

应用于卫星导航系统的多频圆极化天线

臧志斌¹, 傅宁¹, 马军¹, 夏传福¹, 吴小鸥¹, 陈伟强²

(1. 国网思极神往位置服务(北京)有限公司, 北京 102211;

2. 福州大学 福建省数字电视工程研究中心, 福建 福州 350116)

摘要: 设计了一款应用于卫星导航系统的多频圆极化天线。天线由微带单元与螺旋单元构成, 微带单元采用叠层结构实现北斗一代收发 L/S 双频段覆盖; 螺旋单元采用四臂螺旋结构及多点馈电技术实现北斗 B1 和 GPS L1 频段覆盖。仿真结果表明, 该天线各端口 S11 值低于 -10 dB 的带宽为 93 MHz(1 509~1 602 MHz)、12 MHz(1 610~1 622 MHz) 和 70 MHz(2 453~2 523 MHz), 天线在 B1 频段、GPS L1 频段、北斗 L 频段及北斗 S 频段的增益分别为 6.19 dB、6.13 dB、3.47 dB 和 5.64 dB。该天线具有方向图波束宽度宽、相位中心稳定、低仰角增益高等特点, 天线各项指标均满足卫星导航系统对天线性能的要求。

关键词: 卫星导航系统; 多频段; 圆极化; 宽波束; 地仰角增益; 相位中心

中图分类号: TN82

文献标识码: A

DOI: 10.19358/j.issn.2096-5133.2020.06.012

引用格式: 臧志斌, 傅宁, 马军, 等. 应用于卫星导航系统的多频圆极化天线[J]. 信息技术与网络安全, 2020, 39(6): 63-67.

Multi-band circularly polarized antenna for satellite navigation system

Zang Zhibin¹, Fu Ning¹, Ma Jun¹, Xia Chuanfu¹, Wu Xiaou¹, Chen Weiqiang²

(1. State Grid ShenWang LBS(Beijing) Co., Ltd., Beijing 102211, China;

2. Digital TV Engineering Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: A multi-band circularly polarized antenna for the satellite navigation system is proposed in the paper. The antenna is combined by microstrip unit and helix unit. A stacked structure is utilized in the microstrip unit to achieve L/S dual frequency band for BDS-1. Helix structure and multi-fed technology are adopted to cover BDS-2 B1 and GPS L1 dual band. The simulation results show that the bandwidth of S11 which is less than -10 dB of the proposed antenna are 93 MHz(1 509~1 602 MHz), 12 MHz(1 610~1 622 MHz) and 70 MHz(2 453~2 523 MHz). And the gain of the antenna are 6.19 dB at 1 561 MHz, 6.13 dB at 1 575 MHz, 3.47 dB at 1 616 MHz and 5.64 dB at 2 492 MHz. The proposed antenna is suitable for the satellite navigation system application which has advantages of wide beam-width, stable phase center and excellent low-elevation performance.

Key words: satellite navigation system; multi-band; circularly polarized; wide beam-width; gain at low elevation; phase center

0 引言

北斗卫星导航系统由我国自主研发, 与 GPS、格洛纳斯和伽利略统称为全球四大卫星导航系统。在导航系统应用上, 一般通过天线发射和接收电磁波信号来实现信息的传递。天线作为射频前端部件, 性能优劣直接影响卫星导航终端性能指标^[1-2]。对此, 国内外专家学者提出将多个卫星导航系统融合在一起, 通过多模多频信号联合解算, 提高卫星导航终端定位精度和稳定性。

微带天线由于重量轻、剖面低、成本低等特点, 在卫星导航天线中得到广泛应用^[3]。大多数的导航天线采用叠层结构实现多频覆盖^[4-6], 文献[4]采用双层堆叠微带天线结构覆盖 GPS 双频, 天线采用单点耦合馈电激励起双频谐振, 采用高介电常数板材减小天线尺寸, 但天线带宽窄且高频增益比较低。文献[5]采用双层介质间添加空气层的结构, 采用双点馈电方式, 天线带宽略有增加, 可以覆盖北斗 B3、GPS L1 及 GLONASS L1 三个频段, 天线单元增

