

文章编号:1001-893X(2011)08-0105-06

战术 Ad Hoc 网络中的 QoS 路由协议设计与仿真^{*}

王彦刚,吕遵明,万留进

(总参第六十三研究所,南京 210007)

摘 要:基于 TDMA 的战术 Ad Hoc 网络,提出一种分布式的资源预约机制,其中收/发节点采用协商的方式预约时隙,邻居节点通过侦听方式获得时隙被预约的信息,然后依托该机制提出一种 QoS 路由协议,该协议能够在网络节点之间选择一条满足 QoS 要求且相对短的路径进行预约时隙,同时对于网络拓扑变化引起的链路故障也能局部修复。仿真表明该协议具有开销小和可靠性高等特点,能够提高战术 Ad Hoc 网络的 QoS 保障能力。

关键词:TDMA;战术 Ad Hoc 网络;QoS;路由协议

中图分类号:TN915 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2011.08.022

Design and Simulation of a QoS Routing Protocol Based on Tactical Ad Hoc Networks

WANG Yan-gang, LV Zun-ming, WAN Liu-jin

(The 63rd Research Institute of the PLA General Staff Headquarters, Nanjing 210007, China)

Abstract:Based on TDMA-based tactical Ad Hoc networks, a distributed resource reservation scheme is proposed, in which the sender node and the receiver node reserve time slots by means of handshake and neighbor nodes get the information of reserved time slots by means of interception. Then a QoS routing protocol is proposed based on the reservation scheme above, which can reserve time slots in a shorter and enough resource's path and locally repair the link failure caused by the topology variety. The simulation results show that the protocol has the characteristic of the low overhead and the high reliability and can improve the QoS capability of tactical Ad Hoc networks.

Key words:TDMA; tactical Ad Hoc networks; QoS; route protocol

1 引 言

战术 Ad Hoc 网络是 Ad Hoc 技术在军事上的一种应用,能够保证在任意的作战环境下快速地搭建起互联互通的网络,是战役战术级部队机动作战的信息基础设施。随着现代战争对信息化依赖不断加深,业务种类已经由单一的话音业务拓展到以话音、数据以及部分实时多媒体业务(如预警侦察部队所得到的敌方兵力调动、武器配置及阵地分布等画面

和视频)为主,而且一部分数据业务和实时多媒体业务都需要在误码率、时延和带宽等方面有一定的 QoS 保证,尤其是带宽的保证。由于 Ad Hoc 网络具有带宽窄、拓扑易变等特点,大都只提供无连接的 best-effort 服务,很难满足一些业务的需求,但是战术 Ad Hoc 网络的节点大都按照建制协同行动,节点之间相对密集且具有组移动特性(Group Mobility),拓扑结构在大多数时间内变化很小,因此在战术 Ad Hoc 网络中通过资源预约的方式建立一条专用资源的 QoS 路径是有意义的。

