

一种新的用于无线 Ad hoc 网络中视频传输的多路径包调度算法

王辉 俞能海 刘政凯

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系多媒体计算与通信教育部-微软重点实验室 合肥 230027)

摘要: 该文提出了一种新的在无线 Ad hoc 网络中进行视频传输的多路径包调度算法(MPPA)。该算法充分考虑到视频流传输的特殊 QoS 要求, 针对视频流中的每个数据包进行操作, 通过计算将其指定在某条路径上传输。避免了传统多路径传输中的接收端数据包乱序和重新排序的问题, 有效地减小了接收端的启动延时和缓冲区需求。同时仿真结果验证了上述理论的正确性。

关键词: 无线 Ad hoc 网络; 视频传输; 多路径; 包调度

中图分类号: TN915.07

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)02-0468-04

A Novel Multi-path Packet Scheduler Algorithm for Video Traffic in the Wireless Ad hoc Network

Wang Hui Yu Neng-hai Liu Zheng-kai

(MOE-Microsoft Key Laboratory of Multimedia Computing and Communication, Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: In this paper, a novel packet scheduling algorithm is proposed for the video traffic in the wireless Ad hoc network. This algorithm considers the special requirements of video traffic, process every packet of video data flow individually and then distributes them to specific path according to the result of computation. This algorithm voids packet reordering on the receiver, reduces significantly the delay on the receiver and the buffer requirement. The simulation results demonstrate the correctness of the algorithm.

Key words: Wireless Ad hoc network; Video traffic; Multi-path; Packet scheduling

1 引言

随着无线技术的发展, 无线网络在日常生活中扮演着越来越重要的角色。无线 Ad hoc 网络是一种由无线移动节点组成, 没有固定基础设施并且动态组网的网络结构。对无线 Ad hoc 网络的用户来说, 网络只提供简单的数据传输已经不能满足日益增长的对多媒体业务的需求, 应对视频流等多媒体业务进行功能上的支持。

然而在视频通讯中, 接收方希望对收到的视频流进行不间断、流畅地播放, 这就对网络所提供的服务质量(Quality of Service, QoS)的保证提出了很高的要求。但是在无线 Ad hoc 网络中, 由于无线链路固有的特点, 其带宽相对有线链路要小一些, 并且由于无线节点的移动性可能频繁断路。这对在 Ad hoc 网络中视频数据的传输提出了极大的挑战。为了应对这些挑战, 利用多路径传输视频流的方案应运而生。

多路径传输因为比单一路径传输具有更好的灵活性, 因而能够有效地避免拥塞, 加大网络的整体利用率。多路径在有线网络中已被广泛研究用于传输实时多媒体业务流^[1-3]。研究表明多路径传输比传统的单一最短路径传输明显地改善了视频的质量。但类似的研究在无线 Ad hoc 网络中还很

不充分, 一些针对无线 Ad hoc 网络的多路径视频传输在文献[4, 5]中被提出, 但这些文献多站在视频编码角度简单地利用多路径传输, 并没有针对多路径与视频业务自身的特点对多条路径上的数据包调度进行研究, 导致了接收端的数据包重新排序、启动延时较大、缓冲区需求较大等结果。而这些不利因素极大地影响了视频播放的质量。

本文提出了一种新的无线 Ad hoc 网络中视频传输的多路径包调度算法 (Multi-path Packet Partition Algorithm, MPPA)。通过使用此方法, 可以有效避免接收端的数据包重新排序问题, 并可以减小视频业务的启动延时以及接收端对缓冲区大小的要求, 对视频流的传输质量有很大的提高。

2 系统结构

对使用多路径传输视频流的体系结构如图 1 所示。在发送端, 视频流被编码器编码为 N 个码流, 当 $N > 1$ 时我们称之为多码流编码。然后, 这 N 个码流由流量分配系统分别被指定到由多路径路由协议发现的 K 条路径上进行网络传输。

