

一种基于遗传算法的移动无线传感器网络节能路由协议的设计

王建平^{1,2}, 曲培新¹, 陈 伟², 刘 泉²

(1 河南科技学院 信息工程学院, 河南 新乡 453003; 2 武汉理工大学 信息工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 基于遗传算法设计了一种移动无线传感器网络的节能路由协议. 详细阐述了整个 MWSN 网络中分簇的实现过程, 提出了 MWSN 网络的电能消耗模型, 基于遗传算法实现了节点剩余电量的查询与优化处理. 基于 OM-Net++ 实现了协议仿真, 发现该协议优于 M-LEACH 协议. 结果显示, 该协议更适合用于能耗相对紧张而移动性较强的 MWSN 网络.

关键词: 移动无线传感器网络; 遗传算法; 节能路由协议; M-LEACH; OMNet++; 网络生命周期

中图分类号: TN402

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)06-0111-06

Designing of an Energy-Efficient Routing Protocol Based on Genetic Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks

WANG Jian-ping^{1,2}, QU Pei-xin¹, CHEN Wei², LIU Quan²

(1 School of Information Engineer, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;

2 School of Information Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: In this paper, we designed an energy efficient routing protocol for MWSN based on Genetic Algorithm (GA). The clustering process, the power model were elaborated in details, and the optimal residual energy of a node was found by using GA. we did the simulation studies based on OMNet++, and compared with M-LEACH. The results revealed that, the network lifetime, average packet delivery ratio and average end-to-end delay of energy-efficient routing protocol were all superior to M-LEACH. The protocol was more suitable for MWSN.

Key words: Mobile Wireless Sensor Network (MWSN); Genetic Algorithm (GA); Energy-Efficient Routing Protocol; M-LEACH; OMNet++; Network Lifetime

1 引言

随着传感器技术和无线网络技术的不断发展, 导致了移动无线传感器网络(MWSN)的产生. MWSN使用低成本、低功耗的多功能传感器节点实现对监控目标的管理, 以提高数据的保真度. 移动无线传感器网络的特点是传感节点数目多, 易失效, 通信能力有限, 电源能量有限, 移动性强, 因此, 降低能耗和延长网络生命周期是其网络设计的关键.

文献[1]中提出了一种基于移动簇的 MWSN 协议. 在该协议中, 传感器节点根据其剩余能量和移

动性被选为簇头. 簇头通过估算连接时间来分配给簇成员一个基于 TDMA 的升序的传输数据时槽. 簇成员通过计算连接时间、剩余电量、节点到簇头的度数与节点和簇头之间的距离来决定是否连接到簇头. 文献[2]中提出了一种 MWSN 网络的低耗能自适应聚类层次协议(M-LEACH). 这种协议提出了移动性对 MWSN 网络能耗的影响. 该协议采用在传输范围内设置缓冲区来增加网络的容量. 该协议指出, 加入簇、TDMA 时槽分配和数据从簇头到基站传输的能耗变化不大, 而选择一个优化的缓冲区和拓扑变化间隙在该协议中是非常关键的. 文献[3]

收稿日期: 2013-08-13; 修回日期: 2013-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(51175389); 河南省信息技术教育研究重点项目(ITE12037)

中提出了一种基于 QoS 的移动多播路由协议, 这种协议采用多目标遗传算法来决定最优路径. 该算法为用户提供了一组帕累托最优解决方案, 可让用户灵活地选择最佳的解决方案.

本文基于遗传算法设计了一种移动无线传感器网络的节能路由协议. 最后基于 OMNet++ 实现了协议的仿真分析.

