

基于仿真的有线/MANET 混合网络 TCP 性能研究

乔艳涛 金彦亮 余松煜
(上海交通大学电子工程系 上海 200030)

摘要 MANET 网络是未来民用和军事通信应用的理想选择, 它和 Internet 的通信是必不可少的。该文分析研究了有线/MANET 混合环境中的一些关键问题, 比如, 网关的隐藏终端和暴露终端、移动节点速度、流的数目等对 TCP 性能的影响, 为有线/MANET 混合网络在未来民用和军事领域的应用提供有益的参考。

关键词 移动 Ad hoc 网络, TCP 性能, 隐藏终端, 暴露终端

中图分类号: TP393.01 文献标识码: A 文章编号: 1009-5896(2006)03-0570-04

Simulation-based TCP Performance in Wired/Mobile Ad hoc Networks

Qiao Yan-tao Jin Yan-liang Yu Song-yu
(Dept. of Electron. Eng., Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract Mobile Ad hoc NETWORKS (MANET) are an ideal technology in future civilian and military applications and it will become necessary to communicate across MANET and the wired Internet. In this paper, It is investigated that the effect of some key issues, such as hidden terminal and exposed terminal of gateway, the speed of the wireless nodes, the number of flows, on TCP performance in the static and dynamic wired/wireless scenarios. This paper will prove very valuable to future commercial and military wired/MANET networks.

Key words Mobile Ad hoc NETWORKS (MANET), TCP performance, Hidden terminal, Exposed terminal

1 引言

Ad hoc 网络是一种特殊的不需要固定设施支撑的, 由若干移动节点组成的自组织无线网络。它具有建立快捷灵活, 不受有线网络约束等特点, 可以广泛应用于国防战备、灾难救助、偏远地区等一些无法建立固定网络设施或只是临时需要但建立有线通信网络代价太大的环境。毫无疑问, 多跳无线 Ad hoc 网络技术是未来民用和军事通信应用的最佳选择, 具有广阔的应用前景。

近几年来, 许多研究开始对有/无线的混合链路的 TCP 性能进行探讨, 对传统的 TCP 协议进行了改进(如, TCP Snoop^[1], TCP Peach^[2], TCP Westwood^[3]等), 以使它们适用于无线链路的场合。但上述情况考虑的无线链路大多是一跳的, 对多跳无线链路的网络环境没做考虑。Xu 等^[4]对多跳无线链路和有线 Internet 的环境进行了仿真, 对多个流的公平性问题以及相关原因作了详细地讨论, 但没有考虑无线业务流的影响。事实上, 在 Ad hoc 网络存在的条件下, 节点可能都是移动的且彼此间有业务流存在, 这些无线业务流会对有线和无线间的混合业务流有很大的影响。本文对相关问题进行研究。

2 混合网络结构

一般情况下, Ad hoc 网络通过一个或多个网关与有线网络相连。无论这些网关是否移动, 它们至少要存在两个接口, 一个用来与有线网络中的节点相连, 一个与 Ad hoc 网络中的无线节点相连。有线子网与现有 Internet 网络相同, 而无线子网采用目前的 Ad hoc 网络路由协议。在本文的仿真实验中, 使用一个固定网关将一条有线链路和一个由多个无线节点构成的无线子网连接起来。

3 仿真环境

在仿真过程中, 使用 ns2 来仿真混合网络环境。CMU(卡内基·梅隆大学)对 ns 进行了扩展, 增加了某些无线支持, 包括对物理层, 链路层, 路由选择层在仿真环境下一些新的支持。使用 ns2 这些新的特性, 可以对有线/MANET 混合网络进行准确真实地仿真。在仿真过程中, 有线节点与网关相连接构成有线子网部分, 而无线节点通过网关接入到有线网络, Ad hoc 网络中采用 DSDV 路由协议。仿真模拟了两种不同的场景。场景 1(图 1)是一个静态场景, 有线子网由 3 个有线节点构成, 无线子网由 10 个静态的无线节点构成。无线链路的带宽为 2Mb/s, 无线节点的通信范围是 250m, 每两个节点间的距离是 240m。节点 W0 和 W1 之间的时延是 100ms, 节

