

# 一种基于水声 DTN 网络的 QoS 路由算法

刘蕴络<sup>1</sup> 胡佳慧<sup>1</sup> 冯艳娟<sup>1,2</sup> 黄秋香<sup>2</sup>

(北京科技大学计算机与通信工程学院 北京 100083)<sup>1</sup> (西部矿业股份有限公司 西宁 810001)<sup>2</sup>

**摘要** 以鲸鱼作为 DTN 移动节点,研究水声特殊环境下的网络 QoS 路由。针对网络能量和带宽受限的情况,提出一种基于节点移动模型的 QoS 路由算法。理论分析和实验表明,该算法在丢包率、能量消耗以及时延方面达到了设计的预期目的。本工作对保护濒临灭绝的鲸鱼、实现海洋观测及资源勘探等方面具有重要的意义。

**关键词** 容迟与容断网络, QoS 路由, 移动模型

**中图分类号** TN911.22 **文献标识码** A

## Algorithm of QoS Routing Based on Underwater Acoustic Delay and Disruption Tolerant Network

LIU Yun-luo<sup>1</sup> HU Jia-hui<sup>1</sup> FENG Yan-juan<sup>1,2</sup> HUANG Qiu-xiang<sup>2</sup>

(School of Computer & Communication Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)<sup>1</sup>

(Western Mining Co., Ltd., Xining 810001, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Setting whales as network nodes, the QoS routing problem was researched for the particular environment of underwater acoustic DTN. For the constraints of energy and bandwidth, a novel QoS routing algorithm based on nodes' mobility model was proposed. Through theoretical analysis and simulations, the aspects of packet lost rate, energy consumption and latency of the algorithm achieve the prospective design objects. The work of this literature has important significance on protection of endangered whales, the oceans and seas observation, resources exploration and so on.

**Keywords** Delay and disruption tolerant network, QoS routing, Mobility model

## 1 引言

由于间歇连接、时延高、数据率低、节点资源有限以及异构互联等特点,传统的 TCP/IP 协议无法适用于诸如星际、车载、水下等受限环境下的网络<sup>[1]</sup>。K. Fall<sup>[2]</sup>提出的新型网络体系——容迟与容断网络(DTN, Delay Tolerant Network)是一种可用于解决受限网络问题的有效方法。

DTN 体系结构<sup>[2]</sup>如图 1 所示。该体系结构在应用层和传输层之间引入一个新的协议层——捆绑层(Bundle layer),通过该层应用程序可以跨越多个区域进行通信,从而实现受限网络之间的互联问题。

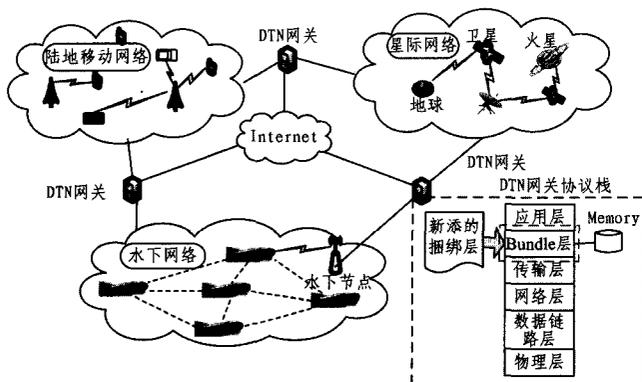


图 1 DTN 体系结构

目前对 DTN 的研究还处于探索阶段,研究的重点集中在拥塞控制<sup>[3]</sup>、路由算法<sup>[4]</sup>及安全技术<sup>[5]</sup>等方面。

相比其他环境下的 DTN,基于水声的 DTN 具有其独特性,主要体现在 4 个方面<sup>[6-9]</sup>:传播速度慢;水声信道复杂;多路传播效应;声传播损失严重。由此可见,水声 DTN 通信信道非常复杂,传输条件十分恶劣,所用带宽受射频和频率的限制,这些都将严重影响水声 DTN 的数据传输速率、数据通信的可靠性、网络吞吐率和功率消耗。因此,十分有必要提出一种新的 QoS 路由算法以适应水声 DTN 环境。

