

分布式无线令牌环接入技术在无线自组网中的应用研究

彭 艺 赵东风* 周正中 查光明

(电子科技大学通信学院通信大楼通信抗干扰实验室 505 成都 610054)

*(云南大学信息学院 昆明 650000)

摘要: 本文在无线令牌环协议(WTRP)的基础上,提出了一种在无线自组网中无竞争的分布式无线令牌环协议(DWTRP),仿真实验表明该协议的排队等待延迟和等待队列长度均比 WTRP 有很大降低,稳定性大大增强。

关键词: Ad Hoc 网络, 分布式无线令牌环协议, QoS

中图分类号: TN92, TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2005)04-0629-05

Study on the Application of Distributed Wireless Token Ring Protocol in Wireless Ad Hoc Networks

Peng Yi Zhao Dong-feng* Zhou Zheng-zhong Zha Guang-ming

(Inst. of Comm. and Info. Eng., Univ. of Electron Sci., and Tech. of China, Chengdu 610054, China)

*(Inst. of Info., Univ. of Yunnan, Kunming 650000, China)

Abstract This paper presents an uncontested Distributed Wireless Token Ring Protocol(DWTRP), based on the Wireless Token Ring Protocol(WTRP). The simulation results show that the average delay and average queue length in DWTRP system are much more lower than that in WTRP system, the stability is more enhanced.

Key words Ad hoc network, Distributed Wireless Token Ring Protocol(DWTRP), QoS

1 前言

无线自组网(Ad hoc network),也被称为多跳无线网(Multi-hop wireless network)、分布式无线网络或自组织网络(Self-organized network)。无线自组网是一组带有无线通信收发装置的移动终端节点组成的一个多跳的临时性无中心的网络,可以在任何时刻、任何地点不需要现有信息基础设施的支持,快速构建起一个移动通信网络,网中的每个终端可以自由移动,地位相等,并可互相作为其邻居(在直接通信范围内的节点)的路由器,通过节点转发实现节点之间的通信。Ad hoc 网络具有无中心、自组织、可快速展开、可移动和多跳等特点。这些特点使得它在战场、救灾等特殊场合的应用日渐受到人们的重视。

目前国内外有很多研究人员对 Ad hoc 网络的媒体接入控制层(MAC)协议进行了大量有意义的研究^[1-5]。无论传统的 CSMA 还是改进的 CSMA/CA 都是基于争用的 MAC 接入控制协议,由于争用和冲突的存在而无法为时延要求较高的业务提供 QoS 保障,同时也大大降低了系统的吞吐量;虽然基于轮询机制的集中协调功能(PCF)接入控制可以提供时延保障,但它适用于一种结构化的网络,即要求网络结构要

相对稳定,而 Ad hoc 网络中站点的移动性较大,是一种无基础设施要求,具有很强的临时性、自组性的网络技术,PCF 显然是不适用的。文献[6]提出了一种基于 PCF 的适用于 Ad hoc 网络的无线令牌环控制协议(Wireless Token Ring Protocol, WTRP),它具有较强的稳健性。但是站点间的查询转换时间会导致系统性能下降。本文在此基础上,提出了一种分布式无线令牌环协议(Distributed WTRP, DWTRP),研究表明,系统的性能得到了很大的改善。本文以下几节的安排是:第 2 节对 DWTRP 接入控制进行描述,第 3 节群间通信和优先级设置,第 4 节给出仿真结果,并对仿真结果进行分析,第 5 节是全文总结。

2 DWTRP 描述

系统按照某种分群算法将网络初始化为若干环型拓扑结构的子网络(令牌环),分群算法的目的就是获得相互连通、覆盖所有节点的群。每个群由一个中心节点和若干个普通节点组成,该中心节点被选作群首。各群使用不同的信道。群首选择一个或多个节点作为网关用来中转本群与其它群的通信业务。这里的网关就是在多个信道上切换工作的节点。分群后的分布式无线网络可以通过多群间的业务中转而

