

基于能耗区域感知的无线传感器网络路由算法

刘三阳, 郑亚林[†], 白艺光

(西安电子科技大学 数学与统计学院, 西安 710126)

摘要: 如何提升无线传感器网络使用寿命, 已经成为网络工业化的热点问题. 信息回传(即信息的无效传播)是造成能量浪费的重要源头, 严重遏制了网络寿命的延拓. 针对回传造成的能量损耗以及经典 LEACH 协议中能量消耗不均衡问题, 提出一种新型的基于能耗区域感知的无线传感器网络路由算法 FA-LEACH. 该算法排除死亡节点的影响, 依据节点剩余能量信息建立簇头节点候选集; 基于簇头节点的位置和方向信息, 引入前置感知区域概念, 建立评价节点重要性的指标, 甄选附属于簇头节点的中继节点(即附属簇头节点); 通过有选择性的附属簇头节点的信息传递, 能够有效解决信息回传问题. 仿真结果表明, 所提算法在网络生存周期和能量均衡利用方面均优于 LEACH、LEACH-C 以及 EEUC 算法, 该项路由协议可以有效提升网络的实用性.

关键词: 无线传感器网络; LEACH 算法; 能耗均衡; 信息回传; 前置感知区域; 网络生存周期

中图分类号: TP273

文献标志码: A

Energy balance routing algorithm based on forward-aware for wireless sensor networks

LIU San-yang, ZHENG Ya-lin[†], BAI Yi-guang

(School of Mathematics and Statics, Xidian University, Xi'an 710126, China)

Abstract: How to improve the lifetime of wireless sensor networks has become a hot issue in network industrialization. The return of information(i.e., the invalid transmission of information) is an important source of energy waste, and severely curbs the extension of network lifetime. For the problem of energy loss and imbalanced energy consumption in the classical LEACH protocol, a novel energy-balanced routing method named FA-LEACH based on forward-aware mechanism is proposed. This algorithm eliminates the effect of dead nodes and establishes the cluster head candidate set with residual energy. Based on the position and direction information of the cluster head node, the algorithm introduces the concept of pre-sensing area, establishes the index for evaluating the importance of nodes, and selects the relay nodes(i.e., sub-cluster head nodes) attached to the cluster head nodes. Through the selective transmission of information from the subcluster head nodes, the information backhaul problem is effectively solved. Simulation results show that the proposed algorithm is superior to LEACH, LEACH-C, and EEUC in the terms of network lifetime and energy balance. The routing protocol can effectively enhance the practicality and application of the networks.

Keywords: wireless sensor networks; LEACH algorithm; energy balance; return information; pre-regional aware; network lifetime

0 引 言

随着无线通信技术、嵌入式技术、分布式技术的飞速发展, 多样的智能硬件产品极大地改变了人们的生活. 作为智能通信底层关键技术的无线传感器网络技术成为了新的追逐热点. 无线传感器网络(WSNs)是一个具有自组织性质的网络系统, 由大量放置在待监控区域中具有无线通信功能的传感器节点组成. 网络中各节点通过感知获取监测数据, 并通过自组织的网络汇聚传送到基站, 然后由基站处理并

传输监测数据到用户端^[1].

无线传感器网络被广泛应用于空气污染监控、森林火灾预警、滑坡检测和战场监控等领域^[2]. 布置环境的广阔和恶劣造成传感器难以维护和回收. 因此, 如何有效利用网络节点能量是延长网络寿命的一个主要挑战. 近些年, 很多学者在路由协议方面做了大量工作, 将网络的路由结构划分为平面结构和分层结构. 平面路由协议介于参数和跳数的要求无法适应大规模无线传感器网络的发展, 分层路由协议可以

收稿日期: 2017-12-13; 修回日期: 2018-03-24.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61373174); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(150716).

责任编辑: 夏元清.

[†]通讯作者. E-mail: zhengyalin092@126.com.

通过簇头减少网络中数据传输的能量消耗^[3]. 因此, 分层路由由协议得到了广泛的研究^[4]. Heinemann等^[5]提出了基于分簇路由的LEACH协议, 其核心思想是等概率地随机循环选择簇头, 即指派网络中的每个节点轮流担当簇头, 使网络中节点的能量消耗尽可能均衡, 从而达到降低网络能量消耗、延长网络生命周期的目的. 该协议在一定程度上平衡了网络中的能量消耗, 有效延长了网络寿命. 但是, 仍然存在一些缺点:

1) 在进行簇头选择时, 没有考虑当选簇头节点的能量和位置因素, 使得含有不同能量的节点拥有相同的概率被选为簇头, 这在一定程度上加速了节点的死亡.

2) 簇头节点是随机分布的, 在一些分布比较密集的区域, 节点被选为簇头的概率与稀疏区域节点被选为簇头的概率相同. 分簇不均匀造成节点密集区域的簇头节点因大量的能量消耗而过早死亡.

