

基于 LEACH 的低能耗路由协议研究

刘 芬¹, 叶明全^{2,3*}, 陈 希¹, 孙成浩¹, 郭鸿飞¹

(1. 皖南医学院弋矶山医院 医学信息中心, 安徽 芜湖 241001;
2. 皖南医学院 医学信息学院, 安徽 芜湖 241002; 3. 皖南医学院 健康大数据挖掘与应用研究中心, 安徽 芜湖 241002)

摘 要: 本文基于 LEACH 协议提出一种改进的路由协议 N -LEACH, 调整了节点竞选簇头的阈值函数 $T(n)$, 引入加权函数 cost 完成簇的构造过程, 在簇构造过程中实现节点的认证, 并通过多跳机制建立簇头节点与基站之间的路由。仿真结果表明本文提出的改进协议 N -LEACH 与传统的 LEACH 协议相比较较好地实现了网络的负载均衡, 延长了节点与网络的寿命, 提高了网络的安全性。

关键词: 异构传感网; LEACH; 阈值函数; 加权函数; 多跳

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1004-4329(2019)01-050-06

DOI: 10.14096/j.cnki.cn34-1069/n/1004-4329(2019)01-050-06

The research of low energy consumption routing protocol based on LEACH

LIU Fen¹, YE Mingquan^{2,3*}, CHEN Xi¹, SUN Chenghao¹, GUO Hongfei¹

(1. Medical Information Centre, Yijishan Hospital of Wannan Medical College, Wuhu Anhui 241001, China;

2. School of Medical Information, Wannan Medical College, Wuhu Anhui 241002, China;

3. Research Center of Health Big Data Mining and Applications, Wannan Medical College, Wuhu Anhui, 241002, China)

Abstract: This article is based on an improved LEACH agreement the routing protocol of N -LEACH, adjusted the election of cluster head nodes threshold function $T(n)$, introducing the weighted function cost to complete construction of the clusters, cluster nodes through multiple hops mechanism to establish and routing between the base station. The simulation results show that the proposed improved protocol N -LEACH compared with traditional LEACH protocol to achieve the network load balancing, prolong the life span of the node and the network, improve the security of the network.

Key words: HWSNs; LEACH; the threshold function; the weighted function; multi-hop

无线传感器网络 (wireless sensor network, WSN) 作为物联网的重要组成部分, 在环境监测、医疗卫生、智能家居、国防军事等领域具有广泛的应用前景^[1-2]。根据节点感知能力、计算能力、通信能力和能量等的不同, WSN 可分为同构传感网和

异构传感网 (heterogeneous wireless sensor network, HWSN)。同构传感网中的节点具有同样的构造, 而 HWSN 中的节点根据各自任务的不同而采用不同的构造。无论何种 WSN, 路由问题均为研究热点问题。根据网络管理的不同逻辑结构,

收稿日期: 2018-10-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61672386); 教育部科学研究规划基金项目 (16YJAZH071); 安徽省自然科学基金项目 (1708085MF142) 资助。

作者简介: 刘 芬 (1990-), 男, 硕士, 助理工程师, 研究方向: 网络与信息安全。

通信作者: 叶明全 (1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 数据挖掘、机器学习、医学信息学。Email: ymq@wnmc.edu.cn。

WSN 的路由协议可分为平面路由和分层结构路由两类^[3]。平面路由不具备可扩展性,缺乏对通信资源的优化管理,因而不适合在大规模网络中应用。而分层路由可以在一定程度上解决这个问题,LEACH 协议是典型的分层路由协议。

但 LEACH 协议存在如下局限性:该协议在最初簇头选举过程,节点都设定为能量相同,所以不适用于能量分布不均的网络,如 HWSN。同时,该协议使用的是单跳路由方式,会出现远距离通信,进而导致能量空洞问题。并且其设计主要关注于连通性与能量优化问题,而忽略了网络的安全性。

