

无线传感器网络中一种基于改进的 LEACH 协议的数据收集方案

刘林锋¹ 郭平² 赵娟² 李宁¹

(后勤工程学院后勤信息系 重庆 401311)¹ (后勤工程学院训练部 重庆 401311)²

摘要 在传统的 LEACH 分簇协议的基础上进行改进,引入了节点剩余能量以及节点当选簇头次数两个影响因素,使得分簇更为理想。并针对无线传感器网络中传统的数据收集方法需要节点将数据经过多跳转发出去以及部分节点由于转发其他节点的数据而使能量快速耗尽的情况,提出一种在无线传感器网络中引入移动 sink,并让其沿着规划好的最优路径移动从而进行数据收集的策略 DCST。DCST 在以改进的 LEACH 协议对 WSN 进行分簇的基础上,利用蚁群算法寻找出连接所有簇头的最优路径,使移动 sink 沿着此路径移动并进行数据收集。并对移动 sink 的移动速度进行了优化对比,得出了理想的移动速度。仿真结果表明,相比传统的 Leach 算法以及其他改良算法,改进的 LEACH 协议以及 DCST 能更好地扩展网络的循环轮数,节省整个网络的能耗。

关键词 最优路径,移动 sink,LEACH 协议,无线传感器网络,数据收集

中图分类号 TP393 文献标识码 A

Data Collection Strategy Based on Improved LEACH Protocol

LIU Lin-feng¹ GUO Ping² ZHAO Juan² LI Ning¹

(Department of Logistical Information Engineering, Logistic Engineering University of PLA, Chongqing 401311, China)¹

(Department of Training, Logistic Engineering University of PLA, Chongqing 401311, China)²

Abstract This paper improved the protocol based on traditional LEACH protocol, and two influence factors called the residual energy and the number of elected cluster head of the nodes were introduced to make the clustering more ideal. Because the nodes forward data through multi hop in traditional methods of collecting data, and some of the nodes energy rapid depletes due to forward data to other nodes, this paper proposed a new strategy DCST that leads mobile sink into wireless sensor networks, and let it move along the planning optimal track to collect data. DCST uses the ant colony algorithm to find out the optimal path which connects all the cluster heads and lets the mobile sink move along this path to collect data based on clustering the WSN with the improved LEACH protocol. Optimizing and comparing the moving speed of mobile sink, we find out the ideal moving speed. Simulation results show that compared to the traditional Leach algorithm and other improved algorithm, the improved LEACH protocol and DCST can prolong the network life cycle more effectively and reduce the energy consumption of the whole network.

Keywords Top optimizing track, Mobile sink, LEACH protocol, WSN, Data collection

1 引言

随着信息技术的高速发展,掌握即时有效的信息对人们有着至关重要的作用。因而收集信息与数据的手段和技术得到了广泛的开发与应用,很多新兴的收集技术与策略也随之诞生。无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)^[1,2]就是当前最为热门的数据收集技术。并且无线传感器网络节点有诸多优点,如能量消耗低、易于分布在任何环境中、造价成本低廉和可以自组织地形成无线网络等,这使无线信息感知与采集变得空前的简单与方便。因此,其在当今的无线信息感知领域引起了一场变革,无线传感器网络中的数据收集也成为当下研究的热门。无线传感器网络在现实生活中得到了广泛的应用,如在气温、压力、定位等方面对周围环境的检测有着很高的应用前景。LEACH(low-energy adaptive cluster hierarchy)^[3]协议是人们最早提出与运用的

一种基于多簇结构的运用于无线传感器网络中的分簇路由协议,许多 LEACH 协议后的分簇协议^[4],如 TEEN^[5]、HEED^[6]等都是它的基础上改进和发展起来的。

