

文章编号: 1007-5321(2009)增-0088-05

水声传感网中节省能量的寻路机制

杨光松^{1,2}, 肖明波^{1,3}, 程恩^{1,3}, 张静^{1,3}

(1. 厦门大学 水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 厦门 361005;

2. 集美大学 信息工程学院, 厦门 361021; 3. 厦门大学 通信工程系, 厦门 361005)

摘要: 提出了水声传感网中能量有效的路由方案. 结合水声信道的特点对水下传感网中的能耗因素进行分析, 得出给定源宿节点之间的距离时路径消耗总能量与中继节点数的关系. 对定向扩散协议进行改进, 在初始化阶段根据汇聚节点和邻居节点的地理信息, 求出源节点到目的节点的理想的最优能量路径. 仿真结果证明, 该方案能减少洪泛, 只需选择1条较优路径, 有效地节省了能量.

关键词: 水声传感器网络; 能量消耗; 路由; 仿真

中图分类号: TN929.53

文献标识码: A

Energy Saving Route Finding Mechanism in Underwater Acoustic Sensor Networks

YANG Guang-song^{1,2}, XIAO Ming-bo^{1,3}, CHENG En^{1,3}, ZHANG Jing^{1,3}

(1. Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology(Xiamen University), Ministry of Education, Xiamen 361005, China; 2. School of Information Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

3. Department of Communication Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: An energy-efficient routing scheme is presented for underwater acoustic sensor networks (UW-ASN). Firstly, the factors affecting energy consumption in UW-ASN are analyzed in light of underwater channels, the relationship between numbers of relay nodes and energy consumption is obtained for given source-destination distance. The directed diffusion routing scheme is modified in the initial diffusion phase to find the optimal route based on the geographic information between a sink node and its neighboring nodes. Simulation shows that the proposed scheme can reduce the flooding cost, select an energy-efficient route, and save more energy.

Key words: underwater acoustic sensor network; energy consumption; routing; simulation

水声传感网络(UW-ASN, underwater-acoustic sensor networks)是以微小型声、磁、海洋生化等多种传感器构成的分布式、多节点、大面积覆盖的水下网络, 可对信息进行采集、处理、分类和压缩, 并可通过水声传感网络节点以中继方式回传到陆基或船基的信息控制中心的综合系统. 水下传感网络具有各种广泛的应用, 如水下资源勘探、海底地貌和地

震图像传输、海洋环境监测、海上科学考察等^[1], 随着海洋和渔业资源的探测和开发的发展, 水下环境中的通信协议研究近年来受到关注. 与地面环境不同, 水下声音信道具有时延扩展长、多径干扰强、随机时空频变强烈等特性, 由于传播时间长和衰减的频率依赖性, 受到节点之间的距离以及链路方向的影响很大^[2], 所以传统的陆上无线传感网络协议

收稿日期: 2009-01-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(60672046); 集美大学优秀青年骨干教师基金项目(2008B002)

作者简介: 杨光松(1968—), 男, 副教授, 博士, E-mail: gsyang@jmu.edu.cn; 程恩(1965—), 男, 教授, 博士.

不能直接应用于水声环境中,在设计水声网络协议时,应该考虑水声通信的特点,在网络延迟、传输成功率及能耗之间寻求一种好的折中^[3]. 传感器节点靠电池供电,一旦被部署在水下,不易更换,往往要求能长期工作. 因此,考虑如何有效使用电池能量以延长网络生命具有重要意义.

在水下 UW-ASN 中,学者们提出了很多能量有效的路由方法^[4-9];文献[6-7]通过均衡每个网络节点的能量消耗,来达到延长整个网络生存期的目的;文献[8]通过增加跳数,缩短每跳距离来优化能量. 本文借鉴陆上 WSN 中的路由思想^[9-10],考虑了水下声音信道中的衰落、吸收等因素,针对水下传感网络的能量特性进行研究,结合定向扩散协议的特点,提出了一种节省能量的路由方案.

