

一种适用于北斗短报文通信的天线波束指向算法

张 薇* 何宏伦 王 玮

(航天恒星科技有限公司 北京 100086)

摘 要: 针对北斗短报文通信中载体天线波束指向北斗卫星的问题, 该文提出一种天线波束指向算法。该算法根据载体所处的地理位置和姿态, 计算出指向北斗卫星的天线波束指向角。根据载体天线的合成波束增益和所处地理位置的北斗卫星波束增益, 选择出最优的北斗卫星, 并将天线波束指向该卫星。该方法可以保证载体运动过程中, 天线合成波束实时指向最优北斗卫星, 最大限度地提高了北斗短报文通信性能。

关键词: 天线波束指向; 北斗卫星; 短报文通信

中图分类号: TN927.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2021)10-2848-06

DOI: 10.11999/JEIT200559

An Algorithm of Antenna Beam Direction for Beidou Short-message Communication

ZHANG Wei HE Honglun WANG Wei

(Space Star Technology Co., Ltd, Beijing 100086, China)

Abstract: To solve the problem that the carrier antenna beam directs to Beidou satellite in Beidou short-message communication, a direction algorithm of the antenna beam is proposed. According to the position and the attitude of the carrier, the angle of the antenna beam directing to Beidou satellite is calculated. Based on the synthetic beam gain of the carrier antenna and the beam gain of the Beidou satellite, the optimal satellite is selected and directed to. This algorithm can ensure that the carrier antenna beam directs to the optimal satellite in real time when the carrier is moving, and can greatly improve the performance of Beidou short-message communication.

Key words: Antenna beam direction; Beidou satellite; Short-message communication

1 引言

北斗短报文通信是我国自主研发的北斗卫星导航系统的独有功能, 具有覆盖范围广、通信距离远、通信无盲区、安全可靠的优点^[1]。目前, 北斗卫星短报文通信广泛地应用在电力^[2,3]、渔业^[4-6]、应急救援^[7,8]、军事^[9,10]等多个领域。随着现在战争科技化水平的不断提高, 高速武器系统装载卫星数据链的需求越来越迫切^[11-14], 北斗短报文通信作为一种有效的卫星中继数据链路, 也广泛地应用在高速武器系统等高动态载体中。

高动态载体具有飞行速度快、姿态变化大、飞行区域广甚至跨短报文波束的特点, 而北斗二代短报文通信是采用5颗GEO卫星的10个短报文波束进行区域覆盖和通信。载体在大姿态角时的短报文通信对载体天线的覆盖角域性能带来了巨大挑战。为了适应高动态载体的这些特点, 提高短报文通信性能,

需要采用载体天线波束指向算法, 而如何从10个短报文波束中选取最优波束进行短报文通信和天线波束指向则是一个技术难点。文献^[15]提出了一种导弹滚动角控制和天线波束赋形相联合的方式来保证载体天线波束指向北斗GEO卫星, 从而提高北斗短报文通信性能, 但优选短报文波束的确定只是考虑了载体位置, 并未结合天线增益。

本文提出了一种适用于北斗短报文通信的天线波束指向方法。根据载体所处的位置和姿态, 综合考虑北斗GEO卫星10个下行短报文波束的信号能量和载体天线波束指向北斗GEO卫星时的天线增益, 实时选取最优的短报文波束, 并将天线波束实时指向该最优短报文波束对应的GEO卫星, 从而极大地提高了短报文通信性能。

2 模型建立

天线波束指向算法共包含如下几个过程: 创建查找表、天线波束指向角计算、波束总能量计算、防波束频繁切换设计及最优短报文波束选取、天线

波束指向角确定。图1给出了天线波束指向算法的原理框图。

2.1 创建查找表

首先需要创建10个北斗卫星短报文波束能量查找表和1个天线合成波束增益查找表。

(1) 北斗卫星短报文波束能量查找表(表1)

