

面向智慧农业的无线传感器路由协议和节点定位算法研究

党存禄^{1,2,3}, 胥莎莎¹

(1. 兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 兰州 730050; 2. 甘肃省工业过程先进控制重点实验室, 兰州 730050; 3. 兰州理工大学 电气与控制工程国家级实验教学示范中心, 兰州 730050)

摘要: 随着人类社会的进步, 物联网技术, 云计算, 区块链, 大数据等先进的技术给人类社会的各个方面带来了翻天覆地的改变, 为了实现农业生产状态的智慧化, 无人化管理, 基于无线传感器网络技术的农业无线监控系统研究将从无线监控系统的路由协议算法和节点定位算法两方面进行探讨研究; 在路由协议算法方面提出了基于划分四边形网格分簇的拓扑控制算法, 并从网络拓扑结构, 节点死亡、能量消耗三方面和 LEACH 算法进行对比, 从仿真结果可以看出, 基于划分四边形网络分簇的算法比 LEACH 算法性能更优; 节点定位算法方面提出基于临时锚节点逐步定位算法, 对节点定位算法从不同节点的邻居节点图和节点误差两方面做对比, 仿真对比的结果表明农田面积为 $1000\text{ m} \times 1000\text{ m}$, 锚节点为 50, 传感器的数量为 200 时, 网络连通性最大, 节点定位误差最小, 构建的无线监控系统适合于农田, 温室大棚等农业应用。

关键词: 智慧农业; 无线传感器网络; 路由协议; 节点定位

Research on Wireless Sensor Routing Protocol and Node Location Algorithm for Intelligent Agriculture

Dang Cunlu^{1,2,3}, Xu Shasha¹

1 (College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Gansu Provincial Key Laboratory of Advanced Control for Industrial Processes, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 3. State Demonstration Center for Experimental Electrical and Control Engineering Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: With the progress of human society, the Internet of things technology, cloud computing, chain blocks, big data and other advanced technology to all aspects of the human society has brought a proud forte changes, in order to realize the wisdom of the agricultural production status, unmanned management, agricultural wireless monitoring system based on wireless sensor network technology research will be from two aspects: the routing protocol of wireless monitoring system algorithm and the node localization algorithm carries on the discussion. In the aspect of routing protocol algorithm, a topology control algorithm based on quadrilateral grid clustering is proposed, and the network topology, node death and energy consumption are compared with the LEACH algorithm. From the simulation results, it can be seen that the algorithm based on quadrilateral network clustering has better performance than the LEACH algorithm. Temporary anchor node localization algorithm based on node localization algorithm, step by step from different node to node localization algorithm of neighbor nodes and node error comparing two aspects, the results of the comparison of simulation indicate that farmland area is $1000\text{ m} \times 1000\text{ m}$, the anchor nodes to 50, the number of sensors is 200, network connectivity, the largest node positioning error minimum, build a wireless monitoring system for farmland, greenhouses and agricultural uses.

Keywords: intelligent agriculture; wireless sensor network; routing protocol; node location

0 引言

随着网络技术的发展, 我国的农业也开始向精细化, 精准, 智能, 无人监测的方向发展, 提高了农产品产业链

的生产效率, 推动了农产业链的改造升级^[1], 智慧农业依据物联网技术, 大数据以及云计算等现代网络技术, 对农业生产环境的数据进行智能化感知, 然后对收集的数据进行分析, 从而实现农业的精准化管理^[2-3]。

无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks) 是由由多个采集数据的传感器节点组网而成, 这些部署在监测区域的传感器节点能够采集, 感知, 处理监测对象的数据信息, 这个网络由传感器普通节点, 簇头节点, 基站, 通信网络, 任务管理节点等组成。无线传感器网络在农业引用领域有很大的应用发展空间, 通过 WSNs 可以实现远程监控, 无需人工看守, WSNs 可以监视农作物水分, 光照强

