

基于能耗量化传导的 WSN 路由探测算法

徐银霞 金国祥 陶依薇

(武汉工程大学计算机科学与工程学院 武汉 430073)

摘要 为了降低无线传感器网络(WSN)路由节点的能量损耗,提高网络的寿命周期,需要进行路由节点的优化分布设计。传统方法采用 CSMA/CA 有限竞争的信道分配模型进行 WSN 的路由探测算法设计,实现能量均衡,在节点规模较大和干扰较强时,节能的能耗开销较大。提出一种基于能耗量化传导的 WSN 路由探测算法,首先建立 WSN 的分簇能耗调度模型,以能量控制开销、丢包率、传输时延等为约束参量指标进行路由探测的控制目标函数的构建,然后采用路由冲突协调机制进行能耗量化分配,结合 WSN 传输信道的能量传导均衡模型实现 WSN 路由的优化探测和 WSN 节点的优化部署。仿真结果表明,采用该方法进行 WSN 路由探测设计时网络的能效较高,传输时延和误码率等参量指标的表现优于传统方法。

关键词 能耗量化传导,无线传感器网络,信道,路由,节点

中图分类号 TP393 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.04.047

WSN Routing Detection Algorithm Based on Energy Consumption Quantization

XU Yin-xia JIN Guo-xiang TAO Yi-wei

(School of Computer Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China)

Abstract In order to reduce the energy loss of routing nodes in wireless sensor networks (WSN) and improve the lifetime of the network, it is necessary to design the optimal distribution of routing nodes. Traditional methods use channel allocation model based on CSMA/CA limited competition for WSN routing detection to achieve energy balance, but with the expansion of the network nodes and interference enhancement, saving energy consumption costs more. A WSN routing detection algorithm based on energy quantitative conduction was proposed in this paper. Firstly, the cluster energy consumption scheduling model of WSN is established and the routing detection control objective function is constructed when taking the energy control overhead, packet loss rate and transmission delay as the constraint parameters. Then the coordination mechanism of routing conflict is used to realize the quantitative distribution of energy consumption, and the optimization of WSN routing detection and WSN node deployment is achieved by the energy equilibrium model of WSN transmission channel. Simulation results show that the proposed method is superior to the traditional methods in WSN routing detection design due to its higher energy efficiency of network, lower transmission delay and bit error rate.

Keywords Energy consumption quantization transmission, Wireless sensor network, Channel, Routing, Node

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)因高比特率的数据通讯性能和大吞吐量的多模传输能力而受到广泛的关注和应用。随着物联网技术和智能传感技术的发展,采用无线传感器网络进行探测控制和区域监测,通过传感器节点采集监测区域的原始数据,利用 IEE802.15.4 MAC 路由协议进行通信组网传输,能实现车载物联网设计、智能家居控制、云计算处理等。WSN 的路由由节点由传感器节点和信息收集节点(Sink)组成,通过传感器节点进行原始数据采集,再由中心计算机统一对所有信息进行处理,传感器的每个簇有一个簇头节点(CH)和若干簇内节点(MN),节点由电池提供能源补给,无线传感器网络的能耗开销决定了网络的寿命周期,需要对传感器节点进行优化部署和路由优化探测设计,提

高网络寿命^[1]。

当前,无线传感器网络的路由探测设计主要包括 LEACH 分簇算法^[2]、剩余能量均衡控制算法^[3]、负载均衡控制算法和能量融合均衡调度的路由探测算法等^[4]。上述方法通过建立无线传感器网络路由节点的能耗模型来进行传感器节点的优化部署和节能路径规划,采用 CSMA/CA 有限竞争信道冲突规避机制进行路由算法的设计,通过能量负载均衡设计提高传感器节点寿命,取得了一定的研究成果。文献[5]提出引入剩余能量的多径衰落信道均衡机制进行 WSN 的能耗优化控制设计,实现 WSN 的路由节点优化部署,采用能量融合跟踪方法设计节点能量分配优化机制,提高了 WSN 路由节点中的信道均衡调度能力;但随着无线传感器节点分层

