

doi:10.11830/ISSN.1000-5013.201704019



使用网络编码技术的同步传输方法

史志明^{1,2}, 黄诚惕^{1,2}

(1. 华侨大学 工学院, 福建 泉州 362021;

2. 华侨大学 工业智能化技术与系统福建省高校工程研究中心, 福建 泉州 362021)

摘要: 提出基于网络编码的同步传输方法,分析传统传输和分步传输、同步传输的网络编码传输方法,给出相应的归一化吞吐量.仿真结果表明:在低误码率下,相比于其他传输方法,基于网络编码的同步传输方法能够更好地减少传输时隙,有效地提高网络吞吐量.

关键词: 网络编码; 同步传输; 误码率; 网络吞吐量

中图分类号: TP 75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2017)04-0546-04

Synchronous Transmission Method Using Network Coding Technique

SHI Zhiming^{1,2}, HUANG Chengti^{1,2}

(1. College of Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;

2. Fujian Provincial Academic Engineering Research Centre in Industrial Intellectual Techniques and Systems,
Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: This paper proposes synchronization transmission method based on network coding and analyzes the network transmission method of tradition, asynchronous and synchronization, then gives normalized network throughput. The simulation results show that in the lower packet error rate, the synchronization transmission method based on network coding can reduce transmission slot and produce higher network throughput than the other transmission methods.

Keywords: network coding; synchronous transmission; bit error rate; network throughput

随着计算机、互联网及现代电信技术的快速发展,迅速增长的数据、语言和视频业务,已呈现出融合趋势.日益增加的网络负载,要求提高网络传输的实时性,减少传输时延.因此,如何提高传输效率,增加网络吞吐量,仍需做大量研究.传统通信网中,路由器仅对数据包进行存储-转发操作.网络编码混合了传统路由技术和信息编码技术,不仅允许网络路由器对传输的数据进行存储-转发,而且可以对传输的数据进行重新编码操作,从而提高网络流传输效率^[1-2].网络编码理论是由 Ahlswede 等提出,它在信息论领域受到了极大关注^[3-4].该技术对于提高网络吞吐量,增强网络健壮性、提高网络安全性、减少传输延时、节省节点能耗等方面均显示出优越性.网络编码理论研究已经引起了国内外许多大学和研究机构的关注^[5-6].在网络编码理论基础上,Zhu 等^[7]在蜂窝网络中设计了机会网络编码,并在终端成功解析了数据包;Thampi 等^[8]在物理层使用网络编码技术,有效地进行了多通道传输解码;Yu 等^[9]设计了分布式的动态编码机制,从而降低丢包率;Rouayheb 等^[10]提出了一种优化的分布式编码,可实时更新数据;文献[11-12]提出了一种随机编码机制,有效地提高了多数据传输效率.为提高网络吞吐量,本文在网

收稿日期: 2016-12-01

通信作者: 史志明(1986-),男,讲师,博士,主要从事无线通信、多媒体通信的研究. E-mail: szmi_2007@126.com.

基金项目: 华侨大学高层次人才科研启动项目(14BS214)

络传输中使用网络编码技术, 提出了同步传输方法, 并设定不同误码率, 对比 3 种不同网络模型的吞吐量.

1 基于网络编码的同步传输

传统传输、分步传输、同步传输 3 种网络编码传输方法对传输效果影响, 如图 1 所示. 由图 1 可知: 节点 A 和 B 通过路由 R 相互传递数据包 a, b, 节点 A 和 B 之间不能直接传递数据包.

图 1(a) 采用传统传输方法, 节点 A 首先向路由 R 发送数据包 a, 然后, 节点 B 向路由 R 发送信息 b, R 再依次把信息 a 和 b 分别发送给节点 A 和 B. 这样经过 4 个传输时隙, 节点 A 可以获得数据包 b, 节点 B 可以获得数据包 a.

