

面向物联网的无线传感器 网络异构组网技术研究

杨菲¹, 陈益能^{2,3}, 丁德红^{2,3}

(1. 珠海城市职业技术学院 电子信息工程学院, 广东 珠海 519090;

2. 贺州学院 计算机科学与信息工程学院, 广西 贺州 542899; 3. 湖南农业大学 信息科学技术学院, 湖南 长沙 410128)

摘要:组网技术是实现大规模 WSNs 网络的基础之一,网络模型和节点位置部署是研究 WSNs 组网的重要内容.针对大规模无线传感器网络的特性,在研究和分析 WSNs 网络结构和物联网需求的基础上,结合 Star 模型和 Mesh 模型的优点,提出了一种面向物联网的 WSNs 新型网络模型;同时,结合密度优先原则和邻节点信息思想对 RDF 算法进行改进,提出了适合大规模 WSNs 的网络节点部署的 NDF 算法,其节省了网络能量、延长了网络寿命.试验表明:通过新型组网模型和 NDF 算法组建面向物联网的大规模 WSNs 网络,能够实时、精确的监测和采集测量数据,在节省了网络能量的同时也提高了网络数据的准确度.

关键词: WSNs; 组网; NDF 算法; 异构节点; 物联网

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2015)01-0087-05

Heterogeneous networking technology research on wireless sensor networks in Internet of Things

Yang Fei¹, Chen Yineng^{2,3}, Ding Dehong^{2,3}

(1. College of Electronic and Information Engineering, Zhu Hai City Polytechnic, Zhuhai 519090, China;

2. School of Computer Sciences & Information Technology, Hezhou University, Hezhou 542899, China;

3. School of Information & Science Technology, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China)

Abstract: Networking technology is one of the foundations to the large-scale WSNs. Network model and node location deployment is an important part of networking in WSNs. According to the characteristics of the large-scale WSNs and the analysis in IoT needs, a new type of network model suitable was presented which combined the advantages of Star model and Mesh model. In the meantime after the improvement in the RDF algorithm through united density priority with neighbor information, the NDF algorithm that suitable for network node deployment to large-scale WSNs was presented which would be saved and prolonged the network life-time. Tests showed that through the new network model and NDF algorithm to form a large-scale WSNs networks for the IoT, complete real-time monitoring and accurately data acquisition, and that to achieve the requirements on rapid and accurate data.

Keywords: WSNs; networking; the NDF algorithm; heterogeneous node; Internet of Things (IoT)

物联网(Internet of Things, IoT)借助互联网实现物品(商品)的自动识别和信息的互联与共享^[1]. 其在融合了网络技术、信息技术、RFID 技术的同时,引入了无线传感器网络技术,使 M2M 型物联网得以迅速发

展. 无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)是物联网底层网络的重要技术,被美国商业周刊列为21世纪最有影响的改变世界的十大技术之一^[2]. 其由部署在监测区域内传感器节点通过无线通信的方式形成的一个多跳自组织网络系统^[3],可以实现数据收集、监控报警、目标跟踪等多种功能. 随着WSNs技术的发展,WSNs可以在任何时间、任何地点、任何环境条件下获取人们所需信息,为物联网的迅速发展奠定了基础^[4].

在面向物联网的大规模WSNs网络中,组网方式是有效实现WSNs的基础. 伴随着WSNs研究的不断深入,WSNs的组网技术的研究也得到了长足的发展,各科研单位以及研究中心对组网技术的研究颇多. 典型的ZigBee无线传感器的组网网络采用树型结构^[5]. 而在聚簇结构的基础上,还出现了节能的动态树型结构^[6-7]. ITU-T的泛在传感网(USN)高层框架^[8]的提出和国际标准化组织对异构网络部署的支持,异构网络部署逐步得到广泛应用,欧洲电信标准化协会M2M技术委员会于2009年提出了一个简单的M2M物联网异构网络部署架构^[9]. 网络寿命和能量消耗是异构网络部署的重点和难点之一,这也是大部分多sink异构节点部署的主要研究方向和目的. Foss和Zuyev提出了适用于绝大多数网络的普通和异构这2种节点的通用能量消耗模型,绝大部分能耗模型都是根据他们的模型建立的^[10]. Y. GU根据多sink节点能量分布和消耗情况,研究了其动态特性,通过动态移动sink节点的位置来延长网络寿命^[11].