传统的数据收集方法采用固定基站通信,数据经簇头多跳转发到基站,这样容易导致靠近基站的簇头节点由于转发过多的数据而过早死亡,大大缩短了网络的生存时间。针对这个问题,本文采用在通过改进的 LEACH 对传感器网络节点进行分簇后引入移动 sink^[7]的方案进行数据收集,让 sink 进入到传感器网络中直接与簇头进行通信,这样簇头就不需要将收集到的数据经过多跳转发给基站。并且在节点分簇后利用蚁群算法寻找出连接簇头的最优路径, sink 沿着计算出的最优路径进行移动以及数据收集。经过模拟仿真表明,本文提出的结合移动 sink 与最优路径的数据收集策略 DCST (data collection scheme with toptimizing track),与 LEACH 协议、本文改进的 LEACH 协议、其他改良算法相

刘林锋(1989—),男,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络中数据收集策略、计算机网络等, E-mail:597143936@qq.com。

比,能更好地扩展网络的循环轮数,节省整个网络的能耗。

2 LEACH 协议

2.1 LEACH 协议原理

LEACH 协议对传感器节点分簇是周期性的按轮循环。每一轮分簇主要包括两个阶段:分簇选举簇头阶段和簇头选举成功后数据稳定传送的阶段。在每一轮选举簇头过程中,LEACH 协议规定首先让每一个传感器节点自动生成一个介于 $0 \sim 1$ 之间的随机数,此随机数将用来与计算设定的阈值 $T(n)$ 作比较。节点要想成功当选,其随机值必须低于 $T(n)$,计算公式如下^[8]:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \times [r \bmod (1/p)]}, & n \in G \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中, r 为从第一轮开始到当前为止循环过的轮数, G 为在近 $1/P$ 轮,还没有当选成为过簇头的传感器节点的集合。记簇头数目与网络中全部节点的比值为 p ,为防止分簇过大或者过小,需要得出一个最优的簇头数。以往有文献^[9]已经证明最优簇头数为:

$$k_{opt} = \sqrt{\frac{N}{2\pi} \frac{M}{d_{toSink}^2}} \quad (2)$$

式中, N 为网络中总的节点数, M 为网络区域的边长。分簇开始后,根据协议的算法,每个节点通过对比自己的随机值与 $T(n)$,便可判定自己是否成为簇头。若节点成功竞选,它会通知其他节点,声明自己已经成功当选。其他节点收到该消息后,通过分析比较自己收到的所有消息,加入信息强度最为强的一个簇头。节点加入自己的簇头后需要反馈一个自己已经加入的消息给簇头。这样簇就分好了。分好簇之后,簇头节点给每个成员节点划分一个时隙,每个成员节点只能在自己的时隙内与簇头通信,即运用 TDMA 机制,这样就避免出现网络的拥塞。时隙划分好后进行数据的感知与传送,这被称为稳定运行阶段。

2.2 LEACH 协议的缺点

(1)经典的 LEACH 协议在簇头选举时是随机的,由于收集与传送数据的多少不同,导致节点剩余能量有所差异。而在计算 $T(n)$ 时没有考虑节点的剩余能量,如果剩余能量低的节点先于剩余能量高的节点当选簇头,就可能导致部分节点过早耗尽能量,从而影响网络的生存周期。

(2)除了在计算 $T(n)$ 时没有考虑节点的剩余能量外,簇头的选举并没有考虑每 $1/P$ 轮已经循环过的轮数,如果在 $T(n)$ 的表达式中加入这个因素,会使簇头选举更合理。

3 改进的 LEACH 协议

针对以上 LEACH 协议在选举簇头时存在的缺陷,本文对其进行了改进并提出了新的选举簇头的方法。本文在计算新的簇头选举的门限值 $T(n)$ 时引入了节点当前的剩余能量并考虑了当前近 $1/P$ 轮已经当选过簇头的轮数,新的门限值的表达式为:

$$T(n) = \frac{p}{1-p \times [r \bmod (1/p)]} \times \left(1 + \frac{E_{rest}}{E_0}\right) \times \frac{1}{R_y \times p}, \quad n \in G \quad (3)$$

