



高等学校电子信息类规划教材

通信系统 (修订版)

□ 王秉钧 王少勇 编著



西安电子科技大学出版社

[http:// www.xduph. com](http://www.xduph.com)

高等学校电子信息类规划教材

通信系统

(修订版)

王秉钧 王少勇 编著

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书是在 1999 年出版的全国电子信息类规划教材《通信系统》的基础上,根据通信技术的最新发展和教学改革实践的需要,重新修订编写而成的。

本书以数字通信方式为主,讲解了正在迅速发展和广泛应用的几种典型现代通信系统的构成原理、工程设计和系统测试等内容。全书共分三篇,内容包括卫星通信系统、光纤通信系统和计算机通信网。

本书取材新颖,注重实用,讲述由浅入深,概念清楚,重点突出,既便于教学,也有助于广大工程技术人员参考。

本书可作为高等院校通信工程、信息工程、电子工程、计算机通信和其它相近专业的本科生教材,也可供从事通信行业的有关工程技术人员和科技工作者阅读和参考。

★为方便教学,本书配有电子教案,需要者请与出版社联系,免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

通信系统/王秉钧,王少勇编著. --2 版.

西安:西安电子科技大学出版社,2004.5

高等学校电子信息类规划教材

ISBN 7-5606-0708-X

I. 通… II. ①王… ②王… III. 通信系统-高等学校-教材 IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 014260 号

责任编辑 马乐惠 曹华

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 1999 年 3 月第 1 版 2004 年 5 月第 2 版 2004 年 5 月第 3 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 21

字 数 490 千字

印 数 10 001~14 000 册

定 价 22.00 元

ISBN 7-5606-0708-X/TN·0128(课)

XDUP 0978012-3

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社，各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求，编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我们与各专指委、出版社协商后审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、有特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需、尚无正式教材的选题优先列于规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、学生和其他广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

修订版前言

本书第一版(1999 年出版)系按原电子工业部制订的《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由通信与信息工程专业教学指导委员会编审、推荐出版的规划教材。现根据通信技术的最新发展和教学改革实践的需要，重新进行了修编。与 1999 年相比，通信技术有了许多新的发展，因此，现在的修订版在内容和结构方面都有了许多变化，补充了一些有实用价值的新材料，删除了部分次要内容。

本书的参考教学时数为 80 学时左右。本书以最有生命力、最有发展前途的几种典型的现代通信系统为例，从工程实践角度讲述了现代通信系统的具体构成原理、工程设计、系统指标测试等内容。全书共分三篇。第一篇讲述卫星通信的基本原理、通信体制、系统设计，VSAT 卫星通信和移动卫星通信以及卫星通信网的网络建立、入网验证和系统测试等内容。第二篇讲述光纤通信系统的基本组成、通信光纤、光路无源器件、光发射机与光接收机、终端机与系统、光纤通信系统的设计和测试等内容。第三篇讲述计算机通信网的基本组成、网络体系结构、局域网与城域网、广域网技术以及网络互联技术等内容。由于本书所选系统具有典型性、先进性和系统性，代表了现代无线通信、有线通信和通信网的基本要点，为读者掌握其它通信系统奠定了良好的基础。

本书的各篇保持相对独立和完整，以便部分院校根据具体情况选授，可分别组成 32 学时、48 学时和 60 学时的课程。

本书由王秉钧、王少勇编写，北方交通大学冯玉珉教授担任主审。主审人对全书进行了认真细致的审阅，并提出了许多宝贵的意见。在此，我们表示诚挚的谢意。

本书 1999 年版在使用过程中，兄弟院校广大师生给予了大力支持和帮助，并提出了许多宝贵的意见。对此，我们表示诚挚的谢意。

最后，对西安电子科技大学出版社领导和编辑的支持和帮助表示衷心的感谢。同时，对参考文献的作者表示谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 2 月

第一版前言

本教材系按原电子工业部制订的《1996—2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由通信与信息工程专业教学指导委员会编审、推荐出版的。