2 节能路由协议的建模分析

将一组移动传感器节点的集合表示为 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ (VID 代表节点的虚拟 ID), 这些节点被放置在一个 $A \times A$ 的区域内, 这个区域被划分成 $a \times a$ 的多个方形区域. 所有的方形区域的数量 (Z) 计算如下:

$$Z = \frac{A \times A}{R_{\text{Max}}^2} \quad (1)$$

式中, R_{Max} 代表传感器节点的最大传输范围. 用 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ 表示区域 X 中的移动传感器节点. 所有在区域中的节点都应该能和簇头节点 X_{ZH} 进行通信. 并且假定网络中所有节点都知道 X_{ZH} 的 VID.

2.1 簇头节点的推举

初始状态下, 区域内第一个发起通信的节点被推举为簇头节点 X_{ZH} . 头节点广播它的 VID 信息给所有在它的传输范围内的其他节点. 区域内的所有节点通过发送 JOIN_MSG_MEM 报文给 X_{ZH} , 从而成为该区域的成员. 这些节点和 X_{ZH} 节点进行周期性的通信, 不断的更新它们的剩余电量和移动因子.

当一个新节点进入一个区域时, 它会广播一个注册前导序列 (Registration Strobed Preamble, RSP) 报文. X_{ZH} 收到 RSP 报文后, 则会发送其 VID 给该节点. 和短前导报文不同的是, RSP 报文不包括接收端地址. 任意节点要离开该区域时, 必须要给 X_{ZH} 发送 LEAVE_MSG 报文.

网关节点指的是传输范围跨越了至少两个区域的节点. 发送 JOIN_MSG_GW 报文给 X_{ZH} 的节点就会变成网关节点. 移动因子通过一个周期 T 内每个区域变化率计算得出. 当 X_{ZH} 节点的剩余电量低于预先设定的电量阈值 $P_{\text{Res-th}}$, 并且移动性高于预先设定的移动阈值 M_{th} 时, 它就会查找一个新的节点来承担 X_{ZH} 的角色.

当前区域内具有最大剩余电量和最小移动因子

的节点会被推举为下一个 X_{ZH} 节点. 当前的 X_{ZH} 节点会将数据移交给新的 X_{ZH} 节点, 并且广播新 X_{ZH} 节点的 VID 给区域内的其他所有节点. 然后, 该节点将会卸任其 X_{ZH} 节点的身份, 变成区域内的普通成员.

2.2 分簇过程的构建

分簇是整个 MWSN 网络的核心任务, 本文构建的节能路由协议中, 整个分簇过程的构建步骤如下:

(1) 将整个网络区域划分成多个相等的方形区域.

(2) 整个方形区域的数量 Z 计算如式(1)所示.

(3) 在区域 X 中首先发起通信的节点被推举为该区域的初始化 X_{ZH} 节点, (x_{Xc}, y_{Xc}) 表示区域 X 的中心节点, (x_{mc}, y_{mc}) 表示中心节点的邻居节点.

(4) X_{ZH} 节点广播其 VID 和位置 (x_{Xj}, y_{Xj}) 给它的邻居节点.

(5) 邻居节点通过其当前位置 (x_{Xi}, y_{Xi}) 进行检测, 相关的检测伪代码描述如下:

```
if( $\sqrt{(x_{Xj} - x_{Xi})^2 + (y_{Xj} - y_{Xi})^2} < a/2$ )
    send(JOIN_MSG_MEM,  $X_{ZH}$ );
// 发送 JOIN_MSG_MEM 报文给  $X_{ZH}$  节点;
if( $a/2 \leq \sqrt{(x_{Xj} - x_{Xi})^2 + (y_{Xj} - y_{Xi})^2} \leq a$ )
    if( $\sqrt{(x_{Xi} - x_{Xc})^2 + (y_{Xi} - y_{Xc})^2} \leq a/2 \&\& V_t^{Xi} = 0$ )
        send(JOIN_MSG_GW,  $X_{ZH}$ );
// 发送 JOIN_MSG_GW 报文给  $X_{ZH}$  节点;
else if( $\sqrt{(x_{Xi} - x_{mc})^2 + (y_{Xi} - y_{mc})^2} \leq a/2 \&\& V_t^{Xi} > 0$ )
    send(JOIN_MSG_GW,  $X_{ZH}$ );
// 发送 LEAVE_MSG 报文给  $X_{ZH}$  节点;
broadcast(RSP); // 广播 RSP;
end if;
end if;
```

