

植株对 2.4GHz 无线信号传播的衰减研究

张水保 徐守志 徐波

(三峡大学计算机与信息学院 宜昌 443002)

摘要 无线传感器网络在大棚生产中的应用越来越广泛,因此对网络通信质量和可靠性提出更高的要求。在温室环境中,无线信号会因为植物的密集度、高度、距离而出现一定程度的衰减,影响网络性能。应用 CC2430 芯片测量不同条件下接收功率数据,研究植物障碍物与信号源之间的距离同 2.4GHz 信号衰减之间的关系,实验结果为节点有效部署和网络拓扑结构优化提供有力依据。

关键词 无线传感器网络,信号衰减,网络拓扑

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on the Attenuation Characteristics of the 2.4GHz Wireless Signal Affected by Plant

ZHANG Shui-bao XU Shou-zhi XU Bo

(College of Computer and Information Technology, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract Wireless sensor network is applied to greenhouse agriculture more and more widely, and needs higher requirements on the quality and reliability of network communication. In greenhouse, the wireless signal decays with density, height and distance of middle plants, so it causes to recede the network performance. By measuring the power of receiving signal with CC2430 chip under different conditions, the relationship of attenuation of 2.4GHz signal and distance between the plant obstacles and the signal source were studied. The results can provide designing basement for efficient distribution of wireless nodes and optimization of network topology.

Keywords Wireless sensor network, Signal attenuation, Network topology

我国是一个农业大国,加快农业经济的发展、提高农业劳动生产力和增加农业劳动的科技含量是我国重要的发展战略。温室生产作为高投入、高产出、高效益的集约化生产方式,能够通过改变环境参数来获得作物生长的最佳条件,从而达到提高作物产量、改善作物品质以及提高经济效益的目的^[1]。无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)以其低功率、低成本等优点,在温室管理中得到了广泛的应用。然而在大规模的温室中,保证温室网络的高可靠性具有一定的难度^[2],温室作物在不同的生长周期,其形状和大小都会发生很大的变化,会造成部分节点之间的信号减弱甚至中断,进而影响网络的通信质量。

近年来,对无线信号衰减的研究主要集中在水下传感器网络、地下传感器网络等领域^[3-5]。在农业相关应用中,关于信号衰减特性的研究才刚刚起步,主要有以下研究成果。文献[6]研究了冬季小麦田中天线高度对 2.4GHz 无线信号传播特性的影响,测试了小麦不同生育期内无线信号的功率衰减情况和丢包率,进而得出信号的传输半径和路径损耗,并提出无线信号路径指数与天线高度呈现对数衰减的趋势。在实际应用中,除了天线之外,诸如植物的形态、植物之间的间隙等都会导致信号的衰减。文献[7,8]研究了无线传感器网络在森林环境及其火灾监测中的应用,采用星状-簇首-路由的拓扑结构,以这种分级的拓扑结构综合了星状和网状拓扑的

优点,提高了网络的可靠性和灵活性。目前,针对温室网络的研究侧重于传感器设计和温室的智能管理^[9,10],而对温室中无线信号的衰减特性以及温室网络的可靠性和健壮性的研究很少。为此,本文通过温室作物对无线信号衰减的影响研究,根据温室作物的生长周期,动态地调整网络节点的部署位置,优化网络结构。

1 信号传播衰减相关理论及应用问题提出

在没有障碍物的情况下,无线电波可视作直射波。由于地面上空的大气层是各向同性的均匀媒质,因此这种直射波可视为自由空间传播。电波在自由空间里传播不受阻碍,也就不会产生反射、折射、绕射、散射和吸收。但经过一段距离之后,能量会由于扩散而衰减,其衰减模型^[11]见式(1)。

$$L_{loss} = 10 \lg \left(\frac{(4\pi d)^2 f^2}{G_M G_R C^2} \right) \quad (1)$$

式中, L_{loss} 为信号衰减的相对量(单位:dB), G_M 和 G_R 分别为节点的发送和接收增益(没有增益时,取1), d 为节点之间的距离(单位:km), C 为光速(单位:m/s), f 为信号频率(单位:MHz)。

式(1)是无线电波在理想空气中传播的衰减模型。对于 2.4GHz 的无线信号而言,信号衰减量 L_{loss} 同节点之间的距离 d 的平方成正比。无线传感器网络由于其低功率的特点,在大规模的网络中,网络的可靠性和健壮性很难得到持续的保

