

Ad Hoc 网络协议栈跨层自适应设计^①

朱梅丽 李万磊 谢波 郑力明 (暨南大学 信息科学技术学院 广东 广州 510632)

摘要: 针对 Ad Hoc 网络多变的网络特征和不同业务需求,介绍了 Ad Hoc 网络协议栈进行跨层自适应设计必要性,并对跨层设计概念、模型、机制、设计要求等方面进行阐述,提出了跨层设计的实现方式、实现方法、实现技术,最后总结跨层的优势及存在的问题。

关键词: 对等网;跨层设计;自适应;性能优化;自组织网络

Cross-Layer Adaptive Design for Ad Hoc Network Protocol

ZHU Mei-Li, LI Wan-Lei, XIE Bo, ZHENG Li-Ming

(Institution of Information Science Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Ad Hoc network has dynamic network environment and different service requirements. First, demand on cross layer adaptive design for Ad Hoc network protocol is presented; second, the definition, module, mechanism, design requirements etc are introduced, and more importantly, implementation approach and technology are proposed; Finally the advantages and disadvantages of cross-layer design are showed.

Keywords: Ad Hoc network; cross-layer design; adaptive; performance optimization; self organized network

Ad Hoc 无线网络不同于蜂窝网络和无线局域网,它是由诸多的无线移动节点组成,节点在任何时间、任何地点无需网络基础设施的支持,每个节点即充当终端又充当路由器,节点间相互协作,自发地以多跳的方式快速地建立临时的通信链路,形成一个对等式网络^[1]。因此,Ad Hoc 无线移动网络具有移动性、组网灵活,自愈功能、投资成本低等特性,被广泛适用于作战指挥、工程监理、抢险救灾以及应付突发事件和执行应急任务的场合^[2]。

TCP/IP 体系结构应用在有线网络中取得了巨大的成功,成为网络互联标准。为了与现有的 Internet 网络互联互通,Ad Hoc 网络体系也要基于 TCP/IP 体系结构。但是,Ad Hoc 无线网络具有一些特性如无中心控制自组织、网络拓扑快速变化、节点能量和网络带宽受限,以及存在隐藏终端和暴露终端等问题,这些特性和问题使得 TCP/IP 协议不能很好地适应 Ad Hoc 网络^[3]。加上 Ad Hoc 网络服务的业务类型有多种,不同业务类型对网络设计有着不同的要求。因此,

Ad Hoc 网络协议栈需要基于传统的分层结构(因为完全重新设计代价太大和兼容性不好),但又必须打破严格的层和层之间的通信限制,允许协议栈各个层次、各个模块间“直接”交互信息,只有这样,Ad Hoc 网络协议栈才能适应 Ad Hoc 多变的网络特征和不同业务类型的需要。Ad Hoc 在设计协议栈时,不仅要静态角度考虑协议栈每层的性能优化,更多的要从动态角度考虑层和层之间的相互协调配合,也即是 Ad Hoc 协议栈需要进行跨层设计。

1 跨层设计思想

1.1 跨层设计的概念

跨层设计以传统的分层协议栈为基础,在任意两层间能够进行信息传递和共享,这样做带来三点优势:一、各层能够快速及时获得需要的信息;二、可以消除冗余功能,某一层执行了某项功能,另一层不必要执行同样的操作;三、减少端和端的对等层之间通信开销。跨层协议栈各层在获取信息后可以根据无线通

^① 基金项目:广东省科技计划项目(基于 Ad Hoc 的车载智能终端的研制 2008B010200039)

收稿时间:2010-03-10;收到修改稿时间:2010-04-22

信环境的动态变化从全局角度快速地选择最优的参数、算法和策略,即做出最优的自适应响应,以充分利用网络资源,达到系统总吞吐量最大化,总传输功率最小化,QoS最优化等目的。

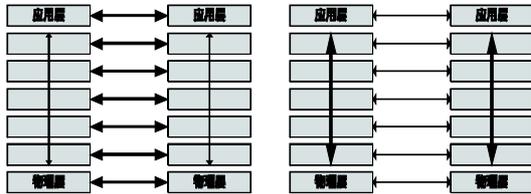


图1 传统协议栈通信模式

1.2 跨层设计的模型

传统的分层结构各层之间相互独立,每层只能在自身的内部进行优化,如图3所示。而跨层设计从全局角度对整个协议栈进行自适应优化,如图4所示是一个自适应跨层协议栈的理论模型[2],它是基于传统分层协议栈基础上,融入跨层设计和优化思想,即网络功能主要仍以分层的方式实现,但各个层之间可以方便及时共享和交互信息。跨层协议栈附有系统约束条件,因此,这种跨层自适应是一种求最优化约束解的过程。