到稿日期:2016-11-09 返修日期:2016-12-02

徐银霞(1979-),女,硕士,讲师,主要研究方向为物联网应用、嵌入式系统等,E-mail:hhy8419@163.com;金国祥(1957-),男,博士,教授,主要研究方向为计算数学;陶依薇(1994-),女,硕士生,主要研究方向为计算机应用。

网络拓扑数量的增加,在能量调度的均衡博弈中产生了信道衰减,导致节点最大传输能量受到抑制,缩短了网络的寿命;文献[6]提出一种基于静态完全信息博弈的 WSN 节点功率控制方法,结合环形路由设计实现 WSN 路由探测,提高了簇首节点的接收信干噪比(Signal-to-Interference plus Noise Ratio, SINR),但该算法具有能量受限的特点,算法复杂,计算开销较大,在 WSN 路由节点传输中实时性不好;文献[7]提出一种基于能量补给的无线传感器网络分簇路由算法,基于剩余能量和节点度的优化调度设计,解决了节点发射功率对网络的公平性问题,提高了 WSN 路由分配中的数据吞吐量,但该方法缺少对节点通信质量的分析,使得 WSN 进行数据传输时的误比特率较高;文献[8]提出 HYMAD(Hybrid DTN-MANET Routing)无线传感器网络环式路由由冲突协调控制方法,实现了路由探测设计,但该方法对节点能量受限的问题没有考虑,且算法复杂;文献[9]提出 CAR 路由调制方法进行 WSN 的路由探测设计,采用分组交换的汇聚协议进行路由分配,在能量开销上具有优势,但是该网络路由模型采用 CSMA/CA 有限竞争的信道分配模型,网络的连通性受到了一定的制约和限制,且抗干扰能力不强。针对上述问题,本文提出一种基于能耗量化传导的 WSN 路由探测算法。首先建立 WSN 的分簇能耗调度模型,以能量控制开销、丢包率、传输时延等为约束参量指标进行路由探测的控制目标函数构建,然后进行 WSN 的路由算法优化设计,实现 WSN 传输信道的能量传导均衡和路由探测,最后进行仿真分析,得出有效性结论。

1 WSN 的传输信道模型及能效分析

1.1 WSN 的路由分布信道模型

采用马尔科夫链结构构建无线传感器网络的信道模型,无线传感器网络的路由传输协议采用 IEEE802.15.4 MAC 竞争有限的信道机制,采用双向网络和混合网络两种模式构建 WSN 的路由传输结构模型,如图 1 所示。

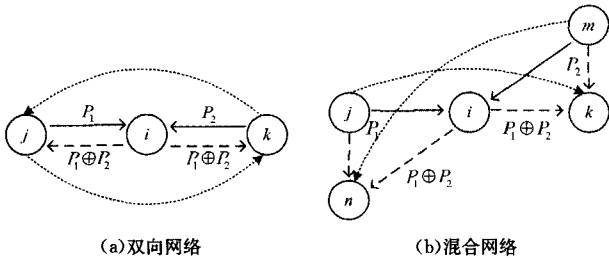


图 1 WSN 的路由传输结构

图 1 中 WSN 信道采用的是 CSMA/CA 竞争有限的信道,从 $(0, CW-1)$ 中随机选择节点 k 处的传输路由协议 C_R ,分簇节点的分组概率为 P_2 ,假设无线传感器网络的信息覆盖区域是一个边长为 M 的正方形区域,无线收发节点相距 $1m$ 时在簇头生成过程中形成 N_f 个帧(Frame),第 i 个节点与第 j 条链路的时间窗口为 $t(n) = [(n-1)T_w, nT_w]$,最小竞争窗最大值为 CW_{max} , $W_{max} = 2m' \times CW_{min}$,无线传感器网络的路由节点根据 Source 与 Sink 节点之间的距离确定能量开销,初始路由由路径的能量开销为:

