

基于卫星通信的网络移动建模与性能仿真

谢智东 贺 超 张更新

(解放军理工大学通信工程学院 南京 210007)

摘 要 网络移动是指一个移动 IP 网络能够在保证通信连接不中断的条件下改变到一个 IP 骨干网的连接点,从而解决整个网络在移动过程中的不间断数据传输问题。采用卫星通信网实现移动网络的数据传输可以提供足够的带宽和更大的覆盖范围,是一种比较经济、可行的解决方案。首先建立了基于卫星通信的网络移动通信系统模型并在 NS2 软件中实现了该模型,然后基于该模型对 TCP 的性能以及切换对其性能的影响进行了仿真,最后通过分析卫星通信的特点提出了一种改进的切换策略。仿真结果表明,该策略可以显著减少切换引起的 TCP 中断时间。

关键词 卫星通信,网络移动,传输控制协议,切换

中图法分类号 TN927 **文献标识码** A

Modeling and Performance Simulating for Network Mobility Based on Satellite Communication

XIE Zhi-dong HE Chao ZHANG Geng-xin

(Institute of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract Network mobility (NEMO) means that it can solve the problem of mobile users in big mobile platforms changing access to IP core network while not disrupt the communication. Satellite has the characteristics of broadcasting, large scale and seamless coverage of the earth. Thus, it is an effective and feasible way to tackle the problem of NEMO with satellite communication. At first, a model of network mobility communication system based on mobile satellite communication was built up and implemented in the NS2. Then, under the model, the performance of TCP was simulated. Finally, according to the traits of satellite communication, a handoff strategy in IP layer was proposed for NEMO based on satellite communication. The strategy can reduce delay of interrupt and improve the performance of TCP.

Keywords Satellite communication, Network mobility, TCP, Handoff

1 引言

飞机、火车和轮船这样的大型移动平台可能会携带一个或多个局域网(LNA)。在其移动过程中,可能会改变到地面 IP 骨干网(如 Internet)的连接点,并要求在这个链路断开、再连接的重复过程中保证用户通信不中断,为此需要解决网络移动问题^[1]。网络移动是指一个移动 IP 网络(如一个 LAN)能够在保证通信连接不中断的条件下改变到一个 IP 骨干网的连接点,从而实现整个网络在移动过程中的数据不间断传输^[2]。由于卫星通信具有大范围 and 全球无缝覆盖,采用卫星通信网来向这些移动平台提供对地面网络连接的延伸,是一种比较经济、可行的解决方案^[1]。虽然基于地面网络的网络移动已经比较成熟,目前的研究主要集中在路由优化和应用研究上^[3-6],但是由于卫星网络固有的特殊性,使得一些基于地面网络的研究成果并不能直接应用于基于卫星通信的网络移动中,或者使用时效率低下,因此建立基于卫星通信的网络移动模型并进行相关的研究具有重要的实用意义。

本文首先建立了基于卫星通信的网络移动通信系统模型

并在 NS2 软件中实现了该模型,然后基于该模型对 TCP 的性能以及切换对其性能的影响进行了仿真,最后通过分析卫星通信的特点提出了一种改进的切换策略,通过计算机仿真证明了该策略可以大大缩短切换引起的 TCP 传输中断时间。

2 基于卫星通信的网络移动模型

在一个移动 IP 子网中,包括至少一个移动路由器^[2](MR, Mobile Router),它位于该移动 IP 网络的边缘,负责把移动网络连接到 IP 骨干网。另外,移动网络中还包括以下几个功能实体^[2]:移动主机(MH, Mobile Host)、家乡代理(HA, Home Agent)和外地代理(FA, Foreign Agent)。静止轨道卫星的点波束由不同的地面信关站管辖,外地代理和家乡代理的功能由地面信关站实现。利用静止轨道宽带通信卫星来为移动平台上的通信子网提供 Internet 接入的系统模型如图 1 所示,移动网络通过卫星信道实现与地面通信终端之间的通信。