收稿日期: 2018-08-28; 修回日期: 2018-09-26。

基金项目: 甘肃省住房和城乡建设厅 2018 年建设科技项目基金 (JK2018-21)。

作者简介: 党存禄 (1964-), 男, 甘肃兰州人, 教授, 硕导, 主要从事工业自动化方向的研究。

通讯作者: 胥莎莎 (1993-), 女, 甘肃天水人, 硕士生, 主要从事物联网方向的研究。

度和土壤空气等情况,来实现精细,精准化的管理。无线传感器网络的关键技术有网络拓扑结构、网络协议、时钟同步技术、数据融合技术、网络覆盖和网络规划、定位技术,网络安全技术^[4]。本文着重对面向农业无线监控系统中无线传感器网络的路由协议和节点定位技术进行研究。文献 [5] 改进了 LEACH 算法的不足,选举簇头节点时考虑了簇头节点的情况,但是只考虑了同构网络。文献 [6] 提出各节点通过剩余能量来竞争簇头,并通过此簇头将全网的数据融合发送给汇聚节点。并没有考虑划分网格来在每个网格内生成簇头。文献 [7-8] 给出了无线传感器网络在智慧城市和风机监测系统的具体引用,包括节点布置,路由协议的选择,可以供无线监测系统的构建做思考。智慧农业中考虑节点定位的算法很少,本文提出基于临时锚节点逐步定位算法,考虑了实际农田或者温室大棚中节点非均匀随机部署,降低节点部署成本和部署节点轻巧微型化等要求。

1 智慧农业的实际应用

智慧农业要求监测系统具有实时监控,智能化数据传输和管理能力。基于智慧农业的无线传感器网络需要采集农业监测的各种数据,比如土壤的湿度和温度,二氧化碳的浓度,周边环境的温度及湿度变量。无线传感器网络对传感器采集的这些数据利用一定的路由算法传输给基站,基站将数据转发给网关,网关发送数据给后台,后台对数据进行分析,判断,然后产生其作用^[9]。

以农田种植为例,智慧农业监控系统需要对农田的各类传感器节点进行部署,以及对大面积数量的传感器进行组网。然后通过一定的路由算法进行数据采集传输,对农田内的作物生长状态可以进行视频监控。传感器采集普通数据和视频数据可以周期性的传输到数据库中,有专门的 Web 来提供登录界面,农户可以足不出户的进行农作物生长状态查询。专家可以通过数据来进行技术指导,智慧农业还可以应用在温室大棚,水产养殖等方面。

2 无线传感器网络路由协议设计

随着科技和社会的飞速进步,无线传感器网络技术已经成为通信行业的重要部分,为了满足时代发展的要求,怎样提高无线传感器网络路由协议的工作效率,延长它的使用周期,让资源高效利用成了重要的探讨研究部分。路由协议法则将源节点信息发送到目的节点,包括源节点的寻找和节点间的路径优化两个方面,根据路由协议的设计要求,通常要满足的要求^[10]:能量高效、数据传输路径最优,簇头支持数据融合。

2.1 基于划分四边形网格分簇的拓扑控制算法

基于划分四边形网格分簇的拓扑控制算法(TCA-VGC),是针对 LEACH 算法缺点而改进的控制算法。此算法在监控区域内划分了四边形的虚拟网格,让每个单元内运行成簇算法,在每个单元格独立成簇,从而降低整个网络能量损耗。

(1) TCA-VGC 算法采用如下的能量模型。

d 为两个传感器节点间的距离,能量消耗是自由空间模型的要求:通信距离 $d < d_0$,发送数据的能量消耗与 d^4 成正比;能量消耗是多路径衰减模型^[11]的要求:通信距离 $d \geq d_0$,发送数据的能量消耗与 d^4 成正比。两个节点间每传送 l bit 数据要消耗的能量如下所示:

$$E_{Tx}(l,d) = lE_{dec} + lE_{fs} * d^2 \quad d < d_0 \quad (1)$$

$$E_{Tx}(l,d) = lE_{dec} + lE_{mp} * d^4 \quad d \geq d_0 \quad (2)$$

其中 $l * E_{dec}$ 是数据进行编码,解码,调制等过程需要的能量, E_{fs} 和 E_{mp} 两种功率模型下能量的消耗, d_0 为自由空间模型下的通信最大半径,且:

$$d = \sqrt{f^2 + g^2} \quad (3)$$

其中 $f = n_{-}(i).xd - \text{sink}.x$,

$g = n_{-}(i).yd - \text{sink}.y$, d 表示节点 i 与 sink 节点之间的距离, $n_{-}(i).xd$ 和 $n_{-}(i).yd$ 分别为节点的横坐标和纵坐标, $\text{sink}.x$ 和 $\text{sink}.y$ 表示 sink 节点的横坐标和纵坐标。