其中, E_{rest} 为节点当前剩余能量, E_0 为节点初始能量, R_y 为近 $1/P$ 轮中当选为簇头的次数。由 $T(n)$ 的表达式可以看出,当节点剩余能量越大,节点当选为簇头的几率就增大,节点在近

$1/P$ 轮中充当过簇头的次数越少,则节点当选为簇头节点的可能性就越大。改进后的 LEACH 协议流程图如图 1 所示。

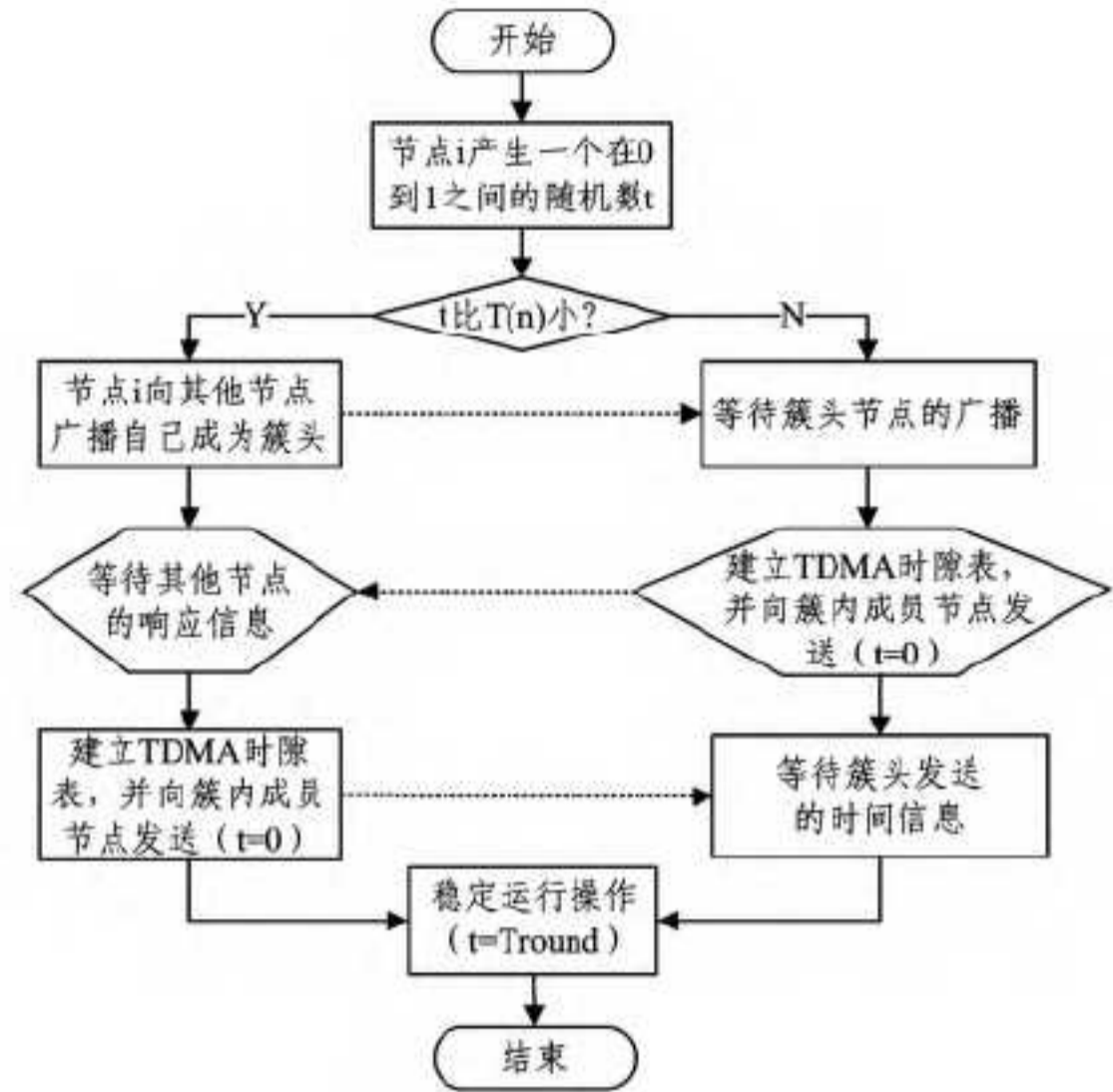


图 1 LEACH 协议流程图

4 系统模型与问题描述

考虑一个二维区域中的 WSN 网络,做出以下假设:

- (1)在监控区域内传感器节点随机地进行部署,初始能量相同且有限,且部署后位置固定不变;
- (2)已知监控区域的大小、网络中传感器节点的总数量,移动 sink 拥有数据收/发、数据融合等功能,负责将收集到的簇头数据进行融合并发送给外部信息处理中心,且自身可以随机移动,能量不受限制;
- (3)每个节点的功能一样,数据的收发是全方位的。

在假设的模型下,每个传感器节点的能量消耗主要在以下两个方面:1)传感器节点在向簇头节点发送数据时和簇头节点接收其他成员节点时所需要消耗的能量;2)簇头节点在对其成员节点传送过来的数据进行融合时所需要消耗的能量。若普通节点到簇头节点的距离为 d ,则发送 l bit 的数据包的能耗为^[10]:

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} l \times E_{dec} + l \times \xi_{fs} \times d^2, & d < d_0 \\ l \times E_{dec} + l \times \xi_{mp} \times d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (4)$$

其中, E_{dec} 是节点发送 1bit 数据包的能耗; ξ_{fs} 为传送距离 $d < d_0$ 时的信号衰减系数; ξ_{mp} 为传送距离 $d \geq d_0$ 时的信号衰减系数; d_0 为区分使用衰减系数的阈值距离,其取值为:

$$d_0 = \sqrt{\frac{\xi_{fs}}{\xi_{mp}}} \quad (5)$$

簇头节点接收数据包时,只负责接收而不需要考虑该数据包的传送距离。其接收 l bit 的数据包,能量的消耗量为:

$$E_{Rx}(l) = l \times E_{dec} \quad (6)$$

簇头节点融合 l bit 的数据包的能耗为:

$$E_{aggregation}(l) = l \times E_{DA} \quad (7)$$

式中, E_{DA} 为融合 1bit 数据包的能耗。

4.1 基于移动 Sink 的数据收集策略

由于以往的在 WSN 中数据收集都采用固定基站的模型,节点经过多跳传送将数据传送给基站,基站收集到数据后进行数据融合然后传送给外部数据处理中心。这种数据收集方法需要节点将数据经过多跳转发出去,部分节点由于转发其他节点的数据而使能量快速耗尽,大大影响网络的生存时间。

为了弥补固定基站在这方面的缺陷,本文采用移动 sink 的方案进行数据收集。具体措施是在将网络中节点通过本文改进的 LEACH 算法进行分簇后,将得到的簇头节点通过蚁群算法形成一条最优路径,将 sink 沿着规划好的路径移动至簇头附近进行数据收集,从而避免了簇头节点需要经过多跳传送将数据送给基站而带来的过度的能量消耗。根据相应的能耗公式可知,采用移动 sink 的数据收集方案,即让 sink 移动到簇头附近进行数据收集,会大大节约簇头的能量。

本文以改进的 LEACH 算法为基础对传感器网络节点进行分簇,然后通过蚁群算法搜寻连接所有簇头的最优路径,移动 sink 沿着此路径进行移动与数据收集,这样就避免了节点需要将数据多跳传送给基站而导致能量过度消耗。并通过优化得到了移动 sink 的最优移动速度,在最优速度下,移动 sink 收集到的数据不会溢出。