2.3 节能通信过程的建立

在 MWSN 网络中, 节点一般处于激活或者休眠状态. 在休眠状态下, 节点关闭射频, 设置一个定时器等来唤醒. 此时, 节点消耗的电量非常少. 射频会在预先设定的时刻自动唤醒, 然后, 节点会通过发送一个脉冲序列来将事件通知 X_{ZH} 节点. 该脉冲序列由一系列的短前导帧构成. 每个帧之间都存在一个较小的时间间隙, 该间隙用来监听信道. 短前导帧由

节点的 VID,数据生成时间,预期接收者的 VID 等字段构成.在唤醒节点后,接收端在间隙时段内发送一个早期确认帧(EACK)到发送端.收到短前导帧的节点,在该帧中查看目标节点的 VID,如果发现其 VID 和自己的 VID 不同,将立即切换到休眠模式.

发送端在等待一个 DIFS 周期后发送一个 RTS 数据帧.一个新的节点进入区域后,设置它的 NAV_{RTS},然后在指定的时间间隔内返回休眠模式.接收端在等待一个 SIFS 周期后发送一个 CTS 帧.其它所有的节点尝试和接收节点进行通信,是否转入休眠模式决定于是否接收到 CTS 帧.最后,发送端发送数据到接收端,收到数据帧后,接收端发送一个确认帧,这个过程一直持续. RTS-CTS 机制避免了由网络的动态特性导致的 I 终端隐藏问题.

2.4 电能消耗模型

假定在时刻 T ,节点 X_j 准备发送数据到头节点 X_{ZH} .假设节点初始化射频电路的耗电量为 P_{RF} ,从该节点向 X_{ZH} 节点传输数据的所需电量为 $P_{Tx}^{X_{ZH}X_j}$,则节点 X_j 发送一个数据帧的电能消耗计算如式(2)所示.

$$P_{Tx}^{X_{ZH}X_j} = \left[P_{RF} + \left(\frac{(P_{Tx} \times S_p) + (P_{Rx} \times S_{al})}{R_L - S_p} \right) \times (R_L + R_S) \right] + [P_{idle} \times \{DIFS + (3 \times SIFS)\} + P_{Tx} \times (L_{RTS} + L_{DATA})] + P_{Rx} \times (L_{CTS} + L_{ACK}) + (M-1) \times (P_{idle} \times (DIFS + (2 \times SIFS) + L_{CTS} + (P_{Tx} \times L_{RTS})) \quad (2)$$

式中, P_{Tx} 表示发送所需电能, P_{Rx} 表示接收所需电能, P_{idle} 表示空闲所需电能, P_{slp} 表示休眠状态所需电能. S_p 表示持续的发送时间, S_{al} 表示持续的发送确认时延, R_L 表示接收端监听时间, R_S 表示接收端的休眠时间. M 表示传输一个数据帧的平均尝试次数. DIFS 表示数据帧间间距, SIFS 表示短帧间距. L_{CTS} 表示监听 CTS 的时间, L_{ACK} 表示监听 ACK 的时间, L_{DATA} 表示监听数据的时间, L_{RTS} 表示监听 RTS 的时间. R_a 表示接收端回送 EACK 的持续时间.

