

温室无线传感器网络节点发射功率自适应控制算法

徐立鸿, 早明华, 蔚瑞华, 林维威

(同济大学电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要: 为了提高无线数据传输的可靠性, 基于无线传感器网络 (wireless sensor network, WSN) 的温室环境数据采集系统, 采用试验的方法研究温室中不同环境下 WSN 节点之间通信的可靠性。在通信距离为 5~40 m, 存在作物、温室设施等遮挡影响, 相对湿度为 35%~80% 的情况下, 对丢包率和接收信号强度指示 (received signal strength indication, RSSI) 的关系进行研究, 通过 RSSI 对节点间通信可靠性进行评价。在此基础上, 提出 WSN 节点发射功率自适应控制算法。该算法以 RSSI 作为通信质量的评价因子, 通过增大节点的发射功率来提高通信可靠性。测试结果表明, 该算法能够根据当前通信状况, 自适应地设置节点的发射功率, 以尽可能小的发射功率将丢包率维持在 1% 左右。该算法对 WSN 在温室中的应用具有实用价值。

关键词: 温室; 无线传感器网络; 数据采集; 可靠性; 发射功率

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.08.017

中图分类号: S126; S625.5⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-08-0142-07

徐立鸿, 早明华, 蔚瑞华, 等. 温室无线传感器网络节点发射功率自适应控制算法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(8): 142-148.

Xu Lihong, Zao Minghua, Wei Ruihua, et al. Adaptive control algorithms of transmitting power for greenhouse WSN nodes[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(8): 142-148. (in Chinese with English abstract)

0 引言

信息采集是温室环境监控的基础环节。随着现代通信技术的发展, 无线传感器网络 (wireless sensor network, WSN) 因其自组织、低成本、高灵活性等特点, 逐渐被应用到温室中^[1-3]。相对于较早的基于有线的信息采集方式, WSN 无需架设基础设施, 部署灵活方便, 易于维护。然而, 由于温室的特殊性, WSN 的节点在进行无线通信时, 不可避免地受到通信距离的限制以及遮挡和环境的影响^[4]。由于电磁波在实际传播过程中因吸收、反射、折射和干扰等因素造成了信号衰减^[5-6], 节点在接收数据时常常发生丢包现象, 严重时甚至导致节点脱离网络^[7]。因此, 可靠性研究对于 WSN 在温室中的应用和推广具有重要意义^[8]。

目前, 国内外已有很多关于 WSN 可靠性的研究, 其中从路由协议的角度提升可靠性较具代表性, 张莉等^[9]从多径路由的角度, 提出了一种针对拥塞控制的路由协议以提升数据传输可靠性; 周祖德等^[10]

设计了异常节点侦测机制, 通过友节点的协作来完成数据传输任务。其次丢包重传机制也是一种提高可靠性的有效方法, Deb 等^[11-12]提出了一种将信息按重要程度排序, 并通过单径重传、多径冗余重传提高可靠性的重传机制; 万亚东等^[13]提出了一种邀请重传机制, 通过广播为传输失败的节点分配重传资源, 提高了重传成功率。此外, 也有学者通过控制数据传输速率来提高可靠性, Paek 等^[14]通过控制传输速率避免信道拥塞, 提高传输可靠性。韩安太等^[15]通过控制节点采样周期来减小丢包和网络拥塞, 实际上仍然是从传输速率角度提升网络可靠性。

大部分针对提高 WSN 可靠性的研究在仿真上可以获得很好的效果, 然而仿真结果的可信度与采用的链路可靠性模型密切相关, 不同的模型可能会导致不同的仿真结果^[16], 并且由于实际情况的复杂性和试验条件的局限性, 通常不能得到实际验证。王沁等^[17]从试验的角度, 采用丢包率描述链路的可靠性, 提出了一种用于工业环境链路可靠性的统计模型。Reijers 等^[18]通过接收信号强度指示 (received signal strength indication, RSSI) 对链路质量进行评价, 具有较好的灵敏度。孙佩刚等^[19]通过 RSSI 对链路通信质量进行评价, 通过大量试验得出结论: 对于周围动态变化的收发环境, RSSI 能够很好地用于链路通信质量测量。王沁等^[17], Reijers 等^[18], 孙佩刚等^[19]从无线传输试验入手, 通过对相关参数的

收稿日期: 2013-08-22 修订日期: 2014-03-27

基金项目: 国家 863 高技术重大课题 (2012AA10A507); 国家自然科学基金项目 (61174090); 中央高校基本科研业务费专项资金 (2870-219-013)

