

◎ 研发、设计、测试 ◎

# 用均匀设计法生成 Web 服务的测试数据

余波<sup>1,2</sup>, 于学军<sup>1</sup>, 彭琛<sup>1</sup>YU Bo<sup>1,2</sup>, YU Xue-jun<sup>1</sup>, PENG Chen<sup>1</sup>

1. 中南林业科技大学 涉外学院, 长沙 410004

2. 国防科技大学 计算机学院, 长沙 410073

1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

2. Department of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

E-mail: hnaxdsjk@163.com

YU Bo, YU Xue-jun, PENG Chen. Generating test data of Web service based on uniform design method. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(9): 71-73.

**Abstract:** There is a problem for selecting suitable combinatorial strategy to design test data of web service under test using equivalence partitioning and boundary value analysis test approaches. Three experiments comparing the effectiveness of the test data sets generated separately by orthogonal experimental design, full combination, uniform design and extended uniform design are performed. The extended uniform design algorithm for generating test data set is represented. The prototype tool to generate test of web service based on the method is implemented.

**Key words:** Web service; test data; uniform design; orthogonal experimental design

**摘要:** 针对应用等价类划分和边界值分析方法测试 Web 服务时面临组合策略的选择问题, 分析正交试验设计法、全组合法、均匀试验设计法和扩展均匀试验设计法生成 Web 服务的测试数据集的测试效果; 提出扩展均匀试验设计法生成测试数据集; 据此实现一个生成 Web 服务的测试数据集的原型工具。

**关键词:** Web 服务; 测试数据; 均匀设计; 正交试验设计

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.09.020 文章编号: 1002-8331(2009)09-0071-03 文献标识码: A 中图分类号: TP311

## 1 引言

Web 服务是由 URI 标识的软件应用, 其接口和绑定可以用 XML 来定义、描述并且可以被发现, 并以 XML 消息交换的方式通过基于 Internet 的协议与其他软件直接交互<sup>[1]</sup>。Web 服务技术有效地解决以往分布式计算平台之间互操作、客户端与服务器端之间紧耦合等难题, 应用越来越普遍。

为确保 Web 服务的质量, 与其相关的测试技术研究受到广泛关注。Web 服务的测试过程包括计划测试、设计测试数据、运行测试、收集测试结果和评价测试等步骤, 其中设计合理的测试数据对于整个测试过程至关重要。

Web 服务测试通过模拟或者在实际环境中运行 Web 服务来检测 Web 服务功能特征和负载、性能、安全性等非功能特征。Web 服务测试主要包括两个阶段<sup>[2]</sup>。

### (1) 服务提供者测试自己开发的服务

Web 服务具有通过建立在无状态 HTTP 协议之上的 SOAP 协议传输 XML 编码数据等特殊性质, 除遵循普通的单元测试要求测试 Web 服务程序外, 还需在应用环境或者模拟环境测试

其行为是否符合需求规范。如果在执行过程中需要调用其他服务, 则测试者还要根据被调用服务的功能规约编写测试桩程序。此阶段测试的主要目的是检查 Web 服务的逻辑结构是否存在错误, 可以根据其逻辑结构设计测试数据。为了弥补结构测试的不足还可以根据 Web 服务的规约来设计测试数据。

### (2) 组合服务的集成测试

Web 服务以与服务组合语言相关的特定方式按照预定应用逻辑将若干服务组织成一个逻辑整体, 该逻辑整体也是一个 Web 服务。如果组合服务中存在只提供接口描述的成员服务, 则测试员不能访问全部待测试 Web 服务的源代码, 而且也不能控制它的执行过程。此阶段主要根据组合服务的规约来设计测试数据。

## 2 基于规约测试的测试数据生成策略

通常测试数据包括符合规约(契约)的有效数据和规约(契约)所不允许输入的无效数据。应用等价类划分和边界值分析两种策略设计测试数据时常常会将待测试程序的每个参数的

基金项目: 湖南省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Hunan Province of China under Grant No.06JJ5116); 湖南省教育厅自然科学基金(No.05C408)。

作者简介: 余波(1969-), 男, 高级工程师, 博士研究生, CCF 会员。

收稿日期: 2008-09-12 修回日期: 2008-10-12

全部可能输入划分成若干有效和无效等价类,在每个等价类中选取适当的代表值和边界值。在将这些值组合成测试数据时,理想的方案是采用全组合法;即各个因素的全部水平组合至少且仅覆盖一次,但是可能会因为测试数据的数目过多而导致测试工作量过大。因此,选择适当的组合策略生成测试数据是一个值得研究的问题。