(2) TCA-VGC 算法的实现过程。

第一阶段:虚拟网格的生成。在该阶段,在边长 r 满足一定的前提条件下,将整个无线传感器网络区域划分为多个 $r * r$ 虚拟四边形网格单元,要求相邻网格单元内的任意节点都可以一跳来直接通信,其中 R 为传感器节点的最大通信半径, r 为虚拟网格单元的边长。当满足(4)式时,两个相邻的网格单元的任意节点均能通过一跳或多跳直接通信。

$$(2r)^2 + (2r)^2 \leq R^2 \Leftrightarrow r \leq R/(2\sqrt{2}) \quad (4)$$

第二阶段:虚拟单元网格内节点的统计。此阶段,节点按自己地理位置信息加入虚拟四边形单元格,并向邻近的节点广播消息,发送自己的节点及所在单元格节点状态信息。在同一网格内的节点接收到消息后,回复自身节点的信息,并记录广播消息的节点信息,否则删除此消息。这个过程完成后,每个节点都有了在同一网格里的其他节点信息。

第三阶段:建立虚拟四边形网格和形成簇头节点。此阶段中,按成簇算法来选择簇头,每次生成的簇头都是剩余能量最多的节点。

$E_{n_{-}(i)}$, $E_{initial}$ 为节点的剩余能量和初始能量。

令:

$$Po_{-}(i) = \frac{E_{n_{-}(i)}}{E_{initial}} \quad (5)$$

为节点被选择为簇头的概率。 $Po_{-}(i)$ 的值越大,表明节点成为簇头的几率就越高,这样就能让能量多的节点选为簇头节点,避免了能量低的节点,因为被选为簇头节点而能量快速消耗完全的情况。

第四阶段:此阶段为拓扑生成和数据传送。选用最短的路径来转发数据,这样当整个网络的拓扑结构形成之后,每个节点到簇头都有最优的路径,整个网络也为最优路径的拓扑网络,然后为数据的采集和发送,节点发送信息给簇头,簇头将信息融合后发送给下一级信息处理点。

2.2 仿真环境

仿真实验通过 MATLAB2016a 完成对无线传感器监测

网络的性能仿真, 将 LEACH 算法与 TCA-VGC 算法分别从形成的网络拓扑结构, 节点死亡、能量消耗三方面进行对比。

2.2.1 网络拓扑结构仿真

将仿真目标设置为 $1\ 000 \times 1\ 000$, 节点数为 500。如图 1 所示, * 为簇头节点, 由于 LEACH 的成簇算法是随机的, 节点成簇均是在任意地方随机的成簇, 会造成拓扑结构的随机性形成, 所以其拓扑结构是不稳定的。如图 2 所示, 在使用划分四边形虚拟网格路由算法后, 每个网格会生成一个或是多个簇头节点, 这类簇头节点将自己网格内的节点数据, 发个下一级高级节点。TCA-VGC 算法将监测区域划分为多个四边形网格并在网格内运行成簇算法, 算法的变化范围只在小网格内, 所以算法得到的网络拓扑结构是稳定的。

