

5.3 实例研究一：联通计费服务

5.3.1 规格描述

联通计费服务根据用户的当月套餐、话费、流量及可视通话时间计算出用户的当月话费。

(1) 输入规格描述

输入规格描述如表 5-1 所示

表 5-1 输入规格描述

输入参数	参数类型
planType	String
planFee	int
talkTime	int
flow	int
callViewTime	Int

由于国内可视通话使用较少，系统中没有对可视电话费用进行计算。

(2) 输出规格描述

输出参数为 bill，类型为 double。其计算方法为：

$$bill = (talkTime - talkTimeBench) * talkTimePer + (flow - flowBench) * flowPer + planFee$$

其中 talkTime 为用户当月的通话时间，talkTimePer 是每分钟通话费用，flow 是用户当月所使用的流量，flowPer 是单位流量费用，talkTimeBench 和 flowBench 是套餐中赠送的通话时间和流量，planFee 是用户每月的套餐费用，具体如表 5-2 所示：

表 5-2 联通计费服务计费标准说明

planType	planFee	talkTimeBench	flowBench	talkTimePer	flowPer
A	46	50	150	0.25	0.3
	96	96	240	0.15	0.3
	286	286	900	0.15	0.3
	886	3000	3000	0.15	0.3
B	46	120	40	0.25	0.3
	96	450	80	0.15	0.3
	126	680	100	0.15	0.3
	186	1180	150	0.15	0.3

5.3.2 使用 METRIC 识别蜕变关系

METRIC 框架使用 CHOC’LATE 测试用例生成方法产生的完整测试帧并识别蜕变关系，故需要先生成测试对象的测试帧。

完整测试帧生成：

生成测试帧主要经历以下三个步骤：

1. 划分范畴和选项。

测试人员首先鉴别出对软件执行行为有影响的输入参数或环境条件。输入参数或环境条件被定义为范畴(category)。每一个范畴被进一步划分为不同的选项(choice)，选项代表着其所属范畴可能产生的不同情况。联通计费服务的范畴和选项划分表 5-3 所示：

表 5-3 联通计费服务范畴和选项划分

Categories	Associated Choices
planType	1a. A
	1b. B
planFee(F)	2a. 46
	2b. 96
	2c. 126
	2d. 186
	2e. 286
	2f. 886
talkTime(t)	3a. $t \leq \text{talkTimeBench}$
	3b. $t > \text{talkTimeBench}$
flow(f)	4a. $f \leq \text{flowBench}$
	4b. $f > \text{flowBench}$

2. 确定每对选择之间的关系，并将关系记录至选择关系表，如表 5-4 所示：

表 5-4 联通计费服务选择关系表

	1a	1b	2a	2b	2c	2d	2e	2f	3a	3b	4a	4b
1a	□	∕	⊥	⊥	∕	∕	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥
1b	∕	□	⊥	⊥	⊥	⊥	∕	∕	⊥	⊥	⊥	⊥
2a	⊥	⊥	□	∕	∕	∕	∕	∕	⊥	⊥	⊥	⊥
2b	⊥	⊥	∕	□	∕	∕	∕	∕	⊥	⊥	⊥	⊥
2c	∕	⊥	∕	∕	□	∕	∕	∕	⊥	⊥	⊥	⊥
2d	∕	⊥	∕	∕	∕	□	∕	∕	⊥	⊥	⊥	⊥
2e	⊥	∕	∕	∕	∕	∕	□	∕	⊥	⊥	⊥	⊥
2f	⊥	∕	∕	∕	∕	∕	∕	□	⊥	⊥	⊥	⊥
3a	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	□	∕	⊥	⊥
3b	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	∕	□	⊥	⊥
4a	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	□	∕
4b	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	⊥	∕	□

3. 使用选择关系表生成完整测试帧。

完整测试帧是选择的集合，这个集合包含每个范畴其中的一个选项，即完整测试帧是通过在每个范畴选择一个选项再根据选择关系表中选择的关系进行组合得到的。

对于联通计费服务，一共有 4 个范畴、12 个选项，但这并不意味着有 $2*6*2*2=48$ 个可能的完整测试帧，因为根据规格说明书可以得到一些选择的组合是无效的，即两个选择不能同时出现在一个完整测试帧中。举个例子来说，2c 和 1a 的关系是 2c/1a，即 2c 所在的测试帧当中一定不会出现 1a，那么类似于 {1a,2c,3a,4a} 的组合就是无效的。CHOC’LATE 提供了由选择关系表生成测试帧的算法。

所有的有效完整测试帧如表 5-5 所示：

表 5-5 联通计费服务完整测试帧

{1a,2a,3a,4a}	{1a,2a,3a,4b}	{1a,2a,3b,4a}	{1a,2a,3b,4b}
{1a,2b,3a,4a}	{1a,2b,3a,4b}	{1a,2b,3b,4a}	{1a,2b,3b,4b}
{1a,2e,3a,4a}	{1a,2e,3a,4b}	{1a,2e,3b,4a}	{1a,2e,3b,4b}
{1a,2f,3a,4a}	{1a,2f,3a,4b}	{1a,2f,3b,4a}	{1a,2f,3b,4b}
{1b,2a,3a,4a}	{1b,2a,3a,4b}	{1b,2a,3b,4a}	{1b,2a,3b,4b}
{1b,2b,3a,4a}	{1b,2b,3a,4b}	{1b,2b,3b,4a}	{1b,2b,3b,4b}
{1b,2c,3a,4a}	{1b,2c,3a,4b}	{1b,2c,3b,4a}	{1b,2c,3b,4b}
{1b,2d,3a,4a}	{1b,2d,3a,4b}	{1b,2d,3b,4a}	{1b,2d,3b,4b}

完整测试帧生成完毕后，将所有完整测试帧作为输入提供给 METRIC 的支持工具 MR-GEN 进行蜕变关系识别。

蜕变关系识别：

METRIC 蜕变关系识别框架包含以下三个步骤：

1. 选择两个相关且不同的完整测试帧作为软件测试人员识别蜕变关系的候选对。
2. 让软件测试人员判定选定的候选对(candidate pair)是否对蜕变关系识别有用，如果有用，则让软件测试人员对蜕变关系进行描述。
3. 重新从（1）步骤开始，重复整个过程直到所有候选对耗尽，或者预先设定好需要生成的蜕变关系的数量已经达到。

共生成 496 个候选对，如果要得到全部蜕变关系需要对全部 496 个候选对进行判断。

设第一个测试帧的输出用 bill 表示，第二个测试帧的输出用 bill*表示，蜕变关系如表 5-6 所示（部分）：

表 5-6 联通计费服务蜕变关系（部分）

蜕变关系序号	r	r _f
1	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2a,3a,4b}	bill*>bill
2	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2a,3b,4a}	bill*>bill
3	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2a,3b,4b}	bill*>bill
4	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2b,3a,4a}	bill*>bill
5	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2b,3a,4b}	bill*>bill
6	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2b,3b,4a}	bill*>bill
7	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2b,3b,4b}	bill*>bill
8	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2e,3a,4a}	bill*>bill
9	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2e,3a,4b}	bill*>bill
10	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2e,3b,4a}	bill*>bill
11	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2e,3b,4b}	bill*>bill
12	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2f,3a,4a}	bill*>bill
13	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2f,3a,4b}	bill*>bill
14	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2f,3b,4a}	bill*>bill
15	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2f,3b,4b}	bill*>bill
16	{1a,2a,3a,4a} -> {1b,2a,3a,4a}	bill*= bill
17	{1a,2a,3a,4a} -> {1b,2a,3a,4b}	bill*>bill
18	{1a,2a,3a,4a} -> {1b,2a,3b,4a}	bill*>bill
19	{1a,2a,3a,4a} -> {1b,2a,3b,4b}	bill*>bill

5.3.3 使用 METRIC*识别蜕变关系

METRIC* 使用了包含输入范畴(I-category)和选项(I-choice)与输出范畴(O-

category)和选项(O-choice)的测试帧识别蜕变关系。需要首先使用 CHOC’LATE-DIP 生成包含输入输出的测试帧。

完整测试帧生成：

生成测试帧主要经历以下三个步骤：

1. 划分范畴和选项。

测试人员不仅需要鉴别出对软件执行行为有影响的输入参数或环境条件并定义范畴和选项，还需要鉴别出程序不同的输出情景并定义范畴和选项。联通计费服务的范畴和选项划分如表 5-7 和表 5-8 所示：O-category 包含两部分，第一个是当月话费是否超过套餐费用，第二个是对套餐费用具体价格的描述。

表 5-7 输入的范畴选项划分

I-Categories	I-choices
I-1. planType	I-1a. A
	I-1b. B
I-2. planFee(F)	I-2a. 46
	I-2b. 96
	I-2c. 126
	I-2d. 186
	I-2e. 286
	I-2f. 886
I-3. talkTime(t)	I-3a. $t \leq \text{talkTimeBench}$
	I-3b. $t > \text{talkTimeBench}$
I-4. flow(f)	I-4a. $f \leq \text{flowBench}$
	I-4b. $f > \text{flowBench}$