1 水声传感网络中的能耗因素分析

1.1 水声信道衰落

在水声信道中,1条相距为 d 的链路,信道衰落可以表示为

$$A(d) = d^k \alpha^d \quad (1)$$

其中, k 为能量扩展因子(圆柱形扩展 k 为 1, 实际为 1.5, 深海中一般为球形扩展, k 可取 2); $\alpha = 10^{\alpha(f)/10}$, 与频率有关,由吸收系数 $\alpha(f)$ 获得,用 thorp 公式表示为

$$10 \lg \alpha(f) = 0.11 \frac{f^2}{1+f^2} + 44 \frac{f^2}{4100+f} + 2.75 \times 10^{-4} f^2 + 0.003 \quad (2)$$

其中,频率单位为 kHz,吸收系数单位为 dB/km. 由式(2)可见,如果频率一定,发射功率的衰减随着传输距离的增大而呈指数衰减.

1.2 能耗因素分析及最佳跳数

在水声信道中,每个节点的耗能为

$$E(d) = [P_r + P_t(d)] \frac{L}{\eta B(d)} \quad (3)$$

其中, P_r 为接收功率,与处理器、存储器等物理器件的性能有关; η 为带宽效率; L 为分组长度; $P_t(d)$ 为发射功率,可表示为声功率 $P_s(d)$; $B(d)$ 为可用链路带宽; $P_s(d)$ 、 $B(d)$ 均与距离有关,分别可以近似表示为^[2]

$$B(x) = \gamma d^{-\beta}, \quad P_s(x) = \omega l^\pi \quad (4)$$

当 SNR 门限为 20 dB 时,带宽系数 γ 和 ω 功率系数可以分别以 1 kHz 和 1 μ Pa 为参照值,用 dB 表示. 指数 β 、 π 的单位为 dB/km. 电功率 P_e 与式(4)的声

功率 P_s 之间的关系为^[8]

$$P_e = 10^{P_s/10 - 17.2} \quad (5)$$

其中, P_e 的单位为 W, P_s 的单位为 dB re μ Pa.

对于 1 个由 $N + 1$ 个节点构成的链状拓扑,假设源节点之间相距为 D ,要把数据分组从一个节点通过中继转发到另一个节点(中继距离为 D/N),每个节点以 $P_i = P_0 \times A(d/N)$ 的功率级发送,由发送经过 N 次中继消耗的总能量为

$$E = NKE(x) + (N-1)KE(x) + \dots + KE(x) = \frac{N(N+1)KE(x)}{2} \quad (6)$$

其中 K 为发送的总分组数. 当给定总的链路长度 D 时, E 可以看成为跳数 N 的函数.

因此,如果要保证链路功率最小,需要满足

$$\frac{\partial E(N)}{\partial N} = 0 \quad (7)$$

于是可以求出长为 D 的链状拓扑中最优的跳数 N . 图 1 所示为 $k=10$ 、分组长度 $L=256$ byte, D 分别为 5、10、15 km 时跳数与链路总耗能的关系. 由图 1 可见,在总路径长度一定时,通过等分的多跳中继(称为理想路径)可以节省能量. 然而,在实际的网络环境中,要保证每个中继节点处于等分点是不太现实的. 因此,为了保证路径耗能最小,需要选择实际路径与理想最优路径距离最近的点,这样,实际路径与理想最优路径差别最小,实际的路径能耗也必然会最接近理想的最小能耗.

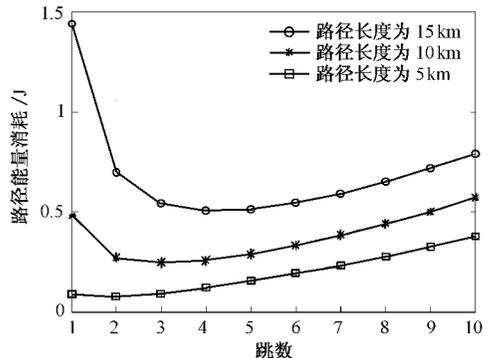


图 1 路径消耗能量与跳数的关系

2 节省能量的寻路机制

2.1 定向扩散协议

定向扩散(DD, directed diffusion)协议是一种无线传感网中经典的以数据为中心的路由协议,它基于查询机制,定义了“兴趣”和“梯度”2个概念.兴趣是对监测区域内感兴趣的信息的描述,用来表示

查询任务. 梯度一般定义为属性值和方向, 属性值可以依据数据速率、功率或者地理信息确定. 其方向由接收节点指向发送兴趣的邻节点, 引导数据扩散.