本教材由天津大学王秉钧任主编，冯玉珉任主审，阮秋琦任责任编审。

本教材的参考时数为80学时左右。本书以最有生命力、最有发展前途的几种典型的现代通信系统为例，从工程实践角度讲述了现代通信系统的具体构成原理、工程设计和系统指标测试等实际内容。全书共分三篇。第一篇讲述卫星通信的基本原理、多址技术、系统设计、卫星地球站、VSAT卫星通信和移动卫星通信以及卫星通信网的网络建立、入网验证和系统测试等内容。第二篇讲述数字光纤通信系统的基本组成、光纤、光缆、光源、光检测器、光发射机、光接收机、光端机、电端机、光纤系统的设计和测试等内容。第三篇讲述计算机通信网的基本组成、数据传输、交换方式、网络体系结构与协议、局域网技术和网络互连技术等内容。由于本书所选系统具有典型性、先进性和系统性，代表了现代无线通信、有线通信和通信网的基本要点，为读者掌握其它通信系统奠定了良好的基础。

本书的各篇保持相对独立和完整，以便部分院校根据具体情况选授。

本书由王秉钧编写第一篇，王少勇编写第二篇，孙学军编写第三篇，王秉钧统编全书。此外，参加编写工作的还有韩敏、王平、田宝玉等同志。

本教材1990年版在使用过程中，本校和各兄弟院校广大师生给予了大力支持和帮助，并提出了许多宝贵意见。对此，我们表示诚挚的谢意。

对在本教材编写过程中教学指导委员会委员、责任编委、审稿人和责任编辑给予的指导、支持和帮助表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和错误，恳请读者批评指正。

编者

1998年4月

目 录

第一篇 卫星通信系统

第 1 章 卫星通信系统概述	3
1.1 卫星通信的基本概念	3
1.2 静止卫星通信的特点	6
1.3 卫星通信系统的组成	7
1.4 通信卫星的组成和功能	9
1.5 通信卫星的轨道和发射	12
1.5.1 通信卫星的轨道	12
1.5.2 静止轨道通信卫星发射	13
1.6 卫星通信地球站	16
1.6.1 地球站的种类	16
1.6.2 地球站的组成	16
1.7 卫星通信工作频段及电波传播特点	21
1.7.1 工作频段的选择	21
1.7.2 电波传播的特点	23
1.7.3 卫星通信线路噪声	28
第 2 章 卫星通信的通信体制	30
2.1 卫星通信体制概述	30
2.1.1 基带信号和复用方式	30
2.1.2 卫星通信调制方式	30
2.1.3 卫星通信数字话音编码方式	32
2.1.4 卫星通信中的差错控制与扰码	34
2.1.5 卫星通信多址联接方式和信道分配技术	36
2.2 频分多址(FDMA)方式	37
2.2.1 预分配频分多址方式	37
2.2.2 单路单载波—频分多址(SCPC/FDMA)方式	37
2.2.3 按需分配—频分多址(SPADE)方式	38
2.2.4 数字制多路复用频分多址方式	39
2.2.5 频分多址方式的互调干扰与能量扩散	39
2.3 时分多址(TDMA)方式	40
2.3.1 TDMA 系统的工作原理和帧结构	40
2.3.2 TDMA 方式的系统效率	42
2.3.3 TDMA 方式的系统同步	42
2.3.4 数字话音插空(DSI)	43
2.4 频分多址—时分多址(FDMA-TDMA)方式	44