移动路由器在移动过程中能够改变网络接入点。与普通路由器一样,它必须具有多个转发端口,能够动态更新路由,

到稿日期:2009-09-04 返修日期:2009-12-01 本文受国家自然科学基金(60972062),863 项目(2008AA12A204)资助。

谢智东(1984-),男,博士生,主要研究方向为卫星通信、深空通信等,E-mail: xzd313@gmail.com;贺超(1982-),女,助理工程师,主要研究方向为卫星通信网络等;张更新(1967-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为卫星通信等。

转发数据包;同时,它能够执行单个节点的移动 IP 协议,并具有数据包封装和解封的功能。移动网络中的移动节点 MH 不参与注册过程,FA 不包含移动节点的注册信息,因此需要将移动路由器作为移动节点的外部代理在 HA 处进行注册。这样,发往移动节点的数据包被 HA 截获后会首先进行 HA 到 MR 的封装,再进行 HA 到 FA 的封装。那么在 FA 解封装之后,即可根据注册信息将数据包转发给移动路由器,由移动路由器去除 HA 到 MR 的封装后交给移动节点。

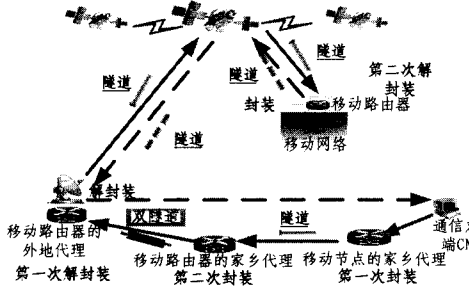


图1 基于卫星移动通信的网络移动系统模型示意图

图1中带箭头的实线代表数据由通信对端CN发往移动网络MN内的移动节点MH。此时,数据包首先被移动节点的家乡代理HA截获,该HA对数据包进行第一次封装,封装后的数据包的源地址为移动节点的家乡代理,目的地址为MN上的移动路由器MR。该数据包经过的路径为一段隧道。接下来移动路由器MR的家乡代理截获这一数据包,对其进行第二次封装。封装后的数据包的源地址为移动路由器的家乡地址,目的地址为移动网络当前的外地代理的地址。该数据包经过的路径为一个双隧道。被封装过两次的数据包到达外地网络的代理FA时,FA对它进行第一次解封装,然后将数据包通过卫星链路传送给移动网络的MR。MR接收到数据包后,对其进行第二次解封装,最终传送给移动节点MH。至此,一个数据包的传递过程结束。带箭头的虚线代表数据由MH发送给CN。MH的数据首先被移动网络内的MR截获,MR对数据包进行一次封装。封装后数据包的源地址为MR,目的地址为移动网络当前的外地代理FA。封装后的数据包会通过卫星移动链路送达卫星,再由卫星将其发送给地面的外地代理FA。FA接收到该数据包后,对其进行解封装,然后通过地面网络将其发送给通信对端CN。

本文主要通过对NS2中的无线移动节点进行功能扩展来实现MR模块,进而实现网络移动通信。由于移动节点不再参与网络移动协议的实现,因此需要将MR设为所有移动节点的默认网关,并且给它添加一个封装和解封装模块,如图2所示。

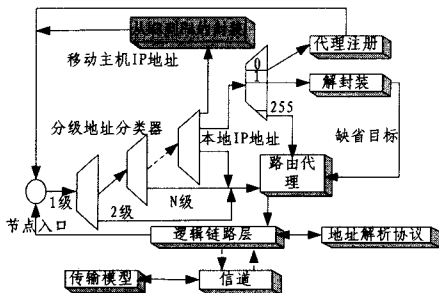


图2 移动路由器MR的节点结构图

3 性能仿真

3.1 TCP性能仿真

作为一种面向连接的传输层协议,TCP^[7,8]协议是目前进行网络数据可靠传输时使用的主要协议。由于卫星网络的大时延、高误码率对TCP的性能具有重要影响,本文基于上节建立的网络移动模型对TCP性能进行了仿真。

3.1.1 窗口大小及数据包长度

RTT和窗口大小两个因素可以影响系统吞吐量的大小。而其中窗口的大小不仅要考虑发送窗口,还需要考虑传输过程中的数据包净荷长度。选择合适的数据包净荷长度是比较困难的,取值过大或者过小都可能使网络性能变差。