作者简介: 徐立鸿 (1960—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能自动化理论与工程。上海 同济大学电子与信息工程学院, 201804, Email: xulhk@163.com

统计分析,建立了无线传感器网络的可靠性评价模型,具有一定的实际意义。但是,统计丢包率的方法对通信质量的变化反应不够及时,RSSI 灵敏度高但精度不够。

针对上述问题,本文以试验为切入点,在通信距离变化、遮挡影响、环境影响的情况下,对丢包率和 RSSI 的关系进行研究,通过 RSSI 对节点间通信可靠性进行评价。在此基础上提出了基于 RSSI 和丢包率的节点发射功率自适应算法,并在温室中对该算法进行了实际测试。

1 可靠性评价指标及影响因素

1.1 可靠性的评价指标

无线传感器网络节点之间的通信可靠性可以由丢包率来衡量^[20]。在温室中,终端节点上搭载的传感器先对环境数据进行采集,再通过无线通信上传到路由节点或者汇聚节点^[21]。因此,本文中丢包率是指终端节点向路由节点或汇聚节点上传数据时的丢包率。

为了检测丢包率,在终端节点待发送数据帧中添加一个整型序列,汇聚节点收到数据包后对该序列进行检测,若发现跳跃现象,则认为是丢包,并累加丢包次数。设实时丢包累计为 L ,将最近一次收到的序列数值认为是收包和丢包总和,设为 N ,则丢包率 PLR (packet loss rate, %) 计算表达式为:

$$PLR = 100 \times \frac{L}{N}$$

1.2 可靠性的影响因素

在温室中,影响无线通信的因素主要是:距离、遮挡、环境因素和电磁干扰^[22]。

1) 节点之间的通信质量受通信距离影响。由于电磁波在传输过程中不断衰减,当节点间的距离超过一定范围时,接收信号强度会因为低于门限阈值而无法被检测到,从而导致丢包^[23]。

2) 节点之间的通信受遮挡物影响。温室中,主要是指作物和温室结构(如遮阳网、保温网等)的影响。虽然通过适当的节点部署策略可以减小遮挡物的影响,但多数情况下仍然无法完全避免,所以对遮挡造成的影响进行定量分析是十分必要的^[24-25]。

3) 节点之间的通信受环境因素影响。根据电磁波理论,介质的电导率越大,衰减就越大。而空气湿度与其电导率成正比,因此有必要对温室中高湿环境对无线通信的影响进行研究。

2 试验及试验结果

2.1 试验条件

为了研究温室中距离、遮挡和空气湿度对节点

间通信质量的影响,进行丢包率试验。试验采用德州仪器公司推出的 CC2530 射频芯片来搭建 ZigBee 无线传感器网络,结合 CC2591 射频前端,将节点发射功率设置在 0~19 dBm 之间。软件部分基于德州仪器公司推出的 ZigBee 协议栈(Z-Stack)编写,实现终端节点的数据采集和发送,路由节点数据包转发,以及汇聚节点的接收和上传功能。其中,汇聚节点每次在接收数据包时,ZigBee 协议栈 MAC 层给出一个信号强度指标,即 RSSI^[26]。汇聚节点在接收数据时,对丢包率进行统计,并计算 RSSI 的算术平均值,数据接收完毕后,将所得到的丢包率和 RSSI 值通过串口上传到上位机。

试验在 40 m×40 m 的温室中进行,ZigBee 节点发射频率为 2.4 GHz,发包速率为 10/S,每次试验发送 1 000 个数据包。数据发送完毕后,从上位机获取丢包率和 RSSI 值。

2.2 多种因素对传输可靠性的影响

2.2.1 距离影响

在 40 m 的距离内,以 5 m 为间隔进行测试。在每个距离测试时,依次设置终端节点发射功率为 0、4、8、12、19 dBm,采用 5 次测量取平均值法获取丢包率和 RSSI。测试过程中,节点之间以及周围不存在遮挡物,节点距离地面均为 1.5 m^[27]。试验结果如图 1 所示。