$$E_{residual} = E_{initial} - E \tag{1}$$

其中, $E_{initial}$ 表示 WSN 路由节点的初始能量, E 表示 WSN 的传感节点在竞争窗口 CW 内的能量消耗。记节点 n_i 的生命周期为 L_i ,在 WSN 的路由分布信道模型中,网络路由链接可靠性的评价约束参量为控制开销、丢包率、重传次数等。假设 WSN 的 Sink 节点 A 向 Source 节点 C 发送一个包的能量消耗为:

$$E_{comm} = E_{TX} + E_{RX} \tag{2}$$

其中, E_{TX} 表示能量补给能耗; E_{RX} 表示节点覆盖点集的传输比特数。在多模传输信道中,将数据包 P 成功传输到无线传感器网络节点 i 的概率为:

$$P_{TX} = \frac{P_{T-elec}}{R} \cdot L_{DATA} + \frac{P_t}{R} \cdot L_{DATA} + \frac{P_{R-elec}}{R} \cdot L_{ACK} + P_{T-start}t_{T-start} + P_{R-start}t_{R-start} \tag{3}$$

设 Sink 节点的帧头长度为 h ,网络拓扑的测量长度为 l ,帧尾长度为 t ,在 WSN 的路由分布信道中,从最小跳数 h_{min} 到最大跳数 h_{max} 迭代执行数据包长 $L_{DATA} = h + l + t$,通过双向链路 (k, i) 进行路由由冲突协调,得到 WSN 的路由分布信道模型,如图 2 所示。

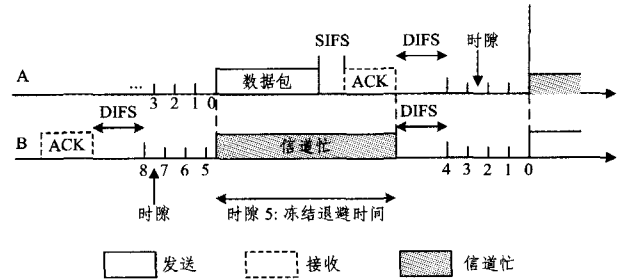


图 2 WSN 的路由分布信道模型

1.2 WSN 的分簇能耗调度模型及能效分析

在构建了 WSN 的信道模型的基础上,进行 WSN 路由节点的能效分析,假设无线传感器网络路由节点为 Z ,该节点的覆盖半径为 R_z ,WSN 的分簇能耗调度表示如下:

$$E_{comm} = \left(\frac{P_{T-elec} + P_{R-elec} + P_t}{R} \right) \cdot (L_{DATA} + L_{ACK}) + 2 \cdot (P_{T-start}t_{T-start} + P_{R-start}t_{R-start}) = k_1 \cdot (L_{DATA} + L_{ACK}) + 2 \cdot k_2 \tag{4}$$

$$k_1 = \frac{(P_{T-elec} + P_t) + P_{R-elec}}{R} \tag{5}$$

$$k_2 = P_{T-start}t_{T-start} + P_{R-start}t_{R-start} \tag{6}$$

其中, k_1 是传输 1bit 信息的能量消耗; k_2 为整个网络有效覆盖区的启动能耗。因此,通过双向链路 (k, i) 进行路由冲突协调,得到 WSN 的路由节点传输一个消息包的能耗开销占总能耗的百分比:

$$\eta_{comm} = \frac{k_1 \cdot l}{E_{comm}} \cdot (1 - p_{drop}) \tag{7}$$

其中, p_{drop} 为数据包分组协议传输的成功概率。为了避免 WSN 的接入冲突,以传输信道传输的失效代价为控制约束参量,得到代价函数:

$$p(t_k) = \theta_k e^{-\frac{\theta_k}{t_k}} \tag{8}$$

$$p(t_g) = \theta_g e^{-\frac{\theta_g}{t_g}} \tag{9}$$

其中, t_k, t_g 分别表示无线传感器网络传输通道在开启和关闭状态下的路由畅通时间, 不考虑重传下的数据包能耗, 定义 p_{drop} 为丢包率, 将邻居节点剩余能量值结合重传次数的限定, 得到 WSN 的能耗和能效的量化传导关系式:

$$E'_{comm} = E'_{TX} + E'_{RX} \quad (10)$$

$$E'_{TX} = N \cdot \frac{P_{T-elec}}{R} \cdot L_{DATA} + N \cdot \frac{P_l}{R} \cdot L_{DATA} + N \cdot P_{T-start} t_{T-start} + E_{TX} \quad (11)$$

$$E'_{RX} = N \cdot \frac{P_{R-elec}}{R} \cdot L_{DATA} + N \cdot P_{R-start} t_{R-start} + E_{RX} \quad (12)$$

$$E'_{comm} = N \cdot k_1 \cdot L_{DATA} + N \cdot k_2 + E_{comm} \\ = (N+1) \cdot k_1 \cdot L_{DATA} + k_1 \cdot L_{ACK} + (N+2) \cdot k_2 \quad (13)$$

$$\eta'_{comm} = \frac{k_1 \cdot l}{E'_{comm}} \cdot (1 - p'_{drop}) \quad (14)$$

其中, N 为最小传输半径的能耗量化传导次数, p'_{drop} 表示 WSN 的 Sink 簇的数据传输丢包率。通过上述处理, 建立 WSN 的分簇能耗调度模型, 以能量控制开销、丢包率、传输时延为约束参量指标路由探测的控制目标函数构建, 得到路由探测的控制目标函数:

$$T_s = \begin{cases} \min\{T|t_{now} + T_p + T_{delay} \cdot (1-\lambda) + T \in W_{2i+1}\}, & data=0 \\ \min\{T|t_{now} + T_p + T_{delay} \cdot (1-\lambda) + T \in W_{2i}\}, & data=1 \end{cases} \quad (15)$$

其中, t_{now} 是动态功耗 $P_{dynamic}$ 的采样时刻, T_p 是发送/接收的包的往返时延, T_{delay} 是 WSN 节点双方通信的通信时延。上述对 WSN 的分簇能耗调度模型的设计和能效分析为 WSN 路由探测设计提供了参考模型和准确的数据基础。

2 WSN 路由探测算法优化设计

在上述 WSN 的传输信道模型的构建及能效分析的基础上, 进行 WSN 的路由探测算法的优化设计, 以降低 WSN 路由节点的能量开销, 延长网络的寿命。针对当前 CSMA/CA 有限竞争的信道分配路由算法的抗干扰能力和能量均衡性不好的问题, 本文进行 WSN 路由探测算法的改进设计, 提出一种基于能耗量化传导的 WSN 路由探测算法。

2.1 能耗量化分配处理

WSN 传输信道的能量传导均衡模型是一个具有 n 个和 m 个输出参量的能量调度模型, WSN 节点的能量量化过程是将能量传递的时间轴划分成一个个相邻的能耗匹配模型, 能量量化过程转化为如下优化解的求解问题:

$$\begin{cases} x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \\ y = F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x))^T \\ g_i(x) \leq 0, i=1, 2, \dots, q \\ h_i(x) = 0, i=1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (16)$$

其中, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 表示 n 维的分簇路由矢量; $y = F(x)$ 表示能耗调度时间窗口映射函数; q 表示传感器节点双方通信的通信时延; p 表示网络中各节点的功率的调节系数。

在分布式无线传感器网络中, 分簇路由由集合为 S , 节点发射功率的传输向量集集合为 B , 节点 i 的网络分簇剩余能量

为 $E_{current}(i)$, 节点密度为 $D_{node}(i)$, 每个节点 $v \in V$ 的时序裕度为 $D_{solar}(i)$, 采用自适应能量均衡匹配, 得到网络分簇剩余能量实现周期收发的权值 $W_{CH}(i)$:

$$W_{CH}(i) = \begin{cases} [E_{current}(i) + E_{solar}(i)] \times D_{node}(i), & \text{if } i \in S \\ E_{current}(i) \times D_{node}(i), & \text{if } i \in B \cap D_{solar}(i) = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

