

文章编号: 1009-671X(2006)09-0051-04

闭域空间泄漏同轴电缆和单极天线辐射场的比较

赵子鑫, 张 昕, 杨晓冬, 李文兴

(哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要:从泄漏同轴电缆和天线的辐射理论出发, 利用射线追踪法, 以屏蔽良好的室内空间为例分析了其中由泄漏同轴电缆和单极天线产生的辐射场。通过比较, 体现出了泄漏同轴电缆的场强在这种特定环境下具有分布均匀的优越性。该理论和结果可以扩展到其他场所, 对于进一步研究闭域空间中的无线通信问题具有较强的参考价值。

关键词:泄漏同轴电缆; 单极天线; 辐射场; 射线追踪法

中图分类号: TN813 **文献标识码:** A

Comparison of the radiated field between leaky coaxial cable and monopole antenna in the blind zone

ZHAO Zi-xin, ZHANG Xin, YANG Xiao-dong, LI Wen-xing

(College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: Beginning with the radiation theory of leaky coaxial cable and antenna and using the ray tracing method, the radiated fields produced by both leaky coaxial cable and monopole antenna were analysed with the well shielded indoor space as example. By comparison, leaky coaxial cable showed advantages in the coverage of the radiated field in such special area-the radiated field with more uniform distribution. The theories and results can be extended to other blind zones and have reference values in further research on solving the problems of communication in the blind zone.

Keywords: leaky coaxial cable; monopole antenna; radiated field; ray-tracing method

随着信息时代的到来, 人们对无线通信的要求也越来越高, 希望能够在任何地方都可以使用无线电信来进行高质量的通信。在封闭空间, 电磁波用传统的天线进行传播时经过多次的反射、散射之后衰减十分严重, 很难达到要求的传播距离和场强覆盖。因此, 在这种特定环境下, 无线通信系统中最重要的技术之一就是有效的辐射和接收射频电磁波, 在有限功率下尽可能使电磁波传播更远、更均匀。为了在屏蔽良好的室内空间进行无线通信, 目前应用较多的是在建筑物的中心安装天线, 但是这种方法有很多缺点, 如场强覆盖不均匀, 辐射功率大, 易造成电磁环境污染等。因此, 文中考虑一种用泄漏同轴电缆

(简称漏缆)实现室内无线通信的方案, 并与传统方式进行了比较, 突出了用漏缆在这种特定环境下进行无线通信所具有的优越性。

1 基本理论和计算方法

1.1 射线追踪法

室内无线通信系统的工作频率一般比较高, 因而波长与建筑物尺寸相比要小得多, 此时电磁波的传播可以用几何光学来近似, 即认为电磁波沿直线传播, 远场区的电磁波可视为局部平面波, 从而可以用射线追踪法来进行研究^[1]。

收稿日期: 2006-04-06.

基金项目: 哈尔滨工程大学引进人才基金资助项目(HEUFT0409).

作者简介: 赵子鑫(1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线电信, E-mail: zh_zixin@sina.com.

分析中采用射线追踪法. 在室内的某处放置一个天线, 则空间中任一点的辐射场除了直射场以外, 还有天棚、地板和 4 个墙壁的反射场. 实际问题中含有多次反射, 但由于经过 2 次或多次反射后的电磁波衰减很大而计算却很复杂, 所以可以只考虑墙面对电磁波的 1 次反射. 根据以上原理, 可以确定本文共需要考虑 7 条电磁波传播路径. 图 1 给出了辐射源 O 点到达接收天线处 P 点的直射场和天棚、地板以及 1 个左侧墙壁的反射场的示意图.

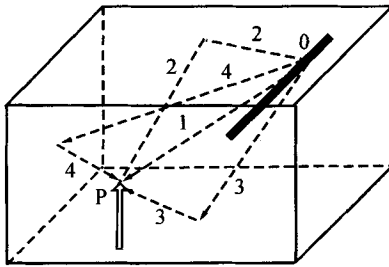


图 1 室内空间中电磁波传播路径

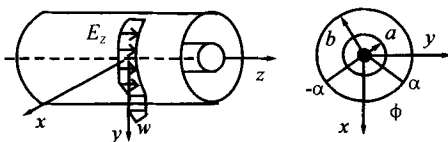
1.2 漏缆辐射场的计算

泄漏同轴电缆也称连续天线, 它是遵循特定的电磁场理论, 沿着同轴电缆的外部导体周期性或非周期性配置开槽口而形成的. 电信号在该电缆中传输的同时, 能把电磁能量的一部分按要求从特殊开槽口以电磁波的形式放射到周围的外部空间, 既具有传输线的性质又具有无线电发射天线的性质. 由于其场强覆盖均匀、适应性强、电磁污染小等优点, 漏缆近年来已经广泛应用于隧道、矿井、铁路等通信领域, 并且已经渗透到了室内无线通信系统中.

