

汤炜, 袁良昊, 孙铃武. 一种基于容性加载的小型化准八木天线研究[J]. 电波科学学报, 2017, 32(4): 427-433. DOI: 10.13443/j.cjors.2017062001

TANG W, YUAN L H, SUN L W. A novel miniaturization quasi Yagi-Uda antenna based on capacitive loading technique[J]. Chinese journal of radio science, 2017, 32(4): 427-433. (in Chinese). DOI: 10.13443/j.cjors.2017062001

一种基于容性加载的小型化准八木天线研究

汤炜¹ 袁良昊¹ 孙铃武²

(1. 华侨大学信息科学与工程学院, 厦门 361021; 2. 厦门致联科技有限公司, 厦门 361000)

摘要 在传统准八木天线的基础上结合小型化技术, 提出了一种新型的小型化准八木天线. 天线结构上, 对天线的馈电结构部分进行合理布局减小天线的纵向尺寸; 对反射器和馈源振子进行容性加载, 增加电流路径长度, 进而减小天线的横向尺寸. 确定结构后, 利用 HFSS 软件对模型的相关参数进行仿真优化. 天线测试结果显示, 在射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)美标 UHF 频段 902~928 MHz 内实测结果与仿真结果吻合较好, 其中增益为 6.8 dBi, 驻波系数小于 1.4, 主瓣交叉极化比大于 40 dB. 天线的尺寸仅为 110 mm×105 mm, 约为 $\lambda_0/3 \times \lambda_0/3$ (λ_0 为中心频点自由空间波长), 体现了小型化和优秀的电气性能.

关键词 准八木天线; 容性加载; 小型化天线; 射频识别; 增益

中图分类号 TN821.1

文献标志码 A

文章编号 1005-0388(2017)04-0427-07

DOI 10.13443/j.cjors.2017062001

A novel miniaturization quasi Yagi-Uda antenna based on capacitive loading technique

TANG Wei¹ YUAN Lianghao¹ SUN Lingwu²

(1. College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;
2. Xiamen Z-link Science & Technical Co., Ltd., Xiamen 361000, China)

Abstract This paper presents a novel miniaturization quasi Yagi-Uda antenna compared with conventional antenna. The longitudinal dimension is decreased by rational layout of the feeding structure and related circuit, while its transverse dimension could be reduced by the capacitive loading technique applied on the reflector and driven dipole, which could be equivalent to extend their current flowing length. After the optimization with the software HFSS, the proposed antenna is fabricated. Its measurement results are agree with the simulation well. Its gain is around 6.8dBi, its cross polarization ratio is above 40dB at the main lobe, and the VSWR is less than 1.4 over the frequency range of American standard RFID from 902MHz to 928MHz. The size of the substrate is only 110 mm×105 mm, which is about one-third of the wavelength of center frequency in free space.

Keywords quasi Yagi-Uda antenna; capacitive loading; miniaturization antenna; radio frequency identification; gain

收稿日期: 2017-06-20

资助项目: 福建省自然科学基金(2015J05127); 华侨大学科研基金(14BS206); 华侨大学研究生科研创新能力培育计划(2015301032)

联系人: 汤炜 E-mail: tangwei74@hqu.edu.cn

引言

八木天线在 20 世纪 20 年代由日本东北大学学者 H. Yagi 和 S. Uda 率先研制,这种天线命名为“宇田-八木天线”,后根据其电气特点也称为“引向天线”。它具有方向性强、增益高和结构简单的特点,迄今仍被大量使用在通信、测速、遥感、定向等领域^[1]。由于适用频率和振子材料等原因,传统八木天线通常体积较大、重量较重,限制了该天线的应用范围。另一方面,随着微带天线的兴起,和微波电路集成也成为八木天线的一个重要课题。

