

文章编号: 1001 - 893X(2012)04 - 0452 - 04

基于小卫星中继的远程通信方案*

吴 昊, 陈树新, 张衡阳

(空军工程大学 电讯工程学院, 西安 710077)

摘要:为满足远程局部战场的通信需求,提出了一种以小卫星为中继的远程通信方案。在分析远程通信系统组成和工作原理的基础上,综合考虑环境因素推算了小卫星轨道参数,构建了具备通信中继功能的中椭圆回归轨道小卫星星座,实现了战机-作战指挥中心通信功能,通过 STK 软件建立了基于小卫星中继的远程通信覆盖模型。仿真结果表明,该方案对指定战区的平均覆盖率为 99.69%,作战指挥中心与战机的可连接时间达到 98.26%。

关键词:远程通信;小卫星;中继;区域覆盖;椭圆轨道

中图分类号: TN927 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-893x.2012.04.006

A Remote Communication Scheme Based on Small Satellite Relay

WU Hao, CHEN Shu-xin, ZHANG Heng-yang

(Telecommunications Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: To satisfy the communication demands of remote local war, a small satellite relay-based remote communication scheme is proposed. The composition and working principle of remote communication system are analysed, orbit parameters of small satellite are calculated according to environment factors. Small satellites communication relay constellation of medium elliptic recursive orbit is structured, and communication between fighter and combat command center is realized. The coverage model of small satellite relay-based remote communication is built by STK software, and simulation results show that the average coverage rate of target area is 99.69%, available connection time rate of combat command center and fighter is 98.26%.

Key words: remote communication; small satellite; relay; area coverage; elliptic orbit

1 引言

打赢信息化条件下的远程局部战争离不开远程通信的保障。伊拉克战争中,几乎所有的美军战机、坦克都可以通过美军的全球通信系统实现与美国本土信息的传递。强大的军事信息网络在为美军获得绝对信息优势,迅速赢得战争胜利发挥了无可替代

的作用^[1]。

目前,军事远程通信主要采用短波通信、超短波通信、高轨卫星中继通信等。短波通信带宽有限且信道质量差,通信质量难以达到作战需求;受地球曲率影响,超短波通信的通信半径有限,若战区在视距范围之外,则会造成战区部队与本土作战指挥中心的通信困难;高轨卫星中继通信传输时延大,对用户天线

* 收稿日期: 2011 - 11 - 15; 修回日期: 2012 - 03 - 02

基金项目: 航空科学基金资助项目(20095596016); 陕西省自然科学基金资助项目(2010JQ8010); 空军工程大学电讯工程学院科研创新基金资助项目(DYCX1108)

Foundation Item: Aeronautics Science Foundation (No. 20095596016); The Natural Science Foundation of Shaanxi Province (2010JQ8010); The Scientific Research Innovation Fund of Telecommunications Engineering Institute of Air Force Engineering University (DYCX1108)

的发射功率要求高,在如今快节奏、高技术战争中难以保证通信的实时性和有效性。为此,需要设计一种不受距离限制且通信质量高的远程通信方案,在还未建立起全球军事通信保障系统的情况下,确保对任意战区内部队尤其是战机的远程通信保障。

小卫星通常是指质量在1 000 kg以下的一种人造卫星。近年来,因具有功能密度高、研制周期短等特点被广泛应用于军事领域,成为取得现代信息战争主导权的主要手段之一^[2-3]。因此,本文提出一种以小卫星为中继平台的远程通信方案,通过卫星对战区的全天候连续覆盖,实现对战区部队尤其是战机的通信支援。

2 小卫星远程通信系统的工作原理

小卫星远程通信系统实质是以多颗卫星组成的中继平台实现作战指挥中心和局部战场战机的通信,主要包括空间段、用户段和地面段^[4]。空间段包括由多颗小卫星组成的中继平台以及具有控制功能的地球同步中继卫星;用户段由各种用户终端组成,可以是手持机、便携站、机(车)载站等设备;地面段主要包括信关站、卫星控制中心、网络控制中心等。为简化分析,假定作战指挥中心具备信关站、控制段的功能,且小卫星间不存在星间链路。系统具体结构如图 1 所示。其中,作战指挥中心位于战区之外。