完成各节点间的通信。子网内按照 DWTRP 进行数据传输,子网间数据传输利用网关转发。该协议最大的特点是将令牌与数据结合在一起传送,有数据要发送的站点在转发数据包时将令牌位进行置位并附上站点地址,当令牌回到源站点时,下一个令牌获得站点也就找到了。

2.1 DWTRP 的 MAC 帧

本文在 WTRP 的基础上,根据 IEEE802.11 与 WTRP 的帧结构^[6,7],设计了一种适于 Ad Hoc 网络的,将无线令牌与数据帧结合在一起的 MAC 帧,如图 1 所示:

FC	RA	DA	SA	Seq	GenSeq	NNA	Data	ACK	Pri	CRC
1	6	6	6	4	4	6	0-2312	1	1	4 Byte

图 1 DPWTRP 中的无线令牌、数据帧格式

FC: 帧控制字段(Frame Control),它定义了帧的类型,如代表一般令牌,特殊令牌,数据帧,设置前导,设置后继等;

RA: 环地址(Ring Address),表明令牌是属于哪个令牌环网络,以区别不同无线令牌环上的令牌;

DA: 目的地址(Destination Address),如果为令牌帧,则 DA 代表该站点地址,如果帧为数据帧,则 DA 代表发送数据的目的地址;

SA: 源地址(Source Address);

Seq: 序列号 (Sequence number),初始值为 0,当令牌每经过一个站点,序列号就加 1 当返回令牌环的发起站时,Seq 就清 0;

GenSeq: 生成序列号(Generation Sequence),初始值为 0,令牌循环一周,生成序列号就加 1;

NNA: 下一个获得令牌的站点地址 (Next Node Address);

Data: 发送的数据,在数据帧中有效;

ACK: 接收数据响应位,在数据帧中有效;

Pri: 优先级位(Priority),初始值为 0,在数据帧中有效;

