

基于节点相对移动性的自适应按需组播路由协议

夏 利 田东渭 刘宗奇

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110004)

摘 要 提出一种基于节点相对移动性的自适应按需组播路由协议 RMNAM。RMNAM 协议继承了 ADMR 协议的按需特性,并引入了节点相对移动性的概念。一方面,协议使用节点相对移动性作为组播转发树路径选择的重要依据,以提高组播转发树的健壮性;另一方面,协议将接收节点执行全局修复的频率与组播树各路径平均节点相对移动性信息相结合,对源节点的传输方式切换策略进行优化,使其具有更好的适应性。仿真实验结果表明,RMNAM 在分组递交率和传输时延方面较 ADMR 有所改进,同时有效性和扩展性方面保持了对 ODMRP 的优势。

关键词 移动 Ad hoc,ADMR,节点相对移动性

中图法分类号 TP393.03 **文献标识码** A

Relative Mobility of Nodes Based Adaptive Demand-driven Multicast Routing Protocol

XIA Li TIAN Dong-wei LIU Zong-qi

(School of Information Science and Engineering, Northeast University, Shenyang 110004, China)

Abstract This paper presented a kind of relative mobility of nodes based adaptive demand-driven multicast routing protocol RMNAM. RMNAM protocol inherits the on-demand features of ADMR protocol, and introduces the concept of relative mobility of nodes. On the one hand, the protocol uses the relative mobility of nodes as an important factor in multicast forwarding tree, which improves the robustness of the multicast paths; on the other hand, the protocol optimizes the transmission switching strategy of source node by consulting the global repair frequency and the average relative mobility of nodes to promote adaptability. The simulation results show that RMNAM protocols improve ADMR protocol in the packet delivery ratio and transmission delay, and it keeps the advantages of effectiveness and scalability compared with ODMRP.

Keywords Mobile Ad hoc, ADMR, Relative mobility of nodes

1 引言

移动 Ad hoc 网络,是由一组带有无线通信收发装置的移动终端组成的一个多跳的临时性无中心自治网络,可以在任何时刻、任何地点快速构建的一个移动通信网络,它不需要现有固定基础网络设施的支持^[1]。美国卡内基梅隆大学的研究者们提出了自适应按需组播路由协议(Adaptive Demand-driven Multicast Routing protocol, ADMR)^[5]。ADMR 协议是一种基于树结构的按需组播路由协议,具有控制开销小、适应性强等优点。然而,ADMR 协议在构建组播转发树时仅以时延作为路径的选择标准,并不备份冗余路径,这就导致所建的组播转发树可能不健壮,从而影响网络系统的性能。为了改善这一状况,本文在 ADMR 协议基础上,提出了一种基于节点相对移动性的自适应按需组播路由协议(Relative Mobility of Nodes based Adaptive demand-driven Multicast routing protocol, RMNAM)。RMNAM 协议继承了 ADMR 协议的按需特性,并引入节点相对移动性度量作为组播转发树路径选择和源节点传输方式切换的重要因素。一方面,在构建组播转发树时,路径选择兼顾节点相对移动性的大小和时延两

个因素可以增强组播转发树的健壮性,提高网络的分组递交率并降低网络时延;另一方面,源节点利用转发树各条路径的平均节点相对移动性信息,为传输方式切换策略提供依据,可使网络具有更高的自适应性。

2 RMNAM 协议概述

2.1 ADMR 协议简介

ADMR 协议是一种经典的基于树结构的按需组播路由协议,它尽可能地减少了任何非按需成分^[6]。

一方面,节点 S 希望加入某一个组播组 G 以便发送组播分组时,在第一个组播数据分组中插入 ADMR 报头,并将洪泛标志位设置成网络洪泛模式。当收到至少一个接收节点加入消息(RECEIVER JOIN)后,节点 S 开始按树洪泛模式发送缓存的后续组播分组。

另一方面,节点 R 想加入组播组 G 时,可以网络洪泛方式发送组播请求消息(MULTICAST SOLICITATION),并以组播组 G 的组地址作为目的地址。收到该消息的节点若有关于该组源节点 S 的条目,同时又是该组的转发节点,则就用单播的方式向上游节点发送这个消息。当任意针对组播组

到稿日期:2011-11-14 返修日期:2012-03-1

夏 利 博士,副教授,主要研究方向为下一代互联网, E-mail: xiali@ise. neu. edu. cn; 田东渭 硕士,主要研究方向为下一代互联网。

G的源节点接收到 MULTICAST SOLICITATION 消息时,它都回复此消息,要么选择提前进行网络洪泛组播数据分组,要么按照单播方式给节点 R 发送一个 ADMR 来继续维持消息,以通知节点 R 自己是组 G 的发送节点。