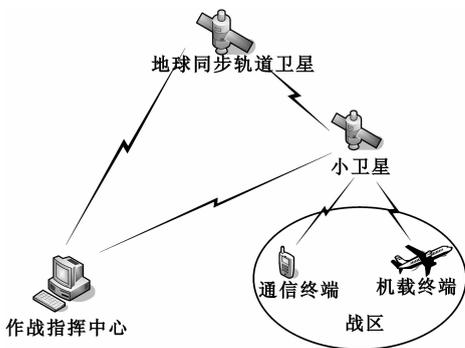


图 1 小卫星中继远程通信系统的结构

Fig.1 Structure of small satellite relay remote communication system

下面以对战机的远程通信支援为例来说明该系统的工作原理。首先保证小卫星对战区的连续覆盖。若作战指挥中心与战区都在小卫星的覆盖范围内,直接通过小卫星建立作战指挥中心和战机的通信链路;若作战指挥中心不在小卫星的覆盖范围内,建立小卫星与地球同步卫星的星间链路,再以地球

同步卫星进行二次中继,实现信息的发送与回传。

3 小卫星中继平台轨道参数推算

实现小卫星对战区的全天连续覆盖是保证战区部队与作战指挥中心通信畅通的前提,即在任意时间段至少有一颗卫星完全覆盖作战区域。为此,需要推算小卫星中继平台的轨道参数以达到这一要求。

设定目标区域为以(25.83°N,123.75°E)为中心、直径为400 km的圆形区域 A。为了定量描述小卫星在空间的位置,建立地心惯性坐标系 $oxyz$,卫星沿着轨道的运动可以用轨道倾角、升交点赤经、近地点幅角、轨道半长轴、轨道偏心率和卫星的初始相位 6 个参数来描述。

椭圆轨道具有远地点运动速度慢、相对滞留时间长特点,不会造成链路的浪费,特别适合对特定区域的覆盖。轨道高度越高,单颗卫星对地面的覆盖区域越大,所需卫星数也就越少,但自由空间损耗、传输时延也就越大。此外,希望每天任意时刻卫星相对于地球的位置是固定的,这样就能根据卫星的运动规律安排工作时段和信号发射功率的大小。考虑到以上因素的折衷,中继小卫星采用中椭圆回归轨道。

当考虑地球非球形一阶摄动时,卫星轨道在惯性空间有旋转^[5],为了克服椭圆轨道的远地点漂移,轨道倾角只能选择 63.4°或 116.6°。

设小卫星回归周期为 T ,选定后可根据式(1)计算出椭圆轨道半长轴 a 。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{\mu}} \quad (1)$$

式中, μ 为开普勒常数。

确定椭圆轨道半长轴后,轨道高度就由偏心率 e 决定。考虑到范·艾伦带对星载电子设备的损害极大,在设计轨道高度时应该避开范·艾伦带的中心区域^[6],所以远地点轨道高度应位于 8 000 ~ 15 000 km 范围内。由式(2)~(3)以及以上讨论可得出偏心率的取值范围。

$$a = \frac{h_p + h_a}{2} + R_e \quad (2)$$

$$e = 1 - \frac{h_p + R_e}{a} \quad (3)$$

式中, R_e 为地球半径, h_p 和 h_a 分别是椭圆轨道的近地点高度和远地点高度。

选择合适的近地点幅角可以使轨道的远地点过

目标区域上空,以提高小卫星的区域覆盖性能。为确保目标区域的中心点位于轨道平面内,还需对升交点赤经和真近点角进行组合设计,这可以在地心惯性坐标系下通过几何方法以及卫星的轨道运动特性算出^[7]。在军事通信中,轨道的选择往往还受到其他因素如抗毁性能的影响。

由于地球自转和中椭圆轨道的限制,只用一颗小卫星显然无法实现对目标区域的连续覆盖,因此,要用多颗小卫星组网来实现对目标区域的连续覆盖。通过计算和仿真发现,对上述区域来说,至少需要4颗小卫星才能实现对目标区域99%以上的覆盖。根据以上讨论,得出小卫星的轨道参数如表1所示。