头结点 X_{ZH} 接收一个数据帧的电能消耗如公式(3)所示.

$$P_{Rx}^{X_{ZH}} = \left[P_{RF} + \left(\frac{(R_S \times P_{slp}) + (R_L \times P_{idle})}{(1 - (1 - p_d(t))^{(R_L + R_S)})} \right) \right] + (P_{Rx} \times S_p) + (P_{Tx} \times R_a) + P_{Rx} \times (L_{RTS} + L_{DATA}) + P_{idle} \times 3 \times SIFS + P_{Tx} \times (L_{ACK} + L_{CTS}) +$$

$$(M-1) \times [(P_{idle} \times 2 \times SIFS) + (P_{Tx} \times L_{CTS})] \quad (3)$$

在一个给定时间间隙内接收一个数据包的概率为 $P_d(t)$,最优的瞬时估计是 $P_d(t) = \frac{k}{n}$,在这里, k 个数据包在 $n \times T$ 个周期内到达,这个可以采用 n 维 Bernoulli 过程来进行建模,节点 X_i 进行数据监听所需的电能消耗如式(4)所示.

$$P_{Ov}^{X_i} = P_{RF} + \frac{(R_S \times P_{slp}) + (R_L \times P_{Rx})}{1 - (1 - P_d(t))^{(R_L + R_S)}} \times \delta + (P_{Rx} \times L_{RTS} + P_{idle} \times DIFS) \times \Delta \quad (4)$$

如果 $\delta = 1$,则邻居节点发送一个较小的频闪前导,如果 $\Delta = 1$,邻居节点发送一个控制帧. P_{RF} 指的是节点 X_i 进行射频初始化时的电能.当没有事件到来时,每个节点都要进行周期性的监听和休眠.在这个过程中节点保持非激活状态.其中, $P_{inactive}^{X_i}$ 表示节点在非激活状态时的功耗. T_{listen} 指的是节点在空闲时的监听时间, T_{ci} 指的是检测的时间间隔. T_{slp} 指的是节点的休眠时间.在这个过程中节点的电能消耗计算如式(5)所示.

$$P_{inactive}^{X_i} = P_{idle} \times \frac{T_{listen}}{T_{ci}} + P_{slp} \times \frac{T_{slp}}{T_{ci}} \quad (5)$$

$$T_{ci} = T_{listen} + T_{slp} \quad (6)$$

设 $N_{Tx}^{X_i}$ 表示节点 X_i 发送数据包的个数, $N_{Rx}^{X_i}$ 表示节点 X_i 接收到数据包的个数, $N_{Ov}^{X_i}$ 表示节点 X_i 监听数据包的个数. $P_{Rx}^{X_i}$ 表示节点 X_i 接收数据包的功耗, $P_{Tx}^{X_iX_{ZH}}$ 表示节点 X_i 向头结点 ZH 传输数据的功耗, $P_{Ov}^{X_i}$ 表示监听数据包的功耗, $P_{inactive}^{X_i}$ 表示节点处于非激活状态的功耗, $T_{inactive}^{X_i}$ 表示节点 X_i 处于非激活状态的时间.节点 X_i 在时间 T 内平均消耗的总电能 $P_{Total}^{X_i}$ 如式(7)所示.

$$P_{Total}^{X_i} = \frac{(N_{Tx}^{X_i} \times P_{Tx}^{X_{ZH}}) + (N_{Rx}^{X_i} \times P_{Rx}^{X_i}) + (N_{Ov}^{X_i} \times P_{Ov}^{X_i}) + P_{inactive}^{X_i} \times T_{inactive}^{X_i}}{T} \quad (7)$$

设 $T_{Tx}^{X_i}$ 表示节点 X_i 发送时间, $T_{Rx}^{X_i}$ 表示节点 X_i 接收, $T_{Ov}^{X_i}$ 表示节点 X_i 监听时间,则节点的整个激活状态的时间 $T_{active}^{X_i}$ 如式(8)所示.

$$T_{active}^{X_i} = T_{Tx}^{X_i} \times N_{Tx}^{X_i} + T_{Rx}^{X_i} \times N_{Rx}^{X_i} + T_{Ov}^{X_i} \times N_{Ov}^{X_i} \quad (8)$$

同时可以推导出如下公式:

$$T_{inactive}^{X_i} = T - T_{active}^{X_i} \quad (9)$$

在时间 T 内,节点 X_i 的剩余电量 $P_{Res}^{X_i}$ 为

$$P_{\text{Res}}^{X_i} = \frac{P_{\text{init}}^{X_i} - P_{\text{total}}^{X_i}}{T} \quad (10)$$

在周期 T 内,节点的剩余电量和期望的传感器电池电量与总的电能消耗是不同的.