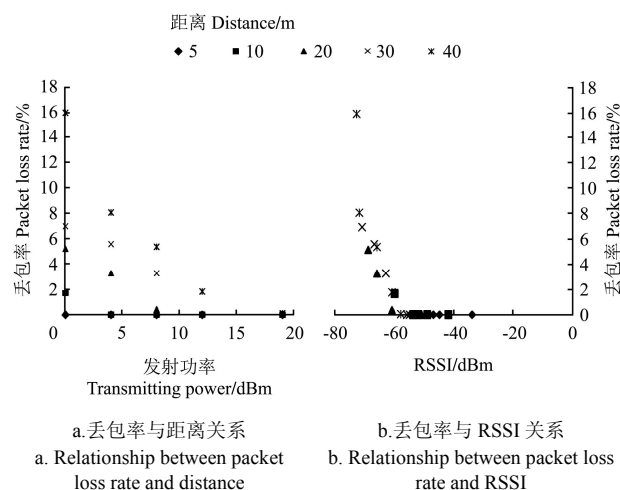


图 1 距离对丢包率的影响

Fig.1 Effect of distance on packet loss rate

由图 1a 可知: 1) 当发射功率一定时,距离越远,丢包率越大,即节点之间数据传输可靠性越低; 2) 在距离不变时,发射功率越大,丢包率越低,节点之间数据传输可靠性越高。说明对于距离变化的情况,增大发射功率可以减小丢包率。

由图 1b 可知: 1) 随着节点 RSSI 值的增大,丢包率的变化具有一定的趋势性,大致随 RSSI 的增大而减小; 2) 当 RSSI 值大于-58 dBm 时,丢包

率小于 1%。

2.2.2 遮挡影响

节点相距 20 m, 分别在番茄遮挡、倒挂草莓遮挡、温室结构(内遮阳网、保温网)和排风机遮挡 4 种情况下进行测试。在番茄遮挡测试中, 节点距地面 0.3 m, 番茄植株高约 1 m, 间隔约 0.5 m。在倒挂草莓遮挡测试中节点距地面约 2 m, 草莓盆栽间距约 1 m。在温室结构遮挡测试中, 采集节点距地面约 2 m, 接收节点位于距地面 0.5 m 支架上。在排风机遮挡测试中, 排风机横截面积约 1.2 m×1.2 m, 测试过程中均保持工作状态。仍然设置终端节点发射功率为 0、4、8、12、19 dBm, 采用 5 次测量取平均值法获取丢包率和 RSSI, 其中丢包率如表 1 所示。

表 1 遮挡对丢包率的影响
Table 1 Effect of obstacle on packet loss rate

发射功率 Transmitting power/dBm	不同测试环境下的丢包率 Packet loss rate under different test environment/%				
	无遮挡	番茄植株 遮挡	倒挂草莓 遮挡	温室结构 遮挡	排风机 遮挡
0	5.3	24.7	21.0	17.4	26.3
4	3.4	23.3	16.7	12.9	18.2
8	0.5	17.1	9.3	7.1	13.0
12	0	9.1	5.2	1.3	7.8
19	0	2.2	0.2	0	1.6

注: 节点相距 20 m。

Note: The distance between nodes is 20 m.

对于相同的发射功率, 有遮挡情况下的丢包率明显高于无遮挡时, 但随着发射功率的不断提高, 丢包率会逐渐降低。存在遮挡物时丢包率与 RSSI 的关系如图 2 所示。

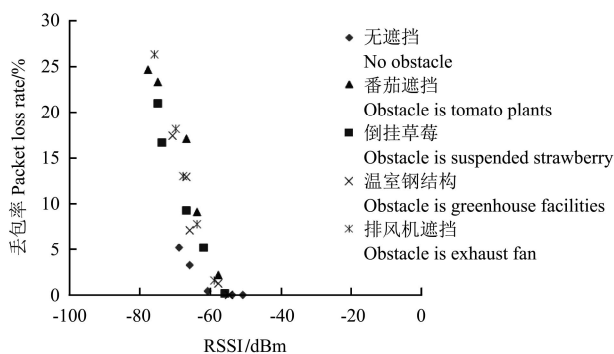


图 2 存在遮挡物时丢包率与 RSSI 关系

Fig.2 Relationship between packet loss rate and RSSI with obstacles

从图 2 数据可得以下结论: 1) 与无遮挡情况相比, RSSI 值相同的情况, 有遮挡时的丢包率较高; 2) 随着节点 RSSI 值的增大, 丢包率的变化也具有一定的趋势性, 仍然是随 RSSI 的增大而减小; 3)

