

无线网络构件化协议研究

王 路 刘立祥 王大鹏

(中国科学院软件研究所综合信息系统技术国家级重点实验室 北京 100190)

摘 要 层次化网络体系结构设计本身存在缺陷,如冗余、各层之间无交互等。由于这些缺陷,在应用过程中会遇到诸多问题,如 QoS 保障、网络安全等,层次化网络体系结构运用于无线网络除了会遇到上述问题外,还面临资源不足、间歇链路等限制。为消除层次化网络设计缺陷,解决应用中的问题和限制,提出了构件化网络体系结构。构件化网络体系结构打破当前网络层次化概念,将网络按照功能协议进行划分,形成低耦合功能构件。通过组合各构件向应用数据提供高质量服务。对构件化协议体系进行详细设计。

关键词 网络体系结构,构件,无线网络

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on Component-based Protocol for Wireless Networks

WANG Lu LIU Li-xiang WANG Da-peng

(National Key Laboratory of Integrated Information System Technology, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract There are some drawbacks in Layered Network Architecture, such as redundancy intra-layers and no interactions inter-layers etc and these drawbacks have resulted in some problems-these are difficult to be solved in contemporary architecture, such as QoS, network security etc. It is when applying Layered Network Architecture to wireless network that resource-scarce and intermittent connection problems etc are included except for those mentioned above in Layered Network Architecture. The paper proposed a Component-based Network Architecture in order to resolve these problems. The Component-based Network Architecture, a non-layered architecture which is composed of low coupling components, partitions the network on the basis of functions into different components and it provides high quality of service through combining these different components in an efficient way. This Network Architecture is a solution to eliminate the problems encountered in Layered Network Architecture. The paper will demonstrate the architecture thoroughly.

Keywords Network architecture, Component, Wireless networks

1 引言

对无处不在的网络的渴望,使人们越来越关注无线网络发展。但由于无线网络区别于有线网络的特点,使得有线网络设计思想和协议实现不完全适用于无线网络。无线网络区别于有线网络的特点主要有 3 个:首先无线设备资源有限,特别是在处理器能力、存储空间以及电池寿命等方面;另一点是无线网络拓扑结构不断变化,使得无线连接是间歇连接且连接质量不高;最后无线设备的移动性造成网络运行环境不断变化。上述无线网络特点对网络协议提出新要求。为节约资源,无线网络需要更加简单的网络协议;为在恶劣网络环境下有效利用有限资源,网络应用和协议实现需要知道网络环境的动态变化。但是层次化网络协议面向有线网络设计,无法满足这些要求。

分层网络体系结构除没有考虑无线网络特点外,它自身还存在多种问题,例如各层之间诸多信息和操作冗余。主要冗余信息和操作包括错误检测,几乎每层都进行错误检测。分层网络体系结构遇到的另一个问题是设计之初并不支持 QoS 和网络安全。随着网络发展,为支持 QoS 产生了许多协议如 RSVP, RTP, RTCP 等,但是它们都只保证端到端的 QoS,对网络中间节点无能为力,造成许多不必要的资源浪费。当前网络安全形势日益严重,产生诸多对称密钥和公钥密码体制,如 AES^[1], ECC^[2] 等密钥算法,但是它们不能够保证网络协议本身的安全。

网络协议主要功能是通过网络内部各种资源的调配为应用提供高质量服务。但是层次化网络体系结构面对无线网络提出的新要求和自身设计缺陷已经很难实现该功能的目标。本文基于上述原因提出构件化无线网络体系结构。

到稿日期:2008-09-28 返修日期:2008-12-26 本文受新型网络协议体系研究基金项目(9410A150301),综合信息系统组网与传输基金项目(61501.03)资助。

王 路(1984-),男,硕士生,主要研究方向为卫星网络通信,E-mail:wlu810@gmail.com;刘立祥(1973-),男,博士后,副研究员,主要研究方向为卫星通信及路由技术;王大鹏(1982-),男,硕士生,助理工程师,主要研究方向为无线网络协议。

2 背景

当前最流行的网络协议是 TCP/IP,它将整个网络分为 5 层:应用层、传输层、网络层、数据链路层和物理层,并在 Internet 应用中取得巨大成功。但是随着网络不断发展,人们开始意识到分层网络体系结构的不足,从 20 世纪 90 年代开始,人们就开始研究高性能网络体系结构。

