

文章编号:1001-893X(2010)10-0087-06

多层卫星网络激光星间链路空间特性仿真^{*}

余侃民,李勇军,吴继礼,洪 华,易 鹏

(空军工程大学 电讯工程学院,西安 710077)

摘 要:多层卫星网络结构由于其鲁棒性强,可实现无缝覆盖等特点而成为研究热点。针对高轨/中轨/低轨(GEO/MEO/LEO)多层卫星网络结构,研究了各个节点间的激光链路,推导出了不同轨道间两个卫星位置关系的坐标转换公式。对同层间激光链路(OISL)、异层间激光链路(OIOL)俯仰角、方位角以及距离参数和 GEO 对 LEO 覆盖特性进行了仿真。结果表明,卫星光学终端俯仰指瞄范围完全可以满足目标星的移动要求,但水平指瞄范围和扫描速度是影响星间激光链路性能的主要因素。

关键词:卫星通信;多层卫星网络;激光星间链路;空间特性;捕获、瞄准和追踪

中图分类号:TN929.11 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-893x.2010.10.017

Space Characteristic Simulation of Optical Inter-satellite Links in Multi-layer Satellite Networks

YU Kan-min, LI Yong-jun, WU Ji-li, HONG Hua, YI Peng

(Telecommunication Engineering Institute, Air force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Multi-layer satellite network structure has become the research focus for its excellent qualities of high robustness and seamless coverage. For multi-layer GEO/MEO/LEO satellite network, optical inter-satellite links (OISLs) are studied, coordinate transformation formula of position relationship between two different orbit satellites is deduced. Azimuth degree, elevation degree and distance of OISL connecting the same layer satellites, OIOL(Optical Inter-orbit Link) linking different layer satellites and coverage from GEO to LEO are simulated, and results show that the elevation pointing range of laser communication terminal on board is good enough for the movement of target satellite, however, its azimuth tracking range and speed is the main factor influencing the performance of optical inter-satellite links.

Key words: satellite communication; multi-layer satellite network; optical inter-satellite link; space characteristics; ATP

1 引 言

卫星激光通信以其容量大、功耗低、抗干扰能力强以及终端体积和重量小而成为空间通信的研究热点^[1-3]。随着卫星光通信可靠性不断提高,卫星数目不断增加,利用激光链路互联卫星组成空间信息网络成为了卫星光通信发展的主要方向之一^[4-5]。

卫星光网络作为面向服务的空间信息网络体系,必须整合通信、侦察、导航以及遥感遥测等诸多功能,充分提高系统利用率,才能和其它通信方式进行竞争。由于不同轨道高度的卫星具有不同的用途,因而只有对高轨卫星(GEO)、中轨卫星(MEO)和低轨卫星(LEO)进行组网,才能实现以上多用途整合的功能。在多层卫星光网络结构中,GEO 作为数据中

^{*} 收稿日期:2010-05-27;修回日期:2010-07-23

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2007AA01Z294)

Foundation Item: The National High Technology Research and Development Project(863 Project)(No.2007AA01Z294)

转设施,通过轨道间激光链路向下连接多个 LEO 卫星和 MEO 卫星,下层卫星通过轨道内激光链路互联构成空间信息网络基础设施接入移动终端。

多层结构卫星光网络具有强鲁棒性、大容量和无缝覆盖等特点,其功能实现依赖于高性能的星间激光链路。由于星间通信激光束发散角在微弧度量级(信标光毫弧度),平台间微小的指向关系变化都可能导致通信性能恶化^[6-7]。卫星激光链路组网对捕获、瞄准和追踪技术(Acquisition Tracking Pointing, ATP)提出了更高的要求。因此在卫星激光网络中,研究任意两颗卫星间空间相对位置关系具有最基本的意义,它可以为星载激光终端和 ATP 技术提供参考,为实现高性能的星间激光链路奠定基础,从而为组网提供了可能。