表 5-8 输出的范畴选项划分

Output	O-categories	O-choices
bill	O-1. overcharge or not(B)	O-1a. $B = F$
		O-1b. $B > F$
	O-2. planFee(F)	O-2a. $F = 46$
		O-2b. $F = 96$
		O-2c. $F = 126$
		O-2d. $F = 186$
		O-2e. $F = 286$
		O-2f. $F = 886$

2. 建立同时包含 I-choice 和 O-choice 的选择关系表，并且将选择之间的关系记录进入选择关系表中，如表 5-9 所示：

5-9 扩展的选择关系表

		I-choices												O-choices	
		I-1a	I-1b	I-2a	I-2b	I-2c	I-2d	I-2e	I-2f	I-3a	I-3b	I-4a	I-4b	O-1a	O-1b
I-choices	I-1a	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	I-1b	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	I-2a	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	I-2b	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	I-2c	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	I-2d	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	I-2e	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	I-2f	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	I-3a	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑
	I-3b	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☐	☑
	I-4a	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑
	I-4b	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☐	☑
O-choices	O-1a	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑
	O-1b	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☐	☑	☑	☐

3. 使用扩展的选择关系表生成完整测试帧。

所有的完整测试帧如表 5-10 所示：

表 5-10 联通计费服务 IO-CTF

{ I-1a, I-2a, I-3a, I-4a; O-1a, O-2a }	{ I-1a, I-2a, I-3a, I-4b; O-1b, O-2a }	{ I-1a, I-2a, I-3b, I-4a; O-1b, O-2a }
{ I-1a, I-2a, I-3b, I-4b; O-1b, O-2a }	{ I-1a, I-2b, I-3a, I-4a; O-1a, O-2b }	{ I-1a, I-2b, I-3a, I-4b; O-1b, O-2b }
{ I-1a, I-2b, I-3b, I-4a; O-1b, O-2b }	{ I-1a, I-2b, I-3b, I-4b; O-1b, O-2b }	{ I-1a, I-2e, I-3a, I-4a; O-1a, O-2e }
{ I-1a, I-2e, I-3a, I-4b; O-1b, O-2e }	{ I-1a, I-2e, I-3b, I-4a; O-1b, O-2e }	{ I-1a, I-2e, I-3b, I-4b; O-1b, O-2e }
{ I-1a, I-2f, I-3a, I-4a; O-1a, O-2f }	{ I-1a, I-2f, I-3a, I-4b; O-1b, O-2f }	{ I-1a, I-2f, I-3b, I-4a; O-1b, O-2f }
{ I-1a, I-2f, I-3b, I-4b; O-1b, O-2f }	{ I-1b, I-2a, I-3a, I-4a; O-1a, O-2a }	{ I-1b, I-2a, I-3a, I-4b; O-1b, O-2a }
{ I-1b, I-2a, I-3b, I-4a; O-1b, O-2a }	{ I-1b, I-2a, I-3b, I-4b; O-1b, O-2a }	{ I-1b, I-2b, I-3a, I-4a; O-1a, O-2b }
{ I-1b, I-2b, I-3a, I-4b; O-1b, O-2b }	{ I-1b, I-2b, I-3b, I-4a; O-1b, O-2b }	{ I-1b, I-2b, I-3b, I-4b; O-1b, O-2b }
{ I-1b, I-2c, I-3a, I-4a; O-1a, O-2c }	{ I-1b, I-2c, I-3a, I-4b; O-1b, O-2c }	{ I-1b, I-2c, I-3b, I-4a; O-1b, O-2c }
{ I-1b, I-2c, I-3b, I-4b; O-1b, O-2c }	{ I-1b, I-2d, I-3a, I-4a; O-1a, O-2d }	{ I-1b, I-2d, I-3a, I-4b; O-1b, O-2d }
{ I-1b, I-2d, I-3b, I-4a; O-1b, O-2d }	{ I-1b, I-2d, I-3b, I-4b; O-1b, O-2d }	

测试帧生成完毕后，按照 METRIC*方法的步骤，我们将对联通计费服务进行蜕变关系识别。

蜕变关系识别：

按 O-choice 将测试帧归类，具有相同 O-choice 组合的测试帧归为一组。如

表 5-11 所示：

表 5-11 IO-CTF 分类

Combination of O-choices	IO-CTF	
{ O-1a, O-2a}	{ l-1a, l-2a, l-3a, l-4a;O-1a,O-2a}	{ l-1b, l-2a, l-3a, l-4a;O-1a,O-2a}
{ O-1a, O-2b}	{ l-1a, l-2b, l-3a, l-4a;O-1a,O-2b}	{ l-1b, l-2b, l-3a, l-4a;O-1a,O-2b}
{ O-1a, O-2c}	{ l-1b, l-2c, l-3a, l-4a;O-1a,O-2c}	
{ O-1a, O-2d}	{ l-1b, l-2d, l-3a, l-4a;O-1a,O-2d}	
{ O-1a, O-2e}	{ l-1a, l-2e, l-3a, l-4a;O-1a,O-2e}	
{ O-1a, O-2f}	{ l-1a, l-2f, l-3a, l-4a;O-1a,O-2f}	
{ O-1b, O-2a}	{ l-1a, l-2a, l-3a, l-4b;O-1b,O-2a}	{ l-1b, l-2a, l-3a, l-4b;O-1b,O-2a}
	{ l-1a, l-2a, l-3b, l-4a;O-1b,O-2a}	{ l-1b, l-2a, l-3b, l-4a;O-1b,O-2a}
	{ l-1a, l-2a, l-3b, l-4b;O-1b,O-2a}	{ l-1b, l-2a, l-3b, l-4b;O-1b,O-2a}
{ O-1b, O-2b}	{ l-1a, l-2b, l-3a, l-4b;O-1b,O-2b}	{ l-1b, l-2b, l-3a, l-4b;O-1b,O-2b}
	{ l-1a, l-2b, l-3b, l-4a;O-1b,O-2b}	{ l-1b, l-2b, l-3b, l-4a;O-1b,O-2b}
	{ l-1a, l-2b, l-3b, l-4b;O-1b,O-2b}	{ l-1b, l-2b, l-3b, l-4b;O-1b,O-2b}
{ O-1b, O-2c}	{ l-1b, l-2c, l-3a, l-4b;O-1b,O-2c}	{ l-1b, l-2c, l-3b, l-4b;O-1b,O-2c}
	{ l-1b, l-2c, l-3b, l-4a;O-1b,O-2c}	
{ O-1b, O-2d}	{ l-1b, l-2d, l-3a, l-4b;O-1b,O-2d}	{ l-1b, l-2d, l-3b, l-4b;O-1b,O-2d}
	{ l-1b, l-2d, l-3b, l-4a;O-1b,O-2d}	
{ O-1b, O-2e}	{ l-1a, l-2e, l-3a, l-4b;O-1b,O-2e}	{ l-1a, l-2e, l-3b, l-4b;O-1b,O-2e}
	{ l-1a, l-2e, l-3b, l-4a;O-1b,O-2e}	
{ O-1b, O-2f}	{ l-1a, l-2f, l-3a, l-4b;O-1b,O-2f}	{ l-1a, l-2f, l-3b, l-4b;O-1b,O-2f}
	{ l-1a, l-2f, l-3b, l-4a;O-1b,O-2f}	

检查同组内的每对不同测试帧，得到如何从一个 l-choice 组合到另一个 l-choice 组合的变换关系。即可得到一个蜕变关系：当某一 l-choice 组合变换到另一 l-choice 组合，输出依然在某一 O-choice 组合内。

对于两个不同组，检查两组对应的 O-choice 组合是否存在某种关系 r_f ，检查该两组间的每对不同完整测试帧，得到如何从一个 l-choice 组合到另一个 l-choice 组合的变换关系，即可得到一个蜕变关系：当某一 l-choice 组合变换到另一 l-choice 组合，输出存在关系 r_f 。根据以上思路，对联通计费服务做蜕变关系识别。

1. 同组内蜕变关系识别

举例：

对于{O-1a,O-2a}组，O-choice 组合的意义为：当月话费（bill）等于套餐费用（planFee）且套餐费用等于 46。组内某一 l-choice 组合变换到另一 l-choice 组合，输出依然在某一 O-choice 组合内，我们可以得到输出的变化关系 r_f ：当月话费不变化（ $bill^* = bill$ ）。将组内两个完整测试帧（记为 IO-CTF₁ 和 IO-CTP₂）的输入进行对比，可以得到关系 r ：套餐费用为 46，当月通话时长

不超过套餐内规定时长，当月流量不超过套餐内流量，套餐由 A 改为 B。将 r 与 r_f 结合即可得到以下蜕变关系：在套餐费用为 46、当月通话时长不超过套餐内规定时长、当月流量不超过套餐内流量、套餐由 A 改为 B 的情况下，套餐费用不变。用完整测试帧表示如表 5-12：