表1 小卫星轨道参数
Table 1 Orbit parameters of small satellites

| 小卫星 | 轨道倾角 / (°) | 半长轴 / km | 偏心率 | 近地点幅角 / (°) | 升交点赤经 / (°) | 真近点角 / (°) |
|-----|------------|----------|---------|-------------|-------------|------------|
| 1 | 63.4 | 12 793 | 0.462 4 | 270 | 180 | 60 |
| 2 | 63.4 | 12 793 | 0.462 4 | 270 | 310 | 220 |
| 3 | 63.4 | 12 793 | 0.462 4 | 270 | 220 | 160 |
| 4 | 63.4 | 12 793 | 0.462 4 | 270 | 6 | 18 |

4 覆盖性能和链路连接性能建模仿真

远程通信方案是否可行,还需对方案的性能进行研究。下面利用STK软件^[8]建立具体的仿真模型,从远程通信系统对战区的覆盖率、具体通信链路的可连接情况两个方面对该方案的性能进行建模仿真分析。

4.1 仿真模型建立

战区设定为第3节讨论的圆形区域A,作战指挥中心位于区域A以外的某点B。战机于12:00从作战指挥中心出发到战区执行任务,次日11:22回到作战指挥中心。累计时间为23 h 22 min。仿真时间步长设为1 min。小卫星远程通信系统需保证战机在执行任务期间与作战指挥中心的实时信息互通。

因小卫星覆盖范围大且在该场景中战区与作战指挥中心较近,直接通过小卫星星座建立作战指挥中心与战区的通信链路,若在某时刻一颗或一颗以上小卫星能同时覆盖战机和作战指挥中心,就认为它们之间可以建立通信链路。

实际中,4颗小卫星工作时段不同,还需要考虑

如何切换工作时段。如图1所示,可以通过地球同步卫星对小卫星进行控制,当小卫星进入或离开指定工作空间时,地球同步卫星分别下达工作、停机命令,确保通信系统的顺利运行。

4.2 小卫星中继平台对战区的覆盖情况仿真

以表1所示的小卫星星座作为中继平台,以战区为目标区域进行覆盖分析。由于采用回归轨道,卫星每天具有相同的地面轨迹,因此仅需分析一天内小卫星星座对战区的累计覆盖情况,如图2所示。图中横坐标为时间,纵坐标为小卫星星座对战区的平均覆盖率。

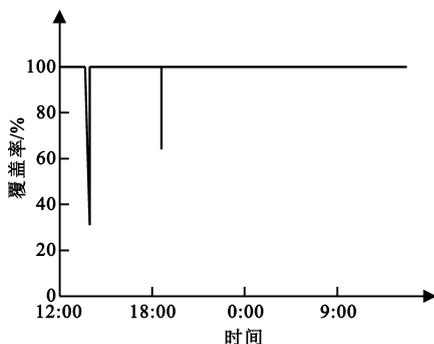


图2 一天内小卫星星座对战区的覆盖情况
Fig.2 Coverage condition of small satellite constellation to war area in a day

从STK覆盖分析工具得到系统对战区的平均覆盖率99.69%。其中,未完全覆盖的时间段为13:14~13:22和18:15~18:18,累计时间为13 min,基本实现了对战区的连续覆盖。

4.3 通信链路建立仿真

利用STK仿真,得到战机从出发到返航时间段内与作战指挥中心的通信链路的建立情况,如图3所示。图中横轴是时间,纵轴分别为以4颗小卫星为中继,战机与作战指挥中心的连接情况。

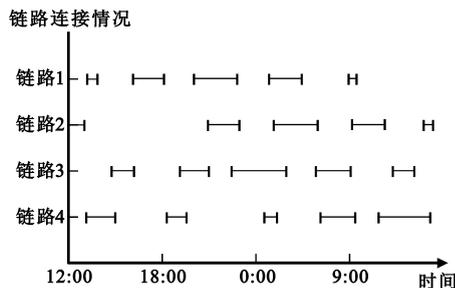


图3 战机和作战指挥中心的链路建立情况
Fig.3 Link establishments of fighter and combat command center

通过 STK 链路连接工具,得到作战指挥中心与战机未建立链路的时间段为 13:14 ~ 13:27 和 18:14 ~ 18:24,累计时间为 25 min。即可以进行连接的时间占 98.26%。在系统发射、接收功率设置合理的情况下,该方案基本可以满足战术通信需求。

需要说明的是,椭圆轨道对不同经纬度地区的覆盖性能有所不同,因此局部战场的位置和大小不同,需要的小卫星数目可能会不同,但可用同样的方法推算出小卫星星座的轨道参数,得出其覆盖性能。

