

无线 Mesh 网络中的多约束 QoS 路由算法

丁璐, 刘峰, 林琼洁

(南京邮电大学 图像处理与图像通信江苏省重点实验室, 江苏 南京 210003)

摘要:无线 Mesh 网络中多媒体数据的实时传输应用日益广泛, 这些应用对网络的带宽、时延和抖动有着较高要求, 需要无线 Mesh 网络提供一定的 QoS 保障机制。QoS 路由是实现 QoS 保障的关键环节。在路由协议 AODV 的基础上, 提出了一种具有多个 QoS 参数约束的路由算法(MQ-AODV), 通过改进路由选择函数及扩展路由维护机制, 为多媒体传输应用业务提供 QoS 保障。在路由发现的过程中, MQ-AODV 引入了一个归一化的路由选择函数, 简化了多约束路由算法中的 NP-complete 问题。在路由维护方面, 提出了一种路由预先修复机制, 在数据流传输过程中保障路径质量。仿真结果表明, MQ-AODV 算法比 AODV 更好地减少了数据流传输的延迟和丢包, 有效提高了网络的吞吐量。

关键词:无线 Mesh 网络; 多约束; 路由协议; QoS

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)05-0083-04

A Multi-Constrained QoS Routing Protocol in Wireless Mesh Networks

DING Lu, LIU Feng, LIN Qiong-jie

(Image Processing and Image Communication Laboratory of Jiangsu Province,
Nanjing Univ. of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Wireless Mesh Networks(WMN) are increasingly used for real time transport of multimedia data. Real-time applications have high requirements on bandwidth, delay, jitter etc, which requires WMN to support QoS. QoS routing is crucial in providing QoS guarantee. A multi-constrained QoS Routing Protocol(MQ-AODV) is proposed in this paper, which providing QoS for different applications in WMN. The new protocol expands both the routing discovery and routing repair mechanism of the AODV protocol. In the process of route discovery, MQ-AODV introduces a unified routing select function, simplifying the NP-complete problem in multi-constrained routing algorithm. In the aspect of route maintenance, presents a pre-repair scheme to protect the quality of the path in the process of data flow transmission. The simulation results show that, compared to the traditional AODV protocol, the MQ-AODV protocol can better fulfill the delay and PER requirements of data flow, at the same time increases network throughput.

Key words: wireless mesh network; multi-constrained; routing protocol; QoS

0 引言

随着无线 Mesh 网络传输多媒体业务需求的不断增加, 如何在网络中提供不同的 QoS 保障是其面临的一个重要问题, 而 QoS 路由算法则是其中的核心技术。多媒体业务对时延、带宽、丢包率等 QoS 参数均较敏感, 路由协议设计需综合考虑多种 QoS 参数约束^[1-3]。由于无线网络的许多 QoS 参数如丢包率、吞吐量、传输时延及链路干扰等不具独立性^[4], 相互间存在联合或对立关系, 部分参数间甚至互相冲突, 因此

多 QoS 约束的路由问题是一个 NP 难解问题^[5]。

目前, 已有许多文献对无线 Mesh 网络中的多约束 QoS 路由进行了研究。主要的方法有以下几种:

(1) 选取主约束参数, 从多个参数中选择一个参数作为路由选择首要依据。文献[6]中 Y. Zhang 等提出了一种 QoS 路由算法, 以带宽为主要约束参数, 同时考虑了数据流的时延约束;

(2) 结合节点控制策略, 使多个参数具有相关性^[7];

(3) 参数定界, 文献[8]中通过构造函数, 将其中无界的实值参数映射为有界的整数型参数, 以解决同时对多个参数提出要求时的 NP-complete 问题。

当前大多数算法都不能使时间复杂度和性能同时达到最优^[9]。另外, 当前的多 QoS 约束路由研究只关注了路由协议中的路由发现方面, 即如何找到一条满

收稿日期: 2010-10-15; 修回日期: 2011-01-12

基金项目: 江苏省高校重大基础研究项目(07KJA51006)

作者简介: 丁璐(1987-), 女, 河南南阳人, 硕士研究生, 研究方向为无线 Mesh 网络中的 QoS 保障技术; 刘峰, 教授, 主要从事图像处理与多媒体通信方面的教学和科研工作。