^{*} 收稿日期:2011-03-01;修回日期:2011-05-19

目前,国内外对 Ad Hoc 网络的 QoS 路由协议和 QoS 信令都有大量的研究。其中,QoS 路由协议大都是通用型的^[1-6],并不针对具体的 MAC 机制,只是假设 MAC 协议具有本地可用带宽估计、时延估计和资源预留等功能,这限定了这些协议的实用性,但将一个通用型的 QoS 路由协议和一种具有资源预留功能的 MAC 协议进行简单的叠加也势必会带来冗余。为了克服这个问题,一部分 QoS 路由协议也考虑了 MAC 层的资源管理问题,例如:C. R. Lin 等人^[7,8]提出的基于 TDMA 的 QoS 路由协议较以往协议无论是在资源预约还是在资源管理方面都有很大的改进,但是它们都依赖控制小时隙,这些控制小时隙需要占用一定的带宽,只有将控制时隙长度划分得尽量小才有实际意义,但在工程实现过程中,时隙同步等问题导致很难将时隙划分得很小,这也就限制了这类协议的实用性;Yuh - Shyan. Chen 等人^[9,10]提出了 TDMA 和 CDMA 相结合的多址技术即在 TDMA 之上叠加 CDMA,网络中不同节点使用不同的正交码,相邻节点可以在相同的时隙发送数据,不存在隐终端问题,其带宽的估计和时隙预留算法相对简单,但其代价是需要 TDMA 之上叠加复杂的 CDMA 机制,总体来说效率不高。除了 QoS 路由协议之外,一些 QoS 信令也被提出,例如 EDRSVP^[11]和 INSIGNIA^[12]。EDRSVP 是一种带外信令,为了克服 Ad Hoc 网络中的暴露终端和隐终端问题,每个节点周期性地向两跳邻居广播自己时隙的使用情况,当 QoS 路由建立成功后,源节点和目的节点之间通过周期性地发送 PATH 和 RESV 消息的方式保持 QoS 路由的有效性,当节点超时收不到 PATH 或 RESV 消息则释放预留的资源。由于 EDRSVP 的时隙通告和 QoS 路由维护消息的开销较大且这些消息的可靠性直接影响 EDRSVP 的效率,因此随着网络负载增大或 QoS 路由增多,EDRSVP 的效率会大幅度下降。INSIGNIA 是一种带内信令,它利用 IP 包的 IP 选项字段携带信令消息,源节点发送带有信令消息的 IP 包,中间节点收到这种 IP 包后,在可用资源满足要求的情况下进行预留资源,当 IP 包到达目的节点时,这条 QoS 链路就建立起来了,目的节点周期性地发给源节点 QoS 报告,通知源节点业务流路径上的可用资源的变化情况,以便源节点对数据发送速率作自适应的调节。基于 INSIGNIA 扩展的信令还有 ASAP^[13]和 INORA^[14],带内信令将信令消息放在数据的 IP 报头中,能避免信令消息与数据报文竞争无线信道。但 INSIGNIA 只是网络层的信令并没有 MAC 层的资源

管理功能,不能直接用于 Ad Hoc 网络的端到端资源预约。

综上所述,目前的 QoS 路由协议和 QoS 信令很难直接用于战术 Ad Hoc 网络,原因大都是出现在 MAC 层的资源管理方面。MAC 层的资源管理是实现数据可靠传输的前提,因此本文首先提出一种基于 TDMA 的资源预约及管理方式,然后依托反应式路由协议设计了一种具有 QoS 保证的路由协议。文章第 2 节对协议设计做了详细描述,第 3 节对协议进行了性能仿真分析并得出结论,最后是全文总结。

2 本文设计的 QoS 路由协议

由于 TDMA 信道接入机制具有带宽划分灵活、抗干扰性能好等特点,目前,大多数无线战术互联网中都采用 TDMA 的信道接入机制,例如美军的 E-PLRS(Enhanced Position Locate Radio System)系统。因此,本文的 QoS 协议也是基于 TDMA 的信道接入机制进行设计的。

2.1 资源预约方式

为了灵活和高效地使用有限的时隙资源,将时隙动态地划分为专有时隙和竞争时隙,即时隙被预约的时候为专有时隙,只能由预约的节点使用;没有被预约的时候为竞争时隙,被网络中的所有节点竞争使用。预约时隙原则为:本节点未预约且没有邻居预约为发送的时隙可预约为接收时隙;本节点未预约且没有邻居预约为接收的时隙可预约为发送时隙;其它情况的时隙为不可预约时隙。

本文借鉴现有研究成果^[15]提出一种协商式的资源预约机制,具体如图 1 所示。

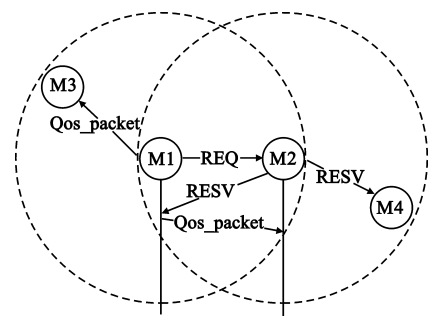


图 1 时隙预约过程
Fig.1 Process of reserving time slots

(1)节点 M1 将自己可以预约为发送的时隙和将要预约的时隙数量通过 REQ 信令通告给节点 M2,然后等待节点 M2 的 RESV 信令,超时收不到 RESV 信令则重传 REQ 信令。当重传次数过多则认