表 5-12 蜕变关系举例

r	r_f
{l-1a, l-2a, l-3a, l-4a;O-1a,O-2a}-->{l-1b, l-2a, l-3a, l-4a;O-1a,O-2a}	bill* = bill

以此类推，我们需要找到能够根据输出选项组合的变化确定输出变化的测试帧组。输出选项组合自对比结果如下表 5-13 所示：

表 5-13 输出选项组合自对比结果

	组别	原因
能够确定输出变化的组	{O-1a,O-2a} {O-1a,O-2b}	输出选项组合自对比能够确定 bill 的变化
不能够确定输出变化的组	{O-1a,O-2c} {O-1a,O-2d} {O-1a,O-2e} {O-1a,O-2f} {O-1b,O-2a} {O-1b,O-2b} {O-1b,O-2c} {O-1b,O-2d} {O-1b,O-2e} {O-1b,O-2f}	输出选项组合自对比不能够确定 bill 的变化

- 在组内比较的过程中，候选组的数目为 12，候选对的数目为 2。 $\{O-1a,O-2a\}$ 与 $\{O-1a,O-2b\}$ 组内分别有两个测试帧，每个组仅能够结合一次。故同组之间对比可得到的蜕变关系共 2 条。不同组间蜕变关系识别举例：

取 $\{O-1a,O-2a\}$ 组与 $\{O-1b,O-2a\}$ 进行对比。前者 O-choice 组合的意义为：当月话费等于套餐费用且等于 46；后者 O-choice 组合的意义为：当月话费大于套餐费用且套餐费用等于 46。这样我们可以很明显的得出从 $\{O-1a,O-2a\}$ 变化到 $\{O-1b,O-2a\}$ 所体现的当月话费的变化关系 r_f ：当月话费增大($bill^* > bill$)。这样我们就可以随意地从两个组当中分别选出一个完整测试帧（记为 IO-CTF₁ 和 IO-CTP₂），比较 IO-CTF₁ 和 IO-CTP₂ 的输入并得出变化关系 r ，将 r 与 r_f 结合即可得到相应的蜕变关系。如：IO-CTF₁ 选择{l-1b, l-2a, l-3a, l-4a;O-1a,O-2a}，IO-CTF₂ 选择{l-1a, l-2a, l-3b, l-4a;O-1b,O-2a}，蜕变关系如下表 5-14 所示：

表 5-14 不同组间蜕变关系识别举例

r	r _f
{l-1b, l-2a, l-3a, l-4a;O-1a,O-2a}-->{ l-1a, l-2a, l-3b, l-4a;O-1b,O-2a}	bill* > bill

同时我们也可以计算{O-1a,O-2a}与{O-1b,O-2a}组内测试帧进行对比所产生的蜕变关系数目，即两个组中测试帧所能产生组合的数目。

进行组间对比时，选取两个组并进行 O-choice 组合对比的次数为 66。首先选取两个 O-choice 组合存在变化关系的组，得出 O-choice 组合存在的变化关系 r_f，再分别从两个组中选择一个测试帧，比较得出输入的变化关系 r。将 r 与 r_f 结合即可得到蜕变关系。我在这里不再一一列出所有的蜕变关系，仅列出可以确定输入变化关系的候选组，如表 5-15 所示：

表 5-15 存在输出变化关系的候选组

存在输出变化关系的候选组	第一个组 中完整测试帧数目	第二个组 中完整测试帧数目	蜕变关系数	r _f (第一组变化到第二组)
{O-1a,O-2a}与{O-1a,O-2b}	2	2	4	bill* > bill
{O-1a,O-2a}与{O-1a,O-2c}	2	1	2	bill* > bill
{O-1a,O-2a}与{O-1a,O-2d}	2	1	2	bill* > bill
{O-1a,O-2a}与{O-1a,O-2e}	2	1	2	bill* > bill
{O-1a,O-2a}与{O-1a,O-2f}	2	1	2	bill* > bill
{O-1a,O-2a}与{O-1b,O-2a}	2	6	12	bill* > bill
{O-1a,O-2a}与{O-1b,O-2b}	2	6	12	bill* > bill
{O-1a,O-2a}与{O-1b,O-2c}	2	3	6	bill* > bill
{O-1a,O-2a}与{O-1b,O-2d}	2	3	6	bill* > bill
{O-1a,O-2a}与{O-1b,O-2e}	2	3	6	bill* > bill
{O-1a,O-2a}与{O-1b,O-2f}	2	3	6	bill* > bill
{O-1a,O-2b}与{O-1a,O-2c}	2	1	2	bill* > bill
{O-1a,O-2b}与{O-1a,O-2d}	2	1	2	bill* > bill
{O-1a,O-2b}与{O-1a,O-2e}	2	1	2	bill* > bill
{O-1a,O-2b}与{O-1a,O-2f}	2	1	2	bill* > bill
{O-1a,O-2b}与{O-1b,O-2b}	2	6	12	bill* > bill
{O-1a,O-2b}与{O-1b,O-2c}	2	3	6	bill* > bill
{O-1a,O-2b}与{O-1b,O-2d}	2	3	6	bill* > bill
{O-1a,O-2b}与{O-1b,O-2e}	2	3	6	bill* > bill
{O-1a,O-2b}与{O-1b,O-2f}	2	3	6	bill* > bill
{O-1a,O-2c}与{O-1a,O-2d}	1	1	1	bill* > bill

表 5-15 存在输出变化关系的候选组（续）

存在输出变化关系的候选组	第一个组 中完整测试 帧数目	第二个组 中完整测试 帧数目	蜕变关系 数	r_f (第一组变化 到第二组)
{O-1a,O-2c}与{O-1a,O-2e}	1	1	1	bill* > bill
{O-1a,O-2c}与{O-1a,O-2f}	1	1	1	bill* > bill
{O-1a,O-2c}与{O-1b,O-2c}	1	3	3	bill* > bill
{O-1a,O-2c}与{O-1b,O-2d}	1	3	3	bill* > bill
{O-1a,O-2c}与{O-1b,O-2e}	1	3	3	bill* > bill
{O-1a,O-2c}与{O-1b,O-2f}	1	3	3	bill* > bill
{O-1a,O-2d}与{O-1a,O-2e}	1	1	1	bill* > bill
{O-1a,O-2d}与{O-1a,O-2f}	1	1	1	bill* > bill
{O-1a,O-2d}与{O-1b,O-2d}	1	3	3	bill* > bill
{O-1a,O-2d}与{O-1b,O-2e}	1	3	3	bill* > bill
{O-1a,O-2d}与{O-1b,O-2f}	1	3	3	bill* > bill
{O-1a,O-2e}与{O-1a,O-2f}	1	1	1	bill* > bill
{O-1a,O-2e}与{O-1b,O-2e}	1	3	3	bill* > bill
{O-1a,O-2e}与{O-1b,O-2f}	1	3	3	bill* > bill
{O-1a,O-2f}与{O-1b,O-2f}	1	3	3	bill* > bill
			共计: 140	

在组间比较过程中，候选组的数目为 66，候选对的数目为 140。

同组内得到的蜕变关系数目和组间得到的蜕变关系数目之和为 142。

5.3.4 结论

回答问题 1：在联通计费服务的实例研究中，METRIC*成功识别出了该对象中的蜕变关系。METRIC*被证明是可行的。

回答问题 2：对于联通计费服务，METRIC 需要比较的候选对的数目为 496，而 METRIC*需要比较的候选对数目为 142。后者需要比较的候选对数目大大少于前者，说明 METRIC*能够剔除无用候选对，有效减少对无用候选对进行判断的情况。

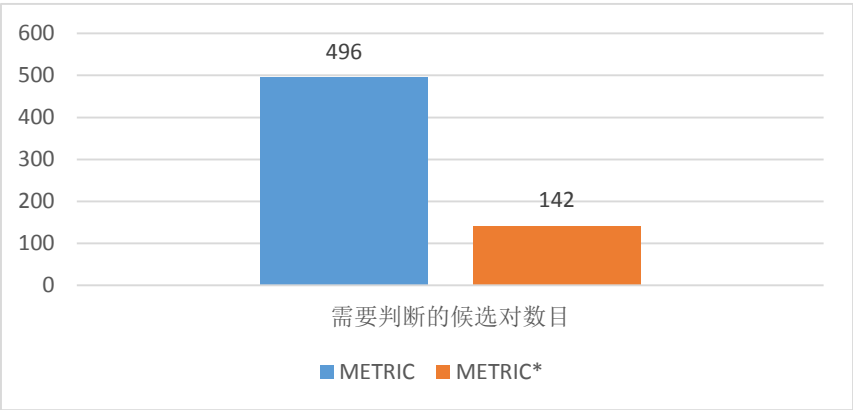


图 5-1 联通计费服务 METRIC 与 METRIC*比较

METRIC*方法可以有效减少对没有用的两个测试帧进行对比的情况，即按照METRIC*方法所选择的两个测试帧基本上都是有用的。METRIC 方法中对于候选对的选取仅仅是简单的将两个测试帧组合到一起，METRIC*方法在两个测试帧的选取上比 METRIC 更优秀。

