

无线 Ad Hoc 网络中最佳分组长度问题的研究^{*}

张文柱 李建东 王 炫

(综合业务网理论和关键技术国家重点实验室(西安电子科技大学),
信息科学研究所,宽带无线通信实验室 西安710071)

摘 要 为给无线 Ad Hoc 网络设计者提供参考依据,基于场景,用仿真方法研究了采用不同分组长度传输 CBR 业务时的网络性能,并给出了相应的最佳分组长度。仿真中采用了 DSR 路由协议。结果表明,在网络中的 CBR 连接数一定的情况下,有一个最佳的分组长度,当源节点以这个最佳分组长度发送业务时,网络性能最优;当采用的分组长度由最佳长度逐渐减小时,网络性能很快变差;当采用的分组长度由最佳长度逐渐增加时,网络性能逐渐变差,但与最优的网络性能相差不大。

关键词 无线 Ad Hoc 网络,网络性能,最佳分组长度

A Study of the Optimal Packet Length in Mobile Ad Hoc Networks

ZHANG Wen-Zhu LI Jian-Dong WANG Xuan

(Key Laboratory of Integrated Service Networks, Information Science Institute,
Broadband wireless communications Laboratory, xidian Univ., xi'an 710071)

Abstract The effect of different packet length to network performance of mobile Ad Hoc network when transmitting CBR traffic is studied and the corresponding optimal packet length is given. Extensive simulations are made on a scenario where nodes move randomly with DSR routing protocol used. The simulation results show that there exists an optimal packet length which can optimize the network performance when the number of CBR connections is given. The network performance becomes worse rapidly when the packet length decreases from the optimal value gradually. On the other hand, the network performance becomes worse slowly when the packet length increases from the optimal value gradually.

Keywords Mobile Ad Hoc network, Network performance, Optimal packet length

1 引言

无线 Ad Hoc 网络是一种不需要固定基础设施支撑的、由若干移动节点组成的自组织无线网络。这样的网络要求每个移动节点要能够完成主机和路由器的双重功能。网络中的各节点具有移动性,这就决定了网络的拓扑是动态变化的,从而对网络的特性产生深远影响。网络的功能设计,如路由、地址分配等都要适应网络拓扑的动态变化。目前,对 Ad Hoc 网络的研究主要集中在研究低开销的路由协议和 MAC 协议。在研究中应用层常常采用固定速率和固定分组长度的 CBR 业务,如文[1,2]。文[3]研究了 Ad Hoc 网络中的最佳分组长度问题,但对网络中的业务强度这一影响网络性能的重要因素考虑不周。本文在场景和量化的基础上研究了在分布式无线网络中传输 CBR 业务时,在不同的业务强度下,不同的分组长度对网络性能的影响,并给出相应的最佳分组长度。

2 路由协议和 MAC 协议描述

DSR^[4](Dynamic Source Routing) 路由协议是一种按需的路由协议,在分组头部携带要经过的路由,节点按照该路由序列来转发分组。协议包括两部分:路由发现和路由维护。

(1)路由发现 当节点 S 需要到 D 的路由时,S 广播“路由请求”分组,每个请求分组通过序列号和 S 标识唯一确定。收到“路由请求”分组的节点若满足:

(a)该节点不是目的节点 D;

(b)请求分组头部的源路由序列中不包含该节点;

(c)该节点没有接收过同样的路由请求分组;

(d)该节点的路由表中没有到目的节点 D 的路由信息。

节点将自己的地址附加到“路由请求”分组头部的路由序列中,并将分组转发给所有相邻节点。若(b),(c)不满足,节点将删除路由请求分组,防止循环处理。若(a),(b)不满足,节点将发送“路由回答”给 S,回答中包含了从 S 到 D 的路由,该路由从请求分组中携带的路由序列或节点自己路由表中记录的路由信息中得到。S 获得路由后,使用源路由进行数据通信。