4.2 最优路径的搜索

本文提出的数据收集方案是在移动 sink 与最优路径相结合的基础上的。采用蚁群算法搜寻出移动 sink 的最优路径。蚁群算法寻找最优路径是根据每个蚂蚁留下的信息素,后面的节点跟随信息素最强的路径前进,如此迭代最终得到最优路径。由于需要记录经过的节点等信息,因此会有一个专供存储信息的表格,这个表格每个蚂蚁都有。经过的节点记录在表格中以后不再访问,除了经过的节点外,表格中还需要记录允许访问的访问节点。每个蚂蚁会根据自己角色的不同携带相应的报文以方便进行路径搜寻,其所携带的报文格式如下:

前向蚂蚁携带的报文格式

| Type | ID | SrcAdd | VisitedNode | E _{sum} | SrcTime |
|------|----|--------|-------------|------------------|---------|
|------|----|--------|-------------|------------------|---------|

蚂蚁经过簇头建立的路由表

| ID | E _{cost} | E _{remain} | τ_{ij}^k | $p_{i,j}^k(t)$ |
|----|-------------------|---------------------|---------------|----------------|
|----|-------------------|---------------------|---------------|----------------|

后向蚂蚁携带的报文格式

| Type | VisitedNode | SrcTime | E _{min} | E _{avg} |
|------|-------------|---------|------------------|------------------|
|------|-------------|---------|------------------|------------------|

蚂蚁携带的报文中每个参数代表的意义如表 1 所列。

表 1 蚂蚁携带报文参数的含义

| 参数 | 含义 |
|---------------------|----------------|
| SrcAdd | 源簇头节点地址 |
| VisitedNode | 已访问过的节点 |
| E _{sum} | 蚂蚁访问过节点消耗的能量总和 |
| SrcTime | 出发时间 |
| E _{cost} | 能耗 |
| E _{remain} | 剩余能量 |
| τ_{ij}^k | 信息素 |
| $p_{i,j}^k(t)$ | 下一跳概率 |
| E _{min} | 链路最小剩余能量 |
| E _{avg} | 链路平均能耗 |

前向蚂蚁就好比生活中的探路者,后向蚂蚁根据前向蚂蚁留下的信息素选择适合的路径,目的就是为了得到一条从源簇头节点到目的簇头节点并且连接所有簇头节点的最优路径。前向蚂蚁在搜寻下一跳路径时,只能从允许访问的节点中以概率 $p_{i,j}^k(t)$ 搜寻,其计算公式为^[11]:

$$p_{i,j}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta [\varphi_{ij}(t)]^\beta}{\sum [\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta [\varphi_{ij}(t)]^\beta}, & j \in allowed_k \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (8)$$

其中, τ_{ij} 表示 s_i, s_j 在 t 时刻的信息素浓度; η_{ij} 表示 s_i, s_j 间链路状态启发信息,定义为 s_i, s_j 间的链路带宽 $bandwidth_{ij}$ 与 s_i, s_j 间链路时延 $delay_{ij}$ 的比值,即:

$$\eta_{ij}(t) = \frac{bandwidth_{ij}}{delay_{ij}} \quad (9)$$

可用能量度 $\varphi_{ij}(t)$, 定义为:

$$\varphi_{ij}(t) = \frac{E_{remain}^i(t)/E_{cost}^i(t)}{\alpha d(i,j) + \beta d(i,k)} \quad (10)$$

式中, $E_{remain}^i(t)$ 为 s_i 节点剩余能量。 $E_{cost}^i(t)$ 为 s_i 到 s_j 传送数据的能耗。 $d(i,j)$ 为 s_i, s_j 间距离。 $d(j,k)$ 为 s_j 与下一跳簇头 s_k 的距离。 $\alpha, \beta, \gamma, \phi, \varphi$ 分别代表各个因子的权重系数。

在搜寻最优路径的过程中,根据前向蚂蚁携带的报文内容,可以计算出链路的时延。让前向蚂蚁在到达下一跳簇头节点的同时更新自己的路由表,根据相应的公式计算得出蚂蚁在搜寻当前路径所消耗的能量并在路由表中更新,经过一些轮次的迭代后便可以得出想要寻找的最优路径。