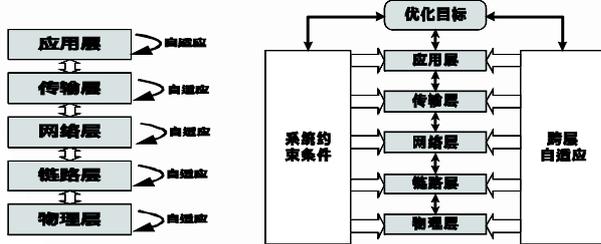


图3 分层优化自适应模型

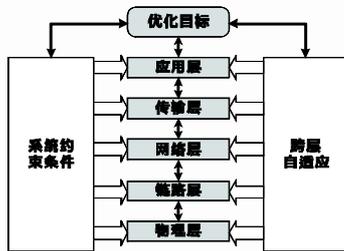


图4 自适应跨层协议栈模型

1.3 跨层自适应机制

不同的协议层变化的时间粒度不同,例如,链路质量的变化粒度通常是毫秒级的,网络拓扑的变化粒度一般是秒级,用户业务量变化粒度更慢,在进行自适应调节需要确定合理的次序。每层的自适应机制基于自身参数变化的粒度进行自适应调整以适应本层的动态变化,也即是,某层先补偿本层出现的变化,若本层的自适应机制不能适应变化,则需要与其它层进行信息交互来共同适应这种变化[4]。

2 跨层设计的实现

2.1 各层对跨层设计的要求

在跨层设计中对每层的要求不同,下面将列出每

层的设计要求,以为用户设计提供参考。

2.1.1 物理层对跨层设计的要求

在跨层设计物理层时,本层自身要实现功率控制和自适应调制解调控制,同时向数据链路层(特别是MAC子层),IP协议(路由协议),传输层协议(TCP/UDP)等提供本层的状态参数,如信噪比,误码率和数据传输速率,作为其他协议层优化设计的依据。

2.1.2 链路层对跨层设计的要求

链路层向其他的协议层提供的状态信息主要包括前向纠错方案信息,媒介空闲/忙信息和剩余带宽信息等。在链路层,不同的业务需要不同的优先级或信道预留资源的调度机制,这种机制依赖于上层协议的业务模型和物理层的信道状态信息。同时为了适应物理层的信道变化,链路层可能需要向物理层发出速率选择指令和功率控制指令。

2.1.3 网络层对跨层设计的要求

传统 Ad Hoc 路由协议选用最小跳数作为路由标准,没有考虑物理信道特性的变化对 MAC 层接入性能的影响,造成所选路径可能无法适应物理层性能的变化,也可能造成传输层性能的较大波动。因此,网络层在跨层设计路由协议时,要综合考虑网络剩余带宽、BER、丢包率、分组延时等参数。此外,在路由维护过程中,协议可以主动根据链路的状态全部或局部调整路由,以降低维护链路中断的开销。

2.1.4 传输层对跨层设计的要求

在分层设计中,TCP是根据有线环境进行设计,不能区分拥塞、传输错误以及路由失效引起的分组丢失,一律判决为 TCP 拥塞导致的,频繁触发 TCP 超时重传机制,导致 TCP 性能不必要下降。因此对 TCP 协议进行跨层设计时,TCP 层应先判定分组丢失的确切原因,从而触发相应的机制。

2.1.5 应用层对跨层设计的要求

不同的业务有不同的 QoS 要求。为了满足应用层不同业务 QoS 需求,应用层以下的各层必须有协调的反应机制。例如,如果应用层是非实时业务,传输层可以采用 TCP 协议;如果是应用层是实时业务,对时延要求比较高,这时传输层需采用 RTP/UDP 协议。同样,根据应用层不同的 QoS 要求,网络层须做出不同的路由选择,链路层须做出不同的调度和信道选择以及物理层须选择不同的调制方式和传输功率。

以上介绍了各层在跨层设计的基本要求,在表 1

详细地列出了各个层之间可以选择传递的参数。在具体设计时,充分考虑各层之间相互影响、相互制约的关系,需要确定不同系统参数的相对重要性和协议层之间交互信息的种类和方式,并且要考虑系统的约束条件和网络特性,综合以上考虑进行合理的折中,尽可能在满足应用需求的同时获得最大的系统效率。

