

适用于覆盖移动自组网的队列调度机制

杨艳梅¹, 汪玉美²

(1. 上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093; 2. 解放军炮兵学院二系军用网络工程教研室, 合肥 230031)

摘 要: 为提高移动自组网(MANET)控制系统的稳定性, 建立基于覆盖技术的 MANET。考虑到不同业务类型的数据对时延、丢包率的服务质量(QoS)要求不同, 基于服务权重指标, 提出一种适用于覆盖移动自组网的公平队列调度机制。实验结果证明, 该机制部署方便, 可在一定程度上保证不同业务流的 QoS 要求。

关键词: 覆盖网络; 移动自组网; 网络控制系统; 队列调度; 服务质量

Queue Schedule Mechanism for Overlay MANET

YANG Yan-mei¹, WANG Yu-mei²

(1. School of Optical-electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Military Network Engineering T&R Section, Second Department, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

【Abstract】 To improve the stability of Networked Control System(NCS) of Mobile Ad Hoc Network(MANET), this paper proposes a MANET based on overlay technology. As different types of data require different Quality of Service(QoS) in NCS, like delay, loss rate, basing on service weight, a queue schedule mechanism for overlay-based MANET is proposed. Experimental results show that the mechanism is flexible and can guarantee different QoS requirements to a certain extent.

【Key words】 Overlay network; Mobile Ad Hoc Network(MANET); Networked Control System(NCS); queue schedule; Quality of Service(QoS)

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.03.026

1 概述

移动自组网(Mobile Ad Hoc Network, MANET)不依赖固定的基础设施、部署方便、易于扩展, 已得到广泛的应用。随着三网融合和物联网被纳入“十二五”规划, MANET 也得到了更快的发展。与有线网络相比, MANET 有许多特殊性, 如带宽资源有限且被邻节点共享、网络拓扑动态变化等。在 MANET 中, 保障服务质量(Quality of Service, QoS)是实时业务所必需的, 也一直是研究的重点。目前已取得大量研究成果^[1-2], 但多数都需要修改底层网络结构、不利于部署。

覆盖(Overlay)网络通过增加间接的虚拟层来改善下层网络中的一些属性, 以提高网络性能、拓展应用范围。它无需修改底层的网络协议, 通过查找 Overlay 层路由表、利用下层网络的链路传送数据。

本文以 MANET 的网络控制系统(Networked Control Systems, NCS)为研究对象, 建立基于 Overlay 的 MANET; 结合 NCS 中的数据传送特点, 提出一种公平队列调度机制(WFQ-OM), 以改善网络性能、提高控制系统的稳定性。

2 相关研究

人们对 MANET 的 QoS 保障技术做了很多研究并取得大量成果^[2-3], 但多为路由算法的改善。队列调度也是当前的一个研究热点, 其中, 加权队列调度算法能够根据业务的权重进行区分服务而更受关注。加权队列调度分为加权轮转^[4](Weighted Round Robin, WRR)和加权公平排队(Weighted Fair Queuing, WFQ)2 类。

Overlay 网络的研究主要针对具体的应用类型, 对一种应用适合的 Overlay 网络模型对另外的应用不一定同样适用。目前, Overlay 技术的研究以有线网络为主, 如为实现分布

式资源存储、搜索和共享的 P2P^[5]; 而在 MANET 中的应用研究相对很少、且多以组播为主^[6]。文献[7]通过 Overlay 技术在邻节点间管理密钥和加密机制来实现数据在 MANET 中的完全传输。

3 WFQ-OM 调度机制

3.1 Overlay 网络模型

本文借鉴 HyperCast 中的 Overlay Socket^[8]建立 Overlay 网络: Overlay 网络由一系列安装了 Overlay Socket 的节点组成, 其中, Overlay Socket 通过底层的网络接口来发送/转发/接收控制数据或用户数据。Overlay Socket 的结构如图 1 所示。

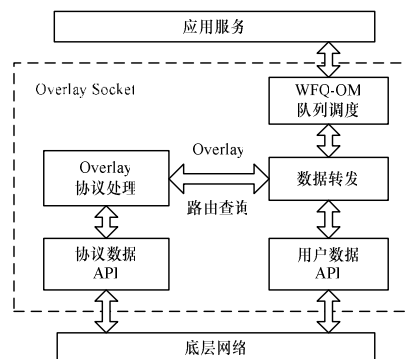


图 1 Overlay Socket 的结构

基金项目: 上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金资助项目(slg08013)

