

基于业务类型的移动自组网 QoS 传输研究 *)

杨仕平¹ 谢胜利² 黄耕文¹

(广州海格通信产业集团研发中心 广州 510656)¹ (华南理工大学电子与信息学院 广州 510641)²

摘要 为增强军用分组网的 QoS 传输能力,必须综合考虑链路质量、拥塞及跳数。本文首先阐述了现有路由协议及链路质量检测方法的不足之处,指出了设计 QoS 选路算法的关键所在。紧接着,设计了一种综合链路质量、拥塞、跳数三要素的 QoS 选路方法。最后,通过仿真试验对文中的 QoS 选路方法进行了验证。

关键词 移动自组网,链路质量,路由度量,服务质量,拥塞

Research on QoS Transmission Based on Traffic Tyfe for Mobile Ad Hoc Network

YANG Shi-Ping¹ XIE Sheng-Li² HUANG Geng-Wen¹

(Guangzhou Haige Communication Industry Group, Guangdong 510656)¹

(School of Electronic & Information Engineering, South China University of Technology, Guangdong 510640)²

Abstract In order to enhanced QoS transmission performance of military mobile Ad Hoc networks, it is necessary for designer to synthetically consider three factors of link quality, congestion and hops. Firstly, shortcomings of existing route protocol and link quality detection and analysis are expatiated, as a conclusion, the key design goal of QoS route algorithm is presented in this paper. In succession, a QoS route algorithm based on link quality, congestion control and hops is presented. At last, the correctness and validation of QoS route algorithm are validated by simulation and evaluation.

Keywords Mobile Ad Hoc network, Link quality, Route metric, QoS, Congestion

1 引言

在移动分组网中, QoS 是指网络在传输数据流时要求满足的一系列业务服务请求,这些业务服务请求可以具体量化为带宽、时延、时延抖动、丢失率、吞吐量等 QoS 指标^[1]。然而,由于无线信道固有的特点及节点移动导致网络拓扑频繁变化,使得在移动分组网中支持 QoS 面临许多新的挑战^[2]。目前,国内外许多学者从移动分组网络的 QoS 体系结构、QoS 路由、QoS 信令、支持业务区分和资源预留的介质访问控制协议等方面研究 QoS 传输技术。本文的研究目标是 QoS 路由,即如何以最小的代价选择一条最好的路由,并且能够满足不同业务对 QoS 的不同需要。

2 现有路由协议的不足

目前,许多移动自组网路由协议都基于最小跳数(Hop)选择从源节点到目的节点的最短路由,其不足之处表现在^[3]: 1)最小跳数意味着最大化相邻节点之间的无线通信距离,而节点通信距离的最大化意味着接收节点信号强度的最小化与传输错误率的最大化。因此,在多跳移动自组网中,基于最小跳数选择的路由可能包含多段低质量的链路。2)在密集型网络中,由于边效应,已达到最大通信距离的节点在小范围内移动就可能使路由失效,进而导致频繁地路由重构,大大降低网络的效率。3)当存在多条最短路由时,随机选择一条路由,并未考虑从多条路由中选择通信质量最佳的路由。4)基于最小跳数并未考虑路由所经过节点的拥塞情况,这样将可能导致

多个源节点选中相同的转发节点进行通信,致使该节点成为整个网络的瓶颈。5)仅考虑“狭义的拥塞”,即根据单个节点的业务量大小判断节点的拥塞情况^[4]。但是,尽管某节点自身的业务量很小,但其邻居节点发送业务量很大,将严重降低该节点的发送机会,使该节点处于“广义上的拥塞”(若无特殊说明,后文中所提“拥塞”都指广义上的拥塞)。6)没有考虑各链路的通信质量,全网基于同一速率进行通信,导致好的链路其通信性能未能充分发挥,差的链路其通信性能未能及时改善。

由于传输业务的多样性,在选择路由时,有时仅需要考虑跳数,有时则需要综合考虑跳数、链路质量、拥塞三因素。在设计 QoS 选路算法时,链路质量的检测与分析是关键所在。为此,本文在下面首先分析了现有链路质量的检测与分析方法的不足之处,紧接着提出了基于链路质量、跳数、拥塞三要素的选路算法,并通过仿真手段对其进行了验证。

3 现有链路质量的检测与分析方法

目前,有许多方法用于检测与分析移动自组网中的链路质量,主要方法有^[5]:

