

# 一种超高频射频识别读写器天线

王钟葆, 房少军, 傅世强

(大连海事大学信息科学技术学院, 辽宁大连 116026)

**摘 要:** 本文提出了一种适用于我国 UHF RFID 读写器的宽带圆极化叠层微带天线. 通过选用廉价 FR4 板、空气层介质和对角线切角的正方形贴片组成叠层结构, 采用 S 型水平蜿蜒带条激励主辐射贴片的馈电方式, 展宽了天线的阻抗带宽和轴比带宽. 所提出的 S 型水平蜿蜒带条馈电技术, 实现了对称的辐射方向性图. 给出了天线设计思路, 并利用电磁仿真软件分析了天线性能, 仿真与测试结果吻合良好. 测试结果表明: 天线具有较好的性能,  $VSWR < 1.5$  的阻抗带宽达 26.6% (722 – 944MHz), 轴比小于 3dB 的圆极化带宽达 10.8% (838 – 934MHz), 在 3dB 轴比带宽内增益大于 8.5dBi. 所设计的天线能满足我国 UHF RFID 读写器的应用要求, 具有良好的应用前景.

**关键词:** 宽带; 圆极化; 贴片天线; S 型水平蜿蜒带条; 射频识别读写器

**中图分类号:** TN822      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2011) 08-1873-05

## A UHF RFID Reader/Writer Antenna

WANG Zhong-bao, FANG Shao-jun, FU Shi-qiang

(School of Information Science and Technology, Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning 116026, China)

**Abstract:** A novel broadband circularly polarized stacked patch antenna is proposed for Chinese UHF radio frequency identification (RFID) reader/writer applications. The antenna is composed of two corner truncated patches and an S-shaped horizontally meandered strip (HMS), all of which are printed on the upper side of the FR4 substrates. One end of the S-shaped HMS is connected to the main radiating patch by a probe, while the other end is connected to an SMA connector. Using the proposed S-shaped HMS feed technique, a good impedance matching and symmetrical broadside radiation patterns can be achieved. Simulation results are compared with the measurements, and a good agreement is obtained. The measurements show that the antenna has an impedance bandwidth ( $VSWR < 1.5$ ) of about 26.6% (722 – 944MHz), a 3dB axial ratio (AR) bandwidth of about 10.8% (838 – 934MHz), and a gain level of about 8.5dBi or larger within the 3dB AR bandwidth. Therefore, the proposed antenna can be a good candidate for UHF RFID readers/writers operating between 840 and 928MHz.

**Key words:** broadband; circularly polarized; patch antenna; S-shaped horizontally meandered strip; RFID reader/writer

## 1 引言

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术是一种无线通信技术<sup>[1]</sup>, 可通过射频信号识别特定目标并读写相关数据, 已广泛应用于物流管理、动物识别和电子收费等领域. 与其他无源 RFID 技术相比, 无源 UHF RFID 以其工作距离远和数据传送速度快等特点, 而被公认为最具有应用前景. 不同的国家和地区为 UHF RFID 系统分配的工作频率是不同的<sup>[2]</sup>. 欧洲工作频段为 865 – 868MHz, 北美工作频段为 902 – 928MHz, 日本工作频段为 952 – 955MHz. 基于我国无线电频谱分配现状, 信息产业部于 2007 年发布了《800/900MHz 频段射频

识别(RFID)技术应用规定》, 在 UHF 频段为 RFID 分配了 840 – 845MHz 和 920 – 925MHz 频段. 全球范围内除我国和日本外, 大多数国家都将 UHF RFID 系统的工作频率分配在 865 – 928MHz 内. 随着 RFID 技术的飞速发展, 对 RFID 读写器设计提出了更高的要求, 研制适合我国 RFID 频谱分配特点(即可工作在 840 – 928MHz, 相对带宽约 10%)的宽频读写器天线, 对于推广 RFID 技术的应用具有重要的意义.

