

应用于 MANET 实时流媒体传输的自适应速率调节机制

魏姝杰¹ 白光伟¹ 曹磊^{1,2} 沈航¹ 王华¹

(南京工业大学计算机科学与技术系 南京 210009)¹

(南京大学软件新技术国家重点实验室 南京 210093)²

摘 要 近年来,通过无线移动网络传输实时流媒体数据一直是很热门的研究课题。然而,这种无线环境下的实时流媒体传输面临着严峻的挑战,原因在于多媒体应用严格的服务质量要求和无线移动网络固有的动态特性。提出一种应用于无线移动 ad hoc 网络实时流媒体传输的速率调节机制(ARAM)。该机制采取跨层设计,根据 GM(1,1)模型预测得到带宽信息,考察队列情况来自适应地调节节点的发送速率。通过 NS2 设置典型的无线网络场景进行仿真,以来获取无线流媒体传输的数据。对 ARAM 性能的数学分析表明,该机制有效地改进了无线移动 ad hoc 网络中流媒体传输的可靠性和无线实时通信的服务质量。

关键词 自适应速率调节,无线流媒体传输性能,跨层设计

Adaptive Rate Adjustment Mechanism for Real-time Media Streaming over MANETs

WEI Shu-jie¹ BAI Guang-wei¹ CAO Lei^{1,2} SHEN Hang¹ WANG Hua¹

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)¹

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)²

Abstract Real-time media streaming over wireless mobile ad hoc networks (MANETs) has been an active area of research in the last few years. However, real-time multimedia delivery in such wireless environments identifies significant challenges due to both the strict QoS requirement of multimedia applications and the dynamic characteristics of wireless mobile networks. This paper proposed an adaptive rate adjustment mechanism for real-time media streaming over MANETs, i. e. ARAM. This mechanism, based on the cross-layer design, predicts the network condition according to the GM (1,1) model. On the other hand, the transmission rate is adaptively adjusted according to the predicted bandwidth and queue length. In order to evaluate the ARAM performance, we generated a set of video streams using NS2 simulation for typical network scenarios. Our statistical and mathematical analysis demonstrated that the ARAM improves the reliability of real-time multimedia delivery significantly, and provides soft QoS guarantees as well.

Keywords Adaptive rate adjustment, Real-time streaming performance, Cross-layer design

1 引言

近年来,无线通信技术的迅速发展引起了流媒体在无线移动 ad hoc 网络中传输的研究热潮。随着多媒体通信在军事和商业领域的应用,如何找到合理的方式来有效地支持流媒体在无线移动 ad hoc 网络中传输的 QoS 显得越来越重要^[1]。实时流媒体传输不同于一般传统的数据通信,它对网络带宽和端到端延迟等都有很高的要求。流媒体业务通常需要连续且平稳的高带宽,同时对于延迟和抖动都有很严格的限制。但是由于无线移动 ad hoc 网络(MANET; mobile ad hoc network)固有的特性,如节点移动、低带宽、信道误码率较高等,使得实时流媒体的传输面临很多难题。目前对无线流媒体传输的研究主要集中在 MAC 层的区分服务^[2]、QoS

约束的路由协议^[3]和自适应的包控制机制^[4]等方面,对于实时流媒体传输的自适应速率调节方面的研究还很匮乏。

本文首先深入研究实时流媒体的传输特性,分析最近几年来针对无线流媒体传输的相关研究工作,在此基础上提出一种应用于无线移动 ad hoc 网络实时流媒体传输的自适应速率调节机制(ARAM),以提供有效的无线流媒体传输的 QoS 保证。本机制基于跨层设计思想,利用 GM(1,1)模型预测当前网络的链路层带宽,然后根据实验获得的带宽信息和预测带宽考察网络层的节点队列,从而自适应调节应用层节点的发送速率。本机制的性能分析证明,其显著提高了无线流媒体传输的可靠性与实时性。

本文第2节深入分析研究背景和相关工作;第3节提出一种应用于无线 ad hoc 网络实时流媒体传输的自适应速率

到稿日期:2009-07-14 返修日期:2009-09-24 本文受国家自然科学基金(60673185),教育部留学回国人员科研启动基金(教外司留[2007]1108号),2006年度江苏省“青蓝工程”中青年学术带头人培养对象项目(苏教师[2007]2号)资助。

魏姝杰(1984—),女,硕士生,主要研究领域为无线移动 ad hoc 网络性能分析、QoS 保证、跨层设计等, E-mail: wsj0421@163.com;白光伟(1961—),男,博士后,教授,CCF 会员,主要研究领域为无线多媒体网络、无线 ad hoc 网络、QoS 保证、网络体系结构和协议、网络系统性能分析、评价等;曹磊(1980—),男,博士生,主要研究领域为 ad hoc 网络、无线多媒体 QoS 等;沈航(1984—),男,硕士生,主要研究领域为多媒体网络、无线移动 ad hoc 网络路由协议;王华(1985—),男,硕士生,主要研究领域为无线网络、QoS 保证等。