为和节点 M2 之间无法预约指定数量的时隙。

(2)节点 M2 收到 REQ 信令后,按照预约时隙数量的要求从节点 M1 提供的时隙中选择出本节点可预约为接收的时隙进行预约,然后通过 RESV 信令将预约时隙通告给节点 M1,等待节点 M1 发送的 QoS 报文,如果超时收不到 QoS 报文,则释放预约时隙。另外,如果本节点可预约为接收时隙的数量不满足预约要求则将 REQ 信令丢弃。

(3)节点 M1 收到节点 M2 的 RESV 信令后,从中提取协商出的时隙进行预约,然后节点 M1 就可以将具有 QoS“标记”的报文在预约时隙发送出去。

根据前面定义的预约时隙原则,网络节点必须知道周围邻居节点的时隙使用情况,这可以通过侦听的方式实现。如图 1,邻居 M4 侦听到 M2 发送的 RESV 信令时,就可以知道节点 M2 预约了哪些时隙为接收时隙,避开在这些时隙发送报文;邻居 M3 侦听到带有 QoS 标记的报文就会知道该时隙被预约为发送时隙,避开在这些时隙接收报文。通过侦听方式获得邻居使用时隙的信息,既节省了开销又保证了信息的实时性。

由于 Ad Hoc 网络具有拓扑动态变化、报文碰撞等特点,节点有时不会及时或者根本无法侦听到邻居节点的通告,如图 2 所示,节点 M1 和节点 M2 同时预约 1 号时隙为发送时隙,且节点 M1 和 M2 都是节点 M3 的邻居,则节点 M3 无法通过侦听的方式判断出 1 号时隙被预约为发送时隙,如果 M3 将该时隙预约为接收时隙则势必会发生冲突。因此,协商式的资源预约策略仍然可能存在预约冲突。为了克服上述的缺陷,引入以下机制:当节点 M1 或 M2 侦听到邻居节点 M3 的 RESV 信令,发现节点 M3 预约的接收时隙和本节点预约的发送时隙冲突,则向节点 M3 发送 REJECT 信令,通告节点 M3 释放预约的接收时隙,如果节点 M3 没有正确收到 REJECT 命令,它会由于超时收不到正确数据而重新预约时隙。

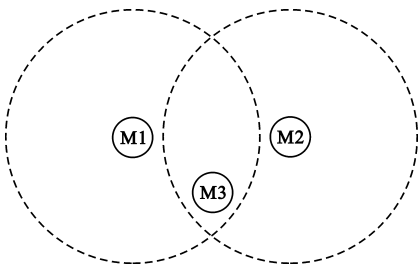


图 2 预约时隙无法侦听的示例

Fig.2 Example of no - intercepting the reserved time slots

2.2 QoS 路径建立过程

上述的资源预约方式只适用节点之间的资源预约,本文对其进行了扩展,与反应式路由协议的路由发现过程相绑定(将信令 REQ 和路由请求消息级联在一起),实现了端到端的资源预约,具体过程如图 3 所示。

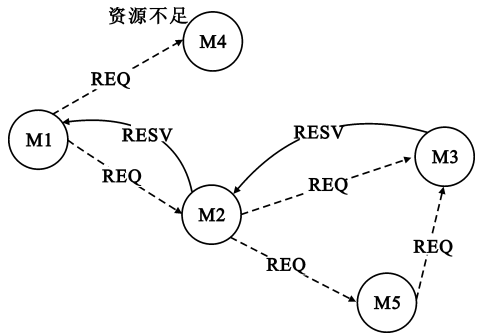


图 3 QoS 路由建立过程

Fig.3 Process of setting up QoS route

(1)源节点发送 REQ 信令到目的节点,REQ 信令中携带本节点可以预约为发送的时隙和 QoS 带宽的需求。当中间节点收到 REQ 信令后,按照 QoS 带宽的需求从中选择出本节点可以预约为接收的时隙进行软预约(软预约的时隙可以收/发送竞争报文,但不能预约给其它 QoS 路由),然后更新 REQ 信令,选择本节点可预约为发送的时隙放到 REQ 信令中,继续转发。软预约时隙超时收不到相应的 RESV 信令则释放。

