

一种有效带宽均衡的路由协议

王锦程^{1,2}, 陈少平¹, 李德识²

(1 中南民族大学 电子信息工程学院, 湖北 武汉 430074; 2 武汉大学 电子信息学院, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 针对水下传感器网络中水声信道传输条件严重受限的特点, 定量分析了路径衰减和噪声影响对信号带宽的影响. 根据传输距离与带宽之间的对应关系, 提出了一种有效带宽均衡的路由协议. 在进行路由选择时, 总是按照可用带宽最大建立默认路由, 从而充分利用有限的带宽资源, 在源头上减少拥塞的可能性. 仿真结果表明, 该协议能够实现各支路的带宽均衡, 同时实现能量均衡, 有效延长网络生存周期.

关键词: 水下传感器网络; 水声通信; 有效带宽; 路由协议

中图分类号: TP212.1; TP393.17

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)06-0047-03

A Bandwidth Balanced Routing Protocol in Underwater Networks

WANG Jin-cheng^{1,2}, CHEN Shao-ping¹, LI De-shi²

(1 College of Electronics and Information Engineering, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China;

2 School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: For underwater acoustic communication, the bandwidth is rigid restricted by transmission regions. In this paper, we research the relationship between the available bandwidth and the transmission distance, and propose a bandwidth balanced routing protocol, for underwater acoustic sensor networks (UASNs). When transmitting packets, it always selects the branch (from the next-hop node to the sink) whose available bandwidth is maximal, thus also reduce the congestion and keep balance of sensor nodes' energy consumption in some degree. The simulation result shows that the proposed protocol could implement the bandwidth balance of all branches in whole network, and the energy consumption balance, then prolongs the lifetime.

Key words: underwater sensor networks; acoustic communication; available bandwidth; routing protocols

1 引言

随着世界各国海洋开发步伐的加快和海洋军事领域的发展, 水下传感器网络及其应用成为一个新的研究热点. 它通常是由布放在海底、海中的传感器节点(sensor node)和布放在海面的主节点 sink 节点组成的声通信网络. 传感器节点用于感知、采集和处理所覆盖区域中环境对象的信息, 并传送给 sink 节点; sink 节点可通过无线电通信与控制中心相连, 也可以通过网关与 Internet 主干网相连, 如图 1 所示. 水下传感器网络在海洋水文数据收集、环境监测、灾害预报、海洋勘测、船舶导航、水下预警和战术监视

等方面有着广泛的应用前景^[1].

由于电磁波及光通信在海洋中的传输受到了极大的限制, 必须借助于水声通信. 与无线信道相比, 海洋水声信道的传输条件是十分恶劣的^[2]: 可用带宽受限, 大的传输延时(水中声速约为 1 500m/s, 比空气中光速低了 5 个数量级), 严重的时变多径效应, 更高的功耗限制(水声 MODEM 能耗更多, 需要海下长期工作但以电池供电的传感器节点寿命受限), 同时还要考虑水下节点的动态性, 信道极易出错性等的影响. 因此, 陆地传感器网络的许多研究成果不能直接应用于水下传感器网络中, 必须开发新的网络协议. 如何充分、均衡地利用严格受限的水声

信道资源、降低能耗则是研究人员关注的焦点。

文献[3]中提出了一种基于矢量的转发算法;文献[4]中提出了一种基于深度的路由协议;文献[5]中研究了有效带宽、能耗和传输延时之间的关系,在水声通信的环境中,同样的距离下传送数据,多跳中继的方式比单跳总能耗更小,且各跳之间有效带宽更宽^[6].文献[7]中详细分析了水声信道中各种因素引起的信号衰减及噪声影响,给出了节点间不同的传输距离 l 时所对应的能耗以及有效带宽之间的关系.对于水声信道而言,路径损耗不仅与传输距离有关,还与信号频率有关.

在节点间距离 l 和发射频率 f 确定的情况下,可以计算出节点之间的发射功率和数据传输容量.由于传输容量是带宽的有效体现,因此又将其称为有效带宽.文中利用上述文献的研究成果,提出了一种有效带宽均衡的路由协议.在进行路由选择时,总是选取有效带宽最大的节点作为中继节点,并在从源节点到目的节点的整个传输路径中考虑传输均衡.一方面充分利用了现有网络资源,减少了延时;另一方面从源头上减少了拥塞出现的可能.

