

面向功能进化的可重构路由器体系结构研究

黄万伟 曲 晶 邬钧霆 刘 强

(国家数字交换系统工程技术研究中心 郑州 450002)

摘 要 由于新协议和业务的不断涌现,传统路由器的刚性和封闭性导致其无法满足上层业务发展而自由演进,因此面向功能进化的开放可重构路由器是今后发展的趋势。提出了基于积木式组装机制的可重构路由器体系结构,通过基于多矢量映射的可重构机制,利用局部矢量变化实现自身功能的不断更新、添加或删除来实现路由器功能进化,从而有力支撑上层业务的演进。

关键词 开放性,可重构,积木化,矢量映射,功能进化

中图分类号 TP3939 **文献标识码** A

Research of the Reconfigurable Router Structure with Evolutional Function

HUANG Wan-wei QU Jing WU Jun-ting LIU Qiang

(China National Digital Switching System Engineering and Technological Research Center, Zhengzhou 450002, China)

Abstract With the appearance of new protocols and services, the traditional routers with rigid and exclusive structure can't meet the upper services' development. An open and reconfigurable router with functional evolution is needed. This paper put forward a systematic structure of reconfigurable router, which is based on an assembly mechanism like building blocks. With multi-vector mapping, this structure takes advantage of changing vectors to realize the variable functions, update, add, or delete its original functions. The router with evolutionary function will support the diverse upper services' development effectively.

Keywords Open, Reconfigurable, Building blocks, Multi-vector mapping, Evolutional functional

现有的信息网络一直沿着面向业务支撑的技术体系发展,即一种网络支撑一种主要服务的紧耦合模式,如电信网、互联网以及电视网等^[1]。面对大量多元化演进的用户业务,由于传统网络技术体系束缚,网络无法适应服务的多样性需求,究其原因:其一是网络设备的刚性,内部功能无法随上层业务的发展而自我进化,改造只能依靠产品升级和规模扩展;其二是节点的封闭性,节点的升级和扩展只能由原设备提供商实施,无法实现不同制造商设备之间的统一接入^[2]。因此,迫切需要设计全新的网络节点体系结构来解决现有网络设备在开放性、可重构、自进化等方面存在的问题。

可重构路由器的核心可以归纳为开放性、可重构性以及可进化性。“开放”指对路由器底层资源充分地向用户开放,采用开放标准和积木式构件模型,不同厂商的积木构件可互操作,软件代码可重用,移植方便^[3]。“可进化”是指利用“可重构”技术实现对底层资源的编程控制^[4],实现对路由设备服务功能的灵活重组,产生支持不同业务功能需要的网络节点设备,并支持多业务融合服务,使得可重构路由器跟随业务的发展而不断演进,从而具有很强的自进化能力^[5]。

本文提出一种基于构件化的可重构路由器体系结构模型,其包括功能构件应用层和构件通信承载层,分别负责上层

业务流程以及构件间的互联互通。将复杂的上层业务切割为一系列简单有序的处理单元,称之为处理流程矢量,并分别与底层的构件实例相对应。因此,上层的处理流程图将映射为底层处理对象流经各构件实例的传输路径,称之为路径导向矢量。当上层业务发生变化时,其所对应的处理流程矢量将被更新;同时,处理流程矢量所对应的路径导向矢量也将被更新,即处理对象所流经构件的路径也发生变换,从而实现可重构路由器自身功能的不断进化。

1 研究现状

目前,很多研究机构在软件可重构路由器方面得出了一些有价值的成果。Scout 是亚利桑那大学和普林斯顿大学联合开发的一种模块化的面向通信的操作系统^[6],他们还提出了“path”的抽象概念,用于指示数据从接收功能部件开始至发送功能部件结束所通过的路径。Click 是美国 MIT 提出的一种由细粒度的构件组成的软件路由器^[7],其设计目标是使路由器软件更加灵活并且易于配置和管理。Routers Plugins 是由美国 Washington University 和 ETH Zurich 联合研发的一类软件可重构路由器^[8],其主要思想是在网络子系统运行时动态加/卸载插件(Plugins),通过一个插件控制单元类构