(2)当目的节点收到 REQ 信令时,按照 QoS 带宽的需求从中选择出可以预约为接收的时隙进行硬预约(硬预约的时隙是 QoS 路由专有时隙,只能用于收/发 QoS 报文),同时将这些时隙放到 RESV 信令中按原路径向源节点发送。中间节点收到 RESV 信令后,取出本节点和下游节点之间协商的时隙进行硬预约,然后更新 RESV 信令,将开始阶段的软预约时隙放到 RESV 信令中继续向上游节点转发,同时将这些软预约时隙进行硬预约,至此,中间节点和上、下游节点之间都成功预约了时隙。当源节点收到 RESV 信令后,将其中的时隙进行硬预约后,QoS 路由建立成功。

REQ 信令到达目的节点的过程就是无冲突时隙的选择过程,当某条路径的节点收到 REQ 信令后发现资源不足(可预约的时隙不满足 QoS 带宽的需求),就将 REQ 信令丢弃,如图 3 中的节点 M4。那

么,REQ 信令到达目的节点的路径一定是资源充足的,当有多个 REQ 信令到达目的节点时,目的节点选择路径较短建立 QoS 路由,如图 3。

2.3 预约资源的维护与释放

本文采用超时处理的机制进行维护和释放预约资源,具体方式如下所述。

(1)QoS 路由建立成功后,节点将报文打上 QoS 标记后在预约时隙发送。当邻居节点侦听到具有 QoS 标记的报文,则可以判断该时隙被预约为发送时隙,将避开在这些时隙接收数据。当 QoS 路由中的节点超时收不到 QoS 报文时,则认为 QoS 路由失效,释放为 QoS 路由预约的时隙,同时邻居节点超时侦听不到带有 QoS 标记的报文,则认为这些时隙为空闲时隙。

(2)QoS 路由建成功后,目的节点周期性地向源节点发送 RESV 信令。由于 RESV 信令中包含转发节点为本条 QoS 路由预约的接收时隙,邻居节点侦听到 RESV 信令,则可以知道周围哪些时隙被预约为接收,将避开在这些时隙发送数据。当 QoS 路由中的节点超时收不到 RESV 信令后,则认为 QoS 路由失效,释放为 QoS 路由预约的时隙,同时邻居节点超时侦听不到 RESV 信令则认为这些时隙为空闲时隙。

2.4 QoS 路由的故障处理

由于战术 Ad Hoc 网络中的节点大都按照建制协同行动,网络拓扑变化并不剧烈,QoS 路由的故障往往是由于个别节点的移动造成的,那么在这种环境下进行局部修复损坏的 QoS 路径、充分利用没有失效部分的 QoS 路径是有意义的,既能提高 QoS 恢复速度又能减少信令的开销。本文 QoS 路由的修复机制具体过程如图 4 所示。

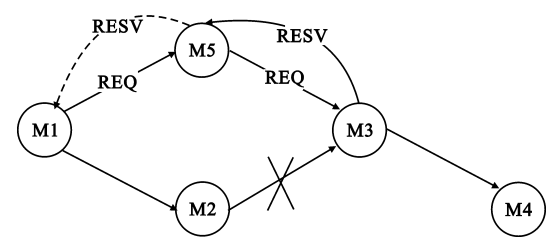


图 4 链路局部修复过程

Fig.4 Process of locally repairing the link failure

QoS 路由节点 M2 和 M3 中断,节点 M2 和节点 M1 超时 T1 收不到节点 M3 转发的 RESV 信令释放了为 QoS 路由预约的时隙,源节点 M1 停止发送 QoS

报文并且进行重新建立 QoS 路由,当节点 M3 收到 REQ 信令后,发现本节点已经为该 QoS 路由预约了时隙,说明这个 QoS 路由在上游发生故障了,正在修复中。节点 M3 释放和原来上游节点 M2 之间预约的时隙,根据 REQ 信令重新和上游节点预约时隙,然后返回 RESV 信令,不再继续转发 REQ 信令。节点 M3 超时 T2 收不到 QoS 报文则释放为 QoS 路由预约的时隙,在这里 T2 必须大于 T1,防止节点 M3 在信令 REQ 到达前释放为 QoS 路由预约的时隙,也即要给 QoS 路由修复留出一定的时间。