在考虑特定网络环境以及生物节点移动规律及生活习性的基础上,本文提出一种基于节点移动模型的 QoS 路由算法,在 NS2 上搭建网络模拟环境,从丢包率、时延以及能量损耗方面验证算法的优越性。

## 2 基于节点移动模型的 QoS 路由算法

### 2.1 QoS 路由

QoS 路由是指网络在一定的约束条件下找到一条满足点到点 QoS 度量指标的路径<sup>[10]</sup>。水声 DTN 环境特殊,实现 QoS 路由面临以下挑战:①水声通信信道带宽窄(带宽为 9~14kHz)<sup>[11]</sup>,信道质量易受干扰,从而容易造成网络拥塞;②资源有限,移动节点需要维护大量的链路状态信息,且涉及到信号转换问题,对于有限的电池能量和存储空间是一个挑战;③网

到稿日期:2010-12-23 返修日期:2011-03-02 本文受国家自然科学基金(60903004),国家 863 计划资助项目(2009AA062705),科技部对欧盟科技合作专项项目(0803),国家教育部博士点基金(20090006110014)和北京市自然科学基金(4102042)资助。

刘蕴络(1963-),女,硕士,副教授,主要从事电类基础课程的教学与科研工作, E-mail: l\_y\_l\_2002@163.com.



### 3 算法正确性及复杂度分析

#### 3.1 正确性分析

本文提出的路由算法是基于生物节点具有群聚性与趋向性的事实。进行第一阶段节点筛选时已经保证节点的传输是向着目的节点传输,从而提高了数据的传输速率。第二阶段中间转发节点是选择每层节点中丢失率最小的节点来组成数据传输链路。此外,QoS能量限制选择的是高于限制能量的节点,文献[14]中已经证明能量和延时成反比,因此数据包会尽快在链路中进行传输,而不会发生由于长期占据存储空间而导致新数据包到来时旧数据包被丢弃的情况。以上策略都能有效提高数据的传输率。

#### 3.2 复杂度分析

由于网络中的节点使用电池供电,其能量有限,若要保证设计的路由算法具有实用性,则要求路由算法复杂度小。本路由设计中,节点在选路过程中包括两个算法,下面分别对这两个算法的复杂度进行分析。

在节点运动方向的比较及分类算法过程中,设网络中节点个数为 $N$ ,源节点的邻居节点为 $N-1$ ,则在场景最恶劣的情况下,广播HELLO消息后,会收到 $N-1$ 个回复,源节点要进行 $N-1$ 次比较并进行锐角或钝角个数加1操作,此过程复杂度为 $O(N-1)$ ,其中个数较多的一方节点假设为最坏情况,即 $N-1$ 个会被写入路由表,复杂度为 $O(N-1)$ ,至此第一阶段结束,两者相加复杂度仍为 $O(N-1)$ 。

当目的节点进行RREP回复时,每个符合条件的上层节点会记录下层节点的状态信息,并通过简单的比较运算和相乘运算来计算丢包率。此外,每层选择一个最优节点作为转发节点写入路由表下一跳。整个过程均在多项式复杂度内,且由于网络中生物节点的稀疏性即节点数目较少,因此每层的节点数也较少,从而复杂度较小。

综上所述,算法满足复杂度要求。

### 4 模拟及结果分析

置网络拓扑范围设为 $50\text{km} \times 50\text{km}$ ,共享基站Infostation节点数设为1,移动节点数初始设为20。节点布置考虑以下3方面原则:①网络初始化时,节点尽量稀疏分布,节点之间的距离最大为10km;②节点移动速度为可变参数,根据所处位置的不同,将其分别设定在 $[0,1]$ 和 $[2,3]$ 范围内;③脚本命令MYMmobilenode setdest(X)<Y>(speed)定义节点位置,从而间接获得运动方向。设置仿真时间为60min。