调节机制(ARAM);第4节描述 NS-2 仿真实验并结合相关理论模型对该改进机制进行性能分析和评价;最后总结全文。

2 研究背景和相关研究工作

在提出和阐述 ARAM 之前,需要了解本文的研究背景和相关工作。正是基于以下的研究背景,我们借鉴诸多学者在保证无线流媒体传输的 QoS 所做的相关研究工作的思想,提出适应无线流媒体传输的自适应速率调节机制。本节首先介绍实时流媒体传输的特征及支持其传输的主要路由协议;其次简要说明队列管理理论;最后详细分析近年来在无线流媒体领域的相关研究工作。

2.1 实时流媒体传输

目前通过无线网络的多媒体信息主要有两种方式:一种就是传统的“下载-回放”;另一种方式是流式传输。采用流式传输的方式通过网络传输多媒体就是流媒体。采用流式传输方式,用户不必等到整个文件全部下载完毕,只需经过几秒或数十秒的启动延时就可以播放多媒体文件。用户播放器软件播放多媒体文件的同时,文件的剩余部分可从媒体服务器继续下载。故流式传输不仅大大缩减了系统对用户的响应时间,而且用户不需要设置太大的缓存区。支持实时流媒体的协议主要包括 RTP(Real-time Transport Protocol),即实时传输协议;RTCP(Real-time Transport Control Protocol),即实时传输控制协议;RTSP(Real Time Streaming Protocol),即实时流协议和 RSVP(Resource Reserved Protocol),即资源预留协议。

2.2 队列管理

路由节点会在队列溢出前采取丢包策略来避免拥塞的发生,主动队列管理(AQM, Active Queue Management)就是一个这样的队列管理机制。由互联网工程任务组(Internet Engineering Task Force, IETF)提出的一种主动队列管理形式是随机早期检测算法(RED, Random Early Detection),此算法的核心是保持低的平均缓存容量,当平均缓存即将溢出时 RED 以一定概率随机丢弃到达包。近年来,人们对 RED 算法进行了深入的研究和改进。目前的主动队列管理研究无论是在有线网络中还是在无线网络中,都是基于 TCP 拥塞进行的。Hollot 等建立了 TCP 的 AQM 系统方框图^[5],如图 1 所示。

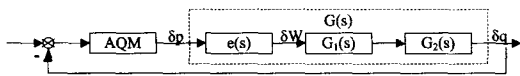


图 1 TCP 的 AQM 系统图

在这里, AQM 根据系统的输入队列长度 q 决定输入端的丢失概率 p 来获得队列期望值^[6]。传递函数 $G(s) = e(s)G_1(s)G_2(s)$, 其中:

$$G_1(s) = \frac{R_0 C^2 / 2N^2}{s + 2N/R_0^2 C} \quad (1)$$

$$G_2(s) = \frac{N/R_0}{s + 1/R_0} \quad (2)$$

2.3 灰色系统和 GM(1,1)模型

灰色系统理论(Gray System Theory)是以灰色系统为研究对象,通过研究灰色系统的运动规律及其特征来寻找出利用、管理和控制灰色系统的有效方法。模型的建立将自然中已知的信息视为白色系统,未知的信息视为黑色系统,一个既

有已知信息又有未知信息的系统叫做灰色系统(Gray System)^[14],灰色预测模型最典型的是 GM(1,1)模型。因为 GM(1,1)模型具有优秀的处理离散数据的能力,所以本文采用该模型进行链路层带宽预测。但因其预测过程呈现不容忽视的单调趋势,于是我们根据实际仿真情况进行分段预测,从而提高了该模型对本实验数据的预测精度。

2.4 相关研究工作

流媒体的实时性要求决定其一般采用 UDP 协议进行传输,因为 UDP 协议不需要确认和重传,而且流媒体可以容忍一定的丢包率,所以使用 UDP 传输流媒体可以在保证流媒体质量的前提下尽可能减小延迟并降低抖动。然而 UDP 不具有速率控制机制,这使得 UDP 流与传统的 TCP 流量很容易发生恶意竞争。因此,如何实现“友好协议”成为一个重要的研究方向。对无线流媒体传输的大多数研究基于 TCP 协议或将 TCP 协议进行改进,例如 TCP 友好协议和 TCP 友好速率控制机制。Dan Bergre 等人提出一种适用于无线 ad hoc 网络的 MAC 信道访问机制^[7],该机制消除了业务流自竞争(self-contention)的影响,并获得了较好的 TCP 友好性。机制包括两种方法:一种试图降低不同流(inter-flow)之间的自竞争影响,称为迅速交换(quick-exchange, QE);另一种被称为快速转发(fast-forward, FF),意在减弱同一流(intra-flow)的自竞争。该机制是 TCP 友好的,并提高了环状拓扑结构近 20% 的 TCP 有效吞吐量,但是对于随机的拓扑结构并没有太大的改进,也没有应用于典型的无线移动 ad hoc 网络。朱晓亮和杜旭等人综合无线错误丢包以及拥塞丢包事件的统计特征,基于丢包区分提出一种适用于流媒体传输的无线 TCP 友好速率控制机制(Wireless TCP-Friendly Rate Control, WTFRC)^[8]。该机制通过估计服务器或者代理服务器和用户接受端两部分的丢包区分、丢包率和往返传输时间进行发送速率的估计调整。仿真结果表明, WTFRC 能够获得较高的吞吐量和较平缓的发送速率,具备较好的 TCP 友好特征。但其研究没有扩展和深入到无线移动 ad hoc 网络,因此在目前以及将来的无线流媒体传输应用中存在很大的适用范围的限制。