1) 基于探测报文

该方法通过在网络中广播发送固定的短报文来分析信道质量,如借助短报文 RTS、CTS 的发送可分析当前信道的质量。由于短报文的收发需要占用一定的带宽及消耗一定的能量,因而基于发送短报文主动探测链路质量的方法不适合于带宽与能量受限的移动分组网。除此,通过短报文所探测的

杨仁平 博士,主要研究方向:移动自组网、抗干扰通信;谢胜利 博士生导师,教授,主要研究方向:移动通信、自适应信号处理;黄耕文 博士,主要研究方向:移动自组网、抗干扰通信。

链路质量并不能真正反映较长数据报文发送时的链路质量。

2) 基于信号强度

该方法通过在收方监测所接收的信号强度来分析收发节点间的链路质量^[6]。但是,当受到干扰时,极可能把干扰信号误认为有用信号,从而大大影响链路质量的准确性。除此,基于信号强度的路由选择算法极可能导致选中最大跳数的路由进行数据发送。由于没有考虑节点的负载情况,多个源节点可能选择相同的节点作为中间转发节点,从而造成大量报文在该节点积压。另外,如果基于信号强度门限进行选择路由,将可能导致某些节点不可达。

3) 基于信噪比(SNR)

该方法基于接收方的信噪比分析当前链路的质量。但是,由于信噪比难于计算且复杂度较高,故此链路质量分析方法应用于实际系统时可行性较差。

4) 结合调制解调、编解码

该方法通过接收方从调制解调、编解码所获取的附加信息判断跳频系统中每跳的干扰情况,进而判断所接收到的每个编码码块的干扰情况。根据多个码块的译码情况则可分析所接收到的数据报文的传输质量,从而可分析当前信道的通信质量。然而,该方法只考虑了链路质量的检测方法,并未考虑中间转发节点的负载情况,同样可能导致多个源节点选择相同的中间节点作为转发节点,从而导致网络拥塞。

由上面的分析可知,在移动自组网中,如果仅仅考虑链路质量,将可能导致最长路由或导致某节点严重拥塞,因此在考虑链路通信质量的同时,必须同时考虑跳数、拥塞对整个网络性能的影响。

4 支持链路质量、跳数与拥塞的 QoS 选路算法

在移动分组网中,QoS 选路算法的设计目标是:所选路由内的各段链路通信质量好,各转发节点的拥塞低、所经过的跳数尽可能少,同时各链路的传输速率可根据各链路的通信质量自适应调整,以使整个网络的性能(成功率、吞吐量、传输延迟)达到最佳^[7]。

通常,在通信质量较差的链路上传输数据,将导致重传次数增加,进而导致拥塞等。除此,导致拥塞的因素还包括多个节点间的高强度竞争。解决这些问题需要全面的考虑,高性能路由选择算法既要兼顾选择高质量的链路,又要避免全网的路由过于向部分节点集中,导致这些节点负荷过大,同时要尽可能减少因路由选择算法引起的控制分组数量。为此,在实现 QoS 选路算法时,基于跨层设计,利用帧的发送成功率作为信道质量与节点拥塞情况的探测与分析,同时让分组所经过的跳数也尽可能地少。

当信道接入协议采用 RTS/CTS 握手机制时,对于单播数据分组,其数据发送过程为 RTS-CTS-DATA-ACK。在数据发送之前,先采用 RTS、CTS 握手机制抢占信道,如果发送 RTS 后没有收到 CTS,则在规定的重传次数内重传 RTS,直到收到既定目标节点所响应的 CTS。对于数据分组 DATA,只有在收到来自既定目标节点所响应的 ACK(隐式或显式)之后,才认为发送成功,否则进行重传,直到重传次数超过规定的最大次数。因此,成功发送一个分组所需的重传次数包括 DATA 重传次数和 RTS 重传次数,前者能反映链路质量,后者能体现节点的拥塞情况。基于 RTS/CTS 握手机制的数据传输过程如下面图 1 所示。