2.5 移动性分析

本文提出了一种随机路标移动性模型. 该模型可以用来描述一个传感器节点的随机移动过程. 节点选择给定区域的一个随机目标点,通过恒定的速率向该节点移动. 在移动到下一个目标节点之前它等待一个暂停时间. 节点从起点移动到下一个目标点的过程称为“跃迁”. 随机变量表示的是在周期 T 内,一个节点选择移动到的目标节点的笛卡儿坐标,其可以用向量表示如下:

$$\{P_{t_i}^{X_i}\}_{i \in T} = P_{0_i}^{X_i}, P_{1_i}^{X_i}, P_{2_i}^{X_i}, \dots, P_{n_i}^{X_i} \quad (11)$$

节点 X_i 的整个移动过程可以表示如下:

$$\{P_{t_i}^{X_i}, V_{t_i}^{X_i}, T_{p,i}^{X_i}\}_{i \in T} \quad (12)$$

在式(12)中, $V_{t_i}^{X_i}$ 表示的是时刻 T 时的速度, $T_{p,i}^{X_i}$ 表示的是在目标点 P_{t_i} 的暂停时间. 传输长度指的是在一个移动周期内,一个节点从源端到目标端移动的欧几里得距离,在 $A \times A$ 区域内的期望的传输距离表示如下:

$$E(L) = 0.5214 \times A \quad (13)$$

传输时间指的是节点从一个位置移动到另一个位置的时延,期望的传输时间计算如下:

$$E(T) = \frac{1}{V_{t_i}^{X_i}} \times E(L)$$

$$V_{\min} \leq V_{t_i}^{X_i} \leq V_{\max} \quad (14)$$

在给定的时间 T 内,假设 z 表示的是节点改变区域的次数. 在一个规则的 $n \times n$ 网格中,在一次传输过程中,期望的区域改变次数计算如下:

$$E(Z) = \frac{2 \times (n^2 - 1)}{3 \times n} \quad (15)$$

平均区域变化率计算如下:

$$\lambda^{X_i} = \frac{E(Z)}{E(T)} \times T \quad (16)$$

2.6 基于 GA 的剩余电量优化

本文利用 GA 优化算法来查找剩余电量的阈值 $P_{\text{Res-th}}$. GA 是一种基于计算机的搜索寻优算法,它遵循自然遗传的原则. 在该算法中,变量用二进制的 0 和 1 来表示. 适合函数功能来源于目标函数,它被用在连续的遗传操作上. 每个串用于来查找最佳适配值,整个种群的操作主要包括复制,交叉和变异三种操作. 一个复制算子采用一个选择器用来在种群中

选择优良在串,并且形成一个交配池. 新串通过交叉概率 P_c 的串交换信息,从而将被放置在交配池中,通过变异概率 P_m 实现将 1 变成 0,或者将 0 变成 1.

本文通过 GA 算法来查找一个节点无法再胜任 X_{ZH} 节点时的最小剩余电量. 通过如下约束,实现 $P_{\text{Res}}^{X_i}$ 最小化:

$$(1) N_{1k}^{X_i} + N_{Rk}^{X_i} + N_{0k}^{X_i} \leq N;$$

$$(2) (x_{X_{ZH}} + V_{t_i}^{X_{ZH}} \cos \theta_{X_{ZH}} t - x_{X_i} + V_{t_i}^{X_i} \cos \theta_{X_i} t)^2 + (y_{X_{ZH}} + V_{t_i}^{X_{ZH}} \sin \theta_{X_{ZH}} t - y_{X_i} + V_{t_i}^{X_i} \sin \theta_{X_i} t)^2 \leq R_{\text{Max}}^2;$$