无源 UHF RFID 的基本工作原理并不复杂: 标签进入可读区后, 接收读写器发出的射频调制信号, 凭借感应电流所获得的能量发送出存储在标签芯片中的产品信息; 读写器读取信息并解码后, 送至中央信息系统进

行有关数据处理.通常 UHF RFID 标签采用变形的对称振子,该天线为线极化天线<sup>[3]</sup>.实际中要求读写器能够正确识别无论处于何种方向的标签,因此读写器需要采用圆极化天线<sup>[4]</sup>.许多类型的天线都能实现圆极化辐射与接收,其中微带天线以其体积小、重量轻和成本低等优点而被广泛采用<sup>[5~8]</sup>.

微带天线实现圆极化工作的关键是激励产生两个幅度相等且相位相差  $90^\circ$  的正交线极化波,常采用的方法有单馈法和多馈法.对于单馈法,只需在天线贴片中引入不对称和选择合适的馈电点位置即可实现圆极化.单馈圆极化微带天线结构简单、易加工和成本低,但是该类天线的轴比相对带宽窄,约为中心频率的  $0.5 \sim 1\%$ <sup>[9,10]</sup>.采用介电常数低且厚的介质材料(例如,泡沫或空气),单馈单贴片微带天线的轴比相对带宽可增加为  $6 \sim 14\%$ <sup>[11]</sup>.如果采用该技术来实现前述 UHF RFID 读写器天线(相对带宽大于  $10\%$ ),天线高度将大于  $55\text{mm}$ (大于  $0.16\lambda_0$ ),但通常 UHF RFID 读写器天线的高度小于  $50\text{mm}$ .采用叠层贴片配置,单同轴馈电微带天线的轴比相对带宽可展宽到  $18.8\%$ <sup>[12]</sup>,但是输入阻抗匹配较差,不能满足通信系统  $\text{VSWR} < 1.5$  的要求.采用孔耦合馈电技术<sup>[13]</sup>和 L 型带条馈电技术<sup>[14]</sup>,叠层微带天线可实现良好的阻抗匹配.但是对于孔耦合馈电技术,需要一个发射板来减少后向辐射(通常发射板与天线距离为四分之一波长),因此天线高度很大.由于 L 型带条的水平垂直部分都同时影响天线输入电阻和输入电抗,故其设计较复杂.Chen Zhi Ning<sup>[15]</sup>等人提出了一种半波长带条馈电技术,可非常容易地通过调整馈电结构参数得到合适的输入电阻和输入电抗.文献<sup>[16]</sup>利用该技术设计了一款叠层微带天线,将  $\text{VSWR} < 1.2$  的阻抗带宽提高到了  $22\%$ ,但是天线辐射方向性图是非对称的.另外对于多馈法,常常采用  $3\text{dB}$  电桥对微带天线两个正交点进行馈电从而实现圆极化工作<sup>[17]</sup>,使得天线结构复杂、体积增大和成本提高.多馈法还包括三馈法<sup>[18]</sup>和四馈法<sup>[19]</sup>,显然天线结构更加复杂.

为了解决前述问题,本文提出一种新型的微带天线馈电技术,即 S 型水平蜿蜒带条馈电技术.S 型水平蜿蜒带条一端通过探针激励主辐射贴片;另一端与 SMA 连接器内导体相连.通过采用 S 型水平蜿蜒带条馈电技术,实现了良好的阻抗匹配和对称的辐射方向性图;通过采用空气层介质和一个寄生贴片,提高了微带天线的阻抗带宽和轴比带宽.综合前述技术,本文设计了一款 UHF RFID 读写器天线,天线结构简单,便于加工.