然而WANs组网方式仍然具有一定的局限性,组网技术的瓶颈问题尚未解决,很少有结合物联网的实际情况从多方面对规模化的组网技术进行研究,而且也没有充分考虑WSNs组网在实际应用中面临的诸多困难等. 本文在研究WANs组网方式及其技术的基础上,提出新型组网类型,同时将密度优先原则和邻节点信息思想相结合提出了NDF算法,通过试验表明此组网方式有效节省了网络能量、实现了物联网对数据高精确的要求.

1 组网类型

1.1 网络结构概述

网络体系结构是WSNs组网的首要难题之一,其包括了物理拓扑结构、网络的互连方式、协议层次等关键技术. ZigBee技术是一种面向无线控制和自动化的低速率、低功耗、低价格的无线网络方案. 在一个具体的ZigBee网络中,有3种不同逻辑类型的设备:路由器(ZR)、协调器(ZC)和终端设备(ZED). 这3种逻辑设备构成WSNs的拓扑.

ZigBee网络层支持3种拓扑结构:星形结构(Star),簇树形结构(Cluster Tree)和网状结构(Mesh). Star网络结构中,中心节点是所有节点的通信中心,其负责监听所有节点的数据报文并转发给对应的节点. Mesh网络结构通过多跳的方式可以将增加无线链路的覆盖范围,总体上说是一种有效的数据路由转发方式. 而且Mesh网络的路由协议都具备“自愈”的特性,这一特性保障了网络的稳定性. 在Mesh网络中,无线信号不需要其他设备的转发,任意2个设备通过无线信号能够直接通信.

1.2 面向物联网的新型组网模型

目前的WSNs架构通常是众多不同类型网络互联,从而使组网变得复杂,同时增加了数据融合与共享的难度. 而随着近几年物联网技术在各个领域的广泛应用,对WSNs的组网要求进一步加高,需要一种更加合理的网络架构来支持大规模网络的部署. 针对物联网需求下的大规模WSNs网络,其网络区域内相邻环境相近,采集节点部署稀疏且距离可能大于最大通信距离,Mesh结构比较适合于物联网的应用. 为了满足组网要求中的跳数不应超过最大跳数,可以采用Star网络的思想,把WSNs网关部署在区域网络的中间,而周围节点则通过多跳方式到达网关,如图1所示. 其中的转发节点只是负责转发数据,保证二端可靠性的同时,减少采集节点的数量而减少成本.

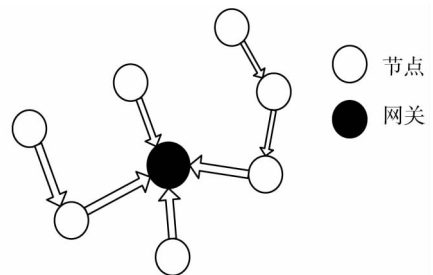


图1 改进后的组网模型

2 异构节点位置部署算法 - NDF 算法

在大规模 WSNs 组网中,异构节点的位置部署直接影响着整个网络的数据转发、数据精确度、能量消耗、网络寿命等网络能力.刘强等^[12]采用优先选择密度大的区域部署 sink 节点的思想提出了 RDF 算法.该算法快速简便,对减少能量消耗、延长网络寿命有一定的作用.但在同时存在多个 sink 节点部署的情况下,RDF 算法无法确定最优 sink 节点部署的位置.为了快速部署 WSNs 网络最优 sink 节点,本文结合邻节点信息思想对 RDF 算法进行改进,提出 NDF(Neighbors Density First)算法.改进后的算法不仅保存了 RDF 算法快速简便、延长网络寿命的特点,并且节省了整个 WSNs 网络的数据转发的能量,避免出现能量空洞,从而确保了数据转发的精确度.