2.5	卫星交换—时分多址(SS-TDMA)方式	44
2.6	码分多址(CDMA)方式	45
2.7	ALOHA 方式	47
第 3 章	卫星通信系统线路的设计与计算	52
3.1	概述	52
3.2	卫星通信线路载波功率的计算	52
3.3	卫星通信线路噪声功率的计算	53
3.4	卫星通信线路载波功率与噪声功率比	54
3.5	数字卫星通信线路设计	59
3.5.1	SCPC 系统线路的计算	59
3.5.2	PSK 数字卫星通信线路的设计	64
第 4 章	VSAT 卫星通信系统	69
4.1	VSAT 卫星通信网的基本概念及其特点	69
4.2	VSAT 数据通信网	70
4.2.1	VSAT 数据网的组成及工作原理	70
4.2.2	VSAT 业务类型及应用	73
4.2.3	VSAT 数据网的网络结构及组网形式	74
4.2.4	VSAT 网多址协议	76
4.3	VSAT 电话网	79
第 5 章	移动卫星通信系统	83
5.1	概述	83
5.1.1	移动卫星通信系统的分类	83
5.1.2	移动卫星通信系统的特点	85
5.1.3	移动卫星通信系统的关键技术及发展趋势	86
5.2	国际移动卫星通信系统(INMARSAT)	88
5.3	静止轨道(GEO)区域移动卫星通信系统	91
5.3.1	北美移动卫星通信系统——MSAT	92
5.3.2	提供手机业务的 GEO 移动卫星通信系统	94
5.4	低轨道(LEO)移动卫星通信系统	94
5.4.1	概述	94
5.4.2	“铱”(Iridium)系统	96
5.4.3	“全球星”(Globalstar)系统	99
5.5	中轨道(MEO)移动卫星通信系统	101
5.5.1	ICO 全球移动卫星通信系统	102
5.5.2	ICO 系统的组成	102
5.5.3	ICO 系统的空间段	103
5.5.4	ICO 系统的地面段	104
5.5.5	ICO 系统的用户段	104
第 6 章	卫星通信网络建立、入网验证和系统测试	106
6.1	新地球站入网运行程序	106
6.2	地球站的必备工作特性	108
6.3	验证测试项目与测试方法	110
6.3.1	G/T 值的测量	110

6.3.2 发射增益的测量	115
6.3.3 发射轴比的测量	115
6.3.4 发射旁瓣方向图的测量	116
6.3.5 EIRP 和频率稳定度的测量	117
习题一	117

第二篇 光纤通信系统

第 7 章 光纤通信系统概述	121
7.1 光纤通信系统的组成	121
7.2 光纤通信的特点	121
7.3 光纤通信的类型	122
7.4 光纤通信的发展方向和新技术	123
第 8 章 通信光纤	126
8.1 概述	126
8.2 光纤的传输特性	129
8.2.1 光纤的衰减特性	129
8.2.2 光纤的数值孔径 NA	130
8.2.3 光纤的色散特性	131
8.2.4 光纤的带宽	134
8.2.5 光纤的非线性效应	136
第 9 章 光路无源器件	138
9.1 光纤活动连接器	138
9.2 光衰减器	139
9.3 光隔离器与光环行器	140
9.4 光纤耦合器	141
9.4.1 光纤耦合器的分类	141
9.4.2 光纤耦合器的基本结构	142
9.4.3 微光元件型耦合器	143
9.4.4 集成光波导型耦合器	143
9.5 光波分复用器	144
9.5.1 组合型光复用器	145
9.5.2 熔锥光纤型光复用器	146
9.5.3 集成光波导型波分复用器	147
9.6 光开关	147
第 10 章 光发射机与光接收机	150
10.1 光源	150
10.1.1 半导体光源的发光机理	150
10.1.2 光源的分类及特性	151
10.1.3 半导体激光器的原理和结构	153
10.1.4 半导体激光器的特性	155
10.1.5 分布反馈(DFB)激光器	160