根据上述算法描述, 最终将 WSN 路由探测中进行能耗量化传导的能耗量化分配描述为:

(1) 当 $D_{solar}(i) \geq D_{solar_thresh}$ 时, WSN 子网连接点路由以概率 p_1 发送数据, 路由冲突置信概率为 $P_n = \frac{P_0}{\delta}$;

(2) 当 $0 < D_{solar}(i) < D_{solar_thresh}$ 时, 网络覆盖区域中能量量化传导的能量传递为 p_2 ;

(3) 当 $D_{solar}(i) = 0$ 且 $D_{node}(i) \geq D_{node_thresh}$ 时, 进行路由冲突协调规避, 节点发射功率可以表述为: $G = \{P_1, P_2, \dots, P_n; u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 节点以概率 p_3 发送数据;

(4) 当 $D_{solar}(i) = 0$ 且 $D_{node}(i) < D_{node_thresh}$ 时, 活动的簇首节点以概率 p_4 发送数据, 能耗量化分配达到均衡。

其中 $D_{solar_thresh}, D_{node_thresh}$ 分别表示活动的簇首节点数量和能量阈值, 在最优策略集合下, 实现能耗量化分配处理。

2.2 WSN 路由优化探测与节点优化部署

在采用路由冲突协调机制进行能耗量化分配处理的基础上, 结合 WSN 传输信道的能量传导均衡模型实现 WSN 路由优化探测和 WSN 节点的优化部署, 路由 n 个端口的最优子节点位置为 $x(\eta_n)$, WSN 传输信道传输的相关性特征函数为:

$$E[x(\eta_p)x(\eta_q)] = \rho^{||\eta_p - \eta_q||} \quad (18)$$

其中, $\rho \in (0, 1)$ 表示节点 A 成功接入信道的传递系数, 发送节点采集的长消息分段到能量均衡信道中以进行能耗的量化传导, 得到 WSN 的能耗量化传导的有效性约束函数:

$$t_{comm} = DIFS + t_{backoff} + t_{DATA} + SIFS + t_{ACK} + t_{T-start} \quad (19)$$

$$t_{backoff} = C_R \times t_{slot}, 0 \leq C_R \leq CW \quad (20)$$

$$t_{DATA} + t_{ACK} = \frac{L_{DATA} + L_{ACK}}{R} \quad (21)$$

$$t_{T-start} = C \quad (22)$$

其中, $t_{backoff}$ 为信道最大允许重传次数; t_{slot} 是一个时隙, 在传输时延最小约束条件下, 设计退避计数器 C_R , 提取无线传感器网络通信信道的节点覆盖区域的能量谱特征, 计算发送/接收部件启动时延:

$$PER = 1 - (1 - BER)^{L_{DATA}} \quad (23)$$

其中, BER 与路径损耗指数 β 和传输距离 d 有关, 当 $\beta = 3.5$, 路由探测模型的节点分布密度 d 在 $20 \sim 30m$ 之间, 无线信道内的数据包长度的取值在 $5 \times 10^{-4} \sim 7 \times 10^{-3}$ 之间。在传输的路由信息成功接入信道后, 在简单链路下路由探测模型正确发送数据库的概率的计算公式为:

$$\tau = \frac{2}{CW + 1} \quad (24)$$

在 WSN 路由优化探测模型下, 进行 WSN 节点的优化部

署,假设 N 是平均重传次数, $N = \sum_{i=1}^m (i \cdot p_{drop}^i \cdot (1 - p_{drop}))$, 采用 CSMA/CA 竞争有限协议,得到节点部署的均衡调制表达式为:

$$t_{comm} = t_{ACK} + \sum_{i=0}^N (DIFS + C_R^i) \times t_{slot} + t_{DATA} + SIFS + t_{T-start} \quad (25)$$