益大但低仰角性能比较差。文献[6]同样采用双层堆叠结构,利用双点耦合馈电激励天线谐振,同时使用双馈,利用双馈电桥提高相位中心的稳定性,但天线并未覆盖北斗一代发射频段,应用性不高同时低仰角增益比较低。文献[7]设计了一款多点馈电四频组合的圆极化天线,覆盖北斗 B3、GPS L1 及北斗一代收发 L/S 频段。此类叠层微带天线虽然覆盖了导航天线的多个频段,但相位中心稳定性不够且低仰角增益比较低^[8],在某些特定需求中达不到指标要求。文献[9]、文献[10]通过在天线四周设置铜片或在底部加载圆台来提高低仰角增益,但同时增加了天线的复杂性并不易于批量加工实现。

本文设计了一款多模多频卫星导航圆极化天线。天线覆盖卫星导航系统的 BDS-1 L/S、BDS-2 B1 和 GPS L1 多频段,适用于北斗一代卫星收发通信、北斗二代卫星定位等领域。天线结构采用微带与螺旋结合方式,展宽方向图波束宽度,保证低仰角卫星信号的接收效果,使天线具有更优秀的低仰角搜星能力。

1 天线结构

图 1(a)、(b)分别给出了天线的整体结构图及前视图。天线包括两个独立的辐射单元:四臂螺旋单元及微带天线单元。四臂螺旋单元由四根相同的螺旋臂环绕在半径为 $helix_r$ 、高度为 $helix_h$ 的圆柱上,平面展开图如图 2 所示。其中,每根臂的长度为 $helix_l$,宽度为 $helix_w$,螺旋臂与水平面的夹角为 β ,每根臂之间的距离为 $helix_r \times \pi/2$ 。四臂螺旋单元采用多点馈电,各螺旋臂上的电流幅度相等,相位依次为 0° 、 90° 、 180° 、 270° ,形成右旋圆极化辐射,拓宽天线的波束宽度。微带天线结构尺寸如图 3 所示,

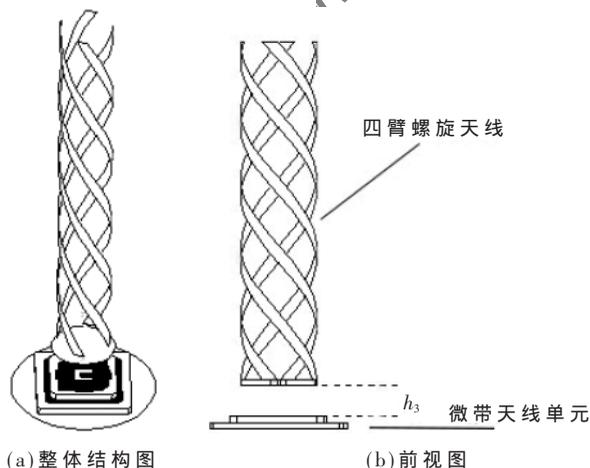


图 1 天线结构图

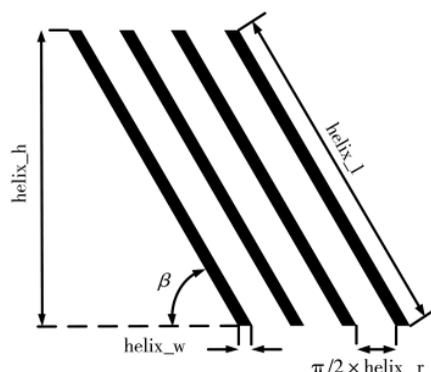
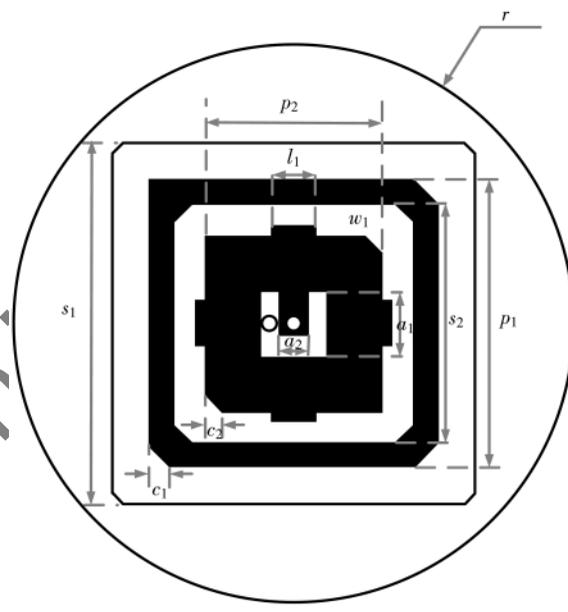
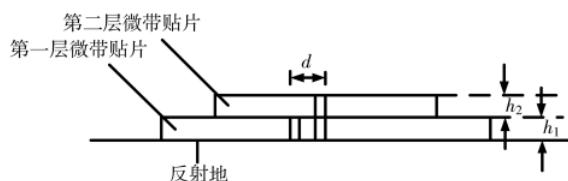