不同的遮挡物, 丢包率小于 1%时的 RSSI 值不同, 但均位于[-58, -50]dBm 区间。

2.2.3 湿度影响

节点相距 20 m, 分别在相对湿度为 35%、50%、65%、80%情况下进行测试, 发射功率为 0, 每种情况下进行 5 次测试, 记录丢包率取平均值。试验结果表明, 以上 4 种情况下丢包率均在 5.2%~5.3%之间, 可见在温室中, 空气湿度对通信质量影响不大。

3 基于 RSSI 的发射功率自适应算法

从丢包率试验可知, 为了使 ZigBee 节点之间的通信具有较高的可靠性, 可以将节点的发射功率设置在较高水平。但是过高的发射功率将会增大节点能耗, 导致节点寿命降低^[28-29]。因此, 在保证可靠性的前提下, 即丢包率维持在较小值的情况下, 需要尽可能小的发射功率。

以无遮挡情况为例, 根据丢包率试验的结论: 当接收节点的 RSSI 值大于-58 dBm 时, 绝大多数丢包率小于 1%, 此时可以认为 ZigBee 节点之间的通信具有较高的可靠性。当发射节点的功率增大时, 接收节点的 RSSI 也随之增大。若接收节点的 RSSI 值大于-58 dBm, 此时再增加发射节点的功率, 就会造成无意义的能量消耗。因此, 可以根据接收节点 RSSI 来调节发送节点的功率, 使其在保证传输可靠性的同时, 能量消耗最低。

3.1 无遮挡物时的节点发射功率控制

无线通信中信号的发射功率、接收功率和距离间的关系可由式(1)表示^[30]:

$$P_R(\text{mW}) = P_T(\text{mW}) / r^n \quad (1)$$

式中: P_R 为无线信号接收功率; P_T 为无线信号发射功率; r 为通信距离; n 为传播因子, n 的数值由通信环境决定。

式(1)两边取对数乘以 10, 单位换算为 dBm, 得到式(2):

$$P_R(\text{dBm}) = P_T(\text{dBm}) - 10 \cdot n \cdot \lg(r) \quad (2)$$

考虑 ZigBee 网络中父子节点之间的数据传输, 子节点采集数据并发送, 父节点接收。设子节点发射功率为 $P_T(\text{dBm})$, 父节点接收功率为 $P_R(\text{dBm})$, 父节点发射功率为 $P'_T(\text{dBm})$, 子节点接收功率为 $P'_R(\text{dBm})$, 根据公式(2)有:

$$P_T(\text{dBm}) - P_R(\text{dBm}) = P'_T(\text{dBm}) - P'_R(\text{dBm}) = 10 \cdot n \cdot \lg(r) \quad (3)$$

子节点接收功率由 ZigBee 协议栈 MAC 层给出, 设子节点接收功率为 RSSI, 父节点接收功率为 RSSI', 代入(3)式可得式(4):

$$RSSI' = P_T(\text{dBm}) - P_T'(\text{dBm}) + RSSI \quad (4)$$

由于子节点向父节点上传采集数据，因而需要把父节点（即接收节点）的接收功率，即 $RSSI'$ 控制在 -58 dBm ，则子节点发射功率为：

$$P_T(\text{dBm}) = P_T'(\text{dBm}) - RSSI - 58 \quad (5)$$

式 (5) 即为无遮挡情况下，节点发射功率控制的表达式。当 P_T' 值确定时，发射功率 P_T 由 $RSSI$ 值确定。 $RSSI$ 若较小，说明接收信号强度较弱，按照式 (5)， P_T 将被设置为较大值来提升通信可靠性； $RSSI$ 若较大，则 P_T 将被设置为较小值以节省能量。

3.2 存在遮挡物时的节点发射功率控制

根据丢包率试验结论，存在遮挡的情况下， $RSSI'$ 控制在 -58 dBm 时，丢包率约为 2.5%。此时只通过 $RSSI'$ 来控制丢包率已经不能再满足需求，因此需要在式 (5) 中引入修正系数 k ，则：

$$P_T(\text{dBm}) = P_T'(\text{dBm}) - RSSI - 58 + k \quad (6)$$

$-58+k$ 即表示期望的 $RSSI'$ 值。番茄遮挡时，当把 $RSSI'$ 控制在 -58 dBm 时，丢包率约为 2.5%，而当把 $RSSI'$ 控制在 -55 dBm 时，丢包率就小于 1%。即修正系数 k 值为 3 时，丢包率满足控制需求。

