

基于网络编码感知的网络节点速率控制策略

张义兵, 束永安

(安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230601)

摘 要: 从提升网络吞吐量角度出发, 提出一个基于网络编码感知的节点速率控制算法. 该算法构建一个局部无线网络节点的数据包转发模型, 利用 X 形局部网络中边缘节点对中心节点转发数据包的侦听能力来决定节点选择转发速率的大小, 从而实现网络通信能力的最大化. 仿真实验表明, 该算法能够有效地为网络节点选取合理的转发速率, 提升无线网络数据包的吞吐量.

关键词: 无线网络; 网络编码感知; 速率控制; NS-2 仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)04-0113-04

The Network Node Rate Control Strategy-Based Network Coding Perception

ZHANG Yi-bing, SHU Yong-an

(School of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: This paper puts forward a node rate control algorithm which based on network coding perception. This algorithm builds a local wireless network node packet forwarding model, uses the listening ability to center nodes's packets forwarding of X local network edge node to determine forward rate, thereby maximizing network communication ability. Simulation experiment shows that this algorithm can select reasonable forward rate effectively for network node and improve throughput of wireless network packets.

Key words: wireless network; network coding perception; rate control; NS - 2 simulation

1 引言

随着无线网络使用的普及, 网络编码作为提升无线网络传输性能的有效方法成为研究的热点. 网络编码(Network coding)融合了编码和路由的概念, 通过允许对来自不同链路的数据分组进行编码组合传输^[1], 为提升网络性能和传送性能提供了有效途径. 传统的网络编码研究中, 为了增加链路中的中继节点对数据包的编码机会^[2], 普遍采用最低的转发速率, 以提高相邻节点侦听数据包的能力. 然而网络节点采用较低的转发速率会在一定程度上降低无线网络的传输性能. 因此, 如何在不降低中继节点编码能力的前提下, 为节点选择较高的传输速率是当前无线网络编码研究中急需解决的一个关键

问题.

针对中继节点增大网络编码机会, 提高编码增益的特点, 本文提出一种基于网络编码感知的网络节点速率控制策略, 该策略不再采用中继节点以最低转发数据包的工作方式, 而是选择合适的传输速率在网络编码的基础上提升网络的传输性能.

2 网络模型及相关知识

现实中常用的无线网络拓扑都可以简化成 X 形局部网络拓扑模型, 如图 1 所示. 假定无线路由器 A、B 借助于中继路由器 M 发送数据包 P_a 、 P_b 至路由器 C、D, 中继无线路由器 M 采用 COPE^[3] 机制在数据包转发过程中担任网络编码的角色^[4], 从而提高无线网络传输性能.

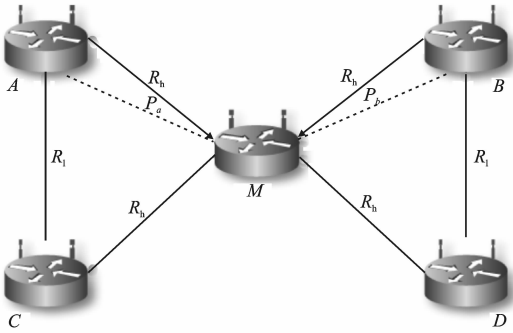


图 1 X 形局部网络拓扑图

2.1 网络拓扑模型

假定在 X 型局部网络拓扑中,对角的两个无线路由器由于受距离限制,不能直接交付数据包,需要借助中继无线路由器 M 的转发,才能完成对角路由器间的通信^[5]. 在基于 COPE 机制网络编码的 X 型局部网络拓扑中,无线路由器 A、B 以广播的方式分别向相邻节点发送数据包 P_a 与 P_b ,此时网络节点 C 可以侦听到数据包 P_a ,网络节点 D 可以侦听到数据包 P_b ,而中继网络节点 M 对侦听到的数据包 P_a 与 P_b 进行网络编码 $A \oplus B$ 操作^[6],并将编码后的数据包广播至网络节点 C、D.

2.2 基于 COPE 机制的 X 形局部网络拓扑数据传输分析

传统基于 COPE 机制的网络编码中,出于对网络节点侦听能力的考虑,网络节点普遍采用较低的转发速率 R_l (如 802. 11a 中的最低速率 6 Mb/s),在此转发速率下,一定距离范围内的相邻节点间在转发数据包时会有较高的转发率 PDR^[7],函数符号定义见表 1.

