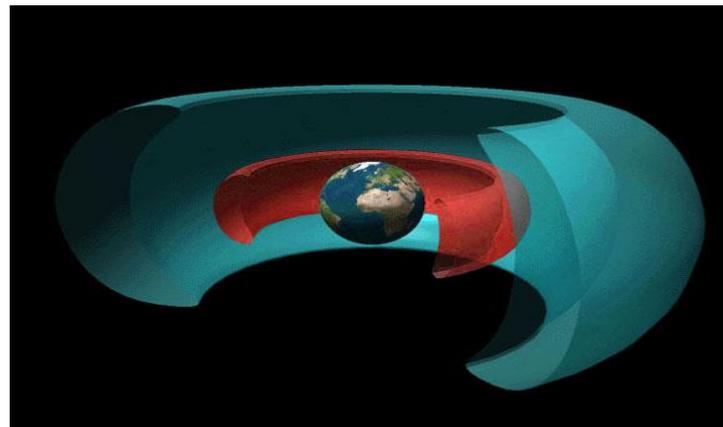
- 全球卫星通信系统多采用圆轨道，可以均匀覆盖南北半球
- 区域卫星通信系统，若覆盖区域相对于赤道不对称或覆盖区域纬度较高，则宜采用椭圆轨道
- 卫星沿抛物线和双曲线运行，卫星将飞离地球引力场



□ 范伦带:地球外层空间上存在的两个辐射带,内带(1500-6000km),外带(15000-20000km),由地球磁场吸引和俘获的太阳风的高能带电离子组成,电磁辐射环境恶劣,不适宜运行卫星

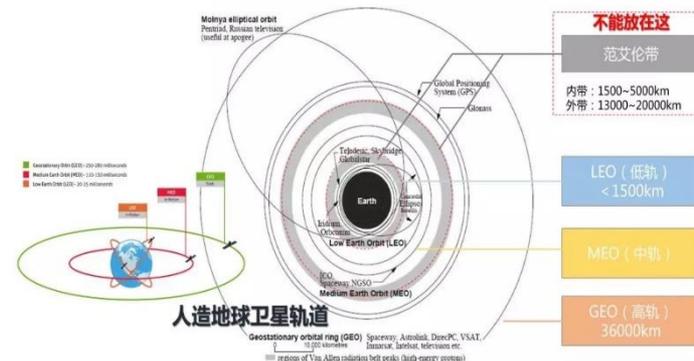
□ 按离地面高度:

- 低轨道(LEO) 700km-2000km
- 中轨道(MEO) 10000-20000km
- 地球同步轨道(GEO) 35786km
- 高轨道(HEO) 最高39500-50600km



卫星系统	轨道高度 (km)	在轨速度 (km/s)	轨道周期 (时/分/秒)
Intelsat (GEO)	35786	3.0747	23/56/04.1
NewICO (MEO)	10355	4.8954	05/59/01.0
SkyBridge (LEO)	1469	7.1272	01/55/17.8
Iridium (LEO)	780	7.4624	01/40/27.0

同步轨道以外的轨道: HEO、MEO、LEO

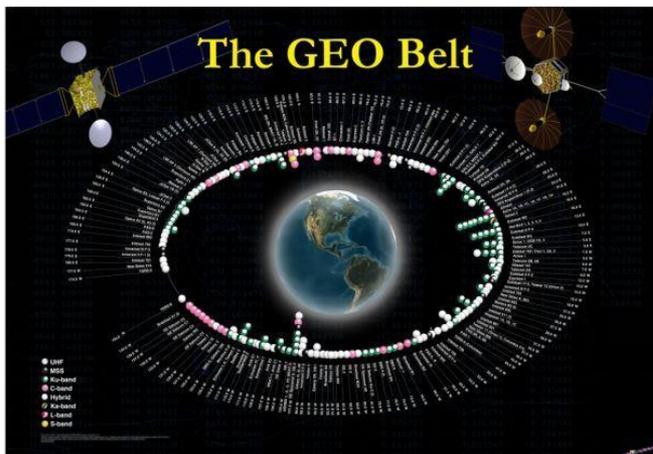


□ GEO优势:

- 对地位置相对固定
- 几乎恒定的传输延时
- 广阔的覆盖区域

□ GEO劣势:

- 大的传输延时和衰减
- 不能覆盖极地地区
- 轨位资源缺乏
- 发射费用高



拥挤

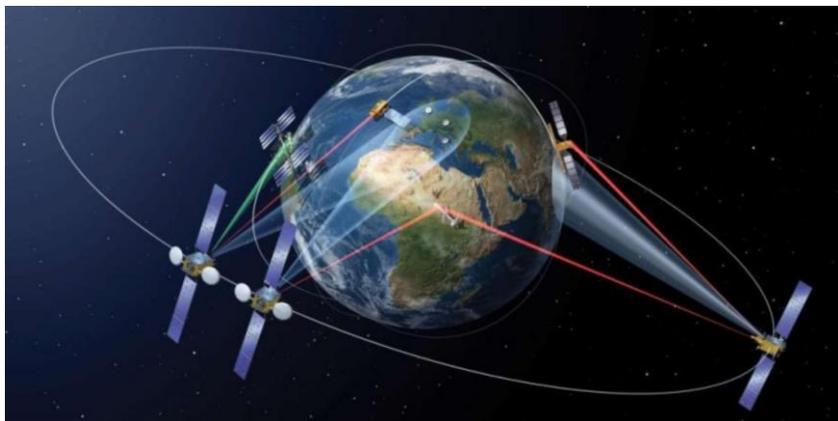
地球同步轨道

重要



□ LEO优势:

- 低传输延时和衰减(利于手持终端)
- 灵活的系统设计
- 发射费用低



□ LEO劣势:

- 对地的快速相对移动, 大多普勒频移
- 单星覆盖面积小
- 星座延时抖动大
- 星座的管理复杂性高

拖垮摩托罗拉的“铱星”回来了: 由SpaceX一箭十星发射

澎湃新闻见习记者 虞涵棋
2017-01-03 18:20 来源: 澎湃新闻

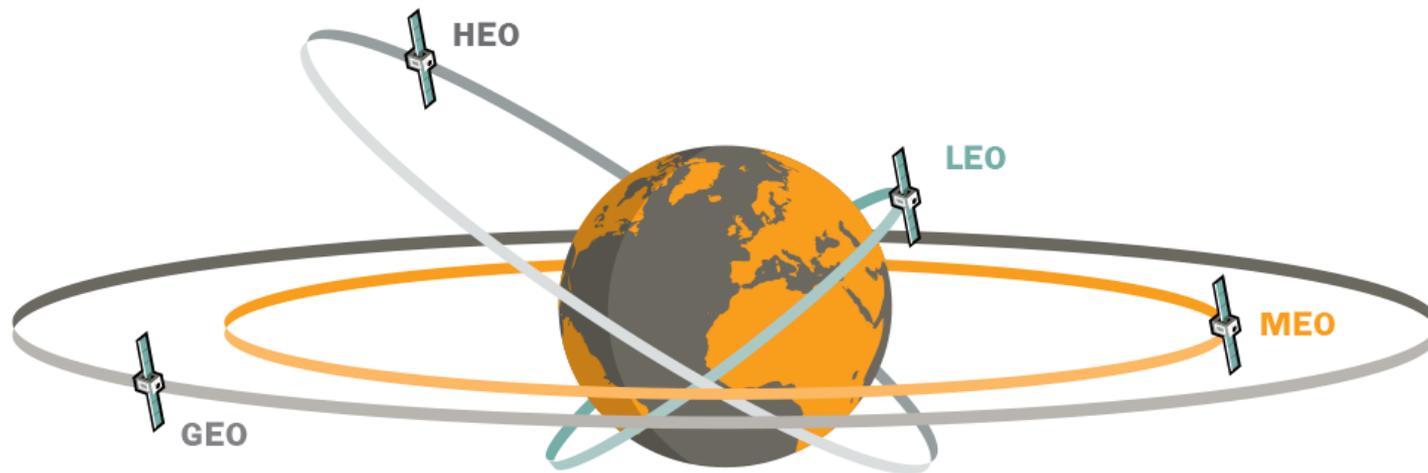
字号

继去年9月发生火箭爆炸事故后偃旗息鼓的美国太空探索技术公司 (SpaceX) 于当地时间1月2日发布官网消息, SpaceX已查明事故原因, 将于1月8日恢复发射, 以一箭十星的方式将第二代“铱星计划” (Iridium NEXT) 的第一批10颗通信卫星送上太空。这个消息不仅标志着SpaceX在太空领域卷土重来, 也让“铱星计划”这个曾拖垮摩托罗拉的宏大蓝图重新浮出水面。



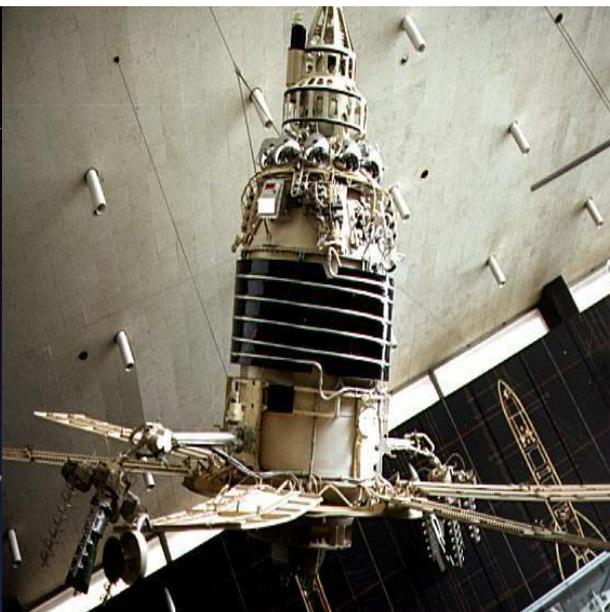
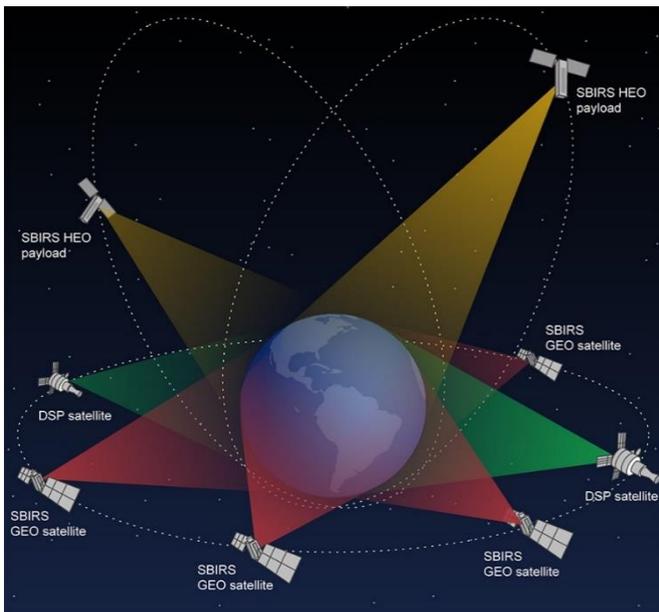
猎鹰9号

□ MEO是GEO和LEO的折中



□ HEO主要用作军事通信或者对重点区域长时间驻留服务

- 单星覆盖范围大，对地运动速度较慢，高纬度地区仰角大
- 传输延时和衰减大，穿越范伦带，卫星寿命较短



Molniya-1

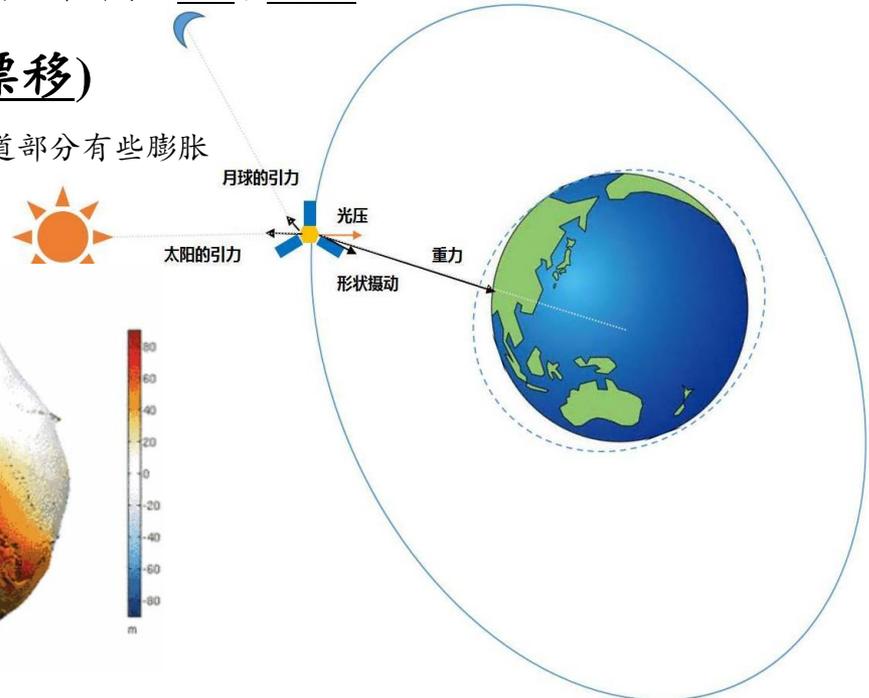
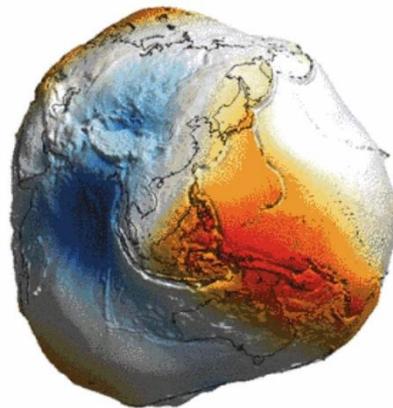
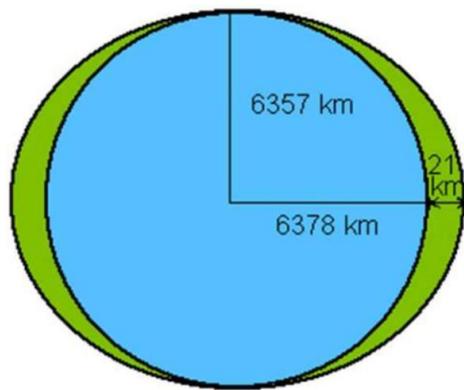
- 1960年代，苏联研制了运行于大椭圆轨道的闪电卫星。所以这轨道也就成了著名的“闪电轨道”（Molniya）。大椭圆轨道的特点是近地点高度和远地点高度差别较大，闪电轨道的近地点高度400km，远地点高度40000km。在轨道周期里，卫星长时间运行于苏联的上空，提供通信服务

1.3.3 卫星轨道的摄动

- ❑ **摄动**：实际中，卫星不断发生不同程度的偏离开多普勒轨道的情况，从而产生一定的漂移
- ❑ **太阳、月亮引力的影响(南北漂移)**
 - 对于低轨道卫星，地球引力占绝对优势，太阳、月亮引力可以忽略不计
 - 对于高轨道卫星，地球引力仍然是主要的，但太阳、月亮的引力也有一定影响
 - 对于同步卫星，太阳和月亮对卫星的引力分别为地球引力的 $1/37$ 和 $1/6800$

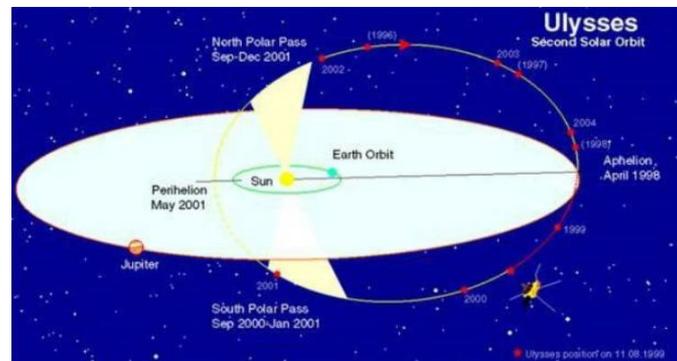
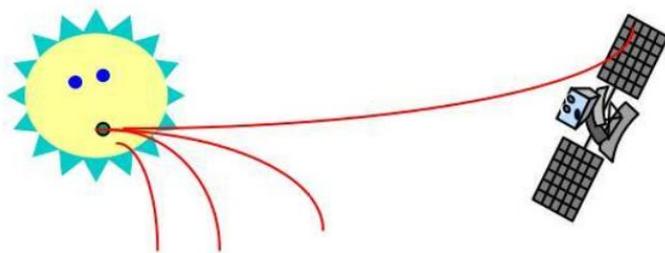
- ❑ **地球引力场不均匀的影响(东西漂移)**

- 地球并非理想的球体，而是一个略成扁平，赤道部分有些膨胀的椭球体，且表面起伏不平



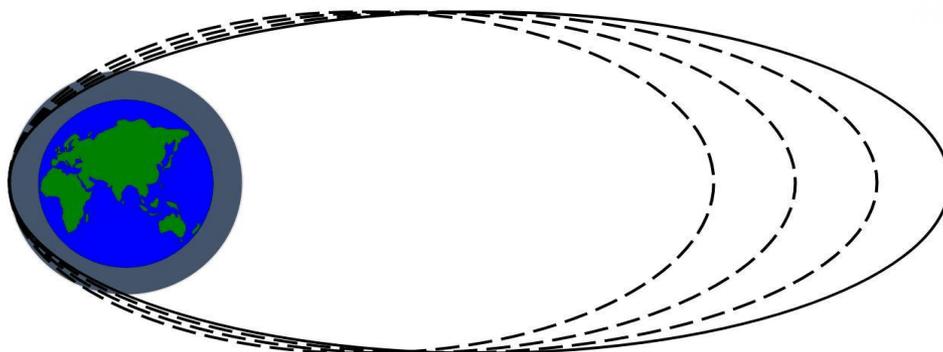
□ 太阳辐射压力的影响(东西漂移)

- 对于表面积较大且定点精度要求高的静止卫星，必须考虑太阳辐射压力引起的摄动



□ 地球大气阻力的影响

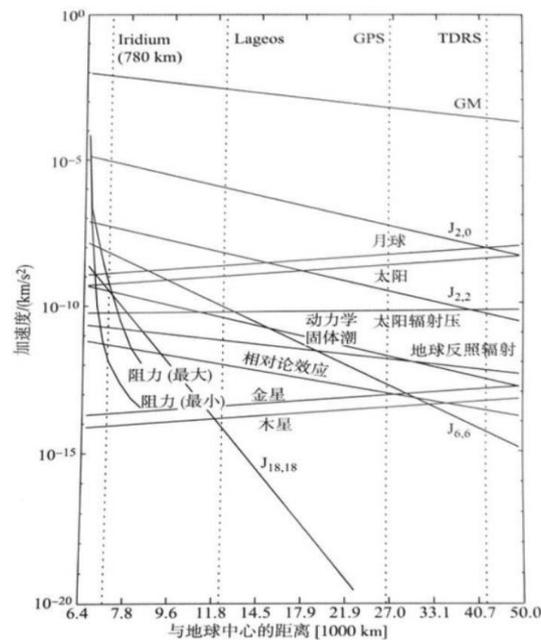
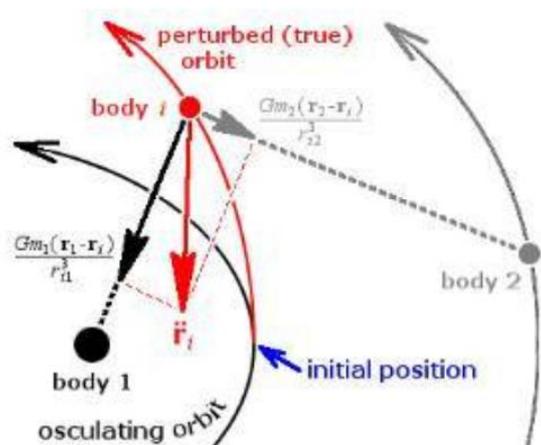
- 对于低轨卫星，大气阻力有一定影响，会使卫星的机械性能收到损耗，从而轨道日渐缩小
- 高轨卫星处于大气层外的宇宙空间，大气阻力可以不予考虑



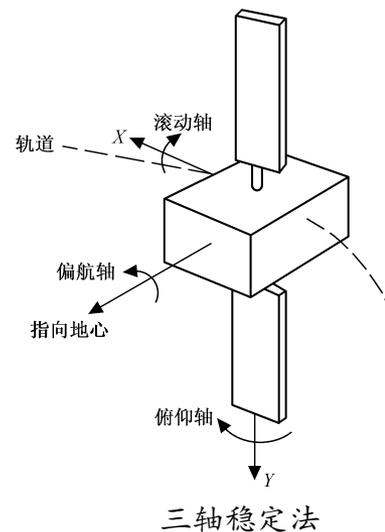
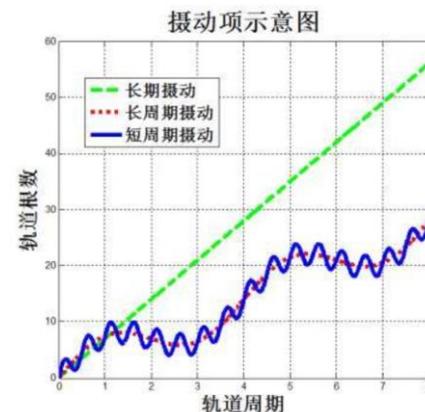
Shape and flow	Form Drag	Skin friction
	0%	100%
	~10%	~90%
	~90%	~10%
	100%	0%

□ 摄动影响

- 轨道不再是重复的轨迹，轨迹一直处于动态变化之中
- 长期摄动与周期摄动的叠加
- 卫星失控，带来潜在危害



卫星轨道不同摄动的量级

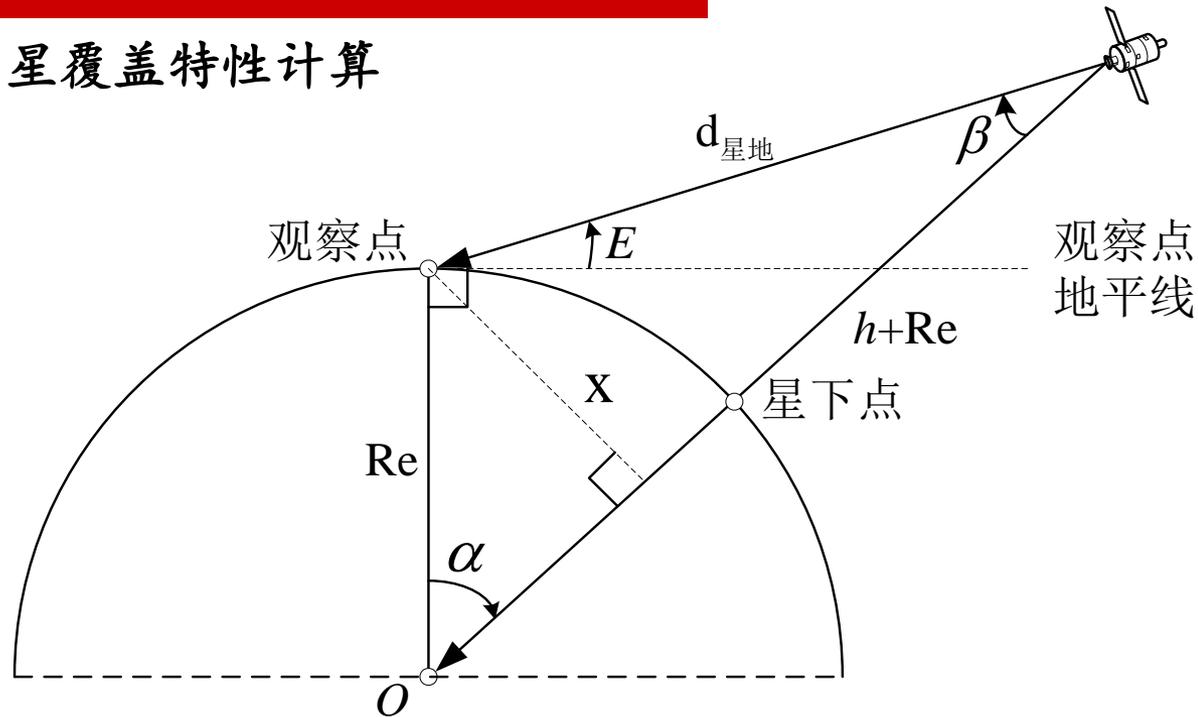


□ 为了克服摄动的影响，需要对卫星轨道进行控制

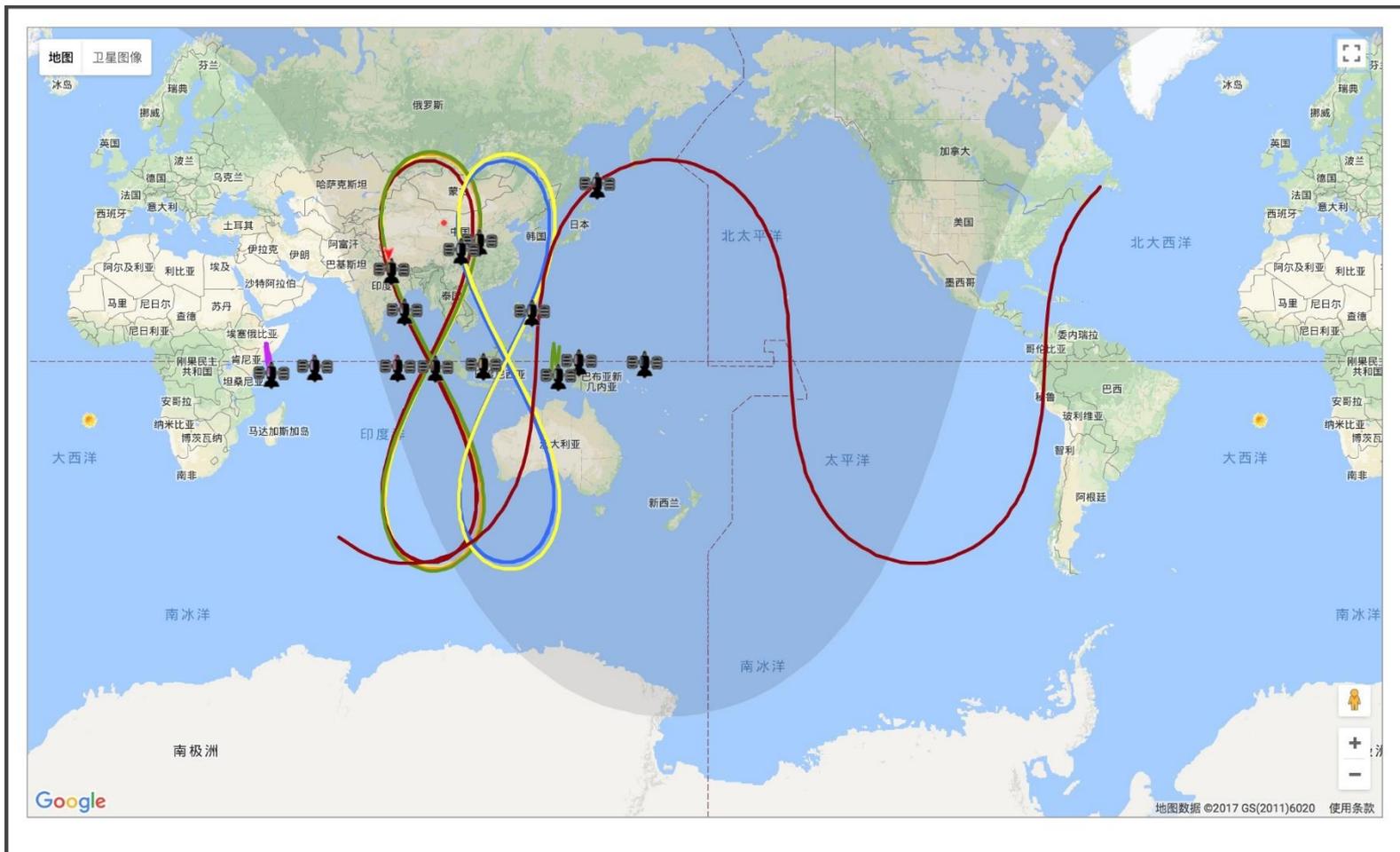
- 位置保持: 主要靠星体上的轴向喷嘴和横向喷嘴来完成
- 姿态控制: 使卫星的天线波束始终指向地球表面服务区，同时使卫星的太阳能电池帆板对向太阳；主要有自旋稳定、重力梯度稳定、磁力稳定和三轴稳定等方法

1.3.4 卫星覆盖与星座设计

□ 单颗卫星覆盖特性计算



- E : 观察点对卫星的仰角, 以观察点的地平线为参考, 可取值范围为 $[-90^\circ, 90^\circ]$
- α : 卫星和观察点间的地心角, 可取值范围为 $[0^\circ, 180^\circ]$
- β : 卫星的半视角, 可取值范围为 $[0^\circ, 90^\circ]$
- d : 卫星到观察点的距离
- X : 卫星覆盖区的半径
- Re : 地球平均半径
- h : 卫星轨道高度



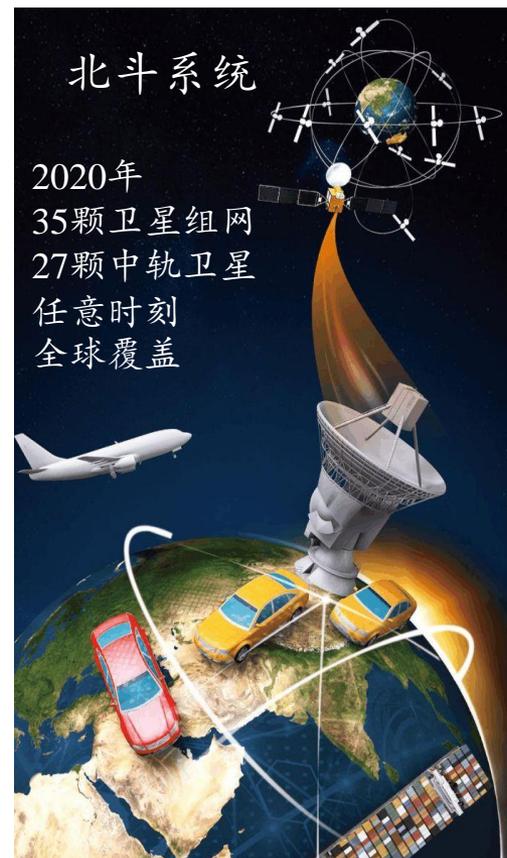
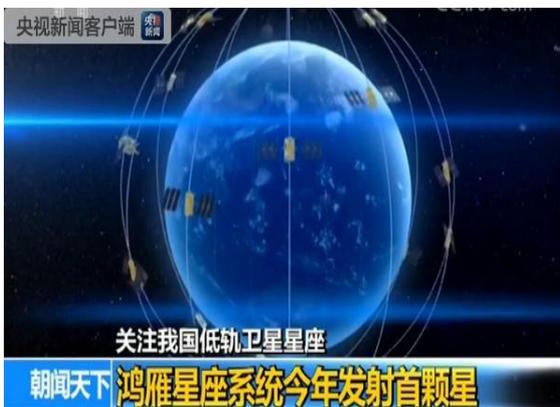
北斗二代星下点轨迹情况（固定点为GEO卫星，8字型为IGSO卫星，蚯蚓型为MEO）

□ 卫星星座：是指由多颗卫星按照一定的规律组成的卫星群

- 与单卫星相比，覆盖性能大大提升

□ 星座的覆盖方式

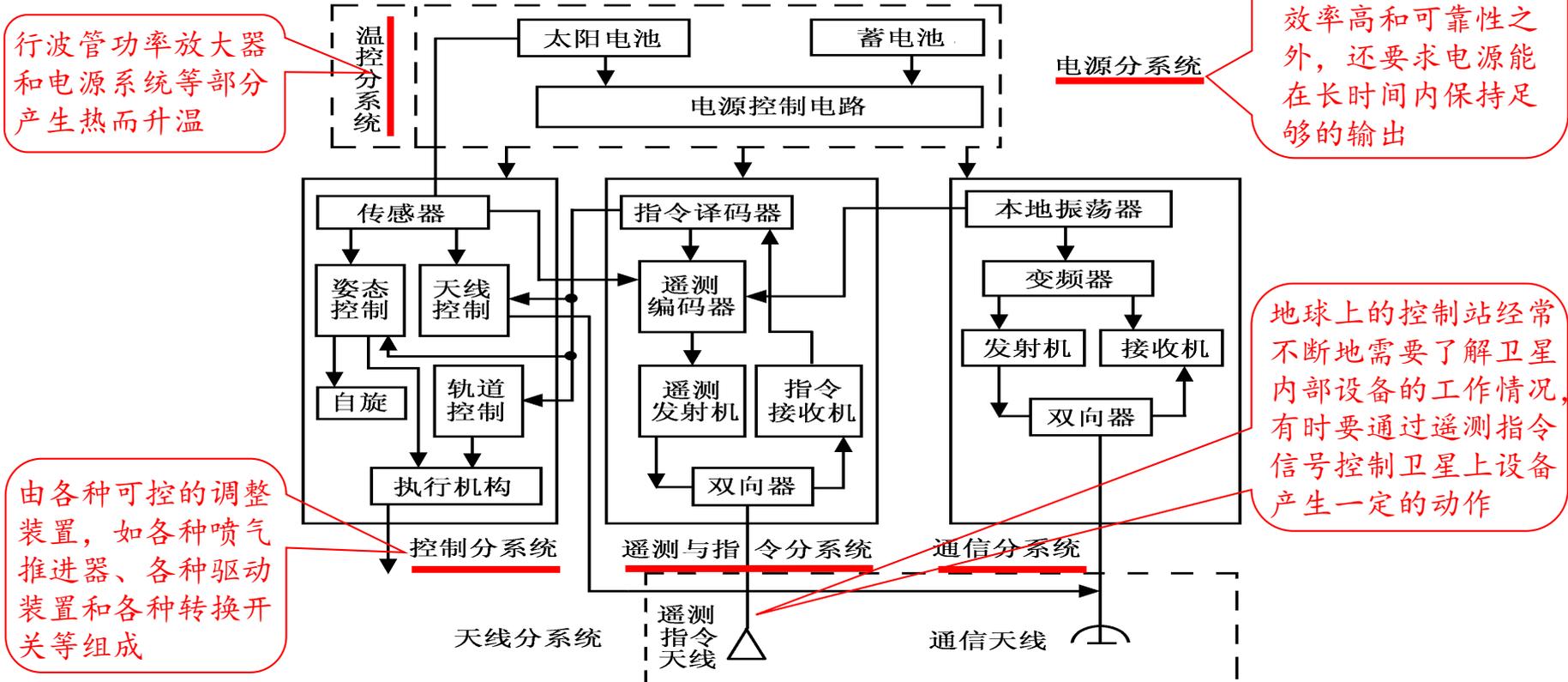
- 星状星座，例如铱星通信系统，鸿雁系统
- 网状(Walker)星座，例如全球星系统，北斗系统
- 两种星座各有千秋，具体性能取决于星座内卫星数量、高度和轨道倾斜度



- 设计最佳星座，就是通过选取最佳的轨道倾角和升节点的位置，从而在高度尽可能低的轨道上，采用数量尽可能少的卫星，并对制定区域进行全天候的持续性覆盖

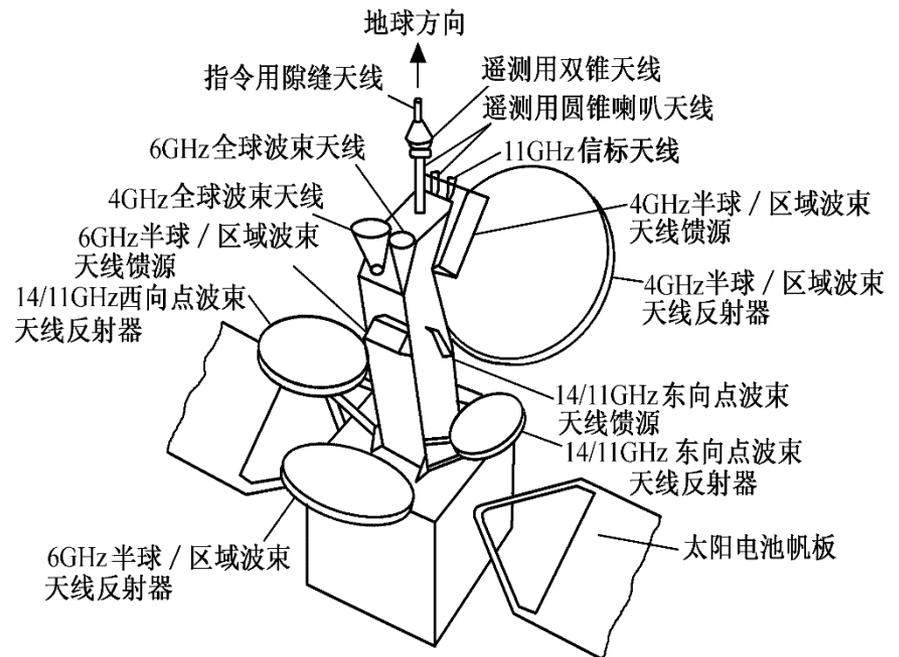
1.3.5 通信卫星的组成

- 通信卫星各系统的组成由通信分系统、控制分系统、遥测与指令分系统、电源分系统和温控分系统5个部分组成



- 通信卫星上的通信分系统包括天线分系统和通信转发器
- 天线分系统包括通信天线和遥测指令天线，作用是定向发射与接收无线电信号
- 通信天线一般采用定向的微波天线，按其波束覆盖区域的大小，可分为全球波束天线、区域波束天线和点波束天线

- 全球波束天线一般用在静止卫星上，采用喇叭形天线，其波瓣宽度约为17-18度，恰好覆盖卫星对地球的整个视区，天线增益约为15-18dBi
- 点波束天线一般采用抛物面天线，其波束宽度只有几度或者更小，集中指向某一些小区域，因而增益较高，例如IS-IV卫星，波瓣宽度为4.5度，增益为27-30dBi
- 区域波束天线一般用在波束覆盖区域的形状与某地域图形相吻合时，其覆盖区域可通过修改天线反射器的形状或使用多个馈源从不同方向照射天线反射器，由反射器产生多个波束的组合来实现



卫星天线系统示意图

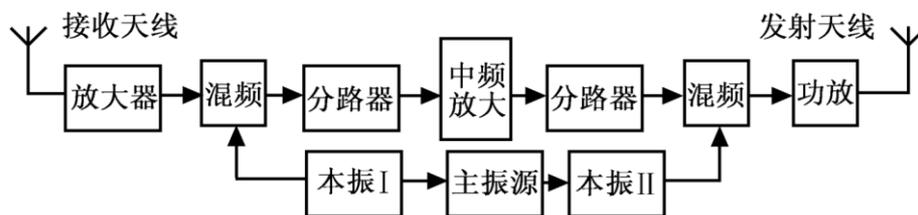
- 通信遥测、遥控和信标采用的是高频天线，一般是全向天线，常用的形状有鞭状、螺旋状、绕杆状等

□ 通信卫星上的通信转发器又叫中继器，是通信卫星的核心部分，本质上是一部高灵敏度的宽带收、发信机，其性能直接影响到卫星通信系统的工作质量

- 热噪声，主要来自设备的内部噪声和从天线来的外部噪声
- 非线性噪声，主要是由转发器电路或器件特性的非线性引起的
- 一颗通信卫星一般有多个转发器，每个转发器覆盖一定的频段

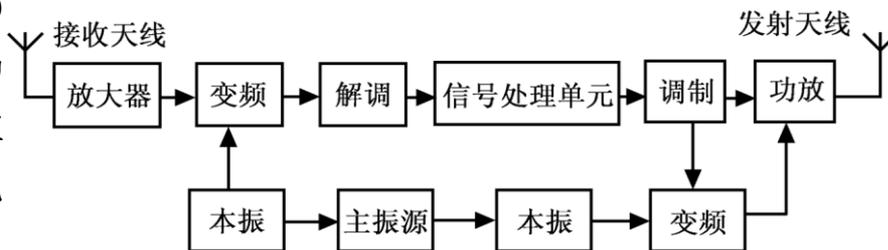
□ 通信转发器通常分为透明转发器和处理转发器两大类

- 透明转发器，是指接收到地面站发来的信号后，在卫星上不做任何处理，只进行低噪声放大、变频和功率放大，并发向各个地球站(类AF中继)



- 处理转发器，除了能转发信号外，还具有信号处理功能，特点是在两极变频器之间增加了解调、信号处理和调制三个单元(类DF中继)

- 对数字信号进行解调再生，消除噪音影响
- 在不同卫星波束之间进行信号交换与处理
- 其它更高级的信号变换、交换和处理，比如上行FDMA变为下行TDMA等



1.4.1 工作频段的选择

- 卫星通信工作频段的选择关系到系统的传输容量、地球站与转发器的发射功率、天线尺寸与设备的复杂程度以及成本的高低等
- 工作频段的选择原则
 - 工作频段的电波应能穿透电离层
 - 电波传输损耗要小
 - 天线系统接收的外界噪声要小
 - 设备重量要轻，耗电要省
 - 可用频带要宽
 - 与地面无线系统之间的互干扰要小
 - 能充分利用现有技术设备，并便于与现有通信设备配合使用
- 综合上述原则，卫星通信的工作频段应选在微波频段(300MHz-300GHz)
 - 频谱宽，频率高，通信容量大
 - 天线尺寸小，增益高，波长短，有似光性，方向性强，天线指向性好
 - 现有的微波通信设备可以改造利用
 - 微波不会被电离层所反射，能直接穿透电离层到达卫星

□ 超长波、长波、中波、短波、米波带宽不足300M，而在微波中，厘米波27GHz则为上述总和的100倍，故可以容纳比其它波段多得多的话路，不容易产生相互的干扰

□ 对于4000MHz的设备，通频带按1%计算，可达40MHz，而600路电话只占2.5M,960路占4M带宽，故利用一套收发信设备进行几百上千路的电话通信

□ 由于微波波段特殊，不能像中波那样沿着地表传输（绕射能力不强），地面很快就将其吸收，也不能像短波那样靠电离层反射，只有沿着直线传输，需要接力

□ 1971年的世界无线电行政会议已确定将宇宙通信的频段扩展到275GHz

无线电波波段划分表					
波段	波长	频率	传播方式	传播距离	用途
超长波	100000~10000米	3~30千赫	地球大气中时间和空间尺度最大的一类波动。它通常沿纬圈绕地球一周的波数为1~3个，其特征波长和地球半径同量级（104千米）	超长波传播损耗小、绕射能力强、通信距离远，并能通过电离层绕过空间星体；对海水一般具有穿透1000米深度的能力；在地下传播时吸收损耗也较小且不受核爆炸、太阳活动等外界的影响	适合于水下潜艇、远航舰艇和地下通讯等
长波	10000~1000米	30~300千赫	主要靠地面波和经电离层折回的天空波进行传播	传播距离由发射机功率和地面情况所决定，一般不超过3000千米	主要用作无线电导航、标准频率、报时及电报通信等
中波	1000~100米	300千赫至1.6兆赫	主要靠地面波和天空波进行传播	传播过程中，地面波和天空波同时存在，有时会给接收造成困难，故传播距离不会很远，一般为几百千米	主要用作近距离本地无线电广播、海上通信，无线电导航及飞机上的通信等
短波	100~10米	1.6~30兆赫	主要靠天空波进行传播	以很小的功率借助天空波传送到很远的距离	主要用作远距离国际无线电广播、远距离无线电话及电报通信、无线电传真、海上和航空通
超短波	10米至1毫米	30~300000兆赫	超短波又叫米波或甚高频无线电波，主要靠直射波进行传播	传播距离不远，一般为几十千米	主要用作调频广播、电视、导航、雷达及射电天文学等
微波	1米以下		波长在1米以下的超短波又称为微波，主要靠直射波进行传播	微波的天线辐射波束可做得很窄，因而天线的增益较高，有利于定向传播；因其频率高，信道容量大，应用的范围	主要用作定点及移动通信、导航、卫星通信、中继通信、气象及射电天文学等

无线电波的频率划分与应用

- 最早用于搜索雷达的电磁波波长为23cm，这一波段被定义为L波段，后来这一波段的中心波长变为22cm
- 当波长为10cm的电磁波被使用后，其波段被定义为S波段
- 在主要使用3cm电磁波的火控雷达出现后，3cm波长的电磁波被称为X波段，因为X代表座标上的某点
- 为了结合X波段和S波段的优点，逐渐出现了使用中心波长为5cm的雷达，该波段被称为C波段
- 在英国人之后，德国人也开始独立开发自己的雷达，他们选择1.25cm作为自己雷达的中心波长。这一波长的电磁波就被称为K波段
- K波段可以被水蒸气强烈吸收。结果这一波段的雷达不能在雨中和有雾的天气使用。战后设计的雷达为了避免这一吸收峰，通常使用比K波段波长略长，即Ka，或略短，即Ku，的波段

频率范围 (GHz)	频段标识
0.1-0.3	VHF
0.3-1.0	UHF
1.0-2.0	L
2.0-4.0	S
4.0-8.0	C
8.0-12.0	X
12.0-18.0	Ku
18.0-27.0	K
27.0-40.0	Ka
40.0-75.0	V
75-110	W
110-300	mm
300-3000	μm

超高频微波频段划分

1.4.2 电波传播的特点

- 卫星通信链路的传输损耗包括自由空间传播损耗、大气吸收损耗、天线吸收损耗、天线指向误差损耗、极化损耗和降雨损耗等

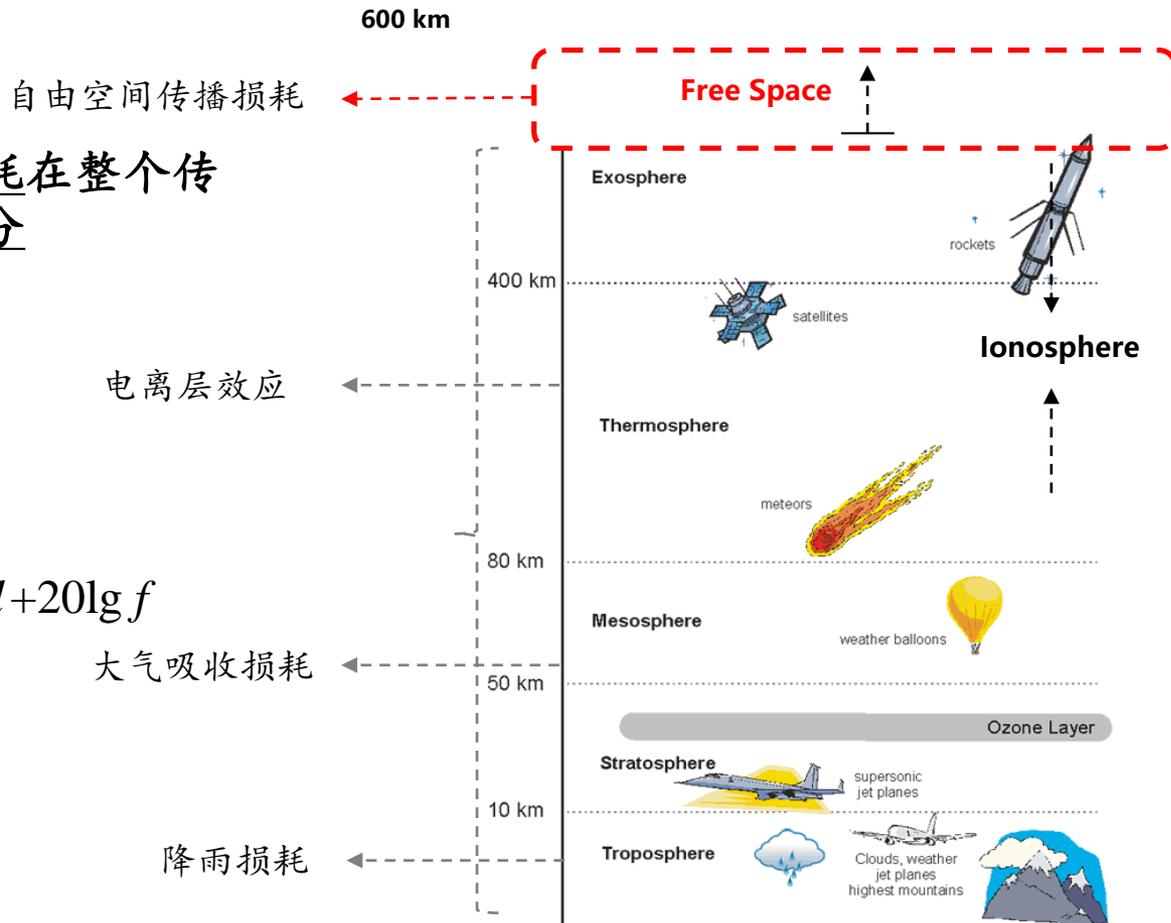
- 自由空间的传播损耗在整个传输损耗中占绝大部分

$$L_p = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

用分贝(dB)表示为

$$L_p = 92.44 + 20 \lg d + 20 \lg f$$

距离 d 的单位是 km
频率 f 的单位是 GHz



□ 通信卫星的接收功率

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

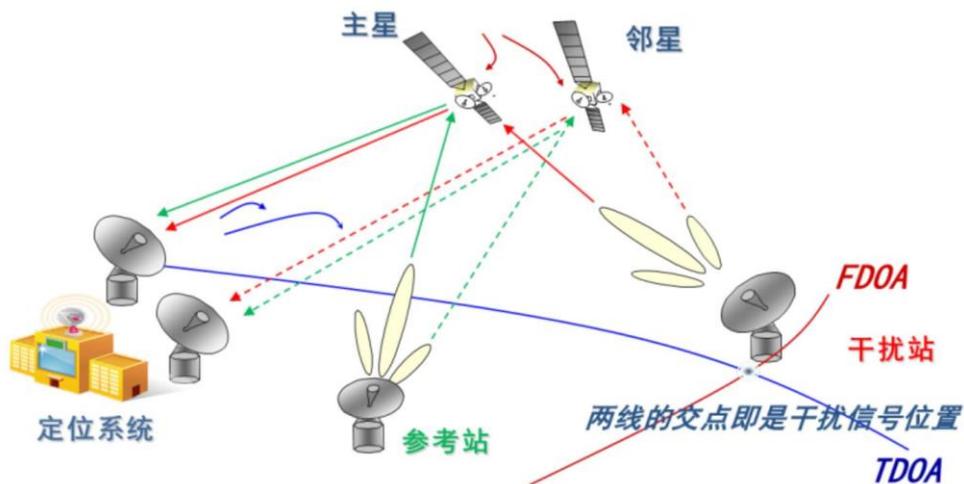
P_T : 传输功率

G_T : 传输天线增益

G_R : 接收天线增益

d : 传输距离, 单位m

λ : 波长



□ 多普勒频移, 传输存在相对运动时, 接收端收到的发射端载频发生频移, 即多普勒效应引起的附加载频

- 圆轨道的多普勒频移表达式 $f_D = f_c \frac{v_D}{c} \cos \theta$
- 在卫星通信中, 多普勒频移一直随着卫星运动的速度在发生变化, 因此到达接收机的载波频率也随之变化, 所以地球站接收机有必要采用锁相技术来实现稳定地接收卫星发来的信息
- 虽然多普勒频移对采用相关解调的数字通信存在危害, 但在定位系统中却是有用的信息源; 若已知卫星的精确位置, 则可根据多普勒频移进行地面定位(FDOA)