$$(3) P_{\text{total}}^{X_i} \leq P_{\text{init}}^{X_i}.$$

第一个约束指的是节点能够参与的最大通信数量. 第二个约束指的是,对于一个在区域内的节点,该节点和 X_{ZH} 之间的距离应该小于或者等于该节点最大传输范围的平方. 第三个约束指的是,在任意时刻 T ,总的电能消耗总是小于期望的电池电能.

每根染色体表示为固定长度的序列,在该序列中,每个遗传因子代表一个变量,例如发送端的数量,接收端的数量,监听次数,移动的速度,移动方向,节点的定位坐标等. 因为它是一个最小化的约束问题,目标函数就由一个惩罚函数 $\rho_{\text{Res}}^{X_i}$ 替代,其中表示 P 惩罚因子,则惩罚函数表示如式(17):

$$\rho_{\text{Res}}^{X_i} = P_{\text{Res}}^{X_i} + P \quad (17)$$

适应度函数 $F(\text{Ch}_{X_i})$ 用于实现最小化,它涉及到剩余电量. 该适应度函数定义如式(18)所示:

$$F(\text{Ch}_{X_i}) = \frac{1}{1 + P_{\text{Res}}^{X_i}} \quad (18)$$

上述约束检查进化过程中的每个染色体. 在复制过程中,基于适应度函数选择高质量的染色体. 所有的这些选择方法都用于实现复制具有高质量适应度的个体. 选择的串被用于实现交叉操作. 本文采用了启发式交叉方案,这种方案采用双亲染色体的适配值来决定搜索方向.

$$\text{Offspring 1} = \text{best parent} + r \times (\text{best parent} - \text{worst parent}) \quad (19)$$

$$\text{Offspring 2} = \text{best parent} \quad (20)$$

在上面的公式中 r 是一个介入 0~1 之间的随机数. 启发式交叉定义了一个用户来决定在可行的染色体中查找 r 的次数. 整个遗传处理过程基于交叉概率 P_c 进行判定,如果满足交叉概率值,则执行交叉操作,新串将被放置在种群中间. 否则,旧串将被放置在中间种群作为后续遗传操作. 本文采用了

基于用户自定义变异概率的一种自适应变异方法. 初始状态下,在染色体中改变一个或者多个基因可以产生一个完整的新基因,因此可以达到比以前更好的解决方案.这种方式阻止了种群仅仅停滞在局部最优.

2.7 路由模型

本文提出的路由协议基于改进的 AOMDV^[4] 协议.在该路由协议中,节点周期性的更新它的移动因子和剩余电量,并把其向 X_{ZH} 节点汇报.在检测到一个事件后,源节点产生一个数据通知报文,该报文由短前导帧构成.一个区域内的多个传感器节点可能同时检测到该事件,并且采用内部路由协议尝试发送数据通知报文给 X_{ZH} 节点^[5].在激活状态下, X_{ZH} 节点验证数据生成时间,并且发送一个包含最新数据生成时间的 EACK 帧.然后, X_{ZH} 检查目标端是否在其区域内,如果在,数据就会主动发送到目标端.否则,数据就会通过网关节点转发到其他区域.部分最优路径基于节点的最大剩余电量来选择,而不是将整个可用的多路径存储在路由表中.

路由请求报文(RREQ)包含了如下字段:

< Source address, source sequence no., broadcast ID, advertised hop count, destination address, destination sequence no., residual power-path (n)>

路由回复报文包含如下字段:

< Source address, destination address, sequence number, advertised hop count, maximum residual power, lifetime>

当 X_{ZH} 节点从网关节点收到一个 RREQ 报文后,它检查 RREQ 中的序列号是否比节点的序列号大.如果是,它沿着这条路径增加它的剩余电量到已经存在的电量中.通过这个方法,它可能在指定的路径上达到它的最大剩余电量. RREQ 从源端发送到不同的目标端时通常要设置反向路径.路由表中的路径通过一个降序的剩余电量值来保存.最短路径最初被源节点选为路由路径.在进行路由选择失败时,数据包沿着最大剩余电量的路径进行转发.