到稿日期:2009-04-24 返修日期:2009-08-01 本文受国家 863 重大专项(2008AA01A323),国家 973 重点基础研究(2007CB307102)资助。

黄万伟(1979—),男,博士生,主要研究方向为可重构路由器体系结构等,E-mail:huangww79@163.com;曲 晶(1980—),男,研究生,主要研究方向为高性能路由器体系结构等;邬钧霆(1979—),男,博士生,主要研究方向为高可信网络等;刘 强(1982—),男,博士生,主要研究方向为可重构路由器等。

件提供与其它核心构件或其它插件之间的控制路径接口。

软件可重构路由器的优点是其灵活性好,但在处理容量和性能方面缺少优势,因而有必要在路由器中引入硬件可重构技术。D. C. Lee 等人在文献[9]中提出了可重构路由器(reconfigurable router)的概念,指出动态可重构路由器能够提高网络的性能,具有更好的适应性。文献[10]中提出了一个基于流的可重构路由器的原型结构,并用 FPGA 实现结构中的可重构硬件部分。华盛顿大学可重构研究小组提出了基于 FPX (field-programmable port extender)实现的路由器动态可重构解决方案^[11],其目的是充分利用可重构硬件的高性能和灵活性,开发新的网络应用。

以上可重构路由器模型只是针对路由器中的部分功能进行重构,没有考虑第三方的功能模块加载的问题,因而其支持上层业务演进的能力有限^[12]。路由器若能像计算机系统那样对外开放,不同厂家的主板、外设、内存、操作系统、不同层的软件产品等可作为多个部件集成在一起,则其可重构能力将极大增加。通过底层构件的不断更新、替换和升级,使路由器具有了自我进化的能力;而且使冗长的网络设备生产过程变为类似于搭积木的构件组装过程,从而大大缩短了网络设备的开发时间^[13]。

2 构件化两层模型

基于构件化设计思想,将传统的路由交换设备的线卡、转发、交换、控制 4 大部分抽象为两层,分别为功能构件应用层和构件通信承载层,如图 1 所示。功能构件应用层是路由交换设备中的功能构件的集合,包括接入、转发、安检、深度检测等功能构件,还包括以后不断演进或添加的新功能构件。通过选择不同的构件接入到网络中,从而支持不同的上层业务处理功能。同时在构件应用层引入构件管理服务器,作为特殊的功能构件,其不但包含传统的主控功能,还负责接入承载网络中构件的注册和管理。构件通信承载层基于统一承载模式,提供构件之间的互连互通,其互连方式可以基于网络或基于共享总线;同时基于标准化接口设计,在承载分组头中分别植入源和目的构件地址,承载网络根据目的地址将分组输出给指定的目的构件。

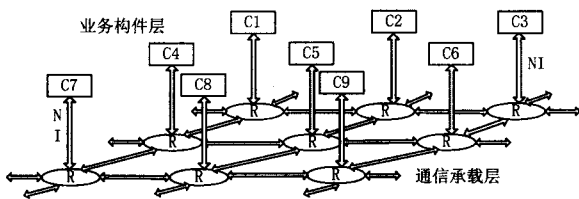


图1 面向构件化设计的两层模型

通过构件通信承载层提供的互连互通以及构件管理功能,各构件以离散化的方式接入到承载网络中。构件功能之间以及构件与承载网络之间相互独立,利于构件和承载网络的独立演进发展,并利于第三方的独立开发。各构件相互独立且以临时组合的方式整合为一个物理实体,从而方便部件的组装和拆卸,同时有利于在网络交换设备中删除原有业务构件或更新、增加新业务构件^[14]。