由于 ZigBee 节点间的遮挡是动态变化的，而不同遮挡影响下，修正系数 k 的取值是不同的，因此需要不断地获取实时丢包率的值，根据实际丢包率与期望丢包率之间的差值来调整修正系数 k 。

设 e_{PLR} 为丢包率参考输入与当前实际丢包率之差，设 d_{PLR} 为当前丢包率与上一次丢包率之间的差。按照 $e_{PLR} > 0$ ， $e_{PLR} = 0$ ， $e_{PLR} < 0$ ，分别对应 $d_{PLR} < 0$ ， $d_{PLR} = 0$ ， $d_{PLR} > 0$ 的情况，丢包率相对于参考输入的变化一共有 9 种情况，对应于这 9 种变化情况，修正系数 k 根据表 2 所示的控制规则来调整。

表 2 修正系数 k 的调整规则

Table 2 Rules of adjustment of correction factor k

	0	$d_{PLR} < 0$	$d_{PLR} = 0$	$d_{PLR} > 0$
$e_{PLR} > 0$		-1	不变	不变
$e_{PLR} = 0$		不变	不变	1
$e_{PLR} < 0$		不变	1	2

注： e_{PLR} 为丢包率参考输入与当前实际丢包率之间的差； d_{PLR} 为当前丢包率与上一次丢包率之间的差。

Note: e_{PLR} is the difference between reference input and actual value of packet loss rate; d_{PLR} is the difference between current and last value of packet loss rate.

以 $e_{PLR} < 0$ ， $d_{PLR} > 0$ 的情况举例说明，该情况下，丢包率已经大于控制目标，但其变化趋势仍是在增长，说明此时只通过 $RSSI$ 来控制已经不能再满足需求，因此需要对原系统进行校正，将 k 值加 2，则实际的 $RSSI$ 参考输入变为 -56 dBm 。根据式 (6)，节点将以更大的发射功率来传输数据，从而

改善丢包状况。而当 $e_{PLR} < 0$ ， $d_{PLR} = 0$ 时，丢包率已经满足控制需求，并且趋于稳定，此时 k 值保持不变，维持当前状况。

3.3 算法可靠性评价

基于 $RSSI$ 的节点发射功率自适应机制是通过增大发射功率来提高通信可靠性。本节对该算法的性能进行评价，通过丢包率来反应节点通信可靠性。为了得知子节点实际的发射功率，在子节点上传数据中加入发射功率，父节点收到数据包后上传上位机，从上位机读取子节点发射功率与父节点统计的丢包率，结果如表 3 所示。

表 3 节点发射功率自适应算法可靠性测试结果

Table 3 Test results of reliability of adaptive transmitting power control algorithm for nodes

测试环境 Testing environment	功率设置 Power setting	实际功率 Actual power/dBm	丢包率 Packet loss rate/%
不同距离 /m	5 固定	0	0
	5 自适应控制	0	0
	5 固定	19	0
	20 固定	0	5.2
	20 自适应控制	9	0.3
	20 固定	19	0
	40 固定	0	16.0
	40 自适应控制	18	1.0
	40 固定	19	0.1
不同遮挡物	番茄植株遮挡 固定	0	24.7
	番茄植株遮挡 自适应控制	19	2.2
	番茄植株遮挡 固定	19	2.2
	倒挂草莓遮挡 固定	0	21.0
	倒挂草莓遮挡 自适应控制	17	0.8
	倒挂草莓遮挡 固定	19	0.2
	排风机遮挡 固定	0	26.3
	排风机遮挡 自适应控制	19	0.6
	排风机遮挡 固定	19	0.5
湿度/%	80 固定	0	5.2
	80 自适应控制	9	0.1
	80 固定	19	0

从表 3 数据可以看出，基于 $RSSI$ 的节点发射功率自适应算法能够在不同的情形下为节点设置合适的发射功率。当通信状况较好时，该算法设置了较低的发射功率，当通信状况较差时，该算法设置了较高的发射功率。本次试验中，根据该算法设置发送功率的节点，丢包率大部分小于或等于 1%，并且全部小于 3%。

以上数据和分析表明基于 $RSSI$ 的节点发射功率自适应算法具有以下特性：1) 提升节点发射功率，尽可能使丢包率小于或等于 1%，以保证通信质量；2) 在丢包率小于或等于 1% 的前提下，为节点设置尽可能小的发射功率。