3 仿真及性能分析

为了研究上述 QoS 路由协议性能,本文采用 GlomoSim 仿真软件对该协议和 EDRSVP 进行了仿真和对比,之所以选择与 EDRSVP 对比是因为它们都基于普通的 TMDA 信道接入机制,而且都包含 MAC 层的资源管理机制。

3.1 网络模型设置

节点数量为 32 个,随机分布在 40 km × 40 km 范围之内;节点传播覆盖半径是 15 km;节点随机移动速度为 40 km/h;网络层为 DSR 路由协议;MAC 层协议为 TDMA,时隙大小为 32 ms,一个时帧包含 32 个时隙;物理层的信道带宽设为 256 kbit/s;载频设为 340 MHz;信道误码率为 10⁻³;信道采用自由空间衰减模型;仿真时间为 60 min;QoS 报文采用间隔为 1.5 s 的 CBR 数据流;由于在战术网中的 QoS 业务并不多,更多的是态势感知业务,因此假设网络中有 5 条持续时间为 15 min 的 QoS 业务,QoS 路由的源、目的节点和开始时间随机选取;态势感知业务具有周期性特点,采用间隔为 5 s 的 CBR 数据流,源节点和目的节点随机选取,开始时间为仿真开始时间,结束时间为仿真结束时间,态势感知报文在竞争时隙随机转发。

3.2 性能分析

本文在不同的网络负载下对协议的 QoS 路由建立时间、开销和报文转发率进行了统计。网络负载指仿真期间内向网络中灌入的报文数量即 QoS 报文和态势感知报文的数量总和。在仿真过程中,QoS 报文数量不变,通过改变态势感知报文数量的方法达到改变网络负载的效果。

图 5 为 QoS 路由建立时间的仿真曲线图。QoS 路由建立时间指从源节点发送预约请求到收到目的

节点应答信令之间的这段时间。由图 5 可以看到,随着网络负载的增大,QoS 路由的建立时间增长,这是因为网络负载增大导致信令碰撞概率增大,信令超时重传造成的。从图 5 可以看出,本文设计的协议在 QoS 路由建立时间方面明显优于 EDRSVP。这是因为本文设计的协议和 DSR 路由协议进行了绑定,在寻找路由的过程中完成了资源预约,而 EDRSVP 的资源预约方式决定了它不能和其它路由协议绑定,必须首先寻找路由,然后再沿着路由进行预约资源。

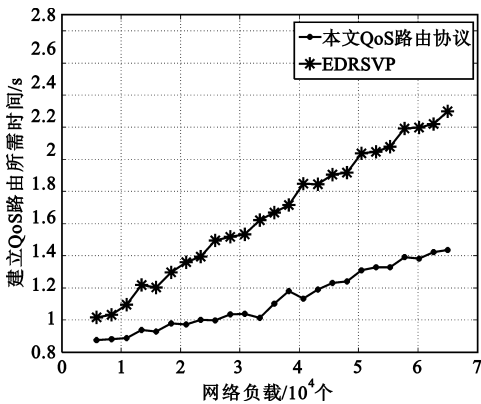


图 5 QoS 路由建立时间
Fig.5 The time of setting up QoS route

图 6 为建立 QoS 路由开销的仿真曲线图。QoS 路由开销指与建立 QoS 路由有关的报文,例如信令消息、时隙通告消息等。由图 6 可以看到,本文设计的协议开销远低于 EDRSVP,原因有 3 点:一是本文设计的协议采用协商式的资源预约方式,每个节点只需知道自己一跳邻居的时隙占用情况,且通过侦听的方式完成时隙通告,而 EDRSVP 采用的资源预约方式要求每个节点知道其一跳和两跳邻居的时隙占用情况,节点必须周期性地向两跳邻居广播自己时隙的占用情况;二是本文的 QoS 路由信令能够和 DSR 路由协议绑定,而 EDRSVP 完全独立于路由协议;三是 QoS 路由建立成功后,为了保持 QoS 路由的有效性,本文设计的协议只需目的节点周期性地沿 QoS 路径向源节点发送维护信令,而 EDRSVP 则需要源节点和目的节点之间相互发送维护信令。另外,从图 6 可以看出,随着网络负载增大,EDRSVP 的开销迅速减小,这是因为随着网络负载增大,每个节点周期性地向两跳范围内邻居节点广播的时隙通告报文的碰撞概率会增大,那么就会有一部分一跳邻居节点收不到时隙通告报文,就不会继续向两跳