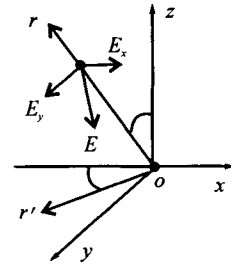
图 2(a) 所示的漏缆外导体上开槽电场分布为^[2]

$$E_z(\phi, z) = (V/w) \cdot [1 - \cos(k_0 b \phi) / \cos(k_0 b \alpha)]$$

式中: $V = (-V_0 \sqrt{\epsilon_r}) / [2k_0 b \ln(b/a)]$, a, b 分别为同轴电缆的内、外导体半径, V_0 为激励电压, k_0 为自由空间的波数, α 为开缝角度, w 为缝隙宽度, 由于 w 很小, 故可以认为 E_z 沿 z 向是不变的.



(a) 漏缆的开缝结构



(b) 开缝的辐射场

图 2 漏缆的开缝结构和辐射场

如图 2(b) 所示, O 点为缝隙位置, 它和自由空间中某点距离为 r , r 在 xoy 面上投影为 r' , ϕ 为 r' 与 x 轴所成的角度, θ 为 r 与电缆轴向 z 所成的角度, 则自由空间中某点的周向辐射场为^[3]

$$E_\phi = (-jk_0 e^{-jkr} \sin\theta / \pi r \epsilon_0) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} j^{n+1} g_n(-k_0 \cos\theta),$$

$$g_n(\omega) = \epsilon_0 n \omega \tilde{E}_z(n, \omega) /$$

$$[b(k_0^2 - \omega^2)^3 / 2] H_n^{(2)'}(b \sqrt{k_0^2 - \omega^2})]$$

式中: $H_n^{(2)'}$ 为 n 阶第 2 类汉克尔函数的导数, $\tilde{E}_z$ 为 E_z 的柱面傅立叶变换, 可表示如下

$$\tilde{E}_z(n, \omega) = \left(\int_0^{2\pi} d\phi \int_{-\infty}^{\infty} dz E_z(\phi, z) e^{-jn\phi} e^{-j\omega z} \right) / 2\pi.$$

由以上各式可得

$$E_\phi = V(\theta, \phi) e^{-jk_0 r} \sin\theta / r$$

$$V(\theta, \phi) = \frac{jV \cos\theta}{\pi^2 b k_0 \sin^3 \theta} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{n e^{jn\phi} j^{n+1}}{H_n^{(2)'}(b k_0 \sin\theta)}.$$

$$\left[\frac{\sin n\alpha}{n} - \frac{m \sin m\alpha \cos n\alpha - n \cos m\alpha \sin n\alpha}{(m^2 - n^2) \cos m\alpha} \right].$$

式中: $m = k_0 b$, 由以上 2 式即可求出自由空间某点的周向极化电场.

下面以图 1 中路径 4 为例, 分析经过反射后某一缝隙的辐射场, 则总的辐射场可由电缆上各缝隙叠加得到. 根据参考文献[4], 可以得到该场强 E_ϕ 的垂直极化分量 E_y 为

$$E_y = V(\theta_i, \phi_i) e^{-jk_0(r_i + r_{il}) - j\beta l P} \sin\theta_i \cos\phi_i \Gamma_n / (r_i + r_{il}).$$

其中 $\beta = k_0 \sqrt{\epsilon_r}$, $\gamma = \arctan(x_0 / \sqrt{z_0^2 + h_0^2})$,

$$r_i = \sqrt{x_0^2 + h_0^2 + z_0^2}, \quad r_{il} = \sqrt{w_0^2 + (h - h_0)^2 + (iP - z_0)^2},$$

$$\phi_i = \arccos(x_0 / \sqrt{x_0^2 + h_0^2}), \quad \theta_i = \arctan(\sqrt{x_0^2 + h_0^2} / z_0),$$

$$\Gamma_n = \frac{\sin\gamma - \sqrt{(\epsilon_1 - j\epsilon'_1) - \cos^2\gamma}}{\sin\gamma + \sqrt{(\epsilon_1 - j\epsilon'_1) - \cos^2\gamma}}.$$