每个北斗卫星短报文波束能量查找表对应一个北斗二代GEO卫星下行短报文波束。该查找表是一个2维表格，查找表的行对应纬度，列对应经度，表格里面对应位置(经纬度)的北斗卫星下行短报文波束信号能量。由于北斗二代GEO卫星短报文波束的地理位置覆盖区域为：北纬5°~北纬55°、东经70°~东经145°，间隔1°进行波束能量存储，因此每个波束能量查找表为51行×76列。短报文波束信号能量是一个包含小数的数值，为了减小波束能量查找表的存储数据量，同时保证卫星信号的数值精度，对查找表中的数值进行×10、取整和归一化的处理。

已知载体的位置(经度和纬度)，即可以从北斗卫星短报文波束能量查找表中查找到对应位置的短报文波束信号能量。

(2) 天线合成波束增益查找表(表2)

天线合成波束增益查找表用于根据计算的天线波束指向角查找对应的天线合成波束增益。该查找表是一个2维表格，查找表的行对应方位角，列对应俯仰角，表格里面对应天线指向角(方位角、俯仰角)的天线合成波束增益 G 。查找表覆盖角度

为：方位角0~360°、俯仰角0~90°，每间隔5°进行天线增益的存储，因此该查找表为73行×19列。同样，由于天线增益(dB)是一个包含小数的数值，为了减小天线合成波束增益查找表的存储数据量，同时保证天线增益的数值精度，对查找表中的数值进行×10、取整和归一化的处理。

2.2 天线波束指向角计算

根据载体的位置(经度、纬度、高度)和姿态(俯仰角、偏航角、横滚角)，分别计算指向10个短报文波束的天线波束指向角($A_1 \sim A_{10}$)。由于北斗卫星GEO1对应短报文波束1、波束2，GEO2对应短报文波束3、波束4，GEO3对应短报文波束5、波束6，GEO4对应短报文波束7、波束8，GEO5对应短报文波束9、波束10，计算指向10个短报文波束的天线波束指向角即计算指向5颗GEO卫星的指向角，因此对于指向10个短报文波束的天线波束指向角： $A_1=A_2, A_3=A_4, A_5=A_6, A_7=A_8, A_9=A_{10}$ 。

2.3 波束总能量计算

根据载体的位置(经度、纬度)查找表1，确定载体所处位置10个北斗卫星下行短报文波束的信号能量 $P_1 \sim P_{10}$ ；根据计算的天线波束指向角 $A_1 \sim A_{10}$ ，查找表2，确定指向10个短报文波束的天线合成波束增益 $G_1 \sim G_{10}$ ，由于

$$A_1 = A_2, A_3 = A_4, A_5 = A_6, A_7 = A_8, A_9 = A_{10} \quad (1)$$

因此，

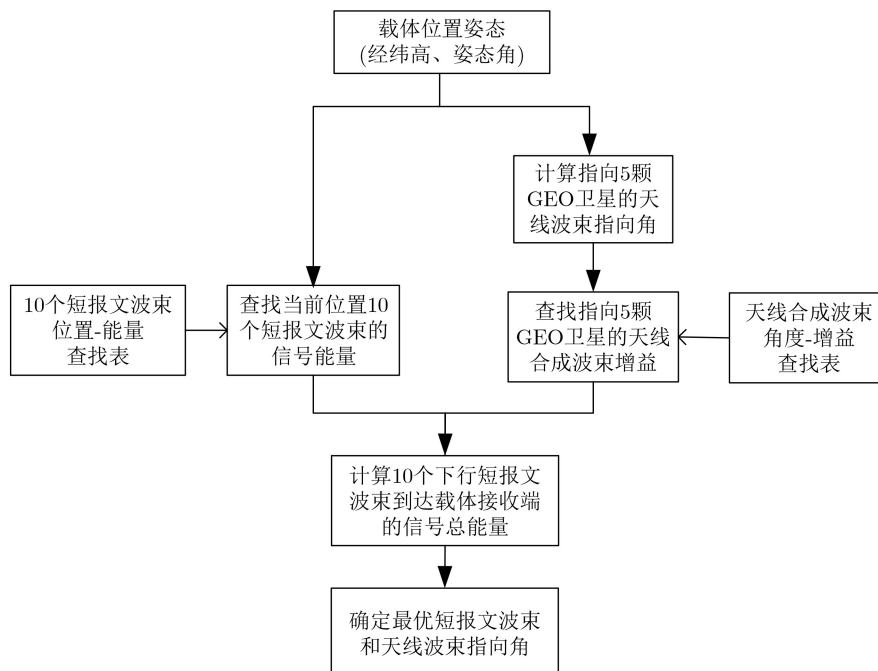


图1 天线波束指向算法原理框图

表1 北斗卫星短报文波束能量查找表示意图(dB)