点 W1 和 W2 之间的时延是 50ms, 有线链路的带宽为 1.2Mb/s。场景 2 是一个动态场景。在动态场景中, 有线子网的模型同场景一完全相同, 而无线子网由 30 个无线移动节点构成。

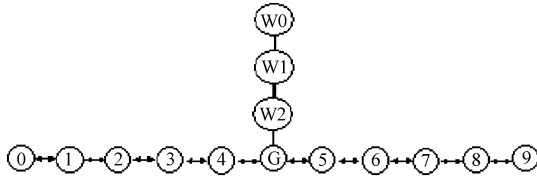


图1 静态场景网络拓扑

Fig.1 Network topology in static scenario

4 仿真结果

4.1 静态场景

在静态场景仿真中, 建立了 3 个 TCP 流。流 1 和流 2 分别建立在有线节点 W0 与无线节点 4 和节点 5 之间, 而流 3 是一个无线连接, 建立在无线节点 4 和 5 之间, 节点 4 是发送端, 节点 5 是接收端。节点 4 和节点 5 互为隐藏终端, 彼此间的通信相互影响。同时, 由于它们和网关相邻, 混合业务流(流 1、流 2)和无线业务流(流 3)的性能也会相互影响。在后面的仿真中, 我们会改变无线业务流发送端和接收端的位置来研究不同情形下的系统性能。假定 TCP 业务流在时间段 $[t, t + \Delta t]$ 内传输的数据为 D_t , 当 Δt 很小时, 业务流在时刻 t 的吞吐量为 $X(t)$:

$$X(t) = D_t / \Delta t \quad \Delta t \rightarrow 0 \tag{1}$$

从图 2 可以看出, 在 4 种不同的情形下, 60s 后 3 个业务流都趋于稳定。在稳定状态下, 两个混合业务流的吞吐量基本上相同, 比无线业务流的吞吐量高 5k 左右。与其他实验不同, 本文的仿真实验考虑各个业务流的建立情况。从图 3 还可以看出, 业务流的方向对业务流吞吐量的收敛速度有重要的影响, 图 3(b)的情形和图 3(d)的情形具有较短的收敛时间。

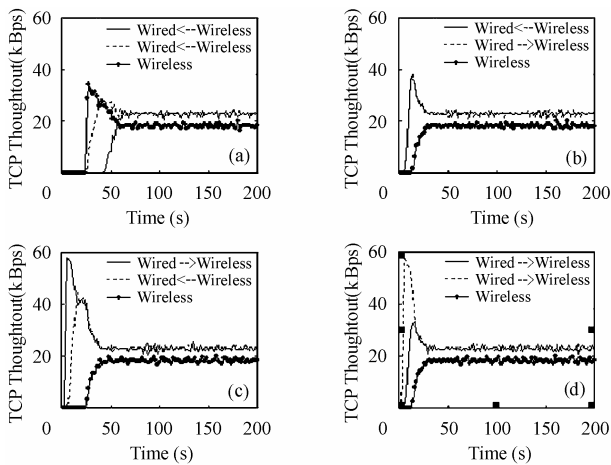


图2 业务流的吞吐量(无线连接在节点 4, 节点 5 之间)

Fig.2 Instantaneous throughput of TCP flows (FTP3 from node 4 to node 5)

