

# 一种基于多因素运行时评估的 Web 服务失效恢复机制

## An Optimized Failover Mechanism for Web Services Based on Multi-factor Runtime Evaluation

陈宁江, 李昌武, 俞闽敏

CHEN Ning-jiang, LI Chang-wu, YU Min-min

(广西大学计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004)

(College of Computer, Electronics and Information, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

**摘要:**在基于动态容错代理的 Web 服务恢复框架中,针对服务失效恢复的替代服务选择问题,提出一种基于多因素运行时评估的服务失效恢复机制,并验证其有效性。该机制综合考虑服务可靠度、性能和网络负载等因素,用一种新的副本选择算法优化服务恢复的效果。该机制能够提高 Web 服务恢复的可行性和效率,更好地满足用户需求。

**关键词:**Web 服务 失效恢复 可靠性 副本选择

**中图法分类号:**TP393.06 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2010)04-0472-04

**Abstracts:** Aiming to the problem of backup selection for web services failover in the service failover framework based on dynamical fault-tolerant proxy, a mechanism of failover based on multi-dimension runtime factors is studied. The kernel backup selection algorithm with the consideration of factors including service reliability, performance and network load is presented. The simulation results show the efficiency of the mechanism.

**Key words:** web services, failover, reliability, backup selection

近年来,Web 服务的可靠性已成为可信软件研发的热点问题。Web 服务的容错一般可以通过冗余配置来实现,例如,在某个服务失效时,根据特定的恢复策略选择备份服务继续执行。针对 Web 服务的特点,很多的学者展开了容错机制研究工作。Jeckle 等<sup>[1]</sup>从预错角度研究基于 UDDI 服务器的 Web 服务可靠性预测机制。该机制可以及时判断服务失效,但没有涉及服务恢复问题。在服务失效恢复方面,徐新卫等<sup>[2]</sup>针对网络带宽下降导致的服务失效问题,借助反射中间件技术及时捕捉失效原因,进而查找其它功能相近的替代服务。基于冗余副本的服务恢复是比较常用的服务恢复手段,如文

献<sup>[3]</sup>的 Web 服务容错系统设计了基于被动复制的副本调度和替换机制;文献<sup>[4]</sup>提出一种基于主动复制的容错算法,即服务请求应答由同时执行的多个副本中处理速度最快的副本返回结果。总体而言,在 Internet 上运行的 Web 服务具有松耦合、动态、中长期运行的特点,在运行期间 Web 服务的可靠性受到多种因素影响,可靠度也会发生变化。现有大多研究是在失效恢复过程中选择替代副本,缺少对服务运行时状态的充分考虑,而且如果选择的替代服务可靠度低、响应时间长,将会影响复合服务的运行效果。如何有效地选择可替代的副本服务,并保障恢复后的服务运行效果,是值得关注问题。本文在已有的 Web 服务可靠性研究工作的基础上,探索 Web 服务组合的动态失效恢复机制,综合考虑服务可靠度、服务性能和网络负载等多维因素,提出一种副本选择优化算法,从而提高 Web 服务恢复的

收稿日期:2010-08-15

作者简介:陈宁江(1975-),男,副教授,主要从事软件工程和网络分布计算研究。

可行性和效率,更好地满足用户的需求。

### 1 Web 服务失效恢复框架

基于图 1 所示的代理式服务失效恢复框架展开讨论。为了降低 Web 服务兼容性的影响,利用动态代理技术<sup>[5]</sup>设计一种容错代理(FT-Proxy),由它在 Web 服务的执行路径上动态插入失效恢复逻辑。容错代理包含多个功能模块:(1)日志模块(LS),负责记录服务消息调用和执行状态,定期进行日志持久化存储;(2)失效检测器(FD)负责定期通过心跳消息获取目标服务的存活状态,并对外发布本地存活消息;(3)情境感知器(CD)负责获取探测得到的运行情境信息;(4)失效处理器(FH)负责执行副本选择策略,确定新的服务组合;(5)请求分发器(RD)负责为服务组合引擎提供请求重定向服务的信息。该框架基于 Web 服务可靠性消息协议<sup>[6]</sup>,为容错代理的消息传递和日志提供消息层的可靠传输保障(如处理消息重发等)。在 Web 服务运行环境外,由 UDDI 服务注册中心维护一个可用服务组列表,记录功能相同的服务组(即主副本和它的备份副本信息),容错代理通过与注册中心交互获取可用的服务组列表,服务组内的服务之间通过组通讯机制进行必要的状态复制和备份。

