

无线传感器网络的链路评估分簇路由算法^①

何佩, 卢先领, 秦宁宁, 钱菲菲, 徐保国

(江南大学 物联网工程学院, 无锡 214122)

摘要: 提出了一种链路评估分簇路由算法(LQ-CR), 该算法利用基于高斯分布的链路质量评估模型, 将无线链路质量作为簇首选择度量, 并采用滑动窗口机制实时评估链路质量。仿真实验表明, 与LEACH、HEED分簇协议相比, 采取链路质量作为路由度量可以有效延长网络的生命周期, 提高数据传输可靠性。

关键词: 链路质量; 滑动窗口; 分簇; 路由协议; 无线传感器网络

Link Quality Based Sub-Cluster Routing for Wireless Sensor Networks

HE Pei, LU Xian-Ling, QIN Ning-Ning, QIAN Fei-Fei, XU Bao-Guo

(School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: A Link quality based sub-cluster routing for wireless sensor networks is proposed. The new algorithm utilizes a link quality evaluation model in Gauss distribution, link quality is taken into account in selecting cluster head. In addition, a dynamic window is presented to record the realtime link information. Simulation results indicate that compared with LEACH and HEED, the adoption of link quality based routing metric can provide longer network lifetime and higher reliability of the data transmission.

Key words: link quality; sliding window; sub-cluster; routing protocol; wireless sensor networks

现有的无线传感器网络路由协议重点研究如何提高节点能量使用效率, 以延长网络生命周期, 但是一些应用领域不仅要求较低的网络功耗, 而且要满足一定的数据传输可靠性, 比如战场上的实时性目标跟踪和监测网络中的突发事件报警等应用, 其中路由度量的选择对设计低功耗且高可靠性的路由协议起着至关重要的作用^[1]。

在现有的无线传感器网络路由选择算法中, 路由代价多以节点距离或者与距离有关的参数来表示, 没有将底层链路的通信质量考虑在内, 往往设定无线链路是对称和稳定的, 如LEACH、DD、SPEED等协议, 但实际环境中障碍物和信号干扰会导致无线链路产生不稳定随机波动, 无线链路的双向通道也可能为非对称的。由于无线传感器网络中节点使用无线信道是共享的, 因此当节点发送或接收数据时, 可能引起多个节点之间发送的数据发生碰撞, 而一旦发生碰撞现象,

为了保证数据的完整性, 发送端利用重传机制来进行遗失数据包回复的动作, 直到确定该数据包已被接收端所接收, 由此导致能耗增加。综上所述, 通信能耗与距离并不呈现简单的函数关系, 因此在路由选择算法中应该将链路质量考虑在内^[2]。

1 相关研究

近年来, 许多分簇型的路由协议被提出, 这些路由协议在复杂性和精确性上虽有优劣, 但均不同程度提高了路由协议性能。目前分簇型路由协议主要有: LEACH、HEED、EADEEG协议等。

LEACH是一种以降低传感器网络能量消耗为目标的分层式协议。为了将能量负载均匀地分配到各节点上, LEACH协议按轮运行, 并在每一轮中对簇头进行轮换, 只有最近未担任过簇首, 并且能量依然剩余较多的传感器节点才会担任簇首。缺陷是仅考虑了剩

① 基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(2007AA10Z241); 中央高校基本科研业务费专项(JUSRP11129); 高等学校博士点新教师基金(20100093120007)

收稿时间: 2011-03-17; 收到修改稿时间: 2011-04-24

余能量对簇首选择的影响^[3]。

HEED 协议通过节点剩余能量参数选取簇首集合, 然后由依赖于簇内通信代价的次参数来决定簇首以及传感器节点的归属簇。通过设置合适的节点密度、簇内传输、簇间传输的界限, 可以保证网络连通性^[4]。

EADEEG 是一种基于簇结构的无线传感器网络数据收集协议, 采用了一种全新的簇头竞争参数, 该竞争参数与邻居节点的平均剩余能量有关, 可以更好地解决节点能量异构问题^[5]。

上述分簇路由协议在簇头选择中均采用链路质量评估机制, 本文根据无线传感器网络分簇路由的特点, 提出了一种基于链路质量的分簇路由算法 (LQ-CR), 重点分析如何利用链路质量参数进行簇首选择。经仿真实验证明, 该协议可以有效的延长网络生命周期, 提高数据包投递率。