□ 下节课内容

1.5 卫星通信的发展动态

2.1 信号设计技术-编码





Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容

1

卫星通信概述 (5学时)

2

卫星通信基本技术 (9学时)

3

卫星通信链路设计 (4学时)

4

卫星通信网 (3学时)

5

移动卫星通信系统 (3学时)

第一章 卫星通信概述

1.1 卫星通信的基本概念和特点

1.2 卫星通信地球站

1.3 通信卫星

1.4 卫星通信工作频段选择及电波传播特点

1.5 卫星通信发展动态

1.5.1 卫星通信发展简史

- 卫星通信之父Arthus Clarke: 1945年, Wireless World上发表论文《地球外的中继》
- 1957年10月, 前苏联发射第一颗人造地球卫星Sputnik-I
- 1958年1月31日, 美国发射其第一颗卫星Explorer-I

第一代卫星移动通信系统: 模拟信号技术

- 1976年, 由3颗静止卫星构成的MARISAT系统成为第1个提供海事移动通信服务的卫星系统 (舰载地球站40W发射功率, 天线直径1.2米)
- 1982年, Inmarsat-A成为第1个海事卫星移动电话系统

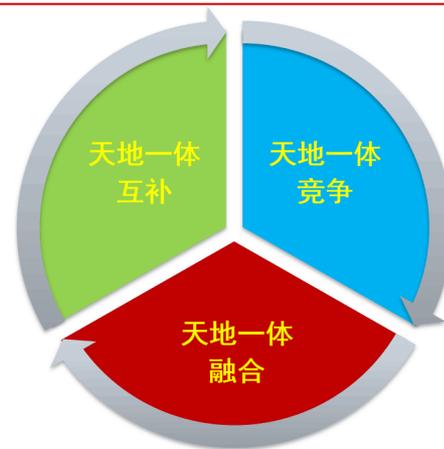
第二代卫星移动通信系统: 数字传输技术

- 1988年, Inmarsat-C成为第1个陆地卫星移动数据通信系统
- 1993年, Inmarsat-M和澳大利亚的Mobilesat成为第1个数字陆地卫星移动电话系统支持公文包大小的终端
- 1996年, Inmarsat-3可支持便携式的膝上型电话终端

第三代卫星移动通信系统: 手持终端

- 1998年, 铱 (Iridium) 系统成为首个支持手持终端的全球低轨卫星移动通信系统
- 2003年以后, 集成了卫星通信子系统的全球移动通信系统 (UMTS/IMT-2000)

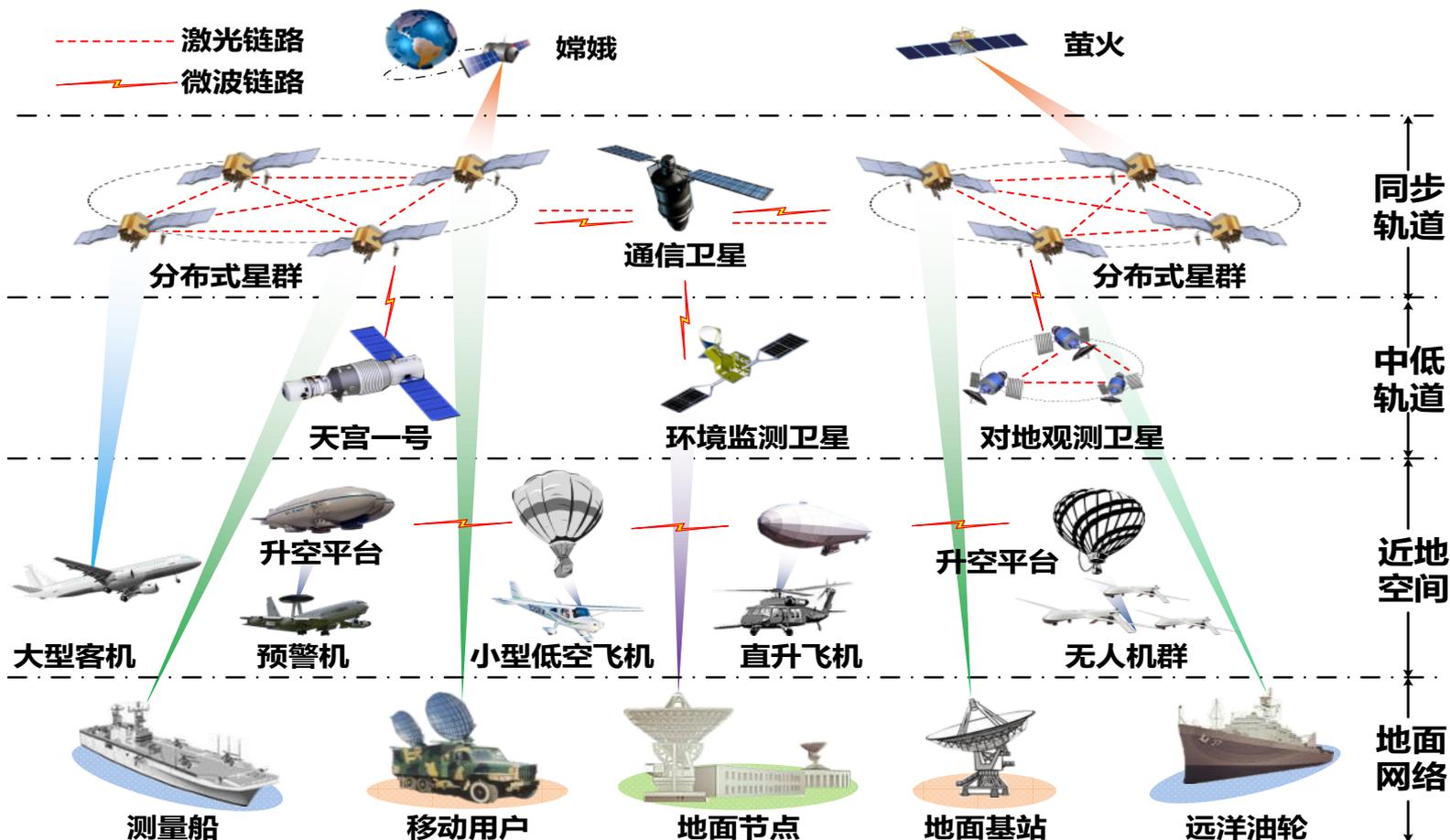
- 20世纪70年代，开始提供卫星广播业务
- 20世纪80年代，开始提供海事卫星通信服务
- 20世纪90年代，开始提供航空通信、陆地移动通信和个人卫星通信服务
- 21世纪20年代，开始提供互联网接入服务



地面移动通信系统	卫星移动通信系统
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 覆盖面积随通信设施的部署增长 ➤ 由于标准不兼容，不能全球使用 ➤ 小的无线电蜂窝，带宽利用效率高 ➤ 地面无线链路有足够的链路余量补偿阻挡信号的影响 ➤ 适用于城市环境 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 能够迅速完全地覆盖广大地区 ➤ 全球使用 ➤ 带宽利用效率高 ➤ 信号遮挡会使卫星链路性能恶化 ➤ 适用于各种恶劣的地理环境
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高用户密度、高业务密度小区，性能价格比高 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 低用户密度、有限业务密度的广大地区，性能价格比低

1.5.2 卫星通信发展现状

天地一体化信息网络已成为国民经济和国家安全的重大基础设施



低轨互联网卫星已成为天地一体化信息网络发展的前沿热点

□ 美国



- “美国政府将改革过时和琐碎的法规，以鼓励开创性的太空公司在近地轨道上开展业务”
- “美国2019财年预算将支持私营航天企业增加在近地轨道上的活动，美国政府将作为私营企业的合作伙伴或消费者，而非竞争者”

——美国副总统迈克·彭斯

□ 俄罗斯



- 利用卫星创建混合互连网络，计划使用手机网络，通信卫星和其他类型的转发器

□ 英国



- 2017年1月发布了卫星和空间科学领域的空间频谱战略，并将对卫星宽带使用和普遍服务义务的进展进行监督

□ 加拿大



- 2018年财政预算中为战略创新基金提供1亿美元，以支持近地轨道卫星项目

□ 澳大利亚



- 2016年12月发布“超高速宽带基础设施”立法草案，内容涉及为国家卫星宽带网络提供长期资金支持

国家战略主导

- 2015.5 《中国制造2025》 国务院
- 2015.10 《国家民用空间基础设施中长期发展规划(2015-2025年)》
国家发展改革委、财政部、国防科工局
- 2016.7 《国家信息化发展战略纲要》 国务院
- 2016.8 《十三五国家科技创新规划》 国务院
- 2016.12 《十三五国家信息化规划》 国务院
-
- “加快发展新型卫星等空间平效载荷、空天地宽带互联网系统，形成长期持续稳定的卫星遥感、通信、导航等空间信息服务能力。”
- “通过移动蜂窝、光纤、低轨卫星等多种方式，完善边远地区及贫困地区的网络覆盖。”
- “加快空间互联网部署，发展宽带通信卫星系统，设立“天地一体化信息网络工程” 重大工程，实现空间与地面设施互联互通，服务宽带中国和全球化战略”

企业贯彻实施

□ 航天科技集团

- 鸿雁工程：共三期，超过300颗LEO卫星星座系统，2023完工
- 天通一号：我国首颗GEO移动通信卫星



□ 航天科工集团

- 虹云工程：“1+4+156”三步，LEO卫星星座系统，2022完工



□ 卫通集团

- 中星16号：首次使用Ka频段多波束宽带通信系统，通信总容量达20G以上

□ 信威集团

- 灵巧卫星：首颗LEO移动通信卫星

□ 欧比特

- 珠海系列LEO卫星星座系统



科研院校助力推动

□ 天空地海一体化院士主题论坛(苏州2018.4)



李德仁院士
武汉大学学术委员会主任
《论通导一体化的空天信息智能服务系统》



吴建平院士
清华大学计算机科学与技术系主任
《一体化融合网络的发展与思考》



杨元喜院士
北斗三号全球卫星导航系统工程副总设计师
《国家综合PNT与弹性PNT》



吴旻青院士
中国电子科技集团有限公司副总经理、
总工程师
《天地一体化信息网络》

□ 空天地一体化组网关键技术论坛(西安2017.11)



于全院士



樊邦奎院士



论坛汇聚了包括中国工程院院士、西安电子科技大学、北京航空航天大学、南京航空航天大学、北京邮电大学等众多高校、研究所及产业界通信领域的专家领导

定位导航



对地观测



授时同步



广域通信



探测预警



应急救援

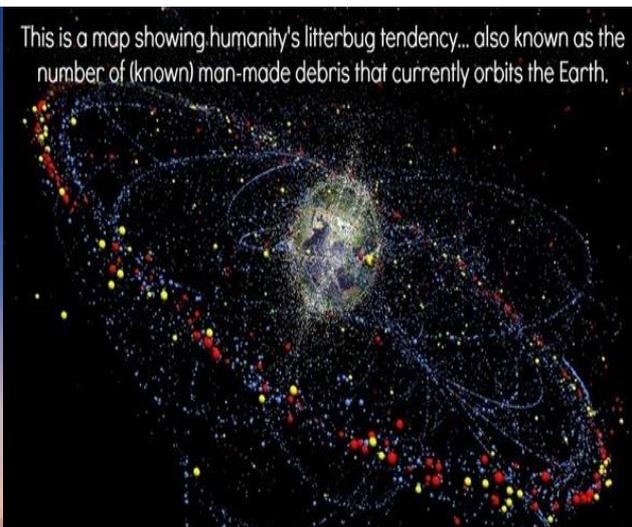


1.5.3 低轨互联网卫星面临的挑战

挑战一：空间轨道资源日益紧张

□ 两颗低轨卫星之间至少要相差50公里的高度，才能保证安全。一个轨道高度上部署了卫星，其他公司就不能再用这个高度

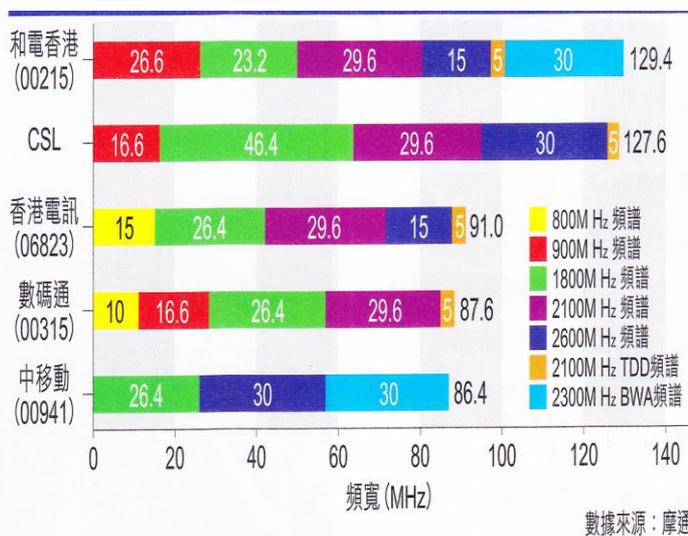
序号	星座计划	国家	卫星数量 (颗)
1	SpaceX	美国	12000
2	OneWeb	美国	1980
3	LeoSat	美国	108
4	Telesat	加拿大	117
5	Spire	美国	100
6	波音	美国	2956
7	Kepler	加拿大	140
8	三星	韩国	4600
9	鸿雁	中国	324
10	虹云	中国	156
11	九天微星	中国	872
12	Yaliny	俄罗斯	135
13	Astrone Technologies	印度	600
总计			20488



□ 凯斯勒症候群这个概念是美国宇航局顾问唐纳德·凯斯勒提出的，它设想有一天低地球轨道上的垃圾实在太多了，以至于人造卫星和航天器经常被撞击，由此产生更多的太空垃圾，恶性循环，最后使得发射新的太空器都几近不可能，因为一发射上去就会被撞坏

挑战二：频谱资源日益紧张

- 任何国家的卫星想要发射，都需要首先在国际电联ITU申请频段备案
- ITU实行「先到先得」原则，即先申请的实体有对某个信号频段的优先使用权
- 在ITU申请上落后的话，意味着卫星通信网络不能采用最有效的频段来发送宽带信号，结果就是其网络效果没有竞争对手的好，最终被淘汰出局
- 常规的C和Ku频段资源已经被瓜分殆尽，在卫星技术成熟的L、S、扩展C、扩展Ku以及Ka频段的使用也逐渐接近饱和



部分已公布的低轨道卫星发射计划

整理 / 戴春星 许尧伊 设计 / 庄枏

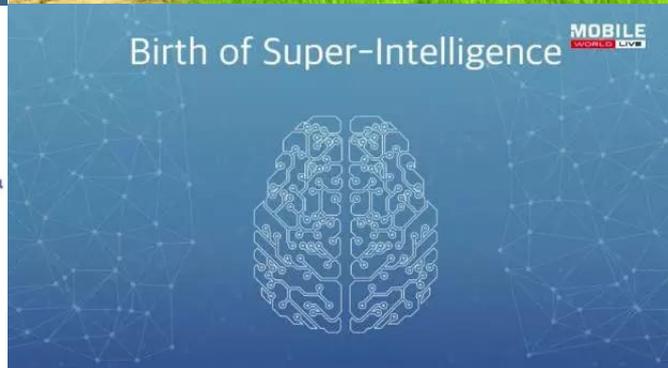
公司名称	频率	卫星数量	研发起始年
OneWeb	Ku, V	2882	2018
SpaceX	Ku, V	4425	于2022前
Boeing	V	147-3103	于2022前
LeoSat	Ka	84-108	2018
Telesat	Ka, V	117-234	2017
信威	-	321	2014
YaLiny	-	140	2017
三星	毫米波	4600	-
Astrome Technologies	毫米波	150	2019
KasKilo (M2M)	Ka	288	于2019前
CAST	-	60	于2020前
Helios Wires (M2M)	S	301	2018
Sky & Space Global	S, L	200	2017
Astrocast (M2M)	-	64	2017
Kepler (M2M)	Ku	140	2017
Lucky Star	-	156	-

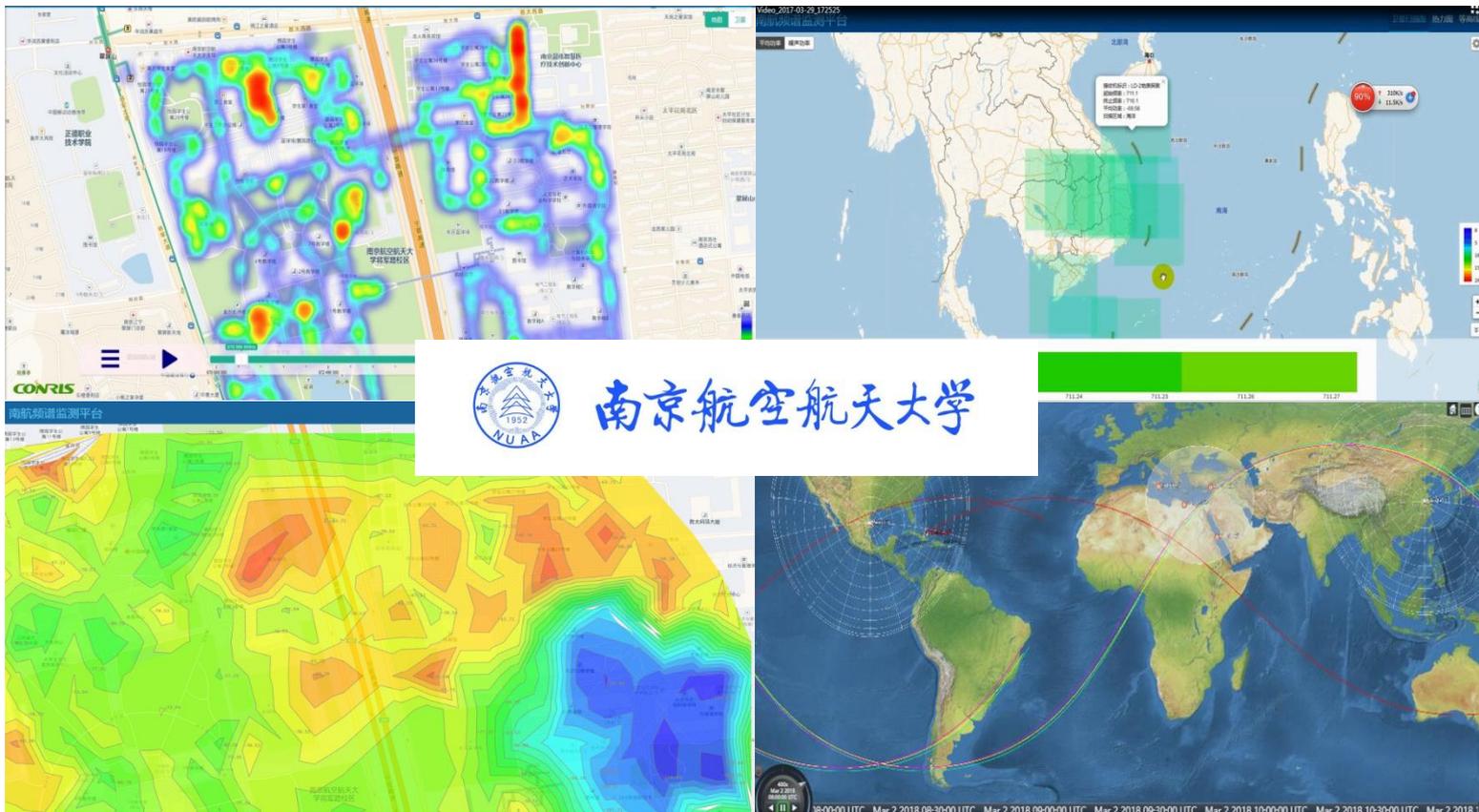
数据来源：据各公司公告

挑战三：大数据及人工智能技术在低轨互联网卫星上的使用



- 孙正义：“未来30年的世界上，卫星网络覆盖地球每一寸土地，数千万亿台设备连接互联网、将数据传至云端，再由人工智能进行分析”



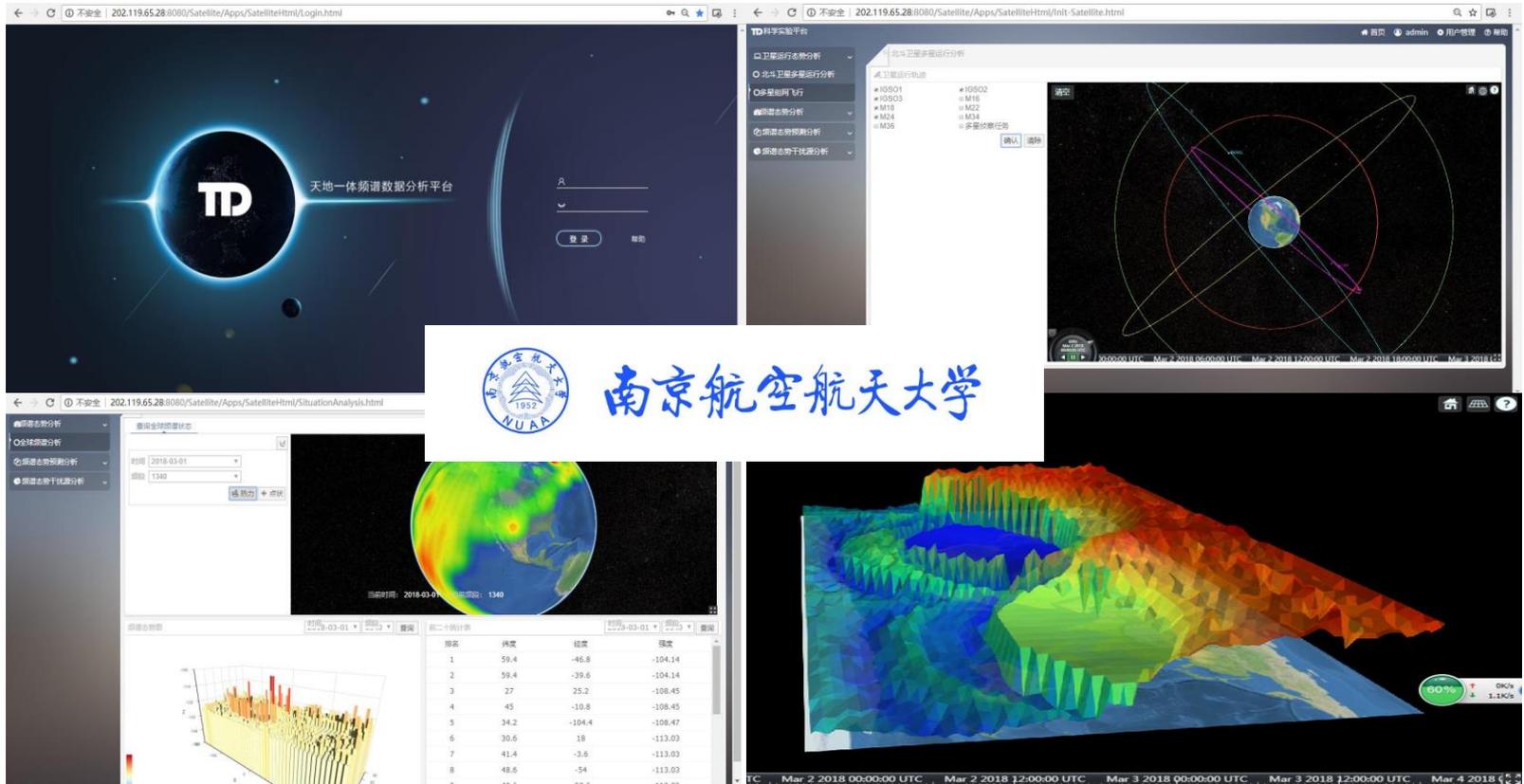


基于大数据及人工智能技术的频谱态势信号处理是解决这些挑战的关键

天地一体频谱数据分析平台

□ 网址(建议使用Chrome浏览器):

<http://202.119.65.28:8080/Satellite/Apps/SatelliteHtml/Login.html>



□ 核心专利之一: 基于xxxxxx的天地一体频谱大数据平台, 王正, 张小飞, 吴启晖等

<http://cog.nuaa.edu.cn/>



南京航空航天大学
NANJING UNIVERSITY AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS

天地一体频谱认知实验室

首页

实验室概况

团队建设

学术研究

科技创新

教学工作

人才培养

合作交流

相关下载



第二章 卫星通信基本技术

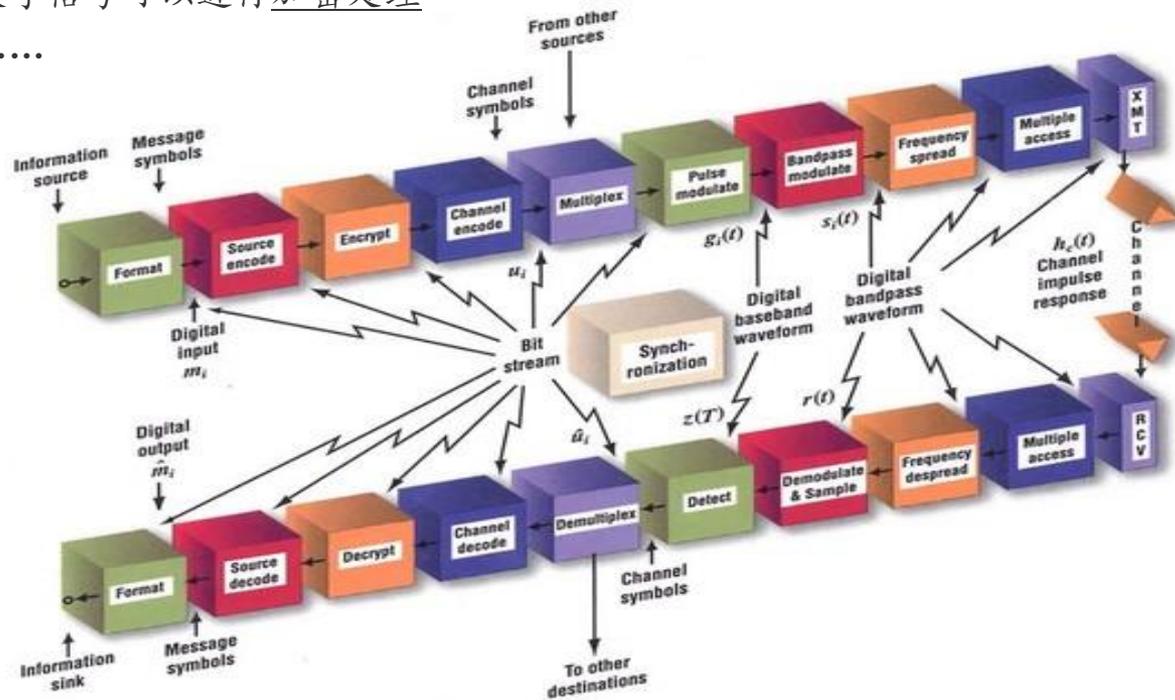
2.1 信号设计技术

2.2 信号处理技术

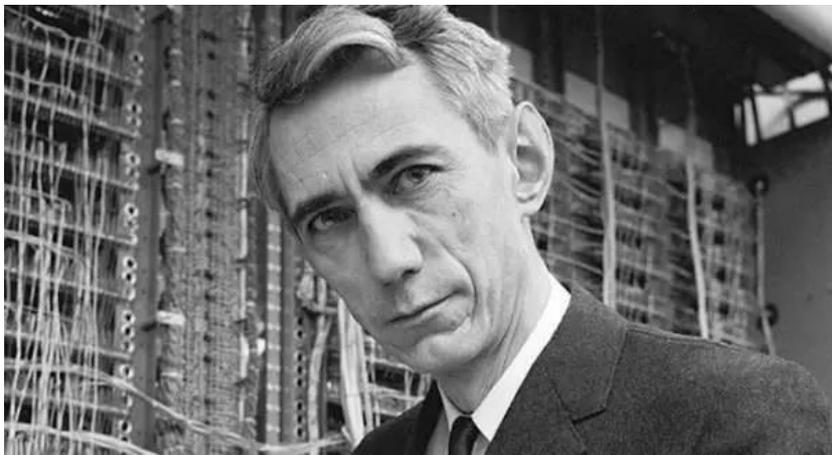
2.3 多址技术

□ Why Digital?

- 数字信号可简单再生，便于控制，可以通过信源编码减小冗余
- 数字信号可以通过信道编码来提高对于信道噪声的免疫力
- 数字信息号便于大规模集成电路及微处理器的使用与集成
- 数字信号便于进行信号处理
- 数字信号可以进行加密处理
-



2.1.1 编码技术



克劳德·E·香农 奖

奖项

IEEE信息理论学会的Claude E. Shannon旨在表彰对信息理论领域的一致而深刻的贡献。每位香农奖得主都将参加以下IEEE国际信息理论研讨会。它是信息理论中的一个著名奖项，涵盖了数学，通信工程和理论计算机科学交叉领域的技术贡献。它以Claude E. Shannon命名，他也是第一个接收者。 [维基百科 \(英文\)](#)

[查看原文说明](#) ▾

创立时间： 1974 年

A Mathematical Theory of Communication - Shannon - 1948 - Bell ...

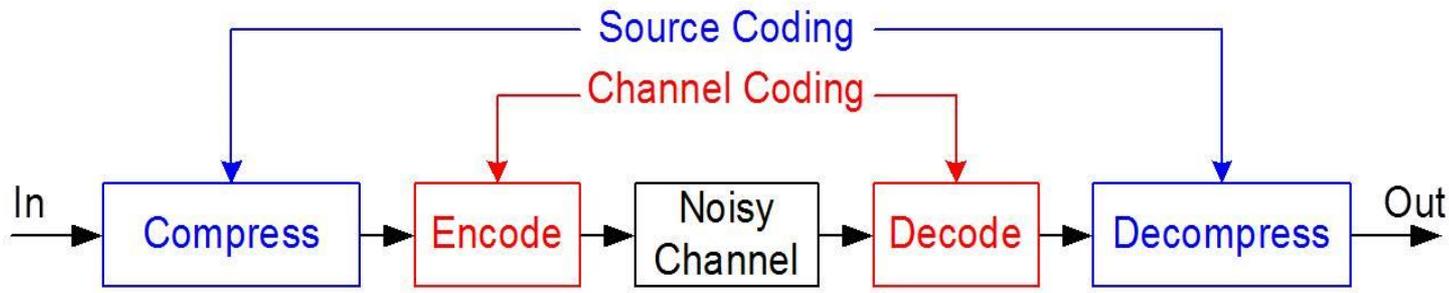
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x> ▾

作者： CE Shannon - 1948 - 被引用次数： 109271 - [相关文章](#)

[A Mathematical Theory of Communication](#). C. E. Shannon · [Search for more papers by this author](#) · C.

E. Shannon · [Search for more papers by this author](#).

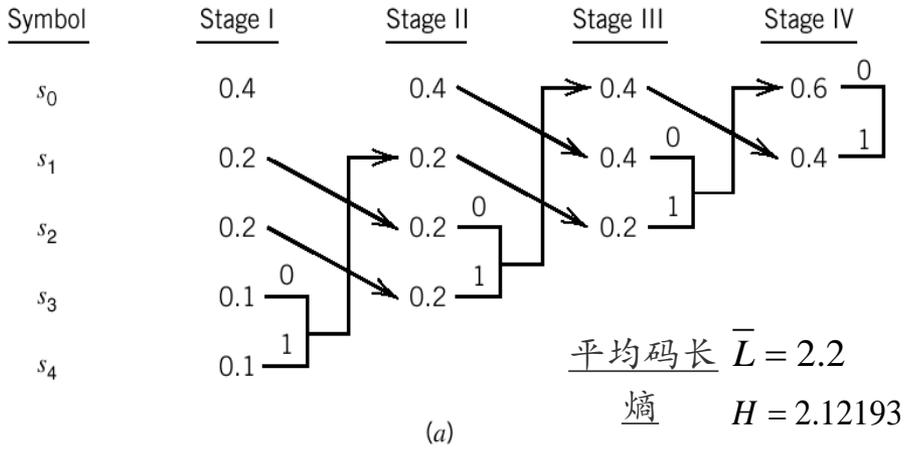
- 信源编码定理：数据压缩的极限——信息熵Entropy
 - 通过压缩编码去掉信号源中的冗余成分，提高有效性
- 信道编码定理：数据传输的极限——信道容量Channel Capacity
 - 按照一定规则重新排列信号码元或加入辅助码的办法来减小码元在传输过程中出错的可能性，提高可靠性



- 香农指出信源编码与信道编码可以独立开来设计，互不影响
- **信源编码**——哈夫曼编码(最普遍使用)

- 根据给定数据集中各元素所出现的频率来压缩数据的一种统计压缩编码方法
- 广泛用在JPEG, MPEG, H.26X等各种信息编码标准中

Handwritten notes:
 The Shannon entropy (b/symbol) is $H = -\sum p_i \log_2 p_i$.
 bits per symbol = base 2.
 probability of occurrence of the possible values of the source symbol.
 The more entropy a system has... the more information we can gain from it for a given test. (From interpreting the outcome...)

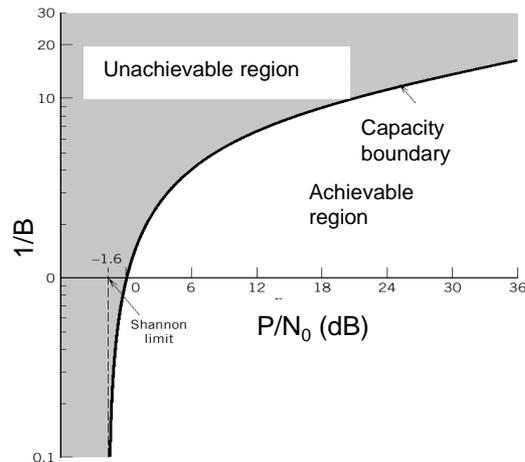
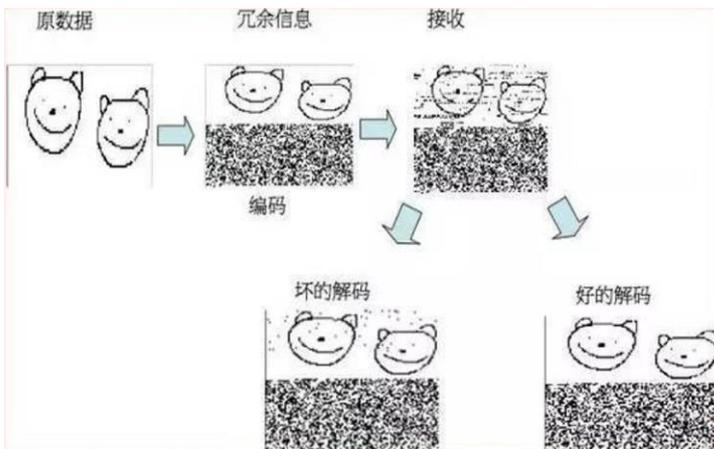


Symbol	Probability	Code word
s_0	0.4	00
s_1	0.2	10
s_2	0.2	11
s_3	0.1	010
s_4	0.1	011

(b)

编码效率 $\frac{\bar{L}}{H} = 96.45\% > 70.731\%$

- 信道编码——在发送端对原数据添加冗余信息，这些冗余信息是和原数据相关的，再在接收端根据这种相关性来检测和纠正传输过程产生的差错



- 根据香农定理，要想在一个带宽确定而存在噪声的信道里可靠地传送信号，有两种途径：加大信噪比或在信号编码中加入附加的纠错码

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR}) = B \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 B} \right)$$

$$\text{Shannon Limit} \Rightarrow \lim_{B \rightarrow \infty} \frac{P}{N_0} = \lim_{B \rightarrow \infty} \frac{2^{1/B} \ln 2 (-B^{-2})}{-B^{-2}} = \ln 2 = -1.6 \text{ dB}$$

- 卫星通信系统用于远距离传送数据，要保证通信质量，就需要增大信噪比，但是卫星通信的功率受限且有延时，因此必须使用信道编码来提高系统可靠性

□ 引入冗余(监督码元), 使得编码具有纠错和检错能力; 冗余越多, 纠检错能力越强

□ 编码效率(码率) $R_c = \frac{k}{n}$ --- 信息码元位数
 --- 编码后码字位数

□ 冗余度: 监督码元数($n-k$)和信息码元数 k 之比

□ 信道编码是以降低传输的有效性为代价来换取传输可靠性的提高

□ 对于(n,k)分组码, 则

➤ 检测 e 个错码, 需要满足

$$d_0 \geq e + 1$$

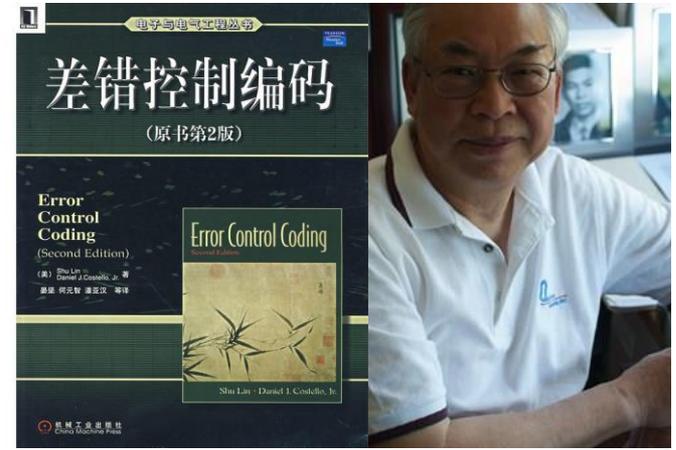
➤ 纠正 t 个错码, 需要满足

$$d_0 \geq 2t + 1$$

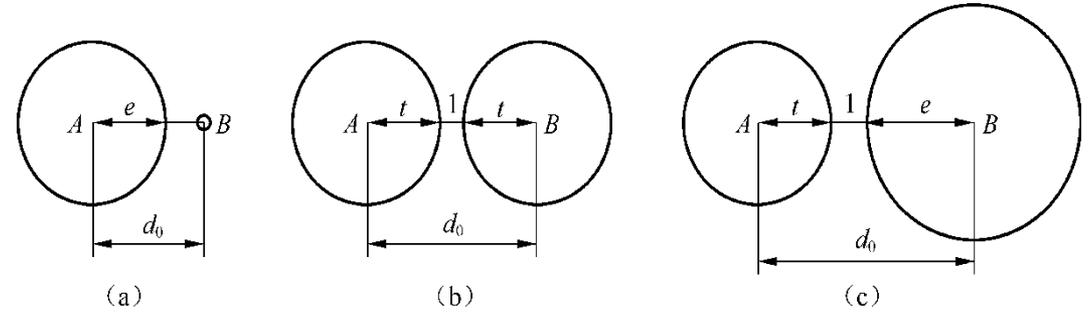
➤ 纠正 t 个错码, 同时检测 e 个错码, 需要满足

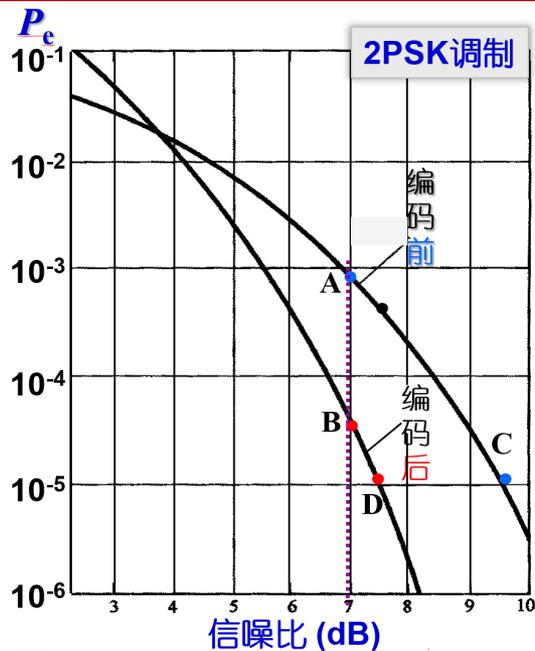
$$d_0 \geq e + t + 1 \quad (e > t)$$

□ 信道一种编码的纠检错能力取决于最小码距 d_0



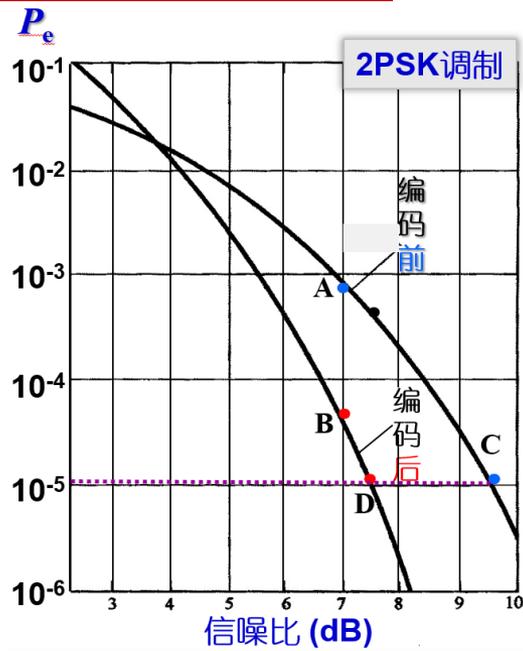
“truly a Bible of the field” Shu Lin





- 固定 $E_b/N_0=7\text{dB}$
- 纠错编码前(A点)
 $P_e=8 \times 10^{-4}$
- 纠错编码后(B点)
 $P_e=4 \times 10^{-5}$

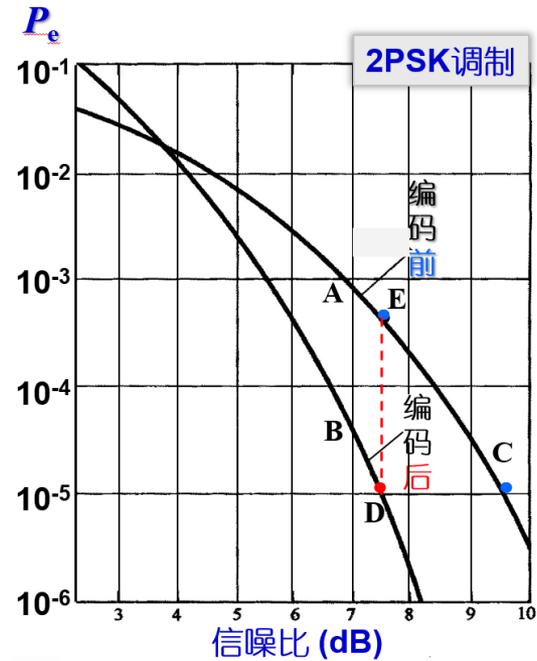
✓ 不增大发送功率，就能降低误码率约一个半数量级



- 固定 $P_e=10^{-5}$
- 纠错编码前(C点)
 $E_b/N_0=9.5\text{dB}$
- 纠错编码后(D点)
 $E_b/N_0=7.5\text{dB}$

✓ 能节省2dB编码增益

✓ 纠错码主要应用于功率受限而带宽不太受限的信道中



$$\frac{E_b}{n_0} = \frac{P_s T}{n_0} = \frac{P_s}{n_0(1/T)} = \frac{P_s}{n_0 R_B}$$

- 若提高 R_B ，则 E_b/n_0 下降， P_e 增大
- 纠错编码前 P_e 位于 C 点
提高速率后变到 E 点
- 纠错编码后变到 D 点

□ 下节课内容

2.1 信号设计技术-编码





Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容



卫星通信概述 (5学时)



卫星通信基本技术 (9学时)



卫星通信链路设计 (4学时)



卫星通信网 (3学时)



移动卫星通信系统 (3学时)

第二章 卫星通信基本技术

2.1 信号设计技术

2.2 信号处理技术

2.3 多址技术

□ (n,k) 线性分组码

- 线性码: 按照一组线性方程构成的代数码, 即每个码子的监督码元是信息码元的线性组合
- 分组码: 每一码组的监督码元仅与本组中的信息码元有关
- 线性分组码: 按照一组线性方程构成的分组码

□ 奇偶监督码就是一种最简单 $(n,n-1)$ 线性分组码 只有一位监督元

偶数监督 $a_{n-1} \oplus a_{n-2} \oplus \dots \oplus a_0 = 0$

➤ 校正子: $S = a_{n-1} \oplus a_{n-2} \oplus \dots \oplus a_0$ —— 监督关系式

➤ 纠检错能力: 只能检测奇数个错码, 但不具备纠错能力, 码率很高 $R_c = \frac{k}{n} = \frac{n-1}{n}$

➤ 按若要构造具有纠错能力的 (n,k) 码, 则需要增加监督元的数目

□ 对于 (n,k) 线性分组码, 若希望用 $r=n-k$ 个监督码元构造出 r 个监督关系式来指出一位错码的 n 种可能位置, 则 r 必须满足

$$2^r - 1 \geq n \text{ or } 2^r \geq k + r + 1$$

□ 当 “=” 成立时, 构造的线性分组码称为汉明码, 即

$$(n, k) = (2^r - 1, 2^r - 1 - r)$$

□ (7,4) 汉明码

- 设分组码中 $k=4$, 为了纠正1位错码, 由式 $2^r - 1 \geq n$ 可知, 要求监督位数 $r \geq 3$
- 用 $a_6 a_5 \dots a_0$ 表示这个7个码元, 用 S_1 、 S_2 和 S_3 表示3个监督关系式中的校正子, 并假设校正子与错码位置对应关系如下

$S_1 S_2 S_3$	错码位置	$S_1 S_2 S_3$	错码位置
0 0 1	a_0	1 0 1	a_4
0 1 0	a_1	1 1 0	a_5
1 0 0	a_2	1 1 1	a_6
0 1 1	a_3	0 0 0	无错码

信息位 $a_6 \sim a_3$	监督位 $a_2 a_1 a_0$	信息位 $a_6 \sim a_3$	监督位 $a_2 a_1 a_0$
0000	000	1000	111
0001	011	1001	100
0010	101	1010	010
0011	110	1011	001
0100	110	1100	001
0101	101	1101	010
0110	011	1110	100
0111	000	1111	111

- 仅当一位错码位置在 a_2, a_4, a_5 或 a_6 时, 校正子 S_1 为1, 否则为0
- a_2, a_4, a_5 和 a_6 这四个码元构成偶数监督关系

$$S_1 = a_6 \oplus a_5 \oplus a_4 \oplus a_2$$

$$S_2 = a_6 \oplus a_5 \oplus a_3 \oplus a_1$$

$$S_3 = a_6 \oplus a_4 \oplus a_3 \oplus a_0$$

□ 接收端译码——纠检错过程

- 收到每个码组后, 先计算出 S_1 、 S_2 和 S_3 , 再按表判断错码情况

接收码组 **0000 011**

计算可得:

$S_1 = 0, S_2 = 1, S_3 = 1$

查表可知: 在 a_3 位有一错码。

□ 线性分组码的原理

➤ 监督矩阵H，将前面(7,4)汉明码的监督方程改写为

$$\left. \begin{aligned} 1 \cdot a_6 + 1 \cdot a_5 + 1 \cdot a_4 + 0 \cdot a_3 + 1 \cdot a_2 + 0 \cdot a_1 + 0 \cdot a_0 &= 0 \\ 1 \cdot a_6 + 1 \cdot a_5 + 0 \cdot a_4 + 1 \cdot a_3 + 0 \cdot a_2 + 1 \cdot a_1 + 0 \cdot a_0 &= 0 \\ 1 \cdot a_6 + 0 \cdot a_5 + 1 \cdot a_4 + 1 \cdot a_3 + 0 \cdot a_2 + 0 \cdot a_1 + 1 \cdot a_0 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

“+”表示模2

则可进一步表示为

监督矩阵H

$$\begin{bmatrix} 1110100 \\ 1101010 \\ 1011001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 \\ a_5 \\ a_4 \\ a_3 \\ a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

简记为

$$H \cdot A^T = 0^T$$

或

$$A \cdot H^T = 0$$

$A = [a_6 \ a_5 \ a_4 \ a_3 \ a_2 \ a_1 \ a_0]$

转置

转置

$0 = [000]$

H^T 是H的转置，即：
 H^T 的第k行为H的第k列。

□ 监督矩阵H的性质

➤ H的行数等于监督位的数目 r ，每行中“1”的位置表示相应码元之间存在的监督关系

(7, 4)码
 $r = 3$

r 行
 n 列

$$H = \begin{bmatrix} 1110 & : & 100 \\ 1101 & : & 010 \\ 1011 & : & 001 \end{bmatrix} = [P \ I_r]$$