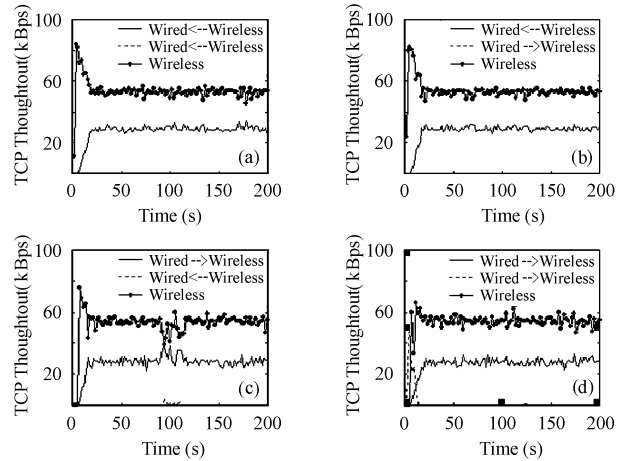


图3 业务流的吞吐量(无线连接在节点 3, 节点 4 之间)

Fig.3 Instantaneous throughput of TCP flows

(FTP3 from node 3 to node 4)

4.1.1 隐藏终端的影响 这里的隐藏终端是对网关而言的。由于流 3 在无线节点 3 和 4 之间(节点 3 是发送端, 节点 4 是接收端), 网关相对于节点 3 来说是隐藏终端。流 1 的吞吐量比图 2 的情形增加了 10k, 流 3 的吞吐量则增加了一倍多, 而流 2 的吞吐量则降低到几乎为 0, 如图 3 所示。可见, 与网关互为隐藏终端的节点对有线/无线间的混合业务流的性能有很大的影响。在各种情形下, 各个业务流到达稳态的时间基本相同。在图 3(c)的情形中, 流 2 的短暂起伏造成其他两个流较大波动, 而图 3(d)的情形中流 2 短暂出现后迅速降为 0, 但这也使流 3 的峰值降低了很多。

4.1.2 暴露终端的影响 暴露终端也是对网关而言的, 在这种情况下(节点 2 是发送端, 节点 4 是接收端)下, 混合业务流的性能有很大提高, 吞吐量达到了 40k 左右。同时, 由于节点 4 是节点 2 的隐藏终端, 有线节点和无线节点 4 间的通信抑制了无线业务流的吞吐量, 如图 4 所示。可见, 无线链路

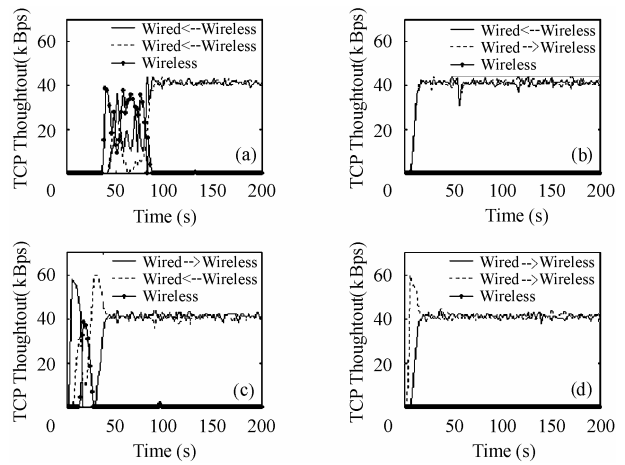


图4 业务流的吞吐量(无线连接在节点 2, 节点 4 之间)

Fig.4 Instantaneous throughput of TCP flows

(FTP3 from node 2 to node 4)

的跳数对业务流性能有重要的影响。同时,从图上还可以看出,在图4(a)的情形中业务流在90s以后才达到稳态,在图4(c)的情形中业务流在40s后达到稳态。

通过上述实验,可以得出以下结论:(1)网关的隐藏终端和暴露终端对有线子网和无线子网之间的混合业务流有很大的影响,这是显而易见的,网关是各个混合业务流的枢纽;(2)在有线/MANET环境中,无线业务流对混合业务流吞吐量的影响主要体现在各个业务流的无线链路上,其无线链路的跳数起决定作用;(3)多个从有线子网到无线子网的混合业务流可以公平地分享信道,而除了隐藏终端的情况,从无线子网到有线子网的业务流也可以公平地分享信道。这一点与文献[4]的结论略有不同;(4)当混合业务流的方向是从无线子网到有线子网时,它与无线业务流的竞争比较大,整个系统达到稳态的时间也比较长。(5)无线业务流对从无线子网到有线子网的混合业务流的影响比从有线子网到无线子网的混合业务流的影响要大得多。

