

一种适用于无线传感器网络的短加载螺旋天线设计

李伟, 闫述

(江苏大学 计算机科学与通信工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 研究一种适用于无线传感器网络的短加载螺旋天线(SLH), 有效提高了传感器节点天线的增益和抗干扰能力。通过有限元法进行数值仿真和设计, 天线可达到较好的效果。天线工作在 2.45 GHz 中心频率, 回波损耗为 -32.86 dB, 带宽为 160 MHz, 最大增益为 11.417 dB, 满足一般节点对天线的要求。测试结果显示, 在不增加发射功率的情况下, 短加载螺旋天线增加了通信距离, 提高了无线传感器网络的覆盖能力和可靠性。

关键词: SLH 天线; 无线传感器网络; 通信距离; 覆盖能力; 可靠性

中图分类号: TN823; TM93

文献标识码: A

Design of a stub loaded helix antenna for wireless sensor networks

LI Wei, YAN Shu

(School of Computer Science and Communication, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: A stub loaded helix (SLH) antenna suitable for wireless sensor networks is presented, which can effectively improve sensor node antenna gain and anti-interference ability. The performance of the antenna can be excellent by numerical simulating and designing using finite element method. The antenna operates at 2.45 GHz with a return loss of -25 dB and a bandwidth of 160 MHz, which can achieve the maximum gain of 11.417 dB and meet the needs of general node for antenna. The measurement results show that the antenna can increase the communication distance and enhance the coverage ability and reliability without increasing the transmission power.

Key words: SLH antenna; wireless sensor networks; communication distance; coverage ability; reliability

作为全球未来高科技产业重要技术支柱的无线传感器网络, 将极大地扩展人们对世界的认知能力, 在国民经济的各方面有着良好的应用前景, 其中典型的一类就是在大面积远程环境监测中的应用^[1-3]。由于监测区域广大, 监测点之间距离较大, 需要节点有较强的通信能力。天线是网络节点的重要组成部分, 天线的性能直接影响无线传感器网络的通信质量。现有的无线传感器网络节点^[4-6]通常使用全向的偶极子和贴片倒 F 天线, 增益一般为 1~2 dB, 标称通信距离 100~200 m。当需要将节点布置在地面上时, 通信距离随地表电导率和空气潮湿程度的增加急剧下降, 通信的稳定性、可靠性受到影响, 节点布置受限。实际上, 无线传感器的网络结构有多种, 多跳等网络结构需要使用全向天线, 但在星形结构、分级结构中, 一般节点到汇聚节点间的传输方向是确定的, 使用定向天线可以将能量更多地集中在所期望的传输方向, 增大节点的有效覆盖距离, 降低信号被

干扰或截获的概率, 改善节点间的相互干扰, 提高系统的安全性和网络的抗干扰能力。本文在轴向模螺旋天线^[7]的基础上设计了一种短加载螺旋天线(SLH)^[8], 在 2.45 GHz 中心频率上, 最高增益达到 11.417 dB, 长为 9.6 cm。在不增加发射功率的情况下, 增加了通信距离, 提高了网络的覆盖能力和可靠性。实验结果表明该天线可以有效改善无线传感器网络节点之间的传输质量。

1 短加载螺旋天线

轴向模螺旋天线是一种定向天线, 最大辐射方向沿着螺旋轴线, 增益高、抗干扰能力强, 但是这种天线的尺寸偏大, 不太适合无线传感器网络的应用。短加载螺旋天线(SLH) 从轴向模螺旋天线演化而来, 采用了独特的几何结构, 相比于轴向模螺旋天线增益更大, 尺寸却大幅度减小。这种小尺寸和高性能的结合使得 SLH 天线非常适用于点对点的连接和点对多点的覆盖应用。

图 1 是短加载螺旋天线(SLH)的结构图,此天线由 8 圈螺旋构成,每圈 4 个短桩结构,每个短桩与相邻的短桩成 90° (图 1(a))。天线采用同轴线馈电(图 1(b)),为使天线与 50Ω 同轴线特性阻抗匹配,用一个 $1/4$ 圆环形薄铜片连接同轴线内芯与螺旋线,同轴线外导体直接与接地板相连(图 1(c)),图中阴影部分代表铜片。图 1(d)是天线螺旋线部分的俯视图。一般情况下,螺旋线绕制在介质支柱上,当介质材料的相对介电常数小于 3 时,对螺旋线输入阻抗的影响可以忽略不计。为适合机械加工采用了相对介电常数为 3.1 的尼龙介质支柱。