$r \times k$ 阶
矩阵

$r \times r$ 阶
方阵

➤ H的各行应该是线性无关的，否则得不到 r 个线性无关的监督关系式

□ 生成矩阵G

➤ 将上面汉明码例子中的监督位公式 $\begin{cases} a_2 = a_6 \oplus a_5 \oplus a_4 \\ a_1 = a_6 \oplus a_5 \oplus a_3 \\ a_0 = a_6 \oplus a_4 \oplus a_3 \end{cases}$ 改写为矩阵形式

$$\begin{bmatrix} a_2 \\ a_1 \\ a_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{1110} \\ \mathbf{1101} \\ \mathbf{1011} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_6 \\ a_5 \\ a_4 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad \text{或} \quad \begin{bmatrix} a_2 a_1 a_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_6 a_5 a_4 a_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{111} \\ \mathbf{110} \\ \mathbf{101} \\ \mathbf{011} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_6 a_5 a_4 a_3 \end{bmatrix} \mathbf{Q}$$

P 阵
 Q 阵

➤ 式中， Q 为一个 $k \times r$ 阶矩阵，它为 P 的转置

□ 给定信息位后，用信息位的行矩阵乘矩阵 Q 就产生出监督位

□ 将 Q 的左边加上1个 $k \times k$ 阶单位方阵，就构成生成矩阵 G

$$\mathbf{G} = [I_k \mathbf{Q}] = \begin{bmatrix} 1000 : \mathbf{111} \\ 0100 : \mathbf{110} \\ 0010 : \mathbf{101} \\ 0001 : \mathbf{011} \end{bmatrix}$$

□ 根据生成矩阵 G 可以生成整个码组，因此，若找到了 G ，则编码的方法就完全确定了

$$\begin{bmatrix} a_6 a_5 a_4 a_3 a_2 a_1 a_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_6 a_5 a_4 a_3 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{G} \quad \text{或} \quad \boxed{\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_6 a_5 a_4 a_3 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{G}}$$

□ 生成矩阵G的性质

- G矩阵的各行是线性无关的，任一码组A都是G的各行的线性组合
- G共有k行，若他们线性无关，则可以组合出 2^k 种不同的码组A
- G的各行本身就是一个码组，若有k个线性无关的码组，则可用其作为生成矩阵G，并由它生成其余码组

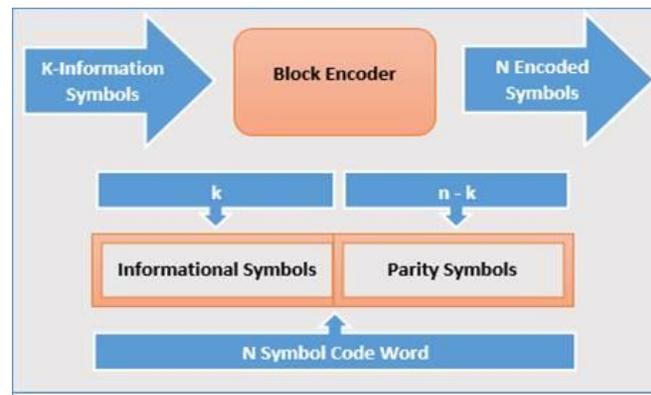
□ G和H的关系

$$G = \begin{bmatrix} I_k & Q \end{bmatrix} \text{ —— 典型生成矩阵}$$

k行 n列 k×k阶方阵 k行r列 $Q = P^T$

$$H = \begin{bmatrix} P & I_r \end{bmatrix} \text{ —— 典型监督矩阵}$$

r行 n列 r行k列 r×r阶方阵 $P = Q^T$



□ 线性分组码的性质

- 封闭性，一种线性码组中的任意两个许用码组之和(逐位模2)仍为该码中的一个许用码组
- 最小距离， d_0 就是码的最小重量(除全“0”码组外)

□ 在数字卫星通信中主要采用分组码和卷积码进行编码

- 在给定误比特率 $P_e = 10^{-5}$ 时，采用分组码的增益为3-5dB，采用卷积码、维特比译码的编码增益为4-5.5dB，而采用RS分组码和卷积码、维特比译码的级联码的编码增益为6.5-7.5dB

□ 错误图样

➤ 设发送码组为一个 n 列的行矩阵 A ，接收码组的行矩阵为 B

$$\mathbf{A} = [a_{n-1}a_{n-2} \cdots a_1a_0] \quad \mathbf{B} = [b_{n-1}b_{n-2} \cdots b_1b_0]$$

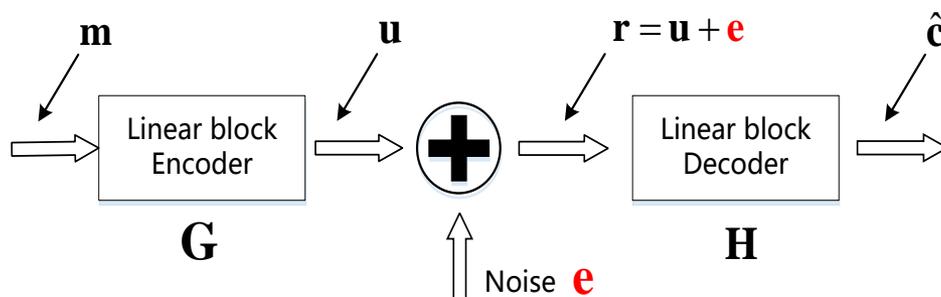
则发送码组和接收码组之差就是错码矩阵(错码图样)

$$\mathbf{B} - \mathbf{A} = \mathbf{E} = [e_{n-1}e_{n-2} \cdots e_1e_0]$$

式中

$$e_i = \begin{cases} 0, & \text{当 } b_i = a_i \text{ 若 } e_i = 0, \text{ 表示该接收码元无错} \\ 1, & \text{当 } b_i \neq a_i \text{ 若 } e_i = 1, \text{ 表示该接收码元有错} \end{cases}$$

➤ 错误图样 E 反映了接收码组的出错情况，若能求出 E 就能恢复出发送码组 A



若接收码组 $\mathbf{B} = [1000011]$ ，错码矩阵 $\mathbf{E} = [0000100]$ ，
则发送码组 $\mathbf{A} = \mathbf{B} + \mathbf{E} = [1000111]$ 。



校正子

- 对于任意发送码组A都应该满足

$$A \cdot H^T = 0$$

- 对于接收码组B, 可通过计算校正子S来进行检测

$$B \cdot H^T = S = \begin{cases} = 0, & \text{无错} \\ \neq 0, & \text{有错} \end{cases}$$

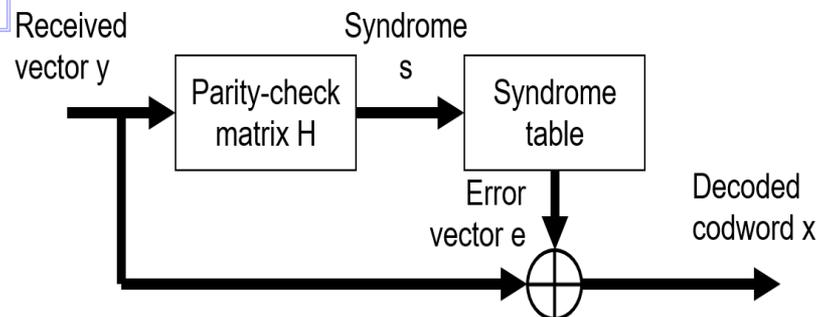
将 $B=A+E$ 代入上式, 可得

$$S = (A + E) H^T = A \cdot H^T + E \cdot H^T$$

即

$$S = E \cdot H^T$$

注: 在错码较多, 已超过这种编码的检错能力时, 接收码组B将变为另一许用码组, 则公式 $B \cdot H^T = 0$ 仍能成立。这样的错码是不可检测的。



S和E之间有确定的线性变换关系

- 若 $E = [00 \cdots 00]$, 则S为0, 否则S不为0
- 因此, 可以根据S是否为0判断接收码组是否出错

(n,k) 线性分组码译码的三个步骤:

- 1) 由接收到的码组B计算: $S = B \cdot H^T$;
- 2) 由S找到错误图样E;
- 3) 由公式 $A = B + E$ 得到译码器译出的码组。

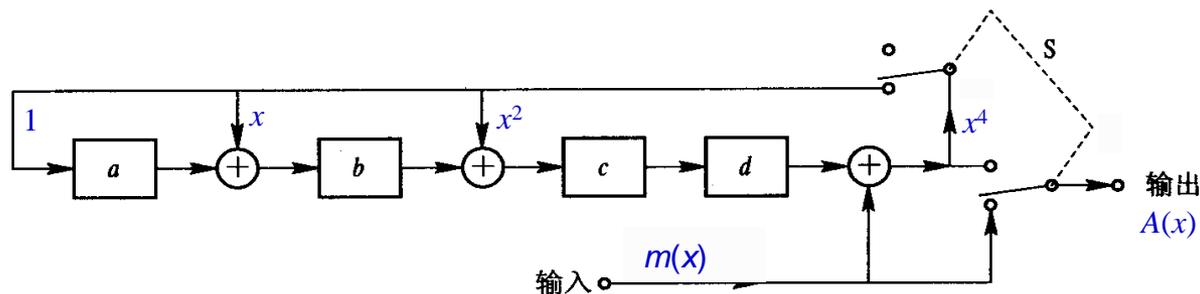
□ 循环码

- 对循环码设计 (n,k) 线性分组码的一个重要子类，编译码简单，纠检错能力强，例如RS码，BCH码等
- 对于除了具有线性分组码的一般性质外，还具有循环性

码组编号	信息位	监督位	码组编号	信息位	监督位
	$a_6a_5a_4$	$a_3a_2a_1a_0$		$a_6a_5a_4$	$a_3a_2a_1a_0$
1	000	0000	5	100	1011
2	001	0111	6	101	1100
3	010	1110	7	110	0101
4	011	1001	8	111	0010

□ 循环性

- 任一码组移位(将最右端的一个码元移至左端，或反之)后，仍为该码中的一个许用码组
- 对同一循环圈上的码子重量相等
- 上述(7,3)循环码有两个循环圈，全0码子，码重为0，剩余7个码字组成的循环圈，码重为4
- 由于其循环特性，编码运算和伴随式计算，可用反馈移位寄存器来实现，硬件实现简单



卷积码(ACTS(NASA),风云三号FY-3(中国), METOP(欧洲)等, 1990年代)

- 小分组(k 和 n 都比较小)等, 延时小, 多码段相关
- 适用于串行传输、突发差错、前向纠错的场合

非分组码

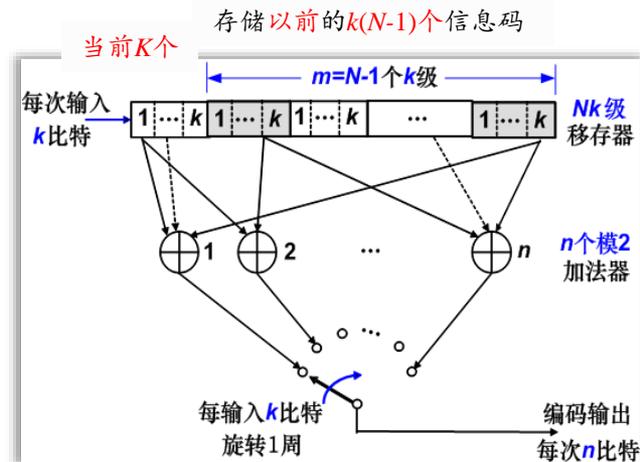
- 任一监督元不仅和当前的 k 比特信息段有关, 还同前面 $(N-1)$ 个信息段也有约束关系, 即一个码组中的监督元有个 N 个信息段
- 分组码每个码组中的监督元仅与本码组中的 k 的信元有约束关系

卷积码表示为 (n, k, N)

- N 为编码约束度, 表示编码过程中相互约束的码段个数
- nN 为编码约束长度, 表示编码过程中互相约束的码元个数
- N 或 nN 也反映了卷积码编码器的复杂度
- 卷积码的码率 $R=k/n$

卷积码译码

- 维特比译码算法
- 此算法被广泛应用于CDMA和GSM数字蜂窝网络、拨号调制解调器、卫星、深空通信和802.11无线网络中解卷积码



共有 N 段移存器, 每段 k 级



Andrew J. Viterbi
Claude E. Shannon Award

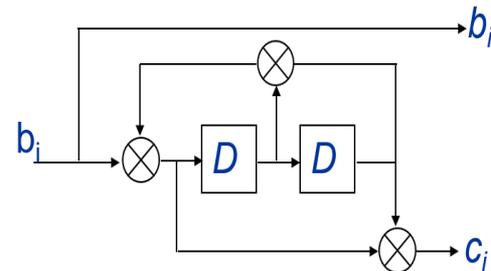
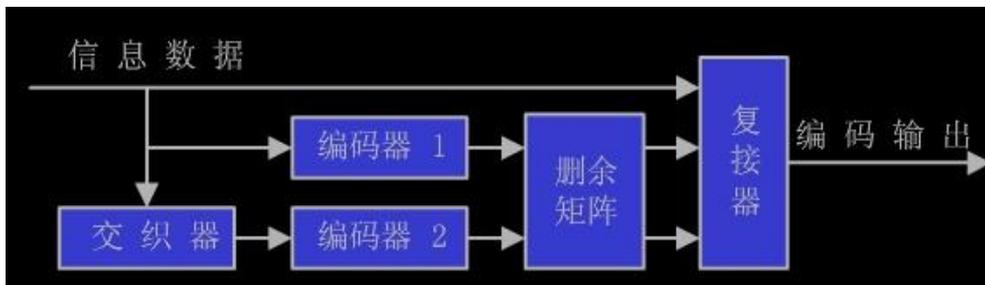
• 1991 - Andrew Viterbi

□ Turbo码(SMART-1(欧洲), IPSTAR-1(美国), VAST卫星系统等, 2000年代)

- 分组码和卷积码的复杂度随码组长度或约束度的增大按指数规律增长, 经过多重改良, 其增益与香农理论极限始终都存在2~3dB的差距
- Turbo码的编码器在两个并联或串联的分量码编码器之间增加一个交织器, 能在低信噪比条件下得到接近理想的性能
- 交织器的目的在于将突发错码分散开, 变成随机错码

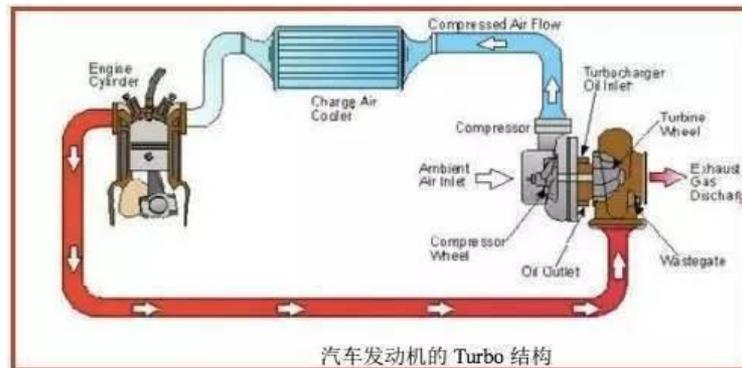
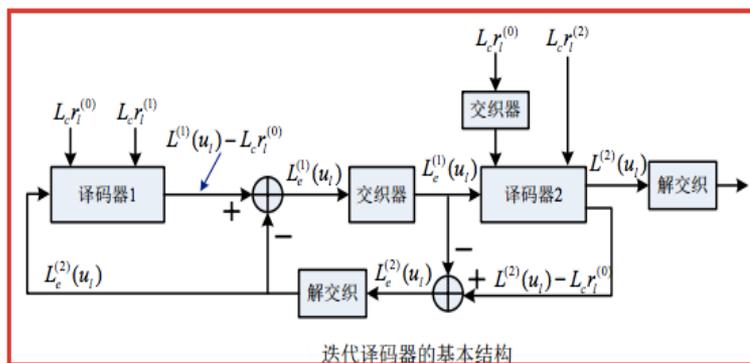
a_{11}	a_{12}	...	...	...	a_{1m}
a_{21}	a_{22}	...	...	...	a_{2m}
...
a_{n1}	a_{n2}	...	...	...	a_{nm}

- Turbo码中的一个编解码器对特定的一段比特流进行奇偶校验码的加入和校验计算, 另一个编解码器则在同一段码流经过交织扰动后对其进行上述同样操作, 编码后的校验位经过删余矩阵, 从而产生不同码率的码字



□ Turbo码的译码

- 由于Turbo码的两段码流包含同样的数据，如果没有信道噪声，解码结果应该一致，但在噪声干扰下两组结果会产生差别
- 通过上述对比特判决的可置信度信息的帮助，把这两组结果彼此参照，可以得出第一次近似的结果。把这一结果“反馈”到解码器前端，再进行迭代，经过几次迭代两个解码器的结果就会互相接近（收敛）
- 绕过了计算复杂性问题
- 需要迭代译码，因此会有时延，对使用场景有要求(卫星链路，数字音频，数字广播)



- Turbo码是3G, 4G, 4.5G移动通信技术的核心之一
- 卫星通信的数据、视频和多媒体数字业务采用Turbo码后，增强的编码增益和带宽效率可以明显地降低卫星转发器的成本，因而被卫星运营商和业务提供商广泛使用

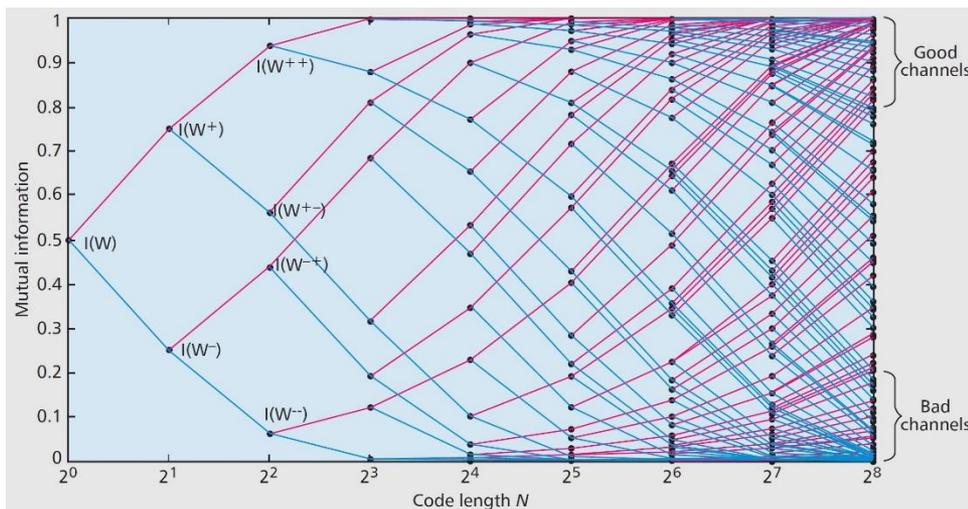
□ Polar码

- 能够达到香农限的编码方法，并且具有较低的编译码复杂度，当编码长度为 N 时，复杂度大小为 $O(N \log N)$
- Polar码的理论基础就是信道极化。信道极化包括信道组合和信道分解部分
- 当组合信道的数目趋于无穷大时，则会出现极化现象：一部分信道将趋于无噪信道，另外一部分则趋于全噪信道
- Polar码比Turbo码和LDPC码更接近信道容量，Polar码可以保证5G任何场景的高性能通信
- 发展不成熟，目前很多研究建立在理论的基础上



Claude E. Shannon Award

• 2019 – Erdal Arkan



□ 下节课内容

2.1 信号设计技术-调制

2.1 信号设计技术-多天线技术





Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容

1

卫星通信概述 (5学时)

2

卫星通信基本技术 (9学时)

3

卫星通信链路设计 (4学时)

4

卫星通信网 (3学时)

5

移动卫星通信系统 (3学时)

第二章 卫星通信基本技术

2.1 信号设计技术

2.2 信号处理技术

2.3 多址技术

2.1.2 调制技术

□ 调制技术

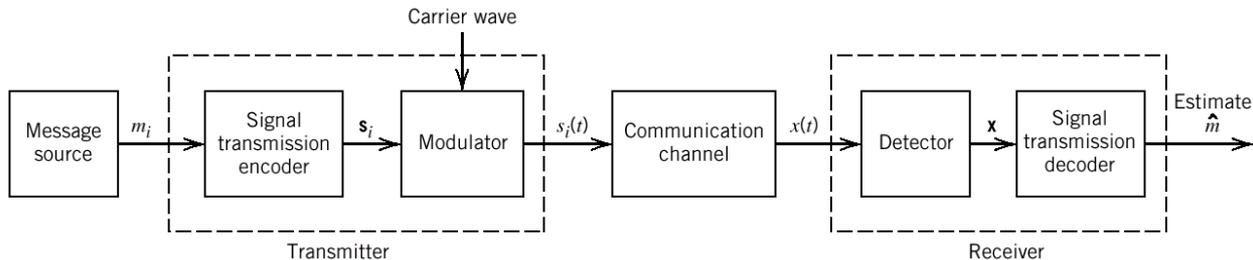
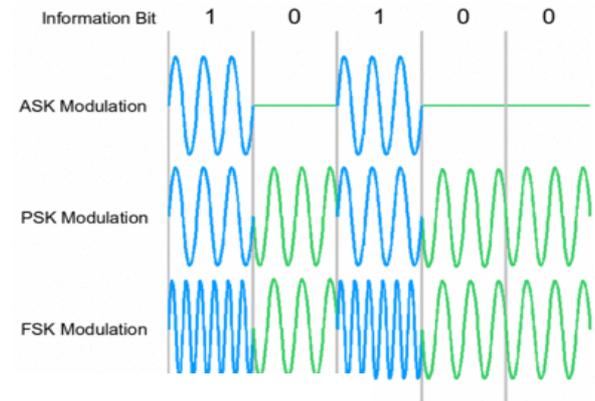
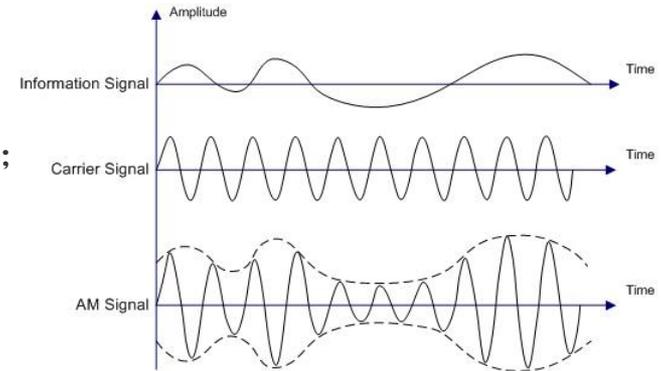
- 所谓调制，就是信号的交换，即在发送端将传输的信号(模拟或数字)变换成适合信道传输的高频信号；而解调是调制的逆过程

□ 卫星通信对于数字调制有如下基本要求

- 不主张采样ASK技术(抗干扰性差, 误码率高)
- 选择尽可能少占用射频频带, 而又能高效利用有限频带资源, 抗衰落和干扰性能强的调制技术
- 采用的调制信号的旁瓣应较小, 以减少相邻通道之间的干扰

□ 因此, 卫星系统常使用PSK, FSK和以此为基础的其它调制方式

- 从功率有效角度看, 有QPSK, OQPSK, MSK和GMSK等
- 从频谱有效角度看, 有MPSK和MQAM
- 此外还有格型编码调制TCM, 多载波调制MCM



2PSK调制

- 利用不同初始相位表示二进制“1”和“0”

$$e_{2PSK}(t) = A \cos(\omega_c t + \varphi_n)$$

$$\varphi_n = \begin{cases} 0, & \text{发“0”时} \\ \pi, & \text{发“1”时} \end{cases}$$

$$e_{2PSK}(t) = \begin{cases} A \cos \omega_c t, & P \\ -A \cos \omega_c t, & 1-P \end{cases}$$

- 由于表示信号的两种码元波形相同，极性相反，因此2PSK信号可以表述为双极性矩形脉冲序列与一个正弦载波的相乘，即

$$e_{2PSK}(t) = s(t) \cos \omega_c t$$

双极性

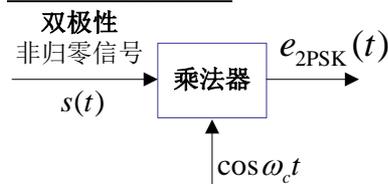
其中 $s(t) = \sum_n a_n g(t - nT_s)$ ， $g(t)$ 为脉宽

为 T_s 的单个矩形脉冲， a_n 的统计特性为

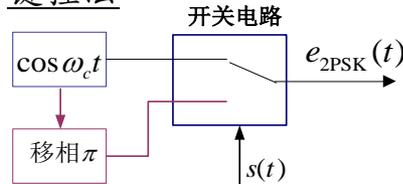
$$a_n = \begin{cases} 1, & P \\ -1, & 1-P \end{cases}$$

2PSK信号生成

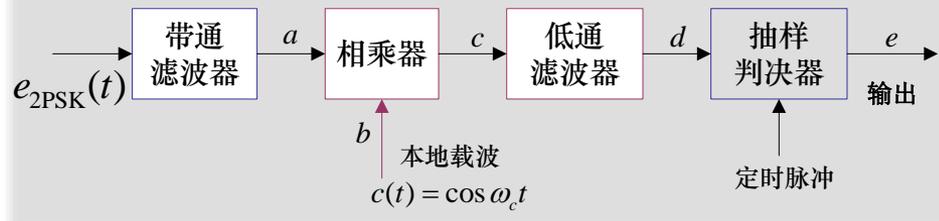
- 模拟调制方法



- 键控法



2PSK信号解调



2PSK存在的问题

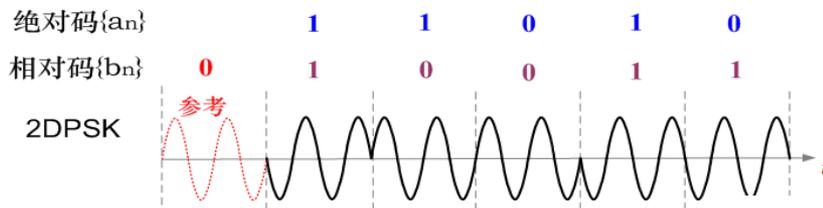
- 载波相位模糊
- 倒π现象(反相工作)
- 实际工作中用DPSK代替

2DPSK调制

利用前后相邻码元的载波相对相位来表示“1”和“0”

$$\Delta\varphi = \varphi_n - \varphi_{n-1} = \begin{cases} 0 \rightarrow \text{“0”} \\ \pi \rightarrow \text{“1”} \end{cases}$$

二进制信码	1	1	0	1	0
2DPSK (0)	π	0	0	π	π
信号相位 (π)	0	π	π	0	0



差分编码规则

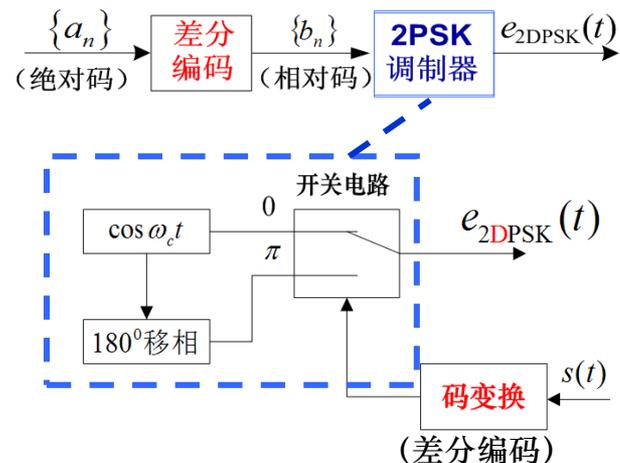
利用前后相邻码元的载波相对相位来表示“1”和“0”

$$b_n = a_n \oplus b_{n-1}$$

\oplus 为模2加

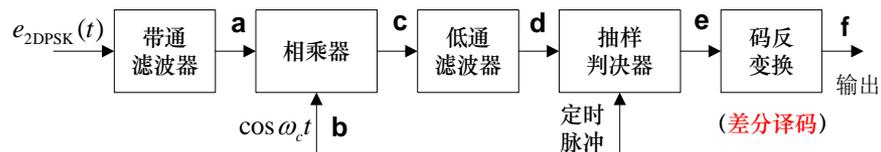
b_{n-1} 为 b_n 的前一码元
最初 b_{n-1} 可任意设定

2DPSK信号生成

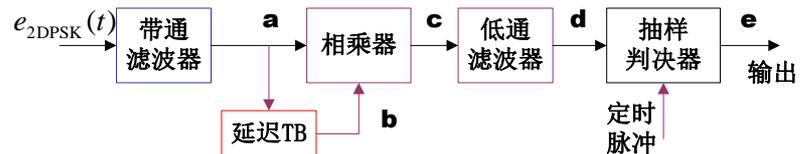


2DPSK信号解调

相干解调+码反变换法

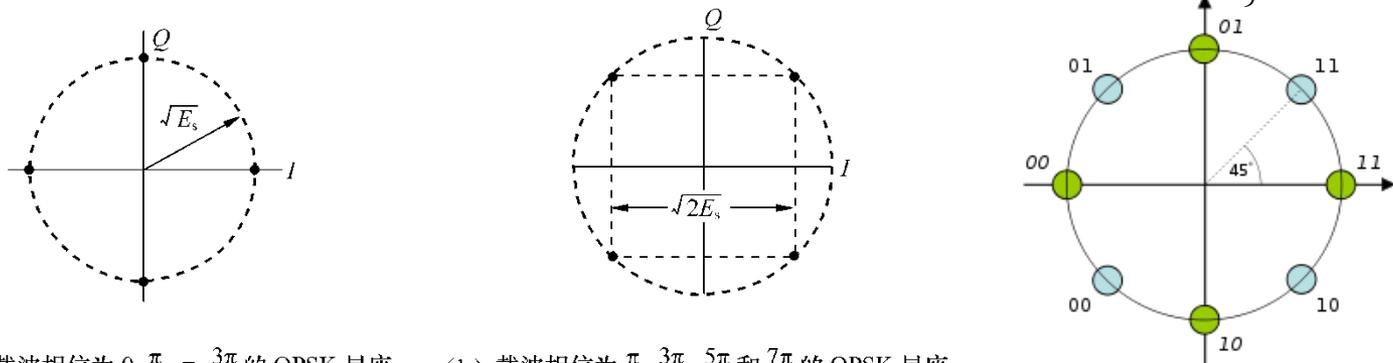


差分相干解调(相位比较法)

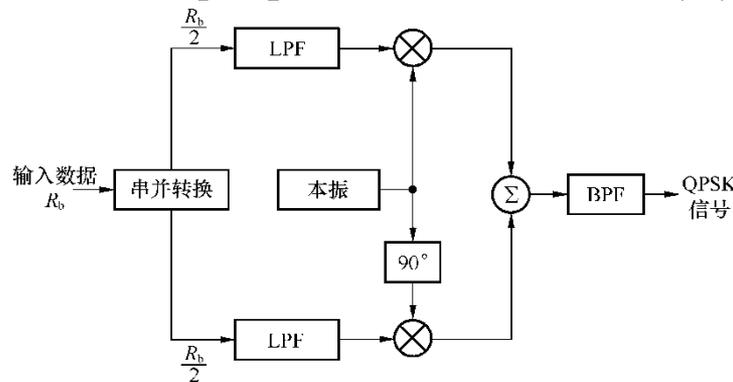


□ **QPSK调制(ERS-1,ERDS(欧洲),Land Sat(美国),JER-1(日本),第一代卫星数字广播标准DVB-S)**

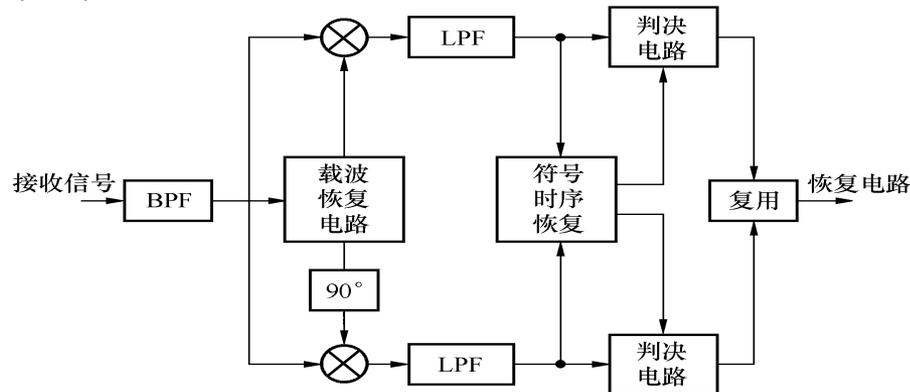
- 四进制PSK，也称为正交相移键控(QPSK)是MPSK调制中最常用的一种调制方式
- 由于在一个调制码元中传输两个比特，QPSK比BPSK的带宽效率高两倍，即2bit/s/Hz
- $s(t) = Ag(t-nT_s)\cos(\omega_c t + \phi_n)$ $nT_s \leq t < (n+1)T_s$, 其中 $\phi_n \in \left\{ \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, -\frac{3\pi}{4}, -\frac{\pi}{4} \right\}$



(a) 载波相位为 $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ 的 QPSK 星座 (b) 载波相位为 $\frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}$ 和 $\frac{7\pi}{4}$ 的 QPSK 星座



QPSK发射机框图：产生 $a(t)+jb(t)$ 的复值信号

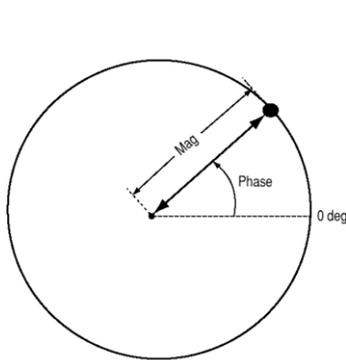


QPSK接收机框图

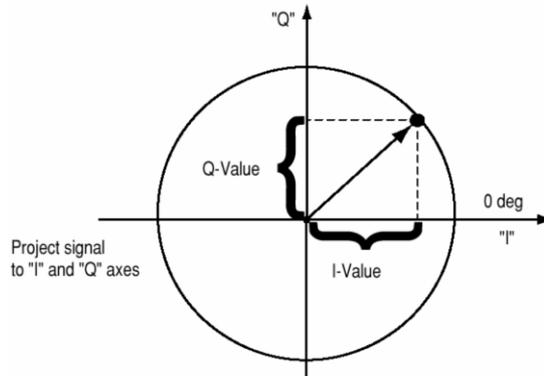
随着宽带卫星通信系统的发展，为了支持大容量的视频和Internet业务，进一步提高宽带卫星通信系统的**频带利用率**，**增加系统容量**，一些宽带卫星系统开始使用**高阶的调制方式**，如**M-QAM**

□ QAM调制

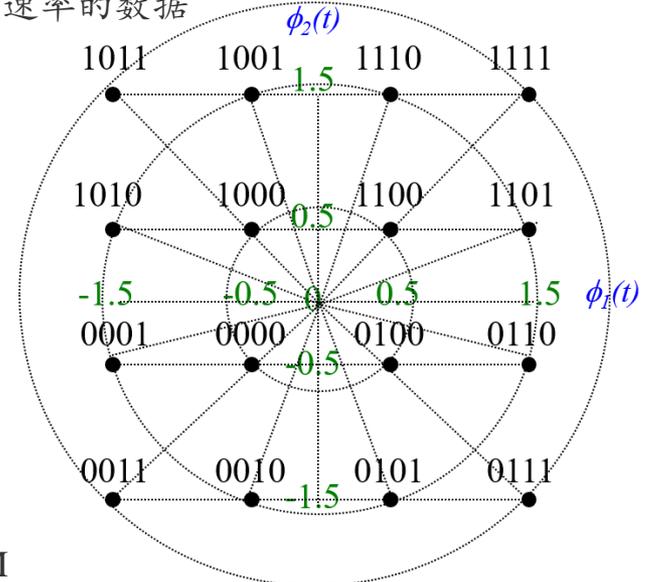
- QAM是BPSK,QPSK调制的进一步推广，它是通过**相位**和**振幅**的联合控制，得到更高频谱效率的一种调制方式，可以在限定的频带内传输更高速率的数据



Polar display—Magnitude and phase represented together

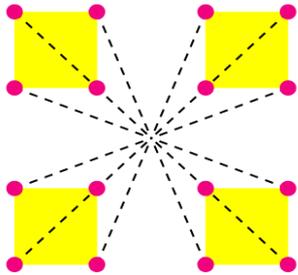


"I-Q" format—Polar to rectangular conversion

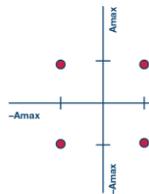


- PSK可以看成是幅度不变、仅有相位变化的特殊QAM
- 星座点数越多，每个符号能传输的信息量就越大。但是，如果在星座图的平均能量保持不变的情况下增加星座点，会使星座点之间的距离变小，进而导致误码率上升。因此高阶星座图的可靠性比低阶要差

3 amplitudes, 12 phases

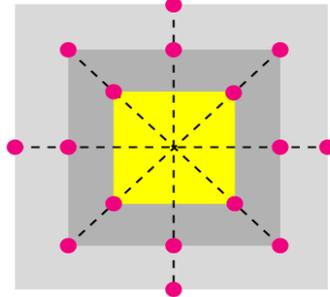


16-OAM

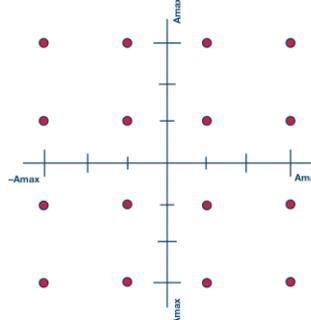


QPSK
Two Bits Per Symbol

4 amplitudes, 8 phases

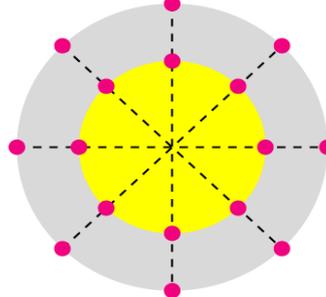


16-OAM

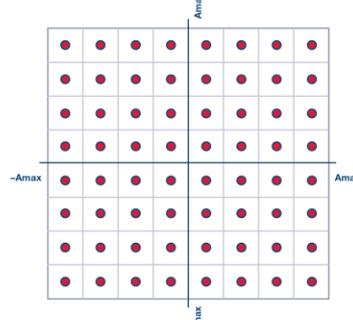


16 QAM
Four Bits Per Symbol

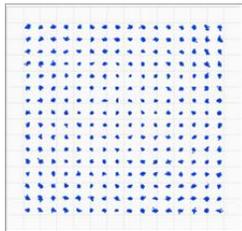
2 amplitudes, 8 phases



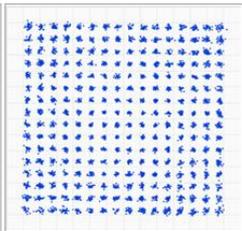
16-OAM



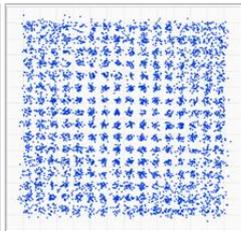
64 QAM
Six Bits Per Symbol



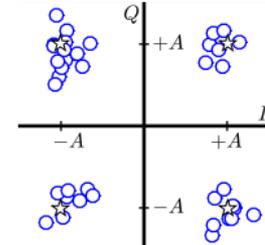
SNR = 37 dB



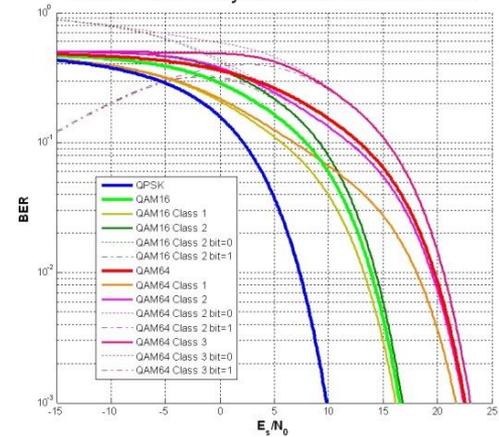
SNR = 32 dB



SNR = 27 dB



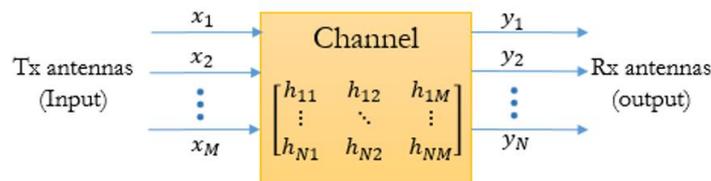
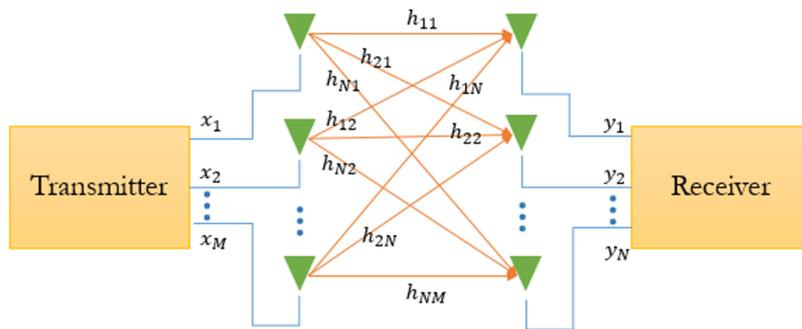
Raw BER for Gray-coded QAM over AWGN



2.1.3 多天线技术

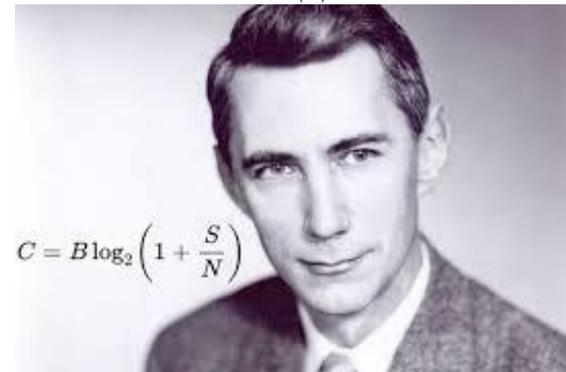
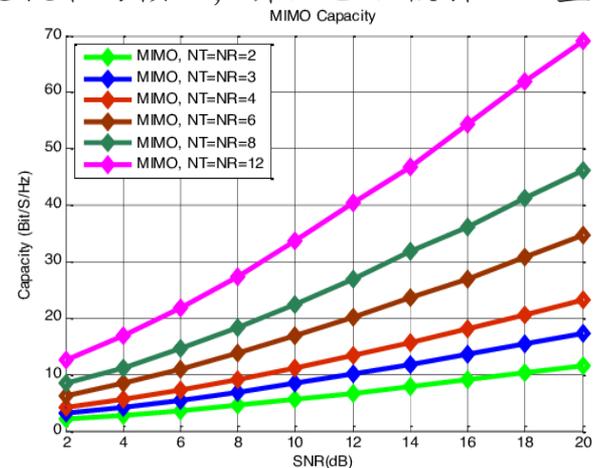
□ MIMO技术

- 多输入多输出(MIMO, Multiple Input Multiple Output)技术在不增加使用带宽的情况下,能够获得空间上的分集增益和编码增益,提高频谱利用率并降低干扰
- 在地面系统已经获得了广泛的认可,是4G、5G技术的核心,并且已经被引入卫星通信,卫星广播和多波束卫星系统的研究中

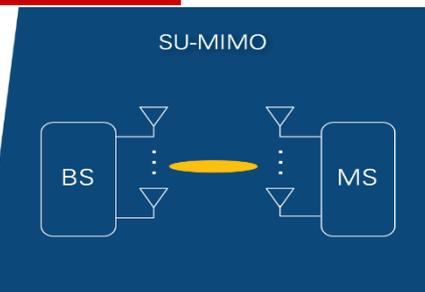
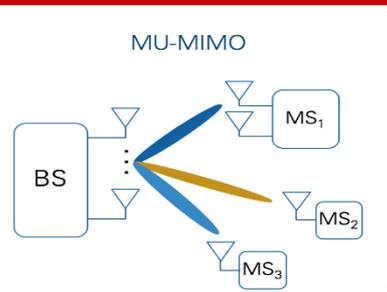
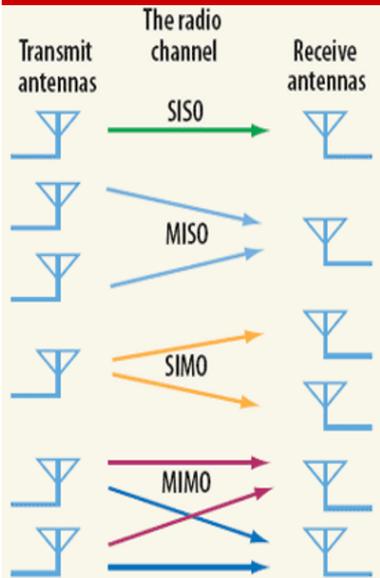


$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n}$$

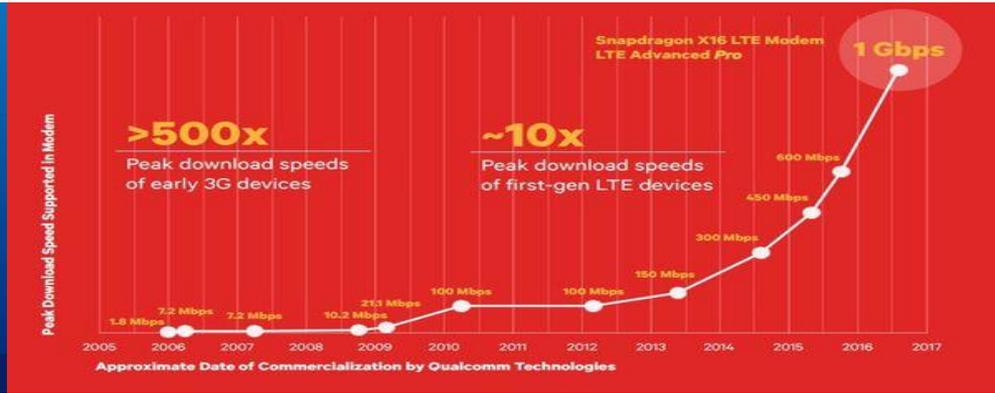
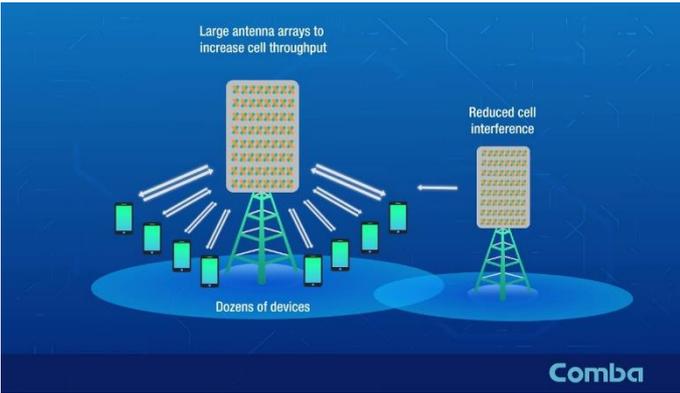
- 相比于单天线系统, MIMO系统的优点主要表现在分集增益、阵列增益和空间复用增益三个方面

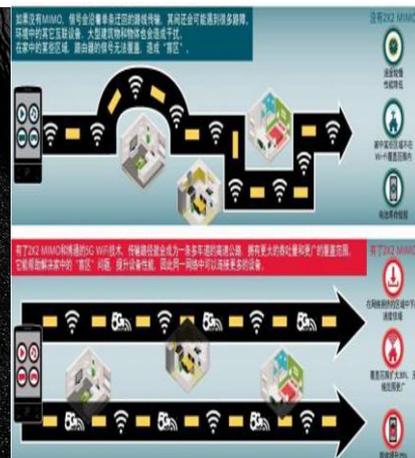


$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$



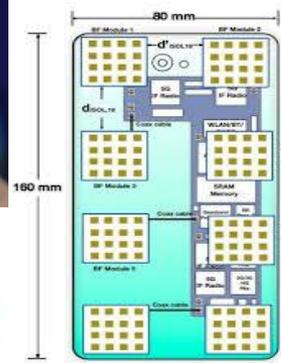
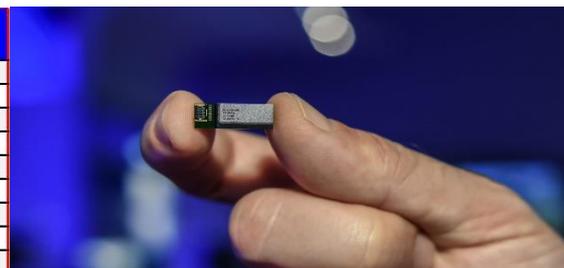
□ 从MIMO到Massive MIMO





□ 从单天线手机到多天线手机

下载频宽 (MHz)	RBs	64 QAM MIMO 2x2	64 QAM MIMO 4x4	256 QAM MIMO 2x2	256 QAM MIMO 4x4
5	25	37.8	75.6	50.4	100.8
10	50	75.6	151.2	100.8	201.6
15	75	113.4	226.8	151.2	302.4
20	100	151.2	302.4	201.6	403.2
25	125	189	378	252.0	504.0
30	150	226.8	453.6	302.4	604.8
35	175	264.6	529.2	352.8	705.6
40	200	302.4	604.8	403.2	806.4
45	225	340.2	680.4	453.6	907.2
50	250	378	756	504.0	1008.0
55	275	415.8	831.6	554.4	1108.8
60	300	453.6	907.2	604.8	1209.6
65	325	491.4	982.8	655.2	1310.4
70	350	529.2	1058.4	705.6	1411.2
75	375	567	1134	756.0	1512.0
80	400	604.8	1209.6	806.4	1612.8
85	425	642.6	1285.2	856.8	1713.6
90	450	680.4	1360.8	907.2	1814.4
95	475	718.2	1436.4	957.6	1915.2
100	500	756	1512	1008.0	2015.9



将MIMO技术与宽带卫星平台结合起来，能够有效缓解星-地传输中带宽需求压力并提高频谱效率。卫星系统采用MIMO技术不但有利于发挥卫星覆盖范围大、受地理条件限制小、频段高、频带宽的优点，而且契合当前高速、高质量、大容量的卫星数据传输需求，采用MIMO技术能够提高卫星频谱利用率，增加系统容量

□ 双极化模式

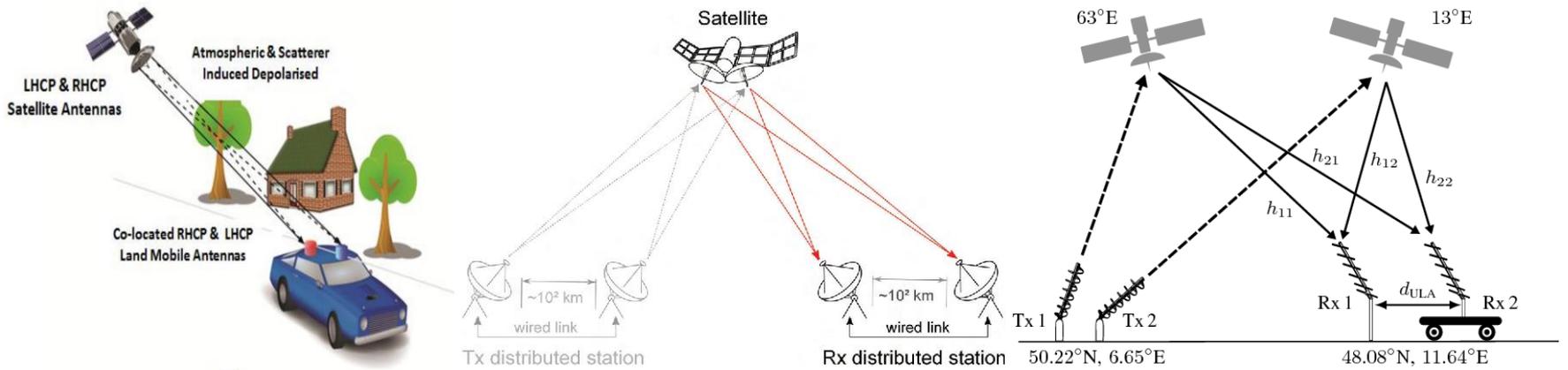
- 单卫星和单地面站均安装两幅不同极化方向的天线——左旋圆极化和右旋圆极化
- 由于两个天线距离很近，因此星地链路之间容易产生同道干扰，且天线正交化要求天线数量均为2，获得的容量增益有限

□ 单星多站模式

- 单卫星上安装有多个天线，而多个地面站相距很远，地面站与卫星之间的链路相互独立
- 卫星天线之间的距离为10m，但系统上行链路地面站之间的最小距离仍为32.1km，下行链路地面站之间的最小距离为40.9km
- 存在地理限制，对于海岛、岛礁、舰艇的地面站来说十分困难

□ 多星多天线模式

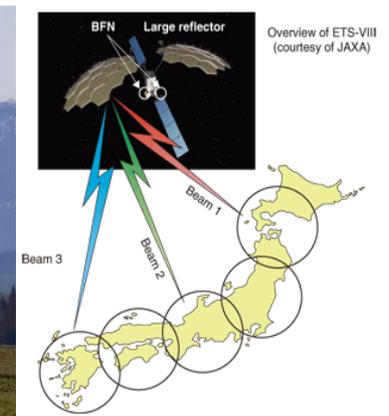
- 由多卫星(卫星星座)和多个地面站构成，卫星之间轨道位置相距0.5度
- 卫星端天线距离远有利于减小地面或海面接收天线之间的距离，一定程度上消除了地理限制
- 适合我国卫星与南海海面舰船、汽油平台、海岛或岛礁之间的信息传输



IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 13, NO. 1, FIRST QUARTER 2011

MIMO over Satellite: A Review

Pantelis-Daniel Arapoglou, *Member, IEEE*, Konstantinos Liolis, *Student Member, IEEE*,



□ MIMO检测技术

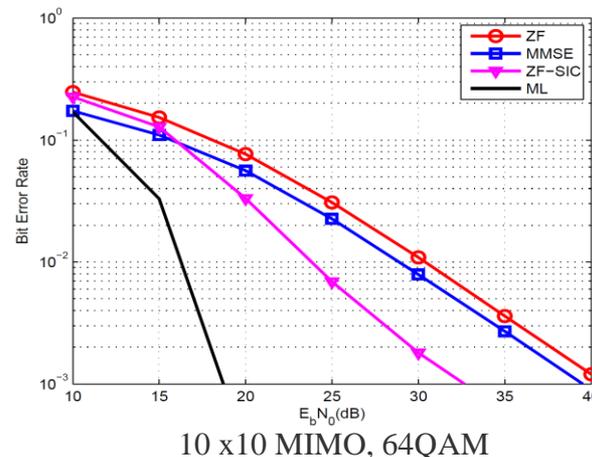
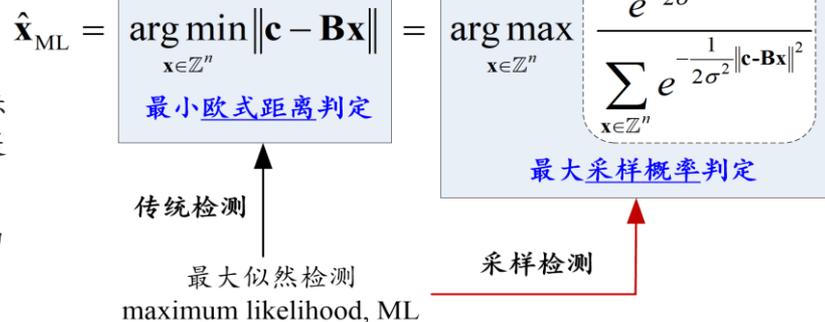
- 核心问题，从接收信号 \mathbf{y} 中还原出发送信号 \mathbf{x} ，即

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg \min_{\mathbf{x} \in \mathcal{X}^n} \|\mathbf{H}\mathbf{x} - \mathbf{y}\|^2$$

- 最简单的检测方法是迫零检测(Zero-Forcing)，即 $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{H}^\dagger \mathbf{y} = \mathbf{x} + \mathbf{H}^\dagger \mathbf{n}$ ，线性复杂度，实现简单，但存在噪音放大效应，对信道质量要求高
- 最优性能的检测方法是球形译码(Sphere Decoding)及其改进版本，指数复杂度，性能最优，但实际中无法实现(高维)

□ 将依据于最小欧式距离判定的信号检测问题转化为基于最大采样概率判定的信号采样问题

- 低复杂度，避开欧式距离计算
- 高可靠性，在采样实现的基础上，调节标准偏差 σ 使得概率分布向中心点收缩，提高目标检测点的采样概率，提升检测效率
- 高灵活性，可通过采样次数来实现性能与复杂度之间的折中



[1] Zheng Wang and Cong Ling, "On the geometric ergodicity of Metropolis-Hastings algorithms for lattice Gaussian sampling," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 64, no. 2, pp. 738–751, Feb. 2018.

