

智慧网络组件协同机制研究

郜 帅,王洪超,王 凯,张宏科

(北京交通大学电子信息工程学院,北京 100044)

摘 要: 现有互联网网络体系和机制相对“静态”和“僵化”,缺乏支持智慧网络的有效机制.要从根本上解决现有互联网存在的严重弊端,必须创建新的网络体系、理论及机制.本文在多年信息网络基础理论研究和前期 973 项目“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”的基础上,在智慧协同网络“三层”、“两域”总体结构模型的指导下,提出了一种智慧网络组件协同体系结构模型,提出了智慧网络组件模型与族群聚类机制,给出了网络复杂行为博弈决策机制及智慧网络组件协同工作机制等,实现了基于网络组件协同配合的网络智慧通信,有效解决了现有互联网资源利用率低、网络能耗高等问题.

关键词: 网络组件; 族群聚类; 博弈决策; 智慧协同

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013) 07-1261-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.07.003

Research on Cooperation Mechanisms of Smart Network Components

GAO Shuai, WANG Hong-chao, WANG Kai, ZHANG Hong-ke

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The current Internet architecture and mechanisms are relatively static and rigid, which makes it difficult for the Internet to support smart communication. To overcome the serious shortcomings of the Internet, it is necessary to establish new network architecture and its related theories and mechanisms. Based on long term fundamental research on information networks and our previous 973 project, in this paper, we propose a novel cooperation architecture and model for smart network components under the smart and cooperative network architecture with three layers and two realms. Based on this architecture, we present smart network component model, family aggregation mechanisms and gaming decision mechanisms for complex network behaviors. In addition, related cooperation mechanisms of smart network components are designed to support smart network communication, which effectively address the issues of resource utilization and energy saving in current Internet.

Key words: network component; family aggregation; gaming decision; smart cooperation

1 引言

现有互联网具有“三重绑定”的特征,即:服务的“资源和位置绑定”、网络的“控制和数据绑定”及“身份与位置绑定”.这种网络体系和机制是相对“静态”和“僵化”的,缺乏支持智慧网络的有效机制,存在资源利用率低、网络能耗高等严重问题,难以满足未来智慧网络“高速”、“高效”、“海量”、“泛在”等通信需求,迫切需要研究探索新型智慧网络体系,研究其基础理论及关键机理与原理,以满足未来网络发展的需求.

为此,近年来国内外都将未来互联网网络理论作为信息通信领域最重要和最迫切的研究内容.美国自然科学基金委于 2010 年启动了 FIA(Future Internet Architec-

ture)计划,资助了 NDN(Named Data Networking)^[1]、MobilityFirst^[2]、NEBULA^[3]、XIA(eXpressive Internet Architecture)^[4]、Choice Net^[25]等五个重大项目,分别从不同侧面研究未来互联网的体系架构.其中 NDN^[1]最初是在 2009 年由 Van Jacobson 提出并被命名为 CCN(Content-Centric Networking)^[5],2010 年 Lixia Zhang 等进一步完善后,改名为 NDN^[6].NDN 将关注的重点从现有网络的“在哪里”转移到“是什么”,即用户和应用关注的内容,探索以内容/服务为中心的网络体系架构,并在沙漏模型的细腰处采用内容名字.然而,其路由完全依赖内容名字,带来了严重的路由可扩展性问题.欧盟于 2008 年启动了 FIRE(Future Internet Research and Experimentation)计划^[7],拟对未来互联网络架构和服务机制进行研究,并建立相

应的测试平台. 目前 FIRE 计划正在支持 SAIL 项目^[8] (前身为 4WARD 项目^[9]) 和 PERSUIT 项目^[10] (前身为 PSIRP 项目^[11]), 开展基于新型面向信息/内容为中心的未来网络体系架构理论及关键技术研究, 提出了集中式网络状态搜集与解析机制, 为未来网络体系研究提供了一些很好的思路, 但其集中式映射服务系统同样面临网络规模可扩展性问题, 并未涉及智慧网络组件协同机制. 此外, 日本、韩国、德国也纷纷启动了相应的未来网络体系研究计划^[12~14]. 2012 年和 2013 年, 国际互联网研究任务组 IRTF (Internet Research Task Force) 分别成立了与未来网络相关的研究工作组 ICNRG^[15] 和 SDNRG^[16], 分别从内容为中心网络和软件定义网络两个角度开展对未来网络体系及关键技术的研究和探索. 在各项未来网络研究计划的推动下, 近年来在信息为中心网络^[17]、内容命名网络^[18]、智慧存储^[19]、智慧交换^[20]、绿色节能^[21]、软件定义网络^[22] 等多方面出现一系列研究成果.