节点 R 收到对 MULTICAST SOLICITATION 消息的回复时,立即按回复消息经过的路径发送 RECEIVER JOIN 消息给组播源节点,从而建立连接到组播树的转发状态。

RMNAM 协议的基本思路是引入节点相对移动性度量标准,以此作为路由选择和网络移动性判断的重要依据,从而得到更健壮的组播转发树和更优化的传输方式切换策略,以提高数据分组递交率,减少一些不必要的网络资源消耗。

2.2 节点相对移动性的度量

本文根据以下假设,提出转发相关移动性度量标准:接收节点在接收转发分组时检测到与邻居节点之间的距离为 D ,如何检测将在下面讨论。通过接收到的该邻居节点后续转发的分组,可以计算出当前节点与邻居节点间的转发相关移动性。节点 P 相对于节点 Q 的转发相关移动性度量标准定义为

$$M_P(Q) = 10 \log_{10} \frac{D_{PQ}^{new}}{D_{PQ}^{old}} \quad (1)$$

当新探测的节点间距离 D_{PQ}^{new} 小于上次探测的距离 D_{PQ}^{old} 时, $M_P(Q)$ 小于 0, 表示节点 P 与节点 Q 正在相向而行,则可以认为节点 P 与节点 Q 之间的链路在一段时间内将是比较稳定的。相反,如果 D_{PQ}^{new} 大于 D_{PQ}^{old} , 则 $M_P(Q)$ 大于 0, 表示节点 P 与节点 Q 正背向移动,节点 P 与节点 Q 将要离开彼此的通信范围。为便于理解,本文以下将其统称为节点相对移动性。

下面讨论如何检测接收节点与其邻居节点之间的距离。在自由空间中,根据自由空间传播模型,接收信号的强度与节点间距离的平方成反比。按 Friis 自由空间方程式^[9],接收信号的强度与节点间距离有如下关系,即

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (2)$$

式中, $P_r(d)$ 为接收方功率, λ 为波长, G_r 为接收方天线增益, P_t 为发送功率, G_t 为发送方天线增益, L 为系统损耗率, d 为发送方到接收方的距离。由式(2)变形得

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \times \sqrt{\frac{G_r G_t P_t}{L P_r}} \quad (3)$$

式中,等号右边除 P_r 是变量外,其余参数均为固定常量。因此两次接收分组时的距离分别为

$$D_{PQ}^{new} = \frac{\lambda}{4\pi} \times \sqrt{\frac{G_r G_t P_t}{L P_r^{new}}} \quad (4)$$

$$D_{PQ}^{old} = \frac{\lambda}{4\pi} \times \sqrt{\frac{G_r G_t P_t}{L P_r^{old}}} \quad (5)$$

将式(4)和式(5)代入式(1),经化简得

$$M_P(Q) = 5 \log_{10} \frac{P_r^{old}}{P_r^{new}} \quad (6)$$

这样,就可以根据式(6)利用两次连续探测的信号强度值计算出节点 P 对于节点 Q 的相对移动性大小。节点相对移动性大小将作为 RMNAM 协议的路由选择的重要依据。

2.3 RMNAM 协议的设计

RMNAM 协议为传输方式的切换设定了 3 个门限值:路

径高移动性门限(PATH_HIGH_MOBILITY)、组播组高移动性比门限(GROUP_HIGH_MOBILITY_RATIO)和组播组低移动性门限(GROUP_LOW_MOBILITY)。如果接收节点执行全局修复的频率值高于 PATH_HIGH_MOBILITY 值,则接收节点将在下一个 RECEIVER JOIN 消息的 RMNAM 报头中把 Receiver Join Option 的高移动性标志位置为 1。在树洪泛方式下,如果源节点收到高移动性标志位置为 1 的 RECEIVER JOIN 消息个数与接收节点总个数的比值大于 GROUP_HIGH_MOBILITY_RATIO,那么源节点将传输方式切换到网络洪泛方式。在网络洪泛方式下,源节点收到各接收节点 RECEIVER JOIN 消息的 RMNAM 报头中 Mobility Parameter Option 选项的 Mobility parameter 值的平均值一旦小于 GROUP_LOW_MOBILITY,就立即将传输方式切换到树洪泛方式。