以上各式中 x_0 和 w_0 分别表示 O 点和 P 点到

左侧墙面的水平距离 z_0 表示 O 点到反射点的纵向水平距离, h_0 表示 O 点到反射点的垂直距离, iP 表示第 i 个缝隙在 z 轴上的坐标, Γ_h 为水平极化波的反射系数, $\varepsilon_1 - j\varepsilon'_1$ 为墙面的复介电系数, 而垂直极化波的反射系数为

$$\Gamma_v = \frac{(\varepsilon_1 - j\varepsilon'_1) \sin \gamma - \sqrt{(\varepsilon_1 - j\varepsilon'_1) - \cos^2 \gamma}}{(\varepsilon_1 - j\varepsilon'_1) \sin \gamma + \sqrt{(\varepsilon_1 - j\varepsilon'_1) - \cos^2 \gamma}}$$

总的场强可由各缝隙作用的叠加得到

$$E_{y\Sigma} = \sum_{i=1}^N \mathbf{V}(\theta_i, \phi_i) e^{-jk(r_i + r_{i1}) - j\beta l P} \sin \theta_i \cos \phi_i \Gamma_h / (r_i + r_{i1})$$

对于其他反射路径, 可以用同样的方法分析. 再将电磁波的 7 条传播路径进行叠加, 便可得到室内接收天线处由漏缆产生的总辐射场.

1.3 单极天线辐射场的计算

1/4 波长单极天线广泛应用于移动通信, 它是振子臂(或轴)垂直地面架设的天线, 其原理结构及坐标如图 3 所示. 设地面为理想导体, 地的影响用镜像代替, 且仅在地面上半空间存在电磁场. A 中的单极天线可等效为 B 所示的直立对称振子, 它的辐射场就是等效对称振子在上半空间的辐射场, 可用下式求得^[3]

$$E_y = -j60I_m [\cos(k_0 h \cos \theta) - \cos k_0 h] e^{-jk_0 r} / (r \sin \theta).$$

同样以路径 4 为例, 根据 1.2 部分中的计算方法, 可以得到室内空间中任一点由单极天线产生的场强 E_y 为

$$E_\theta = -j60I_m [\cos(k_0 h \cos \theta) - \cos k_0 h] e^{-jk_0(r+r_1)} \Gamma_h / (r + r_1).$$

同理求出其他反射路径产生的场强 E_y , 并将电磁波的 7 条传播路径进行叠加, 便可得到室内接收天线处由单极天线产生的总辐射场.

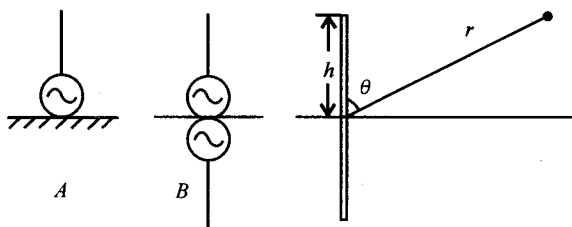


图3 单极天线原理结构及坐标

2 计算与分析

在计算时, 设室内空间为矩形, 其长、宽和高分别

是 20 m、8 m 和 5 m, 墙面为干燥混凝土材料, 复介电常数为 $4 - j0.3^{[5]}$. 漏缆在室内沿纵向悬挂, 距右壁 0.4 m, 距顶部 0.6 m, 其内、外导体半径分别为 9 mm 和 22.8 mm, 开缝角度为 $\pi/4$, 介质层的介电常数为 1.28, 开缝周期为 0.26 m. 单极天线垂直安装在天棚中央, 距顶部 0.6 m, 其长度为 0.08 m. 将工作频率设定在 900 MHz, 并根据成年人站立通话时手持话机的大致位置设定手机距地面 1.5 m, 用计算机程序算出了人进行移动通话时, 由 2 种辐射源产生的辐射场与话机位置之间的关系, 如图 4、5 所示.