常见组合策略有三类:(1)具有随机性的非确定性组合法。(2)确定性组合法。对于相同的参数、参数次序、参数取值及参数值的排列次序,产生的测试数据集始终相同,如全组合法、正交试验设计法、均匀试验设计法、单因素组合法等。(3)同时采用多种组合法产生测试数据的混合策略。正交试验设计法是组合测试数据的常用方法之一。

## 2.1 确定性组合测试方法

软件测试试验中,一个因素对应被测程序的一个输入参数,一个水平对应参数的一个取值。

**定义 1**<sup>[1]</sup> 正交表是用于安排多因素试验的一类特殊的表格,每一个正交表均有一个表示记号: $L_n(q^s)$ ;  $L$  表示正交表,  $n$  表示试验次数,  $q$  表示每个因素的水平数,  $s$  表示容纳的因素数。

正交试验设计法根据正交表安排多因素试验,具有完成试验所需实验次数少和实验数据点分布均匀等特点。正交表中任意一列中,不同数字出现的次数相等;正交表中任意两列,在同一行的两个数字看成有序数对时,所有可能的数对出现的次数相同。正交表的构造方法见[3]。

**定义 2**<sup>[1]</sup> 每一个均匀设计表有一个记号  $U_n(q^s)$ ;  $U$  表示均匀设计表,  $n$  表示试验次数,  $q$  表示每个因素的水平数,  $s$  表示容纳的因素数。

均匀试验设计的每个因素的每个水平做一次且仅做一次试验;任两个因素的试验点在平面的格子点上,每行每列有且仅有一个试验点<sup>[4]</sup>。

当试验的各因素水平不相等时,通过重复因素的水平,使其变成另一个等水平的试验,即为拟水平法。因此,被测程序各个参数的水平数不相等,则可根据拟水平法重复选择参数的有效值,直到全部参数的水平数相等为止。

## 3 扩展均匀试验设计生成测试数据

先将每个参数的全部值分别按 0, 1, ... 次序编号,根据被测程序的参数(因素)个数及参数的取值个数(水平数)构造正交表或均匀设计表。表中从左至右各列依次对应被测程序的各个参数,任意一列中的数字表示所对应参数的水平在参数取值列表中的索引值。因此,正交表或均匀设计表中的一行对应一个测试数据。为简便起见,也称表中的一行为一个测试数据。

### 3.1 基于均匀试验设计生成测试数据算法

均匀设计表可以通过门限接受算法生成<sup>[4]</sup>,见算法 1。常用的均匀设计表也可以直接从网站上下载<sup>[5]</sup>。

**算法 1** 门限接受算法生成均匀设计表

```

1 Initialize  $n_r, n_s$  and the sequence of thresholds
 $\tau_r, r=1, 2, \dots, n_r$ 
2 Generate starting design  $U^0 \in \mu(n, q^k)$ 
3 For( $r=1; r < n_r; r++$ ) {
4 For( $i=1; i < m_s; i++$ ) {
5 Generate  $U^1 \in N(U^0)$  (neighbor of  $U^0$ )
6 if ( $CD_2(U^1) < CD_2(U^0) \times (1 + \tau_r)$ ) {

```

```

7  $U^0 = U^1; \}$  }

```

### 3.2 基于扩展均匀试验设计法生成测试数据算法

基于均匀试验设计法生成的测试数据中有效数据太少可能会导致对被测试程序内部逻辑的测试不充分,需要增加有效数据。算法 2 中第 3 步存储根据均匀试验设计法生成的测试数据。余下步骤主要扩展测试数据:其中至第 17 步扩展有效数据,第 18~24 步遵循单缺陷假设扩展无效数据。如表  $T$  的某行  $t$  存在  $k(k>1)$  个无效数据,则在  $TE$  中添加 1 个有效数据,  $k$  个无效数据,而且任何一个无效数据仅仅一个参数取无效值。第 25 步输出测试数据集。根据算法可以推性质 1。

**性质 1** 若一个被测程序的  $q$  个参数的水平对齐后,水平数为  $n$ ,且各参数的有效水平数均大于无效水平数,各参数的无效水平数之和为  $M$ ,则基于均匀试验设计表生成的测试数据个数记为  $n$ ,基于扩展均匀试验设计法生成测试数据个数记为  $N$ ,则  $N < 2n + M$ 。