图 1(b) 采用分步传输方法, 节点 A, B 分别在不同时隙内把数据包 a, b 发送给路由 R, R 再将 a 和 b 异或运算之后广播发送出去, 则在节点 A 处可以根据接收到的信息恢复出 b; 同理, 在节点 B 处, 可以根据接收到的信息恢复出 a. 由此可见, 采用了分步传输只需 3 个传输时隙, 就可以实现传统方法的所有通信要求, 网络吞吐量提高了 33.3%.

图 1(c) 采用同步传输方法, 即在同一个时隙内, 路由 R 同时收到节点 A, B 数据包后, 对收到的数据包 a, b 进行异或运算; 然后, 在下一个时隙内发送编码包 $a \oplus b$, 节点 A, B 收到编码包后, 分别恢复出 b, a. 这种传输方法只需 2 个传输时隙, 比分步传输方法省去一个传输时隙, 比传统方法传输提高 50% 的网络吞吐量. 由此可见, 传输时隙越短, 网络吞吐量提高越多, 同步传输方法优于其他两种传输方法.

设传输过程中 P_{e1}, P_{e2} 分别代表 A, B 到 R 的误码率. 在传统的传输过程中, 当 A 通过路由 R 发送数据包 a 给 B 时候, 当 B 收到该数据包时, 平均用来传输数据包的时隙是 $[T_s / (1 - P_{e1})] + [T_s / (1 - P_{e2})]$. 因此, 传统网络传输归一化网络吞吐量为

$$R_{conv} / R_s = (1 - P_{e1})(1 - P_{e2}) / 2 - P_{e1} - P_{e2}. \tag{1}$$

网络编码分步传输模型有如下 4 个步骤. 1) 当路由 R 把异或的数据包 $a \oplus b$ 发送给 A, B 节点时, R 等待节点 A, B 再次发送新的数据包; 2) 当路由 R 只有数据包 a, 路由 R 就询问节点 B, 来获得数据包 b, 直到 R 正确获得数据包 b; 3) 当路由 R 只有数据包 b, 路由 R 就询问节点 A, 来获得数据包 a, 直到 R 正确获得数据包 a; 4) 当路由 B 既有数据包 a 又有数据包 b 时, 此时, 路由 B 就发送异或数据包 $a \oplus b$.

因此, 这些情况存在发生如下 4 种可能性. 1) $(1 - P_{e1})(1 - P_{e2})$, 即 A, B 均正确收到编码包, 此时, 路由 R 的缓存为空; 2) $(1 - P_{e1})P_{e2}$, 即 A 正确收到编码包, B 没有正确收到编码包, 此时, 路由 R 的缓存有数据包 a; 3) $P_{e1}(1 - P_{e2})$, 即 B 正确收到编码包, A 没有正确收到编码包, 此时, 路由 R 的缓存有数据包 b; 4) $P_{e1}P_{e2}$, 即 A, B 均为正确收到编码包, 路由 R 将在下一个时隙发送编码包.

设该模型中共有 4 种情况即 S_0, S_A, S_B, S_2 , 分别代表上面 1) ~ 4) 种情况, 定义 $P(S_i) (i=0, A, B, 2)$ 分别代表 4 种情况发生的概率, 如图 2 所示. 根据齐次马尔科夫链的平稳分布, 可以计算这 4 种状态发生的概率, 即

$$\pi_i = \pi_0 \prod_{j=0}^{i-1} \left(\frac{P_{j,j+1}}{P_{j+1,j}} \right), \quad \pi_0 = \left(1 + \sum_{i=0}^M \prod_{j=0}^{i-1} \left(\frac{P_{j,j+1}}{P_{j+1,j}} \right) \right)^{-1}, \quad i = 1, \dots, 4. \tag{2}$$