2.1 算法的基本思想

将分布有传感器节点的区域看作为一个矩形,该矩形区域平均划分成 4 个象限,象限的 0 点即为矩形的中心.然后在该矩形区域用大小相等的方形小栅格对其进行划分,精确度可以控制栅格的大小来确定.以栅格对角为直径 R 做圆,即此半径为 $R/2$ 的圆盘表示 sink 节点的通信范围. n_s :表示一个象限中所有的 sink 节点个数, n_i :表示落在一个 sink 节点通信范围内的传感器节点个数.如图 2 所示.

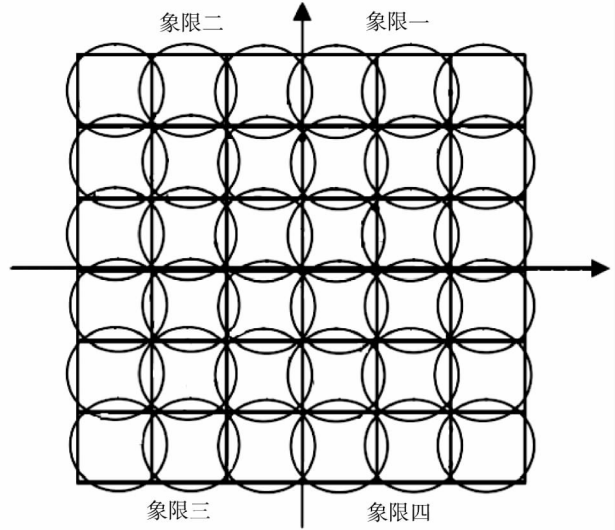


图2 矩形区域栅格分割与 sink 节点圆盘覆盖

2.2 NDF 算法的实现

1)将代表 sink 节点覆盖范围的圆盘的圆心与栅格中心对应,依次将圆盘覆盖在每一个栅格上,圆心即为 sink 节点,同时记录每一次落入圆覆盖范围内的传感器节点的个数;

2)若矩形区域内只有一个圆的传感器节点个数最多,即 $\text{Max}(n_i)$,则此圆对应的栅格为最优栅格,圆心为 sink 节点最优位置;

3)若矩形区域多个具有 $\text{Max}(n_i)$ 的圆:

①若多个 $\text{Max}(n_i)$ 的圆分布在不同象限,则具有 $\text{Min}(n_s)$ 象限所相应圆的圆心为 sink 节点最优位置;

②若出现多个 $\text{Max}(n_i)$ 的圆在同一象限,则其相邻圆中具有 $\text{Min}(n_s)$ 所对应的栅格为最优栅格,圆心为 sink 节点最优位置;

③若步骤②中仍有多个最佳 sink 节点,则按照步骤②类推,计算相邻圆的所有相邻圆的 $\text{Min}(n_s)$,直至确认 sink 节点最优位置.

从图 1 可以知,一个圆的相邻圆是其栅格围边的 8 个栅格的对应圆盘,即此 sink 节点区域是 $3^2 = 9$ 个圆盘的覆盖的区域.以此类推,可知 sink 节点区域圆盘的个数 N :

$$N = (2n + 1)^2. \quad (1)$$

式中, n 为 sink 邻节点的次数,取值分别为 $0, 1, 2, \dots$.

为了保证存在多 sink 节点网络中关键节点能够最大均匀分担数据转发任务,NDF 算法不仅采用了密度优先原则,并且结合了邻节点信息思想.基于这 2 种思想,把 $\text{Max}(n_i)$ 的 sink 节点分置到不同的象限,再从具有 $\text{Min}(n_s)$ 的象限中选出相邻区域圆盘 $\text{Min}(n_s)$ 的 sink 节点作为最优节点,这样就保证了选出的最优栅格是能够最大均匀分担数据转发任务的关键节点位置.