5.4 实例研究二：航空行李托运计费服务

5.4.1 规格描述

航空行李托运计费服务参照中国国际航空公司行李计费标准，根据用户的座舱等级为用户提供查询行李计费、可携带的行李件数、每件行李可携带的最高重量等功能，每个功能作为一个服务接口。本研究只对行李计费功能进行实例研究。

（1） 输入规格描述如表 5-16 所示

表 5-16 输入规格描述

输入参数	参数类型	限制
airClass	int	数字 0-3
region	Int	数字 0-3
isStudent	boolean	
Luggage	double	
airfare	double	

airClass 被赋值 0、1、2、3 分别代表乘客座舱等级头等舱、公务舱、经济舱和婴儿票；region 被赋值 0、1 时分别代表国内和国际航班；isStudent 代表乘客是否为学生；Luggage 表示用户所携带的行李总重量，airfare 表示用户所购买的机票的价格。

(2) 输出规格描述

计费表达式为： $\text{luggagefee} = (\text{luggage} - \text{benchmark}) * \text{airfare} * 0.015$,

上式中 luggagefee 为乘客应付的行李托运费，如果乘客的行李在限制范围内，则 luggagefee = 0；benchmark 为行李重量的限制标准，系统根据乘客的座舱等级和身份确认实际的 benchmark，如表 5-17 所示：

表 5-17 输入规格描述

airClass	benchmark
0	40
1	30
2	20
3	0

当乘客为国际乘客且为学生时，benchmark = 30，假设所有学生均持经济舱机票。

5.4.2 使用 METIRC 识别蜕变关系

首先生成航空行李托运计费服务的所有完整测试帧。

完整测试帧生成：

生成测试帧主要经历以下三个步骤：

1. 范畴和选项的划分：

将航空行李托运计费服务的输入参数定义为范畴，包含飞机座舱等级 airClass、区域 region、是否学生 isStudent、行李重量 Luggage 和飞机票价 airfare。详细的范畴和选项划分如下表 5-18 所示：

表 5-18 航空行李托运计费服务范畴选项划分

categories	choices
1. airClass	1a. 0（头等舱）
	1b. 1（公务舱）
	1c. 2（经济舱）
	1d. 3（婴儿票）
2. region	2a. 0（国内航班）
	2b. 1（国际航班）
3. isStudent	3a. 0（不是学生）
	3b. 1（是学生）
4. Luggage(L)	4a. L <= benchmark
	4b. L > benchmark
5. airfare(E)	5a. E = 0
	5b. E > 0

2. 将每对选择之间的关系记录至选择关系表，如表 5-19 所示：

表 5-19 航空行李托运计费服务选择关系表

	1a	1b	1c	1d	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b
1a	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1c	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1d	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. 使用选择关系表生成完整测试帧。

完整测试帧是选择的集合，这个集合包含每个范畴其中的一个选项，即完整测试帧是通过在每个范畴选择一个选项再根据选择关系表中选择的关系进行组合得到的。航空行李托运计费服务完整测试帧如表 5-20 所示：

表 5-20 航空行李托运计费服务完整测试帧

{1a,2a,3a,4a,5a}	{1a,2a,3a,4a,5b}	{1a,2a,3a,4b,5a}	{1a,2a,3a,4b,5b}
{1a,2b,3a,4a,5a}	{1a,2b,3a,4a,5b}	{1a,2b,3a,4b,5a}	{1a,2b,3a,4b,5b}
{1b,2a,3a,4a,5a}	{1b,2a,3a,4a,5b}	{1b,2a,3a,4b,5a}	{1b,2a,3a,4b,5b}
{1b,2b,3a,4a,5a}	{1b,2b,3a,4a,5b}	{1b,2b,3a,4b,5a}	{1b,2b,3a,4b,5b}
{1c,2a,3a,4a,5a}	{1c,2a,3a,4a,5b}	{1c,2a,3a,4b,5a}	{1c,2a,3a,4b,5b}
{1c,2b,3a,4a,5a}	{1c,2b,3a,4a,5b}	{1c,2b,3a,4b,5a}	{1c,2b,3a,4b,5b}
{1c,2a,3b,4a,5a}	{1c,2a,3b,4a,5b}	{1c,2a,3b,4b,5a}	{1c,2a,3b,4b,5b}
{1c,2b,3b,4a,5a}	{1c,2b,3b,4a,5b}	{1c,2b,3b,4b,5a}	{1c,2b,3b,4b,5b}
{1d,2a,3a,4a,5a}	{1d,2a,3a,4a,5b}	{1d,2a,3a,4b,5a}	{1d,2a,3a,4b,5b}
{1d,2b,3a,4a,5a}	{1d,2b,3a,4a,5b}	{1d,2b,3a,4b,5a}	{1d,2b,3a,4b,5b}

完整测试帧生成完毕后，将所有完整测试帧作为输入提供给 METRIC 的支持工具 MR-GEN 进行蜕变关系识别。

蜕变关系识别：

设第一个测试帧的输出用 luggagefee 表示，第二个测试帧的输出用 luggagefee*表示，部分蜕变关系如表 5-21 所示：

表 5-21 METRIC 方法识别出的蜕变关系

蜕变关系序号	r	r _f
1	{1a,2a,3a,4a,5a}->{1a,2a,3a,4a,5b}	luggagefee* = luggagefee = 0
2	{1a,2a,3a,4a,5a}->{1a,2a,3a,4b,5a}	luggagefee* = luggagefee = 0
3	{1a,2a,3a,4a,5a}->{1a,2b,3a,4a,5a}	luggagefee* = luggagefee = 0
4	{1a,2a,3a,4a,5a}->{1b,2a,3a,4a,5a}	luggagefee* = luggagefee = 0
5	{1a,2a,3a,4a,5a}->{1c,2a,3a,4a,5a}	luggagefee* = luggagefee = 0
6	{1a,2a,3a,4a,5a}->{1d,2a,3a,4a,5a}	luggagefee* = luggagefee = 0
7	{1a,2a,3a,4a,5b}->{1a,2a,3a,4b,5b}	luggagefee* > luggagefee
8	{1a,2a,3a,4a,5b}->{1a,2b,3a,4a,5b}	luggagefee* = luggagefee = 0
9	{1a,2a,3a,4a,5b}->{1b,2a,3a,4a,5b}	luggagefee* = luggagefee = 0
10	{1a,2a,3a,4a,5b}->{1c,2a,3a,4a,5b}	luggagefee* = luggagefee = 0
11	{1a,2a,3a,4a,5b}->{1d,2a,3a,4a,5b}	luggagefee* = luggagefee = 0
12	{1a,2a,3a,4b,5a}->{1d,2a,3a,4b,5b}	luggagefee* > luggagefee
13	{1a,2b,3a,4a,5a}->{1a,2b,3a,4a,5b}	luggagefee* = luggagefee = 0
14	{1a,2b,3a,4a,5a}->{1a,2b,3a,4b,5a}	luggagefee* = luggagefee = 0
15	{1a,2b,3a,4a,5a}->{1b,2b,3a,4a,5a}	luggagefee* = luggagefee = 0
16	{1a,2b,3a,4a,5a}->{1c,2b,3a,4a,5a}	luggagefee* = luggagefee = 0
17	{1a,2b,3a,4a,5a}->{1d,2b,3a,4a,5a}	luggagefee* = luggagefee = 0
18	{1a,2b,3a,4a,5b}->{1a,2b,3a,4b,5b}	luggagefee* > luggagefee
19	{1a,2b,3a,4a,5b}->{1b,2b,3a,4a,5b}	luggagefee* = luggagefee = 0
20	{1a,2b,3a,4a,5b}->{1c,2b,3a,4a,5b}	luggagefee* = luggagefee = 0

过程中共生成 780 个候选对，如果要得到全部蜕变关系需要对全部 780 个候选对进行判断。

5.4.3 使用 METRIC*识别蜕变关系

METRIC*使用了包含输入范畴(I-category)和选项(I-choice)与输出范畴(O-category)和选项(O-choice)的测试帧识别蜕变关系。需要首先使用 CHOC’ LATE-DIP 生成包含输入输出的测试帧。

完整测试帧生成：

1. 范畴和选项的划分：

测试人员不仅需要鉴别出对软件执行行为有影响的输入参数或环境条件并定义范畴和选项，还需要鉴别出程序不同的输出情景并定义范畴和选项。联通计费服务的范畴和选项划分如表 5-22 所示：