国内方面, 我国也非常重视对未来信息网络体系结构和关键理论及术的研究. “十一五”和“十二五”期间, 国家 973 项目、863 项目、自然科学基金项目相继启动该领域的研究计划. 截至目前, 国内外相关研究多从现有互联网存在的某个或某些弊端出发, 研究设计新型的未来互联网, 缺乏系统的、全面的解决问题的手段和思路, 关于未来智慧网络体系的研究仍处于起步阶段, 尚无一个体系架构能够满足未来智慧网络“高速”、“高效”、“海量”、“泛在”等重大通信需求.

本文在多年信息网络基础理论研究和前期 973 项目“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”^[23]的基础上, 在智慧协同网络“三层”、“两域”总体结构模型^[24]的指导下, 提出了一种智慧网络组件协同体系结构模型, 提出了智慧网络组件模型与族群聚类机制, 给出了网络复杂行为博弈决策机制及智慧网络组件协同工作机制等, 实现了基于网络组件协同配合的网络智慧通信, 有效解决了现有互联网资源利用率低、网络能耗高等问题.

2 智慧网络组件协同体系结构模型

智慧网络组件协同机制集中探索网络组件模型与聚类机制、网络复杂行为的博弈决策机制与理论, 对智慧服务需求和网络组件行为进行博弈决策, 进而映射到网络组件层以选定相应的网络组件, 并控制各类组件协同高效工作.

图 1 创建了智慧网络组件协同体系结构模型. 其中“网络组件层”主要负责数据的存储与传输, 以及网络组件的行为感知与聚类, “资源适配层”通过感知服务需求与网络状态, 动态地适配网络资源并构建网络

族群, 以充分满足服务需求进而提升用户体验, 并提高网络资源利用率. 此外, 提出基于实体域和行为域的“两域”模型, 将网络实体域遇到的问题转化到行为域中解决, 再将解决方案返回到实体域中执行.

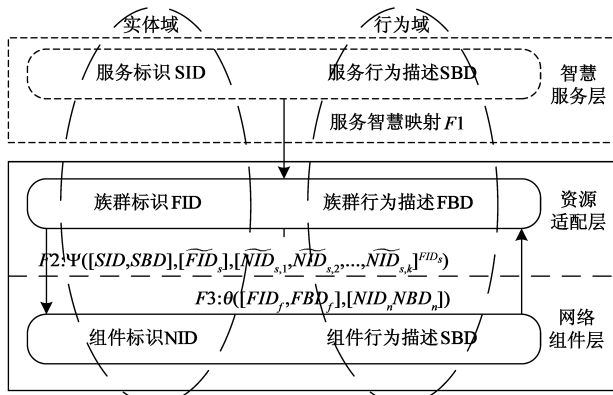


图1 智慧网络组件协同体系结构模型

在“网络组件层”和“资源适配层”之间, 原创性地提出两类智慧映射 F_2 和 F_3 , 分别完成族群内网络组件与服务需求的匹配和网络组件的行为聚类功能. “实体域”使用组件标识 NID (Node ID) 来标记一个网络组件设备, 使用族群标识 FID (Family ID) 来标记一个族群功能模块, 实现网络的“控制和数据分离”及“身份与位置分离”; 针对这两类标识, 在“行为域”分别建立相应的组件行为描述 NBD (Node Behavior Description) 和族群行为描述 FBD (Family Behavior Description), 来分别描述实体域中组件标识和族群标识的行为特征.

2.1 组件标识及组件行为表征

在网络组件层中, 使用组件标识 NID 来标记一个网络组件. 当前互联网使用的 IP 地址是一种简单的网络设备标记形式, 但是缺乏设备类型等信息. 在未来智慧网络体系架构中, 网络组件将包括: 服务器、路由器、交换机、终端、传感节点等多种组件, 甚至可能包括单独的交换板卡、存储设备等. 因此在组件标识 NID 之中, 还应体现网络组件的类型信息.

网络组件的行为描述包含 3 个主要方面: 拓扑行为、性能行为和功能行为, 各主要方面分别拥有若干具体行为指标. 网络组件的行为描述 NBD 初步定义为:

$$NBD \triangleq \begin{cases} \{b_L^{NT}, b_P^{NT}, b_R^{NT}, b_C^{NT}, \dots\}_T \\ \{b_B^{NP}, b_D^{NP}, b_L^{NP}, b_S^{NP}, \dots\}_P \\ \{b_T^{NF}, b_F^{NF}, b_C^{NF}, b_S^{NF}, \dots\}_F \end{cases} \quad (1)$$