表 1 函数符号定义

字符	定义
$P_{x,y}^R$	R 速率下,节点 X 转发数据包至节点 Y 的转发率 (PDR)
$P_{ack,y,x}^R$	R_{ack} 速率下,节点 Y 发送确认字符的转发率 (PDR)
$P_{x,m,y}^R$	R 速率下,节点 X 借助中继节点 M 转发数据包至节点 Y 的转发率 (PDR)
$N_{x,y}^R$	R 速率下,节点 X 成功转发数据包至节点 Y 需要广播的次数
L_x	节点 X 发送的数据包大小
T_x^R	R 速率下,发送 L_x 长度数据包所需时间

由于无线网络节点间数据包传输具有不稳定性,网络节点传输同一数据包可能需要发送多次才能被相邻节点成功侦听. 因此在 X 形局部网络拓扑中,数据包在相邻节点 A、M 间以速率 R 成功传输数

据包所需要的最少广播次数可表示为:

$$N_{A,M}^R = \frac{1}{P_{A,M}^R \cdot P_{M,A}^R} \tag{1}$$

因此在数据传输过程中,网络节点会多次广播同一数据包,那么网络节 A 点在广播第 i 次时相邻节点 C 能成功侦听节点 A 广播的数据包的概率可以表示为:

$$P = \sum_{j=1}^i (1 - P_{A,C}^R)^{j-1} \cdot P_{A,C}^R \tag{2}$$

在图 1 所示的 X 型局部网络拓扑中,节点 C 成功侦听节点 A 的概率可用公式表示;

$$P_{[A,M],C} = \sum_{i=1}^{\infty} \left[\frac{(1 - P_{A,M}^R \cdot P_{M,A}^R)^{i-1} \cdot P_{A,M}^R \cdot P_{M,A}^R \cdot P_{M,C}^R}{P_{A,M}^R \cdot P_{M,A}^R \cdot P_{M,C}^R} \right] \tag{3}$$

同时可以得出 X 形局部网络传输的数据总长度用公式计算得出:

$$L_t = P_{(M,ACK)C}^{R_A} \cdot P_{(B,M)C}^{R_B} \cdot L_A + P_{(M,ACK)D}^{R_A} \cdot P_{(A,M)C}^{R_B} \cdot L_B \tag{4}$$

传输 L_t 长度的数据包需要的时间量可用公式表示:

$$D_t = N_{A,M}^R \cdot T_{L_A}^{R_A} + N_{B,M}^R \cdot T_{L_B}^{R_B} + N_{M,ACK}^R \cdot T_{\min\{L_A, L_B\}}^{R_M} \tag{5}$$

最终可以计算出 X 形局部网络拓扑传输数据包的吞吐量:

$$\theta_{NC} = \frac{L_t}{D_t} \tag{6}$$

为提升无线网络传输性能,保证网络吞吐量 θ_{NC} 的最大化,针对 X 形局部网络拓扑提出以下速率控制策略.

3 速率控制策略

3.1 节点广播速率的选择

如图 1 所示,在 X 形局部网络拓扑中采用 COPE 机制的网络编码发送数据包时,可以计算出网络节点接收编码数据包并成功解码的能力,对于网络节点 C,其成功接收数据包 P_a 、 P_b 的概率可表示为:

$$P_{C_{dec}} = P_{AC}^R \cdot P_{B,M,C}^R \tag{7}$$

网络节点解码数据包能力在一定程度上反映了网络的传输性能,为保证网络传输效率,设定节点解码阈值 θ ,因此数据包发送节点在选取广播速率时将接收节点的解码能力作为考虑条件之一,保证在无线网络中数据包以较高速率传输的同时,目的节点仍然具有较高的解码数据包的能力.

