一种精简测试用例方法的研究*)

杨劲涛 郭荷清

（华南理工大学计算机科学与工程学院 广州510640）

摘 要 本文对软件测试的系统状态进行分析，提出了系统位态与预期位态的概念，并分析了它们间的差异，利用这一差异的模糊性，建立了参数值与位态的作用关系，证明了模糊集交集的模糊推理的两个定理，从而推得软件测试的“必选用例”及其构成法，采用“必选用例”在保证测试质量的前提下，大大减少了测试用例的个数，最后把作用关系看作模糊变换，利用它的算法检查测试结果，既科学又方便。

关键词 系统测试，必选用例，模糊推理

Study of A Method of Optimizing Test Case

YANG Jin-Tao GUO He-Qing

(College of Computer Science and Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640)

Abstract In the paper, the concept of place-state(PS) of system is supposed with analyzing system state under testing. Some otherness occurs between fact PS and excepted PS as testing. Study of the action relation between test data and PS is based on the fuzzy of otherness. Two theorems of fuzzy inference of fuzzy intersection are proved. And the required test case and its structure method are put forward. The application of simple required test case is effective on cutting down the number of test case under the prerequisite of ensuring test quality. The action relation can be regarded as fuzzy transformation. That use the arithmetic of the transformation to check test results is both scientific and simple.

Keywords System test, Required test case, Fuzzy inference

1 引言

测试用例的选择对测试的效果起着关键的作用，目前关于测试用例的选择方法，已有不少的研究成果[1~5]。通常是首先对系统每个接口参数，采用边际值分析法、等价类划分法等选取一组典型的值，然后从这些取值组合中随机选取，或用启发式方法、或用两两组合覆盖表进行筛选，但某些方法难免带有盲目性与主观倾向性，或生成测试用例的难度大，测试成本较高。还有一些研究成果[6,7]，从满足测试需求的测试用例集出发，利用贪心算法、启发式算法等，按满足测试需求的情况来挑选测试用例，但正如文[7]中指出的，这些方法不能保证挑选出的测试用例是最优的。而更重要的是上面的这些研究[1~7]，都没有涉及到人们非常关心的问题：被简化后的测试用例集，是否会降低它们对错误的检测能力？如果要以牺牲其错误检测能力为代价，即使得到的测试用例数量少，其实用价值就大打折扣了。

本文在前人的研究基础上，应用模糊数学理论，给出了选取测试用例的方法，并证明了用这种方法所选取的测试用例，极具代表性，大大减少了测试用例的数量，降低了测试成本，且能较充分地暴露系统的隐患，提高软件测试的效率和质量。

2 测试用例与系统状态的关系

2.1 测试用例的概念

设系统对外接口由 m 个参数 $c_1, c_2, \cdots, c_m$ 组成，它们的取值集分别记为 $T_1, T_2, \cdots, T_m$，其中参数 c_j 可取值的个数为 t_j，而 T_j 是有穷的符号集，$t_j=|T_j|$ 是点集 T_j 中元素的个数。

定义1 设 m 个接口参数 $c_1, c_2, \cdots, c_m$ 的某种取值组合为 $U=\{u_1, u_2, \cdots, u_m\}$，则称 U 为一个测试用例，所有测试用例的集合，记为 A。

由参数可取值的个数及测试用例的定义，可知集合 A 中用例的个数为

$|A|=t_1\times t_2\times\cdots\times t_m$

这些测试用例的参数取值有如下情况：有 r_0 个测试用例，它们的元素均不同；有 r_1 组，各组测试用例中，都有一个参数的取值相同；有 r_2 组，各组测试用例中，彼此有两个参数的取值分别相同（即它们的交集是两个相同的参数值），…，有 r_{m-1} 组，各组测试用例中，它们有 $m-1$ 个参数取值分别相同（即它们的交集是 $m-1$ 个相同的参数值）。当考虑到测试的质量与成本时，这么多测试用例不可能也没必要都用上，因此我们希望从 A 中挑选出这样的一组测试用例，使组中含测试用例的个数较少，但通过它们能覆盖 A 中所有其它测试用例。下面我们就把这样的测试用例组，称为“必选用例”(Required test case，简记为 RTC)。