1990 年 D. Clark 和 D. Tennenhouse 提出应用级组帧 (ALF)网络体系结构理论^[3]。该理论试图优化网络协议性能,减少由于 OSI/RM 层次过多造成的协议缺陷。1996 年 D. Tennenhouse 等人又提出主动网络体系结构^[4]。该结构资源分配以单个数据包为单位,而不像 Internet 所有数据包资源分配方式相同。1997 年 A. Lazar 提出根据应用需求定制网络服务的可编程网络模型^[5]。上述研究都是基于传统层次网络,对网络性能进行优化,但是并没有解决层次网络自身存在的问题。

Stefan Boecking 提出的 MCS (Modular Communication System) 架构^[6-8]是一种具有代表性的面向对象网络体系结构,它试图满足不断出现的应用对网络性能和服务质量的不同要求。之后 Braden 等人提出一种无层次的基于角色网络体系结构^[9],用于解决目前层次网络层间交互和难以扩展新服务等问题。

近年来人们通过分析网络特性及一些典型应用如中间件,发现服务质量的保证需要网络各层之间相互交互。例如仅限于网络层的 QoS 保障并不能真正保证服务质量,因为真正了解网络情况,最有发言权的数据链路层没有参与到服务保障的决策过程当中。为解决这一矛盾人们又提出跨层^[10,11]的设计思想。

虽然人们已经提出许多新的网络体系结构,但是他们并没有考虑无线网络的特点。虽然跨层思想旨在解决各层之间交互问题,但是它没能摆脱层次化概念,如果使用不当会使层次网络变得更加复杂。

经过对传统分层、面向对象、服务元^[12]、主动等网络体系结构及跨层设计思想的研究,借鉴各种结构和思想的优点,将现有分层网络体系结构的协议服务功能构件化,同时引入面向对象方法、分布式构件设计思想,提出基于构件网络体系结构设计方案。无线网络协议设计中采用构件化实现方法,可以克服现有层次化网络协议交互性、扩展性差,以及纠错、恢复在不同分层中的功能冗余,节约有限移动终端资源,提高信息传输效率,并且符合无线设备特点。

3 构件化协议体系框架

按照传输控制、资源管理、路由信息维护等功能和要求,构件化网络协议将整个网络划分成不同的构件模块。构件化协议体系框架如图 1 所示。根据网络应用特点部分构件间调用关系比较固定(如发送和接收数据部分),但该体系结构各构件之间是松耦合的,可按照应用需求通过构件适配器灵活组合构件为特定应用提供网络服务,构件适配器会在后面章节详细介绍。

由于构件化设计,现有业务需求的扩展,如路由、QoS、网络安全等都可以进行构件扩展。面对今后可能出现的新应用,构件化设计不再像层次化网络遇到新需求和新功能只能

不断“打补丁”,而是根据新应用需求,灵活加入新功能构件和新设计思想(构件之间排列关系等)。

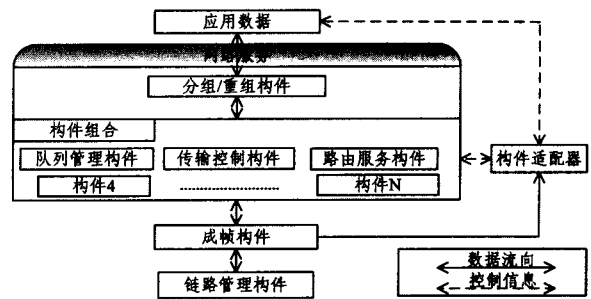


图 1 基于构件的网络协议体系

4 构件化协议系统模型

上节已经介绍构件化网络体系结构总体框架,下面将在上述内容基础上详细描述构件化协议系统组成部分及系统工作模型。

构件化协议系统分为 3 个主要部分:构件库、构件信息库以及构件适配器。通过对无线网络协议构件化,组成大的构件库,所有构件信息保存在构件信息库中;构件库和构件信息库由构件适配器统一进行管理。在调用网络功能模块时,应用程序产生的数据直接和构件适配器相互交互。应用程序不需要关心如何去选取构件,而只需要根据构件适配器所规定的配置属性列表,填写一份被称为构件调用表的属性配置清单,并提交给构件适配器;构件适配器收到配置清单后,分析应用程序提交的各项具体配置属性值,智能地从构件库里选取不同构件,形成一个满足应用需求的服务,为应用程序提供网络服务。