2.3 NDF 算法与 RDF 算法对比和分析

无线传感器网络寿命与网络的数据转发、能量消耗等息息相关,从而本文通过网络寿命值来测量算法的性能.对于随机分布的无线传感器网络,网络寿命主要取决于关键节点的寿命.NDF 算法将密度优先原则和邻节点信息思想相结合,确定出 sink 节点部署的最佳位置.应用 NDF 算法的网络寿命 L_N 可以根据网

络寿命的计算公式计算出.

$$L_N = \frac{E_i}{\varepsilon_t + \varepsilon_i + \frac{E[N_C] - E[N_S]}{E[N_S]}(\varepsilon_t + \varepsilon_r)}. \quad (2)$$

式中, E_i 为关键节点初始能量, ε_t 表示发送一个数据包所需能量, ε_r 表示接收一个数据包所需能量, ε_i 表示监听信道所需能量, $E[N_C]$ 表示传感器节点数的数学期望, $E[N_S]$ 表示 sink 节点数的数学期望.

而 RDF 算法无法保证具有多个 sink 节点的网络部署关键节点的最佳位置,为了对比 NDF 算法和 RDF 的性能,这里采用平均关键节点数 \bar{n}_s 来计算 RDF 算法的网络寿命 L_R .

$$L_R = \frac{E_i}{\varepsilon_t + \varepsilon_i + \frac{\lambda_0 - n_s}{\lambda_1 - n_s}(\varepsilon_t + \varepsilon_r)}. \quad (3)$$

式中, λ_0 表示传感器节点齐次泊松分布参数, λ_1 表示 sink 节点齐次泊松分布参数, n_s 表示平均 sink 节点个数.

通过公式(2)和公式(3)分别计算出采用 NDF 算法和 RDF 算法的网络寿命,如图3所示.

图3是 NDF 算法与 RDF 算法的网络寿命对比的示意图.其中蓝色线条代表 NDF 算法的网络寿命,红色线条代表 RDF 算法的网络寿命.从图3可以看出,部署1~3个 sink 节点时,NDF 算法计算出的网络寿命较优,因为采用 NDF 算法部署的 sink 节点是依次最优节点位置.而随着 sink 节点个数的增多,NDF 算法与 RDF 算法的网络寿命趋向相等,此时最优节点已经被部署在网络 sink 节点中,因此采用 NDF 算法和 RDF 算法部署节点的差异较小.

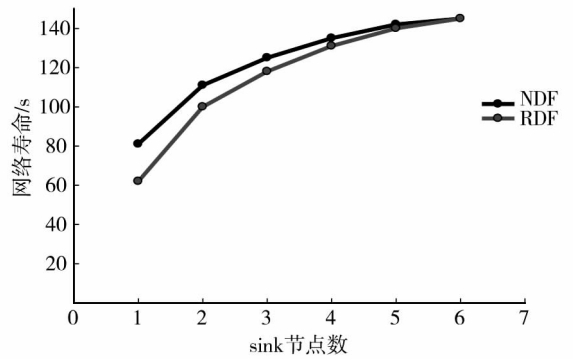


图3 NDF 算法与 RDF 算法的网络寿命对比

3 试验结果及分析

为验证该文 WSNs 组网的性能,本研究选取湖南农业大学某水稻栽培园作为试验基地进行实地试用测试.在该基地中选取 10 个大小不同、形状不一的大片简易日光温室作为组网试验对象,应用新型组网模型对稻田 WSNs 网络进行架构,同时在稻田角落及中心合适位置进行传感器节点部署组网.

图4、图5分别是截取的组网监测实时监测基地稻田3天72h温度、湿度变化的曲线图.结合基地稻田的实际情况,从测试结果可以得知,监测10片稻田的温度、湿度与其实际情况基本相同,数据丢失率为0.2%,监测数据误差小于1%,实现了对温室中作物测量参数进行实时、精确的监测和采集.结果表明,通过新型组网模型和 NDF 算法构建面向物联网的大规模 WSNs 网络,不仅有效地节省了网络能量、延长了网络寿命,同时也提高了网络数据的准确度.