[2] Zheng Wang and Cong Ling, "Lattice Gaussian sampling by Markov chain Monte Carlo: Bounded distance decoding and trapdoor sampling," Submitted to *IEEE Transactions on Information Theory*, [Online] Available: <http://arxiv.org/abs/1704.02673>.

□ 下节课内容

2.2 信号处理技术

2.3 多址技术





Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容



卫星通信概述 (5学时)



卫星通信基本技术 (9学时)



卫星通信链路设计 (4学时)



卫星通信网 (3学时)



移动卫星通信系统 (3学时)

第二章 卫星通信基本技术

2.1 信号设计技术

2.2 信号处理技术

2.3 多址技术

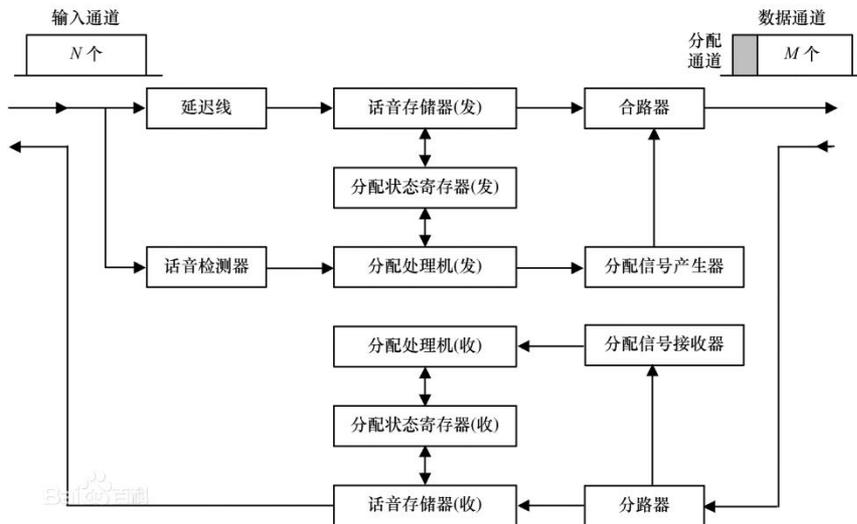
2.2.1 数字话音内插

□ 数字话音内插(DSI)

- 在电话通信系统中存在呼叫间的间隔，听话而不讲话以及讲话间的停顿，因此，每条通信线路上实际传送的话音信号只占总线路的40%
- 利用话路的空闲时间传输其它路的语音信号就可以提高信道利用率，在TDMA系统中采用DSI技术可以使得通信容量增大一倍以上
- 时间分配话音内插(TASI)和话音预测编码通信(SPEC)
- DSI增益是DSI系统最重要的指标 $G=N/M$ ，N为地面信道数，M为卫星信道数，G越大，则信道利用率越高

□ 时间分配话音内插

- 在发送端，话音检测器依次对各输入话路的工作状态加以识别，判断它们是否有语音信号通过
- 为了使接收端能够识别有效的语音信号，还需要传输一个信道分配信息
- 分配信息的传送方式有两种：只发送最新的状态连接信息和发送全部的连接状态信息
- 在接收端，按信道分配信息将卫星信道分配到相应的地面信道

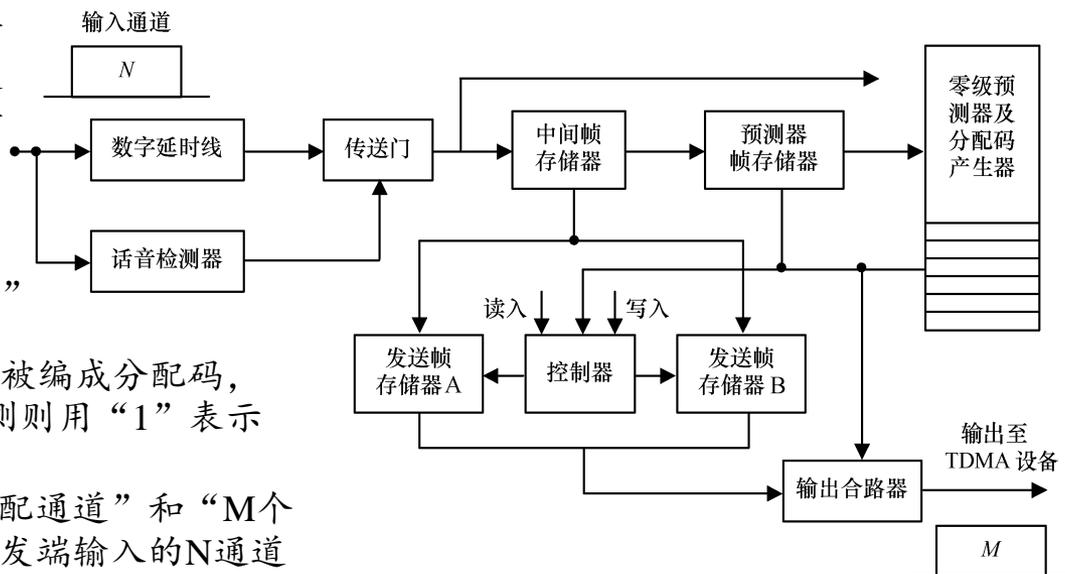


TASI系统原理方框图

□ 语音预测编码

- 当某一时刻的样值与前一个时刻样值的PCM编码有不可预测的明显差异时，才发送给时刻的码组，否则不发送，这样便减少了需要传送的码组数量，以便有更多的通道可供其他用户使用，以此提高系统的通信容量
- 在发送端，语音检测器依次对输入的采用TDM复用格式的N个通道编码码组进行检测，当有语音编码输入时，则打开传送门，将此编码码组送至中间帧寄存器和零级预测器；否则传送门仍保持关闭状态

- 零级预测器将预测器帧存储器中所储存的上一次取样时刻通过该通道的那一组编码与刚收到的码组进行比较，并计算出它们的差值
- 同时，将此码组“写入”发送帧寄存器，并在规定时间进行“读操作”
- 在零级预测器中，各次比较的情况被编成分配码，如可预测用“0”表示，而不可预测则用“1”表示
- 在接收端，则根据所接收到的“分配通道”和“M个输出通道”的结构，就可恢复出原发端输入的N通道的TDM帧结构

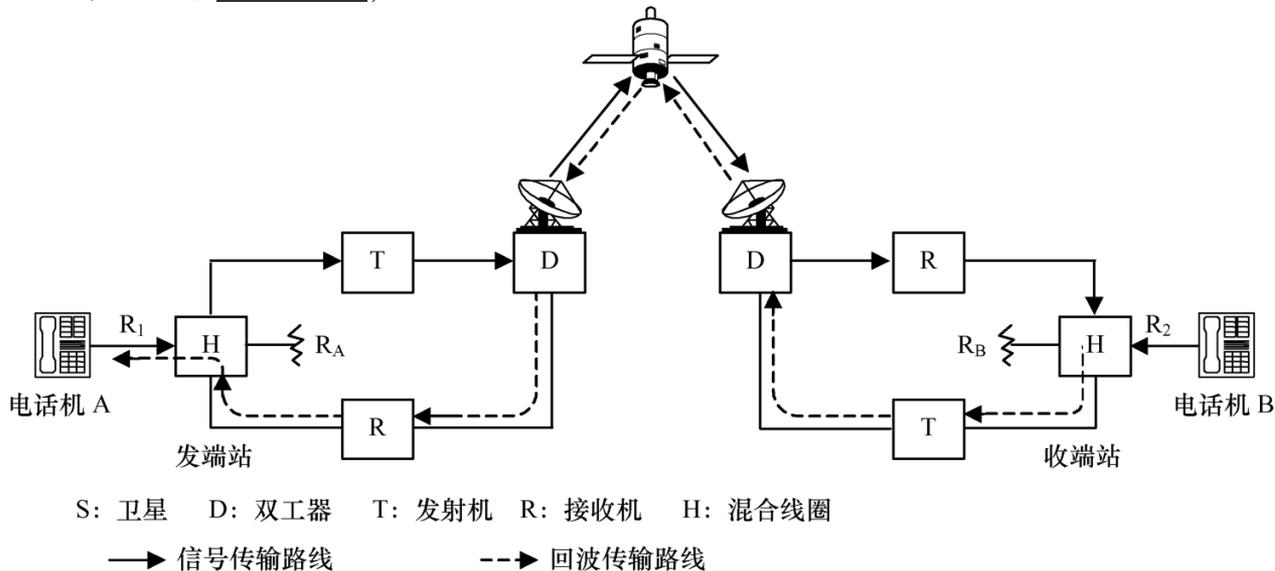


SPEK发端方框图

2.2.2 回波控制

□ 回波控制

- 回波可以分为电学回波和声学回波，分别是由于通信网络中的阻抗不匹配和声波的耦合及遇物体反射引起的。回波的存在会影响通信的质量，造成系统无法正常工作
- 在于地球站相连接的PSTN(公众电话交换网)用户的用户线上采用二线制，即在一对线路上传输的两个方向的信号
- 而地球站与卫星之间的信息接收和发送是由不同的两条链路完成的，故称为四线制
- 因此需要一个混合线圈，实现二线和四线的连接



卫星通信线路产生回波干扰的示意图

- 为了抑制回波干扰的影响，在线路中接入一定的电路，在不影响语音信号传输的条件下，将回波削弱

2.2.3 语音编码

□ 语音编码

- 语音编码属于信源编码，然而在卫星通信中，它又属于信号处理的范畴
- 语音编码可以分为波形编码，参量编码和混合编码三类

□ 波形编码

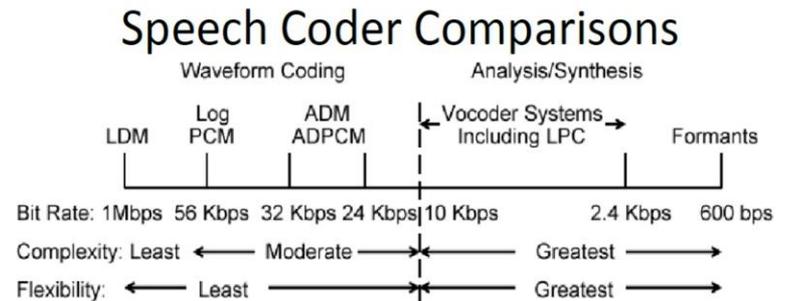
- 编码思想是通过对语音信号的时域或频域波形进行处理，达到压缩的目的，在译码端采用相反的过程恢复语音波形
- 包括PCM,ADPCM,DN,ADM等
- 适应能力强，语音质量好，编码速率高16-64kb/s

□ 参数编码

- 即通过声码器来实现编码。声码器采用固定的语音产生结构，通过对输入语音信号进行处理，提取结构参数，然后将参数量化传输，接收端根据传输的参数重构语音信号
- 包括各种线性预测编码LPC方法和余弦声码器等
- 语音质量差，自然度低，对环境噪声敏感，编码速率低2.4-16kb/s

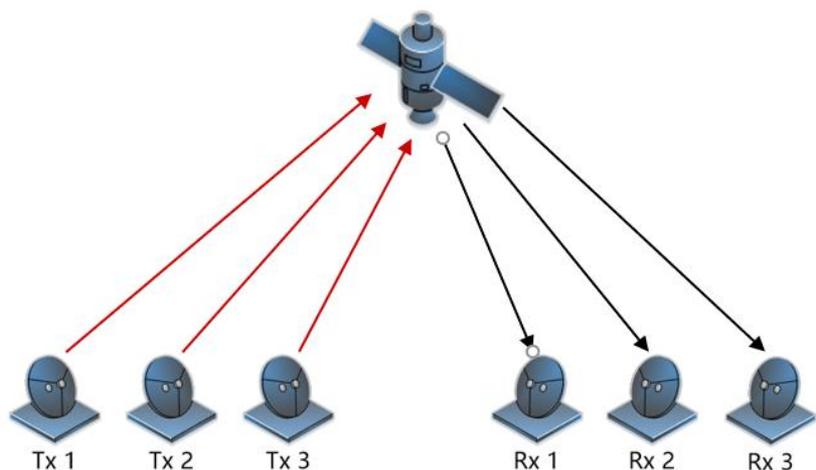
□ 混合编码

- 在保留参数编码模型技术精华的基础上，应用波形编码准则去优化编码激励信号
- 包括多脉冲激励线性预测编码MPLPC等
- 较高质量合成语音，编码速率低4.8-9.6kb/s

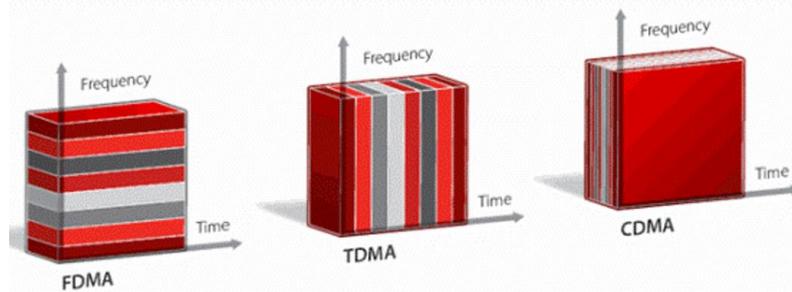


2.3 多址技术

多址技术是指多个地球站通过同一颗卫星建立两址和多址之间的通信的技术。多址技术根据信号分割原理把频谱资源按照频带、时间、码型等参数分成相互正交或准正交的信道，并把这些信道以适当的方式分配给需要进行接入的用户。其目的是最大化卫星的通信容量，有效使用带宽，维持灵活性

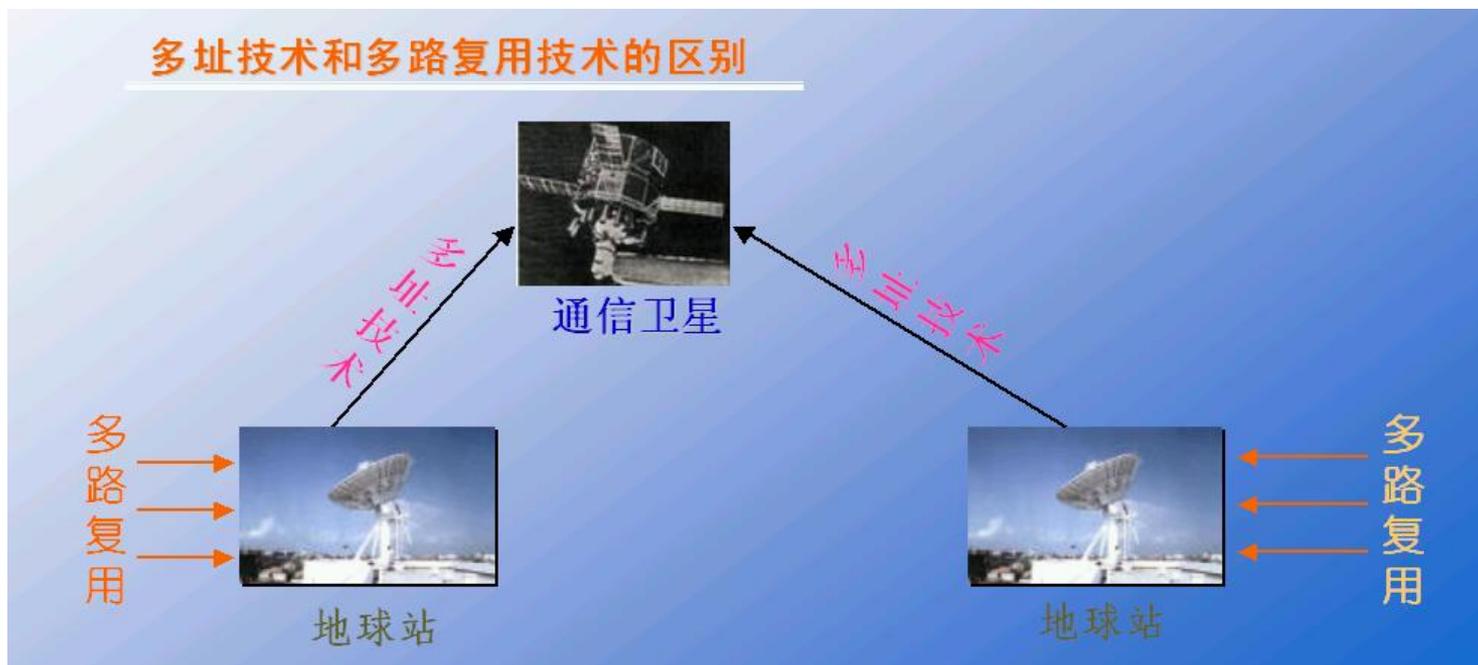


- 卫星通信的关键在于信号以何种方式才能便于卫星识别与区分各地球站的信号，同时各地球站又能从卫星转发的信号中识别出应接收的信号，以免出现多个地球站由于同时以相同的方式访问卫星，造成卫星上这些信号的相互碰撞，而不能正确接收的现象



□ 多址技术和多路复用

- 多路复用是将来自不同信息源的各路信息，按某种方式合并成一个多路信号，然后通过同一个信道传送给接收端。接收端再从该多路信号中按相应方式分离出各路信号，分送给不同的用户或终端，按复用方式可分为频分复用，时分复用，码分复用等
- 多址技术是指多个用户终端的射频信号在射频信道上的复用，以实现各个用户终端之间的通信，常见的多址方式有频分多址，时分多址，码分多址，空分多址等
- 多址技术和多路复用的理论基础都是信号的正交分割原理



□ **频分多址**：把卫星占用的频带按频率高低划分给地面站的一种多址联接方式

➤ 各地球站在被分配的频带内发射各自的信号。在接收端，则利用带通滤波器从接收信号中取出与本站有关的信号

□ **时分多址**：按规定时隙分配给各地球站的多址联接方式

➤ 各地球站使用同一频率的载波，在规定的时隙内断续地发射本站信号。在接收端，根据接收信号的时间位置或包含在信号中的站址识别发射该信号的地球站，并取出与本站有关的时隙内的信号

□ **码分多址**：分别给各地球站分配一个特殊的地址编码(伪随机码)的多址联接方式

➤ 各地球站可同时共用某一频带乃至全部频带发送信号，而没有发射时间和频率上的限制(可以相互重叠)。在接收端，利用与发射信号相匹配的接收机检出与发射地址码相符合的信号

□ **空分多址**：利用卫星上多副窄波束天线将各地球站的信号空间分隔的多址联接方式

➤ 各波束覆盖区域内的地球站所发出的信号在空间上互不重叠，即使各地球站在同一时间使用同一频率和同一码型，也不会相互干扰，因而达到了频谱再用的目的



-
- **信道分配**：是指如何进行信道分配，所采用的多址方式不同，其信道的内含不同

信道

FDMA 方式中指的是各地球站所占用的**转发器的频段**；

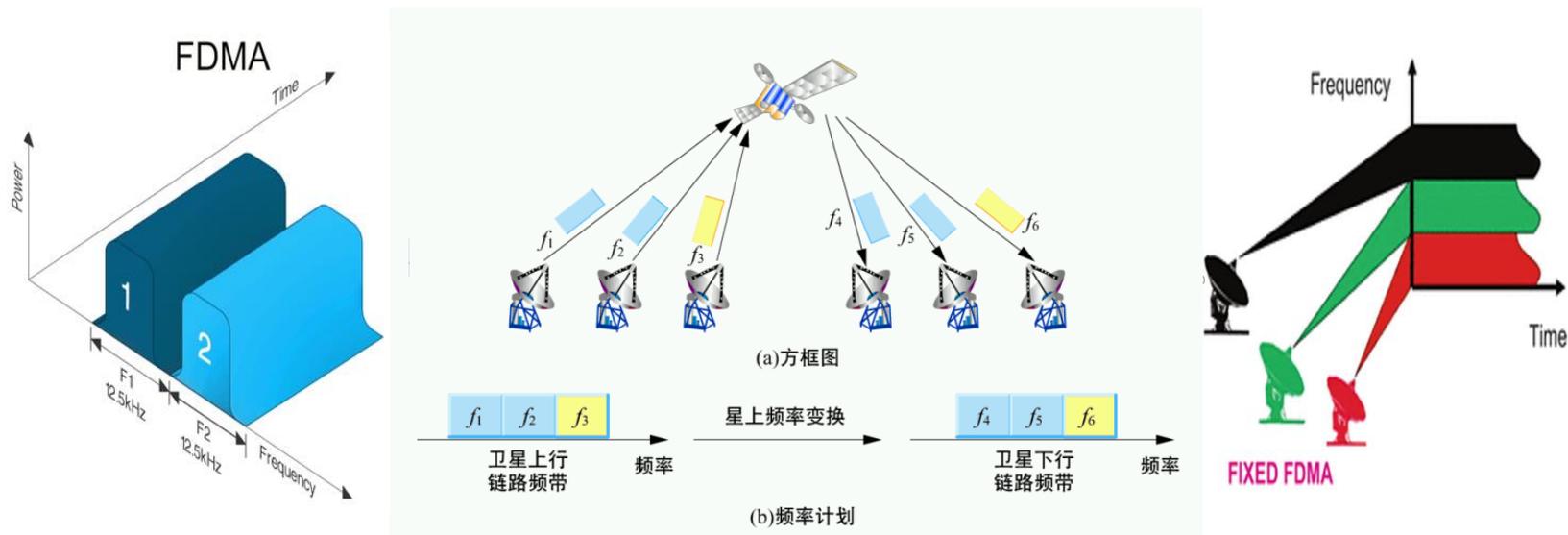
TDMA 方式中指的是各地球站所占用的**时隙**；

CDMA 方式中指的是各地球站所使用的**码型**。

- **预分配方式(PA)**：是指卫星信道预先分配给各个地球站
 - 使用过程中不再变动的预分配称为固定预分配
 - 根据每日通信量的变化而不断变化的预分配称为动态预分配
 - 业务量大的地球站，分配的信道数目多；反之，则分配的数目少
 - 接续控制简单，适用于信道数目多，业务量大的干线通信，但是不能随业务量的变化对信道分配数目进行调整，以保持动态的平衡，故信道利用率低
- **按需分配方式(DA)**：按照需求进行统筹控制和管理从而把信道分配给各个地球站
 - 信道利用率高
 - 控制系统较为复杂
- **随机分配方式(RA)**：通信中各种终端随机地占用卫星信道的一种多址分配制度
 - 信道利用率高
 - 实现简单
 - 会发生潜在的用户碰撞

2.3.1 FDMA

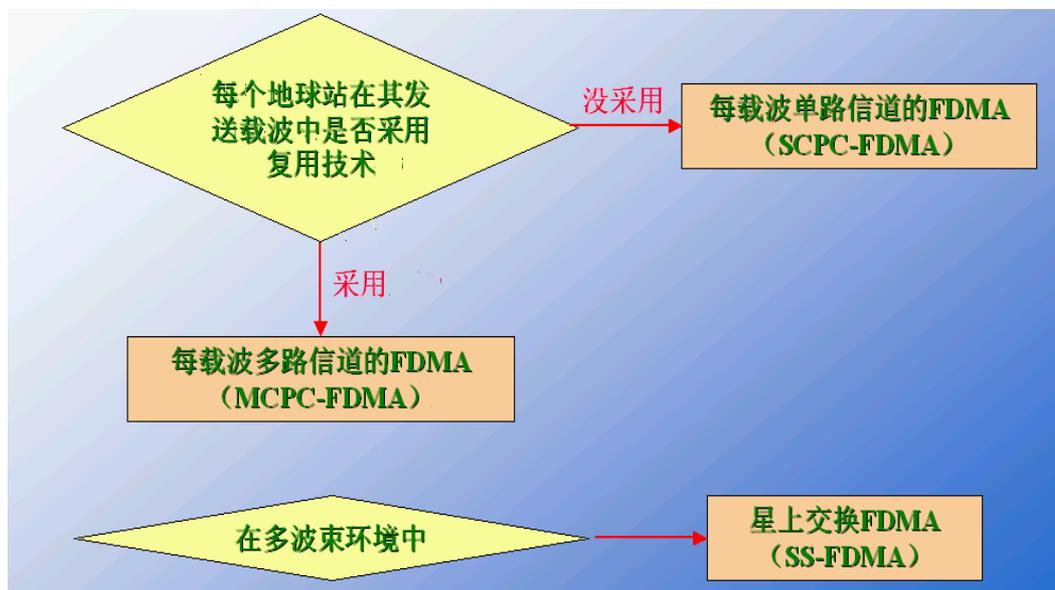
- 按照频率划分，每个地球站向卫星转发器发射一个或多个载波，每个载波都具有一定的频带，它们互不重叠地占用卫星转发器的带宽



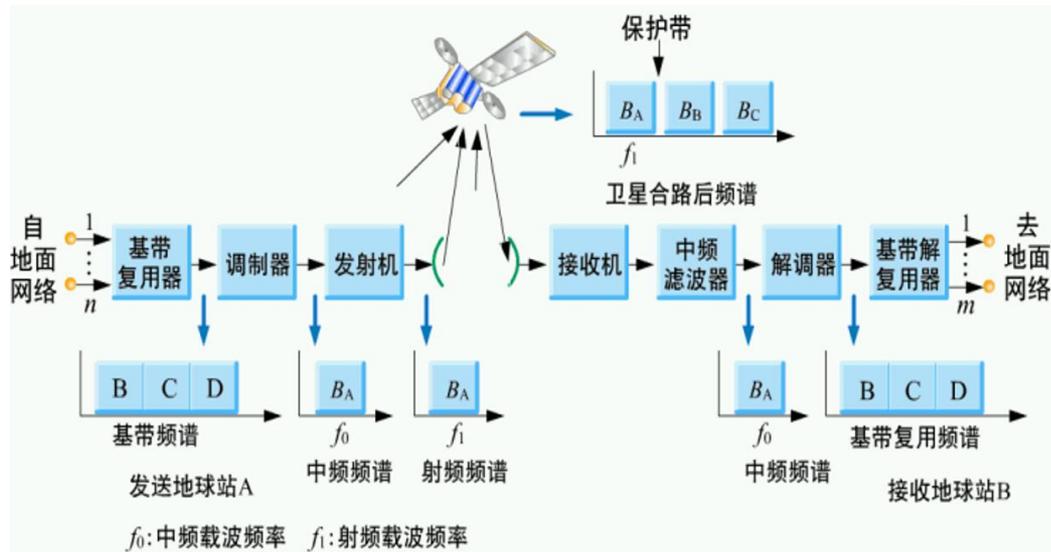
- FDMA是最基本的多址方式，也是最古老的多址方式，其最突出的特点是简单、可靠和易于实现
 - 必须严格控制功率，某一地球站发射功率大于额定值，就会侵占卫星上发给其他地球站的功率，而发射功率过小，又会影响通信
 - 设置适当的保护频带，为了避免因载波漂移导致载波频谱重叠，在各载波占用的频带之间要留有一定的间隙作为保护带。保护带过宽，则频带利用率低，如果过窄，则影响通信质量
 - 尽量减小互调干扰，当卫星转发器放大多个不同频率的信号时，由于输入输出具有非线性，会使输出信号出现各种组合频率成分，影响通信质量，另外放大的强载波信号会抑制弱载波信号

□ 根据地球站在其发送载波中是否采用复用技术，可将FDMA分为两类

- 每载波多路信道(MCPC-FDMA)，即给多路信号分配一个载波，在发射站将各路信号进行多路频分复用，在接收端相应地采用基带解复用器
- 每载波单路信道(SCPC-FDMA)，即给每一路信号分配一个载波，没有基带复用等环节，传送方式灵活，但其设备利用率低，相应的卫星转发器的频带利用率也低
- 在MCPC-FDMA中，要求接收地球站中的基带滤波器能够滤出特定地球站发来的信号，当该信号的传输速率发生变化时，则要求此滤波器能够迅速调谐，实际上很难操作，因此适用于业务量比较大，通信对象相对固定的干线通信



- 卫星转发器和地球站发射机的高功率放大器都具有非线性，即放大器的输出信号振幅不随输入信号的振幅线性变化，这会造成已调载波产生非线性失真，恶化通信质量



基于MCPC-FDMA的地球站通信示意图

□ FDMA特点

- 设备简单，技术成熟
- 系统工作时不需要网同步，且性能可靠
- 在大容量线路工作时效率较高
- 由于转发器的非线性容易形成互调干扰，为了减少互调干扰，转发器要降低输出功率，从而降低了卫星通信的有效容量
- 当各站的发射功率不一致时，会发生强信号抑制弱信号的现象，因此转发器须有适当的功率回退功能，对载波做适当的排列

□ 减少互调干扰的方法

- 控制各载波中心频率的间隔，合理分配各个载波位置
- 加能量扩散信号(扰码)
- 对上行链路的载波功率进行控制以及合理选择行波管的工作点
- 利用幅度和相位预失真校正行波管特性

所谓每载波单路FDMA方式是指在SCPC系统中，每个载波中仅传送一路信号，可实现任意A→B的通信。

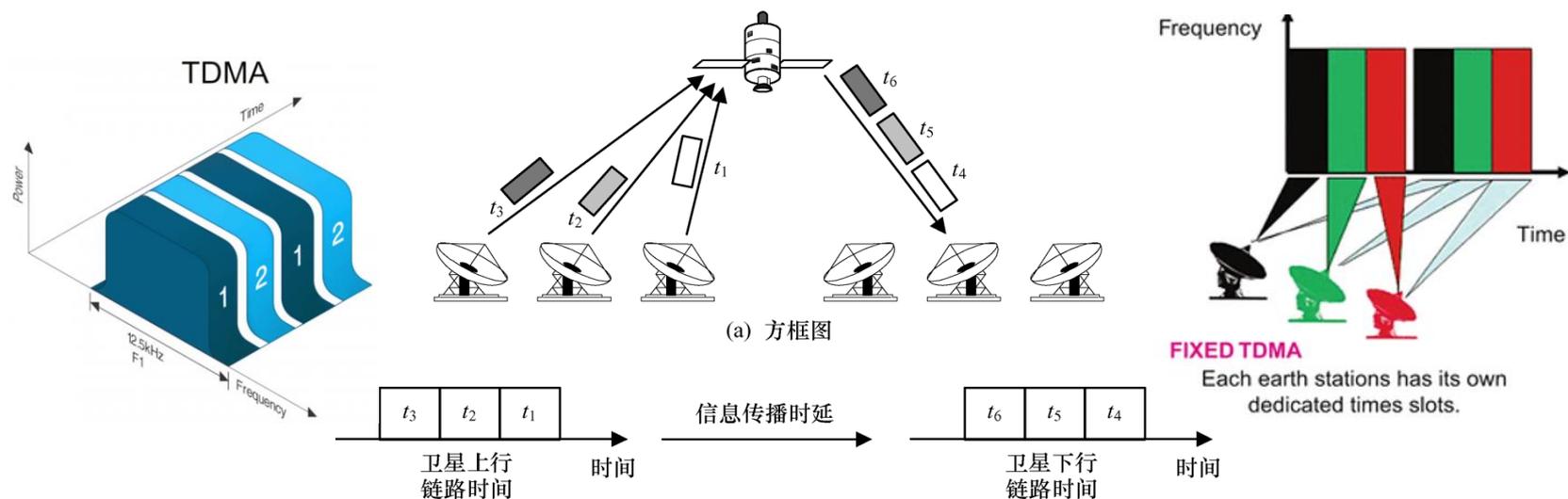


SCPC系统的信道分配不再采用固定方式，而采用按申请分配的方式。

基于SCPC-FDMA的地球站通信示意图

2.3.2 TDMA

- 按照时间划分，分配给各地球站的是特定的时隙，而不是特定的频带，因而每个地球站必须在分配给自己的时隙中用相同的载波频率向卫星发射信号，并经放大后沿下行链路重新发回地面



- 不存在FDMA中的互调问题
- 系统容量大，卫星功率利用率高
- 提高信号传输质量，有利于综合业务的接入
- 使用灵活
- 必须保持各地球站之间的同步，才能让所有用户实现共享卫星资源的目的
- 要求采用突发解调器，系统中各站在规定的时隙内以突发的形式发射自己已调信号
- 模拟信号需转换成数字信号才能在网络中传输
- 系统实现复杂

□ TDMA 帧结构

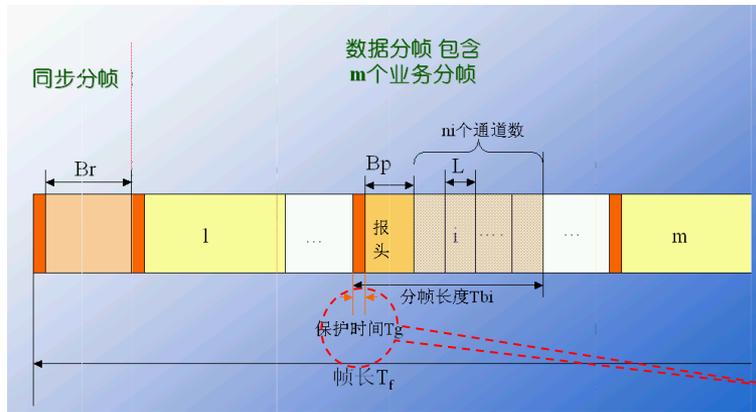
- 包括同步(基准)分帧RB和数据(业务)分帧DB
- 同步分帧中包括载波、位定时恢复(CR和BTR)、独特码(UW)、站址识别码(SIC)和指令信号(CW)
- 一个数据分帧包含了若干个业务分帧，并且每个业务分帧由分帧报头和多个PCM数据信道构成

● **TDMA帧：** 整个系统的所有地球站时隙在卫星内占有的整个时段，称为卫星的一个**TDMA帧**。帧长用 T_f 表示。

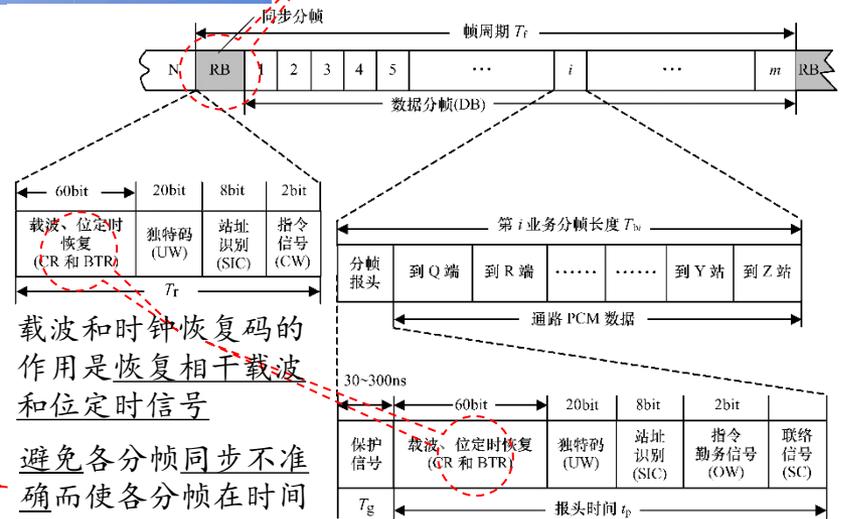
● **分帧：** 在一个**TDMA帧**中，每个地球站所占用的时隙叫做分帧。基准地球站占用的叫基准分帧（同步分帧）**RB**，其它地球站占用的叫业务分帧（数据分帧）**DB**。

绝对的时间标准在实际中很难做到，而相对的时间标准易于实现。相对的时间标准是指规定一个基准时钟，基准时钟通过由一个基准站来发送，系统中所有的地面站都以这个基准时钟来进行工作

一个TDMA帧是由一个同步分帧和若干个数据分帧组成



帧效率



载波和时钟恢复码的作用是恢复相干载波和位定时信号

避免各分帧同步不准确而使各分帧在时间上互相重叠

TDMA系统帧结构

□ 下节课内容

2.3 多址技术





Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容

1

卫星通信概述 (5学时)

2

卫星通信基本技术 (9学时)

3

卫星通信链路设计 (4学时)

4

卫星通信网 (3学时)

5

移动卫星通信系统 (3学时)

第二章 卫星通信基本技术

2.1 信号设计技术

2.2 信号处理技术

2.3 多址技术

① 系统传输速率 R_b

$$R_b = \frac{B_r + mB_p + NL}{T_f - (m+1)T_g}$$

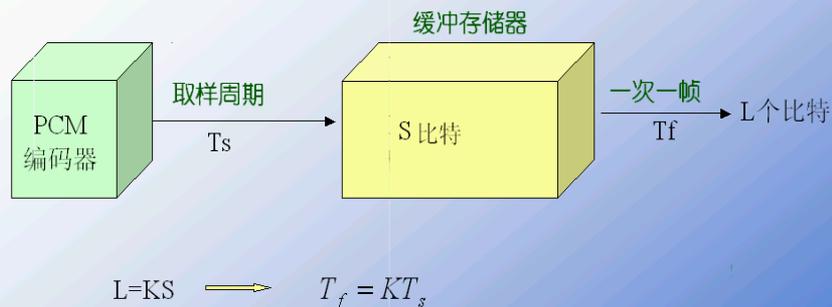
$$N = \sum_{i=1}^m n_i \quad (\text{m个业务分帧的通道数之和})$$

$$n_1 = n_2 = \dots = n_i = \dots = n \quad \text{总信道数为 } N = mn$$

采用QPSK调制方式，系统的调制速率为：

$$R = \frac{R_b}{2} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{B_r + mB_p + mnL}{T_f - (m+1)T_g} \right\}$$

② 帧长 T_f



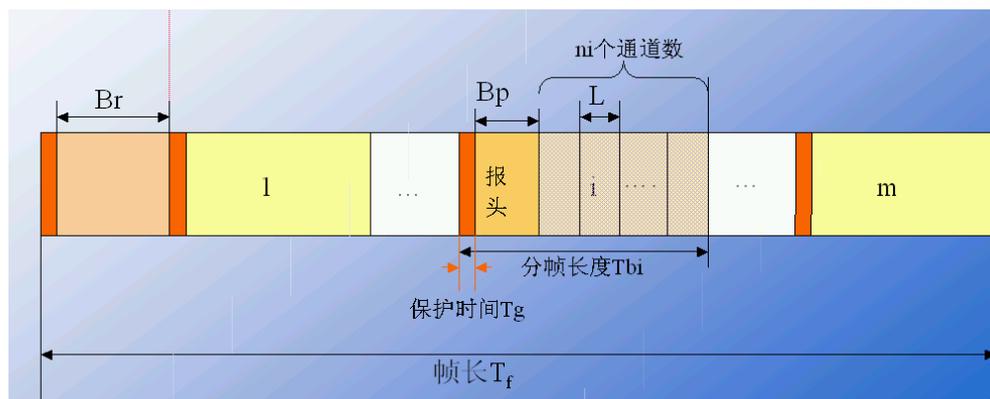
帧周期为取样周期 ($1/8000=125 \mu s$) 的整数倍

$$\text{PCM编码器输出速率 } R_s = \frac{S}{T_s}$$

③ 分帧长度 T_{bi}

第 i 分帧的长度 T_{bi} 为

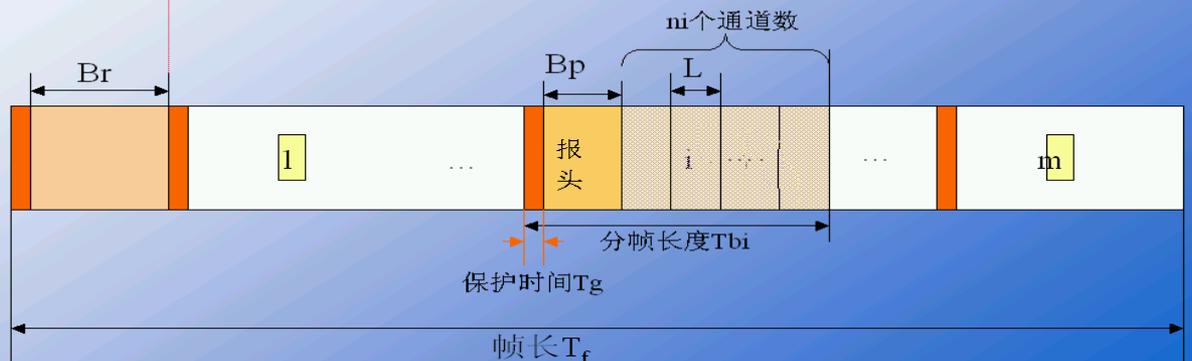
$$T_{bi} = T_g + (B_p + n_i L) \frac{1}{R_b}$$



④ 帧效率

所谓帧效率是指一帧内有效数据信息所占的时间与帧长之比。

$$\eta_f = \frac{\text{帧长} - \text{同步分帧长} - \text{总的业务分帧报头时间} - \text{总的保护时间}}{\text{帧长}}$$
$$= \frac{T_f - T_r - mT_p - (m+1)T_g}{T_f} = \frac{T_f - (B_r + mB_p)/R_b - (m+1)T_g}{T_f}$$



⑤ 传输线路要求带宽 B

$$B = (1 + \alpha)R_b / 2 \quad \alpha \text{ 为滚降系数}$$

□ 帧长的选择需要考虑的因素

- 帧长一般选取125us的整数倍
- 帧长越长，则效率越高，但帧长增大到一定程度后，帧效率的提升有限且缓冲器存储量增大，硬件成本高
- 帧长越长，帧与帧之间载波的相关性便越差，因而用相关性恢复载波电路时，解调过程中会引起附加相位噪声
- 当帧长大于0.1s时，其值与地球-卫星的单程传播时间0.27s为同一数量级，在这种情况下所引入的附加时延对通话不利

已知一个TDMA系统，采用QPSK调制方式，设帧长为 $T_f = 250 \mu s$ ，系统中所包含的站数 $m=5$ ，各站所包含的通道数相同 $n=4$ ，保护时间 $T_g = 0.1 \mu s$ ，基准分帧的比特数 B_r 与各报头的比特数 B_p 均为90比特，每个通道传输24路（PCM编码，每取样值编8比特码，一群加一位同步比特），求PCM编码器输出速率 R_s ，系统传输的比特率 R_b 、分帧长度 T_b 、帧效率 η_f 及传输线路要求带宽 B 。

$$T_s = 125 \mu s, S = 8 \times 24 + 1 = 193 \text{ (bit)}$$

$$\text{PCM编码器输出速率 } R_s = \frac{S}{T_s} = 1.544 \text{ Mb/s}$$

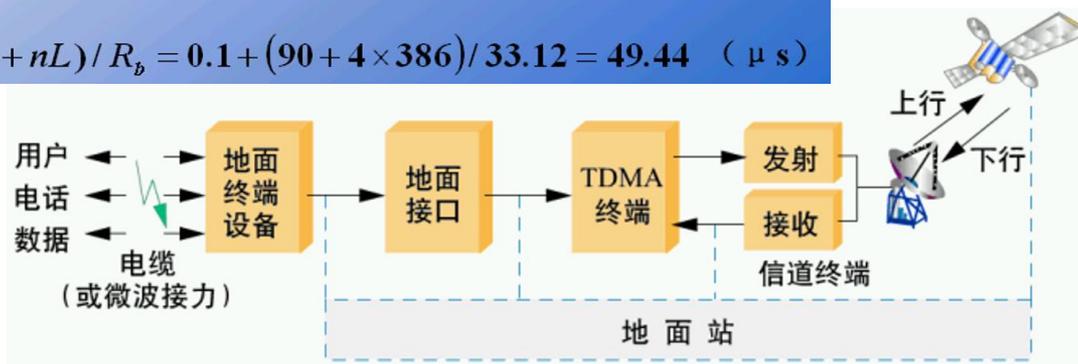
又由于一个码含两比特，所以 $K=2$ ， $L=2S=386 \text{ (bit)}$

$$R_b = \frac{B_r + mB_p + mnL}{T_f - (m+1)T_g} = \frac{90 + 5 \times 90 + 5 \times 4 \times 386}{250 - 6 \times 0.1} = 33.12 \text{ (Mb/s)}$$

$$T_b = T_g + (B_p + nL) / R_b = 0.1 + (90 + 4 \times 386) / 33.12 = 49.44 \text{ (}\mu s\text{)}$$

$$\eta_f = \frac{T_f - (B_r + mB_p) / R_b - (m+1)T_g}{T_f} = \frac{250 - (90 + 5 \times 90) / 33.12 - (5+1) \times 0.1}{250} = 93.2\%$$

$$B = (1 + \alpha) \frac{R_b}{2} = 1.2 \times \frac{33.12}{2} = 20 \text{ (MHz)}$$