4.1 构件库

构件库是按照网络功能划分的各种构件的具体实现。构件库中,每一类构件会包含各种不同的实现方式,并且每种实现又分为构造函数和解释函数,构造函数用于发送方,解释函数用于接收方。每一类构件的不同实现都遵从统一接口。比如对于路由服务构件,根据其功能为该类构件建立一标准接口,那么路由服务构件 1、路由服务构件 2、路由服务构件 3 的区别仅在于内部具体算法实现,接口是完全相同的。这些统一的接口分别指示了各类构件的输入和输出、各类构件的衡量指标、各类构件之间的相互依赖关系。统一的接口使构件库内部搭建更加灵活和规范。所有的构件都存放在构件库里以备应用,根据统一接口所提供的标准,构件库的添加、卸载、更新和维护都非常方便,保证构件整体一致性。

4.2 构件信息库

构件信息库主要是提高构件适配器检索构件的能力。每个构件的具体实现都包含一个构件头,构件头中的内容由构件的版本号、构件的分类、构件的作用、构件的指标组成。所有构件头的集合形成构件信息库。构件头统一由构件适配器进行管理。每添加一个构件实现就将对应的构件头同时添加到构件信息库。卸载时只需先移除构件的实现,然后构件适配器将该实现对应的构件头从构件信息库中删除。构件的更新需要由构件适配器在构件库和构件信息库中同时进行操作。

4.3 构件适配器

构件适配器是整个网络协议的调度中心,它连接构件库

和构件信息库,承担构件调度、更新与维护等功能。

构件适配器根据应用程序提交的属性配置,检索构件信息库,决定网络功能取舍;然后从选定的功能中选择该功能的具体构件为应用数据提供服务。

按照完成功能构件适配器可以划分为构造器部分和解释器部分。构造器是构件适配器在发送端的具体实现。它向应用数据提供良好的发送服务接口,对待发送应用数据提交的属性信息进行分析和处理,根据分析结果查找构件信息库,获取功能构件信息,最后调用构件库中构件实现功能服务。解释器是构件适配器在接收端的具体实现。它通过调用成帧构件和链路管理构件从网络接口读取数据,接着解释接收到的数据包包头,按照包头信息形成调用解释构件列表,根据该列表查询构件库,调用解释函数完成服务。

4.4 系统工作模型

详细介绍完系统组成部分后,下面将给出系统工作模型。不同类型的业务可以根据服务质量要求,对应用数据所需的功能模块构件进行配置和调用。如图 2 所示,具体的服务功能都是通过构造器按照服务所需的构件调用表来完成的。在业务数据添加包头的过程中,每个需要发送数据分组的业务都必须经由构造器查询构件调用表以及各构件相关信息,然后按照顺序从构件库调用相关构造构件函数填充数据包所需构件信息。

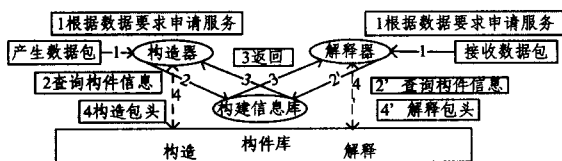


图 2 系统工作模型

包头的解释过程刚好相反,节点收到一个分组,交给解释器统一处理,这里解释器不需要排序构件调用表,因为此时包头已经是顺序安放的,解释器顺序查看各个包头的构件标识,再从构件库中调用对应的协议构件即可。

5 构件化协议数据包格式

基于构件化的可重构网络要求模块具有多样性和可选择性,这使得数据包的设计不能类似于传统 TCP/IP 协议栈的静态包头形式,新的数据包格式必须能随时容纳新加包头,并能支持对包头的自定义,以提供良好的扩展性。包头格式定义如图 3 所示。

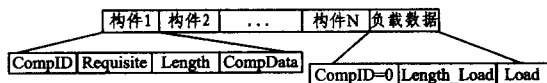


图 3 数据包格式

单个资料分组在成帧后根据业务需求调用的构件会分别添加包头信息。包头各部分说明如表 1 所列。

表 1 包头说明

名称	功能
CompID	构件编号,前半部分表示功能,后半部分标识具体构件
Requisite	指示该包头对应构件是否是必须被处理
Length	指示紧接其后 CompData 长度
CompData	包含该构件需要的数据
Length_Load	指示紧接其后 PayData 长度
Load	该数据包封装的负载数据