纬度(°)	经度(°)				
	70	71	...	143	145
5	$P_{1,1}$	$P_{1,2}$	...	$P_{1,75}$	$P_{1,76}$
6	$P_{2,1}$	$P_{2,2}$	...	$P_{2,75}$	$P_{2,76}$
	...	...	...	...	...
55	$P_{51,1}$	$P_{51,2}$	...	$P_{51,75}$	$P_{51,76}$

表2 天线合成波束增益查找表示意图(dB)

方位角(°)	俯仰角(°)				
	0	5	...	85	90
0	$G_{1,1}$	$G_{1,2}$	...	$G_{1,18}$	$G_{1,19}$
5	$G_{2,1}$	$G_{2,2}$	...	$G_{2,18}$	$G_{2,19}$
	...	...	...	...	...
360	$G_{73,1}$	$G_{73,2}$	...	$G_{73,18}$	$G_{73,19}$

$$G_1 = G_2, G_3 = G_4, G_5 = G_6, G_7 = G_8, G_9 = G_{10} \quad (2)$$

每个北斗卫星的下行短报文波束到达载体接收端的总信号能量为 $S_1 \sim S_{10}$,

$$S_1 = P_1 + G_1, S_2 = P_2 + G_2, \dots, S_{10} = P_{10} + G_{10} \quad (3)$$

计算得到总信号能量的最大值 $S_{\max}$ 及对应的短报文波束号 $N_{\max}$ 。

2.4 防波束频繁切换设计及最优短报文波束选取

由于高动态载体工作过程中,若实时选取总信号能量最大的短报文波束作为最优波束,则可能会由于短报文波束频繁切换导致短报文通信数据丢失,因此采取了防短报文波束频繁切换设计。具体策略为,若当前时刻总信号能量最大值 $S_{\max}$ 大于前一时刻所选短报文波束号对应的当前总信号能量 S_{pre} 超过1 dB,则最优短报文波束号为 $N_{\max}$,否则依然保持前一时刻的短报文波束号为最优短报文波束号。

2.5 天线波束指向角确定

根据选定的最优短报文波束号 N_{opt} ,则其对应

的天线波束指向角即为最终的载体天线波束指向角。最后采用空时联合波束合成方法^[16]进行天线波束合成指向。

3 模型仿真及分析

以某一具体型号的载体运动轨迹为例,对其运动过程中的最优短报文波束和天线波束指向角等进行仿真。

图2为载体运动过程中的姿态角变化情况,包括俯仰角、横滚角和偏航角,可以看到,载体运动过程中存在较大的姿态角变化,尤其是俯仰角的变化范围较大,超过了 $\pm 30^\circ$ 。

采用本算法,仿真得到了载体运动过程中实时选取的最优短报文波束号、总信号能量(总链路增益)以及天线波束指向角,结果如图3—图6所示,其中天线指向角定义如图7所示。从图3可以看到,运动过程中选取的最优短报文波束,前半段为波束2,后半段为波束4,波束切换较少,波束选取稳定,未见频繁波束切换;从图4可以看到,运动过程中总信号能量变化幅度不超过2 dB,全程保持较高的接收信号能量,进一步表明该天线波束指向算法可以有效提高短报文通信性能。从图5可以看到,运动过程中的天线波束指向角较小,俯仰角全程未超过 50° ,因此天线增益较高,表明天线波束指向算法的有效性;

此外,还对同样载体运动轨迹条件下,不采取防波束频繁切换策略(即实时选取总信号能量最大的短报文波束)的算法情况进行了仿真。仿真得到的最优短报文波束号、总信号能量以及天线波束指向角如图8—图11所示。与图3—图6对比可以看到,载体运动前半段,若不采取防频繁切换措施,会存在频繁的波束切换,而此时的总信号能量并不比最优短报文波束时的总信号能量有明显提高。因此,采取防频繁切换策略后,可以避免短报文波束不必要的切换,同时还能保证较高的信号能量。