在 ADMR 协议中,网络中的所有节点都在本地通过以下 3 个表来维护组播转发状态^[6]。

源节点列表:该表中的每个条目包含本节点对于该组播组发送即时分组的时间间隔以及自发送最近一个数据分组以来本节点连续发送的继续维持分组的累计数量等信息。

成员节点列表:该表中的每个条目都包含一个标识位用以指示本节点是否为一个接收节点,以及一个标志位用以指示本节点是否为一个转发节点、该源节点对于该组播组发送即时分组的时间间隔以及继续维持分组数量的当前值。

节点列表:该表中的每个条目包含来自最近接收分组的序列号、一个位图以及上一跳地址。

为了计算节点的相对移动性大小, RMNAM 协议要求每个节点除了维护以上 3 个表外还需维护 1 个邻居节点列表。该表中的每个条目包含最近收到来自该邻居节点分组的接收功率大小以及时刻值,时刻值用于保证邻居节点信息的实效性,节点将周期性地清除已经过期的条目。节点在收到任何一个分组时更新邻居节点条目。除此之外, RMNAM 协议在源节点列表中增加了两个字段,用于记录组播组接收节点的个数以及组播转发树的节点相对移动性。

3 仿真结果

3.1 仿真环境

为了评价 RMNAM 协议的性能,本文搭建网络框架,使用 redhat7.3 和 ns-2.1b8 支持移动 Ad hoc 网络组播,并执行 RMNAM 协议、ADMR 协议以及 ODMRP 协议。

仿真区域是 1200m × 800m 的矩形平面;节点数目为 100;节点移动模型是 Random Waypoint Model,间歇停留时间为 0s;物理层/MAC 层技术为 IEEE802.11;流量产生模型的恒定比特率为 CBR;无线信道容量为 2MB/s;无线传输范围为 250m;仿真时间为 800s。

为了实现协议的多场景比较,一些仿真参数被设置为选择可变的。它们的不同选择组合起来便构成了不同的仿真场景。组播组参数:本文使用组播组参数选项有:1 × 1 × 10, 1 × 1 × 50, 1 × 1 × 99, 2 × 3 × 10, 2 × 3 × 20, 2 × 3 × 30。

在仿真实验过程中,本文使用 NS2 仿真软件中集成的、

由美国卡内基梅隆大学开发的移动场景生成器 setdest 工具和网络流量场景生成器 cbrgen,以设置仿真所需的模拟场景。

3.2 仿真结果分析

在本组实验中,本文着重比较了在组播组参数改变的情况下 RMNAM 协议、ADMR 协议和 ODMRP 协议的各项性能指标。其分组发送速率设置为 4packets/s,节点最大移动速率设置为 20m/s。

3.2.1 不同的分组发送速率

为了比较协议性能和网络负载的关系,在本组仿真实验中设置了 2 个组播组,每个组播组里有 3 个源节点和 10 个接收节点,CBR 的流量从 2packets/s 逐步增加到 12packets/s,然后对不同节点移动速率情况下的实验结果取平均值。

(1)数据分组递交率如图 1 所示,起初分组发送速率从 2packets/s 增加到 4packets/s 时,3 种协议的数据分组递交率都有略微的上升。这说明 RMNAM 协议和 ADMR 协议更能适用于高负荷的移动 Ad hoc 网络,且 RMNAM 协议在分组递交率方面要优于 ADMR 协议。

(2)平均端到端时延如图 2 所示,RMNAM 协议和 ADMR 协议的端到端时延与分组发送速率的关系不大,保持比较平稳,因为 RMNAM 协议继承了 ADMR 协议的树型结构路由,且不存在周期性的控制消息;而且 RMNAM 协议的平均端到端时延要比 ADMR 协议的低 5ms 到 10ms。ODMRP 协议的平均端到端时延随着分组发送速率增大而增大,特别是在分组发送速率达到 8packets/s 后,ODMRP 的平均端到端时延增加速度加剧。

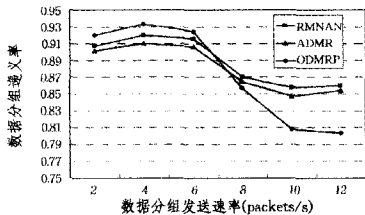


图 1 不同分组发送速率情况下” 分组递交率

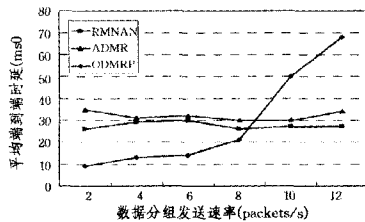


图 2 不同分组发送速率情况下的端到端时延

(3)路由控制开销如图 3 所示,3 种协议的路由控制开销都呈现减小后再略微增大的趋势。总的来说,RMNAM 协议和 ADMR 协议的控制开销保持在一个很低的水平,特别地,当分组发送速率大于 4packets/s 后,RMNAM 协议和 ADMR 协议的控制开销均低于 20%,其中 ADMR 协议的控制开销更低。ODMRP 协议的控制开销最大且始终维持在 70% 以上。这说明 RMNAM 协议和 ADMR 协议的有效性处于较高的水平,因此在能量和带宽有限的移动 Ad hoc 网络中,它们更具优势。