图 2 螺旋臂展开图



(a) 顶部视图



(b) 侧视图

图 3 微带天线尺寸图

天线由两层微带贴片天线堆叠而成,其中,第一层天线辐射贴片蚀刻在边长为 s_1 、厚度为 h_1 的方形陶瓷介质基片上,介电常数为 10.1,天线采用矩形贴片单馈结构,辐射贴片边长为 p_1 ,将矩形贴片适当切角使天线辐射左旋圆极化波,覆盖北斗一代发射频段 BDS-1 L 频段。天线馈电点与天线中心的距离为 d ,切角三角形的直角边长为 c_1 。第二层天线辐射贴片蚀刻在边长为 s_2 、厚度为 h_2 的方形陶瓷介

质基板上,其介电常数为 8,辐射贴片的边长为 p_2 ,天线采用矩形贴片中心馈电结构,在馈电位置附近开 U 型槽减小天线尺寸并将矩形贴片适当切角后天线辐射右旋圆极化波,覆盖北斗一代接收频段 BDS-1 S 频段,贴片馈电点位于天线中心,切角三角形的直角边长为 c_2 。螺旋单元与微带单元之间的距离为 h_3 ,当螺旋单元与微带单元之间靠得比较近时,单元间的耦合很强烈,天线的轴比性能会受到影响而急剧恶化,需要将二者距离拉开以降低互相影响。

利用电磁仿真软件设计和仿真天线,天线优化尺寸如下(单位:mm): $s_1=35.5, h_1=2, p_1=28.4, c_1=1.2, d=3, s_2=25, h_2=2, p_2=18.5, c_2=2, a_1=6.9, a_2=3, r=27, h_3=10, helix_r=10, helix_h=112.5, helix_l=137.5, helix_w=4, \beta=55^\circ$ 。

2 天线仿真结果

2.1 反射系数 S_{11}

利用电磁仿真软件 HFSS 仿真 L/S/B1/L1 频段输出端口的 S 参数,图 4 为天线各频段 S 参数的仿真结果。从图 4(a)中可以看出 S_{11} 小于 -10 dB 的带宽为 93 MHz(1 509~1 602 MHz),可以覆盖北斗二代 B1 频段(1 561.098±2.046 MHz)及 GPS L1 频段(1 575.42±2.046 MHz);从图 4(b)中可以看出 S_{11} 小于 -10 dB 的带宽为 12 MHz(1 610~1 622 MHz),可以覆盖北斗一代发射频段 L 频段(1 615.68±4.08 MHz);从图 4(c)中可以看出 S_{11} 小于 -10 dB 的带宽为 70 MHz(2 453~2 523 MHz),可以覆盖北斗一代接收频段 S 频段(2 491.75±4.08 MHz)。

2.2 轴比

图 5(a)~(d)分别对应中心频率为 1.561 GHz、1.575 GHz、1.616 GHz 和 2.492 GHz 的轴比仿真结果。其中,虚线对应 xz 面仿真结果,实线为 yz 面仿真结果。由图可以看出在 $\phi=0, \theta=0$ 时, xz 面、 yz 面天线的轴比均小于 3 dB,在频点 1.561 GHz 处的 3 dB 轴比波束宽度为 196° ,在频点 1.575 GHz 处的 3 dB 轴比波束宽度为 197° ,在频点 1.616 GHz 处的 3 dB 轴比波束宽度为 102° ,在频点 2.492 GHz 处的 3 dB 轴比波束宽度为 178° 。

2.3 增益

通过电磁仿真软件 HFSS 分析天线各频段的远场方向图,图 6(a)~(d)分别对应天线在中心频率为 1.561 GHz、1.575 GHz、1.616 GHz 和 2.492 GHz 的增