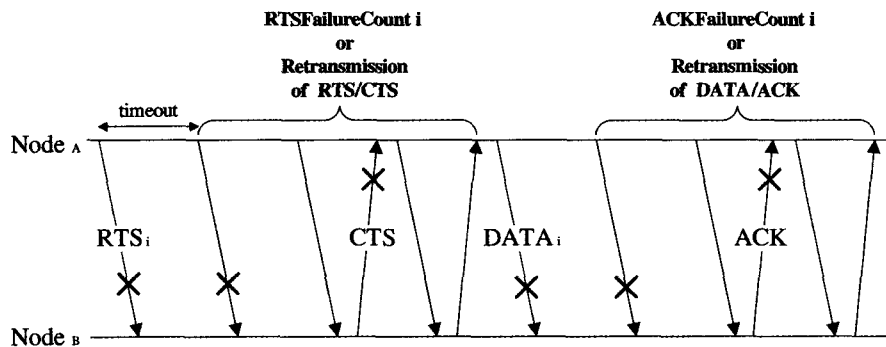


图 1 基于 RTS/CTS 握手机制的数据传输过程

在图 1 中,假设节点 A 成功地向节点 B 发送第 i 个数据包时的总重传次数可表示为

$$Failure_{AB}(i) = ACKFailureCount_{AB}(i) + RTSFailureCount_{AB}(i)$$

则节点 A 向节点 B 发送数据包的成功率 FTE 为

$$(FTE)_{AB}(i) = 1 - \frac{Failure_{AB}(i)}{Failure_{AB}(i) + 2} \quad (1)$$

注意,对于 $Failure_{AB}(i)$ 的计算,当 RTS 或 DATA 的重传次数达到既定的最大重传次数时, $Failure_{AB}(i)$ 的值为 0。

对于没有使用 RTS、CTS 作为握手协议的网络,重传次数仅包含数据报文的重新。因此,节点 A 向节点 B 发送数据包的成功率为

$$(FTE)_{AB}(i) = 1 - \frac{Failure_{AB}(i)}{Failure_{AB}(i) + 1} \quad (2)$$

对于以 CSMA/CA 作为信道接入协议的网络,可以对尝试抢占信道的次数进行计数,则同样可以使用式(1)分析链路

质量。

为了防止路由选择出现反复波动,设置路由表的更新周期为 T 。在周期 T 内,假设节点 A 向节点 B 发送了 N 个数据包,则其成功率平均为:

$$FTE_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^N FTE_{AB}(i)}{N} \quad (3)$$

如果从源节点 A 到目的节点 D 的路由是多跳链路组成的,则从节点 A 发向节点 D 的报文成功率为所经过的链路发送成功率进行累乘,表示为

$$FTE_{AB} = \prod_A^D FTE_{XY} \quad (4)$$

为了避免选择过长的路由,引入跳数作为第二个参数,度量值 $HopMetric$ 可表示为

$$HopMetric_{AE} = \frac{NodeNum - hopCount_{AE}}{NodeNum} \quad (5)$$

在上面的式(5)中, $NodeNum$ 为网络的节点数, hop

$Count_{AE}$ 是该路由的跳数。因此,为基于最佳链路质量、跳数、拥塞三因素选择最优路由,则把基于传输成功率的链路质量评估、拥塞评估与基于跳数的路由评估相结合,从源节点 A 到目的节点 D 的高性能路由选择算法采用两者的综合度量 $RoutMetric_{AD}$,且有

$$RoutMetric_{AD} = HopMetric_{AD} \times FTE_{AD} \quad (6)$$

使用式(6)所计算的度量值作为高性能路由选择算法的判断条件,具有以下优点:

- 1) 同时考虑了链路质量、拥塞、跳数作为路由的衡量指标;
- 2) 尽可能地选择重传次数最少的路由,增加整个网络系统的吞吐量,减少重传导致的延时;
- 3) 防止选择拥塞严重的路由;
- 4) 虽然不一定选择最短路由,但是通过 $HopMetric$ 可以有效抑制多跳路由,并不会产生过长路由;
- 5) FTE 相等时,选择最短路由,跳数相等时,选择最少重传路由;
- 6) 出现路由失效时,能较快检测到 FTE 值的下降,可及时选择别的链路作为路由,具有较强的鲁棒性。