3) 在每个簇中, 节点的随机分布使得多数节点位于簇头和基站之间. 信息传递阶段, 所有簇成员节点的信息先回传到簇头再由簇头传到基站, 使得信息回传造成大量的能量浪费.

针对算法上述的缺点, 很多学者提出了基于LEACH的改进路由算法. 例如, Tripathi等^[6]提出的LEACH-CE路由算法, 由于LEACH中节点等概率地被选为簇头节点, 算法将会选择能量较低的节点成为簇头, 使得节点过早死亡. LEACH-CE算法设定能量阈值, 选择能量较高的节点成为簇头, 较为有效地解决了节点过早死亡的问题. 然而, 该算法未考虑节点的位置信息, 使得簇头节点分布在节点密集区域, 造成能量消耗不均衡. LEACH-DT算法^[7]在选择簇头时, 通过考虑节点的剩余能量和位置信息, 动态地调整簇头选择的阈值, 解决了簇头节点因频繁地进行选择及其不均匀分布而造成的能量消耗, 使得能量消耗更为均衡. Jerbi等^[8]提出了O-LEACH算法, 该算法选择簇成员节点作为孤立节点的网关节点, 网关节点将数据直接传递给基站完成通信, 较为有效地解决了孤立节点的通信问题.

已存在的改进LEACH路由算法考虑了节点能量的均衡消耗^[9]、簇头节点最优选择等问题, 但是, 由于前置区域节点信息回传造成能量浪费的问题还未得到足够的重视. 随着大规模网络的推广, 簇内节点信息回传造成的能量浪费更为巨大.

为解决簇内节点信息回传造成的能量浪费问题, 本文提出一种新型的基于能耗区域感知的无线传感

器网络路由算法(FA-LEACH).

FA-LEACH算法有以下几方面创新:

1) 考虑了失效节点对簇头节点候选集的影响, 基于节点的剩余能量和位置信息, 提出了新型簇头节点选择机制.

2) 在附属簇头节点选择阶段, 引入了前置感知区域的概念, 依据簇头节点的位置和方向信息得到前置感知区域, 进而确定信息回传节点集.

3) 建立了节点重要性指标, 在信息回传节点集中甄选出附属于簇头节点的中继节点(即附属簇头节点). 通过有选择性的附属簇头节点的信息传递完成网络通信.

仿真结果表明, 在网络寿命和节点能量均衡利用方面, FA-LEACH算法均优于LEACH、LEACH-C和EEUC算法.

1 相关工作

传感器节点有限的能量、带宽和计算能力限制了无线传感器网络的应用和发展^[10]. 为了提高网络的有效性, 学者们设计了众多路由算法.

1.1 LEACH算法

LEACH算法包含两个阶段: 簇形成阶段和稳定阶段^[5].

簇头选择机制: 在每一轮的开始, 每个节点按照如下规则产生一个0到1之间的随机数:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod 1/p)}, & n \in G; \\ 0, & \text{else.} \end{cases} \quad (1)$$

其中: p 是网络中簇头数占总节点数的百分比, r 是当前的轮数, G 是当前 $1/p$ 轮仍未被选为簇头的节点集合, n 代表一个节点. 如果节点对应产生的随机数大于阈值, 则选此节点为簇头节点CH.

1.2 LEACH-C算法

LEACH-C算法是在LEACH算法基础上的改进算法, 该算法在选择簇头节点时考虑了节点的剩余能量. 当节点的剩余能量低于能量阈值时, 进行簇头节点重新选择; 否则不进行新一轮的簇头节点选择.

1.3 EEUC算法

EEUC算法是一种不均匀分簇路由协议^[11]. 其核心思想是通过候选簇头竞争半径公式来产生不同的候选簇头的簇半径, 达到平衡簇头间能量消耗的目的. 簇头竞争半径 R_c 为

$$R_c = \left(1 - c \frac{d_{\max} - d(i, \text{Sink})}{d_{\max} - d_{\min}}\right) R_c^0. \quad (2)$$

其中: d_{\max} 和 d_{\min} 分别是 Sink 节点到网络中节点的最远和最近距离, $d(i, \text{Sink})$ 是节点 i 到 Sink 节点之间的距离, R_c^0 是最大竞争半径。

上述3种算法虽然考虑了网络中节点能量消耗均衡问题, 但是并没有考虑因为节点数据回传而造成的能量浪费。另外, 现有算法在动态地选择簇头节点时, 没有考虑失效节点对能量阈值的影响。本文针对网络中节点数据回传造成的能量消耗问题, 以及现有算法动态选择簇头节点的问题, 提出一种新型的无线传感器网络路由算法。

2 网络模型

2.1 网络基本设置

本文提出的改进算法与对比算法具有相同的网络模型:

- 1) 无线传感器节点在矩形检测区域随机分布, 基站位于检测区域之外;
- 2) 传感器节点和基站的位置确定之后不会改变;
- 3) 所有传感器节点的初始能量是相同的;
- 4) 网络寿命定义为网络中第一个节点死亡的时间;
- 5) 网络中节点的相对位置直接采用定位方法^[12]的位置估计数据。

2.2 能耗模型

本文采用与文献[13]相同的能耗模型。节点发送 k 字节数据到距离为 d 的位置消耗的能量计算公式为

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-\text{elsc}}(l) + E_{Tx-\text{amp}}(k, d) = \begin{cases} kE_{\text{elec}} + k\varepsilon_{\text{fs}}d^2, & d < d_0; \\ kE_{\text{elec}} + k\varepsilon_{\text{mp}}d^4, & d \geq d_0. \end{cases} \quad (3)$$

其中: $d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{\text{fs}}^2}{\varepsilon_{\text{mp}}}}$, ε_{fs} 为自由空间模型放大倍数, ε_{mp} 为多径传输模型放大倍数。

节点接收 k 字节数据的能量消耗为

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-\text{elec}}(k) = kE_{\text{elec}}. \quad (4)$$

其中: E_{elec} 为发送或者接收1比特数据的能耗, k 为发送或者接收的数据比特数。

2.3 网络寿命模型

在很多情况下, 网络在部分节点死亡后仍会继续工作。特别是当大量的传感器节点被分布在一个区域时, 部分节点死亡后, 其监测区域会被临近的节点覆盖, 使得网络具有一定的容错性。因此, 首节点

死亡轮数不是唯一度量网络寿命的指标。其中, 首节点是指网络运行过程中第一个死亡的节点。在本文中除了考虑首节点失效(FND)的轮数之外, 还考虑部分节点失效(PND)的轮数作为衡量网络寿命的标准^[14]。定义部分节点死亡(PND)时间为 $\frac{\varphi}{N} \geq \xi$ (常数) 时 T_N 的值, 有

$$T_N = T \left[\xi \leq \frac{\varphi}{N} \right]. \quad (5)$$

其中: N 为网络中总的节点数, φ 为死亡节点的数量, ξ 为预先定义的常数。

3 基于能耗区域感知路由算法

通过上文对 LEACH 及现有改进算法的优缺点分析, 本文为解决 LEACH 及其改进算法存在的不足提出 FA-LEACH 算法。本文算法在节点成簇时分两阶段进行: 第1阶段, 考虑网络中节点的平均能量, 动态地选择簇头; 第2阶段, 通过确定前置感知区域, 在感知区域内根据节点的位置信息和能量信息确定附属簇头节点。在稳定阶段, 普通节点将数据传递到相应的簇头节点或者基站, 簇头节点将收到的数据直接传输到基站。在每一轮, 依据条件进行簇头节点和附属簇头节点的选择, 从而平衡网络中节点的能量消耗。

改进算法的具体阐述如下: 基站和传感器节点放置完成后, 基站通过对全范围进行广播, 节点根据广播信号判断自身距离基站的位置, 然后进行节点成簇。

1) 簇头节点的动态选择。每一轮开始阶段, 根据存活节点的剩余能量值计算网络中节点的平均能量。计算公式如下:

$$E_{\text{ave}} = \sum \frac{E_i}{N - \varphi}. \quad (6)$$

其中: E_i 为存活节点 i 的剩余能量, φ 为死亡节点的数量, N 为存活节点总数。然后, 比较每个节点的剩余能量和平均能量的大小, 当节点的剩余能量大于平均能量时, 节点被选入候选簇头节点集 CH_G 中。候选集中的每一个节点均产生一个随机数, 当这个随机数大于阈值 $T(n)$ 时, 此节点被选为簇头。 $T(n)$ 定义如下:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod 1/p)}, & n \in \text{CH}_G; \\ 0, & \text{else.} \end{cases} \quad (7)$$

其中: p 为网络中簇头数占总节点数的百分比, r 为当前的轮数, CH_G 为当前 $1/p$ 轮候选簇头节点集, n 代表候选集中的节点。

2) 前置感知区域以及数据回传节点集。在传统

的分层路由结构中,各簇中存在一部分节点到Sink节点的欧氏距离比簇头节点到Sink节点的欧氏距离更小,但是这部分节点会将信息传递给簇头节点.如果频繁地进行这样的信息回传将会导致大量的能量浪费.

为了更好地确定该部分产生信息回传的节点所在区域,本文引入前置感知区域概念,定义如下.

定义1 网络中每个簇头*i*的前置感知区域为FA(*i*),表示为

$$FA(i) = \odot O_1 \cap \odot O_2. \quad (8)$$

图1中:设*S_i*是到簇头节点*i*欧氏距离最近的节点集合; $\odot O_1$ 是以簇头节点*i*为圆心, $d(i, j)$ 为半径的圆;节点*j*是集合*S_i*中到簇头节点*i*距离最远的节点; $\odot O_2$ 是以Sink节点为圆心, $d(i, Sink)$ 为半径的圆.