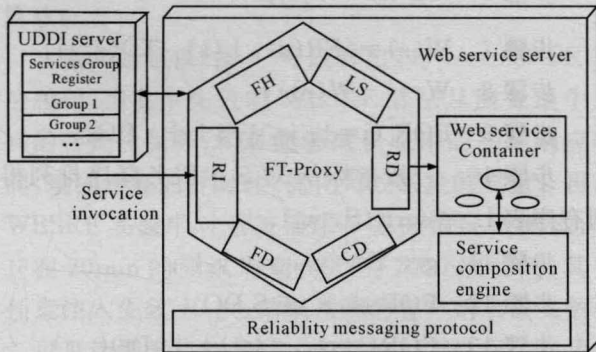


图 1 基于动态代理的 Web 服务失效恢复框架

在此框架中,失效恢复处理逻辑在服务组合路径上处理,当一个 Web 服务的容错代理检测到下一级服务发生失效后,则暂停正常的请求处理,转向失效处理程序。恢复过程如图 2 所示,在 WS0、WS1、WS2 构成的组合服务片段中,若 WS1 相关容错代理的 FD 模块感知 WS2 发生失效,则触发失效恢复过程:(1)LS 模块缓存请求消息,记录当前消息和活动状态;(2)FH 模块获取与 WS2 等效的可用服务组(WS3、WS4);(3)CD 模块获得最近情境数据,执行备份服务选择策略,确定替代服务(WS4);(4)FH 模块从日志恢复消息和活动状态更新服务组合;(5)

RD 模块将请求重定向到替代服务(WS4),完成恢复过程。

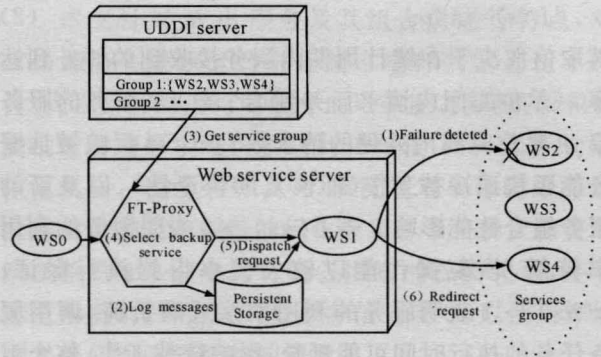


图 2 服务失效恢复流程示意

在以上服务恢复过程中,备份服务的选择是关键步骤。Web 服务往往需要中长期运行,所处网络环境动态易变,例如服务负载在网络高峰期成倍地增加,会导致请求执行时间延长,组合服务可靠性下降。Web 服务及其组合的可靠性受到多种因素的影响,因此需要对失效恢复相关的运行因素进行评估,找出可靠度、响应时间和负载等指标较优的替代服务,从而一方面要提高服务恢复的快速性,另一方面要保障恢复后组合服务的可靠性和执行效率。为此,我们要关注如何优化备份服务的选择策略,考察多种运行时的因素作为服务选择的依据。

### 2 基于运行时因素评估的服务失效恢复机制的建立

#### 2.1 多因素分析

分布在不同网络节点的若干服务通常构成组合服务来执行任务,整个组合服务的可靠性受到其成员服务和网络运行环境的影响。对于组合服务  $CS = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ , 其可靠度评估为  $R(CS) = \prod_{i=1}^n R(s_i)$ , 其中  $R(s)$  为单个成员服务的可靠度。成员服务  $s$  的可靠度越高,其出现失效的频率越低,即平均失效时间越短,应当考虑把它作为优先替代服务。考虑到 Web 服务的中长期运行特征以及网络动态性、突变性及误差,我们用服务的失效间隔期望值来评价服务的可靠度,即

$$ER(s) = \sum_{i=1}^n a_i/n, \tag{1}$$

其中,  $a_i$  为服务的最近  $n$  次失效中,第  $i$  次失效与第  $i+1$  次失效之间的时间间隔。ER 值越大,说明服务最近失效的频率越低,可靠度越高。