作者简介: 杨艳梅(1985—), 女, 实验师、硕士, 主研方向: 移动自组网, 网络控制系统; 汪玉美, 讲师、硕士、CCF 会员

收稿日期: 2011-07-13 **E-mail:** yangyanmei980106@163.com

上层应用服务通过 Overlay Socket 所提供的 API 来收发数据,要发送的数据先放入队列。Overlay Socket 和底层网络之间有 2 个接口:分别用于传输控制(路由)数据和用户数据。Overlay Socket 内部的其他主要模块包括:(1)Overlay 协议处理模块:主要用来建立/维护 Overlay 层的路由表、组建 Overlay 网络。(2)数据转发模块:通过查找 Overlay 路由表接收/发送/转发用户数据。(3)队列调度模块:用于缓存,调度将要发送或转发给其他 Overlay 节点的用户数据,对于收到的目的为本节点的数据则直接利用回调函数交给上层应用服务,不经本队列调度模块。

3.2 WFQ-OM 调度模型

NCS 中的数据包括控制器发出的控制数据、传感器/数据采集器发出的监控数据(可能包括多媒体数据)。这些数据对带宽和时延的要求也不同。MANET 作为传输这些数据的载体,若不采用适当的队列调度策略,有限的 MANET 资源将难以得到有效且充分的利用,从而可能导致网络拥塞、影响控制系统的稳定性。

队列调度的目的是提供更好的 QoS:公平性和时延保障。本节在 QoS 路由^[3]的基础上引入业务流服务权重这一指标用于队列调度。根据业务流的时延要求及数据包长度,将各业务流赋以不同的服务权重,并将权重转换为归一化服务概率。该概率体现了业务流在队列中被调度(服务)的频率,但由于时延也受数据包长度的影响,因此该概率并不能直接体现各业务流时延之间的比例关系。为简化调度策略,本调度机制中不考虑数据包长度的影响,可在设置权重时将其考虑进去。

为了给不同的业务提供不同的 QoS 保障,通常把不同业务放入不同的队列,再利用不同的调度规则对各业务队列进行调度。WFQ-OM 主要由以下各部分组成:队列管理器,队列调度器,服务概率计算器。WFQ-OM 结构框图见图 2。

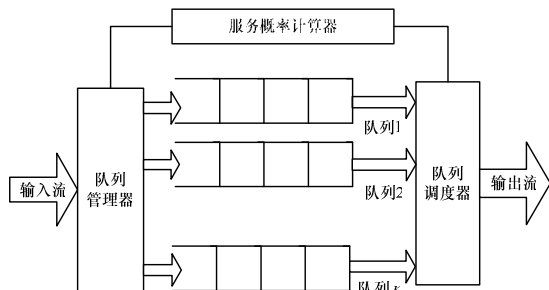


图2 WFQ-OM 结构框图

(1)队列管理器

采用事件触发的方式,当有数据包到达时判断其类型并放入相应的队列,同时通知服务概率计算器有数据包到达。其中,对输入业务的分类可以根据 IP 层源/目的地址、传输层源/目的端口或协议类型,也可以根据 IP 头中的服务类型(Type of Service)字段,每一类业务对应一个队列。由于本调度算法是在 Overlay 层实现,因此本文在 Overlay 头中添加一个服务类型字段来区分各业务类型。队列满时则将新到达的数据包丢掉,否则将其加入队尾。

(2)服务概率计算器

用于计算每个队列的服务概率、并维护一个服务概率表;同样采用事件触发的方式。各队列的权重可通过配置来设定:假设有 N 个队列,第 i 个队列(Q_i)的权重设为 $W_i (1 \leq i \leq N)$,则每个队列的服务概率 p_i 可定义为:

$$p_i = \begin{cases} \frac{W_i}{\sum_{j \in AQ(N)} W_j} & i \in AQ(N) \\ 0 & i \notin AQ(N) \end{cases} \quad (1)$$

如队列 Q_i 为空则不参与调度,其服务概率为 0; $AQ(N)$ 表示 N 个队列中的有效队列(非空队列)。

服务概率表可根据式(2)来计算,该服务概率表为在 $[p_1, 1]$ 内的递增序列。

$$P_i = \begin{cases} p_i & i = 1 \\ P_{i-1} + p_i & 2 \leq i < N \\ 1 & i = N \end{cases} \quad (2)$$