通过统计特征分析得到 WSN 路由节点发生碰撞的概率 p_c 为:

$$p_c = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (26)$$

通过上述分析,采用路由冲突协调机制进行能耗量化分配,降低了节点的能耗开销,延长了网络的生存周期。

3 仿真实验与结果分析

为了测试本文算法在实现 WSN 路由探测和能量均衡设计中的性能,进行仿真实验。实验采用 Matlab 7 仿真工具进行编程设计,以 $100m \times 100m$ 二维平面作为无线传感器网络的通信覆盖区域,WSN 的单个路由由节点的通信半径为 $200m$, $P_c = 0.03$, $P_d = 0.03$,缓存大小设置为 $1000Mbps$,其他参数设定如表 1 所列。

表 1 仿真参数设定

参数名	值	参数名	值
k_1	$1.34\mu J/bit$	R	$20Kbps$
k_2	$21.22\mu J/bit$	BER	0.0007
h	$102bit$	$DIFS$	$50\mu s$
t	$15bit$	$SIFS$	$20\mu s$
L_{ACK}	$190bits$	节点数 n	20
CW	221	m	3
t_{slot}	$21.33\mu s$	MAC 协议	$802.11b$

根据上述仿真环境和参数设定,进行 WSN 的路由优化设计和节点部署,得到的初始节点分布如图 3 所示,其中 SN 为 Sink 节点, V_0 为 WSN 的根节点。

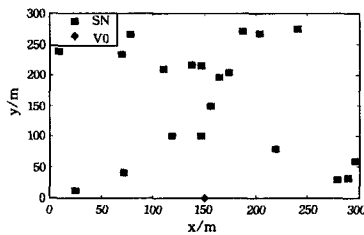


图 3 WSN 的初始节点分布

对 20 个 SN 节点进行数据发送过程中的能量消耗测试,得到不同方法进行 WSN 路由设计的能量消耗对比结果,如图 4 所示。

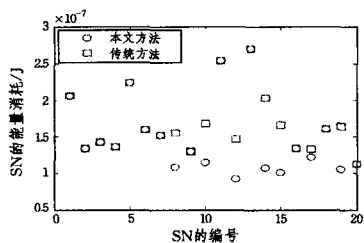
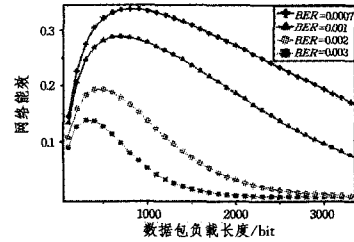


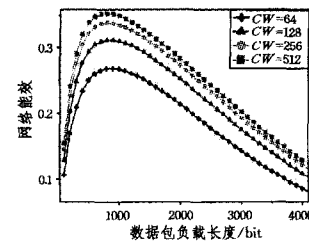
图 4 WSN 节点的能耗测试

分析图 4 的结果可知,采用本文方法进行 WSN 的路由

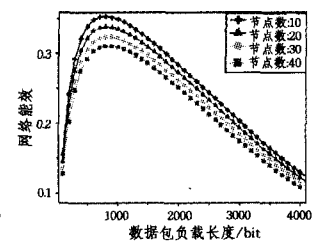
探测设计来实现节点的优化部署,有效降低了能量开销。为了定量刻画本文设计的 WSN 网络的能效模型,图 5 示出了在不同误码率(BER)、不同竞争窗口和不同节点数下的网络能效测试结果。



