

RFID 和 WSN 融合网中的能耗优化

何涛¹, 周凯¹, 徐鹤², 刘畅¹

(1. 南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003;
2. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 为了提高融合网络的生存时长, 提出一种节点轮换休眠策略和分簇路由协议相结合的优化方法。通过分析节点轮换休眠算法发现基于退避时间休眠策略所得到的休眠节点集与无退避时间的休眠策略最终所得到的休眠节点集之间存在差集, 这里称为盲休眠节点。节点轮换休眠策略中的盲休眠节点作为分簇路由协议中簇首选择的调节函数的一个影响因子, 根据邻居节点中盲休眠节点的数量影响被选为簇首的概率。在节点轮换休眠策略中对休眠的判断条件进行了范围优化, 使判定条件更全面精确, 可有效降低采集信息的冗余度。将基于节点覆盖策略和分簇路由协议的累加算法与基于节点覆盖策略和路由协议的融合算法分别在相同条件下进行实验仿真, 结果表明在基于节点覆盖策略和路由协议的融合算法下融合网络的生存时长得到有效的提升, 能耗均衡系数得以降低。

关键词: 节点轮换; 分簇路由; 生存时长; 能耗均衡

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2017)12-0039-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2017.12.009

Energy Consumption Optimization in RFID and WSN Integrated Network

HE Tao¹, ZHOU Kai¹, XU He², LIU Chang¹

(1. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. School of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: In order to improve the survival time of the fusion network, an optimization method with combination of node rotation sleep strategy and clustering routing protocol is proposed. By analysis of the node rotation sleep algorithm, it is found that the difference set have existed between the dormant node set based on the backoff time sleep strategy and that based on sleep strategy with no backoff time, which is called blind sleep node. The blind sleep node in the node rotation strategy as an influence factor of the adjustment function affects the probability of being selected as the cluster head according to the number of blind sleep nodes in the neighbor node. In the node rotation sleep strategy, the judgment condition of hibernation is optimized, which makes it more accurate and can reduce the redundancy of the collected information effectively. The algorithm based on node overlay strategy and clustering routing protocol and fusion algorithm based on node coverage strategy and routing protocol are simulated respectively in same environment. The results show that the latter is effectively lifting on lifetime of fusion network and its energy consumption balance coefficient is lowerd.

Key words: node rotation; cluster routing; lifetime; energy consumption balance

0 引言

无线传感网络(Wireless Sensor Networks, WSN)获取物理世界的数据, 无线射频识别(Radio Frequency Identification)搭建起物理世界与信息世界的桥梁, 将两

者进行有机结合, 可以将物理世界与现有的信息世界进行良好的融合, 从根本上改变现有的IT系统^[1]。国内在融合网络方面已经取得了许多研究成果。例如, 文献[2]提出利用蚁群觅食的仿生算法思想设计多汇

收稿日期: 2016-11-16

修回日期: 2017-03-17

网络出版时间: 2017-09-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61602261); 江苏省自然科学基金(BK20140886); 中国博士后科学基金(2014M561696); 江苏省高校自然科学基金面上项目(14KJB520030); 江苏省博士后科研资助计划项目(1401005B); 江苏省研究生科研创新计划(SJLX15_0381); 南京邮电大学引进人才科研启动基金(NY213034); 南京邮电大学自然科学基金(NY214060, NY214061)

作者简介: 何涛(1972-), 男, 讲师, 研究方向为无线传感器网络及大数据; 周凯(1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电路与系统。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170927.0957.010.html>

聚节点的分簇路由算法,延长了网络生命周期、均衡了网络负载^[2];文献[3]基于轮换休眠策略提出的节点能耗均衡的节点覆盖算法,有效延长了网络生存时长,并降低了能耗均衡系数^[3];文献[4]提出了一种加入定向扩散协议的蚂蚁路由算法,不仅降低了能耗,还均衡了网络负载。RFID 和 WSN 的融合网在物流、环境监测、智能交通、军事、智能农业等方面应用广泛^[5]。但融合网络的发展过程中还有很多难题没有解决。例如,融合网络可能会出现电池供电问题,而且因加入电子标签而更加突出,不同系统之间的协议不同而出现通信协议不兼容,数据量可能增加以致于数据融合需要更高效,等等^[6]。电池的能耗优化问题,无论是在 WSN 研究中,还是在融合网的研究中,都是重要部分。文中将在不明显改变网络性能的前提下,对提高网络的生存时长、优化电池的效能比进行研究。