3 仿真分析和性能研究

该协议的仿真验证过程采用 OMNet++^[6]. OMNet++ 是一个基于 C++ 的扩展仿真工具包.我们设计了一个由 30 个传感器节点构成的 MWSN

网络环境,每个传感器的传输距离为 30 m,这些传感器随机的分布在 $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ 的一个区域内,整个网络范围被划分为 4 个区域,每个区域的是 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$.

节点采用随机路标移动模型进行运动,其最大的速率为 1.38 m/s ,暂停时间为 0.1 s .仿真时间设置为 100 s 和 $1\,500\text{ s}$,仿真参数如表 1 所示.

表 1 协议仿真参数

参数	值	参数	值
电池容量	2 850 mAh	发送功率	68 mW
接收功率	45 mW	空闲功率	54 μW
休眠功率	2.7 μW	初始化合率	10 mW
发送序列持续时间	0.3 ms	接收端监听时间	0.3 ms
发送 EACK 时序时间	0.3 ms	接收端休眠时间	0.256 ms
数据帧的大小	1 000 b	数据帧速率	250 kb/s
RTC,CTS	64 b	ACK 大小	64 b

本文进行了该协议与 M-LEACH 协议的性能比较.我们测量了数据包的传输率、平均端到端分组延迟、沿路由路径的电量消耗和网络的生命周期等参数.从图 1 看到,数据帧的传输率会降低随着移动性的增加而下降.相比而言,M-LEACH 路由协议在移动性不断增加时,其数据帧的传输速率降低更快一些.而在节能路由协议中,由于链路损坏被最小化,更少的簇头变化和网关节点的剩余电量不参加通信,因此改进了数据帧的传输速率.由于路由表中存在多条路由路径,节点移动性的影响就会减少.如果一条链路出错,替代路由将会立即被指定.

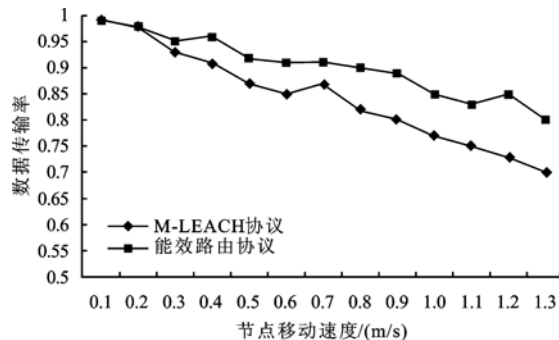


图 1 针对节点移动性的平均数据报传输率

图 2 指出,节能路由协议的端到端的延迟和路由重发的概率比 M-LEACH 协议要小,这就避免了终端隐藏问题,实现了最小化的监听控制.

图 3 显示了路由选择过程中的平均电能消耗,它可能发生在 X_{ZH} 节点向区域成员或网关节点传输数据时.在节能路由协议中,控制监听和带宽浪费相对较小.节能路由协议避免了路由重发导致的路径

破坏. 两个区域的通信经过网关节点进行, 这减少了通过整个区域的路由信息泛洪导致的控制流量. 接收端在唤醒后通过发送 EACK 帧来减少传输过程中的电量消耗.