(2)路由维护 DSR 支持主动应答和被动应答两种链路状态监测方法,一旦节点在发送数据时发现需要使用的邻接链路断开,它发送“路由出错”分组给这些断开路由的源节点,源节点收到分组后将失效路由从路由表中删除。沿途转发“路由出错”的节点也从自己的路由表中删除包含该断开链路的所有路由。

仿真研究过程中,DSR 路由协议采用的有关参数值参考了文[2],见表1。

表1 DSR 的参数设置

重发路由请求分组的时间间隔 /ms	500
路由请求分组头在加载 n 个节点地址时的长度 /byte	4n + 4
搜索本地路由表时允许消耗的时间 /ms	30
发送分组前等待路由信息时,节点保留分组的时间长度 /s	30
发送路由应答分组的最大速率 /s ⁻¹	1

^{*}基金项目:国家“863”计划(No. 2001AA123031);高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划;教育部科学技术研究重点项目和高校骨干教师资助计划。张文柱 博士生,主要研究领域为无线 ad hoc 网络的协议设计和移动通信网。李建东 博士,教授,博士生导师,主要研究领域为个人通信、移动通信、分组无线网、分布式无线网络、软件无线电和移动 IP 等方面。王 炫 博士生,主要研究领域为无线 ad hoc 网络和个人通信系统。

MAC层方面,采用DCF(Distributed Coordination Function)的IEEE 802.11^[5]无线局域网标准作为MAC层协议。DCF使用了RTS和CTS。该MAC协议采用CSMA/CA多址接入方式。

3 运动模型和业务模型

我们的研究工作全部是在一台PC机(Pentium-IV 1.8GHz, 256MB RAM)上完成,使用的操作系统是Red Hat Linux 7.2,仿真平台是ns-2.1b9^[6](Network Simulator Version 2.1b9)。

仿真中,节点总数设置为50个,网络中节点采用随机行走模型:各节点在1500×300m²的平坦区域内运动,每个节点在该区域内从一点向另一点运动,运动速度在[0,10]内均匀分布;到达目标点后,停留1秒钟,然后选择一个新的目标点,同时从[0,10]中再选择一个新的速度,以新的速度向新的目标点运动,依次类推,直至仿真结束。因为节点的运动速度在[0,10]内均匀分布,所以节点的平均速度为5米/秒,即18公里/小时,考虑到节点运动区域的大小(1500×300米²),可以认为这是中等的运动速度。

在业务方面,我们设定CBR信源速率是8kbit/s。我们总共做了三组仿真,在第一、第二和第三组仿真中我们在50个节点中分别随机产生5、10和20个CBR连接。传输层协议采用UDP,UDP报文数据区的长度分别采用:40、50、80、100、150、200、300、400、500、600、700、800、900和1000 byte。本文后面提到的分组长度均指UDP报文数据区的长度。考虑到仿真时产生的运动场景具有随机性,对一个具体分组长度,我们预先产生5个场景,把AODV路由协议在5个场景上仿真结果的平均数值作为具体的分组长度时的网络性能指标,这样可以减小节点运动的随机性对仿真结果的影响。在仿真中,我们假设无线信道是无差错的。有关仿真参数的设置见表2。

表2 仿真参数值

传输半径 /m	250
信道速率 / (Mbit·s ⁻¹)	2
载波频率 /MHz	914
节点数量	50
节点暂停时间 /s	1
环境尺寸 /m ²	1500×300
业务类型	CBR
信源速率 / (kbit·s ⁻¹)	8
业务流数量	5,10,20
仿真时间 /s	500

本文采用下面指标作为衡量网络性能的标准:

端到端通过率:成功到达目的节点的分组与源节点产生的总分组数的比值;

端到端通过量:单位时间内目的节点接收到的信息量;