1998 年,加州大学洛杉矶分校 T. Itoh 教授领导的团队提出一种准八木天线(Quasi Yagi-Uda Antenna)^[2],该天线为平面结构,同时兼具微带天线易集成和八木天线高增益的优点。随后的工作主要围绕两方面进行展开,一方面是如何提高天线增益?通常而言,提高八木天线的增益有两种方法:一种是对天线阵列化。由于天线单元增益相对较高,在进行阵列组合时,需要减小互耦以保证其工作性能,Ittoh 教授小组对准八木天线阵的互耦进行了研究,在阵列上部设置狭长切口减小耦合,维持天线良好的后向性能^[3-4];S. X. Ta^[5]利用地线间设置凸金属条以减轻耦合。另一种方法是以牺牲天线尺寸和复杂度为代价,增加天线引向器数目。这方面国内学者研究较多,清华大学冯正和教授^[6]采用 6 引向器结构,得出一款 11.6 dB 的天线;苏州大学刘学观教授指导学生^[7]完成一款较宽频带 4 引向器天线,增益 9 dBi。另一方面的工作是针对驻波天线的固有属性,即如何提高准八木天线的工作带宽。其中:北京理工大学的科研小组采用类似微带天线中的附加贴片技术,得到了跨越 S~C(2.8~5.2 GHz)的优化结果;Y. Kou^[8]提出利用微带魔 T 的概念进行馈电,借鉴了微带天线中软振子馈电模型;J. G. Estrada^[9]利用电磁带隙(Electromagnetic Band Gap, EBG)结构作为衬底,利用多谐振特性展宽带宽,相对带宽达到 53%。

本文针对准八木天线的小型化^[10]进行研究,在原有准八木天线^[11]基础之上,横向尺寸通过容性加载,减小反射器和馈源振子的横向占用空间;纵向尺寸上利用合理的空间布局,将 1/4 波长匹配部分横置,减小纵向占用空间。并通过商用软件 HFSS 对结构参数进行仿真优化,针对 902~928 MHz 频段设计了一款小型化天线,其基片为 105 mm×110 mm,

纵横尺寸约为中心频点自由空间波长的 1/3。通过测试结果可以看到,天线虽进行小型化处理,但是电气性能,如增益、驻波系数和交叉极化仍然能够保持良好特性。

1 传统准八木天线的尺寸分析

以传统三元八木天线为例,如图 1 所示,天线由反射器、馈源振子和引向器构成。从横向尺寸看,馈源振子全长度 L_{dri} 约为 $(0.45-0.48)\lambda_0$,反射器长度 L_{ref} 略长于馈源振子,引向器略短于馈源振子,因而横向长度应略大于 $0.5\lambda_0$;从纵向长度分析,反射器和馈源振子间距 S_{ref} 约为 $0.2\lambda_0$,馈源振子与引向器间距 S_{dir} 为 $0.2\lambda_0$,因而传统三元八木天线的大小约为 $0.5\lambda_0 \times 0.4\lambda_0$ 。

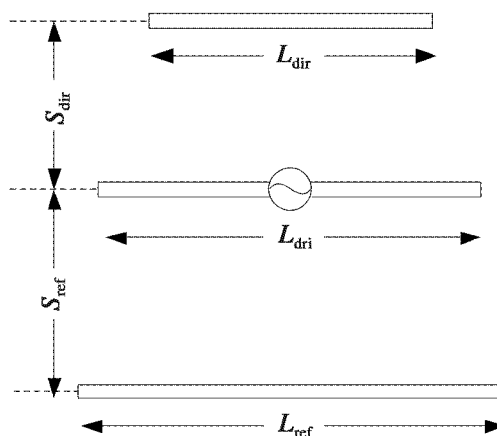


图 1 三元八木天线示意图

将上述结论置于微带八木天线,如图 2 所示,由于介质作用^[6,12],馈源振子等单元横向尺寸会有一定缩小,但从相关文献^[13-15]的实际设置看,由于介质-空气边界对电磁信号的影响,天线末端仍需与介质边缘有一定间距,故而一般仍采用 $0.5\lambda_0$ 大小;纵向方面,馈源振子与共面带线、180°移相巴伦、 $\lambda/4$ 阻抗变换器,以及天线馈线相连, $\lambda/4$ 阻抗变换器兼具稳定带宽的作用,长度约为 $0.25\lambda_0$ 。考虑到天线微带馈线的长度,纵向尺寸整体算来也约为 $0.5\lambda_0$,各文献中天线基片的尺寸一般略大于 $0.5\lambda_0$ 。为实现高增益时如增加引向器数目,尺寸会变得更大。一般认为,三元准八木天线尺寸大小为 $0.5\lambda_0 \times 0.5\lambda_0$ 。