足多个 QoS 条件约束的路径,而没有同时考虑路由协议中的路由维护问题。

文中在 AODV^[10] 协议基础上提出的 MQ-AODV 路由算法,从满足不同应用 QoS 需求的角度出发,在一定程度上解决了无线 Mesh 网络中的路由选择问题。通过计算每条路径对于数据流 QoS 需求的“不满足度”^[11],将多个 QoS 参数约束和目标简化为单个约束和目标,保证找到的路径满足数据流的 QoS 需求。在路由维护的过程中,本方法引入了一种路由预先修复机制,避免了等到路径断裂才修复路径造成的传输时延。

1 多约束 QoS 路由选择函数

假设一个无线 Mesh 网络由 n_r 个 Mesh 路由器 (WMR) 和 n_g 个网关节点组成。 n_r 个路由器可表示为 $V_r = \{v_r \mid r = 1, 2, \dots, n_r\}$, n_g 个网关节点表示为 $V_g = \{v_g \mid g = 1, 2, \dots, n_g\}$ 。每个终端节点独立地产生数据流,每个数据流 q 要满足特定的 QoS 需求,包括端到端时延需求 D_q^r ,带宽需求 B_q^r ,丢包率需求 E_q^r 。假设一条路径的源节点为一个 WMR,以 s 表示,目的节点是网关节点,以 d 表示,则从 s 到 d 的这条路径表示为 Ω_{sd} 。路径 Ω_{sd} 是由一条条节点 i 到节点 j 的链路组成,每条链路表示可表示为 (v_i, v_j) ,其中 $v_i, v_j \in V_r \cup V_g$ 。假设从节点 s 到节点 d 的路径有 m 条,则其中的任一条路径可表示为:

$$\Omega_{sd}^k = \{(v_i, v_j) \mid \forall v_i, v_j \in V_r \cup V_g, k = 1, 2, \dots, m\} \quad (1)$$

需要找到的路径是满足数据流多个 QoS 需求的路径。由于 QoS 路由问题中同时满足多个限制参数 (即带宽、时延、丢包率等) 是 NP 难解的。为了解决这个难题,进一步将模型简化,提出一个新的路由选择函数。在此,先引入一个概念,“不满足度”,用 λ 表示。“不满足度”用来衡量每条路径满足当前 QoS 数据流需求的程度。定义每种 QoS 需求的“不满足度”如下。

(1) 端到端时延的不满足度 λ_k^D 。

对于一条从源节点 s 到目的节点 d 的路径 Ω_{sd}^k 来说,端到端时延的不满意度定义为:实际传输时延 $\sum_{(i,j) \in \Omega_{sd}^k} D_{ij}$ 与 QoS 数据流需求的时延 D_q^r 的比值,公式表示为:

$$\lambda_k^D(q) = \frac{\sum_{(i,j) \in \Omega_{sd}^k} D_{ij}}{(1 - \beta_D) D_q^r} \quad (2)$$

(2) 带宽的不满足度。

对于路径 Ω_{sd}^k 来说,带宽的不满意度定义为:QoS 数据流需求的带宽与路径 Ω_{sd}^k 中所有链路的最小带宽的比值,公式表示为:

$$\lambda_k^B(q) = \frac{(1 + \beta_T) B_q^r}{\min_{(i,j) \in \Omega_{sd}^k} B_{ij}^r} \quad (3)$$

(3) 丢包率的不满足度。

对于路径 Ω_{sd}^k ,丢包率的不满意度定义为:整个路径上的丢包率与 QoS 数据流要求的丢包率 E_q^r 的比值,公式表示为:

$$\lambda_k^E(q) = \frac{1 - \prod_{(i,j) \in \Omega_{sd}^k} (1 - E_{ij}^r)}{(1 - \beta_E) E_q^r} \quad (4)$$

式(2)、(3)、(4)中的 β_D 、 β_T 、 β_E 分别代表时延、带宽、丢包率的资源预留因子。资源预留是为了保证数据流的 QoS 需求得到满足,防止由于对资源测量评估不准确或网络的时变性及隐藏节点等问题对 QoS 保障产生影响。