组合服务恢复的快速性,在一定程度上受选中

服务的运行性能影响。为此,我们使用服务负载率  $L(s)$  衡量一个服务的运行时性能表现,

$$L(s) = \lambda/\mu. \quad (2)$$

其取值取决于在统计周期内服务接收到的任务到达率  $\lambda$ (单位时间内请求任务到达个数)和服务的服务率  $\mu$ (单位时间内处理的请求数)。 $L(s)$  反映被选服务能否快速接替工作(即恢复的快速性),以及新的服务组合性能影响。若  $L(ws) \rightarrow 0$  表明服务的利用率较低,恢复操作能以较大概率得到执行保证; $L(ws) \rightarrow 1$  表明服务的利用率接近满负荷,调用服务任务的执行时间可能延长,影响接替工作,整个组合服务的恢复时间也可能延长。

考虑网络负载的动态性对于组合服务恢复快速性的影响。为此,通过感知当前服务到下一个服务的失效检测心跳消息的响应时间来反映网络负载的影响。为了避免网络负载波动导致的误判,提高评价准确性,使用心跳消息传输平均时间定义“检测响应时间” $TD(s)$ ,用以反映备选服务在恢复路径上的通信负载开销。

$$TD(s) = (\sum_{i=1}^k p_i)/k, \quad (3)$$

其中  $k$  为在给定周期内监测消息发送的个数, $p_i$  为第  $i$  个消息传递和执行所用的时间。

综上所述,我们先从服务可靠度、性能和网络环境等方面各选取具有代表意义的实用指标进行运行时评价,构成评价指标集  $W = (w_1, w_2, w_3) = (ER(s), L(s), TD(s))$ ;然后需对每个备选服务的上述指标进行进一步权衡,获得对备选服务的综合评价权重  $CW$ 。

设向量  $Y = (y_1, y_2, y_3)$ ,  $y_1, y_2, y_3$  分别表示  $R(s), L(s)$  和  $TD(s)$  指标在评价服务时分别所占的比重。这3个比重值可根据用户对应用的服务质量需求来设定,例如在银行系统或电子商务系统中,对可靠性的要求很高,所以  $ER(s)$  所占的比重大一些;而在一般的门户系统对服务的响应时间要求更高一些,所以  $TD(s)$  占的比重大一些。设向量  $X = (x_1(s), x_2(s), x_3(s))$ ,其中  $x_i(s)$  表示对服务  $s$  按照  $w_i$  在  $s$  所属服务组中降序排序得到的序列位序。计算综合评价权重  $CW$  的公式为

$$CW(s) = (\sum_{i=1}^3 \max((y_i - x_i(s)), 0)), \quad (4)$$

其中,  $\max$  为取较大值的函数。

在备选服务组中将选取  $CW$  值最大的作为替代服务。从实际应用中可以看出,上述计算方法是合

理的,比如低负载和响应时间较快的服务并不能代表此服务是最优的,还要评估它的可靠度。如果它的可靠性较差,则  $ER$  值占的比重就小,从而它的综合权重值就不会是最大的,即不是最优服务。

## 2.2 服务失效恢复的副本选择算法

在服务运行期间,容错代理的情境感知模块定期获取和计算相关联服务的  $ER, L, TD$  等指标值,在失效恢复过程中,失效处理器模块 FH 分别比较备选服务的3项指标,然后分别计算出每个服务的  $x_i$  值,再用公式(4)计算得到  $CW$  值,按照  $CW$  大小为备选服务进行降序列,排在首位的服务则为选中服务。反映以上过程的 WBSRE 算法具体步骤如下:

BEGIN

步骤 1 IF (failureDetected(s')) == ture)  
THEN{

步骤 2 S = getServicegroup(s'); //获取  $s'$   
的等价服务集

步骤 3 FOR each  $s \in S$  DO {

步骤 4  $ER(s) = \sum_{i=1}^n ai/n$ ;

步骤 5  $L(s) = \lambda/\mu$ ;

步骤 6  $TD(s) = (\sum_{i=1}^k pi)/k$ ;

步骤 7  $W(s) = (ER(s), L(s), TD(s))$ ;

步骤 8  $W = \{ W(s) \}$ ;

步骤 9 FOR ( $j=1; j<4; j++$ ) DO{

步骤 10 //按指标  $w_j$  对  $S$  中服务降序排列得  
到有序表  $L_j = \text{sort}(S, w_j)$ ;

步骤 11 get  $Y = (y_1, y_2, y_3)$ ;

步骤 12 FOR each  $s \in S$  DO {

步骤 13 FOR( $j=1; j<4; j++$ )DO{

//按指标分别获得  $s$  在各指标有序表位序

$x_j(s) = \text{index}(s, L_j)$ ;

