

Analysis of Distance Measurement Based on RSSI

FANG Zhen¹, ZHAO Zhan^{1*}, GUO Peng^{1,2}, ZHANG Yur guo^{1,2}

{ 1. The State Key Laboratory of Transducer Technology, Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;
2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China }

Abstract : Wireless Sensor Networks, a novel technology about acquiring and processing information, have been proposed for a multitude of diverse applications. Range-based localization must measure distances between neighboring nodes. Received signal strength indication (RSSI), featuring low communication overhead and low complexity, is our basis of localization on the energy constrained sensor nodes. We first analyze the theory of distance measurement based on RSSI, and then validate that RSSI behavior is reproducible and suffers moderate but well-defined variations as a consequence of dynamic factors. Therefore, it can be concluded that RSSI is applicable, if we only take some measurements such as weight and mean value to eliminate the dynamic factors. The experiments show that measurement error is 2 meters within 15 meter.

Key words : wireless sensor networks; node localization; distance measurement based on RSSI; environmental factor

EEACC:7230;6150P;7320C

基于 RSSI 测距分析

方震¹, 赵湛^{1*}, 郭鹏^{1,2}, 张玉国^{1,2}

{ 1. 中国科学院 电子学研究所传感技术国家重点实验室, 北京 100080; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039 }

摘要 : 作为一种全新的信息获取和处理方式, 无线传感器网络可以应用在广泛的领域内实现复杂的大规模监测和追踪任务, 而网络自身的定位是大多数应用的基础. 基于距离的定位是通过测量节点间距离来实现的. 利用 RSSI 测距只需较少的通信开销和较低的实现复杂度, 这在能量有限的网络节点中是非常重要的. 论文分析 RSSI 测距的原理, 实验验证 RSSI 测试可重复性, 在适度的动态环境中 RSSI 变化有规律性, 采用加权和均值法消除环境因素对 RSSI 测量的影响. 实验验证在 15 m 以内的测距精度可达到 2 m.

关键词 : 无线传感器网络; 节点定位; RSSI 测距; 环境因素

中图分类号: TP212.9; TN393

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2007)11-2526-05

在无线传感器网络中, 位置信息对传感器网络的监测活动至关重要, 事件发生的位置或获取信息的节点位置是传感器网络节点监测消息中所包含的重要信息^[1-2], 了解传感器节点位置信息还可以提高路由^[3-4]等等. 基于距离的定位必须测量节点间距离, 现常用的测距方式有 GPS^[5]、红外线^[6]、超声波^[7]和 RSSI^[8]等.

1 四种测距法比较

表 1 所示为上述四种测距方法的性能比较,

GPS、红外线和超声测距都需要额外的硬件, 增加了节点的硬件成本和尺寸, GPS 和红外线测距误差较大, 而利用超声方法测距很精确, 测距误差只有 10 cm, 但是受气温湿度等的影响较大. 基于 RSSI 的定位无须额外硬件, 利用对接收无线信号的强度判断, 推导收发节点间的距离, 计算接收无线信号强度是商用无线收发芯片具备的功能. 基于 RSSI 的测距提供了最廉价的定位方法, 而且节点没有添加任何部件, 基于超声的测距虽然定位精度较高, 但是需要添加硬件、增加节点成本和尺寸, 所以基于 RSSI 的

测距是无线传感器网络定位较常采用的方法, 论文以下部分从原理和实验两方面对 RSSI 测距进行深入论证.