2.2 系统状态分析

软件测试是使用为发现错误所选择的输入和状态的组合而执行代码的过程[7]，这里“所选择的输入”就是选取的测试用例，“状态”就是被测系统对该输入的响应状况。软件测试就是考察这种“输入和状态”的组合是否符合测试需求的组合，也就是说考察实际中被测系统所表现出的“状态”是否符合预期的“状态”，或者在多大程度上符合测试需求的状态，如果基

*)基金项目：广州市重点攻关项目(B2-109-550)。郭荷清 教授，博导。杨劲涛 博士生。

本上符合，表示被测系统对这种输入没有重大隐患，如果发现这两种状态相差较远，就表示被测系统存在较大的隐患。

由于这里涉及到的“多大程度上符合”、“基本上符合”、“相差较远”、“较充分的暴露”系统的隐患等都是模糊的概念，因此我们用模糊数学的理论来分析和处理，将会更方便、更科学、更能反映实际情况。

定义2 软件系统在输入某个测试用例 U 后，所出现的可监测的状态参数集，称为系统的位态(Place-state，为 PS)，记为 p。而由业务模型推算出的位态，称为与 U 相应的预期位态，记为 p^0。

基于黑盒测试的原则，可以忽略系统的物理特性，而用位态来表征系统，把测试看作是系统在测试用例 U 的驱动下，呈现出确定的位态 p。但它与对应的 p^0 会存在一定的差异，通常，可能出现下列三种情况之一：

$p\cap p^0=\phi$,

或 $p\cap p^0\neq\phi$,

或 $p=p^0$

可见 p,p^0 的接近程度亦具有模糊性。但对于运行的用例 U 来说，由于预期位态 p^0 是目标值，所以 p,p^0 的接近程度由位态 p 决定，而 p 取决于被测软件运行 U 的功能。如图1所示。因此可以认为，测试用例 U 对位态 p 有作用关系，记为 R，则 $R(U,p)$ 表示 U 对 p 的作用程度。

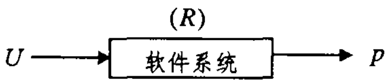

图1 从 U 到 p 的作用关系

作用程度的大小，决定于软件系统的性能，若软件系统的可靠性、稳定性越好，则位态 p 越接近于预期位态 p^0，即 U 对 p 的作用程度就越大，故 R 所表示的 U 对 p 的作用关系是模糊关系。即 $R(U,p)=\mu\in[0,1]$，μ 的取值有如下情况：

当 $\mu=1$ 时，表明 U 能使 p 与 p^0 一致，通俗地说，即测试用例 U 在软件系统 R 处理后，能够完全符合业务模型推算出的预期位态 p^0，即软件系统经测试用例 U 检测后，未发现隐患，软件运行良好。

当 $\mu=0$ 时，说明 U 对 p 完全无法控制，与 p^0 差异很大，即软件系统内部存在重大缺限，或是存在致命作用因素，导致系统无法正常运行。

当 μ 取中间值时，例如 $\mu=0.8$，即是 U 对 p 作用程度为0.8，也就是位态 p 与预期位态 p^0 接近程度为0.8，虽然软件系统有 bug，但不致命，仍能得到一定的正确结果，基本符合要求。

2.3 参数值与位态的关系

由于在一个测试用例中，若用某个参数的一种取值，替换该参数的原有取值时，便得一个新的测试用例，它对应一个新的位态，故可认为参数的一个取值与位态有对应关系，如果用两个参数的不同取值去替换，又可得一个新的测试用例，又对应一个新位态，即两个参数的取值组合对应一个位态，类似地，多个参数的取值组合也可对应一个位态。若记测试用例为