1 相关工作

针对上述存在的局限性,文献[4]通过在 $T(n)$ 中引入节点能量机制,使剩余能量高的节点更易被选为簇头,有效地延长了网络的寿命。但不适用于节点初始能量不同的 HWSN,且没有考虑簇头之间的相对位置,容易导致簇的重叠问题。文献[5]在簇建立阶段通过修改 $T(n)$,加入了节点参数,使得改进的路由协议适合 HWSN,增大了初始高资源节点被选为簇头的几率。但忽略了节点的剩余能量因素,使网络寿命缩短。文献[6]在簇的构造过程中引入加权函数,考虑节点与簇头、簇头与基站(base station, BS)之间的距离因素,但是忽略了节点的能量因素,将会产生能量空洞等问题。文献[7]通过在 LEACH 协议中引入多跳机制,摒弃了单跳路由方式,采取簇间多跳路由,避免了远距离通信。但在当前簇头选择下一跳簇头时仅仅考虑最近路由,没有考虑节点能量因素,选择的路由并不是最佳路由,且会缩短节点与网络的寿命。文献[8]提出的 COCA 协议,将整个网络划分为若干等尺寸的正方形单元。在协议中证明了簇头应该更多的分布于离 BS 较近的单元,可以避免能量空洞问题。通过最小化网络中所有节点的总能耗,得到了最优的单元数目,并且通过均衡不同单元间节点的能耗得到各单元中的簇头数目,较好地延长了网络寿命。

2 N-LEACH 协议

本文研究环境基于 HWSN,网络模型如图 1 所示。并作如下假设:

(1)网络模型是单 SINK 环境,且 SINK 与 BS 邻近。

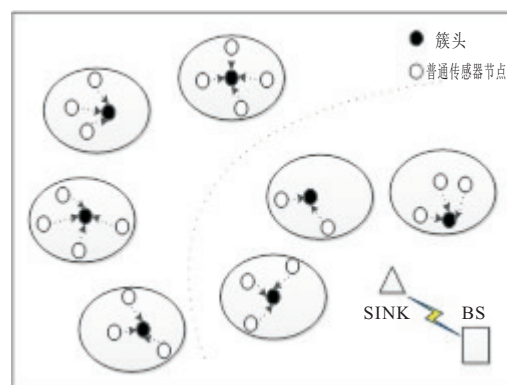


图 1 网络模型示意图

(2)节点根据与接收方距离的远近,为了降低能耗可以自动调整发射功率。

(3)若知道对方发射功率,可以根据接收信号的强度来计算出自己与发送方的近似距离。

此外,本文的能耗模型是文献[9]中提出的无线通信系统能耗模型,如图 2 所示。功率放大电路的能耗可分为两种模型,即自由空间模型和多路径衰减模型。节点将 k b 的数据传输到距离为 d 的接收器的能耗和接收器接收 k b 数据的能耗分别为:

$$E_{TX}(k, d) = \begin{cases} k(E_{elec} + \epsilon_{fs} d^2), & d \leq d_0 \\ k(E_{elec} + \epsilon_{amp} d^4), & d > d_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$d_0 = \sqrt{(\epsilon_{fs} / \epsilon_{amp})} \quad (2)$$

$$E_{RX}(k) = k \times E_{elec} \quad (3)$$

其中: E_{elec} 代表收发电路的能量消耗, ϵ_{fs} 、 ϵ_{amp} 为不同信道模型下的功率放大电路能耗系数, d_0 是两种模型的通信距离阈值。

2.1 簇头选举

LEACH 协议在簇头选举过程中,计算阈值 $T(n)$ 如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p * (r \bmod \frac{1}{p})}, & \text{if } n \in G, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

式中: p 表示簇头节点占所有节点的百分比, r 表示当前轮数, G 表示在最近的 $1/p$ 轮中未当选簇头的节点集合。

在 LEACH 协议的簇头选举过程中,没有考虑节点的能量因素,不适用于节点初始能量不同的 HWSN。针对以上问题本文提出新的阈值函数 $T(n)$ 。

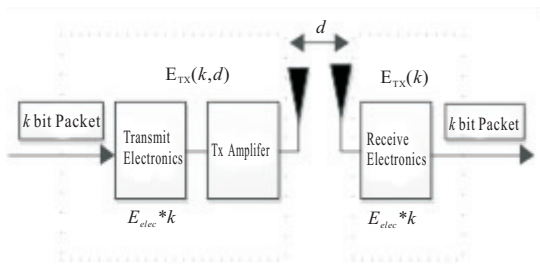


图2 无线通信系统能量消耗模型

$$T(n) = \frac{p}{1 - p \left\lceil r \bmod \frac{1}{p} \right\rceil} \times \frac{E_{n_residual}}{E_{e_initial}} \quad (5)$$