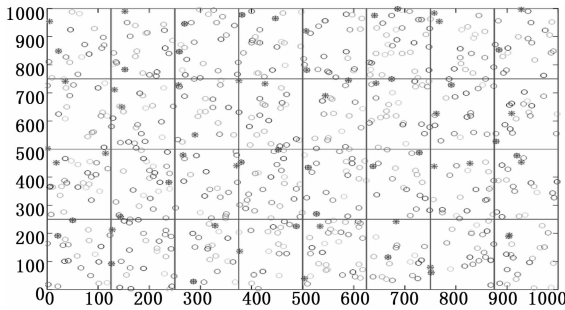


图 1 LEACH 算法 node=500 S=1000 * 1000 拓扑结构图

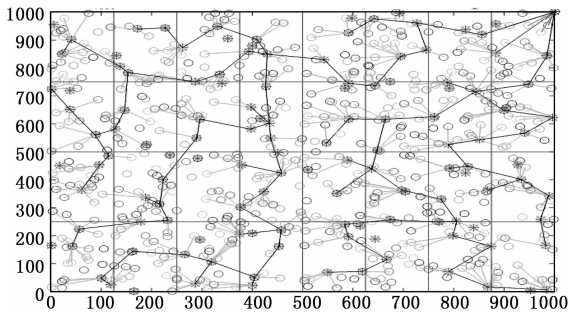


图 2 TCA-VGC 算法在 node=500 时形成的网络结构

2.2.2 节点死亡数量与时间的关系

将节点的数量定 100, 时间轮数定为 2 000, 来对两种算法进行比较, 由图 3 可以看出在 400 轮时, 两种算法死亡节点开始拉开差距, 并且随着时间的推移, LEACH 算法的死亡节点急剧增多, 系统死亡节点越多系统越容易陷入瘫痪状态。TCA-VGC 算法竞争簇头时, 每个周期的簇头都是能量最多的, 死亡节点减少, 保证了簇内各节点的数量, 所以 TCA-VGC 算法死亡节点相对少。

2.2.3 能量消耗与时间的关系

将节点的数量定为 100, 时间轮数定为 2 000, 由图 4 可以看出, 在整个仿真中 TCA-VGC 算法能量消耗的少, TCA-VGC 算法用节点的剩余能量作为选择簇头的依据, 这样避免了监测系统能量的不均衡的情况。

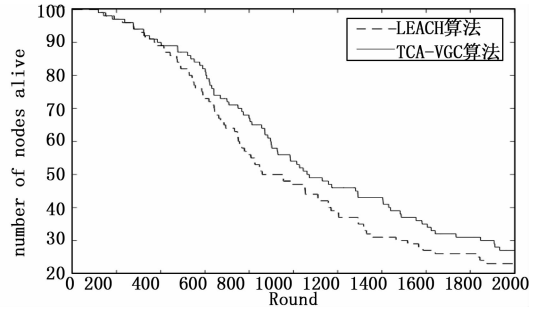


图 3 LEACH 和 TCA-VGC 算法死亡节点数量对比

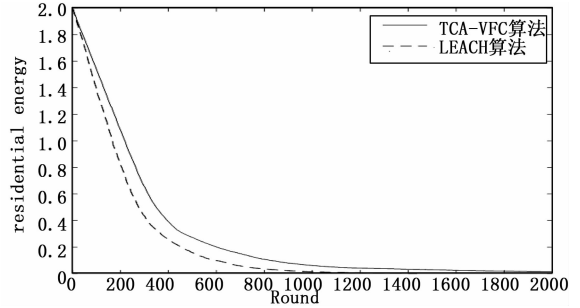


图 4 两种算法节点能量消耗与时间关系

3 无线传感器网络定位技术

节点定位技术在无线传感器网络中有着很重要的作用, 让每一个传感器节点都能报告自己的位置是最好的, 但是目前现状是给每一个传感器加装 GPS 定位装置的成本是非常高的, 所以只能给一部分节点加装 GPS 定位。而怎么能少量的加装 GPS 的节点能够实现全局定位, 成了我们探讨的重点。无线传感器节点定位中, 节点通常分为两类, 一类是安装有 GPS 位置信息已知的锚节点, 一类是位置不清楚的普通节点。

3.1 三边测量法

三边测量法属于基于距离的的节点定位算法, 图中锚节点 B、C、D 的坐标位置可以分别表示为 (x_B, y_B) 、 (x_C, y_C) 和 (x_D, y_D) , 并且与未知节点 A 之间的距离分别为 d_{AB} 、 d_{AC} 和 d_{AD} , 未知节点 A 的坐标为 (x, y) 则有:

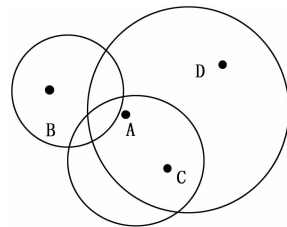


图 5 三边测量法

$$\begin{cases} (x_B - x)^2 + (y_B - y)^2 = d_{AB}^2 \\ (x_C - x)^2 + (y_C - y)^2 = d_{AC}^2 \\ (x_D - x)^2 + (y_D - y)^2 = d_{AD}^2 \end{cases} \quad (6)$$