$U_1,U_2,\cdots,U_n$

相应的位态集为

$P_1,P_2,\cdots,P_n$

则有模糊关系为

$R:U_i\times P_i\to[0,1]$

若 $(u_i,p_i)\in U_i\times P_i$，则称 $R(u_i,p_i)$ 是参数值 u_i 与位态 p_i 的关系程度，或称参数值 u_i 对位态 p_i 的作用程度。R 是测试用例集 U_i 到位态集 P_i 上的二元关系，若在 U_i 上的模糊集记为 A_i，P_i 上的模糊集记为 B_i，那么这个二元关系可表示为 $R=A_i\to B_i$，即用蕴涵关系表示，亦称 A_i 对 B_i 的作用关系[8]。u_i 对 p_i 的作用程度(或称真值)，记为

$R(u_i p_i)=(A_i\to B_i)(u_i,p_i)$

其算法规定如下[9]：

$$(A_i\to B_i)(u_i,p_i)=(1-A_i(u_i))\vee B_i(p_i) \qquad (1)$$

真值的大小，表示位态 p_i 与预期位态 p_i^0 的接近程度。下面利用作用关系讨论测试用例的选取方法。

因为不同的测试用例可能含有若干个这样的参数，其取值分别相同，即这些测试用例的相交部分。故为了方便，把这些相同的参数值用一个变元 u 表示，即 u 可由一个或多个参数值组成。p 是对应 u 的位态。

定义3 设 $R(u,p)$ 表示 u 与 p 的关系程度，$\lambda\in[\frac{1}{2},1]$，有

(1) 若 $\exists\ (u,p)$，使 $R(u,p)\geqslant\lambda$，则称作用关系 R 对 (u,p) 为模糊 λ 真，否则 R 对 (u,p) 为模糊 λ 假。

(2) 若 $\forall\ (u,p)$，使 $R(u,p)\geqslant\lambda$，则称作用关系 R 为模糊 λ 真(简称模糊真)，否则 R 为模糊 λ 假。

注：一个元的情况模糊 λ 真(假)的定义同上。

由于 u 表示各测试用例中的相同参数值，即是各测试用例的相交部分，故 u 相对属于相应的模糊集，于是可用模糊集运算来研究测试用例对位态的作用关系。

2.4 模糊推理

定理1 若“$A_i\to B_i$”及“$A_j\to B_j$”对 (u,p) 均为模糊 λ 真，则“$A_i\cap A_j\to B_i\cup B_j$”对 (u,p) 模糊 λ 真。

证明：根据(1)式得

$$\begin{aligned}
&(A_i\cap A_j\to B_i\cup B_j)(u,p)\\
&=[1-(A_i\cap A_j)(u)]\vee[(B_i\cup B_j)(p)]\\
&=[1-(A_i(u)\wedge A_j(u))]\vee[B_i(p)\vee B_j(p)]\\
&=(1-A_i(u))\vee(1-A_j(u))\vee B_i(p)\vee B_j(p)\\
&=[(1-A_i(u))\vee B_i(p)]\vee[(1-A_j(u))\vee B_j(p)]\\
&=(A_i\to B_i)(u,p)\vee(A_j\to B_j)(u,p) \qquad (\bigstar)
\end{aligned}$$

由此得 $\forall\ \lambda\in[\frac{1}{2},1]$，

若 $(A_i\to B_i)(u,p)\geqslant\lambda$ 及 $(A_j\to B_j)(u,p)\geqslant\lambda$，则

$(A_i\cap A_j\to B_i\cup B_j)(u,p)\geqslant\lambda$ 证毕。

由定理1的证明，可推得

推论1 “$A_i\cap A_j\to B_i\cup B_j$”对 (u,p) 模糊 λ 假的充要条件是“$A_i\to B_i$”及“$A_j\to B_j$”对 (u,p) 均为模糊 λ 假。即

$(A_i\cap A_j\to B_i\cup B_j)(u,p)<\lambda\Leftrightarrow$

$(A_i\to B_i)(u,p)<\lambda$ 及 $(A_j\to B_j)(u,p)<\lambda$

这里模糊集 B_i,B_j，取“并”运算，即取位态 p 的隶属度的最大值，是为了要求 $B_i(p)$ 和 $B_j(p)$ 均小于 λ。若 λ 为“隐患是否可接受”的标准值，定理1和推论1从理论上说明，只要 $A_i\cap A_j\neq\phi$，这时若

