

Research on the Distribution of Nodes in WSN on the Uniform Slope

CHENG Jianxing, SHI Yikai

College of Mechanical and Electrical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China, 710072
e-mail: jianxingch@163.com

Abstract: The direction of the antenna for wireless sensor networks, when sensor nodes are set on the uniform slope, has an immediate effect on receiving power of the cluster heads in network nodes. In this paper, it's studied that the difference of the soil moisture collection sensor nodes in forest between on the horizontal plane and uniform slope, the same time, the main power loss and the working model of the collection nodes are analyzed as well. The equation used in power absorption has been successfully inferred when the antenna is transmitted from different angles. Meanwhile, the association between the antennas angle of the collection nodes and the power absorption of the sensor nodes has also been studied.

Keywords: Wireless Sensor Networks (WSN); nodes distribution; electromagnetic wave reflection; transmit loss; antenna

无线传感器采集节点在均匀斜坡上的分布研究

程建兴, 史仪凯

西北工业大学机电工程学院, 西安, 中国, 710072
e-mail: jianxingch@163.com

【摘 要】在均匀斜坡上布设无线传感器采集节点时, 其天线的放置方向和位置, 直接影响网络簇头节点的接收功率, 文章分析了森林土壤湿度采集传感器节点在水平面与均匀斜坡上分布的区别, 并对采集节点的主要功率损耗和工作模式进行了分析。推导出了发射天线在不同角度时的吸收功率表达式, 探讨了采集节点的天线角度与传感器节点的能量消耗关系。

【关键词】无线传感器网络; 节点分布; 电磁波反射; 传输损耗; 天线; SRP; 学术会议; 论文集

1 引言

随着无线通信、嵌入式计算和传感器技术的发展, 具有无线网络通信能力、计算能力和感知能力的微型传感器以及由其构成的无线传感器网络(WSN)得到了广泛应用。一般的土壤湿度无线传感器网络分布在平面上, 但在森林土壤湿度的采集过程中, 传感器节点经常分布在均匀平坦的斜坡上, 本文主要研究传感器节点能量消耗与采集节点天线的电磁波传输特性, 传感器节点在均匀斜坡上与在水平面上分布的区别, 以及采集节点天线架设角度对采集节点分布的影响等问题^[1]。

2 无线传感器网络节点的分布和功耗分析

基金项目: 广东省科技厅项目: 广东省森林土壤墒情自动监测和预报系统研究 (2007B030402001)

2.1 传感器节点分布研究现状

为了延长传感器网络节点的工作时间, 围绕节点分布带来的功耗问题, 国内外已在无线 Ad-hoc 网络研究基础之上取得了大量理论成果, 关于网络节点的分布问题, 目前已提出了许多有效的解决方案, 如文献[2]中 Huang 设计了一种复杂度为 $O(Nd \log(d))$ (d 为传感器相邻的距离, N 为传感器总数) 的判断传感器节点周边覆盖的算法, 用于计算确定的区域是否能被 K 个传感器节点覆盖; 该算法首先确定了某个传感器节点的覆盖范围, 然后对 n 个传感器节点进行判断计算后获得整个网络的覆盖范围。文献[3]研究了异类节点 (Heterogeneous nodes) 网络, 即采用两种类型的节点: 0 类型节点 (Type 0 nodes) 和 1 类型节点 (Type 1 nodes), 前者充当传感器节点, 后者专门充当簇首节点; 簇首节点具有更高的硬件和软件复杂度, 同时具有更高的

电池能量需求, 传感器节点采用多跳模式和他们各自的簇首通信, 作者为了最小化整个网络的成本, 把最优簇首数量和两种类型节点的电池能量的问题归结成为一个优化问题。但是由于应用的场合不同, 优化的参数和指标不同, 传感器网络优化覆盖的算法也不同, 目前还没有一个统一的算法来解决这类问题。

