

多事件节能的无线网络传感器协议^①

冉 涌

重庆三峡职业学院 机械与电子工程系, 重庆 404155

摘要: 为了解决距离基站(Base station, BS)较远的传感器节点使用多跳通信向 BS 传输数据时产生更高能量消耗和使用寿命短的问题, 该文提出了一个多事件节能蚁群优化数据传输(Energy Efficient Ant Colony Optimized Data Transmission, EEACODT)无线网络传感器协议. 该协议消除了现有协议的一些限制和缺点, 根据距离汇聚节点的节点距离将网络划分为多个扇区, 根据扇区位置为节点分配特定的活动时间, 以此来实现高效节能. 该协议采用蚁群优化进行簇间通信, 每个簇中簇头选择取决于它到 BS 的距离和剩余能量, 中继节点的选择基于到 BS 的距离、剩余能量和队列大小这 3 个条件. 实验表明与 PSO 协议和 FAMACROW 协议相比, 本文 EACODT 协议在能耗、延时和包传输率方面均优于现有方法和性能.

关键词: 节能蚁群优化数据传输; 无线网络传感器; 多事件; 簇头选择; 剩余能量

中图分类号: TP212

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)05-0126-06

无线传感器网络(Wireless sensor networks, WSNs)是由传感器节点组成的通信重要平台之一, 旨在完成某些任务^[1-2]. 由于小型、低成本和智能传感器的发展, 无线传感器网络已经变得更加流行. 无线传感器网络适用于环境监测、目标检测、事件跟踪和安全监控等领域^[3-5]. 在 WSN 中如果节点处于彼此的无线范围内则节点彼此连接. 这些自治节点可以从环境中收集感测数据并以分布式执行算法以形成自组织网络. 基于本地进程, 节点可以决定将感测数据传输到专门的汇聚节点, 该汇聚节点充当 WSN 与其用户之间的网关. 在典型的多跳传感器网络应用中, 数据可以被聚集并中继到宿, 或者命令可以从宿发送并且与一些中间节点一起转发以到达目标节点.

在同构网络中传感器在存储、处理、传感和通信方面具有相同的功能^[6], 异构网络使用具有不同功能的传感器^[7-8]. 无线传感器网络的 2 种重要报告机制是事件驱动型和周期性的, 在事件驱动沟通中由某些事件或查询随机触发的, 并且是周期性驱动的通讯; 传感器以恒定的周期性间隔收集和传输数据, 如果所有传感器节点都将数据传输到接收端, 则能耗会更高. 数据聚合是通过利用网内处理并减少数据包传输数量来消除原始数据固有冗余的最佳解决方案^[9].

降低能耗是 WSNs 需要解决的关键问题. 为了最大限度地降低能耗并提高可扩展性, 已经有节能 WSNs 协议的研究. 文献[10]提出了一种多级聚类和无结构算法相结合的 WSNs 混合方法, 该算法开发了实时无线传感器网络应用中的多级数据感知聚合技术(MDA), 该混合算法可以提高聚合增益和能量消耗. 文献[11]提出了基于模糊和蚁群优化的组合 MAC, 路由和不等群集无线传感器网络跨层协议(FAMACROW), FAMACROW 使用模糊逻辑和剩余能量, 相邻节点的数量以及通信链路的质量作为簇头选择的输入变量, 能够达到节能和增加网络寿命的目的. 文献[12]提出了一种基于改进的粒子群优化算法来延长网络寿命的新方法, 该算法是一种用于选择目标节点的优化方法. 该协议考虑了能量效率和传输距离, 并且

① 收稿日期: 2018-06-15

基金项目: 重庆市教委科技项目(KJ1603303).

作者简介: 冉 涌(1981-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事无线传感器网络、高速信号及实时信号处理研究.