**算法 2** 扩展均匀设计表生成测试数据

```

Input:  $q$  (number of factors or parameters),  $p$  (number of level of factor)
 $v[q][p][2] = \{(a, b, c) | a \text{ indicate index of parameter, } b \text{ indicate index of level; } c=1 \text{ indicates valid; } c=0 \text{ indicates invalid}\} (0 \leq i \leq q-1)$ ;
Output:  $TE$ ; //  $TE$  is extended test data set;
1 build uniform design table  $U_p(p^q)$ ;
2 generate test sequence  $T[p][q]$  according to the table  $U_p(p^q)$ ;
3  $TE \leftarrow T$ ; // Store  $T$  into  $TE$ ;
4 int tag[q], t[q], count;
5 for(int  $i=0; i < p; i++$ ) { // extended the test data set;
6 for(int  $j=0; j < q; j++$ ) tag[j] = -1; // initial array tag[];
7  $t \leftarrow T[i]$ ; // get  $i$ th test data  $t$  from  $T$ ;  $t = \{t[0], \dots, t[q]\}$ ;
8 count = 0; // initial variable;
9 for(int  $j=0; j < q; j++$ ) {
10 if(t[j] is invalid level)
11 for(int  $k=0; k < q; k++$ )
12 if(!  $V[i][k][1]$ ) { // search the index of  $t[j]$  in  $V[k]$ ;
13 tag[j] = k; // keep index of invalid data
14 count++; break; }
15 get valid level  $vt$  form  $v[i][tag[j]][0]$ ; // according to loop strategy;
16  $t[j] = vt$ ; }
17  $TE = TE + t$ ; // add valid data into test data set;
18 if(count > 1)
19 for(int  $j=0; j < q; j++$ ) { // add temp with one valid data into  $TE$ ;
20 temp = t; // store valid test data  $t$  into temp;
21 if(tag[j] > -1)
22 temp[j] =  $v[j][tag[j]][0]$ ; //  $j$ th member is invalid data;
23  $TE = TE + temp$ ; // add invalid data into  $TE$ ;
24 } }
25 Output  $TE$ ;

```

## 4 实验评价

### 4.1 实验运行环境

一台 Windows Server、Axis 1.4 和 Tomcat 5.5 的 Web 服务器和一台运行 Windows XP 的 PC 机。

### 4.2 实验程序

三角形判定 Web 服务:输入三个整数( $1 \leq a, b, c \leq 200$ )作为三角形三边边长,判定三角形类型。使用 3 因素 7 水平正交

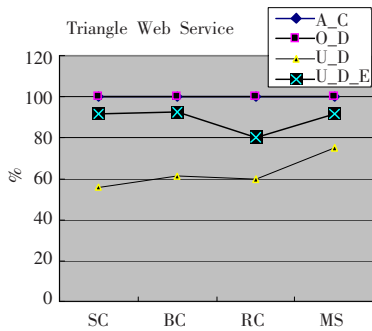


图1 三角形 Web Service 测试统计

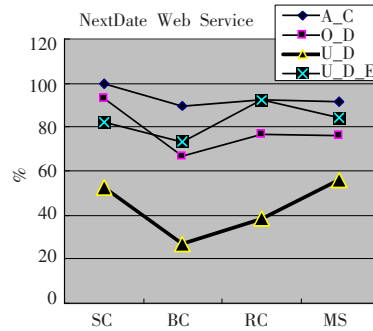


图2 获取下一日期 Web Service 的测试

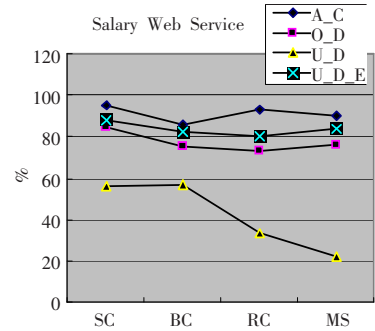


图3 工资 Web Service 测试统计

表和均匀设计表。图4左窗口文本区域中的三行分别对应了三个参数的取值,每行有七个形如{a,b}这样的元素,其中a对应参数的取值,b=0代表a为无效值,b=1表示a为有效值。

输入由年、月、日三个整数获取下一日期 Web 服务:输入年份不小于 1896 且不大于 2012 的三个整数作为一个日期;返回次日年月日值。使用 3 因素 8 水平正交表和均匀设计表。

工资发放 Web 服务:输入五个整数,分别对应雇工类别、基本工资额、工作时间、销售额和加班工作量,以人民币 800 元为个人所得税为起征点的工资发放程序。使用 5 因素 7 水平正交表和均匀设计表。