(a)不同误码率下的网络能效



(b)不同竞争窗口下的能效

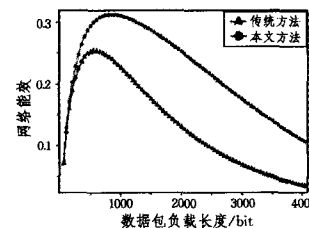


(c)不同节点数下的能效

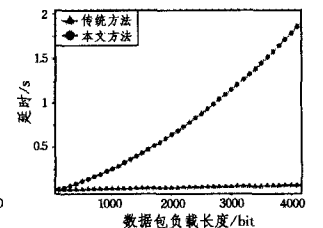
图 5 WSN 的能效测试

分析图 5 的结果可知,网络的能效与误码率具有负相关关系,随着 BER 的增大,网络的能效降低,为了实现网络能效和误码率的均衡,在满足较低的传输误码率的同时提高网络能效,需要进行路由优化设计。网络的能效随着最小竞争窗口的增大而增大,这是因为在 WSN 的竞争信道中容易产生传输包之间的路由冲突,CW 越大,丢包概率越小,能效越大,采用本文方法进行路由冲突规避能提高网络的能效,降低数据包丢包率。

图 6 示出了不同方法进行 WSN 路由探测设计的网络总能效和传输时延对比结果。分析得知,采用本文方法进行 WSN 的路由探测设计能提高节点的能效,降低能耗的开销,网络进行数据包传输的时延收敛到 $0.0015s$;而传统方法的能效较低,传输时延随着数据包的负载长度增大而不断增大,影响了 WSN 的数据包传输的实时性和准确性。实验结果证明了本文方法的优越性能。



(a)WSN 网络能效



(b)数据包传输延时

图 6 网络的性能测试对比

结束语 本文研究了 WSN 的路由优化探测设计的问题,提出了一种基于能耗量化传导的 WSN 路由探测算法,建立了 WSN 的数据包传输信道模型和分簇能耗调度模型,采用路由冲突协调机制进行能耗量化分配,结合 WSN 传输信道的能量传导均衡模型实现 WSN 的路由优化探测和 WSN 节点的优化部署。实验采用所提方法进行 WSN 路由探测

计,建立了能效分析模型,分析了网络能效与竞争窗口、误码率和节点数的关系。测试结果表明,采用本文方法进行 WSN 的路由探测设计时网络的能效较高,传输时延较小,提高了网络的整体性能。