定向扩散路由机制可以分为兴趣扩散、梯度建立以及路径加强 3 个阶段. 首先, 汇聚节点(sink) 根据不同应用需求定义不同的“兴趣”消息, 采用洪泛的方法将兴趣广播到整个区域或局部区域内的所有传感器节点. 同时, 完成从数据源(source) 到汇聚节点的梯度建立. 如果数据源节点发现了感兴趣的目标, 就沿梯度方向发送低速率的探测数据. 当汇聚节点收到来自不同路径的探测数据时, 从其中选出 1 条“高效”的路径加强, 其标准由汇聚节点决定, 可以是时间、能量等. 最后, 数据源将沿着加强路径以高速率向汇聚节点传输数据.

然而定向扩散协议周期性洪泛兴趣、转发探测数据的操作导致能量开销较大, 为解决此问题, 本节利用已知的地理信息和预知的地理路径, 在减少洪泛的同时, 寻找 1 条能量最优的路径.

2.2 节省能量的水声网络定向扩散协议

由于水声传感网一般处于静止的状态, 假设在传感器网络布置时, 可以根据全球定位系统(GPS) 或者声呐系统确定自己的位置, 并且每个节点可以根据局部网络状态信息(节点自己、下一跳邻节点及 sink 节点的位置信息) 独立进行决策, 选择自己的最优下一跳节点. 寻路时采用类似文献[12] 的贪婪路由算法, 该类算法需要本节点、所有邻居节点、宿节点的地理位置信息. 源节点将信息转达给离宿节点更近的邻居节点, 是一种适合少量资源存储的算法.

笔者提出一种节省能量的定向扩散(SE-DD, saving energy directed diffusion) 协议, 对定向扩散协议做了 5 方面的改进.

1) 在兴趣信息扩散的过程中, sink 节点将其地理信息告知给每个传感器节点. 每个传感器节点将自己的坐标加入兴趣信息进行洪泛转发, 并且依据式(5) 计算该节点到达 sink 的最佳跳数值, 同时计算出最优的理想路径中继节点的坐标. 当此过程完成时, 每个节点就知道 sink 节点和自己邻居节点的坐标, 并且确认了理想路径.

2) 在梯度建立过程中, 当传感器节点 i 采集到与兴趣匹配的数据时, 根据掌握的数据源节点的最佳跳数值 m 、最佳中继节点 $R_k(k=1, 2, 3, \dots, m)$ 的坐标值和自己邻居的地理坐标, 确认下一跳节点, 计算每个邻居节点到 R_1 的距离, 并且以此作为决定

下一跳节点的标准.

3) 将探测数据包中最佳跳数值加 1, 传给邻居节点. 当邻居节点接收到此探测数据包时, 重复第 2) 步的过程, 以决定离 R_{k+1} 最近的下一跳节点, 利用这个方法探测数据将沿着“正确”的方向转发到汇聚节点. 否则丢弃.

寻路机制如图 2 所示.

① 在第 1) 步完成时, 每个节点知道 sink 节点和邻居节点的地理信息, 并且确定了最佳中继路径 $S R_1-R_2-D$, 最佳跳数为 3. 当源节点 S 符合宿节点 D 发来的兴趣时, 准备传送自己的数据. 首先计算覆盖半径为 $SD/3$ 的范围内节点到最佳中继节点 R_1 的距离, 以此来决定下一跳的节点. 通过对比知 $d(B, R_1) < d(A, R_1) < d(C, R_1)$, 于是选择 B 作为下一跳节点, 直接将数据发给 B .

② 当 B 收到 A 的数据时, 重复 A 的过程, 对其范围内的 E, F, A, C 点进行比较, 确认 F 为下一跳节点.

③ 重复此过程, 直至到达 sink 节点 D .

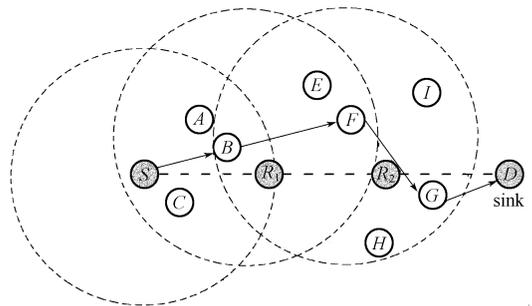


图 2 寻路机制

4) 为保证能量平衡, 当某个节点能量耗尽时, 向上游节点发出 1 个中止转发信息, 让其重新选择下一跳节点.