平均端到端分组传输时延:包括节点寻找路由时分组在缓冲区中的等待时延、排队时延、MAC层重传时延、传输时延和传播时延的总和。

4 仿真结果与分析

当CBR连接数等于5、10和20时,分组长度与分组到达率的关系见图1。从图1可看出,在CBR连接数等于5的情况下,当分组长度小于200 byte时,端到端通过率随分组长度的增加而迅速增加;当分组长度约等于200 byte时,端到端通过率达到最大,接近97%;当分组长度大于200 byte时,端到端通过率随着分组长度的增加而下降,但下降的幅度不大。

CBR连接数等于10的情况下,当分组长度小于600 byte时,端到端通过率随分组长度的增加而迅速增加;当分组长度约等于600 byte时,端到端通过率达到最大,接近96%;此后,端到端通过率随着分组长度的增加而下降,但下降的幅度不大。在CBR连接数等于20的情况下,当分组长度小于800 byte时,端到端通过率随分组长度的增加而迅速增加;当分组长度约等于800 byte时,端到端通过率达到最大,约95%;此后,端到端通过率随着分组长度的增加而下降,但下降的幅度不大。比较图1中的三条曲线可知,分组长度相等的情况下,当网络中CBR连接数较小时,相应的端到端通过率一般高于网络中CBR连接数较大时的端到端通过率;当分组长度超过800 byte时,三条曲线几乎重合,这意味着不论网络中的CBR连接数等于5、10还是20,对应的端到端通过率十分接近。

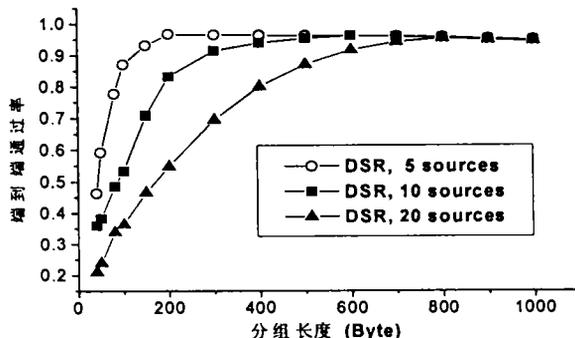


图1 端到端通过率

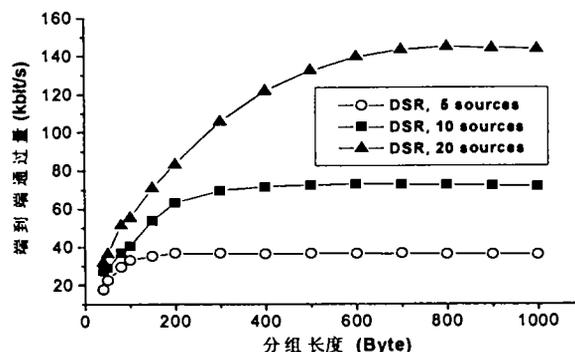


图2 端到端通过量

当CBR连接数等于5、10和20时,分组长度与端到端通过量的关系见图2。从图2可看出,在CBR连接数等于5的情况下,当分组长度小于200 byte时,网络的端到端通过量随分组长度的增加而迅速增加;当分组长度约等于200 byte时,网络的端到端通过量达到最大,约37 kbit/s;当分组长度大于200 byte时,网络的端到端通过量随着分组长度的增加而略有下降,但变化幅度较小。在CBR连接数等于10的情况下,当分组长度小于600 byte时,网络的端到端通过量随分组长度的增加而迅速增加;当分组长度约等于600 byte时,网络的端到端通过量达到最大,约73 kbit/s;当分组长度大于600 byte时,网络的端到端通过量随着分组长度的增加而略有下降,但变化幅度较小。在CBR连接数等于20的情况下,当分组长度小于800 byte时,网络的端到端通过量随分组长度的增加而迅速增加;当分组长度约等于800 byte时,网络的端到端通过量达到最大,约145 kbit/s;当分组长度大于800 byte时,网络的端到端通过量随着分组长度的增加而略有下降,但变化幅度较小。