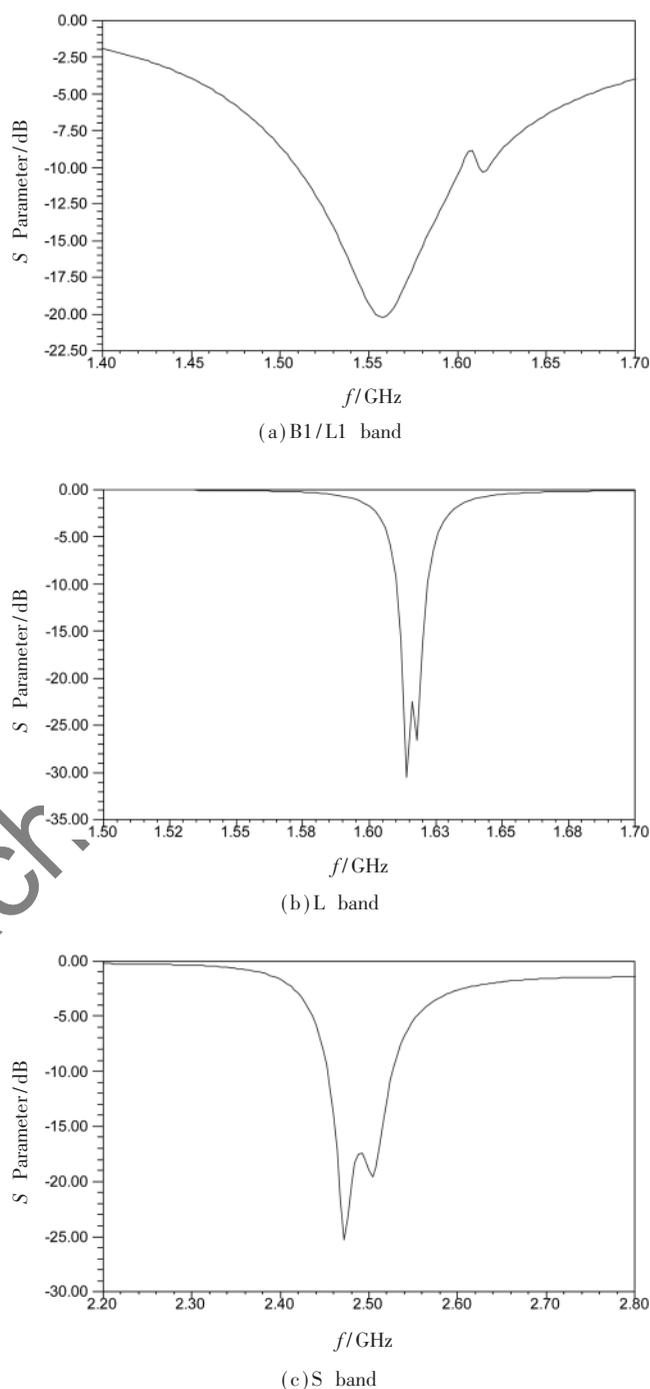


图 4 天线 S 参数曲线图

益方向图,从图 6 中可以看出天线在 1.561 GHz 右旋圆极化增益为 6.19 dB,在 1.575 GHz 右旋圆极化增益为 6.13 dB,在 1.616 GHz 左旋圆极化增益为 3.47 dB,在 2.492 GHz 右旋圆极化增益为 5.64 dB。所述各频段主极化要求一致,且在主极化下极化增益高,方向图波瓣宽度大,满足卫星导航场景应用。