对传统的多路径传输, 发送方将视频流简单地分块, 并利用轮询等策略将这些数据块依次从多条路径上发送出去。由于多条路径的延时不同, 造成了数据包不是按照顺序的方式到达接收端。在接收端收到包后不能立即播放, 它需要等延时最长路径上的数据包到达后首先对所有的乱序数据包

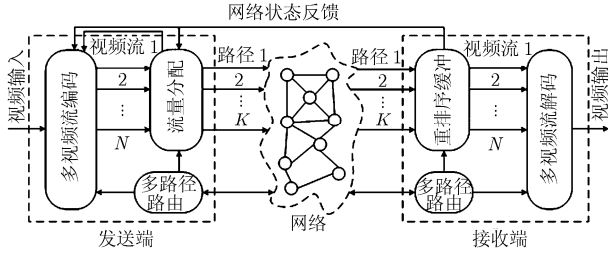


图1 实时多媒体业务多路径传输的体系结构

进行重新排序, 然后顺序播放。这种方法对接收端的处理能力要求较高, 需要实时对数据包进行重新排序, 同时需要等待较长的时间, 对用户来说并不理想。

3 算法描述

在传统的多路径传输中, 接收端的启动延时一般被认为是所使用的最长路径上的延时。另外, 由于多条路径的延时不同, 导致接收端对数据缓冲区的要求增大。为了最小化接收方的启动延时, 同时减小对数据缓冲区的要求, 本文提出一种新的多路径包调度算法(MPPA)。该包调度算法在使用相关多路径路由算法^[6]进行选路的基础上, 使得数据包不是以传统连续的方式而是以一种交织的方式从多条路径分别到达接收端, 从而达到顺序到达接收端、减小启动延时和缓冲区大小的目的。

为了详细地描述该包调度算法, 首先定义一些需要使用到的网络参数^[6]:

T_0 为选取的基准时刻, 一般选定为发送方开始发送第一个数据包的时刻; N 为使用多路径路由由协议找到的满足要求的多路径数目; $S(i)$ 为流量分配模块为第 i 条路径分配的实际发送速率; n 表示数据包的大小; $\sigma(i)$ 表示第 i 条路径上数据包之间的发送时间间隔; $n_{i,k}$ 表示从 T_0 开始的前 $(k-1)$ 个数据包中, 已经在第 i 条路径上发送的数据包的个数; $d(i)$ 表示第 i 条路径的延时。其中 $\sigma(i)$ 可由下式求出:

$$\sigma(i) = n / S(i) \quad (1)$$

可以算出使用第 i 条链路上发送第 k 个包时, 其到达接收端的时刻 $T(i,k)$ 为

$$T(i,k) = T_0 + n_{i,k}\sigma(i) + d(i) \quad (2)$$

MPPA 的基本思想是对每个即将发送的数据包, 在所有的 N 条路径上求出相应的 $T(i,k)$, 找出其中的最小值, 则与该最小值相应的路径为该数据包的发送路径。因为从第 1 个数据包开始, 顺序地对每个数据包都选取能使其“最早”到达接收端的路径, 故所有数据包能够按照先后顺序从不同路径依次到达接收端。

具体地, 该算法的实施步骤为

```
{ ni = 0, ∀i /*初始化*/
  Mink = ∞, ∀k
  Routek = 0, ∀k
  for(t=1; ; t++)
```

```
/*对每个数据包操作*/
  {for(m=1; m<N+1; m++)
    /*对每条路径操作*/
      {T(m,t) = T0 + nmσ(m) + d(m)
        if T(m,t) < Mint
          {Mint = T(m,t)
            Routet = m}}
      nRoutet ++ }
```

经过计算, 第 k 个数据包应在第 $Route_k$ 条路径上发送。

对本算法的计算量, 由于在无线 Ad hoc 网络中由多路径路由由协议选取的多条路径的数目不可能太多, 一般为几条或十余条^[7], 而对每个数据包而言其计算量最大仅为 $N \times (1 \text{ 次乘法} + 2 \text{ 次加法} + 1 \text{ 次比较} + 2 \text{ 次赋值})$, 其所需的运算时间约为 $1\mu\text{s}$, 这相对于发包速率来说可以忽略不计。故可以认为数据包为实时发送, 不需要在发送端进行数据缓冲。