经过计算得出 $P(S_2) = 1/3$. 因此, 分步传输的归一化网络吞吐量为

$$\frac{R_{DF}}{R_s} = P(S_2)(P_{e2}(1 - P_{e1}) + P_{e1}(1 - P_{e2}) + 2(1 - P_{e1})(1 - P_{e2})) = P(S_2)(2 - P_{e1} - P_{e2}). \tag{3}$$

经过计算, 代入 $P(S_2) = 1/3$, 可得

$$\frac{R_{DF}}{R_s} = \frac{1}{3}(2 - P_{e1} - P_{e2}). \tag{4}$$

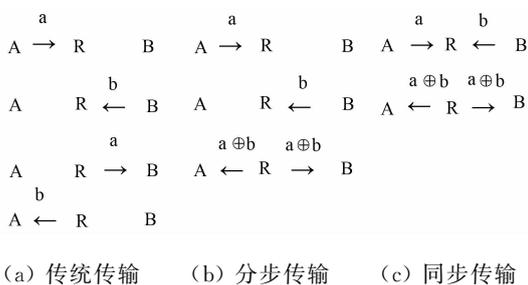


图 1 3 种网络编码传输方法比较方式

Fig. 1 Three different network transmission modes

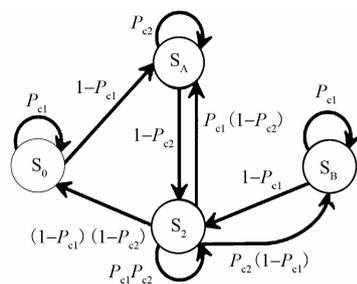


图 2 分步传输的马尔科夫链分析图

Fig. 2 Markov chain of asynchronous mode

同步传输方法只在两个时隙内完成传输,所以定义如下两个规则:1)在奇数时隙内,A和B同时把数据包发送给路由R;2)在偶数时隙内,路由R把编码包发送给节点A,B.由此定义 Ω_A 是节点A正确接收编码包,并恢复所需数据包的情况, Ω_B 是B正确接收编码包,并恢复所需数据包的情况,则有 $P(\Omega_A, \Omega_B) = (1 - P_{e1})(1 - P_{e2})$, $P(\bar{\Omega}_A, \Omega_B) = P_{e1}(1 - P_{e2})$, $P(\Omega_A, \bar{\Omega}_B) = (1 - P_{e1})P_{e2}$. 因此,同步传输的归一化网络吞吐量为

$$\frac{R_{AF}}{R_S} = \frac{1}{2}(1 - P_{e1})(1 - P_{e2})[2 - P_{e1} - P_{e2}]. \quad (5)$$

2 仿真与数值分析

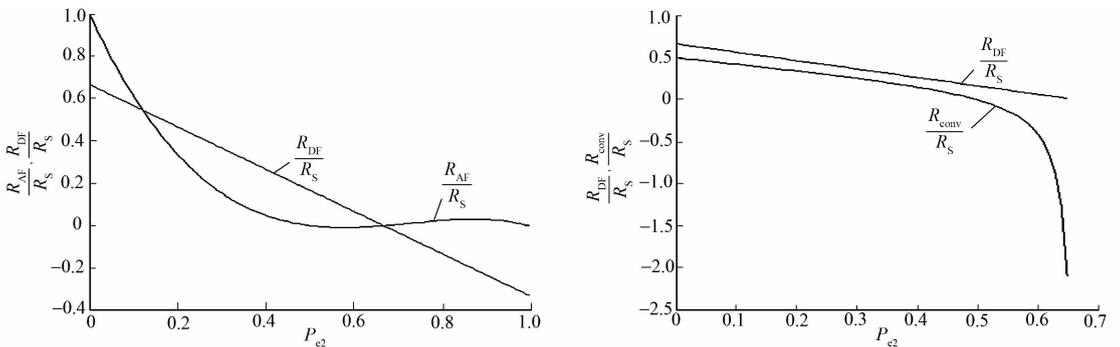
使用MATLAB 2011b仿真工具,对3种传输方法的网络吞吐量进行分析,并给出了图形化结果.同步传输、分步传输和传统传输方法下归一化的网络吞吐量分别为