5 结束语

通信畅通是赢得现代战争的必要条件,本文以局部战争为背景,提出了一种小卫星远程区域通信支援方案。该方案同超短波通信、高轨卫星中继通信等已有远程通信方式相比,具有区域覆盖效果好、传输时延小、组网灵活、成本低等优点。在尚未建立全球军事信息保障系统的前提下,提供了一种可行的、成本较低的军事远程区域通信保障系统的建设思路。

当然,本文仅仅在理想条件下对小卫星的覆盖特性和通信链路的可连接性进行了仿真分析,要实现远程通信支援的有效性,还应在此基础上考虑卫星信道的传输特性,卫星、通信终端、地面站发射接收参数的设计,传输误码率性能以及通信容量等问题。

参考文献:

- [1] 袁飞,王志信,王松松.美军 EHF 卫星通信系统[J].国防科技,2010,31(6):22-25.
YUAN Fei, WEN Zhi-xin, WANG Song-song. EHF Satellite Communication System of the U.S. Army[J]. National Defense Science & Technology, 2010, 31(6): 22-25. (in Chinese)
- [2] 张更新.现代小卫星及其应用[M].北京:人民邮电出版社,2009.
ZHANG Geng-xin. Modern Small Satellite and Applications [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2009. (in Chinese)
- [3] 黄志澄.小卫星技术与其军事应用的进展[J].国际技术经济研究,2007(4):30-32.
HUANG Zhi-cheng. Small Satellite Technology and Progress of its Military Applications[J]. Studies in International Technology & Economy, 2007(4): 30-32. (in Chinese)
- [4] Ibnkahla M, Rahman Q M, Sulyman A I, et al. High-speed Satellite Mobile Communications: Technologies and Chal-

- lenges[J]. Proceedings of the IEEE, 2004, 92(2): 312-316.
- [5] 蒙波,韩朝,黄卫俊.区域覆盖特殊椭圆轨道星座优化设计[J].北京航空航天大学学报,2008,34(2):167-168.
MENG Bo, HAN Chao, HUANG Wei-jun. Optimization of Special Elliptic Orbit Constellation for Regional Coverage[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(2): 167-168. (in Chinese)
- [6] 吴廷勇,吴诗其,卓永宁.卫星通信导论[M].2版.北京:电子工业出版社,2008.
WU Ting-yong, WU Shi-qi, ZHUO Yong-ning. Introduction to Satellite Communications[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008. (in Chinese)
- [7] 张雅声,张育林.一种有效的中椭圆轨道卫星星座设计与分析[J].装备指挥技术学院学报,2006,17(8):42-47.
ZHANG Ya-sheng, ZHANG Yu-lin. Design and Analysis of an Effective Medium Ellipse Orbit Satellites Constellation [J]. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2006, 17(8): 42-47. (in Chinese)
- [8] 张彩娟.STK 及其在卫星系统仿真中的应用[J].无线电通信技术,2007,33(4):45-46.
ZHANG Cai-juan. STK and its Application in Satellite System Simulation[J]. Radio Communications Technology, 2007, 33(4): 45-46. (in Chinese)

作者简介:

吴昊(1988—),男,陕西汉中,2010年于空军工程大学获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为空天信息与网络传输;

WU Hao was born in Hanzhong, Shaanxi Province, in 1988. He received the B.S. degree from Air Force Engineering University in 2010. He is now a graduate student. His research concerns air-space information and network transmission.

Email: wuhao123@qq.com

陈树新(1965—),男,陕西商洛人,2002年于西北工业大学获博士学位,现为教授、硕士生导师,主要研究方向为通信系统仿真;

CHEN Shu-xin was born in Shangluo, Shaanxi Province, in 1965. He received the Ph.D. degree from Northwestern Polytechnical University in 2002. He is now a professor and also the instructor of graduate students. His research direction is communication system simulation.

张衡阳(1978—),男,湖南祁东人,2007年于国防科学技术大学获博士学位,现为讲师,主要研究方向为军事航空通信、Ad Hoc 网络。

ZHANG Heng-yang was born in Qidong, Hunan Province, in 1978. He received the Ph.D. degree from National University of Defense Technology in 2007. He is now a lecturer. His research concerns military aeronautics communication and Ad Hoc network.