CRC: 循环冗余纠错码,在数据帧中有效。

2.2 无线令牌环的初始化

假设系统中有 M 个无线站点,它们通过某种分群算法形成若干通信子网,一个子网就是一个无线令牌环网,如图 2 所示。

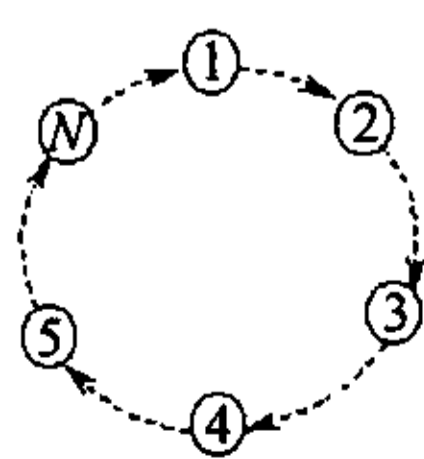


图 2 无线令牌环示意图

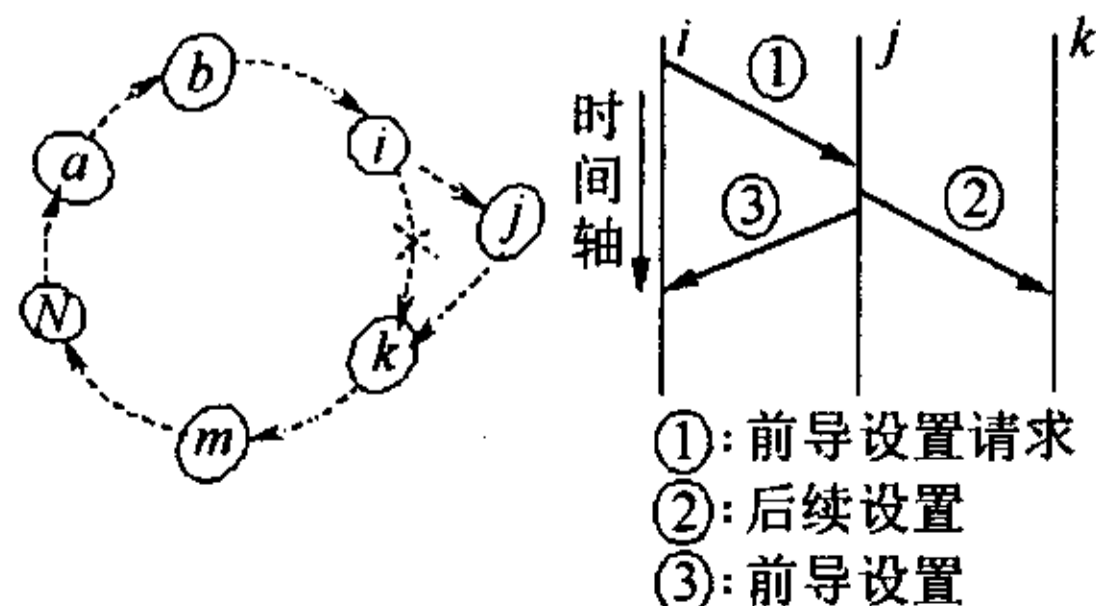


图 3 新节点加入令牌环

每个子网内有 N 个站点,并在 N 个站点中竞争出一个群首和一个或多个网关,环上群首站点负责令牌的产生及环的初始化工作,令牌的 RA 即为群首站点的 MAC 地址,因此可以保证每个环的地址唯一。每个终端都维护着一张系统环连接列表,其中存放了该终端在它系统环上与其它终端的连接情况。该连接列表在系统初始化的时候通过令牌的传递来完成。群首产生一个初始化令牌将其随机地传递给它的某一个最近的后继终端,后继终端在收到令牌后对 Seq 加 1,并记录加 1 后的值,作为自己的位置标识,然后将令牌传递给它的后继终端。以此类推,最终令牌将传回群首,群首检查 Seq 就可以知道系统环上有多少个终端。然后修改令牌的 FC 字段中的类型,再把令牌发出,通知环上的站点系统环中的终端数。这样,每个终端就可以建立起一张完整的连接列表。初始化帧再次回到群首时,就构成了一个封闭的逻辑环,初始化工作完成,同时环上的站点数也确定了,后续向前导定期 (T_{hello}) 发送 HELLO 信号,以通告相互的存在。

2.3 站点的加入与退出

当一个网外站点有服务请求的时候,它需要首先监听信道,当信道空闲时就可以利用捕获效应,向它的覆盖范围内的站点发请求信号。该请求信号采用一个低电平发送,因此不会影响环上正在进行的服务。当位于请求站点覆盖范围内的站点在完成数据帧的发送或转发后将检测是否有新的站点需要加入系统,这时就能收到低电平的请求信号^[8]。其原理如图 3 所示,当某一站点 i 检测到了站点 j 的请求信号,当 i 获得令牌后,设置站点加入等待时间定时器 (T_{node}),并将对 j 发送前导设置请求信号,其中包含了自己的后继 k 的地址信息; j 收到信号后,将 i 设置为其前导,将 k 作为其后继,并返回一个后继设置请求信号。当 i 收到信号后将 j 设置为自己的后继,并返回 ACK 响应,这样就成完了一个站点的加入。在新站点获得令牌后,将对信息进行更新,即通知其它站点更新令牌环连接列表。如果 i 的定时器溢出,则 i 不做任何操作,令牌环维持原状;如果 j 逾期没有收到响应,则重新发起新的请求信号。

由于 Ad hoc 网络的移动性较大,站点可能随时离开网络,从而使网络逻辑连接断开,因此需要及时调整网络结构,保证通信的正常进行。站点离开网络的情况可能有:(a) 站点没有数据传输需求,要求断开连接;(b) 站点断电或其他故障等,异常断开;(c) 站点自身移动,而离开原网络;

以下将分别对 3 种情况进行详细描述:

情况 1 该种情况属于接点正常离开。由于站点自身知道要离开网络,因此,在它断开连接之前,会进行必要的设置,从而保证网络的连通性。如图 4 所示:

假设站点 j 没有数据传输要求, 想要退出环, 站点 j 需要通知前导 i 和后续 k 重新设置后续和前导。 j 向 i 发出一个后续重设置请求信号, 其中包含 j 的后续 k 的地址; 并向 k 发出一个前导重设置请求信号, 其中包含 j 的前导 i 的地址。当 i 收到 j 的请求后, 将 k 设为自己的后续, 并向 j 发出 ACK 响应; 当 k 收到 j 的请求后, 将 i 设为自己的前导, 并向 j 发出 ACK 响应。当 j 收到 i 和 k 的响应后, 它知道网络结构已经重建, 因此可以离开网络了。当 i 获得令牌后, 将发出更新信息, 通知整个网络的站点更新连接信息, 如果 j 是原网络的群首, 则 i 成为新的群首, 否则不发生改变。如果超时没有收到响应, j 将重复上面的操作, 当重复次数达到设置次数的最大值 (Max_{set}) 仍然没有响应, j 认为已经与网络失去连接, 因此退出。当网络中的站点 i 发现 j 不可达, 将按照情况 2 进行处理。

情况 2 由于无线站点通常需要利用电池工作, 因此会出现因电池耗尽或因为软硬件故障而无法继续工作的情况, 此种情况属于不可预测的异常状态。假设当站点 j 突然从环上断开, j 的前导 i 在逾期没有收到 j 的 HELLO 信号, 便知道 j 已经不在环上, 于是根据存储的令牌环连接列表选择下一个站点作为后续站点, 并发送更新信息, 通知其它站点进行信息更新。

情况 3 由于站点的移动离开环而造成的影响同情况 2 一样, 都会造成令牌环无法正常工作。在这种情况下, 可以采用情况 2 的处理方法进行环路修复。

2.4 令牌数据帧的维护

由于 Ad hoc 网络的移动性和网络失效, 可能导致令牌或数据帧的丢失, 令牌数据帧的维护就是为了解决这个问题。首先确定, 等待确认的时间必须大于一个令牌数据帧在环上行走一周的时间 T_{send} , 如果令牌或数据帧没有丢失, 该节点必然会第二次收到。群首在每次令牌数据帧经过时都记录下当前令牌发送者的序列号, 协议中规定当群首在大于 T_{send} 的时间内没收到令牌或数据帧则认为令牌或数据帧丢失, 则产生新令牌并将其发送到前次令牌或数据帧发送者, 从而避免了由于令牌丢失而造成环的断开。

2.5 数据帧的传输

如图 5 所示, 如果节点 a 要发送数据到节点 k , 当它获得令牌后, 组织数据发送, 并设置发送定时器 (T_{send}) 和重发计数器 (T_{max}), 数据帧沿着环依次传送, 每一个节点都对此数据帧进行转发, 此时如果节点 i 有数据要发送, 那么当它收到 a 的数据帧时, 将 NNA 置为 i 的 MAC 地址后转发出

去。目的节点 k 收到数据帧后, 进行校验, 如果数据帧在传输中没有错误, 则接收数据, 并写 ACK 响应; 如果数据帧有错, 在 ACK 中置入错误标志。当数据帧再次回到 a 时, a 检查 NNA 字段知道 i 有数据要发送, 因此将令牌转让给 i 。如果 NNA 字段为空, 那么 a 可以继续发送数据, 没有数据发送, 则将令牌发送给后续 b 。如果 a 超时没有收到数据帧, 则可能是数据帧丢失或中间转发节点失效, 为了减少重构系统带来的开销, a 重发数据。如果重发计数器溢出, 则表明很可能是中间节点失效, 那么 a 按照节点离开令牌环中的情况 2 进行令牌环重构。