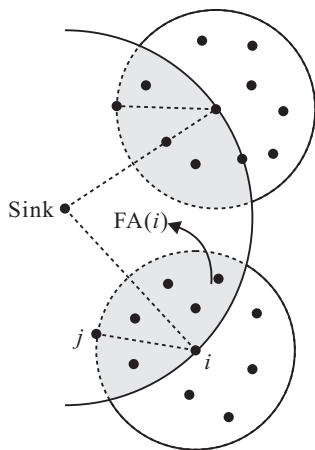


图1 前置感知区域图

为了更好地分析数据回传节点具体的路由行为,本文在上述前置感知区域概念的基础上,提出数据回传节点集的概念,定义如下.

定义2 每个簇头*i*的数据回传节点集为CB_{*i*}.当 $d(i, j) < d(i, Sink)$ 时, CB_{*i*}是区域FA(*i*)内所有普通节点的集合,如图2所示;当 $d(i, j) = d(i, Sink)$ 时,令CB_{*i*} = ∅,所有普通节点直接将数据传到簇头,如图3所示;当 $d(i, j) > d(i, Sink)$ 时,节点*j*直接将数据信息传递给Sink节点,以减少能量消耗.

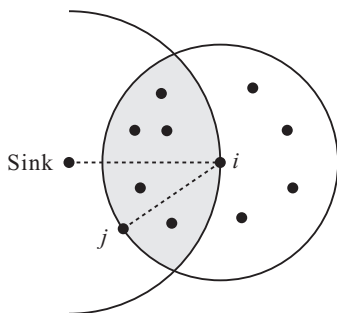


图2 数据回传节点分布图(a)

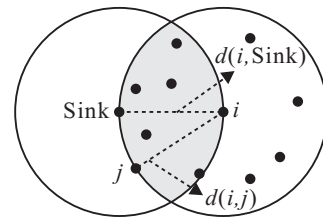


图3 数据回传节点分布图(b)

3) 前置感知区域附属簇头节点的选择. 在前置感知区域FA(*i*)中,考虑数据回传节点集CB_{*i*}中节点的位置以及能量信息,依据下式定义节点重要性评价指标*F_i(j)*,从而确定该区域的附属簇头节点CH_{*i*}:

$$F_i(j) = \frac{E_j}{d(j, Sink)} \times 100\%, \quad j \in CB_i. \quad (9)$$

其中:*E_j*表示节点*j*的剩余能量, $d(j, Sink)$ 表示节点*j*到Sink节点的距离.

已有的无线传感器路由算法中,大量的改进算法通过改进簇头选择机制或节点分布机制延长网络寿命.鲜有文章能从分层的网络结构出发,发掘出导致传感器网络的能量产生额外消耗的新问题.本文通过对分层网络结构中各簇的区域能耗分析,针对数据信息回传造成能量浪费问题,优化簇头节点选择机制,提出基于区域能耗感知的改进算法FA-LEACH.

改进算法分为如下4个阶段:

1) 选择簇头节点. 在每一轮开始阶段,根据式(6)计算网络中存活节点的平均能量.比较节点能量和平均能量,将满足要求的节点放入候选簇头集CH_G中.为CH_G中每个节点分配一个随机数,如果节点对应的随机数大于阈值*T(n)*,则该节点将广播自身被选为簇头.

2) 确定前置感知区域及数据回传节点集. 上述簇头选择完成后,对于每一个簇头节点*i*,根据式(8)得到前置感知区域FA(*i*),从而计算得到数据回传节点集CB_{*i*}.

3) 选择前置感知区域的附属簇头节点. 在簇头节点的*i*前置感知区域内,根据式(9)计算每个节点重要性指标*F_i(j)*, $j \in CB_i$,选择重要性最大的节点 $j \in CB_i$ 作为簇头节点*i*的前置感知区域的附属簇头节点.

4) 数据通信阶段. 簇内所有的成员节点将数据信息通过单跳的方式传递给相应的簇头节点以及附属簇头节点,然后簇头节点将收到的数据信息直接传递给基站,完成数据传递.

4 仿真及结果分析

4.1 仿真模型及参数选择

本文采用Matlab 2014a仿真软件进行算法验证.仿真算法包括本文提出的算法FA-LEACH以及与之

相比较的算法LEACH、LEACH-C、EEUC. 假设无线传感器网络由随机分布的 N 个节点组成, 并且网络中的节点随机分布在 S 的区域内, 远程基站则位于坐标 (x, y) . 具体的仿真参数设置如表1所示^[15].