5 DCST 方案的具体步骤

- (1) 初始化: 在监测区域中随机部署固定数目的传感器节点,部署后节点位置不再改变。
- (2) 利用改进的 LEACH 协议对 WSN 中节点进行分簇,选出簇头。
- (3) 利用蚁群算法寻找出连接所有簇头的最优路径。
- (4) 让 sink 沿着搜寻出的路径移动,使其移动到簇头附近对簇头存储着的数据进行收集。

6 仿真与分析

现对传统 LEACH 协议、本文改进的 LEACH 协议即 LEACH-I(LEACH-Improved) 协议、其他版本的 LEACH 改进协议 LEACH-E、拥有数据收集链的 PEGASIS 协议和本文的数据收集方案 DCST 通过 MATLAB 进行仿真对比,优化得出了移动 sink 的最优移动速度,并在能耗、网络生存时间方面进行分析。

实验中所使用的参数如表 2 所列。

表 2 仿真场景参数

| 参数 | 取值 |
|-------------------|--------------------------------|
| 网络区域大小 | 100m×100m |
| 移动 sink 初始位置 | (50,50) |
| 节点数 | 100 |
| 节点初始能量 | 1J |
| 数据包大小 | 2000bit |
| ξ_{ts} | 10pJ/(bit·m ²) |
| ξ_{mp} | 0.0013pJ/(bit·m ⁴) |
| E _{elec} | 50nJ/bit |
| E _{DA} | 5nJ/(bit·signal) |

实验中,首先对移动 sink 的移动速度进行了探索与优化。如图 2 所示,可以看到当移动 sink 的移动速度由小变大时,WSN 中数据溢出率不断变小最后趋于 0,当移动 sink 速度为 2m/s 时,数据溢出率已经低于 10%,当移动 sink 移动速度达到 4.5m/s 时数据溢出率为 0。因此,只要设置移动 sink 的移动速度大于 4.5m/s,便可以收集到所有的数据。不过不同的移动速度移动 sink 的能量消耗也不同,为使数据没有溢出,并更符合实际情况以及节能,接下来的仿真中移动 sink 速度设置为 5m/s。