2 算法分析

2.1 网络模型

假设 N 个传感器节点被任意抛洒在一个边长为 $L*W$ 的矩形区域, Sink 节点位于区域中心, 利用双向加权图 $G(V,E)$ 表示无线传感器网络, $v_i \in V$ 代表网络中的一个节点。边 $e_i \in E$ 代表两个可以直接通信节点的无线链路, $L(e_i)$ 表示边无线链路 e_i 的链路质量^[6]。传感器节点具有以下基本性质:

- ① 具有全网唯一 ID 且部署后不再移动。
- ② 通过定位算法获得自身地理位置。
- ③ 可以从 MAC 帧提取链路质量显示 (LQI) 参数。

无线通信的链路质量通常是随着时间推移和环境变化而动态变化, 所以链路质量无法轻易预测。目前无线传感器网络的链路通信质量可以通过测量芯片的接收信号强度显示 (RSSI) 和链路质量显示 (LQI) 获取。LQI 表示接收数据帧的能量和质量, 与信号强度和信噪比有关, 可以及时反映信号强度的干扰变化, 目前许多射频芯片 (如 CC2430、JN5148 等) 均可以读取两种参数。与 RSSI 相比, LQI 的动态范围更大, 且具有较高的分辨率, 因此 LQ-CR 算法选择 LQI 作为链路通信质量的指标参数。假设是 LQI 的统计均值, $E_{-P_{rr}}(EL)$ 和 $S_{-P_{rr}}(EL)$ 分别代表包接收率的均值和标准差, 则包接收率与 LQI 均值服从如下的高斯概率模型^[7]:

$$\Phi(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times S_{-P_{rr}}(EL)} \int_0^p e^{-\frac{(p-E_{-P_{rr}}(EL))^2}{2(S_{-P_{rr}}(EL))^2}} .dp \quad (1)$$

其中: $p \in [0,1]$,

$$S_{-P_{rr}}(EL) = -0.001 \times (EL)^2 + 0.1704 \times (EL) - 6.5652 \quad (2)$$

$$E_{-P_{rr}}(EL) = -1 \times 10^{-6} (EL)^3 + 0.0656 (EL) - 4.1948 \quad (3)$$

2.2 簇首选择

如同多数分簇路由协议的簇首选择策略, LQ-CR 算法也考虑了节点剩余能量对簇首选择的影响, 但无需每一轮信息采集后选举新的簇首, 而是在簇首选举中综合考虑了剩余能量和链路质量等性能指标^[8]。

如图 1 所示簇构造完成后, 簇内节点按照 ID 号顺序依次当选簇首, 簇首进行 100 轮信息采集和上传, 然后将由式(1)计算出的包接收率均值以及剩余能量广播给簇内其他节点。当簇内节点均当选簇首一次后, 根据伪随机比例规则由式(4)选择出下一轮簇首。设簇 u 中节点 i 被选举为簇首的概率为:

$$P_i = \frac{E_i^\alpha L_i^\beta}{\sum_{i \in allow^u} E_i^\alpha L_i^\beta} \quad (4)$$

其中 $allow^u$ 代表节点簇中所有成员节点, E_i 代表节点 i 的剩余能量, L_i 是节点 i 的包接收率均值。参数 α 和 β 分别表示节点剩余能量和包接收率均值的可调权值, 可以根据应要需求调节 α 和 β ^[9]。非簇首节点选择距离最近的簇首加入簇。