2 有效带宽均衡的路由协议 (Bandwidth Balanced Routing Protocol, BBRP)

水下传感器网络由两类节点组成:主节点 sink 和普通传感器节点 sensor. sensor 节点负责收集数据,以直接或多跳中继的方式向 sink 节点传递,同时节点到下一跳的带宽信息和能量信息也可以被携带在数据包中传送. sink 节点负责收集各 sensor 节点传来的数据,并通过网关与地面网络连接,也是发起路由或其他控制命令的中心节点.在拓扑结构方面,可以是平面的二维结构,也可以是三维结构^[2]

有效带宽均衡的路由协议基于以下假设:已知 sink 节点和 sensor 节点的位置信息;水声信道双向对称;网络通信联通,每个节点至少有一个能转发至 sink 的下一跳节点;数据传送总是由 sensor 节点向 sink 节点发送; sink 节点会向整个网络发布提示或控制信息,但不会对某个特定的节点进行信息发送.这也是水下传感器网络通常的应用方式.

2.1 路由的建立

初始时,设置 sink 节点的有效带宽为无穷大, sensor 节点的有效带宽为 0. 具体路由建立的流程如图 1 所示.

首先, sink 节点通过泛洪方式发送路由建立的广播包,其中包含 ID 信息和位置信息. sensor 节点

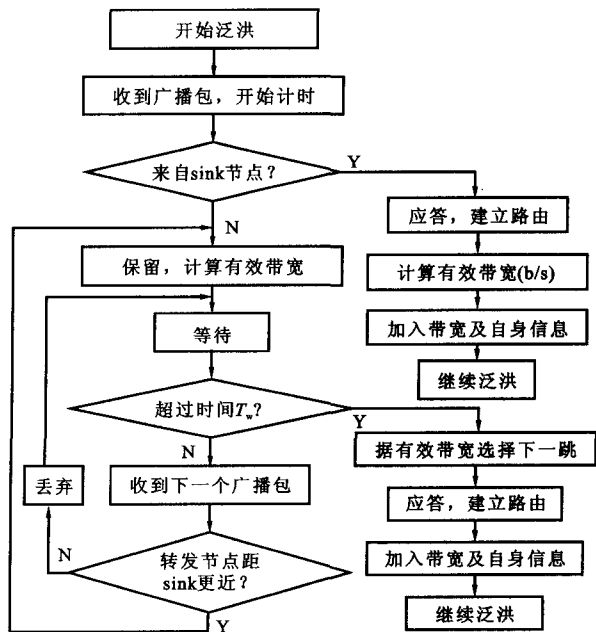


图 1 路由选择流程

收到广播包时,将先判断是否来自于 sink 节点,若来自于 sink 节点,则直接建立路由,并根据位置信息计算出到 sink 节点的距离 l ,同时利用发射中心频率 f 计算出到 sink 节点的有效带宽,并将该信息加入到广播包中继续泛洪.若广播包来自普通 sensor 节点,则开始计时,并保留一份到本地,计算本节点与发包节点的距离;若在后续 T_w (由节点间平均分布距离定初值)时间内再次收到广播包,则比较新转发节点到 sink 节点的距离与自己到 sink 节点的距离,若转发节点更近,则保留,否则丢弃.超过时间 T_w ,则比较这几个转发节点的可用带宽,选择最大的那个作为下一跳;若转发节点可用带宽相等,则选择距自己更近的作为下一跳.选定后发送应答,建立路由,并计算两节点间的距离,得出可用带宽信息,继续泛洪.

2.2 数据传送和路由维护

当水下传感器网络建立路由后,就可以工作在监控状态,用以采集和传送数据.数据包传送到 sink 节点的处理流程如图 2 所示.

节点在工作过程中,能量状况将会发生变化,且受发送距离、多跳转发等的限制,各节点的能量消耗并不相同,在使用过程中可能会有某个节点失效,造成网络拓扑发生变化.因此节点必须定期或触发地更新路由信息.