只要一条路径 Ω_{sd}^k 的不满足度符合 $(\lambda_k^D(q), \lambda_k^B(q), \lambda_k^E(q)) \leq 1$,说明这条路径满足数据流 q 的 QoS 需求。考虑到特定的应用层数据流对于某些参数不敏感 (比如说 VoIP 应用对于时延敏感,但对丢包不敏感),这里用敏感系数 I_p ,表示 QoS 数据流对于时延、带宽、丢包率需求是否敏感。敏感系数的取值有以下两种:

$$I_p = \begin{cases} 1 & \text{该 QoS 数据流对 } p \text{ 敏感} \\ 0 & \text{该 QoS 数据流对 } p \text{ 不敏感} \end{cases}$$

在节点 s 到节点 t 的 k 条路径中,每条路径 Ω_{st}^k 都可以计算出一个值 U_k ,用来表示该路径对于数据流 q 的 QoS 需求的最大不满足度。公式表示为:

$$U_k = \max[I_D \lambda_k^D(q), I_B \lambda_k^B(q), I_E \lambda_k^E(q)] \quad (5)$$

选择 U_k 最小的路径作为最优路由,即选择不满足度最小的那条路径作为最优路由。公式表示如下:

$$S = \min_{\forall \Omega_{st}^k \in \Omega_{st}} (U_k) \quad (6)$$

上述计算“不满足度”的过程中,数据包的时延是指从源节点发送数据包到目的节点收到数据包的时间间隔。链路带宽的计算运用了文献[12]中介绍的“监听机制”,即利用信道空闲时间估计信道带宽的方法。PER 的计算是基于 AODV 协议的“HELLO”包广播机制,根据一段固定时间内实际收到的 HELLO 包的个数与期望收到的个数的比例得到。

2 多约束 QoS 路由的预先修复机制

AODV 路由协议的路由维护机制定期发送 Hello 包检测链路断裂、本地修复及向源节点发送 RERR 报文以通知链路断裂。但是 AODV 协议对于路径状态的认知只存在两种:链路存在和链路不存在。也就是说,AODV 协议只有在链路断裂无法实现节点间通信时才会实施路由修复措施。这显然不满足 QoS 数据流对路径的需求。

比如,在 t_1 时刻,源节点 S 要向目的节点 D 传输具有 QoS 约束的数据流,它发起 QoS 路由请求,找到了一条满足约束条件的路径,开始传输数据流。随着网络环境的变化以及网络中通信量的变化,在 t_2 时刻,这条路径仍然存在,但是已经不能满足数据流的 QoS 约束,如时延大大超过需求时延等。另外,如果只依靠 AODV 的路由维护机制,等发现链路断裂时才重新寻找路径,这样会给 QoS 数据流的传输带来很大的时延。

在 MQ-AODV 中提出了一种 QoS 路由预先修复机制,在每条数据流的传输过程中,目的节点会监测数据包的端到端时延,一旦发现端到端时延超过某个门限值,它会发送预警消息给源节点。预警消息表明这条路径有可能将不能满足数据流的 QoS 需求。接到预警消息后,源节点会重新发起路由请求过程,寻找性能更好的路径。当找到更好的路径时,数据流的传输任务转移到新路径上去,这样避免了原来路径不能满足数据流 QoS 需求造成的时延等损失,也避免了等到路径断裂才寻找新路径带来的时延。

QoS 路由预先修复的实现有两个关键:

1) 首先要确定端到端时延达到什么值时,目的节点发送预警消息,即端到端时延的阈值;

2) 检测路径中是否存在瓶颈节点,确定从瓶颈节点发起路由请求过程,或从源节点发起路由请求过程。

2.1 端到端时延阈值的确定

假设 QoS 数据流允许的最大端到端时延为 D_q ,目的节点测得的实际端到端时延为 D_{act} 。当 $D_{act} > \theta * D_q$ 时,目的节点发送预警消息,这里 $\theta * D_q$ 是门限值。选择合适的 θ ($0 < \theta \leq 1$) 值是很重要的。如果 θ 值过小,目的节点会过早发出不必要的预警消息,而且在时延需求严格的情况下,很难找到符合要求的更好的路径,导致重新发起的路由请求过程失败;如果 θ 值过大,则预警消息可能会发送的太晚,在新的路径找到之前就已经有数据包的实际时延不满足 QoS 需求了。在文中的仿真实验中尝试了不同的 θ 值,基于各种 θ 值的表现,我们选择 θ 为 0.85 以求最佳效果。