上式中, T、P、F 分别对应着拓扑行为、性能行为和功能行为. 对于 NBD, 拓扑信息包括组件位置 b_L^{NT} 、组件从属关系 b_P^{NT} 、组件邻接关系 b_R^{NT} 和连通度 b_C^{NT} 等; 性能信息包括带宽性能 b_B^{NP} 、延时性能 b_D^{NP} 、丢包性能 b_L^{NP} 和稳定性能 b_S^{NP} 等; 功能信息包括组件类型 b_T^{NF} 、组件功能

b_F^{NF} 、运营商 b_C^{NF} 和安全级别 b_S^{NF} 等。

组件行为描述主要依据信息感知生成,根据描述方式可以分为两种:数据描述和语义描述.数据描述主要指用数据的形式呈现行为描述的内容,其主要针对的是网络组件具体指标参数的描述,如网络节点的具体负载能力、实际平均丢包率等等.这些数据描述的来源可分为两种,一种为网络节点的固定性能指标,另一种为网络节点的实测参数分析.实测类的数据描述需要从大量的网络测量数据中得出,是大量真实数据经过统计分析后得到的简要描述,需体现行为描述的精简特性.

语义描述主要指用语义的形式呈现行为描述的内容.如将网络实体稳定性划分为高中低三个级别,综合节点时延、抖动、丢包、负载等因素将实体描述为从优到差的 9 个级别等等.语义描述中的具体研究点包括:语义描述的级别、语义描述的级别判别.语义描述的级别是指在一种行为指标的描述空间内,允许的描述级别数量.语义描述的级别判别是指判定一个行为最符合的描述级别.级别判别主要包括 3 种形式:阈值形式、对比形式和整合形式.

对于某种指定行为,需要首先确定其行为描述的描述空间 $\{x_k\}$,该行为描述的总级别为 n .针对其中某一级的行为描述 x_k ,设其特定的隶属度为 μ_k ,且使用 μ_k/x_k 表示各级别的行为描述,则该行为的最终描述 b 如下所示:

$$b = \bigcup_{k=1}^n \mu_k/x_k \quad (2)$$

2.2 族群标识及族群行为表征

在图 1 的智慧网络组件协同体系结构模型中,网络族群模块是网络中的基本功能单元,也是资源适配层中实现资源动态适配的核心.本文创建了网络族群的标识规则以及相应的行为描述体系,在行为域中提出行为动态匹配和智慧聚类机制,并在实体域中提出族群间协作和族群内联动机制,从而将图 1 中的三层实体进行智慧结合.

在资源适配层中,使用族群标识 FID 来标记一个网络族群资源模块.由于网络族群的划分是基于特定的行为,不同类的行为可以拥有不同的族群划分方式,因此分类方式是族群最重要的属性之一.在网络族群形成后,每个族群内将会拥有一定的行为相似性,从而形成网络族群资源模块特有的行为特征,如地域特征、功能特征等.根据上述的族群分类方式和行为特征,可以唯一确定一个网络族群,以及生成族群标识 FID.

在资源适配层的族群划分中,依据拓扑性质可划分为两个主族:核心网族和接入网族,这两个主族可以再根据具体位置细分为若干区域子族群.依据性能可

划分为若干主族:高性能族、中性能族和低性能族,这几个主族可以再根据具体参数进一步划分子族,如高带宽族、低延时族等.依据功能也可划分为若干主族:服务器族、传输设备族、传感器族、网络运算族、网络存储族、智慧管理族、服务注册查询族、输入输出适配族等,这些主族也可根据具体信息再划分子族,随着网络组件功能的增加,也可不断的添加新的主族.依据某些特殊属性还可有其它主族划分方式:如根据运营商划分为电信族和联通族等等,这些特殊划分方式只在特殊情况下使用.

族群行为描述包含 3 个主要方面:拓扑行为、性能行为和功能行为,各主要方面分别具有若干具体行为指标.因而网络族群的行为描述 FBD 初步表示为:

$$FBD \triangleq \begin{bmatrix} \{b_L^{TT}, b_N^{TT}, b_D^{TT}, b_R^{TT}, \dots\}_T \\ \{b_B^{FP}, b_D^{FP}, b_L^{FP}, b_S^{FP}, \dots\}_P \\ \{b_T^{FF}, b_F^{FF}, b_S^{FF}, b_M^{FF}, \dots\}_F \end{bmatrix} \quad (3)$$

上式中, T、P、F 分别对应着拓扑行为、性能行为和功能行为.对于 FBD,拓扑行为信息包括族群位置 b_L^{TT} 、族群内组件数量 b_N^{TT} 、族群内组件分布 b_D^{TT} 和邻接族群关系 b_R^{TT} 等;性能行为信息包括带宽性能 b_B^{FP} 、延时性能 b_D^{FP} 、丢包性能 b_L^{FP} 和稳定性能 b_S^{FP} 等;功能行为信息包括族群类型 b_T^{FF} 、族群功能 b_F^{FF} 、安全级别 b_S^{FF} 和移动性 b_M^{FF} 等.