参考文献

- [1] ZHAO G R, HAN X, DU W J, et al. Fusion estimator with stochastic sensor gain degradation for uncertain systems[J]. Control and Decision, 2016, 31(8): 1413-1418. (in Chinese)
赵国荣, 韩旭, 杜闻捷, 等. 具有传感器增益退化的不确定系统融合估计器[J]. 控制与决策, 2016, 31(8): 1413-1418.
- [2] QIN N N, YU Y H, WU D E. Autonomous Deployment Algorithm in Mobile Heterogeneous Networks[J]. JEIT, 2016, 38(7): 1838-1842. (in Chinese)
秦宁宁, 余颖华, 吴德恩. 移动混合传感网中节点自主部署算法[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(7): 1838-1842.
- [3] DONG G L, RYU K S, BASHIR M, et al. Discovering medical knowledge using association rule mining in young adults with acute myocardial infarction[J]. Journal of Medical Systems, 2013, 37(2): 1-10.
- [4] KHALIL A, SAMI A. SysDetect: a systematic approach to critical state determination for industrial intrusion detection systems using Apriori algorithm[J]. Journal of Process Control, 2015, 27(6): 154-160.
- [5] KASHI S S, SHARIFI M. Coverage rate calculation in wireless sensor networks[J]. Computing, 2012, 94(11): 833-856.
- [6] WANG J, LU J Z, ZENG X F. Data aggregation scheme for wireless sensor network to timely determine compromised nodes[J]. Journal of Computer Applications, 2016, 36(9): 2432-2437. (in Chinese)
- [7] BOUDIA O R M, SENOUCI S M, FEHAM M. A novel secure aggregation scheme for wireless sensor networks using stateful public key cryptography[J]. Ad Hoc Networks, 2015, 32(C): 98-113.
- [8] CHEN S, WANG G, JIA W. Cluster-group based trusted computing for mobile social networks using implicit social behavioral graph[J]. Future Generation Computer Systems, 2016, 55(8): 391-400.
- [9] SUN C, YANG C X, FAN S, et al. Energy Efficient Distributed Clustering Consensus Filtering Algorithm for Wireless Sensor Networks[J]. Information and Control, 2015, 44(3): 379-384. (in Chinese)
孙超, 杨春曦, 范莎, 等. 能量高效的无线传感器网络分布式分簇一致性滤波算法[J]. 信息与控制, 2015, 44(3): 379-384.
- [10] CAO Y L, WANG X M, HE Z B. Optimal Security Strategy for Malware Propagation in Mobile Wireless Sensor Networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2016, 44(8): 1851-1857. (in Chinese)
曹玉林, 王小明, 何早波. 移动无线传感网中恶意软件传播的最优安全策略[J]. 电子学报, 2016, 44(8): 1851-1857.
- [11] MAHBOUBI H. Distributed deployment algorithms for efficient coverage in a network of mobile sensors with nonidentical sensing Capabilities[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2014, 63(8): 3998-4016.
- [12] FANG N P. Cross-Layer Energy Balanced Routing Protocol in Wireless Sensor Networks[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2016, 30(10): 122-128. (in Chinese)
房能沛. 无线传感器网络跨层能耗均衡路由协议[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016, 30(10): 122-128.
- (上接第 217 页)
- [2] FALL K. A delay-tolerant network architecture for challenged Internets[C]//Proc. of the 2003 Conf. on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. Karlsruhe: ACM, 2003: 27-34.
- [3] ZHANG Z. Opportunistic routing in mobile ad hoc delay-tolerant networks (DTNs)[M]//Advances in Delay-Tolerant Networks (DTNs). 2015: 159-172.
- [4] LIU J S, ISSARNY V. Enhanced reputation mechanism for mobile Ad hoc networks[M]//Trust Management. 2004: 48-62.
- [5] BUTTYN L, DRA L, FLEGYZHI M, et al. Barter trade improves message delivery in opportunistic networks[J]. Ad Hoc Networks, 2010, 8(1): 1-14.
- [6] BIN C, MUN C C. Mobicent: a credit-based incentive system for disruption tolerant network[C]//Proceedings of InfoCom2010. San Diego: IEEE Press, 2010: 1-9.
- [7] BUCHEGGER S, LE BOUDEC J Y. A robust reputation system for P2P and mobile Ad-hoc networks[C]//Proc of the 2nd Workshop on Economics of P2P Systems. 2004.
- [8] LI Y, YU J H, YOU X H. An incentive protocol for opportunistic networks with resources constraint[J]. Chinese Journal of Computers, 2013, 36(5): 947-956. (in Chinese)
- 李云, 于季弘, 尤肖虎. 资源受限的机会网络节点激励策略研究[J]. 计算机学报, 2013, 36(5): 947-956.
- [9] REN Z, SUO J W, LIU W P, et al. High-throughput and low-overhead peobabilistic routing based on multi-player bargaining game for opportunistic networks[J]. Journal on Communications, 2015, 36(6): 2-8. (in Chinese)
任智, 索建伟, 刘文朋, 等. 基于多方议价博弈的机会网络高吞吐量低开销率路由算法[J]. 通信学报, 2015, 36(6): 2-8.
- [10] LIU Q L, LIU M S, LI Y. Novel game-based incentive strategy for opportunistic networks[J]. Application Research of Computers, 2015, 32(7): 2128-2132. (in Chinese)
刘期烈, 刘茂松, 李云. 基于博弈论的机会网络激励机制的研究[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(7): 2128-2132.
- [11] ZHAO G S, CHEN M. Research of incentive-aware data dissemination in selfish opportunistic networks[J]. Journal on Communications, 2013, 32(4): 73-84. (in Chinese)
赵广松, 陈鸣. 自私性机会网络中激励感知的内容分发的研究[J]. 通信学报, 2013, 32(4): 73-84.
- [12] LINDGREN A, DORIA A, SCHELÉN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 19-20.