## 2 天线结构与实现

设计的 UHF RFID 读写器天线的中心频率  $f_0$  为

$884\text{MHz}$ (即  $\lambda_0$  为  $339\text{mm}$ ),其结构如图 1 所示,包括一个 S 型水平蜿蜒带条、一个地板、一个 SMA 连接器、两个辐射贴片、两个探针和三块 FR4 板.首先在  $1.5\text{mm}$  厚 ( $h$ ) 的 FR4 单面覆铜板的上表面蚀刻出 S 型水平蜿蜒带条和辐射贴片.主辐射贴片是对角线切角的正方形,其尺寸  $L_1 \times L_1 = 138\text{mm} \times 138\text{mm}$  ( $\sim 0.41\lambda_0 \times 0.41\lambda_0$ ),切角大小  $\Delta L_1$  为  $41\text{mm}$ .为了增加天线的轴比带宽,主辐射贴片的正上方配置了一个寄生贴片.寄生贴片也是对角线切角的正方形,其尺寸  $L_2 \times L_2 = 123\text{mm} \times 123\text{mm}$  ( $\sim 0.36\lambda_0 \times 0.36\lambda_0$ ),切角大小  $\Delta L_2$  为  $33\text{mm}$ .FR4 板的介电常数  $\epsilon_r$  为  $4.4$ ,损耗角正切为  $0.02$ .下层 FR4 板是一块矩形板,其尺寸  $F_1 \times F_2$  为  $105\text{mm} \times 70\text{mm}$ .中层和上层 FR4 板都是正方形板,它们尺寸相等且大小  $F_3 \times F_3$  为  $180\text{mm} \times 180\text{mm}$ .地板采用大小  $G \times G$  为  $250\text{mm} \times 250\text{mm}$  的铜板.为了增加天线带宽、提高天线增益和降低天线成本,在 FR4 板和地板之间设置了三层空气层.然后采用塑料螺丝(由于它们对天线性能影响较小故图 1 中未标示)将 FR4 板和地板固定到一起,并且利用塑料螺丝的轴套,以保持 FR4 板和地板之间的空气层厚度.空气层厚度  $h_1$  和  $h_2$  分别为  $6\text{mm}$  和  $12.7\text{mm}$ .最后采用直径为  $1.27\text{mm}$  的探针将 S 型水平蜿蜒带条的一端与主辐射贴片相连;另一端与 SMA 连接器内导体相连,探针连接点详见图 1.S 型水平蜿蜒带条的宽度  $W_s$  为  $6\text{mm}$ .加工完成后的天线如图 2 所示.

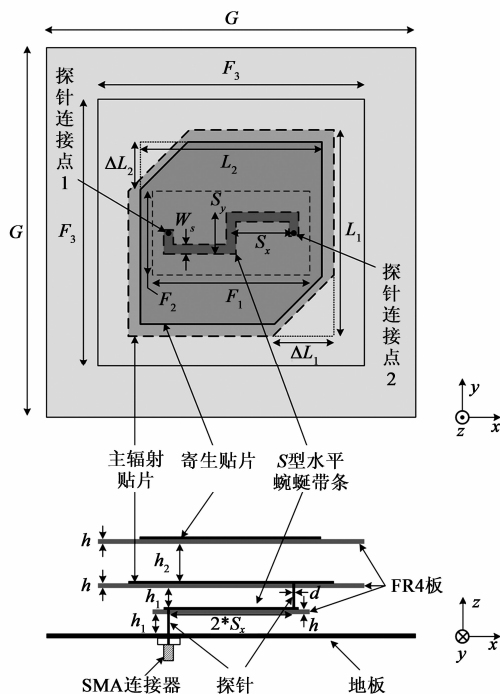


图1 超高频射频识别读写器天线的结构示意图

该天线的输入电阻和输入电抗由 S 型水平蜿蜒带条的尺寸  $S_x$  和  $S_y$  决定.改变  $S_x$ , 输入电阻和输入电抗

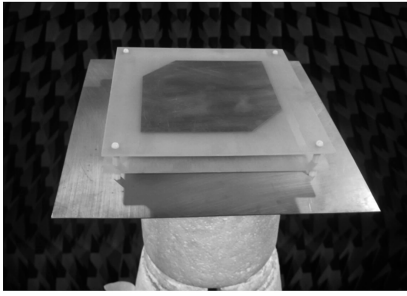


图2 微波暗室中待测UHF RFID读写器天线照片

会同时变化,如图 3 所示;但改变  $S_y$  只有输入电抗变化,如图 4 所示.随着  $S_x$  增大,天线输入电阻也逐渐增大,该变化趋势与同轴探针馈电位置对普通微带天线的输入电阻影响趋势一致<sup>[20]</sup>.因此在设计 S 型水平蜿蜒带条馈电微带天线时,应先调整  $S_x$  使输入电阻为 50 欧姆,然后再调整  $S_y$  使输入电抗为零.调整后  $S_x$  和  $S_y$  分别为 42mm 和 27.5mm.从根本上讲,所提出的 S 型水平蜿蜒带条馈电技术与半波长带条馈电技术类似.不同的是采用 S 型水平蜿蜒带条进行馈电,天线的辐射方向性图是对称的.