$(A_i\cap A_j\to B_i\cup B_j)(u,p)<\lambda$

则由($\bigstar$)式知，有

$(A_i\to B_i)(u,p)\vee(A_j\to B_j)(u,p)<\lambda$

这表明当 $A_i\cap A_j\neq\phi$ 时，下面两式同时成立：

$(A_i\to B_i)(u,p)<\lambda$ 且 $(A_j\to B_j)(u,p)<\lambda$

也就是说，若 $A_i\cap A_j=u$，则 u 无论跟哪一部分参数取值

组成测试用例，u 对位态 p 的作用程度均小于 λ，即暴露被测系统隐患的能力是一样的。这样含有相同参数 u 的两个测试用例，若 u 在一个测试用例能发现不可接受的隐患，则 u 在另一个测试用例也能发现不可接受的隐患。

定理2 若 $A_i \to B_i (i=1,2,\cdots,n)$ 等作用关系对 (u,p) 均为模糊 λ 真，则 $\bigcap_{i=1}^{n} A_i \to \bigcup_{i=1}^{n} B_i$ 对 (u,p) 也为模糊 λ 真。

证明：$(\bigcap_{i=1}^{n} A_i \to \bigcup_{i=1}^{n} B_i)(u,p)$

$=[1-(\bigcap_{i=1}^{n} A_i)(u)] \vee (\bigcup_{i=1}^{n} B_i)(p)$

$=[1-(\wedge_{i=1}^{n} A_i(u)] \vee [\bigvee_{i=1}^{n} B_i(p)]$

$=[\bigvee_{i=1}^{n}(1-A_i(u))] \vee [\bigvee_{i=1}^{n} B_i(p)]$

$=\bigvee_{i=1}^{n}[(1-A_i(u)) \vee B_i(p)]$

$=\bigvee_{i=1}^{n}(A_i \to B_i)(u,p)$

所以，若 $(A_i \to B_i)(u,p) \geqslant \lambda,(i=1,2,\cdots,n)$，则

$(\bigcap_{i=1}^{n} A_i \to \bigcup_{i=1}^{n} B_i)(u,p) \geqslant \lambda$ 证毕

根据定理2的证明推得

推论2 $\bigcap_{i=1}^{n} A_i \to \bigcup_{i=1}^{n} B_i$ 对 (u,p) 为模糊 λ 假的充要条件是 $A_i \to B_i (i=1,2,\cdots,n)$ 等作用关系对 (u,p) 均为模糊 λ 假。即

$(\bigcap_{i=1}^{n} A_i \to \bigcup_{i=1}^{n} B_i)(u,p) < \lambda \Leftrightarrow \bigvee_{i=1}^{n}(A_i \to B_i)(u,p) < \lambda$

这个定理及其推论，将 u 对 p 的作用，由两个测试用例及其交集推广到多个测试用例及其交集的情况，并由此推得，当 $\bigcap_{i=1}^{n} A_i = u$ 时，在模糊 λ 真的条件下，参数 u 在一个测试用例中所起的作用，与在其它测试用例中相同，即对暴露被测系统隐患来说，效果是一样的。这就从理论上证明了：如果集中某个测试用例，其各参数所取的值，或任意两个参数取值的组合，均能在"必选用例"(RTC)的某些测试用例中出现，则去掉 A 中这个测试用例，而只采用 RTC 中的测试用例检测系统，也不会降低对错误的检测能力。

3 建立"必选用例"(RTC)的方法

下面利用 $\bigcap_{i=1}^{n} A_i = u$ 的条件，来挑选测试用例构成 RTC，我们分两种情况来讨论：一是单个参数取值的作用与其它参数取值组合无关，二是参数取值组合的作用情况。并分别称为"单值必选用例"与"组合必选用例"。