3.2 ACKer 节点及其选择

在图 1 的 X 形局部网络拓扑中,中继节点分别

收到来自节点A、节点B发送的数据包后,节点M会采用COPE机制进行网络编码并将编码后的数据包广播出去,在网络节点C、D收到节点M广播的数据包后会向节点M发送确认字符ACK,本文中为提高节点C、D接收节点M广播数据包的效率,只选择C、D中的一个节点向节点M发送确认字符ACK,并称该节点为ACKer。

在X形局部网络拓扑中,ACKer节点选择上采用以下步骤。

步骤1:中继节点M根据节点C、D发送的ACK确认其广播的编码数据包是否能够被节点C、D准确侦听并解码获得数据包 P_a 、 P_b ,并据此计算出C、D节点成功侦听编码数据包的概率,若此概率大于设定的阈值,则进入步骤2。否则以最低速率转发编码数据包。

步骤2:分别计算节点C、节点D解码获得数据包 P_a 、 P_b 的概率,若节点C解码能力大于节点D,则选择节点C作为ACKer,反之,则选择节点D为ACKer。

通过以上策略的实施,发现在X形局部网络拓扑中,中继编码节点提升转发编码数据包至节点C、D的效率是提升无线网络吞吐量的关键。由此得出在该策略下数据包长度及传输时间为:

$$L_t' = P_{(M, \text{ACKer})C}^{R_M} \cdot P_{(B, M)C}^{R_B} \cdot L_A + P_{(M, \text{ACKer})D}^{R_M} \cdot P_{(A, M)D}^{R_A} \cdot L_B \quad (8)$$

$$D_t' = N_{A:M}^{R_A} \cdot T_{L_A}^{R_A} + N_{B:M}^{R_B} \cdot T_{L_B}^{R_B} + N_{M:\text{ACKer}}^{R_M} \cdot T_{\max(L_A, L_B)}^{R_M} \quad (9)$$

因此策略下的吞吐量可表示为:

$$\theta_{\text{NC}}' = \frac{L_t'}{D_t'} \quad (10)$$

4 算法的实现

本文采用802.11a协议共计8种传输速率,设定节点解码阈值为 θ ,速率选择策略算法可实现如下:

对于任意节点P:

initialization: $R = \text{lowest rate}; \theta_{\text{NC}} = 0$;

if P_a is encoding node

find the set A of ACKer

for $j=1$ to N do

for $i=1$ to $|A|$ do

temp $-\theta = \sum_i p_{q_i, \text{dec}}^R \cdot L_i / N_{p,i}^R \cdot T_{\max}^R$

if temp $-\theta > \theta_{\text{NC}}$

$R = R_j$; ACKer = q_i

Else // P_a is not encoding node

if dst p is not the final dst

find the neighbor node e

for $j=1$ to N do

if $P_{p,e,q}^R \geq \theta$

temp $-\theta = L_p / N_{p,iq}^R T_{L_p}^R$

if temp $-\theta > \theta_{\text{NC}}$

$R = R_j$

Else

for $j=1$ to N do

temp $-\theta = L_p / N_{p,iq}^R T_{L_p}^R$

if temp $-\theta > \theta_{\text{NC}}$

$R = R_j$

5 仿真实验及结果分析

本文采用NS-2仿真平台来分析策略的有效性,并将该策略与传统COPE机制进行性能对比实验。实验时设置无线网络覆盖范围为 200×200 的矩形区域,无线网络节点在区域内随机分布,MAC层采用802.11a协议(6.9,12,18,24,36,48,54 Mb/s),网络节点发送数据包固定长度为1500 B,采用UDP协议传输。

在进行无线网络传输性能实验时,主要通过无线网络吞吐量、网络节点编码能力来衡量无线网络传输性能。

如图2所示,随着无线网络链路质量的提升,网络吞吐量不断增加,并且,本文提出的速度选择策略明显优于传统COPE机制。

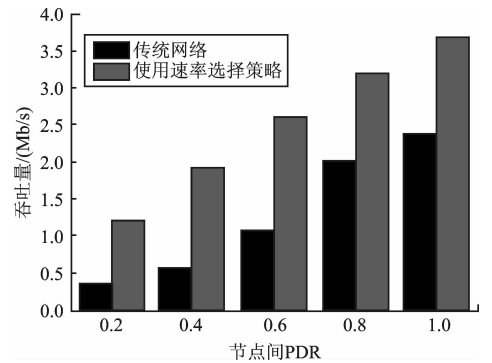


图2 不同链路质量下网络传输性能比较

分析图3可知,在本文提出的速度选择策略下,网络节点的编码率低于传统COPE机制,降低了网络节点的计算量,节约网络节点能量消耗,提高网络节点的生命周期。

6 结束语

本文提出了一种基于网络编码的节点传输速率控制策略。该策略通过对数据发送节点的分类,在网

络编码的基础上选取合适的广播速率传输数据包, 以此提高无线网络传输的性能. 理论分析和仿真实验表明, 该策略取得了比传统基于 COPE 机制网络编码更高效的传输性能.