使用中继节点来缓解簇头的过度功耗, 所提议协议导致更好的分布式传感器和均衡的群集系统, 从而提高网络的使用寿命。

在研究了现有 WSNs 协议的基础上, 为了进一步提高节能效率和延长网络寿命, 本文提出了一个新的 WSNs 协议, 即能量有效的蚁群优化数据传输 (Energy Efficient Ant Colony Optimized Data Transmission, EEACODT) 协议, 用于传感器节点在发生特定事件时将数据传输到接收器, 研究了最小化能量消耗的主动/睡眠调度问题. EEACODT 根据汇聚节点距离将网络划分为多个扇区, 在网络中选择簇首 (Cluster Head, CH) 的距离被认为是 BS 的距离. 当网络中发生事件时, 选定的 CH 可以汇总数据以供传输. EEACODT 考虑节点对 BS 的选择, 从队列大小和剩余能量来选择中继 CH. 将显示基于优化技术所提议的协议减少能量消耗, 减少延时并且增加包传送比率。

1 EEACODT 的无线网络传感器协议

EEACODT 协议将根据距离汇聚节点的距离将网络划分为多个扇区, 根据扇区位置为节点分配特定的活动时间, 以此来实现高效节能, EACODT 扇区的形成如图 1 所示. EEACODT 协议分为 5 个步骤, 具体流程见图 2。

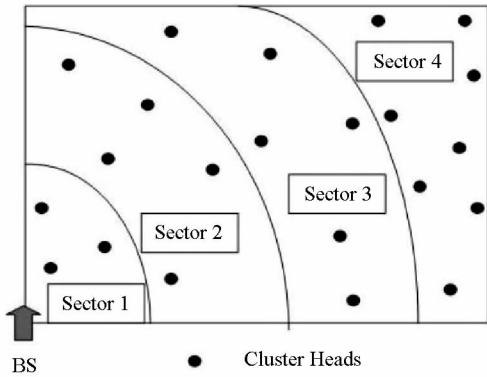


图 1 EACODT 扇区的形成

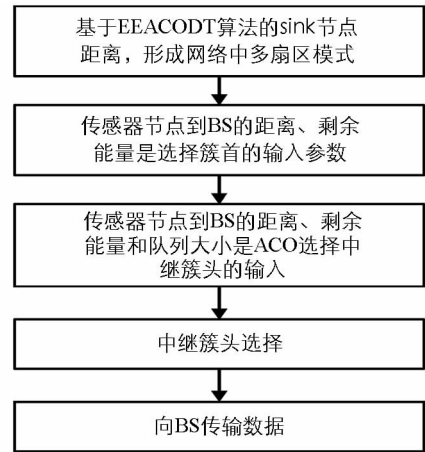


图 2 EEACODT 协议流程图

1.1 网络设置

对于无线传感器网络的能量模型可进行如下设置: 将 N 个传感器节点放置在 $M \times M$ 个感测区域中, BS 和传感器节点在部署后是静态的, BS 的位置在传感场内, 节点不知道在网络领域的位置. 基于接收到的信号强度, 节点可以计算节点之间的距离, CH 可以将汇总的数据传送给 BS, 参数如自由空间损耗 ϵ_{fs} 和多径衰落 ϵ_{mp} 用于网络中的数据传输. 发送器用于将数据传输到距离 d 的能量消耗量在式(1) 中给出。

$$E_T(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中 lE_{elec} 表示接收 l bit 消息所需的能量, 可以用 $E_R(l)$ 表示, d_0 表示阈值传输距离, 其表达式为

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (2)$$

1.2 多扇区形成和簇头选择

多扇区形成和簇首选择可以分为 5 个部分: 邻居节点检测、CH 选择与簇形成、多扇区形成与主动时间分配、事件识别和事件聚合。

(1) 邻居节点检测

网络中的每个节点将兴趣消息 neighbor_dscvr 发送到距源节点阈值距离内的节点, 通过向源节点发送确认 (ACK), 听到消息的节点成为源节点的邻居. 源节点在收到阈值距离内邻居的 ACK 信号后创建一个 Ack_list. 重复该过程, 直到网络中的所有节点都能够找到它们各自的邻居。

(2) CH 选择和簇形成

聚类是传感器网络降低能耗被广泛接受的方法, 只有 CH 可以在每个簇中执行数据聚合和网内处理, 以减少需要传输到 BS 的数据量. 在邻居节点检测阶段之后, 节点进入簇形成阶段, 邻居节点等待来自源节点的广播消息(form_cluster). 广播消息 form_cluster 指示源节点 ID(Node_{id}), 簇 ID(Cluster_{id}), 源节点能量(Node_{energy})以及从 CH 到簇成员的最大跳数(hops_{max}), 到 BS 的距离(dist_BS)和消息到达 n 个邻居节点的时间(TTE_{max}).

