

新疆农田地表湿度监测传感网络的部署^①

年梅, 赵新元

(新疆师范大学 计算机科学技术学院, 乌鲁木齐 830054)

摘要: 为准确判断作物的需水情况, 为精准灌溉提供科学依据, 采用无线传感器技术。并首先针对新疆农业监控低成本、长时间以及大规模的特点, 解决了其部署问题。给出了一种两层的 WSN 部署架构, 底层节点完全覆盖保证监测的精确度, 基于距离和转发通信量的非均匀簇头部署方案使节点能量均衡消耗。通过仿真并与 leach、Leach-c 协议的结果比较, 该部署架构达到了稀疏、节能、网络能量均衡消耗、系统生命期长的目标。

关键词: 无线传感器网络; 部署架构; 分层; 非均匀分布; 能量均衡消耗

Deployment of Wireless Sensor Networks for Farmland Surface Humidity Monitoring in Xinjiang

NIAN Mei, ZHAO Xin-Yuan

(School of Computer Science and technology, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: In order to precisely determine the extent of the water deficit and thus to provide a scientific reference for precision irrigation, a particular design of farmland surface humidity monitoring system based on wireless sensor networks is introduced. According to the features of XinJiang agricultural environment, a two-layer deployment architecture is proposed to satisfy the need of low-cost, long lifetime and large scale in this paper at first. In architecture the bottom layer is deployed evenly to monitor the information of soil moisture precisely and the cluster head nodes is distributed unevenly based on the number of packet transmitted and the distance to sink to ensure the cluster heads energy consumed balancedly. By the simulation and comparing to the leach-c and leach, it shows that the aims of scarcely deployment, energy-saving, equilibrium of energy consume and prolonging the system lifecycle is achieved.

Key words: Wireless Sensor Networks; deployment architecture; layer; distributed unevenly; equilibrium of energy consume

无线传感器网络是随着无线通信技术和嵌入式计算技术、传感器技术、微机电技术的发展而发展起来的一种新型的信息获取技术。精准农业控制是无线传感器网络潜在的最重要的应用之一。

新疆农产品丰富, 但水资源缺乏, 农业用水主要依赖人工供给, 水资源的合理利用是新疆农业可持续发展的重要条件。为此, 需要大力发展各种节水灌溉技术, 其中按照农作物需求进行的精准灌溉, 是避免水资源浪费和防止作物因水分不足影响生长的前提^[1]。研究利用土壤湿度诊断农作物的水分状

况, 已引起了广泛关注并产生了一些研究成果^[2-4], 但研究尚处于起步阶段。

农田环境湿度监测的任务可以由无线传感器网络来完成, 其无线、自组的优点使该网络能连续、长时间地对农作物生产环境的信息进行监测, 并通过农业决策系统为农业生产操作提供依据。农田湿度监测无线传感网络首先要解决的问题是如何部署传感节点, 它直接影响着网络的准确性、全面性、网络的生存时间以及监测成本等重要性能。合理有效的节点部署方案, 指在满足监测低成本以及农业监测长时间的要求

① 基金项目:新疆高校科研重点项目(XJEDU2008125)

收稿时间:2010-11-01;收到修改稿时间:2010-12-11

下,减少网络的节点数量,保证网络监测覆盖度,控制延长网络的寿命。传统 WSN 不计成本的稠密部署方式,将导致网络成本过高而失去应用性。本文针对新疆农业生产环境提出了农田环境监测无线传感网络的部署方案,为传感器网络在新疆农业工程中的应用提供了前期研究。

1 系统模型和问题陈述

1.1 网络模型

传感器节点分布在长方形(L*W)的监测区域内,现假设网络具有以下性质:

- 1) 监测区域地势平坦,无障碍物;
- 2) 相对于每个节点的感知范围而言,监测区域足够大;
- 3) 节点部署后不再移动,若节点失效影响到网络的监测,则人为更换一批失效节点。
- 4) 节点采用布尔感知模型,每个节点有固定的传感半径 R_s ,其感知范围是以节点为圆心, R_s 为半径的园内。
- 5) 网络是异构的。其中 Sink 节点具有无限能量,可将信息直接发送给监测区域内任一节点;普通传感节点则具有较少的能量,主要进行地表湿度信息的采集并传递给簇头;簇头节点具有比普通节点更高的能量和传输半径,主要进行数据通信。