节点的定期更新算法由 sink 节点发起,步骤与路由建立过程基本相似.数据包中除了节点到下一跳的有效带宽信息外,还包含节点剩余能量信息.在

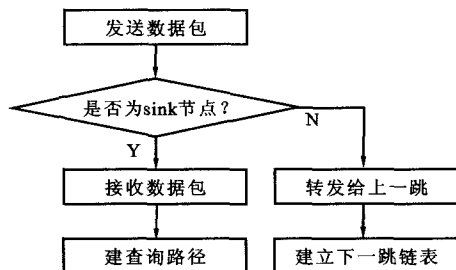


图2 数据包传送流程

进行路由更新时,同时考虑能量代价和带宽均衡,可以根据需要对二者设定不同的权重.当网络中发现有链路中断时,由节点触发进行路由更新.

3 仿真分析

为了验证算法的性能,采用 QUELNET 环境对 BBRP 和 ADOV 协议进行了仿真比较.网络规模为一个 sink 节点和 30 个 sensor 节点,网络平均负载设为 0.1×10^{-3} 数据包/(s·节点),即全网平均每天产生约 260 个数据包,在水下传感器网络中,这种负载是符合实际的.底层采用了 IEEE802.11 协议,考虑到水下传感器网络大延时的特点,对 MAC 层协议的发送、接收延时稍做调整,使得发送请求帧的时间略大于 2 倍的数据包/可用带宽的延时,以尽量减少数据包发送的冲突.仿真系统采用了水声信道传输模型^[8],该模型是结合水声信道的传输特性得到的:

$$\left[\frac{Pr(d)}{Pr(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) - 0.036f^2 \left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{dB} \quad (1)$$

式中, f 为数据传输中心频率,仿真中取值为 10kHz; β 为路径损失指数,仿真中取值为 2; d 为传输距离, d_0 为参考距离,取值为 1; X_{dB} 是一个零均值的高斯变量,仿真中取为高斯白噪声.

仿真场景设为 $1\,000 \times 2\,000 \times 2\,000$ 的三维立方区域内.初始时,各节点具有相同的能量初值,设为 4 个单位.仿真过程对 BBRP 和 ADOV 协议的带宽利用和能量消耗进行了比较.图 3 显示了各节点有效带宽利用的比较结果.

由于 BBRP 是一个有效带宽均衡的路由协议,在路由建立的过程中,总是在可能的下一跳节点中选择有效带宽最大的路径建立路由,因此均衡了各支路的实际所需带宽,在源头上减少了拥塞发生的可能性,并有效避免了数据传输的长延时.从图 3 中可以看出,BBRP 协议的应用,使得有效带宽利用达到了均衡,即各支路的数据负载均衡.

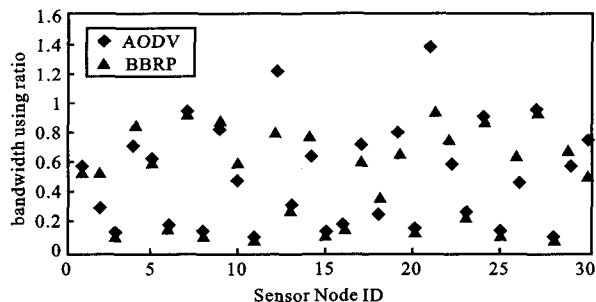


图3 有效带宽利用率对比

图4显示了时间轴下总能量消耗的比较结果. BBRP 协议实现了各支路的数据负载均衡,由此在很大程度上实现了各支路的能耗均衡.同时在路由维护的过程中, BBRP 协议重点考虑了各节点的能量代价均衡,有效避免了因为某些节点能量耗尽而导致的网络分割甚至消亡,延长了网络的生命周期.根据应用环境及网络拓扑结构、节点分布位置的不同, BBRP 协议对网络生命周期延长的效率也不同.