5) 当某一中间节点按照下一跳选择在邻居节点中没有找到下一跳节点时, 便会出现局部优化的“空洞”问题, 为避免此现象, 可以考虑适当增加发射功率来寻找下一跳节点.

3 仿真与分析

下面在水声信道中, 对改进的路由协议进行仿真. 仿真工具采用 NS2.31^[13], 它是美国 DARPA 公司支持项目 VINT 中的核心部分, 包含实现几乎所有主要的网络通信协议, 易于测试新协议性能和一些新的算法. 目前的 NS2 信道模型包括自由空间模型、两径模型、阴影模型等, 为了对水声音道进行

仿真, 采用了文献[14]扩展的水声信道模型.

3.1 不同方案下发送功率对耗能的影响

前3种方案采用DD机制, 调整发送功率, 使其通信距离分别为2、3、3.5 km, 第4种方案采用2.2节描述的改进的SE-DD协议, 并且功率可变.

仿真场景采用图3所示的格型场景, 垂直或者水平节点之间的距离为2 km, 源节点6通过多跳向宿节点25寻路. 由于传播延迟会导致载波侦听失效, 仿真中对NS2中的simple协议进行修改, MAC层协议使用固定冲突避免时间的非时隙的ALOHA协议. 分组长度为128 byte, 每秒发5个分组, 数据流使用Diff_Sink代理, 仿真时间为400 s.

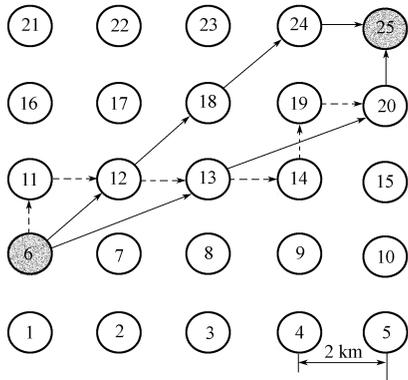


图3 格型仿真场景

图4为寻路结束后每个节点的能量消耗情况. 可见, 当采用DD协议, 用不同功率发送时, 其寻路路径和耗能均不同. 当采用通信距离为5 km时, 其选择的路径为6-13-20-25(如图3细实线所示), 由于每跳通信距离较远, 所以耗能较大; 当采用通信距离为2 km时, 其选择的路径为6-11-12-13-14-19-20-25(如图3细虚线所示), 虽然每跳距离较短, 但转发跳数过多, 也会有较大的能量消耗; 当采用通信距离为3.3 km时, 选择路径为6-7-13-19-25, 由于每

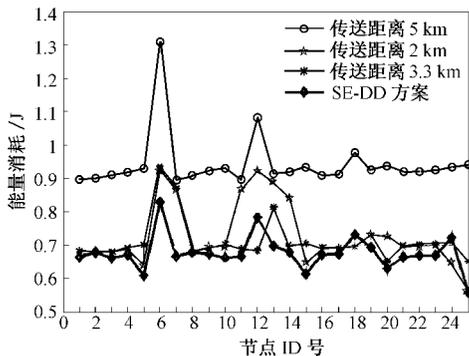


图4 各节点的能量消耗

跳距离接近最优路径, 所以其耗能较小. 采用SE-DD算法时, 选择的路径为6-12-18-24-25(粗实线), 其性能最好, 这是由于根据地理位置信息限制了兴趣洪泛, 节点的耗能明显减少, 而且其通信路径接近最优路径, 进一步减少了能耗.

3.2 仿真节点密度对耗能的影响

在1个8 km × 6 km的区域内, 随机分布多个传感节点, 源节点和sink节点分别设置在区域的对角, 由源节点向宿节点发送数据. 图5所示为能量消耗与节点数的关系. 由图5可见, 随着节点密度的增加, 因为转发的数目增加, 能耗也增加了. 在低密度条件下, 二者差别不大, 随着节点密度的增高, SE-DD协议显现出明显的性能优势. 这是由于利用最佳跳数值使部分不在正确传输方向上的节点不参与转发过程, 从而节省了节点的能量消耗. 剩余能量的提高保证了节点寿命的延长, 有利于延长网络的连通过时间和总的生存期.

