

一种新的自适应负载均衡的 QoS 多径路由机制

焦佳佳,付宇卓

(上海交通大学 微电子学院,上海 200240)

摘 要: 针对 MANET 中 AODV, DSR 等典型按需路由协议未考虑负载均衡导致网络拥塞和性能急剧下降的严重不足,提出了新的路由机制—ALBQM(Adaptive Load Balance QoS Multipath). ALBQM 主要包括:(1)QoS 可用带宽的负载感知模型,减少网络冲突和拥塞;(2)采用最大不相关多径并行通信,自适应分配数据流量,提高数据递交率.基于 OPNET 网络仿真平台对 ALBQM 应用于 DSR 进行性能验证,与 DSR 及其多径路由 SMR 相比,在重负载网络中有更好的性能表现—在不增加额外控制开销的条件下提升数据递交率,减少端到端平均延迟及路由错误总数.

关键词: MANET;负载均衡;跨层设计;QoS 负载感知;最大不相关多径

中图分类号: TN4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)06-0072-04

A Novel Adaptive Load-balance QoS Multipath Routing Mechanism in MANET

JIAO Jia-jia, FU Yu-zhuo

(School of Microelectronics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Focusing on the serious deficiency of network congestion and performance decrease caused by typical on demand routing protocol AODV, DSR without considering load-balance in MANET, this paper proposes a novel adaptive load-balance QoS multipath routing mechanism (ALBQM). It consists of i)QoS load awareness model of available bandwidth to avoid congestion; ii)adopt maximum irrelative multipath concurrently to improve throughput by distributing data packets adaptively. Simulation results on OPNET platform show ALBQM applied to DSR does a better job in heavy load environment—higher data delivery rate, lower average end-to-end delay and route error without additional control overhead, compared with traditional DSR and SMR.

Key words: MANET; load balance; cross-layer design; QoS load awareness; maximum irrelative multipath

1 引言

MANET(Mobile Ad Hoc Network)是由一组兼具路由和终端功能的节点集构成的无中心、分布式、无基站支持的动态自组网络.在军事通信,紧急救援等场合下,与传统的有线网络和无线蜂窝通信相比它具有灵活快捷、无基站约束等优势.然而,有限的带宽资源、不可预测的拓扑变化等固有约束使路由协议的研究工作面临挑战.

IETF 起草和制定了 OLSR、AODV、DSR、ZRP

等^[1]MANET 典型高效路由协议.但是随着网络负载业务的增加,这些协议采用“尽力而为”的跳数最优作为选路准则,造成严重的网络冲突和拥堵,导致通信性能急剧下降.针对上述 MANET 负载均衡问题,文中提出一种新的自适应负载均衡 QoS 多径路由机制 ALBQM.

2 负载均衡路由

为了减少经过重负载中间节点的不利路由,以达到均衡网络负载的目的,包括两种方法:路由选择

时避开拥塞节点和多径路由对负载进行合理分流。

避开拥塞方法中典型代表负载感知,通过动态感知和评估节点及链路的拥塞情况,并把自定义的负载信息作为路由选择的标准,尽可能均衡负载,保证通信畅通。文献[2]提出的DLAR通过缓存在节点中的数据包数目来度量负载信息。LARA^[3]用节点的缓存队列大小作为路由选择的负载度量^[4]。文献[4]中的NIMR用MAC层可用带宽评估的方法感知负载信息。上述负载感知协议较传统的跳数最优路由更好地解决了网络冲突和拥塞。

多路径最根本的思想是在源-目的节点对之间建立多条路径,把网络数据流分布在多条路径上,平衡网络负载。文献[5]中提出的SMR是基于DSR的多径扩展,选择两条最大不相关的路径并按照路径延迟权值在多条路径间均衡负载。文献[6]中采用基于加权的多径路由,有效均衡负载,延长网络生存周期。

文中综合上述两种负载均衡方法,设计和实现新的路由机制ALBQM:(1)充分考虑链路可用带宽,通过跨层设计实现的QoS负载感知模型,减少网络冲突和拥塞,降低端到端平均延时和路由错误;(2)采用两条最大不相关路径提高网络通信并发度,并自适应分配负载流量,提高数据递交率。

3 ALBQM设计与实现

以DSR为蓝本,本节详细介绍ALBQM的设计和实现。

3.1 DSR

DSR^[1] (Dynamic Source Routing)是多跳MANET中简单高效的按需路由协议。它包括路由发现和路由维护两个阶段。

路由发现通过广播路由请求以及单播路由应答确认来实现。路由发现过程是按需的,只有当传输的数据源节点路由缓存中没有可用路由的时候才发起路由发现,查找新的路径并添加到路由缓存中。