10.1.6	发光二极管	160
10.1.7	半导体光源与光纤的耦合	162
10.2	光发射机	164
10.2.1	光发射机的基本组成及要求	164
10.2.2	光发射机的光调制技术	165
10.2.3	光发射机的控制电路	167
10.3	光电检测器	168
10.3.1	半导体光电检测器的机理	168
10.3.2	半导体光电检测器的特性及参数	170
10.3.3	光电检测器与光纤的耦合	174
10.4	光接收机	175
10.4.1	光接收机的基本组成	175
10.4.2	光接收机的主要指标	177
10.5	光电集成器件与电路	178
第 11 章	终端机和系统	179
11.1	电端机简述	179
11.1.1	准同步数字系列 PDH	179
11.1.2	同步数字系列 SDH	181
11.2	光端机的作用和组成	182
11.3	光中继器的作用和组成	183
11.4	光放大器	184
11.5	光波复用技术	187
11.5.1	空分复用(SDM)	187
11.5.2	方向分割复用(DDM)	187
11.5.3	波分复用(WDM)	188
11.5.4	频分复用(FDM)	189
11.5.5	光时分复用(OTDM)	189
11.5.6	光码分复用(OCDM)	189
11.6	线路码型	190
11.7	光纤通信系统中的辅助系统	192
第 12 章	光纤通信系统设计	194
12.1	光纤通信系统分类及应用场合	194
12.2	光纤通信系统设计考虑和主要指标分配	196
12.2.1	光纤通信系统设计考虑	196
12.2.2	光纤数字系统的主要性能指标及其分配	199
12.2.3	光纤通信系统的光性能参数	203
12.3	光纤的选用	205
12.3.1	概述	205
12.3.2	光纤类型的选用	207
12.4	光纤传输的色散补偿	208
12.5	中继段传输距离的计算	211
12.5.1	中继段传输距离计算方法的分类	211
12.5.2	中继段光功率主要指标	212
12.5.3	衰减受限系统中中继段长度的计算	214

12.5.4 色散(带宽)受限系统中中继段长度的计算	215
12.5.5 系统上升时间和光接收机动态范围的核算	218
第 13 章 光纤及光纤通信系统的测量	221
13.1 光纤主要参数的测量	221
13.2 光发射机指标的测量	226
13.3 光接收机主要技术指标的测量	227
13.4 抖动容限和光端机告警功能的测量	228
习题二	230

第三篇 计算机通信网

第 14 章 计算机通信网概述	235
14.1 计算机网络的定义及其功能	235
14.1.1 计算机网络的定义	235
14.1.2 计算机网络的功能	235
14.2 计算机网络的组成	236
14.3 计算机网络的分类	237
14.3.1 局域网(LAN)	237
14.3.2 城域网(MAN)	237
14.3.3 广域网(WAN)	238
14.4 计算机网络的拓扑结构	238
14.4.1 点对点传输结构	238
14.4.2 广播式传输结构	239
14.5 数据交换技术	240
14.5.1 电路交换(Circuit Switching)	240
14.5.2 报文交换(Message Switching)	241
14.5.3 分组交换(Packet Switching)	241
14.5.4 帧中继(Frame Relay)	242
14.5.5 异步传输模式(ATM)	242
第 15 章 网络体系结构	243
15.1 概述	243
15.1.1 分层体系结构	243
15.1.2 开放系统互连(OSI)参考模型(RM)	244
15.1.3 开放系统互连(OSI)环境	246
15.2 物理层	247
15.2.1 物理层接口特性	248
15.2.2 常用物理层接口标准	249
15.3 数据链路层	250
15.3.1 数据链路层的基本功能	250
15.3.2 流量控制	252
15.3.3 差错控制	253
15.3.4 高级数据链路控制(HDLC)规程	255
15.4 网络层	257

