

基于蚁群的水下无线传感器网络能量路由协议

蒋 华, 蔡振海, 王 鑫

(桂林电子科技大学 计算机与信息安全学院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 针对水下无线传感器网络能量供应及生命周期的不足, 在分簇路由协议的基础上提出了一种均衡节点能耗, 延长网络生命周期的路由协议算法. 该协议将蚁群算法用于水下无线传感器网络的路由优化中, 在数据传输时找到最优的路径, 达到节约簇头节点能量, 延长整个网络生命周期的目的. 同时, 在簇头选举时, 优化簇头选举策略, 均衡簇头能量消耗. 仿真结果表明, 该协议有效的延长了网络生命周期, 节省了网络节点能量, 提高了传输效率.

关键词: 水下无线传感器网络; 蚁群算法; 能量高效; 非均匀分簇; 路由选择

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)08-0012-05

Energy Routing Protocol for Underwater Wireless Sensor Networks Based on Ant Colony

JIANG Hua, CAI Zhen-hai, WANG Xin

(College of Computer Science & Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In view of the shortage of energy supply and life cycle of underwater wireless sensor network, a new routing protocol algorithm based on clustering routing protocol is proposed, which is based on the cluster routing protocol. The ant colony optimization algorithm is used in the routing optimization of underwater wireless sensor networks, to find the optimal path in the data transmission, to achieve the energy saving cluster head node, and to extend the life cycle of the network. At the same time, in the cluster head election, optimize the cluster head election strategy, balance cluster head energy consumption. Simulation results show that the proposed protocol can effectively prolong the network lifetime and save the network node energy and improve the transmission efficiency.

Key words: underwater wireless sensor networks; ant colony algorithm(ACA); energy efficient; uneven clustering; routing selection

1 引言

近年来,水下无线传感器网络(UWSN)作为一种新型的无线传感器网络技术也正成为国内外普遍关注的焦点,正被逐渐用于海洋数据采集、海洋环境保护、水下军事防御、减轻海洋灾害、维护海洋主权和权益等方面.水下无线传感器网络使用飞行器、潜艇或水面舰艇将成百上千个廉价微型传感器节点随机布置到感兴趣水域,节点以自组织的方式形成一个无线网络系统,通过水声通信的方式传递给基站^[1].与陆地无线传感

器网络一样,能量供应以及网络生存时间也是摆在UWSN面前所要解决的最重要的问题.

不同于陆地无线传感器网络,UWSN主要采用水声通信的方式进行节点间的数据传输,同时由于其特殊的应用环境,海水盐度、压力、洋流运动、海洋生物、声波衰减、海洋植物等都对其数据传输时延、能量消耗、网络生存时间、信道质量都是巨大的挑战^[2-3].因此,如何设计一种新的适合水声通信环境的网络路由协议成为时下研究的热点.

目前,一些学者^[4-5]已经针对陆地无线传感器网

络提出了一些经典的路由协议,但这些协议目前都不适用于水下无线传感器网络,其没有考虑到水声信道的高时延和高能耗的特点。同时,这些协议本身也存在有不足之处。近年来,围绕分簇协议的思想提出了许多改进的算法,如文献[6]等提出的 EEUC 算法(基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议)。由于 EEUC 算法没有在簇首竞争半径方面没有将剩余能量约束条件加进来,所以在此基础上又提出了许多改进算法。比如缪聪聪等人提出的 AC-EBUC 算法^[7];能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇路由协议^[8];同时将相对距离和能量考虑进来的非均匀分簇路由协议 EPUC^[9];

本文的核心思想是基于蚁群算法^[7,10] (Ant Colony Algorithm, ACA),针对水声信道的高时延和高能耗的特点同时结合无线传感器网络非均匀分簇路由算法提出一种新的基于蚁群的水下无线传感器网络能量均衡非均匀分簇路由协议。

2 模型描述

本协议是针对二维静态水下无线传感器网络,所有部署节点的初始能量都相同,并且每个节点都具有唯一的标识符(ID),每个节点都处于相等的地位,被选中为簇头节点或成为普通节点的概率相等。基站位置固定,且能量处于无限大状态。