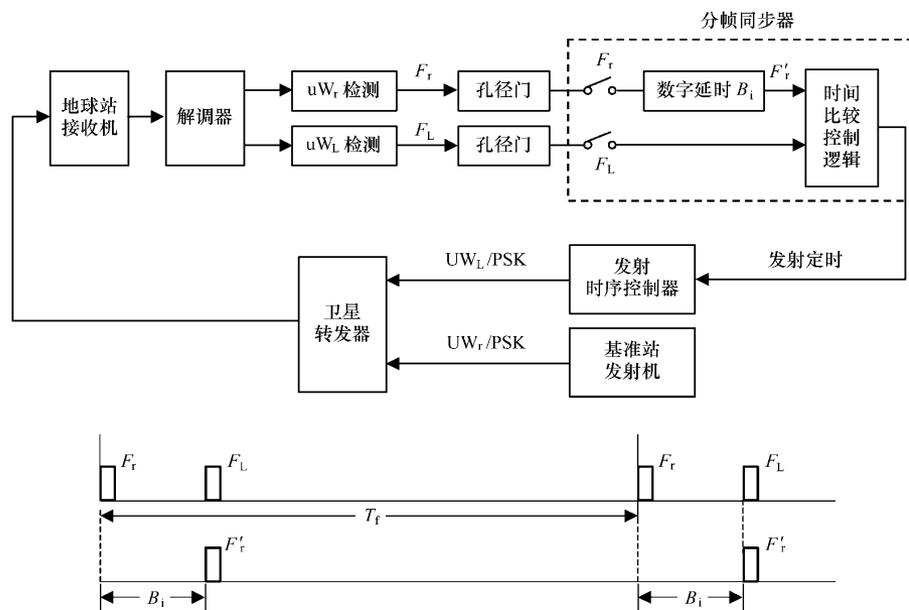
TDMA地球站设备

□ 子帧的捕获和同步

- TDMA是以时分复用为基础的，因此如何保证全网的帧同步是系统能否正常工作的关键问题
- TDMA系统由基准站发送用于全网同步的基准子帧，但是，由于各地球站距离卫星的距离各不相同，信号从各地球站到卫星的传播时延也各不相同，于是如何保证各站发送的突发子帧在指定的时隙位置到达卫星接收机的输入端口，即子帧的捕获问题，必须首先解决
- 另外，由于存在卫星位置漂移和地球站时钟相对于基准时钟的偏差，各地球站必须维持其子帧与全网基准子帧之间的同步关系，需要解决子帧同步的问题

□ 同步方法

- 将接收的本站发送子帧与基准子帧相对(时间)位置进行比较，以调整发射时间，保持所发送的子帧与基准子帧之间的同步。对于静止卫星系统，地-星-地传输时延为0.27s，这意味着发射信号要0.27s后才能验证发射时间的正确性，因此，在子帧同步过程中，只需0.27s校正一次
- 另一个方法是利用锁相的方法使本站的帧定时跟踪基准站的帧定时，并根据本站子帧所分配的时隙位置来控制子帧的发射时间。此法涉及地球站和卫星转发器在内的延时锁相环路，硬件较为复杂



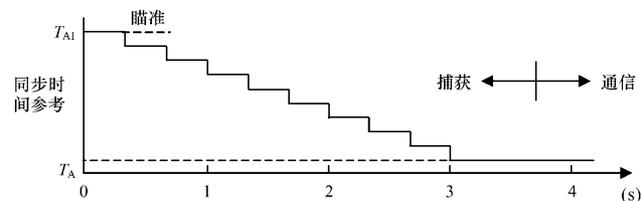
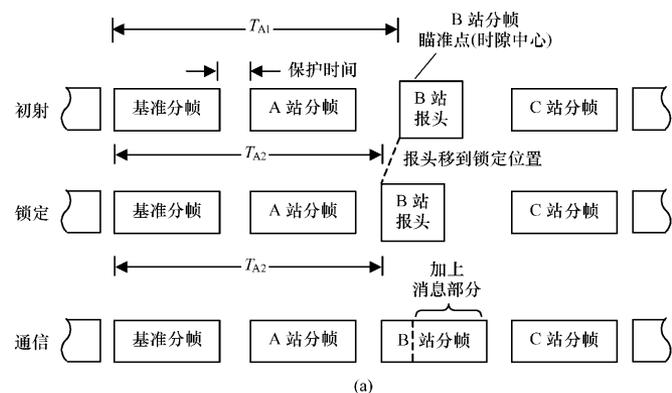
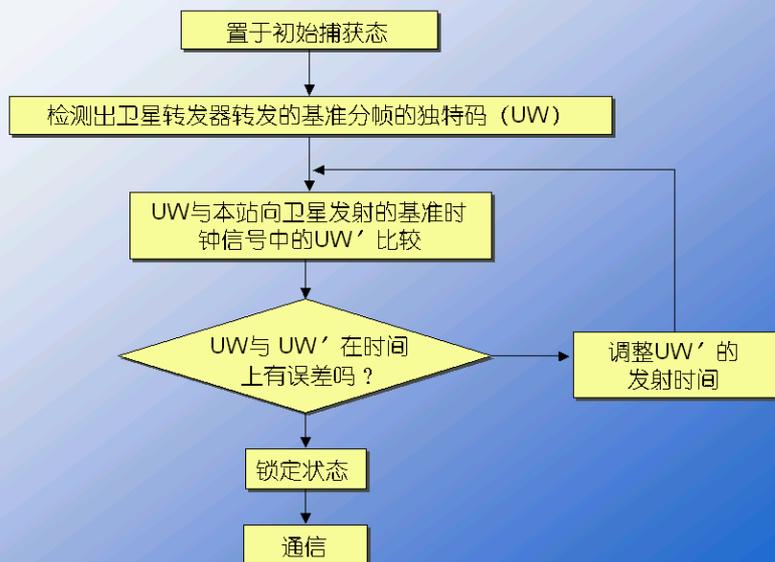
分帧同步原理图

捕获方法

- 轨道预测法：根据卫星运动轨迹数据(由监控站提供)和本站地理位置数据，计算出卫星与地球站的距离和传播时延，再根据所接收的系统基准子帧和分配给本站突发子帧的时隙位置信息，确定本站突发子帧的发射时间
- 相对测距法：在不影响其他地球站通信的条件下，用测距信号完成对卫星和地球站之间传播时延的测试，从而完成捕获的任务
- 被动同步法：基准站与监控站协调，在发送基准子帧的同时，广播卫星精确位置信息的数据。各地球站根据这些信息和本站的位置，通过计算可较精确确定传播延时，进而决定本站子帧确切的发射时间

初始捕捉

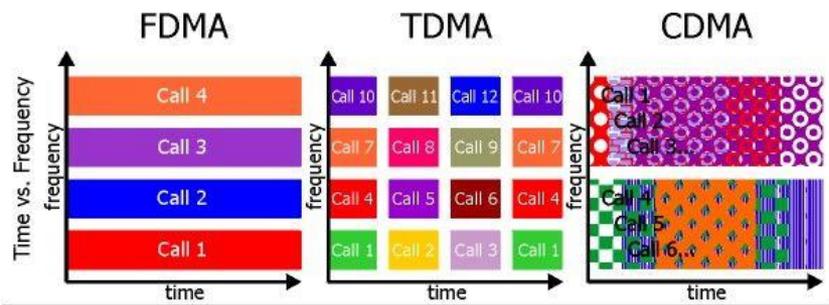
计算机轨道预测法 (一)



捕获过程及所用时间示意图

□ 卫星FDMA系统与TDMA系统的比较

- 对于TDMA方式，卫星转发器任何时刻都只有一个载波工作，不会产生互调干扰，行波管可以工作在饱和状态，能充分利用转发器的功率
- TDMA方式对地球站等效全向辐射功率变化的限制没有FDMA方式那么严格
- TDMA方式可根据各站业务量的大小来调整各站时隙的大小，大小站可以兼容，易于实现按需分配
- TDMA方式是对各地球站和转发器进行时间分隔，无须FDMA方式的多次变频，简化了电路结构
- 由于TDMA是数字传输，易于存储，速率转换和时域处理
- 易于进行星上交换处理
- 资源分配比较灵活
- TDMA系统的网同步复杂

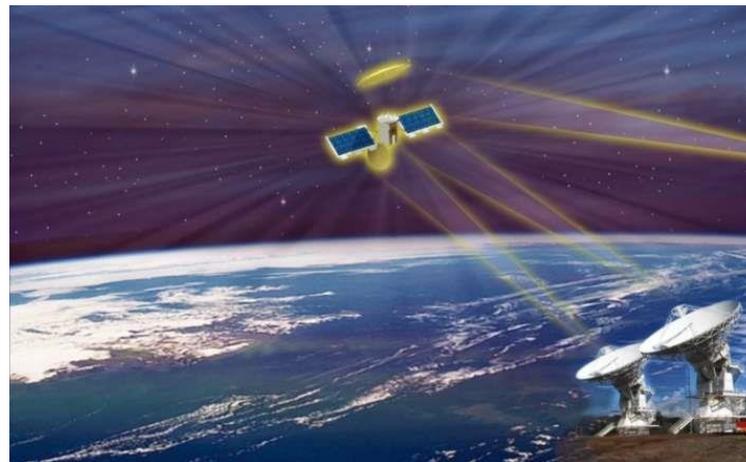


Conversation Analogy

Everyone talks in a different room to prevent interference. Since the conversation can't be heard from another room, it can be filtered from the other by going to the other room.

Within each room, everyone takes turns talking to prevent interference. Within each room, one person is talking at once, so they must talk fast to say everything.

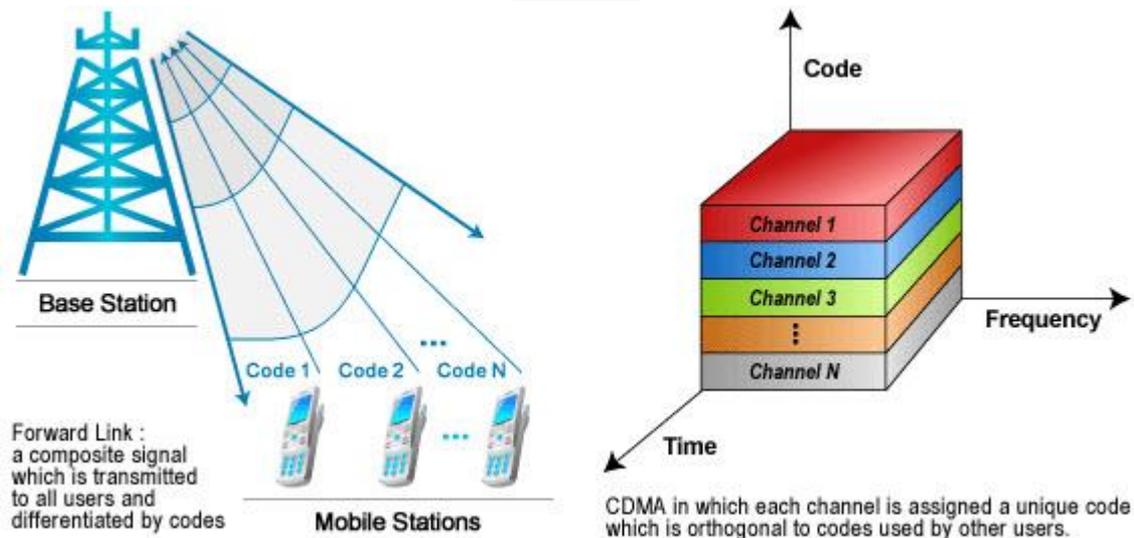
Everyone speaks a different language at the same time in the same room. Since each language is unique, one may be filtered from another.



2.3.3 CDMA

□ 码分多址，多址接入的划分是根据各站的码型结构不同来实现的

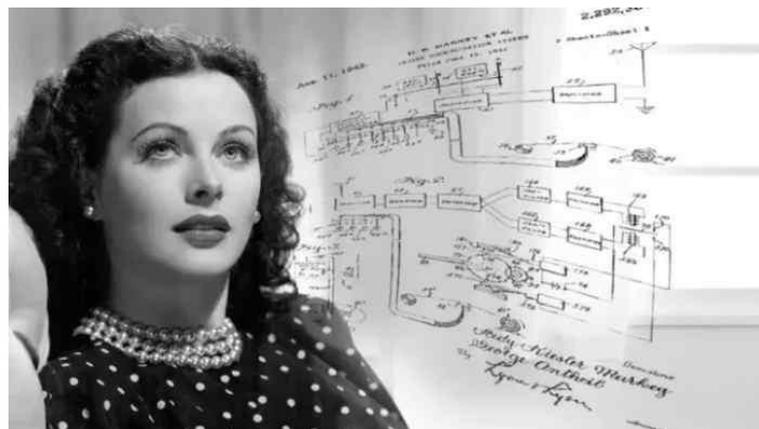
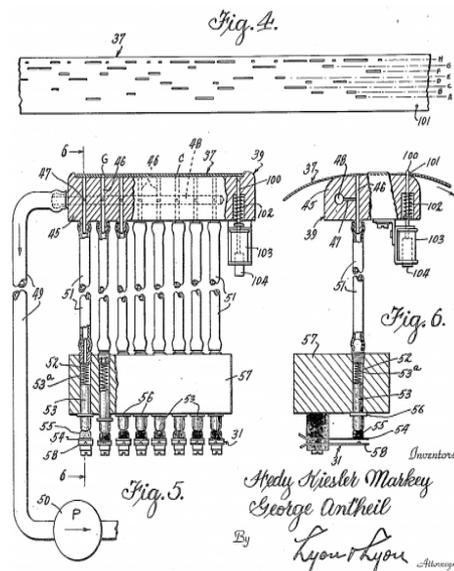
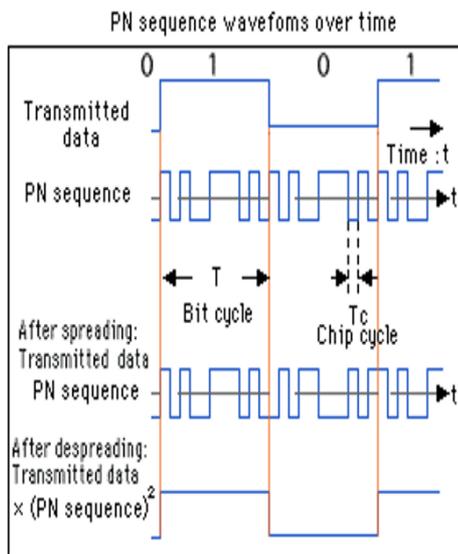
- 各地球站可以使用相同的载波频率，占用同样的射频带宽，发射时间是任意的，因此属于随机多址系统
- CDMA对信号的分割是基于它在码型结构上的正交性来实现的。先将用户的信号波形调制到载波上，再用地址码的波形对已调制载波进一步调制，把频谱扩展到可用的射频带宽，完成后的系统带宽是信息带宽的百倍甚至上千倍
- 在接收端，以本地地址码为参考，根据相关性的差异对接收到的所有信号进行鉴别，从中将地址码与本地地址码完全一致的宽带信号还原为窄带信号而选出
- 由于CDMA系统的许多重要特点都依赖于频谱展宽调制这种扩频技术，因此码分多址又称为扩频多址
- 为了从所有信号中识别某一信号，一般要采用相干技术



- 与适用于大、中容量卫星通信系统的TDMA、FDMA相比，CDMA适用于地球站众多，容量小，而链路传输速率又较低的卫星移动通信系统，VAST系统等

直接序列扩频 (DS-SS)

- 地址码常选取伪随机码(如PN码)，在接收端，直接用伪随机码序列对信源输出信号进行调制。信源信号与伪随机码进行模2操作生成速率与伪随机码相同的扩频序列，然后对载波进行PSK调制，由于伪随机码的速率远大于信源码的速率，因此形成的PSK信号频谱被展宽，已调信号在发射机中经上变频后发射出去
- 在接收端，先用与发端码型相同、严格同步的PN码和本振信号及接收信号进行混频与解扩，就得到窄带的仅受调制的中频信号。经中放、滤波后就可以进入普通PSK信号解调器恢复原始信号
- 扩频(地址)码要具有很好的自相关性和很低的互相关性。基于此，已经开发了m序列，gold码，PN码和Weil码等。最常用的是PN码，其近似于白噪声，频谱均匀分布，实现方式相对简单，并且有足够多的数量，使系统容量不受地址码数量的限制
- PN码序列是由逻辑1和0构成的二进制码流，其中1和0不承载任何信息，因此不能成为比特，而是用码片表示。如果每个数据信号用10个码片传输，则码片速率是数据速率的10倍

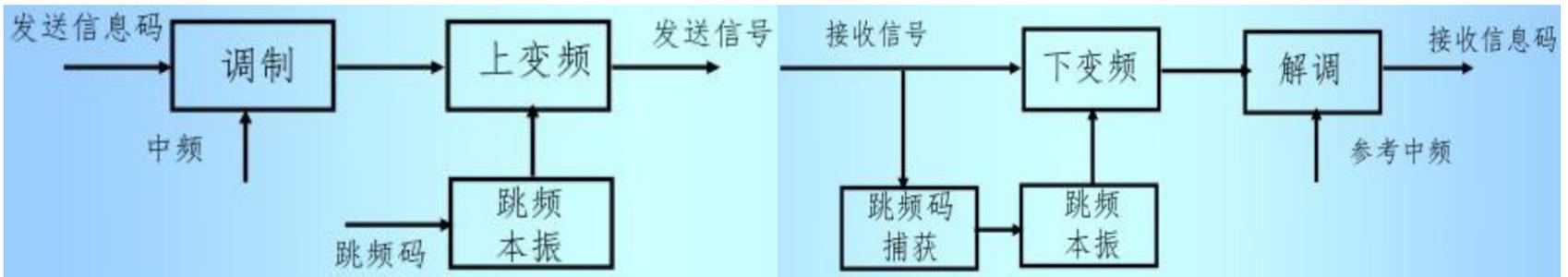


“电影往往限于某一地区和时代，而技术是永恒的”

——Hedy Lamarr

跳频方式(FH-CDMA)

- 与DS-CDMA相比，跳频码分多址主要的区别在于发射频谱的产生方式不同
- 在发送端，利用PN码去控制频率合成器，使之在一个宽范围内的规定频率上伪随机地跳动，然后再与信码调制过的中频混频，从而达到扩展频谱的目的。
- 跳频图案和速率分别由PN序列及其速率决定
- 在接收端，本地PN码产生器提供一个和发端相同的PN码，驱动本地频率合成器产生同样规律的频率跳变，通过解调器还原出原始信号

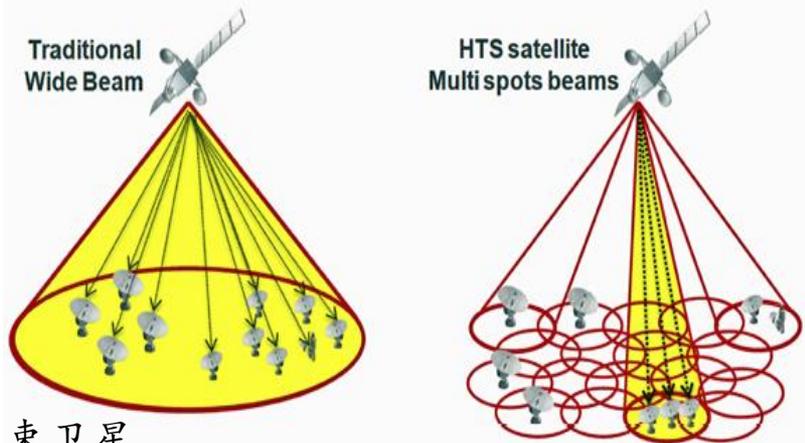


- ❑ CDMA系统要求接收机本地PN码与接收到的PN码在结构、频率和相位上完全一致，否则就不能正常接收所发送的信息，而且同步不能保持的话，也无法准确可靠地获取所发送的信息数据。因此，PN码序列的同步是CDMA扩频通信的关键技术
 - PN码捕获
 - PN码跟踪
- ❑ CDMA系统优点：抗干扰能力，信号功率谱密度低，隐蔽性好，使用灵活
- ❑ CDMA系统缺点：数据传输速率低，不能充分利用频带通信容量小

2.3.4 SDMA

□ 空分多址，多个地面站利用天线的方向性来分割信号

- 各地球站发出的射频信号在时间、频带上都可以相同，但它们在卫星上不会混淆，因为不同地面站的信号将瞄准不同的卫星点波束天线
- 卫星上通常设置交叉矩阵或再生式数据包交换矩阵，根据各站信号要发送的方向，通过交换矩阵即时地把这些信号分别转接至相应的卫星发射天线，地面站通过方位选择窄波束天线可以只接收对方站的信号



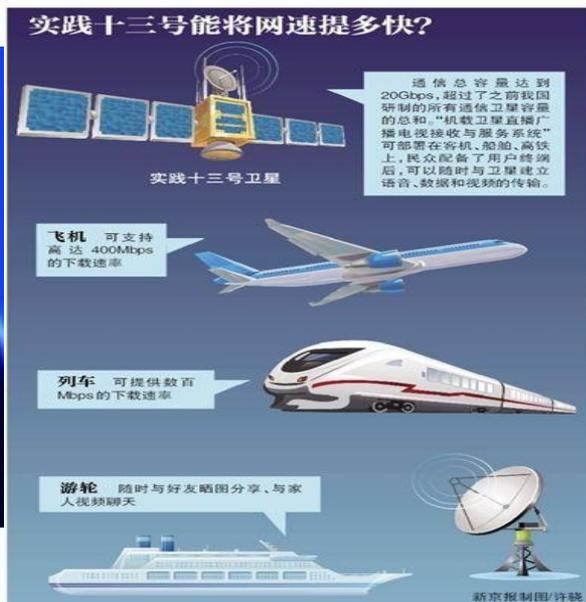
□ 多波束卫星

- 场景一，将原来的一个单一业务区分成若干小区，用高增益天线所发射的点波束分别覆盖这些小区，这样可以减小地面站的天线尺寸
- 场景二，用多个不同的波束分别覆盖彼此分开的几个业务区域，这样在卫星功率充裕的情况下，可以实现对频率的重复利用，从而使卫星转发器的容量成倍地增加
- SDMA对于卫星的稳定及姿态控制提出了很高的要求，卫星天线及馈线装置也比较庞大和复杂

□ 由于同一波束内的用户数量众多，一般不单独使用SDMA，而是与FDMA、TDMA等其他方式结合使用

□ SDMA-FDMA

- 卫星采用多个点波束天线代替单个波束天线来保持与其整个覆盖区域内的连续通信，地面站至卫星的上行链路信号采用FDMA方式，任何一个用户的信号可以占用1个或相邻的几个子频带，属于不同用户的子频带之间具有保护间隔



□ SDMA-TDMA

- 卫星上设置若干点波束天线和一个交换矩阵，将来自多个地面站的上行线路的TDMA帧在卫星上按时间转换，重新编成发向各地面站的下行线路的帧，从而实现多址通信
- 由于多波束通信方式的连接状态是时变的，因此很适合使用TDMA方式

□ 多波束卫星必须具备波束切换功能，才能实现不同波束覆盖下各地球站之间的互联

□ SDMA的优点：提高天线增益，显著提升系统容量，削弱外界的干扰和降低对其它电子设备的干扰

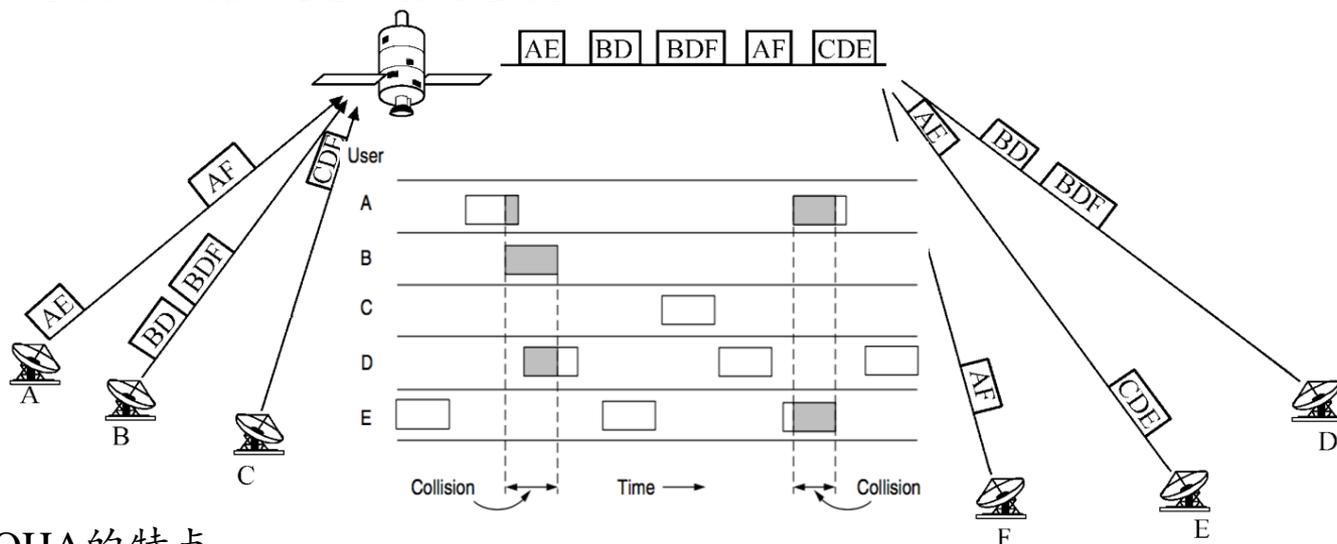
2.3.5 ALOHA协议

□ 随机多址访问

- 每个用户都可以访问一条共享信道，而无需事先与系统中的其他用户进行协商，常用的随机多址方式有ALOHA, S-ALOHA等

□ ALOHA, 最早的随机多址访问方式

- 由于在ALOHA方式中对用户发送数据分组的时间未加以任何限制，因此对任一分组而言，只要有其他站发射分组，便会在信道上发生碰撞现象



□ ALOHA的特点

- 系统结构简单，用户入网方便，无需协调，当业务量较小时具有良好的通信性能
- 存在碰撞现象，其吞吐量较低，最高吞吐量也只能达到18.4%
- 存在信道不稳定性，即当信道业务量增大到一定程度时，分组在信道上发生碰撞的概率也随之增加，此时信道的吞吐量不再随业务量的增加而增加，极端情况下，信道内充斥的都是重发分组，吞吐量降为零

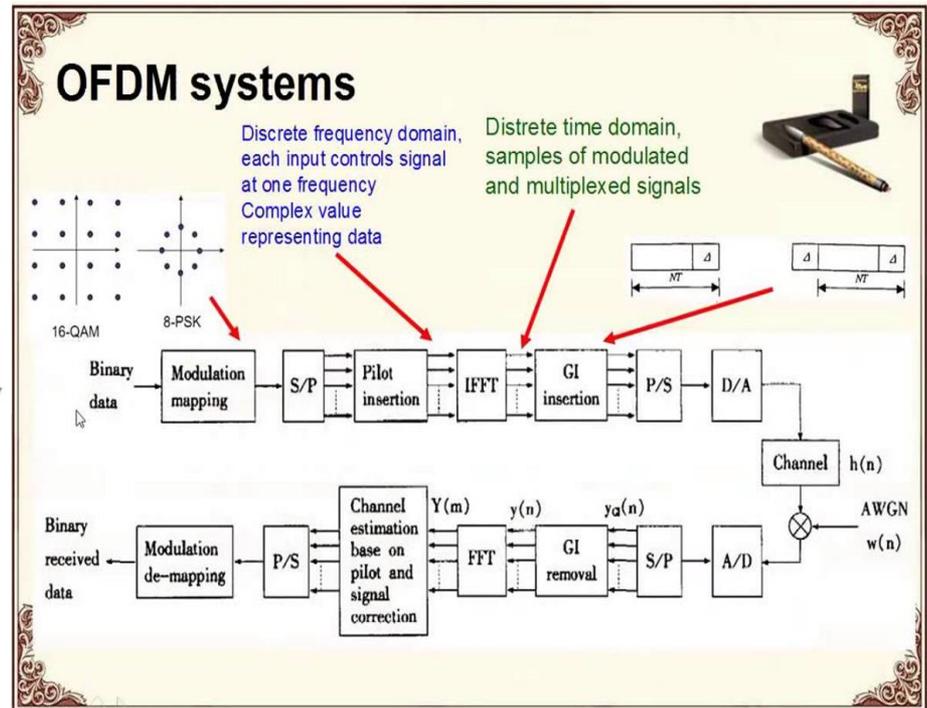
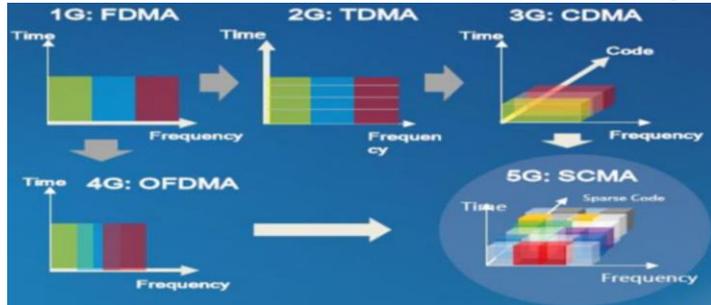
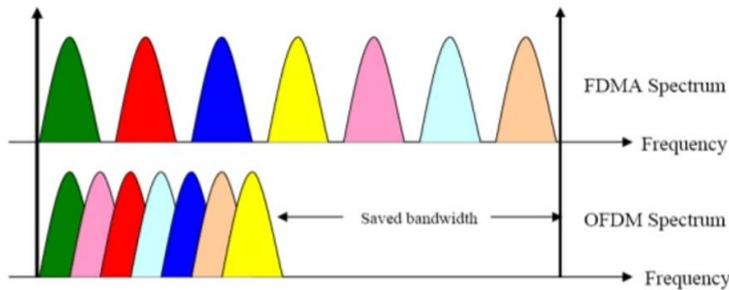
2.3.6 OFDMA

□ 正交频分多址，将传输带宽划分成正交的一系列子载波集，将不同的子载波集分配给不同的用户实现多址

- 将信号分割成多个小的子信号，然后再以不同但相互正交的频率同时发送
- OFDMA与CDMA不同处在于OFDMA使用大量的正交窄带子载波来承载数据，与CDMA用单一载波承载单一数据相比，OFDMA更能对抗多径效应
- 频谱利用率高，减少了串扰在信号传输的数量，并且可以有效地克服干扰和造成的多径频率选择性衰落

Why OFDM Contd...

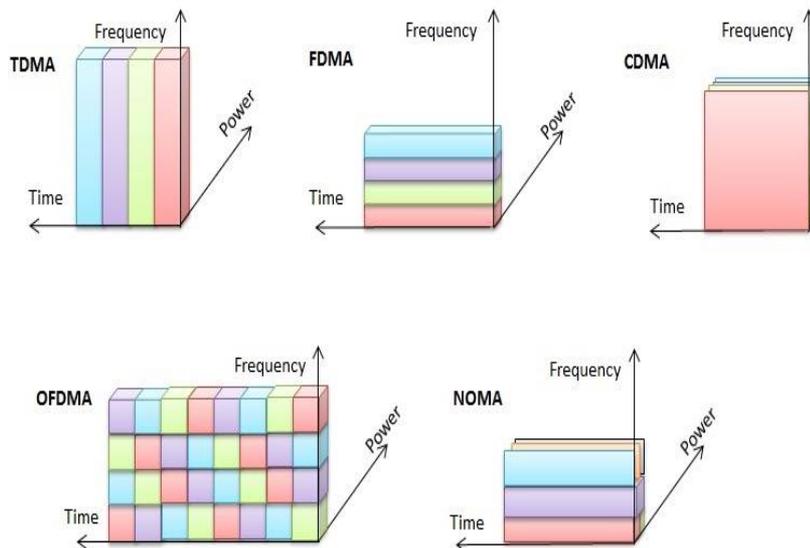
- reduces ISI
- minimizes the effect of multipath fading
- results in bandwidth saving



❑ 在卫星通信中，通过卫星转发器的中继，多个用户信号在射频信道上进行复用，建立各自的信道，从而实现点到多点的多边通信，即多址技术

- 如果各地面站的信号是用频率分隔的，就是FDMA
- 如果是用时间分隔的，则是TDMA
- 在CDMA中，地面站将扩频传输与正交码结合使用，以便在无干扰情况下共享一个转发器
- SDMA则利用智能天线技术将空间分割成不同信道来进行通信
- OFDMA则利用呈正交性的子载波来进一步提升频谱利用率

❑ 多址的目标就是最大化卫星的通信容量，有效使用带宽，维持灵活性，以及在最小化用户费用的同时使运营商的收益达到最大



□ 下节课内容

3.1 接收机输入端的载噪比





Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容



卫星通信概述 (5学时)



卫星通信基本技术 (9学时)



卫星通信链路设计 (4学时)



卫星通信网 (3学时)



移动卫星通信系统 (3学时)

第三章 卫星通信链路设计

3.1

接收机输入端的载噪比

3.2

卫星通信链路的C/T值

3.3

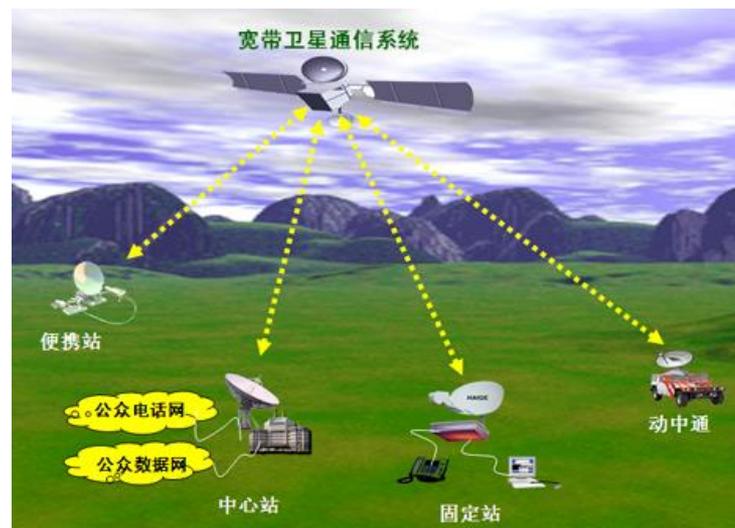
数字卫星链路的计算

□ 卫星通信链路设计的主要目的

- 尽量有效地在地球上两个通信点之间提供可靠而又高质量的连接手段

□ 卫星通信链路的组成

- 地球站——>卫星，上行链路
- 卫星
- 卫星——>地球站，下行链路



□ 链路中各部分都有它本身的特性。系统设计人员要考虑链路各部件的特性，使得链路总体性能最佳

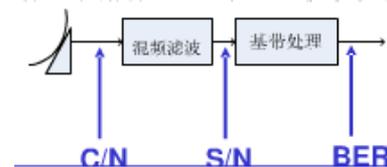
- 当终点地球站是移动终端时，接收天线很小，导致接收载波电平很低。因此，在这种应用中，移动终端-卫星的链路设计是关键部位

□ 链路中传递信息的质量、数量和实际限制，如经济和技术状态之间，要经过多次综合平衡。如要求以很高质量传递大量信息，可能会出现无法接受的高成本



□ 卫星通信链路设计的指标

- 数字链路: BER (比特误码率)
- 模拟链路: S/N (信噪比)



□ BER或S/N是由接收机解调器输入端载噪比C/N，即载波功率与噪声的比值决定的

□ 在进行卫星通信链路的设计或分析时，为了满足一定的通信容量和传输质量，需要对接收机输入端的载噪比提出一定的要求

- 一般要求 $C/N > 6\text{dB}$
- 若C/N小于10dB，有必要使用纠错编码等提升可靠性传输的手段

□ 载噪比与发射端的发射功率、天线增益，传输过程中的各种损耗及引入的各种噪声和干扰，以及接收系统的天线增益、噪声性能等因素有关

□ 由于存在某些不稳定因素(如降雨等)，因此载噪比的设计还要留有一定的余量



3.1.1 接收机输入端的载波功率

□ 通量密度

➤ 假设自由空间中有一个各向同性发射源，在距离为R米处穿过球面的通量密度为

$$F = \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad \text{W/m}^2$$

➤ 实际天线都是有向天线，即在某方向的辐射功率大于其它方向的辐射功率。通常以辐射功率最大的方向作为基准角，假设天线增益为 G_t ，则天线视轴方向上距离R处的通量密度为

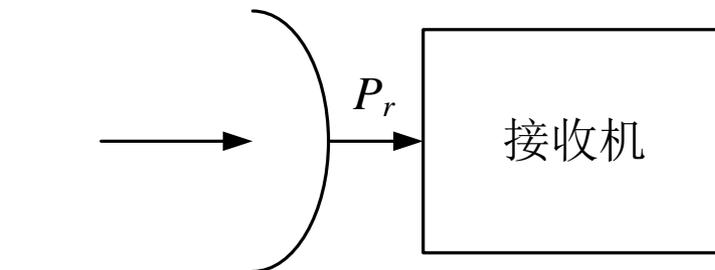
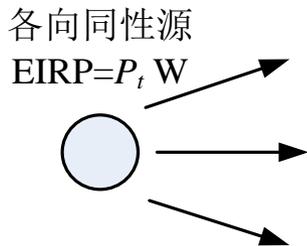
$$F = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \quad \text{W/m}^2$$

□ 接收功率

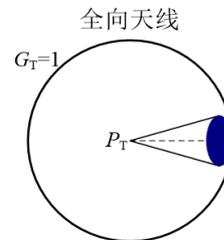
➤ 若采用有效孔径面积为 A_e 的天线，实际天线的接收功率为

$$P_r = F \times A_e = \frac{P_t G_t A_e}{4\pi R^2}$$

通量密度 $F \text{ W/m}^2$

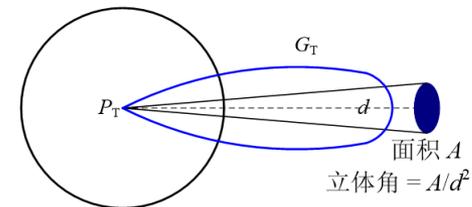


接收天线面积 $A \text{ m}^2$ ，增益 G_r



单位立体角的辐射功率为 $P_T/(4\pi)$

实际天线



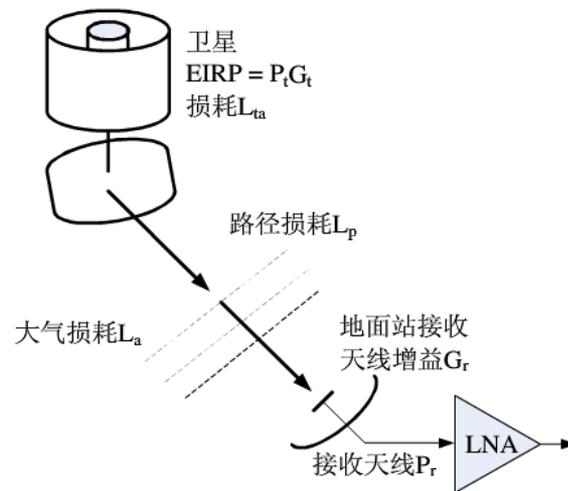
W 单位立体角的辐射功率为 $P_T G_T/(4\pi)$

□ 接收天线增益和面积的关系 $G_r = 4\pi A_e / \lambda^2$

□ 链路方程
$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{(4\pi R / \lambda)^2} W$$

即 接收功率 = $\frac{EIRP \times \text{接收天线增益}}{\text{路径损耗}} W$

写成分贝表达式则为
$$P_r = EIRP + G_r - L_p \text{ dBW}$$



□ 上式表示的是一种理想情况，实际中需考虑附加损耗，因此通常将链路方程表示为具有系统裕量的更一般的形式

$$P_r = EIRP + G_r - L_p - L_a - L_{ta} - L_{ra} \text{ dBW}$$

- 等效全向辐射功率
- 接收天线产生的损耗 (馈线、指向)
- 发射天线产生的损耗 (馈线、指向)
- 大气衰减 (冰、雨、雪、水蒸气等)

-
- 例：卫星与地球地面站距离40000km，辐射功率10W，天线指向地面站，增益17dB。求接收点通量密度？采用有效面积10m²的天线可以接收到的功率？

$$F = P_t G_t / (4\pi R^2) = 10 \times 50 / (4\pi \times (4 \times 10^7)^2) = 2.49 \times 10^{-14} \text{ W / m}^2$$

$$A_e = 10 \text{ m}^2, P_r = F \times A_e = 2.49 \times 10^{-13} \text{ W}$$

- 采用分贝计算： $F(\text{dB}) = 10\lg(P_t G_t) - 20\lg(R) - 10\lg(4\pi)$
 $= 27.0 - 152.0 - 11.0 = -136.0 \text{ dB}(\text{W / m}^2)$
 $P_r = -136.0 + 10 = -126 \text{ dBW}$

- 如果卫星工作频率为11GHz，接收天线增益为52.3dB，求接收功率

$$P_r = \text{EIRP} + G_r - L_p (\text{dBW})$$

$$\text{EIRP} = 27.0 \text{ dBW}, G_r = 52.3 \text{ dB}$$

$$L_p = (4\pi R / \lambda)^2 = 20\lg(4\pi R / \lambda) \text{ dB}$$

$$= 20\lg\left[\frac{4\pi \times 4 \times 10^7}{2.727 \times 10^{-2}}\right] \text{ dB} = -205.3 \text{ dB}$$

$$P_r = 27.0 + 52.3 - 205.3 = -126.0 \text{ dBW}$$

自由空间传输损耗

$$L_p = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 \quad \text{或} \quad [L_p] = 20\lg\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)$$

如距离 d 的单位为km, 频率 f 的单位为GHz, 则自由空间传输损耗可表示为

$$L_p \text{ (dB)} = 92.44 + 20\lg d + 20\lg f$$

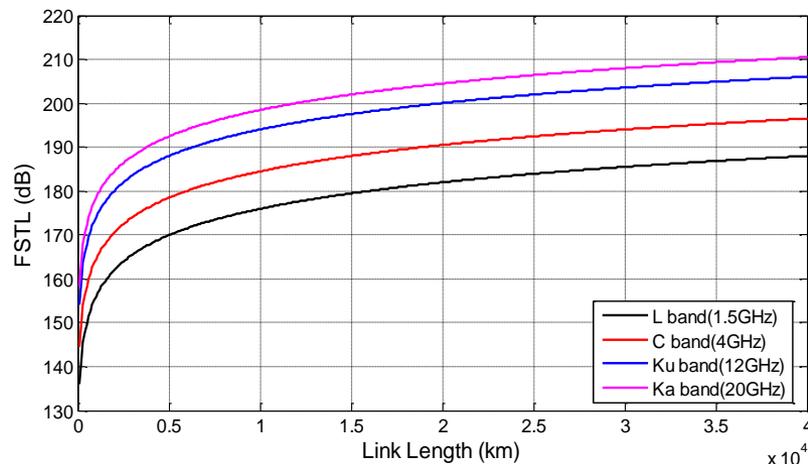
自由空间传输损耗随着距离的增加, 频率的增高而增大

例: 卫星和地球站之间距离为42,000km。计算工作频率为6GHz时的自由空间传输损耗

解:

$$\begin{aligned} L_f &= 92.44 + 20\lg d + 20\lg f \text{ (dB)} \\ &= 92.44 + 20\lg(42000) + 20\lg(6) = 200.46 \text{ (dB)} \end{aligned}$$

	LEO卫星	GEO卫星
链路长度	2763 km	40000 km
上行频率	1.6 GHz	6 GHz
上行自由空间传输损耗	165.3 dB	200.05 dB
下行频率	1.5 GHz	4 GHz
下行自由空间传输损耗	164.8 dB	196.53 dB



□ 传输衰减

- 大气损耗
- 电离层效应
- 雨衰
- 其它传输衰减

□ 大气损耗

- 大气吸收，大气层气体对信号能量的吸收
- 大气闪烁，无线电波在大气中的聚焦和散焦导致的衰减
- 大气衰减，由多变的天气条件引起的损失

□ 电离层效应

- 电离层闪烁
- 电离层吸收
- 传输信号到达方向的变化
- 传输延时
- 电离层散射
- 频率漂移
- 极化旋转/法拉第(Faraday)旋转
- 所有上述的影响随着频率的升高而降低，大部分与频率的平方成反比关系



传播衰减	物理原因	主要影响
衰减和天空噪声的增加	大气气体，云，雨	10 GHz以上频率
信号去极化	雨，冰晶	C和Ku波段的双极化系统（依赖于系统设计）
折射、大气多径	大气气体	低仰角的通信和跟踪
信号闪烁	对流层和电离层（60km以上）的折射率波动	对流层影响10 GHz以上频段和低仰角；电离层影响10 GHz以下频段
反射多径，阻塞	地区表面以及地面物体	移动卫星通信服务
传播延时，延时抖动	对流层和电离层	精确定时和定位系统，TDMA系统
系统间干扰	大气波导，散射和衍射	目前主要影响C频段。降雨散射在更高频段更加显著

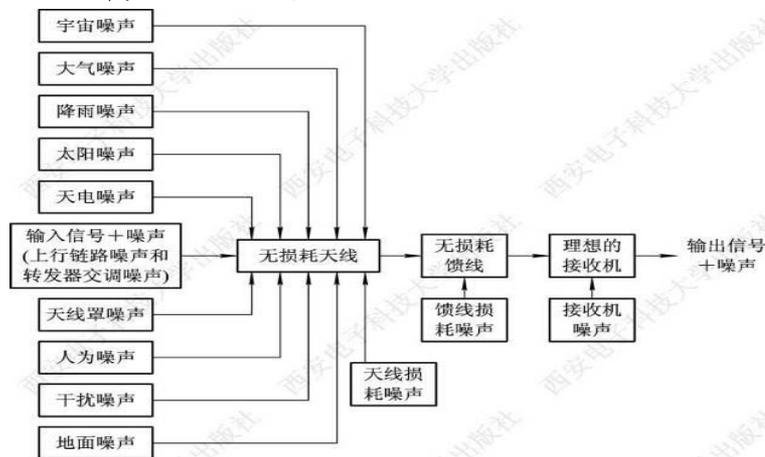
3.1.2 接收机输入端的噪声功率

- 在卫星通信链路中，地球站接收到的信号是极其微弱的，相应的噪声的影响就会提高，具体可以分为外部噪声和内部噪声两大类
- 外部噪声

- 宇宙噪声，主要包括银河系辐射噪声，太阳射电辐射噪声，月球、行星及射电点源的射电辐射噪声。卫星工作频率在1GHz以下时，银河系辐射噪声影响较大，故一般就将银河系噪声称为宇宙噪声
- 大气噪声，大气除了产生吸收现象外，还同时产生噪声。通常天线波束内的大气，将在天线输出上产生随入射角而变化的大气噪声。这种影响在入射角小时，将急剧增加
- 降雨噪声，降雨除了会引起无线电波的损耗外，同时也会产生噪声。实践证明，卫星工作频率在4GHz时，噪声温度的上升最大可达100K。国际卫星通信组织设计4GHz接收系统时，为了避免暴雨的影响，考虑到天线口径通常都小于10m，其降雨噪声余量通常取1~2dB
- 干扰噪声，这是来自其它地面通信系统的干扰电波引起的噪声
- 地面噪声，在天线副瓣较大的情况下，会混进来一些直接由地面温度引起的噪声以及由地面反射的大气噪声，这些噪声叫做地面噪声。通过天线设计，可以把此噪声温度控制在3~20K

内部噪声

- 上行链路噪声和转发器交调噪声，上行链路噪声主要由转发器接收系统产生，其大小取决于卫星天线增益和接收机噪声温度。转发器交调噪声主要是由于行波管放大器同时放大多个载波，因非线性特性而产生的。这些噪声将随信号一起，经下行链路而进入接收系统
- 天线罩噪声
- 人为噪声
- 接收系统内部的噪声，主要来自馈线、放大器和变频器等部分



- 基于电子线路分析，各种外部噪声和天线损耗噪声综合在一起，进入接收系统的噪声功率应为

$$N = kT_e B$$

N 为进入接收系统的噪声功率；
 T_e 为天线的等效噪声温度；
 $k=1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 为波尔兹曼常数；
 B 为接收系统的等效噪声带宽

- 根据接收机输入端的载波功率和噪声功率，可得接收机输入端的载波噪声功率比为

$$\frac{C}{N} = \frac{P_T G_T G_R}{L_p} \cdot \frac{1}{kT_e B}$$

以分贝(dB)表示为 $\left[\frac{C}{N} \right] = [\text{EIRP}] - [L_p] + [G_R] - 10 \lg(kT_e B)$

- 无论模拟通信系统要保证话路输出端信噪比S/N为一定值，还是数字通信系统满足一定的传输速率与误码率要求，都需要接收系统输入端载噪比C/N达到一定的数值
- 如果卫星通信链路的通信容量和传输质量等方面的指标已经确定，那么接收机输入端要达到的载噪比也就确定了

□ 卫星转发器接收机输入端的载噪比 $[C/N]_S$ 为

$$\left[\frac{C}{N} \right]_S = [EIRP]_E - [L_{PU}] + [G_{RS}] - [L_{FRS}] - [L_a] - 10 \lg(kT_S B_S)$$