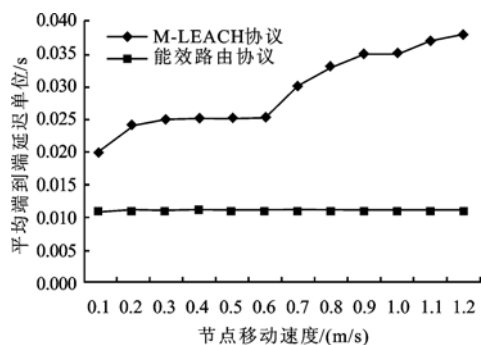


图2 数据报的平均端到端延迟和节点速度

图4对比了节能路由协议和 M-LEACH 协议下的网络生命周期. 网络生命周期定义的是网络节点的平均存活时间. 可以看到, 采用节能路由协议的网络生命周期是 M-LEACH 协议的两倍.

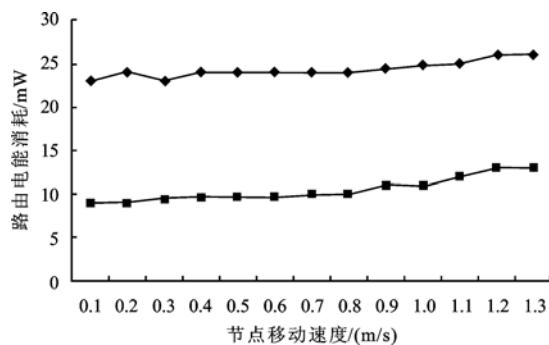


图3 路由的平均电能消耗和节点移动速度之间的关系

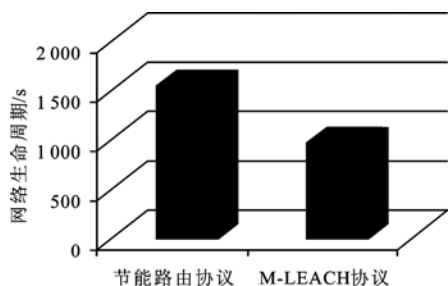


图4 网络的生命周期

在节能路由协议中, 移动性较高而剩余电量较少的节点不参与通信, 因此增加了网络生命周期. 在路由表中存在备用路由, 甚至由于节点移动性导致的链路损坏, 也能保证整个网络的连接性. 节能路由协议的平均剩余电量比 M-LEACH 路由协议要高.

仅在事件到来时节点才处于唤醒状态, 这意味着节点的休眠时间增加. 因此, 网络的生命周期在节能路由协议中增加了.

4 结束语

本文基于遗传算法设计了一种移动无线传感器网络的节能路由协议. 进行了整个协议的性能仿真, 通过和 M-LEACH 协议对比发现, 提出的这种节能路由协议的网络生命周期是 M-LEACH 协议的两倍, 其在数据帧传输效率, 平均的端到端延迟和节能方面均优于 M-LEACH 协议. 因此, 该协议更适合使用在电能相对紧张而移动性较强的 MWSN 网络中.

参考文献:

- [1] Deng S, Li J, Shen L. Mobility-based clustering protocol for wireless sensor networks with mobile nodes[J]. IET Wireless Sensor Syst, 2011, 1(1): 39-47.
- [2] A Nayebi, H Sarbazi-Azad. Performance modeling of the LEACH Protocol for mobile wireless sensor networks [J]. Parallel Distr Comput, 2011, 71 (6): 812-821.
- [3] A Roy, S K Das. QM2RP: A QOS-based mobile multicast routing protocol using multi-objective genetic algorithm[J]. Wireless Netw, 2004(10): 271-286.
- [4] M K Marina, S Das. On-demand multipath distance vector routing in Ad Hoc networks[C]//Proc Int Conf Netw Protocols. [s. l.]: IEEE, 2001: 14-23.
- [5] 范敏, 胡伟. 一种新的无线传感器网络定位算法研究. 微电子学与计算机, 2012, 29(02): 138-141.
- [6] OMNet++ Simulator[EB/OL]. [2013-08-13]. <http://www.omnetpp.org>

作者简介:



王建平 男, (1981-), 博士生, 讲师. 研究方向为无线传感器网络、认知无线电、软件无线电技术.