6 关键服务构件功能设计

通过对现有层次化网络的功能总结和无线网络的应用需求分析,将网络基本功能划分和定义为如下功能构件。

6.1 分组/重组构件

分片模块将较长的数据包分片,以使帧长满足链路上允许的最大数据单元长度。对应发送端,即是将一个较长数据分成各个段的过程,在接收端即是将这些段重新组成有意义的数据包的过程。

6.2 队列管理构件

队列管理构件采用基于业务流的主动队列管理策略。根据无线网络发展趋势,未来无线节点会具有更多的资源和更强的处理能力。为保证精细的传输控制和区分不同业务对服务质量的要求,采用基于业务流的队列管理机制。每个业务流在发送、接收和中间节点上都维护单独的队列。

6.3 路由服务构件

路由构件维护必要的路由和链路状态信息,将源端数据包经由正确路径发送到目的端。转发分组首先通过查找路由表确定下一跳节点的可选项,然后根据链路状态及可选下跳无线节点负载选择最佳路径。

路由构件包头信息中 CompData 格式设计:

| 源地址 | 目的地址 | 上跳地址 | 下跳地址 | Hop Limit |

6.4 传输控制构件

考虑到无线网络环境,为满足无线网络部署要求和提高信息传输效率,采用点到点传输机制。点到点传输的最大特点是两点之间的传输回馈,它使中间节点也参与到分组传输控制过程中。这样可以协调不同业务流之间的关系,保证业务之间的公平性,同时对造成拥塞的数据流做出及时调整,避免其它数据流受到影响。两点之间的传输回馈机制,也大大减少了无线网络传输中端到端的回馈时延,有利于发送节点对网络状态做出及时响应,减少不必要重传带来的资源浪费。

6.5 差错控制构件

差错控制构件对分组数据进行差错控制和恢复重传,保证点到点分组传输的正确性和可靠性。该构件根据无线网络环境,选择合适的检错/纠错策略,重传恢复策略。由于采用点到点传输方式接收回馈信息间隔时间大大减小,因此重传恢复策略中可以根据应用和链路质量选择 ACK 确认、累积确认或消极确认等方式。

6.6 网络管理与安全构件

随着无线网络技术飞速发展,无线网络数量越来越多。而无线网络中设备来自各个不同的厂商,如何管理这些设备是网络管理构件的重要功能之一。另一方面根据无线网络链路特性,传输数据更加容易受到攻击,同时到目前为止几乎所有认证应用或私密性数据传输都依赖于应用层加密技术,如果在协议族内部实现加密安全,则应用程序可以更加灵活实现安全策略,同时节省开销,如系统管理员可以将安全机制统一应用到对外通信中,而内部通信不用加密省去相应开销。

6.7 成帧构件

在发送方该构件首先将包含足够服务信息和载荷的数据打包成帧,然后用特定字符标识帧首和帧尾,并将特殊字符

(下转第 144 页)

[J]. 计算机工程, 2007, 33(15): 67-69

- [8] Nentwich C, Emmerich W, Finkelstein A, et al. Flexible Consistency Checking [J]. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 2003, 12(1): 28-63
- [9] Liang Z P, Wu G Q. Consistency checking of multiviews based on agent [C]//Proceeding of the 2004 International Conference on Computer and Information Technology. Los Alamitos: IEEE CS Press, 2004: 1087-1091
- [10] Nuseibeh B, Kramer J, Finkelstein A. Viewpoints: Meaningful Relationships are Difficult [C]//Proceeding of the 25th International Conference on Software Engineering. Los Alamitos: IEEE CS Press, 2003: 676-681
- [11] 江敏, 毋国庆. 多视点间不一致性的认知推理[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(2): 322-327
- [12] Sommerville I, Sawyer P. Requirements Engineering: A Good Practice Guide [M]. Chichester: John Wiley & Sons, 1997
- [13] 牟克典, 金芝, 陆汝钤. 视点合成中重叠需求的不一致优先级处理[J]. 计算机学报, 2004, 27(10): 1379-1387
- [14] Ghose A, Qiuming L. Viewpoints Merging via Incrementally E-

licited Ranked Structures [C]//Proceeding of the 6th International Conference on Quality Software. Los Alamitos: IEEE CS Press, 2006: 141-150