1.2 问题的描述

新疆农业监测无线传感器网络,其应用具有规模大、成本低、生存时间长等特点,网络的设计需要满足以下条件。

- 1) 预先稀疏部署机制。新疆农业生产成本比较高,随机密集型部署方式会降低无线传感器网络在农业中的可用性。为此应使用预先部署的最优化网络体系结构,以最小的代价满足新疆农业生产监测的应用要求。
- 2) 远程传递。新疆农田监测网络需要将 WSN 采集的农田湿度信息传递到远程数据中心,以便远地或者国外的专家对该农田状况进行分析,并给出正确的操作指令。
- 3) 较长的网络生存时间。新疆农作物生长周期较长,监测网络需要长时间的工作,一般工作周期应该在 4-6 个月。部署网络结构时,应充分考虑节点的能量开销问题,选取网络节点能耗均衡性的算法,同时

网络便于管理和容错处理。

为满足以上条件,本文设计了分层的体系结构,并通过算法分析和仿真结果说明本部署机制满足以上的要求。

2 新疆农田地表湿度WSN的体系结构

较大的规模、较长的生存时间以及低成本是农田生产监测 WSN 网络具有应用价值的前提和基础。若所有节点将监测信息直接通过 GPRS 传递给数据中心,则通信开销太大;而若直接将采集的数据传递给基站 Sink,由 Sink 汇聚,然后利用 GPRS 传递给远程数据中心,则会极大地限制网络的规模和生存时间。基于以上问题,本文设计了异构的分层网络体系结构以满足农田湿度监测的功能需求。将整个监测区域划分为不同的簇(网格),这些簇和物理上的灌溉控制区域相对应,利用传感节点分别获取不同簇的监测信息,以便于在农业专家系统的控制下对每个簇进行单独的灌溉控制。

簇内包括两类节点:簇头节点和普通湿度传感节点。传感节点周期性地采集农田地表湿度信息并发送给簇头;簇头节点融合簇内信息,然后经多跳发送给基站。各簇构成了以簇头为中心的星型网络,形成底层监测网络;而 Sink 与所有簇头构成上层通信网络。

2.1 普通湿度传感节点的部署

监测区域的覆盖是普通湿度传感节点部署的基本依据,也是数据精确采集的基础。基于应用的需求,监测区域内的普通湿度传感节点使用单重覆盖的方式,以满足网络经济性的需求。文献[5-7]均证明,若节点组成正三角形,则可获得最大的无缝覆盖面积。为此,对监测区域 A(L*W)的普通监测传感节点进行如图 1 的配置,图中三角形顶点为普通监测传感节点的位置。传感节点的配置方式,实现了完全的无缝监测,且普通传感器节点的数量可由公式(1)计算:

$$N = \left\lfloor \frac{L}{\sqrt{3}r} \right\rfloor * \left\lfloor \frac{W}{r\sqrt{3}} \right\rfloor \quad (1)$$

其中:L 是传感区域的长度,W 是传感区域的宽度,r 为普通传感节点的传感半径。N 是满足农田监测覆盖性要求所需要的最少普通传感节点的数量。

2.2 簇头节点的部署

上层网络进行监测数据的集成和传递、网络状态的检测和报告。由于监测区域规模大,各簇头距 Sink

的远近不同，如果按照传统的平均分簇协议，由簇头节点直接与 Sink 通信，某些距离较远簇的信号可能根本到达不了 Sink 或者簇头因能量消耗太快而过早死亡。为此，可通过多跳的方式将信息传递给 Sink 节点。数据传递过程中，距离基站较近的簇头节点，不但需要转发本簇信息，还需要转发其它簇信息，其处理的信息流远大于其它簇头。这些节点将比系统中其它簇头更早消耗完能量而死亡，从而影响到系统数据的采集，导致系统的生命周期过早结束。