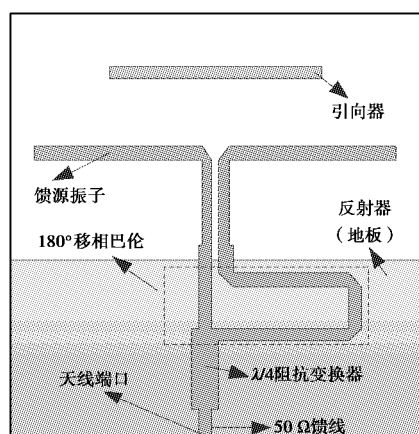


图2 三元准八木天线示意图

2 准八木天线的小型化

2.1 纵向尺寸的缩减

从图2来看天线的纵向尺寸由以下几个方面构成:天线馈线长度、 $\lambda/4$ 阻抗变换器长度、 180° 移相巴伦、共面带线长度、馈源振子与引向器距离、引向器留白距离。其中,共面带线长度、馈源振子与引向器间距是天线设计的关键参数,涉及到天线的输入阻抗,这些长度一般较难缩减。引向器的留白部分和天线的增益有一定的关系。天线馈线长度为了保证输入信号的稳定性,一般约保留 $0.1\lambda_0$ 以上的长度, $\lambda/4$ 阻抗变换器长度约为导波波长的 $1/4$, 180° 移相巴伦的高度涉及折线的耦合,也不能将尺寸限制得太小,否则将引起信号畸变。因而整体看来,天线各部分的尺寸都有一定的限制,唯一可优化的部分似仅为引向器的留白长度。

然而分析图2的电路整体布局时可发现,天线的下半部分,即 180° 移相巴伦、 $\lambda/4$ 阻抗变换器和天线馈线的布局较为松散,左右部分空白较多,若将天线馈线和变换器进行横向放置,则可简单有效减小天线整体纵向尺寸,小型化后该部分布局如图3所示。

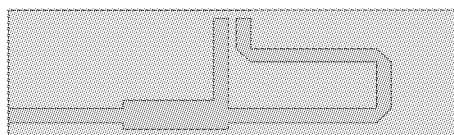


图3 小型化的天线馈电部分

2.2 横向尺寸的缩减

图2中的结构显示,天线的横向尺寸由天线的地板宽度确定。由于地板在准八木天线中又承担反射器的用途,根据八木天线的理论,反射器的长度须略长于 $0.5\lambda_0$ 。为了缩减天线的横向尺寸,本文采用了容性加载技术。

如图4所示,容性加载技术指的是,在天线工程中为实现振子单元的小型化,或者当提供空间略微不足天线的设计要求时,在原天线的顶端与电流垂直方向设置金属片(条)。普通振子中,如振子长度 a_1a_2 不足 $0.5\lambda_0$,端口馈电处电流小于半波振子电流,因而一方面天线辐射效率不高,同时由天线理论可知,振子输入阻抗呈非纯阻抗状态,从天线端口输入的能量有较大反射;在容性加载中,即使 b_1b_2 不足 $0.5\lambda_0$,由于这两点并不处于振子末端,电流可以继续沿 c_1b_1 、 c_2b_1 、 b_2d_1 和 b_2d_2 流动,这几部分等同于延长振子长度。因加载部分 c_1b_1 和 c_2b_1 、 b_2d_1 和 b_2d_2 上电流流向相反,该部分电流辐射场在空间几乎被抵消。然而由于这部分电流处于振子的末端,电流幅度本身较小,抵消的辐射功率非常有限。因而容性加载是振子小型化的一种常规手段。实际上在微带天线中常提及的H型贴片和H型槽缝,实质也为容性加载。从物理方面来说,振子两端增加贴片,能够起到堆积电荷的作用,也使得天线等效长度加大,其作用与增粗振子的效能相当^[1,16]。

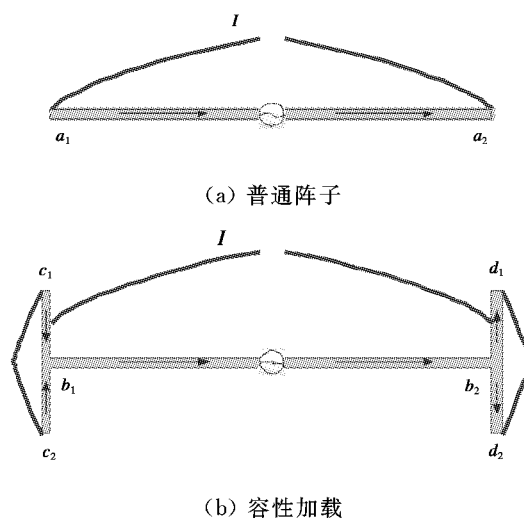


图4 普通振子与容性加载振子电流分布

如仅仅考虑天线匹配,容性加载可进一步缩短天线横向尺寸,但如上所述过分缩短主振子长度,将严重影响天线辐射性能,因而设计时需在辐射性能、天线尺寸及外形之间综合考虑且相互权衡。该天线为便携式读写器设计,增益过低会导致读距减小进而影响到RFID读写器性能,因而在小型化过程中,还要考虑天线的具体实际情况。