同时也有一些研究针对无线移动 ad hoc 网络中的 UDP 协议进行改进。张力等人提出了一种基于滑动窗口的无线 ad hoc 网络可靠 UDP 传输协议(ARUDP)来确保网络中节点间通信数据的可靠传输^[9]。ARUDP 建立于 UDP 协议之上,有两个字节的协议头,围绕这两个字节, ARUDP 协议引入了滑动窗口机制来实现双方的可靠传输。通过确认和重传机制对 ad hoc 网络特点进行优化,从理论上分析了 ARUDP 的保证可靠通信的机制和运行时的效率优势。然而,文章只是针对 UDP 协议进行改进,没有考虑网络体系结构中的跨层协作思想,且实验只设置和分析了 CBR 业务基于 ARUDP 协议在无线移动 ad hoc 网络的传输性能,未进一步考虑其在无线多媒体传输应用方面的问题。陈怡秋等人着重研究基于 UDP 的无线 MPEG-4 码率自适应控制^[10],借鉴通信原理中的自适应滤波方法,提出并初步解决了码率收敛问题,实现了基于 RTP/UDP/IP 协议、自相似和多级分形无线网络模型的 MPEG-4 多媒体码率自适应控制,但没有考虑应用于无线移动 ad hoc 网络。王海涛等人提出了一种简单的流控制机制^[11]。该机制基于跨层设计,有效地利用了网络层路由反

馈、传输层协议、应用层速率自适应调节之间的关联性和跨层信息的交互,应用层可根据网络层反馈的路由信息来调节发送速率,进而将网络负载维持在合理水平,以最大化网络吞吐量。但是实验采用的数据源也只是 CBR 业务,另外,实验场景只采用了静态拓扑结构,且未考虑该机制是否适合针对无线流媒体传输。

还有一些相关研究着眼于采用跨层设计来提高无线流媒体的传输性能。E. Setton 等人探索了一种适用于无线网络的实时视频流传输的跨层设计^[12]。该框架在维持无线移动 ad hoc 网络传统的网络层结构的基础上定义了相邻层之间的重要参数的交互机制,通过调整数据包长度等来提高网络的链路吞吐量和接入能力。Q. Qu 等人提出一种针对视频流在无线移动 ad hoc 网络中传输的跨层 QoS 控制^[13]。该机制根据网络层中发送节点到目的节点经过的路由跳数和 MAC 层相邻节点的数量来决定有效的视频流传输速率。以上研究在某种程度上为流媒体传输提供了更好的 QoS 保证,然而其研究点都是基于路由和包机制等,而不是以底层带宽状态为基本切入点,更缺少对 UDP 进行本质改进以提高流媒体传输性能的认识。

因此,借鉴以上相关研究取得的成绩,深入分析其仍然存在的不足,我们提出一种适用于无线移动 ad hoc 网络实时流媒体传输的自适应速率调节机制 (ARAM),并将在以下章节详细阐述。

3 应用于无线流媒体传输的自适应速率调节机制

通过第 2 节对研究背景和相关工作的深入分析,我们知道现有的协议和机制都无法很好地满足无线流媒体传输的要求。因此,我们提出一种新颖的适应于无线流媒体传输的自适应速率调节机制。本小节着重阐述该机制,其算法的步骤描述如下:

Step 1 通过 GM(1,1)模型预测链路层带宽 B_p ;

Step 2 根据实验获得的带宽 B_i 和预测带宽 B_p 考察网络层的队列情况;

Step 3 综合 Step 2 获得的队列状态对应用层节点的发送速率进行相应的自适应调节。

3.1 GM(1,1)模型预测带宽

下面使用 GM(1,1)模型预测带宽,步骤如下:

(1)采用 NS2 无线网络实验仿真工具设置实验场景(实验设置参数表见 4.2 节),得到链路层带宽(B_i)。

(2)将 B_i 作为初始数据输入到 GM(1,1)模型中预测链路层带宽,从而得到预测带宽(B_p)。

参考曹玉珍等在文献[15]中建立的常规 GM(1,1)预测模型,其过程如下:

1)输入 n 维原始数据矢量 $B_i(0)$:

$$B_i^{(0)} = [B_i^{(0)}(1), B_i^{(0)}(2), \dots, B_i^{(0)}(n)] \quad (3)$$

式中, n 为观测值的个数。

2)计算 1-AGO 序列 $B_i^{(1)}(j)$:

$$B_i^{(1)}(j) = \sum_{m=1}^j B_i^{(0)}(m); j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中, m 为待预测值的个数。

3)构建系数矩阵 C 和向量 Y_N :

$$C = \begin{bmatrix} -(B_i^{(0)}(1) + B_i^{(0)}(2)/2) & 1 \\ \dots & \dots \\ -(B_i^{(0)}(n-1) + B_i^{(0)}(n)/2) & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$Y_N = [B_i^{(0)}(2), B_i^{(0)}(3), \dots, B_i^{(0)}(n)] \quad (6)$$

4)计算系数向量 a :

$$a \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = C^T * Y_N \quad (7)$$

5)建立预测模型:

$$B_p(m+1) = (B_i^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-am} + \frac{b}{a} \quad (8)$$

6)利用式(9)计算预测值:

$$B_p^0(m+1) = B_p(m+1) - B_i(m) \quad (9)$$

由此我们获得了相应于 B_i 的预测带宽值 B_p 。下面将根据这两种带宽值深入分析节点队列的状态,从而为自适应速率调节提供基础。

3.2 考察队列状态

首先假设一个长度为 n 位(bit)的多媒体报文被分成 m 个包传输,每个包的尺寸为 L_i ,再结合仿真实验获得的带宽(B)、端到端延迟(end-to-end delay)和包长(packet size)根据式(10)计算出此多媒体数据报文占用的节点队列长度值 Q_i ^[16],并计算其平均值 $mean_Q$ 。平均队列长度的计算遵循指数加权滑动平均算法(EWMA),见式(12)。

$$Q_i = \sum_{i=1}^m (EED * B_i * P_g(i) - L_i) \quad (10)$$

$$P_g = (1 - BER)^{L_i} \quad (11)$$

$$Q_{avg}(t) = \alpha Q_{avg}(t-1) + (1-\alpha)Q(t) \quad (12)$$

式中, EED 为端到端延迟, P_g 为数据包无差错传输的概率,且 $P_g = (1 - BER)^{L_i}$; BER 为信道误码率,这里考虑理想信道,设置 BER 为 10^{-5} ; α 为调节因子,用来调整已估计值和当前值对当前估计值的影响权重,其取值范围为 $0 \sim 1$,以降低网络突发对估计结果的干扰。

其次根据式(13)计算出预测情况下多媒体数据报文占用节点队列长度的值,用 Q_p 表示,并计算其平均值 $mean_Q_p$ 和最大值 Q_{mp} ,分别参照式(12)和式(14)。

$$Q_p = \sum_{i=1}^m (EED * B_p(i) * P_g(i) - L_i) \quad (13)$$

$$Q_{mp} = \sum_{i=1}^m \frac{EED_m * B_{pi}}{P_g(i)} - L_i \quad (14)$$

综合对以上队列和队列长度值的分析,得到了进行自适应速率调节的参考量和参考值,这为如何进行自适应速率调节提供了条件。我们将在下一小节对该机制进行进一步描述。

3.3 自适应速率调节

基于 3.2 节对仿真队列和预测队列的考察,下面对节点的发送速率进行相应的自适应调节。首先计算当前的发送速率,其次计算需要的调节速率,最后根据调节速率进行自适应速率调节。

任何实际的传输信道都不可避免地存在噪声。通信系统理论常常用到的噪声有白噪声、高斯噪声、高斯型白噪声等。这些噪声对信号传输的质量有很大影响。倘若噪声过大,将导致数据无法传输或者接收到的数据失效,由此定义了信噪比(SNR, Signal to Noise Ratio),表示信号与噪声的功率谱比。比值越大,说明混在信号里的噪声越小,即有效数据的功率越大,这样接收到的数据质量就越高。涉及到网络体系的底层结构研究,信噪比的重要性不容忽视,本文根据式(15)计算信道的信噪比 SNR。这里考虑一组传输节点,用集合 T 表示: $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\} \in \{1, \dots, N\}$; 所有节点的发送总能量用

P 表示: $P=[P_1, P_2, \dots, P_N](P_i=0 \text{ 当 } i \notin T)$ 。

$$SNR = \frac{GP_{m,t_n}}{NW + \sum_{i:t_i \in T_n} GP_{m,t_n}} \quad (15)$$

式中, G 为信道增益, N 为高斯白噪声功率谱密度, 其概率密度函数满足正态分布统计特性且功率谱密度函数恒为常数, 即:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$P_n(\omega) = n_0 (0 < \omega < +\infty)$$

式中, $P(x)$ 代表概率密度函数; a 为噪声的数学期望, 也就是均值; σ^2 为噪声的方差; $P_n(\omega)$ 代表功率谱密度函数; n_0 为常数。

