

# 一种具有低网络通信代价的服务组合模型

余勇<sup>1,2</sup>, 王建新<sup>1</sup>

(1. 中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 湖南工业大学, 湖南 株洲 412008)

**摘要:** 服务组合可以整合网络上现有的多种异构服务形成新的服务, 但目前的服务组合模型大多采用泛洪广播 (flood broadcast) 方式来进行服务组合, 因而网络通信代价极大。提出了一种多层结构的服务组合模型 STBM (Spanning Tree Based Model), 并给出了服务组合算法。理论分析表明在达到同样服务组合效果的情况下, STBM 的平均网络通信流量比 Spidernet 有很大的降低。

**关键词:** 服务组合; 泛洪广播; 通信流量; 组合路径

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2009)01-0054-04

## Service Composition Model of Low Network Communication Cost

Yu Yong<sup>1,2</sup>, Wang Jianxin<sup>1</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China  
2. Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

**Abstract:** Service Composition enables a new way to create new services by assembling independent service components. However, a considerable network communication cost much when the flood broadcast method is used extensively to carry out the service route and composition in the service composition model at present. A new multi-layer structure model called STBM (Spanning Tree Based Model) has been proposed. An effective algorithm of service composition has been developed based on this model. Theoretical analysis showed that STBM has the lower average network communication stream quantity than Spidernet.

**Key words:** service composition; flood broadcast; communication stream; composition path

Web 服务组合是指为了特定的业务目标将多个独立自治的 Web 服务按照其语义及逻辑关系“拼装”起来, 以实现高层次的功能聚合<sup>[1]</sup>。实际应用迫切需要一种普适性的服务组合模型能够将已经存在丰富多样的异构 Web 服务进行组合, 对各种新兴的异构硬件设备(如 PC、PDA 等)和网络服务访问方式(如有线、无线等), 进行随时随地的服务组合<sup>[2]</sup>。

当前的研究还缺乏一种把已有的简单服务灵活动态地组合成复合服务的服务组合模型<sup>[3]</sup>, 特别是当前提出的一些服务组合算法往往采用泛洪广播方式来进行服务的路由和组合, 对网络造成巨大的通信代价。在虚拟的服务基础设施平台下, 服务的组合可以作为平台的一个有机组成部分加以解决, 如 Vega<sup>[4]</sup>, VINCA<sup>[5]</sup>。

而一种服务虚拟化的方法<sup>[6]</sup>, 则是将一组由不同提供者提供的、具有相同语义模型的物理服务聚合成一个虚拟的整体, 服务提供者遵循虚拟服务的规范信息, 注册其开发部署的物理服务。可部署多个物理服务副本, 以实现不同的服务等级组合或容错。

## 1 问题描述

当前广泛研究的服务覆盖网中, 用户可以向服务覆盖网中任意一个节点提出服务组合请求。用户请求组合服务可以建立几条不同的组合路径, 每一个组合路径由于有许多相同的服务副本, 因此又可以形成多个组合路径。数据沿着服务路径传输, 最后到达出口

收稿日期: 2008-10-14

作者简介: 余勇 (1971-), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学讲师, 中南大学硕士生, 主要研究方向为计算机数据库和网络技术, E-mail: hngydxsjk@163.com

节点, 传递给用户。

在一个服务组合请求的完整的执行过程中, 首先客户产生服务组合请求, 请求经过第一个映射转换为对应的服务模板; 而第二个映射是将在服务组合模板所对应的服务实例中选择的合适的服务, 依次按照组合模板执行服务, 从而得到新的服务。对于第一个映射已经有了大量的研究, 而且已经有相当多的研究成果<sup>[7]</sup>, 本文的研究工作主要集中在第二个映射中, 要解决的问题是根据用户的服务请求, 寻找一条服务路径满足用户请求, 满足用户的 QoS 需求的同时, 使每种服务组合路径上的负载尽可能地分布均衡。

## 2 STBM 服务组合模型

### 2.1 STBM 服务组合模型的体系结构

本文提出的服务体系结构主要由 3 个部分组成:

1) 服务注册层 (Services Register Layer, SRL)。它是 1 个层次分布式服务注册系统, 主要有 2 个作用, 一是当服务提供者 (Services Provider, SP) 欲将自己的服务加入到全球范围系统时, SP 先向 SRL 协商, 由 SRL 返回此服务 ID 号, 同时, 返回给 SP 此类服务所对应的虚拟服务生成树 (Virtue Service Spanning Tree, VSST) 的地址, 然后 SP 向 VSST 注册自己的资源情况, 由 VSST 进行各服务节点的服务信息维护; 二是当服务组合请求时, 由 SRL 向 VSST 转发服务申请, 由 VSST 返回给服务申请者合适的服务组合路径;