听到这个广播消息的邻居节点将与源节点比较其 Node_{energy} 和 dist_BS, 如果邻居节点尚不是另一个簇的成员并且在 hops_{max} 内, 则加入到源节点簇, 节点可以重置其参数, 如 Cluster_{id} 和 CH_ID. 具有最高 Node_{energy} 和最低 dist_BS 的节点在每个簇中被选为簇首.

(3) 多扇区形成和主动时间分配

根据汇聚节点的距离, EEACODT 将网络划分为多个扇区. 扇区的形成从 sink 位置开始, 在 EEACODT 中, P_0 是 sink 的位置, R_1 是汇聚节点的径向距离, 属于此范围的 CHs 是扇区 1 的簇. 为了选择下一个扇区 CH, EEACODT 将径向距离值设置为 R_2 , 对于径向距离内的所有 CH, R_1 和 R_2 形成扇区 2. 重复此过程直到所有 CH 在网络中找到其扇区位置. 根据网络中的扇区总数, EEACODT 为节点分配不同的活动时间.

根据扇区位置, 设置节点的活动时间, 即 $AT_{sector1} > AT_{sector2} > AT_{sector3} > \dots > AT_{sector-max}$, 其中 AT 表示活动时间, 为网络中节点分配不同活动时间有助于分配节点的流量负载, 与各个扇区中各自的位置成比例.

(4) 事件识别

事件识别阶段负责检查事件并及时将事件数据转发到 sink 节点. 通过与数据感知选播 (Data Aware Anycast, DAA) 的聚类方案相结合, EEACODT 可以传输单个事件和多个事件, 网络中的节点检查在指定时间间隔内发生的事件数量. EEACODT 中的事件通信过程如下所述.

单一事件: 如果网络中发生单个事件, 接收事件的节点将向 CH 发送相关数据, 只有 CH 可以执行聚合并将数据转发到下一个扇区节点.

多个事件: 当网络中发生多个事件时, 节点不能同时处理所有数据, EEACODT 给予最高信号强度事件的优先级, 以降低复杂性. 为了选择多个事件之间的最高信号强度事件, 可以使用基于接收事件信号强度 (Receive event signal strength, RESS) 的方法. 每个事件的 RESS 值存储在节点的队列中. 事件队列以信号强度递减的顺序排序, 并从队列中选择最高强度事件, 在执行第一个事件之后, 将处理队列中存储的下一个事件. 如果在处理队列中剩余事件的处理之前发生任何其他事件, 则根据其能量将新事件放入队列中.

(5) 事件聚合

只有 CH 可以在 EEACODT 中执行数据聚合. 只要网络中发生事件, 首先 EEACODT 会检查它是簇成员节点还是 CH, 如果事件节点是簇成员节点, 则节点将数据传输到各自的 CH. CH 在每个群集中执行数据聚合, CH 只将聚合数据传输到下一个最低的扇区 CH.

1.3 数据传输到 BS

在网络中的事件聚合后, EEACODT 使用以下过程将数据传输到下一个扇区 CH.

(1) 每个 CH 向所有附近 CH 广播的 Route_select 消息选择中继 CH.

CH 广播包括 dist_BS, node_ID, Node_{energy} 和 queue_size, 接收 Route_select 的邻居 CH 将信息存储到 CH 节点的传输表中. 如果节点 s_j 满足式(3)中的给定条件, 则 CH_i 选择一个中继 CH_{s_j} .

$$P_{RCH}(s_i) = \left\{ \begin{array}{l} s_j \mid R_{energy}(s_j) > THR_{energy}; \\ queue(s_j) > queue(s_i) \& \\ queue(s_j) > TH_{queue}; \\ dist(s_i, s_j) \leq TH_{dist}; \\ dist(s_j, BS) < dist(s_i, BS) \end{array} \right\} \quad (3)$$

其中 $P_{RCH}(\cdot)$ 表示 CH 节点传输表, $R_{energy}(\cdot)$ 表示剩余能量, THR_{energy} 表示剩余能量阈值, $queue(\cdot)$

表示队列大小, TH_{queue} 表示队列阈值大小, TH_{dist} 表示阈值距离, $dist(\cdot, BS)$ 表示到 BS 的距离.

