

一种基于网络编码的移动自组网实时多播协议

谭国平,倪新洋,季敏,马赛赛

(河海大学 计算机与信息学院 通信与信息系统研究所,江苏 南京 210098)

摘要: 针对移动自组网中的实时多播场景,提出一种基于网络编码的协议—NCRM. 该协议可通过减少网络中数据包的转发次数降低节点能耗,并可改善网络吞吐量性能. 为适应实时性要求,在 NCRM 中引入了严格的时延限制机制. 仿真结果显示,与 PUMA、MAODV 等传统协议相比较,NCRM 能更好地适应存在多接收节点、高移动性的环境,且在传输可靠性与节省能耗方面具有显著优势.

关键词: 移动自组网;网络编码;实时多播

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)08-0012-03

NCRM: A Network Coding Based on Real-time Multicast Protocol in Mobile Ad-Hoc Networks

TAN Guo-ping, NI Xin-yang, JI Min, MA Sai-sai

(Institute of Communications and Information Systems, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In this paper, a Network Coding based Real-time Multicast (NCRM) protocol is proposed for real-time multicast services in Mobile Ad-hoc Networks (MANET). Through reducing the forwarding times for data packets in MANET, NCRM can not only decrease the energy consumption but also improve the throughput performance. To satisfy the requirements of real-time services, NCRM also adopts a mechanism of strict delay constraints. Simulation results show that, in those scenarios with many receivers or high motilities, NCRM is significantly better than those traditional protocols such as PUMA and MAODV in terms of transmission reliability and energy consumption.

Key words: MANET; network coding; real-time multicast

1 引言

2000年,Ahlsweide等提出了网络编码^[1]的概念,指出通过允许网络中的路由结点进行编码操作,可使网络达到最大流最小割定理所确定的最大理论容量.自此,国内外众多学者对网络编码在MANET多播中的应用展开了广泛的研究^[2-3].

基于随机线性网络编码,Park等提出了CodeCast^[3],实现了在较少的控制和延迟开销下获得较大的网络吞吐量.文献[4]提出一种基于PUMA^[5]的网络编码NC-PUMA,减少了mesh网中数据包的转发次数,提高了信道利用率.

本文提出一种基于网络编码的MANET实时

多播协议—NCRM,它结合了PUMA统一且精简的控制包的特点,减少了控制开销.同时,它仅在所有接收节点自主形成的mesh网中进行网络编码操作.从整体上看,mesh网是整个网络中接收节点集中分布的区域,因此,这种机制在一定程度上避免了mesh网以外的节点不必要的编码转发操作,从而降低了节点的能耗.此外,在NCRM中,通过对节点的本地缓存做一些处理,将整个网络的端到端延迟限制在了一个可控范围内,改善了协议的实时性,弥补了CodeCast和NC-PUMA的缺陷.

2 NCRM 协议机制

NCRM中,发送节点采用随机线性网络编码的

收稿日期: 2011-06-14; 修回日期: 2011-07-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(61001068);教育部博士点基金项目(20100094120017)

方法对原始数据包进行初始编码,编码包沿着最优路径传输至接收节点自主形成的 mesh 网中. mesh 网中的所有节点(包括接收节点和转发节点)对编码包进行二次编码和转发操作. 当这些节点无法恢复某分组块的原始数据包时,将主动向邻居节点请求相关资源. 通过这种互相协调资源的方式,可确保接收节点收集足够多的编码包用以恢复出原始数据包.

2.1 发送节点处理机制

发送节点的上层应用持续发送一组由唯一且连续的 UID 标识的数据包. 网络层接收到数据包时,根据 UID 将数据包分组为不同的分组块. 这里,定义每 BLOCK_SIZE 个数据包组成一个分组块. 将得到的分组块号 block_id 存入该数据包包头的 block_id 域中,表 1 为 NCRM 的包头格式.