表1 参数设置

参数名称	数值
网络区域	S
基站坐标	(x, y)
节点初始能量/J	0.5
数据包长度/bit	4000
控制数据长度/bit	200
数据融合能耗/(nJ/bit·signal ⁻¹)	5
发送/接收电路能耗/(nJ/bit)	50
放大器系数(自由空间)/(pJ/bit·m ⁻²)	10
放大器系数(多径传输)/(pJ/bit·m ⁻⁴)	0.0013
簇头比例 p	$K_{opt}/2N$

4.2 最优簇头数目计算

本文中借鉴最为经典的无线传感器网络路由协议LEACH的最优簇头个数确定方法进行最优簇头节点个数计算, 利用LEACH协议^[5]中最优簇头数的理论推导及公式

$$K_{opt} = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}} \frac{M}{d_{toBS}^2}}, \quad (10)$$

分析可知最优簇头数与簇头到Sink节点的距离 d_{toBS}^2 、网络中的总节点数 N 、网络区域大小 $M \times M$ 以及能耗模型的参数 ϵ_{fs} 和 ϵ_{mp} 有关. 考虑到本文中每个簇头节点对应于其前置感知区域的一个附属簇头节点, 将式(10)计算得到的最优簇头数的一半参与算法运行, 如表1所示.

4.3 算法评价指标

在进行算法验证时, 将网络中的存活节点数和节点的剩余总能量作为评价本文所提改进算法优劣的两个标准. 通过比较改进算法FA-LEACH和对比算法在首节点死亡(FND)轮数、半数节点死亡(PND)轮数和最终节点死亡(LND)轮数3个指标以及网络中剩余总能量变化趋势的不同, 说明本文所提出算法的性能提高.

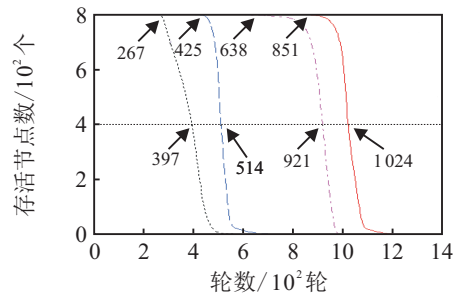
4.4 仿真实验结果

为了更充分说明本文所提出算法的有效性, 这里设置不同的网络区域大小和节点数目进行仿真实验. 通过在多个不同参数下算法结果的对比来验证本文算法具有较高的算法灵敏性和鲁棒性. 此外, 为了验证算法的稳定性, 本文进行多次重复实验, 文中呈现的仿真结果皆为30次重复实验的均值数据.

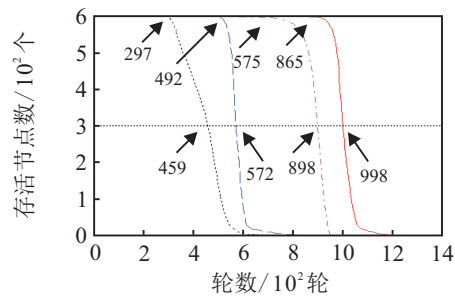
4.4.1 相同网络区域、不同节点数量的比较

1) 存活节点数目比较. 图4(a)~图4(d)为本文提出的改进算法FA-LEACH和经典LEACH算法、

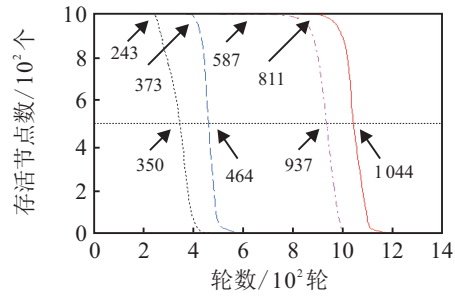
LEACH-C以及EEUC算法在不同网络节点数目下存活节点数变化的仿真结果. 图4中标记的箭头分别对应于不同算法首节点死亡、半数节点死亡的位置以及数值.



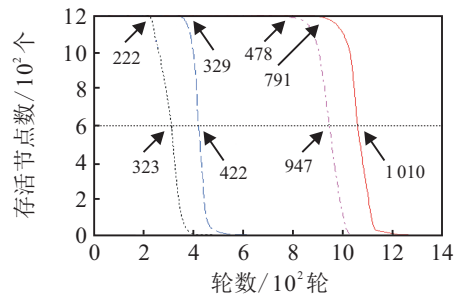
(a) 存活节点对比图 $N=600$



(b) 存活节点对比图 $N=800$



(c) 存活节点对比图 $N=1000$



(d) 存活节点对比图 $N=1200$

— FA-LEACH LEACH - - - LEACH-C - · - EEUC

图4 相同网络区域存活节点数对比

观察图4的仿真结果可知, 随着网络中总节点数的增加, 所有算法的首节点死亡时间都有不同程度的缩短. 对比图4(a)~图4(b), 算法EEUC在首节点死亡时间上优于其他已有的算法, 其首节点死亡时间得到一定的延长. 其原因为算法分簇不规则, 簇头选择未考虑节点能量导致的算法结果不稳定. 本文算法通过基于能量因素的簇头选择策略解决算法稳定性问

题. 对比图4(c)和图4(d), 随着节点增加死亡, 本文算法时间减少的幅度明显小于其他几种算法, 此结果说明本文算法具有能量均衡性, 在减少能量消耗的同时也兼顾到能量的均衡利用. 对比图4(a)~图4(d), 本文算法在首节点和半数节点死亡时间上均晚于其他对比算法, 网络寿命得到有效的延长.