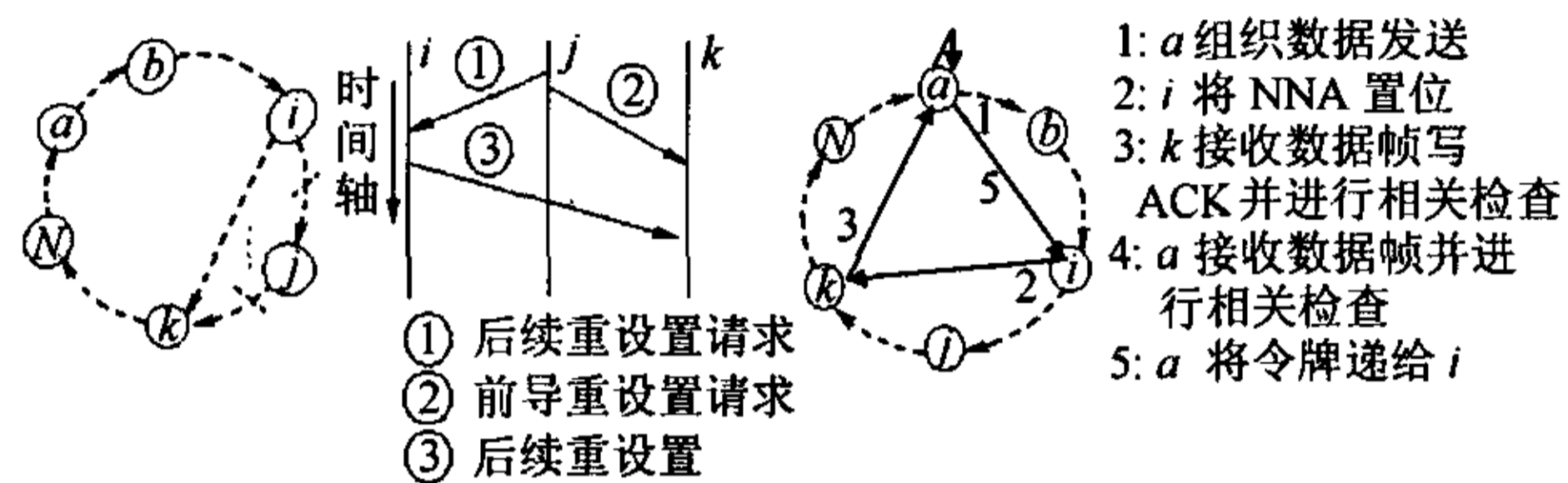


图 4 节点正常离开令牌环

图 5 无线令牌环节点数据传输示意图

3 群 (环) 间通信与优先级设置

3.1 群间通信与网关的优先查询

系统在初始化时通过分群算法将系统内的节点分为多个群 (令牌环), 可采用最高连通性分群算法^[9]。分群算法的目的就是获得相互连通、覆盖所有节点的群。每个群 (环) 内一个群首节点、若干普通节点、一个或多个网关。各群使用不同的信道, 多信道可用扩频码或者其它多址方式实现, 从而系统中同时并存着多个令牌环。网关就是可工作在多个信道上的节点, 可在信道间进行切换。为了保证群间的通信, 协议中对网关赋予了较多的接收令牌的机会。

当环初始化完成后, 群首节点持有令牌, 在群首无数据传送的情况下, 先将令牌传给离群首最近的网关, 若该网关有数据要传则进行传送, 若无数据传送或者数据传完则将令牌发往下一个网关, 这样依次沿环传令牌给每一个网关, 最后令牌回到群首, 群首开始依次按顺序地传送令牌给下一节点。在整个的传输过程中, 任何一个节点在传完数据后, 在接收到自己发出的数据帧时若发现 NNA 位没有被置位则知道目前环内无站点要求传送数据, 此时将令牌直接传给网关, 若网关无数据要传则将令牌传给下一网关, 下一个网关也无数据传时就将令牌依次传回该节点, 该节点按顺序传给自己的下一个邻节点。

在进行群间通信时, 网关在一个环内转发数据 (环 1) 到另外一个环 (环 2) 时, 先在环 1 内接收数据放到缓存器上然后在

接收到环 2 的令牌时将数据转发出去, 由于目前软件无线电技术的飞跃发展可使网关站点电台工作在多信道, 并且可采用全双工方式, 使得网关在接收环 1 数据的同时也收到环 2 的令牌, 即可进行同时的收发, 提高了利用率。