1 基于节点轮换和路由控制的累加算法

1.1 基于能耗均衡的节点轮换活跃/休眠策略

文献[7]提出的 1 个目标节点必须至少有 3 个邻接点且满足一定的相对位置关系才有可能覆盖整个感知区域,进入休眠状态。如果所有的节点同时进入无退避时间的节点冗余判断的状态,然后冗余节点进入休眠状态,网络会出现覆盖漏洞^[7]。由于所有的节点同时进行节点冗余判断,这就造成了待判断节点是其他冗余节点的邻接点,两个待判断的冗余节点互为彼此的冗余判断条件,一旦同时判断就会同时进入休眠状态。这时会发现冗余判断条件是不成立的。基于这种情况,文献[7]同时提出了基于节点剩余能量和邻接点的退避时间,使节点的冗余判断在不同的时间进行,很好地解决了这一问题。缺点是冗余条件判断只考虑了邻接点中 3 个邻接点集合的情况,而忽略了其他情况。没有考虑通信和 sink 节点等引起的能耗不均衡的情况。

1.2 基于能量和距离的自适应分簇路由协议

文献[8]提出的一种基于距离和能量的分簇路由,依据节点的能耗情况选择确立了最佳的簇首数量。建立了一个基于节点剩余能量和节点到基站距离的影响因子的调节函数 f ,当 f 的值大于阈值 $T(n)$ 时,被选为簇首。

$$f = f_1 * f_2 \quad (1)$$

$$f_1 = \frac{E_{\text{remain}}}{E_{\text{avg}}} \quad (2)$$

$$f_2 = \frac{d_{\text{avg}(n_i-\text{BS})}}{d_{n_i-\text{BS}}} \quad (3)$$

其中, f_1 为节点当前能量占网络平均能量的比例; f_2 为当前节点到基站的欧氏距离与所有节点到基站的

平均欧氏距离比例的倒数; E_{remain} 为节点当前拥有的节点能量; E_{avg} 为当前运行轮网络节点平均能量; $d_{n_i-\text{BS}}$ 为当前节点到基站的欧氏距离; $d_{\text{avg}(n_i-\text{BS})}$ 为所有成员节点到基站的平均欧氏距离^[8]。

2 融合模型、重要参数以及条件假设

2.1 融合模型

文献[9]提出的 RFID 与 WSN 融合的方式采用的是智能节点与智能标签的网络融合。这里将电子标签和传感器节点融合后的节点,称为智能标签。阅读器和传感器节点融合后的节点,称为智能阅读器。文中以智能标签和智能阅读器的网络融合方式为课题。该方式不是简单的网络组合,而是系统网络的深度融合,相比于其他方式的融合网具有功能强大、数据精确和可扩展性好等特点^[6,9]。

节点的覆盖中考虑到的最基本的是单个节点的感知模型。为使节点感知模型简单易懂,选用了基本的模型-布尔模型,如式(4)所示:

$$\lambda_i = \begin{cases} 0, & d_{ij} > r_u \\ 1, & d_{ij} < r_u \end{cases} \quad (4)$$

其中, λ_i 为节点 i 能感知周围环境的概率; d_{ij} 为节点周围一点 j 到节点 i 的距离; r_u 为节点的感知半径; a, m 为衰减因子^[10]。

路由控制选用的是基于通信半径不同而调整发射功率的模型。其能量消耗与传输距离的关系式如下:

$$E_{\text{TX}}(k, d) = \begin{cases} kE_{\text{elec}} + k\varepsilon_{\text{fs}}d^2, & d < d_0 \\ kE_{\text{elec}} + k\varepsilon_{\text{amp}}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (5)$$