表 1 NCRM 包头格式

block_id	block_size	rank	encoding_vector
----------	------------	------	-----------------	-------

当发送节点收满某一个分组块的数据包时,便对该分组块进行初始编码操作,生成编码包 Cblock_id,同时将生成的随机编码向量存入编码包的 encoding_vector 域中,随编码包一同传输. 每次初始编码都将该分组块编码成 BLOCK_SIZE 个编码包发送给邻居节点,以确保发送节点初次发送有关该分组块的编码包时,便已包含了下游节点恢复原始数据包所需的足够多的线性无关的编码向量.

针对每个分组块,设定一个定时器,其时长为 WAIT_FOR_ENCODE,在定时器超时,无论该分组块是否收满数据包,发送节点必须将该分组块编码发出. 在这种情况下,编码包的 block_size 域中的数值根据此时参与编码的该分组块所包含的数据包的个数确定.

2.2 中间节点处理机制

网络中的某一节点收到一个编码包 Cblock_id 时,首先检查该编码包是否增加了本地缓存中关于此分组块的编码系数矩阵的秩. 若秩增加了,即说明该编码包携带了新的信息,便将该编码包存入本地缓存;否则,将丢弃该编码包. 同时,在每一个关于新的分组块的编码包到来时,分别为其设置一个时长为 BLOCK_TIMEOUT 的定时器. 若该节点在定时器超时前无法收到足够编码向量线性无关的编码包,便主动向邻居节点请求相关资源. 我们在编码包的包头中设置了一个 rank 域,用来指示生成该编码包的节点所拥有的关于某一分组块的编码向量线性

无关的编码包的个数. rank 的值由参与编码的编码向量线性无关的编码包个数决定.

当某一节点收到 rank 小于 block_size 的编码包时,便可知生成该编码包的节点缺少恢复该分组块的原始数据包所需要的足够多的编码包. 若该节点的本地缓存中关于此分组块的编码包的编码系数矩阵是满秩的,即 rank 等于 block_size,该节点便将本地所拥有的属于该分组块的数据包重新编码后广播给邻居节点,以响应邻居节点的编码包请求.

在 BLOCK_TIMEOUT 超时之前,如果中间节点收到关于某分组块的足够多编码向量线性无关的编码包,该节点立即对该分组块进行二次编码,即用一组生成的 block_size 维的随机向量乘以该分组块的编码矩阵得到新的编码包的编码向量. 这里所有的操作都是在 $GF(2^8)$ 中进行. 接着将生成的编码包转发给邻居节点. 这里可根据不同场景自适应选择二次编码生成的编码包的个数. 在网络拓扑相对稀疏的情况下,较多的二次编码包个数可以确保实现较高的包投递率.

为了减少网络中转发包的次数,提高转发效率,同时确保网络的端到端延迟被限制在一个可控的范围内,我们限制了每个节点的本地缓存区的长度. 协议中规定,每个节点的本地缓存只保存最新的 SCHEDULE_LEN 个分组块. 节点不请求或者响应所有被覆盖的分组块的相关操作. 这样,在牺牲包投递率的代价下减轻了网络负载,同时可将端到端延迟严格限制在实时业务规定的范围之内.

2.3 接收节点处理机制

由于网络中存在大量中间节点,每个接收节点都有很多机会从其他节点接收到关于某个分组块的编码包. 当接收节点收到关于某个分组块足够多的编码向量线性无关的编码包时,即表明此节点可以顺利通过高斯消元法恢复出该分组块的原始数据包. 类似于中间节点的操作,接收节点也在每个新分组块到达之时设置一个时长为 BLOCK_TIMEOUT 的定时器,当定时器超时时,此接收节点若仍然未能够收集满足足够多编码向量线性无关的编码包,即将已收集到的编码包二次编码成一个编码包,以向邻居节点请求相关编码包. 此外,该请求资源的编码包对于其他节点来说可能是含有新信息的编码包. 因此,向邻居节点请求相关资源的操作在某种程度上为邻居节点恢复某分组块的原始数据包也提供了帮助.