3.1 单个参数取值的独立作用

由于参数取值 u 在各个测试用例中对位态 p 的作用一样，且与其它组合无关，所以我们可以按如下方法首先构成"单值必选用例"，以下简称为"单值 *RTC*"：

第一步，以系统各参数的全部取值构成矩阵 $B=(b_{ij})_{n\times m}$，其中 $n=\max_{1\leqslant i\leqslant m} t_i$，$m$ 是参数个数。第 j 列的元素是第 j 个参数所取的各参数值，使各参数的每个取值在该列中出现且只出现一次；

第二步，若有的参数取值个数小于 n，将这些参数所在列中的空缺位置，用该参数的任一取值补充，使每列均有 n 个元，这样的参数有些取值不只出现一次。

以上所得矩阵 B，就构成了一个单值 RTC，其中的每一行就是一个测试用例。行数 n 是单值 RTC 中测试用例的个数。

据定理2及其推论，从单个参数对测试效果的影响来说，在单值 RTC 中，参数的一个取值不必出现二次，但如果有的参数的取值个数多，且它的某个取值仅在一个测试用例中出现，那么这个测试用例中的其它参数的取值，必要时允许重复。由于在单值 RTC 中，参数的所有取值都出现过，如果只考虑单个参数的作用与其它组合无关的情况，用单值 RTC 中的测试用例执行测试，不会降低它检测错误的能力。

例1 设参数 c_1,c_2,c_3 取值为：c_1：a_1,a_2,a_3；c_2：b_1,b_2,b_3,b_4；c_3：d_1,d_2。其中 c_2 有4个取值，为了使每个取值均能用上，故单值 RTC 是矩阵

$$U=\begin{pmatrix} a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & d_1 \\ a_3 & b_4 & d_2 \end{pmatrix}$$

这里为了使参数 c_2 的每个取值都用上，故允许 a_3、d_1、d_2 分别在第三行第四行、第一行第三行、第二行第四行中重复出现。总之，在单值 RTC 中，所有参数的全部取值至少出现一次，才能覆盖所有测试用例。换句话说，如果各参数在某一测试用例中的那些取值，都是在单值 RTC 中出现过的，那么这个测试用例便被单值 RTC 覆盖。例1的单值 RTC 就是上述4个，多一个便被覆盖。根据上述分析可得下面结论：

性质1 在测试的系统中，设有参数 $c_1,c_2,\cdots,c_m$，其中参数 c_i 可取值的个数 t_i，如果单个参数的作用与其它组合无关，那么，此系统 SRTC 的测试用例个数是

$n=\max_{1\leqslant i\leqslant m} t_i$

性质2 在系统测试中，单值 RTC 中的测试用例个数是唯一的，但表达方式不唯一。

证明：RTC 中测试用例的个数，是全部参数中取值数最多的个数，因为这个取值个数是唯一确定的，所以 RTC 中的测试用例个数是唯一的。

至于表达方式，按照构成 SRTC 的方法，只是取值个数最多的参数取值不重复出现；而取值个数较少的参数，每个取值至少出现一次，即允许这些取值重复出现，但该参数的哪些取值被重复，是有随机性的，且各参数值构成测试用例的组合方式是多样的，故不同的 SRTC 中的测试用例可能会不同。

如：对于上面的三个参数 c_1,c_2,c_3，单值 *RTC* 还可以取为：

$$V=\begin{pmatrix} a_1 & b_2 & d_1 \\ a_2 & b_1 & d_2 \\ a_3 & b_4 & d_1 \\ a_3 & b_3 & d_2 \end{pmatrix}$$

3.2 各参数值组合的作用

测试时导致系统发生问题，除某个参数的取值外，还可能有这些因素：某两个参数的某种取值组合，……，某 $m-1$ 个参数的某种取值组合，直到这 m 个参数的某种取值组合。下面根据这些组合情况来挑选 RTC，使挑选出的测试用例，能实现对所有组合的覆盖。注意到：(1)从 m 个参数的取值中任选两个组合，……，$m-1$ 个组合，直到 m 个组合，可认为是在一个测试用例的 m 个参数取值中挑选，即这个测试用例包含以上各种组合。(2)构成测试用例的 m 个参数的取值，是分别在 m 个参数取值中选取。(3)由定理2及其推论知，相同的参数取值 u（即参数值的一种组合）对位态 p，在各测试用例中作用相同。故若在某一测试用例中，参数取值的各种组合均在 RTC 的测试用例中出现，则认为此测试用例被 RTC 覆盖。根据以