2 星间激光链路

2.1 链路分类

星间激光链路是指利用激光束进行卫星间通信的物理链路,如图 1 所示,由 3 个极地轨道和一个倾斜中轨道组成,低轨卫星与其前后左右 4 个卫星具有激光链路。卫星光网络中星间激光链路有 3 类:卫星间链路(Optical Inter-Satellite Link, ISL),指同一轨道高度内两个卫星间的链路,在同一轨道高度内相邻轨道间的星间链路又称轨间链路(Inter-plane Link),同一轨道内相邻两个卫星间的链路称轨内链路(Intra-plane Link);轨道间链路(Inter-Orbit Link, IOL)指不同轨道高度间两个卫星间的链路;星地链路指卫星和地面网关间的上行和下行链路。

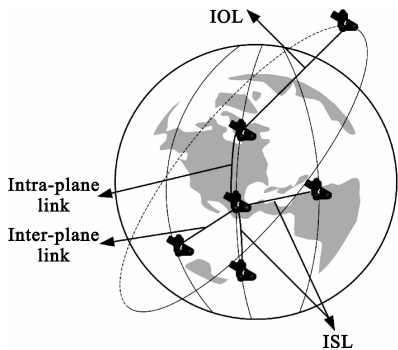


图 1 卫星激光链路示意图
Fig. 1 Optical inter-satellites links

2.2 星间链路参数计算

星间链路的参数主要包括两颗卫星间覆盖、俯仰角、方位角和距离 4 个参数,覆盖特性决定了高层

的卫星能否为底层卫星提供中转,进而影响路由的选择,在多层卫星网络结构中具有非常重要的作用,俯仰角和方位角与光学天线的指瞄跟踪密切相关,而星间距离决定着传输时延。

为了计算两颗卫星空间位置关系,必须进行坐标变换^[8-9]。如图 2 所示,首先建立地球赤道坐标系 $oxyz$,以赤道面为基准, x 轴指向春分点, y 轴向东与 x 轴垂直, z 轴指向地理北极, xyz 服从右手关系准则。其次建立卫星轨道平面移动坐标系 $OXYZ$ 。以任意时刻卫星在其轨道面位置为坐标原点,地心和卫星节点连线方向为 X 轴,瞬时速度方向为 Y 轴, Z 轴垂直轨道面, XYZ 服从右手准则。该坐标系是以卫星 2 为准的移动坐标系。已知卫星 1 和卫星 2 在地球赤道坐标系中的坐标 $S_1(x, y, z)$ 和 $S_2(x, y, z)$,要计算卫星 1 相对于卫星 2 的方位角、仰角随时间变化情况,只需计算卫星 1 在卫星 2 移动坐标中系中的坐标 $S_1(X, Y, Z)$ 即可。

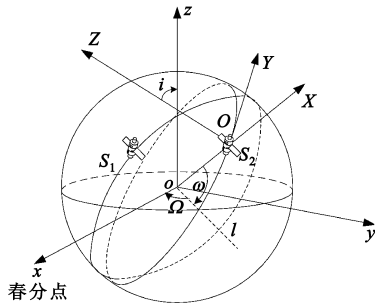


图 2 星间链路坐标转换示意图
Fig. 2 Coordinate transformation of inter-satellite links

已知卫星 1 在地球赤道坐标系中的坐标 $S_1(x, y, z)$,通过坐标变换变换到卫星 2 的移动坐标系 $S_2(X, Y, Z)$,容易知道:

$$\theta_{\text{azimuth}} = \text{tg}^{-1}(Y/X) \tag{1}$$

$$\theta_{\text{elevation}} = \text{tg}^{-1}\left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}\right) \tag{2}$$

如图 2 所示的星间链路坐标转换示意图中,通过 3 次坐标变换可求得地心赤道坐标系 $oxyz$ 到卫星轨道移动坐标系 $OXYZ$ 的转换。

(1) Z 轴不动,将 X 轴绕 Z 轴旋转 ω 到轨道面与赤道面交线 l ,建立坐标系 $OX'Y'Z$,有 $X = X' \cos \omega - Y' \sin \omega$, $Y = X' \sin \omega + Y' \cos \omega$,转换矩阵

$$M_z(\omega) = \begin{bmatrix} \cos \omega & \sin \omega & 0 \\ -\sin \omega & \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