本文受国家自然科学基金(61174177),宜昌市科技研发项目(A2011-302-13)资助。

张水保 男,硕士生;徐守志(1969-),男,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为自组网理论、WSN 技术。

证。在温室大棚中,收发节点之间的信号通过茂密的作物冠层,穿过作物传播会引起无线信号的反射、散射和吸收,导致接收端接收到的射频信号强度和链路质量有很大的衰减和差异性。即使当前部署的网络通信质量很好,随着季节的变换,作物的形状、大小等也都将发生很大的变化,这有可能导致网络部分节点的瘫痪,严重影响着网络的整体性能。本文针对这一问题,通过大量的实验,研究了温室大棚内常见植株对无线信号衰减特性的影响,以及发送节点同植株之间的距离和链路质量之间的关系。

2 研究 2.4GHz 无线信号衰减特性实验

2.1 硬件、软件平台说明

本实验采用系统集成的片上系统 CMOS 解决方案,使用 CC2430 芯片,满足以 ZigBee 为基础的 2.4GHz 频段的应用。CC2430 有 8kB 的 RAM 和强大的外围模块。软件部分采用的是 ZigBee 精简协议栈,该协议定义链路质量指示值 LQI (Link Quality Indicator) 来衡量逻辑链路上的信号强弱。

LQI 值可以从 CC2430 芯片寄存器 LQI_VAL 中读取,它可以反映出节点之间的逻辑链路上信号的强弱情况。在发送端可以设置 LQI 的值,通过网络命令 RAS 可以得到接收端的 LQI 值,它们之间的差值反映出节点之间逻辑链路上信号能量的损耗情况。

实验使用一个用于发送无线信号的协调器节点和一个接收无线信号终端节点。

2.2 无线信号传播衰减特性实验

本文主要针对温室内常见的植物对 2.4GHz 无线信号的衰减特性进行研究。节点天线与植物的相对高度对信号的衰减有着重要的影响。本文设计两组实验,实验 1 是在空旷的草坪上进行的,节点天线相对于草坪高出 1m,进行实验数据测量和曲线模拟,最后与自由空间信号衰减模型曲线进行对比,以验证实验环境的科学性。实验 2 是在草坪上放置植株障碍物,天线高度相对于植株障碍物高出其一半长度,研究该植株障碍物对 2.4GHz 无线信号的衰减影响。两组实验天线高度均为 1.2m,实验 2 中植株障碍物厚度 1m,高度 1.4m,植株底盘 0.5m。

实验 1 是在空旷的草坪上部署协调器节点和终端节点。步骤如下:

- (1) 固定协调器节点;
- (2) 每间隔 5m,放置终端节点并测量一次 LQI 值;
- (3) 实验重复 5 次,实验结果取平均值。计算公式见式(2)。

$$LQI(d) = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 LQI(i, d) \quad (2)$$

式中, $LQI(d)$ 表示节点距离为 d 时的 LQI 平均值, $LQI(i, d)$ 表示第 i 次实验节点距离为 d 时的 LQI 值。

实验 2 是在有植株障碍物阻挡的条件下实地测试的。该实验分为 5 组,在障碍物的左侧固定协调器节点,分别距离障碍物 0m、10m、20m、25m 和 30m;在障碍物的右侧每间隔 5m 放置终端节点,并测量 LQI 值。

3 实验结果及数据分析

3.1 实验结果

式(1)反映的是信号在自由空间中的信号衰减模型。在

该实验中,通过测量不同情况下终端节点接收到的 LQI 值,来分析该路径上的无线信号的衰减情况。在 ZigBee 协议中,规定 LQI 表示逻辑链路上信号的一种强弱程度,无单位。源节点中的 LQI 值为 255。发送端的 LQI 值与接收端接收的 LQI 值的差值即为中间路径中损耗的 LQI 值,采用 Matlab 软件对数据进行处理。图 1 表示的是第一个实验中 LQI 损耗曲线和理论模型信号衰减曲线。