综上所述, 在相同网络区域, 不同节点数的情况下, 本文所提出的算法能够进一步均衡网络中的能量消耗, 有效地延长首节点和半数节点的死亡时间, 达到增加网络寿命的目的.

2) 网络剩余总能量比较. 图5为本文算法FA-LEACH、原LEACH算法、LEACH-C算法以及EEUC算法的网络剩余总能量变化曲线.

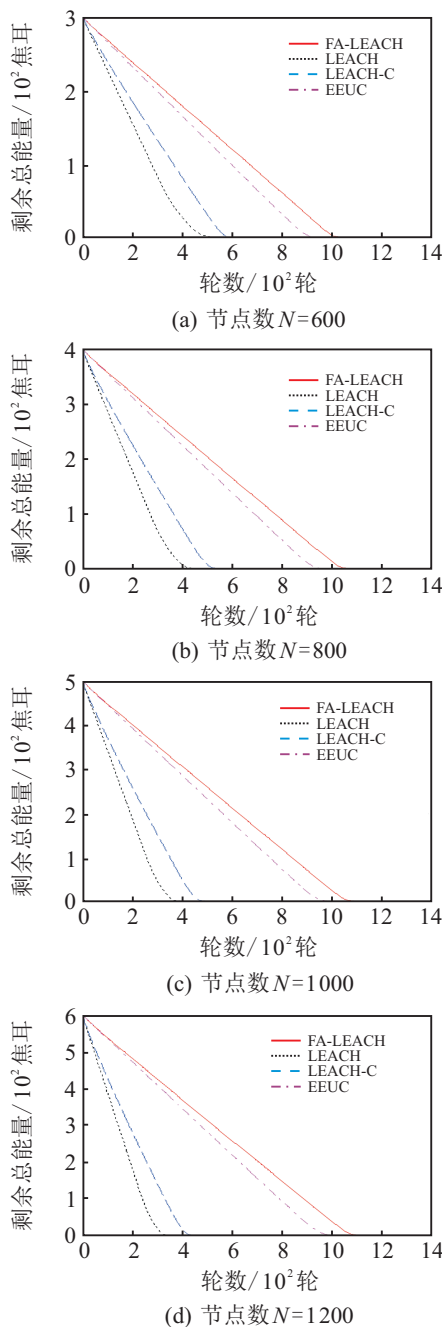


图5 相同网络区域剩余总能量对比

根据不同网络节点数的剩余总能量对比图5可知, 剩余总能量随着网络节点数的增加, 网络节点的剩余总能量下降速度(即曲线斜率)增大. 基于文中对FA-LEACH算法及本文对比算法能耗均衡能力的分析, 本文算法在均衡能耗方面优于其他3种算法. 图5通过能量的变化进一步说明了, 相比于其他对比算法, 本文算法所受节点变化的影响更小. 因此, 本文算法相比于其他算法在网络节点能量消耗方面更加均匀, 更有利于网络寿命的延长.

4.4.2 相同节点数、不同网络区域的比较

1) 存活节点数比较. 图6为相同节点数, 不同网络区域存活节点数目变化的仿真结果.

