

文章编号: 2095-4980(2017)05-0818-05

一种用于 WSN 的微小型 UWB 雷达天线设计

窦硕鹏, 潘仲明, 张卓航

(国防科学技术大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 超宽带雷达不受雨、雪、声、风等自然环境的干扰, 可用于无线传感器网络并全天候工作; 在通信领域, 超宽带雷达可避免多径干扰问题, 解决无线传感器网络在复杂多径环境中的应用局限问题。故超宽带雷达可以与无线传感器网络形成天然的结合。为满足无线传感器网络低功耗、体积小要求, 设计了一种微小型超宽带雷达天线。该天线为共面波导方式馈电的贴片式微带天线。仿真结果表明, 天线具有体积小、带宽宽(1.78~2.38 GHz)、全向性好的优点, 满足无线传感器网络应用需求, 并可避免与已用无线通信频段的干扰, 具有广阔的应用前景。

关键词: 超宽带雷达; 无线传感器网络; 微带天线

中图分类号: TN95

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201705.0818

Design of a UWB radar antenna with a miniature configuration for WSN applications

DOU Shuopeng, PAN Zhongming, ZHANG Zhuohang

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha Hunan 410073, China)

Abstract: Ultra Wide Band(UWB) radar can avoid interference from snow, sound, wind and other natural environments. So it can be used in wireless sensor networks and work all day without considering weather. Ultra-wideband radar has the ability to avoid multipath interference problems in communications. Therefore, ultra-wideband can be combined with wireless sensor networks. To meet the requirements of wireless sensor networks, a ultra-wideband radar antenna with small size is proposed. The proposed antenna is a microstrip antenna fed by a Coplanar Waveguide(CPW). The simulated results show that the antenna has many advantages, including small size, wide-bandwidth(1.78–2.38 GHz), and good omni-directivity. The antenna can avoid interference of the existing wireless communication bands, and shows broad application prospects.

Keywords: ultra-wideband radar; wireless sensor networks; microstrip antenna

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)是由部署在监测环境中的大量传感器节点组成, 通过无线电通信的方式形成的一个多跳的自组织网络。当前, WSN 配置的传感器类型有声音、振动、红外、光纤传感器等。但是, 声音、振动传感器易受风雨天气、动物活动等外界环境的干扰, 红外传感器易受动物等其他热源的影响, 光纤传感器易受雨雪、大雾等天气变化的干扰, 难以保证 WSN 全天候工作。在城市、荒岛或无人值守区域等复杂环境中, 上述传感器在通信中会由于墙壁建筑物、叶簇等遮蔽物的存在而形成复杂的多径干扰, 使得 WSN 的应用受到很大限制。WSN 全天候工作问题、WSN 节点通信中多径干扰问题成为 WSN 应用中亟待解决的难题。超宽带(UWB)雷达为该难题提供了一种解决方案。

UWB 雷达不受天气、动物活动等外界环境的干扰, 可以实现全天候工作; UWB 雷达工作频带宽, 天生对信道多径衰落有“免疫力”, 因而在通信中抗多径干扰能力强。此外, UWB 雷达功耗低的优点, 也是 WSN 非常看重的优势。目前, 将 UWB 雷达与 WSN 系统结合的理论研究较多, 但应用较少, 只有美国军方启动了“超宽带无线传感器网络”在战场上的应用。

UWB 天线是 UWB 雷达系统重要组成部分, 其性能直接决定 UWB 雷达系统的性能。本文重点介绍了一种超宽带雷达天线设计。

收稿日期: 2016-08-24; 修回日期: 2016-09-30

为满足 WSN 低功耗、低成本、小体积的要求,设计的 UWB 天线应具有尺寸小、全向性好的特点。当前, WSN 的使用频段为 0.9~2.4 GHz, 为避免与已用无线通信频段(无线局域网 WLAN, 2.4 GHz)的干扰, 所设计的 UWB 天线工作频段应在 0.9~2.4 GHz 并且符合 UWB 的条件。

微带天线由于体积小、质量小、成本低等优点, 成为目前国内外 UWB 天线研究的热点。当前, UWB 微带天线的设计主要有 3 种改进措施: 一是加宽天线的工作带宽, 如文献[1], 带宽范围为 2.6~13.04 GHz; 二是通过加载环型^[2]、“U”型^[3]等缝隙结构实现多陷波, 以避免与已用无线通信频段的干扰; 三是通过取半天线结构^[4]等措施, 实现天线尺寸小型化。但是, 如前文所述, 应用于 WSN 的 UWB 天线的工作频段应在 0.9~2.4 GHz, 因而设计的天线不必追求高的天线带宽; 在上述频带范围内, 只需考虑天线工作带宽不覆盖 2.4 GHz。取半天线结构尽管能大幅度缩小天线尺寸, 但是天线的全向性变差, 故需设计具有对称结构的的天线结构。

