

基于部分网络编码的移动自组网实时多播协议研究

谭国平, 彭新华, 倪新洋, 李岳衡

(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: 传统网络编码可以减少数据包的转发次数, 但会造成数据包较大的延时, 且容易造成网络的拥塞. 本文提出一种基于部分网络编码的实时多播协议——PNCRM. 该协议将部分网络编码与 mesh 的建立结合在一起, 有效地减小了端到端的延时, 并且改善了网络吞吐量性能. 仿真结果表明, 与 PUMA 或基于传统网络编码的实时多播协议相比, PNCRM 更好地适应接收节点较多、动态性较大的环境, 且在数据包投递率及端到端的延时方面有着显著的优势.

关键词: 移动自组网; 部分网络编码; 实时多播

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)09-0039-03

Research on Partial Network Coding Based Real-time Multicast Protocols in Mobile Ad-Hoc Networks

TAN Guo-ping, PENG Xin-hua, NI Xin-yang, LI Yue-heng

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

Abstract: Traditional network coding can reduce forwarding times of data packets, but brings larger delay and network congestions. In this paper, a Partial Network Coding based Real-time Multicast (PNCRM) protocol is proposed for supporting real-time multicast services in Mobile Ad-hoc Networks (MANET). This protocol combines the partial network coding with the establishment of mesh together. It can not only reduce the end-to-end delay effectively, but also improve the final throughput performance. Simulation results show that, in a wide range of scenarios with varying number of receivers and mobility, PNCRM works much better than PUMA or traditional network coding based real-time multicast protocols in terms of packet delivery ratio and end-to-end delay.

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

1 引言

2000年, Ahlswede等^[1]提出的网络编码技术摒弃了传统的存储-转发模式, 允许节点对接收的多个数据包进行编码信息融合, 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, 网络编码在 MANET 多播中的应用得到了广泛的研究^[2-4].

PUMA^[5]是一种基于 mesh 结构、面向接收端的多播路由协议, 有效地减少了控制开销, 并获得了较高的数据包传递率. 文献^[6]提出了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, 在较少控制开销下获得了较高的网络吞吐量.

针对网络编码中延时的敏感性及网络数据流不均衡的问题, Wang^[7]等提出了部分网络编码的概念.

在 NCRM 的基础之上, 本文提出了一种基于部分网络编码的 MANET 实时多播协议——PNCRM, 用部分网络编码代替传统网络编码. 网络中任意节点都不需要收满整个 block 的数据包即可进行编码或者解码的操作. 仿真结果表明, 在不同接收节点个数、节点动态性较大的情况下, PNCRM 均获

收稿日期: 2012-02-08; 修回日期: 2012-03-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(61001068)

得了良好的性能:数据包投递率显著增加、延时大大减小,有效地弥补了NCRM的缺陷,提高了实时性,更有效地提高了网络吞吐量。

2 PNCRM 协议机制

2.1 发送节点处理机制

发送节点的上层应用设备持续生成一系列等大小的数据包 $\{P_1, P_2, P_3 \dots\}$,其下标表示唯一且连续的序列号。每BLOCK_SIZE个连续的数据包被划分为一个block,每个block的地址BLOCK_ID为 $[(packet_sequence - 1) / BLOCK_SIZE]$ 。当收到的数据包的BLOCK_ID等于 $(BLOCK_ID + BLOCK_SIZE - 1)$,即认为关于BLOCK_ID的block已经收满,上层应用设备将发送下一个block的数据包。

假设,发送节点在T1时刻接收到数据包 P_1 ,存储,将 P_1 进行随机线性编码,并转发。在T2时刻,发送节点收到数据包 P_2 ,存储,然后将此时缓存中 P_1, P_2 进行随机线性组合,并转发。依此类推。

表1为PNCRM包头格式。每次生成编码包,同时将生成编码包的随机向量E存入编码包包头的encoding_vector域中,随编码包一起转发。初始编码依次将该block的数据包编成BLOCK_SIZE个编码包发送给邻节点,以确保发送节点初次发送的该block的编码包包含有足够的信息,使得下游节点能够恢复出原始数据包。

表1 PNCRM 包头格式

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

2.2 中间节点处理机制

网络中每个节点都有一个用于指示block在该节点缓存的状态的数据结构——NC_Buffer_Status。表2为NC_Buffer_Status的格式。rank为节点缓存中某block的编码向量组成的编码矩阵的秩。对任意一个编码包,其last_seen为有非0系数的数据包的最大序列号;NC_Buffer_Status中的last_seen为节点缓存中该block所有编码包的最大的last_seen。decoded_so_far为最新解出的数据包的最大序列号。

表2 NC_Buffer_Status 格式

block_id	rank	last_seen	decoded_so_far
----------	------	-----------	----------------