表 1 不同测距方法性能比较

测距方法	GPS	红外线	超声	RSSI
额外硬件	需要	需要	需要	不需要
硬件成本	高	低	高	
硬件尺寸	平均	平均	大	
平均误差	±10 m	±5 m	±10 cm	1 - 3 m

2 RSSI 测距原理

无线信号的发射功率和接收功率之间的关系可以用式(1)表示, P_R 是无线信号的接收功率, P_T 是无线信号的发射功率, r 是收发单元之间的距离, n 传播因子, 数值大小取决于无线信号传播的环境.

$$P_R = P_T / r^n \tag{1}$$

在公式(1) 两边取对数可得到式(2),

$$10 \cdot \text{nlgr} = 10\lg P_T / P_R \tag{2}$$

节点的发射功率是已知的, 将发送功率代入式(2) 中可得式(3),

$$10\lg P_R = A - 10 \cdot \text{nlgr} \tag{3}$$

式(3) 的左半部分 $10\lg P_R$ 是接收信号功率转换为 dBm 的表达式, 可以直接写成式(4), 在式(4) 中 A 可以看作信号传输 1 m 远时接收信号的功率.

$$P_R(\text{dBm}) = A - 10 \cdot \text{nlgr} \tag{4}$$

由式(4) 中可以得到常数 A 和 n 的数值决定了接收信号强度和信号传输距离的关系, 分析这两个常数对信号传输距离的影响. 先假定 n 不变, A 变化的话, 则由如图 1 所示的关系曲线图. 从图 1 所示, 信号传播因子 n 为定值, 在不同的初始发射信号功率下 RSSI 与传播距离之间的关系. 可得无线信号在传播过程的近距离信号衰减相当厉害, 远距离时信号呈缓慢线性衰减. 当发射信号功率增加时, 增加的传播距离近似为发射信号功率增加量和曲线在平缓阶段的斜率的比值.

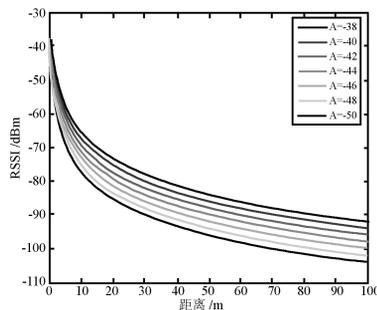


图 1 n 不变, A 变化时 RSSI 与距离曲线图

如果 A 不变时, 不同的 n 时 RSSI 与信号传播距离的关系如图 2 所示. 当 n 取值越小时, 信号在传播过程衰减越小, 信号就可以传播很远的距离, 从图 2 可以看到良好的传播因子 n 特性, 增加发射信号功率都能增加信号传播距离. 传播因子主要取决于无线信号在空气中的衰减、反射、多径效应等干扰, 如果干扰较小的话, 传播因子 n 值越小, 信号传播距离越远, 无线信号的传播曲线越接近于理论曲线, 基于 RSSI 的测距就会越精确.

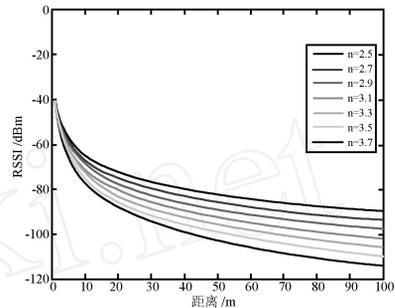


图 2 A 不变, n 变化时 RSSI 与传播曲线图

3 RSSI 与距离关系

实验是在一片空旷的草坪上进行的, 无线通信平台选择 TI 公司的无线收发芯片 CC2420. 在研制的 50 个节点^[9] 中随机选择编号为 9、18、30、40 的节点为无线信号发射节点, 1 号节点接收数据. 发送接收节点使用的是短杆状天线, 节点放置的高度 1.5 m. 现将 1 号节点固定, 移动发射节点, 发射节点功率设置为最大值 0 dBm, 连续发射 100 byte 长度的固定数据, 每隔 7 米记录一次 RSSI 值、LQI 值和相应的传输误码率.

记录的 RSSI 数据经过拟合曲线如图 3 所示. 从图 3 可以看出四个节点的拟合曲线在传输 10 m 后曲线是平行的, 只是曲线之间有一定间距. 从理论曲线分析可知, 上述拟合曲线的常数 A 的取值不同, 依次递增的顺序为 9、30、40、18 号节点, 而传播因子 n 是相同的. 用频谱仪测试了编号为 9、18、30、40 号节点的最大发射功率, 测试结果如表 2 所示.