15.4.1	网络层提供的服务	257
15.4.2	路由选择	258
15.4.3	业务量控制	261
15.5	高位层简介	266
15.5.1	传输层	266
15.5.2	会话层	267
15.5.3	表示层	268
15.5.4	应用层	268
第 16 章	局域网与城域网	269
16.1	概述	269
16.1.1	局域网的定义及特性	269
16.1.2	IEEE 802 标准	270
16.1.3	IEEE 802 局域网/城域网参考模型	271
16.1.4	IEEE 802 局域网的帧结构	272
16.2	局域网介质访问控制方法	273
16.2.1	载波侦听多路访问(CSMA)方法	273
16.2.2	带冲突检测的载波侦听多路访问(CSMA/CD)方法	274
16.2.3	带冲突回避的载波侦听多路访问(CSMA/CA)方法	275
16.2.4	令牌环(Token Ring)介质访问控制方法	275
16.2.5	令牌总线(Token Bus)介质访问控制方法	276
16.3	以太网	277
16.3.1	以太网(Ethernet)	277
16.3.2	星型结构以太网	279
16.3.3	交换式以太网	280
16.3.4	虚拟局域网	280
16.4	高速以太网	281
16.4.1	快速以太网	281
16.4.2	100VG - Any LAN	281
16.4.3	千兆以太网	281
16.4.4	万兆以太网	282
16.5	无线局域网	282
16.6	光纤分布式数据接口(FDDI)	283
16.7	城域网	285
第 17 章	广域网技术	288
17.1	Internet 与 TCP/IP	288
17.1.1	Internet	288
17.1.2	TCP/IP 协议	290
17.2	分组交换网	293
17.2.1	分组交换网的组成	293
17.2.2	X.25 协议	293
17.3	数字数据网(DDN)	296
17.4	帧中继(FR)网	297
17.5	综合业务数字网(ISDN)	298
17.5.1	ISDN 的概念	298

17.5.2	ISDN 的网络功能体系结构	299
17.5.3	N-ISDN 用户接入的参考配置	299
17.5.4	ISDN 的业务功能及应用	300
17.6	宽带综合业务数字网(B-ISDN)与 ATM	301
17.7	智能网(IN)	306
第 18 章	网络互连技术	308
18.1	网络互连的基本概念	308
18.2	网络互连的层次	308
18.3	网络互连的方式	309
18.3.1	LAN-LAN 互连	309
18.3.2	LAN-WAN 互连	310
18.3.3	WAN-WAN 互连	311
18.4	网络互连设备	312
18.4.1	中继器	312
18.4.2	网桥	313
18.4.3	路由器	314
18.4.4	网关	316
18.5	网络互连协议	316
18.5.1	X.75 协议	316
18.5.2	IP 协议	318
习题三		320
参考文献		322

第一篇



卫星通信系统



第 1 章

卫星通信系统概述

1.1 卫星通信的基本概念

卫星通信是指利用人造地球卫星作为中继站转发或反射无线电信号，在两个或多个地球站之间进行的通信。这里，地球站是指设在地球表面(包括地面、海洋和大气中)上的无线电通信站。而用于实现通信目的的这种人造卫星叫作通信卫星，如图 1.1 所示。

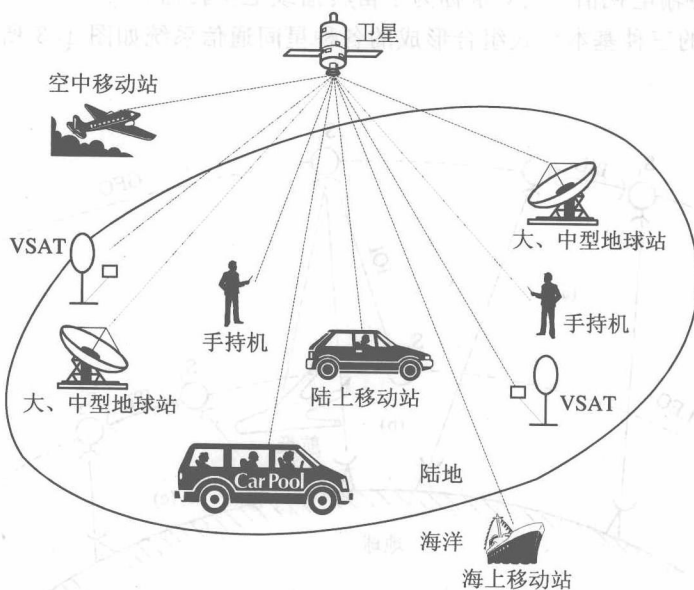


图 1.1 卫星通信示意图

利用无源通信卫星反射无线电信号构成的卫星通信方式，在目前的卫星通信中已被淘汰，因此，我们只讨论利用有源通信卫星转发无线电信号构成的卫星通信系统。图 1.1 表示在一颗通信卫星天线波束覆盖的地球表面区域内，各种地球站通过卫星中继站转发信号来进行通信的情况。因此，卫星通信实际上就是利用通信卫星作为中继站的一种特殊的微波中继通信方式。