表 1 跨层设计中可供选择传递的参数

| 生产者/消费者 | 应用层 | 传输层 | 网络层 | Link/MAC | 物理层 |
|----------|-----------|-----------------------|----------|------------------|-----------|
| 应用层 | | 丢包率,延迟,拥塞 | | 链路状态,帧长,纠错模式 | 可用带宽 |
| 传输层 | QoS | | 移动 IP 地址 | 链路状态,帧长,纠错模式 | BER, SINR |
| 网络层 | QoS | RTT, RTO | | 链路状态,帧长, RTS/CTS | 容量信息 |
| Link/MAC | QoS, 信号编码 | RTT, RTO, 丢包率, 延迟, 拥塞 | QoS | | BER, SINR |
| 物理层 | QoS, 带宽 | | | 纠错模式, 功率 | |

2.2 跨层设计方式

跨层设计实现的方式有四种^[5]: 层间传递相关信息, 联合优化网络相关层, 融合相邻层, 网络分层优化分解。层间传递相关信息是在分层协议栈基础上, 新增层间接口让层间进行更多的信息共享和交互, 某层共享出本层的状态信息, 作为其它层优化的参数。联合优化网络相关层是根据业务质量要求, 在设计时联合多层以达到更好的网络性能, 例如为了综合考虑路由、链路调度、功率控制的功能, 我们必须联合网络层、数据链路层和网络层进行设计。融合相邻层是将关系紧密的层融合设计, 如将物理层和 MAC 层融合设计, 可以很好地优化 Ad Hoc 性能。网络分层优化分解具有统一框架结构, 是将整个网络作为一个系统优化器, 网络优化以满足业务需求为目标, 因此通用性高, 可扩展性好, 容易实现。

这四种方法在实现难易度和可扩展性方面各有千秋, 其中融合相邻层方法在实际中已得到很好的应用。例如 Ad Hoc 网络融合物理层和 MAC 层进行跨层自适应速率的设计, 物理层对信道进行评估, 将评估信息提供给 MAC 层作为速率选择依据, MAC 层则选取

一速率并将些信息传回给物理层, 物理层收到速率信息后, 则会将当前速率转换成指定的速率。这种联合物理层和 MAC 层融合设计的方法对提高网络的吞吐量有显著的成效, 因此有很大的实用价值, 值得推荐。

2.3 跨层设计方法

跨层设计的目标是达到系统总吞吐量最大化, 总传输功率最小化, QoS 最优化。但瓶颈在于系统的最小传输功率和最小时延, 为此提出三种跨层设计方法, 分别是: 仿真法, 测试床法和解析法。

2.3.1 仿真法^[6]

无线网络仿真法细分为三种方法: 静态仿真、动态仿真和事件仿真, Ad Hoc 网络仿真是基于离散事件进行的仿真, 这种方法减少了复杂的理论和数值计算, 但在仿真时必须进行合理的控制, 以确保各层自适应的目标一致性。

2.3.2 测试床法^[7]

测试床法采用真实的终端搭建小型的实验网络, 能够真实模拟环境, 但这种方法代价高, 尤其是复杂的网络系统。如果系统进入实用阶段, 可以采用本方法进行测试和验证。

2.3.3 解析法^[8]

解析法是综合考虑各因素通过数据建模, 进行理论推导达到系统优化的目标。具体分为四种方法: 分析法、最优控制法、博弈论法、动态规划法。

①分析法 通过拉格朗日乘子, 凸集优化等方法把问题近似简化处理, 得到简洁的分析结果或快速收敛算法。其优点在于, 通过简易的数学方法便可得到最佳方案, 劣势在于性能近似, 简化处理程度大小的影响较大。