2) 虚拟服务层 (Virtue Service Layer, VSL)。虚拟服务层是系统的主要组成部分, 负责服务的组织与管理、有效性检测、监控与用户进行服务级别协商 (Service Level Agreement, SLA), 形成服务路由表, 并将服务请求分配到合适的 SP。在这一层, 依据服务的前后驱动关系组织成不同的逻辑服务树, 按服务的组合关系将不同的服务生成树连接成服务组合图;

3) 服务提供层 (Service Provider Layer, SPL)。服务提供层是指网络中广泛的服务提供者, 由于服务是动态增加与动态消失的, 因此, 我们在真实的服务层之上增加了一个虚拟服务层以屏蔽物理上的动态与不可靠。每一个 SP 向 SRL 查询得到 VSST 地址, 然后向 VSST 通过 ping-pong 协议告诉 VSST 自己的服务资源信息情况, 让 VSST 透明地知道服务的当前的状态, 它是由 SP 自己主动发起的 Push 方式。同时, VSST 还可以根据自己的情况采用 Pull 方式主动查询 SP 的情况, 以维护服务信息的有效性。

### 2.2 STBM 服务组合模型的交互过程

服务组合体系模型总体交互过程为: 用户申请服务组合, 首先向服务注册系统 (Services Register System, SRS) 发出服务组合请求, 服务注册系统通过层次的分式系统查询得到服务组合路径中起始服务

所对应的 VSST 的地址, 然后用户用得到的 VSST 地址与 VSST 交互, 进行服务级别协商, VSST 返回给用户真实的组合服务提供者地址, 服务申请者再向组合路径中的真实服务提供者进行交互得到服务组合。

服务提供者将服务共享出来, 让系统感知服务存在的过程是: 服务提供者首先向服务注册系统查询注册, 得到虚拟服务生成树的地址, 然后主动与虚拟服务树交互, 让服务生成树监测与管理此服务。

虚拟服务层与服务注册系统存在一个信息维护的交互协议, 它的作用是维护服务注册系统中服务生成树的信息是有效的, 以使用户查询服务时将有效的虚拟生成树的地址返回给用户。

通过以上分析, 可以看出服务注册系统并没有存储真实服务者的信息, 而是存储的同一类服务的虚拟服务生成树的信息, 信息维护量并不大, 可与 DNS 系统类似地建立一个全球性的 SRS。由于服务动态性的维护是由 VSST 来维护的, 而它只需要维护同一类的服务信息, 因此可以根据维护节点的多少来扩充系统。从整个体系结构来看, 各层之间是一种松散的藕合关系, 容易扩展, 分工合作形成一个完整的可用服务体系框架。

### 2.3 虚拟服务层组成

虚拟服务层提供了一个屏蔽了服务物理差异的虚拟服务组合平台, 是服务组合框架的主体组成。服务虚拟组合网 (Services Virtue Composition Networks, SVCN) 分为 3 个部分:

1) 系统中所有具有输入接口相同但不同输出的节点“聚集”在一起。当服务组合中以此为输入接口均可以从此相连的节点中得到功能性的满足, 但是会形成不同的组合路径;

2) 系统中所有具有输入与输出相同的节点“聚集”在一起。表示系统中有多个功能完全相同的服务的集合 (相当于 LCB 中的服务副本), 但提供服务的 QoS 不同;

3) 服务组合路径对于具有输入与输出相同的节点的前驱 (对应一棵生成树) 都是相同的, 对于具有输入接口相同但不同输出的每一个节点都会指向不同的后驱。

在虚拟服务层中, 每一类服务的状态信息由生成树来维护, 对于每个具有输入接口相同但不同输出的节点树或具有输入与输出相同的节点树组成的生成树, 都有一个令牌节点来负责维护与管理树中节点的信息。

## 3 服务组合算法

### 3.1 服务组合算法描述

经过 STBM 模型对服务的有效组织后, 将负载均衡度加在对应的边上, 这样服务组合算法实际上转化

为一种类似于多段图的算法,算法的思想描述如下:对于每一条生成树,接收到某一个服务组合请求后,扩散到每一个具有输入接口相同但不同输出的节点树的节点,分别计算每一个节点所对应具有输入与输出相同的节点树的负载均衡度  $L_r$ ,将具有输入与输出相同的节点树中  $L_r$  最小的节点作为候选路径节点,并将其  $L_r$  加入到指向后驱的服务组合路径,作为服务组合路径的权值,然后计算所有的组合路径中,负载均衡度  $L_r$  的和最小(总能够负载均衡的路径)的路径就是最能够使系统负载均衡的路径<sup>[7]</sup>。

algorithm 1: *Load\_Composition*( $E, k, n, P$ )