路由维护通过路由错误和请求确认来实现。当节点发送数据的时候需要通过请求确认机制检测邻接链路的是否连接。如果发现需要使用的邻接链路断开,它发送路由错误给这些断开路由的源节点,源节点及沿途转发路由错误的节点从自己的路由缓存中删除包含该断开链路的所有路由。

3.2 QoS负载感知的带宽评估模型

IEEE802.11标准采用CSMA/CA二进制指数退避算法的MAC协议。仅当信道状态空闲时,才允许节点占用信道进行传输操作。所以,整个带宽分配

到有相同邻居节点的多个节点。

如图1所示,802.11MAC层从数据就绪到传输结束的时间延迟,除了数据包的传输延迟,还包括等待信道空闲的数据队列延迟,RTS/CTS握手延迟和退避延迟。因此,一跳的链路可用带宽被定义为

$$BW = S / (T_r - T_s) \quad (1)$$

式中, S 为数据包大小, T_r 为数据就绪时刻, T_s 为数据传输结束时刻。

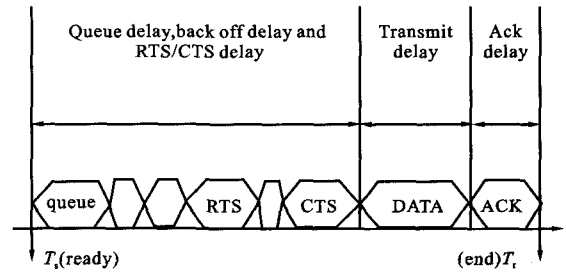


图1 802.11MAC数据包传输流程

为了实现DSR中添加QoS参数BW需要以下操作:

(1) MAC层记录数据包的 T_r , T_s ;并按照式(1)定义计算每一跳的链路可用带宽。

(2) 把BW作为新的数据域添加到DSR表头中路由请求,路由回复,路由确认及源路由等相关报文结构中。

(3) BW作为一个属性域添加到缓存的路径中并按照最小-最大策略选择路由,即 $BW = \text{Max}\{\text{Min}\{BW\}\}$ 。如图2以S-A-F-D为例,用最小BW值3的一跳S-A的反映整条路由的最好状态;在缓存的多条路由中以S-E-F-D具有最大BW的路由为最优。

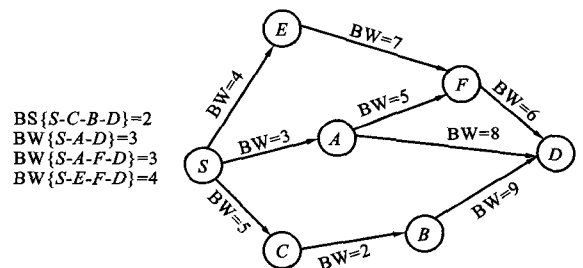


图2 QoS可用带宽负载感知的路由选择

总之,充分考虑MAC层的实际可用带宽,及时动态感知网络的实际拥塞情况,通过跨层设计的方法,把MAC层计算得到的BW插入路由层,并按照最小-最大策略选择最佳路由,避开重度拥塞路径,有效均衡负载。

3.3 动态自适应最大不相关多径策略

传统的DSR在缓存的多条路径中选择一个最

优路径作为可用路由,其他缓存路径作为断链后启动的备份路由.为了增加通信的并行度,本设计采用两条路径并发传输,剩余的缓存路径为备份路由.其中第一条路径 Path1 为图 2 通过负载感知得到的带宽最优路由 $S-E-F-D$,第二条路由 Path2 为缓存中与最优路径 Path1 相关度 $RD(\text{related degree})$ 最小的带宽最优路径.其中缓存的其他路径与最优路径 $S-E-F-D$ 的相关度依次为: $RD\{S-A-D, S-E-F-D\}=2$, $RD\{S-C-B-D, S-E-F-D\}=2$, $RD\{S-A-F-D, S-E-F-D\}=3$.相关度最小的路径有 $S-A-D, S-C-B-D$ 两条,按照带宽最优原则选取 $S-A-D$ 作为 Path2.源节点 S 的路由缓存中的其他路径 $S-A-F-D, S-C-B-D$ 为备份路由,加强链路的抗毁性.