邻居节点广播,因此统计的开销就会减小,这会导致节点获取时隙信息的准确程度迅速下降,产生“隐终端”问题。而本文的 QoS 路由协议采用侦听方式获得邻居节点使用时隙情况,因此,随着网络负载的增大,统计的开销基本不变。

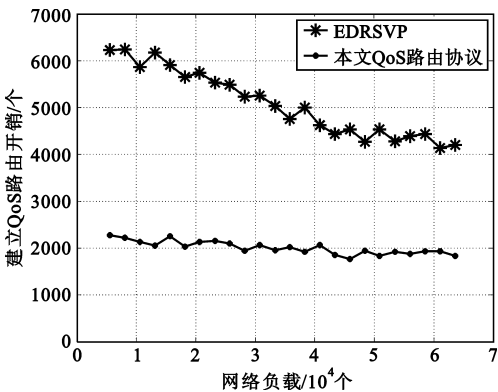


图 6 建立 QoS 路由的开销
Fig.6 The overhead of setting up QoS route

图 7 为建立 QoS 报文转发成功率的仿真曲线图。从图 7 可以看到,QoS 报文转发率随着网络负载的增大而下降,这是因为:随着网络负载增大,时隙通告消息的碰撞概率会增大,节点预约的时隙不能够及时可靠地通告给邻居节点,邻居节点依然使用这些时隙,造成“隐终端”现象。在使用本协议的网路中,节点通过侦听的方式获取邻居节点使用时隙的情况,因此节点获取时隙信息的准确程度不会随着网络负载的增大迅速下降,相比之下,EDRSVP 采用广播的方式进行时隙通告,随着网络负载的增大时隙通告报文碰撞概率就会增大,其节点获取时隙信息的准确程度会迅速下降。因此,本文协议预约的时隙比 EDRSVP 更加准确,报文转发成功率也就更高一些。

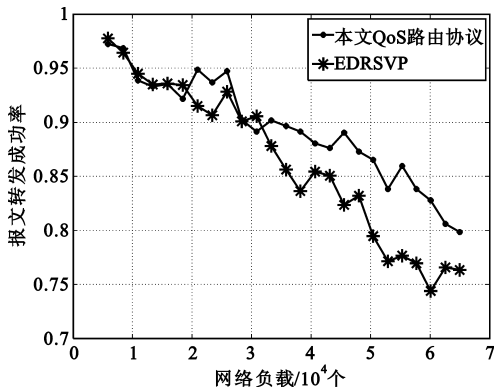


图 7 QoS 报文转发成功率
Fig.7 The rate of successfully transmitting QoS packet

4 总 结

本文以战术 Ad Hoc 网络应用为背景,设计了一种分布式的 QoS 协议,该协议不仅具有建立 QoS 路由的功能,而且具有 MAC 层资源预约及管理机制,实现了 MAC 层和网络层的较好结合,实用性较强,从仿真结果也可看出该协议比现有典型协议开销小、可靠性高,因此该协议能够有效提高战术 Ad Hoc 网络的 QoS 保障能力。但从仿真结果也可看出,随着网络负载增大,数据转发成功率会迅速下降,这主要是由于预约的时隙向邻居节点通告不及时造成的,下一步的工作可以针对预约资源的通告方式进行深入研究,进一步完善该协议。

参考文献:

- [1] Xu K, Tang K, Bagrodia R, et al. Adaptive bandwidth management and QoS provisioning in large scale ad hoc networks [C]//Proceedings of 2003 Military Communications Conference. Boston, MA, USA: IEEE, 2003: 1018 – 1023.
- [2] Xue Q, Ganz A. Ad hoc QoS on – demand routing (AQOR) in mobile ad hoc networks[J]. Parallel and Distributed Computing, 2003, 63(2): 154 – 165.
- [3] Munaretto A, Badis H, Khaldoun A I, et al. A Link – state QoS Routing Protocol for Ad Hoc Networks[C]// Proceedings of the 4th International Workshop on Stockholm, Mobile and Wireless Communications Network. Sweden: IEEE, 2002: 222 – 226.
- [4] Latha P, Ramachandran R. QoS Constrained Multicast Routing For Mobile Ad Hoc Networks[J]. International Journal of Computer Science and Network Security, 2009, 9(7): 66 – 70.
- [5] Fujian Qin, Youyuan Liu. Multipath Based QoS Routing in MANET[J]. Journal of Network, 2009, 4(8): 771 – 778.
- [6] Chenxi Zhu, Corson M S. QoS routing for mobile ad hoc networks[C]//Proceedings of the 21th Annual Joint Conference on Computer and Communications Societies. New York, USA: IEEE, 2002: 958 – 967.
- [7] Lin C R. On – demand QoS routing in multihop mobile networks[C]// Proceedings of the 20th Annual Joint Conference on Computer and Communications Societies. Anchorage, AK, USA: IEEE, 2001: 1735 – 1744.
- [8] Kuei – Ping Shih, Chih – Yung Chang, Yen – Da Chen, et al. Dynamic bandwidth allocation for QoS routing on TDMA – based mobile ad hoc networks[J]. Computer Communications, 2006, 29(9): 1316 – 1329.
- [9] Yuh – Shyan Chen, Yu – Chee Tseng, Jang – Ping Shen, et al. An on – demand, linkstate multi – path QoS routing in a

wireless mobile ad – hoc network[J]. Computer Communications, 2004, 27(1): 27 – 40.

- [10] Yuh – Shyan CHEN, Yu – Ting YU. Spiral – multi – path QoS routing in a wireless mobile ad hoc network[J]. IEICE Transactions on Communications, 2004, 87(1): 104 – 116.
- [11] X S Li, G S Kuo. Extended Dynamic RSVP (EDRSVP) for mobile Ad Hoc Networks [C]// Proceedings of the 11th Meeting of Wireless World Research Forum. Oslo, Norway: WWRF, 2004: 183 – 190.
- [12] Lee S B, Gahng – Seop A, Zhang X, et al. INSIGNIA: An IP – based quality of service framework for mobile ad hoc networks[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2000, 60(44): 374 – 406.
- [13] Xue J, Stuedi P, Alonso G. ASAP: An Adaptive QoS Protocol for Mobile Ad Hoc Networks [C]// Proceedings of the 14th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Proceedings. Beijing, China: IEEE, 2003: 2616 – 2620.
- [14] Dharmaraju D, Chowdhury A R, Hovareshti P, et al. INORA: A unified signalling and routing mechanism for QoS support in mobile ad hoc networks [C]// Proceedings of 2002 International Conference on Parallel Processing Workshops. Vancouver, Canada: IEEE, 2002: 86 – 93.
- [15] Adamou M, Lee I, Shin I. An Energy Efficient Real – Time Medium Access Control Protocol for Wireless Ad – hoc Networks [C]// Proceedings of WIP session of IEEE Real – Time Systems Symposium. London, UK: IEEE, 2001: 101 – 106.

作者简介:

王彦刚(1981—),男,黑龙江牡丹江人,2007年获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为宽带网络技术及嵌入式系统开发;

WANG Yan – gang was born in Mudanjiang, Heilongjiang Province, in 1981. He received the M. S. degree in 2007. He is now an engineer. His research concerns broadband networks technology and embedded system development.

Email: w. yan. gang@163. com

吕遵明(1979—),男,安徽界首人,2005年获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为嵌入式系统开发;

LV Zun – ming was born in Jieshou, Anhui Province, in 1979. He received the M. S. degree in 2005. He is now an engineer. His research direction is the embedded system development.

万留进(1985—),男,江苏南通人,2009年获硕士学位,现为助理工程师,主要研究方向为嵌入式系统开发。

WAN Liu – jin was born in Nantong, Jiangsu Province, in 1985. He received the M. S. degree in 2009. He is now an assistant engineer. His research direction is the embedded system development.