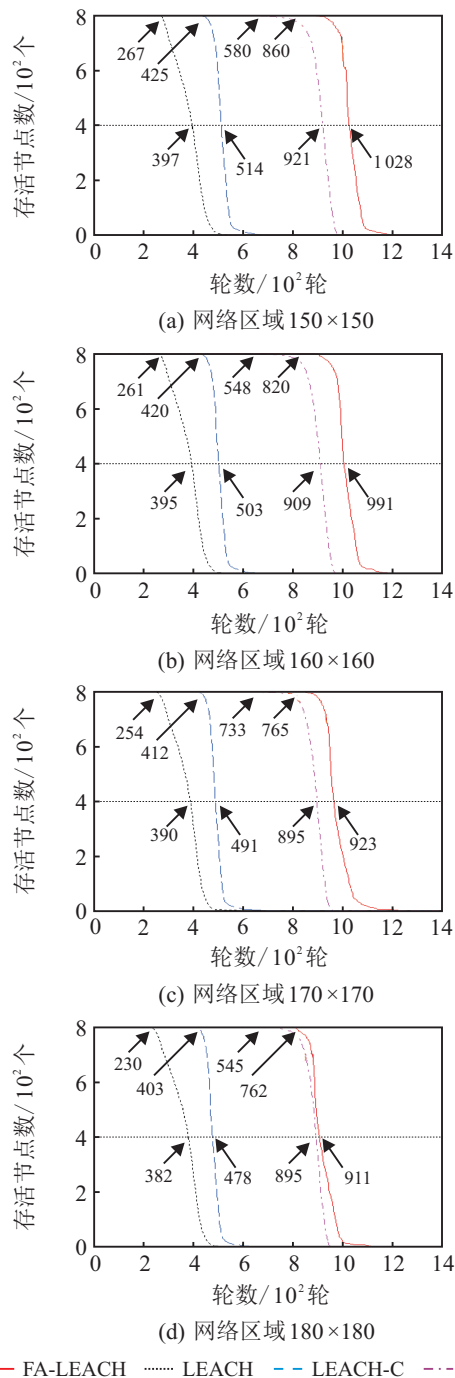


图6 不同网络区域存活节点数对比

图6中平行于横轴的虚线表示死亡节点数达到半数,各算法曲线与虚线的交点(标记的箭头所指位置)分别对应于不同算法首节点死亡、半数节点死亡的位置以及数值.由图6所示的仿真结果可知,随着网络区域大小的增加,由于通信距离的增加,网络节点能量消耗加快.对比图6(a)~图6(d)可知,各算法首节点和半数节点死亡时间变短.通过观察图6中4种算法的曲线可知,本文所提出的算法在首节点死亡时间和半数节点死亡时间上均优于其他3种算法.同时可以观察到,随着网络区域的增加,本文算法的首节点死亡时间仅缩短了150轮左右.算法EEUC节点死亡时间缩短300轮左右,本文算法适应不同环境的

能力强于算法EEUC.该结论也说明了本文算法可以应用于多个不同场景,算法的应用范围得到了延拓.

2) 网络剩余总能量比较.图7为在相同节点数,不同网络区域条件下,网络剩余总能量变化的仿真结果.由不同网络区域剩余总能量对比图7(a)~图7(d)可知,由于节点分布的网络区域增大,节点能耗增多,使得节点的剩余总能量下降更快,这与4.4.2节1)中节点死亡时间的缩短有一致的结论.对比图7(a)中不同算法节点剩余能量曲线的斜率,可以得到本文算法节点剩余总能量的减少速率小于其他3种对比算法的结论.综上所述,在相同节点数,不同网络区域大小的网络中,本文算法具有与其他3种算法更低的能量消耗速率.因此,本文算法在均衡网络节点能量消耗方面有较好的效果.同时,上述对比实验的结果说明本文算法可以应用于多个不同网络场景,算法的应用范围得到了一定的扩展.

5 结论

本文在分析LEACH及其改进算法不足的基础上,针对簇头节点的前置感知区域节点数据回传问题,提出了基于能耗区域感知的无线传感器网络路由算法.该路由算法改进了LEACH协议簇头选择方法,考虑节点能量的动态改变建立候选簇头集合.针对前置感知区域节点的能量回传造成节点能量消耗问题,本文算法在簇头节点的前置感知区域,根据节点的位置和能量信息定义节点重要性指标,选举出前置感知区域的附属簇头节点,从而达到减少因数据回传造成能量浪费和均衡能量消耗的目的.仿真结果表明,相比于LEACH、LEACH-C和EEUC算法,本文的改进算法在能量均衡消耗和延长网络寿命方面均有很大的提高,对于网络的工业化要求具有更好的适用性.

参考文献(References)

[1] 孙利民,李建中,陈渝,等.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005:3-24.
(Sun L M, Li J Z, Chen Y, et al. Wireless sensor networks[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 3-24.)

[2] 刘三阳,胡亚静,张朝辉.基于RSSI测距的DV-Hop算法[J].控制与决策,2017,32(10):1900-1904.
(Liu S Y, Hu Y J, Zhang Z H. Improved DV-Hop localization method based on RSSI[J]. Control and Decision, 2017, 32(10): 1900-1904.)

[3] Lang C, Xiang M. Wireless sensor network: Routing protocol and data management[M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2013: 16-32.