本文设计出一种尺寸小的共面波导全向性 UWB 微带天线, 用仿真 HFSS15.0 进行仿真优化, 结果表明该天线的带宽范围为 1.78~2.38 GHz, 满足 UWB 的条件且能避免与已用无线通信频段的干扰, 全向性良好。

1 UWB 雷达天线设计

考虑到 UWB 雷达要应用于 WSN 中, 故设计的雷达天线频段应在 0.9~2.4 GHz, 同时应具有体积小、全向性好的特性。

本文设计的 UWB 天线借鉴文献[5]中天线结构, 在其基础上, 进行改进设计。设计的天线为贴片式共面波导型微带天线。通过在靠近辐射贴片的底端加载 2 个倒“L”型矩形框改善天线频带范围。

天线结构图如图 1 所示, 该天线制作在介电常数为 4.4, 厚度为 1.6 mm 的介质基板上, 其长度 $W=60$ mm, 宽度 $W=60$ mm, 采用特性阻抗为 $50\ \Omega$ 的共面波导方式馈电, 中间深色矩形部分为金属辐射片, 四周深色部分为接地板。

从图 1 中可以看出, 所设天线主要由矩形单极子和 2 个寄生矩形框构成, 从而形成谐振频率。加载矩形框的长度 L_f 为待实现中心频率介质波长的一半, 其近似公式为^[6]:

$$L_f = \frac{c}{f\sqrt{2(\epsilon_r+1)}} \quad (1)$$

式中: c 为真空中光速; f 为陷波的中心频率; ϵ_r 为介电常数。

在中心频率为 2 GHz 时, 可计算得到 L_f 的值近似为 48 mm, 故可设计矩形框初始参数 $L_2=L_3=12$ mm。

天线带宽的各个参数都会影响天线的带宽, 根据带宽要求, 天线的初始参数选择为: $W=60$ mm; $W_1=8$ mm; $W_2=4$ mm; $W_3=W_4=1$ mm; $L_1=25$ mm; $L_2=L_3=12$ mm。

利用 HFSS15.0 对天线模型进行仿真, 对主要参数辐射贴片长度 L_1 、矩形框高度 L_2 和贴片与矩形框缝隙 W_4 进行了研究。通过调节这 3 个参数对天线带宽进行优化。

1.1 加载“L”型矩形框对天线带宽的影响

为验证加载“L”型矩形框结构对天线带宽的影响, 可分析未加载矩形框结构天线带宽, 以进行对比。图 2 为未加载矩形框结构的的天线结构图, 图 3 为未加载矩形框天线的回波损耗。

从图 3 可以看出, 未加载“L”型矩形框的天线工作频带为 1.60~1.92 GHz。尽管工作频带在 0.9~2.4 GHz 之间, 但是天线的带宽为 0.32 GHz, 不符合超宽带的要求, 因而, 有必要对这种结构进行改进。使其工作频带既要在指定的频带范围内, 又要符合超宽带的要求。