表 5-22 输入的范畴和选项划分

I-categories	I-choices
I-1. airClass	I-1a. 0（头等舱）
	I-1b. 1（公务舱）
	I-1c. 2（经济舱）
	I-1d. 3（婴儿票）
I-2. region	I-2a. 0（国内航班）
	I-2b. 1（国际航班）
I-3. isStudent	I-3a. 0（不是学生）
	I-3b. 1（是学生）
I-4. Luggage(L)	I-4a. L <= benchmark
	I-4b. L > benchmark
I-5. airfare(E)	I-5a. E = 0
	I-5b. E > 0

表 5-23 输出的范畴和选项划分

output	O-category	O-choices
luggagefee	O-1. whether luggagefee is more than zero	O-1a. luggagefee = 0
		O-1b. luggagefee > 0

2. 建立同时包含 I-choice 和 O-choice 的选择关系表，并且将选择之间的关系记录进入选择关系表中。航空行李托运计费服务的选择关系表如下表 5-24 所示：

表 5-24 扩展的选择关系表

		I-choices												O-choices	
		I-1a	I-1b	I-1c	I-1d	I-2a	I-2b	I-3a	I-3b	I-4a	I-4b	I-5a	I-5b	O-1a	O-1b
I-choices	I-1a	⊐	⊑	⊑	⊑	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐
	I-1b	⊑	⊐	⊑	⊑	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐
	I-1c	⊑	⊑	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐
	I-1d	⊑	⊑	⊑	⊐	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐
	I-2a	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐
	I-2b	⊐	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐
	I-3a	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐
	I-3b	⊑	⊑	⊐	⊑	⊐	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐
	I-4a	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐	⊑
	I-4b	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐
	I-5a	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐	⊑
	I-5b	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐	⊐	⊐
O	O-1a	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊑
	O-1b	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊐	⊑	⊐

3. 使用扩展的选择关系表生成完整测试帧。
- 依据扩展关系表中选项之间的关系将选项组合，形成表 5-25 的 IO-CTF。

表 5-25 航空行李计费服务 IO-CTF

{I-1a,I-2a,I-3a,I-4a,I-5a;O-1a}	{I-1a,I-2a,I-3a,I-4a,I-5b;O-1a}	{I-1a,I-2a,I-3a,I-4b,I-5a;O-1a}
{I-1a,I-2a,I-3a,I-4b,I-5b;O-1b}	{I-1a,I-2b,I-3a,I-4a,I-5a;O-1a}	{I-1a,I-2b,I-3a,I-4a,I-5b;O-1a}
{I-1a,I-2b,I-3a,I-4b,I-5a;O-1a}	{I-1a,I-2b,I-3a,I-4b,I-5b;O-1b}	{I-1b,I-2a,I-3a,I-4a,I-5a;O-1a}
{I-1b,I-2a,I-3a,I-4a,I-5b;O-1a}	{I-1b,I-2a,I-3a,I-4b,I-5a;O-1a}	{I-1b,I-2a,I-3a,I-4b,I-5b;O-1b}
{I-1b,I-2b,I-3a,I-4a,I-5a;O-1a}	{I-1b,I-2b,I-3a,I-4a,I-5b;O-1a}	{I-1b,I-2b,I-3a,I-4b,I-5a;O-1a}
{I-1b,I-2b,I-3a,I-4b,I-5b;O-1b}	{I-1c,I-2a,I-3a,I-4a,I-5a;O-1a}	{I-1c,I-2a,I-3a,I-4a,I-5b;O-1a}
{I-1c,I-2a,I-3a,I-4b,I-5a;O-1a}	{I-1c,I-2a,I-3a,I-4b,I-5b;O-1b}	{I-1c,I-2b,I-3a,I-4a,I-5a;O-1a}
{I-1c,I-2b,I-3a,I-4a,I-5b;O-1a}	{I-1c,I-2b,I-3a,I-4b,I-5a;O-1a}	{I-1c,I-2b,I-3a,I-4b,I-5b;O-1b}
{I-1c,I-2a,I-3b,I-4a,I-5a;O-1a}	{I-1c,I-2a,I-3b,I-4a,I-5b;O-1a}	{I-1c,I-2a,I-3b,I-4b,I-5a;O-1a}
{I-1c,I-2a,I-3b,I-4b,I-5b;O-1b}	{I-1c,I-2b,I-3b,I-4a,I-5a;O-1a}	{I-1c,I-2b,I-3b,I-4a,I-5b;O-1a}
{I-1c,I-2b,I-3b,I-4b,I-5a;O-1a}	{I-1c,I-2b,I-3b,I-4b,I-5b;O-1b}	{I-1d,I-2a,I-3a,I-4a,I-5a;O-1a}
{I-1d,I-2a,I-3a,I-4a,I-5b;O-1a}	{I-1d,I-2a,I-3a,I-4b,I-5a;O-1a}	{I-1d,I-2a,I-3a,I-4b,I-5b;O-1b}
{I-1d,I-2b,I-3a,I-4a,I-5a;O-1a}	{I-1d,I-2b,I-3a,I-4a,I-5b;O-1a}	{I-1d,I-2b,I-3a,I-4b,I-5a;O-1a}
{I-1d,I-2b,I-3a,I-4b,I-5b;O-1b}		

测试帧生成完毕后，按照 METRIC*方法的步骤，我们将对联通计费服务进行蜕变关系识别。

蜕变关系识别：

按 O-choice 将 IO-CTF 归类，具有相同 O-choice 组合的 IO-CTF 归为一组，如表 5-26 所示：

表 5-26 航空行李计费服务 IO-CTF 分类

O-choices	Complete test frames	
O-1a. luggagefee = 0	{l-1a,l-2a,l-3a,l-4a,l-5a;O-1a}	{l-1a,l-2a,l-3a,l-4a,l-5b;O-1a}
	{l-1a,l-2a,l-3a,l-4b,l-5a;O-1a}	{l-1a,l-2b,l-3a,l-4a,l-5a;O-1a}
	{l-1a,l-2b,l-3a,l-4a,l-5b;O-1a}	{l-1a,l-2b,l-3a,l-4b,l-5a;O-1a}
	{l-1b,l-2a,l-3a,l-4a,l-5a;O-1a}	{l-1b,l-2a,l-3a,l-4a,l-5b;O-1a}
	{l-1b,l-2a,l-3a,l-4b,l-5a;O-1a}	{l-1b,l-2b,l-3a,l-4a,l-5a;O-1a}
	{l-1b,l-2b,l-3a,l-4a,l-5b;O-1a}	{l-1b,l-2b,l-3a,l-4b,l-5a;O-1a}
	{l-1c,l-2a,l-3a,l-4a,l-5a;O-1a}	{l-1c,l-2a,l-3a,l-4a,l-5b;O-1a}
	{l-1c,l-2a,l-3a,l-4b,l-5a;O-1a}	{l-1c,l-2b,l-3a,l-4a,l-5a;O-1a}
	{l-1c,l-2b,l-3a,l-4a,l-5b;O-1a}	{l-1c,l-2b,l-3a,l-4b,l-5a;O-1a}
	{l-1c,l-2a,l-3b,l-4a,l-5a;O-1a}	{l-1c,l-2a,l-3b,l-4a,l-5b;O-1a}
	{l-1c,l-2a,l-3b,l-4b,l-5a;O-1a}	{l-1c,l-2b,l-3b,l-4a,l-5a;O-1a}
	{l-1c,l-2b,l-3b,l-4a,l-5b;O-1a}	{l-1c,l-2b,l-3b,l-4b,l-5a;O-1a}
	{l-1d,l-2a,l-3a,l-4a,l-5a;O-1a}	{l-1d,l-2a,l-3a,l-4a,l-5b;O-1a}
	{l-1d,l-2a,l-3a,l-4b,l-5a;O-1a}	{l-1d,l-2b,l-3a,l-4a,l-5a;O-1a}
	{l-1d,l-2b,l-3a,l-4a,l-5b;O-1a}	{l-1d,l-2b,l-3a,l-4b,l-5a;O-1a}
O-1b. luggagefee > 0	{l-1a,l-2a,l-3a,l-4b,l-5b;O-1b}	{l-1a,l-2b,l-3a,l-4b,l-5b;O-1b}
	{l-1b,l-2a,l-3a,l-4b,l-5b;O-1b}	{l-1b,l-2b,l-3a,l-4b,l-5b;O-1b}
	{l-1c,l-2a,l-3a,l-4b,l-5b;O-1b}	{l-1c,l-2b,l-3a,l-4b,l-5b;O-1b}
	{l-1c,l-2a,l-3b,l-4b,l-5b;O-1b}	{l-1c,l-2b,l-3b,l-4b,l-5b;O-1b}
	{l-1d,l-2a,l-3a,l-4b,l-5b;O-1b}	{l-1d,l-2b,l-3a,l-4b,l-5b;O-1b}

检查同组内的每对不同完整测试帧，得到如何从一个 I-choice 组合到另一个 I-choice 组合的变换关系。即可得到一个蜕变关系：当某一 I-choice 组合变换到另一 I-choice 组合，输出依然在某一 O-choice 组合内。对于两个不同组，检查两组对应的 O-choice 组合是否存在某种关系 r_f ，检查该两组间的每对不同完整测试帧，得到如何从一个 I-choice 组合到另一个 I-choice 组合的变换关系，即可得到一个蜕变关系：当某一 I-choice 组合变换到另一 I-choice 组合，输出存在关系 r_f 。