为了更接近实际应用,本协议所有节点之间通信模型均采用^[11] 设定的水下通信能量消耗模型。则节点发送数据时的功率 E_m 可表示为:

$$E_m = P_m T_n A(d) = P_m T_n d^k 10^{d \cdot a(f)} \quad (1)$$

式中, d 表示发送信息的簇首节点与接收信息的簇首节点之间的相对距离; k 是波面扩展损失因子,在实际的应用中设定 $k = 1.5$; f 是节点在水下传播时的频率; $a(f)$ 为 Throp^[12] 频率吸收系数

$$a(f) = \frac{0.11f^2}{1+f^2} + \frac{44f^2}{4100+f^2} + \frac{2.75f^2}{10000} + 0.003 \quad (2)$$

从式(1)和(2)中可以知道,当远离基站的簇首节点与基站通信时则需更多的能量,同时,靠近基站节点的簇首节点频繁的与之通信也会加大该簇首的负荷。

3 协议描述

如图 1 所示,该协议将分布在水下监测区域的传感器节点划分为大小不均的簇,越靠近 Sink 节点的簇越小。每个簇中分为簇首节点和普通的成员节

点。簇内的各个节点以单跳的方式与其所属的簇首节点通信,簇首节点将各节点发送来的数据进行融合后采用蚁群算法建立最优的路由机制,然后以多跳的方式和其他簇首节点以及 Sink 节点进行通信。

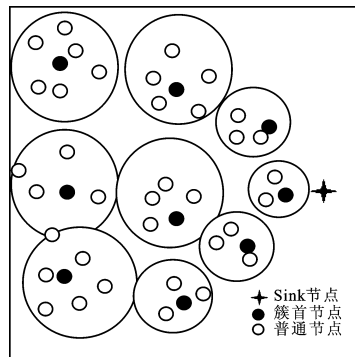


图 1 非均匀分簇结构

采用非均匀分簇的思想是为了防止出现距离 Sink 节点近的簇首成为“热”节点的现象,使得整个网络的能量更加均衡,提高网络生存时间。本文的一个新的创新之处是在簇间路由时采用蚁群算法的思想,为各个簇首节点在向 Sink 节点传输数据时找到一条能量最优的通信链路。本协议初始时的流程图如 2 所示。

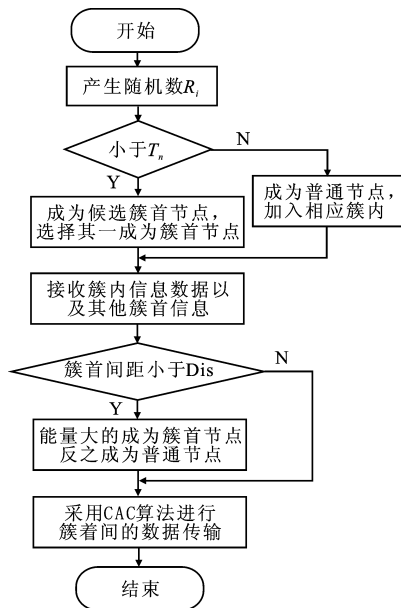


图 2 协议流程图

3.1 簇首选取算法

本文在分簇阶段采用经典的分簇路由协议 LEACH 思想,数据周期性的(分轮)进行采集与传输,本文为了弥补 LEACH 协议在选取簇首时没有将能量因素及相对距离考虑进来,在簇首选举时采

用 DCHS 协议提出的阈值 $T(n)$ 算法. 同时由于初始时簇首节点是随机产生的, 可能会存在一个簇中有多个候选簇首节点的情况, 或者相邻的簇中有多种簇首选择, 为了避免这些情况的产生, 本文引用文献^[12]中提出的方法, 设定一个最小距离 Dis , 当某些簇首间两两间距小于 Dis 时, 则需要比较二者的剩余能量, 能量剩余多者作为簇首节点. 反之则成为该簇内的候选簇首, 为下一轮簇首选择做准备. 同时, 本文为了尽可能的提高网络的生存时间, 在第一轮簇首选择时记下每个簇内的候选簇首, 并设定一个候选簇首半径 R_i , 在后续轮的簇首选择时为了节省能量, 在簇内选择在半径 R_i 内的候选簇首为下一轮的簇首. $T(n)$ 的计算公式为公式(3):

$$T_n = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \lceil r \bmod(1/p) \rceil} \frac{E_{n_current}}{E_{n_max}} & \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

具体簇首选择用伪代码如下:

1 初始化参数, 将节点布置在检测区域内.