$EIRP_E$: 地球站有效全向辐射功率

L_a : 大气损耗

L_{PU} : 上行链路自由空间传输损耗

G_{RS} : 卫星转发器接收天线的增益

L_{FRS} : 卫星转发器接收系统的馈线损耗

T_S : 卫星转发器输入端的等效噪声温度

B_S : 卫星转发器接收机的带宽

$EIRP_S$: 卫星转发器的有效全向辐射功率

L_D : 下行链路传输损耗

G_{RE} : 地球站接收天线有效天线增益为

T_i : 地球站接收机输入端等效噪声温度

B : 地球站接收机的频带宽度

□ 地球站接收机输入端的载噪比 $[C/N]_E$ 为

$$\left[\frac{C}{N} \right]_E = [EIRP]_S - [L_D] + [G_{RE}] - 10 \lg(kT_i B)$$

□ 当转发器设计好了之后, $[EIRP]_S$ 的值就确定了。如果地球站的工作频率和通信容量均已确定, L_D 和 B 的值也是确定的, 则接收机输入端载波噪声比 C/N 将取决于 地球站的性能因数 G_{RE}/T_D , 通常简写为 G/T 。显然 G/T 的值越大, C/N 的值越高, 表明接收系统的性能就越好

3.2 卫星通信链路的C/T值

- 无论模拟通信系统要保证话路输出端信噪比S/N为一定值，还是数字通信系统满足一定的传输速率与误码率要求，都需要接收系统输入端载噪比C/N达到一定的数值
- 如果卫星通信链路的通信容量和传输质量等方面的指标已经确定，那么接收机输入端要达到的载噪比也就确定了
- 载噪比C/N的公式是带宽B的函数，故缺乏一般性，对不同带宽的系统不便于比较
- 若改用载波功率与等效噪声温度之比C/T值表示，则与带宽B无关，因此，通常都把C/T值作为卫星通信链路的一个重要参数

$$\frac{C}{T} = \frac{C}{N} \cdot k \cdot B$$

- 地球站接收系统输入端的噪声 N_t 包括了地球接收系统本身的噪声 N_D 、上行链路噪声 N_U 和转发器的交调噪声 N_I 。虽然这三部分噪声到达接收机输入端时已经混合在一起，但因各部分噪声之间彼此是独立的，所以计算噪声功率时，可以将三部分相加，即

$$N_t = N_U + N_I + N_D = k(T_U + T_I + T_D)B = kT_t B$$

则有 $T_t = T_U + T_I + T_D$ ， T_U 、 T_I 和 T_D 分别表示上行链路热噪声、卫星转发器交调噪声和下行链路的热噪声

□ 上行链路的 C/T_U 值

➤ 根据分析可得

$$\left[\frac{C}{T} \right]_U = \left[\frac{C}{N} \right]_S + [B_S] + 10 \lg k \quad \text{即} \quad \left[\frac{C}{T} \right]_U = [\text{EIRP}]_E - [L_U] + \left[\frac{G_{RS}}{T_S} \right]$$

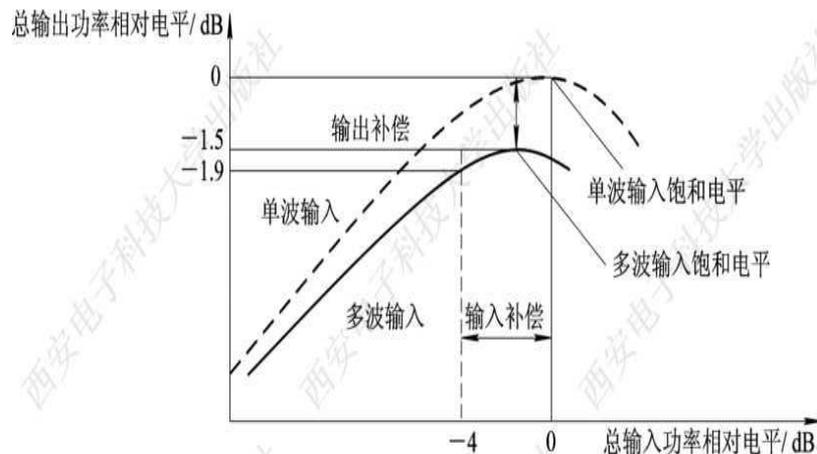
□ G_{RS}/T_S 值的大小直接关系到卫星接收性能的好坏，故将它称为卫星接收机的性能因数 (或品质因数)，通常简写为 G/T 。 G/T 值越大， C/T 值越大，接收性能就越好

□ 以上讨论的是卫星转发器只放大一个载波的情况。而在频分多址(FDMA)系统中，一个转发器要同时放大多个载波。为了抑制因交调所引起的噪声，需要使总输入信号功率从饱和点减少一定数值

□ 以上讨论的是卫星转发器只放大一个载波的情况。而在频分多址(FDMA)系统中，一个转发器要同时放大多个载波。为了抑制因交调所引起的噪声，需要使总输入信号功率从饱和点减少一定数值

➤ 通常把行波管放大单个载波时的饱和输出电平与放大多个载波时工作点的总输出电平之差，称为输出补偿

➤ 把放大单个载波达到饱和输出时的输入电平与放大多个载波时工作点的总输入电平之差，称为输入补偿



行波管的输入、输出特性

□ 下行链路的 C/T_D 值

➤ 在下行链路中，卫星转发器为发射系统，地球站为接收系统。用上述同样的方法可以求得

$$\left[\frac{C}{T} \right]_D = [\text{EIRP}]_S - [L_D] + \left[\frac{G_{RE}}{T_D} \right]$$

$[G_{RE}/T_D]$ 称为地球站性能因数

□ 交调噪声的 C/T_I 值

➤ 卫星转发器同时放大多个信号载波时（频分多址方式），由于“行波管放大器”的非线性使信号产生高次谐波而互相影响的互调产物，对其影响的频带来看就成为互调噪声

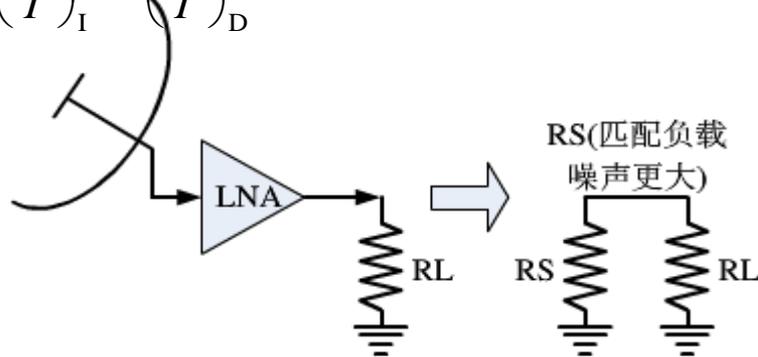
$$\left[\frac{C}{T} \right]_I = \left[\frac{C}{N} \right]_I + 10 \lg k + 10 \lg B = \left[\frac{C}{N} \right]_I - 228.6 + [B]$$

□ 根据上行链路、下行链路和交调噪声的 C/T 值，可以推得整个卫星链路的 C/T 为

$$\left(\frac{C}{T} \right)_t = \left(\frac{C}{T} \right)_U + \left(\frac{C}{T} \right)_I + \left(\frac{C}{T} \right)_D$$

□ 卫星离地面距离很远，所以信号强度一般很低，为了达到指定的载噪比，必须采用低噪声放大器+降低中频带宽

□ 常用GaAsFET管放大器噪声温度大约在30K-200K之间



□ 门限

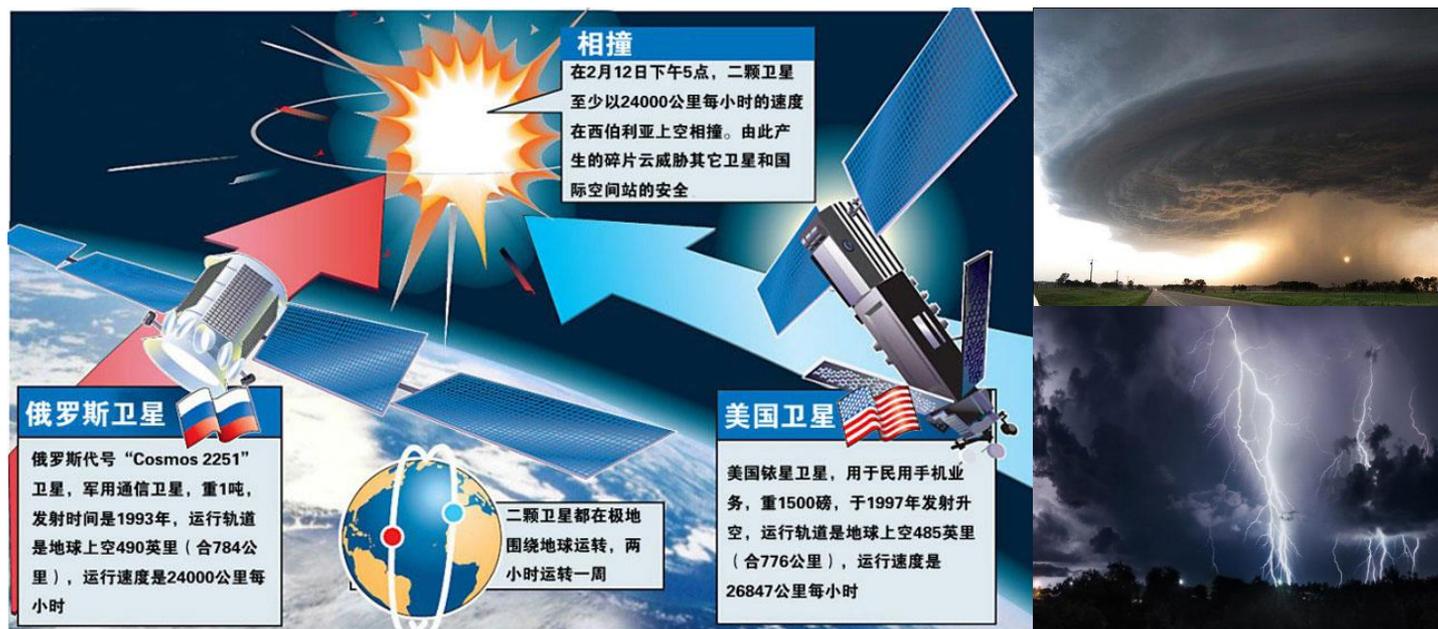
- 容许的最低C/T值，用 $[C/T]_{th}$ 表示

□ 门限余量

- 为了保证在某些因素变化后仍能使其通信质量满足要求而必须留有一定的余量，以 $[M]_{th}$ 表示

$$[M]_{th} = \left[\frac{C}{T} \right] - \left[\frac{C}{T} \right]_{th}$$

通常考虑到雨、雪等气象条件设备的不稳定性及器件的老化等因素的影响，因此该门限余量应取适当值



□ 下节课内容

3.3 数字卫星链路的计算

4.1 卫星通信网的网络结构





Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容



卫星通信概述 (5学时)



卫星通信基本技术 (9学时)



卫星通信链路设计 (4学时)



卫星通信网 (3学时)



移动卫星通信系统 (3学时)

第三章 卫星通信链路设计

3.1 接收机输入端的载噪比

3.2 卫星通信链路的C/T值

3.3 数字卫星链路的计算

3.3.1 主要通信参数的计算方法

□ 数字卫星系统传输质量可靠性指标的误码率 P_e 作为链路标准

- 传输话音的链路标准取误码率 $P_e \leq 10^{-4}$
- 数字卫星通信中大多基于PSK调制方式，通常为2PSK或QPSK，高阶则基于QAM

□ 归一化信噪比 E_b/n_0

- 当接收数字信号时，载波接收功率与噪声功率之比C/N可以写成

$$\left[\frac{C}{N} \right]_t = \frac{E_b R_b}{n_0 B} = \frac{E_s R_s}{n_0 B} = \frac{(E_b \log_2 M) R_s}{n_0 B}$$

E_b 为每单位比特信息能量； E_s 为每个数字波形能量，对于M进制，则有 $E_s = E_b \log_2 M$ ； R_s 为码元传输速率（波特速率）； R_b 为比特速率，且 $R_b = R_s \log_2 M$ ； B 为接收系统等效带宽； n_0 为单边噪声功率谱密度

误码率 = $\frac{\text{传输中的误码}}{\text{所传输的总误码}} * 100\%$

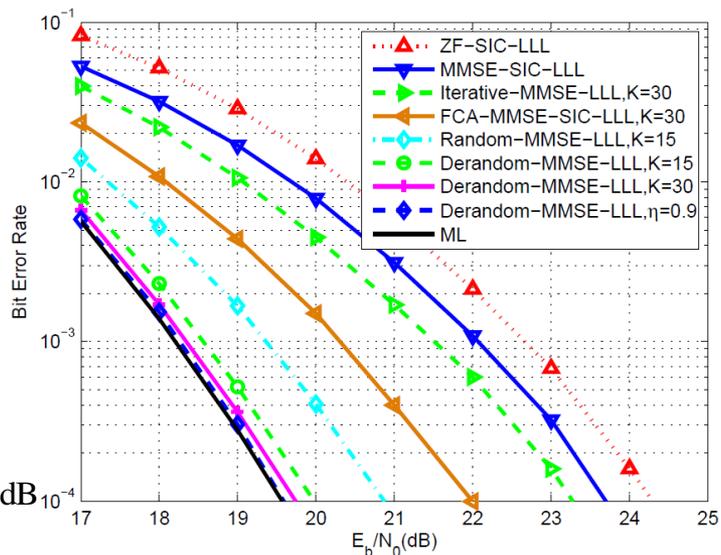
误比特率 = $\frac{\text{传输中的错误比特数}}{\text{所传输的总比特数}} * 100\%$

□ 误码率与归一化信噪比的关系

- 对于2PSK或QPSK，有

$$P_e = \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{n_0}} \right)$$

当 $P_e = 10^{-4}$ 时，归一化理想门限信噪比为 $\left[\frac{E_b}{n_0} \right]_{th} = 8.4 \text{ dB}$



□ 门限余量

- 当仅考虑热噪声时，为保证误码率 $P_e=10^{-4}$ ，必须的理想门限归一化信噪比为8.4dB，则门限余量 $[M]_{th}$ 可由下式来确定

$$[M]_{th} = \left[\frac{C}{N} \right]_t - \left[\frac{C}{N} \right]_{th} = \left[\frac{E_b}{n_0} \right] - \left[\frac{E_b}{n_0} \right]_{TH} = \left[\frac{E_b}{n_0} \right] - 8.4$$

- 考虑到TDMA地球站接收系统和卫星转发器等设备特性不完善所引起的性能恶化，必须采取门限余量作为保障措施

□ 接收系统最佳频带宽度 B

- 接收系统的频带特性是根据误码率最小的原则确定的。根据奈奎斯特速率准则，在频带宽度(简称带宽)为 B 的理想信道中，无码间串扰时码字的极限传输速率为 $2B$ 波特
- 由于PSK信号具有对称的两个边带，其频带宽度为基带信号频带宽度的两倍。因此，为了实现对PSK信号的理想解调，系统理想带宽应等于波形传输速率(波特速率) R_s
- 为了减小码间干扰，一般要求选取较大的频带宽度。通常取最佳带宽为

$$B = (1.05 \sim 1.25)R_s = \frac{(1.05 \sim 1.25)R_b}{\log_2 M}$$

□ C/T值

- 满足传输速率和误码率要求所需的C/T值为

$$\left(\frac{C}{T} \right)_t = \left(\frac{C}{N} \right)_t \cdot k \cdot B = \frac{E_b}{n_0} \cdot k \cdot R_b$$

用分贝表示为 $\left[\frac{C}{T} \right]_t = \left[\frac{E_b}{n_0} \right] + 10 \lg k + 10 \lg R_b$ ，则C/T门限为 $\left[\frac{C}{T} \right]_{th} = \left[\frac{E_b}{n_0} \right]_{th} + 10 \lg k + 10 \lg R_b$

3.3.2 PSK/TDMA与PSK/FDMA方式

□ 例：已知工作频率为6/4GHz，利用IS-IV卫星，卫星转发器 $[G/T]_s = -18.6$ dB/K， $[W_s] = -72$ dBW/m²， $[EIRP]_{ss} = 23.5$ dBW，上行传播衰减为200.6dB，下行传播衰减为196.7dB。考虑到卫星行波管存在AM/AM和AM/PM转换等非线性特性的影响会使误码率变坏，为此采取一些必要的输入、输出补偿，取 $[BO]_I = 6$ dB， $[BO]_O = 2$ dB。又知标准地球站 $[G_{RE}/T_D] = 40.7$ dB/K，链路标准取误码率 $P_e \leq 10^{-4}$ ， $d = 40000$ km， $R_b = 60$ Mb/s。试计算QPSK-TDMA数字链路的参数

解：(1)求接收系统的最佳带宽 B

$$B = \frac{(1.05 \sim 1.25) \times 60}{2} = (31.5 \sim 37.5)$$

则取 $B = 35$ MHz

(2)确定满足传输速率和误码率要求所需的 $[C/T]_{th}$ 值

当要求 $P_e \leq 10^{-4}$ 时，有 $[E_b/n_0] \geq 8.4$ dB。考虑到差分译码引起的误码，取 $[E_b/n_0] = 10.4$ dB，可得

$$\left[\frac{C}{T} \right]_{th} = \left[\frac{E_b}{n_0} \right] + 10 \lg k + 10 \lg R_b = 10.4 - 228.6 + 77.8 = -140.4$$

(3)计算卫星链路实际达到的 C/T 值

①求地球站和卫星有效全向辐射功率：

$$[EIRP]_E = -72 - 6 + 200.6 - 37 = 85.6 \text{ dBW}$$

$$[EIRP]_s = 23.5 - 2 = 21.5 \text{ dBW}$$

②求 C/T 值：

$$[C/T]_U = 85.6 - 200.6 - 18.6 = -133.6 \text{ dBW/K}$$

$$[C/T]_D = 21.5 - 196.7 + 40.7 = -134.5 \text{ dBW/K}$$

因为TDMA方式不存在多载波工作产生的交调干扰，可得

$$\left[\frac{C}{T} \right]_t = -10 \lg(10^{13.36} + 10^{13.45}) = -137.1 \text{ dBW/K}$$

(4)计算门限余量 $[M]_{th}$

$$[M]_{th} = \left[\frac{C}{T} \right]_t - \left[\frac{C}{T} \right]_{th} = -137.1 - (-140.4) = 3.3 \text{ dB}$$

□ 信息速率的计算

- 功率受限下的信息速率，在卫星转发器功率受限的情况下，说明卫星的有效全向辐射功率 $[EIRP]_S$ 是固定不变的。根据下行链路方程可以得到

$$\left[\frac{E_b}{n_0} \right] = [EIRP]_S - [L_D] + [G_{RE}] - 10 \lg(kTB) - [M]$$

即 $[R_p] = [EIRP]_S - [L_D] - \left[\frac{E_b}{n_0} \right] + \left[\frac{G_{RE}}{T_D} \right] - 10 \lg k - [M]$ ， R_p 为卫星链路在功率受限条件下的信息传输速率， $[M]$ 为系统余量

- **例：**已知 $[EIRP]_{SS} = 23.5$ dBW，工作频率为 6/4 GHz， $[L_D] = 196.7$ dB ($f = 4$ GHz)。当采用 QPSK 调制时， $[E_b/n_0] = 8.4$ dB，收端地球站性能因数 $[G_{RE}/T_D] = 40.7$ dB/K，其它衰减 $[L_r] = 1.5$ dB。试计算卫星链路的信息传输速率

解：取 $[M] = 7.5$ dB，因 $10 \lg k = -228.6$ ，可得

$$[R_p] = 23.5 - 196.7 - 8.4 - 1.5 + 40.7 - (-228.6) - 7.5 = 78.7 \text{ dB}$$

即 $R_p \approx 60$ Mb/s

- 频带受限下的信息速率，在卫星频带受限的情况下，转发器带宽与码元速率之比可近似地表示为

$$k_{WR} = \frac{B_S}{R_b} = \frac{B_S}{\log_2 M \cdot m}$$

即 $[R_b] = [B_S] + [lbM] - [k_{WR}]$ ， B_S 为卫星转发器带宽； R_b 为带宽受限条件下的信息速率； m 为信息速率与码元速率之间的关系， $m = lbM$ 。对于 QPSK 调制 ($M = 4$)， $m = 2$ ； k_{WR} 一般取 1.2

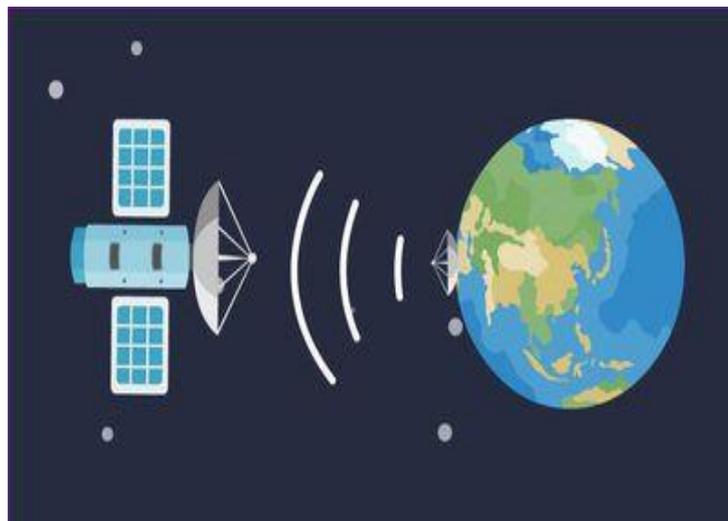
□ 系统容量的确定

- 对于信息速率的计算，在功率受限和频带受限的情况下，所求的 R_p 与 R_b 相差不多，都接近于60 Mb/s
- 若计算结果出现 $R_p < R_b$ 的情况，但要求卫星链路的传输速率 R_p 不能低于系统传输速率 R_b 时，为了不致使系统的误码率 P_e 增大而降低通信质量，可采用前向纠错编码等措施
- 反之，若计算结果出现 $R_p > R_b$ 的情况，而确定系统传输速率为 R_b 时，则表明卫星转发器的功率尚有余量，可以采用MPSK调制
- 在求得卫星链路信息速率之后，便可根据帧周期、分帧数目等求出系统通路容量
- 卫星链路一帧内传输的比特数 = 一帧内 n 路话音编码后传送的比特数 + 一帧内各分帧报头所含的比特数
- 若以 R 表示卫星链路的比特数，以 P 表示每一分帧内报头所含的比特数，以 R_{ch} 表示每一话路编码后的比特速率，以 T_f 表示帧周期， n_f 表示一帧内的分帧数(站数)，则上式可表示为

$$n = \frac{1}{R_{ch}} \left(R - \frac{n_f \cdot P}{T_f} \right)$$

- 例：以IS-V系统参数为例，若取 $R=60\text{Mb/s}$ ，采用PCM编码后，每话路的比特数为 $R_{ch}=64\text{kb/s}$ 。已知共有10个站， $P=150\text{bit}$ ， $T_f=750\mu\text{s}$ 。试计算其系统容量

$$n = \frac{1}{64 \times 10^3} \left(60 \times 10^6 - \frac{10 \times 150}{750 \times 10^{-6}} \right) \approx 900 \text{ (单向话路)}$$



□ SCPC/PSK/FDMA方式

- 地址数较多，但业务量很小的地球站可采用SCPC方式
- SCPC/PSK方式，它以一个载波只传输一路数字电话或相当于一路数字电话的数据
- 常使用信道预分配的方式，不需要使用计算机或交换机等按呼叫分配链路的设备，系统简单，成本低
- IS-IV和IS-V系统中，将一个带宽为36MHz的转发器用于传输SCPC/PSK信号，载波间隔定为45kHz，则大约可安排800个通路(载波)



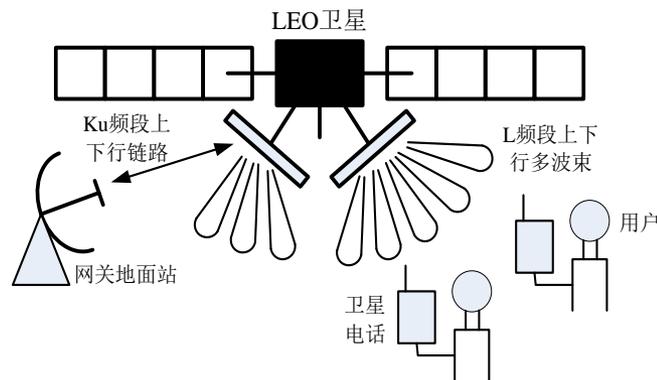
□ 卫星通信系统总体设计的一般程序(假定使用的通信卫星、工作频段、通信业务类别、容量及站址等已确定)

- 确定传送信号质量
- 根据总通信量确定使用的多址方式
- 决定地球站天线直径
- 根据电话、电视等业务的要求，确定系统配置，包括各类附属设备、专用设备以及地面传输系统设备等
- 按照相应规范要求，确定总体系统指标，并对各分系统提出分指标要求
- 对各分系统设备进行设计



3.3.3 系统设计实例—LEO卫星个人通信系统

- 链路中传递采用较低频段L波段(1500MHz~1600MHz)或S波段(2460 MHz)
- 卫星相对地面速度7.7Km/s, 单波束直径500km, 接入时间小于1min, 采用波束自动切换保持通信连续
- 话音采用语音压扩技术, 4800bps数据速率, 前向FEC
- 卫星链路4条: 输出上行链路, 输出下行链路, 输入上行链路, 输入下行链路
- 卫星参数
 - 饱和输出功率10W
 - 转发器带宽1MHz
 - 移动终端上行链路频率1650MHz
 - 移动终端下行链路频率1550MHz
 - 网关站点上行链路频率14GHz
 - 网关站点下行链路频率11.5GHz
 - 14GHz上行链路天线增益3dB
 - 11.5GHz下行链路天线增益3dB
 - 卫星接收机系统噪声温度500K
 - 覆盖区最大距离2200km



□ 移动终端参数

- 发射机输出功率0.5W
- 天线增益(发射与接收)0dB
- 接收机系统噪声温度300K
- 发射比特速率4800bps
- 接收比特速率96kbps
- 规定最大比特误码率 10^{-4}

□ 网关站点参数

- 发射机输出功率(最大值/转发器)10W
- 天线增益(发射, 14GHz)55dB
- 天线增益(接收, 11.5GHz)53.5dB
- 接收系统噪声温度(晴天)140K
- 发射比特速率(FEC编码前)300kbps
- 接收比特速率(FEC解码后)4800bps
- 规定最大比特误码率 10^{-4}

□ BER= 10^{-4} , $S/N = 1/4P_c = 34\text{dB}$, BPSK调制 $\Rightarrow B_n =$ 比特速率, 采用升余弦 $\alpha=0.5$ 的滤波器 \Rightarrow 系统实际带宽 = 7.2KHz

□ BPSK解调器对应语音信道 $S/N=34\text{dB}$ 时的C/N理论值8.4dB, 实际上考虑滤波器非理想等因素, C/N最小值增加0.6dB裕量=9dB

□ 上行链路功率预算

- 手机单元的EIRP $P_t G_t$ -3dBW
- 接收天线增益 G_r 23dB
- 1650MHz路损 L_p -163.6dB
- 其他损耗 L_m -3.5dB
- 卫星端的接收功率 P_r -147.1dBW

□ 转发器噪声功率计算

- 波尔兹曼常数k -228.6dBW/K/Hz
- 系统噪声温度 T_s 27dBK
- 噪声带宽 B_n 36.8dBHz
- 噪声功率N -164.8dBW



□ $(C/N)_{up} = P_r/N = -147.1\text{dBW} - (-164.8\text{dBW}) = 17.7\text{dB}$

□ 计算路径损耗时按照最大距离2200km计算，天线在最远距离时增益下降3dB，大气损耗0.5dB，所以其他损耗-3.5dB

□ 卫星到网关站点链路

- 系统采用FDMA模式，50路用户，按照准线性工作，10W饱和输出功率只能5W输出，平均分配给50路用户，每个用户分到的功率为0.1W=-10dBW
- 按照最远距离2200km、天线增益在-3dB等高线、大气损耗-0.5dB计算，其他损耗计3.5dB

□ 下行链路功率预算

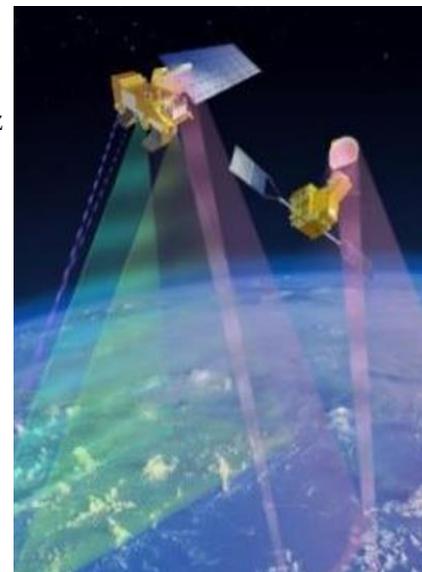
- 每条信道的EIRP $P_t G_t$ -10dBW
- 接收天线增益 G_r 53.5dB
- 11.5GHz时路径损耗 L_p -180.5dB
- 其他损耗 L_m -3.5dB
- 卫星端的接收功率 P_r -140.5dBW

□ 网关站点噪声功率计算

- 波尔兹曼常数 k -228.6dBW/K/Hz
- 系统噪声温度 T_s 21.5dBK
- 噪声带宽 B_n 36.8 dBHz
- 噪声功率 N -170.3dBW

□ $(C/N)_{dn} = P_r/N = -140.5 - (-170.3) = 29.8\text{dB}$

□ 输入链路 $(C/N)_0 = 1/(C/N)_{up} + 1/(C/N)_{dn} = 55.5 = 17.4\text{dB}$



□ 上行链路(网关=>卫星)预算

- 网关站点EIRP $P_t G_t$ 65.0dBW
- 接收天线增益 G_r 3.0dB
- 14.0GHz时的路径损耗 L_p -182.2dB
- 杂散损耗 L_m -4.0dB
- 卫星端的接收功率 P_r -118.2dBW
- 波尔兹曼常数 k -228.6dBW/K/Hz
- 系统噪声温度 T_s 27dBK
- 噪声带宽 B_n 54.8dBHz
- 噪声功率 N -164.8dBW
- 上行链路C/N $(C/N)_{up} = -118.2 - (-146.8) = 28.6dB$

□ 下行链路(卫星=>移动用户)预算

- 卫星的EIRP $P_t G_t$ 32.0dBW
- 接收天线增益 G_r 0dB
- 1550MHz时的路径损耗 L_p -163.1dB
- 其他损耗 L_m -3.5dB
- 移动端接收功率 P_r -134.6dBW
- 波尔兹曼常数 k -228.6dBW/K/Hz
- 系统噪声温度 T_s 24.8dBK
- 噪声带宽 B_n 54.8dBHz
- 噪声功率 N -149.0dBW
- 下行链路C/N $(C/N)_{dn} = -134.6 - (-149.0) = 14.4dB$

□ 输出链路总的 $(C/N)_0$

- $(C/N)_0 = 1/[1/(C/N)_{up} + 1/(C/N)_{dn}] = 26.5$ (14.2dB)
- 比较输出链路C/N (14.2dB, 裕量5.2dB) 与输入链路的C/N (17.4dB, 裕量8.4dB), 可知输出链路裕量较小, 是系统薄弱环节
- 改进方法: 半速率FEC纠错编码 => C/N门限可以降低至3.5dB, 带宽增加一倍 => 噪声功率增加3dB => 各级C/N下降3dB => 输出链路、输入链路 $(C/N)_0$ 各降3dB。总系统性能改善了2.5dB
- 改进后输入链路: $(C/N)_{up} = 14.7dB$, $(C/N)_{dn} = 26.8dB$, $(C/N)_0 = 14.4dB$
- 输出链路: $(C/N)_{up} = 25.6dB$, $(C/N)_{dn} = 11.4dB$, $(C/N)_0 = 11.2dB$

□ 上下行链路留出足够的裕量以克服降雨产生的衰减



Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容

1

卫星通信概述 (5学时)

2

卫星通信基本技术 (9学时)

3

卫星通信链路设计 (4学时)

4

卫星通信网 (3学时)

5

移动卫星通信系统 (3学时)

第四章 卫星通信网

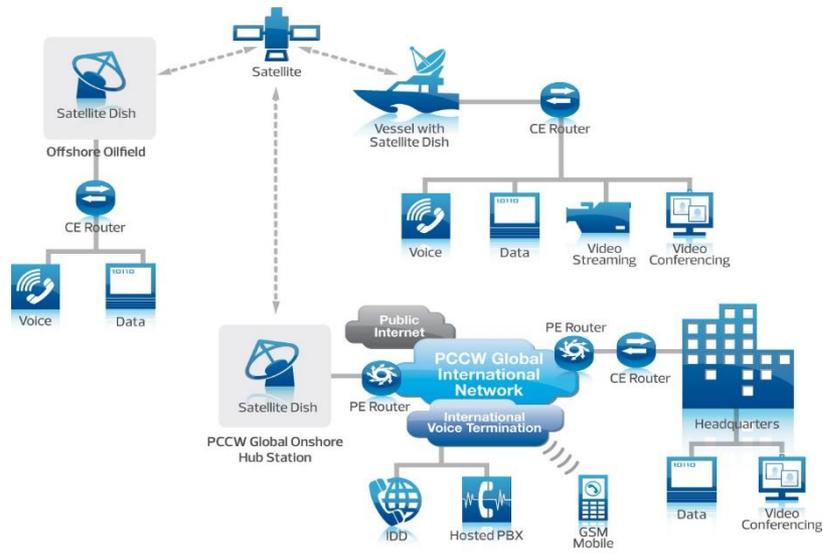
4.1 卫星通信网的网络结构

4.2 卫星通信网与地面通信网的连接

4.3 VSAT卫星通信网

4.4 典型卫星通信网络系统

- 通信网，就是将各种通信设备互连在一起的通信网络
- 卫星通信网，就是利用人造卫星作为中继站转发无线电波，在地球站之间进行通信的网络
 - 全球覆盖能力
 - 比高传输速率和较宽的带宽
 - 支持灵活的、大规模的网络
 - 卫星通信网不但可以作为地面网络的补充和完善，而且可以单独构成天基卫星网络，使得来自陆地、海洋、天空的信息流能够顺利通过卫星网络进行传输



4.1.1 VSAT卫星通信网的特点

□ 对于大量分散、稀路由、低速率的数字卫星通信系统，可以组成VSAT(甚小口径天线终端)卫星通信网

- VSAT: Very Small Aperture Terminal
- 它的地面接收天线口径很小(一般在3米以内)
- 终端: 它本身是一个具有多功能的卫星地面站
- 通过软件控制大量地球站构成卫星传输系统

□ VAST是80年代中期美国开发的一种卫星通信设备，它建造成本低，容易在作业现场或用地面线路难以到达的场合进行安装

- VSAT小站一般是与中心站用网络的形式协同工作的，通常一个中心站可以控制许多地面上的小站形成广域上的卫星通信网
- VSAT已广泛应用于石油技术服务、军事、金融、水利、气象、航空、新闻、人防及沙漠边远地区的数据通信
- 第一代VSAT系统以工作于C频段的广播型数据网为代表
- 第二代VSAT系统具有双向多端口通信能力
- 第三代VSAT系统采用软件定义技术，以计算机技术和网络技术为特征，系统规模大

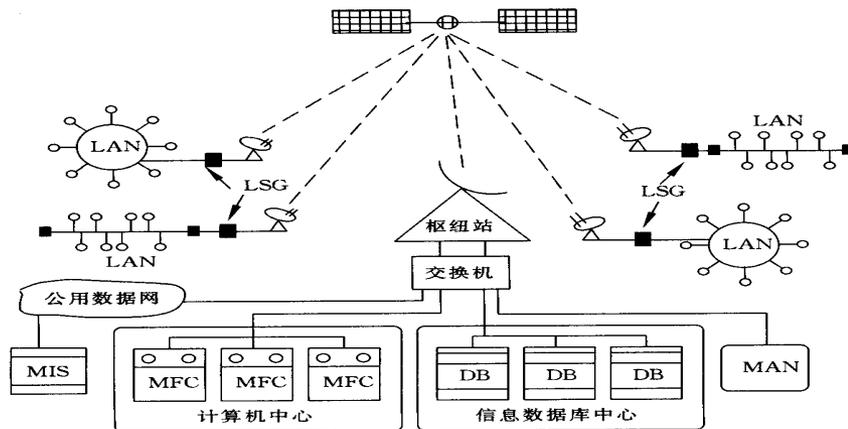


□ VSAT的特点

- 小口径天线，天线口径0.3-2.4m，设备简单，体积小，重量轻，功耗小，造价低，安装、维护和操作简便
- 组网灵活，易扩展和改进
- 多种业务可以在一个网内并存，适于多种数据率和多种业务类型：数据、语音、图象等
- 可建立直接面对用户的直达电路
- 集成化程度高，VSAT从外表看只有天线、室内单元(IDU)和室外单元(ODU)三部分
- 智能化功能强，可无人操作
- 覆盖范围广，特别适合用户分散、业务量轻的边远地区和用户终端分布范围广的专用通信网
- 独立性好，一般用作专用网，用户享有对网络的控制权，而不用作公用网。其网络结构、技术性能、设备特性和网络管理都可以根据用户的要求进行设计和调整
- 互操作性好，采用不同标准的用户可以跨越不同的地面网而在同一个VSAT网内进行通信

□ VSAT的主要业务类型及应用

- 除了个别宽带业务外，VSAT卫星通信网几乎可支持所有现有业务，包括语音、数据、传真、LAN互连、会议电话、可视电话、低速图像、可视电话会议、采用RF接口的动态图像和电视、数字音乐等
- VSAT网可对各种业务分别采用广播（点→多点）、收集（多点→点）、点-点双向交互、点-多点双向交互等多种传递方式，充分说明了VSAT的灵活性



应用 VSAT 系统组建的广域网结构图

4.2.1 VSAT卫星通信网的网络结构

□ VAST系统代表了当前卫星通信发展的一个重要方向，它的产生和发展奠定了卫星通信设备向多功能化、智能化、小型化方向发展的基础

□ 星形网络，以传输数据为主

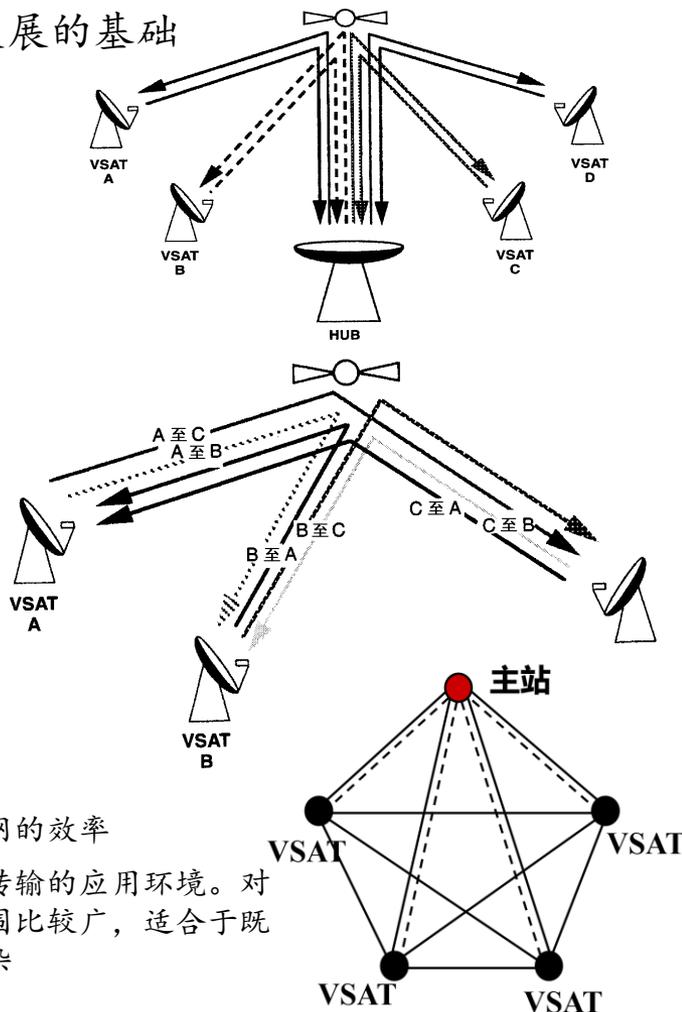
- 中心站与各地球站之间的相互连接而形成的网络
- 主要用于由主站向远端VSAT小站传输数据、图像、新闻电视或商业电视等业务，不需要VSAT小站向主站回传业务信息，网络延时比较大

□ 网形网络，以话音通信为主

- 各地球站之间彼此相互连接在一起，又称全连接网络
- 星间链路可扩展性强，传输带宽可以很高，传输速度快，延迟小，可以实现全球覆盖
- 网络结构较为复杂，建设成本高，卫星数量要求多

□ 混合网络

- 星形网络与网形网络相结合
- 充分满足不同用户的要求，又能有效地提高整个通信网的效率
- 混合网最适合于点到点或点到多点之间进行综合业务传输的应用环境。对卫星资源的利用率比较高，网络比较大，传输业务范围比较广，适合于既有话音业务又有数据业务的情形。但网络结构比较复杂



4.3.1 VSAT卫星通信网的地面设备

□ VAST系统通常采用星形网络结构，由包括网控系统在内的主站、卫星转发器和若干VAST小站组成的

□ 主站(Hub)

- 主站也叫中心站，是VSAT网的“心脏”。它与普通地球站一样，使用大型天线，天线直径一般约为3.5m~8m（Ku波段）或7m~13m（C波段）
- 主站通常与主计算机放在一起或通过其它（地面或卫星）线路与主计算机连接，作为业务中心
- 同时在主站内还有一个网络控制中心，负责对全网进行监测、管理、控制和维护
- 由于主站涉及整个VSAT网的运行，其故障会影响全网正常工作，故其设备皆有备份。为了便于重新组合，主站一般采用模块化结构，设备之间采用高速局域网的方式互连

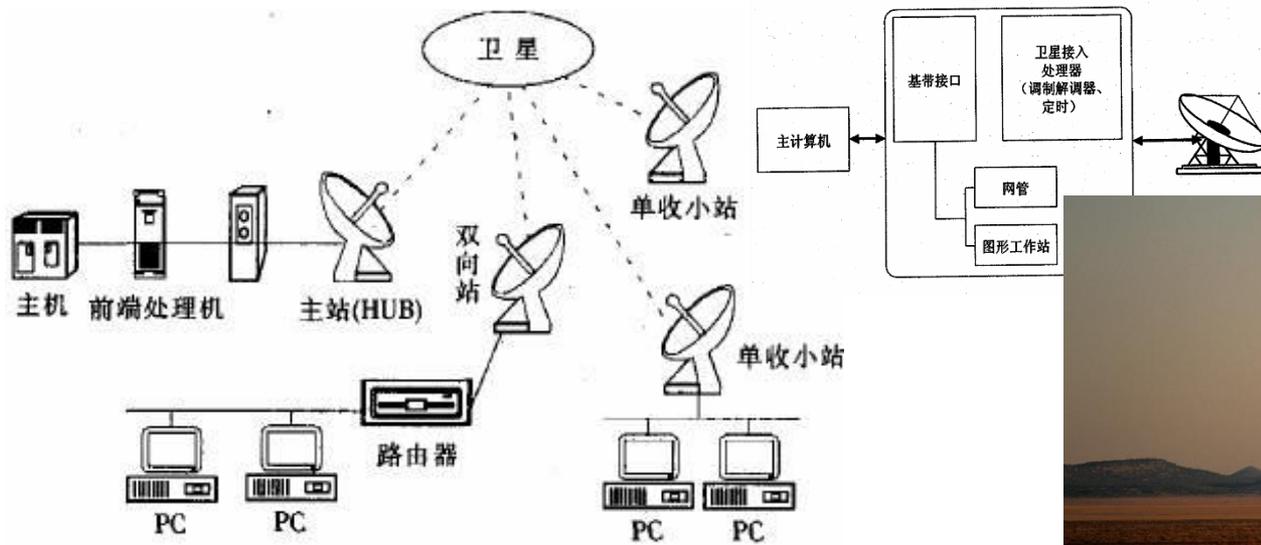
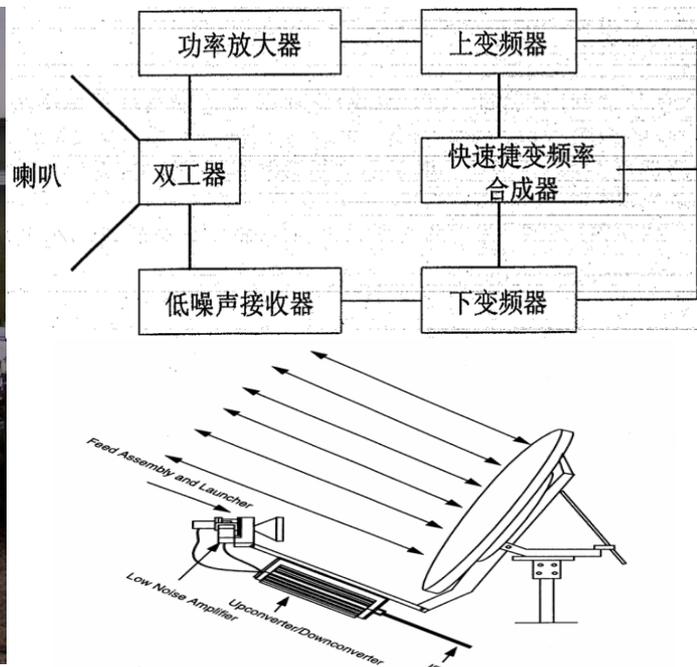


图 星状 VSAT 组网示意图



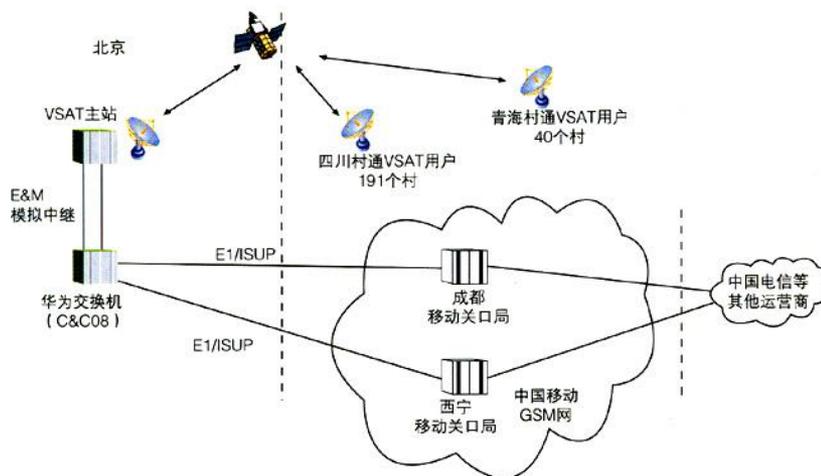
□ 小站(VSAT)

- VSAT小站由小口径天线、室外单元(ODU)和室内单元(IDU)组成
- VSAT天线有正馈和偏馈两种形式，正馈天线尺寸较大，而偏馈天线尺寸较小、性能好(增益高、旁瓣小)，且结构上不易积冰雪，因此常被采用
- VSAT小站的室外单元(ODU)主要包括固态功率放大器、低噪声放大器、上/下变频器及其检测控制电路等模块的电子成套设备
- 室外单元的组件紧密地集成在一起，其结构防水、易散热、便于安装，通常设置在天线馈源附近



□ VSAT数据网的主要特点

- 数据传输和交换可以是非实时的
- 传输数据是随机地、间断地使用信道VSAT
- 峰值和平均传输速率相差很远
- 数据业务种类繁多
- 一般采用分组传输方式
- 数据广播网中，地球站成本低、数量多
- 数据传输必须高度准确和可靠



□ VSAT数据网的响应时间

- 响应时间：从用户终端发出信息到收到主站的响应信号的时间间隔
- 在VSAT通信系统中，不同的业务应用，对响应时间的要求也不同。交互式业务与查询业务一般要求响应时间为2~4s，而邮件业务或批量数据业务对响应时间要求并不严格，可长达几十秒、几分钟甚至更长

□ V小站→主站：1.62s

- 小站处理延时：最小50ms
- 卫星链路延时：250ms
- 随机分配/时分多址延时：20ms
- 主站前端处理延时：最小50ms
- 寻址延时：通常取250ms
- 主机接续和处理延时：处理延时的取值范围较大，此处取1s

□ 主站→小站：2.17s

- 主站前端处理延时：50ms
- 卫星链路延时：250ms
- 小站处理、寻址及接续的延时：250ms
- 主站→小站的延时合计：550ms

□ 下节课内容

4.4 典型卫星通信网络系统

5.1 移动卫星系统概述





Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容



卫星通信概述 (5学时)



卫星通信基本技术 (9学时)



卫星通信链路设计 (4学时)



卫星通信网 (3学时)



移动卫星通信系统 (3学时)

第四章 卫星通信网

4.1 卫星通信网的网络结构

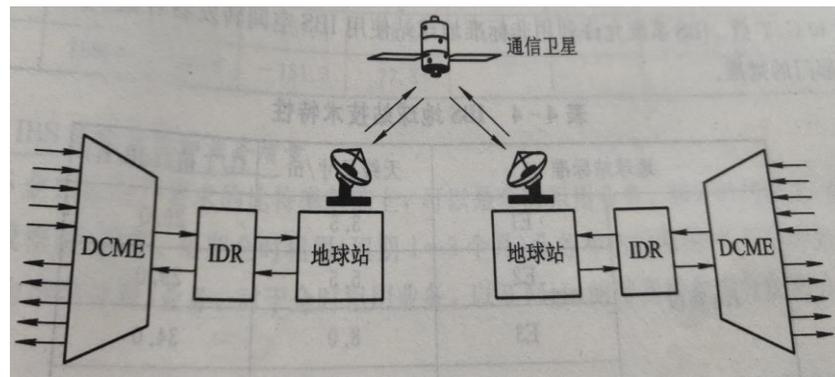
4.2 卫星通信网与地面通信网的连接

4.3 VSAT卫星通信网

4.4 典型卫星通信网络系统

4.4.1 IDR/IBS系统

- ❑ 卫星通信主要包括卫星固定通信、卫星移动通信和卫星直接广播等领域
- ❑ IDR和IBS都是国际卫星组织(Intelsat)提供的一类数字卫星通信系统，只是服务的对象不同而已，均属于卫星固定通信
- ❑ IDR(Intermediate Data Rate)即中等数据速率，指数据速率在64kb/s-44.736Mb/s之间的数字语音和数据业务
 - 采用QPSK调制技术，其频谱利用率比BPSK高一倍
 - 采用3/4前向纠错卷积编码，维特比软判决解码，故纠错增益提高
 - 采用符合国际卫星通信组织IDR IESS-308规范的成形滤波器，限带后占用卫星带宽为传输速率的0.6倍，消除了码间干扰
 - 采用扰码技术，使数据时钟中断时载波仍能符合IDR IESS-308的规范，即能提取时钟，因此IDR系统全网定时统一相对容易
 - 集成化、智能化程度高，测试调整简单，操作直观方便，同时使用了数字电路倍增技术(DCME)，实现用户扩容，提高信道利用率
- ❑ DCME技术在发射端可将 $8 \times 2.048 \text{ Mb/s}$ 数字信号压缩成 $1 \times 2.048 \text{ Mb/s}$ 数字信号在卫星链路上传输，收端再扩展回原来的 $8 \times 2.048 \text{ Mb/s}$