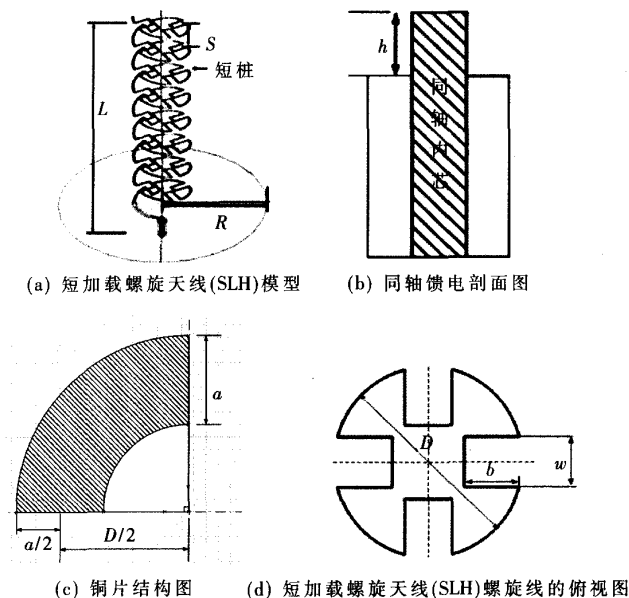


图 1 短加载螺旋天线(SLH)结构图
 L : 天线长度; S : 螺距; R : 接地铜板半径; h : 同轴内芯与外层绝缘部分的高度差; D : 螺旋天线直径; a : 铜片宽度; w : 短桩宽度; b : 短桩深度

2 SLH 天线各部尺寸与性能仿真分析

一般来说,天线的工作频率取决于天线本身的尺寸。由轴向模天线工作原理可知,螺旋直径 D 对短加载螺旋天线的工作频段影响很大。SLH 天线螺旋直径 D 和螺距 S 估算值可由以下公式得到^[8]:

$$D=(C/f)\times 0.66/\pi \quad (1)$$

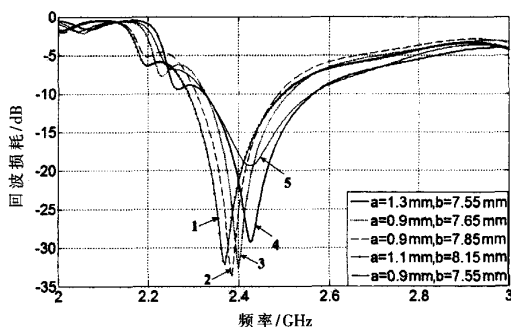
$$S=0.093\times (C/f) \quad (2)$$

其中 C 为真空中的光速($C=3\times 10^8$ m), f 为工作频率。可以算出当工作频率为在 2.45 GHz 时, $D\approx 25.8$ mm, $S\approx 11.625$ mm。在螺旋直径 D 和螺距 S 已经确定的情况下,通过有限元 HFSS 软件对天线进行的仿真分析表明,螺旋天线圈数 N 、螺旋绕线直径 d 、铜片宽度 a 、短桩宽度 b 以及同轴内芯与外层绝缘部分的高度差 h 的变化都会对天线的辐射性能产生影响,短桩宽度 w 对天线的性能没有明显的影响。

2.1 输入阻抗与参数 a 、 b 的关系

参数 a 、 b 直接影响天线的输入阻抗,进而影响天线

的谐振频率。图 2 显示了 a 、 b 对天线的谐振频率点和阻抗匹配的影响。从曲线 1、2、3、5 可以看出,无论 a 的取值是否相同,随着 b 的减小,谐振频率点逐渐向右偏移。从曲线 4、5 可以看出,当 b 的取值相同时,两曲线有着相同的谐振频率,但曲线 4 的谐振点下移,阻抗匹配情况更好。虽然曲线 4 的参数 a 值为 1.3 mm,曲线 5 的参数 a 值为 0.9 mm,但这不能表明 a 取值越大,阻抗匹配越好。事实上 b 的每一个取值都对应一个 a 的最优化值,使得 b 在该取值下的阻抗匹配情况最好。适当选取 D 、 a 、 b 三个变量的大小可使天线谐振在任意频率上,不需要额外的匹配网络,就能和 50Ω 输入阻抗相匹配。