2.3 支持资源动态适配的智慧映射机制

在行为域中分别为组件和族群建立行为描述体系后,需要建立行为智慧聚类机制,实现族群标识到组件标识的智慧映射.行为智慧聚类的作用为根据网络组件行为描述以及各网络族群行为描述,判断网络组件应属于哪个网络族群,通过行为的相似性对网络组件进行族群划分.族群标识到组件标识的智慧映射原理如式(4)所示.式(4)中, FID_f 、 FBD_f 为第 f 个网络族群的族群标识和族群行为描述; NID_n 、 NBD_n 为第 n 个网络组件的组件标识和组件行为描述; $[\widetilde{NID}_{s,1}, \widetilde{NID}_{s,2}, \dots, \widetilde{NID}_{s,k}]^{FID}$ 代表网络组件聚类后生成的第 s 个族群 FID 中的网络组件; $\theta(\cdot)$ 是行为聚类函数.本式的物理概念是,通过感知网络组件的信息进行行为聚类,为网络族群选择出相应的网络组件,完成族群标识到组件标识的智慧映射.

此外,资源适配层的主要功能是合理匹配上层的服务需求和下层的网络状态,根据智慧服务行为描述以及网络族群行为描述,通过适当的网络博弈算法完成科学决策,为服务选出合适的网络族群及其内部相应的网络组件,完成服务的智慧获取,提供良好的用户体验,实现网络资源的高效利用.博弈决策映射的

原理如式(5)所示.

$$F3: \begin{bmatrix} [\widetilde{NID}_{1,1}, \widetilde{NID}_{1,2}, \dots, \widetilde{NID}_{1,i}]^{FID_1} \\ [\widetilde{NID}_{2,1}, \widetilde{NID}_{2,2}, \dots, \widetilde{NID}_{2,j}]^{FID_2} \\ \dots \\ [\widetilde{NID}_{s,1}, \widetilde{NID}_{s,2}, \dots, \widetilde{NID}_{s,k}]^{FID_s} \end{bmatrix} \triangleq \theta \begin{bmatrix} FID_1, FBD_1 \\ FID_2, FBD_2 \\ \dots \\ FID_f, FBD_f \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} NID_1, NBD_1 \\ NID_2, NBD_2 \\ \dots \\ NID_n, NBD_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$F2: \begin{bmatrix} [\widetilde{NID}_{1,1}, \widetilde{NID}_{1,2}, \dots, \widetilde{NID}_{1,a}]^{FID_1} \\ [\widetilde{NID}_{2,1}, \widetilde{NID}_{2,2}, \dots, \widetilde{NID}_{2,b}]^{FID_2} \\ \dots \\ [\widetilde{NID}_{s,1}, \widetilde{NID}_{s,2}, \dots, \widetilde{NID}_{s,c}]^{FID_s} \end{bmatrix} \triangleq \Psi \begin{bmatrix} \widetilde{FID}_1 \\ \widetilde{FID}_2 \\ \dots \\ \widetilde{FID}_s \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} [NID_{1,1}, NID_{1,2}, \dots, NID_{1,i}]^{FID_1} \\ [NID_{2,1}, NID_{2,2}, \dots, NID_{2,j}]^{FID_2} \\ \dots \\ [NID_{s,1}, NID_{s,2}, \dots, NID_{s,k}]^{FID_s} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式(5)中, $\widetilde{FID}_1 \sim \widetilde{FID}_s$ 为图 1 中服务标识到族群标识的智慧映射 F_1 选出的 s 个族群功能模块的族群标识; $[SID, SBD]$ 表示用户所需服务的服务标识和服务行为描述; $\Psi()$ 为博弈决策函数; $[\widetilde{NID}_{s,1}, \widetilde{NID}_{s,2}, \dots, \widetilde{NID}_{s,c}]^{FID_s}$ 表示博弈决策出的第 s 个族群 \widetilde{FID}_s 中提供所需服务的网络组件集合. 本式的物理概念是, 通过对网络组件的组件行为描述和族群行为描述的分析, 为每个被使用的网络族群模块确定具体的网络组件设备.

博弈决策算法根据智慧服务行为描述以及网络族群行为描述, 判断哪些网络族群模块的功能组合可以满足服务需求, 通过行为匹配对网络族群模块进行合理的选择. 为实现服务行为与族群行为之间的博弈决策. 为实现行为域中具体行为之间的比较, 需要定义两种行为比较准则: 行为差异度和行为贴进度. 行为差异度代表两种行为描述之间的差异程度, 而行为贴进度则代表两种行为描述之间的相似程度. 对于行为差异度, 可以使用闵可夫斯基(Minkowski)距离来表示; 对于行为贴进度, 可以参照模糊数学中对贴进度的描述, 通过引入模糊内积和模糊外积的概念进行综合表示. 通过对行为差异度和行为贴进度的比较, 可以针对实体

的行为描述进行智慧聚类 and 动态匹配, 最终在行为域中完成智慧服务层、资源适配层和网络组件层之间的智慧映射.