下面首先根据已经计算得到的参量 SNR 定义速率式 (16), 其中 B 为带宽, $f(P_g)$ 是关于 P_g 的函数。然后定义调节速率 R_a , 设置参数 β, γ 和 Q_s , 令 $Q_c = \min(Q_0, \min(Q_{mp}, L_{\max}))$, $\beta = |Q_c - Q_i|$, $\gamma = k / \log(\max(Q_c))$, 见式 (17), 其中 k 为经验值。

$$R = \frac{B \log_2(1 + \frac{SNR}{f(P_g)})}{(Q_c + L_i) * P_g} \quad (16)$$

$$R_a = R * \gamma * |\log_{10} \beta| \quad (17)$$

基于以上理论分析, 我们最终获得了速率调节公式, 这为 ARAM 机制进行速率调节提供了数学模型。下面详细描述自适应速率调节机制的工作流程。启动自适应调节机制前, 首先比较 $mean_Q_i$ 与 $mean_Q_p$, 如果 $mean_Q_i \leq mean_Q_p$ 且 $mean_Q_i < L_{\max}$, 则维持原固有发送速率, 其中 $L_{\max}$ 是队列最大门限值; 相反, 如果 $mean_Q_i > mean_Q_p$, 则采用自适应速率调节机制。

启动自适应速率调节机制时, 首先比较 Q_i 和 Q_p , 将两者比较后的较小值作为节点最佳队列长度, 记作 Q_c ; 然后使 Q_c 分别与 Q_{mp} 和 $L_{\max}$ 进行比较, 将比较结果赋给参考值 Q_s , 由此可得到参数 β 的值, 再根据式 (17) 即可计算出发送节点应该采用的调节速率。ARAM 工作流程如图 2 所示。

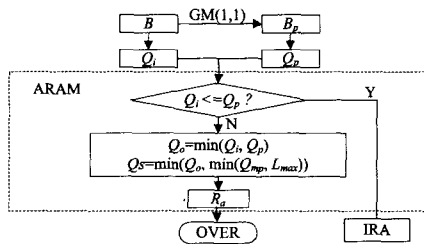


图 2 ARAM 流程图

4 自适应速率调节机制性能分析与评价

本节通过仿真的方法来获取实验数据, 然后通过数学理论模型和 MATLAB 数学工具对自适应速率调节机制进行性能分析和评价。这里设置两组实验:

实验一: 1 个多媒体流, 5 个干扰源, 节点移动速度分别是 10m/s, 15m/s, 20m/s 和 25m/s;

实验二: 1 个多媒体流, 节点移动速度恒定为 10m/s, 干扰源数目分别是 6 个, 7 个, 8 个和 9 个。

4.1 仿真实验参数设置

我们采用 NS-2 仿真工具, 仿真实验使用的相关参数及

取值如表 1 所列。

表 1 相关参数设置

参数	值
传输范围	250m
拓扑大小	1200m * 800m
移动节点个数	60
接口队列长度	50
PMRP 接口队列类型	PriQueue
MAC 协议	IEEE802.11
通信源	MPEG-4
通信源个数	1
干扰源类型	CBR(constant bit rate)
干扰源个数	5~9
CBR 包长度	512bytes
移动节点停止时间	0 s
移动模型	Random Waypoint
传输模型	Spread Randomly
移动速度	5m/~25m/s

4.2 实验结果与分析

在评价网络性能时, 带宽延迟积 (bandwidth-delay product) 常常作为一个重要的指标^[17], 它反映了网络容量的大小, 如式 (18) 和式 (19) 所示。

$$BDP = AB * RTT(\text{bits}) \quad (18)$$

$$BDP_UB = TB * RTT(\text{bits}) \quad (19)$$

式中, BDP 表示网络无竞争状态下的带宽延迟积; AB 表示可用带宽 (available bandwidth); RTT 表示往返延迟; BDP_UB 表示网络竞争状态下的带宽延迟积; TB 表示网络总带宽 (total bandwidth)。

然而, 以上带宽延迟积只适合评价 TCP 协议下的网络性能, 所以为了更好地使本文对 ARAM 的性能进行评价, 在这里定义参数 $BEEDP$, 即:

$$BEEDP = Bandwidth * EED(\text{bits}) \quad (20)$$

4.2.1 节点移动对 ARAM 的影响

我们分析干扰源数目为 5 个、节点移动速度分别为 10m/s, 15m/s, 20m/s 和 25m/s 时的 ARAM 性能。图 3 表示带宽延迟积。其中, 图 3(a) — 图 3(d) 比较了在实验一情况下采用 ARAM 机制前后的带宽延迟积, 图 3(a) — 图 3(d) 分别对应节点移动速度为 10m/s, 15m/s, 20m/s 和 25m/s 时的 $BEEDP$ 。随着节点移动速度的增加, $BEEDP$ 在整体上逐渐减小, 即流媒体数据传输占用的网络容量越来越少。在采用 ARAM 后, 相对于未采用速率控制机制 (NARAM), $BEEDP$ 得到了明显的降低, 即流媒体数据传输占用的网络容量得到了很大程度的减少。从图中可以看到, 采用 ARAM 的 $BEEDP$ 对应于不同的节点移动速度降低的程度约为 50% 到 67% 不等。尤其当节点移动速度为 10m/s 和 20m/s 时, $BEEDP$ 降低了将近 67%。综述以上结果可知, 在节点移动速度相同的前提下, 采用 ARAM 后可以显著节省流媒体传输时占用的网络容量, 从而使无线网络资源能够同时容纳更多的数据业务。

图 4 表示两种实验下的丢包率情况。其中图 4(a) 表示节点移动速度分别是 10m/s, 15m/s, 20m/s 和 25m/s 时网络的丢包率情况。节点移动速度的增大使得丢包率越来越大, 这是由于节点移动速度变大导致节点发送的数据包到达目的节点的概率变小, 即包到达率越来越小。依据不同的节点移

动速度横向对比采用自适应速率机制前后的丢包率可知, ARAM 显著地降低了丢包率, 降低程度最小约 5%, 最大约

40%。这表明 ARAM 有效地保证了无线 ad hoc 网络中流媒体传输的可靠性。

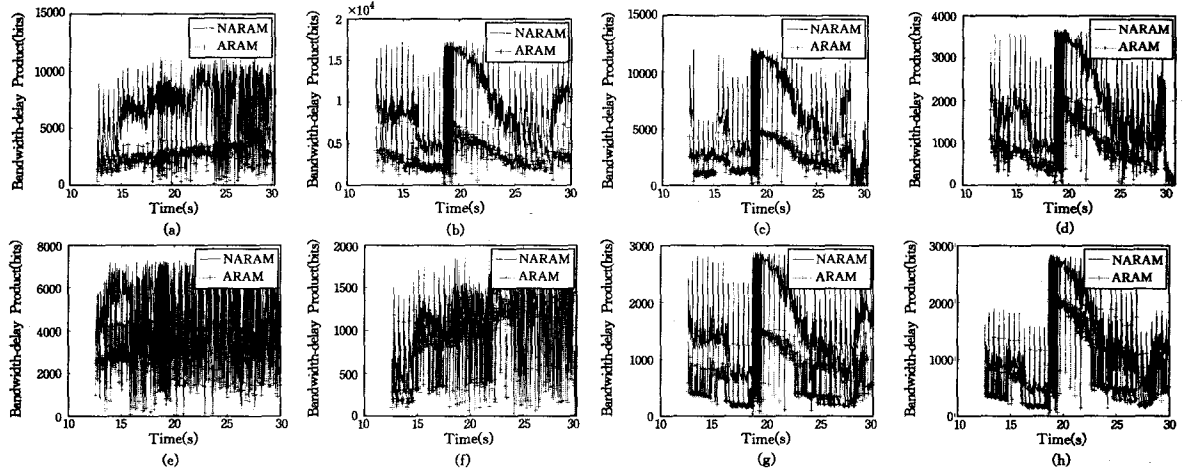


图3 带宽延迟积

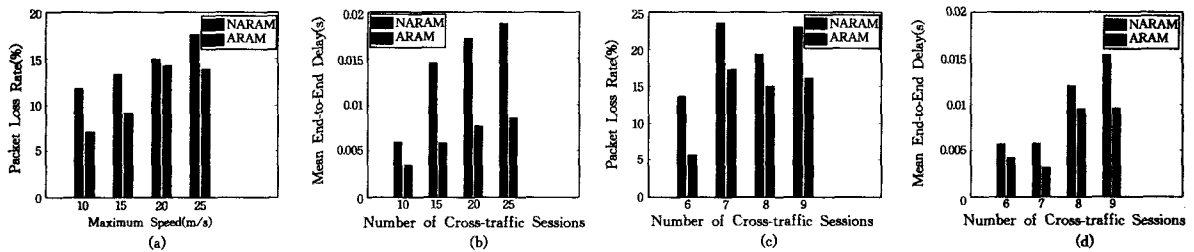


图4 丢包率和平均端到端延迟

图 4(b)表示了节点移动速度分别是 10m/s, 15m/s, 20m/s, 25m/s 时的端到端延迟情况。随着节点移动速度的增大, 端到端延迟也越来越大, 这是因为此实验情况下的包到达率逐渐降低必然导致端到端延迟的增大。依据不同的节点移动速度横向对比采用自适应速率机制前后的平均端到端延迟可知, ARAM 显著降低了端到端延迟, 降低程度最低约 8%, 最高可达到约 60%。这说明 ARAM 可以很好地提高无线 ad hoc 网络中流媒体传输的实时性。