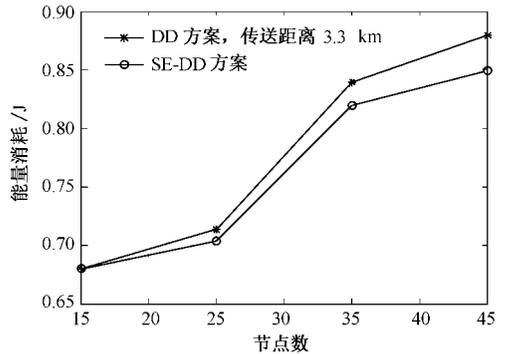


图5 能耗与节点密度之间的关系

4 结束语

根据水声信道的特点, 分析了水声传感网中源宿节点之间的距离与跳数的关系. 利用这个关系, 在假设地理位置信息已知的情况下, 对定向扩展协议进行改进, 其作用体现在2个方面: 一是适当地限制参与转发探测数据的邻节点的数目, 有利于节省节点平均耗能; 二是通过选择能量有效的次优路径, 通过调整发射功率来节能. 仿真结果证明, 该方法可以节省能耗. 下一步的研究包括: 验证三维环境中的能量性能; 解决选择下一跳节点贪婪算法中的空洞问题; 选择离散功率级下最优距离的调整方法.

参考文献:

[1] Akyildiz I F, Pompili D, Melodia T. Underwater a-

- oustic sensor networks: research challenges [J]. Elsevier's Journal of Ad Hoc Networks, 2006, 3(3): 257-279.
- [2] Stojanovic M. On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel[C]// ACM WUWNet. Los Angeles: [s. n.], 2006: 41-47.
- [3] Sozer E M, Stojanovic M, Proakis J G. Underwater acoustic networks [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2000, 25(1): 72-83.
- [4] Zorzi M, Rao R R. Geographic random forwarding (GeRaF) for Ad hoc and sensor networks: energy and latency performance[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2003, 2(4): 349-365.
- [5] Banerjee S, Misra A. Minimum energy paths for reliable communication in multi-hop wireless networks [C]// Proceedings of the ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc). Lausanne: ACM, 2002: 146-156.
- [6] 孙桂芝, 桑恩方. 一种能量高效的水下传感器网络路由协议[J]. 声学技术, 2007, 26(1): 134-136.
Sun Guizhi, Sang Enfang. An energy-efficient routing protocol for underwater acoustic sensor networks[J]. Technical Acoustics, 2007, 26(1): 134-136.
- [7] 张宏滔, 姜卫东, 童峰, 等. 水声通信网中基于能量平衡的动态路由控制[J]. 应用科学学报, 2005, 23(4): 336-340.
Zhang Hongtao, Jiang Weidong, Tong Feng, et al. Dynamic routing control based on energy balancing in underwater acoustic networks[J]. Journal of Applied Science, 2005, 23(4): 336-340.
- [8] Harris A F, Zorzi M. On the design of energy-efficient routing protocols in underwater networks[C]// 4th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks(SECON07). San Diego: IEEE Press, 2007: 18-21.
- [9] Woo M, Singh S, Raghavendra C S. Power aware routing in mobile ad hoc networks[C]// Proceedings of the 4th Annual ACM/IEEE Int' l Conf on Mobile Computing and Networking. Dallas: ACM Press, 1998: 181-190.
- [10] Brown T X, Doshi S, Zhang Qi. Optimal power aware routing in a wireless Ad hoc network [C]// IEEE LANMAN 2001 Workshop Proceedings. Boulder: IEEE Press, 2001: 102-105.
- [11] Pompili D, Melodia T. Three-dimensional routing in underwater acoustic sensor networks[C]// Proceedings of the 2nd ACM Int Workshop on Performance Evaluation of Wireless Ad hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks. Montreal: ACM Press, 2005: 214 - 221.
- [12] Karp B, Kung H. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless sensor networks[C]// Proceedings of the 6th Annual Int' l Conf on Mobile Computing and Networking. Boston: ACM Press, 2000: 243-254.
- [13] Mccanne S, Floyd S. NS-network simulator [EB/ OL]. [2009-02-01]. <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/>.
- [14] Harris A F, Zorzi M. Modeling the underwater acoustic channel in NS2 [C]// ACM International Workshop on Network Simulation Tools (NSTools). Nantes: ACM Press, 2007: 1-8.