式(3)中包含了 3 个条件, 其中第 1 个条件确保节点 s_j 的剩余能量应该高于阈值剩余能量, 第 2 个条件根据队列大小选择一个中继 CH 节点. 考虑中继 CH 的队列大小应该足够大于存储来自源节点的数据, 并且队列长度应该大于阈值队列大小 TH_{queue} . 第 3 个条件确保所考虑的中继 CH 位于源 CH 的阈值距离 TH_{dist} 内, TH_{dist} 确定当前 CH 和中继 CH 两者之间的最大可能距离, 当前 CH 将发送数据直接发送到 BS, 如果没有满足第一条条件的中继 CHs, 即 P_{RCH} 将是空集. EEACODT 结合了上述 3 个条件选择网络中的中继 CH.

(2) 在每个 CH, 蚂蚁以规则的间隔放置以确定 BS 的路径. 每个蚂蚁通过使用式(4)来确定中继 CH.

$$P_{ij}^k = \frac{(\tau_{ij}(t))^{\alpha} + (\eta_{ij}(t))^{\beta}}{\sum_{s \in P_{relay}^{CH}(s_i)} (\tau_{is}(t))^{\alpha} (\eta_{is}(t))^{\beta}} \tag{4}$$

其中, P_{ij}^k 被定义为蚂蚁 k 选择从节点 s_i 到节点 s_j 的概率, 由第 k 个蚂蚁选择 $P_{RCH}(s_i)$ 的集合, 边缘 (s_i, s_j) 的信息素尾迹值由 $\tau_{ij}(t)$ 表示, α 决定信息素踪迹的相对影响, β 检查启发式信息, η_{ij} 由式(5)表示:

$$\eta_{ij} = \frac{REQ_j}{\sum_{s \in P_{relay}^{CH}(s_i)} REQ_s} \tag{5}$$

其中, 剩余能量队列 REQ 是剩余能量与节点可用队列大小之间的比率, 较小的队列大小和较大的剩余能量条件下则 REQ 较大. η_{ij} 保证所选择的中继 CH 是: 更靠近源 CH、高剩余能量和更小的分组队列大小, 如果有更多数目的蚂蚁通过该链路 (s_i, s_j) , 则该路径将被选择.

(3) 如果中继 CH 更接近源 CH, 则源 CH 选择具有高剩余能量和低队列容量的中继 CH.

源 CH 可以存储关于已被蚂蚁访问的所选中继 CH 的信息, 要找到 BS 的最佳效率路径, EEACODT 重复步骤(2)和步骤(3), 直到源 CH 选择了中继 CH.

(4) 来自源节点的蚂蚁将通过选择的中继 CH 节点收集路径信息并最终传输到 BS.

在 EEACODT 中, 当第 k 个蚂蚁到达后, BS 开始检查接收到的数据, 由第 k 个蚂蚁创建的路径是 $S\{S_0, S_1, \dots, S_m\}$, 由第 k 个蚂蚁收集的数据是 $S\{(S_0, \text{dist}(s_0, s_1)), \dots, (S_{m-1}, \text{dist}(s_{m-1}, s_m))\}$, 其中源 CH 是 S_0 , 并且目的 BS 是 S_m .

2 实验结果与分析

本节中, 在 MATLAB 和 Network Simulator version 2 上对本文协议 EEACODT 进行仿真, 模拟了一个由 500 个传感器节点组成的网络, 仿真区域为 $400\text{ m} \times 400\text{ m}$ 的区域, 有一个位于 $(0, 0)$ 的汇聚节点, 接收器从源节点收集事件数据. EEACODT 的仿真参数如表 1 所示.

每个传感器节点的传输范围为 50 m , 而数据传输速率为 200 kb/s , 每 3 s 可在选定节点上随机生成任意数量的事件, 数据包长度为 200 b , 每个传感器节点具有 0.5 J 的初始能量. ϵ_{fs} 和 ϵ_{mp} 分别表示自由空间模型和多路径衰减模型中功率放大所需的能量.

图 3 给出了本文算法、FAMACROW 协议和 PSO 协议的能量损耗.

由此可知, 能耗随着节点的增加而变大, FAMACROW 协议和 PSO 协议的能量消耗较大, 本文 EEACODT 协议的能量消耗低于其他 2 种协议, 这是因为 EEACODT 的重要特征是使用 ACO 有效地选择中继节点, 将数据传输到每个簇中传感器节点中的下一扇区和 CH 旋转策略, 均匀地分布在网络中所有节点上的能量消耗, EACODT 中的占空比机制降低了节点间的能耗, 因此 EACODT 比使用 PSO 的 FAMACROW 协议执行得更好.