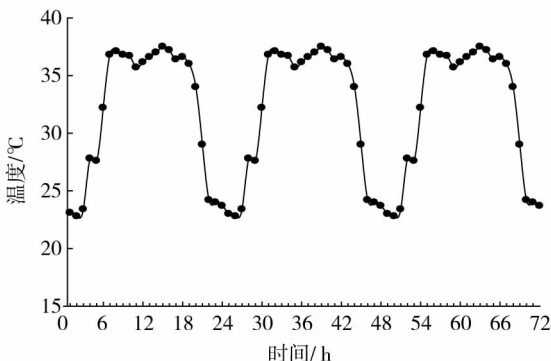


图4 温度随时间的变化曲线

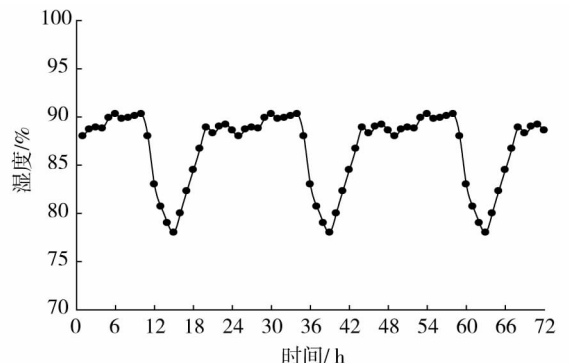


图5 湿度随时间的变化曲线

4 结论

1)对 ZigBe 网络进行了分析和研究,综合 Star 模型和 Mesh 模型的优点,针对物联网的大规模 WSNs 网络提出了一种新型的网络模型.

2)通过学习和研究 RDF 算法,对其进行了改进,结合密度优先原则和邻节点信息思想提出适合大规模 WSNs 的网络节点部署的 NDF 算法,并且比较讨论了 NDF 和 RDF 的网络寿命,研究结果表明 NDF 算法的网络寿命优于 RDF 算法.

3)通过实地试验,将新型组网模型和 NDF 算法组建的 WSNs 网络应用到水稻大片实际监测中,监测水稻生长过程中温、湿度变化.实现了对温室中作物测量参数进行实时、精确的监测和采集.

参考文献:

- [1] 钱志鸿,王义君. 物联网技术与应用研究[J]. 电子学报,2012, 40(5): 1023 - 1029.
- [2] 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,2005:163 - 174.
- [3] Liu Q, Huang X H, Leng S P. Deployment strategy of wireless sensor networks for Internet of Things [J]. China Communications, 2011, 8(8):111 - 120.
- [4] 钱志鸿,王义君. 联网的无线传感器网络综述[J]. 电子与信息学报,2013,1(35): 15 - 227.
- [5] ZigBee A. ZigBee specification, ZigBee document 053474r06 version1.0[S]. America: ZigBee Standards Organization, 2005.
- [6] 蔺智挺,赵保华,屈玉贵,等. 无线传感器网络的动态树型结构[J]. 北京邮电大学学报,2006,29(增):90 - 93.
- [7] 万亚东,王沁,张晓彤. 簇状树形无线传感器网络系统级设计分析[J]. 计算机科学,2010,37(8):99 - 103.
- [8] International Telecommunication Union. Overview of ubiquitous networking and of its support in NGN [S]. Geneva: International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, 2009.
- [9] Boswarthick D. M2M Activities in ETSI[EB/OL]. Sophia: SCS conference, 2011 [2011 - 10 - 20]. [http:// docbox. etsi. org/M2M/Open/ Information/M2M_presentation. ppt. html](http://docbox.etsi.org/M2M/Open/Information/M2M_presentation.ppt.html).
- [10] Foss S G, Zuyev S A. On a voronoi aggregative process related to a bivariate poisson process [J]. Advances in Applied Probability, 1996, 28(4):965 - 981.
- [11] Jeremy B. On efficient deployment of high - end sensors in large - scale heterogeneous WSNs [J]. Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2009(MASS09). IEEE 6th International Conference, 2009(8): 912 - 917.
- [12] 刘强. 无线传感器网络组网关键技术研究 [D]. 成都:电子科技大学,2010.