图 5 表示两种实验下的抖动情况。图 5(a) — 图 5(d) 表示了节点移动速度分别是 10m/s, 15m/s, 20m/s 和 25m/s 时网络的抖动情况。无线流媒体传输对抖动有很高的要求, 如果延迟抖动过大, 会导致传输质量大幅度下降, 甚至得到很差的结果。因此保证足够小的抖动, 对于无线流媒体的成功传输是至关重要的。由图可知, 采用 ARAM 后抖动明显降低。特别是当节点移动速度为 25m/s 时, ARAM 对抖动的改进效果最为显著, 平均约降低了 61%; 相比之下, 当节点移动速度为 15m/s 时, ARAM 使得抖动降低了约 41%, 降低程度略小于前者。由以上分析可知, 在 ARAM 下的无线流媒体传输中网络产生的抖动较小。

4.2.2 干扰源对 ARAM 的影响

我们分析节点移动速度为 5m/s、干扰源数目分别为 6 个、7 个、8 个和 9 个时 ARAM 的性能。图 3(e) — 图 3(h) 表示了干扰源数目分别是 6 个、7 个、8 个和 9 个时的带宽延迟积。从图中可以看出, 随着干扰源数量的增加, 无线网络的信道容量更多地被干扰源占用, 因此流媒体的 BEEDP 呈逐渐降低趋势。分别考察无线网络中存在相同数量干扰源的情况, 在采用 ARAM 后, BEEDP 得到了很大程度的降低, 即流

媒体数据传输占用的网络容量得到了明显减少。从图中可以看到, 对应于不同数量的干扰源, 采用 ARAM 的 BEEDP 降低的程度处于约 42% 到 68% 之间。尤其当干扰源为 8 个时, BEEDP 降低了约 68%。以上结果表明了在无线网络中存在相同数量干扰源的前提下, 采用 ARAM 后获得的性能提高同实验一所示情况相似, 该机制同样明显地节省流媒体传输时占用的网络容量, 使无线网络资源能够在一定数量流媒体传输的同时容纳更多的数据业务。

图 4(c)比较了干扰源数目的变化对丢包率的影响。随着干扰源数量增多, 丢包率逐渐增大。这是因为干扰源数量越多, 对流媒体传输的影响越大, 造成冲突的概率越大。进一步横向对比采用自适应速率机制前后的丢包率可知, 在无线网络中存在相同数量的干扰源时, ARAM 显著地降低了丢包率, 降低程度介于 22% 到 58% 之间, 这说明 ARAM 提高了无线流媒体传输的可靠性。

图 4(d)表示干扰源数目的变化对端到端延迟的影响。从图中可以看出, 干扰源数量越多, 端到端延迟越来越大。这也是因为在此实验情况下的包到达率越来越小, 导致端到端延迟的增大。观察不同的干扰源数目对应的端到端延迟, 对比采用自适应速率机制前后可知, ARAM 显著地降低了端到端延迟, 降低程度最小约 1%, 最大约 38%, 这表明 ARAM 提高了无线流媒体传输的实时性。

图 5(e) — 图 5(h)表示了干扰源数目的变化对延迟抖动的影响。由图可知, 采用 ARAM 后抖动明显降低, 特别是当干扰源个数为 9 时, ARAM 对抖动的改进效果最为显著, 降低了约 46%。相比之下, 当干扰源个数为 6 时, ARAM 对抖动的改进程度略小, 降低了约 24%。