(2) X' 轴不动,将 Z 轴绕 X' 轴旋转 i 到 z 轴的位

置,建立坐标系 $OX'Y''z$,则有如下变换, $Y' = Y'' \cos i$
 $- z \sin i, Z = Y'' \sin i + z \cos i$,转换矩阵

$$M_x(i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos i & \sin i \\ 0 & -\sin i & \cos i \end{bmatrix};$$

(3) z 轴不动,将 X' 轴绕 z 轴旋转 Ω 到 x 的位置,此时 Y'' 恰好转到 y 轴,建立坐标系 $Oxyz$,则变换如下, $X' = x \cos \Omega - y \sin \Omega, Y'' = x \sin \Omega + y \cos \Omega$,其

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \Omega \cos \omega - \sin \Omega \sin \omega \cos i & -\sin \Omega (\cos \omega + \sin \omega \sin i) & \sin i \sin \omega \\ \cos \Omega \cos \omega + \sin \Omega \sin \omega \cos i & \cos \Omega \cos i \cos \omega - \sin \Omega \sin \omega & -\sin i \sin \omega \\ \sin \Omega \sin i & \cos \Omega \cos i & \cos i \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \tag{3}$$

3 星间链路特性分析

3.1 轨道间链路(IOL)参数仿真计算

GEO 卫星作为中转设施,不仅负责对地面站的大容量数据传输,而且在底层卫星网络阻塞的情况下可以承载一部分非实时性业务。同时,当底层卫星发生故障时,也可以以牺牲服务质量而满足连续通信和覆盖的要求。为了定量分析同步轨道卫星(GEO)和低轨卫星(LEO)间链路特性,仿真场景引入第一次实现卫星激光通信的 ARTEMIS 地球同步卫星和另外一颗低轨卫星(圆轨道,半长轴为 7 578.137 km,轨道倾角 55° ,右升节点经度 $292.491\ 76^\circ$),系统从 6 月 1 日中午 12 时运行到 6 月 2 日 12 时,步长 60 s,它们的覆盖时间统计如表 1 所示,可分为 13 个阶段,任意两个连续覆盖时间段内间隔 40 min,最小覆盖时间 39 min,最大覆盖时间 92 min,总覆盖时间为 16.43 h,占有一天时间的比例为 68.47%。从统计数据可以看出,在系统运行周期内,GEO 对 LEO 的平均连续覆盖时间为 76 min,92 min 的最长连续覆盖时间完全可以对 LEO(MEO)提供中继服务。

图 3 是方位角随时间变化曲线图,横坐标从 2004 年 6 月 1 日 12 时开始到 6 月 2 日 12 时结束,图中曲线跃变的地方表示此段时间内 GEO 不能覆盖到 LEO,如表 1 所示,每个连续覆盖的时间段后跟随一段无法覆盖时间段。从仿真结果可以看出,GEO - LEO 最小方位角为 0.759° ,最大为 359° ,虽然最大值和最小值之间有将近 2π 的差值,除了有 3 个时间点发生了大幅变化($1.2^\circ \sim 358.5^\circ$,持续时间在秒量级)外,其它跃变都跨越两个连续覆盖时间段,这段

转换矩阵:

$$M_z(\Omega) = \begin{bmatrix} \cos \Omega & \sin \Omega & 0 \\ -\sin \Omega & \cos \Omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

因此 $\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = M_z(\omega) M_x(i) M_z(\Omega) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$,经过推导可以得出如下的坐标转换公式:

时间光学天线有足够的时间调整其指瞄方向,从而实现两者的对准。图 4 是俯仰角随时间变化曲线图,最小仰角 -88.3° ,最大仰角 -79.6° ,俯仰角的变化非常小,目前的卫星光通信终端完全可以满足这种变化。图 5 是距离随时间变化曲线图,最小距离为 34 688.73 km,最大距离为 45 828.22 km,平均距离为 41 742.76 km,平均单程时延 138 ms。除了跨越连续覆盖时间段时有跃变,连续覆盖时间内连续变化,具有优良的时延抖动特性。