($D=25.8$ mm, $L=96$ mm, $S=11.625$ mm, $h=1.5$ mm, $d=1$ mm, $w=4.5$ mm, $N=8$, $R=68$ mm)

图 2 回波损耗的变化情况

2.2 天线增益与参数 N 、 R 的关系

参数 N 、 R 对天线的增益影响密切。 N 越大,天线长度越大,则天线增益越大。当接地板尺寸较小时,天线后向辐射损耗比较严重;当增大接地板尺寸后,主辐射方向增益明显增大,但当接地板尺寸超过一定数值时,增益不再增大。改变接地板尺寸天线辐射性能变化情况如表 1。在对天线尺寸有更小要求的应用中,可以考虑减少圈数和接地板尺寸,这样可在适当降低增益的条件下进一步减小天线尺寸。

表 1 改变接地板尺寸天线辐射性能变化情况

(其中 $\varphi=90^\circ$, G_M 为天线的最大增益, θ_{3dB} 为波瓣宽度)

R	48 mm	56 mm	64 mm	72 mm	80 mm	88 mm	96 mm
G_M/dB	10.225	11.269	11.417	11.806	12.116	12.018	11.863
$\theta_{3dB}/(^{\circ})$	61	56	53	51	49	51	52

2.3 天线增益与 d 的关系

螺旋绕线直径 d 影响天线的增益,绕线太细不能保证机械强度,易变形,且会增加导体损耗并降低增益,太粗不适合加工和小型化的要求。参数 d 对频点和阻抗匹配情况也会产生轻微影响,但这些影响可以通过改变参数 a 、 b 的值来消除。

2.4 阻抗匹配与 h 的关系

同轴内芯与外层绝缘部分的高度差 h 影响阻抗匹

配。在 a 确定的情况下, h 选取合适的值可以更好地匹配 50Ω 同轴线特性阻抗。实际加工天线时可用刀削去内芯外部的塑料绝缘层,再根据 h 的数值用剪刀减去多余长度的内芯。

3 SLH 天线实物与性能测试

通过仿真优化,得出 8 圈 SLH 天线各部参数如表 2 (其中数据考虑了机械加工精度和加工误差,表中尺寸精确到 0.1 mm)。图 3 是天线的数值仿真和实物测试回波损耗。实测结果的谐振频率点为 2.45 GHz,小于 -10 dB 的带宽为 175 MHz (2.380 GHz~2.555 GHz);模拟结果的谐振频率点为 2.438 GHz,小于 -10 dB 的带宽为 166 MHz (2.367 GHz~2.533 GHz),实测与模拟结果基本吻合。图 4 是 $\Phi=0^\circ$ 时,相同尺寸(指圈数、螺旋直径、螺距和长度都相同)的轴向模螺旋天线和 SLH 天线在中心频点 2.45 GHz 的天线辐射方向图。其中,SLH 天线的波瓣宽度约为 53° ,轴线方向增益最高,达 11.417 dB,轴向模螺旋天线的轴线方向增益为 8.671 dB,可见 SLH 天线较之相同尺寸的轴向模螺旋天线大大提高了增益。图 5 是相同尺寸的轴向模螺旋天线的回波损耗仿真图,中心频率点在 2.92 GHz,由图 4 可以看到,与 SLH 天线相比,同样尺寸的轴向模螺旋天线中心频率变大了。根据尺寸越大,中心频点越小的原理可以证明中心频点在 2.45 GHz 的轴