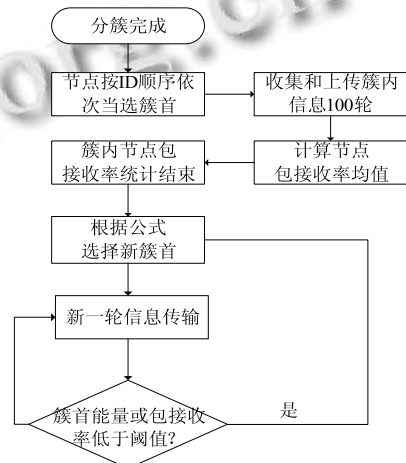


图 1 网络流程图

2.3 簇首更新

影响无线通信链路质量的因素是随时间变化的, 为了及时反映网络链路质量, LQ-CR 算法引入滑动时间窗统计实时链路质量指标。

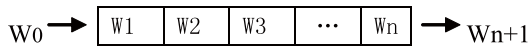


图 2 滑动窗口

如图 2 所示的滑动窗口，窗口宽度为 n ，若节点在 n 轮前收到的数据包附带的 LQE 值大于设定阈值，则 $W_n=1$ ，低于设定阈值则 $W_n=0$ ， W_1 为节点最新接收数据包的 LQE 转换值。当簇首接收到新数据包时，滑动窗口中的数值均右移一位，将原 W_n 值删除，新的 LQE 转换值填进 W_1 。设实时链路质量均值(EW)为滑动窗口内 LQE 转换值的均值^[10]。系统设置包接收率和剩余能量阈值，当簇首的 EW 指标或剩余能量低于设定阈值时，网络将根据式(5)发起新一轮簇首选举，阈值的设计可以避免路由切换过于频繁。

2.4 数据上传

在高密度节点布置的无线传感器网络中，节点监测区域的互相重叠导致同一区域内节点采集的信息具有一定的冗余性，利用节点的本地计算和存储能力进行分布式数据融处理，簇首自动地将多个传感器节点的采集数据处理成符合用户需求的数据向基站上传，以减少网络的数据传输量，降低能量消耗。与 leach 协议中簇首直接将融合信息传输给基站的方式不同，LQ-CR 协议采取多跳方式将簇首采集的信息传输给基站，簇首在靠近基站方向选择距离自己最远的邻居节点作为中转节点，直至将信息传送到基站。

3 仿真实验

本节将通过仿真实验来检验 LQ-CR 算法的性能，并与经典的无线传感器网络分簇协议 LEACH 协议和 HEED 协议进行分析比较。实验过程如下：将 200 个节点随机部署在 $200 \times 200m$ 的监测区域，基站处于监测区域中心，节点初始能量 $1J$ ，电路消耗 $50nJ/bit$ ，短距离传输功放 $10pJ/(bit/m)$ ，长距离传输功放 $0.0013pJ/(bit/m^2)$ ，基站收集 500 轮信息后，统计生存节点剩余数量和接收成功率。

图 3 显示了生存节点数量随着时间增加的变化情况。LQ-CR、HEED、LEACH 协议的第一个节点死亡的时间分别是 398 轮、373 轮、262 轮，生存节点剩余数量分别是 172、157、131。无论是第一个节点死亡时间还是生存节点剩余数量，LQ-CR 表现出的性能均优于 LEACH 协议和 HEED 协议，主要是因为 LQ-CR

算法在簇首选择中优先考虑了通信质量较好的节点，减少了由于链路质量较差而进行的数据包重传的次数，降低了节点耗能；节点剩余能量阈值的设定则避免了节点由于能量过早耗尽而失效。

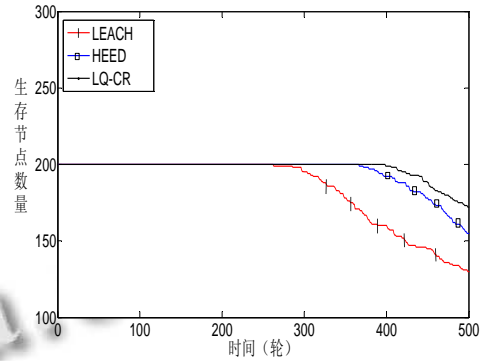


图 3 生存节点数量

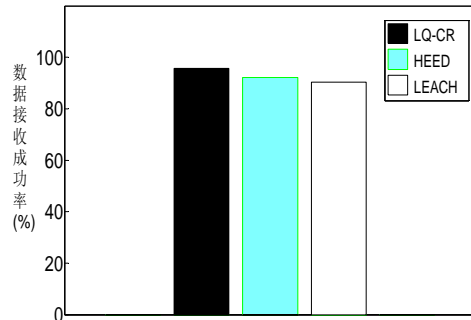


图 4 数据接收成功率均值

从图 4 中我们可以看出三种协议的数据接收成功率的差异。LQ-CR 协议的数据接收成功率高于 HEED 和 LEACH 协议，这是因为 LQ-CR 协议通过建立基于高斯概率分布的数学模型，根据接收数据包附带的 LQI 值估计出包接收率较高的节点作为簇首，保证了数据收集的可靠性。HEED 和 LEACH 协议在选举簇首则没有考虑链路质量因素，每轮产生的新簇首与簇内节点的通信链路质量参差不齐，因此数据接收成功率均值小于 LQ-CR 算法。