另外需要说明的是,容性加载中的 b_1c_2 段和 b_2d_2 段并不是必须的,去除后天线的几何形状呈现两个L形,也为容性加载的常规形式。

由上所述,如需对传统准八木天线进行横向的

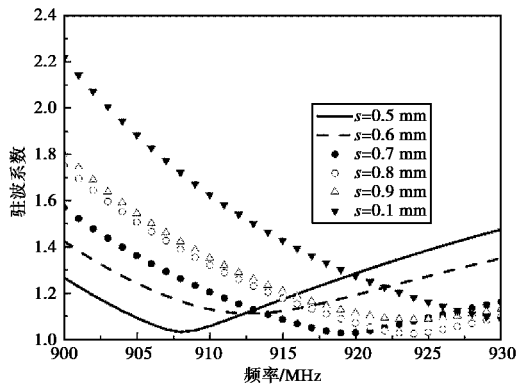


图 8 共面带线缝隙 s 对驻波系数的影响

从图 6~8 优化图可以看到,共面带线的参数对驻波系数有明显的影响,对增益的影响仅仅只有 0.2 dB 的变化,几乎可忽略不计.其原因就在于共面带线作为低耗传输线,其特性阻抗的改变,只会影响到各个端口处的输入阻抗进而导致反射系数的变化;而信号能量在传输过程中不会有太大的变化,所以对增益变化不大.通过优化,最终得到的优化参数如表 1 所示.

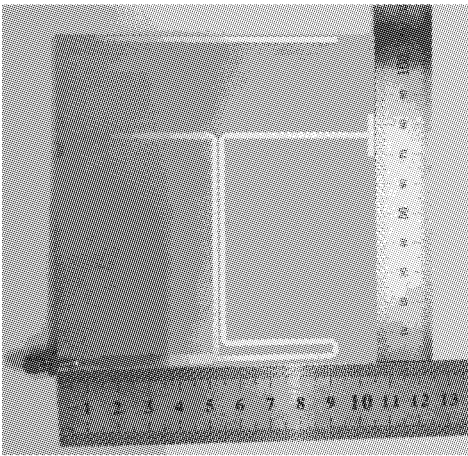
表 1 小型化准八木天线参数优化结果 mm

参数	尺寸	参数	尺寸	参数	尺寸
h	1.27	w_1	1.9	S_{ref}	67
L_{x1}	14.5	w_2	3.5	$L_{\text{dri},x}$	48
L_{x2}	35.8	w_3	1.8	$L_{\text{dri},y}$	6
L_{x3}	35.4	s	0.65	L_{dir}	80
L_{y1}	1	d	1	S_{dir}	30
L_{y2}	3	$L_{\text{ref},x}$	2		
L_{y3}	5	$L_{\text{ref},y}$	22.4		

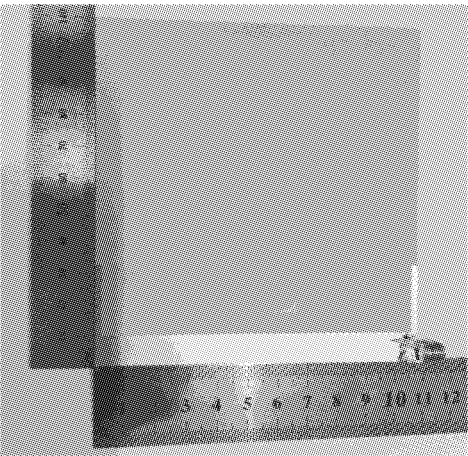
4 测试结果分析

根据上述优化结果,我们制作了实物并进行测试.图 9(a)和图 9(b)分别是天线的正面和背面,图 10 给出了测试结果与仿真的驻波曲线对比.

从图 10 可以看到,两者的驻波曲线吻合较好,在 902~928 MHz 频段,整体驻波系数小于 1.4,体现了良好的电气性能.利用微波暗室,我们对天线的增益和方向图进行了测试,天线实测增益如图 11 所示,由于本文关心的频带较窄,因而测试增益在带内变化不大.图 12 为 915 MHz 的天线 E 面和 H 面的辐射及交叉极化方向图.