3.2 实时/非实时数据传输与优先级设置

在网络通信的过程中, 通常把多媒体业务分为非实时业务(数据和静止图像)和实时业务(话音和视频)两种。为了保证 QoS 和支持多媒体业务, 通常对实时数据赋予更高的优先级。

在 DWTRP 中, 我们在数据帧中设置了优先级位(Pri)用来标识所传数据的级别高低, 从而满足系统 QoS 的要求, 并简单设置实时数据帧的 Pri 位值为 1 而非实时数据帧的 Pri 位值为 0, 系统初始化后 Pri 初值为 0。其工作原理如下: 假设图 5 中的节点 a 要将数据帧传给节点 k , Packet a 的 Pri 为 0, 首先经过节点 b , 节点 b 有数据要传就在转发 Packet a 时将 Packet a 的 NNA 位置为节点 b 的地址, 同时如果节点 b 要传的是一般数据则不改变 Packet a 的 Pri 位; 如果节点 b 要传的是实时数据则改变 Packet a 的 Pri 位(从 0 变成 1); 当 Packet a 传到下一节点 i 时, 节点 i 有数据要传, 首先检查 Packet a 的 NNA 位, 当发现 NNA 位为其它节点地址时知道已经有其它节点预约了下次传输, 于是接着检查 Packet a 的 Pri 位并与自己的数据级别进行比较, 若节点 i 的数据优先级别高于 Packet a 中的 Pri 位, 则把 Packet a 的 NNA 位中的 b 节点地址改为节点 i 的地址和改变 Pri 位(从 0 变成 1), 如果节点 i 的数据优先级别低于或等于 Packet a 中的 Pri 位, 则不对 Packet a 做任何的改变而只是转发出去; 以此类推, 当 Packet a 传到节点 k , 节点 k 接收数据然后回传给发送节点 a , 节点 a 在收到自己发出的数据帧 Packet a 时立即对 Packet a 进行相关检查, 并查看 NNA 位, 看看是否有节点要传输数据, 若有则将令牌发给要传数据的节点, 该节点接到令牌开始传数据帧时数据帧中的 Pri 位初始化为 0。

从上可看出, 当任意一节点数据在环中传输时, 网内有数据要发的其它节点都可来竞争预约下次传输, 而有实时数据要发送的节点能优先接入信道传输从而满足系统 QoS 要求。

4 协议性能仿真

4.1 仿真假设

我们将 DWTRP 协议与 WTRP 进行比较。假定无线信道为无错状态, 每个节点在任一单位时隙内送入其存储器中的

分组数服从 Poisson 分布, 其分组长度为 2500bit, 信道速率为 10Mbps, 系统时隙宽取 $25 \mu\text{s}$, 系统的服务机制为限定 $K=1$ 服务, WTRP 的查询转换时间为 γ (μs)。评价参数为: 分组的平均排队等待延迟、节点的平均排队队长。

4.2 仿真结果

在相同环境下, 我们对 WTRP 和 DWTRP 分别进行了仿真实验, 归一化处理后系统的平均队长及信息分组的平均等待时间的比较结果如图 6, 7 所示。从仿真结果可以看出, DWTRP 的平均分组等待时间、平均排队队长比 WTRP 有明显减少, 从而使系统在稳定性上比 WTRP 有很大提高。图 6 表示的是站点数对平均等待时间的影响, 从图中可以看出, 在分组到达率 $\lambda < 0.003$ 时, 具有 30 个节点的 DWTRP 系统比只有 20 个节点的 WTRP 系统的平均等待时间还要短。图 7 表示的是转换时间对平均排队队长的影响。其中当转换时间 γ 为 3 个单位时隙长度的时候, 对于 WTRP 周期查询来说相当于各个终端站点离的较远或无线信道质量差的时候, 其系统的队长在负载较轻的时候就已经开始急剧增加。而 DWTRP 在分组到达率 $\lambda < 0.0045$ 时队长变化基本是趋于平稳的。由此可以看出, 转换时间 γ 对 WTRP 系统性能的影响, 在 DWTRP 系统中, 由于采用了数据与令牌相结合处理的方式, 免去了对站点的查询时间, 从而提高系统性能。通过比较, 我们可以看出, DWTRP 系统的平均等待时间和平均排队队长两个关键的性能指标都比 WTRP 系统有很大提高。