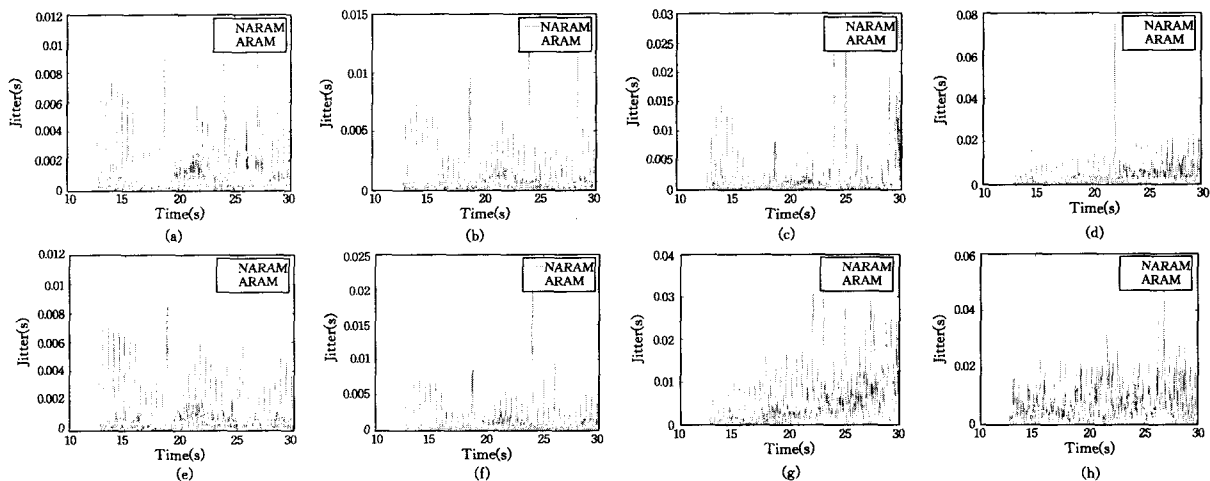


图5 抖动

结束语 无线移动 ad hoc 网络传输的特性使得在无线环境下为流媒体应用提供 QoS 保证面临更多的挑战。针对无线流媒体传输,本文提出一种应用于无线移动 ad hoc 网络实时流媒体传输的自适应速率调节机制(ARAM)。本机制使用 GM(1,1)模型预测网络状态,根据预测得到的带宽信息结合队列管理策略自适应地调节节点的发送速率。数学分析和仿真实验均表明,本机制显著提高了无线移动 ad hoc 网络中流媒体传输的可靠性和实时性,同时有效地节省了其对网络容量的消耗。

参考文献

[1] Eshghi F, Elhakeem A K. Performance analysis of ad hoc wireless LANs for real-time traffic[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2003, 21(2): 204-215

[2] Wu H, Chuang P. Dynamic QoS Allocation for Multimedia Ad Hoc Wireless Networks[J]. Mobile Networks and Applications, 2001, 6(4): 377-384

[3] Setton E, Zhu X, et al. Minimizing distortion for multi-path video streaming over ad hoc networks[C]// Proceedings of International Conference on Image. Singapore, 2004, 3(3): 1751-1754

[4] Gharavi H, Ban K. Dynamic adjustment packet control for video communications over ad-hoc networks [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Communications. Paris, France, June 2004; 3086-3090

[5] Hollot C V, Misra V, et al. Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2002; 945-959

[6] CHEN J X, YI Y, et al. An Enhanced Active Queue Management Algorithm[J]. Computer Science (China), 2007, 34(8): 86-87

[7] Berger D, Ye Z, et al. TCP-friendly medium access control for ad-hoc wireless networks; Alleviating self-Contention [C] //

Proceedings of International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, Fort Lauderdale, USA, Oct. 2004; 214-223

[8] Zhu Xiaoliang, Du Xu, et al. A Wireless TCP-friendly Rate Control Mechanism for Streaming Delivery[J]. Journal of Chinese Computer Systems (China), 2007, 28(4): 577-582

[9] Zhang L, Dai G Z, et al. A Wireless Ad Hoc Network Reliable UDP Protocol [J]. Computer Simulation, 2009, 26(2): 162-165

[10] Chen Y Q, Chen X G. On adaptive MPEG-4 rate controlling in self-similar wireless network environment [J]. Journal on Communications, 2005, 26(5): 17-23

[11] Wang H T, Song L H, et al. An simple Mechanism for cross-layer flow control over Ad Hoc network and its performance analysis [J]. Chinese High Technology Letters (China), 2007, 17(10): 1002-1006

[12] Setton E, Yoo T, et al. Cross-layer design of ad hoc networks for real-time video streaming[J]. IEEE Wireless Communications, 2005, 12(4): 59-65

[13] Qu Q, Pei Y, et al. Cross-layer QoS Control for Video Communications over Wireless Ad Hoc Networks[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2005, 12(4): 59-65

[14] Deng J L. Introduction to grey system theory[J]. The Journal of Grey System, 1989, 1(1): 1-24

[15] Cao Y Z, et al. Gray Model GM(1,1) Based On MATLAB Language and Its Application in the Prediction of Dust Fall in Guangzhou City [J]. Environmental Monitoring in China, 2006, 22(5): 54-59

[16] Wu Q, Tao J, et al. Adaptive congestion control algorithm in wireless multimedia networks[J]. Journal on Communications (China), 2006, 27(12): 48-54

[17] Chen K, Xue Y, et al. Understanding bandwidth-delay product in mobile ad hoc networks[J]. Computer Communications, 2004, 27(10): 923-934

(上接第 63 页)

[10] Le-ngoc T, Leung V, Takats P, et al. Interactive Multimedia Satellite Access Communications[J]. IEEE Communications Magazine(S0163-6804), 2003, 41(7): 78-85

[11] ETSI. Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems[S]. 2009

[12] MIT Lincoln Laboratory 2008 Annual Report MIT Lincoln Laboratory, 2008[2009]

[13] Decola T, Ronga L, Pecorella T, et al. Communications and networking over satellites; SatNEx experimental activities and testbeds[J]. International Journal of Satellite Communications and Networking(S1542-0981), 2009, 27(1): 1-33

[14] Chandrasekharan S, Arnold S, Gopal R. Situational awareness with real time IP applications over next generation packet processing satellites[C]// Military Communications Conference. (MILCOM 2008). IEEE, 2008: 1-7