3 功能进化

3.1 多矢量映射机制

针对特定对象的上层服务均由一系列的处理流程构成,而且各处理流程的先后顺序固定,使得被处理对象经过本流程时具有方向性,因此称之为处理流程矢量;上层的处理流程与顶层的构件实例相对应,并由底层构件来具体实施,则上层处理流程决定了处理对象在构件之间的传输路径,而且传输路径具有方向性,因此称之为路径导向矢量。以简单的报文处理流程为例,其包括输入、转发和输出 3 个功能处理子构件,若以上 3 个构件的位置分别为 A, B 和 C,则与处理流程矢量所对应的路径导向矢量为(A, B, C),如表 1 所列。

表 1 处理流程与路径导向矢量之间的映射关系

处理流程矢量	输入	转发	输出
路径导向矢量	A	B	C

通过将上层业务映射为特定的处理流程矢量,并通过具体的处理流程映射为底层构件实例。当上层服务发生变化,其对应的处理流程矢量将发生变化,同时要更新、添加或删除底层构件实例,如图 2 所示。在构件化两层模型中,在构件实例变更时,对承载网络无影响,利于承载网络的高层次复用。

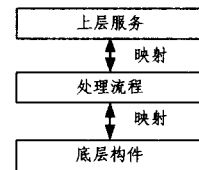


图 2 多矢量映射机制

3.2 构件注册和管理

在多矢量映射机制中,上层的处理流程将被映射为底层构件实例,因此必须时刻维护构件实例的位置。当构件接入网络时必须要有位置信息,构件首先要进行位置注册,向构件服务器汇报自身的位置,并由构件管理服务器建立构件功能与其位置的映射表,如图 3 所示。同时,为保持构件之间的无差异性,构件在接入承载网络之前不具有位置属性,只有功能属性,只有在接入到承载网络以后,其位置才为网络接入点的位置。

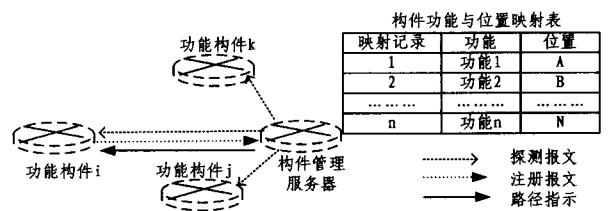


图 3 功能与位置映射表

构件的注册管理机制如下:

1. 构件接入到承载网络以后,其位置固定且唯一;
2. 构件管理服务器以组播的方式定时发送探测报文,在组播报文中的源地址即为构件管理服务器在承载网络中的位置;
3. 当构件插入某插槽以后,该构件接收到探测报文,并向构件管理服务器发出的注册信息进行响应,注册报文中包括本构件的功能标号以及物理位置;
4. 构件服务器接收构件的注册报文,并记录该构件的功能信息和位置信息,建立功能与位置的映射表。在映射表中,同一功能可映射多个位置,这就表示有多个支持同样功能的构件接入到承载网络中;

5. 为体现差异化服务的需求,各业务的处理流程并不相同,构件管理服务器设定各业务的处理流程矢量;

6. 构件管理服务器根据各业务的处理流程,查询自身的功能与位置映射表,然后再将业务处理流程矢量转换为处理路径矢量;

7. 构件管理服务器向各构件发送业务的处理路径指示信息,包括该构件所支持的业务包类型以及各业务在本构件处理后所送下一构件的目的地址,如图4所示,D表示目的构件实例的位置,S为源构件实例的位置,封装信息针对a类业务,当前构件实例处理完以后,再送给在A位置接入的构件实例。