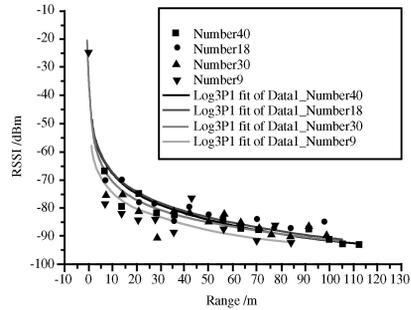


图 3 不同节点的 RSSI 值和无线信号传输距离拟合曲线

表2 不同节点的发射功率测量

节点编号	最大发射功率/ dBm	测试条件
9	-1.3	节点发射非调制载
18	0.56	波信号直接将射频
30	-0.63	信号引入频谱仪
40	0.07	

从表2可知节点发射功率从编号为9、30、40、18依次增加,这是无线传输单元的元件选择和焊接工艺的不一致性导致的.节点之间的硬件差异可以通过标准化工业回流焊接工艺来避免. A值也就是距离发射节点一米外的接收信号强度实际测量也是依上述节点编号依次增加,这与理论分析完全吻合.上述实验证实无线信号接收强度和传播距离之间存在确定对数关系,虽然不同的节点之间存在差异,但是在实际使用时可以购置统一元器件、使用标准化焊接工艺,使节点尤其是无线部分保持高度一致性.

4 环境对 RSSI 测量影响

无线信号在实际应用中,总会受到很多不稳定因素的干扰,在不同的应用环境中受到干扰也不相同.无线网络节点可用于室内也可用于室外,节点应用的环境总是存在可变的因素,这些可变的因素对节点无线信号的传输存在影响.必须要验证这些因素影响到底有多大,是否存在规律,能否通过标定和补偿来消除这些因素对测量的影响.

首先考虑改变节点的放置方向,考察接收数据的无线信号强度变化情况,固定发射节点和接收节点,设置发射节点发射200帧数据,接收节点将记录每帧数据的无线信号强度,然后将发射节点的位置改变180°,重复上述的测量步骤.其次考虑节点周围的物体变动,在实验室内测试时,在发射节点边放了一把椅子.最后要考虑一个人在发射节点边周围走动.后面两种情况也是重复第一种情况下的测试.在上述三种情况下,接收节点记录环境改变的测试数据.将三种情况下的测试数据分别画如图4所示.

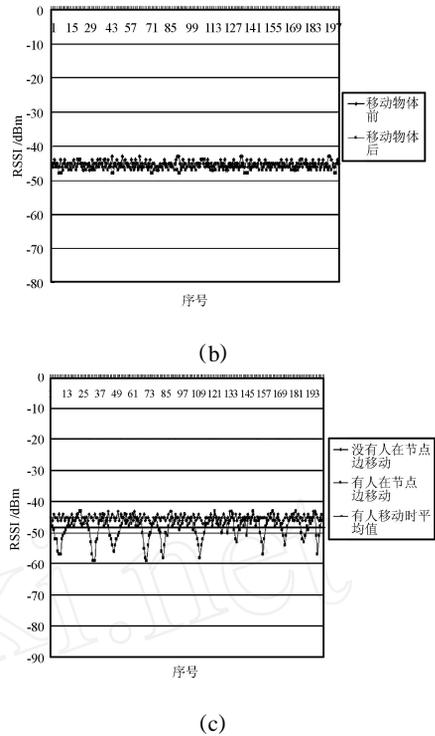
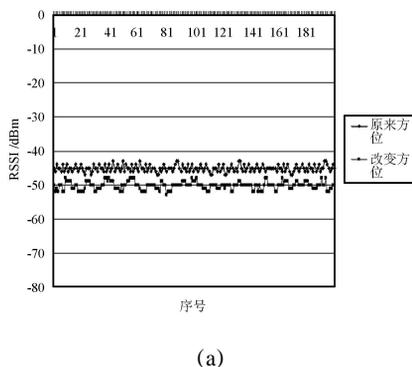


图4 在不同干扰条件下的 RSSI 值变化曲线

图4所示为节点方位改变180°后和改变前的RSSI值变化曲线,图4(a)所示为节点旁边物体变动前后RSSI值变化曲线;图4(b)为节点周围无人移动时RSSI值变化曲线.可看到稍许移动节点边的物体对RSSI测量影响很微弱;改变节点的方位将整体改变RSSI的值,但是RSSI值变动很小;有人在节点边移动时,RSSI值变动较大,但是RSSI整体均值改变较小,这和改变节点方位的影响正相反.