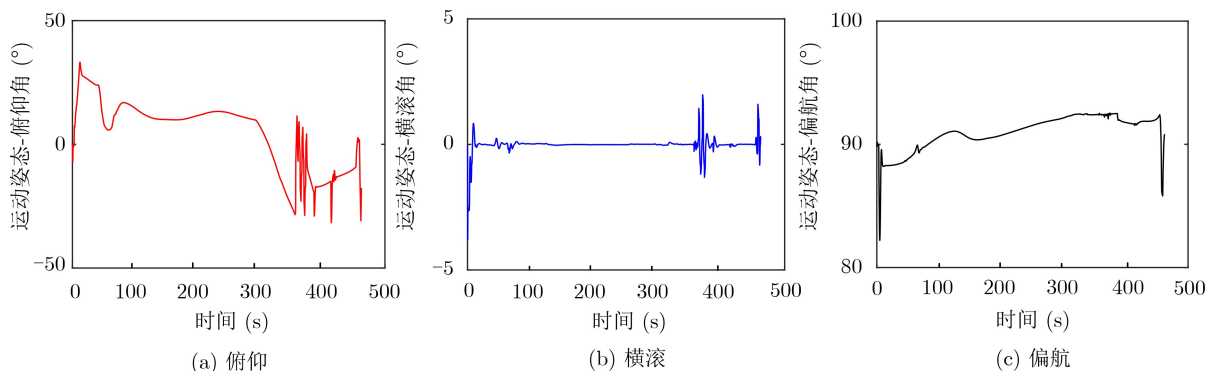


图2 载体运动姿态角

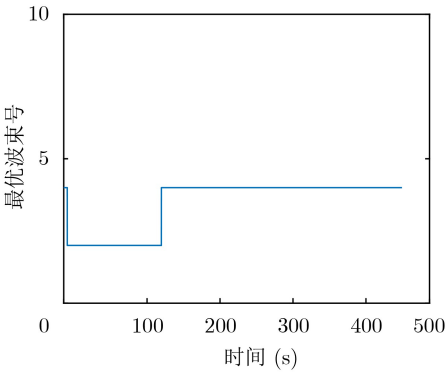


图 3 最优短报文波束号

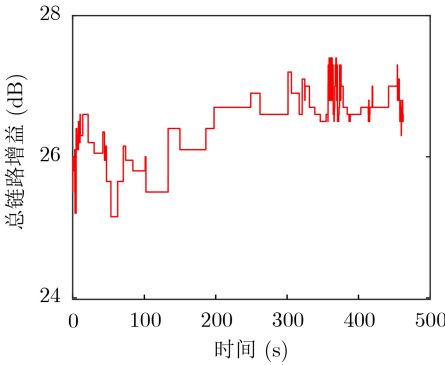


图 4 总链路增益

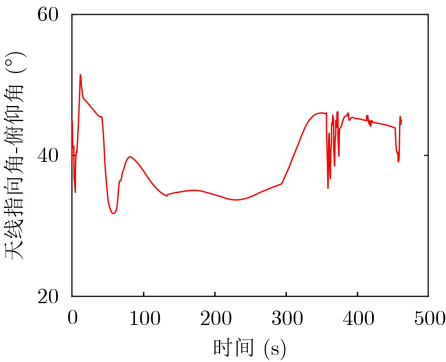


图 5 天线波束指向角-俯仰角

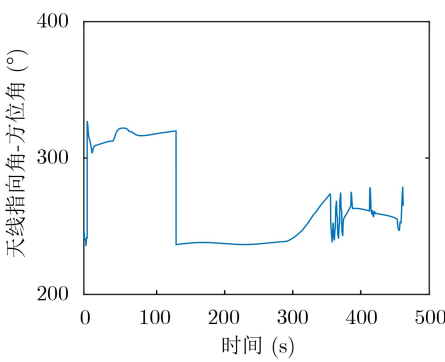


图 6 天线波束指向角-方位角

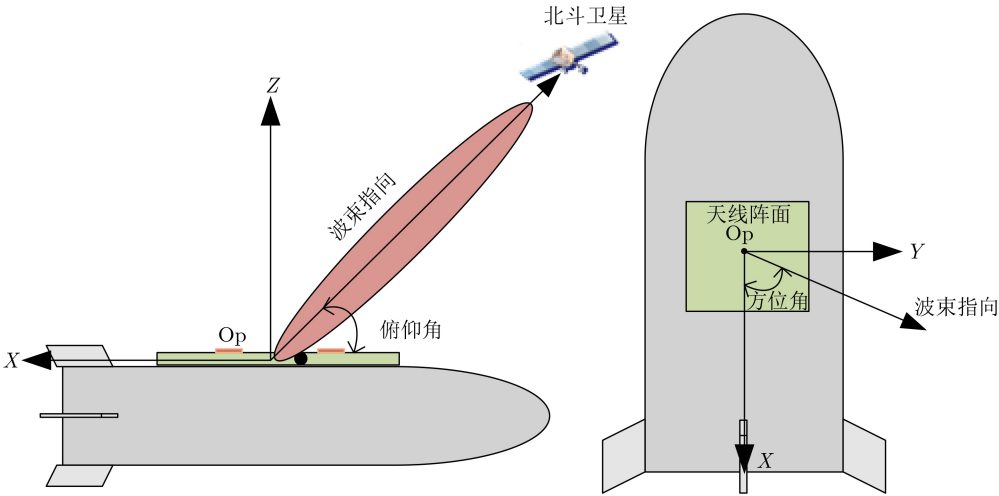


图 7 天线波束指向角定义

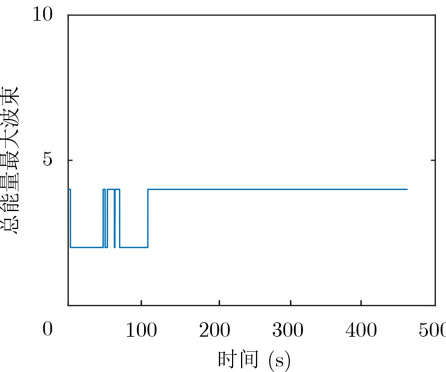


图 8 总能量最大短报文波束

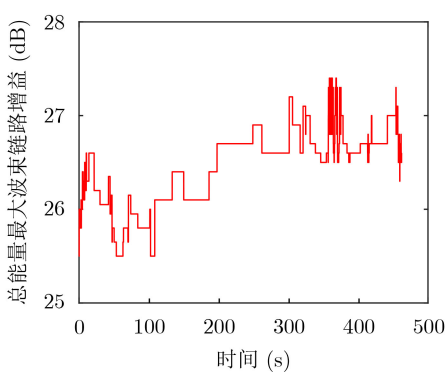


图 9 总能量最大短报文波束的链路增益

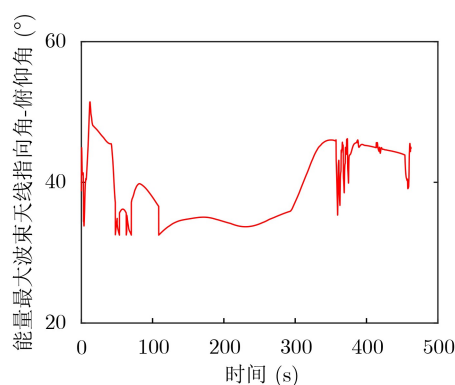


图10 总能量最大短报文波束的天线波束指向角-俯仰角

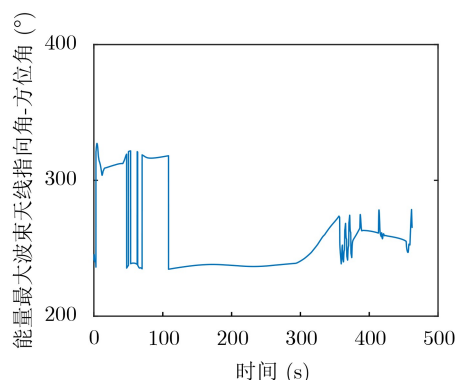


图11 总能量最大短报文波束的天线波束指向角-方位角

4 结束语

在高动态载体的北斗短报文应用中,针对载体速度快、姿态变化大、飞行距离远、跨短报文波束等特点,本文给出了一种适用于北斗短报文通信的天线波束指向算法,根据载体的位置、姿态以及北斗卫星下行短报文波束的信号能量,实时选取最优的短报文波束进行通信以及天线波束指向。该算法已经在某型号中成功应用,极大地提高了短报文通信性能,也能够为后续高动态载体的北斗短报文通信应用或其他卫星通信应用提供指导。

参考文献

- [1] 陈玉卿. 基于北斗短报文通信的用电信息采集系统研究[D]. [硕士学位论文], 合肥工业大学, 2019.
CHEN Yuqing. Studies on power consumption information collection system based on Beidou short message communication[D]. [Master dissertation], Hefei University of Technology, 2019.
- [2] 郑汉杰, 柯金发, 邵海明, 等. 基于北斗短报文安全传输的用电信息采集系统应用研究[J]. 信息技术与网络安全, 2019, 38(3): 94-98. doi: 10.19358/j.issn.2096-5133.2019.03.022.