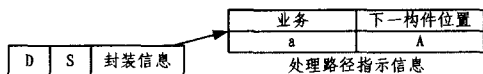


图4 处理路径指示信息封装格式

3.3 映射表维护

在多矢量映射机制中,上层处理流程决定了处理对象在功能构件之间的处理顺序,也决定了分组流经不同物理位置的次序。上层的处理流程发生变化以后,整个处理流程所对应的底层功能构件集也将变化。底层的功能构件重构新功能后,其原支持的处理流程将受影响,必须寻找新的替代构件。在以上过程中,上层处理流程与底层功能构件集的映射关系必须时刻更新。因此,构件管理服务器维护的构件功能与位置映射表具有生命周期,需定期进行刷新,否则失效。

构件管理服务器定时发送构件探测报文,若本构件存在于通信承载网络,各构件将对构件管理服务器发送的探测报文进行响应,构件管理服务器收到响应报文后,继续维护该构件的功能与位置映射信息。某构件实例从通信承载网络中撤除以后,发往该位置的探测报文将无响应,当连续多个探测报文都无响应时,构件管理服务器即认为本构件已撤除,此时删除本构件的映射关系,如图5所示。

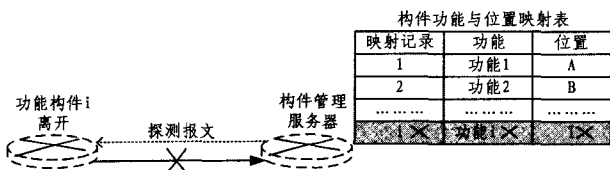


图5 构件实例离开导致其映射表项删除

某构件离开后,其处理流程矢量将不完整,导致整个处理无法进行,此时必须发出告警信息,或在可能的条件下寻找替代构件。

3.4 功能重构机制

当某业务增加新的处理功能时,其处理流程矢量将增加,同时与其映射的路径导向矢量也将发生变化,如图6所示,当业务a处理流程矢量中增加功能i时,其对应的构件实例的位置为I,因此映射后的路径导向矢量将增加位置I。此时构件服务器向构件实例C和I发送针对a业务的下一跳的路径指示,使得构件实例C处理后流经的下一构件为构件实例I,而构件实例I处理后流经的下一构件为实例D,其它路径保持不变。

当某业务需要删除部分处理功能时,其处理流程矢量将减少,同时与其映射的路径导向矢量也将缩短,如图7所示,当业务a的处理流程矢量削减功能4时,若其对应的构件实

例的位置为D,因此映射后的路径导向矢量将不经过位置D。构件服务器向构件实例C发送针对a业务的下一跳的路径指示,使得构件实例C处理后流经的下一构件为构件实例E,且不再发送给构件实例D,其它路径保持不变。

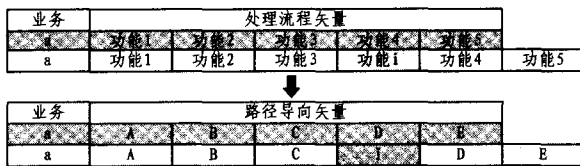


图6 功能增加导致的矢量变化

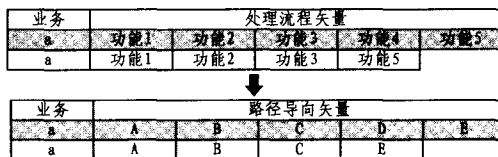


图7 功能删减导致的矢量变化

当某业务的部分处理流程需要更新时,与其对应的处理流程矢量也将被更新,如图8所示,当业务a的处理流程矢量由功能4更新为功能6时,功能6所对应的构件实例的位置为F,因此映射后的路径导向矢量将由位置D更新为位置F。通过构件服务器向构件实例C和构件实例F发送针对a业务的下一跳的路径指示,使得构件实例C处理后流经的下一构件为构件实例F,而构件实例F处理后流经的下一构件为构件实例E,其它路径保持不变。