②最优控制法 将跨层优化问题转化为约束优化类问题, 如非线性规划。该方法可以快速实现且接近现实情况, 但复杂度较高。

③博弈论法 即通过纳什均衡理论将多个用户间资源均衡, 以协同共享资源, 实现资源最大化利用。

④动态规划法 Ad Hoc 网络环境具有时变特性, 通过动态规划实时选择最优策略以提升系统的整体性能, 如牺牲了某个用户的利益, 将来会给予相应的系统补偿。

以上四种解析法, 分析法应用较广泛, 其它三种方法复杂度较高, 目前处在研究初级阶段, 尚需完善。

2.4 跨层设计实现的技术

Ad Hoc 网络协议栈的设计关键在于适应动态多

变的网络特征,在设计中采用以下几种技术可以有效地解决网络时变特性带来的挑战。

2.4.1 预测技术

利用预测技术可以降低系统的不确定性。例如,利用预测技术可以减少节点移动对网络性能的影响,基于节点的现有运动轨迹来预测节点的位置并采用位置意识的路由协议来提高系统性能;利用预测信息还可以减少自适应调节。但是,预测会增加系统开销,并且预测错误反而会严重影响系统的性能,因此必须根据网络应用场合来取舍。

2.4.2 调度技术

利用调度技术可以减少网络流量突发性的影响,保障高优先级业务的服务质量。调度包括网络应用调度、数据传输优先级分配技术、资源预约和节点接入调度。

2.4.3 多样性技术

多样性可以增强系统应对无法预知的网络动态变化的能力,可以增强系统的健壮性。多样性包括链路特性多样性、接入技术多样性、路由选择多样性、内容服务和应用需求多样性等。

2.4.4 自适应技术

自适应机制对于维持 Ad Hoc 网络的正常操作至关重要,可有效地管理、配置有限的网络资源和节点资源,并协同多样性技术、调度技术补偿不同粒度的网络变化,提高系统的健壮性。通过信息交互,可以设计基于驱动的自适应资源配置协议,如速率自适应 MAC、功率意识路由和资源意识的压缩机制。

3 跨层设计的优势与挑战

跨层设计能基于动态的网络特征和不同的业务类型做出灵活的自适应反应,以最大化利用资源,因此是提高 Ad Hoc 网络性能行之有效的方法。跨层设计具体有以下优势:一、各层信息交互共享,减少冗余信息;二、各层协议能够从全局角度进行优化,满足网络应用 QoS 的约束和底层网络环境;三、提高了局部和全局的自适应能力;四、优化某一层功能的同时,更多的着眼于优化整个网络的性能。

Ad Hoc 的跨层设计能更好自适应动态的网络特征和优化了网络性能,但同时也带来一些问题。跨层设计打破严格分层结构,同时也失去了分层结构的独立性和鲁棒性,使得网络设计和优化变得复杂。跨层设计增加层间交互,但没有节制的跨层设

计会导致层间交互信息盘根错节,反而影响网络的效率。跨层设计机制降低扩展性,某一层发生变化,整个系统有可能需要进行重新设计及部署。此外,系统的实现和维护也将变得困难,而且加大了系统标准化工作的难度。

4 结束语

跨层设计方法能有效地适应动态的 Ad Hoc 网络特征,最大化利用网络资源,提高网络吞吐量,改善网络性能。尽管跨层设计存在一些问题,技术没有完全成熟,还处在探索中,但实践证明,对动态多变的 Ad Hoc 网络采用跨层设计能显著提高系统性能,因此跨层设计方法会成为 Ad Hoc 网络设计的一种主流方法。

参考文献

- 1 Chlamtac I, Conti M, Liu JJN. Mobile Ad Hoc Networking: Imperatives and Challenges. Ad Hoc Networks, 2003,1(1):13—64.
- 2 吴长宇,矫文成,郝震华,张继.网络流量生成中速率控制研究与实现.科学技术与工程, 2008,8(3):732—736.
- 3 Goldsmith AJ, Wicker SB. Design challenges for energy constrained Ad Hoc wireless networks. IEEE Wireless Communications Magazine, 2002,9(4):8—27.
- 4 Shakkottai S, Rappaport TS, Karlsson P C. Cross-layer Design for Wireless Networks. IEEE Communications Magazine, 2003,41(10):74—80.
- 5 Srivastava V, Motani, M. The road ahead for cross-layer design. IEEE Broadband Networks International Conference, 2005,1:551—560.
- 6 王莹,张平.无线资源管理.北京:北京邮电大学出版社, 2005:176—181.
- 7 Jin ZG, Wu XL, Shu YT, Fu ZF. Designing and implementing of a wireless network emulator. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering: Technology Driving Innovation, 2004.
- 8 HAN Z. Cross Layer Resource Allocation in Multi access Wireless Network: the Problems and One Solution. USA: Department of Electrical and Computer Engineering, University of Maryland, 2003. 7.