/\* $E$ 是组合网中的服务组合路径集, $c[i, j]$ 是边 $\langle i, j \rangle$ 的  $L_r$ 。 $P[1..k]$ 返回组合路径,对每一个节点都编号, $k$ 是组合路径长度\*/

float  $Load[n]$ , int  $D[n-1]$ ,  $P[k]$ ,  $r, j, k, n$

$Load[1]=0$

for (each node)

{

  computing the least  $L_r$ ;

  add weight  $L_r$  in *Composition* edge

}

for ( $j=2; j \leq n; j++$ ) /\*对于第二段后的每一个具有输入接口相同但不同输出的节点树上的节点做类似于多段的计算最优路径\*/

{

  设  $r$  是一个这样的结点,  $\langle r, j \rangle \in E$  且使  $Load(r) + c[r, j]$  取最小值;

$Load[j]=Load[r]+c[r, j]$ ;

$D[j]=r$ ;

}

$P[1]=1; P[k]=n$ ;

for ( $j=k-1; j \geq 2; j--$ ) /\*将组合路径上的节点编号存在  $P[1..k]$  中\*/

{

$P[j]=D(P[j+1]);$

}

end *Load\_Composition*

算法的运行空间只在与此服务组合相关的虚拟网中运行,而不是全部的空间范围,因此大大减少了运算的复杂度。算法的 3~7 步计算时间与此组合相关节点的个数,其它步骤可与多段图算法类比,因此,算法时间复杂度为  $O(n+e)$ 。

### 3.2 预计算的服务组合算法

由于 SBTM 模型对服务进行了有效地组织,就可以在系统信息维护的同时得到组合路径的信息,进而在某一服务组合请求到达时,直接依据掌握的全局系统信息运用上面的算法进行集中式“脱线”计算,返

回给用户满足要求的服务路径,虽然并不一定是最佳的路径,但提高了系统的服务组合路径的速度,我们称这种方式为预计算的服务组合算法。预计算的服务组合算法的思想如下:由服务组合路径中起始服务所对应的生成树的令牌节点发起,向服务组合的所有“下游”生成树发起主动查询,“下游”生成树的令牌节点将本树内的信息增加到消息中去后,继续向下游转发,当达到服务路径的终止服务后,依次逆向“上游”生成树的令牌节点,返回综合的信息。最后,预计算发起的令牌节点得到整个服务组合路径的全部信息,当有服务组合请求时,此令牌节点直接按算法 1 计算返回给用户一条“最佳的组合路径”。

### 3.3 动态容错的服务组合

在前面的服务组合算法中,没有考虑到系统执行过程中服务组合路径中的节点失效时的问题,基于 STBM 模型给出了当服务节点失效时的容错处理算法,算法能够尽量充分利用已经执行的服务,在不需要用户干预的情况下自动容错执行。容错处理算法如下:

1) 服务请求者沿最佳组合路径执行服务组合,如果最佳组合路径中没有服务失效,组合顺利完成。如果某一组合路径失效则继续下面步骤;

2) 从失效路径的最后一个服务开始重新查找组合路径,查找路径过程是沿最后一个服务的具有输入接口相同但不同输出的节点树广播开始,查找过程同算法 1,如果从某节点开始查找组合路径又未能得到组合路径,则退回到此节点的前驱继续查找组合路径,直到查找到或者未能查找到组合路径;

3) 如果在 step2 查找到组合路径,则回到 step1 执行服务组合,如果在 step2 未能查找到组合路径表示系统中没有此服务请求的组合。

## 4 模型分析

1) 网络通信代价分析。STBM 模型主要针对当前服务组合中的通信代价提出的,因此将网络通信代价作为主要的评价指标。对比的算法是 LCB 算法,它进行负载均衡的服务组合需要 2 个过程,路由表的建立和服务的选择。路由表的建立是采用扩散算法,算法的时间复杂度为  $O(N_2|E|)$ ,对每一个节点都必须使用 1 次 Chandy-Misra 算法。在模拟实验中,10 000 个节点的建立路由算法产生的通信报文预计在 2.5 万亿个以上,而服务的动态性使得建立的路由算法需要经常性的运行,而且服务路由的算法不能采用 IP 路由那样利用局部路由结果的方法,每次路由的建立都是全局性的,因此产生的网络通信代价是极高的。