4 理论分析

在这一节中, 将对采取上述算法取得的最小启动延时和缓冲区大小作理论上的分析。

在多路径选路算法以及每条路径上的流量分配算法的基础上, 假定视频流在选定的 N 条路径上传输, 且这 N 条路径的延时满足: $d(1) \leq d(2) \leq \dots \leq d(N)$ 。同时, 路径 k 上的有效带宽为 $W_{\text{fact}}(k)$, 且源端视频流需要的带宽 W_{need} 满足:

$$W_{\text{need}} = \sum_{k=1}^N W_{\text{fact}}(k) \quad (3)$$

在不影响一般性的前提下, 假设选定 $N=5$ 条多路径。在一般的多路径传输中, 将视频流简单地分为若干块分别在多条路径上同时进行传输, 接收端需要将收到的数据存储在缓冲区中, 直到延时最大的路径上的数据到达后才进行播放。这种简单的数据分配模式容易造成数据流的乱序, 在接收端需要将后面的但是却先到达的数据进行缓冲, 待前面的数据到达后再运用某种算法对数据进行重新排序, 继而顺序播放。这样一方面对接收端的缓冲区的大小要求较高, 另一方面增加了其系统的复杂度, 不易实现。这种情况下接收端收到的数据流的带宽以及接收端对缓冲区大小的需求如图 2 所示。

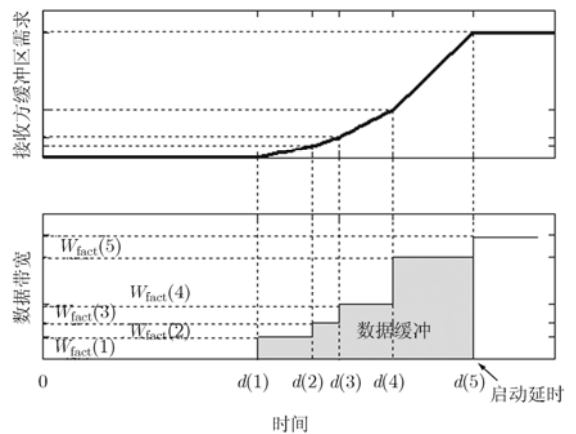


图2 接收端收到的数据流的带宽以及接收端对缓冲区大小的需求

这种情况下,接收端不得不对从第1至第 $N-1$ 条路径上到达的数据包进行缓冲,如图2所示,直到第 N 条路径上的数据包到达。接收端的启动延时等于最长路径的延时 $d(N)$ 。接收端的buffer需求 R' 如图2阴影部分所示为

$$\begin{aligned} R' &= \sum_{i=1}^{N-1} W_{\text{fact}}(i)(d(N) - d(i)) \\ &= \sum_{i=1}^{N-1} W_{\text{fact}}(i)d(N) - \sum_{i=1}^{N-1} W_{\text{fact}}(i)d(i) \\ &= \sum_{i=1}^N W_{\text{fact}}(i)d(N) - \sum_{i=1}^N W_{\text{fact}}(i)d(i) \\ &= W_{\text{need}}d(N) - \sum_{i=1}^N W_{\text{fact}}(i)d(i) \end{aligned} \quad (4)$$

如图3所示,在一般的多路径使用中,接收端的数据消耗为图中“原消耗曲线”所示。需要等所有路径上的数据到达后才能开始播放视频流。此时,对缓冲区的大小要求是比较高的,且启动延时较大,为最长路径的延时。因为本文提出的MPPA能够保证数据顺序连续到达,不需要在接收端对其进行重新排序,故可以将数据消耗曲线沿时间轴向左移动。如图3所示,直到其与原启动延时 $(d(5))$ 之后的数据到达曲线重合为止。此时的消耗曲线为使用本文提出的算法后的实际数据消耗曲线。由图3可以看出,此时的启动延时和buffer需求较普通情况下均有较大幅度的减小。