ZHENG Hanjie, KE Jinfa, SHAO Haiming, et al. Application research of power consumption information collection system based on safe transmission of Beidou short messages[J]. *Information Technology and Network Security*, 2019, 38(3): 94-98. doi: 10.19358/j.issn.2096-5133.2019.03.022.
- [3] 刘艳, 刘晓莉, 石书祝, 等. 北斗短报文电网状态监测及应急通信系统[J]. 自动化与仪表, 2015, 30(1): 43-47. doi: 10.3969/j.issn.1001-9944.2015.01.010.
LIU Yan, LIU Xiaoli, SHI Shuzhu, et al. Beidou SMS condition monitoring and emergency communication systems for power grid[J]. *Automation & Instrumentation*, 2015, 30(1): 43-47. doi: 10.3969/j.issn.1001-9944.2015.01.010.
- [4] 陈海生, 郭晓云, 王峰, 等. 基于北斗短报文的渔获信息压缩传输方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22): 155-160. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.22.021.
CHEN Haisheng, GUO Xiaoyun, WANG Feng, et al. Fishery harvesting information compressing and transmitting method based on Beidou short message[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(22): 155-160. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.22.021.
- [5] 邵灿辉. 基于北斗通信技术的水情自动测报系统设计[J]. 自动化与仪表, 2019, 34(2): 58-61. doi: 10.3969/j.issn.1001-9944.2019.02.014.