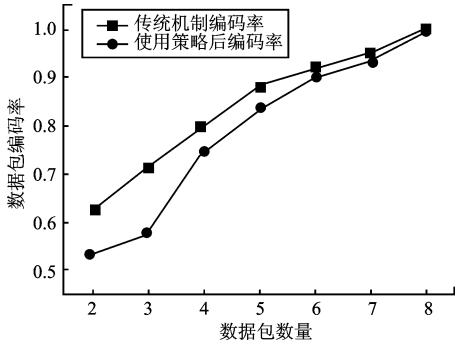


图 3 数据包在网络节点的编码率比较

未来工作主要是将该网络节点速率选择策略应用于其他机制的网络编码的研究, 并对网络传输性能进行分析.

参考文献:

[1] 肖潇, 王伟平, 杨路明, 等. 基于网络编码的无线网络广播重传方法[J]. 通信学报, 2009, 30 (9): 69-75.

[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, 2012, 31(A02): 1-4.

[3] 樊凯, 魏茜, 陈莹, 等. 网络仿真器 NS2 无线模型的网络编码扩展[J]. 系统仿真学报, 2011, 23 (9): 1795-1800.

[4] Alanara S M. Adaptive multi-rate codec bit rate control in a wireless system; U. S. Patent 8,422,373[P]. 2013-04-16.

[5] Saifullah A, Wu C, Tiwari P B, et al. Near optimal rate selection for wireless control systems[J]. ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS), 2014, 13(4s): 128-128.

[6] Zhu R. Intelligent rate control for supporting real-time traffic in WLAN mesh networks[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2011, 34 (5): 1449-1458.

[7] 欧开乾. 无线自组网中基于网络编码的效用最优路由和速率选择机制研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2012.

作者简介:

张义兵 男, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为无线网络. E-mail: 327251553@qq. com.

束永安 男, (1964-), 博士. 研究方向为无线网络、下一代网络体系结构.

(上接第 112 页)

参考文献:

[1] Biswas A, Das S, Abraham A ,et al. Design of fractional-order PID controllers with an improved differential evolution[J]. Engineering Application of Artificial Intelligence, 2009, 22(2): 343-350.

[2] 齐乃明, 宋志国, 秦昌茂. 基于最优 Oustaloup 的分数阶 PID 参数整定[J]. 控制工程, 2012, 19(2): 283-285.

[3] 周铁军, 王昕, 王振雷. 基于最大灵敏度指标的分数阶 PID 参数最优整定方法[J]. 控制工程, 2014, 21(6): 1001-1005.

[4] 赵志诚, 张博, 刘志远, 等. 一种分数阶系统内模 PID 控制器设计方法[J]. 信息与控制, 2014, 34 (2): 129-133.

[5] 郭伟, 韩丹丹, 徐金成, 等. 基于粒子群优化的分数阶 PID 预测函数参数整定[J]. 控制工程, 2014, 21(1): 70-73.

[6] Kennedy J. Particle swarm optimization[M]. US: Springer, 2010: 760-766.

[7] 陈义雄, 梁昔明, 黄亚飞. 基于佳点集构造的改进量子粒子群优化算法[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013, 44(4): 1409-1414.

[8] 肖赤心, 蔡自兴, 王勇. 一种基于佳点集原理的约束化进化算法[J]. 控制与决策, 2002, 24(20): 249-252.

[9] 黄丽莲, 周晓亮, 项建弘. 分数阶 PID 控制器参数的自适应设计[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(5): 1064-1069.

[10] Podlubny I. Fractional order systems and PI Ducontrollers[J]. IEEE Transactionbs on Automatic Control, 1999, 44(1): 208-214.

[11] 薛定宇, 赵春娜. 分数阶系统的分数阶 PID 控制器设计[J]. 控制理论与应用, 2007, 25(5): 771-776.

[12] 何一文, 许维胜, 程艳. Bode 理想传递函数在分数阶控制中的应用[J]. 信息与控制, 2010, 39(2): 200-206.

作者简介:

陈超波 男, (1978-), 副教授. 研究方向为智能控制、模式识别. E-mail: choby@xatu. edu. cn.