（下转封四）

（上接第 238 页）

上分析得到构成组合 RTC 的如下算法：

第一步：在单值 RTC 的矩阵 B 中，对于重复出现的某些元素，只保留一个，去掉其它重复部分，得各参数取值表。

第二步：把元素组合认为是“相乘”，按表中最多元列展开，即将该列的每个元“乘”剩余表（即划去该元所在的行与列后，余下的表），然后“相加”。

依此类推，

最后：若出现在剩余表中少了某些参数的取值，可以自动补进该元素的某个取值，重复第二步的做法即可。

按上述方法所得的每一项，就是一个测试用例，所有这些测试用例，便可构成一个组合 RTC。

这样选得的组合 RTC，既包含了所有参数的各种取值组合，又去掉了与其有相同取值组合的测试用例，从而在不会降低它对错误检测能力的前提下，使测试用例的数量大大减少。

上面的单值 RTC 与组合 RTC 一起，就构成了全部的 RTC。

4 实例研究

例 2 设系统参数 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ 取值如下

$x_1: a_1, a_2, a_3, a_4$；$x_2: b_1, b_2, b_3, b_4$；$x_3: c_1, c_2, c_3, c_4$；$x_4: d_1, d_2, d_3$；$x_5: e_1, e_2, e_3$；$x_6: f_1, f_2$。

那么，各参数取值表为

$$\left(\begin{array}{llllll} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 & e_1 & f_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 & e_2 & f_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & d_3 & e_3 & \\ a_4 & b_4 & c_4 & & & \end{array}\right)$$

按第一列展开得

$$a_1\left(\begin{array}{lllll} b_2 & c_2 & d_2 & e_2 & f_2 \\ b_3 & c_3 & d_3 & e_3 & \\ b_4 & c_4 & & & \end{array}\right) + a_2\left(\begin{array}{lllll} b_1 & c_1 & d_1 & e_1 & f_1 \\ b_3 & c_3 & d_3 & e_3 & \\ b_4 & c_4 & & & \end{array}\right)$$

$$+ a_3\left(\begin{array}{lllll} b_1 & c_1 & d_1 & e_1 & f_1 \\ b_2 & c_2 & d_2 & e_2 & f_2 \\ b_4 & c_4 & & & \end{array}\right) + a_4\left(\begin{array}{lllll} b_1 & c_1 & d_1 & e_1 & f_1 \\ b_2 & c_2 & d_2 & e_2 & f_2 \\ b_3 & c_3 & d_3 & e_3 & \end{array}\right)$$

继续下去可得：

$$\begin{aligned} & a_1b_2c_4d_3e_3f_1 + a_1b_3c_4d_2e_2f_2 + a_1b_4c_2d_4e_2f_1 \\ & + a_1b_4c_2d_4e_3f_1 + a_1b_4c_3d_2e_2f_2 + a_1b_4c_3d_2e_3f_2 \\ & + a_2b_1c_4d_3e_3f_2 + a_2b_3c_4d_1e_1f_1 + a_2b_4c_1d_3e_1f_2 \\ & + a_2b_4c_3d_1e_3f_1 + a_2b_4c_3d_1e_1f_1 + a_2b_4c_1d_3e_3f_2 \\ & + a_3b_1c_4d_2e_2f_2 + a_3b_2c_4d_1e_1f_1 + a_3b_4c_1d_2e_1f_2 \\ & + a_3b_4c_2d_1e_2f_1 + a_3b_4c_2d_1e_1f_1 + a_3b_4c_1d_2e_2f_2 \\ & + a_4b_1c_2d_3e_2f_1 + a_4b_1c_3d_2e_3f_2 + a_4b_1c_2d_3e_3f_1 \\ & + a_4b_1c_3d_2e_2f_2 + a_4b_2c_3d_1e_3f_1 + a_4b_2c_3d_1e_1f_1 \\ & + a_4b_2c_1d_3e_3f_2 + a_4b_2c_1d_3e_1f_2 + a_4b_3c_1d_2e_1f_2 \\ & + a_4b_3c_2d_1e_2f_1 + a_4b_3c_1d_2e_2f_2 + a_4b_3c_2d_1e_1f_1 \end{aligned}$$