本文在不确定TCP数据包最佳长度的情况下仿真了两种带宽下的TCP协议的性能。结果如图3和图4所示,图中x轴的数据为TCP传输的接收窗口阈值大小;图3(a),图4(a)的y轴为平均分组传输时延delay,图3(b),图4(b)的y轴为平均吞吐量大小;同一种类型的点代表TCP数据包的净荷取相同的值。

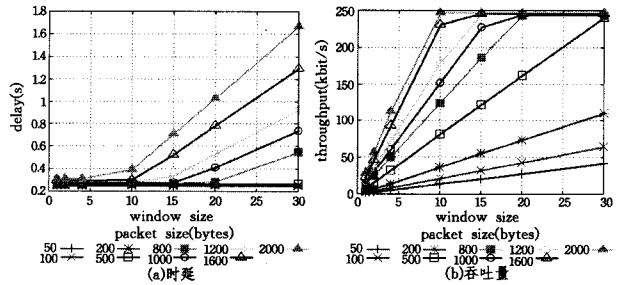


图3 信道带宽为256kbps时吞吐量和时延随窗口和包长的变化

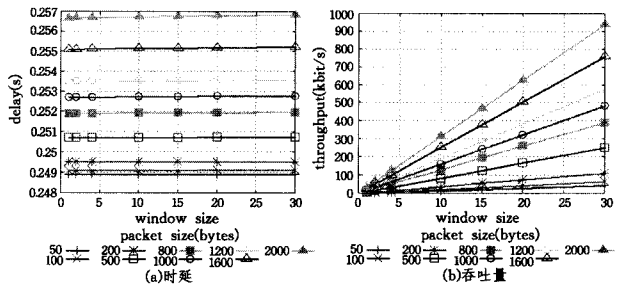


图4 信道带宽为2Mbps时吞吐量和时延随窗口和包长的变化

从图3可以看出,当信道带宽为256kbps、数据包净荷长度小于500byte时,传输时延不随窗口大小变化;数据包净荷大于800byte时,由于卫星链路的带宽值有限,而地面网络部分带宽较大,数据包会在上行链路信关站的缓存中排队等待。将带宽值增大到2Mbps、窗口小于30时,给定数据包净荷长度后,传输时延就不会有剧烈变化,如图4所示。这是因为此时传输的所有吞吐量还没有达到1Mbps,不会造成上行链路信关站处数据包的大规模排队等待。数据包大小相同时,吞吐量随着传输窗口的增加线性增加。

3.1.2 卫星信道的丢包率

卫星信道具有较高的突发错误,而且容易受到天气等因素的影响。对系统的平均吞吐量和时延进行仿真,可以得到图5的结果。当信道的丢包率增大时,数据包的传输时延增大,吞吐量减小。丢包率增大到大于0.01时,传输时延急剧增加。这是因为丢包率大到一定程度以后,TCP频繁地启动拥塞控制机制,不断减小发送窗口,进一步降低了效率。

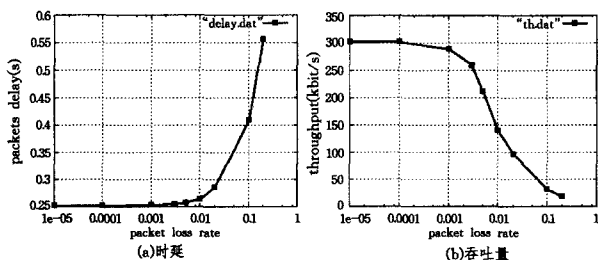


图5 丢包率对 TCP 传输时延和吞吐量的影响

3.2 切换对数据传输的影响

当移动节点 MH 随着移动网络离开家乡网络进入外地网络时,或者是由一个外地网络进入另外一个外地网络时,就需要进行 NEMO 的切换,这是网络移动通信中的一个重要问题。当移动网络由一个网络接入点改接到另一个接入点时,首先需要进行数据链路层的切换。这一层的切换过程是依各个子网所使用的底层通信技术的不同而不同的。当移动网络在归属于两个不同代理的子网之间切换时,在链路层切换完毕后才会计发生 IP 层的切换,即 NEMO 的切换。网络移动通信中 IP 层的切换过程通常分为两个阶段^[9],移动检测阶段和重新注册阶段。其中,平均移动检测时间由链路层切换时间和代理广告周期决定,而重新注册阶段的时间长度取决于移动网络到 HA 的距离。