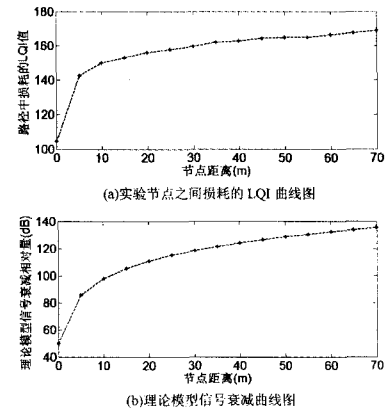


图 1 空旷条件信号衰减特性对比图

从图 1 可以看出,实际测得的 LQI 损耗曲线图和理论模型信号衰减曲线图的走势基本相同,这也反映出实验环境的科学性和数据的准确性。

实验 2 是在有植株障碍物的情况下,测量终端节点(信号接收节点)接收的 LQI 值,分析布置在两节点之间的植株障碍物对信号的衰减产生的影响。实验结果如图 2 所示。其中 C 表示传感器节点;O 表示植株障碍物;0(C-O)m 表示将协调器节点固定在植株障碍物左侧 0m 处,在障碍物的右侧每间隔 5m 布置一个终端节点测得的数据曲线图。其它曲线图类推。

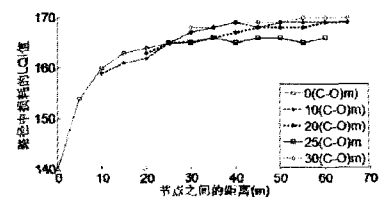


图 2 不同 C-O 距离的信号衰减对比图

从图 2 整体可以看出,在有植株障碍物的情况下,信号在相对空旷区域传播出现明显的衰减。无线信号经协调器节点发送出去,穿过 1m 厚度的植物后,损失的 LQI 值达到 140 以上。25(C-O)m 曲线在最下方,也就是说当发送节点与植株障碍物距离 25m 时,信号衰减是最弱的。关于其是否为一个拐点,在今后的研究学习中,会继续加以验证和研究。

3.2 数据结果分析

本文从两个角度对测得的 LQI 数据进行比较分析,其一是通过对两组实验的横向比较,分析在有无线植株障碍物的情况下,节点之间的不同距离对无线传播信号的衰减影响;其二是对第二组实验中的各组曲线进行一个比较分析,找出植株障碍物与协调器节点之间的距离同信号衰减之间的影响关系。

选取协调器节点与植株障碍物的距离为 10m,比较这种情况下的 LQI 损耗和空旷条件下的 LQI 损耗,如表 1 所列。

表1 节点间不同距离下的 LQI 损耗百分比

A \ B	B				
	15	20	30	40	50
有障碍物	41.25	41.88	45.00	46.25	46.56
没有障碍物	39.00	39.38	40.38	41.75	42.13

注:A:两节点间距离(m);B:有无障碍物

从表1中可以看出,在两节点距离相等的情况下,中间有障碍物时信号损耗的程度较大,而且随着距离的增加,信号的损耗增长幅度也会变大。在节点间距离为50m时,有障碍物的情形下LQI损耗要比没有障碍物的情况下LQI损耗多10.53%;而在节点间距离为15m时,这个损耗为5%。

在实验二中,对不同情况下的LQI损耗百分比进行统计,如表2所列。从表2可以看出,协调器节点与植株障碍物之间的不同距离也会对信号的衰减产生不同程度的影响。

表2 C-O间不同距离条件下LQI的损耗百分比

E \ F	F							
	15	20	25	30	35	40	45	50
0	42.50	43.13	43.75	45.00	45.63	46.25	-	-
10	41.25	42.88	43.75	45.00	45.63	46.25	45.63	46.25
20		42.50	43.75	43.75	44.38	44.38	43.75	44.38
25			43.75	43.75	44.38	43.75	44.38	44.38
30				45.63	45.63	46.25	46.25	46.88

注:E:两节点间距离(m);F:协调器与植株障碍物的间距(m)

协调器与障碍物的间距为0m,节点间距离大于45m时,终端节点基本上接收不到信号,无法读取终端节点的LQI值,而且在节点间距离小于20m时,传播过程中损耗要比其它情况下损耗的LQI值要高,损耗了近43.13%。当节点间的距离在25~40m的范围内、节点间距离相等的情况下,障碍物放置在节点之间的位置对信号的衰减影响大致相同,只是在协调器与障碍物的间距为25m时例外。在协调器节点与障碍物的距离为25m时,增大或缩小节点间的距离,其它条件相同的情形下,传播过程中LQI损耗是最低的,与其它情况相比降低了3%到5%。

另外,在表2的左边,当节点间距离小于25m时,从纵向看,数据呈递减的趋势,也就是说,在25m以内,节点之间的障碍物距离协调器节点越近,信号传播过程中LQI损耗就越