[4] 罗小元,李昊,王金然,等.无线传感器网络拓扑三

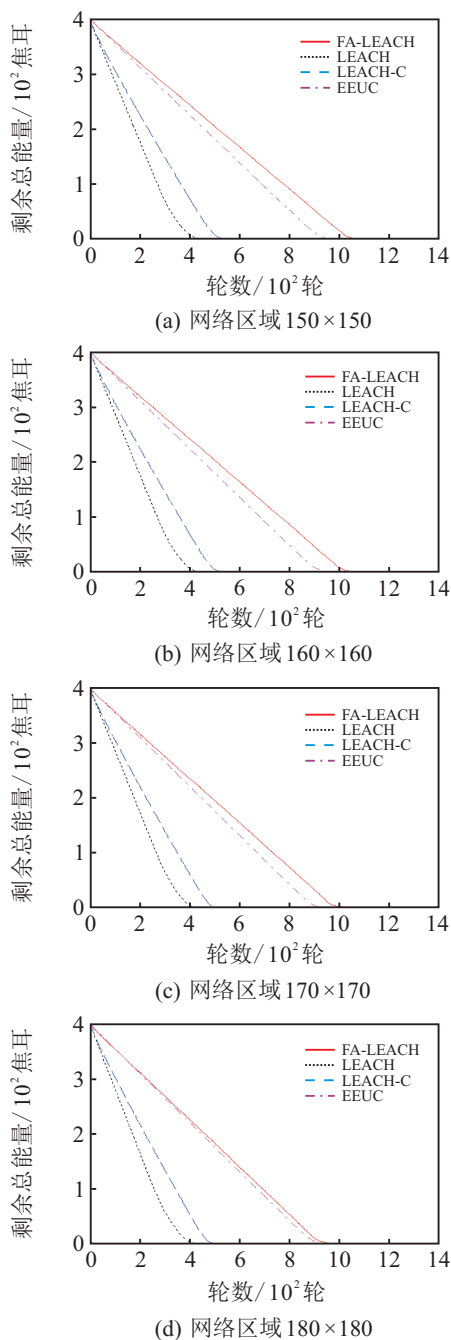


图7 不同网络区域剩余总能量对比

- 级簇优化算法[J]. 控制与决策, 2016, 31(6): 1099-1104.
(Luo X Y, Li H, Wang J R, et al. A three-layer hierarchical architecture for topology optimization clustering of wireless sensor networks[J]. Control and Decision, 2016, 31(6): 1099-1104.)
- [5] Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks[J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.
- [6] Tripathi M, Battula R B, Gaur M S, et al. Energy efficient clustered routing for wireless sensor network[C]. 2013 IEEE 9th Int Conf on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks. Dalian: IEEE, 2013: 330-335.
- [7] Lu Y, Liu X W, Li M. Study on energy-saving routing algorithm based on wireless sensor network[J]. J of Computers, 2017, 28(4): 227-235.
- [8] Jerbi W, Guerhazi A, Trabelsi H. O-leach of routing protocol for wireless sensor network[C]. The 13th Int Conf on Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGIV). Beni Mellal: CPS, 2016: 399-404.
- [9] 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.
(Bi X J, Diao P F. Routing and clustering algorithm heterogeneous wireless sensor networks based on gravitational search algorithm[J]. Control and Decision, 2016, 32(3): 563-569.)
- [10] 钟智, 罗大庸, 刘少强, 等. 具有移动sink的无线传感器网络能量均衡分簇路由协议[J]. 控制与决策, 2012, 27(8): 1211-1215.
(Zhong Z, Luo D Y, Liu S Q, et al. Energy-balanced clustering routing protocol in wireless sensor networks with a mobile sink[J]. Control and Decision, 2012, 27(8): 1211-1215.)
- [11] Li C F, Ye M, Chen G, et al. An energy-efficient unequal clustering mechanism for wireless sensor networks[C]. IEEE Int Conf Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. Washington: IEEE, 2005: 8-15.
- [12] Chang X, Liu S. A feasible method for sensor network localization[J]. Optimization Methods & Software, 2017, 32(5): 1-19.
- [13] Chang Y C, Tang H Y, Li B Q, et al. Distributed joint optimization routing algorithm based on the analytic hierarchy process for wireless sensor networks[J]. IEEE Communications Letters, 2017, 21(12): 2718-2721.
- [14] Zhou Y, Wang N, Xiang W. Clustering hierarchy protocol in wireless sensor networks using an improved PSO algorithm[J]. IEEE Access, 2017, 3(13): 2241-2253.
- [15] 刘壮, 房至一, 张春飞, 等. 基于能耗转移与数据作用力的无线传感器网络节能修正算法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2012, 42(5): 1237-1242.
(Liu Z, Fang Z Y, Zhang C F, et al. Energy-efficient amendatory algorithm based on energy-consumption transference and data gravitation in wireless sensor networks[J]. J of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2012, 42(5): 1237-1242.)

作者简介

刘三阳(1959—), 男, 教授, 博士生导师, 从事运筹优化、非线性分析、系统建模、信息网络等研究, E-mail: liusanyang@126.com;

郑亚林(1991—), 男, 硕士生, 从事无线传感器网络路由算法的研究, E-mail: zhengyalin092@126.com;

白艺光(1993—), 男, 博士生, 从事无线传感器网络路由算法、复杂网络的研究, E-mail: xd07101065@126.com.

(责任编辑: 齐 霖)