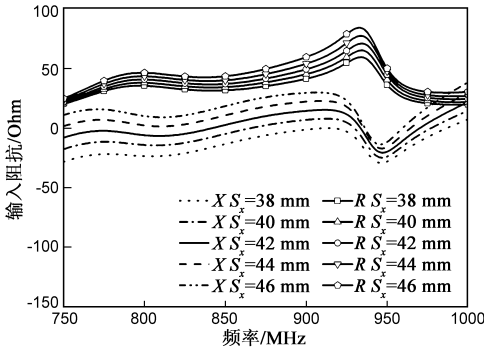


图3 输入阻抗随 $S_x$ 的变化趋势

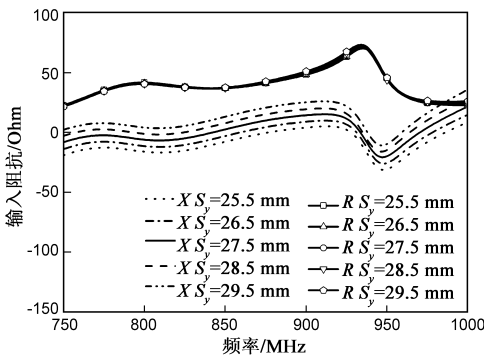


图4 输入阻抗随 $S_y$ 的变化趋势

### 3 实验结果与分析

采用商业三维电磁仿真软件 HFSS 对 UHF RFID 读写器天线进行了仿真与优化,然后对其进行了加工与测试,仿真与测试吻合良好.

图5给出了UHF RFID读写器天线仿真与测试的电

压驻波比和增益曲线,可以看出测试的电压驻波比小于 1.5 的阻抗带宽达 222MHz(即 722 - 944MHz,相对带宽 26.6%).这主要归功于 S 型水平蜿蜒带条馈电技术和厚空气层介质的采用.由增益的测试曲线可知在 840 - 928MHz 频段内天线增益大于 8.5 dBi.图6给出了天