3 智慧网络组件协同工作机理

3.1 智慧网络组件模型机理

未来互联网智慧网络组件主要包括: 网络交换路由组件(NSR: Network Switching Router)、网络交换组件(NSC: Network Switching Component)、智慧服务解析服务器(ISRS: Intelligent Service Resolving Server)、资源适配解析服务器(RARS: Resource Adaptation Resolving Server)、内容提供服务器(CPS: Content Providing Server)、固定终端组件(STC: Stable Terminal Component)、移动终端组件(MTC: Mobile Terminal Component)等. 其中资源适配解析服务器主要负责服务和网络资源的动态适配, 网络交换路由组件主要负责数据的传输与存储.

图 2 以网络交换路由组件(NSR)为例, 给出了典型网络组件模型, 实现网络节能及对云计算的有效支持. 该模型具有以下三个主要特征: 第一, 在组件数据层面引入记忆模块, 根据服务流行度对网络数据进行动态存储, 以实现资源动态适配、就近获取的目标, 真正支持云计算与云服务; 第二, 通过引入模块化虚拟技术和控制层面与数据层面的分离机制, 网络组件可动态感知和认知自身的状态, 灵活地进行功能模块的重组, 以实现网络性能的最优化和节能减排的目的; 第三, 组件标识只承载组件本身的身份信息, 而不承载组件的位置信息, 从而有效解决传统网络移动性支持差的问题.

图 2 所示的典型网络组件模型包括组件控制层面和组件数据层面. 控制层面包括记忆子模块和控制子模块, 其中记忆子模块用来对网络组件的状态信息进行认知, 存储网络的可达性信息、路径状态信息、路径可靠性信息、组件自身性能信息等, 并从数据层面提取服务标识和服务行为描述信息, 进行存储; 而控制子模

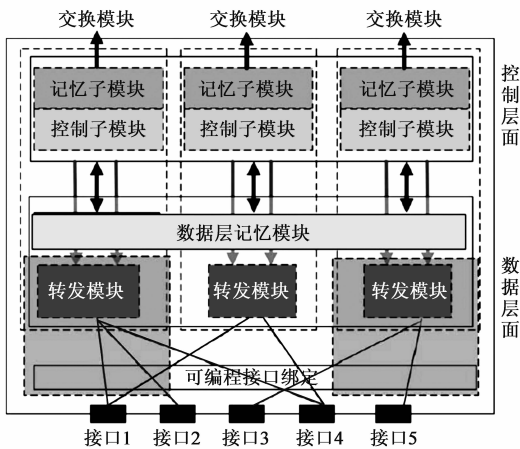


图2 典型网络组件机理

块则根据记忆子模块的信息,对数据层面的转发行为进行控制。

组件数据层面包括数据层记忆模块和转发模块。数据层记忆模块用来对服务的内容进行存储,而转发模块用于转发数据。当数据流经转发模块时,数据层记忆模块可以根据组件控制层面的要求,存储相应的服务内容,并进一步将该服务的服务标识和服务行为描述信息通告给组件控制层面。当相同的服务再次被请求时,网络组件可以根据组件控制层面的信息,从组件数据层记忆模块提取数据,就近为用户提供所需服务,从而避免从远端获取服务导致的能耗高、延时大等问题,进而在有效提升用户体验的同时,实现网络的节能并提高网络资源利用率。

在网络组件模型中,组件被分为多个子模块,它们之间可以进行重组,以提高数据传输的灵活性。例如,组件控制层面的子模块可以和组件数据层面的转发模块重组,组成同时支持不同协议的多个交换模块。另一方面,通过控制层面和数据层面的分离,可以使网络组件数据层面在没有数据传输时进行休眠,而控制层面仍保持对网络的认知以实现拓扑的可达,从而保证网络正常工作的情况下降低网络的能耗。

3.2 典型网络组件智慧存储机制与管理策略

基于上述网络组件模型,在未来智慧协同网络中,提出在网络组件中存储部分服务内容,实现网络对面向资源的信息获取的支持,使网络可以实现服务的就近获取,从而提高网络的性能。为了实现服务的存储,网络组件服务存储机理如图 3 所示。

步骤 1:数据经过网络组件的数据层面转发模块;

步骤 2:组件数据层面转发模块将数据提交到组件控制层面的控制子模块;

步骤 3:组件控制层面控制子模块递交数据的服务标识与服务行为描述信息到控制层面记忆子模块;