某一中间节点收到某block的编码包之后,首

先检查其NC_Buffer_Status,判断是否含有该block的状态记录信息。如果没有,则认为该编码包含有新信息,存入本地缓存,并在NC_Buffer_Status中添加该block在缓存中的状态。如果有,则将新收包的编码向量加入已缓存的该block的编码矩阵中,判断该新编码矩阵的秩是否大于NC_Buffer_Status中该block的rank值。若等于,则丢弃该编码包;否则,判定该编码包含有新信息,存入本地缓存,同时更新NC_Buffer_Status状态。

为了转发次数,同时又不降低接收节点的解码成功率,采用跳跃式的编码-转发策略。这里跳跃间隔设置为1,即每收到2个包含新信息的编码包就将本地缓存中的所有该block的编码包进行一次二次编码,并转发。

中间节点为每个block设一个定时器,在定时器时间内,若该block编码包已收满,则清除针对该block所设的定时器,以防重复编码。若未收满,则将已收到的所有数据包进行二次编码得到 C' ,并将此时NC_Buffer_Status中rank值赋给 C' 包头中的rank域,然后转发。如果它某个邻节点收到该编码包 C' ,检测得它正在执行冗余编码包请求,则检查该邻节点NC_Buffer_Status中关于该block的记录,只有当其rank等于BLOCK_SIZE时,该中间节点才将所有该block的编码包二次编码后广播出去,以响应该冗余编码包请求。

2.3 接收节点处理机制

接收节点除了执行中间节点的所有操作外,还根据当前NC_Buffer_Status中记录的block缓存状态进行实时解码。

接收节点收到一个包含新信息的编码包,存入本地缓存,并更新NC_Buffer_Status。接着,接收节点检查NC_Buffer_Status中的last_seen和rank值。若rank大于等于last_seen,则可以通过高斯消元法解码,恢复出该block序列号为 $1 \sim last_seen$ 的原始数据包。然后,将NC_Buffer_Status中该block的decoded_so_far更新为此时的last_seen。在下次出现关于该block的解码机会时,即可恢复出相对序列号为 $decoded_so_far + 1 \sim last_seen$ 的原始数据包。

接收节点在进行解码前后,都会进行二次编码,将编码包广播给邻节点,以期向下游节点传递该block的数据包,或者提供该block的冗余编码包,以提高网络的数据包投递率。

3 性能分析

为了评估 PNCRM 的性能,在 NS2^[8] 仿真平台上构建了相应的仿真环境. 仿真环境参数设置如下: 36 个节点均匀随机分布在 750m×750m 的区域中; 节点的信号传输范围为 250m; 节点平均停留时间为 0; 移动模型为随机路径模型; 信道容量为 2Mb/s. 应用层采用单个数据包大小为 512byte 的恒定比特流(CBR)来模拟多播业务; 传输层采用用户数据包协议(UDP); 仿真时间为 15s.

为确保仿真结果的可信度,每组仿真参数将生成 8 个不同的随机场景,然后在每个场景下分别进行 10 次仿真,最终通过计算各性能指标的平均值得出仿真曲线.

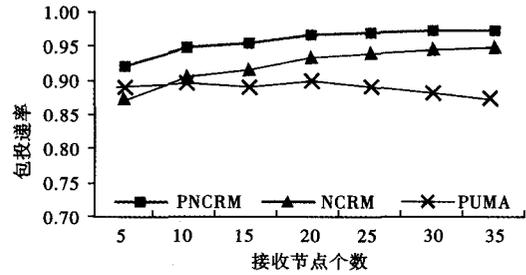
限于篇幅,本文只讨论不同接收节点个数的情况下,PNCRM、NCRM 和 PUMA 的性能,其他场景下有着类似的性能. 设置节点移动速度为 15 m/s; 业务负载为 10Kbps; PNCRM 和 NCRM 的 BLOCK_SIZE 均为 8. 关于包投递率、总开销及端到端延时的仿真结果如图 1 所示.

如图 1(a),随着接收节点个数的增多 PNCRM 及 NCRM 的包投递率明显增加,这是由于接收节点个数越多,参与网络编码的节点数也越多,使得接收节点收到所需的编码包的概率大大增加,从而提高了数据包投递率. 另外,由于部分网络编码不需要收满整个 block 的编码包即可进行解码,这有效降低了接收节点恢复原始数据的难度,提高了数据包的投递率. 因此,当接收节点个数大于等于 10 时, NCRM 的包投递率维持在 90%~95%之间,而 PNCRM 的包投递率全部超过了 95%,PNCRM 的包投递率相对于 NCRM 有了明显的改进.