表 1 GEO - LEO 覆盖情况统计			
Table 1 GEO satellite coverage for LEO satellite			
序号	起始时间	终止时间	持续时间/s
1	12:00:00.000	13:07:53.740	4 073.740
2	13:45:23.353	15:02:14.324	4 610.971
3	15:43:13.763	16:56:09.481	4 375.718
4	17:37:52.781	18:51:32.950	4 420.170
5	19:31:42.060	20:51:31.905	4 789.845
6	21:26:54.508	22:59:08.871	5 534.363
7	23:30:29.027	00:58:50.665	5 301.638
8	01:36:16.374	02:53:11.697	4 615.323
9	03:34:09.902	04:47:06.056	4 376.154
10	05:28:49.319	06:42:27.554	4 418.235
11	07:22:37.650	08:42:21.814	4 784.165
12	09:17:46.288	10:49:58.983	5 532.695
13	11:21:12.011	12:00:00.000	2 327.989
最大覆盖时间	21:26:54.508	22:59:08.871	5 534.363
最小覆盖时间	11:21:12.011	12:00:00.000	2 327.989
平均覆盖时间/s			4 550.847
总覆盖时间/s			59 161.005

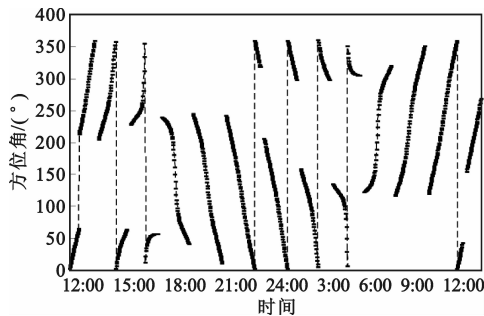


图3 GEO – LEO 方位角变化图
Fig.3 Curves of azimuth angle between GEO and LEO

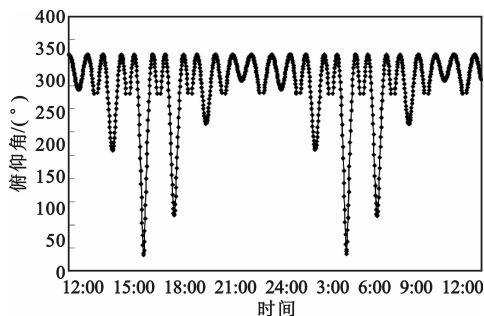


图4 GEO – LEO 俯仰角变化图
Fig.4 Curves of elevation angle between GEO and LEO

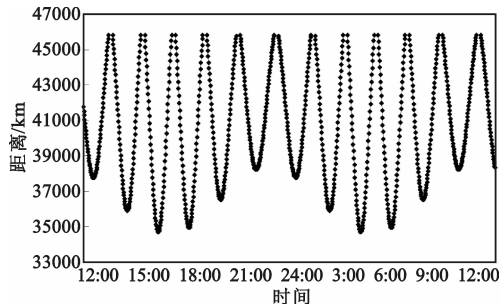


图5 GEO – LEO 距离变化图
Fig.5 Curves of distance between GEO and LEO

3.2 轨道内链路(ISL) 参数仿真计算

低轨卫星群作为接入设施,负责空基、陆基和海基移动终端的随机接入,该群间激光链路的连接决定着卫星光网络的路由,进而决定了网络的性能。仿真场景为一个低轨卫星 Walker Delta 星座,该星座和日本的下一代低轨卫星通信系统(NeLs)配置相似^[10,11]。基本配置如下:10 个轨道,每个轨道 12 颗卫星,轨道间相位因子为 3,卫星高度1 200 km,轨道倾角 55°,离心率 0(圆轨道)。由于卫星周期为 1.8 h,仿真时间设置为 12 h,步长60 s。由于轨道内两颗相邻卫星位置相对固定,因此不作为研究对象,激光链路取第一个轨道的第一个卫星 101 和第二个轨道的第一个卫星 201 间的链路作为研究对象。

如图 6 所示,在运行的 12 h 时间内,LEO – LEO 方位角最小值为 0.456°,最大值为 359.98°,变化速率 5.99°/s,每运行将近 50 min 之后经历一次跃变,此时需要跟瞄天线作较大的方位调整,这说明在设计跟瞄天线时水平变化范围和变化速度是一个非常重要的参数。图 7 是俯仰角随时间变化曲线图,其形状类似于正弦曲线,最大俯仰角为 -16.663°,最小为 -0.055°,平均俯仰角为 -9.352°,无论是从指瞄范围或指瞄速度考虑,光学天线性能完全可以满足。