4.2 动态环境仿真

在动态仿真环境中,有线子网与静态仿真环境相同,而无线子网由30个移动节点组成。与静态环境类似,在有线子网与无线子网间建立两个业务流,不同的是无线子网中的端点是运动的。首先考虑无线节点的速度对业务流吞吐量的影响。其次考虑无线业务流的数目对各个业务流吞吐量的影响。为了获得比较客观的结果,分析了20个场景的平均结果。

4.2.1 速度对业务流吞吐量的影响 从图5(节点最大速度5m/s)可以看出,随着移动节点速度的增加,各个业务流的起伏增大,混合业务流吞吐量的逐渐增加,无线业务流的吞吐量则从其最高值迅速下降,经过很长时间的波动,3个业务流趋于平衡,各个业务流的吞吐量都在15k上下波动且波动较大。经过一段时间的建立,无线业务流的吞吐量迅速上升,混合业务流的吞吐量却迅速下降。其他不同的节点速度时,情形类似。分析不同节点移动速度的情形,可以发现,无线子网中节点的移动速度对各个业务流的吞吐量有重要的影响。节点的移动速度比较小时,业务流断开的机率较小,无线业务流的性能比较稳定,因而它的吞吐量比混合业务流的吞吐量高出一些。但随着节点移动速度的增加,业务流会频繁地断开,因此,无线业务流的吞吐量会波动很大,混合业务流也会出现类似的情况。但是,混合业务流无线链路的平均跳数要比无线业务流无线链路的平均跳数少,因此,它所受的影

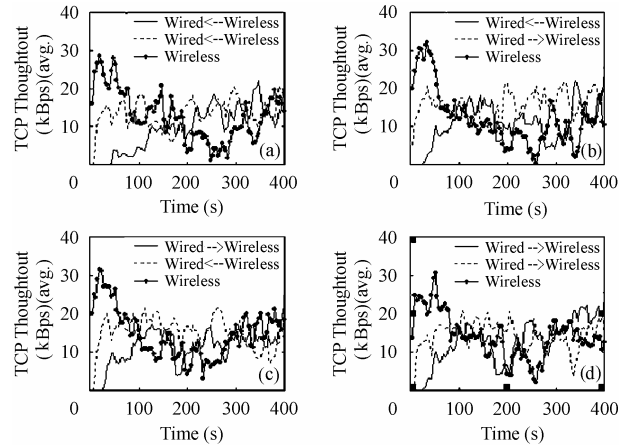


图5 业务流的吞吐量(节点最大速度5m/s)

Fig.6 Instantaneous throughput of TCP flows (the mxinum speed is 5m/s)

响也比无线业务流小,吞吐量略有增加。当移动节点的速度很高时,业务流的断开更加频繁,因而各个业务流的吞吐量变小。路由表的使用和平均跳数的减少弥补了频繁切换的不足,无线业务流的吞吐量迅速增大,而混合业务流的吞吐量迅速下降。

4.2.2 无线业务流的数目对业务流吞吐量的影响 考虑无线节点的移动速度为10m/s时,无线业务流的数目对各个业务流吞吐量的影响。当存在4个无线业务流时,混合业务流的波动变化不大,吞吐量略有下降,而无线业务流的波动明显减小,平均吞吐量的下降不明显(见图6)。当无线业务流的数目为其他数值时,情形类似。比较不同无线业务流的情形,我们发现,由于各个业务流之间的互相影响,混合业务流的吞吐量波动始终很大,但无线业务流的波动有随无线业务流数目增大而减小的趋势。