(a) 正面



(b) 背面

图 9 小型化准八木天线实物照片

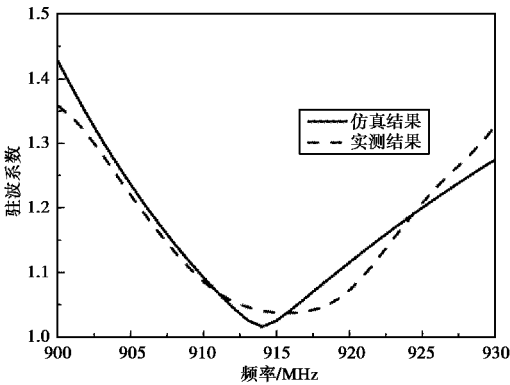


图 10 天线驻波系数的仿真与实测结果对比

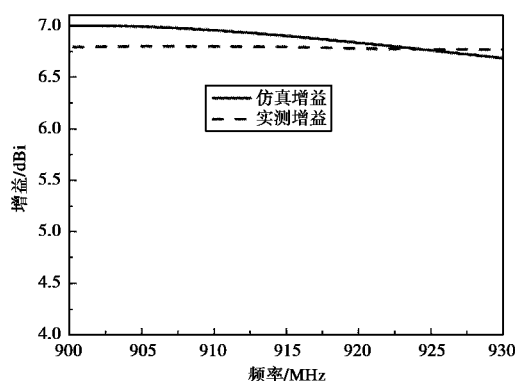
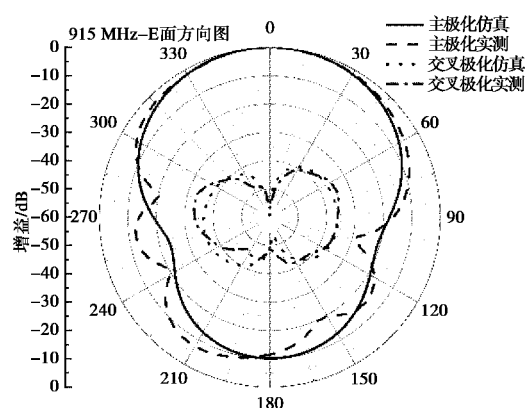
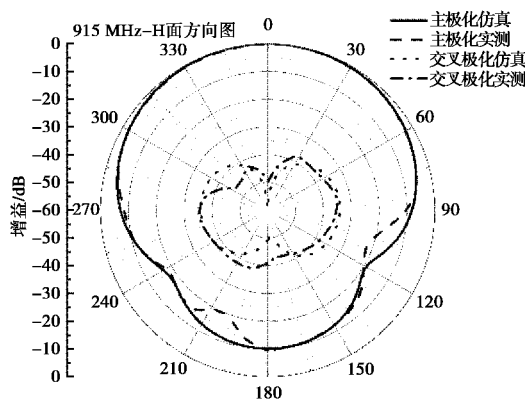


图 11 天线增益仿真与实测结果对比



(a) E 面



(b) H 面

图 12 天线 915 MHz 时仿真与实测方向图对比

由图 11 可以看出,实测增益在 902~928 MHz 频段内稳定在 6.8 dBi,虽与仿真增益有一定区别,但区别不大并保持了稳定的高增益.图 12 所示的实测方向图与仿真方向图吻合较好,绝大部分区域交叉极化比大于 20 dB,其中主瓣交叉极化比大于 40 dB.由于实测环境、天线测试转台和支架的影响,E

面和 H 面的实测方向图后瓣较仿真有轻微偏差,但整体表现良好,实现了较好的电气性能,验证了设计的合理性及正确性.

5 结 论

本文针对准八木天线进行最小化研究,利用容性加载技术和合理布局,并结合 HFSS 的仿真优化,针对 915 MHz 的频点进行设计,得到了一种新的小型化准八木天线.基片长宽分别为 105 mm 和 110 mm,约为 $\lambda_0/3 \times \lambda_0/3$.制作实物后进行测试,测试结果和仿真优化结果吻合较好,在 RFID 美标 UHF 频段即 902~928 MHz 内,驻波系数小于 1.4,天线增益为 6.8 dBi,主瓣交叉极化比大于 40 dB,和传统八木天线的增益相近,且天线方向图具有较宽的波瓣宽度、相当不错的电气性能,充分肯定了本文设计方法的合理性.