图 8 是两颗卫星距离随时间变化曲线图,最大距离为 3 836 km,最小 15 km,平均距离 2 455.8 km,单跳平均时延 8.2 ms。

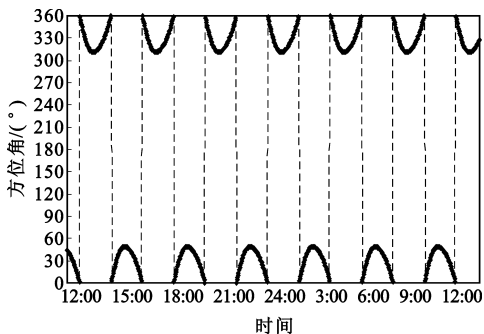


图6 LEO – LEO 方位角变化图
Fig.6 Curves of azimuth angle between LEO satellites

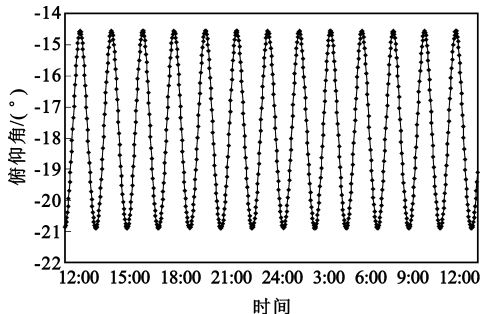


图7 LEO – LEO 俯仰角变化图
Fig.7 Curves of elevation angle between LEO satellites

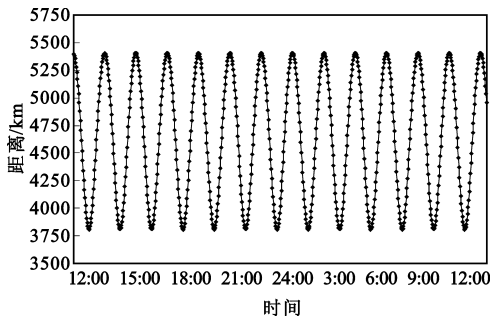


图8 LEO – LEO 距离变化图
Fig.8 Curves of distance between LEO satellites

4 结 论

随着 ATP 性能不断提高, 点对点卫星激光通信链路逐步实现工程化, 目前国际上把卫星激光链路组网列为卫星光通信的重要发展方向之一。GEO/MEO/LEO 多层卫星网络由于其鲁棒性强、覆盖范围广等特点从一提出就引起了人们广泛的关注, 加之我国“北斗”导航系统也采用此结构, 研究基于激光链路的多层卫星网络显得非常具有实际意义。

本文对多层卫星网络 ISL 和 IOL 方位角、俯仰角和距离进行了计算及仿真研究。欧空局研制的卫星激光通信终端 OPTEL 系列中, 其中用作 GEO-LEO 通信的 OPTEL25 GEO 方位角指向范围为 $-180^\circ \sim +180^\circ$, 俯仰指向范围为 $-10^\circ \sim +90^\circ$ 。用作 LEO-LEO 通信的 OPTEL02 水平指向范围为 $-180^\circ \sim +180^\circ$, 俯仰指向范围为 $-25^\circ \sim +85^\circ$ ^[12], 比较从仿真得到的结论可以发现, 这样的参数是可以满足实际通信需求。通过图 3 和图 6 可以发现实际应用中, 方位角的指向在数秒的时间内发生了从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的激变, 这对卫星光通信终端在水平方向的瞄准速度提出了较高的要求, 这是设计必须首要考虑的问题。

参考文献:

- [1] 赵尚弘, 李勇军, 吴继礼. 卫星光网络技术[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
ZHAO Shang-hong, LI Yong-jun, WU Ji-li. Satellite Optical Network Technology[M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese)
- [2] 赵尚弘. 卫星光通信导论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
ZHAO Shang-hong. Satellite Optical Communication[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2005. (in Chinese)
- [3] 李勇军, 赵尚弘, 李晓亮, 等. 基于分层协议的卫星光网络组网研究[J]. 光通信技术, 2006, 30(4): 43-44.
LI Yong-jun, ZHAO Shang-hong, LI Xiao-liang, et al. Researching on dimensioning of optical satellite network based on layered protocol[J]. Optical Communication Technology, 2006, 30(4): 43-44. (in Chinese)
- [4] Li Yongjun, Wu Jili, Zhao Shanghong. A Novel Two-Layered Optical Satellite Network of LEO/MEO with Zero Phase Factor[J]. Science China Information Sciences, 2010, 53(6): 1261-1276.
- [5] Vincent W S Chan. Optical Space Communications[J]. IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics, 2000, 6(6): 959-975.
- [6] Vincent W S Chan. Free-Space Optical Communications[J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(12): 4750-4762.
- [7] 马晶, 谭立英, 金恩培, 等. 振动对空间光通信系统误码率影响[J]. 宇航学报, 1999, 20(3): 76-81.
MA Jing, TAN Li-ying, JIN En-pei, et al. Analysis of Influence of Vibration to Bit Error Rate for a System of Space Optical Communication[J]. Journal of Astronautics, 1999, 20(3): 76-81. (in Chinese)
- [8] 刘刚. 非静止轨道卫星移动通信系统组网[D]. 成都: 电子科技大学, 2004.
LIU Gang. Research on the Key Technologies of Networking in the NGSO Satellite Mobile Communication Systems[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2004. (in Chinese)
- [9] 李勇军, 赵尚弘, 吴继礼, 等. 一种新型准静态拓扑 LEO/MEO 双层卫星光网络设计[J]. 光学技术, 2009, 35(1): 67-70.
LI Yong-jun, ZHAO Shang-hong, WU Ji-li, et al. Designing of a novel quasi-static topology of LEO/MEO two-layered optical satellite network[J]. Optical Technique, 2009, 35(1): 67-70. (in Chinese)
- [10] Ryutaro SUZUKI, Eihisa MORIKAWA, Yasuhiko YASUDA. A Study of constellation for LEO Satellite Communication Network[C]// Proceedings of the 21st International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit. Washington D C: AIAA, 2003: 2003-2324.
- [11] Ryutaro SUZUKI, Shigeru MOTOYOSHI. A Study of Constellation for LEO Satellite Network[C]// Proceedings of the 22nd AIAA International Communications Satellite Systems Conference & Exhibit. Monterey, California: AIAA, 2004: 2004-3236.
- [12] Guy Baister, Thomas Dreischer, Edgar Fischer. OPTEL Family of Optical Terminals for Space Based and Airborne Platform Communications Links[J]. Proceedings of SPIE, 2005, 5986: 240-249.

作者简介:

余侃民(1963-), 男, 湖北武汉人, 1985 年于南京通信工程学院获学士学位, 2001 年于海军工程大学获硕士学位, 现为副教授、硕士研究生导师, 主要研究方向为无线通信;

YU Kan-min was born in Wuhan, Hubei Province, in 1963. He received the B.S degree from Nanjing Communication Engineering College in 1985, and the M.S. degree from Navy Engineering University in 2001. He is now an associate professor and also the instructor of graduate students. His research direction is wireless communication.

Email: tz_228@163.com

李勇军(1979 -),男,陕西清涧人,2002 年获有线通信工程专业学士学位,2005 年获光纤通信专业硕士学位,2009 年获通信与信息系统专业博士学位,现为讲师,主要研究方向为卫星光网络;

Li Yong - jun was born in Qingjian, Shaanxi Province, in 1979.He received the B. S. degree, M. S. degree and the Ph. D. degrees from the Telecommunication Engineering College, Air Force Engineering University (AFEU) in 2002, 2005 and 2009, respectively. His research interests include optical satellite communications and networking.