其中, $E_{n_residual}$ 表示节点当前剩余的能量, $E_{e_initial}$ 表示整个网络的平均初始能量。

2.2 簇的构造

为了生成分布均匀的簇,文献[10]提出的簇的构造方法,考虑了节点与候选簇头的距离,但没有考虑候选簇头的能量因素,容易造成能量空洞问题。本章在文献[8,10]的基础上做了改进,在加权函数 $cost$ 中引入了能量以及候选簇头与 BS 的距离等因素,使得靠近 BS 的簇,其成员节点少,而远离 BS 的簇其成员节点多。

经过簇头选举过程,网络中已经生成了若干候选簇头。在成簇过程中,非簇头逐个计算与每一个候选簇头的 $cost$ 值,选取具有最小 $cost$ 值的候选簇头作为其最终簇头。 $cost$ 的计算公式如下:

$$cost = \omega_1 f + \omega_2 g + (1 - \omega_1 - \omega_2) \eta$$

其中

$$f = \frac{D_{to_ch}}{\text{Max}_{to_ch}} \quad (6)$$

$$g = \frac{\text{Max}_{to_bs} - D_{to_bs}}{\text{Max}_{to_bs} - \text{Min}_{to_bs}} \quad (7)$$

$$\eta = \frac{E_{n_initial} - E_{n_residual}}{E_{n_initial}} \quad (8)$$

其中 ω_1, ω_2 是权重因子, D_{to_ch} 是当前节点到候选簇头的距离, Max_{to_ch} 是当前节点距离所有候选簇头的最远距离, Max_{to_bs} 是所有的候选簇头距离 BS 的最远距离, D_{to_bs} 是候选簇头到 BS 的距离, Min_{to_bs} 是所有的候选簇头距离 BS 的最短距离。

2.3 节点认证

通过加密算法与信任管理可有效地抵御基于身份的攻击,保证通信的安全性,但会带来额外的通信开销。本文引入节点认证机制,较好地避免了基于身份的攻击,本文设计的认证机制伴随着

簇的构造过程完成,不需要额外的通信开销。通过三个步骤完成节点的认证,如下所示:

步骤 1:网络部署前, SINK 节点中存储一张对应列表,列表中包含两个表项,分别为部署节点的 ID、SINK 节点与每个节点共享的秘密信息 s 。

步骤 2:在簇建立阶段,部署节点选择合适的簇头加入,并返回加入消息给相应的簇头,加入消息中包含部署节点的 ID。簇头节点向 SINK 节点发送簇建立完成的消息,消息中包含一个字段为 $E_k(ID_i, \dots, ID_j, k^{s \oplus ID})$, 其中 s 为本簇头节点与 SINK 节点共享的秘密信息, ID 为本簇头的 ID 值, ID_i, \dots, ID_j 为本簇节点所包含的所有普通节点的 ID 值, k 为节点出厂时的初始通话密钥。

步骤 3: SINK 节点收到全部簇头的消息之后,进行解密获得每个簇头对应的 $k^{s \oplus ID}$, 并进行异或操作得到 $k^{s \oplus ID_p} \oplus \dots \oplus k^{s \oplus ID_q}$, 同时根据簇头节点 ID 查找对应列表获得秘密信息, 并进行异或操作 $k^{s \oplus ID_p} \oplus \dots \oplus k^{s \oplus ID_q}$ 。得到两个异或值再异或的结果 $(k^{s \oplus ID_p} \oplus \dots \oplus k^{s \oplus ID_q}) \oplus (k^{s \oplus ID_p} \oplus \dots \oplus k^{s \oplus ID_q})$ 。如果为 0, 则簇头都是合法节点, 通过认证。如果结果不为 0, 则存在非法簇头, 定位非法簇头的 ID, 将其剔除网络。

2.4 路由方案

在 LEACH 协议中簇头将数据以单跳方式直接发送到 SINK, 然后由 SINK 发送到 BS, 这使得网络的寿命缩短, 本章在文献[7]的基础上, 引入了能量机制。簇头与 BS 之间的路由通过如下三个阶段完成:

阶段 1:网络中每一个簇头向其余所有簇头广播通知消息, 簇头通过通知消息建立各自的路由表。

阶段 2:根据每个簇头与 BS 的距离远近, 将网络中所有的簇头分为两组, 即外部组和内部组。所有距离大于或等于 d_0 的簇头组成外部组, 距离小于 d_0 的簇头组成内部组。同时为每一个内部组中的簇头根据节点类型的不同设置不同的能量阈值 $E(n)$ 。