参考文献

- [1] 钟顺时. 天线理论与技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [2] KANEDA N, QIAN Y, ITOH T. A novel Yagi-Uda dipole array fed by a microstrip to CPS transition [C]//Asia-Pacific Microwave Conference, 1998: 1413-1416.
- [3] DEAL W R, KANEDA N, SOR J, et al. A new quasi-Yagi antenna for planar active antenna arrays [J]. IEEE transaction on microwave theory and techniques, 2000, 48(6): 910-918.
- [4] QIAN Y, DEAL W R, KANEDA N, et al. Mutual coupling and mitigation in tow-dimensional phased arrays based on planar quasi-Yagi antennas[C]//2000 Asia-Pacific Microwave Conference. Sydney: IEEE, December 3-6, 2000: 5-8.
- [5] TA S X, PARK I. Two-element folded-dipole-driven quasi-Yagi array with low mutual coupling[C]//2013 International Workshop on Antenna Technology (iWAT). March, Germany, 2013: 236-239.
- [6] 王鹏, 陈文华, 冯正和. 准八木型宽带高增益微带天线的设计[C]//全国天线年会论文集(上). 成都: 电子工业出版社, 2009: 234-236.
- [7] 潘顺中. 一种微带准八木天线的设计与分析[D]. 苏州: 苏州大学, 2014.
PAN S Z. Design and analysis of a microstrip quasi-Yagi antenna[D]. Suzhou: Suzhou University, 2014. (in chinese)
- [8] KOU Y, WANG X, LIU C, et al. Design of a UWB

- planar quasi Yagi-Uda antenna on S-C band[C]//IET International Radar Conference. Hangzhou: IET, October 14-16, 2015: 1-4.
- [9] ESTRADA J G, PAECZ C I, FAJARDO A. A new broadband Quasi Yagi-Uda antenna with an EBG-truncated ground plane[J]. IEEE antennas and wireless propagation letters, 2013, 12: 1392-1395.
- [10] 钱祖平, 关东方, 张颖松, 等. 一种新型共形微带准八木天线的设计[J]. 电波科学学报, 2013, 28(4): 704-708.
- QIAN Z P, GUAN D F, ZHANG Y S, et al. Design of a novel conformal microstrip quasi-Yagi antenna [J]. Chinese journal of radio science, 2013, 28(4): 704-708. (in Chinese)
- [11] 王鹏, 郑剑锋, 高旭, 等. 准八木型宽带高增益微带天线[J]. 电波科学学报, 2010, 25(5): 828-832.
- WANG P, ZHENG J F, GAO X, et al. Microstrip-fed quasi-Yagi antenna with wide bandwidth and high gain[J]. Chinese journal of radio science, 2010, 25(5): 828-832. (in Chinese)
- [12] JACKSON D, ALEXOPOULOS N. Analysis of planar strip geometries in a substrate-superstrate configuration [J]. IEEE transactions on antennas and propagation, 1986, 34(12): 1430-1438
- [13] KHAN W T, SITARAMAN S, VERA A L, et al. A V-band end-fire Yagi-Uda antenna on an ultra thin glass packaging technology[C]//2015 European Microwave Conference (EuMC). Paris, September 7-10, 2015: 681-621.
- [14] KAKOYIANNIS C G, KARANASIOU I S, KOUTSOUPIDOU M, et al. A unidirectional wideband printed quasi-Yagi antenna for microwave breast imaging[C]//2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). Lisbon, April 13-17, 2015: 1-5.
- [15] KHAN W T, ULUSOY A C, DUFOUR G, et al. A D-band micromachined end-fire antenna in 130-nm SiGe BiCMOS technology[J]. IEEE transactions on antennas and propagation, 2015, 63(6): 2449-2459.
- [16] BALANIS C A. Antenna theory: analysis and design [M]. 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [17] ABBOSH A. Accurate effective permittivity calculation of printed center-fed dipoles and its application to quasi Yagi-Uda antennas [J]. IEEE transactions on antennas and propagation, 2013, 61(4): 2297-2300.

作者简介

汤炜 (1974—), 男, 湖北人, 华侨大学副教授, 博士, 研究方向为吸波材料、天线理论与工程、RFID 天线设计及小型化等。

袁良昊 (1991—), 男, 河南人, 华侨大学实验员, 硕士, 研究方向为吸波材料、天线及周期结构设计。

孙铃武 (1988—), 男, 福建人, 厦门致联科技有限公司副技术总监, 硕士, 研究方向为 RFID 读写器天线及标签天线等。