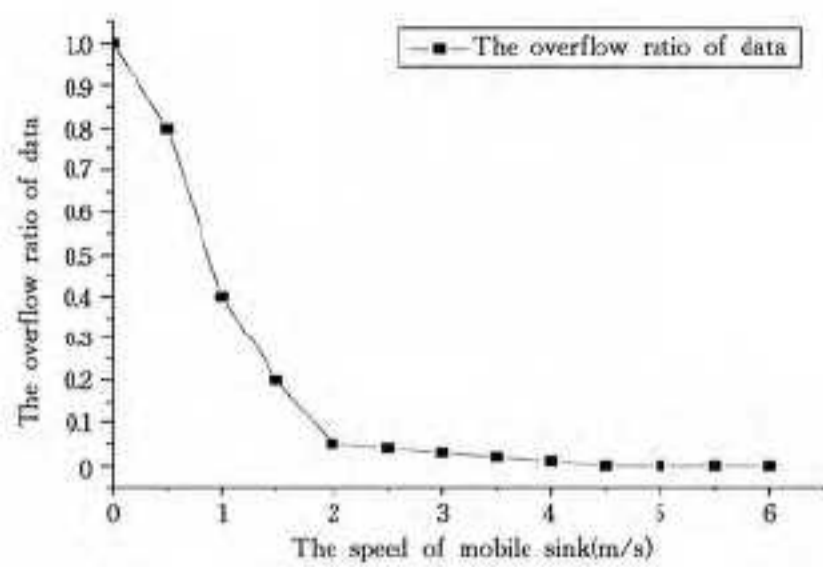


图2 不同移动速度下网络的数据溢出率

从整个网络的能耗方面进行仿真分析,如图3所示,使用 LEACH 协议时,在 1150 轮左右网络的能量全部耗尽,对簇头的门限进行重新定义的 LEACH-E 协议则在 1250 轮左右网络的能量全部耗尽,而本文在 LEACH 协议的基础上改进的 LEACH-I 则在第 1350 轮左右消耗整个网络的能量,相比 LEACH 协议,其网络生存轮数提高了 200 轮,与 LEACH-E 相比也提高了 100 轮,在使用 PEGASIS 协议进行数据收集时,整个网络的能量在 1550 轮全部耗尽,而在使用引入移动 sink 的数据收集策略 DCST 时,网络的总能量在 1650 轮左右才消耗殆尽,其网络生存轮数比 LEACH 协议提高了 500 轮,比 LEACH-E 提高了 400 轮,比 LEACH-I 提高了 300 轮,比 PEGASIS 提高了 100 轮,大大地节约了簇头的能量,使整个网络的能耗更加均衡,从而扩展了网络的生存轮数。