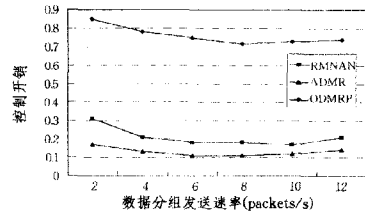


图 3 不同分组发送速率情况下的控制开销

3.2.2 不同的节点最大移动速率

为了测试协议对网络移动性的适应能力,设置 CBR 的流量产生速率为 4packets/s,并设置 2 个组播组,每个组播组里有 3 个源节点和 10 个接收节点,节点最大移动速度从 5m/s 变化到 30m/s。

(1)数据分组递交率如图 4 所示,随着节点移动性的增强,3 种协议的数据分组递交率都有下降的趋势,其中,ODMRP 和 RMNAM 协议下降得稍缓慢,ADMR 协议下降得较快。

(2)平均端到端时延如图 5 所示,RMNAM 协议和 ADMR 协议的时延相差不大,RMNAM 协议要略优于 ADMR,且当节点移动性增强时,其优势变得更明显。ODMRP 的平均端到端时延比前二者小很多,处理这些控制信息需要花费一定的时间。总体而言,端到端时延与节点移动速率关系不大。

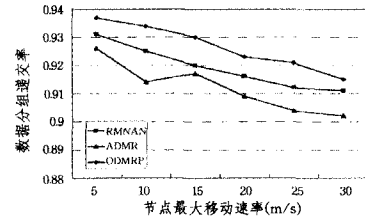


图 4 不同节点移动情况下的分组递交率

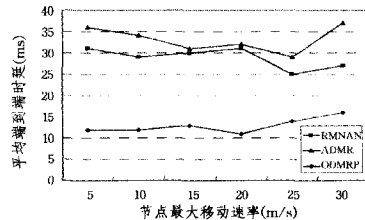


图 5 不同节点移动情况下的平均端到端时延

(3)路由控制开销如图 6 所示,ODMRP 的控制开销最高,但其并不受节点移动性变化的影响。RMNAM 协议与 ADMR 协议的控制开销比 ODMRP 低很多,因为它们都不存在周期性的控制消息,但其控制开销随节点移动性增强而略有增加,RMNAM 协议比 ADMR 协议增加得更缓慢。

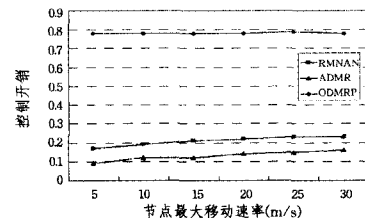


图 6 不同节点移动情况下” 控制开销

策略在处理 64Bytes 的流量时使用 64Bytes 的切分单元其性能最佳,而使用其他 3 种切分单元时,在低负载下其时延较大。这是因为对于这种小数据帧流量,在低负载条件下,由于数据量和数据帧长都较小,采用大的切分单元必定会引入较大的填充字节,从而导致带宽的浪费;只有在高负载下,当输入端产生一定的数据堆积后才会表现出合帧切分的优势。图 4(b)所示为当输入流量的帧长提高到 594Bytes 时的情况,可以看出,采用 128Bytes 的切分单元性能最优;而在图 4(c)中,对于 1518Bytes 的流量则采用 512Bytes 的切分单元有较好的性能。因此采用固定切分单元的 cell-merging 策略,无法选择一个固定的切分单元来适应不断变化的业务流量,而本文提出的自适应策略,则能够根据输入端流量动态地选择合适的切分单元,在各种流量下都能保持良好的性能。图 4(d)为模拟真实 Internet 流量的 IMIX 模型下各种切分策略的性能对比。可以看出,自适应算法的性能仍然最佳。