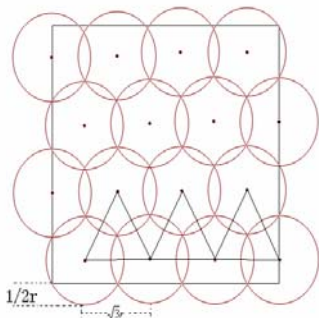


图 1 湿度传感节点的部署

以上问题解决的前提是系统中簇头节点的能量均衡消耗，从而延长网络的生存时间，故此进行了以下的理论推导：

参考文献[8,9]指出了节点通信时的能量消耗模型，模型中定义了节点发送和接收信息的能量消耗公式如(2)、(3)所示：

节点发送信息的能耗 E_t ：

$$E_t = (\beta_1 + \beta' d^2) m \tag{2}$$

节点接收信息时的能耗 E_r ：

$$E_r = \beta_2 m \tag{3}$$

其中， β_1 和 β_2 分别表示节点发送和接收消息过程中单位信息所损耗的能量，其值分别为 50nj/bit ； β' 表示单位信息在单位面积 (m^2) 损耗的能量，其取值为 100Pj/bit/m^2 ； m 表示传递的信息比特数； d 表示信息传输距离。

基于系统模型，假设距 Sink 最远跳数的簇头节点用 n 表示，距离 n 的跳数为 k 的簇头节点用 $n-k$ 表示。则簇头节点 n 和簇头节点 $n-k$ 消耗的总能量分别如式(4)和(5)所示：

$$E_n = E_t + E_r = (\beta_1 + \beta' d_n^2) m_n + \beta_2 m_n \tag{4}$$

$$E_{n-k} = E_t + E_r = (\beta_1 + \beta' d_{n-k}^2) m_{n-k} + \beta_2 m_{n-k} \tag{5}$$

由于节点的能量主要消耗在数据的传送上，为简化节点接收信息的能量暂不考虑。为了保持簇头均衡消耗能量，则应满足 $E_n \approx E_{n-k}$ ，由(4)和(5)可得式(6)：

$$(\beta_1 + \beta' d_n^2) m_n = (\beta_1 + \beta' d_{n-k}^2) m_{n-k} \tag{6}$$

所有数据均向 Sink 方向传递，假设 $n-k$ 簇头节点需要传递的数据为 n 节点的 $(k+1)$ 倍，且定义 n 簇头节点可以最大的通信范围传递数据，其通信距离为 d 。则推导出：

$$d_{n-k} = \sqrt{\frac{d_n^2}{k+1} - \frac{k\beta_1}{(k+1)\beta'}} \approx \frac{\sqrt{k+1}}{k+1} d \tag{7}$$

由公式(7)可计算距离 Sink 节点不同跳数的簇头节点的通信距离，然后根据计算结果按照图 2 进行部署。首先部署距离 Sink 最远的簇头节点，依次按照其通信半径向 Sink 节点处部署不同跳数的簇头，直到簇头节点单重覆盖整个监测区域。

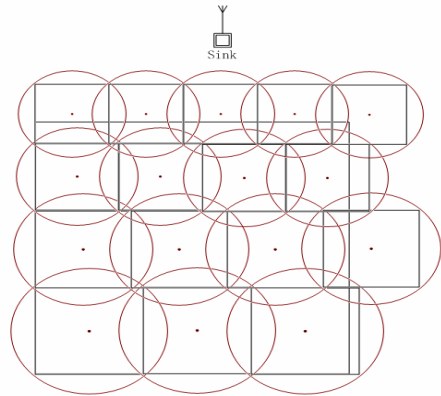


图 2 簇头节点的部署

3 仿真结果及分析

3.1 仿真环境

本文使用 ns-2 工具，仿真模拟了 leach、leach-c 以及本算法（取名为 test），通过仿真结果对算法性能进行评价。评价的参数是系统的能耗和系统的生命周期。其中，系统的能耗是每一轮数据交换系统的总能耗；系统的生命期定义为直到第一个节点失效所经历的时间。