4 结语

本文对无线传感器网络的链路质量特性进行了分析，提出利用包接收率与 LQI 值之间的高斯概率模型，将无线链路质量作为簇首选择度量，实时的反映簇首的链路质量状况。仿真实验表明，LQ-CR 算法可以有效降低无线传感器分簇型网络的能量消耗，提高数据传输成功率，适用于采用了可以读取 LQI 值的射频芯

片的无线传感器网络。

参考文献

- 1 DHananjay L, Manjeshwar A, Herrmann F, Biyikglou UE, et al. Measurement and CharActerization of Link Quality Metrics in Energy Const rained Wireless Sensor Networks. Global Telecomm unications Conference (GLOBEC OM'03), 2003.1:446-452.
- 2 Sivagami A, Pavai K, Sridharan D, et al. Energy and link quality based routing for data gathering tree in wireless sensor networks under TinyOS-2.x. Internatonal Journal of Wireless & Mobile Networks, 2010,2(2):47-60.
- 3 Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy Efficient communication ptoocol for wireless microsensor networks. Hawaii: the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2000,3005-3014.
- 4 Younis O, Fathmy S. Heed: A hybrid, energy efficient, Distribute lustering approach for ad-hoc sensor networks. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2004.
- 5 刘明,曹建农,陈贵海,陈力军,王晓敏,龚海刚.EADEEG:能量感知的无线传感器网络数据收集协议.软件学报,2007,18(5):1092-1109.
- 6 孙佩刚,赵海,罗玎玎,等.无线传感器网路链路通信质量测量研究.通信学报,2007,28(10):14-22.
- 7 Couto DSJD, Aguayo D, Bicket J, Morris R. A High-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing. Wireless Networks, 2005,11(4): 419-434.
- 8 Felemban E, Lee G, Ekici E, et al. MMSPEED: Multipath Multi-Speed Protocol for Qos of Reliability and Timeliness in Wireless Sensor Networks. Mobile Computing, 2006,5(6): 738-754.
- 9 Hamdaoui M, Ramanathan P. A dynamic priority assignment technique for streams with(m,k)firm deadline. IEEE Trans. on Computers, 1955,44 (4):1443-1451.
- 10 Chen JM, Lin RZ, Li YJ, et al. LQER: A Link Quality Estimation based Routing for wireess Sensor Networks. Sensors, 2008,8:1025-1038.

(上接第 180 页)

入了物体的具体信息(我们这里写入一个 ID 号),并在标签上设计了温度传感器电路,用来实时监测物体周围环境信息。读卡器与计算机相连,通过串口显示标签的信息。串口显示如图 4 所示。

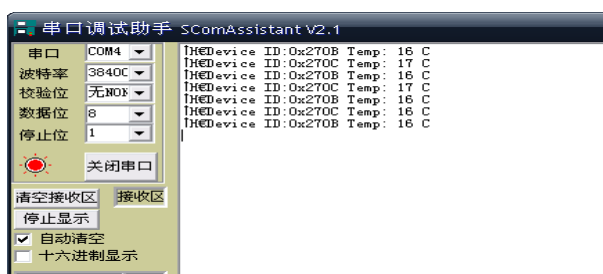


图 4 测试显示结果

4 结语

本文基于 ZigBee 技术设计了一种工作频段为 2.4GHz 的有源 RFID 系统。改善了目前 RFID 系统识别距离短,组网不灵活,抗干扰能力差的缺点。详细

地介绍了整个系统的开发流程。但是此系统中标签价格仍然昂贵,只适合于贵重物体跟踪等少数场合。随着技术水平的不断提高,生产出价格低廉,集成度更高的射频芯片,使得芯片体积更小,价格更低,此系统便可以得到广泛应用。

参考文献

- 1 蒋浩石,张成,林嘉宇.无线射频技术及其应用和发展趋势.电子技术应用,2005,(5):1-4.
- 2 顾瑞红,张宏科.基于 ZigBee 的无线网络技术及其应用.电子技术应用,2005,(6):1-3.
- 3 高守玮,杨灿.ZigBee 技术实践教程.北京:北京航空航天大学出版社,2009.
- 4 cc2430 Data Sheet. <http://www.ti.com/cc2430>.
- 5 段艳敏.UHF 频段 RFID 天线的小型化设计与分析.成都:西南交通大学,2010.
- 6 cc2591 Data Sheet. <http://www.ti.com/cc2591>.