2.2 寻找瓶颈节点及重路由

1) 当 $D_{act} > \theta * D_q$ 时,目的节点检查路径中每段链路的时延。如果每段链路的时延相差不多(与 D_{act}/h 相比, D_{act} 为路径上的实际时延, h 为路径总跳数),说明路径中无瓶颈节点,则目的节点向源节点发送预警消息,源节点收到预警消息后,重新发起路由请求。

2) 当 $D_{act} > \theta * D$ 时,若目的节点检测到某段链路的时延大于 $3 * D_{ac}/h$,则认为这段链路为整条路径的瓶颈,称这条链路的上游节点为瓶颈节点。此时目的节点应向瓶颈节点发送预警消息,由瓶颈节点发起路

由请求,寻找到目的节点的 QoS 路由。

在上面的源节点或瓶颈节点寻找新路由的过程中,数据流的传输仍采用原来的路由,因为原来的路由并没有违背数据流的 QoS 需求。寻找新的路由是为了避免出现违背数据流 QoS 需求的情况。区分上面两种情况,是为了在路径中存在瓶颈节点时,只从瓶颈节点开始发起路由请求,以提高寻找新路径的效率。

3 仿真结果及分析

通过网络模拟软件 NS2 进行仿真来评价 MQ-AODV 的性能,比较的对象是 AODV。仿真场景采用 7×7 的拓扑结构,随机分布在 1000×1000 大小的区域内。使用 TwoRayGround 路径损耗模型,无线电通信距离为 250m,干扰范围为 500m。MAC 层协议采用 IEEE802.11,基本数据带宽为 2Mbits, CBR 数据包大小为 512 字节,仿真时间为 100 秒。本算法中提及的一些参数设置情况:资源预留因子 $\beta_D, \beta_E, \beta_R$ 统一设为 0.2;端到端延迟阈值中的 θ 值设为 0.85。

图 1 至图 3 反映了随着仿真中恒定比特率(CBR)数据包发送速率的增加,网络平均吞吐量、起始节点到目的节点平均延迟、网络丢包率的变化。

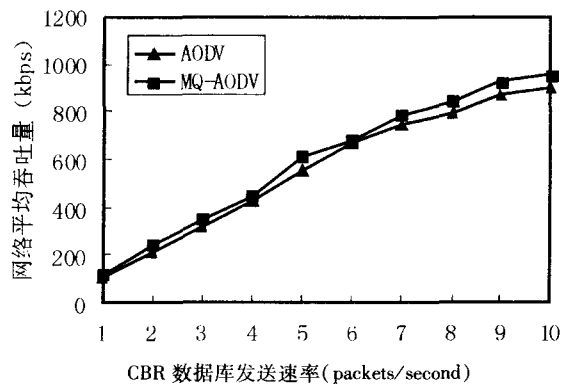


图1 网络的平均吞吐量随 CBR 分组发送速率变化图

图1为仿真实验中网络平均吞吐量随 CBR 数据包发送速率变化图,如图1所示,横坐标为 CBR 数据包发送速率 (packets/second);纵坐标为网络平均吞吐量(kbps)。相比 AODV 协议,本 QoS 路由算法的网络平均吞吐量提高了 10% 左右,这是由于本算法在路由发现的过程中考虑到了链路带宽,能够选择那些带宽较大的路径,充分的利用了网络带宽资源。

图2为仿真实验中满足 D_q 的数据包占接收到的总数据包的比例随 CBR 数据包发送速率的变化图。横坐标为 CBR 数据包发送速率 (packets/second);纵坐标为满足 D_q 的数据包占接收到的总数据包的比例 (%)。图2反映出,使用本 QoS 路由算法后,满足数据流延迟需求 D_q 的数据包比例增加了 25% 左右,这是

由于本算法选择路由时考虑了链路的时延性能,并在路由维护过程中及时修复时延较大的路径,避免了路径断裂造成的时延。

图3为仿真实验中网络中的分组到达率随 CBR 数据包发送速率的变化图,如图3所示,横坐标为 CBR 数据包发送速率(packets/second);纵坐标为网络中数据的分组到达率(%)。图3反映出,本 QoS 路由算法与现有 AODV 协议相比,网络的分组到达率提高了15%左右。