SHAO Canhui. Design of automatic water regime measuring and forecasting system based on Beidou communication technology[J]. *Automation & Instrumentation*, 2019, 34(2): 58-61. doi: 10.3969/j.issn.1001-9944.2019.02.014.
- [6] 缪袁泉, 丁琪, 胡知斌. 基于北斗短报文功能的疏浚船舶数据传输系统设计[J]. 中国港湾建设, 2014(10): 53-56. doi: 10.7640/zggwjs201410015.
MIAO Yuanquan, DING Qi, and HU Zhibin. Design of dredging data transmission system based on Beidou satellite SMS[J]. *China Harbour Engineering*, 2014(10): 53-56. doi: 10.7640/zggwjs201410015.
- [7] 项顺伯, 李云鹤, 徐兵. 基于北斗卫星通信的应急救援平台的设计[J]. 微型电脑应用, 2019, 35(1): 22-24.
XIANG Shunbo, LI Yunhe, and XU Bing. Design of emergency rescue platform based on Beidou satellite communication[J]. *Microcomputer Applications*, 2019, 35(1): 22-24.
- [8] 张志峰, 李中学. 应急状况下北斗短报文通信功能的应用[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(10): 276-279, 285. doi: 10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2018.10.059.
ZHANG Zhifeng and LI Zhongxue. Application of short message communication function of Beidou in emergency situation[J]. *Computer Measurement & Control*, 2018, 26(10): 276-279, 285. doi: 10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2018.10.059.
- [9] 陶德桂, 刘关心. 基于北斗短报文通信的无人机安控系统[J]. 电光与控制, 2018, 25(6): 98-101. doi: 10.3969/j.issn.1671-