仿真实验在 $500*500\text{m}$ 的范围内进行，传感节点监测范围不同则监测区域部署的节点数不同。表 1 列出了不同湿度传感器传感半径需要部署的节点数。仿

真参数如表 2 所示。

表 1 不同传感半径下需要部署的传感节点数量

传感半径	湿度传感节点	簇头节点数量	节点总数
20m	224	11	235
30m	99	11	110
40m	56	11	67
50m	30	11	41
60m	20	11	31
70m	16	11	27

表 2 仿真参数

参数	值
普通节点的能量	1J
簇头最大传输半径	250m
簇头节点的能量	2J
Sink 节点的位置坐标	(250, 0)
数据流	CBR
控制包的大小	25byte
数据包的大小	512Bytes
MAC 层协议	IEEE802.11

3.2 仿真结果及分析

仿真程序对不同传感半径下的网络进行了模拟测试，每组测试结果进行了 10 次，并对 10 次结果进行了平均。图 3 给出了不同湿度传感节点数与第一个节点死亡时间之间的关系图。从图中可以看出，本算法第一个节点的死亡时间远大于 Leach 和 leach-c。由于仿真范围远大于常规的 100*100m² 的区域，因此，leach 和 leach-c 协议如果使用和本算法相同的节点数，则远不能满足信息的覆盖和通信需求，经过一轮时间就有节点死亡，所以这些算法不能适应大规模监测的需求。本文提出的部署方案采取了补偿机制，使簇头节点间的能量消耗基本均等，避免了某些节点因能量过早耗完而死亡。此外本文的预先部署机制，节点均以最佳位置进行部署，减少了协议的控制开销，降低了 MAC 层的冲突，因此极大地节省了所有节点的能耗。故本算法相对于 Leach-c 和 leach 协议，系统的生存期得到了极大的提高。

由于使用 leach 和 leach-c 协议，节点数 100 以下时，系统几乎不能运转；而部署 235 个节点，监测成

本又太高，所以本文给出了 110 个节点环境下，三个协议在不同时间消耗的能量关系图图 4。从图 4 的实验结果可以看出，由于本文使用了预先部署机制，减少了簇头节点竞争所消耗的能量、普通节点加入簇的能量，以及普通节点加入簇的控制信息引起冲突导致的无效能量耗费。所以与 Leach-c 和 leach 协议相比，节点的总能耗得到了大幅度的降低。

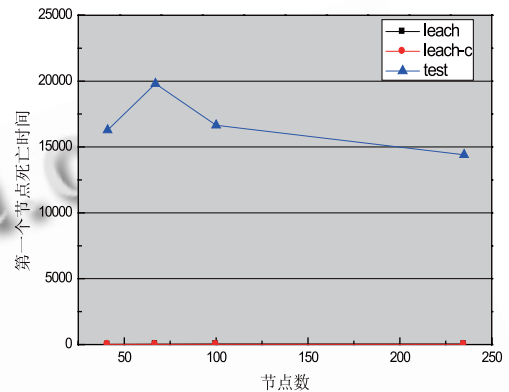


图 3 不同节点数第一个节点的死亡时间

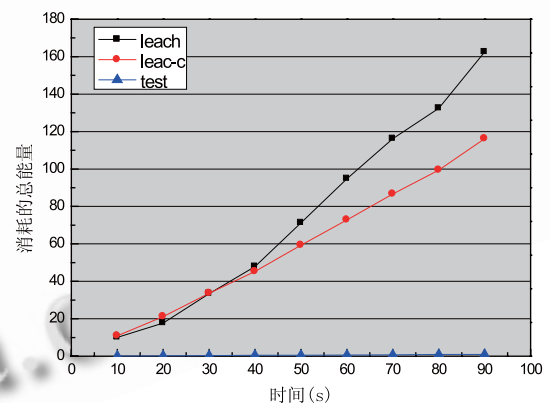


图 4 100 个节点不同时间消耗能量

以上实验结果证明了本文中提出的算法能够更加有效地利用节点的能量，提高系统的生存期，能够适应大规模网络监控的功能需求。

4 结论

本文针对新疆农业生产监测的特点和需求，为解决农业生产监测的规模、生存时间等问题，提出了一个异构的分层预先部署机制。在该机制中，均匀分布的传感器节点组成的底层网络负责进行环境的监测，非均匀分布的簇头节点组成的高层网络进行数据传递。与一般 WSN 相比，本文构建的网络体系结构有如下特点：预