阶段 3:内部组中的簇头直接将数据通过 SINK 发送到 BS, 外部组中的簇头根据通知消息建立各自的路由表, 在发送数据时查找各自的路由表。当外部组中的簇头转发数据到内部组中的簇头时, 只有当内部组中簇头剩余能量大于其能量阈值 $E(n)$ 的情况下, 才转发数据到 BS。

在阶段3中又分为三种情况:

Case1:if $\{D_{ch_bs} < d_0\}$ then

当前CH为内部组中的簇头,

CH将数据经过SINK发送到BS

Case2:if $\{D_{ch_bs} \geq d_0 \&\& D_{ch_bs_i} < d_0\}$ then

当前CH为内部组中的簇头,

且与内部组中一部分簇头的距离小于 d_0 ,

当前CH将数据转发到靠近自己的内部簇头

Case3:if $\{D_{ch_bs} \geq d_0 \&\& D_{ch_bs_i} \geq d_0\}$

if $\{D_{ch_bs} \leq D_{ch_ch_{s_i}}\}$ then

当前CH为内部组中的簇头,

与所有内部组中的簇头的距离都大于等于 d_0 ,

且与BS的距离小于等于与所有内部组中簇头的距离,

当前CH将数据经济SINK发送到BS

else if $\{D_{ch_bs} > D_{ch_ch_{s_i}}\}$ then

当前CH为外部组中的簇头,

与所有内部组中的簇头的距离都大于等于 d_0 ,

且与BS距离大于与内部组中某些簇头距离,

当前CH将数据转发到靠近自己的内部簇头

其中 d_0 是文献[9]中提出的两种无线通信系统能量消耗模型的通信距离阈值, D_{ch_bs} 表示当前簇头与BS之间的距离, $D_{ch_ch_{s_i}}$ 表示当前位于外部组中的簇头与位于内部组中的簇头之间的距离。

数据传输过程如图3所示。CH1, CH2和CH3满足阶段3中的第一种情况,将数据经过SINK发送到BS。CH4满足第二种情况,将数据发送到靠近自己的内部簇头CH2和CH3,此时CH2和CH3各自判断自己的剩余能量是否大于各自的能量阈值,如果大于能量阈值则转发数据,否则不转发数据。CH5, CH6满足第三种情况,CH5将数据转发到靠近自己的内部簇头,CH6将数据经过SINK发送到BS。

3 性能分析

N-LEACH协议在 $T(n)$ 中加入了节点的剩余能量因素,提高了剩余能量多的节点被选为簇头的几率,使得N-LEACH协议适合于节点初始能量不同的HWSN。在加权函数cost中引入了能量以及候选簇头与BS的距离等因素。在成簇过程中非簇头逐个计算与每一个候选簇头的cost值,选取具有最小cost值的候选簇头作为其最终簇头。靠近BS的簇,其成员节点少,而远离BS的簇其成员节点多。通过形成不同规模的簇,接近BS的簇头可以预留能量进行簇间多跳路由。

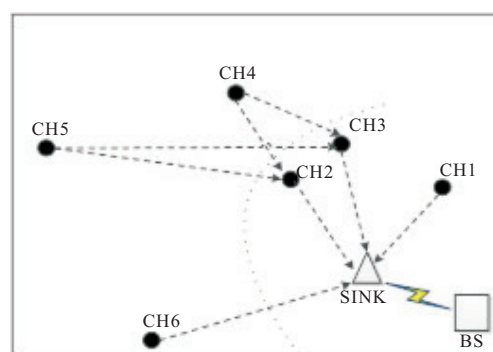


图3 数据传输过程

引入多跳机制,摒弃了LEACH协议的单跳路由方式,采用簇间多跳路由,避免了远距离通信。通过三个阶段建立了簇头与BS之间的路由,阶段1通过簇头之间广播通知消息建立各自的路由表,阶段2根据与BS距离的远近将簇头分为内部组和外部组,在阶段3中内部组的簇头通过SINK节点直接将数据发送到BS,外部组中的簇头根据通知消息建立各自的路由表,在发送数据时查找其路由表决定数据如何传输。并且在簇的构造过程中引入了认证机制,较好地避免了基于身份的攻击,实现了可信路由。