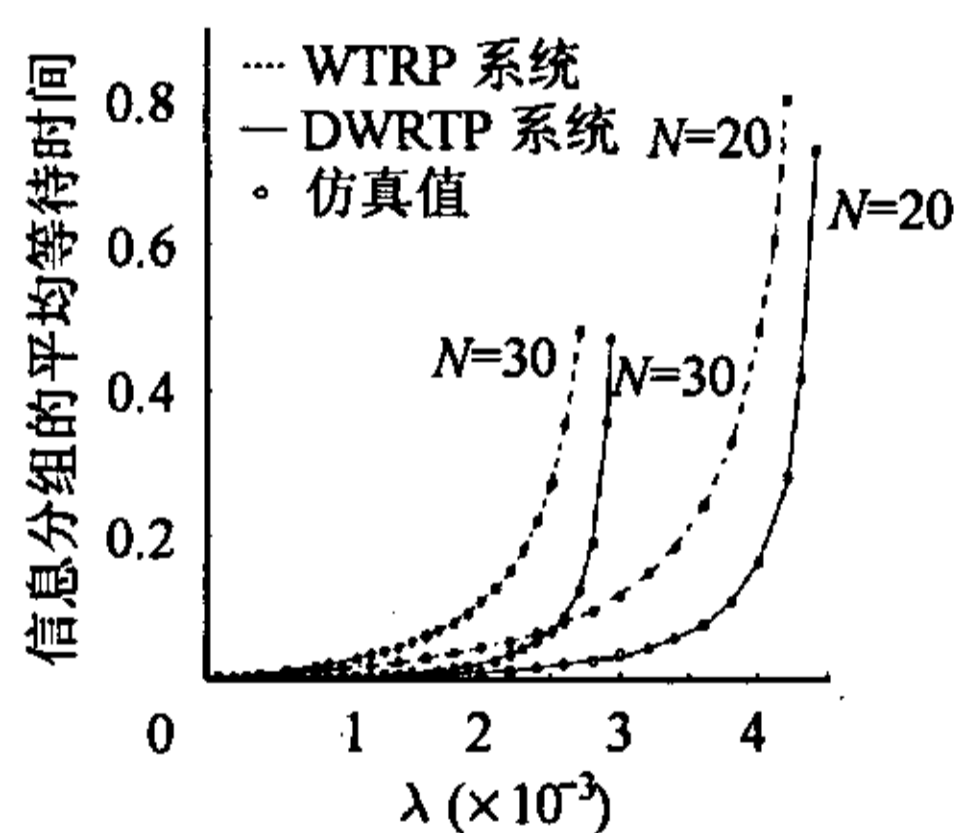


图6 信息分组的平均等待时间随 N 的变化

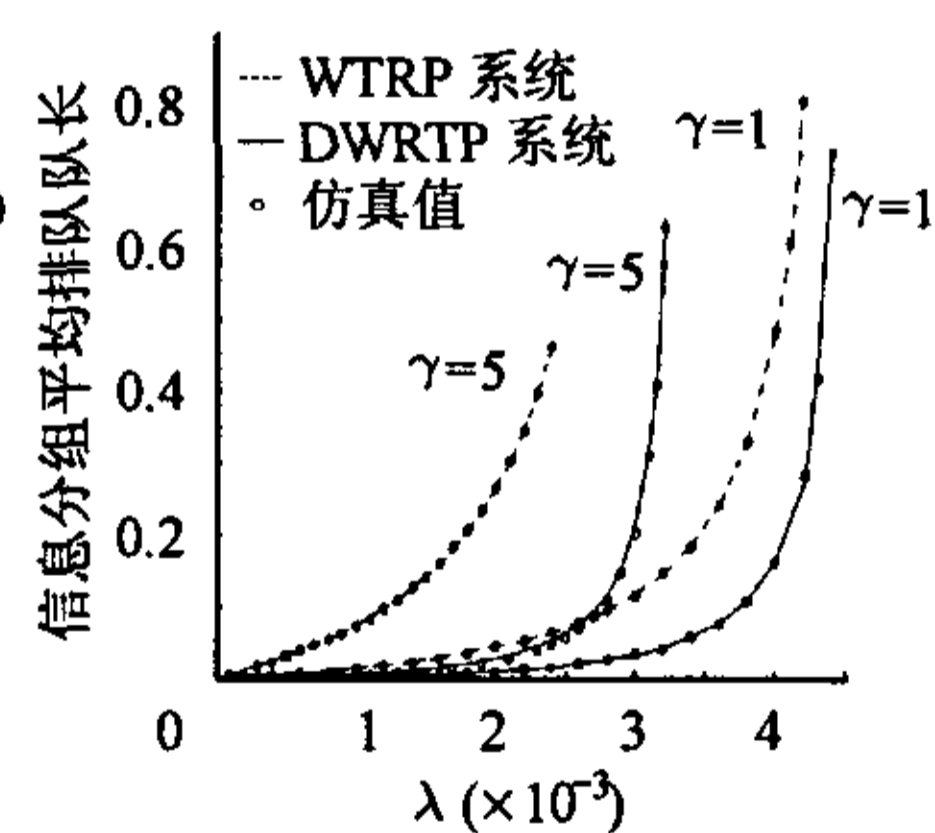


图7 信息分组平均排队队长随 γ 的变化

5 结论

本文基于无线令牌环协议(WTRP)提出了一种适合于 Ad hoc 网络的分布式无线令牌环协议(DWTRP), 该协议将令牌与数据帧结合在一起在环内进行传输避免了查询转换从而降低了传输延时, 并对不同的数据流进行了优先级别的设置因而能满足 QoS 要求, 与无线令牌环协议(WTRP)协议相比分析和仿真实验说明了 DWTRP 具有良好的稳定性和较短的时延特性, 能够满足较高的 QoS 需求。

参 考 文 献

- [1] Sobrinho J L, Krishnakumar A S. Quality-of-service in Ad hoc carrier sense multiple access wireless networks[J]. *IEEE J. on Select. Areas Commun.*, 1999, 17(8): 1353 – 1368.
- [2] Royer E M, et al.. The effects of MAC protocols on Ad hoc network communication[J]. *IEEE WCNC'2000*, Chicago, No.1: 543 – 548.
- [3] Ram Ramanathan, et al.. A brief overview of Ad hoc networks: challenges and directions[J]. *IEEE Commun. Mag.*, 50th Anniversary commemorative issue, 2002, 5: 20 – 22.