多径路由中除了通过最大不相关策略^[7]降低路由耦合影响外,还需要合理的流量分配.如图 3 中的伪代码所示,文中以包为最小单位自适应动态分配到 Path1 和 Path2. T_0 为路径当前的延迟阈值(未被用来传输数据包则初始化为 0,一旦路径传输数据包 $T_0 = S/BW * H$, S 为路径最近一次传输数据包大小, BW 为最近一次传输数据时的路径可用带宽, H 为路径的跳数), ΔT 为路径最近访问时刻与当前时刻的时间差.忙和空闲状态定义:当延迟阈值 T_0 为 0,则路径空闲;否则如果 ΔT 小于 βT_0 路径正在忙;如果 ΔT 大于 αT_0 路径空闲. α 和 β 为阈值修正上下限系数($1 > \alpha \geq \beta > 0$).上述简单的自适应空闲队列带宽最优的分配方法有效实现多径的动态并行,有利于提高数据递交率.

```

1. begin
2. do{
3. if("path1 busy" && path2 "free")
4. Path = path2;
5. else
6. Path = path1;
7. Deliver data packet along Path;
8. }while(data packet arrival)
9. end;
```

图 3 动态自适应多径分配机制伪代码

4 仿真与验证

在 OPNET 网络仿真平台上,验证在不同负载业务下基于 DSR 实现的 ALBQM 路由协议与典型的 DSR 及多径 SMR 性能对比.

4.1 仿真模型

在 $1\,000\text{m} \times 1\,000\text{m}$ 的区域范围内,随机放置 50 个移动节点,每个节点无线覆盖半径为 250m,随

机且移动最大速度为 10m/s ,信道带宽为 2Mb/s .采用 802.11 的 MAC 和 PHY,缓存更新周期设置为 10s. CBR 业务每隔 1 秒产生大小为 2048 比特数据包,分别 5、10、20、30、40、50 对数据流(源-目的业务流)不同负载场景仿真 ALBQM、DSR 和 SMR 三种路由协议且每次仿真时间为 600s.

4.2 仿真结果及分析

为了有效评价协议性能^[8],选取端到端平均延迟、数据递交率及路由错误总数作为评价指标.

图 4、图 5 显示随着负载业务加重,网络冲突和拥塞越严重,使端到端平均延迟增加趋势,同时数据递交率随之下降. ALBQM 采用的负载感知模型充分考虑可用带宽有效感知负载拥塞区域,通过多径策略自适应均衡负载,较 DSR 和 SMR 有更低通信时延和更高的数据递交率.

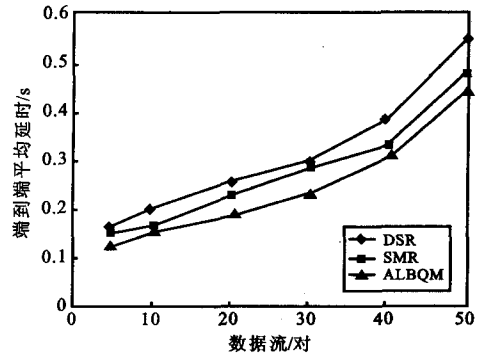


图 4 端到端平均延时与数据流

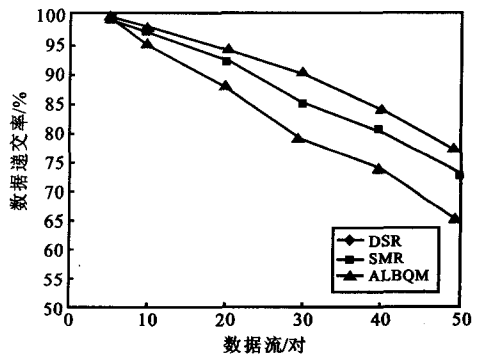


图 5 数据递交率与数据流

图 6 结果显示路由错误总数随着负载增加迅速上升,而 ALBQM 和 SMR 通过多径分流,减少网络拥塞,比 DSR 有更少的路由错误发生.同时,ALBQM 考虑无线信道划分,用实际的可用带宽评估网络负载信息,有效避开拥堵区域,因此获得更好的通信性能.

总之,ALBQM 不增加额外控制开销的条件下,通过负载感知,自适应多径协同优化提升了整个网络通信质量.

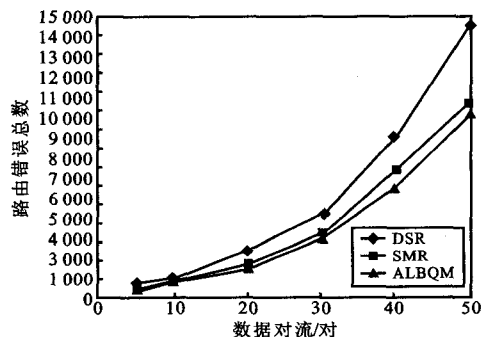


图6 路由错误总数与数据流

5 结束语

文中提出的负载均衡 QoS 多径路由机制,建立可靠的负载感知模型避开拥塞区域,采用自适应不相关多径策略提高通信并行性,上述两种负载均衡方法的协同工作,有效的均衡负载.这种新的路由机制 ALBQM 在中高负载应用场景下较传统的协议获得更好的性能提升,表现为更少的平均延时和路由错误,更高的数据递交率.然而,前期的工作还只考虑可用带宽这一个影响负载均衡的 QoS 参数,以后的研究将扩展到影响负载均衡的其他因素,如能量、移动性等.