按照以上思路，我们对航空行李托运计费服务进行蜕变关系识别。

1. 组内比较：

对于 O-1a 组内的完整测试帧，任选两个并进行组合（完整测试帧记为 IO-CTF₁ 和 IO-CTF₂），可得到如下形式的蜕变关系：当输入由 IO-CTF₁ 的 I-choice

变化成 IO-CTF₂ 的 I-choice，输出不变且为 0。

举例：

我们将{l-1a, l-2a, l-3a, l-4a, l-5a;O-1a}与{l-1c, l-2b, l-3a, l-4a, l-5b;O-1a}进行比较。首先由于 O-choice 不变，故 r_f 为：行李费用不变化且为 0 ($\text{luggagefee}^* = \text{luggagefee} = 0$)。我们再对输入进行比较，可得到输入之间的变化关系 r 为：乘客不是学生，行李重量小于限制标准，乘客的舱位由头等舱变化为公务舱，航班由国内航班变化为国际航班，机票费用由 0 变化为大于 0。接下来我们将 r 与 r_f 组合在一起即可得到如下蜕变关系：在乘客不是学生、行李重量小于限制标准、乘客的舱位由头等舱变化为公务舱、航班由国内航班变化为国际航班、机票费用由 0 变化为大于 0 的情况下，行李费用不产生变化且等于 0。完整测试帧如表 5-27：

表 5-27 组内测试帧对比得到的蜕变关系举例

r	r_f
{l-1a, l-2a, l-3a, l-4a, l-5a;O-1a}--> {l-1c, l-2b, l-3a, l-4a, l-5b;O-1a}	$\text{luggagefee}^* = \text{luggagefee} = 0$

对于 O-1b 组，我们无法进行组内比较，原因是我们仅仅能够得知组内两个测试帧的输出都满足大于 0 的条件，但是输出之间的变化我们无法像 O-1a 组那样确定下来。

蜕变关系可以通过测试帧两两组合得到 r 并结合 r_f 得出，这里不再列出蜕变关系。组内比较可得到的蜕变关系数目是 $C_{30}^2 = 435$ 。

2. 组间比较：

对于 O-1a 组与 O-1b 组，我们首先比较 O-choice 组合的变化得出 r_f ：O-1a 变化为 O-1b 时，行李费用增大 ($\text{luggagefee}^* > \text{luggagefee}$)。

从 O-1a 组中选择一个完整测试帧 IO-CTF₃，从 O-1b 组中选择一个完整测试帧 IO-CTF₄，把 IO-CTF₃ 与 IO-CTF₄ 进行组合可得到形式如下的蜕变关系：当输出由 IO-CTF₃ 的 I-choice 变化成 IO-CTF₄ 的 I-choice，行李费用增大。

举例：

{l-1a, l-2a, l-3a, l-4a, l-5a;O-1a}与{l-1a, l-2b, l-3a, l-4b, l-5b;O-1b}进行比较。首先 O-choice 的变化关系 r_f 上面已经给出：O-1a 变化为 O-1a 时，行李费用增大 ($\text{luggagefee}^* > \text{luggagefee}$)。接下来比较两个测试帧得出输入之间的变化关系 r ：乘客舱位为头等舱，乘客是学生，航班类型由国内航班变化为国际航班，行李重量由小于限制标准变化为大于限值标准，机票费用由等于 0

变化为大于 0。我们将 r 与 r_f 进行结合就可以得到如下蜕变关系：在乘客舱位为头等舱、乘客是学生、航班类型由国内航班变化为国际航班、行李重量由小于限制标准变化为大于限值标准、机票费用由等于 0 变化为大于 0 的情况下，行李费用增大。用完整测试帧表示如表 5-28：

表 5-28 组间测试帧对比得到的蜕变关系举例

r	r_f
{l-1a, l-2a, l-3a, l-4a, l-5a;O-1a}--> { l-1a, l-2b, l-3a, l-4b, l-5b;O-1b}	luggagefee* > luggagefee

蜕变关系可以通过测试帧两两组合得到 r 并结合组间关系 r_f 得出。

在组内比较中，共生成 2 个候选组，435 个候选对。在组间比较过程中，共生成 1 个候选组，300 个候选对。共计 3 个候选组，735 个候选对。

5.4.4 结论

回答问题 1：在航空行李托运计费服务的实例研究中，METRIC*成功识别出了该对象中的蜕变关系。METRIC*被证明是可行的。

回答问题 2：对于航空行李托运计费服务，METRIC 需要比较的候选对的数目为 780，而 METRIC*需要比较的候选对数目为 735。后者需要比较的候选对数略少于前者，说明 METRIC*能够剔除无用候选对，在一定程度上减少对无用候选对进行判断的情况。

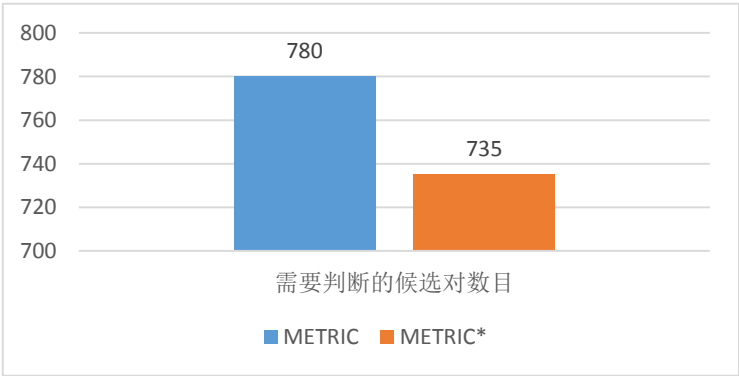


图 5-2 航空行李托运计费服务 METRIC 对比 METRIC*

在这个实例中 METRIC*仅仅减少了很小一部分需要判断的候选对数目。

5.5 实例研究三：费用补偿系统 EXP

5.5.1 规格描述

费用补偿系统协助公司销售总监：（1）确定每个高级销售经理和销售经理因使用公司车辆产生的“过度”英里数而应向公司补偿的费用（2）处理高级销售经理、销售经理和销售主管有关机票、酒店住宿、吃饭和电话等各种类型的补偿请求。

（1） 输入规格描述如表 5-29 所示：

表 5-29 EXP 输入规格描述 1

输入参数	类型
Staff ID	String
Staff name	String
Staff level	int
Actual mileage for the month	double
Monthly sales amount	double
Airfare	double

Staff ID 表示员工的 ID；Staff name 表示员工姓名；Staff level 表示员工的等级，有高级销售经理（senior sales manager）、销售经理（sales manager）和销售主管（sales supervisor）；Actual mileage for the month 表示当月实际英里数，即使用公司车辆的英里数；Monthly sales amount 表示当月实际销售额；Airfare 表示当月机票费用，即员工申请补偿的机票费用。

由于公司车辆仅指派给高级销售经理和销售经理使用，因此 Actual mileage for the month 仅对高级销售经理和销售经理有用。

如果当月实际销售额不少于\$100,000，则还会出现其他费用报销的输入界面，参数如表 5-30 所示：

表 5-30 EXP 输入规格描述 2

输入参数	类型
Other expenses	double

（2） 输出规格描述

费用补偿系统的输出规格描述如下表 5-31 所示：

表 5-31 EXP 输出规格描述

输出参数	类型
Staff ID	String
Staff name	String
Staff level	int
Total reimbursement amount	double

Staff ID 表示员工的 ID；Staff name 表示员工姓名；Staff level 表示员工的等；Total reimbursement amount 为全部补偿费用，其计算方法如表 5-32 所示：

表 5-32 EXP 补偿费用计算方法

员工等级	计算方法
高级销售经理、销售经理	全部补偿费用=机票补偿费用+其他补偿费用-偿付公司的额外英里数费用
销售主管	全部补偿费用=机票补偿费用+其他补偿费用

当下表的条件满足时，高级销售经理、销售经理和销售主管可以享受飞机票补偿，条件如表 5-33 所示：

表 5-33 飞机票补偿条件

员工等级	条件
高级销售经理	没有条件
销售经理	当月销售额 \geq \$50,000
销售主管	当月销售额 \geq \$80,000

若当月销售额不少于\$100,000，任何等级的员工都可享受其他费用补偿。

偿付公司的额外英里数费用对于不同等级的员工有不同的计算方法。对于每一个高级销售经理和销售经理，每月有定量的公司车辆使用英里数限额（x 公里），高级销售经理为 $x=4000$ ，销售经理为 $x=3000$ 。若一个员工当月实际车辆使用英里数（y 公里）没有超过限额的话，那么他不需要向公司偿付额外英里数费用；如果超过限额的话，那么需要根据下表 5-34 计算向公司偿付的额外英里数费用：