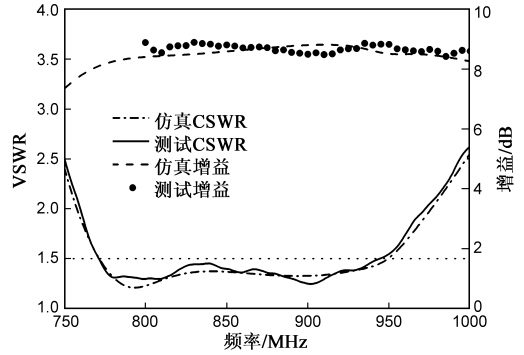


图5 仿真与测试的电压驻波比和增益曲线

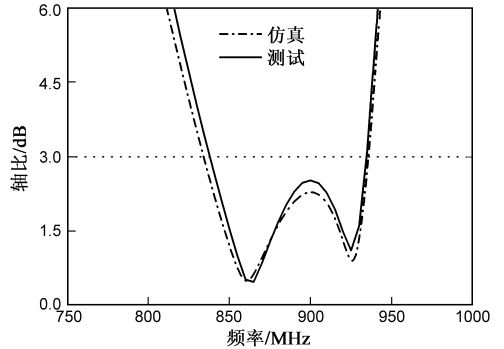


图6 仿真与测试的轴比曲线

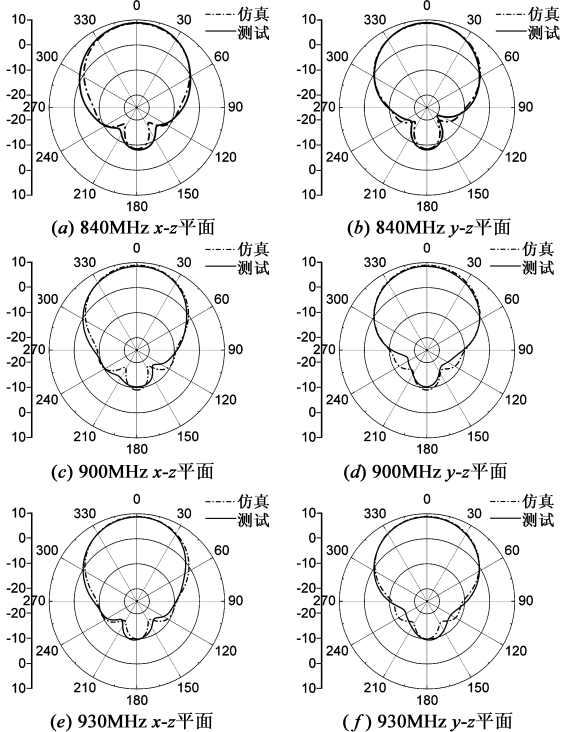


图7 仿真和测试的辐射方向性图

线仿真与测试的轴比曲线.测试的轴比小于 3dB 的频段为 838 - 934MHz(相对带宽为 10.8%),已完全覆盖我国 UHF RFID 工作频段.图 7 给出了天线在 840、900 和 930MHz 三个频率点处仿真与测试的辐射方向性图,可以观察到天线的两个主平面  $x-z$  和  $y-z$  平面的辐射方向性图都比较对称.此外,从图 7 还可以看到该天线的辐射前后比大于 16dB.根据仿真与测试结果,表 1 总结了天线的半功率波束宽度,由表可知在 900MHz 处测试的半功率波束宽度约为  $66^\circ$ ,并且在 840 - 930MHz 之间半功率波束宽度变化只有  $3^\circ$ .

表 1 天线的半功率波束宽度

频率(MHz)	$x-z$ 平面		$y-z$ 平面	
	仿真	测试	仿真	测试
840	$66^\circ$	$67^\circ$	$66^\circ$	$64^\circ$
900	$64^\circ$	$65^\circ$	$65^\circ$	$66^\circ$
930	$64^\circ$	$64^\circ$	$65^\circ$	$65^\circ$

## 4 结论

本文提出了 S 型水平蜿蜒带条馈电技术,使用该设计了一款 UHF RFID 读写器天线.该天线具有良好的阻抗匹配和对称的辐射方向性图.此外通过使用双层贴片和较厚的空气层介质,展宽了天线的阻抗带宽和轴比带宽.测试结果表明:在 UHF RFID 工作频段 840 - 928MHz 内 VSWR 小于 1.5,轴比小于 3dB,增益大于 8.5dBi.采用单一的馈电结构和廉价的 FR4 板使得该天线具有结构简单、易加工和低成本的优点.所设计的天线满足 UHF RFID 系统的技术指标要求,具有良好的应用前景.

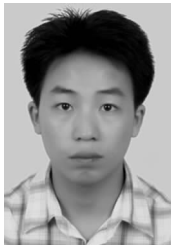
## 参考文献

- [1] R Want. An introduction to RFID technology [J]. IEEE Pervasive Computing, 2006, 5(1): 25 - 33.
- [2] H Barthel Regulatory status for using RFID in the UHF spectrum [OL]. [http://www.epcglobalinc.org/tech/freq\\_reg/RFID\\_at\\_UHF\\_Regulations\\_20090318.pdf](http://www.epcglobalinc.org/tech/freq_reg/RFID_at_UHF_Regulations_20090318.pdf), 2009-03-18.
- [3] K V S Rao, P V Nikitin, S F Lam. Antenna design for UHF RFID tags: a review and a practical application [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(12): 3870 - 3876.
- [4] P Y Lau, K K O Yung, E K N Yung. A low-cost printed CP patch antenna for RFID smart bookshelf in library [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57(5): 1583 - 1589.
- [5] 梁仙灵,钟顺时,汪伟.高隔离度双极化微带天线直线阵的设计[J].电子学报,2005,33(3):553 - 555.
- X L Liang, S S Zhong, W Wang. Design of a dual-polarized linear microstrip patch antenna array with high isolation [J].