在 NS 中设置的接收窗口阈值为 20,发送的 TCP 数据包净荷为 1000Byte,信道带宽设置为 2Mbps,仿真结果如图 6 所示。

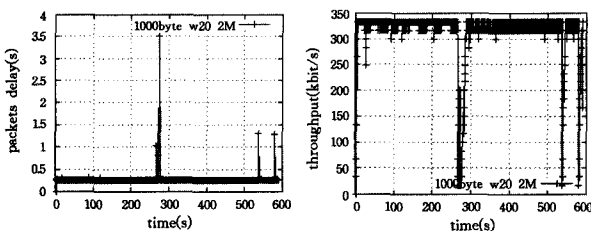


图6 信道带宽为 2Mbps 时的时延、吞吐量

从图 6 可看出,当移动网络在家乡网络和外地网络之间切换时,TCP 协议表现出如下特点:一方面,吞吐量跟时延的曲线存在一一对应关系,若某一时刻传输时延增大,则必然存在吞吐量的降低。另一方面,在 270s 左右,数据包传输时延会出现两个峰值,在这两个峰值之间,会出现一段时间的空白,即这段时间内没有数据被正确接收,对应吞吐量会出现两个谷值和一些空白区间,这就是移动网络在家乡代理和外地代理之间切换带来的影响。

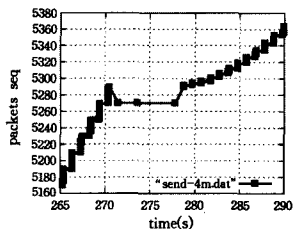


图7 信道带宽为 4Mbps 时切换过程中的数据包序号随时间的变化

当将信道带宽增大到 4Mbps 时,切换的中断现象仍然不可避免。发送端的数据包序号和时间的对应关系如图 7 所示。从图中可以看出,切换过程给 TCP 传输带来了近 8s 的中断。在此过程中,发送端会不断重复发送没有被接收到的

数据包,并且恢复后的 TCP 连接将重新进入慢启动阶段,从而给移动网络的正常通信带来了很大的影响。为此,需要提出一种改进的切换策略,用以降低该切换时延。

4 切换策略的改进

移动网络在切换过程中进入新的子网时,不能继续从原来的外地代理处接收数据包,在超时时限内得不到应答而产生超时重发和拥塞控制,减小传输流量,这是使 TCP 性能降低的主要原因。在移动 IPv4 协议的研究中,改进 IP 层切换对 TCP 协议性能的方法可以采用以下几种技术:平滑切换技术、快速重传技术和组播技术等。然而,切换策略本身也存在很多缺陷:平滑切换策略只有当 TCP 的重传时间门限大于切换时间时才有效;实现快速重传技术,需要移动 IP 软件和 TCP 软件的合作;在组播技术中,加入和退出一个组播组经常会导致组播组重新计算组播分配树,计算量很大。因此,它们不能够直接为网络移动通信所使用。

通过对 NEMO 协议和 TCP 协议进行修改,本文提出了一种改进的切换策略,此策略能够适应卫星移动通信的特点,减小了移动网络在切换过程中 TCP 传输的中断时延,提高了传输性能。