结束语 本文首先介绍了输入排队结构的包切分原理,分析了传统切分策略的不足;然后针对传统包切分策略带宽利用率低且需要较大加速比以及 cell-merging 策略存在的切分单元灵活性较差等问题,提出了一种自适应包切分策略。该策略利用交换结构输入端的队列状态调整在每个调度周期中的切分单元大小,有效地提高了系统的带宽利用率。仿真实验表明,采用自适应切分策略的交换结构能够适应各种输入业务流,可显著提高数据帧的切分效率,且具有良好的时延性能。

(上接第 96 页)

结束语 本文对移动 Ad hoc 网络中的现有组播路由协议进行比较和分析后,选择控制开销小、有效性高、扩展性好的 ADMR 协议作为深入研究的对象。针对 ADMR 协议对网络移动性适应能力差的问题,引入了节点相对移动性概念,提出一种改进的基于节点相对移动性的自适应组播路由协议 RMNAM。RMNAM 协议完全继承了 ADMR 协议的按需特性,并引入节点相对移动性度量作为组播转发树路径选择和源节点传输方式切换的重要因素,以满足移动 Ad hoc 网络对路由协议的高适应性要求。仿真实验结果证明,RMNAM 协议在分组递交率与端到端时延方面优于 ADMR,且与 ODMRP 相比,能更好地适应组播规模的扩展和网络负载的增加。

参考文献

- [1] Perkins C E. Ad Hoc Networking [M]. London: Addison Wesley, 2001; 12-16
- [2] Toh C K. Ad Hoc Mobile Wireless Networks [M]. New Jersey: Prentice Hall PTR, 2002; 6-19
- [3] The Wireless Networks Laboratory at Cornell University [OL]. <http://people.ecc.cornell.edu/~haas/wnl/>
- [4] The UCLA Wireless Adaptive Mobility Laboratory [OL]. <http://www.cs.ucla.edu/NRL/Wireless/>

参考文献

- [1] McKeown N, Anantharam V, Walrand J. Achieving 100% throughput in an input-queued switch [J]. IEEE Transactions on Communications, 1999, 47(8): 1260-1267
- [2] Beldianu S F, Rojas-Cessa R, Oki E. Scheduling for Input-Queued Packet Switches by a Re-configurable Parallel Match Evaluator[J]. IEEE communications on letters, 2010, 14(4): 357-359
- [3] McKeown N. The iSLIP scheduling algorithm for input-queued switches [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(2): 188-201
- [4] Kar K, Lakshman T V, Stiliadis D, et al. Reduced Complexity Input Buffered Switches[C]// Proc. HOT Interconnects VIII. Stanford University, Stanford, CA, August 2000
- [5] Christensen K, Yoshigoe K, Roginsky A, et al. Performance Evaluation of Packet-to-Cell Segmentation Schemes in Input Buffered Packet Switches[C]// Proc. IEEE Int. Conf. On Communications (ICC'2004). Paris, France, 2004; 1097-1102
- [6] Zoran M C. FPGA Implementation of IP Packet Segmentation and Reassembly in Internet Router[J]. SERBIAN Journal of electrical engineering, 2009, 6(3): 399-407
- [7] 孙玉. 电信网络总体概念讨论[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007
- [8] Agilent Technologies. JTC 003; Mixed Packet Size Throughput [EB/OL]. <http://advanced.comms.agilent.com/n2x/docs/journal/JTC-003.html>
- [5] Jorjeta A, Jetcheva G, Johnson D B [OL]. <http://tools.ietf.org/id/draft-jetcheva-manet-admr-00.txt>
- [6] Jetcheva J G, Johnson D B. Adaptive Demand-Driven Multicast Routing in Multi-hop Wireless Ad Hoc Networks[C]// ACM MobiHoc 2001. Long Beach, CA, USA, 2001
- [7] Shurdi O, Miho R, Kamo B, et al. Performance Analysis of Multicast Routing Protocols MAODV, ODMRP and ADMR for MANETs[C]// 2011 International Conference on Network-Based Information Systems. 2011; 596-601
- [8] Rezaei B A, Sarshar N, Roychowdhury V P. Distributed resource sharing in low-latency wireless ad hoc networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2010, 1(18): 190-201
- [9] Shpungin H, Segal M. Near Optimal Multicriteria Spanner Constructions in Wireless Ad hoc Networks [C]// IEEE INFOCOM 2009. 2009; 163-171
- [10] Mohamed Y A, Abdullah A B. Immune inspired framework for ad hoc network security [C]// Control and Automation, IEEE International Conference. 2009; 297-302
- [11] Kong Ruo-shan. The Simulation for Network Mobility Based on NS2 [C]// International Conference on Computer Science and Software Engineering. 2008; 1070-1074