服务概率计算器应根据队列管理器和队列调度器触发的事件来判断队列 Q_i 状态是否发生变化(空→非空、非空→空),若发生变化重新计算各有效队列的服务概率。与基于虚时间的调度算法相比,WFQ-OM 无需在数据包到达/离开时跟踪各队列的权重关系,时间复杂度将降低为 $O(n)$ 。

(3)队列调度器

从所有的非空队列中选择一个队列,并处理其队列中的第 1 个数据包。非空队列的选择方法为:生成一个 0~1 的随机数 $R(1)$,然后在服务概率表中查找满足 $P_{i-1} < R(1) \leq P_i$ 的服务概率 P_i ,则 i 所对应的队列即为要调度队列。同一队列中的数据包按照 FIFO 处理规则。数据包的处理采用非抢占式,即处理完一个数据包之后才能处理其他数据包。其中,可用折半法来查找服务概率 P_i ,最坏时间复杂度为 $O(\lg n)$ 。

4 仿真与分析

本节在文献[3]的基础上组建 Overlay 层的 MANET、并实现 WFQ-OM 队列调度算法,通过实验分析验证 WFQ-OM 的性能。实现时采用 Linux 操作系统;网络层采用 Kernel-AODV^[9]路由算法;Overlay 层路由在 Kernel-AODV 的基础上改进并加入业务类型及 QoS 要求字段;Overlay Socket 和底层网络之间的接口为 UDP 套接字。测试的网络拓扑结构如图 3 所示。

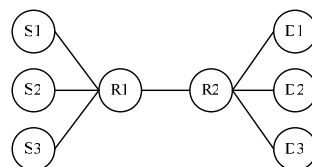


图3 网络拓扑结构

节点之间由无线网卡连接,传输速率为 54 Mb/s。其中,节点 S1、S2 和 S3 可看作 3 种传感器节点,采集不同业务类型的数据(包括多媒体数据)并分别发往 D1、D2 和 D3,有效数据包的大小设为 500 B;节点 R1 和 R2 启用了 WFQ-OM 队列调度机制,负责转发数据包;目的节点 D1、D2 和 D3 负责收集数据、统计各业务类型数据包的时延和个数。其中,时延为端到端平均时延,3 种业务的服务权重比例为 1:2:3。由于无线节点的带宽为该节点及其邻节点所共享,节点 R1 只可能处在发送/接收数据的状态,且 RTS/CTS 等 MAC 层控制帧会占用约 40% 的带宽,因此节点 R1 的最大有效发送/接收速率约为 16 Mb/s。

4.1 公平性分析

图 4 为节点 R1 的服务(转发)速率随各业务发送速率的变化情况。当采样频率低、网络负载轻时,不存在网络拥塞,队列调度的优势也难以体现,节点 R1 转发各业务流的速率几乎一样。随着网路负载的增加,节点 R1 需要缓存并调度

收到的数据包, 根据式(1)可知, 权重高的业务流被调度的概率更高、被转发速率也更大。当采样频率超过 1 000 packet/s 时, 数据包到达节点 R1 的速率超过了其有效转发速率, 所以将会出现大量丢包。由于没有 TCP 等确认机制, 因此网络没有因拥塞而严重恶化, 节点 R1 的转发速率基本稳定。

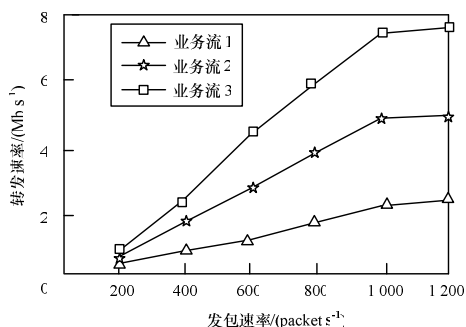
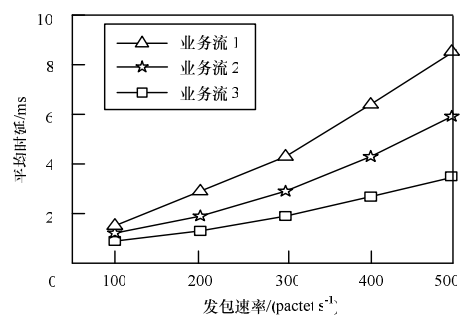