- Acta Electronica Sinica, 2005, 33(3): 553 - 555. (in Chinese).
- [6] Z B Wang, S J Fang, S Q Fu, S W Lü. Dual-band probe-fed stacked patch antenna for GNSS applications [J]. IEEE Antennas and Propagation Letters, 2009, 8: 100 - 103.
- [7] S Q Fu, Z B Wang, S J Fang, X M Li. A wideband circular polarization antenna for portable INMARSAT BGAN terminal applications [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2009, 51(10): 2354 - 2357.
- [8] 李建峰,孙保华,张军,刘其中.一种具有高隔离度的双频双圆极化卫星通信天线[J].电子学报,2009,37(12):2829 - 2832.
- J F Li, B H Sun, J Zhang, Q Z Liu. Dual frequency and dual circular polarization antenna with high isolation for satellite communication [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(12): 2829 - 2832. (in Chinese)
- [9] J M Lee, N S Kim, C S Pyo. A circular polarized metallic patch antenna for RFID reader [A]. Proceeding of 2005 Asia-Pacific Conference on Communications [C]. Perth, Western Australia: IEEE Press, 2005. 116 - 118.
- [10] Z B Wang, S J Fang, S Q Fu. A low cost miniaturized CP antenna for UHF radio frequency identification reader applications [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2009, 51(10): 2382 - 2384.
- [11] S L S Yang, K F Lee, A A Kishk, K M Luk. Design and study of wideband single feed circularly polarized microstrip antenna [J]. Progress in Electromagnetics Research, 2008, 80: 45 - 61.
- [12] T Sudha, T S Vedavathy, N Bhat. Wideband single-fed circularly polarised patch antenna [J]. Electronics Letters, 2004, 40(11): 648 - 649.
- [13] B Lee, S Kwon, J Choi. Polarisation diversity microstrip base station antenna at 2 GHz using T-shaped aperture-coupled feeds [J]. IEE Proceedings Microwave, Antennas and Propagation, 2001, 148(5): 334 - 338.
- [14] M K Meshram. Analysis of L-strip proximity fed rectangular microstrip antenna for mobile base station [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 49(8): 1817 - 1824.
- [15] Z N Chen, M Y W Chia. Broad-band suspended probe-fed plate antenna with low cross-polarization levels [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 51(2): 345 - 346.
- [16] Z B Wang, S J Fang, S Q Fu. Broadband stacked patch antenna with low VSWR and low cross-polarization [J]. ETRI Journal, 2010, 32(4): 618 - 621.
- [17] 易敏,李书芳.一种新型射频识别读写器天线的仿真与设计[J].系统仿真学报,2009,21(10):3123 - 3127.
- M Yi, S F Li. Simulation and design of novel antenna for RFID reader/writer device [J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(10): 3123 - 3127. (in Chinese)

- [18] H W Kwal, X M Qing, Z N Chen. Broadband single-fed single-Patch circularly polarized antenna for UHF RFID applications [A]. Proceeding of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium [C]. San Diego, Canada: IEEE Press, 2008. 1 - 4.
- [19] Z N Chen, X M Qing, H L Chung. A universal UHF RFID reader antenna [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2009, 57(5): 1275 - 1282.
- [20] W F Richards, Y T Lo, D D Harrison. An improved theory for microstrip antennas and applications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1981, 29(1): 38 - 46.

### 作者简介



**王钟葆** 男, 1983 年 8 月出生于四川大竹. 2007 年和 2009 年于大连海事大学通信工程专业分别获工学学士和硕士学位, 2010 年获辽宁省优秀硕士学位论文奖. 目前在大连海事大学通信与信息系统专业攻读博士学位, 主要从事新型微带天线和 ACPW 无源器件的研究.  
E-mail: wangzb@dlmu.edu.cn



**房少军(通信作者)** 男, 1957 年 9 月出生于山东淄博. 教授、博士生导师. 1982 年于山东大学获理学学士学位, 1990 年和 2001 年于大连海事大学获工学硕士和博士学位. 现为大连海事大学天线微波研究所所长, 主要从事电磁场、微波技术和天线领域的教学与科研.  
E-mail: fangshj@dlmu.edu.cn



**傅世强** 男, 1981 年 3 月出生于山东龙口. 讲师. 2005 年和 2010 年于大连海事大学分别获工学学士和博士学位. 现任教于大连海事大学信息科学技术学院, 主要从事卫星导航定位和海事卫星通信天线的研究.  
E-mail: fushq@dlmu.edu.cn