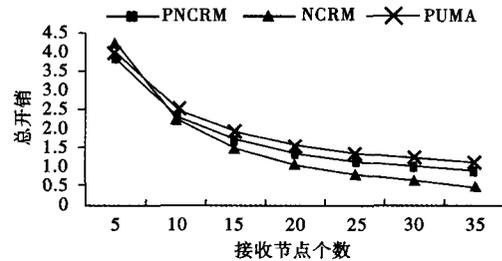
如图 1(b),在不同接收节点个数的情况下,相较于 NCRM, PNCRM 的总开销平均约增加了 10%. 这是由于部分网络编码相较于传统网络编码增加了转发次数. 这表明, PNCRM 良好的性能是以增加能耗为代价. 但是由于 PUMA 在 mesh 中洪泛数据包的特性, PNCRM 相较于 PUMA 可以明显减少转发次数,节省约 10%的总开销.

如图 1(c),在不同接收节点个数的情况下, PNCRM 的延时相较于 NCRM 平均大约减少了 1s,极大地改善了 NCRM 采用传统网络编码带来的延时较大的缺陷. 但由于接收端收到的数据包需要满足一定条件后才能进行解码,在不同接收节点个数的情况下, PNCRM 端到端的延时大约平均比 PUMA

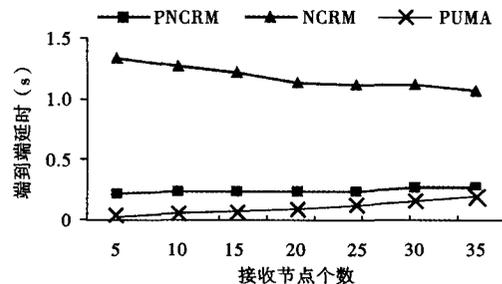
多 0.15s.



(a) 接收节点个数对包投递率的影响



(b) 接收节点个数对总开销的影响



(c) 接收节点个数对端到端延时的影响

图 1 接收节点个数对性能的影响

4 结束语

本文将部分网络编码与 mesh 的建立结合在一起,提出了一种基于部分网络编码的移动自组网实时多播协议. 节点不需要收满数据包即可进行编码、转发或者解码. 仿真结果表明, PNCRM 在维持较小的端到端的延时的情况下,依然能够保持较高的包投递率,在接收节点个数较多以及动态性较大的网络中都具有较好的鲁棒性.

参考文献:

- [1] Ahlswede R, Cai N, Li S Y R, et al. Network information flow [J]. Information Theory, IEEE Trans, 2000, 46(4):1204-1216.
- [2] 赵蕴龙, 要彬彦, 董钊, 等. 多跳无线网络通用网络编码结构研究[J]. 计算机应用, 2011, 31(S2):1-4.

(下转第 46 页)

33(5): 1217-1223.

- [12] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992: 1-5.
- [13] 徐兰芳, 明怀飞, 桑子夏. 基于灰色系统理论的信誉报告机制[J]. 软件学报, 2007, 18(7): 1730-1737.
- [14] 徐兰芳, 张大圣, 徐凤鸣. 基于灰色系统理论的主观信任模型[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(5): 801-804.
- [15] 陈伟, 欧阳旦, 汤光明. 一种细粒度的基于灰色关联度的P2P信任模型[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(6): 153-157.
- [16] 张徐, 高承实, 裁青. 网格环境下基于灰色理论多属性综合信任评价模型[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(6): 2148-2150.
- [17] 贺利坚, 黄厚宽. 一种基于灰色系统理论的分布式信任模型[J]. 北京交通大学学报, 2011, 35(3): 26-32.

作者简介:



唐仕喜 男, (1975—), 硕士, 高级工程师, 讲师. 研究方向为数据挖掘、分布式处理.



汤克明 男, (1965—), 博士研究生, 副教授. 研究方向为数据挖掘、分布式处理.

(上接第 41 页)

- [3] 王俊义. 网络编码在无线 Mesh 网络中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(15): 99-101.
- [4] 党安喜, 裴炳南. 网络编码在 MANET 最小能量多播中的应用研究[J]. 通信技术, 2008, 41(4): 105-107.
- [5] Ravindra Vaishampayan, Garcia-Luna-Aceves J J. Efficient and robust multicast routing in mobile Ad Hoc networks [C]// Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, IEEE International Conference. USA: Washington, 2004: 304-313.
- [6] 谭国平, 倪新洋. 一种基于网络编码的移动自组网实时多播协议[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(8): 12-14.
- [7] Dan Wang, Qian Zhang, Jiangchuan Liu. Partial network coding: theory and application for continuous sensor data Collection [C]// Quality of Service,

IWQoS, IEEE International Workshop on. USA: New haven, 2006: 93-101.

- [8] 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.

作者简介:

谭国平 男, (1975—), 博士. 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.

彭新华 男, (1989—), 硕士研究生. 研究方向为移动自组网、网络编码.

倪新洋 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为移动自组网、网络编码.

李岳衡 男, (1971—), 博士, 副教授, 硕士生导师. 研究方向为通信信号处理、现代无线通信网络.