2 Random(0,1) — $> R_i$; // 每个节点产生一个 0—

1 的随机数

If($R_i < T_n$) // 判断是否小于 T_n

$R(i) \leftarrow S(i)$; // $S(i)$ 为候选簇首集合

Head R_i ; // 在 $S(i)$ 集合中应用本文协议算法选择一个簇首节点

Broadcast Message; // 通知全网成为簇首消息

If ($D(R(i), R(j)) < Dis$) // 两簇首间距小于设定距离 Dis

$R(i).weight > R(j).weight$ Head R_i : Head R_j ;

// 能量大者为簇首节点

3 临近节点选择合适的簇加入

4 下一轮通信时, 从候选簇首节点中选择距上一轮簇首节点距离小于 R_i 且能量较大者为新的候选簇首节点.

END

3.2 簇间路由算法

在这一阶段主要是为了完成为各簇首间往 Sink 节点数据汇集的传输找到一条能量最优的路径, 从而尽可能的提高网络的生命周期. 簇首节点首先将簇内各普通节点收集到的数据进行融合, 然后采用 ACA 算法思想找到一条最优路径进行数据的多跳传输, 同时, 普通节点在该阶段处于休眠状态以节约能量. 具体实现过程如下:

第一步: 假设每个簇首节点上有 $n(n=1, 2, 3, 4, 5, \dots)$ 只蚂蚁, 簇首节点释放这些蚂蚁经过其他簇首节点到达 Sink 节点, 找到多条有效路径, 最终综合考虑, 找出最优的数据传输路径.

其中, 每个蚂蚁都有自己的内存空间表来存储

在路径寻找中的数据. 设置 4 个表 F_table , R_best , L_best 和 R_table . F_table 即禁忌表, 用来存储某簇首节点已经访问过的簇首节点, 其后在路径搜索时该簇首节点不能访问 F_table 里的节点; R_best 用来存储簇首节点的最佳路径; L_best 存储最佳路径的能量消耗, 该表用于信息素浓度的更新; R_table 记录路径的生产.

第二步: 簇首节点上的蚂蚁按概率 p 决定访问下一个非禁忌表中的节点, p 则由公式(4)给出. 当访问了下一个簇首节点时, 则在 F_table 中添加该节点. 重复该步骤, 直到释放蚂蚁的簇首节点找到了所有可能到达 Sink 节点的路径.

$$P_{i,j}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{jk}(t)]^\beta}{\sum_n [\tau_{is}(t)]^\alpha [\eta_{js}(t)]^\alpha}, & j \in \text{allowed}_k \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

式中, allowed_k 为网络中除去 F_table 表中的节点.

τ_{ij} 表示在 t 时刻边 (i, j) 上的信息素浓度值. η_{ij} 为启发式函数, 表示了 i 簇首节点到 j 簇首节点的期望程度. 定义为 i, j 两节点间距离 $D(i, j)$ 倒数:

$$\eta_{ij} = \frac{1}{D(i, j)} \quad (5)$$

第三步: 从每个簇首节点上的蚂蚁所走的路径中选择一条距 Sink 节点最近且能量消耗最低的有效路径为最优路径, 存入 R_best , 并在 L_best 中记录相应节点的能量消耗, 用于经过该节点路径上信息素的更新. 信息素更新按式(4)进行. 重复上述步骤, 直到所有节点都找到了最优路径.

$$\tau_{ij}(t+h) = (1 - \zeta)\tau_{ij}(t) + \zeta\tau_0 \quad (6)$$

$$\tau_0 = 1/(nl_{\min}) \quad (7)$$

式中, $\zeta \in [0, 1]$, $l_{\min}$ 表示网络中最近的两簇首节点间距离.