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_{AF}}{R_S} &= \frac{1}{2}(1 - P_{e1})(1 - P_{e2})(2 - P_{e1} - P_{e2}), \\ \frac{R_{DF}}{R_S} &= \frac{1}{3}(2 - P_{e1} - P_{e2}), \quad \frac{R_{conv}}{R_S} = \frac{(1 - P_{e1})(1 - P_{e2})}{2 - P_{e1} - P_{e2}}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

当 $P_{e1} = 2P_{e2}$,式(6)变换为

$$\frac{R_{AF}}{R_S} = -3P_{e2}^3 + 6.5P_{e2}^2 - 4.5P_{e2} + 1, \quad \frac{R_{DF}}{R_S} = \frac{2}{3} - P_{e2}, \quad \frac{R_{conv}}{R_S} = \frac{(1 - 2P_{e2})(1 - P_{e2})}{2 - 3P_{e2}}. \quad (7)$$

在 $P_{e1} = 2P_{e2}$ 下,分步传输与同步传输、传统传输与分步传输的网络吞吐量比较,如图3所示.图3中: P_{e2} 为误码率.由图3(a)可知:当 $0.12 \geq P_{e2} \geq 0.66$,同步传输方法网络吞吐量好于分步传输方法.由此可见,在较低误码率情况下,同步传输方法,网络吞吐量更大,效果较好.由图3(b)可知:在任何误码率情况下,传统传输方法的网络吞吐量均小于编码后的分步网络传输,效果不好.所以在低误码率的情况下,同步传输的方法能够最大地提高网络吞吐量.



(a) 分步传输与同步传输

(b) 传统传输与分步传输

图3 不同传输方法的网络吞吐量比较

Fig. 3 Comparison of network throughput of different transmission methods

当 $P_{e1} = 2P_{e2}$,式(6)变换为

$$\frac{R_{AF}}{R_S} = 1 - P_{e2}^3 + 3P_{e2}^2 - 3P_{e2}, \quad \frac{R_{DF}}{R_S} = \frac{2}{3}P_{e2} + \frac{2}{3}, \quad \frac{R_{conv}}{R_S} = -P_{e2} + \frac{1}{2}. \quad (8)$$

当 $P_{e1} = \frac{1}{2}P_{e2}$,式(6)变换为

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_{AF}}{R_S} &= -0.375P_{e2}^3 + 1.625P_{e2}^2 - 2.25P_{e2} + 1, \\ \frac{R_{DF}}{R_S} &= \frac{2}{3} - 0.5P_{e2}, \quad \frac{R_{conv}}{R_S} = \frac{(1 - 0.5P_{e2})(1 - P_{e2})}{2 - 1.5P_{e2}}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

3种不同网络传输方法的网络吞吐量,如图4所示.由图4(a)可知:在误码率 $P_{e2} \leq 0.18$ 的情况下,同步传输方法网络吞吐量好于分步传输方法,但传统传输方法的网络吞吐量仍然是最小.因此,在较小误码率情况下,同步传输比分步传输,能够产生较大网络吞吐量.由图4(b)可知:随误码率 P_{e2} 变化,当

$P_{e2} \leq 0.24$ 时, 同步传输的网络吞吐量比分步传输要好, 而传统传输方法网络吞吐量偏小.