步骤 14  $CW(s) = (\sum_{i=1}^3 \max((y_i - x_i(s)), 0))$   
0))

};

步骤 15  $S' = \text{sort}(S, CW(s))$ ; //对  $s$  按  
 $CW$  值降序排序;

步骤 16 selected = getFirst( $S'$ ); //取  $S'$  首  
元;

步骤 17 update ( $s', \text{selected}, CS$ ); //更新  
组合服务  $CS$ ;

```

步骤 18  redirectRequest (selected); // 重定向请求
};
END

```

### 3 实例验证

对基于 WBSRE 的失效恢复机制进行模拟实验,采用 JBoss4.2.1 应用服务器作为 Web 服务的运行模拟平台,模拟分布于网络中多台 PC 的一组 Web 服务实例。在这组实例中共有 3 个服务组,每个服务组有 4~7 个成员,共同完成一个旅行决策:用户输入日期和地点,根据“天气预报服务”的结果,由“交通服务”确定交通工具(如飞机或者火车),在确认交通工具后使用“预定酒店”服务预订房间。它们组成了一个旅行决策的组合服务,其执行完成后将预定信息返回给用户。实验中为该组合服务设置因素权重向量  $Y = \langle 4, 5, 1 \rangle$ 。

采用停止组合中成员(以“交通服务”为重点)的方式模拟失效,失效恢复机制选择备份服务替代原来的失效服务,恢复完成后再继续执行服务请求,在实验过程中将统计服务处理流程完成的响应时间。分别测试两种情形:(1)普通的随机选择副本的算法(标记为 Normal-FR)<sup>[7]</sup>。(2)本文的 WBSRE 算法。

从实验结果(图 3)可以看出,与 Normal-FR 算法相比,当发生失效时 WBSRE 算法从服务组中选择的替代优服务,相对能够减少应用的平均响应时间,增强恢复的针对性,优化失效恢复的质量。再在 WBSRE 实验中对系统请求 r 丢失情况做测试,客户在 20min 的测试周期内产生 2000 次访问,其中任意注入失效 10 次,结果系统的客户请求丢失数 < 2,可见该恢复机制起到了较好的可靠性保障作用。

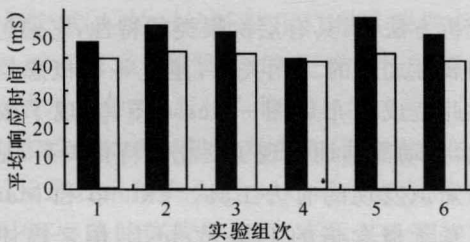


图 3 平均响应时间比较

### 4 结束语

本文针对 Web 服务及其组合的运行特点,对 Web 服务失效恢复特别是副本选择问题进行了探讨,提出一种对运行时服务的可靠度、网络负载和检测响应时间等多维因素进行评估的 Web 服务失效恢复机制。验证结果表明,该机制对于保障服务速度和质量都具有积极的优化效果。下一步工作将继续实验验证多维度运行时各因素的权衡关系,并考虑更丰富的评价指标(如服务信誉度等)以便更好地满足人们对失效恢复的需求。

#### 参考文献:

- [1] Jeckle M, Zengler B. ActiveUDDI-an extension to UDDI for dynamic and fault tolerant service invocation [M]// A B Chaudhri, Jeckle M, Rahm E, et al. Web, Web-Services, and Database Systems, LNCS 2593. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003: 91-99.
- [2] 徐新卫,王有远,曹永忠,等. 基于反射技术的 Web 服务失效处理[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(12): 6-10.
- [3] Fang Chenliang, Liang Deron, Lin Fengyi, et al. Fault tolerant web services [J]. Journal of Systems Architecture, 2007, 53(1): 21-38.
- [4] 刘玲霞. Web 服务关键技术研究: 博士学位论文[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.
- [5] Brian Goetz. Java theory and practice: Decorating with dynamic proxies [EB/OL]. <http://www.ibm.com/developerworks/java/library/j-jtp08305.html>. 2005.
- [6] OASIS. Web services reliable messaging v 1.1 [EB/OL]. <http://docs.oasis-open.org/ws-rx/wsrml/200702/wsrml-1.1-spec-os-01.pdf>. 2007.
- [7] 刘玲霞,周斌,吴泉源,等. 一种基于容错 Web Services 的日志恢复算法[J]. 计算机工程, 2005, 31(9): 46-48.

(责任编辑:尹 闯)