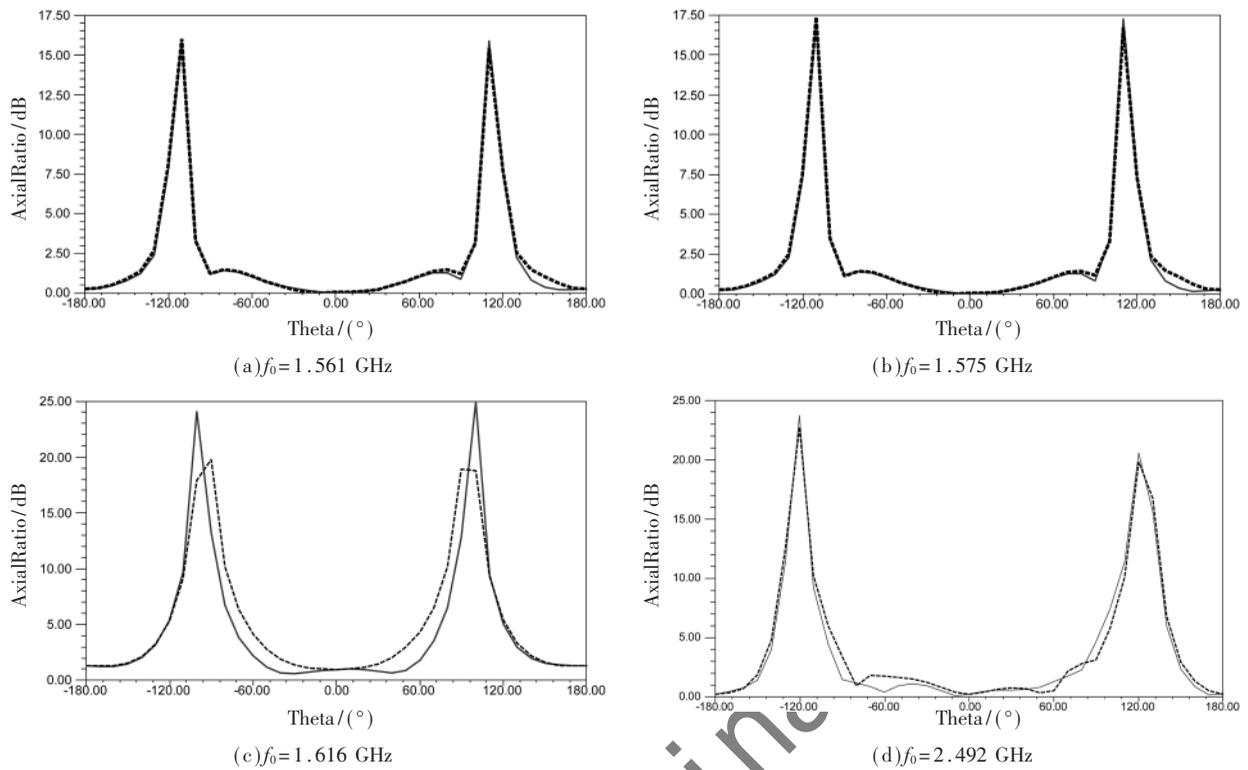


图 5 天线轴比曲线图

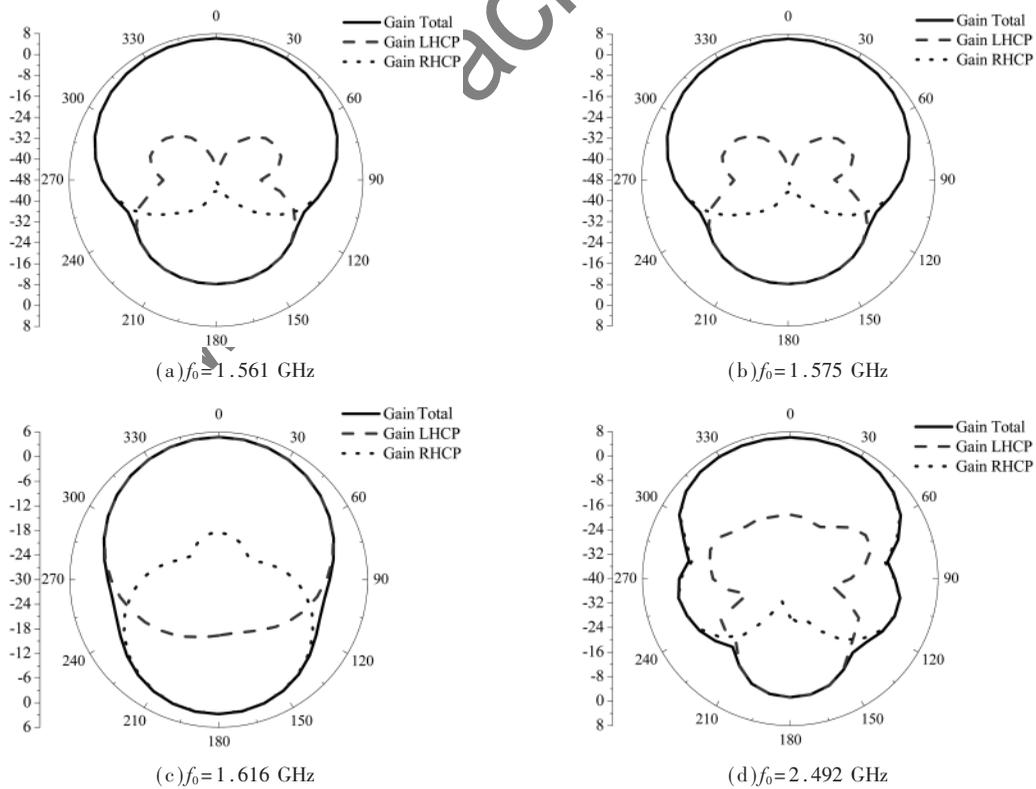


图 6 天线增益方向图

3 结论

本文设计了一款应用于卫星导航系统的多频圆极化天线。天线采用螺旋结构与微带结构相组合方式,实现北斗一代收发 L/S 频段、北斗二代 B1 频段和 GPS L1 频段的覆盖,天线具有良好的低仰角增益,通过螺旋结构可提高天线的低角搜星能力,同时具有更高的定位精度。仿真结果表明天线性能指标良好,满足卫星导航应用要求,具有很好的应用前景。

参考文献

- [1] AGARWAL K, NASIMUDDIN, ALPHONES A. Triple-band compact circularly polarised stacked microstrip antenna over reactive impedance meta-surface for GPS applications [J]. IET Microwaves Antennas & Propagation, 2014, 8(13): 1057-1065.
- [2] SO K K, WONG H, LUK K M, et al. Miniaturized circularly polarized patch antenna with low back radiation for GPS satellite communications[J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2015, 63(12): 5934-5938.
- [3] 吕凯波,陈乃阔,耿士华.一种提高北斗导航定位终端安全性能的设计[J].信息技术与信息化,2016(11):42-43.
- [4] 陈兆丰,潘锦.应用于北斗和GPS的双频小型圆极化微带天线[J].电子科技,2014,27(12):116-119.
- [5] 商锋,李文博,陈文学.一种适应于卫星定位的多频微带天线[J].西安邮电大学学报,2016,21(4):67-71.
- [6] 杨晓杰,袁家德.一种卫星导航终端多频圆极化微带天线的设计[J].微型机与应用,2016,35(4):61-64.
- [7] 王维.多频卫星导航天线设计与研究[D].昆明:昆明理工大学,2017.
- [8] 宋跃,刘岚,韩国栋.北斗多模卫星导航天线设计[J].电子科技,2013,26(4):137-139.
- [9] YANG X J, YUAN J D. Dual-band and dual-circularly polarized microstrip antenna with low elevation gain improvement for CNSS applications[J]. Microwave & Optical Technology Letters, 2016, 58(5): 1016-1022.