4 仿真实验

4.1 相关参数

本文采用NS-2进行仿真,假定网络中有100个普通传感器节点随机部署在100 m×100 m的矩形监测区域中,节点分布拓扑图如图4所示(BS位置(0,0),SINK位于BS附近)。节点接收或发送数据需要消耗的能量为 $E_{elec}=50$ nJ/b,放大器所消耗的能量为

$$\varepsilon_{amp}=0.001 \text{ 3 pJ} \cdot (\text{b}^{-1} \cdot \text{m}^{-4}), \varepsilon_{fs}=10 \text{ pJ} \cdot (\text{b}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$$

每个数据包的大小为512 b,MAC层协议使用的是IEEE802.15.4,簇头节点占有所有节点的百分比为0.05。仿真参数设置如表1所示。

4.2 结果与分析

通过节点存活个数,网络总数据量以及网络消耗的总能量三个指标对LEACH协议与N-LEACH协议进行了对比仿真实验,如下所示:

图5反应了在两种方案下,仿真过程中存活的节点个数,可看出N-LEACH协议中首个节点能量耗尽晚于LEACH协议,且网络寿命长于LEACH协议。网络寿命增加了约16%,且网络性能更优。

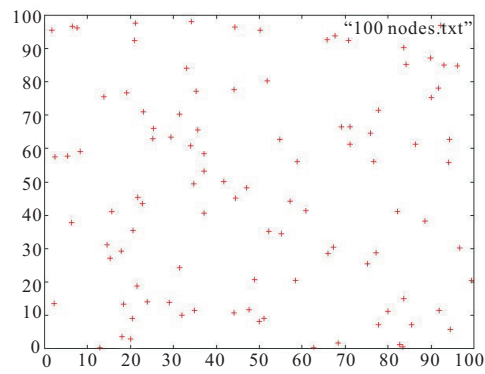


图4 节点分布拓扑图

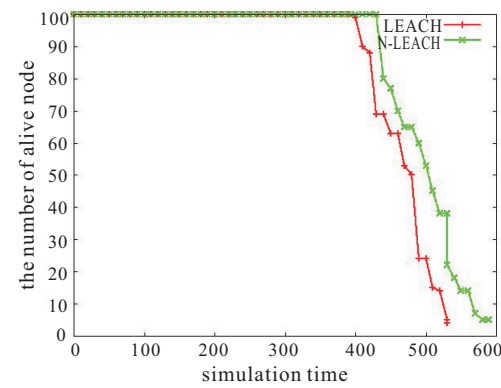


图5 节点存活个数

表1 仿真参数表	
参数	值
网络区域	100 m×100 m
节点个数	100
百分比	0.05
ε_{is}	10 pJ·(b ⁻¹ m ⁻²)
ε_{amp}	0.001 3 pJ·(b ⁻¹ m ⁻⁴),
E_{eles}	50 nJ·b ⁻¹
信道类型	无线信道
队列类型	Queue/DropTail/priQue
MAC 层协议	MAC/802_15_4
仿真时间	600 s
数据包大小	512 b

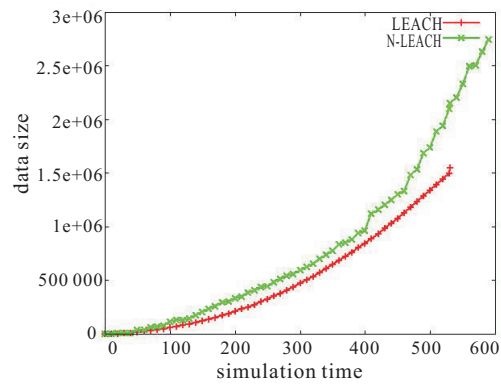


图6 网络总数据量

从图 6 的仿真结果可知,路由协议为 N -LEACH 协议时,节点发送且被成功收到的总数据量(最终 BS 收到的数据量)高出 LEACH 协议 130 万。

从图 7 可以看出,初始时, N -LEACH 比 LEACH 协议消耗更多的能量,但随着进行轮数的增加, N -LEACH 协议比 LEACH 协议消耗更少的能量。正是由于 N -LEACH 协议使用了多跳的路由机制,减少了远距离通信带来的能量消耗,较好地做到了能量均衡,有效地延长了网络的寿命。

5 小结

物联网技术的快速发展,直接导致了 HWSN 研究的深入和应用的拓展。路由协议是 HWSN 研究的重点问题之一,传统的 LEACH 协议不适合节点能量不均衡的 HWSN。针对 LEACH 协议的缺陷,本文设计并实现了一种多跳的非均匀分簇路由协议 N -LEACH,在簇头选举、成簇规模、以及路由方案问题上进行了相关改进。NS2 仿真实