2.2 传感器节点的功耗分析

本文基于上述的理论研究成果, 对在均匀斜坡上传感器节点的分布进行一定的分析。假设有 4 个无线传感器网络节点对森林土壤湿度进行采集, 在给定的圆形区域 A 内, 4 个采集节点均匀分布在圆周上, 形成传感器簇如图 1, 圆周所在的斜坡与水平面夹角为 α , 在圆心位置放置簇头节点即网络汇集节点, 簇头节点将收到的土壤信息发送给 CDMA 1X 基站, 再利用中国联通的移动通信网络发送到互联网, 再由接收终端接收。采集节点的硬件结构一般由传感器、CPU 控制器和发射模块等组成, 传感器节点的能量消耗主要是信息传输和处理能耗两部分, 传输能耗的大部分消耗在无线通信模块, 处理能耗是指传感器模块进行数据采集和处理器进行数据处理^[4]。通常, 无线通信模块的功耗是指发射模块的射频前端功放模块, 无线收发装置按照功率消耗由小到大的顺序有四种工作模式:

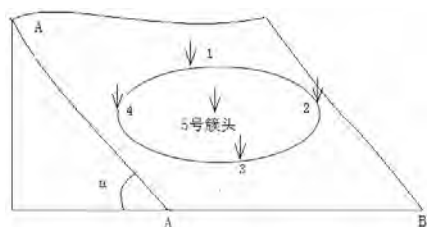


Figure 1. Antenna is perpendicular to the horizontal plane
图 1. 天线与水平面垂直



Figure 2. Antenna and the slope perpendicular to the plane
图 2. 天线与斜坡平面垂直

睡眠模式(Sleep)、空闲模式(Idle)、接收模式(Receive)和发送模式(Transmit)^[5], 在无线传感器网络中, 当节

点既不发送也不接收时, 无线收发装置通常处于空闲模式, 它要随时监听信道上发送的报文并及时对发给本节点的报文做出反应, 因其电路是活跃的, 所以功耗仍然很高。在睡眠模式时, 功率消耗非常低, 节点不监听信道, 此时即使有报文到达也不能立即开始接收。通常把工作于睡眠模式的节点称作处于睡眠状态, 工作于其他三种模式的节点称作处于活跃状态。传感器节点需要传输的数据量不大, 数据处理简单, 因此处理器功耗相对较低。通常传输 1 比特信息 100m 的距离, 需要的能量大约相当于执行 3000 条计算指令消耗的能量。

3 传感器节点的密度和接收功率计算

3.1 传感器节点的分布密度和能耗分析

传感器节点的密度可根据如下公式计算:

$$\mu(R) = (N\pi R^2) / A$$

其中 N 为区域 A 内的节点数, R 为簇头的无线通信距离, $\mu(R)$ 表示区域 A 内节点的分布密度, 即单位区域内节点的数目。

单一节点无线通信的能量消耗 E 与通信距离 d 的关系为: $E = kd^n$. 其中, 参数 n 的取值为: $2 \leq n \leq 4$, n 的取值主要与采集节点与簇头 Sink 节点的距离有关, 也与森林中的环境条件和森林斜坡的倾斜角度有关。在森林环境和节点能量有限的情况下, 整个无线传感器网络总能耗是网络中所有节点的能耗之和, 即:

$$Q = \sum_{i=1}^M E_i$$

其中 E_i 是单个节点的能耗。

3.2 簇头节点的天线接收功率比较

假设传感器节点在给定的标准距离 d_0 时, 最小传输功率为 p_0 , 采集节点与簇头之间距离为 d_i 时, 采集节点的传输功率为:

$$p_i = \frac{d_i^2 (4\pi)^2 \beta}{d_0^2 \lambda^2 G_1 G_2} p_0$$

式中 G_1 和 G_2 分别表示采集节点天线发射增益和簇头天线的接收增益, λ 是光速 C 和载波频率的比值, β 表示无线收发因子; 无线传感器网络的节点多使用全向的单极化杆状天线^[6,7]。