- [10] SU C W, HUANG S K, LEE C H. CP microstrip antenna with wide beamwidth for GPS band application[J]. Electronics Letters, 2007, 43(20): 1062-1063.
- (收稿日期:2020-02-18)
-
- 作者简介:**
 臧志斌(1974-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力芯片研发制造、电力行业信息化、电力工程设计。
 傅宁(1981-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力行业信息化、应急通信研究。
 马军(1984-),男,本科,工程师,主要研究方向:电力行业信息化、网络安全研究。
-
- (上接第48页)
- [16] 张伶俐,张功萱,王天舒,等.嵌入式系统可信虚拟化技术的研究与应用[J].计算机工程与科学,2016,38(8):1654-1660.
- [17] 王冠,袁华浩.基于可信根服务器的虚拟TCM密钥管理功能研究[J].信息网络安全,2016(4):17-22.
- [18] 段翼真,刘忠,施展.一种支持多域访问的可信云终端设计[J].华中科技大学学报(自然科学版),2017,45(12):32-38.
- [19] ENGLAND P, LOSER J. Para-virtualized TPM sharing[C]. International Conference on Trusted Computing & Trust in Information Technologies: Trusted Computing-challenges & Applications, 2008.
- [20] YAP J Y, TOMLINSON A. Para-virtualizing the trusted platform module: an enterprise framework based on version 2.0 specification[C]. International Conference on Trusted Systems. Springer, Cham, 2013: 1-16.
- (收稿日期:2020-03-19)
- 作者简介:**
 赵军(1978-),男,硕士,副教授,主要研究方向:网络空间安全、数据库技术。
 王晓(1983-),通信作者,女,博士,讲师,主要研究方向:信息安全、可信计算、云安全。E-mail: wangxiao8343@163.com。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《信息技术与网络安全》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、JST日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《信息技术与网络安全》编辑部
中国电子信息产业集团有限公司第六研究所