将网络稀疏性参数作为变量进行模拟,此时网络拓扑范围不变,节点个数变化。与DTN中具有良好投递率性能的EP(Epidemic Protocol)<sup>[15]</sup>进行比较,分析节点数目变化对丢包率的影响,如图3所示。

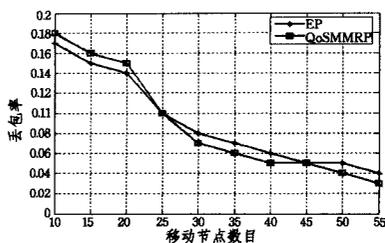


图3 节点数目变化对丢包率的影响

由图3可知,当节点数在 $[25,45]$ 范围内时,本文提出的算法其丢包率较EP有所下降,从而改善了水声DTN网络的QoS性能。

与DTN中提出的在时延方面有优势的经典算法ED(Earliest Delivery)<sup>[16]</sup>作对比,分析节点数目变化对时延的影响,实验结果如图4所示。

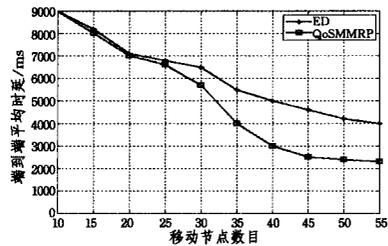


图4 节点数目变化对时延的影响

由图4可以看出,在模拟网络范围内,随节点数的增加,时延降低。这是由于当节点数目较少时,节点间的通信机会较小,等待时延占了很大比例。随着节点数目增多,通信机会增多,时延有所降低,之后将维持在一个恒定水平,此时传输时延将占很大比例,这是由水声特殊的信道特性所决定的。

将节点数目变化对能量的影响进行了分析,并与EBQoS(Energycost-Balanced QoS)<sup>[17]</sup>作了对比,实验结果如图5所示。

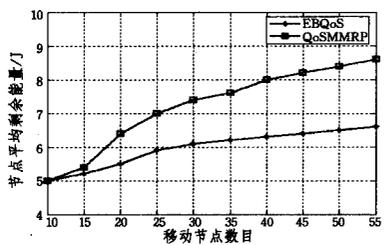


图5 节点数目变化对能量的影响

由图5可以看出,节点平均剩余能量随着节点数的增加而增加,之后维持在一个恒定水平。这是因为当节点数目较少时,几乎所有节点都被调度启用,每个节点都需要消耗能量来进行数据包的接收与发送,从而剩余能量较少。当节点数增多时,一部分节点会处于休眠状态,从而节约了能量,延长了网络生存期。可见,本文的算法在全网能耗均衡方面具有良好的性能。

**结束语** 未来的水声网络必然向着既可以获取大量的海洋信息,又可以便捷准确地完成数据传输的方向发展,研究基于水声的DTN具有重要意义。本文只研究了DTN路由算法领域的一部分,其他需要研究的方面还很多,如在网络拥塞控制方面,网络阻塞会直接导致数据包丢失,而减小数据包丢失率是网络的基本研究目的,因此,研究合理且实用的水声网络拥塞控制机制是我们面临的一个重要任务,也是一个挑战,这涉及到的细节很多,需要深入研究。

### 参考文献

- [1] Smith J E, Weingarten F W. Research Challenges for the Next Generation Internet[OL]. May 1997. [http://www.nitrd.gov/ngi/pubs/research/research\\_chall.pdf](http://www.nitrd.gov/ngi/pubs/research/research_chall.pdf)
- [2] Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets[C]//SIGCOMM'03. Aug. 2003;27-34

$$x+y=c, x \in A, y \in B$$

仅有一个解,不妨把解记为  $x=a_u, y=-d_v$ ,于是  $P_s+a_uG-d_vG$  为  $f \circ \tau_{d_iG}$  的极点且不为  $f \circ \tau_{d_iG}, i \neq v$  的极点。