实际上,距离和遮挡对通信质量的影响是存在耦合的,而本文仅在距离为 20 m 时进行遮挡影响试验,是考虑到无论距离和遮挡耦合情况如何,其对通信质量的影响最终是反应到丢包率和 RSSI 上,而节点发射功率自适应控制算法是根据丢包率和 RSSI 来调整发射功率。无论距离和遮挡情况如何,该算法始终能够将丢包率维持在较低水平。

4 结 论

本文研究了距离、遮挡、湿度对 ZigBee 节点通信质量的影响,在此基础上研究了各种环境下丢包率与 RSSI 的关系,根据大量试验数据得出:1) 在无遮挡情况下当接收节点的 RSSI 值大于 -58 dBm 时,丢包率小于 1%;2) 存在遮挡的情况下,对不同的遮挡,丢包率小于 1% 时的 RSSI 值不同,但均位于 [-58, -50] dBm 区间;3) 在温室环境下空气湿度对通信质量影响不大。

可靠性性能评价结果表明,在距离变化、遮挡影响的情况下,节点发射功率自适应控制算法能够通过提高节点发射功率尽可能地使丢包率小于或等于 1%,而在通信质量较好时,能够以最小的发射功率使丢包率维持在 1% 以下。该算法提高了温室 ZigBee 通信的可靠性,使得 ZigBee 节点在温室复杂的环境中仍具有较高的通信质量,从而保障了数据的可靠、稳定传输,对 WSN 在温室中的推广和应用具有一定的意义。

[参 考 文 献]

- [1] Ahonen T, Virrankoski R, Elmusrati M. Greenhouse monitoring with wireless sensor network[C]// IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications, 2008: 403—408.
- [2] Zhou Yiming, Yang Xianglong, Guo Xishan, et al. A Design of Greenhouse Monitoring & Control System Based on ZigBee Wireless Sensor Network[C]// International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007: 2563—2567.
- [3] 张荣标, 冯友兵, 沈卓, 等. 温室动态星型无线传感器网络通信方法研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 107—110.
Zhang Rongbiao, Feng Youbing, Shen Zhuo, et al. Communication method of star wireless sensor network for greenhouse dynamic measurement[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(12): 107—110. (in Chinese with English abstract)
- [4] 韩华峰, 杜克明, 孙忠富, 等. 基于 ZigBee 网络的温室环境远程监控系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 158—163.
Han Huafeng, Du Keming, Sun Zhongfu, et al. Design and application of ZigBee based telemonitoring system for greenhouse environment data acquisition[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(7): 158—163. (in Chinese with English abstract)
- [5] Wern-Ho Sheen, Chien-Hsiang Tai. A noncoherent tracking loop with diversity and multipath interference cancellation for direct-sequence spread-spectrum systems[J]. IEEE Transactions on Communications, 1998, 46(11): 1516—1524.
- [6] 黄庭培, 李栋, 张招亮, 等. 突发性链路感知的自适应链路质量估计方法[J]. 通信学报, 2012, 33(6): 30—39.
Huang Tingpei, Li Dong, Zhang Zhaoliang, et al. Bursty-link-aware adaptive link quality estimation method[J]. Journal on Communications, 2012, 33(6): 30—39. (in Chinese with English abstract)
- [7] 徐昌彪, 隆克平, 杨士中. 无线网络中基于误码丢包的 TCP 速率调节策略[J]. 计算机学报, 2002, 25(4): 438—444.
Xu Changbiao, Long Keping, Yang Shizhong. Corruption-based TCP rate adjustment in wireless networks[J]. Chinese Journal of Computers, 2002, 25(4): 438—444. (in Chinese with English abstract)
- [8] 乔晓军, 张馨, 王成, 等. 无线传感器网络在农业中的应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(增刊 2): 232—234.
Qiao Xiaojun, Zhang Xin, Wang Cheng, et al. Application of the wireless sensor networks in agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(Supp.2): 232—234. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张莉, 李金宝. 无线传感器网络中基于多路径的可靠路由协议研究[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(增刊 2): 171—175.
Zhang Li, Li Jinbao. Multi-path based reliable routing in wireless sensor network[J]. Journal of Computer Research and Development, 2011, 48(Supp.2): 171—175. (in Chinese with English abstract)
- [10] 周祖德, 胡鹏, 李方敏. 无线传感器网络分簇通信协议的可靠性方案[J]. 通信学报, 2008, 29(5): 114—121.
Zhou Zude, Hu Peng, Li Fangmin. Reliable scheme for the cluster-based communication protocol in wireless sensor networks[J]. Journal on Communications, 2008, 29(5): 114—121. (in Chinese with English abstract)
- [11] Deb B, Bhatnagar S, Nath B. Information Assurance in Sensor Networks[C]// Proceedings of the Second ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, 2003: 160—168.
- [12] Deb B, Bhatnagar S, Nath B. ReInForM: reliable information forwarding using multiple paths in sensor networks[C]// Proceedings 28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, 2003: 406—415.
- [13] 万亚东, 王沁, 张晓彤. 一种簇状无线传感器网络邀请重传方法[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(增刊 2): 203—207.