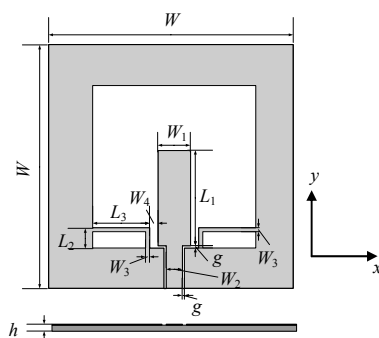


Fig.1 Configuration of the proposed antenna
图 1 天线结构示意图

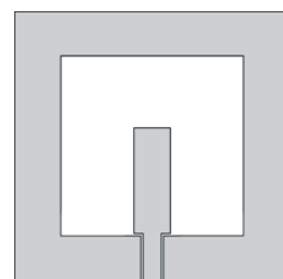


Fig.2 Configuration of the antenna without L-shaped slots
图 2 未加载矩形框结构

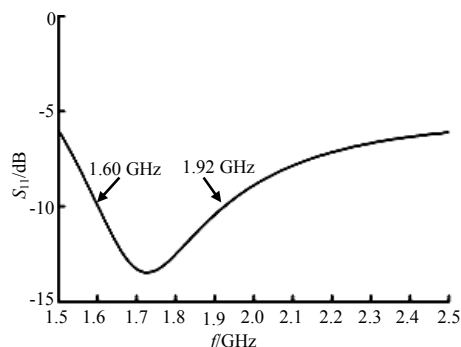


Fig.3 Return loss of the antenna without L-shaped slots
图 3 未加载矩形框天线的回波损耗

1.2 参数 L_1, L_2 和 W_4 对天线带宽的影响

图 4 表示辐射贴片长度 L_1 对天线带宽的影响,从图中可以看出,随着 L_1 的增大,天线上下限截止频率均降低,同时带宽也在变窄,这主要是由于 L_1 的增加,增长了矩形辐射单元的长度,天线的谐振频率会有所降低。对 L_1 进行进一步优化仿真,发现当 $L_1=23\text{ mm}$ 时取得较好的结果。

图 5 表示矩形框高度 L_2 对天线带宽的影响,从图中可以看出,随着 L_2 的减小,天线下限截止频率向低频移动。这主要是由于 L_2 的减小,减小了寄生矩形框辐射元的谐振长度,改善了天线的阻抗特性。对 L_2 进行进一步优化仿真,发现当 $L_2=5\text{ mm}$ 时得到的天线带宽较满意。

图 6 为贴片与矩形框缝隙 W_4 对天线带宽的影响,从图中可以看出,随着矩形辐射单元与寄生矩形框单元之间间隙的增加,天线阻抗带宽变窄,且谐振中心频率向着较高的频段移动。这主要是由于二者之间耦合间隙的增加,使得耦合降低,从而恶化天线阻抗特性。

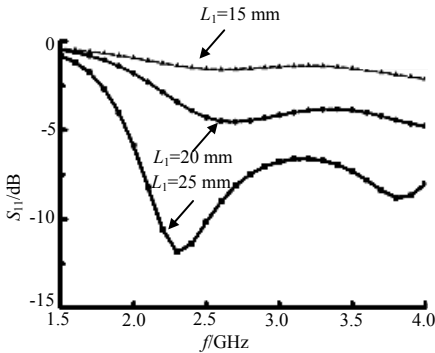


Fig.4 Effect of the length of radiation patch L_1
图 4 辐射贴片长度 L_1 对天线带宽的影响

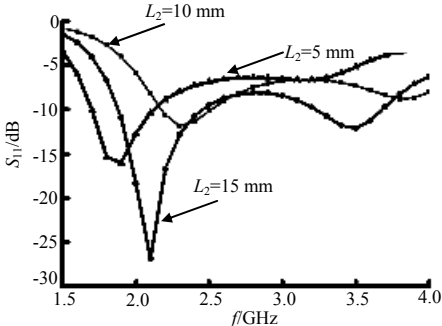


Fig.5 Effect of the length of L-shaped slots(L_2)
图 5 矩形框高度 L_2 对天线带宽的影响

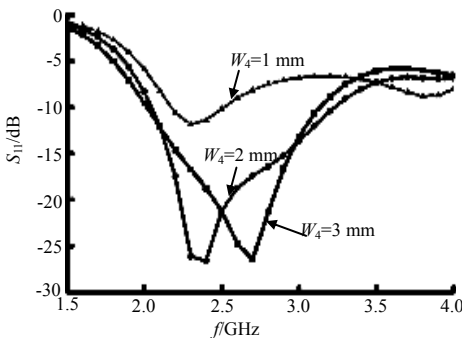


Fig.6 Effect of the slot W_4
图 6 缝隙 W_4 对天线带宽的影响

1.3 天线尺寸比较

对各个尺寸进行优化后得到天线的最终尺寸,如表 1 所示。

表 1 天线结构尺寸

Table1 Parameters of the proposed antenna									
parameter	W	W_1	W_2	W_3	W_4	L_1	L_2	L_3	h
value/mm	60	8	4	1	2	23	5	14	1.6

由表 1 可知,天线的尺寸为 $60\text{ mm}\times 60\text{ mm}\times 1.6\text{ mm}$,为说明论文中设计的天线具有体积小特性,可将目前国内外实现同频带范围的天线尺寸进行比较。其结果如表 2 所示。

表 2 天线尺寸对比表

Table2 Size of different antennas			
reference	time	dimensions/(mm×mm×mm)	frequency of operation/GHz
[6]	2009	60×60×1.6	1.51–2.65
[7]	2011	60×60×1.6	1.53–1.61
[8]	2009	40×60×0.8	2.22–3.91
[9]	2011	70×70×1.6	1.45–1.72 1.86–2.29
[10]	2011	60×60×1.6	1.65–4.90
this paper	/	60×60×1.6	1.78–2.38