而在 STBM 模型中,一个新的节点产生并形成自己的路由表只需此节点到注册系统的查询时间以及到对应虚拟生成树的时间,服务提供节点间除了执行服

务组合外, 不存在通信报文, 从而极大地降低了网络广播通信代价。在 STBM 中服务路由的更新是通过虚拟生成树来进行, 服务提供节点只需与生成树间保持 TTL 交互即可, 因此, 对于每个节点来说, 路由表的维护代价也为常数 (从此节点到生成树的距离)。更新的范围也限制在受影响的组合路径中, 而不是全局的, 即使系统全部路由更新一次的代价也仅为  $O(CN)$ 。此外还有生成树间的信息维护, 服务注册系统的信息维护, 相对来说这些通信报文的代价也仅为  $O(Cn)$ , 而这里的  $n \ll N$ 。但 STBM 模型需要专门的节点提供服务注册与虚拟服务组织。

SpiderNet 模型与 LCB 算法类似, 对比结果与上面大致类似。

2) 负载均衡的全局性分析。LCB 算法主要是针对同一类服务有多个相同副本的情况进行负载均衡, 属于服务实例级的负载均衡, 对于不同类的服务形成的服务路径的负载均衡没有加以考虑, 并不是全局的负载均衡。而本文的模型可以使多个不同类服务形成的不同组合路径间的负载保持均衡, 以及同一类服务不同副本间的负载保持均衡。相对来说, 本文负载均衡考虑的范围是全局性的, 属于路径级负载均衡。

3) 服务组织的有效性分析。

$$\text{Organise Time} = \text{Time}(\text{Deployment}) + \text{Time}(\text{compositon}) = O(n+e+C)$$

$\text{Time}(\text{Deployment})$  为新服务加入模型的时间, 从服务加入算法可看出, 每个服务加入模型的时间为  $O(C)$ ,  $\text{Time}(\text{compositon})$  为被系统任一节点成功发现的时间, 它约等于服务组合的时间。因为初始加入节点负载轻, 依据负载均衡的原则很快会在组合中出现, 服务组合时间从算法 1 知为  $O(n+e)$ ,  $n$  和  $e$  分别是虚拟服务层的与此类服务相对应的虚拟网中的节点个数和边的个数, 这相对来说是非常少的 (可与 DNS 类比)。

在 LCB 算法中  $\text{Organise Time} = O(N_2|E|)$ , 即路由表建立的过程。

同时, STBM 模型是健壮的、可动态适应的。首先服务的组织与查找主要通过服务注册层与服务虚拟组合网来进行, 消除了有些纯粹直接服务覆盖网系统由于服务频繁产生与消失产生结构不稳定与动荡性。而通过生成树的形式来组织服务能适应服务的动态产生与消失, 同时减少了每个服务节点都向注册中心注册服务信息与维护的压力, 当某个服务消失与增加时, 系统只是将此树中的对应权威节点的信息进行修

改, 不管服务是增加与删除, 作为一个整体上的虚拟服务组合网仍然是完整地对外提供服务, 不会形成“孤岛”现象, 也不需要一段信息传播后才能形成组合网, 可适应全球性、动态、复杂的下一代网络 (NGN)。

## 5 结语

本文提出了一种新颖的多层服务组合网络模型, 经过 STBM 模型的合理组织后, 使服务组合的效率与质量得到了较好的改善, 在此基础上提出了一种高效的服务组合算法, 组合算法考虑了失效节点的容错组合, 理论分析表明了该模型的有效性, 该松散耦合的服务组合平台具有一定的意义。

### 参考文献:

- [1] 陈志刚, 刘安丰, 熊策, 等. 一种有效负载均衡的网格 Web 服务结构模型[J]. 计算机学报, 2005, 28(4): 458-466. Chen Zhigang, Liu Anfeng, Xiong Ce, et al. An Effective Loading-Balancing Framework for Grid Web Service[J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 458-466.
- [2] Li Wenzhong, Guo Sheng, Xu Ping, et al. An Adaptive Load Balancing Algorithm for Service Composition [J]. Journal of Software, 2006, 17(5): 1068-1077.
- [3] Koehler J, Srivastava B. Web Service Composition: Current Solutions and Open Problems[C]//Proceedings of the ICAPS 2003 Workshop on Planning for Web Services. Trento: [s.n.], 2003: 28-35.
- [4] Zha Li, Li Wei, Yu Haiyan, et al. Service Oriented VEGA Grid System Soft Tware Design and Evaluation[J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 495-504.
- [5] Fang Jun, Song Lin, Han Yanbo, et al. A Service Virtualization Mechanism for Business End Programming[J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 549-557.
- [6] Jin Hai, Chen Hanhua, Lu Zhipeng, et al. QoS Optimizing Model and Solving for Composite Service in CGSP Job Manager[J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(4): 578-588.
- [7] 李刚, 马修军, 韩燕波, 等. 动态网络环境下的透明服务组合[J]. 计算机学报, 2007, 30(4): 579-587. Li Gang, Ma Xiujun, Han Yanbo, et al. Transparent Service Composition in Dynamic Network Environments[J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 30(4): 579-587.

(责任编辑: 罗立宇)