图 4 给出了节点数不同时各算法的延时指标, 可以看出本文算法在不同的节点数上延时都小于 FAM-

表 1 实验参数

参 数	取 值
区域大小	$(0, 0) \sim (400, 400)$
传感器节点	500
初始能量	0.5 J
E_{elec}	50 nJ/b
ϵ_{fs}	$10\text{ pJ}/(\text{b} \cdot \text{m}^2)$
ϵ_{mp}	$0.001\text{ 3 pJ}/(\text{b} \cdot \text{m}^4)$
α, β, γ	0.333 3

ACROW 协议和 PSO 协议的延时, 本文 EEACODT 协议的选择路径更趋近于直线, 这是因为源节点在选择到达 sink 节点路径时, 将 sink 节点偏转角度小的节点作为选中的节点, 大大降低网络延时。

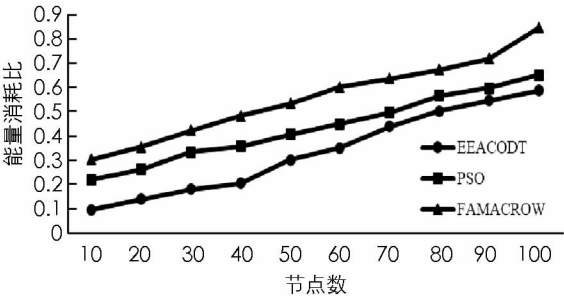


图 3 节点数不同时各算法能耗

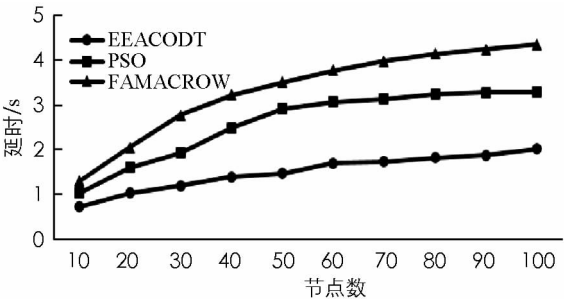


图 4 节点数不同时各算法延时

包传送比率 PDR 定义为: 在成功传递到目的地数据包数目和由源节点发送的数据包的数目之间的比值, 并且通过公式(6)给出。

$$PDR = \frac{P_{received} \times 100}{\sum_{i=1}^n P_{generated(i)}} \tag{6}$$

其中, 由汇聚节点接收的分组总数和由源节点生成的分组总数分别由 $P_{received}$ 和 $P_{generated}$ 表示, n 表示传感器节点的总数. 图 5 给出了不同数据速率各算法包传递比率。

从图 5 中数据可以看出, 在数据传输过程中, EEACODT 中传递的数据包数量远大于使用 PSO 和 FAMACROW 协议的数据包数量. 在 EEACODT 协议中, 感测区域内没有形成扇形区的限制, 如果面积增加, 扇区的数量也会增加, EEACODT 可以成功地将分组传送到下一个扇区或中继, EEACODT 利用 ACO 算法有效地实现了网络中的数据传运输。

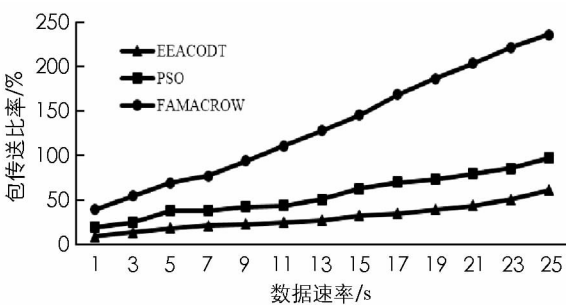


图 5 不同数据速率各算法包传递比率

3 结 论

为了延长网络寿命和提高无线传感器网络的能量效率, 本文提出了一种协议, 即多事件的能量高效蚁群优化数据传输(EEACODT)协议, 用于无线传感器多事件数据传输. 该协议根据汇聚节点的距离, EEACODT 将网络划分为多个扇区, 当网络中发生事件时, 选定的 CH 可以汇总数据以供传输. EEACODT 使用蚁群优化(ACO)来实现簇间通信和高效的中继 CH 选择. 基于 ACO 的中继 CH 选择由当前 CH 到中继节点之间的距离、中继节点的队列大小和所考虑的中继节点的剩余能量这 3 个条件决定. 实验表明, 与 FAMAZROW 和 PSO 协议相比, 本文方法在能量消耗、延时和包传递比率性能方面均优于现有方法. 未来的工作是采用遗传算法来优化网络中簇头和中继节点的选择, 进一步提高无线传感器网络的性能。

参考文献:

[1] GAO H, FENG X L, LI J Z, et al. Data Collection in Multi-Application Sharing Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2015, 26(2): 403-412.