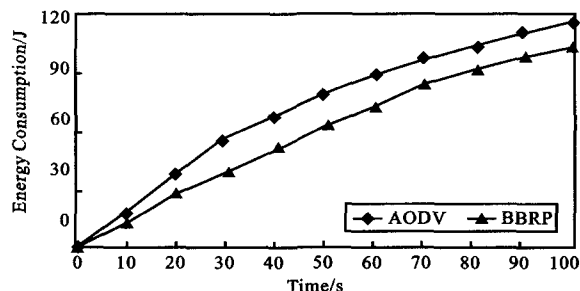


图4 总能量消耗对比

4 结束语

由于水声信道传输条件严重受限,如何提高有限信道资源的利用率,如何延长网络生命周期成为水下传感器网络应用的一个技术难点,路由协议的研究是其中一个重要方面.文中针对水声信道的特性,在分析了水下信道有效带宽与距离、发射频率关系的基础上,提出了一种有效带宽均衡的路由协议 BBRP,节点在发送数据时,总是沿着有效带宽最宽的路径多跳传递,从而充分地利用了水声信道资源,减少了传输延时,并在源头上减少了拥塞发生的可能性.同时, BBRP 协议也在某种程度上实现了各支路的能量均衡,避免了某些关键节点能量过早耗尽的情况,延长了网络的生命周期.仿真结果表明该协议在带宽利用、能量均衡上优于 AODV 协议,可以广泛应用于水下传感器网络.

(下转第 53 页)

表 2 算法 1 与算法 2 分类准确率对比情况

数据集	算法 1(基于蚁群优化的 分类规则发现算法)	算法 2(分布式蚁群智能 分类实现算法)
	分类准确率	分类准确率
DB1	75.28±2.24	74.12±2.00
DB2	96.04±0.93	95.00±0.63
DB3	73.04±2.53	74.04±1.42
DB4	94.29±1.20	95.32±1.66
DB5	90.00±3.11	90.00±2.55
DB6	59.67±2.50	57.48±1.78

疑系统中的应用进行了分析和测试,通过实践证明,该算法能有效地对答疑系统特别是分布式智能答疑系统的范例库进行数据挖掘,进一步提高了智能答疑系统检索的效率和智能性,促进了分布式智能答疑系统应用的发展.

参考文献:

[1] 文居峰,朱美琳. 面向商务智能应用的分布式数据挖掘系统设计[J]. 东南大学学报,2005,35(9):858-860.
[2] 刘波,潘久辉. 基于群体智能的分布式数据挖掘方法[J]. 计算机工程,2005,31(8):145-147.
[3] 温蕴. 基于组件式蚁群算法的车辆路径问题研究[J]. 微电子学与计算机,2008,25(6):151-155.
[4] 段海滨. 蚁群算法原理及其应用[M]. 北京:科学出版社,2005:212-332.
[5] 徐克奇. 蚁群优化算法在电镀试验台作业调度的应用[J]. 微电子学与计算机,2008,25(12):102-105.
[6] 林杰,陆耀华. 专家系统辅助的多 Agent 蚁群算法研究[J]. 计算机工程与科学,2007,29(6):47-48.
[7] 秦超,张忠能. 基于改进蚁群算法的客户服务调度方法[J]. 微电子学与计算机,2007,24(7):153-156.

作者简介:

郑耿忠 男,(1975-),博士研究生,副教授. 研究方向为多媒体网络与远程教育、网络优化与传感器网络.

(上接第 49 页)

参考文献:

[1] Sozer E M, Stojanovic M, Proakis J G. Underwater acoustic networks[J]. Oceanic Engineering, 2000,25(1):72-83.
[2] Akyildiz I F, Pompili D, Melodia T. Underwater acoustic sensor networks: research challenges[J]. Ad Hoc Networks Journal, 2005(3):257-279.
[3] Xie P, Cui J H, Lao L. VBF: vector-based forwarding protocol for underwater sensor networks[R]. UCONN CSE, Tech. Rep. UbiNetTR05-03 (BECAT/CSE-TR-05-6), Los Angeles, 2005.
[4] Hai Yan, Zhijie Jerry Shi, Jun-Hong Cui. DBR: depth-based routing for underwater sensor networks[J]. NET-WORKING 2008, 2008(LNCS4982): 72-86.
[5] Casari P, Stojanovic M, Zorzi M. Exploiting the band-

width-distance relationship in underwater acoustic networks[J]. Oceans, 2007(9): 1-6.
[6] Robert J Urick. Principles of underwater sound[M]. 3rd ed. New York: McGraw-Hill,1996.
[7] Stojanovic M. On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel [C]// Proc. ACM WUWNet. Los Angeles, CA, 2006: 41-47.
[8] Harris A F, Zorzi M. Modeling the underwater acoustic channel in ns2 [C]// ACM International Workshop on Network Simulation Tools (NS Tools). France, Nartes, 2007.

作者简介:

王锦程 女,(1976-),博士研究生,讲师. 研究方向为无线通信与无线传感器网络.