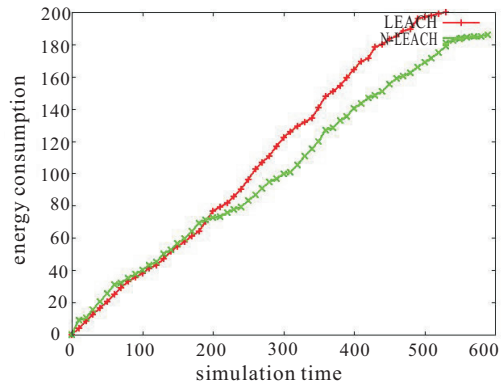


图7 网络消耗的总能量

验表明, N -LEACH 协议使得网络内节点能量负载均衡,并且较好地延长了网络的使用寿命。由于 HWSN 本身易受到外部攻击,因此本文提出的协议实现了节点的认证过程,实现了可信路由,保证了网络通信的安全。如何实现网络寿命与网络安全之间的权衡,将是我们下一步研究的工作重点。

参考文献:

[1] HEINZELMAN W B, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol ar-

- chitecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [2] WEI M, ZHANG S D, KIM K. A security testing platform for wireless sensor networks[C]//2016 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION NETWORKING (ICOIN); iee press, 2016: 86-91.
- [3] YE M, LI C F, CHEN G H et al. An energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks[J]. Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, 2007, 3(2/3): 99-119.
- [4] M.J. Handy, M. Haase, D. Timmermann. Low Energy Adaptive Clustering Hierar- chy with Deterministic Cluster- Head Selection [C]// 4th International Workshop on Mobile and Wireless Communi- cations Network IEEE Press, 2002: 368-372.
- [5] AMWARY A, MAGA D, NAHDI T. Modified LEACH protocol for heterogeneous wireless networks [C]//2016 NEW TRENDS IN SIGNAL PROCESSING (NTSP); iee press, 2016: 1-4.
- [6] YE M, LI C F, CHEN G H, et al. EECS: an energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks [C]//Conference Proceedings of the 2005 IEEE International Performance, Computing and Communications Conference; iee press, 2005: 535-540.
- [7] ALNAWAF A E, MARGHESCU I. MHT: Multi- Hop technique for the improveme- nt of LEACH protocol [C]//15th RoEduNet Conference:Networking in Education and Research; iee press, 2016: 1-5.
- [8] LI H, LIU Y, CHEN W, et al. COCA:constructing optimal clustering architect- ture to maximize sensor network lifetime[J]. Computer Communications, 2013, 36 (3): 256-268.
- [9] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy- Efficient commu- nication protocol for wireless microsen- sor networks[C]//Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences: iee press, 2000: 10-15.
- [10] SHIJU SATHYADEVAN S P, BIPIN K. A survey of security protocols in WSN and overhead evaluation[C]// Proceedings of the 3rd International Conference on Frontiers of Intelligent Computing: Theory and Applications, 2014: 729-738.
- [11] AKKAYA K, YOUNIS M. A survey on routing protocols for wireless sensor networks[J]. Ad Hoc Networks 3(2005): 325-349.
- [12] KISHORE R, ASWIN C P, ISWARYA V S. Light weight security architecture for cluster based wireless sensor networks[C]//IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband; iee press, 2015: 1-5.
- [13] CHELLI K. Security issues in wireless sensor networks: attacks and countermeasures[C]//WORLD CONGRESS ON ENGINEERING, WCE 2015, VOL I, 2015: 519-524.
- [14] YC Z, LIU W, LOU W-j, et al. Location-Based compromise- tolerant se- curity mechanisms for wireless networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(2): 247-260.
- [15] KAVITHA R J, CAROLINE B E. Hybrid cryptographic technique for heterogeneous wireless sensor networks[C]//International Conference on Communications and Signal Proce-ssing; iee press, 2015: 1016-1020.
- [16] Johnu Celestine, Keerthi Vallepalli, Tushar Vinayaraj. An Energy Efficient Flooding Protocol for Enhanced Security in Wireless Sensor Networks [C]// 2015 Long Island Systems, Applications and Technology. IEEE Press, 2015: 1-6.