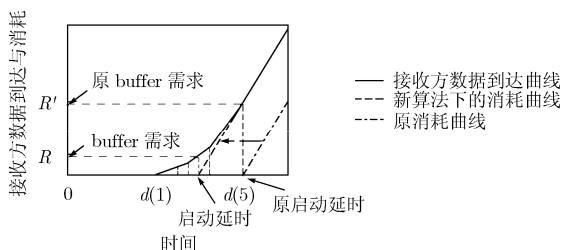


图3 接收端数据到达与消耗示意图

由图3可以得出使用MPPA后实际的启动延时 D 为

$$\begin{aligned} D &= d(N) - \frac{R'}{W_{\text{need}}} \\ &= d(N) - \frac{W_{\text{need}}d(N) - \sum_{i=1}^N W_{\text{fact}}(i)d(i)}{W_{\text{need}}} \\ &= \frac{1}{W_{\text{need}}} \sum_{i=1}^N W_{\text{fact}}(i)d(i) \end{aligned} \quad (5)$$

而此时对接收端缓冲区大小的要求 R 为

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} W_{\text{fact}}(i)(D - d(i))I(D - d(i)) \quad (6)$$

其中函数 $I(x)$ 的定义为

$$I(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (7)$$

5 仿真结果

这一节将利用仿真数据验证所提算法的正确性和有效

性,并对仿真数据进行分析。使用ns-2^[8]以及CMU(卡内基梅隆大学)提供的对其中无线模块的扩展^[9]进行仿真。仿真利用ns-2的节点生成模块将节点随机分布于半径为3000m的圆形区域内。设置链路的可用带宽均匀分布于1至10Mbps之间。在所有节点中随机选择一对源节点和目的节点,并且设置源节点流量对带宽的需求为5Mbps。

在节点数目分别为1000, 2000, 3000, ..., 8000的环境下,分别对最短路径优先、选择性最短路径优先^[10]、启发式多路径^[11]、多路径路由及流量分配算法MRRAA^[6]以及在MRRAA的基础上采用本文提出的多路径包调度算法MPPA进行了仿真。其中,对选择性最短路径优先路由算法,其首先滤除带宽不满足源节点带宽要求的链路,然后在更新后的拓扑下进行最短路径优先选路算法。

如图4所示,其中两种多路径选路方法取得的路径延时为所选最长路径的延时。由图中可以看出,最短路径优先选路算法由于其只考虑了链路延时,没有考虑带宽等其它因素,故其所选路径的延时最小;另外,随着网络中节点数目的增加,使用该方法寻路所得的路径会趋近于直线,故其延时也会逐渐减小,但由于网络的大小并不随之而变化,故路径延时的降幅不大。采用选择性最短路径优先路由算法时,由于其优先考虑了带宽的需求,首先将不满足带宽要求的链路去除,故其所选路径往往需要经过更多的跳数,增加了路径的延时。启发式多路径路由也是同样的原因,导致其利用延时来换取带宽。对多路径路由及流量分配算法(MRRAA),因为首先考虑了延时的因素,其结果与最短路径取得的延时较为接近。随着节点密度的增加,找到具有更大可利用带宽链路的几率增大,故路径延时会逐步降低并越来越接近最短路径选路取得的效果。

在MRRAA的基础上采用本文提出的多路径包调度算法MPPA后,路径延时在单一使用MRRAA的基础上进一步降低,并随着网络中节点密度的加大,其与最短路径取得的延时已经十分接近。结果表明采用该方法可以有效减小多路径的延时,即接收方的启动延时,更有利于实时性要求较高的多媒体业务的传输。