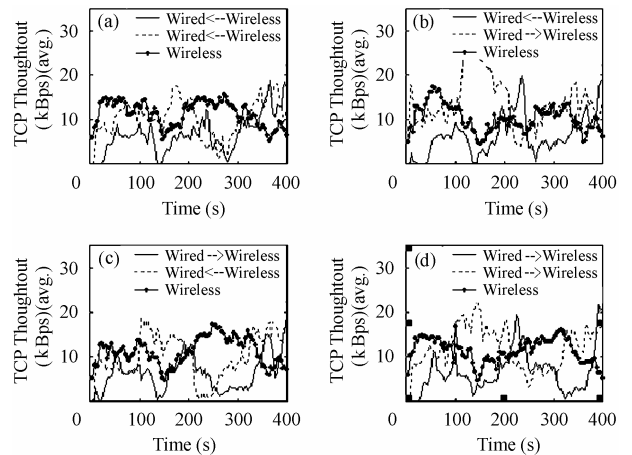


图6 4个无线业务流时,各业务流的平均吞吐量

Fig.6 Instantaneous throughput of TCP flows (the number of wireless flows is4)

通过上述实验可以得出以下结论: (1) 移动节点的速度对各业务流的性能有很大的影响。当速度比较低时, 各个流的吞吐量趋于稳定; 随着速度的增加, 各个流的波动明显增大, 混合流的吞吐量略有增加; 当速度很高时, 各个流的波动更大, 无线业务流的吞吐量会显著增加; (2) 无线业务流的数目对各个业务流的性能也有较大的影响。随着无线业务流数目的增加, 无线业务流的波动和吞吐量变化显著, 而混合业务流的波动和吞吐量变化缓慢; (3) 在不同的场景下, 各个流的吞吐量会有很大的不同。有时无线业务流吞吐量较大, 混合业务流的吞吐量很低, 有时则相反; (4) 随着移动节点速度的增加, 总的吞吐量略有增加; 随着无线业务流数目的增加, 总的吞吐量变化不大, 但波动变大; (5) 混合业务流的平均吞吐量与其方向的相关性减弱。

5 结束语

本文对有线/MANET混合环境中网关的隐藏终端和暴露终端、有线子网中有线链路的带宽和时延、无线子网中移动节点的速度和无线业务流数目等关键问题对业务流TCP性能的影响进行了实验仿真和分析研究, 得出了一些有意义的结论, 为有线/MANET混合网络在未来民用和军事领域的应用提供有益的参考。

参考文献

- [1] Balakrishnan H, Seshan S, Amir E, *et al.*. Improving TCP/IP performance over wireless networks [A]. In Proceedings of ACM MobiCom'95 [C], Berkeley, CA: Nov. 1995. 2 – 11.
- [2] TCP-Peach[EB/OL]. http://users.ece.gatech.edu/~jtang/nasaproject_homepage/tcppeach.html.
- [3] Zanella A, Procissi G, Gerla M, *et al.*. Bandwidth estimation for enhanced transport over wireless links [A]. In Proceedings of ACM MobiCom'01 [C], Rome, Italy: Jul 2001: 16 – 21.
- [4] Xu K, Bae S, Lee S, *et al.*. TCP behavior across multi-hop wireless networks and the wired internet [A]. The Fifth International Workshop on Wireless Mobile Multimedia, WOWMOM 2002 [C], Atlanta, Georgia, Sep. 2002: 41 – 48.

乔艳涛: 女, 1976年生, 博士生, 研究方向为无线多媒体通信及移动 ad hoc 网络。

金彦亮: 男, 1973年生, 博士生, 研究方向为无线通信。

余松煜: 男, 1941年生, 教授, 博士生导师, 图像通信与信息处理研究所所长, 数字电视和图像通信专家。