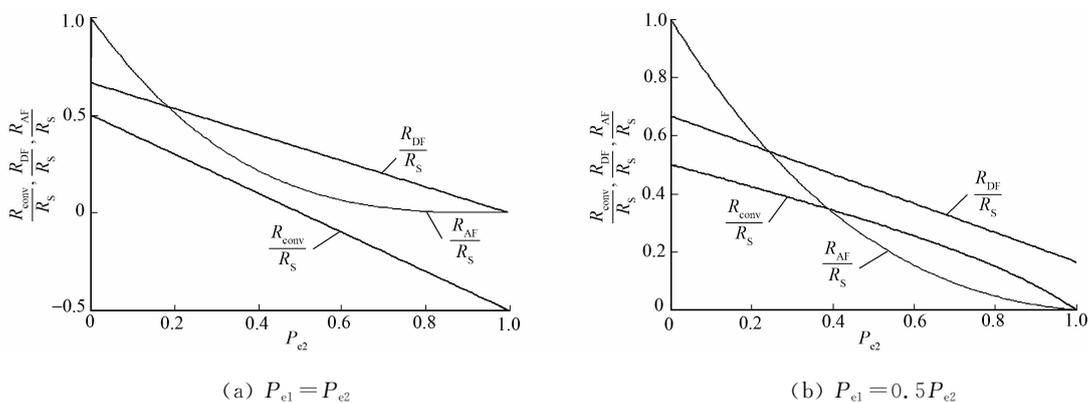


图 4 3 种不同网络传输方法的吞吐量比较

Fig. 4 Comparison of throughput for three different network transmission methods

通过比较可知: 在误码率取值不同情况下, 3 种网络传输方法的吞吐量虽然不相同, 但仍可以发现, 在较小误码率情况下, 同步传输的方法有明显优势, 能够获得更大网络吞吐量.

3 结束语

主要分析网络传输中使用网络编码比传统网络传输提高了网络吞吐量, 并提出了改进的同步网络传输方法. 通过不同误码率情况下比较, 仿真结果显示在低误码率下, 同步传输方法比分步传输方法, 网络吞吐量更大, 效果更明显.

参考文献:

- [1] SUN Qifu, LI R S Y, LI Zongpeng. On base field of linear network coding[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2016, 62(12): 7272-7282.
- [2] AHLWEDE R, CAI N, LI S Y R, *et al.* Network information flow[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2000, 46(4): 1204-1216.
- [3] SEONG J T. Bounds on decoding failure probability in linear network coding schemes with erasure channels[J]. IEEE Communications Letters, 2014, 18(4): 648-651.
- [4] 陈晨, 董超, 茅娅菲, 等. 无线网络编码感知路由综述[J]. 软件学报, 2015, 26(1): 82-97.
- [5] TANG Zhenzhou, WANG Hongyu, HU Qian, *et al.* Performance analysis of multi-user multi-round linear network coded cooperation[J]. IEEE Communication Letter, 2014, 18(10): 1767-1770.
- [6] GOU Liang, ZHANG Gengxin, BIAN Zhang, *et al.* Data dissemination in wireless sensor networks with instantly decodable network coding[J]. Journal of Communications and Networks, 2016, 18(5): 846-856.
- [7] ZHU Jia. Exploiting opportunistic network coding for improving wireless reliability against co-channel interference [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2016, 12(5): 1692-1701.
- [8] THAMPI A, LIEW S C, ARMOUR S, *et al.* Physical-layer network coding in two-way heterogeneous cellular networks with power imbalance[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(11): 9072-9084.
- [9] YU Yao, PENG Yuhuai, LI Xiaoling, *et al.* Distributed packet-aware routing scheme based on dynamic network coding[J]. China Communications, 2016, 13(10): 20-28.
- [10] ROUAYHEB S E, GOPARAJU S, KIAH H M, *et al.* Synchronization and de-duplication in coded distributed storage networks[J]. IEEE Transactions on Networking, 2016, 24(5): 3056-3069.
- [11] LI Bin, LI Hongxiang, ZHANG Ruonan. Adaptive random network coding for multicasting hard-deadline constrained prioritized data[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(10): 8739-8744.
- [12] ZHANG Cheng, GAO Kailun. Video delivery in heterogeneous wireless networks with network coding[J]. IEEE Wireless Communications Letters, 2016, 5(5): 472-475.

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 吴逢铁)