- Wan Yadong, Wang Qin, Zhang Xiaotong. An invited retransmitting method for cluster based wireless sensor network[J]. Journal of Computer Research and Development, 2011, 48(Supp.2): 203—207. (in Chinese with English abstract)
- [14] Paek J, Govindan R. RCRT: Rate-controlled reliable transport protocol for wireless sensor networks[C]// Proceedings of the 5th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2007: 305-319.
- [15] 韩安太, 郭小华, 吴秀山. 温室环境控制无线传感器网络的服务质量管理[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 216—220.
- Han Antai, Guo Xiaohua, Wu Xiushan. Quality of service management in wireless sensor networks for greenhouse environmental control[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(1): 216—220. (in Chinese with English abstract)
- [16] Qing Cao, Tian He, Fang L, et al. Efficiency Centric Communication Model for Wireless Sensor Networks[C]// Proceedings of 25th IEEE International Conference on Computer Communications, 2006: 1—12.
- [17] 王沁, 万亚东, 李磊, 等. 工业环境 IEEE802.15.4 链路的多频道可靠性分析与建模[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(12): 1971—1984.
- Wang Qin, Wan Yadong, Li Lei, et al. Multi-channel reliability modeling and analysis for IEEE802.15.4 in industrial environment[J]. Journal of Computer Research and Development, 2009, 46(12): 1971—1984. (in Chinese with English abstract)
- [18] Reijers N, Halkes G, Langendoen K. Link layer measurements in sensor networks[C]// IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, 2004: 224—234.
- [19] 孙佩刚, 赵海, 罗玓玓, 等. 无线传感器网络链路通信质量测量研究[J]. 通信学报, 2007, 28(10): 14—22.
- Sun Peigang, Zhao Hai, Luo Dingding, et al. Study on measurement of link communication quality in wireless sensor networks[J]. Journal on Communications, 2007, 28(10): 14—22. (in Chinese with English abstract)
- [20] Cerpa A, Wong J L, Kuang L, et al. Statistical model of lossy links in wireless sensor networks[C]// Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, 2005: 81—88.
- [21] 张海辉, 朱江涛, 吴华瑞, 等. 通用农业环境信息监控系统 ReGA 网关设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 135—141.
- Zhang Haihui, Zhu Jiangtao, Wu Huarui, et al. Design of ReGA gateway for general agricultural environment information monitoring system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transaction of the CSAE), 2012, 28(3): 135—141. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李锬钰, 高红菊, 姜建钊. 小麦田中天线高度对 2.4 GHz 无线信道传播特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊 2): 184—189.
- Li Siyu, Gao Hongju, Jiang Jianzhao. Impact of antenna height on propagation characteristics of 2.4 GHz wireless channel in wheat fields[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(Supp.2): 184—189. (in Chinese with English abstract)
- [23] Benkic K, Malajner M, Planinsic P, et al. Using RSSI value for distance estimation in wireless sensor networks based on ZigBee[C]// 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, 2008: 303—306.
- [24] 孙玉文, 沈明霞, 周辆, 等. 农田无线传感器网络的节点部署仿真与实现[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 211—215.
- Sun Yuwen, Shen Mingxia, Zhou Liang, et al. Simulation and realization of farmland wireless sensor networks nodes deployment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(8): 211—215. (in Chinese with English abstract)
- [25] 蔡义华, 刘刚, 李莉, 等. 基于无线传感器网络的农田信息采集节点设计与试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 176—178.
- Cai Yihua, Liu Gang, Li Li, et al. Design and test of nodes for farmland data acquisition based on wireless sensor network[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(4): 176—178. (in Chinese with English abstract)
- [26] 章坚武, 张璐, 应瑛, 等. 基于 ZigBee 的 RSSI 测距研究[J]. 传感技术学报, 2009, 22(2): 285—288.
- Zhang Jianwu, Zhang Lu, Ying Ying, et al. Research on distance measurement based on RSSI of ZigBee[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2009, 22(2): 285—288. (in Chinese with English abstract)
- [27] 张京, 杨启良, 戈振扬, 等. 温室环境参数无线传感器网络监测系统构建与 CC2530 传输特性分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 139—147.
- Zhang Jing, Yang Qiliang, Ge Zhenyang, et al. WSN monitoring system for greenhouse environmental parameters and CC2530 transmission characteristics[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(7): 139—147. (in Chinese with English abstract)
- [28] Arnab Nandi, Sumit Kundu. Optimal Transmit Power and Energy Level Performance of Random WSN in Rayleigh Fading Channel[C]// International Conference on Computer & Communication Technology, 2011: 556—561.
- [29] Magno M, Marinkovic S, Brunelli D, et al. Combined methods to extend the lifetime of power hungry WSN with multimodal sensors and nanopower wakeups[C]// 8th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, 2012: 112—117.
- [30] 方震, 赵湛, 郭鹏, 等. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2526—2530.