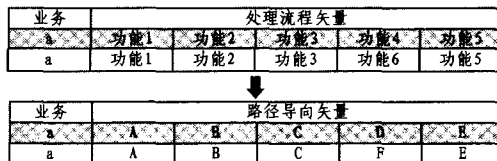


图8 功能更新导致的矢量变化

从以上可以看出,基于构件化设计,并通过构件的添加、删除或更新来应对上层业务的变更,可使可重构路由器沿着业务的发展而不断进化,从而使其具有很强的业务演进能力。

结束语 本文首先介绍路由器的研究现状,并指出今后路由器开放性、可进化性的发展趋势,从而引入基于积木式组装机制的可重构路由器体系结构。在此基础上,提出了基于两层架构的可重构路由器模型,分别为功能构件应用层和构件通信承载层,并利用两层模型实现构件之间的解耦合,不但有助于构件的独立开发和更新,同时有利于承载网络的复用。构件化可重构路由器通过自身的处理流程矢量变化来应对业务的演变,并实时更新底层的路径导向矢量,使自身功能不断更新、添加或删除,从而实现自身功能的不断进化。

参考文献

- [1] Next Generation Networks and the Cisco Carrier Routing System, White Paper, Cisco Systems[C]// 2004 FIND Informational Meeting. Washington Dulles Hilton, December 2005
- [2] 张晓哲,卢锡城,朱培栋,等.一种集群路由器转发同步框架及关键算法[J].计算机学报,2006,17(3):445-453
- [3] Baker Z K, Prasanna V K. An Architecture for Efficient Hardware Data Mining using Reconfigurable Computing Systems [C]// 14th Annual IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines. 2006:67-75

(下转第296页)

exchange based on feature semantics and geometry representation[C]//Proceedings of the CSCWD, Nanjing, 2006; 1-5

- [8] Guarino N, Welty C A. A formal ontology of properties[C]//Proceedings of the 12th European Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management. 2000; 97-112
- [9] Libkin L, Fagin D R, Kolaitis P, et al. Data exchange; semantics

and query answering [J]. Theoretical Computer Science, 2005, 336(1): 89-124

- [10] Libkin L. Data exchange and incomplete information [C]//Proceedings of the Twenty-fifth ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART Symposium on Principles of Database Systems. Chicago, IL, USA, 2006; 60-69

(上接第 255 页)

- [4] Compton K, Hauck S. Reconfigurable computing; A survey systems and software[J]. ACM Computing Surveys, 2002, 34(2): 71-210
- [5] 汪斌强. 可重构路由器构件组研制(国家高技术研究发展计划项目课题申请书)[A]. 2007
- [6] Montz A B, Mosberger D, O'Malley S W, et al. Scout: A communications-oriented operating system [C]//Proc. of the 5th Workshop on Hot Topics in Operating Systems (HotOS-V). 1995; 58-61. http://lahtermaher.org/pub/plan/xkernel/Papers/scout_hotos.ps
- [7] Kohler E. The Click modular router [D]. Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT University, 2001
- [8] Decasper D, Dittia Z, Parulkar G, et al. Router plugins: A software architecture for next generation routers[J]. IEEE/ACM Trans. on Networking, 2000, 8(1): 2-15
- [9] Lee D C, Midkiff S F. Reconfigurable Routers; a New Paradigm for Switching Device Architecture[OL]. <http://www.ccm.ece.vt.edu/papers/>, 1998

- [10] Lee D C, Harper S J, Athanas P M, et al. A stream-based reconfigurable router prototype [A]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications [C]. Vancouver, B. C., Jun 1999
- [11] Albrecht C, Foag J, Koch R, et al. DynaCORE-a dynamically reconfigurable coprocessor architecture for network processors [A]//Proc. of the 14th Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing (PDP 2006) [C]. IEEE Computer Society, Montbeliard-Sochaux, France, 2006; 101-108
- [12] Houidi I, Louati W, Zeghlache D. An extensible software router data-path for dynamic low-level service deployment[C]//IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing 2006. Poland, June 2006; 161-166
- [13] Reussner R H, Becker S, Firus V. Component composition with parametric contracts[C]//Proceedings of the Net. Object Days, 2004; 155-169
- [14] Bracciali A, Brogi A, Canal C. A formal approach to component adaptation[J]. Journal of Systems and Software, 2005, 74(1): 45-54