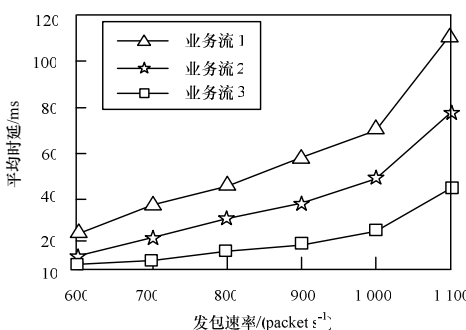
图4 各业务流平均转发率

4.2 时延分析

图5为各业务流的平均端到端传输时延随网络负载的变化关系。



(a) 平均时延 1



(b) 平均时延 2

图5 各业务流的平均时延

平均时延(D)包括源节点和目的节点的处理时间(分别设为 D_s 、 D_d)，还有节点 R1 和 R2 的转发时延(D_f)。源节点和目

的节点不区分业务流类型, 所以各业务流的 D_s 和 D_d 基本相同, D 的差别主要为 D_f 。 D_f 又可分为接收时延(入队时延)、调度时延(队列等待时延)和发送时延(出队时延)。由于各业务流的数据包大小相等, 因此接收和发送每个数据包的时延大致相等, 时延的不同主要由服务概率不同、调度时延不同所致。可以看出, 图5的变化趋势及变化原因与图4基本一致。

5 结束语

本文利用 Overlay Socket 技术实现了一个覆盖移动自组网, 结合 NCS 中的数据传输特点, 对不同类型的业务流赋以不同的服务权重, 并在 Overlay 层实现了一种基于服务权重的公平队列调度机制, 实验证明了该队列调度机制的有效性。下一步将对覆盖移动自组网的网络控制系统实现进行研究。

参考文献

- [1] Lindeberg M, Kristiansen S. Challenges and Techniques for Video Streaming over Mobile Ad Hoc Networks[J]. Multimedia Systems, 2011, 17(1): 51-82.
- [2] 张 鹏, 崔 勇, 孙 磊. 移动自组织网络服务质量控制机制综述[J]. 计算机应用, 2009, 29(3): 625-632.
- [3] Yang Yanmei, Han Wendong. A QoS Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networked Control Systems[C]//Proc. of NSWCTC'10. Wuhan, China: [s. n.], 2010.
- [4] Hemant M. Fair Scheduling with Tunable Latency: A Round-robin Approach[J]. IEEE/ACM Trans. on Networking, 2003, 11(4): 592-601.
- [5] 陈汉华, 金 海, 宁小敏. SemreX: 一种基于语义相似度的 P2P 覆盖网络[J]. 软件学报, 2006, 17(5): 1170-1181.
- [6] Chen Yu-Hsun, Chen Gen-Huey, Hu Chia-Cheng, et al. Delay-guaranteed Multicast Routing in Multi-rate MANETs[C]//Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference. Honolulu, USA: [s. n.], 2009.
- [7] Liebeherr J, Dong Guangyu. An Overlay Approach to Data Security in Ad Hoc Networks[J]. Ad Hoc Networks, 2007, 5(7): 1055-1072.
- [8] Liebeherr J, Wang Jianping. Programming Overlay Networks with Overlay Sockets[C]//Proc. of NGC'03. Munich, Germany: [s. n.], 2003.
- [9] Klein-Berndt L. Kernel AODV from National Institute of Standards and Technology(NIST)[EB/OL]. (2004-04-15). http://w3.antd.nist.gov/wctg/aodv_kernel.

编辑 顾姣健

(上接第76页)

- [3] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks[C]//Proc. of the 33rd Hawaii International Conf. on System Sciences. Maui, Hawaii, USA: [s. n.], 2000.
- [4] 卿 利, 朱清新, 王明文. 异构传感器网络的分布式能量有效分簇算法[J]. 软件学报, 2006, 17(3): 481-489.
- [5] Deng Jing. Multihop/Direct Forwarding(MDF) for Static Wireless Sensor Networks[J]. ACM Transactions on Sensor Networks, 2009, 5(4): 1-25.
- [6] Wang Jin, Kim J, Shu Lei, et al. A Distance-based Energy Aware

Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks[J]. Sensors, 2010, 10(10): 9493-9511.

- [7] 齐迎迎, 禹继国, 王楠楠. 无线传感器网络的节能分布式分簇算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(3): 83-86.
- [8] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An Application-specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Network[J]. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-670.

编辑 顾姣健