第四步: 数据沿各簇首节点的最优路径进行传输, 直到某簇首节点的剩余能量小于设定的阈值 S 时, 则进入下一轮. 在下一轮时, 簇首节点的选则采取本文提出的簇内微调方法, 在半径小于 R_i 内的候选簇首中选择能量和距离距原簇首节点最合适的节点为新的簇首节点, 并广播告诉与其原先簇首相连的簇首节点, 并更新相应的数据. 重复上述步骤, 进行数据传输.

4 仿真与结果分析

为了验证该算法的综合性能, 本实验采用 Matlab 仿真软件进行仿真实验. 并将该算法同 LEACH

协议和 DEEUC 协议进行仿真比较。

针对水下无线传感器网络的特点,该算法的仿真环境设为:网络覆盖为 800×800 的正方形区域,在该区域内随机布置 80 个无线传感器节点,基站处于: $\text{sink}.x = 1.05 \times x_m; \text{sink}.y = 0.5 \times y_m$ 的坐标位置处。最大候选簇首半径 $R_c = 150$;簇首比例 $p = 0.08$;节点初始能量 $E_o = 600 \text{ J}$;仿真轮数 $r_{\max} = 400$;节点的接收功率 $P_r / (\text{J/b})$ 为 10^{-3} ;节点融合功率 $E_d / (\text{J/b})$ 为 5×10^{-4} ;数据被接收需要的最低功率 $P_l / (\text{J/b})$ 为 5×10^{-3} 。

4.1 节点能量消耗

图 3 所示为三种协议节点的平均剩余能量图。为了更好的显示整个网络节点能量功耗,以网络中各节点的平均剩余能量为依据。从图中可以看出,LEACH 协议以及 DEEUC 协议的坡度更加陡,能量消耗更快,对比与改进算法,改进后的算法在能量消耗方面有着比较显著的提高,功耗最慢,每个节点的能量利用率更高。如图所示,LEACH 协议能量全部消耗殆尽的时间是在第 200 轮,而 DEEUC 协议能量全部消耗殆尽在 380 轮,改进算法是在 600 轮左右。由于改进算法综合考虑了节点的剩余能量以及在簇首选举时对于簇首选择的改进,同时在信息往各簇首节点和基站传输时采用蚁群算法,寻找到最优的传输路径,节约各簇首节点能量,均衡整个网络的能量消耗,从而在网络节点平均剩余能量方面有着显著的提升。

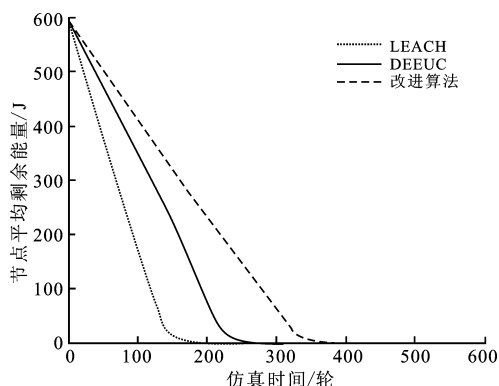


图 3 三种协议节点平均剩余能量对比图

4.2 存活节点个数

图 4 是该改进算法与 LEACH 协议和 DEEUC 协议的存活节点个数的对比图。从图中可以看出,LEACH 协议从第 110 轮开始出现死亡节点,DEEUC 协议从 150 轮开始出现死亡节点,而改进算法从 180 轮才出现死亡节点。节点全部死亡时

LEACH 协议是在第 200 轮,DEEUC 协议是在 380 轮,而本算法是在 600 轮左右。由于该改进算法综合考虑了节点的能量和相对距离等因素,且在簇首间传播数据时采用蚁群算法寻找最优路径,从存活节点的对比图中可以看出本改进算法能较好的均衡网络的能量消耗,提升整个网络的生命周期。