无线节点系统应用在室外的话,野外的气象条件变化对无线信号的传输也会产生影响.在野外主要考虑的气象条件因素是温度和湿度变化,经过实验验证,温度和湿度条件变化对无线信号传输的影响是没有规律的,但影响效果不明显,可以采取均值或前后测量值加权等方法将其影响消除.

从以上理论分析和实验验证结果表明RSSI和无线信号传输距离之间有确定关系,RSSI的测量具有重复性和互换性,在应用环境下,RSSI适度的变化有规律可循.在解决好环境因素影响后,RSSI可以进行室内和室外的测距及其定位.

利用RSSI测距时,要避免RSSI的不稳定性,使RSSI值越精确的体现无线信号的传输距离,通过设计各种滤波器使RSSI的值平滑.最常用也是比较容易实现的两种滤波器形式是平均值和加权滤波器,其中平均值滤波器是最基本的滤波形式,但是它需要收发节点之间进行多次数据传输;加权滤波器

只需要两次 RSSI 测量数据,虽然要求数据少,但是也会保证 RSSI 值的变化平滑。

5 RSSI 测距

利用 RSSI 测距必须知道 A 值和 n 值, A 值为无线收发节点相距 1 m 时接收节点接收无线信号强度值, n 值是无线信号的传播因子,这两个值都是经验值,和具体使用的硬件节点和无线信号传播的环境密切相关,所以测距前必须在应用环境中把两个经验值标定好,标定的准确与否,直接关系到测距定位的精度。

测距实验设置在一片空旷少干扰的草坪上。首先标定 A 值,天线尽量选择全向天线,在实际应用中全向天线是一个理想的情况,为避免天线的非全向性带来的测量误差,使用如图 5 所示的节点安置方法,与前面验证实验不同的是节点是放置在地面的,使用了长杆状天线。

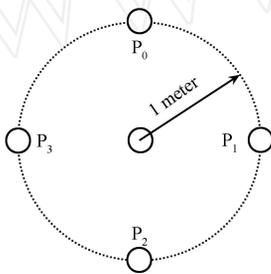


图 5 标定 A 值时节点放置方式

图 5 中, P₀、P₁、P₂、P₃ 为发射节点,而接收节点放置在圆心处。发射节点依次或者通过竞争机制获取信道,发送 50 个数据帧,接收节点将记录信息包对应的 RSSI 值,图 6 是接收节点记录的来自四个方向上发送节点的 RSSI 值对应的曲线。

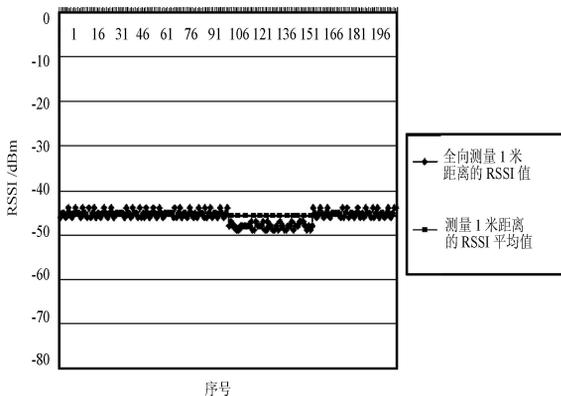


图 6 四个不同方向上节点的 RSSI 值曲线图

图 6 可以看出节点所使用天线并不是理想的全向天线,在其中的一个方向上 RSSI 值偏低,在其他三个方向上 RSSI 值比较一致的,图中直线对应的是四个方向上 RSSI 的平均值,红色直线在纵轴上的截距