表 5-34 额外英里数费用计算

员工等级	每月限额	向公司偿付的费用	偿付条件
高级销售经理	4000	$\$ 5 \cdot (y-x)$	$y > x$
销售经理	3000	$\$ 8 \cdot (y-x)$	$y > x$

5.5.2 使用 METRIC 识别蜕变关系

METRIC 框架使用 CHOC’LATE 测试用例生成方法产生的完整测试帧并识别蜕变关系，故需要先生成测试对象的测试帧。

完整测试帧生成：

生成测试帧主要经历以下三个步骤：

1. 划分范畴和选项。

测试人员首先鉴别出对软件执行行为有影响的输入参数或环境条件。输入参数或环境条件被定义为范畴(category)。每一个范畴被进一步划分为不同的选项(choice)，选项代表着其所属范畴可能产生的不同情况。费用补偿系统的范畴和选项划分如表 5-35 所示：

表 5-35 EXP 范畴和选项的划分

Categories	Choices
1. Staff Level	1a. senior sales manager
	1b. sales manager
	1c. sales supervisor
2. Actual Monthly Mileage(y)	2a. $0 \leq y \leq 3,000$
	2b. $3,000 < y \leq 4,000$
	2c. $y > 4000$
3. Mountly Sales Amount(s)	3a. $0 \leq s < 50,000$
	3b. $50,000 \leq s < 80,000$
	3c. $80,000 \leq s < 100,000$
	3d. $s \geq 100,000$
4. Airfare(f)	4a. $f = 0$
	4b. $f > 0$
5. Other Expenses(e)	5a. $e = 0$
	5b. $e > 0$

2. 确定每对选择之间的关系，并将关系记录至选择关系表，如下表 5-36 所示：

表 5-36 EXP 选择关系表

	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	3d	4a	4b	5a	5b
1a	□	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
1b	☑	□	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
1c	☑	☑	□	☑	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2a	☐	☐	☑	□	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2b	☐	☐	☑	☑	□	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
2c	☐	☐	☑	☑	☑	□	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
3a	☐	☐	☐	☐	☐	☐	□	☑	☑	☑	☐	☐	☑	☑
3b	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	□	☑	☑	☐	☐	☑	☑
3c	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	□	☑	☐	☐	☑	☑
3d	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	□	☐	☐	☐	☐
4a	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	□	☑	☐	☐
4b	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	□	☐	☐
5a	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	□	☐	☐	□	☑
5b	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☑	☑	□	☐	☐	☑	□

3. 使用选择关系表生成完整测试帧

完整测试帧是选择的集合，这个集合包含每个范畴其中的一个选项，即完整测试帧是通过在每个范畴选择一个选项再根据选择关系表中选择的关系进行组合得到的。EXP 的完整测试帧如下表 5-37 所示：

表 5-37 EXP 完整测试帧

{1a,2a,3a,4a}	{1a,2a,3a,4b}	{1a,2a,3b,4a}	{1a,2a,3b,4b}
{1a,2a,3c,4a}	{1a,2a,3c,4b}	{1a,2a,3d,4a,5a}	{1a,2a,3d,4a,5b}
{1a,2a,3d,4b,5a}	{1a,2a,3d,4b,5b}	{1a,2b,3a,4a}	{1a,2b,3a,4b}
{1a,2b,3b,4a}	{1a,2b,3b,4b}	{1a,2b,3c,4a}	{1a,2b,3c,4b}
{1a,2b,3d,4a,5a}	{1a,2b,3d,4a,5b}	{1a,2b,3d,4b,5a}	{1a,2b,3d,4b,5b}
{1a,2c,3a,4a}	{1a,2c,3a,4b}	{1a,2c,3b,4a}	{1a,2c,3b,4b}
{1a,2c,3c,4a}	{1a,2c,3c,4b}	{1a,2c,3d,4a,5a}	{1a,2c,3d,4a,5b}
{1a,2c,3d,4b,5a}	{1a,2c,3d,4b,5b}	{1b,2a,3a,4a}	{1b,2a,3a,4b}
{1b,2a,3b,4a}	{1b,2a,3b,4b}	{1b,2a,3c,4a}	{1b,2a,3c,4b}
{1b,2a,3d,4a,5a}	{1b,2a,3d,4a,5b}	{1b,2a,3d,4b,5a}	{1b,2a,3d,4b,5b}
{1b,2b,3a,4a}	{1b,2b,3a,4b}	{1b,2b,3b,4a}	{1b,2b,3b,4b}
{1b,2b,3c,4a}	{1b,2b,3c,4b}	{1b,2b,3d,4a,5a}	{1b,2b,3d,4a,5b}
{1b,2b,3d,4b,5a}	{1b,2b,3d,4b,5b}	{1b,2c,3a,4a}	{1b,2c,3a,4b}
{1b,2c,3b,4a}	{1b,2c,3b,4b}	{1b,2c,3c,4a}	{1b,2c,3c,4b}
{1b,2c,3d,4a,5a}	{1b,2c,3d,4a,5b}	{1b,2c,3d,4b,5a}	{1b,2c,3d,4b,5b}
{1c,3a,4a}	{1c,3a,4b}	{1c,3b,4a}	{1c,3b,4b}
{1c,3c,4a}	{1c,3c,4b}	{1c,3d,4a,5a}	{1c,3d,4a,5b}
{1c,3d,4b,5a}	{1c,3d,4b,5b}		

完整测试帧生成完毕后，将所有完整测试帧作为输入提供给 METRIC 的支持工具 MR-GEN 进行蜕变关系识别。

蜕变关系识别：

依据 METRIC 的三个步骤对费用补偿系统 EXP 进行蜕变关系识别。第一个完整测试帧的输出用 amount 表示，第二个完整测试帧的输出用 amount* 表示，部分蜕变关系如表 5-38 所示：

表 5-38 METRIC 方法得到的 EXP 的部分蜕变关系

蜕变关系序号	r	r _f
1	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2a,3a,4b}	amount* > amount
2	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2a,3b,4a}	amount* = amount = 0
3	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2a,3c,4a}	amount* = amount = 0
4	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2b,3a,4a}	amount* = amount = 0
5	{1a,2a,3a,4a} -> {1a,2c,3a,4a}	amount* < amount
6	{1a,2a,3a,4a} -> {1b,2a,3a,4a}	amount* = amount = 0
7	{1a,2a,3b,4a} -> {1a,2a,3b,4b}	amount* > amount
8	{1a,2a,3b,4a} -> {1a,2a,3c,4a}	amount* = amount = 0
9	{1a,2a,3b,4a} -> {1a,2b,3b,4a}	amount* = amount = 0
10	{1a,2a,3b,4a} -> {1a,2c,3b,4a}	amount* < amount
11	{1a,2a,3b,4a} -> {1b,2a,3b,4a}	amount* = amount = 0
12	{1a,2a,3c,4a} -> {1a,2a,3c,4b}	amount* > amount
13	{1a,2a,3c,4a} -> {1a,2b,3c,4a}	amount* = amount = 0
14	{1a,2a,3c,4a} -> {1a,2c,3c,4a}	amount* < amount
15	{1a,2a,3c,4a} -> {1b,2a,3c,4a}	amount* = amount = 0
16	{1a,2a,3d,4a,5a} -> {1a,2a,3d,4a,5b}	amount* > amount
17	{1a,2a,3d,4a,5a} -> {1a,2a,3d,4b,5a}	amount* > amount
18	{1a,2a,3d,4a,5a} -> {1a,2b,3d,4a,5a}	amount* = amount = 0
19	{1a,2a,3d,4a,5a} -> {1a,2c,3d,4a,5a}	amount* < amount
20	{1a,2a,3d,4a,5a} -> {1b,2a,3d,4a,5a}	amount* = amount = 0

共生成 2145 个候选对，如果要得到全部蜕变关系需要对全部 2145 个候选对进行判断。

5.5.3 使用 METRIC* 识别蜕变关系

METRIC* 使用了包含输入范畴(I-category)和选项(I-choice)与输出范畴(O-category)和选项(O-choice)的测试帧识别蜕变关系。需要首先使用 CHOC’ LATE-DIP 生成包含输入输出的测试帧。

完整测试帧生成：

生成测试帧主要经历以下三个步骤：

1. 划分范畴和选项

测试人员不仅需要鉴别出对软件执行行为有影响的输入参数或环境条件并定义范畴和选项，还需要鉴别出程序不同的输出情景并定义范畴和选项。费用补偿系统的范畴和选项划分如表 5-39 所示：