卫星通信是宇宙无线电通信的形式之一。在国际电信联盟(ITU)的世界无线电行政会议(WARC)通过的规定中，确定了有关卫星通信的术语和定义。通常，把以宇宙飞行体为

对象的无线电通信统称为宇宙通信，但按照国际电信联盟的规定，它的正式名称为宇宙无线电通信。共同进行宇宙无线电通信的一组宇宙站和地球站叫作宇宙系统。这里，宇宙站是指设在地球大气层之外的宇宙飞行体(如人造通信卫星、宇宙飞船等)或其它天体(如月球或别的行星)上的通信站。宇宙通信有三种基本形式，如图 1.2 所示。

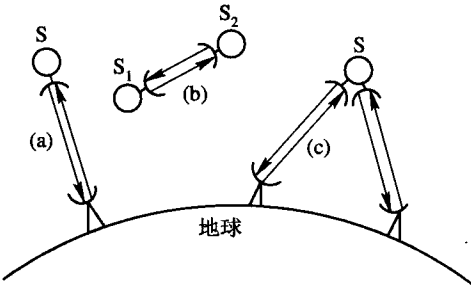


图 1.2 宇宙无线电通信的三种基本形式

- (a) 地球站与宇宙站之间的通信；
- (b) 宇宙站之间的通信；
- (c) 通过宇宙站的转发或反射进行的地球站之间的通信

图 1.2(c)所示的通信方式通常称为卫星通信。当卫星是静止卫星时，称为静止卫星通信。利用卫星来传输电视信号时，常称为宇宙转播或卫星转播。

由图 1.2 中的三种基本形式组合形成的各种星间通信系统如图 1.3 所示。

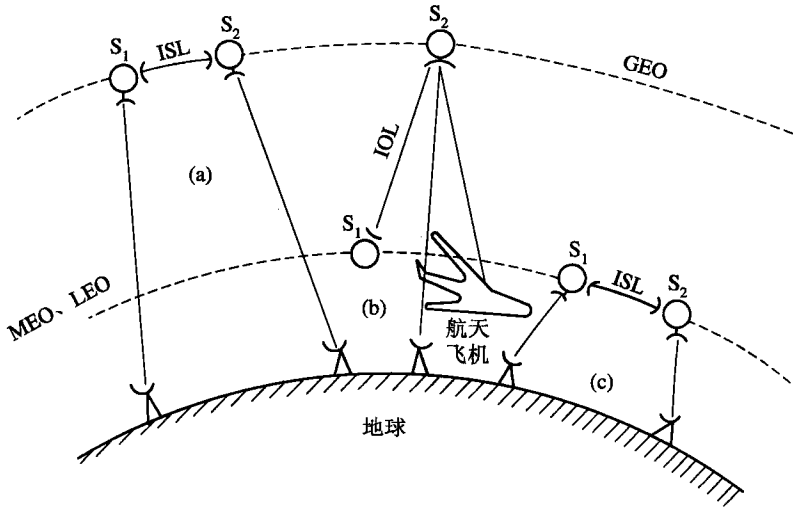


图 1.3 星间通信形态

- (a) 静止轨道间(GEO - GEO)的星间通信；
- (b) 静止轨道与低、中轨道移动卫星和宇宙平台等飞行器间(GEO - LEO, GEO - MEO)的星间通信；
- (c) 静止轨道以外的多个宇宙飞行器间的星间通信

一般称同轨道卫星间的线路为星间链路(ISL, Inter-Satellite Link)，而称不同轨道宇宙站间的线路为星际链路(IOL, Inter-Orbit Link)。

美国休斯通信公司正在开发的 SPACEWAY 毫米波全球卫星通信系统是利用静止轨