吴继礼(1981 -),男,四川雅安人,2003 年获有线通信工程专业学士学位,2006 年获通信信号处理专业硕士学位,目前正在攻读通信与信息系统专业博士学位,主要研究方向为

卫星光通信;

WU Ji - li was born in Yaan, Sichuan Province, in 1981. He received the B. S. degree and the M. S. degrees from the Telecommunication Engineering College, AFEU, in 2003 and 2005, respectively. He is currently working toward the Ph. D. degree. His research interests include optical wireless communications and networking.

洪 华(1976 -),女,陕西西安人,讲师,主要研究方向为光通信;

HONG Hua was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1976. She is now a lecturer. Her research direction is optical communication.

易 鹏(1986 -),男,湖南醴陵人,硕士研究生,主要研究方向为分布式卫星光 SAR。

YI Peng was born in Liling, Hunan Province, in 1986. He is now a graduate student. His research direction is distributed satellite SAR.

《电讯技术》征稿启事

《电讯技术》(月刊)创刊于 1958 年,由中国西南电子技术研究所主办,系国内外公开发行的、理论与应用相结合的综合性电子专业科技刊物,为中文核心期刊。目前,已被英国 IEE《科学文摘(SA)》INSPEC、美国《剑桥科学文摘(CSA)》、波兰《哥白尼索引(IC)》、美国《乌利希期刊指南(UPD)》等国外知名数据和国内多个中文数据库收录。

本刊主要刊登涉及下列应用方向和技术领域的述评、论文、新概念新技术新产品介绍:

- 电子系统工程 • 通信 • 导航 • 识别
- 飞行器测控 • 卫星应用 • 雷达 • 信息战
- 共性技术(包括天线、射频电路、信号处理、信息处理、监视与控制、时间与频率、先进制造、电磁兼容等)。

本刊栏目有:系统总体技术、信号与信息处理技术、计算机、网络及其应用技术、信道技术、先进制造技术、基础技术、述评与展望。

欢迎业内学者、专家及科技人员踊跃投稿。

来稿要求及注意事项:

(1)文稿务必主题明确,论述合理,逻辑严谨,数据可靠,叙述清楚,文字精炼。内容应保守国家机密,并提供所在单位的保密审查证明,引用他人作品应给出来源。

(2)文稿一般不应超过 6 000 字,综述稿不超过 8 000 字。稿件应附英文题名、作者名、单位名、摘要和关键词,基金项目应注明项目编号。中文题名一般不超过 20 个汉字,必要时可加副标题。

(3)摘要应包括目的、方法、结果和结论四要素,即用简洁的语言说明文章要解决的问题,主要工作过程及所采用的技术手段和方法,研究所获得的实验数据、结果及其意义。篇幅以 200 ~ 300 字为宜。

(4)关键词以 3 ~ 8 个为宜。为便于文献检索,应尽可能根据《中国图书馆分类法(第四版)》提供中图分类号。

(5)文中涉及的物理量和计量单位应符合国家有关标准。计量单位请用 GB3100 - 3102 - 93《量和单位》规定的法定计量单位。注意区分各物理量符号的文种、大、小写、正斜体(矢量和矩阵用黑斜体)、上、下角标等。

(6)插图和表格只给出必要的,且应有图题和表题。插图最好采用计算机制作。照片以黑白为佳,也可采用扫描的电子文档(精度高于 400 dpi, tif、jpg、psd 等格式均可)。

(7)文稿中引用他人的成果,务请写明原作者姓名、题名、来源,一并在参考文献中给出,并在正文中相应位置进行标示,否则责任由来稿人自负。参考文献只择主要的,未公开发表的文献请勿列入参考文献。书写格式请参见 GB/T 7714 - 2005 文后参考文献著录规则。

(8)投稿邮箱: dianxunjishu@china.com 或 dxjs@swiet.com.cn,并尽量同时提供 Word 和 pdf 文档,无需另寄打印稿。来稿请注明作者详细通信地址、联系电话和有效电子邮箱,并注明拟投栏目。

(9)本刊编辑部将在 3 个月之内对来稿作出取舍,如逾期未收到处理意见或刊用通知,作者有权对稿件另行处理。稿件一经刊用,本刊将酌情从优支付稿酬并赠送当期样刊,本刊支付的稿酬中已包含作者著作权使用费。请勿一稿多投,否则后果自负。