其中, $E_{\text{TX}}(k, d)$ 为网络节点发送数据和接收 k bit 数据消耗的能量; E_{elec} 为网络节点发送数据和接收单位数据消耗的能量; ε_{fs} 为单位放大功率; ε_{amp} 为多径衰落模型的参数; d 为源节点到目的节点的距离^[11]。

2.2 条件假设

(1) 布设的节点只有智能标签和智能阅读器,并且智能标签具有相同的性能参数(如能耗参数、感知半径等)。智能阅读器耗电量巨大,采用不受能量限制的常规电网供电。所有智能阅读器具有相同的性能参数,并且与智能标签有相同的感知半径。

(2) 智能阅读器的位置信息已知,智能标签节点可以通过自身的 RFID 系统进行定位,并且可以知道其邻接点的位置信息。

(3) 节点覆盖控制时,能耗只与其活跃时间有关,只需获取节点的活跃时间即可。

2.3 重要参数

生存时长:目标区域在满足一定的覆盖率的情况下网络所能持续工作的时间^[12]。

区域覆盖率:目标区域内,节点的感知范围的集合所占目标区域面积的百分比。

$$x_n = \frac{s_1 \cup s_2 \cup \dots \cup s_N}{s_{\text{total}}} \quad (6)$$

其中, s_i 为节点 i 的覆盖区域; s_{total} 为目标区域的总面积。

能量均衡系数:将覆盖区域网格化,每个网格的能量 e_i 与平均能量相减的绝对值的平均值,为能耗均衡系数。能耗均衡系数越小,表明能耗的均衡性越好,各个节点之间的剩余能量差异也越小^[13]。

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^N |e_i - e_{\text{avg}}|}{N} \quad (7)$$

其中, e_i 为网格 i 的能量; e_{avg} 为所有网格的平均能量; N 为网格的总个数。

3 算法改进

(1) 基于能耗不均衡问题,提出将节点轮换和分簇路由相结合。这里把能通过无退避时间的冗余判断和不能通过有退避时间的冗余判断的节点,称为盲休眠节点。每个不同周期可能由于节点的剩余能量不同以及死亡节点的影响,导致每个周期的盲节点都不一样。在分簇路由的调节函数 f 中加入基于节点轮换休眠中的盲休眠节点作为影响因子。

$$f_3 = \begin{cases} 1 & \text{非盲休眠节点} \\ \alpha(\text{大于 } 1) & \text{盲休眠节点} \end{cases} \quad (8)$$

$$f = f_1 * f_2 * f_3 \quad (9)$$

(2) 放宽了基于退避时间的节点轮换中的冗余判定的条件,将原来 1 个目标节点只有 3 个邻接点冗余判断的情况变为由 4 个邻接点和 2 个邻接点与目标节点感知范围外 1 个节点进行冗余判定的情况。

如图 1(a) 所示,当目标节点的 4 邻接点满足相应位置关系时,目标节点通过冗余判断判定为冗余节点,具备进入休眠的条件。如图 1(b) 所示,由目标节点的 2 个邻接点可以确定是否存在目标节点感知范围外 1 节点以及如果存在其可能通过冗余判定的区域范围。

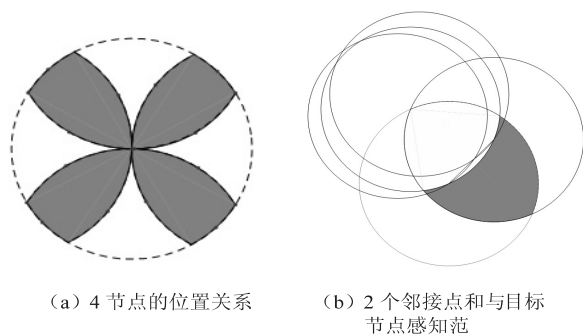


图 1 位置关系

分簇路由的簇首设计为父子簇首的策略。智能阅读器节点作为电源供电的父簇首,智能标签节点由选举产生子簇首。文献[14]采用了父子簇首的策略,其仿真实验结果表明,该策略可以减少簇头能量消耗,均衡整个网络能耗,延长网络的生存周期^[14]。