若接收节点顺利地恢复出某一分组块的原始数

据包,则接着对该分组块进行二次编码,将编码包广播给邻居节点,以期向下游节点传递该分组块,或者为邻居节点提供该分组块的冗余编码包。

3 性能分析

为了评估 NCRM 的性能,我们在 NS2^[6] 仿真平台上搭建了相应仿真环境. 参数设置如下: 36 个节点均匀随机分布在 750 m×750 m 的区域中; 节点平均停留时间为 0; 移动模型采用随机路径模型; 节点的信号覆盖范围为 250 m, 信道容量 2 Mb/s. 应用层采用单个数据包大小为 512 byte 的恒定比特数据流(CBR)来模拟多播业务; 传输层采用用户数据包协议(UDP); 网络层采用 NCRM; 仿真时间为 15 s.

每组仿真参数将生成 8 个不同的随机场景, 每个场景下分别进行 5 次仿真, 最终通过计算包投递率以及总开销的平均值得出仿真曲线. 某一段时间内维持较高的包投递率意味着在该段时间内整个网络有着较大的吞吐量. 总开销用于衡量成功接收到一个数据包在网络中所需传输的包(包括控制包和数据包)的总数.

限于篇幅, 本文只讨论接收节点个数变化情况下, MAODV^[7], PUMA 和 NCRM 的性能. 其他场景下有着类似的性能.

为了研究多播组中接收节点数对协议性能的影响, 设置单个多播组中接收节点数分别为 5、10、15、20、25、30、35. 节点移动速度设为 10 m/s; 业务负载为 5 kb/s. 关于总开销及包投递率的仿真结果分别由图 1(a)和 1(b)表示.

如图 1(a)所示, NCRM 的总开销基本维持在三者的最低水平, 即意味着 NCRM 相比于 MAODV 以及 PUMA 而言有着更低的包转发次数. 这是因为, 在 NCRM 中, 当接收节点数达到一定规模时, 更多节点参与网络编码, 使接收节点有更大概率在较短时间内即可收集满解码所需的编码包, 而不必过多地借助向邻居节点请求相关资源这一方式, 从而减少了编码包的转发次数, 降低了网络总开销. 而 PUMA 和 MAODV 分别由于 mesh 网内的洪泛和多播树建立以及维护所需的大量控制包, 导致它们的总开销高于 NCRM. 同理, 随着接收节点数的增多, 有更多节点参与网络编码的场景将极大的有利于 NCRM 成功地解码出原始数据包, 提高包投递率. 如图 1(b), 在接收节点数目达到 25 或者更多时, NCRM 的包投递率始终维持在 90% 以上, 而

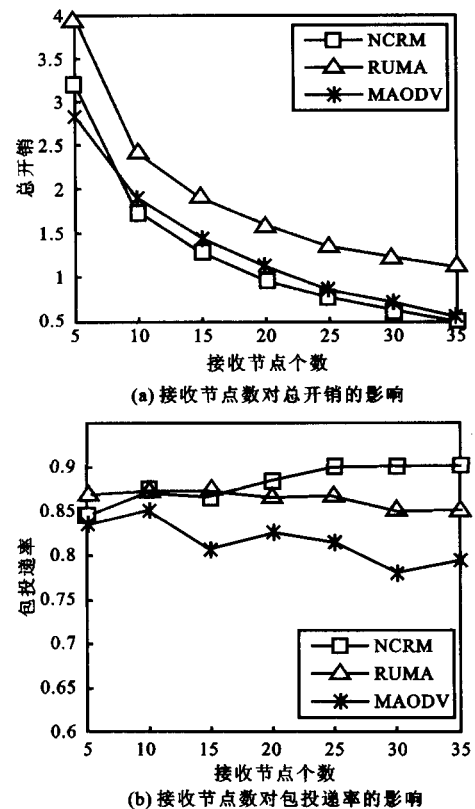


图 1 接收节点个数对性能的影响

MAODV 则维持在 80% 左右.

4 结束语

本文提出了一种基于网络编码的移动自组网实时多播协议, 其在维持较低总开销的情况下依然保持较高的包投递率, 在较多接收节点以及较快节点移动速度场景下具有良好的鲁棒性. 总开销的降低意味着更少的数据包和控制包转发, 而包的发送过程恰恰是节点能量最大的消耗源, 因此降低了整个网络的总能耗. 此外, NCRM 对节点缓存的处理, 可将网络的端到端延迟严格限制在实时业务规定的范围以内, 提高了实时性.