为 - 45.8,所以实验标定的 A 值为 - 45.8。

标定无线信号传播因子 n 值时也存在天线全向性问题,为了提高标定精度,实验也采取如图 5 所示的标定方法。传播因子 n 值可以通过 RSSI 与距离的拟合曲线得到,也可以利用论文中提到的理论公式(4)反推得到,实验采用拟合曲线方法得到传播因子 n 值。

采用如图 5 所示的节点布置方法来标定,选择四个无线收发性能相同的节点作为发射节点安置在接收节点四周,每隔 1.4 m(两步)四个发射节点依次发送 50 个数据包给接收节点,接收节点将 200 个数据包转换为相应的 RSSI 值并求平均值,求得的平均值作为无线收发节点在相应距离下的 RSSI 值,从零米一直测量到 45 m,测试数据经拟合后如图 7 所示。其数据拟合曲线如公式(5)所示。

$$RSSI(\text{dBm}) = - 46 - 13 \cdot \ln(r - 0.02) \quad (5)$$

将公式(5)变换可得公式(6)。

$$RSSI(\text{dBm}) = - 46 - 3.0 \cdot n \lg r \quad (6)$$

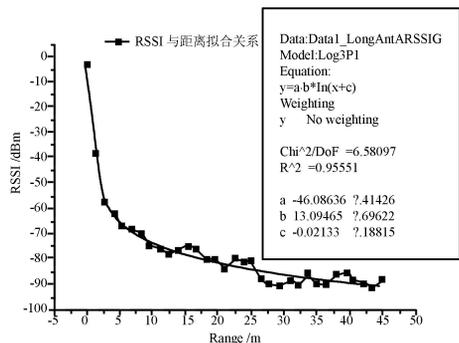


图 7 RSSI 与距离的拟合曲线

图 7 所示的拟合曲线的拟合度为 0.96,表明 RSSI 均值和距离之间存在确定的函数关系,且 RSSI 数值较稳定。从拟合曲线可得 A 值为 - 46 dBm,这与实验标定的 - 45.8 dBm 相差很小,可以认为两者是吻合的,传播因子 n 值为 3。仔细分析 RSSI 值与距离的拟合曲线,可以看到在前 15 m 以内,RSSI 值随距离增加变化较明显。而 15 m 以后,RSSI 值随距离变化不明显,如果测量距离超过 15 m 的话,则测距的精度得不到保证。所以在此测试环境下,利用 RSSI 的测距范围尽可能限定在 15 m 以内,这样测距精度较高。

这是本测试环境对应的参数,如果环境改变的话,A 值和传播因子 n 值都需要重新标定,精确才可测距。利用标定好的 RSSI 和传输距离的关系,进行了测距实验,分别利用 RSSI 单次测量、加权测量、平均值测量三种模式测距,选取无线信号性能相似

的节点做测距实验,每隔 5 m 测量一次,一直测量到 30 m.图 8 所示为三种模式测距误差分布图.

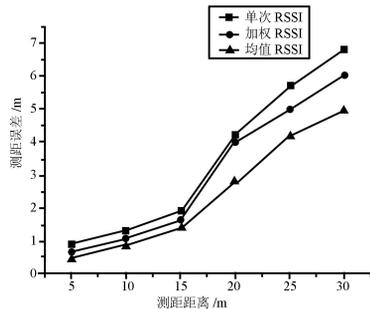


图 8 三种测距模式在不同测距距离下的误差分布图

从图 8 中,可以得到单次 RSSI 测距误差最大,测量距离在 15 m 以内的最大的测距误差为 1.9 m,约为测量距离的 12.7%;而平均值 RSSI 测距在 15 m 以内的误差最小,最大的测距误差为 1.4 m,约为测量距离的 9%.测量距离在 15 m 和 30 m 之间,单次 RSSI 测距误差最大为 6.8 m,约为测量距离的 22.7%;平均值 RSSI 测距误差最小,最大的测距误差为 1.8 m,约为测量距离的 16.7%.加权 RSSI 测距精度介于单次 RSSI 测距和平均值 RSSI 测距之间.测距范围在 15 m 以内,三种模式的测量误差最大百分比为 12.7%,测距范围在 30 m 以内,三种模式的测量误差最大百分比为 22.7%.可见在 15 m 以内的测距精度还是可以的,当测量距离增加时,测距误差明显增加.