当CBR连接数等于5、10和20时,分组长度与平均端到端

分组传输时延的关系见图3。从图3可看出,在 CBR 连接数等于5的情况下,当分组长度小于200 byte 时,平均端到端分组传输时延随分组长度的增加而减小;当分组长度约等于200 byte 时,平均端到端分组传输时延达到最小,约25ms;当分组长度大于200 Byte 时,平均端到端分组传输时延随着分组长度的增加而增加。在 CBR 连接数等于10的情况下,当分组长度小于600 byte 时,平均端到端分组传输时延随分组长度的增加而迅速减小;当分组长度约等于600 byte 时,平均端到端分组传输时延达到最小,约54ms;当分组长度大于600 byte 时,平均端到端分组传输时延随着分组长度的增加而增加。在 CBR 连接数等于20的情况下,当分组长度小于800 byte 时,平均端到端分组传输时延随分组长度的增加而迅速减小;当分组长度约等于800 byte 时,平均端到端分组传输时延达到最小,约81ms;当分组长度大于800 byte 时,平均端到端分组传输时延随着分组长度的增加而增加。比较图3中的三条曲线可知,在分组长度相等下,当网络中 CBR 连接数较小时,相应的平均端到端分组传输时延一般略低于网络中 CBR 连接数较大时平均端到端分组传输时延;当分组长度超过800 byte 时,三条曲线几乎重合,这意味着不论网络中的 CBR 连接数等于5、10还是20,对应的平均端到端分组传输时延比较接近。

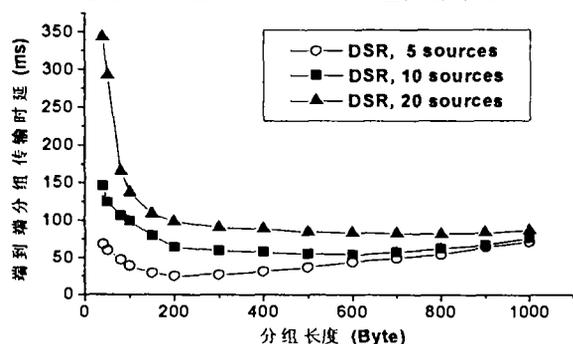


图3 平均端到端分组传输时延

我们对前面的分析做一总结,在我们所做的三组仿真中, CBR 连接数分别等于5、10和20,每组仿真中分组长度的变化范围均为40 ~ 1000 Byte,网络的性能有相似的变化趋势:当分组长度较小时,端到端通过率较低,网络的端到端通过量较低,平均端到端分组传输时延较大;当分组长度增加到某一数值(对于不同的 CBR 连接数,所对应的具体数值不同)时,端到端通过率达到最大,网络的端到端通过量达到最高,平均端到端分组传输时延最低,此时网络性能达到最佳,我们可将这时的分组长度称为最佳分组长度;此后,当分组长度继续增加时,端到端通过率和网络的端到端通过量都有逐渐降低,平均端到端分组传输时延逐渐增加,但变化的幅度相对较小。

怎样解释上述现象呢?在我们所做的三组仿真中,网络性能有相似的变化趋势,因此,我们可以选择其中之一,例如选择 CBR 连接数等于10这组仿真来分析。对于端到端通过率、端到端通过量和平均端到端分组传输时延这三个衡量网络性能的参数来讲,它们不是彼此完全独立的。一般来讲,分组的端到端传输时延越长,分组被丢弃的概率就越大,相应的端到端通过量就越低。在我们所做的仿真中,对于每个分组长度所采用的节点运动场景都是相同的,节点间的平均跳数约为2.7,考虑到最大的分组长度是1000 byte,可以计算出分组从源节点到目的节点的传输时延(不包括等待时延和其他时延)的上限是:

$$T_{trans-max} = 2.7 \times 8 \times 1000 / (2 \times 10^6) \approx 10.8ms$$

我们知道,端到端分组传输时延包括节点寻找路由时分组在缓冲区中的等待时延、排队时延、MAC 层重传时延、传

输时延和传播时延的总和。从图3可看出, CBR 连接数等于10时,端到端分组传输时延的范围是54ms ~ 146ms, $T_{trans-max}$ 比我们仿真中得到的最小的平均端到端分组传输时延(54 ms)还要小很多,这说明端到端分组传输时延的其他组成部分——节点寻找路由时分组在缓冲区中的等待时延、排队时延以及 MAC 层重传时延占端到端分组传输时延的比例很大。因为在仿真过程中,对于每个分组长度采用的节点运动场景都是相同的,所以可认为当分组长度不同时,节点寻找路由时分组在缓冲区中的等待时延是基本相同的。当分组长度很小时,相同时间内网络中各节点要处理更多的分组,MAC 层需要更多次的预约,这就会增大分组的排队时延和 MAC 层的重传时延,因此这时的端到端分组传输时延很大,从而导致端到端通过率和端到端通过量减小;随着分组长度的增大,相同时间内网络中各节点要处理的分组数减少,MAC 层需要预约的次数减少,此时分组的排队时延和 MAC 层的重传时延均会相应减小,这时端到端通过率和端到端通过量会增加;当分组长度增加到600byte 时,网络中的10个源节点每秒内产生的分组数之和减少到大约17,各节点能够及时将缓冲区中的分组发送出去,此时排队时延和 MAC 层的重传时延都减小,这时的端到端分组传输时延达到最小,相应的端到端通过率和端到端通过量达到最大,网络性能最优;随着分组长度的继续增大,网络中各源节点单位时间内产生的分组数继续减少,网络中各节点单位时间内处理的分组数也继续减少,此时排队时延减小,但过长的分组导致 MAC 层的重传时延增大,这时的端到端分组传输时延又略有增加,相应的端到端通过率和端到端通过量比网络性能最优时略有下降。在我们所做的三组仿真中,其他两组仿真的网络性能与 CBR 连接数等于10时的网络性能相似,其原因相同,我们就不再对其他两组仿真结果进行了分析。

结论 本文研究了无线 Ad Hoc 网络中,在网络中的节点以中等速率($V_{平均} < 5m/s$)运动和应用 DSR 路由协议的条件下,当网络中的 CBR 连接数不同时,采用不同分组长度传输 CBR 业务对网络性能的影响。结果表明,网络中的 CBR 连接数和分组长度是影响网络性能的重要因素。在 CBR 连接数一定的情况下,存在一个最佳的分组长度,不同的 CBR 连接数对应的最佳分组长度不同。当源节点以这个最佳分组长度发送业务时,网络的端到端分组传输时延达到最小,相应的端到端通过率和端到端通过量达到最大,网络性能最优;当采用的分组长度由最佳长度逐渐减小时,网络性能迅速变差;当采用的分组长度由最佳长度逐渐增加时,网络性能逐渐变差,但与最优的网络性能相差不大。在不超过中等的业务强度情况下(信源速率之和小于160kbit/s),统一采用800 byte 作为最佳分组长度,会取得比较令人满意的网络性能。

参考文献

- Perkins C E, Royer E M, et al. Performance Comparison of Two On-Demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks[J]. IEEE Personal Communications, 2001, 8(1): 16~28
- Johansson P, Larsson T, et al. Scenario-based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks[A]. IEEE/ACM MOBIKOM'99[C]. New York, NY, USA: ACM Press, 1999. 195~206
- Lee J Y, et al. Optimum UDP Packet Sizes in Ad Hoc Networks [A]. High Performance Switching and Routing, 2002. Merging Optical and IP Technologies[C]. 2002. 214~218
- Johnson D B, Maltz D A, Hu Y C. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR). Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-09.txt, Apr. 2003
- LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std. 802.11 [S]. 1999 Edition. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. New York
- Fall K, Varadhan K. The ns Manual. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/ns-doc.pdf>. May, 2003