Fang Zhen, Zhao Zhan, Guo Peng, et al. Analysis of distance measurement based on RSSI [J]. Chinese Journal

of Sensors and Actuators, 2007, 20(11): 2526—2530. (in Chinese with English abstract)

Adaptive control algorithms of transmitting power for greenhouse WSN nodes

Xu Lihong, Zao Minghua, Wei Ruihua, Lin Weiwei

(College of Electronics and Information Engineering of Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In order to improve the reliability of wireless data transmission of a greenhouse environment data acquisition system, this paper studied the reliability between WSN nodes in several cases in a greenhouse based on an experimental method. When the communication quality was affected by distance, obstacles, and high humidity, the relationship between packet loss rate and RSSI (Received Signal Strength Indication) was analyzed, and then RSSI was used to evaluate the reliability of communication. In the experiment, the distance between nodes had been set from 5 m to 40 m at intervals of 5 m, and the humidity varied from 35% RH to 80% RH at intervals of 15% RH. The obstacles included tomato plants, hanging strawberry, greenhouse facilities such as shade net, heat insulation nets, and exhaust fans. The experiment results showed that the packet loss rate increased when the distance between nodes extended or the obstacles existed while it was not affected by the humidity in the greenhouse. In these circumstances, when the transmitting power of the node had been set as 0, 4, 8, 12, or 19 dBm, both the RSSI and packet loss rate changed so that the relationship between the RSSI and packet loss rate could be studied in coordinates. The results included two situations. The first was when there was no obstacle. In those cases, we found that: 1) with the increase of the RSSI of the receiving node, the packet loss rate changed with a certain trend to decrease; 2) when the RSSI value was greater than -58 dBm, the packet loss rate was almost zero. The second was when there were different kinds of obstacles. In those cases, we found that: 1) packet loss rate decreased when the RSSI got smaller. 2) when packet loss rate was about 1%, for different obstacles, the RSSI values varied from -58 dBm to -50 dBm. 3) for the same RSSI, it was the smallest when there was no obstacle. Based on this study, an adaptive transmitting power control algorithm for WSN nodes was proposed in which RSSI was used to evaluate communication quality, and transmitting power was enhanced to improve the reliability of communication. This algorithm included two steps. First, it assumed that there was no obstacle, and the transmitting node estimated the RSSI of the receiving node with its own RSSI. If the estimated value was lower than -55 dBm, the transmitting node would increase its power while if the estimated value was far more than -55 dBm, the node would decrease its power to save energy. Second, the algorithm compared the actual packet loss rate to the reference input, so the algorithm could be corrected, depending on the error of the two. The algorithm had been tested in the greenhouse when the communication distance was 5 m, 20 m, and 40 m, and it also had been tested when obstacles existed such as tomato plants, suspended strawberry, and exhaust fans. In the worst situation, the packet loss rate was 2.2%. In addition, a contrast experiment was conducted to show that the algorithm could set the transmitting power at a low level when the communication quality was fine. For example, when the distance was 5 m and no obstacle existed, the transmitting power was set to 0 dBm, which is the smallest one of all of the available transmit values. The research provided an approach to enhance the communication quality of WSN in greenhouse under unfavorable conditions that made progress on the application of WSN to realize wireless data collection in a greenhouse.

Key words: greenhouses; wireless sensor networks; data acquisition; reliability; transmitting power

(责任编辑: 张俊芳)