4 算法流程

- (1) 对目标区域进行部署覆盖,计算覆盖率 s_n 。
- (2) 每个时间轮开始前,首先计算当前的覆盖率 s_n 和能量均衡系数 s_e 。如果 s_n 大于等于要求的 s_0 ,继续下面的操作。否则,结束。
- (3) 计算节点邻接点数量、节点邻接点的平均距离、节点的剩余能量,算出退避时间 T_w 。
- (4) 依据退避时间顺序,对节点进行冗余判断,若通过,进入休眠状态。
- (5) 确定活跃节点的数目,确定二级簇头的数目。
- (6) 计算调节函数的权值 f 和阈值 $T(n)$, 如果 $f > T(n)$, 节点被选为簇头。
- (7) 所有非簇头活跃节点选择合适的簇头建立通信。
- (8) 模拟发送 K bit 数据,计算各节点能耗。
- (9) 进入下一轮循环。

5 仿真结果及分析

在 MATLAB 平台下进行仿真实验,节点模拟在 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 环境下布设。智能阅读器布设的是确定的位置,智能标签节点是随机布设的(其位置信息由随机函数产生),具有不确定性。传感器的感知半径为 5 m ,通信半径大于 10 m ,节点初始能量为 100 J ,节点在活跃状态时,传感器节点感知消耗能量为 0.5 J/轮 ,节点休眠能量消耗不计。路由通信时,节点消耗的能量由式(1)确定。假设每个时间周期内每个处于活跃状态的节点感知的信息量为 K bit,传输过程中信息的损耗不计。实验中设置的 s_0 为 90% ,当覆盖率下降到 90% 以下时,认为整个网络无法提供精确有效的数据服务,此时整个系统无法有效工作。

采用改进前的基于节点覆盖和节点路由的累加算法与改进后的基于节点覆盖和节点路由的融合算法相比较,更能直观体现出改进算法的性能优势。仿真结果如图 2~4 所示。

从图 2 可以看到,改进算法对比原算法明显提高了网络的生存时长。网络运行的初期既没有节点的死亡也没有覆盖盲区的出现,区域覆盖率一直保持在 100% 左右,曲线呈现较为平稳的状态。随着时间的推移,由于会出现节点能量耗尽的情况,导致覆盖率呈下

(3) 基于融合网中智能阅读器节点的能耗特点,将

降的趋势,并且在 92 s 时,下降到 90% 的标准值。当覆盖率出现下降,一定是由节点死亡造成的,但是节点死亡并不一定会造成区域覆盖率的下降。也就是说,在覆盖率为 100% 时,也能有节点死亡现象。

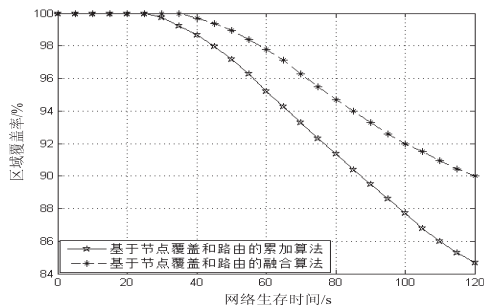


图 2 区域覆盖率随时间变化曲线

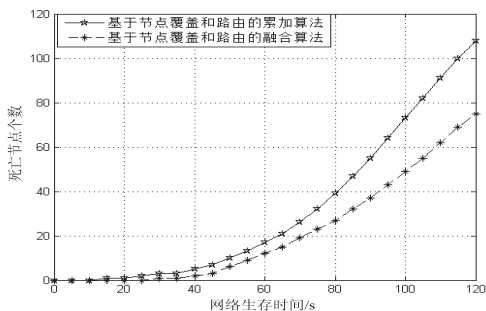


图 3 死亡节点个数随时间变化曲线

由于起始阶段,节点的能量比较充足,即使个别节点耗能较多也不会突然死亡。网络运行中期,采用了优化后的覆盖控制算法和路由选择控制,节点死亡个数相比原算法显著减少。随着时间增加,优化前后的算法死亡节点的个数的差距在增大。如图 3 所示,算法优化前在覆盖率为 100% 的情况下,出现了节点死亡现象。