假设采集节点天线距离地面的高度为 h_0 , 簇头节点天线距离地面的高度为 h_s , 一般 $h_s \geq h_0$, 设两天线

之间电磁波直射路径和反射路径的路程差为 Δd ，则有： $\Delta d = \sqrt{d^2 + (h_s + h_0)^2} - \sqrt{d^2 + (h_s - h_0)^2}$ ，当 $d \gg h_0$ 和 $d \gg h_0$ 时，则有： $\Delta d = \frac{2h_s h_0}{d}$ 。设任意一个采集节点天线辐射功率为 P_t ，则发射天线功率密度 p_0 为： $p_0 = \frac{P_t}{4\pi d^2} (W/m^2)$ ，相距为 d 的簇头节点天线单位面积接收功率为： $\frac{P_t G_1}{4\pi d^2} (W)$ ，设簇头天线的有效面积为 A_e ，天线接收频率为 f ，波长为 λ ，则簇头天线接收的功率为：

$$P_r = \frac{P_t A_e G_1}{4\pi d^2} (W), \text{ 代入前式得:}$$

$$P_r = \frac{P_t A_e G_1 \lambda^2}{4\pi d^2 4\pi} = \frac{P_t G_1 G_2}{(4\pi d / \lambda)^2} (W) = \frac{P_t G_1 G_2}{L_{fs}} (W),$$

其中 L_{fs} 为自由空间的传播损耗。在工程上主要采用改进的 Friis 公式^[8]，即：

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)^2 \left(\frac{d_0}{d} \right)^n G_1 G_2,$$

其中 d_0 是一个参考距离，对短距离通信一般取为 1 米， n 随着 d 的变化而取不同的值， $2 \leq n \leq 4$ 。

当无线传感器网络节点在水平面上分布时，设因环境带来的损耗因数为 L_a ，则簇头节点 5 的信号功率为： $P_r = \frac{P_t G_1 G_2}{L_a L_{fs}} (W)$ ；或者簇头节点 5 接收节点 1 或 3 的信号功率为：

$$p_R = p_0 \left(\frac{1}{4\pi d / \lambda} \right)^2 [1 + \alpha_r \exp(j\Delta\phi)]^2 \quad (1)$$

式中 $p_0 = p_t G_1 G_2 \alpha_e$ ， p_t 是节点的发射功率， α_e 为电磁波在各种不同人造环境传播时所造成的附加损耗， α_r 是土壤对电磁波的反射系数， $\Delta\phi$ 是反射电磁波入射角和反射角之差。

3.3 簇头节点在斜坡上的接收功率计算

当采集节点和簇头 5 的发射天线垂直于斜坡时（如图 2 所示），设电磁波的地形损耗因数为 L_1 （ $L_1 \geq 1$ ），簇头 5 天线接收的信号功率为^[9,10]：

$$P_{r1} = \frac{P_t G_1 G_2}{L_a L_{fs} L_1} (W) \quad (2)$$

若设此时电磁波的反射系数为 α_{rl} ，簇头 5 的天线接收采集节点 1 或 3 的信号功率也可表示为：

$$P_{RL} = p_0 \left(\frac{1}{4\pi d / \lambda} \right)^2 [1 + \alpha_{rl} \exp(j\Delta\phi)]^2 \quad (3)$$

当采集节点单极天线垂直于水平面时（如图 1 所示），设电磁波的地形损耗因数为 L_2 （ $L_2 \geq 1$ ），簇头节点的接收信号功率为：

$$P_{r2} = \frac{P_t G_1 G_2}{L_a L_{fs} L_2} (W) \quad (4)$$

或者设 α_{rv} 为此时的电磁波反射系数，则簇头 5 接收节点 1 或 3 的信号功率为^[11-13]：

$$P_{RV} = p_0 \left(\frac{1}{4\pi d / \lambda} \right)^2 [1 + \alpha_{rv} \exp(j\Delta\phi)]^2 \quad (5)$$