5 仿真环境的构建及仿真结果分析

为了有效评估本文的 QoS 选路算法,构建了仿真环境对其性能进行定量评估。仿真工具为 NS2,仿真环境包括在 $30km \times 30km$ 区域内选择 16、32 个网络节点。为简单起见,假定网内所有节点的发射功率相同,最初均匀分布在区域,每个节点的功率范围是 5km,移动模型选用随机指路模型 (random waypoint model),移动速率分别为 1m/s、5m/s,暂停间隔为 30s 或 60s。为了对比分析所设计算法的性能,选取了基于最小跳数的动态源路由算法 DSR 作为对比协议。图 2 为路由跳数对比情况,由图可知,QoS 选路算法所选路由的跳数略高于最小跳数路由算法。图 3 为不同发送速率下的平均吞吐量,基于 QoS 选路算法所能提供的平均吞吐量原高于最小跳数路由算法所能提供的平均吞吐量。

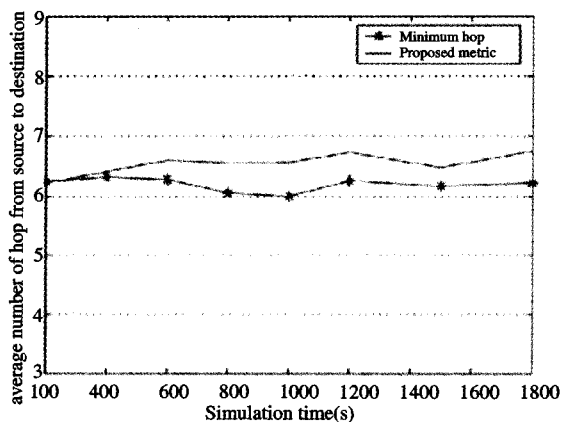


图 2 路由跳数对比

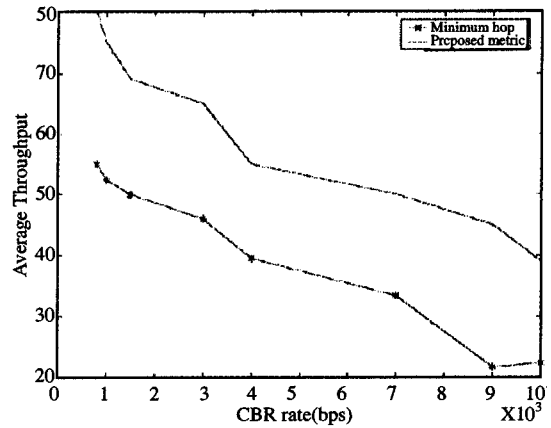


图 3 网络吞吐量对比

结束语 在设计开发 QoS 选路算法时,如何根据业务类型为路由选择提供最佳路由度量对网络的整体性能起着重要影响。尽管最短路由在静态网络中得到广泛应用,然而由于移动自组网的高移动性,将会导致网络拓扑剧烈变化,频繁的路由失效将导致大量控制报文在网内发送,从而大大降低了网络的性能。因此,基于最小跳数作为选择路由的唯一依据并不能为支持 QoS 需求的自组网选出最佳路由。本文结合实际科研项目,提出了基于链路质量、跳数、拥塞的 QoS 选路算法,仅期望为各位同行提供一点参考性的建议。作为进一步的科研工作,本人将在 QoS 接入协议^[8]、自适应调速及多速率自适应方面进行研究^[9]。

参考文献

- 1 郑锋,李腊元,高晔方,等. 自组网 QoS 路由协议综述. 计算机应用,2006,26(2):270~275
- 2 雷涛,郝福珍,鄢楚平. 一种改进的无线自组网 QoS 路由协议——EQAODV. 计算机应用,2006,26(6):1285~1288
- 3 Couto D S J, et al. Performance of multihop wireless networks; Shortest path is not enough. In: Proceeding of First Workshop on Hot Topics in Networking, October 2002
- 4 Wan C-Y, Eisenman S B, Campbell A T. CODA: congestion detection and avoidance in sensor networks. In: Proc. of SenSys, 2003
- 5 Couto D S J, Aguayo D, Bicket J, et al. High throughput path metric for multi-hop wireless routing. In: MOBICOM, Sep. 2003
- 6 Dube R, Rais C D, Wang K, et al. Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks. IEEE Personal Communications, February 1997
- 7 任雄伟,王宏远. 自组网中路由度量的研究. 计算机工程与应用, 2005,5:165~168
- 8 李云,赵为粮,隆克平,等. 无线 Ad Hoc 网络支持 QoS 的研究进展与展望. 软件学报,2004,15(12):1885~1893
- 9 邹仕洪,程时端. 一种多速率移动自组网中的拓扑控制算法. 软件学报,2004,15(12):1869~1876