- IBS(International Business Service)即国际商用业务，其数据速率范围在64kb/s-8.448Mb/s之间，通信方式灵活多样，设备安装方便

- 采用信道编码采用1/2率的FEC，其余特征与IDR基本一致，属于同一种通信体制的系统

- 地球站标准

- IBS系统的普通地球站有C频段的A、B型和Ku频段的C型，作为普通地球站的补充，还引入了F标准站和E标准站
 - 国家级的信关站，应采用大型地球站，如C频段的16-18m站；Ku频段的11-13m站，并应有一个网控中心
 - 城市信关站一般采用中型地球站，如C频段的9-11m站；Ku频段的5.5-9m站
 - 专用网或小用户群则使用小型站，如C频段的5-7m站；Ku频段的3.5-5.5m站

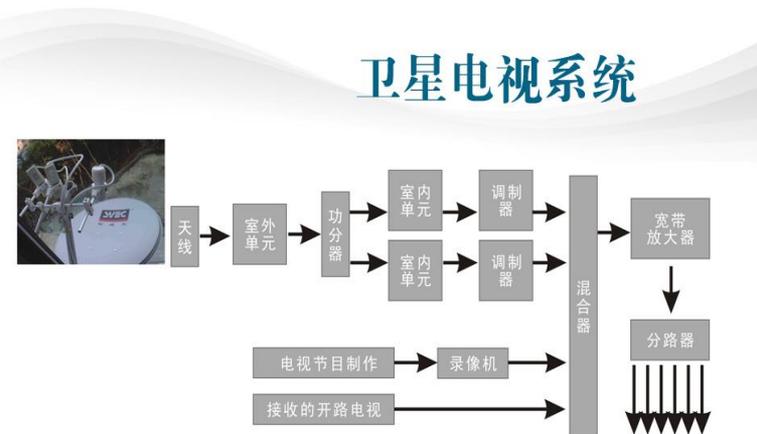
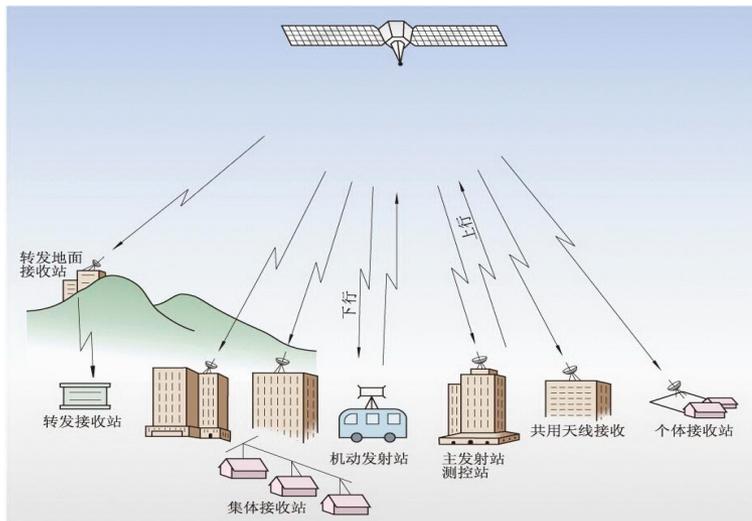
地球站标准		天线尺寸/m	G/T 值/(dB/K)
Ku 频段	E1	3.5	25.0
	E2	5.5	29.0
	E3	8.0	34.0
	C	13.0	37.0
C 频段	F1	4.5	22.7
	F2	8.0	27.0
	F3	10.0	29.0
	B	12.0	31.7
	A	18.0	35.0

- 业务类型和业务质量

- IBS业务在用户要求的比特率基础上，可以是全时租用业务，部分租用业务，短期全时租用业务和临时租用业务
 - 所提供的业务质量有两个等级：基本IBS业务和超级IBS业务
 - 基本IBS业务：C频段可提供符合ISDN标准的服务质量，晴天条件下BER小于 10^{-8} ，恶劣天气下，保证BER小于 10^{-3}
 - 超级IBS业务：C频段与基本IBS业务相同；Ku频段符合ISDN标准的服务质量，晴天条件下BER小于 10^{-8} ，恶劣天气下，保证BER小于 10^{-3}

4.4.2 卫星电视

- 卫星电视广播是指利用GEO卫星转发电视信号，直接实现个体接收和集体接收的电视广播
 - 卫星电视系统包括GEO卫星、地面主发控站和测控站，以及地面接收网三大部分
 - 卫星接收并转发由地面主发控站发射的电视信号，供地面接受网站接收
 - 主发控站一方面把电视节目中心的电视信号发送给卫星，另一方面还和测控站一起，担负着对卫星的轨道位置，姿态，各部分的工作状态等参数的测量、遥控、发出指令等任务
 - 地面接收网分为两种类型，一种供地方电视台，收转站使用，另一种供个体或集体接收电视信号的建议接收站使用

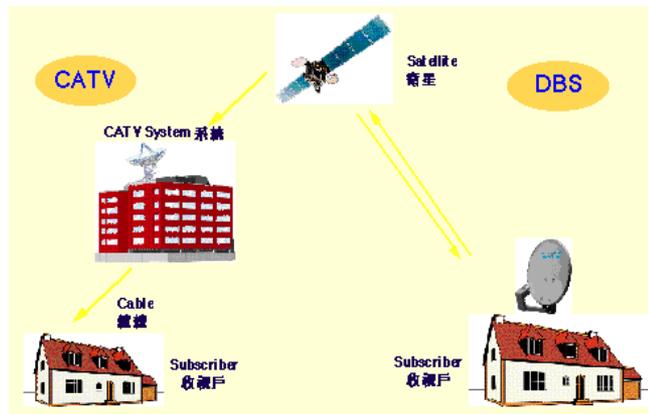


- 主发控站、静止卫星、移动站之间是一种双向点对点的通信系统；静止卫星和简易接收站、专业接收站之间则是一种单向点对面的广播系统

- 卫星电视信号的工作频率高，因此来自C、Ku、K等频段内的干扰较小，图像信号信噪比高，图像质量好
- 卫星电视传输中，一般都把图像和伴音分开传输，在接收端通过信号处理再耦合在一起

□ 卫星电视广播方式

- 转播，是指利用固定卫星业务转发电视信号，再经地面接收站传送到有线电视前端，然后由有线电视台转换成模拟电视送到用户
- 直播，是指通过大功率卫星直接向用户发送电视信号，一般使用Ku频段
- 直播卫星，是指通过大功率信号辐射地面某一区域，传送电视、多媒体数据等信息的点对点广播，直接供广大用户接收，采用Ku, Ka频段



□ 直播卫星的特点

- 发射功率较大，而且地面场强分布均匀，电波利用率高，家庭可用0.5m以下口径的天线接收
- 按照需求设计，以形成多波束覆盖
- 不受地面频率分配的限制
- 覆盖范围受国际公约保护，在覆盖区内不受其它卫星溢出电波的干扰



4.4.3 卫星IP网络

- TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)即传输控制/网际协议，又称为网络通信协议，是国际互联网的基础
- TCP和IP是Internet的核心协议，且分别控制着数据在Internet上的传输和路由选择
 - IP指导网络上的数据包从发端送达到收端
 - TCP负责确保数据在设备之间进行端到端的可靠交付
- 利用TCP和IP进行数据传输已成为网络应用的主流，而卫星通信将是无线Internet的重要手段，利用卫星进行TCP/IP数据传输已经成为当下通信研究的重要方向



Facebook确认开发新的互联网卫星 或明年初发射

2018年07月21日 10:00:41

来源：凤凰网科技

4人参与 2评论

SpaceX计划2019年发射互联网卫星 拟发4000余颗

2017年05月05日 09:26 新浪科技 微博

19 | 评论

我国首颗高通量通信卫星实践十三号投入使用

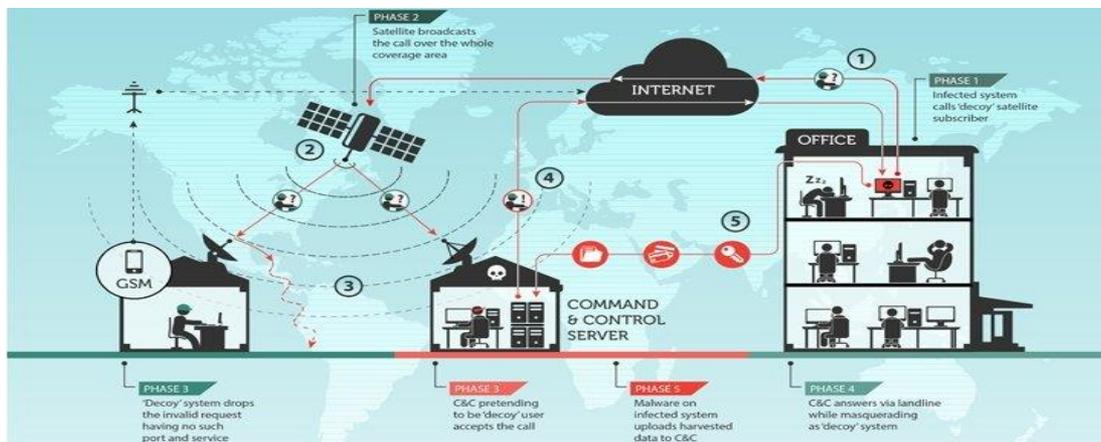
2018-01-23 19:11:31 来源：新华网

□ 卫星IP网络面临的主要问题

- 信道差错率，卫星信道的比特差错率约为 10^{-6} 数量级，高于目前的高速有线媒质，另外雨衰噪音等也会大大降低TCP的性能
- 传播延迟，多数情况下低轨系统单向传播延迟是20-25ms，中轨系统是110-130ms，静止轨道系统为250-280ms。系统延迟还受星间路由选择，星上处理以及缓存等因素的影响
- 信道不对称，许多卫星系统在前向和反向数据信道间有较大的带宽不对称性，采用速度较慢的反向信道可使接收机设计更为经济，并且可以节省宝贵的卫星带宽，但会对TCP产生显著的影响

□ 卫星TCP/IP传输改进策略

- 链路层增强协议：更强力的前向纠错(FEC)方案和自动请求重传(ARQ)协议
- 端到端TCP增强协议：改进定时机制，采用更先进的分组丢失回复算法等
- 基于卫星网关站的解决方案
- 更有效的通信模式



□ 宽带IP卫星通信系统

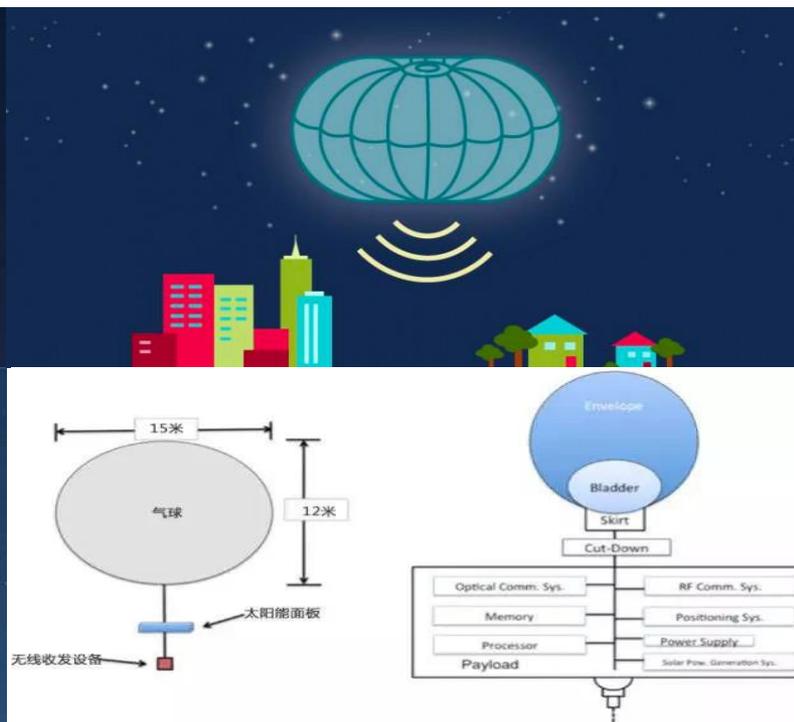
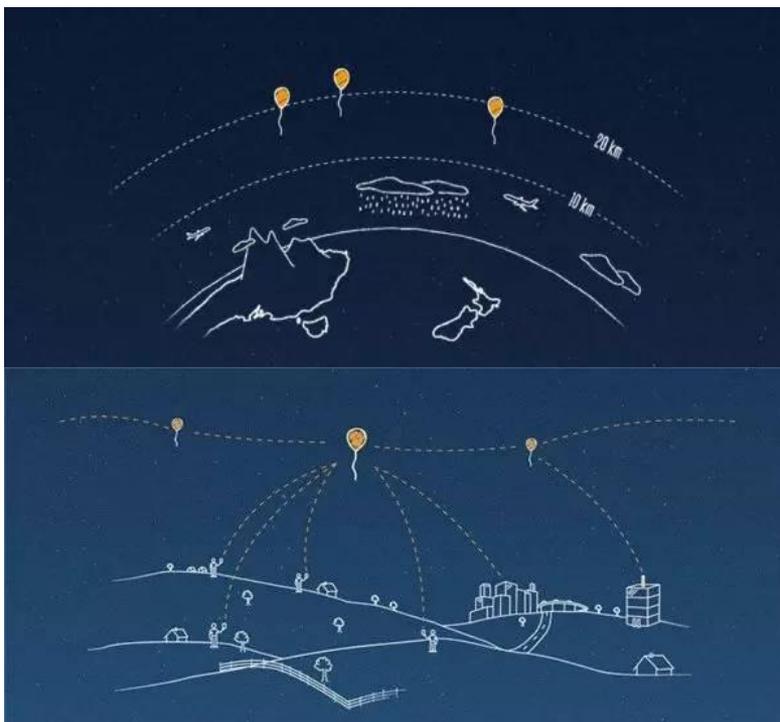
- 所谓宽带，目前还没有一个公认的定义，一般理解为能够满足人们感官所能感受到的各种媒体在网络上传输所需要的带宽
- 所谓宽带IP卫星通信，是指一种在卫星信道上传输Internet业务的通信，也就是将各种卫星业务都承载在TCP/IP协议栈之上
- 由于宽带IP卫星通信是在卫星通信系统的基础上使用了IP技术，可见它既兼备卫星通信的特点，又具有TCP/IP的工作特点



4.4.4 平流层通信

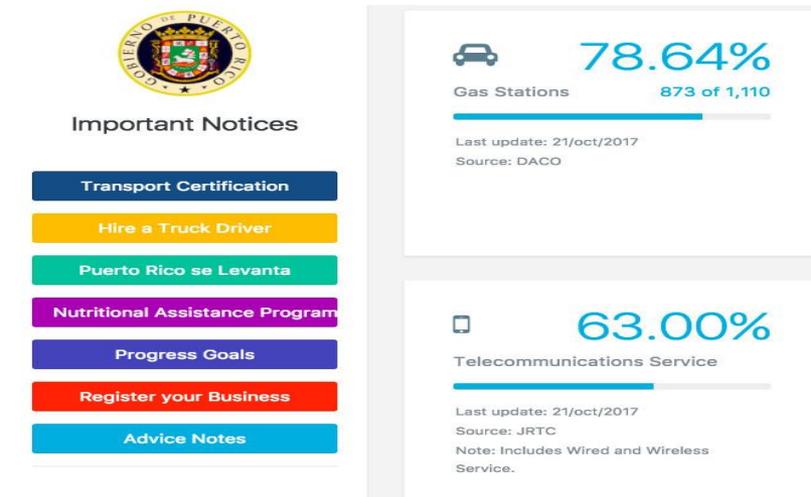
□ 平流层电信业务由国际电联ITU于1997年提出

- 地面上方8-50km的空间范围成为平流层，该区域内的大气温度基本上是常数，所以也成为同温层。与较低的对流层不同，在平流层高度18-24km内平均风速为10m/s，最大为40m/s，而且风向大部分时间不变
- 可以将装载有大量通信设备的飞艇作为高空信息平台长时间稳定在平流层某一区域的固定位置，从而与地面形成一套无线通信系统。该高空平台被称为平流层通信平台，相应的系统称为平流层通信系统
- 平流层平台固定与大城市上空20km，高于商业飞行与天气能够影响到的高度，但与通信卫星相比，它的高度又足够低，能为覆盖的区域提供大容量、高密度的通信服务，并于天空站及其他平台实现对接



□ 平流层通信的特点

- 与卫星通信相比，平流层平台与地面距离是GEO卫星的1/1800，自由空间衰落少了65db，延迟时间只有0.5ms，有利于通信终端的小型化、宽带化和双工数据流的对称传输和互操作
- 与地面蜂窝系统相比，平流层平台的作用距离远，覆盖区域大。作为一个高空中继站时，其作用距离可达1000km，比地面中继站约大20倍，而且信道衰落只是地面系统的2/5，发射功率可显著减少
- 平流层平台不受地形限制，还可自由转移，用于发生自然灾害地区的检测和通信
- 平台的投放不需要复杂庞大的基地，造价是卫星的1/10，可独立运行，建设周期短，投资少，用户终端价格低，便于普及
- 平台可以回收，有利于环境保护和资源再生



□ 下节课内容

第5章 移动卫星通信系统





Satellite Communications

SpaceDataHighway is a next-generation data transmission service, providing high-speed data transfer for unmanned aircraft systems and low Earth orbit satellites. The unprecedented performance options for satellite payload tasking and downlinking bring the idea of near real-time data closer to reality.

Dr. Zheng Wang

NUAA

2018-9

课程内容

1

卫星通信概述 (5学时)

2

卫星通信基本技术 (9学时)

3

卫星通信链路设计 (4学时)

4

卫星通信网 (3学时)

5

移动卫星通信系统 (3学时)

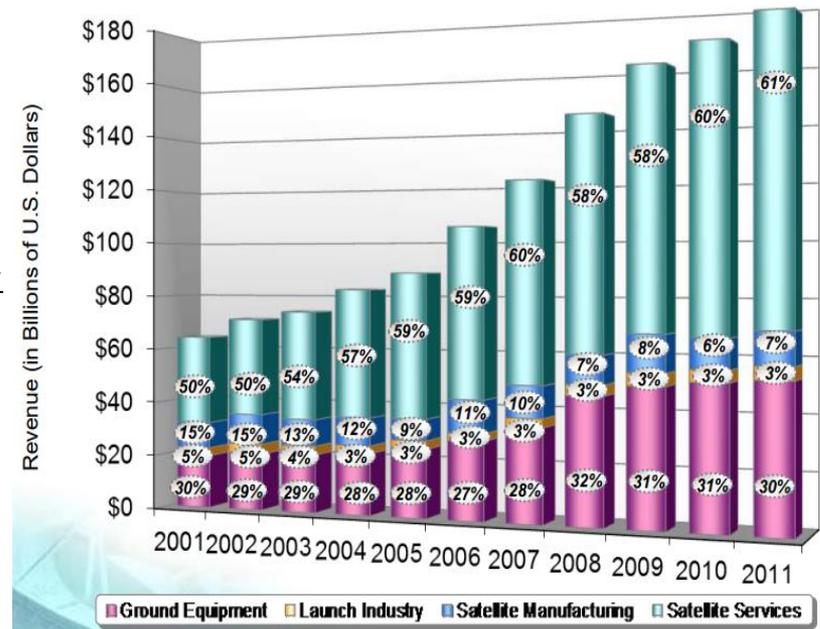
5.1 移动卫星通信系统概述

5.2 国际移动卫星通信系统INMARSAT

5.3 高中低轨移动卫星通信系统

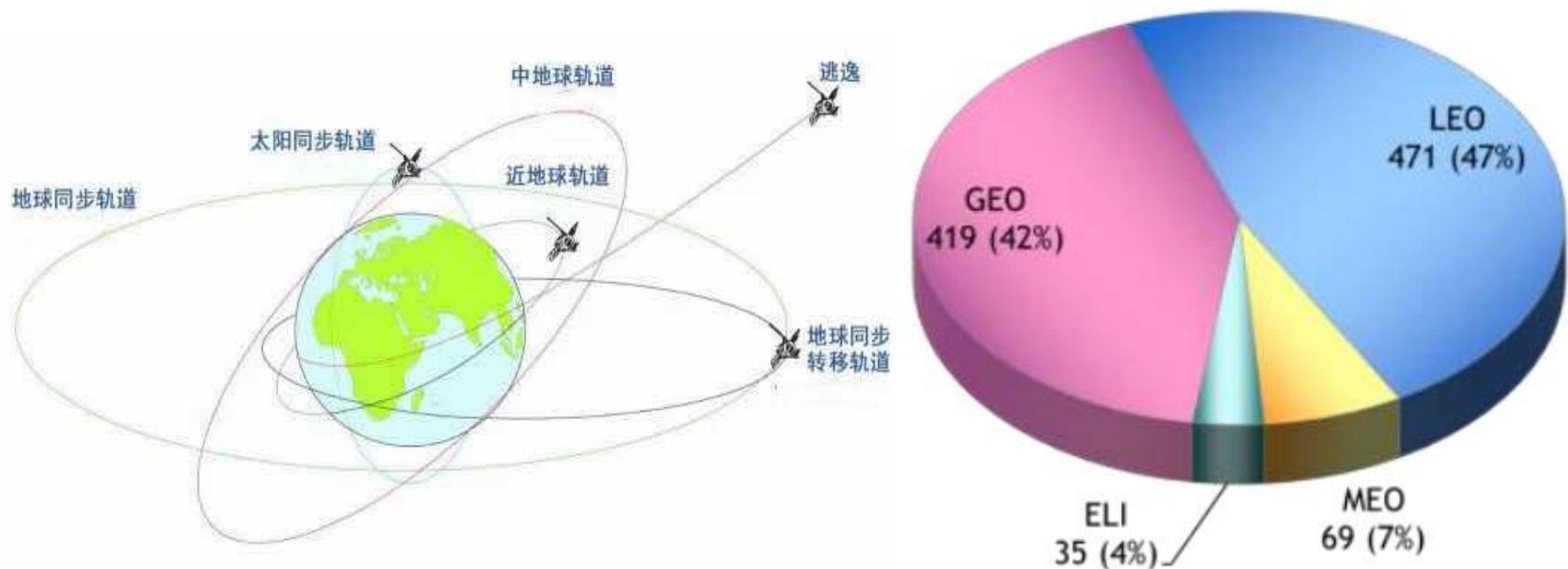
5.1 星移动通信系统概述

- 移动卫星通信(MSS),是指利用卫星转接实现移动用户间或移动用户与固定用户间的互相通信
- 移动卫星通信系统以VSAT和地面蜂窝移动通信为基础,结合空间卫星多波束技术、星载处理技术、计算机和微电子技术的总和运用,是更高级的智能化新型通信网,能将通信终端延伸到地球的每一个角落,实现“世界漫游”,从而使电信产业产生质的变化
- 从“移动”角度看, MSS有三种情形
 - 第一种为卫星不动(同步轨道卫星), 终端动
 - 第二种为卫星动(非同步轨道卫星), 终端不动
 - 第三种为卫星动, 终端也动
- 按卫星移动通信系统的业务进行划分
 - 海事卫星移动通信系统(MMSS)
 - 航空卫星移动通信系统(AMSS)
 - 陆地卫星移动通信系统(LMSS)



□ 按卫星移动通信系统的轨道进行划分

- GEO系统技术成熟，成本相对较低，Inmarsat系统，北美移动卫星系统MSAT，澳大利亚Mobilesat
- LEO系统具有传输延时短，路径损耗小，可以避开静止轨道拥挤，Iridium，Globalstar，Teledesic
- MEO系统则兼具GEO和LEO两者的优缺点，Odyssey，ICO，AMSC
- HEO系统采用大仰角，用于其它类型卫星难以胜任业务的高纬度地区



- 从LEO和MEO系统在个人卫星通信业务方面具有极大的潜力，已经成为目前发展的主流

□ 移动卫星通信系统具有的技术特点

- 系统庞大，结构复杂，技术要求高，用户数量多
- 卫星天线波束应能适应地面覆盖区域的变化并保持指向
- 移动终端的体积，重量，功耗均受限，天线尺寸外形受限于安装的载体
- 因为移动终端的EIRP有限，对空间段的卫星转发器及星上天线需专门设计
- 由于移动体的运动，当移动终端与卫星转发器间的链路收到阻挡时，会产生“阴影效应”，造成通信阻断。对此，移动卫星通信系统应使用户移动终端能够多星共视
- 多星构成的卫星星座系统，需要建立星间通信链路，星上处理和星上交换，或需要建立具有交换和处理能力的信关关口地球站



- The global satellite industry posted growth of 5% in 2011, matching growth in 2010

□ 移动卫星通信系统的发展动力

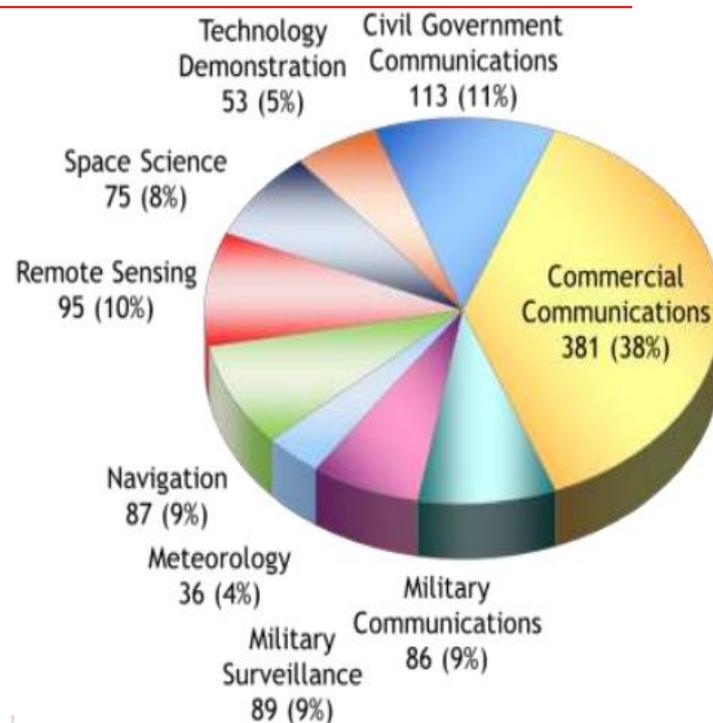
- 海上通信需要的推动
- 陆地移动通信迅速发展的促进
- 个人通信的提出带来了新的刺激

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Consumer	\$48.9	\$57.9	\$68.1	\$75.3	\$83.1	\$88.6
- Satellite TV (DBS/DTH)	\$46.9	\$55.4	\$64.9	\$71.8	\$79.1	\$84.4
- Satellite Radio (DARS)	\$1.6	\$2.1	\$2.5	\$2.5	\$2.8	\$3.0
- Satellite Broadband	\$0.3	\$0.4	\$0.8	\$1.0	\$1.1	\$1.2
Fixed	\$10.7	\$12.2	\$13.0	\$14.4	\$15.0	\$15.6
- Transponder Agreements	\$8.5	\$9.6	\$10.2	\$11.0	\$11.1	\$11.3
- Managed Services	\$2.2	\$2.6	\$2.8	\$3.4	\$3.9	\$4.3
Mobile (Voice and Data)	\$2.0	\$2.1	\$2.2	\$2.2	\$2.3	\$2.4
Remote Sensing	\$0.4	\$0.4	\$0.7	\$1.0	\$1.0	\$1.1
Total	\$52.8	\$72.6	\$84.0	\$93.0	\$101.3	\$107.7

- 市场的驱动，1997年全球移动卫星通信业的收入为20亿美元，2005年，总收入达到了200亿美元

□ 移动卫星通信系统的发展趋势

- 在继续发展GEO的同时，重点发展LEO
- 发展能实现海事，航空，陆地综合移动卫星通信业务的综合移动卫星通信系统
- 卫星移动通信系统不仅具有话音，数据，图像通信功能，还具有导航，定位，救援等多种功能
- 将移动卫星通信系统与地面有线通信网，蜂窝电话网，等连接成个人通信网
- 移动卫星通信系统大多是全球通信系统，要求各个国家的通信网联结，所以必须制定统一的国际标准和建议，并解决不同国家的兼容问题
- 面对全球，系统复杂，投资巨大，需要全球范围内投资者的共同努力
- 针对LEO卫星的高增益多波束天线和多波束扫描技术，星上技术的研究与开发
- 移动终端及其技术方面，重点开展与地面移动通信终端兼容和与地面网络接口技术的融合
- 开展终端小型化技术研究，包括小型高效天线的研究开发和采用更先进的微波集成电路，以减少终端的体积，重量和功耗，进一步降低成本和价格
- 频率资源利用方面，将进一步开展移动卫星通信新频段和频谱有效利用技术的开发



5.2 国际移动卫星通信系统 INMARSAT

□ 1982年形成了以国际海事卫星组织(Inmarsat)管理的INMARSAT系统，开始提供全球海事卫星通信服务

- 1985年对公约作修改，决定把航空通信纳入业务之内
- 1989年把业务从海空扩展到了陆地
- 1990年开始提供全球性的移动卫星通信服务
- 我国交通部的交通通信中心代表国家参加了Inmarsat组织

国际海事卫
星组织
公司



国际海事卫星组织是英国的卫星通信公司，提供全球性的移动服务。以11个地球静止轨道通信卫星，通过便携式或移动终端进行通信地面站，为世界各地的用户提供电话和数据服务。国际海事卫星组织的网络提供政府、援助机构、媒体和企业需要在偏远地区或没有可靠的地面网络通信的范围提供通信服务。 [维基百科](#)

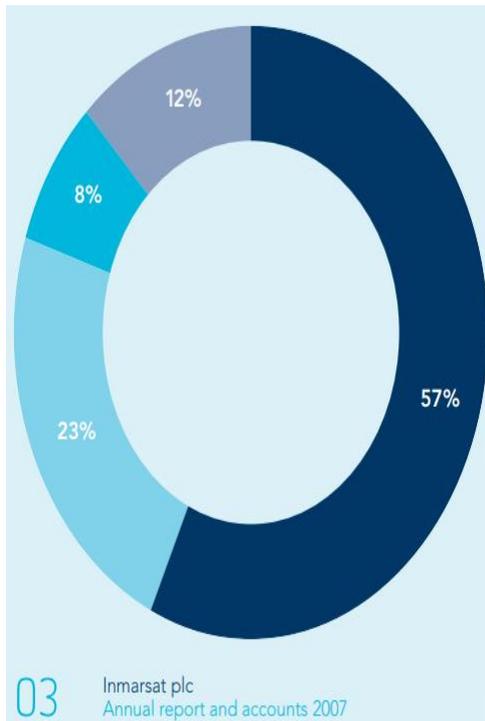
总部：英国伦敦

首席执行官：鲁珀特·皮尔斯 (2012年1月1日-)

收入：14亿美元

员工数：1,762 (2016年)

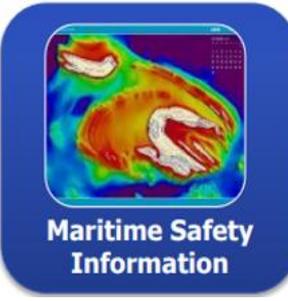
子公司：Stratos Global Corporation, Inmarsat Global Limited, 更多



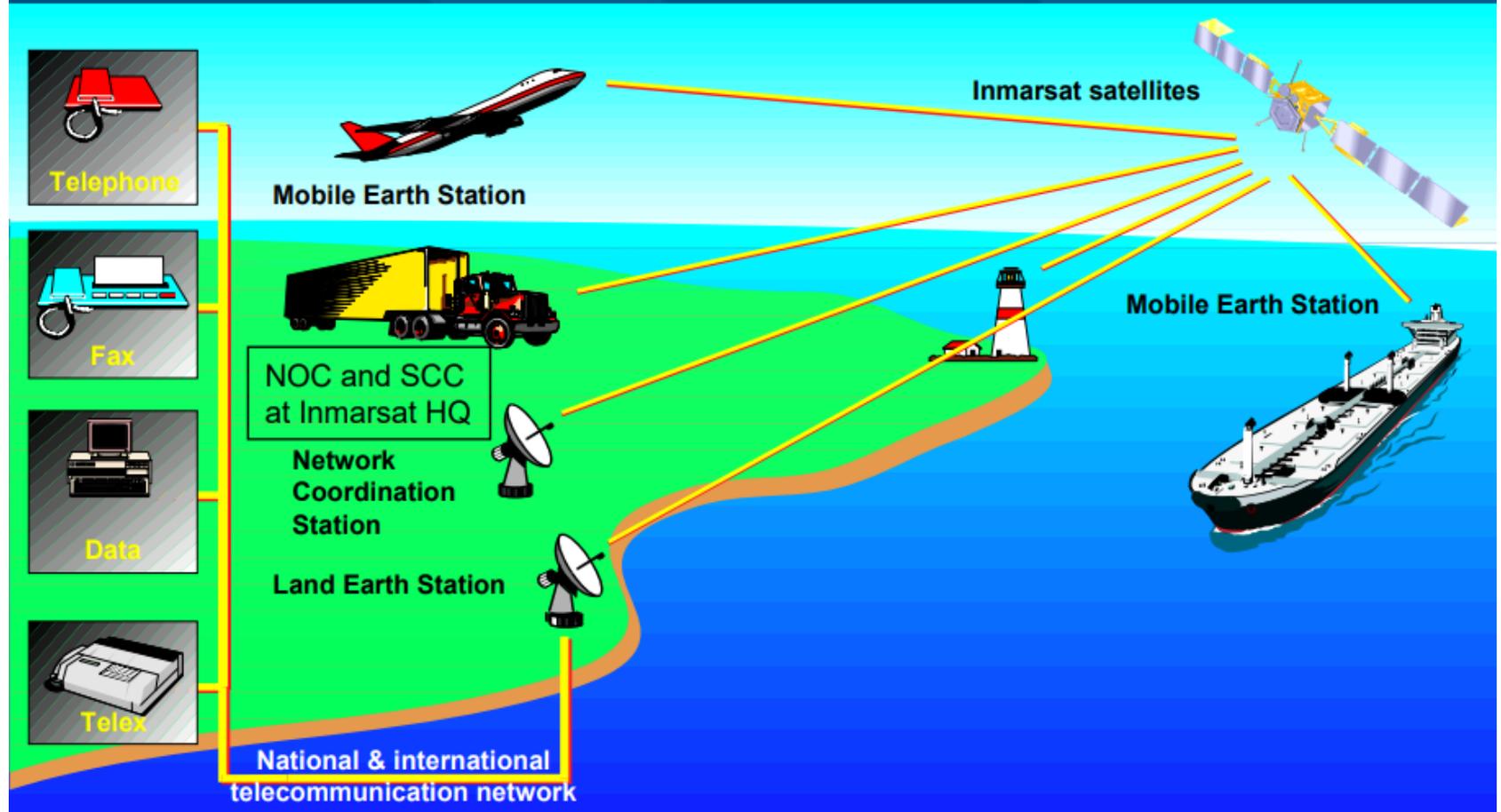
This chart reflects MSS sector revenues for 2007.

During the year, maritime revenues increased by 9%; land mobile sector revenues increased by 8%; aeronautical revenues increased by 44%; and leasing revenues increased by 10%.

- Maritime 57%
- Land mobile 23%
- Aeronautical 8%
- Leasing 12%



Inmarsat System Components

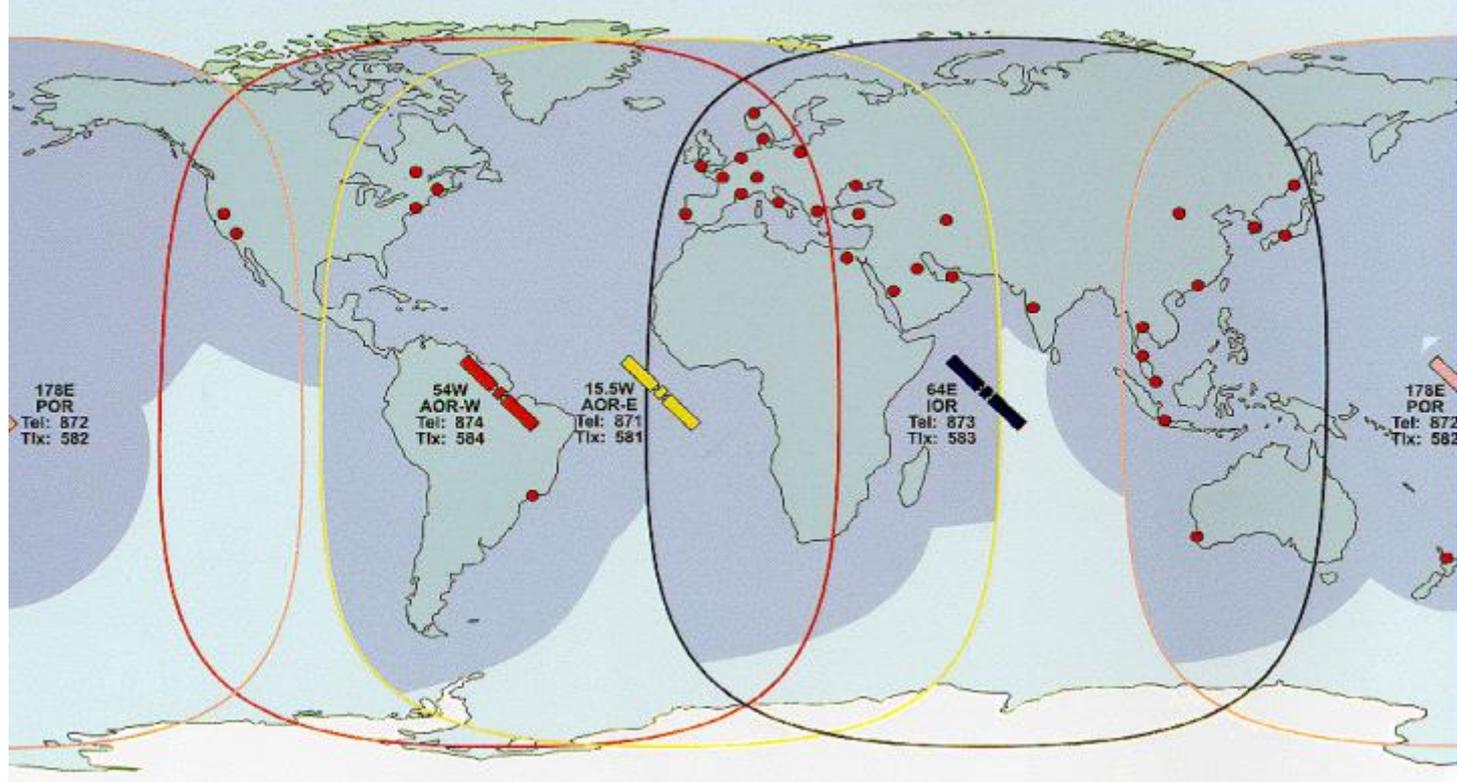


Operational satellites

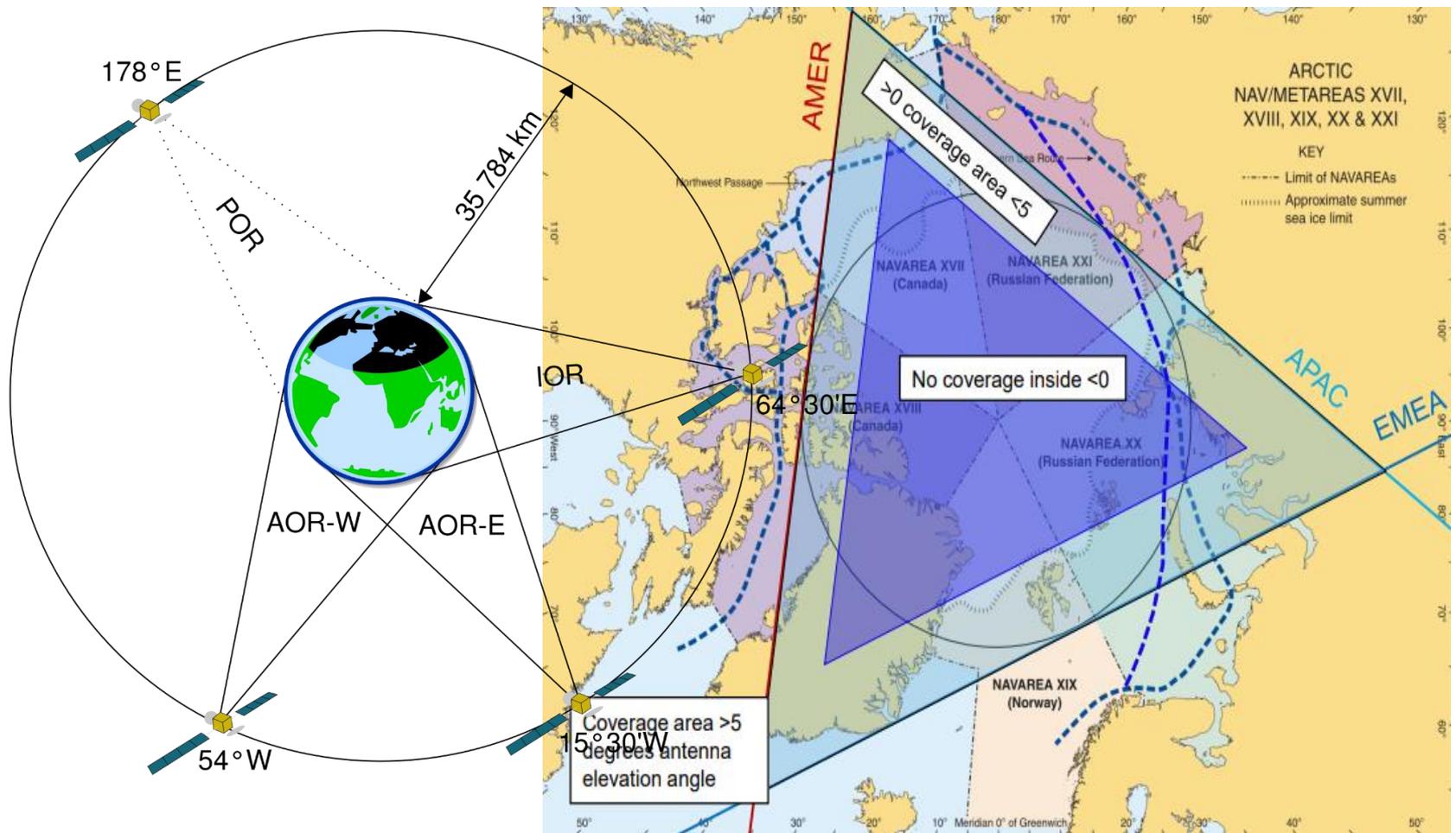


- 4 operational satellites in 4 ocean regions
 - 5 spare satellites
 - Geostationary orbit, 36000 km above equator
 - Satellites moves at the same rate as earth, and so remains in the same position to the earth
-

Inmarsat global and spot beam coverage



- 提供海事移动卫星业务的INMARSAT系统第3代卫星拥有48dBW的全向辐射功率，比第二代高出8倍，同时有一个全球波束转发器和5个点波束转发器

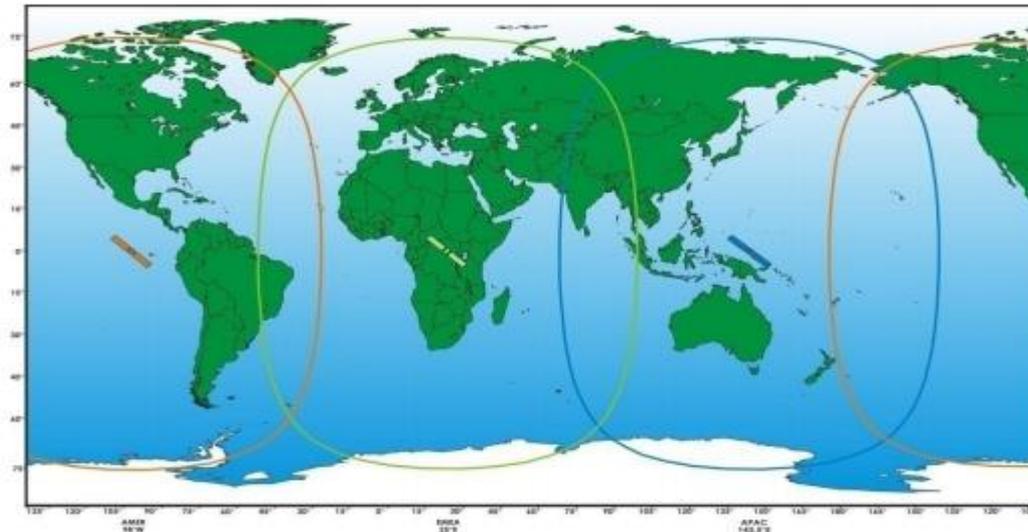
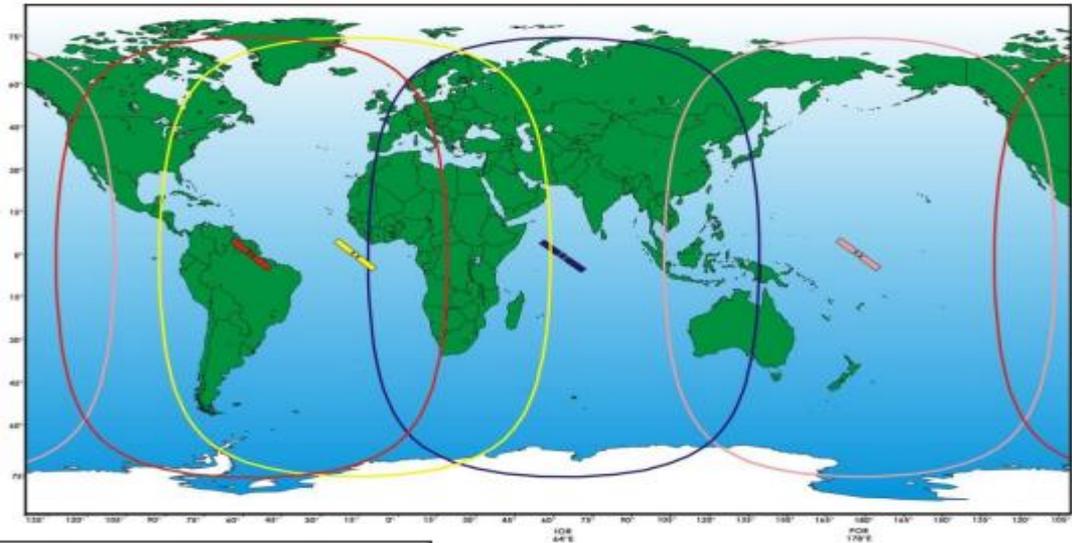


□ 除南北纬度75度以上的极地地区以外，4颗卫星几乎可以覆盖全球所有的区域

Inmarsat's I-3 Primary Satellite Constellation

Four ocean regions for Existing and Evolved services incl. GMDSS

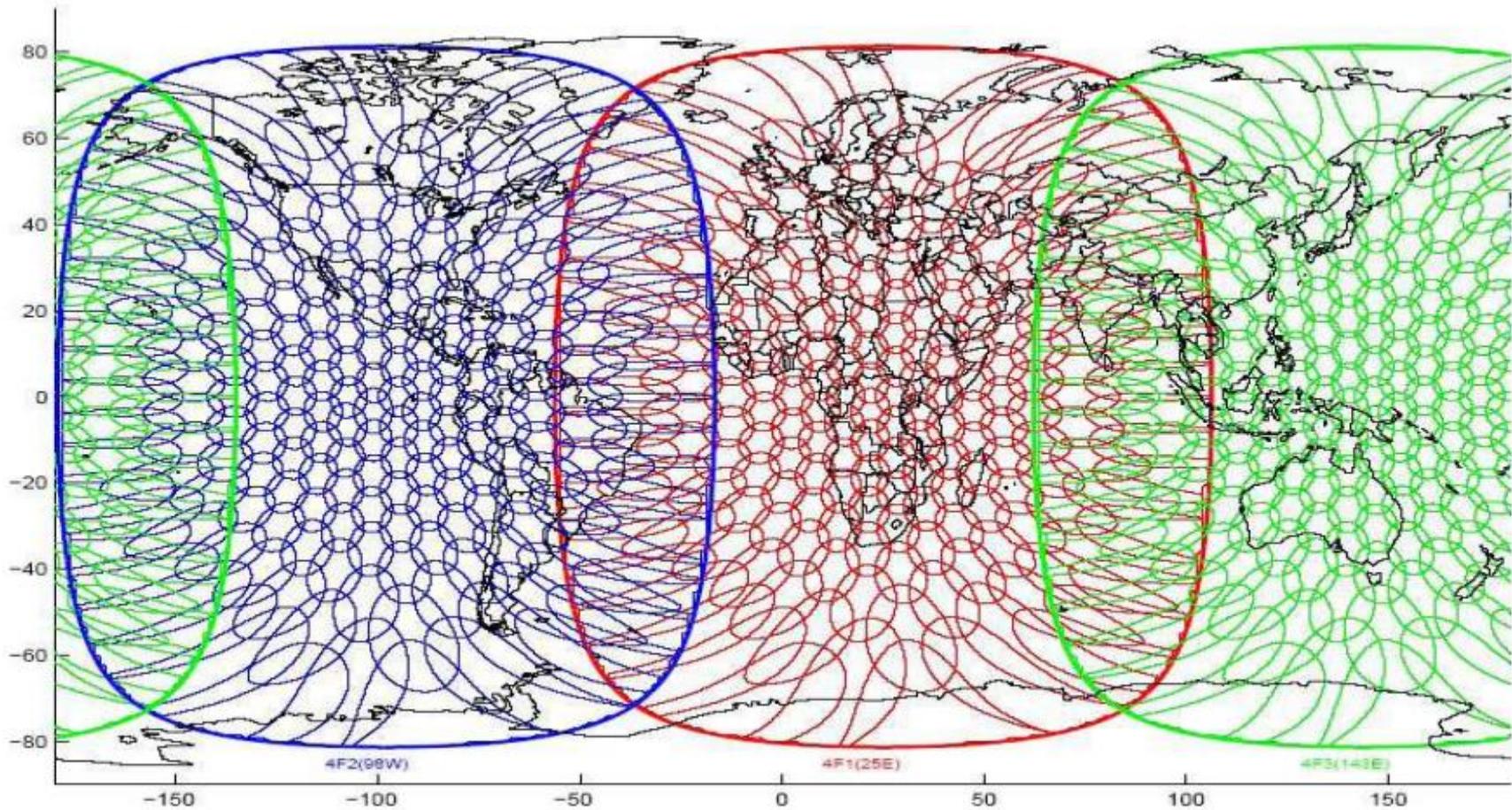
AOR-E
AOR-W
IOR
POR



Inmarsat's I-4 Satellite Constellation

Three ocean regions for all Broadband services:

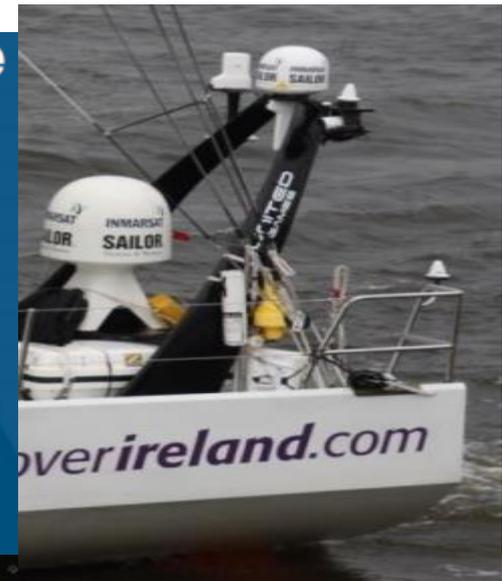
AMER
EMEA
APAC



- INMARSAT第4代卫星由3颗完全相同的GEO卫星组成，其容量和功率分别是第3代卫星的16倍和60倍，支持全球无线宽带接入业务

What is available today for maritime communications?