步骤 4:组件控制层面记忆子模块将数据的服务标识及服务行为描述信息与自身存储的相关信息进行比较,将对结果通告控制子模块;

步骤 5:组件控制层面控制子模块按照比对结果及

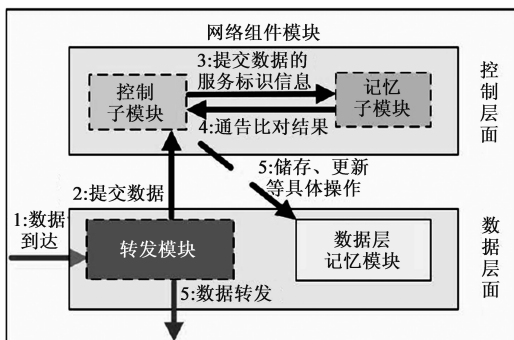


图3 典型网络组件服务存储机理

相应的控制层面算法,对所传输的数据是否需要存储进行判别:如果所传输的数据需要进行存储,则将数据存储于数据层面记忆模块,并向控制层面的记忆子模块返回所存储的服务标识及服务行为描述信息,然后转发数据;否则,直接转发数据。

另外,控制模块可以对数据层面记忆模块存储的数据进行多种操作,如添加、删除、更新、排序等。如当所存储的数据在较长的时间没有被访问时,控制层模块可对数据进行删除;当被存储数据的版本过低需要更新时,控制模块可以通知数据层面记忆模块,适时对所存储的数据进行更新。

3.3 典型网络组件对节能的支持机制

当前互联网中,路由器不支持休眠功能,通常只有“开”和“关”两个模式,即使在网络流量非常低的情况下,仍保持正常工作状态,造成网络能耗很高。本文基于前述典型网络组件模型,提出网络组件控制层面和数据层面机制,以实现网络组件的适时休眠,从而大幅降低网络能耗。

如图 2 所示,在资源动态适配的智慧协同网络中,可休眠网络组件可在链路利用率较低时,重构网络组件内部结构,根据转发业务量的不同需求,将业务智能地转移到一个或少数几个线卡上处理,使得网络组件中其它闲置的线卡进入休眠状态(图 2 中阴影部分)。网络组件感知链路上的数据流量,根据流量自适应配置自身工作状态,减少网络组件能耗,从而从整体上实现网络的绿色节能。

网络组件在休眠状态(不转发数据)时,其配置数据保存在控制层面模块中,从而保证休眠时该网络组件在网络中的存在性。这一方面可以保证网络拓扑不变,减少拓扑变化带来的大量路由更新;另一方面,可减少网络组件从休眠状态唤醒的时间,保证了网络对突发事件的快速响应。

网络组件的休眠状态不同于关闭状态,休眠组件定时向智慧中心控制组件发送休眠数据包(类似于 hello 包的功能,邻居的网络交换路由组件通过收到这样的数据包知道路由组件正处于休眠状态,不会将数据包转发给该组件)。智慧中心控制组件收集和处理各组件感知到的状态信息,计算出相应的休眠策略。当网络流量增加时,智慧中心控制组件根据新的状态信息重新确定新的休眠策略,唤醒相应的网络组件。

3.4 族群间协作和族群内联动机制

在行为域中通过动态匹配和智慧聚类机制将未来智慧互联网体系的 3 层结构结合后,还需要在实体域中建立族群间协作和族群内联动机制,使得实体域中的 3 层实体能够真正的结合,如图 4 所示。

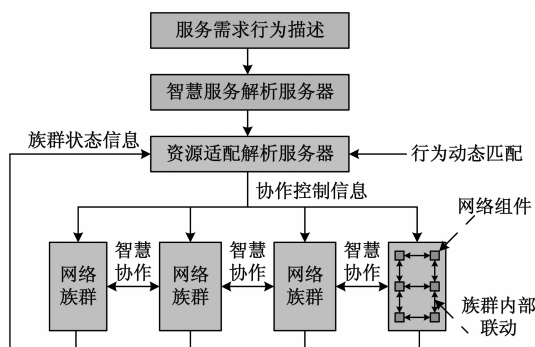


图4 族群内联动和族群间协作机理

为实现族群模块的内部联动,从而在原本孤立运行的网络组件之间建立合理的相互联系,需要在族群资源模块内部添加信息交互机制,使得其内部组件能够相互知晓工作状态,并联合工作.该信息交互机制应包括状态信息交互和控制信息交互两个主要部分.