先部署稀疏网络结构,能够以最少的节点、最佳的部署方案监测信息以及传递信息,WSN 网络的成本最低;非均匀部署的簇头结构,保证簇头节点间能量消耗的均衡性,降低人工替换簇头结点的次数,解决了网络中能量均衡问题,有效地延长了网络的生存时间;簇头结点未以最大通信半径进行数据传递,存在一定的能量冗余,有利于网络容错性机制的实施,保证网络数据传输的可靠性。仿真实验结果表明,该机制与均匀分布的部署方案相比,在降低网络节点数的同时,降低了网络的能耗,提高了网络的生存时间。

参考文献

- 1 康绍忠,蔡焕杰,冯绍元.现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点.农业工程学报,2004,20(1):1-6.
- 2 汪耀富,蔡寒玉,李进平,等.不同供水条件下土壤水分与烤烟蒸腾耗水的关系.农业工程学报,2007,23(1):19-23.
- 3 张利琼等.无线传感器网络在农业生产中的应用.现代农业科学,2008,15(3):49-53.
- 4 冯友兵,张荣标,沈敏,等.面向精确灌溉的无线传感器网络构建.农业机械学报,2009,40(1):56-59.
- 5 Wang XQ, Yang YT, Zhang ZL. A virtual rhomb grid-based movement-assisted sensor deployment algorithm in wireless sensor networks. Proc. of the First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences (IMSCCS2006). Hangzhou, China: IEEE Computer Society, 2006.491-495.
- 6 Wang XQ, Yang YT, Song YB. ϵ -redundant movement-assisted sensor deployment based on virtual rhomb grid in wireless sensor networks. Proc. of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2006). Luoyang, China: IEEE 2006.775-779.
- 7 Zhang H, Hou JC. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks. Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, 2005,1(1-2):89-124.
- 8 Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless Microsensor networks. Proc. of the 33rd Hawaii International Conference on Systems Science. Hawaii, USA, 2000.3005-3014.
- 9 Manish B, Timothy G, Anamha PC. Upper bounds on the lifetime of sensor networks. Proc. of IEEE International Conference on Communication. Hangzhou, China: IEEE Computer Society, vol.3, Helsinki, Finland, June 2001. 785-790.

(上接第 89 页)

5 结语

本文针对 MapInfo 电子地图的特点,研究了一种通用的电子地图分块拓扑结构求取方法,文中详细阐述了使用拓扑分块方法求取最优路径算法,实际测试表明该算法在路径寻优中可以只读取一部分拓扑数据,大大的节省内存占用开销,对于研究嵌入式系统海量电子地图的路径寻优具有一定的参考价值。

参考文献

- 1 王小国,王庆,万德钧.基于物理统一存储大规模数字导航地图道路网拓扑自动生成算法.中国惯性技术,2009,17.
- 2 王宏勇,卢战伟.嵌入式 GIS 最短路径分析中 Dijkstra 法改进.测绘学院学报,2005,22.
- 3 付梦印,李杰,邓志红.限制搜索区域的距离最短路径规划算法.北京理工大学学报,2004,24.
- 4 陆锋,卢冬梅,崔伟宏.道路网络限制搜索区域时间最短路径算法.中国图象图形学报,1999,4.
- 5 陈和平,黎小琴,顾进广,陈彬,沈磊.基于矢量地图数据的路径规划算法研究.计算机工程与应用,2010,46.
- 6 刘浩,鲍远律.A*算法在矢量地图最优路径搜索中的应用.计算机仿真,2008,4.