从测试结果分析看,平均值 RSSI 测距误差小,但是测距过程消耗能量多,对测距精度要求高时,可以选择平均值 RSSI 测距.单次 RSSI 测距误差较大,测距过程消耗能量少,对测距精度要求不高时,可以选择单次 RSSI 测距.而加权 RSSI 测距误差介于上述两者之间,能量消耗也较少,适用与大多数无线传感器网络定位的测距要求.

6 结论

本文对 RSSI 测距从原理和实验上进行了全面

分析和论证,证实消除环境影响的因素,RSSI 测距在 15 m 的近距离测距精度在 2 m 以内,可以满足大多数无线传感器网络节点定位的需求,但是远距离的测距误差较大.

参考文献:

- [1] Rabacy JJ, Ammer MJ, da Silva Jr. JL, Patel D, Roundy S. Picoradio Supports Ad Hoc Ultra-Low Power Wireless Networking [J]. Computer, 2000, 33(7):42-48.
- [2] Savarese C, Rabaey JM, Beutel J. Locating in Distributed Ad-Hoc Wireless Sensor Network [C]// Proc. of the 2001 IEEE Int'l Conf. on Acoustics, Speech, and Signal, Salt Lake: IEEE Signal Processing Society, 2001, 4:2037-2040.
- [3] Capkun S, Hamdi M, Hubaux J-P. GPS-Free Positioning in Mobile Ad-Hoc Networks [J]. Cluster Computing, 2002, 5(2):157-167.
- [4] Doherty L, Pister KSJ, Ghaoui LE. Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks [C]// Proc. of the IEEE INFOCOM 2001, Anchorage: IEEE Computer and Communications Societies, 2001, 3:1655-1663.
- [5] Azuma R. Tracking Requirements for Augmented Reality [J]. Communication of the ACM, 1993, 36(7):50-51.
- [6] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices [J]. IEEE Personal Communications Magazine, 2000, 7(5):28-34.
- [7] Grod L, Estrin D. Robust Range Estimation Using Acoustic and Multimodal Sensing [C]// Proc. of the IEEE/RSJ Int'l Conf on Intelligent Robots and Systems. Maui: IEEE Robotics and Automation Society, 2001, 3:1312-1320.
- [8] Grod L, Bychovskiy V, Elson J, Estrin D. Locating Tiny Sensors in Time and Space: A Case Study [C]// Werner B, ed. Proc. of the 2002 IEEE Int'l Conf. on Computer Design: VLSI in Computers and Processors. Freiburg: IEEE Computer Society, 2002. 214-219.
- [9] Guo Peng, Zhao Zhan, Fang Zhen and Zhang Yurguo. A Design of LDM-WSNs Node and Its Software Platform [J]. Microcomputer Information, 2006, 22(11-2):49-51.
- [9] 郭鹏,赵湛,方震,张玉国.分层复用 WSNs 节点及其软件平台设计 [J]. 微计算机与信息, 2006, 22(11-2):49-51.



方震(1976-),男,2007于中国科学院电子所物理电子学专业获博士学位,现就职于中国科学院电子所.主要研究方向无线传感器网络、集成传感器系统等, fzhen.zh@gmail.com



赵湛(1958-),男,中国科学院电子所研究员,博士,博士生导师,中国电子学会高级会员.发表论文六十余篇,近年申请了发明专利 10 多项.目前主要从事集成传感器、无线传感器网络等领域的研究, zhaozhan@mail.ie.ac.cn

射频和天线设计培训课程推荐

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,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 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。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



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,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

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



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并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
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,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>