状态信息交互使得族群内部能够相互了解各自的工作状态,从而为族群联动提供判别依据.而控制信息交互则使得族群内部网络组件能够相互调整工作状态,完成族群联动,实现族群的整体功能以及族群内部的自调节.在大型网络族群中,应有一个或多个智慧中心控制组件进行联动控制信息判别,以及控制信息下发;而在小型网络族群中,各网络组件可依靠本身的智慧功能,进行联动判别,并对邻居节点进行联动控制.

族群内智慧联动使得原本独立的网络组件智慧的组合在一起,提供特定的整体功能,并且使得在族群内部拥有一定的自组织、自调节、自愈合能力.这样,族群内的组件智慧协同工作,从而避免了传统互联网中各个组件独立工作导致的网络资源利用率低等弊端.

在这些网络族群资源模块之间,需要建立一种智慧的协同工作机制,使得各个族群能够相互组合、协同工作.建立族群间智慧协作机制主要包括以下几个主要方面:

(a) 资源适配解析服务器

为使得未来互联网拥有一定的智慧特性,需要在网络中添加资源适配解析服务器,以了解其管辖范围内各个网络族群模块的工作状态,并将服务需求与网络族群行为进行动态匹配,寻求最佳的族群组合,最终为选取的网络族群模块下发智慧协作控制信息.

(b) 构建信息交互机制

为使得族群之间能够智能协同工作,需要在族群间构建信息交互机制.与族群内部的信息交互类似,族群间的信息交互同样分为状态信息交互和控制信息交互.状态信息交互主要是各个网络族群模块将其工作状态递交给资源适配解析服务器,为其提供智慧判决的依据.控制信息交互主要是资源适配解析服务器在做智慧

判决后,为每个网络族群下发智慧协同控制信息.

网络族群间的智慧协作将使得未来智慧互联网的功能划分更加灵活,并大幅度提升了功能区域的可控可管性,更为功能区域的智慧组合奠定了基础.

3.5 智慧网络组件协同工作机理示例

图5给出了智慧网络组件协同工作机理示例,阐述了前述智慧网络组件协同体系结构模型的实现机制.在图5中,所有客户端、服务器及路由器均采用3.1节描述的智慧网络组件模型,组件支持网络状态感知、自身资源感知、缓存记忆功能、休眠控制功能、网络资源虚拟化等.资源适配解析服务系统由一个或多个资源适配解析服务器组成,负责服务和网络资源的动态智慧适配.

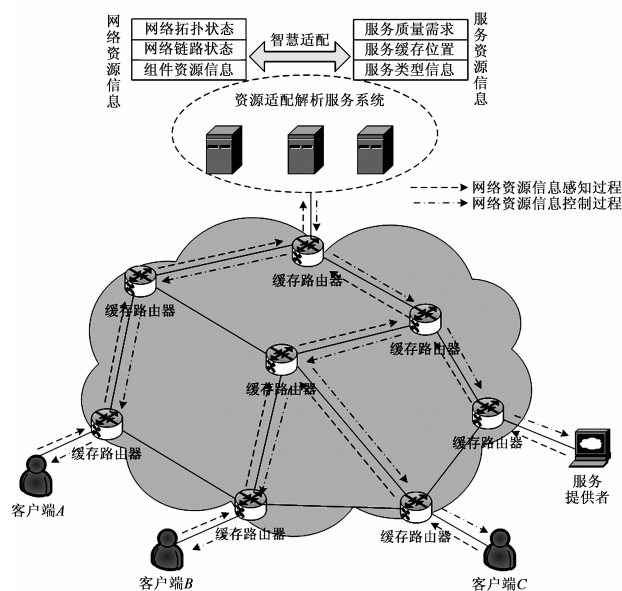


图5 智慧网络组件协同工作机理示例

在实际网络运行中,各网络组件需要采取主动/被动方式向资源适配解析服务系统汇报自身所感知到的网络拓扑状态信息、网络链路状态信息(如网络链路时延、链路负载等)、组件自身资源信息(如存储资源、处理资源等)及服务(内容)缓存信息,实现网络资源和服务缓存的动态智慧感知(如图5中虚线箭头所示).然后,结合由智慧服务层的智慧服务映射(见图1)获得的其他服务资源信息(服务质量需求信息、服务类型信息等),资源适配解析服务系统进行网络资源与服务资源的动态适配,为一次服务选择最优的族群及组件资源集合,并将智慧映射和博弈决策结果下发至各相关组件,实现网络资源信息的智慧控制和组件协同工作(如图5中带点虚线箭头所示).

需要注意的是,图5给出的示例仅为智慧网络组件协同体系结构模型的一种工作机制,并非表示所有智慧网络组件必须按照图5所示示例进行工作和实现.