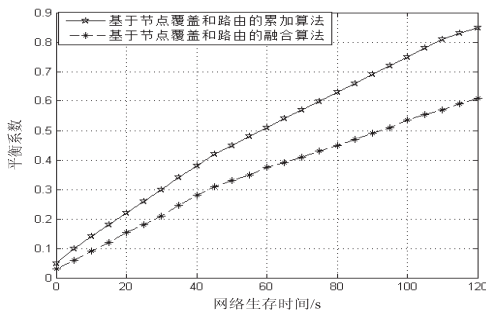


图 4 平衡系数随时间变化曲线

网络的平衡系数能够反映网络的能耗均衡状况,是一个重要的网络性能参数。节点覆盖控制的退避时间和路由选择控制中簇头选择的阈值考虑的影响因子相对较多,可以全面衡量各个方面对结果的影响,能够很好地控制平衡系数。从图 4 可见,优化后网络的能耗平衡系数相比于优化前有一定的降低。这表明在运行期间,最大单元能量和最小单元能量的差值相对于原算法有所提高。随着时间的推移,优化效果不断积累,优化前后网络的能耗平衡系数的差值在不断增大。

6 结束语

由仿真结果可得,基于节点覆盖控制和路由选择控制两方面对融合网的能耗优化效果是不错的。整个网络生存时长有一定的提高,能耗均衡系数有一定的降低,网络的节点死亡个数得以减少,并降低了死亡节点对区域覆盖率的影响。由此可见,文中研究的成果是积极的。但是,依然有一些可以改进优化的地方,例如,由于涉及到几何运算,整个优化算法的复杂度不是很理想、路由选择时簇头选择缺少一定的排它机制等,仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 李 斌,李文锋. WSN 和 RFID 技术的融合研究[J]. 计算机工程,2008,34(9):127-129.
- [2] 马忠戡. 智能交通系统中基于 RFID 的无线传感网络节点分簇算法研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2013.
- [3] 冯 琳,冉晓旻,梅关林. 基于节点能耗均衡的 WSN 覆盖策略[J]. 计算机工程与设计,2015,36(9):2334-2339.
- [4] 窦 聪. 智能公交中基于 RFSN 的防碰撞算法与路由协议研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2014.
- [5] ZHANG Beiwei, HU Kunyuan, ZHU Yunlong. Network architecture and energy analysis of the integration of RFID and wireless sensor network [C]//Chinese control and decision conference. [s. l.]:IEEE,2010.
- [6] MIRSHAHI S, UYSAL S, AKBARI A. Integration of RFID and WSN for supply chain. intelligence system [C]//International conference on electronics computers and artificial intelligence. [s. l.]:IEEE,2013.
- [7] WANG Tianqi, HEINZELMAN W R, SEYEDI A. Link energy minimization for wireless networks [J]. Ad Hoc Networks, 2012,10(3):569-582.
- [8] 孙增友,周 池. 基于能量和距离的 WSN 自适应分簇算法[J]. 东北电力大学学报,2016,36(1):82-86.
- [9] 蒋 伟. RFID 与无线传感网络融合关键理论和技术研究 [D]. 北京:北京邮电大学,2008.
- [10] ZHANG Z, LI D, ZHU H, et al. OPEN: an optimisation scheme of N-node coverage in wireless sensor networks [J]. IET Wireless Sensor Systems, 2012,2(1):40-51.
- [11] 肖刘军. 基于节点位置和能量的无线传感器网络分簇路由协议研究[D]. 成都:西南交通大学,2010.
- [12] 张 旭. 无线自组织网络路由算法及相关技术研究[D]. 长春:吉林大学,2013.
- [13] 黄廷辉,伊 凯,崔更申,等. 基于非均匀分簇的无线传感器网络分层路由协议[J]. 计算机应用,2016,36(1):66-71.
- [14] 解志斌,于 谦,沈 斌,等. 一种新的基于粒子群优化的双簇头分簇路由算法[J]. 传感技术学报,2013,26(8):1135-1139.