- 637X.2018.06.021.
- TAO Degui and LIU Guanxin. UAV safety control system based on Beidou short-message communication[J]. *Electronics Optics & Control*, 2018, 25(6): 98–101. doi: 10.3969/j.issn.1671-637X.2018.06.021.
- [10] 唐庆辉, 边少锋, 李厚朴, 等. 基于北斗短报文通信的装备远程保障平台[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(6): 96–97, 137. doi: 10.3969/j.issn.1672-9730.2016.06.026.
- TANG Qinghui, BIAN Shaofeng, LI Houpu, *et al.* Equipment remote support platform based on BeiDou short-message communication[J]. *Ship Electronic Engineering*, 2016, 36(6): 96–97, 137. doi: 10.3969/j.issn.1672-9730.2016.06.026.
- [11] 魏晨曦. 美军天基通用数据链及发展[J]. 航天电子对抗, 2015, 31(2): 20–23.
- WEI Chenxi. US military space common data link and its development[J]. *Aerospace Electronic Warfare*, 2015, 31(2): 20–23.
- [12] 何兵, 刘刚, 鲜勇, 等. 基于空间信息资源的巡航导弹可控攻击技术[J]. 信息与电子工程, 2012, 10(5): 538–541.
- HE Bing, LIU Gang, XIAN Yong, *et al.* Cruise missile controlled attacking technology based on space information and resources[J]. *Information and Electronic Engineering*, 2012, 10(5): 538–541.
- [13] 关新锋, 范竞往, 王小岛, 等. 一种基于北斗RDSS短报文的天基测控方法[J]. 航天器工程, 2019, 28(3): 20–26. doi: 10.3969/j.issn.1673-8748.2019.03.004.
- GUAN Xinfeng, FAN Jingwang, WANG Xiaodao, *et al.* A space-based TT&C Method based on BeiDou RDSS short message[J]. *Spacecraft Engineering*, 2019, 28(3): 20–26. doi: 10.3969/j.issn.1673-8748.2019.03.004.
- [14] 陈利虎, 王世练, 张尔扬. 导弹飞控数据链中星弹链路的信道建模与仿真[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(6): 971–973. doi: 10.3321/j.issn:1001-506X.2007.06.032.
- CHEN Lihu, WANG Shilian, and ZHANG Eryang. Modeling and simulation of missile satellite-missile link channel in flying-control data-link[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2007, 29(6): 971–973. doi: 10.3321/j.issn:1001-506X.2007.06.032.
- [15] 秦峰, 赵洪峰, 刘伟鹏. 基于波束指向对准的空空导弹短报文数据链技术研究[J]. 空天防御, 2019, 2(2): 16–22. doi: 10.3969/j.issn.2096-4641.2019.02.004.
- QIN Feng, ZHAO Hongfeng, and LIU Weipeng. Research on short message data link of air-to-air missile based on beam alignment[J]. *Air & Space Defense*, 2019, 2(2): 16–22. doi: 10.3969/j.issn.2096-4641.2019.02.004.
- [16] 王旭, 谢菊兰, 何子述, 等. 一种基于空频结构与空时结构权值转换的精确宽带波束赋形算法[J]. 电子与信息学报, 2019, 41(5): 1032–1039. doi: 10.11999/JEIT180545.
- WANG Xu, XIE Julan, HE Zishu, *et al.* An accurate wideband beam pattern synthesis method based on the space-frequency structure and the space-time structure conversion[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2019, 41(5): 1032–1039. doi: 10.11999/JEIT180545.
- 张 薇: 女, 1987年生, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为卫星通信数据链系统和天线设计.
- 何宏伦: 男, 1979年生, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为卫星通信数据链系统设计.
- 王 玮: 女, 1981年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为北斗短报文通信和可靠性设计.

责任编辑: 马秀强