表 2 8 圈 SLH 天线优化后的天线参数

参数	D	L	S	h	d	w	b	a	R
尺寸/mm	25.8	96	11.6	1.5	1.0	4.5	7.6	1.5	64.0

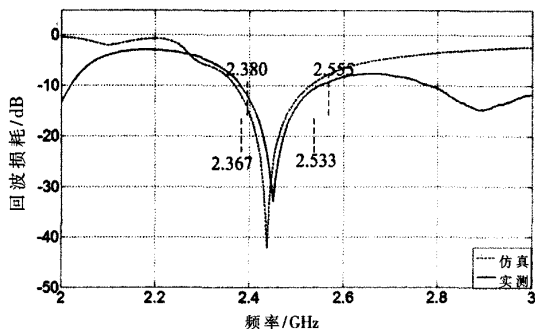


图 3 模拟和实验方法测量的回波损耗对比图

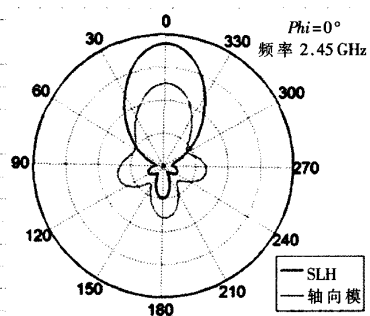


图 4 天线的辐射对比图/dB

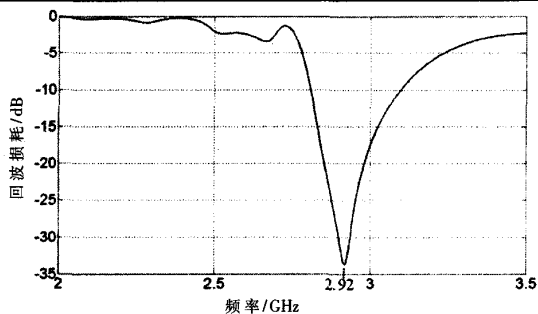


图 5 轴向模螺旋天线回波损耗图

向模螺旋天线尺寸应大于相同中心频点的 SLH 天线。图 6 是按表 2 尺寸所制天线的实物图。

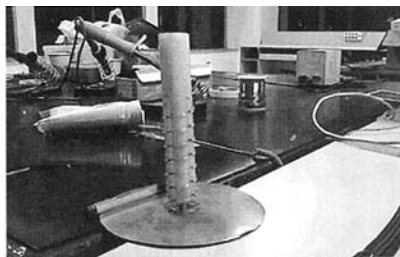


图 6 SLH 天线实物

综上所述,工作在 2.4 GHz 频段的 SLH 天线增益为 11.417 dB,是传统传感器节点天线增益的 3~4 倍,大大增加了节点间的有效传输距离和抗干扰能力。这种天线高约 9.6 cm,略长于无线传感器节点的偶极子天线,但这不影响在无线传感器网络中的应用,通过转接延长线可以直接将 SLH 天线接于一般节点,并可任意调整方向,指向汇聚节点。

设计的短加载螺旋天线(SLH)增加了一般节点到汇聚节点之间的有效传输距离,改善了无线传感器网络在大面积监测应用中的可靠性。为无线传感器网络从实验室走向大规模的实际应用提供了硬件支持。

参考文献

- [1] POLASTRE J, SZEWCZYK R, MAINWARING A, et al. Analysis of wireless sensor network for habitat monitoring[J]. Wireless Sensor Networks, 2004:399-423.
- [2] LIN Chin E, LI Chih Ching, HOU An Sang, et al. A real-time remote control architecture using mobile communication[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2003, 52(4):8-18.
- [3] YU L Y, WAN G N, MENG X Q. Real-time forest fire detection with wireless sensor networks[C]. Proceedings of 2005 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Wuhan: WCNM, 2005: 1214-1217.
- [4] 何广军.美国邦纳无线传感器网络产品技术及其应用

(下接第 110 页)

算机信息, 2008, 24(4-1):122-123.

- [7] 尚秋峰,尹成群,李士林,等.基于 duffing 振子的微弱正弦信号检测方法研究[J].中国电机工程学报,2005,25(2):66-70.
- [8] HUANG Yi Ran, YIN Cheng Qun, LIU Li, et al. A method of 2FSK signal detection using duffing oscillator [C]. ISECS international colloquium on computing, communication, control and management, 2008: 510-513.
- [9] 高清山,张天骐,代少升,等.基于混沌振子的 BPSK 信号解调[J].微计算机信息,2010,26(2-4):207-209.
- [10] 刘曾荣.混沌的微扰判据[M].上海:上海科技教育出版社,1989:36-44.
- [11] 刘丁,任海鹏,李虎明.基于 Lyapunov 指数的弱周期信

号检测[J].仪器仪表学报,2005,26(12):1215-1218.

(收稿日期:2009-09-08)

作者简介:

高清山,男,1983 年生,硕士研究生,主要研究方向:微弱通信信号处理与应用。

张天骐,男,1971 年生,教授,主要研究方向:宽带微弱无线电信号处理、无线通信智能信号处理、通信抗干扰理论与技术。

蒋世文,男,1984 年生,硕士研究生,主要研究方向:微弱信号处理。

黄铄,男,1983 年生,硕士研究生,主要研究方向:信号估计、多传感器数据融合。

(上接第 105 页)

[J]. 国内外机电一体化技术, 2008, 11(5):42-43.