天线的尺寸与天线的工作频带之间有着一定的联系,一般来讲,天线的尺寸越小,天线的中心频率越高,天线带宽越宽。相应的,要实现相对较低的中心频率,天线的尺寸就较大。因而,分析实现同样工作频段的微带天线尺寸较有意义。表 2 中列出了几种不同结构的天线尺寸对比表,从表中可以看出,本论文设计的天线结构尺寸较小,实现的频带宽度也能满足要求。

2 天线仿真实验

对天线的各个参数尺寸进行优化,最终得到天线的各个尺寸如表 1 所示。利用 HFSS 仿真软件对天线进行仿真实验,得到最终天线的回波损耗 S_{11} 如图 7 所示。从图中可以看出,天线的回波损耗小于 -10 dB 的工作频段为 $1.78 \sim 2.38$ GHz,天线绝对带宽为 600 MHz,相对带宽为 29% ,满足超宽带的条件。同时,天线带宽在设计脉冲波形频谱带宽之内,可以与前文所述窄带脉冲发生模块相匹配

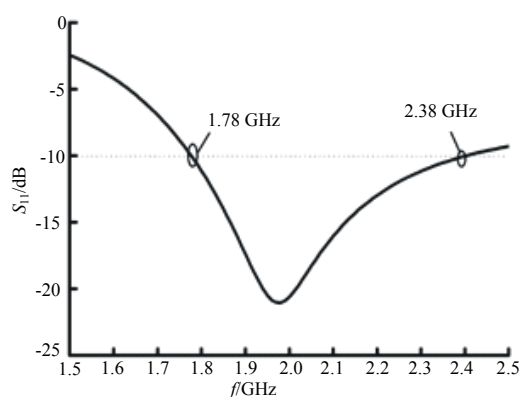


Fig.7 Return loss of the proposed antenna

图 7 天线回波损耗图

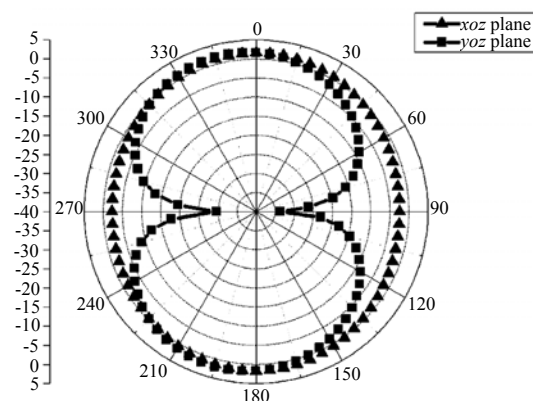


Fig.8 Radiation patterns of the antenna

图 8 天线增益方向图

除了带宽,天线的方向性也是需要重点研究的特性参数。图 8 给出了天线在 2 GHz 的方向图仿真结果。从图中可以看出,天线的 E 面方向图大致呈圆形,表明该天线的全向性良好。需要指出的是,对天线在 1.8 GHz、 2.3 GHz 处进行仿真,发现天线的增益方向图基本保持不变,表明天线在 $1.78 \sim 2.38$ GHz 频段内具有良好的全向性。

3 结论

UWB 雷达以其功耗低、空间容量大、抗多径干扰能力强的独特优势,可以应用在 WSN 中实现全天候工作;同时,在室内等多径密集环境中,UWB 雷达具有强的抗多径干扰能力,可应用于 WSN 节点通信。基于此,UWB 雷达可与 WSN 形成天然的结合。本文介绍了一种 UWB 雷达天线设计,仿真结果表明,该天线工作频段为 $1.78 \sim 2.38$ GHz,可避免与 WLAN 通信频段的干扰。同时该天线结构简单,全向特性较好,尺寸较小,在 WSN 中有着广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] GAUTAM A K,YADAY S,KANAUJIA B K. A CPW-fed compact UWB microstrip antenna[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2013(12):151-154.
- [2] SEFIDI M,ZEHFOROOSH Y,MORADI S. A novel CPW-fed antenna with dual band-notched characteristics for UWB applications[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2015,57(10):2391-2394.
- [3] LOTFI P,SOLTANI S,AZARMANESH M. Triple band-notched UWB CPW and microstrip line fed monopole antenna using Broken $\cap$ -shaped slot[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2011,65(9):734-741.
- [4] SOLTANI S,AZARMANESH M,LOTFI P,et al. Two novel very small monopole antennas having frequency band notch function using DGS for UWB application[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2011,65(1):87-94.
- [5] DU S,CHU Q X. A CPW-fed broadband circularly-polarized square slot antenna with E-shaped slits in ground plane[C]// Microwave Conference, 2009. EuMC 2009. European:IEEE, 2009:225-227.
- [6] GUPTA K C(Kuldip C.). Microstrip Lines and Slot Lines[M]. Norwood,MA,USA:Artech House, 2013.
- [7] SZE J Y,PAN S P. Design of CPW-fed circularly polarized slot antenna with a miniature configuration[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011(10):1465-1468.
- [8] WANG C J,CHEN C H. CPW-fed stair-shaped slot antennas with circular polarization[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2009,57(8):2483-2486.
- [9] CHEN C H,YUNG E K N. Dual-band circularly-polarized CPW-fed slot antenna with a small frequency ratio and wide bandwidths[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011,59(4):1379-1384.