(上接第 281 页)

的自然分布,以实现中国水墨画的典型艺术效果。结果说明,本文算法比较真实地模拟了中国水墨画的部分典型特征,使得墨竹模拟效果比较逼真,能够较好地实现模拟要求。同时该算法还存在不完善的地方,如尚未充分分析柏林噪声函数的倍频和振幅的变化对水墨扩散效果产生的影响,这有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Lansdown J, Schofield S. Expressive rendering; A review of non-photorealistic techniques [A]//IEEE Computer Graphics and Application[C]. 1995; 29-37
- [2] 俞剑华. 中国画论类编(上卷)[M]. 北京:人民美术出版社, 1986
- [3] 齐亚峰,孙济洲,商毅. 中国水墨画的基本艺术特征及其计算机仿真实现[J]. 中国图像图形学报, 2003, 5(8): 562-5
- [4] Strassmann S. Hairy brushes [A]//Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series[C]. ACM SIGGRAPH, D-

allas, 1986; 225-232

- [5] Lee J. Difusion rendering of black ink paintings using new paper and ink models[J]. Computers and Graphics, 2001, 25(2): 295-308
- [6] Way D L, Shih Z C. The synthesis of rock textures in Chinese landscape painting [A]//Proceedings of Eurographics' 2001 [C]. Manchester, 2001; 123-131
- [7] 石永鑫,孙济洲,张海江,等. 基于粒子系统的中国水墨画仿真算法[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2003, 6(15): 667-672
- [8] 焦景山,孙济洲. 中国水墨画效果的图形仿真[A]//见辜居一,主编. 数字化艺术论坛[M]. 杭州:浙江人民美术出版社, 2002; 190-204
- [9] 谭彬. 组物外观模拟的研究与设计[D]. 杭州:浙江大学, 2004
- [10] Perlin K. An Image Syntlesizer [C]//SIGGRAPH' 85. 1985; 287-296
- [11] 杨刚. 全景图拼接算法的设计与实现[J]. 重庆工学院学报:自然科学版, 2007, 21(19): 107-110

(上接第 284 页)

- [3] Ridd M K, Liu J. A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment [J]. Remote Sens. Environ., 1998, 63(2): 95-100
- [4] Byrne G F, Crapper P F, Mayo K K. Monitoring land cover change by principle component analysis of multitemporal Landsat data [J]. Remote Sens. Environ., 1980(10): 175-184
- [5] 黎夏,叶嘉安. 利用主成分分析改善土地利用变化的遥感监测精度[J]. 遥感学报, 1997, 1(4): 282-289
- [6] 张路. 基于多元统计分析的遥感影像变化检测方法研究[D]. 武汉:武汉大学, 2004
- [7] 范海生,马蔼乃,李京. 采用图像差值法提取土地利用变化信息

方法——以攀枝花仁和区为例[J]. 遥感学报, 2001, 5(1): 75-80

- [8] Wang G. An Expert System for Forest Resource Inventory and Monitoring in the Frame of Multi-Source Data [M]. Helsinki, Finland: Helsinki Univ. Press, 1996
- [9] Lillesand T M, Kiefer R W. Remote Sensing and Image Interpretation [M]. New York: Wiley, 2000
- [10] Eklundh L, Singh A. A comparative analysis of standardized and unstandardized principal components analysis in remote sensing [J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(7): 1359-1370
- [11] 盛辉,廖明生,张路. 基于典型相关分析的变化检测中变化阈值的确定[J]. 遥感学报, 2004, 8(5): 451-457
- [12] 佃袁勇. 基于遥感影像的变化检测研究 [D]. 武汉:武汉大学, 2005