共 30 个参数组合项，即 30 个测试用例。它们构成一个组合 RTC。由于这里的 6 个参数中，取值个数最多为 4 个，故单值 RTC 中的只有 4 个测试用例。这样检测本系统时，整个 RTC 中共 34 个测试用例。而按参数取值的全部组合数，即集所含测试用例数为

$2\times3\times3\times4\times4\times4=1152$ 个

可见，按我们的算法得到的组合 RTC，其中的各测试用例的元素，取自于参数取值表的不同行不同列的元素构成的，因此能包含各参数取值的全部组合，能覆盖集中其它测试用例，且测试用例个数大大减少。特别是用模糊数学理论明了，我们构成的 RTC 不会降低检测隐患的能力，设计方法也易于操作。

结束语 本文分析了测试用例与系统状态的关系，提出位态、与预期位态概念，它们在实际测试中存在差异，且这一差异表现出模糊性，从而能够运用模糊数学的方法，建立参数值与位态间的作用关系，对这个二元模糊关系，证明了模糊推理的两个定理，并推得参数值及其组合对位态的作用，在各测试用例中相同的特性，由此得到在不降低错误检测能力的前提下，提出精简测试用例的方法，得到系统测试的 RTC，它比测试用例集中的测试用例个数大大减少，并且比随机抽取更加科学和实用。

参 考 文 献

1 Chen T Y, et al. Anew heuristic for test suite reduction. Information and Software Technology, 1998, 40(5-6): 347～354
2 Schieferdecker I, et al. Conformance testing with TTCN. In: Telektronikk, 2000, 96(4): 85～95
3 Rothermel G, et al. Regression test selection for C++ software. Journal of Softare Testing, Verification and Reliability, 2000, 10(2): 77～109
4 Walter T, et al. A fra me work for the specification of test cases for real-time distributed systems. Information and Software Technology, 1999, 41(11-12): 781～798
5 聂长海，徐宝文. 基于接口参数的黑箱测试用例自动生成算法. 计算机学报, 2004, 27(3): 382～388
6 Chen T Y, Lau M F. A new heuristic for test suite reduction. Information and Software Technology, 1998, 40(5/6): 347～354
7 Chen T Y, Lau M F. A simulation study on some heuristics for test suite reduction. Information and Soft ware Technology, 1998, 40(13): 777～787
8 Vbinder R. 面向对象系统的测试[M]. 北京人民邮电出版社, 2002
9 杨纶标，高英仪. 模糊数学原理与应用（第三版）[M]. 广州：华南理工大学出版社, 2003. 252～265
10 Mizumoto M, Zimmerman H J. Comparison offuzzy reasoning methods [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1980, 4(3): 193～219

计算机科学

（1974 年 1 月创刊）
第 32 卷第 5 期（月刊）
2005 年 5 月 25 日出版

ISSN 1002－137X
CN50—1075/TP

定价：25.00 元　国外定价：5 美元
邮发代号：78—68
发行范围：国内外公开

主管单位：国 家 科 学 技 术 部
主办单位：国 家 科 技 部 西 南 信 息 中 心
编辑出版：《计 算 机 科 学》 杂 志 社
重庆市渝中区胜利路 132 号　邮政编码：400013
电话：（023） 63500828　E-mail：jsjkx@swic.ac.cn
网址：www.jsjkx.com
社　长：牟炳林
主　编：彭　丹
副主编：朱宗元
主编助理：徐书令
印刷者：重 庆 科 情 印 务 有 限 公 司
总发行处：重 庆 市 邮 政 局
订购处：全 国 各 地 邮 政 局
国外总发行：中国国际图书贸易总公司（北京399 信箱）
国外代号：6210—MO