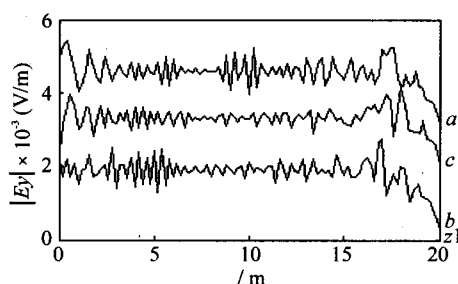


图4 漏缆产生的辐射场与话机位置之间的关系

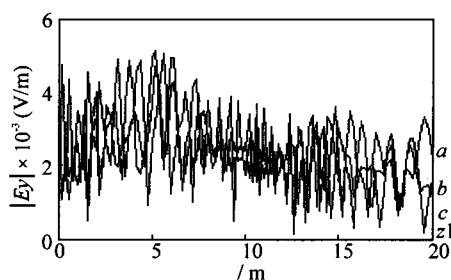


图5 单极天线产生的辐射场与话机位置之间的关系

图 4 中的 a 、 b 、 c 分别表示距室内左侧墙壁 1 m、4 m 和 7 m 的纵向直线上由漏缆产生的场强分布情况, 其场强的平均值、最大值和最小值分别为(单位: 0.001 V/m) 4.561、5.432、3.977; 2.186、2.805、0.790; 3.415、4.072、2.338. 图 5 中的 a 、 b 、 c 分别表示距室内左侧墙壁 1 m、2 m 和 3 m 的纵向直线上由单极天线产生的场强分布情况, 其场强的平均值、最大值和最小值分别为(单位: 0.001 V/m) 7.323、12.982、1.605; 6.076、11.954、0.281; 5.762、12.455、0.672. 从以上数据中可以看到 2 种辐射场有着明显的区别: 由于漏缆的特殊机理, 其辐射场在室内空间波动不大, 比较平稳, 尤其是在沿纵向的中部. 相反的, 电磁波的反射和吸收导致单极天线产生的辐射场波动很大并且衰减严重, 这就对接收机的动态范围提出了很高的要求.

另外,单极天线的工作带宽比较窄且受室内空间结构影响较大.而漏缆并不存在这些问题,它适用于各种构造的室内空间,并且其工作带宽可以根据需要进行扩展.针对移动通信中 80 MHz 至 2 600 MHz 整个频带的漏缆研究目前已经取得了很多成果^[6].更重要的是,漏缆产生的电磁波仅分布在相对有限的区域内,可以减少日益严重的电磁能量污染.因此,漏缆不仅会为进一步实现闭域空间中的无线通信做出积极的贡献,而且必将在未来的通信领域中发挥更重要的作用.

3 结 束 语

从辐射理论出发,结合射线追踪法和场的叠加原理,扼要地分析了屏蔽良好的室内空间中 2 种常用辐射源——漏缆和单极天线的辐射场.结果表明:漏缆的场强分布更加均匀.通过与单极天线的比较,可以明显看出漏缆更适合用来进行室内电磁波的场强覆盖.理论和结果可以根据实际情况扩展到到了闭域空间.

(上接第 50 页)

普通用户可以通过登陆本系统,对数据库进行查询.但是不能对数据库做修改,如果用更高一级的权限登陆还可以对数据库除 record 表以外的表进行修改.

查询还可以有很多种方式,如:某日所有出厂车辆或者入厂车辆,某队某日出厂车辆,某日某一时段出入厂的车辆或者某一车辆最后出厂的时间等.

(查询方法可以以后根据需要进行改进)

同时还可以根据不同的要求打印生成报表.

如果以后本系统和大队的每日调度库相连,在发现非调度任务内的施工车辆擅自违规出入,还可以自动发出警报.

6 结 束 语

目前,基于图像处理技术的特种车辆信息管理系统中的关键技术即基于 RGB 和 HSV 空间图像分

参考文献:

- [1] 季 忠,黎滨洪,王豪行,等.用射线跟踪法对室内电波传播进行预测[J].电波科学学报,1999,14(2):160-165.
- [2] 王均宏,简水生.漏泄同轴电缆耦合损耗的计算[J].铁道学报,1996,18(6):17-22.
- [3] 卢万铮.天线理论与技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [4] ZHANG Xin, YANG Xiaodong, GUO Lili, et al. Research on the radiated field's Distribution of leaky coaxial cable in the blind zone[A]. Proceedings of the 2006 1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics[C]. Harbin, 2006.
- [5] HENRY L. 现代无线通信系统电波传播[M].顾金星,等译.北京:电子工业出版社,2001.
- [6] ZHANG Xin, YANG Xiaodong, GUO Lili, et al. Research of wideband leaky coaxial cable[A]. Proceedings of the International Conference on Communication and Information[C]. Beijing, 2005.

[责任编辑:张晓京]

割算法已分别达到良好的试验结果,较传统的识别方法识别率较高.实验得到的车体边缘轮廓清晰,可以根据此图像进行识别.可以预见此系统一经投入使用必将节省大量的人力工作,提高企业的自动化程度,使企业的信息管理系统更加完善,可广泛应用于企业内部.但对于同型不同车牌车辆,车辆的特征识别还存在困难,可以考虑采用车牌识别,或寻找车体其他特征进行进一步研究.

参考文献:

- [1] 黄文骞.数字地图符号的形状描述与识别[J].测绘学报,1999(3):233-238.
- [2] 贾云得.机器视觉[M].北京:科学出版社,2000.
- [3] 刘世芳,刘叶冰.车辆类型识别技术的研究[J].计算机与数字工程,2005(1):71-72.

[责任编辑:张晓京]

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>