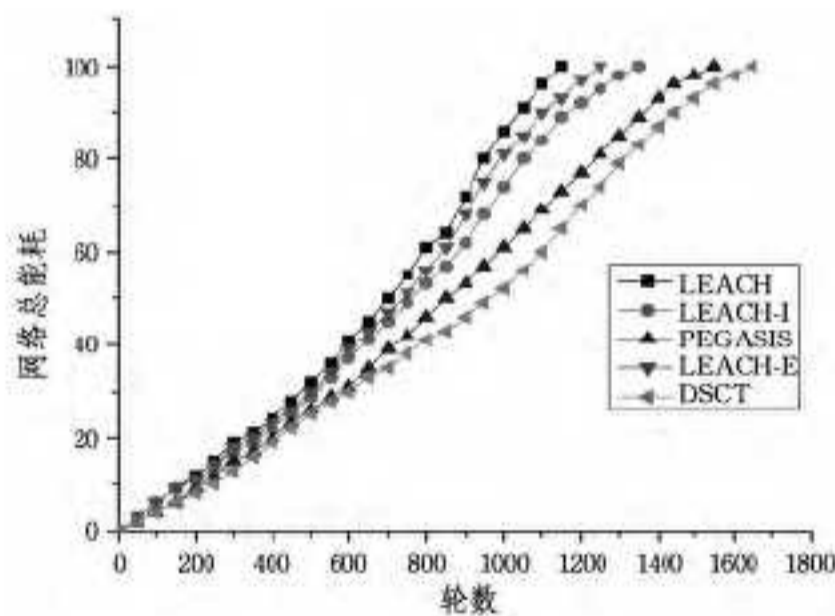


图3 网络总能耗对比

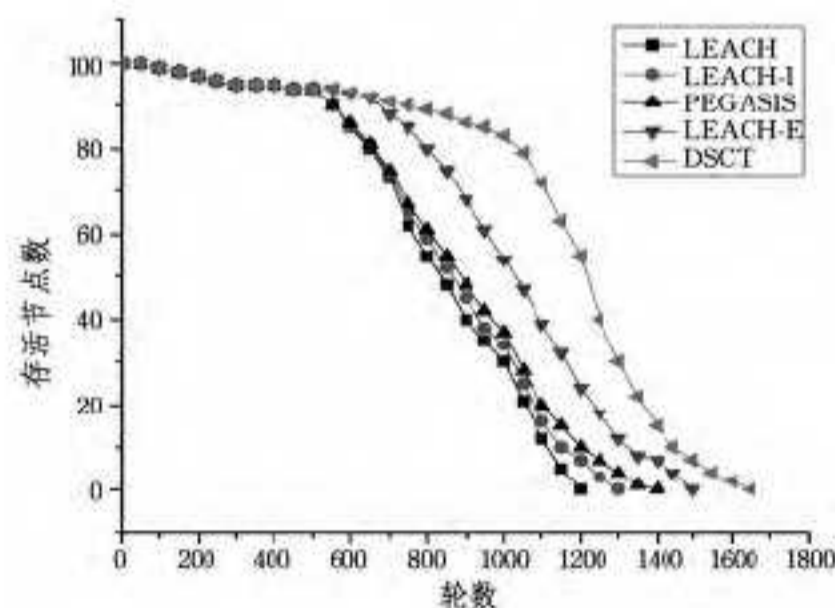


图4 存活节点数对比

从整个网络中存活的节点数方面进行仿真分析(见图4),可以看出 LEACH 协议在 1200 轮左右节点全部死亡,对簇头的门限进行重新定义的 LEACH-E 协议则在 1300 轮左右节点全部死亡,而 LEACH-I 协议则在 1400 左右节点全部死亡,比 LEACH 协议延长了 200 轮,比 LEACH-E 延长了 100 轮,在使用 PEGASIS 协议进行数据收集时,整个网络的传感器节点在 1500 轮全部死亡,DCST 策略则可以运作至 1650 轮,其循环轮数比 LEACH 协议增加了 450 轮,相比

LEACH-E 提高了 350 轮,相比 LEACH-I 增加了 250 轮,与 PEGASIS 协议相比也提高了 150 轮。从而可以印证 DCST 在延长网络的生存周期上比其他协议有着更加明显的优势。

结束语 本文在经典的 LEACH 协议基础上进行改进得出 LEACH-I 协议,利用 LEACH-I 协议对 WSN 进行分簇,然后利用蚁群算法寻找出连接所有簇头的最优路径。并让移动 sink 沿此路径以最优移动速度进行数据收集,而不使用传统的基站通信的方式,更好地节省了簇头的能量开销。该方案利用了 LEACH-I 协议在分簇上的优点,并引入了 LEACH 所不具备的移动 sink,还规划和搜寻出了移动 sink 的最优路径。经仿真表明,本文改进的 LEACH-I 协议在网络生存周期与网络能耗上比 LEACH 协议、LEACH-E 协议更加具有优势,而在 LEACH-I 协议的基础上引入了移动 sink 的 DCST 策略更是比 PEGASIS 协议大大延长了网络的生存时间。

参考文献

- [1] Yick J, Mukherjee B, Ghosal D. Wireless sensor network survey [J]. *Computer Networks*, 2008, 52(12): 2292-2330
- [2] Potdar V, Sharif A, Chang E. Wireless sensor networks: a survey [C] // *Proceedings of International Conference on Advanced Information Networking and Applications*. Bradford, 2009: 636-641
- [3] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks [C] // *Proc. of the 33rd Annual Hawaii Int'l Conf. on System Sciences*, Maui: IEEE Computer Society, 2000: 3000-3014
- [4] 李婵婵, 解培中. 无线传感器网络中一种改进的 Leach 协议 [J]. *计算机技术与发展*, 2013: 1673-629
- [5] Manjeshwar A, Agrawal D P. TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks [C] // *Proceedings of the 15th International Workshop on Paralled and Distributed Processing Symposium San Francisco, CA*, 2001, 4
- [6] Younis O, Fahmy S. Heed: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad-hoc sensor networks [J]. *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2004, 3(4): 660-669
- [7] Jaichandran R, Irudhayaraj A, Raja J. Effective strategies and optimal solutions for hot spot problem in wireless sensor networks (WSN) [C] // *10th Int. Conf. on Information Sciences Signal Processing and their Applications (ISSPA)*, 2010. 2010: 389-392
- [8] 孙利民, 李建中, 陈渝. 无线传感器网络 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 94-97
- [9] 李成岳, 申铨京, 陈海鹏, 等. 无线传感器网络中 LEACH 路由算法的研究与改进 [J]. *传感技术学报*, 2010, 23(8): 1163-1167
- [10] Yem, Li C F, Chen G H, et al. EECS: a n energy efficient cluster scheme in wireless sensor networks [C] // *24th IEEE Performance, Computing, and Communications Conference Proceedings of the 2005 (IPCC 2005)*. Piscataway: IEEE, 2005: 353-540
- [11] 缪聪聪, 陈庆奎. 基于蚁群的无线传感器网络能量均衡非均匀分簇路由算法 [J]. *计算机应用*, 2013, 33(12): 3410-3414