参考文献:

- [1] Johnson D, Hu Y. The dynamic source routing protocol (DSR) for mobile Ad Hoc networks for IPV4[S]. Internet Draft RFC, 2007.
- [2] Sung Ju Lee, Mario Gerla. Dynamic load-aware routing in Ad hoc networks[J]. IEEE ICC2001, 2001: 3206 - 3210.
- [3] Saigal V, Nayak A K, Pradhan S K, et al. Load balanced routing in mobile ad hoc networks[J]. Computer Communications, 2004, 27(3): 295 - 305.
- [4] Chen Chen, Qingqi Pei, Jianfeng Ma. A congestion avoidance and performance enhancement scheme for mobile Ad Hoc networks[C]// The 4th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks. Italy: Pisa, IEEE computer society, 2008: 276 - 279.
- [5] Lee S J, Gerla M. Split multipath routing with maximally disjoint paths in Ad Hoc networks[J]. IEEE International Conference on Communications, 2001(6): 3201 - 3205.
- [6] Chao Gui, Baolin Sun, Chunhua Xia. An entropy-based long-life multipath routing algorithm in MANET[J]. Natural Computation, 2008(5): 174 - 178.
- [7] Ash Mohammad Abbas, Bijendra Nath Jain. Mitigating path diminution in disjoint multipath routing for mobile ad hoc networks[J]. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2006, 1(3): 137 - 146.
- [8] 王婷,史杏荣. Ad hoc 路由协议性能评价[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(4): 113 - 116.
- [9] 叶强, 来新泉. 一种新颖的 D 类音频功率放大器驱动电路[J]. 半导体学报, 2007, 28(9): 1477 - 1481.
- [10] 刘长学, 王惠贞. D 类功放的交越失真[J]. 电声技术, 2002(7): 50 - 51.

- [11] 汪东. 高效 D 类音频功率放大器的设计[J], 电子与封装, 2006, 6(11): 23 - 26.
- [12] 黄黎. D 类音频功率放大器的环路设计[J]. 中国集成电路, 2007(8): 60 - 61.
- [13] Varona J, Hamoui A A, Martin K. A low-voltage fully-monolithic $\Delta\Sigma$ -based class-D audio amplifier[C]// Solid-State Circuits Conference. San Francisco, 2003: 545 - 548.
- [14] Huey Chian Foong, Meng Tong Tan. An analysis of THD in class D amplifiers[C]// Circuits and Systems. San Francisco, 2006: 724 - 727.

作者简介:

焦佳佳 女, (1986-), 硕士研究生. 研究方向无线自组网络、计算机多核体系结构.

付宇卓 男, (1968-), 教授, 硕士生导师. 研究方向计算机多核体系结构、片上网络、无线自组网络.

(上接第 71 页)

- [6] Nyboe F, Kaya C, Risbo L, et al. A 240W monolithic class-D audio amplifier output stage[C]// Solid-State Circuits Conference. San Francisco, 2006: 1346 - 1355.
- [7] Marco Berkhout. A class D output stage with zero deadtime [C]// Solid-State Circuits Conference. San Francisco, 2003(1): 134 - 135.
- [8] Chang J S, Meng Tong Tan, Zhi hong Cheng, et al. Analysis and design of power efficient class D amplifier output stages[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 2000, 47(6): 897 - 902.
- [9] 叶强, 来新泉. 一种新颖的 D 类音频功率放大器驱动电路[J]. 半导体学报, 2007, 28(9): 1477 - 1481.
- [10] 刘长学, 王惠贞. D 类功放的交越失真[J]. 电声技术, 2002(7): 50 - 51.

- [11] 汪东. 高效 D 类音频功率放大器的设计[J], 电子与封装, 2006, 6(11): 23 - 26.
- [12] 黄黎. D 类音频功率放大器的环路设计[J]. 中国集成电路, 2007(8): 60 - 61.
- [13] Varona J, Hamoui A A, Martin K. A low-voltage fully-monolithic $\Delta\Sigma$ -based class-D audio amplifier[C]// Solid-State Circuits Conference. San Francisco, 2003: 545 - 548.
- [14] Huey Chian Foong, Meng Tong Tan. An analysis of THD in class D amplifiers[C]// Circuits and Systems. San Francisco, 2006: 724 - 727.

作者简介:

武振宇 男, (1982-), 博士研究生. 研究方向为射频和模拟集成电路.