- [5] 美国克雷斯博无线传感器网络产品. <http://www.xbow.com.cn/wsn/product/default.asp>
- [6] 宁波中科院无线传感器网络产品. <http://www.wsn.org.cn/cn/products.php>
- [7] LAU P Y, YUNG E K N. Accordion helical antenna-with tilted directional radiation for RFID[J]. Antennas, Radar, and Wave Propagation, 2006, 25(4):321-325.

[8] 孙忠利. 短桩加载螺旋天线在探地雷达中的特性研究

[D]. 长春:吉林大学,2006.

(收稿日期:2009-09-20)

作者简介:

李伟,男,1984 年生,硕士研究生,主要研究方向:通信与信息系统。

闫述,女,1953 年生,教授,博士生导师,主要研究方向:电磁场与微波技术。

行业聚焦

Focus on Industry

全新软件、合作伙伴计划和产品演示 巩固 CEVA-XC 通信处理器市场领先地位

全球领先的硅产品知识产权 (SIP) 平台解决方案和数字信号处理器 (DSP) 内核授权厂商 CEVA 公司宣布, 已可提供最新的产品和工具, 支持基于其业界领先的 CEVA-XC™ 通信处理器的无线通信设计开发。在 2010 年 3 月 9 日于北京举办的一些主要技术媒体/网站参加的媒体发布会上, CEVA 公司展示了全新的软件产品 CEVA LTE-Lib™, 宣布了合作伙伴计划 CEVA-XCnet™, 并演示了与 mimoOn GmbH 合作开发的 LTE 用户设备 (UE)。

CEVA 公司亚洲区销售副总裁 Gweltaz Toquet 先生表示: “我们坚信中国将成为采纳 LTE 标准的领先市场, 尤其考虑到中国移动投标了 TD-LTE 研发项目。CEVA-XC 通信处理器, 结合辅助的 LTE 软件库及强大的 4G 合作伙伴计划, 将帮助本地设计厂商按照中国非常严格和积极的新标准采纳进程时间表, 提供满足要求的 LTE 产品。”

CEVA LTE-Lib 是针对 CEVA-XC 系列通信处理器而高度优化的完备 LTE 软件库, 该软件库是 CEVA 与领先的 LTE 供应商合作开发。获得 CEVA-XC 授权的厂商能够利用此软件库, 大幅降低其 TD-LTE 和 FDD LTE 软件调制解调器设计的开发成本并缩短上市时间。

CEVA LTE-Lib 是一套 C 可呼叫 (C-callable)、经过优化的功能函数集, 适用于整个 LTE 收发器链路及常用的信号处理和通信内核。该软件库完全兼容 3GPP Rel-8 规范, 是 CEVA 公司 LTE 产品的重要组成部分, 可让获得 CEVA-XC 授权的厂商在其软件开发过程中大幅度领先。这个软件库执行最严苛的 LTE 物理层算法, 得到授权的厂商可最大限度地减低项目风险, 并确保其 LTE 系统达到最佳性能。

CEVA-XCnet 合作伙伴计划是一个广泛的战略性第三方技术供应商网络, 这些厂商整合在一起构成与 CEVA-XC 通信处理器关系紧密的强健的基础架构。

CEVA-XCnet 合作伙伴计划扩展了 CEVA-XC 的高性能和易于编程能力, 并通过独特的社群途径, 满足支持多标准、软件调制解调器解决方案的不同开发需求。

CEVA-XCnet 合作伙伴计划汇聚了多家公司的多种关键和互补性技术, 如用于 3G 和 4G 的无线软件和硬件 IP、DSP 软件设计服务、实时操作系统 (RTOS)、SoC 级原型构建和仿真工具等。CEVA-XCnet 计划的成员能够深入地理解 CEVA-XC 的架构、开发环境和软件库, 并可直接分享 CEVA 的内部研发资源。

CEVA-XCnet 合作伙伴计划首批合作伙伴包括: Aricent®、ArrayComm、Carbon Design Systems、ENEA、IPG Communications 及 Lauterbach、mimoOn、P-Product 和 TurboConcept 等公司。

(CEVA 公司供稿)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>