[2] 郑 黎, 刘 莹, 黎远松. ILP 模型结合连通性约束的 WSN 传感器部署方案 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(11): 77-83.

[3] HU Y L, DONG M X, OTA K, et al. Mobile Target Detection in Wireless Sensor Networks with Adjustable Sensing Frequency [J]. IEEE Systems Journal, 2016, 10(3): 1160-1171.

[4] SRBINOVSKA M, GAVROVSKI C, DIMCEV V, et al. Environmental Parameters Monitoring in Precision Agriculture

- Using Wireless Sensor Networks [J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 88: 297-307.
- [5] BHUIYAN M Z A, WANG G, VASILAKOS A V. Local Area Prediction-Based Mobile Target Tracking in Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Computers, 2015, 64(7): 1968-1982.
- [6] ZHANG Z, WILLSON J, LU Z, et al. Approximating Maximum Lifetime k-Coverage Through Minimizing Weighted k-Cover in Homogeneous Wireless Sensor Networks [J]. ACM Transactions on Networking, 2016, 24(6): 3620-3633.
- [7] NARANJO P G V, SHOJAFAR M, MOSTAFAEI H, et al. P-SEP: A Prolong Stable Election Routing Algorithm for Energy-Limited Heterogeneous Fog-Supported Wireless Sensor Networks [J]. The Journal of Supercomputing, 2017, 73(2): 733-755.
- [8] 毕晓君, 刁鹏飞. 基于引力搜索算法的异构无线传感器网络路由分簇算法 [J]. 控制与决策, 2017, 32(3): 563-569.
- [9] KUO T W, LIN K C J, TSAI M J. On the Construction of Data Aggregation Tree with Minimum Energy Cost in Wireless Sensor Networks: NP-Completeness and Approximation Algorithms [J]. IEEE Transactions on Computers, 2016, 65(10): 3109-3121.
- [10] ABID B, NGUYEN T T, SEBA H. New Data Aggregation Approach for Time-Constrained Wireless Sensor Networks [J]. The Journal of Supercomputing, 2015, 71(5): 1678-1693.
- [11] GAJJAR S, SARKAR M, DASGUPTA K. FAMACROW: Fuzzy and Ant Colony Optimization Based Combined Mac, Routing, and Unequal Clustering Cross-Layer Protocol for Wireless Sensor Networks [J]. Applied Soft Computing, 2016, 43: 235-247.
- [12] ZHOU Y, WANG N, XIANG W. Clustering Hierarchy Protocol in Wireless Sensor Networks Using an Improved PSO Algorithm [J]. IEEE Access, 2017, 5: 2241-2253.

Multi-Event Energy Efficient Wireless Network Sensor Protocol

RAN Yong

Department of Mechanical and Electrical Engineering, Chongqing Three Gorges Vocational College, Chongqing 404155, China

Abstract: In order to solve the problem of higher energy utilization and shorter service life when the sensor nodes farther from the base station (BS) use multi-hop communication to transmit data to the BS, a multi-event energy efficient ant colony optimized data transmission wireless network sensor protocol has been proposed in this paper. The protocol eliminates some of the limitations and disadvantages of existing protocols. It divides the network into multiple sectors based on the distance from the node of the sink node, and allocates specific activity time to the node based on the sector location. In this way, energy efficiency is achieved. The protocol uses ant colony optimization for inter-cluster communication. The selection of cluster heads in each cluster depends on its distance from the BS and the remaining energy. The selection of relay nodes is based on three conditions: distance to the BS, residual energy, and queue size. Experiments show that compared with the PSO protocol and the FAMACROW protocol, the EEACODT protocol in this paper is superior to the existing method performance in energy consumption, delay and packet transmission rate.

Key words: energy efficient ant colony optimized data transmission; wireless network sensor; multi event; cluster head selection; residual energy

责任编辑 夏 娟