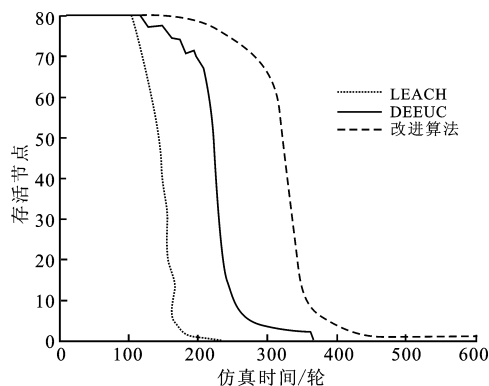


图 4 三种协议存活节点对比图

5 结束语

本文将蚁群算法应用到水下无线传感器网络的路由机制中,在数据融合之后对于数据的传输寻找出最优的路径,降低整个网络的功耗,使得网络的生命周期有着显著的提升。同时,在簇首选举方面综合考虑节点剩余能量及簇首选择半径等因素,使得节点能量消耗更加均衡,仿真结果显示本算法在能量利用和提升网络生命周期上有着明显提高。但由于本文设定基站是固定的,所以靠近基站的节点能量消耗会显著提升,因此,下一步将要深入研究如何解决这个问题。

参考文献:

- [1] 王静,陈建峰,张立杰,等. 水下无线传感器网络[J]. 声学技术,2009, 28(1):89-95.
- [2] Haitao Yu, Nianmin Yao, Jun Liu. An adaptive routing protocol in underwater sparse acoustic sensor networks [J]. Ad Hoc Networks, 2015, 34(C):121-143.
- [3] Song Zhang, Deshi Li, Jian Chen. A link-state based adaptive feedback routing for underwater acoustic sensor networks [J]. IEEE Sensors Journal, 2013, 13 (11): 4402-4412.
- [4] Han J, Kamber M. Data mining: concepts and techniques[M]. Beijing: High Education Press, 2001.
- [5] 张剑,黄本熊,张帆,等. 一种适合水下无线传感器网络的能量有效路由协议[J]. 计算机科学,2008, 35(1): 38-41.

[6] 李成法, 陈贵海, 叶懋, 等. 一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机学报, 2007, 30(1): 27-36.

[7] 缪聪聪, 陈庆奎, 曹剑炜, 等. 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.

[8] 蒋畅江, 石为人, 唐贤伦, 等. 能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇路由协议[J]. 软件学报, 2012, 34(5): 1222-1232.

[9] Afsar M M, Younis M. An energy- and proximity-based unequal clustering algorithm for wireless sensor networks[C]//IEEE Conference on Local Computer Networks, 2014. Edmonton, Canada, 2014: 262-269.

[10] Dorigo M, Stützgen T. 蚁群优化[M]. 张军, 胡晓敏, 罗旭耀, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2007: 3-7.

[11] Han J, Jian Pei, Yiwen Y. Mining frequent patterns

without candidate generation[C]// Proceedings 2000 ACM-SIGMOD Int. Conf. Management of Data, Dallas, TX, 2000: 1-12.

[12] 顾相平, 孙彦景, 钱建生, 等. 一种改进的无线传感器网络分簇路由协议[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(3): 34-37.

作者简介:

蒋 华 男, (1963-), 博士, 教授. 研究方向为数据库系统、信息安全.

蔡振海(通讯作者) 男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为水下无线传感器网络. E-mail: 1227921094@qq. com.

王 鑫 男, (1976-), 硕士, 副教授. 研究方向为无线传感器网络协议.

(上接第 11 页)

[10] Eisenstadt R. Combined differential and common-mode scattering parameters: theory and simulation [J]. IEEE, Trans. Microw. Theory Tech, 1995, 43(7): 1530-1539.

[11] Eisenstadt R. Pure-mode network analyzer for on-wafer measurements of mixed-mode S-parameters of differential circuits [J]. IEEE, Trans. Microw. Theory Tech, 1997, 45(7): 1071-1077.

[12] Bockelman D E. The theory, measurement, and application of scattering parameters with multiple modes of propagation[D]. Gainesville, University Florida, 1997.

[13] Jin Hu, Lifeng Jin, Hao Zheng. Electrical modeling and characterization of through silicon vias (TSV)

[J]. IEEE, 2012, 2(11): 1-4.

[14] Lei Liang, Min Miao, Shufang Xu, et al. 3D modeling and electrical characteristics of through-silicon-via (TSV) in 3D integrated circuits [C] // 2011 International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging. Beijing, China, 2011: 471-475.

作者简介:

孟 真 男, (1983-), 博士, 副研究员. 研究方向为集成电路先进封装测试技术、高频高速微系统集成技.

E-mail: mengzhen@ime. ac. cn.