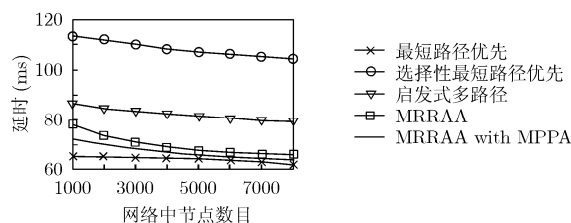


图4 各路由算法取得的延时比较图

6 结束语

本文提出了一种新的无线Ad hoc网络中视频传输的多路径包调度算法MPPA。考虑到视频流的特殊QoS要求以

及无线 Ad hoc 网络中多路径的特点, 不像传统的多路径传输中, 将视频流简单地分块并将其以轮询方式沿多条路径传输, 该算法对视频流中每个包进行操作, 将其有针对性地指定在某条路径上传输。该方法有效避免了传统多路径中存在的接收端数据包乱序情况的发生。由于不需要对收到的数据包重新排序, 接收端的启动延时与缓冲区需求得以有效减小。仿真结果显示文中所提的方法可以有效地减小多路径的延时, 并且其十分接近于最短路径优先选路方法取得的延时。

参 考 文 献

- [1] Chang Pao-Yuan, Chen Deng-Jyi, and Kavi K M. Multimedia file allocation on VC networks using multipath routing. *IEEE Trans. on Computers*, 2000, 49(9): 971-977.
 - [2] Lee Kyeongja, Toguyeni A, and Rahmani A. Hybrid multipath routing algorithm for load balancing in MPLS based IP network. 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Vienna, Austria: IEEE Computer Society, 2006: 165-172.
 - [3] Lee Patrick PC, Misra V, and Rubenstein D. Distributed algorithms for secure multipath routing. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies(IEEE INFOCOM 2005). Miami, USA: IEEE. 2005: 1952-1963.
 - [4] Mao Shiwen, Hou Y T, Cheng Xiaolin, Sherali H D, and Midkiff S F. Multipath routing for multiple description video in wireless ad hoc networks. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies(IEEE INFOCOM 2005). Miami, USA: IEEE. 2005: 740-750.
 - [5] Mao Shiwen, Lin Shunan, Panwar S S, Wang Yao, and Celebi E. Video transport over ad hoc networks multistream coding with multipath transport. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2003, 21(10): 1721-1737.
 - [6] 王辉, 单剑锋, 俞能海, 刘政凯. 一种新的用于无线 Ad hoc 网络中多媒体传输的多路径路由及流量分配算法. 通信学报, 已投稿.
Wang Hui, Shan Jian-feng, Yu Neng-hai and Liu Zheng-kai. A novel multi-path routing and traffic distribution algorithm for multi-media traffic in the wireless Ad hoc network. *Journal of China Institute of Communications*, (submitted).
 - [7] 王辉, 俞能海. 无线 Ad hoc 网络中多路径负载均衡性能分析. 通信学报, 2005, 26(11): 30-37.
Wang Hui and Yu Nenghai. An analysis of load balance performance of multipath in wireless Ad hoc networks. *Journal of China Institute of Communications*, 2005, 26(11): 30-37.
 - [8] The Network Simulator-ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2006-03.
 - [9] Wireless and Mobility Extensions to ns-2. <http://www.monarch.cs.rice.edu/cmu-ns.html>, 2006-03.
 - [10] Wang Zheng and Crowcroft J. Quality-of-service routing for supporting multimedia applications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1996, 14(7): 1228-1234.
 - [11] Chen Jiancong, Chan S H G, and Li Victor O K. Multipath routing for video delivery over bandwidth-limited networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2004, 22(10): 1920-1932.
- 王 辉: 男, 1980 年生, 博士生, 从事无线通信网及多媒体通信的研究.
- 俞能海: 男, 1964 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域包括无线宽带多媒体通信、多媒体信息检索与信息安全.
- 刘政凯: 男, 1940 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究领域包括图像处理与多媒体通信.