- [15] Pierce B C. Basic Category Theory for Computer Scientists [M]. Cambridge: MIT Press, 1991
- [16] Scott P J. Some Aspects of Categories in Computer Science [M]. Handbook of Algebra, Vol. 2. Amsterdam: North Holland, 2000: 3-77
- [17] Eerke B. Integrating Specifications: Development Relations and Correspondences [C]//INT'02: Integration of Software Specification Techniques, ETAPS 2002 Satellite Workshop. Invited Lecture. <http://www.cs.kent.ac.uk/pubs/2002/1360/>, 2007-12-01
- [18] ISO. Information processing systems-Open systems interconnection-LOTOS-A formal description technique based on the temporal ordering of observational behavior [C]//IS 8807 1989
- [19] Spivey J. The Z Notation: A Reference Manual [M] (2nd edition). London: Prentice Hall, 1992

(上接第 66 页)

进行“字符填充”;在接收方该构件将接收到的比特流转化为可以被解释的数据帧,并将数据帧头信息发送给构件适配器。成帧构件的另外一个重要功能是将链路管理构件中获取的信息封装入数据帧。

6.8 链路管理构件

完成比特流发送和接收功能,收集链路信息并传输给成帧构件,管理物理链路并决定公共信道资源的分配方式和各节点的接入方式,使数据帧能通过信道高效地传输。

7 与 TCP/IP 网络体系的融合

构件化网络体系结构主要是针对当前 TCP/IP 网络的传输层和网络层。通过定义新的协议族,构件化网络完全可以运用在现有的网络编程环境下。已有的网络应用程序也只需要少量改写(修改协议族)即可使用在构件化网络环境下。在 MAC 层该协议可以添加新内容,也可以使用现有 MAC 层;如果仅使用现有 MAC 层,构件化协议只需要在资源管理时获取 MAC 层信息。

结束语 本文为解决当前层次化网络体系结构自身的设计缺陷及应用于无线网络中遇到的问题,提出构件化网络体系结构。构件化网络协议设计思想打破层次概念,使网络协议设计与开发更加灵活。新业务和新需求到来时,用户只需加入功能构件,并根据应用要求灵活组织构件排列方式。由于没有层次概念,因此层次概念带来的冗余、各层无交互等问题已不复存在。用户可以将精力全部用于如何调配网络资源以便为应用提供高质量的服务。

参 考 文 献

- [1] Daemon J, Rijndael R V. The Advanced Encryption Standard [J]. Dr. Dobb's Journal, 2001
- [2] Koblitz N. Elliptic curve cryptosystems [J]. Mathematics of Computation, 1987, 45(177): 203-209
- [3] Clark D, Tennenhouse D. Architectural Considerations for a New Generation of Protocols [C]//Proc. of Sigcomm- 90. 1990;

200-208

- [4] Tennenhouse D, Wetherall D. Towards an Active Network Architecture [J]. Computer Communication Review, 1996, 26(2)
- [5] Lazar A. Programming Telecommunication Networks [C] // Proc. 5th International Workshop on Quality of Service. USA, 1997: 3-24
- [6] Boecking S, et al. A Run-Time System for Multimedia Protocols [C]//Fourth International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN'1995). 1995
- [7] Siemens A G. Performance and Software Evaluation of the Modular TIP Communication System [C]// 5th Intl. Conf. on Computer Communications and Networks. USA, 1996
- [8] Boecking S. Object oriented network protocol [M]. Beijing: Machinery Industrial Press, 2000
- [9] Braden B, Faber T, Handley M. From Protocol Stack to Protocol Heap-Role-Based Architecture [C]// First Workshop on Hot Topics in Networking. Oct. 2002
- [10] Verikoukis C, et al. Cross-layer optimization for wireless systems: A European research key challenge [J]. IEEE Commun. Mag, 2005, 43(7): 1-3
- [11] Djama I, Ahmed T. A cross-layer interworking of DVB-T and WLAN for mobile IPTV service delivery [J]. IEEE Trans. Broadcast, 2007, 53(1): 382-390
- [12] Zeng Jia zhi, Xu Jie, Wu Yue, et al. Service Unit based Network Architecture [C]//PDCAT'2003. Proceeding of the fourth International Conference, 2003
- [13] Mussabbir Q B, Yao Wenbing, Niu Zeyun, et al. Optimized FMIPv6 Using IEEE 802. 21 MIH Services in Vehicular Networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular technology, 2007, 56(6)
- [14] Soliman H. Mobile IPv6; Mobility in Wireless Internet [M]. Reading, MA: Addison-Wesley, 2004
- [15] Zhou B, Marshall A, Wu J, et al. A cross-layer route discovery framework for mobile ad hoc network [J]. EURASIP Journal on Wireless communications and Networking, 2005, 5(5): 645-660