由于天线发射电磁波到地面的入射角不同，反射信号强度不同，地形损耗因数 $L_2 \geq L_1$ ， $\alpha_{rl} \geq \alpha_{rv}$ ，所以有(2)式大于(4)式，(3)式大于(5)式，即 $P_{r1} \geq P_{r2}$ ，

$$P_{RL} \geq P_{RV}。$$

4 结论

传感器节点分布密度根据各个节点的发射功率、森林坡度角度和对某区域采集量的准确度要求而相应变化。在保证一定采集精度的前提下，可以通过调整采集节点的分布方式，采集节点天线的架设角度来减少节点的分布数量。1 号和 3 号传感器节点的天线竖立角度不同，则反射电磁波的强弱也不同，进而影响簇头天线的接收信号强弱。在满足一定区域土壤湿度采集精度的条件下，采集节点围绕簇头节点可为椭圆形分布。

References (参考文献)

- [1] He Xin-Lin, Guo Sheng-Lian, Shenf Dong, Yao Li-Min. application of soil moisture for Automatic warning system in agricultural areas of the Oasis[J]. Journal Of Agricultural Engineering, 2008, 6:100-102.
何新林, 郭生练, 盛东, 姚立民等. 土壤墒情自动预报系统在绿洲农业区的应用[J]. 农业工程学报, 2007, 第 8 期: 170-175.
- [2] Chi-Fu Huang and Yu2Chee Tseng. The Coverage Problem in a Wireless Sensor Network [C]. In: ACM WSNA'03, 2003.
- [3] W.Mhatre, C.Rosnebeg, D.Kofman, etc. A minimum cost heterogeneous sensor network with a life time constraint .IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(3):4-15.
- [4] Cheng Jian-xing, Huang Wei-Feng. The Research on Data Acquisition for Soil Moisture Condition in Forest[J]. Journal Of Agricultural Research, 2008, 6:100-102.
程建兴, 黄伟锋. 森林土壤温湿度数据的采集研究[J]. 农机化研究, 2008, 6:100-102.
- [5] Estrin D, Yutorial "Wireless Sensor Networks" Part 4 :Sensor Network Protocols .Mobilcom ,2002.http://nest1.ee.uda.edu/tu

- torials/mobicom02.
- [6] Zhang Jing. Total reflection of plane electromagnetic wave phenomena[J]. Journal Of Qiqihar Teachers College, 2006,7: 144-146.
张晶.全反射现象中的平面电磁波[J].齐齐哈尔师范高等专科学校学报 2006 年 7 月:144-146.
- [7] Lin Bo. Design of Analysis and Simulation Software for Electromagnetic Characteristics in Mobile Communication Mobile Terminal Antenna [D].University of Electronic Science and Technology Master thesis 2001,5.
林波.移动通信中的移动终端天线电磁特性分析及其仿真软件设计[D].电子科技大学硕士学位论文,2001 年,5 月.
- [8] Gan Gui-Rong,Luo Kai-JI. the phase relationship between The interface reflection of electromagnetic waves with the incident electromagnetic wave[J]. Journal Of Jiangxi Normal University,2006,6:584-586.
甘桂蓉,罗开基.界面处反射电磁波与入射电磁波的相位关系[J].江西师范大学学报, 2006,6:584-586.
- [9] Yanli Wang, Shiquan An. Research on Coverage of Wireless Sensor Network[J].Journal of Sensor Technology, 2005,6: 307-312.
王燕莉,安世全.无线传感器网络的覆盖问题研究[J].传感技术学报, 2005,6:307-312.
- [10] Liping Liu.Coverage Problem of Wireless Sensor Network[D]. PhD thesis of Zhejiang University, 2006.10.
刘丽萍.无线传感器网络的覆盖问题[D].浙江大学博士学位论文,2006 年,10 月.
- [11] Xueqing Wang. Research on Connectivity and Coverage problem in Wireless Sensor Networks[D]. PhD thesis of Harbin Engineering University, 2006.6.
汪学清.无线传感器网络中连通与覆盖问题研究[D].哈尔滨工程大学博士学位论文,2006 年,6 月.
- [12] Chongqing Zhang. Research on Low-power Self-group Method of Wireless Sensor Networks, PhD thesis of Shanghai Jiao Tong University, 2007.5
张重庆.无线传感器网络低耗自组方法研究[D].上海交通大学博士学位论文,2007 年,5 月.