记  $h = \sum_{i=1}^k f \circ \tau_{d_iG}$ , 则  $P_s+a_uG-d_vG$  为  $h$  的极点且:

$$\text{ord}_{P_s+a_uG-d_vG}(h) = \text{ord}_{P_s}(f)$$

由于  $\text{ord}_{P_s}(f)$  为奇数,根据引理 7,命题即证。

注:定理 5 对  $k$  阶相关测度中的  $k$  有所限制,当  $N$  是一个素数且  $f$  的极点个数较少时, $k$  可以取较大的值。而定理 4 则对  $k$  没有限制。

**结束语** 伪随机序列一直是密码学领域的热点问题之一。由于椭圆曲线运算效率的不断提高,加上许多传统的基于有限域或环上的伪随机数生成器已被证明是不安全的,利用椭圆曲线来构造伪随机序列得到了众多学者的关注。本文基于二进制有限域上的椭圆曲线构造了一类二元伪随机序列,利用椭圆曲线上的指数和计算了序列的一致分布测度和  $k$  阶相关测度,利用线性复杂度和  $k$  阶相关测度之间的关系,给出了序列的线性复杂度下界。计算结果表明,本文构造的二元序列具有非常好的伪随机性,在密码学和通信领域具有潜在的应用价值。

### 参 考 文 献

- [1] Hess F, Shparlinski I E. On the linear complexity and multidimensional distribution of congruential generators over elliptic curve[J]. Designs, Codes and Cryptography, 2005, 35(1): 111-117
- [2] Lange T, Shparlinski I E. Certain exponential sums and random walks on elliptic curves[J]. Canad. J. Math, 2005, 57(2): 338-350
- [3] Wittie M P, Harras K A, Almeroth K C, et al. On the implications of routing metric staleness in delay tolerant networks[J]. Computer Communications, 2009, 32(16): 1699-1709
- [4] François J-M, Leduc G. Routing based on delivery distributions in predictable disruption tolerant networks [J]. Ad-hoc Networks, 2009, 7(1): 219-229
- [5] Daly E M, Haahr M. The challenges of disconnected delay-tolerant MANETs[J]. Ad-hoc Networks, 2010, 8(2): 241-250
- [6] Akyildiz I F, Pompili D, Melodia T. Underwater acoustic sensor networks: research challenges [J]. Ad-hoc Networks, 2005, 3(3): 257-279
- [7] Sozer E M, Stojanovic M, Proakis J G. Underwater acoustic networks[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2000, 25(1): 72-83
- [8] Chitre M, Shahabudeen S, Stojanovic M. Underwater acoustic communications and networking: Recent advances and future challenges[J]. Marine Technology Science Journal, 2008, 42(1): 103-116
- [9] Stojanovic M. Recent advances in high speed underwater acoustic communications[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1996, 21(4): 125-136
- [10] 于宏毅. 无线移动自组织网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 249-258
- [11] Rice J. SeaWeb acoustic communication and navigation networks [C]// The International Conference on Underwater Acoustic-Measurements, Technologies and Results. July 2005
- [12] Crawley E, Nair R, Rajagopalan B, et al. A framework for QoS-based routing in the internet[OL]. Aug. 1998. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary? doi=10.1.1.136.6515
- [13] Small T, Haas Z J. The shared wireless infostation model: A new ad hoc networking paradigm[C]// The 4th ACM international symposium on Mobile Ad-hoc Networking. 2003: 233-244
- [14] Chen D, Varshney P K. QoS support in wireless sensor networks: a survey[C]// International Conference on Wireless Networks. 2004
- [15] Vahdat A, Becker D. Epidemic routing for partially connected ad-hoc networks[R]. Department of Computer Science, Duke University, Durham, 2000
- [16] Jones E P C, Li L, Ward P A S. Practical routing in delay-tolerant networks[C]// SIGCOMM'05 on Delay-Tolerant Networking. Philadelphia, USA, Aug. 2005: 237-243
- [17] 于磊磊, 柴乔林, 刘鑫, 等. 一种节能的无线传感器网络 QoS 路由算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(2): 376-379