由上式可以解得, 普通节点 A 的坐标为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4(x_B - x_D)(y_B - y_D) \\ 4(x_C - x_D)(y_C - y_D) \end{bmatrix}^{-1} * A \quad (7)$$

其中：

$$A = \begin{bmatrix} x_B^2 - x_D^2 + y_B^2 - y_D^2 + d_{AB}^2 - d_{AD}^2 \\ x_C^2 - x_D^2 + y_C^2 - y_D^2 + d_{AC}^2 - d_{AD}^2 \end{bmatrix}$$

三边测量法利用三个节点就可计算未知节点，计算简单。

3.2 基于临时锚节点逐步定位算法介绍及工作流程

本章设计的基于 WSN 的面向智慧农业节点定位算法中，考虑到一般的农田等地理环境的要求，系统节点选择随机不均匀部署。在设计过程中还要考虑节点部署成本，部署节点轻巧微型化等要求，只能允许一部分节点带有 GPS 定位装置，这部分节点被称为锚节点。这些锚节点非均匀分布在不同的监控区域。本文提出的基于临时锚节点逐步定位全网的定位算法，利用部分普通节点，作为临时锚节点，利用临时锚节点来协助锚节点工作具体流程如下：

(1) 节点通电正常运行后，自带 GPS 的锚节点开始广播信息，包括地理位置坐标，节点 ID，最大洪泛次数 TTL，监测区域内接收到广播的普通节点根据广播信息利用三边测量法可定位自己的地理位置。

(2) 锚节点信息洪泛完毕后，接收锚节点洪泛信息的普通节点计算自身位置，成为临时锚节点。

(3) 初次定位完成后，锚节点和普通节点继续重复操作 (1)，直至全网的定位完成，节点定位工作完成。

3.3 仿真模拟

为了验证本文设计的节点定位算法在农业生产中的性能，在 matlab2016a 上仿真测试，假设选取的生产区域都是长宽均为 1 000 * 1 000 的正方形区域，为了节约成本，其中锚节点要求为 50，找出最优的普通节点部署，让定位误差最优。下面分别从邻居关系图，定位误差两个方面来对节点分别为 100，200，400 的节点来做对比。

3.3.1 监测区域不同节点对比图邻居节点关系图

在无线传感器网络节点定位中，临近锚节点数目的多少一定程度上决定了节点定位的精确程度。仿真场景中的邻居节点关系图反映了未知节点与锚节点间相互通信关系，是一个能够大致反映节点定位精度的图。图 6 的 (1) (2) (3) 所示总节点分别为 100，200，400，其中 50 个锚节点的邻居关系图。* 表示锚节点，O 表示普通节点，线表示锚节点与普通节点间的通信关系。

图 6 中 (1) 总节点为 100：，网络的平均连通度为：9.9 网络的邻居锚节点平均数目为：4.98。每个未知节点平均能够接收到 4.98 个锚节点的地理信息广播，能够与邻居的 9.9 个节点收发数据。

图 6 中 (2) 总节点为 200：网络的平均连通为：20.47 网络的邻居锚节点平均数为：5.32。每个未知节点平均能够接收到 5.32 个锚节点的地理信息广播，能够与邻居的 20.47 个节点收发数据。

图 6 中 (3) 总节点为 400：网络的平均连通度为：43.03 网络的邻居锚节点平均数目为：5.4 每个未知节点平均能够接收到 5.4 个锚节点的地理信息广播，能够与邻居