大,信号能量衰减也就越严重。

结束语 温室的智能化是我国温室发展的重要目标,其核心技术就是温室网络平台的搭建。本文在空旷条件和有植株障碍物情况下分别进行了两组实验,研究了无线信号在传播过程中LQI的损耗情况,进而研究了节点之间的距离、信号源节点与植株障碍物之间的距离等因素对无线信号衰减产生的影响,为温室中网络节点的部署及网络优化提供了良好的实验基础和理论基础。下一步将在已有的成果之上,综合各种导致无线信号衰减的因子,建立信号衰减数学模型,这对温室网络的动态调整以及性能的优化有着重要的参考意义。

参考文献

- [1] 郭清华. 蔬菜大棚智能温度控制系统应用研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(11): 4487-4488
- [2] 邱丽娟, 姜宇, 胡成全. 无线传感器网络可靠性研究进展[J]. 传感器与微系统, 2011, 30(10): 1-3
- [3] Akyildiz I F, Stuntebeck E P. Wireless underground sensor networks; Research Challenges[J]. Ad hoc Networks, 2006, 4(6): 669-686
- [4] 倪巍, 王宗欣. 基于接收信号强度预测量的室内定位算法[J]. 复旦学报, 2004, 43(1): 73-76
- [5] 李瑶怡, 赫晓星, 刘守印. 基于路径损耗模型参数实时估计的无线定位方法[J]. 传感技术学报, 2010, 23(9): 1328-1333
- [6] 李德钰, 高红菊, 姜建利. 小麦中天线高度对2.4GHz无线信道传播特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 184-189
- [7] 狄飞, 张莉君. 基于ZigBee无线传感器网络的森林环境检测系统[J]. 福建农林大学学报, 2011, 40(4): 435-438
- [8] 陆志平, 秦会斌, 王春芳. 无线传感器网络在森林火灾检测中的应用[J]. 杭州电子科技大学学报, 2006, 26(5): 48-51
- [9] 韩敏, 李书琴, 张静, 等. 智能温室远程监控系统的研究与实现[J]. 单片机开发与应用, 2007, 23(10): 67-69
- [10] 刘美琪, 马斌强, 季宝杰, 等. 多信息融合的智能温室控制系统研究[J]. 河南农业大学学报, 2009, 43(2): 182-185
- [11] 张瑜, 吴少华. 移动通信中微小区电波传播损耗的预测模型[J]. 河南师范大学学报, 2008, 36(4): 64-66

(上接第153页)

扩大后,则需加大发送功率,因此需进一步考虑多跳传输下的接入模型;另外例如节点状态转换带来的能耗和时延、节点间同步、网络更新周期等都是需要进一步研究和讨论的问题,也是作者今后努力研究的方向。

参考文献

- [1] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282-1291
- [2] Incel O D, et al. MC-LMAC: A multi-channel MAC protocol for wireless sensor networks [J]. Ad Hoc Network, 2010, 9(1): 73
- [3] Liu Bao-hua, Bulusu N, Pham H, et al. CSMAC: A Novel DS-CDMA Based MAC Protocol for Wireless Sensor Networks[C]// IEEE GLOBECOM Wireless Ad hoc and Sensor Networks. Dallas Texas, 2004: 33-38
- [4] Hsu T-H, Wu J-S. An application-specific duty cycle adjustment MAC protocol for energy conserving over wireless sensor networks [J]. Computer Communications, 2008, 31: 4081-4088

- [5] Nieberg T, Dulman S, Havinga P, et al. Collaborative Algorithms for Communication in Wireless Sensor Networks[M]. Ambient Intelligence: Impact on Embedded Systems, Kluwer Academic Publishers, November 2003: 271-294
- [6] van Hoesel L F W, Havinga P J M. A Lightweight Medium Access Protocol(LMAC) for Wireless Sensor Networks; Reducing reamble Transmissions and Transceiver State Switches[C]// First International Conference on Networked Sensing Systems. Tokyo, October 2004
- [7] Bisnik N, Abouzeid A A. Queuing network models for delay analysis of multihop wireless ad hoc network [J]. Ad Hoc Networks, 2009(7): 79-97
- [8] 赵东风, 郑苏民. 周期查询式门限服务排队系统中信息分组的延迟分析[J]. 通信学报, 1994, 15(2): 18-23
- [9] RFM. TR1001 868. 35 MHz hybrid transceiver[S]
- [10] 何敏, 刘心松, 赵东风, 等. 分布式并行无线令牌环接入控制协议[J]. 电子科技大学学报, 2005, 34(7): 813-816