4.1 增加代理广播发送频率

移动网络在切换时,会不断地检测家乡或者外地代理广播的代理广告信息,以确定自己在哪个网络范围内。代理广告是搭载在 ICMP 路由器广播(router advertisement)报文中的。由于它是一个广播消息,因此一旦发送出去,在它的生存周期内,就会在相邻的路由器上被不断转发。代理广播发送频率对不同的通信方式有着不同的影响。

a) 基于移动 IPv4 的地面移动通信

在一个基于移动 IPv4 的地面移动通信子网内,通常有一个路由器为移动节点提供外地或者家乡代理服务。它会通过有线链路向周围发布代理广告消息,归属的基站接收到这一消息后,通过无线链路广播出去。如果子网内路由器数目太多,就会造成这一广播信息数目较快增长。如果发送过于频繁,就会给网络带来很大的负担。

b) 基于宽带 GEO 卫星的网络移动通信

基于宽带 GEO 卫星的网络移动通信中,担当代理作用的是卫星的地面信关站。当使用 GEO 卫星支持网络移动通信时,广告消息不经过地面有线链路,而是直接通过信关站经上行卫星链路发送给卫星,再由静止轨道卫星广播出去。这一过程中,不需要经过大规模的路由器转发,而是较好地利用了卫星的广播特性,从而不会增大网络的负担。广告消息的接收者是网络内的移动节点,更确切地说首先是作为移动节点的外地代理的移动路由器 MR 接收广告信息,再由它转发给移动节点。移动路由器 MR 的数量很少,而且移动节点收到该信息后一般不再转发。即便移动网络内的网络结构是嵌套的,其路由器数目也是非常有限的,不会造成移动网络内代理广告信息的泛滥。

因此,本文提出在研究基于卫星移动通信的网络移动切换策略时,可以适当增大代理广告消息的发送频率,即缩小代理广告周期,以便移动网络更早发现自己是否已经运行到了新的网络,从而尽可能地缩短切换过程占用的时间。

(下转第 123 页)

统资源的安全性保护及交互任务能否实现,为能准确评价 agent,本文提出了根据活动因子 ψ 动态评价合作目标的学习机制。该机制根据 ψ 的取值赋予不同信任资源不同权值,并且在协作过程中根据系统特征及交互历史对 ψ 进行学习,动态调整信任评价方式。仿真实验表明,采用该机制在取得目标奖励的同时,可以有效地对目标 agent 进行评价,是一种有效的评估方法。

参考文献

- [1] Banerjee B, Mukherjee R, Sen S. Learning Mutual Trust[C]// Proc. of the Workshop on Deception, Fraud and Trust in Agent Societies at AGENTS-00, 2000, 9:14
- [2] Littman M, Stone P. Leading Best-Response Strategies in Repeated Games[C]// Proc. of the Workshop on Economic Agents, Models, and Mechanisms, at IJCAI-01, Seattle, Washington, 2001
- [3] Yolum P, Singh M P. Self-Organizing Referral Networks;

A Process View of Trust and Authority. Engineering Self-organizing Systems[J]. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2003;195-211

- [4] Huynh T D, Jennings N R, Shadbolt N R. Certified Reputation: How an Agent Can Trust a Stranger[J]. AAMAS06, 2006: 1217-1224
- [5] Huynh T D, Jennings N R, Shadbolt N R. An integrated trust and reputation model for open multi-agent systems[J]. Journal of AAMAS06, 2006, 13(2): 119-154
- [6] Fullam K K, Barber K S. Dynamically Learning Sources of Trust Information: Experience vs. Reputation[J]. AAMAS07, 2007: 1062-1069
- [7] 王少杰,郑雪峰,等. 基于个体经验的信任模型[J]. 通信学报, 2008, 4(29): 130-135
- [8] 陶海军,王亚东,等. 基于熟人联盟及扩充合同网协议的多智能体协商模型[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(7): 1115-1160
- [9] 王平,张自力. 多 agent 系统中信任的动态性处理[J]. 计算机科学, 2005, 32(3): 182-185

(上接第 106 页)

4.2 TCP 报文的主动重传

文献[9]提出了一种基于主动重传的切换策略,即在移动 IPv4 通信中进行 TCP 传输时,当注册完成后,为了避免 TCP 进入超时等待,由移动节点主动重发 TCP 数据报文。然而,这种方法需要对每一个移动通信节点做出改进,这不太现实。特别是在网络移动通信中,进出移动网络的节点的活动可以是随机的,如飞机上的笔记本使用者到达目的地后或许就不再使用无线网络进行通信。