的 43.03 个节点收发数据。

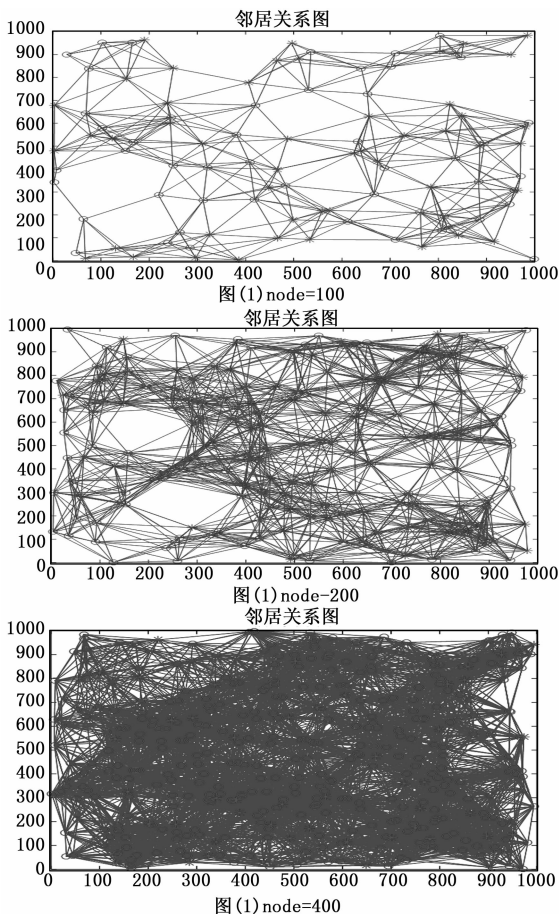


图 6 不同节点的邻居关系图

3.3.2 不同普通节点定位误差对比图

同一场景普通节点数不同时仿真得出的定位误差如图 7 所示：一表示未知节点的定位误差是未知节点的计算位置和实际部署位置之间的连线，也就是定位误差。

图 7 中 (1) 节点总数 100 时，定位的误差为 0.110 43。图 7 中 (2) 节点总数为 200 时，定位误差为 0.040 939。图 7 中 (3) 节点总数为 400 时，定位误差为 0.044 867。总的来说，节点定位误差都在可接受范围内，设计的节点定位算法能够对全网节点实现精确的定位，但是如果要是算法性能更优，选择布置总结点数为 200，网络的平均连通性越好，定位误差是最小的。

4 结论

智慧农业是我国农业现代化的一种奋斗目标。文章从无线监控系统的路由协议和节点定位算法两个方面来进行研究，结果表明基于划分四边形网格分簇的拓扑控制算法不管应用在农田无线监测系统还是温室大棚无线监测系统，都有良好的使用性能。基于临时锚节点逐步定位算法在节点数为 200，其中锚节点为 50 时，节点定位误差最小，但是从邻居关系图看出节点越多，这种算法的连通性越好^[12-19]。

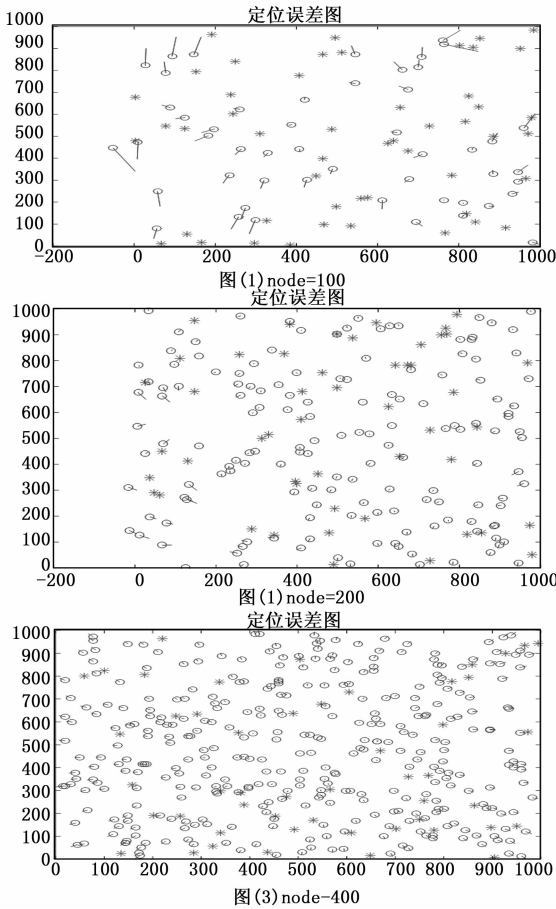


图 7 3 种不同节点定位误差图

参考文献:

[1] 王 丽. 智慧农业背景下农业全产业链发展路径探索 [J]. 农业经济, 2018 (4): 6-8.
 [2] Braginsky D, Estrin D. Rumor routing algorithm in sensor network [A]. ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, WSNA 2002 [C]. Atlanta, Georgia, USA. DBLP, 2002: 22-31.
 [3] Hedetniemi S M, Hedetniemi S T, Liestman A L. A survey of gossiping and broadcasting in communication networks [J]. Networks, 2010, 18 (4): 319-349.
 [4] 崔 莉, 鞠海玲, 苗 勇, 等. 无线传感器网络研究进展 [J]. 计算机研究与发展, 2005, 42 (1): 163-174.

(上接第 287 页)

参考文献:

[1] 梁 琛, 王 鹏, 韩肖清, 等. 基于间歇性风速的风力发电机功率输出模型研究 [J]. 电网技术, 2017, 41 (5): 1369-1375.
 [2] 文 阳, 周步祥, 王 慧, 等. 基于大规模风光互补的发电侧可调节鲁棒优化调度策略 [J]. 电测与仪表, 2017, 54 (5): 9-15.
 [3] 邹保平, 黄文思, 张文晋, 等. 基于广义回归神经网络的电网信息系统日志数据分析技术研究 [J]. 电子设计工程, 2017,

[5] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2002: 660-670.
 [6] Younis O, Fahmy S. HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3 (4): 366-379.
 [7] 戴世瑾, 李乐民. 高能量有效性的无线传感器网络数据收集和路由协议 [J]. 电子学报, 2010, 38 (10): 2336-2341.
 [8] 傅质馨, 骆 阳, 丁国荣, 等. 风电机组无线监控系统的构建方法 [J]. 电力自动化设备, 2018 (1): 26-32.
 [9] 张博文. 基于物联网的智慧农业监控系统研究 [D]. 荆州: 长江大学, 2017.
 [10] 蒋畅江, 向 敏. 无线传感器网络: 路由协议与数据管理 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
 [11] 蒋 阳, 孙柳林, 敖文钧, 等. WSN 中 LEACH 路由协议簇头数优化研究 [J]. 计算机应用研究, 2010, 27 (11): 4251-4253.
 [12] Kikuchi H, Iseki F, Kim M W. Development of University Network based on Wireless Ubiquitous Network [A]. The International Conference on Advanced Communication Technology [C]. IEEE, 2007: 189-194.
 [13] 陈 群. ZigBee 技术在室内定位中的应用研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2012.
 [14] Wang N, Zhang N, Wang M. Wireless sensors in agriculture and food industry — recent development and future perspective. [J]. Computers & Electronics in Agriculture, 2006, 50 (1): 1-14.
 [15] Bai X, Yun Z, Xuan D, et al. Optimal Patterns for Four-Connectivity and Full Coverage in Wireless Sensor Networks. [J]. IEEE Trans Mobile Comput, 2010, 9 (3): 435-448.
 [16] Wattenhofer R, Zollinger A. XTC: a practical topology control algorithm for ad-hoc networks [A]. Parallel and Distributed Processing Symposium [C]. 2003: 216.
 [17] 周智勇, 陈 晖, 王海涛, 等. 基于蚁群算法和能耗均衡的改进 LEACH 协议 [J]. 通信技术, 2016, 49 (4): 446-451.
 [18] 陈 静. 面向森林火灾监测的无线传感器网络定位算法的研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
 [19] 张金金. WSN 网络拓扑发现及节点定位算法设计与实现 [D]. 西安: 西安工业大学, 2016.
 [4] 徐建中, 王纯旭. 产业自主创新能力的自适应遗传算法组合评价 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2016, 37 (10): 1460-1466.
 [5] 胡佳琳, 张 炜, 操丹丹, 等. 基于模糊理论的电力系统健康状况的研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44 (13): 61-66.
 [6] 文传军, 詹永照. 基于样本模糊隶属度归 n 化约束的松弛模糊 C 均值聚类算法 [J]. 科学技术与工程, 2017 (36).
 [7] 段在鹏, 钱新明, 王如君. 基于隶属度权重的化工园区供电工程模糊综合评价 [J]. 安全与环境学报, 2016, 16 (2): 40-44.