下一阶段, 我们将针对多个多播组共存的环境对 NCRM 进行性能优化, 并结合应用层的差错控制编码技术进行跨层联合优化, 进一步提高协议的性能.

参考文献:

- [1] Ahlswede R, Cai N. Network information flow[J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 2000, 46(4): 1204-1216.
- [2] 徐奎, 戴彬. 基于无线网络编码的信道利用率研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(1): 127-130.

(下转第 18 页)

4 结束语

我们现在的日常生活越来越依赖各种各样的移动数字设备和传感设备,普适计算逐渐成为我们生活中一个不可或缺的角色,为了提高部署在普适环境中系统的可用性,需要相应的动态更新技术来支持系统的持续运行.本文在国内外相关领域研究成果的基础上,通过分析普适环境的特点和现有更新模型的局限性,提出了路径更新方式和分布式更新模型;最后对提出的更新模型做形式化分析,从理论上验证了模型的正确性.在以后的工作中,我们将在真实的普适环境中逐步实现我们的更新模型.

参考文献:

- [1] Gu X, Messer A, Greenberg I, et al. Adaptive offloading for pervasive computing[J]. IEEE Pervasive Computing, 2004,3(3):66-73.
- [2] Fei Shen, Siqi Du, Linpeng Huang. A dynamic update framework for OSGi applications[C]// Proceedings of 2nd International Conference on High Performance Computing and Applications (HPCA2009). China; Shanghai, 2009.

- [3] Junrong Shen, Xi Sun, Gang Huang, et al. Towards a unified formal model for supporting mechanisms of dynamic component update[C]// Proceedings of the 10th European software engineering conference help jointly with 13th ACM SIGSOFT international symposium on Foundations of software engineering. Lisbon, Portugal, 2005.
- [4] Bartoletti M, Degano P, Ferrari G L. Types and effects for secure service orchestration[C]// Proc. the 19th Computer Security Foundations Workshop. Italy, Venice, 2006:57-69.
- [5] 曾慧清, 黄林鹏, 陈俊清. 基于 ASM 的普适环境下的服务动态组合[J]. 微电子学与计算机, 2010,27(8):86-90.

作者简介:

周文嘉 男,(1988-),硕士研究生.研究方向为普适计算、动态更新.

黄林鹏 男,(1963-),教授,博士生导师.研究方向为程序设计语言、并行分布式计算、人工智能等.

陈俊清 男,(1982-),博士研究生.研究方向分布式计算、普适计算、形式化分析.

(上接第 14 页)

- [3] Joon-Sang Park, Gerla M. Codecast: a network coding based ad hoc multicast protocol [J]. Wireless Communication, IEEE, 2006,13(5):76-81.
- [4] 焦进,杨铭熙. 基于网络编码的 Ad Hoc 网 PUMA 协议研究 [D]. 武汉:武汉理工大学,2009.
- [5] Ravindra Vaishampayan, Garcia Luna Aceves J J. Efficient and robust multicast routing in mobile Ad Hoc networks[C]// IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems. Italy; Rome, 2004:304-313.
- [6] 黄化吉,冯德力. NS 网络模拟和协议仿真[M]. 北京:人民邮电出版社,2010.
- [7] Royer E, Perkins C. Multicast operation of the ad hoc

on-demand distance vector routing protocol[C]// Proceedings of Mobicom. USA; Washington, 1999.

作者简介:

谭国平 男,(1975-),博士,副教授.研究方向为移动自组网、无线多媒体通信、随机网络优化与控制和网络信息论等.

倪新洋 男,(1988-),硕士研究生.研究方向为移动自组网、网络编码.

季敏 女,(1988-),硕士研究生.研究方向为移动自组网、网络编码.

马赛赛 男,(1988-),硕士研究生.研究方向为无线多媒体通信.