三个实验的各因素的最大无效水平数分别为 2,3,2,其他特征见表 1。上述三个程序均通过 J2sdk1.4.2 编译;被测试 Web 服务的部署环境:Tomcat5.5+Axis 1.4。

表 1 被测试 Web 服务程序的方法、语句、分支、需求和变异体总数、测试数据个数

方法数	语句数	分支数	需求数	植入故障数	测试数据个数				
					完全组合	正交设计	均匀设计	扩展均匀试验	
三角形程序	2	25	13	5	12	343	49	7	13
日期程序	3	102	30	13	25	512	64	8	14
工资程序	21	342	28	15	50	16 807	49	7	13

### 4.3 实验步骤

(1)应用等价类划分、边界值分析方法,确定被测试 Web 服务的接口参数的取值。

(2)生成测试数据。根据全组合法、正交试验设计法、均匀试验设计法和扩展均匀试验设计法生成测试数据集。

(3)部署、初次测试。将每个被测试 Web 服务部署在 Web 服务器上,执行全部测试数据,直到全部通过测试,统计语句、分支和需求覆盖率。

(4)植入错误。对被测试 Web 服务程序应用继承、多态性、过载(overloading)、信息隐藏(information hiding)、Java 特有特征和公共语言错误六类变异算子<sup>[6]</sup>,进行变异测试,统计被杀死的变异体。

图 1~图 3 中:A-C:全组合法;O-D:正交试验设计法;U-D:均匀试验设计法;U-D-E:扩展均匀试验设计法;SC:语句覆盖率;B-C:分支覆盖率;R-C:功能需求覆盖率;MS:变异分数。

图 1 结果表明:全组合法和正交试验设计法生成的测试数据的语句、分支、需求覆盖率和变异分数最高,均达 100%,扩展均匀试验设计法和均匀试验设计法的依次次之。

图 2 结果表明:全组合法生成的测试数据的语句、分支、需求覆盖率和变异分数最高,扩展均匀试验设计法、正交试验设计法、均匀试验设计法的依次次之。

图 3 结果表明:全组合法生成的测试数据的语句、分支、需求覆盖率和变异分数最高,扩展均匀试验设计法、正交试验设计法、均匀试验设计法的依次次之。

从上述实验结果可知:全组合法的测试效果最好,但是测试次数也最多。均匀试验设计法的测试次数最少,但测试效果最差。在对第一个案例的测试中,正交试验设计法优于扩展均匀试验设计法;后两个案例的分支数比前者,扩充均匀试验设计法优于正交试验设计法。当被测试程序的分支较多时,扩展均匀试验设计法的测试效果优于正交试验设计法,但是这个结论还需要通过进一步研究予以证实。

4.4 工具原型

以上述算法为基础,实现生成测试数据的原型工具 GTDUD。该工具以三维数组为输入。该数组的第一维表示参数,第二维表示水平,第三维表示是否是有效数据。全部水平按 0,1,...,次序编号,有效数据标记 1,无效数据标记 0。图 4 是生成三角形判定 web 服务的测试数据的示意图。图 4 左部的“Open”打开一个存储参数的水平值及其标记的文件;“Save”将窗口左部分的文本区域的参数水平值及其标记存储到一个文件;“Gen EUDT”生成扩展均匀设计表;“Gen Test”生成测试数据;右部的“Save Test Data”将窗口右部分的文本区域中的测试数据集或者扩展均匀设计表保存至文件中;“Exit”退出工具。生成扩展均匀设计表的示意图略。

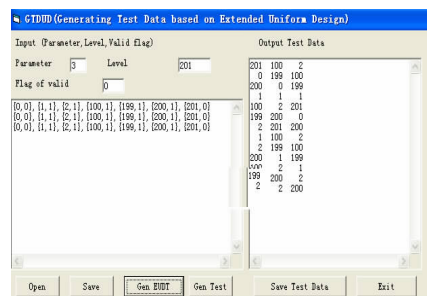


图4 原型工具 GTDUD 的运行图

### 5 结束语

本文分析 Web 服务测试的特点,应用等价类划分和边界值分析策略确定 Web 服务的接口参数的取值;通过三个 Web 服务例子比较正交试验设计法、均匀试验设计法、扩展均匀试验设计法和全组合法生成测试数据的测试效果,提出基于扩展均匀试验设计法生成测试数据;实现生成测试数据的原型工具 GTDUD。将来会进一步研究扩展均匀试验设计法测试多分支的 Web 服务的测试效果。

(下转 76 页)