基于文献[9]的设想,本文提出可以通过移动路由器 MR 来触发主动重传。在移动网络的移动路由器 MR 上,增加一个缓存空间,对应于移动网络内的不同的节点,用于存取移动节点当前发送的数据包。切换完成以后,MR 将该数据包发送给通信对端,从而触发了 TCP 的切换过程。如果移动节点是 TCP 连接的发送方,切换完成后,MR 缓存将当前存储的 TCP 数据包重发一遍给通信对端;如果移动节点作为 TCP 的接收方,切换完成后,MR 缓存将当前存储的 ACK 数据包重复发送 3 遍,使得通信对端采取快速重传机制。

在 NS 中,需要在 mip-reg. cc 中添加相关函数并更改代理广播周期等参数,还需要更改 agent. h, tcp. cc, tcp-sink. cc, ns-default. tcl 和 ns-mip. tcl 中的相关函数。需要注意的是,并不是移动网络在数据链路层的每次切换都会触发 TCP 的重传,需要区分移动网络所切换的两个子网是否归属于同一个代理。

4.3 与原有切换策略的性能对比

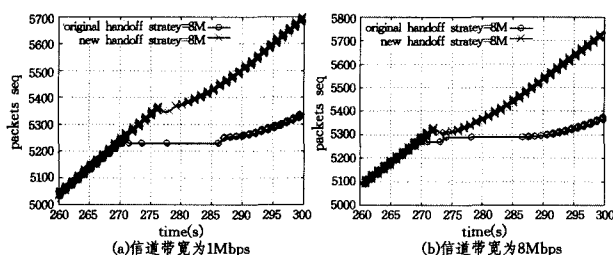


图 8 改进的切换策略与原有切换策略的对比

针对上述切换策略,在 NS 中将基于 NEMO 的原有切换

策略和新的切换策略进行仿真对比。如图 8 所示,空心圆点代表使用原有切换策略时的 TCP 连接的包序号,叉点代表使用新的切换策略时的 TCP 连接的包序号,改变系统的带宽分别设置为 1Mbps 和 8Mbps。可以看出,使用新的切换策略后,切换开始的时间推后,而切换结束的时间提前,从而大大缩短了 TCP 传输过程中由切换引起的中断时间。

结束语 由于卫星通信具有大范围 and 全球无缝覆盖,采用卫星通信网来向这些移动平台提供对地面网络连接的延伸,是一种比较经济、可行的解决方案。本文首先建立了基于卫星通信的网络移动通信系统模型并在 NS2 软件中实现了该模型,然后基于该模型对 TCP 的性能以及切换对其性能的影响进行了仿真,最后通过分析卫星通信的特点提出了一种改进的切换策略,通过计算机仿真证明了该策略可以大大缩短切换引起的 TCP 传输中断时间。

参考文献

- [1] 张更新,李江华,钱宗峰. 基于卫星移动通信的网络移动研究[J]. 电信快报, 2005(3): 14-17
- [2] Devarapalli V, Wakikawa R, Petrescu A, et al. Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol[S]. IETF, RFC 3963. 2005
- [3] Ernst T, Lach H Y. Network Mobility Support Terminology[S]. IETF, RFC 4885. 2007
- [4] Ernst T. Network Mobility Support Goals and Requirements[S]. IETF, RFC 4886. 2007
- [5] Thubert P, Wakikawa R, Devarapalli V. Network Mobility Home Network Models[S]. IETF, RFC 4887. 2007
- [6] Ng C, Thubert P, Watari M, et al. Network Mobility Route Optimization Problem Statement[S]. IETF, RFC 4888. 2007
- [7] James F K, Keith W R. Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet [M]. Pearson Education Inc., 2004: 159-190
- [8] Stevens W. TCP slow start, congestion avoidance, fast retransmit, and fast recovery algorithms[S]. IETF, RFC 2001. 1997
- [9] 赵阿群. 移动支持协议切换性能研究[J]. 软件学报, 2005, 16(4): 587-594
- [10] 叶敏华,张惠民,刘雨. Mobile IP 切换时的 TCP/UDP 性能分析[J]. 电信交换, 2001(4): 1-6