- [10] CHEN Z N, QING X. Symmetric-aperture antenna for broadband circular polarization[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(10):3932–3936.

作者简介:



窦硕鹏(1991–), 男, 山东省临朐县人, 硕士, 主要从事超宽带雷达研究. 1137836006@qq.com.

潘仲明(1959–), 男, 福州市人, 教授, 主要从事传感器与战场环境监测研究.

张卓航(1990–), 男, 山西省长治市人, 博士, 主要从事超宽带雷达研究.

海洋环境下信息感知与融合技术交流大会征文通知

为了深入交流海上目标信息获取与处理技术领域研究成果, 推进海上信息处理技术不断的创新发展, 海军航空工程学院与中国雷达行业协会拟于**2017年11月8日至10日**, 在**山东省烟台市**举办“2017年海洋环境下信息感知与融合技术交流大会”。届时将邀请国内著名院士、专家就相关领域的最新研究成果做大会报告, 热忱欢迎国内相关领域研究人员积极投稿并到会交流指导。会议期间, 将同期举行优秀论文交流、中国电子学会青年人才托举学术沙龙、雷达与信号处理系统专委会专家报告、军民融合交流会等分论坛活动。

主办单位: 海军航空工程学院 中国雷达行业协会

协办单位: 中国电子学会青年科学家俱乐部雷达与信号处理系统专委会 中国电子科技集团海洋信息研究院
海洋科学与技术国家实验室 中科院海洋所 国家海洋局第一研究所
上海威固信息技术有限公司 上海宏皓海洋电子科技有限公司 长春维鸿东光电子器材有限公司

媒体支持: 《海军航空工程学院学报》、《现代雷达》、《中国雷达》、《雷达学报》、《太赫兹科学与电子信息学报》

承办单位: 海军航空工程学院
中国电子学会青年科学家俱乐部雷达与信号处理系统专委会

征稿范围 (但不限于): 1. 海洋信息网络体系技术; 2. 海洋环境观测与特性认知; 3. 海洋目标观测与特性认知; 4. 雷达/光电等海上目标探测与识别; 5. 水下环境感知与目标探测识别; 6. 航空航天海上遥感; 7. 海空多平台海量数据处理与信息融合; 8. 海洋信息获取系统新体制与新平台; 9. 海洋智能信息处理与大数据; 10. 海洋与目标探测试验、评估; 11. 海洋环境下装备抗干扰技术; 12. 海洋信息技术军民融合

征文要求: 论文观点明确, 论据充分, 引证准确, 文字简练, 图表清晰, 语言通顺, 尚未公开发表。论文中涉及保密问题, 由作者自行脱密处理, 并由各单位保密部门出据证明, 扫描后发送至投稿邮箱。稿件截止日期为2017年8月30日, 论文请发送至: cxlcl1209@126.com (请注明“交流论文”), 无论采纳与否, 概不退稿。优秀论文将推荐至《海军航空工程学院学报》等专业领域杂志刊登。

会务事项: 1. 报名方式: 参会人员通过会议网站 www.innovation-union.com、微信、等方式报名, 也可扫码在线报名。

2. 会议费用: 2600元/人, 食宿统一安排, 费用自理。

3. 保密事项: 本次研讨会属非密会议, 请参会代表严格执行国家保密安全规定。

4. 参会人员报到事项、交流具体地址等另行通知。

联系方式: 海军航空工程学院 陈小龙 0535-6635689, 15653501569 邮箱: cxlcl1209@126.com
《海军航空工程学院学报》编辑部 孙校书 0535-6635480, 13053504066
中国雷达行业协会军民结合部 闫瑞华 010-68652457, 13801174492 邮箱: 13801174492@sina.com



海军航空工程学院
二〇一七年五月八日

中国雷达行业协会
二〇一七年五月八日