4 结论与展望

本文在智慧协同网络“三层”、“两域”总体结构模型的指导下,提出了一种智慧网络组件协同体系结构模型,给出了组件标识、族群标识定义及其行为表征方法,提出了族群标识到组件标识的智慧映射和服务需求与网络复杂行为的博弈决策映射,进而给出了智慧网络组件协同工作机理,包括组件模型机理、智慧存储机理、节能支持机理、族群协同机理等,实现了网络组件间的智慧协同调度,从而实现了网络资源高效利用和绿色节能,显著提升用户体验。

本文仅对智慧协同网络新体系架构理论的部分初期研究成果进行了介绍,下一步将主要针对以下理论方向进行创新性的研究工作:

- 智慧交换、路由、计算、存储等网络复杂行为及其表征和动态感知方法;
- 资源动态适配机理、机制与方法;
- 智慧管控及适配系统的大规模部署方法。

参考文献

- [1] Named Data Networking[OL]. <http://www.named-data.net/>.
- [2] MobilityFirst[OL]. <http://mobilityfirst.winlab.rutgers.edu/>.
- [3] Nebula[OL]. <http://nebula.cis.upenn.edu/>.
- [4] eXpressive Internet Architecture[OL]. <http://www.cs.cmu.edu/~xia/>.
- [5] V Jacobson, D K Smetters, J D Thornton, et al. Networking named content[A]. Proc of ACM CoNEXT[C]. New York: ACM Press, 2009. 1 – 12.
- [6] Lixia Zhang, Deborah Estrin, Jeffrey Burke. Named Data Networking (NDN) Project[R]. Technical Report, 2010.
- [7] FIRE[OL]. <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/>.
- [8] SAIL[OL]. <http://www.sail-project.eu/>.
- [9] 4WARD[OL]. <http://www.4ward-project.eu/>.
- [10] PERSUIT[OL]. <http://www.fp7-pursuit.eu/>.
- [11] PSIRP[OL]. <http://www.psirp.org/>.
- [12] AKARI[OL]. <http://akari-project.nict.go.jp/eng/index2.htm>.
- [13] Future Internet Forum[OL]. Korea. <http://fif.kr/home.php>.
- [14] German Lab[OL]. <http://www.german-lab.de/>.
- [15] ICNRG[OL]. <http://trac.tools.ietf.org/group/irtf/trac/wiki/icnrg#>.
- [16] SDNRG[OL]. <http://trac.tools.ietf.org/group/irtf/trac/wiki/sdnrg#>.
- [17] Bengt Ahlgren, Christian Dannewitz, et al. A survey of information-centric networking[J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(7): 26 – 36.
- [18] Cheng Yi, Alexander Afanasyev. Adaptive forwarding in named data networking[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2012, 42(3): 62 – 67.

- [19] George Xylomenos, Xenofon Vasilakos. Caching and mobility support in a publish-subscribe internet architecture[J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(7): 52 – 58.
- [20] Petri Jokela, András Zahemszky. LIPSIN: Line speed publish/subscribe inter-networking[A]. Proc of ACM SIGCOMM[C]. New York: ACM Press, 2009. 195 – 206.
- [21] Mingui Zhang, Cheng Yi, Bin Liu, Beichuan Zhang. GreenTE: Power-aware traffic engineering[A]. IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)[C]. Kyoto Japan: IEEE Conference Publications, 2010. 21 – 30.
- [22] Barath Raghavan, Teemu Koponen. Software-defined internet architecture: decoupling architecture from infrastructure[A]. Proc of 17th ACM Workshop on Hot Topics in Networks (HotNets) [C]. New York: ACM Press, 2012. 43 – 48.
- [23] 张宏科, 苏伟. 新网络体系基础研究——体化网络与普适服务[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 593 – 598. Zhang Hong-ke, Su Wei. Fundamental research on the architecture of new network: Universal network and pervasive services[J]. Acta Electronia Sinica, 2007, 35(4): 593 – 598. (in Chinese)
- [24] 张宏科等. 互联网架构及其互联网服务方法和系统[P]. 专利申请号: 201210088925.7, 2012.
- [25] Choice Net; Network Innovation Through Choice [OL]. <https://code.renci.org/gf/project/choicenet>.

作者简介



部 帅 男, 1980 年 8 月出生, 河南济源人, 北京交通大学副教授、硕士生导师。目前主要从事新一代信息网络关键理论与技术的研究工作。主持和参与多项国家 973、863、国家自然科学基金项目。
E-mail: shgao@bjtu.edu.cn



王洪超 男, 1982 年 12 月出生, 河北衡水人, 博士, 讲师, 目前主要从事新一代信息网络关键理论与技术的研究工作。
E-mail: hwang@bjtu.edu.cn



王 凯 男, 1985 年 11 月出生, 山东潍坊人, 现为北京交通大学在读博士生, 主要从事新一代信息安全理论与技术的研究工作。
E-mail: 09111033@bjtu.edu.cn