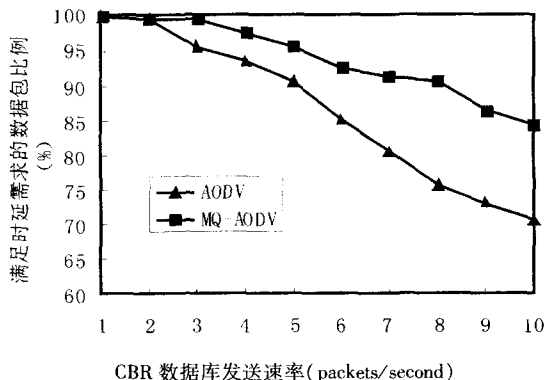


图2 满足时延需求的数据包比例随 CBR 分组发送速率变化图

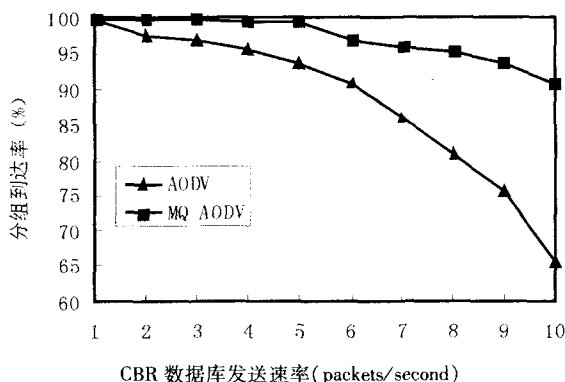


图3 分组到达率随 CBR 分组发送速率变化图

4 结束语

文中在 AODV 路由协议的基础上,提出一种新的多约束 QoS 路由算法(MQ-AODV),在路由发现和路由维护两个方面做了改进。通过引入归一化的路由选择函数,把多个 QoS 参数约束和目标简化为单个约束和目标,简化了计算的复杂度。在路由维护的过程中,提出了一种预先重路由机制,更好地保障了数据流的

QoS 需求。仿真结果表明,MQ-AODV 路由算法能够很好地减少数据流的时延、丢包率,同时提高了网络的吞吐量。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Wang X. A survey on Wireless Mesh Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(9): 23-30.
- [2] 刘峰,张庆,夏宏飞. 无线 Mesh 网络联合信道分配和路由协议研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(8): 29-32.
- [3] 姜永,郑明春,李国强. IEEE802.16 中的无线 Mesh 网络研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(5): 234-237.
- [4] Costa L, Fdida S, Duarte O. Developing scalable protocols for three-metric QoS routing[J]. Computer Networks, 2002, 39(6): 713-727.
- [5] Wang Z, Crowcroft J. Quality of service routing for supporting multimedia application[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1996, 14(7): 1228-1234.
- [6] Zhang Yihai, Gulliver T A. Quality of Service for Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing [J]. IEEE Int'l Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 2005, 3(22-24): 192-196.
- [7] Cao Jing, Wu Wei. A Multi-metric QoS Routing Method for Ad hoc Network [J]. Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, 2008, 7(12): 99-102.
- [8] Chen S, Nahrstedt K. On Finding Multi-Constrained Paths [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC '98). Atlanta: IEEE Communication Society, 1998: 874-879.
- [9] 钱奕,钱进. 改进的 QoS 多约束路由算法[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(8): 1931-1934.
- [10] Perkins C, Royer R. Ad-hoc on-demand distance vector routing [C]//Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA '99). New Orleans, La. IEEE Computer Society, 1999: 90-100.
- [11] Liu Chi Harlosd, Colombo S G, Gkelias A. An Efficient Cross-Layer Simulation Architecture for Mesh Networks [C]//12th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim). UK: IEEE Press, 2009: 491-496.
- [12] Shi L Q, Fapojuwo A, Viberg N, et al. Methods for calculating bandwidth, delay, and packet loss metrics in multi-hop IEEE802.11 ad hoc networks [C]// IEEE Vehicular Technology Conference. Marina Bay, Singapore: [s. n.], 2008: 103-107.

会议消息(一)

“第22届全国计算机新科技与计算机教育学术会议”于2011年8月下旬在长春市举行。征文截止日期:2011年5月30日。详见网站 <http://www.tceic.org>。

联系电话:(027)88024369、13207179047;联系人:张凤祥、王春枝、王虹。