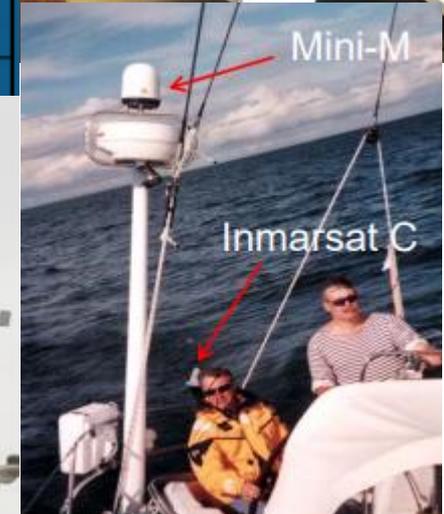
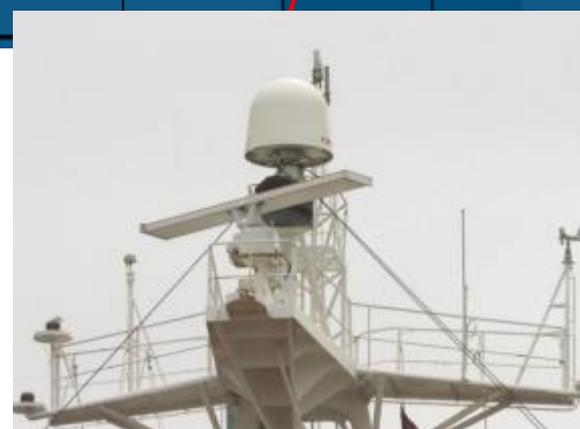
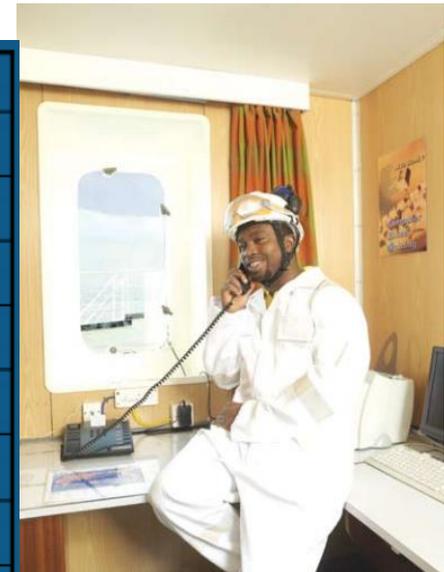
- Inmarsat A - introduced 1982
- Inmarsat C - introduced 1991
- Inmarsat B - introduced 1993
- Inmarsat mini-M - introduced 1996
- Inmarsat D/D+ - introduced 1997
- Inmarsat E - introduced 1997
- Inmarsat E+ (2003)
- Inmarsat mini-C – introduced 2002
- Inmarsat Fleet F77 – introduced 2002
- Inmarsat Fleet F33 and F55 – (Introduced 2002)
- GMDSS compliance
 - Inmarsat A, Inmarsat B, Inmarsat C, Inmarsat Fleet F77



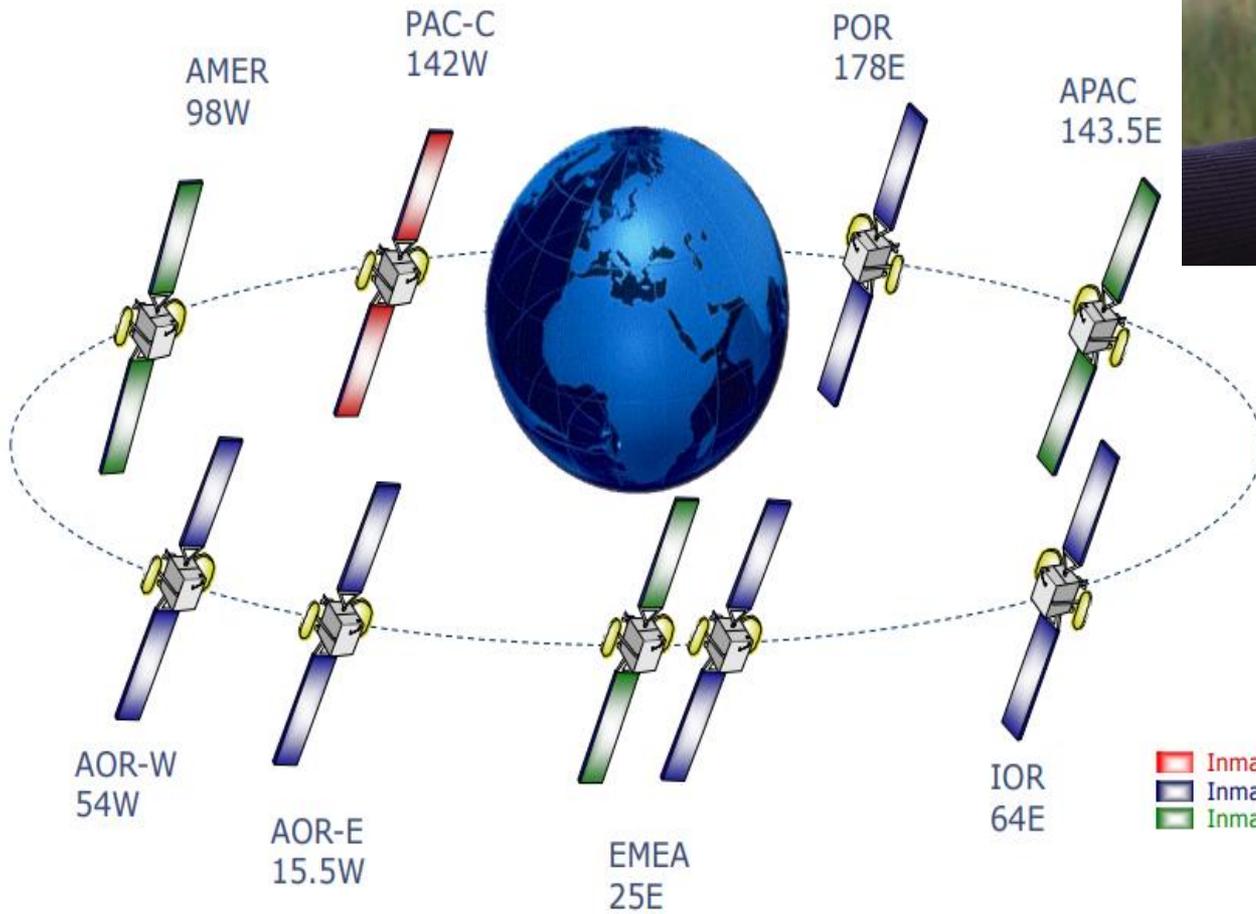
Fleet Services Family



GMDSS Functions (fm SOLAS)	Inm-A	Inm-B	Inm-F77*	Inm-C	Inm-E
1. D/A ship-to-shore	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
2. D/A shore-to-ship			Yes	Yes	
3. D/A ship-to-ship					
4. SAR Communications	Yes	Yes	Yes	Yes	
5. On-scene communications	Yes	Yes	Yes	Yes	
6. Tx/Rx of MSI				Yes	
7. Locating signals					Yes (opt)
8. General communications	Yes	Yes	Yes	Yes	
9. Bridge-to-bridge communic.					



Inmarsat's Satellite Constellation



ATPhone Pro

For 30 years, the world's leading mobile satellite company

- Inmarsat owns and operates fleet of 10 geostationary satellites
- Voice, video and data services on land, at sea and in the air
- Three 4th generation satellites operational
 - Commercial life 2020+
 - 193 beams per satellite
- Satellite capacity can be redeployed real-time to service areas of high demand

Trusted provider of worldwide voice and data satellite communications for government mobile users

- Proven reliability for disaster response, coalition operations and VIP communications
- 100 years life in orbit with no operational failure
- 99.99% average recorded satellite and network availability



- ➔ Launch Mass - 6 tons
 - Among the largest commercial satellites launched
- ➔ Spacecraft Power - 13 kW
- ➔ Solar Array Span - 48 meters (~160 feet)
- ➔ Satellite Capabilities:
 - Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) 60 times more capable than I-3 satellites
 - Channelization – 630 channels at 200 kHz
 - Each satellite ~ 432 Mbps
 - Antenna Beams
 - 193 Narrow spot beams for BGAN services
 - 1 Global beam
 - Quickly redeployed to provide extra capacity
- ➔ 3 Satellites -Worldwide capacity ~ 1.3 Gbps
 - Support latest generation mobile broadband services



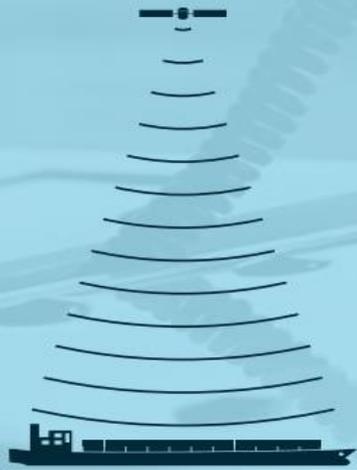
□ 企业服务



□ 海事服务



Inmarsat 为各种规格的船舶提供服务。



120 万
名船员

Inmarsat 的安全服务覆盖了商船上的 120 万船员。



节省 3400 美元

智能解决方案每天最多可节省 3400 美元的燃油费用。

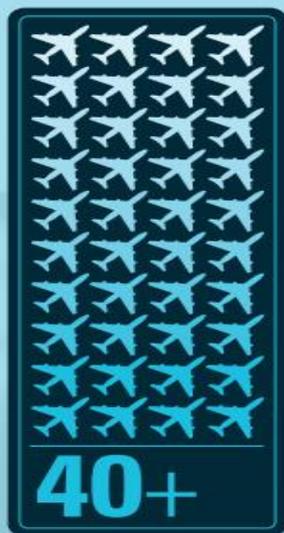


Inmarsat 卫星通信系统可节省 10% 的船舶费用。



Inmarsat 是全球海上遇险和安全系统 (GMDSS) 的唯一卫星通信服务供应商。

□ 航空服务



超过 40 家航空公司采用 SwiftBroadband。



每天

80000 条

消息

我们每天支持 80000 条空中交通服务讯息。

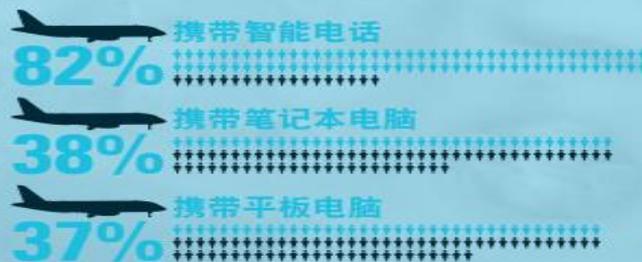


长度从 14.2 米到 73 米的各类飞机都采用 Inmarsat 服务。



90%

90% 跨洋飞行的宽体客机都已经安装了 Inmarsat 安全服务。

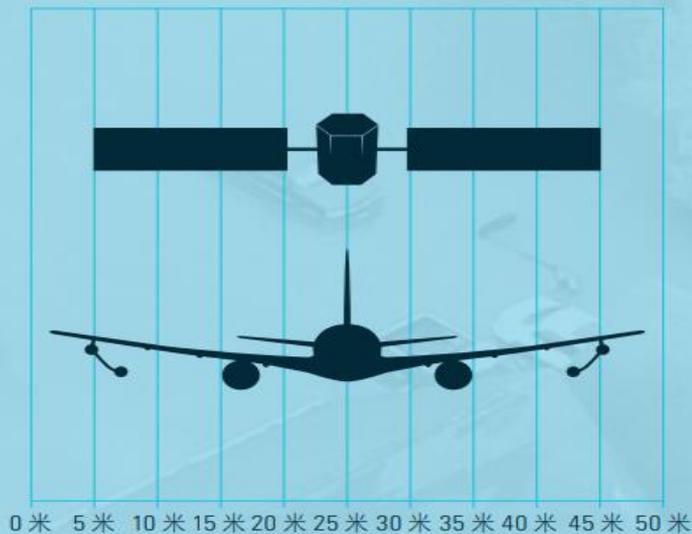


去年，有 94% 的乘客携带了至少一部移动通信设备登机。

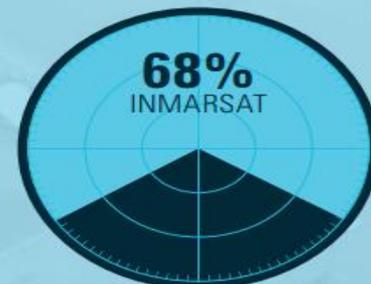
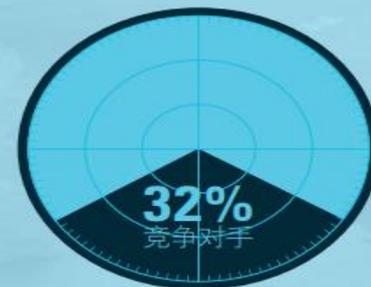
□ 政府服务



Inmarsat 全球移动通信卫星服务 (MSS) 营收。



提供 Global Xpress 服务的 I-5 卫星的翼展与波音的 KC-767 空中加油机的翼展相似。



2012 年 MSS 运营商的政府部门 / 军事部门的市场份额*。

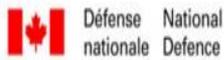


由 82 个国家的政府组建，
为超过 100 个国家的政府服务

Inmarsat 引以为豪的历史传承



Inmarsat 全球的在用终端。



Worldwide Users:



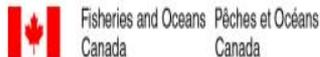
- ➔ International relief agencies (International Red Cross, Télécoms Sans Frontières, United Nations)



- ➔ Governments, including Canadian and U.S. Departments of Defence



- ➔ Media (CNN, CBC, BBC, NBC, Reuters)
- ➔ Critical Infrastructure (utilities, oil, gas, electricity, mining)



China , Haïti, Chile, Japan, Pakistan (earthquakes)

El Salvador, Thailand (hurricanes, flooding)

Lybia (medical relief)

Kenya (famine)

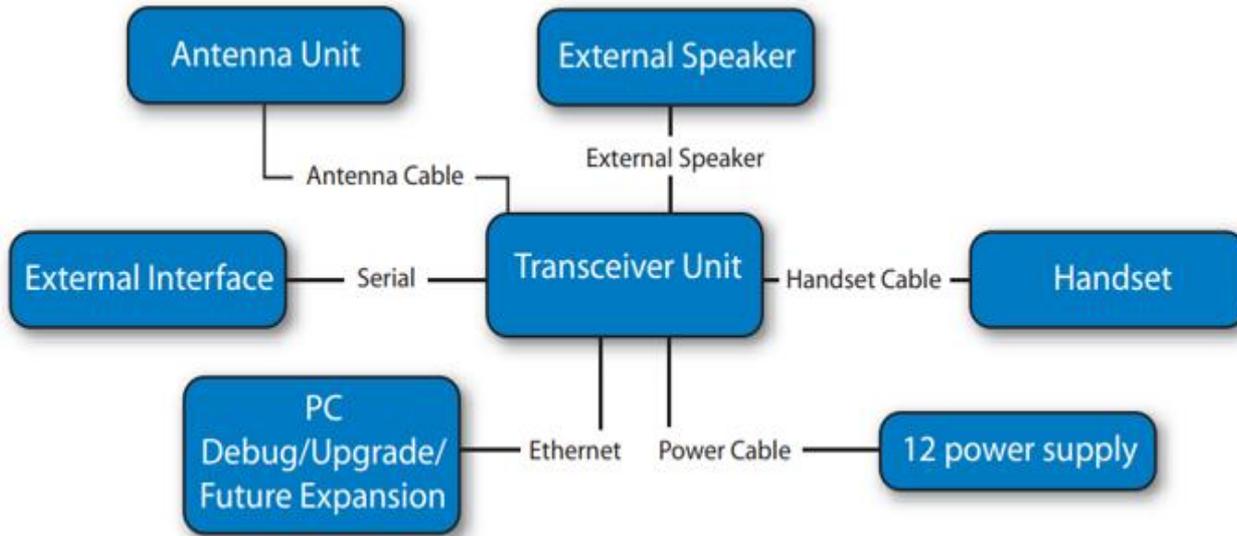
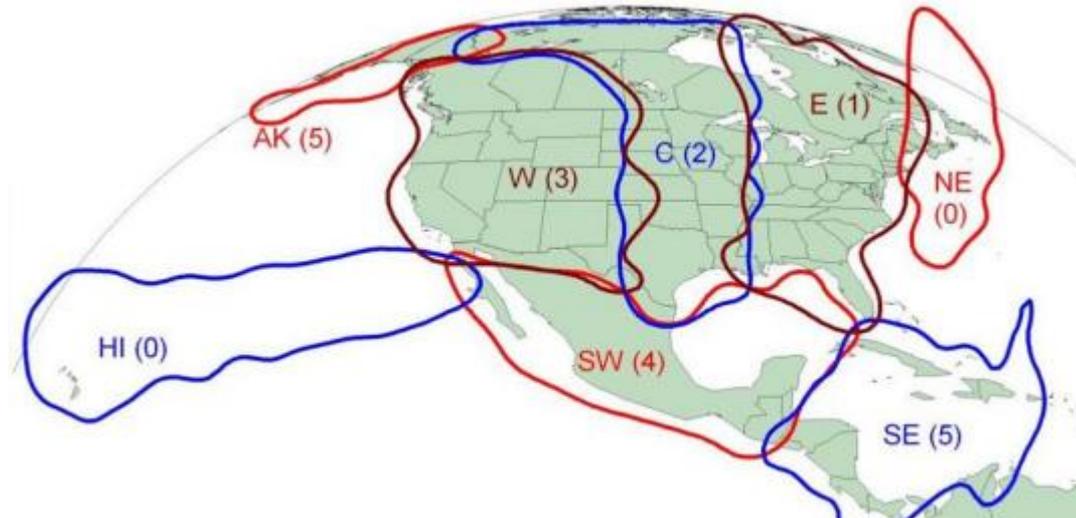
5.3 高中低轨移动卫星通信系统

- 区域性移动卫星业务主要由静止轨道(GEO)卫星来承担
- 未来GEO移动通信卫星将采用12-16m口径天线，能生成200-300个波束，使EIRP和G/T值大大提高，转发器采用矩阵功率放大器技术，广泛采用星上处理技术，从而实现手持式终端通信
- GEO区域移动卫星通信系统只需要一颗卫星，因此，无论从建网周期，发射费用，还是整个系统造价上都比中低轨道全球移动卫星系统小的多
- 北美移动卫星通信系统MSAT
 - 世界上第一个区域性移动卫星通信系统
 - 两颗完全相同的GEO卫星，互为备份星
 - 两颗卫星均可覆盖加拿大和美国几乎所有的区域，并有覆盖墨西哥和加勒比群岛的能力



MSAT-G2

MSAT-G2



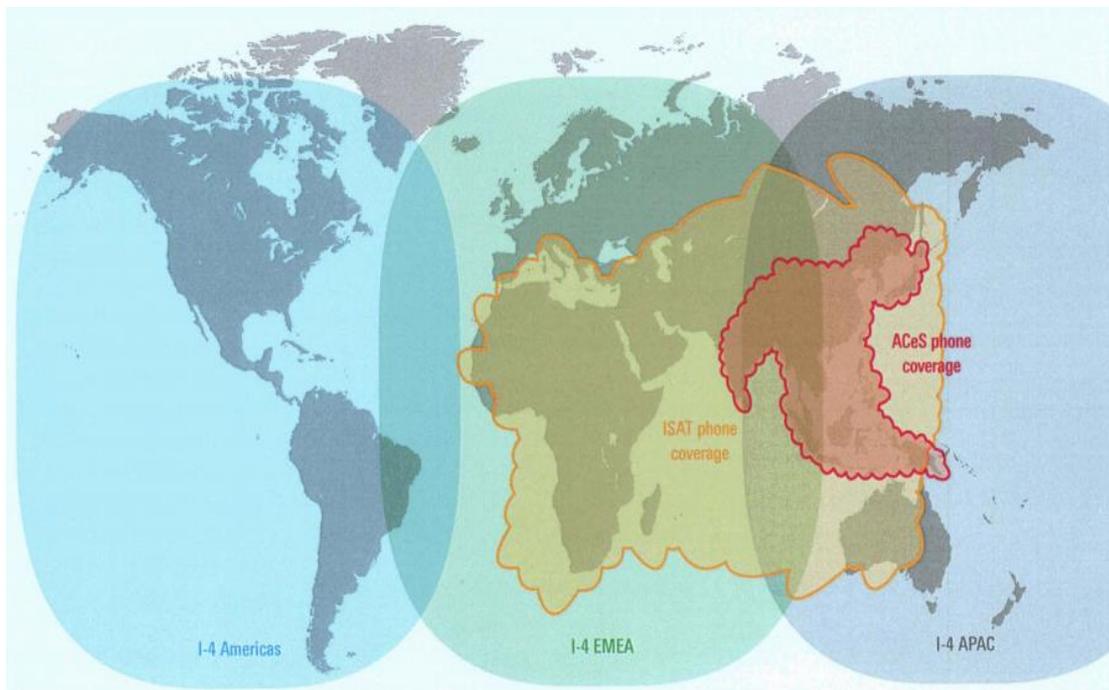
SPAC-AS-MSV220 Antenna (Land Mobile & Fixed)



SPAC-AS-MSV320 Antenna (Maritime)

□ 亚洲蜂窝系统ACeS

- GEO卫星蜂窝系统的目标有两个：为有限的区域提供服务和支持手机通信
- 建立区域性移动卫星通信对于发展中国家具有特殊意义，不仅可以为该地区提供移动通信服务，还可以用低成本的固定终端来满足广大稀业务地区的基本通信需求
- 由印度尼西亚等过建设的覆盖东南亚，东亚，南亚等地区的区域性移动卫星系统
- 提供双模卫星-GSM900的话音，传真，低速数据等业务
- 由两颗GEO卫星Garuda-1和Garuda-2组成



go places with ACeS

The Buyer

- A Business-driven need to extended coverage
- Entrepreneurs - business owners, consultants, professionals
- Requires wide coverage when travelling domestically and regionally on business
- Needs to stay in touch, professionally and socially
- Vertical Markets - based in regional areas, e.g. oil, forestry, armed forces, mining, transport, maritime and government.



Buying signals

- Wants greater coverage.
- Travels on business to areas without terrestrial coverage.
- Wants a phone with status.
- Wants a satellite phone that is lightweight and pocket sized.



Advantages of ACeS R190

Smaller and lighter than laptop and handheld satellite terminals.

Gives users greater mobility.

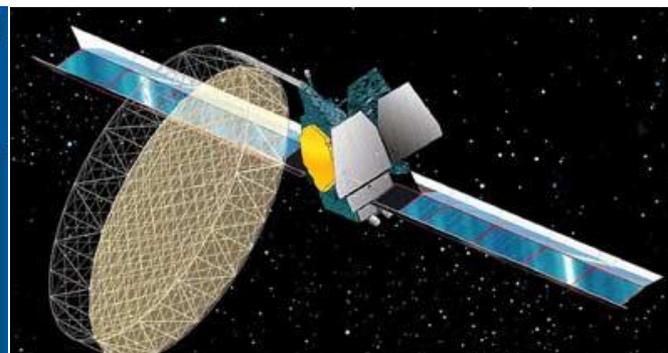
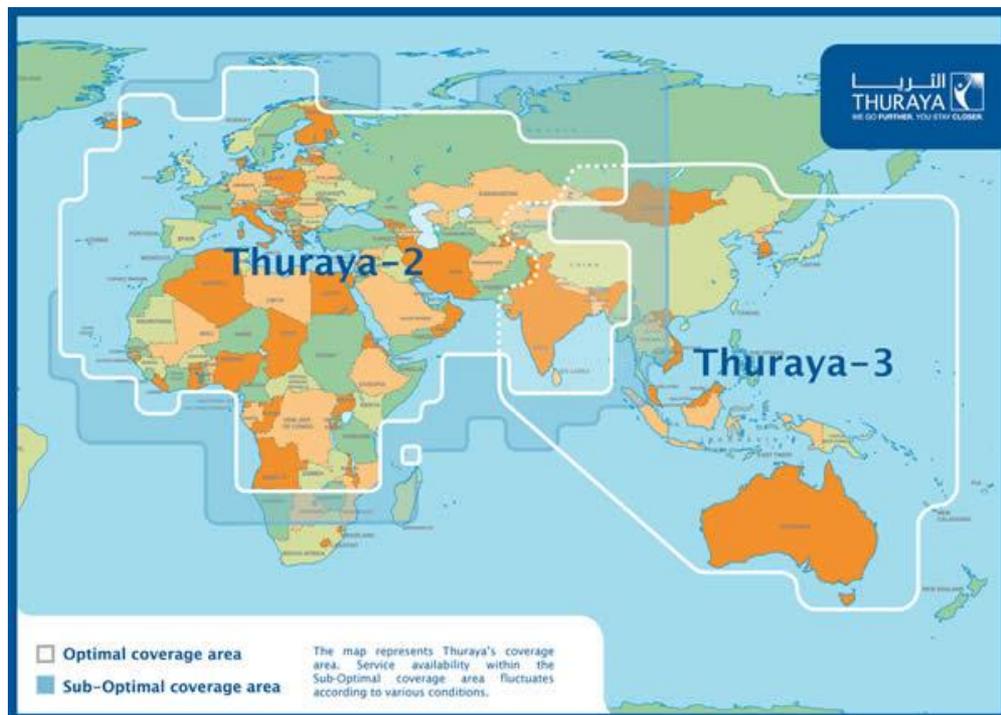
Automatic switching between satellite and GSM modes.

Designed specifically for the ACeS regional satellite system.



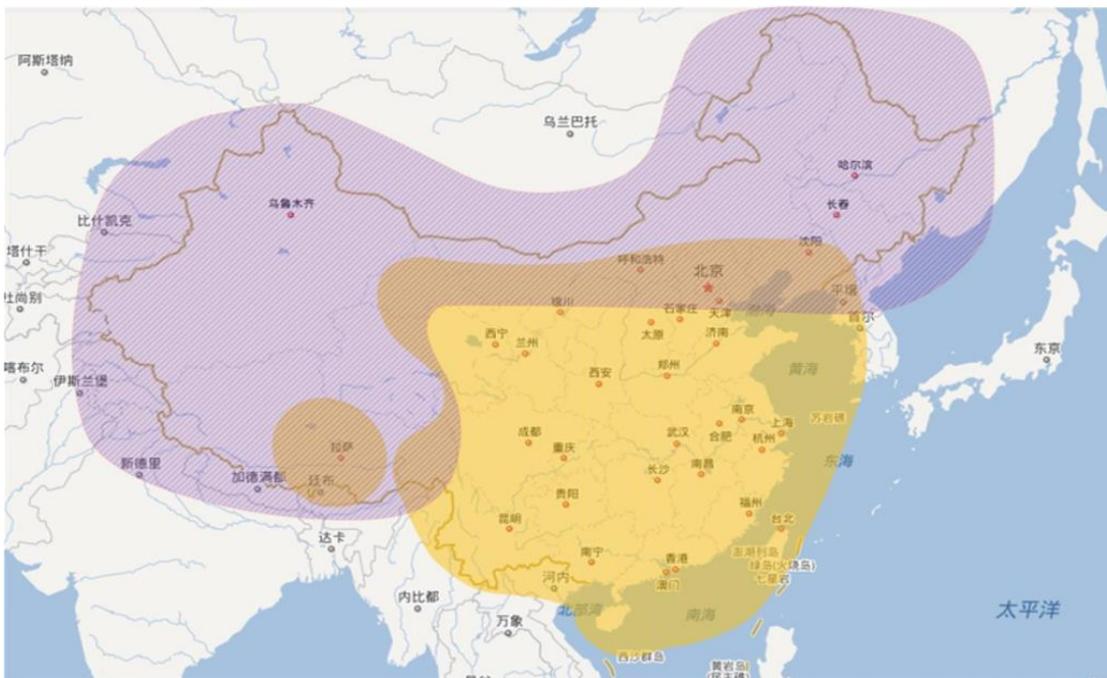
□ Thuraya 系统

- 由总部设在阿联酋阿布扎比的海湾国家们支持建设
- 2000年和2003年发射了由波音公司制造的两颗相同的GEO卫星，2007年发射了第三颗
- Thuraya系统同时融合了GSM,GPS和大覆盖范围的卫星网络，在覆盖范围内的移动用户之间可以实现单跳通信
- Thuraya系统的双模(GSM和卫星)手持终端，融合了陆地和卫星移动通信两种服务，用户可以在两种网络之间漫游而不会使通信中断



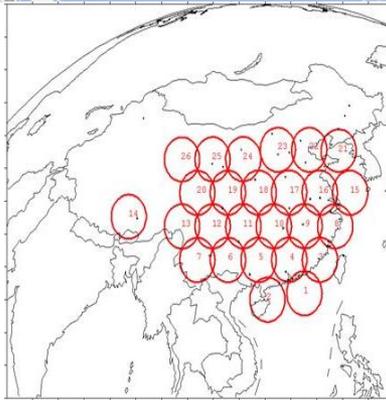
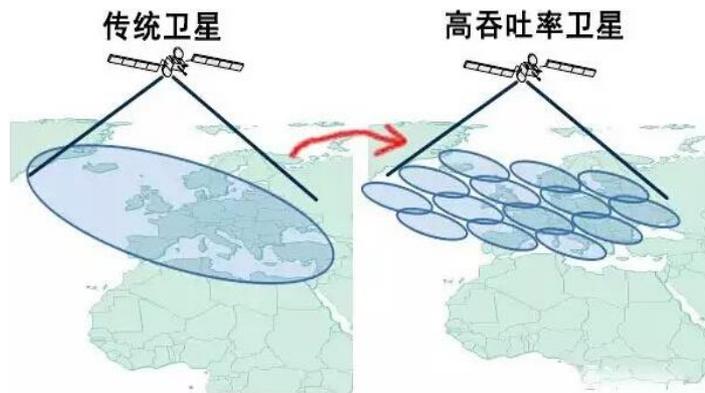
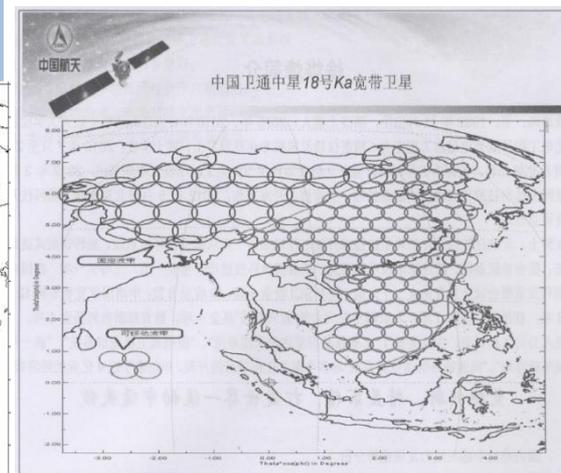
Satellite Phones 2012-2013



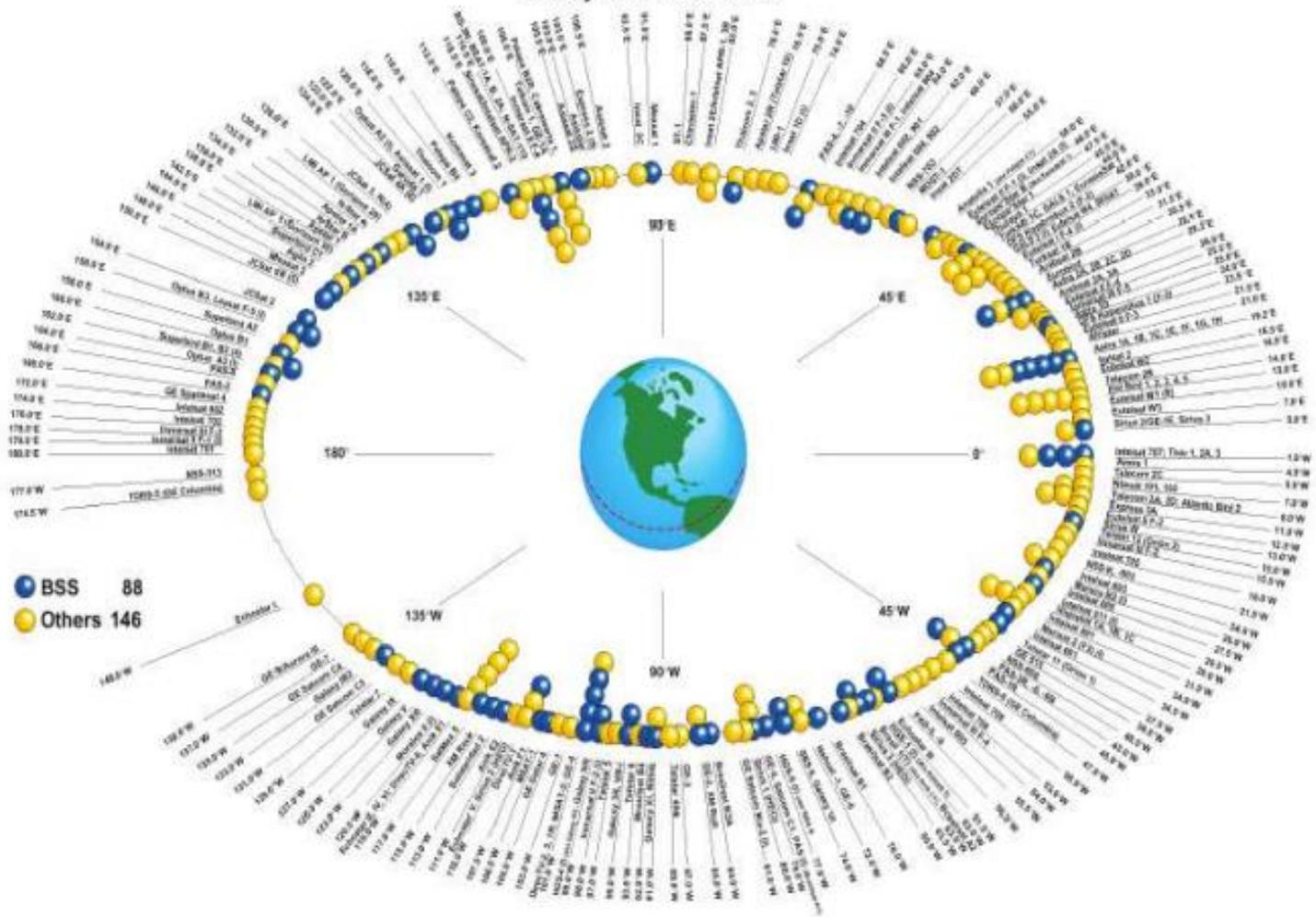


卫星名称	中星16号	中星18号
轨道位置	东经110.5度	东经115.5度
发射日期	2017年4月	2019年初
设计寿命	15年	15年
用户波束 馈电波束	26个 3个	14个 1个
信关站	3个	1个

全疆域覆盖，总容量可达**30Gbps**



Commercial Communications Satellites Geosynchronous Orbit

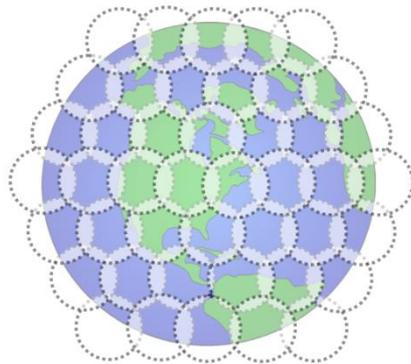


□ 低轨道移动卫星通信系统

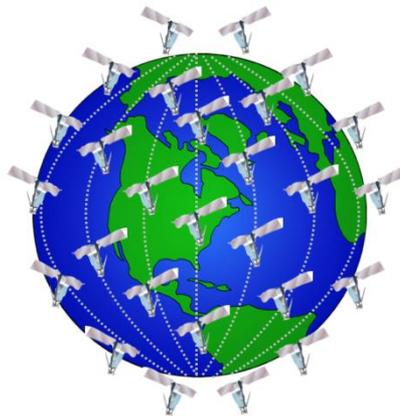
- 其基本思路是利用多个低轨道卫星组成卫星星座，组成区域或全球通信系统
- 卫星距离地面高度一般在500-1500km，绕地球一周的时间大约是100min，重量一般不超过500kg

□ LEO移动卫星通信系统的特点

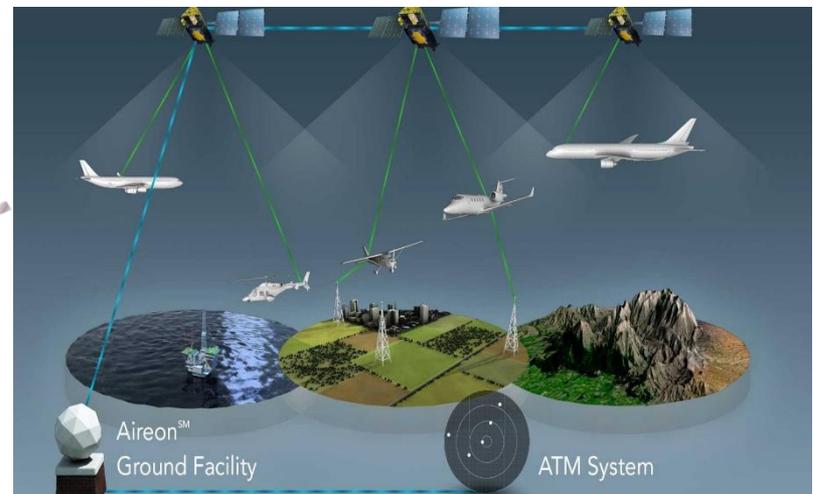
- 低轨小型通信卫星体积小，重量轻，造价低，制造周期短，可批量生产，使用方便
- 发射机动，迅速，卫星可用小型运载火箭发射，由于星体小，可采用一箭多星的方式发射
- 互为备份，损失较小，星群内部互为备份，其中一颗或几颗因故障作废也无损体系，方便及时更换
- 地面终端设备简单，造价低廉，便于携带
- 高度低，可大大削减同步地球卫星GEO工作时信号传输延时的问题



Leo Satellite Footprints



Leo Satellite Orbits



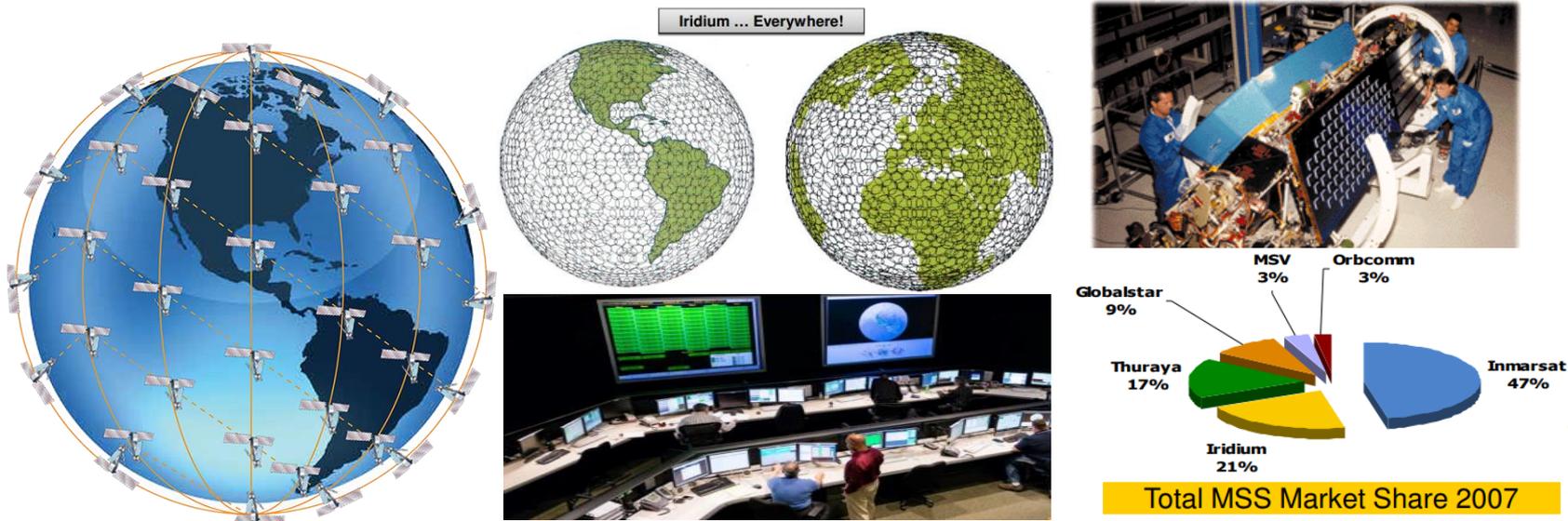
□ LEO系统被认为是最新，最有前途的移动卫星通信系统

❑ 铱星(Iridium)系统

- 77(后减为66颗)颗小卫星互联构成星座网络, 在里面780km高空围绕7个极地轨道运行
- 由于77颗卫星围绕地球飞行, 其形状类似铱原子的77个电子绕原子核运动

❑ 系统特点

- 每个轨道平面分布11颗卫星, 其中一颗是备用卫星, 所有卫星都向同一方向运转
- 单颗卫星48个波束, 使系统能把通信容量集中在通信业务需求量大的地方, 也可根据业务重新分配信道
- 采用FDMA/TDMA混合多址结构, 系统将10.5MHz的L频段按照FDMA方式分成240条信道, 每个信道再利用TDMA方式支持4个用户连接
- 目前已经扭亏为盈, 第二代铱星(Iridium Next)系统的10卫星已经于2017年发射升空

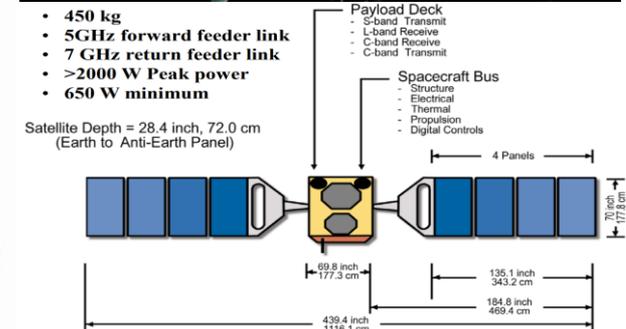
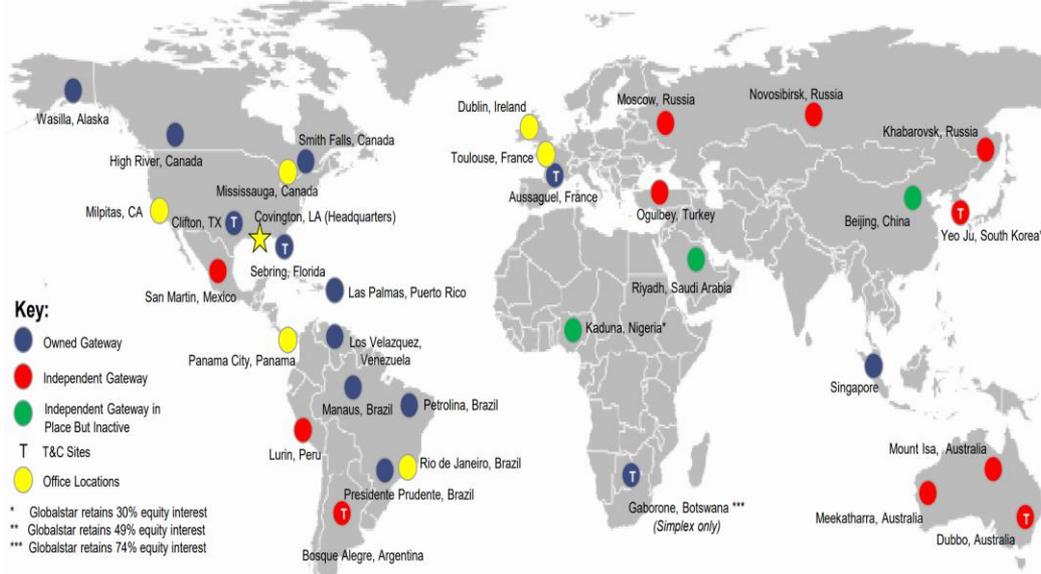


□ 全球星(Globalstar)系统

- 由美国劳拉公司和高通公司共同组建
- 由采用的结构和技术与铱星系统不同，它不是一个自成体系的系统，而是作为地面蜂窝移动通信系统和其它移动通信系统的延伸和补充
- 其设计思想是将地面基站搬移到卫星上，与地面系统兼容，即与多个独立的公共网或专用网同时运行，允许网间互通
- 成本比铱星系统低，没有星间链路和星上处理，技术难度和管理成本要低很多



Globalstar's Footprint

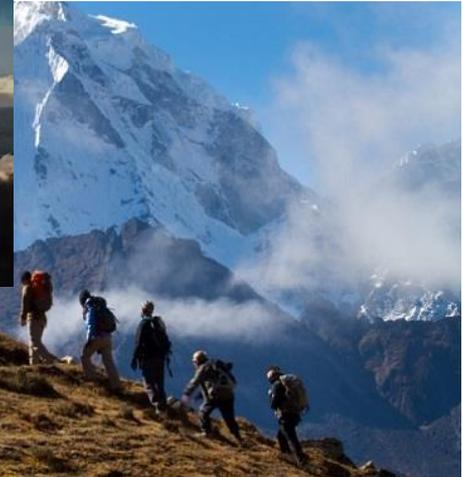


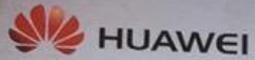
* Globalstar retains 30% equity interest
 ** Globalstar retains 49% equity interest
 *** Globalstar retains 74% equity interest

□ 中轨道移动卫星通信系统

- 由于LEO卫星数目多，寿命短，要及时补充发射备用卫星，因此业界开始尝试MEO移动卫星通信系统
- Inmarsat公司提出的中等高度圆轨道系统ICO(Intermediate Circular Orbit)
- 美国TRW公司提出的Odyssey系统
- ICO和Odyssey两个系统除了Odyssey多一条轨道面之外，它们的星座和地面设施以及业务极为相似
- 然而由于各种原因及困难，迄今为止，还没有一个真正发射组网并进行运营的MEO移动卫星通信系统

	Inmarsat	Globalstar	Iridium	Skyterra	TerreStar	ICO
Coverage	Global	Americas, Europe, Australia, parts of Asia, the Middle East and Northern Africa (non continuous availability)	Full global & polar	Americas	USA and Canada	USA
System	11 GEO satellites I-5 constellation (3 satellites) under construction.	40 LEO satellites Next-gen constellation of 24 satellites will be on orbit by end of 2011	66 LEO satellites, plus 9 in-orbit spares Iridium next generation satellites to be launched between 2013 and 2017	2 GEO satellites 2 next-generation GEO satellites planned	1 GEO satellite	1 GEO satellite, 1 MEO satellite
Spectrum	L-band	L-band, S-band	L-band	L-band	S-band	S-band





The journey is hard. And joyful.

With clear vision, precise focus, and unyielding determination, over 150,000 Huawei people in more than 170 countries are dedicated to bringing you the most innovative products and inspired experiences.

In UK, we serve over 35 million people and actively contribute to the local society.