- [4] Farshad Eshghi, Ahmed K Elhakeem. Performance analysis of Ad hoc wireless LANs for real-time traffic[J]. *IEEE J. on Select. Areas Commun.*, 2003, 21(2): 204 – 215.
- [5] Token ring access method and physical layer specifications, ANSI/IEEE Std. 802.5 1998E.
- [6] Duke Lee, Anuj Puri, Pravin Varaiya. A wireless token ring for Ad-hoc networks[J]. *IEEE Aerospace Conference*, Montana, 2002: 1 – 9.
- [7] Wireless Lan Medium Access Control(MAC) and Physical layer(PHY) Specifications, ANSI/IEEE Std. 802.11, 1999.
- [8] 李剑, 赵东风. 宽带无线往来周期查询接入控制及楼内传播特性研究. [硕士学位论文]. 云南大学, 2003.
- [9] M Gerla, T C Tsai. Multicluster, mobile, multimedia radio network [J]. *ACM / Baltzer J Wireless Network*, 1995, 1(3): 255 – 265.
- 彭 艺: 女, 1975 年生, 博士生, 研究方向是无线通信系统及其信号处理.
- 赵东风: 男, 1957 年生, 教授, 博士生导师, 从事无线网络通信的研究.
- 周正中: 男, 1939 年生, 教授, 博士生导师, 从事信号处理和软件无线电学科的研究.
- 查光明: 男, 1941 年生, 教授, 从事软件无线电、扩频通信的研究.