表 5-39 EXP 的输入范畴和选项的划分

I-categories	I-choices
I-1. Staff Level	I-1a. senior sales manager
	I-1b. sales manager
	I-1c. sales supervisor
I-2. Actual Monthly Mileage(y)	I-2a. $0 \leq y \leq 3,000$
	I-2b. $3,000 < y \leq 4,000$
	I-2c. $y > 4000$
I-3. Monthly Sales Amount(s)	I-3a. $0 \leq s < 50,000$
	I-3b. $50,000 \leq s < 80,000$
	I-3c. $80,000 \leq s < 100,000$
	I-3d. $s \geq 100,000$
I-4. Airfare(f)	I-4a. $f = 0$
	I-4b. $f > 0$
I-5. Other Expenses(e)	I-5a. $e = 0$
	I-5b. $e > 0$

全部补偿费用(amount)=机票补偿费用(airfare)+其他补偿费用(other expenses)+偿付公司的额外英里数费用(fee for the use of car)，我按照这三个构成因素将 O-category 划分为三部分，如表 5-40 所示：

表 5-40 EXP 的输出范畴和选项的划分

Output	O-category	O-choices
amount	O-1. fee for the use of car (c)	O-1a. $c = 0$
		O-1b. $c < 0$
	O-2. actual reimbursement of airfare(f)	O-2a. $f = 0$
		O-2b. $f > 0$
	O-3. actual reimbursement of other expenses(e)	O-3a. $e = 0$
		O-3b. $e > 0$

这里偿付公司的额外英里数费用为负数时表示应向公司偿还额外英里数费用。

2. 建立同时包含 I-choice 和 O-choice 的选择关系表，并且将选择之间的关系记录进入选择关系表中。

EXP 扩展的选择关系表如表 5-41 所示：

表 5-41 扩展的选择关系表

		I-choices																				
		I-1a	I-1b	I-1c	I-2a	I-2b	I-2c	I-3a	I-3b	I-3c	I-3d	I-4a	I-4b	I-5a	I-5b	O-1a	O-1b	O-2a	O-2b	O-3a	O-3b	
I-choices	I-1a	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	I-1b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	I-1c	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	I-2a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	I-2b	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	I-2c	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	I-3a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	I-3b	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	I-3c	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	I-3d	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	I-4a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	I-4b	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	I-5a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	I-5b	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
O-choices	O-1a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	O-1b	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	O-2a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	O-2b	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	O-3a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	O-3b	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

注：这里存在一个问题。当一个 sales manager 的月销售额不小于\$50000 时，他可以获得飞机票补偿，这种情况属于两个 I-choice 决定一个 O-choice，这种关系不能很好地在选择关系表中表达，因此会产生无效测试帧的情况。故根据这个表生成测试帧后需要将无效的测试帧除去。类似的两个 I-choice 决定一个 O-choice 的情况还有：（1）当 sales supervisor 的月销售额不小于\$80000 时，他可以获得飞机票补偿；（2）当 senior sales manager 的当月车辆使用英里数大于 4000 时，需要向公司偿付的额外英里数费用；（3）当 sales manager 的当月车辆使用英里数大于 3000 时，需要向公司偿付额外英里数费用。

3. 使用扩展的选择关系表生成完整测试帧

依据选择关系表中选项与选项之间的关系，将不同范畴中的选项组合在一起，即可得到包含输入输出的完整测试帧。EXP 的 IO-CTF 如下表 5-42 所示：

表 5-42 EXP 的 IO-CTF

{ I-1a, I-2a, I-3a, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1a, I-2a, I-3a, I-4b;O-1a,O-2b,O-3a}	{ I-1a, I-2a, I-3b, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}
{ I-1a, I-2a, I-3b, I-4b;O-1a,O-2b,O-3a}	{ I-1a, I-2a, I-3c, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1a, I-2a, I-3c, I-4b;O-1a,O-2b,O-3a}
{ I-1a, I-2a, I-3d, I-4a, I-5a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1a, I-2a, I-3d, I-4a, I-5b;O-1a,O-2a,O-3b}	{ I-1a, I-2a, I-3d, I-4b, I-5a;O-1a,O-2b,O-3a}
{ I-1a, I-2a, I-3d, I-4b, I-5b;O-1a,O-2b,O-3b}	{ I-1a, I-2b, I-3a, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1a, I-2b, I-3a, I-4b;O-1a,O-2b,O-3a}
{ I-1a, I-2b, I-3b, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1a, I-2b, I-3b, I-4b;O-1a,O-2b,O-3a}	{ I-1a, I-2b, I-3c, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}
{ I-1a, I-2b, I-3c, I-4b;O-1a,O-2b,O-3a}	{ I-1a, I-2b, I-3d, I-4a, I-5a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1a, I-2b, I-3d, I-4a, I-5b;O-1a,O-2a,O-3b}
{ I-1a, I-2b, I-3d, I-4b, I-5a;O-1a,O-2b,O-3a}	{ I-1a, I-2b, I-3d, I-4b, I-5b;O-1a,O-2b,O-3b}	{ I-1a, I-2c, I-3a, I-4a;O-1b,O-2a,O-3a}
{ I-1a, I-2c, I-3a, I-4b;O-1b,O-2b,O-3a}	{ I-1a, I-2c, I-3b, I-4a;O-1b,O-2a,O-3a }	{ I-1a, I-2c, I-3b, I-4b;O-1b,O-2b,O-3a}
{ I-1a, I-2c, I-3c, I-4a;O-1b,O-2a,O-3a}	{ I-1a, I-2c, I-3c, I-4b;O-1b,O-2b,O-3a}	{ I-1a, I-2c, I-3d, I-4a, I-5a;O-1b,O-2a,O-3a}
{ I-1a, I-2c, I-3d, I-4a, I-5b;O-1b,O-2a,O-3b}	{ I-1a, I-2c, I-3d, I-4b, I-5a;O-1b,O-2b,O-3a}	{ I-1a, I-2c, I-3d, I-4b, I-5b;O-1b,O-2b,O-3b}
{ I-1b, I-2a, I-3a, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1b, I-2a, I-3a, I-4b;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1b, I-2a, I-3b, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}
{ I-1b, I-2a, I-3b, I-4b;O-1a,O-2b,O-3a}	{ I-1b, I-2a, I-3c, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1b, I-2a, I-3c, I-4b;O-1a,O-2b,O-3a}
{ I-1b, I-2a, I-3d, I-4a, I-5a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1b, I-2a, I-3d, I-4a, I-5b;O-1a,O-2a,O-3b}	{ I-1b, I-2a, I-3d, I-4b, I-5a;O-1a,O-2b,O-3a}
{ I-1b, I-2a, I-3d, I-4b, I-5b;O-1a,O-2b,O-3b}	{ I-1b, I-2b, I-3a, I-4a;O-1b,O-2a,O-3a}	{ I-1b, I-2b, I-3a, I-4b;O-1b,O-2a,O-3a}
{ I-1b, I-2b, I-3b, I-4a;O-1b,O-2a,O-3a}	{ I-1b, I-2b, I-3b, I-4b;O-1b,O-2b,O-3a}	{ I-1b, I-2b, I-3c, I-4a;O-1b,O-2a,O-3a}
{ I-1b, I-2b, I-3c, I-4b;O-1b,O-2b,O-3a}	{ I-1b, I-2b, I-3d, I-4a, I-5a;O-1b,O-2a,O-3a}	{ I-1b, I-2b, I-3d, I-4a, I-5b;O-1b,O-2a,O-3b}
{ I-1b, I-2b, I-3d, I-4b, I-5a;O-1b,O-2b,O-3a}	{ I-1b, I-2b, I-3d, I-4b, I-5b;O-1b,O-2b,O-3b}	{ I-1b, I-2c, I-3a, I-4a;O-1b,O-2a,O-3a}
{ I-1b, I-2c, I-3a, I-4b;O-1b,O-2a,O-3a}	{ I-1b, I-2c, I-3b, I-4a;O-1b,O-2a,O-3a}	{ I-1b, I-2c, I-3b, I-4b;O-1b,O-2b,O-3a}
{ I-1b, I-2c, I-3c, I-4a;O-1b,O-2a,O-3a}	{ I-1b, I-2c, I-3c, I-4b;O-1b,O-2b,O-3a}	{ I-1b, I-2c, I-3d, I-4a, I-5a;O-1b,O-2a,O-3a}
{ I-1b, I-2c, I-3d, I-4a, I-5b;O-1b,O-2a,O-3b}	{ I-1b, I-2c, I-3d, I-4b, I-5a;O-1b,O-2b,O-3a}	{ I-1b, I-2c, I-3d, I-4b, I-5b;O-1b,O-2b,O-3b}
{ I-1c, I-3a, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1c, I-3a, I-4b;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1c, I-3b, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}
{ I-1c, I-3b, I-4b;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1c, I-3c, I-4a;O-1a,O-2a,O-3a}	{ I-1c, I-3c, I-4b;O-1a,O-2b,O-3a}
{ I-1c, I-3d, I-4a, I-5a;O-1a,O-2a,O-3a }	{ I-1c, I-3d, I-4a, I-5b;O-1a,O-2a,O-3b}	{ I-1c, I-3d, I-4b, I-5a;O-1a,O-2b,O-3a}
{ I-1c, I-3d, I-4b, I-5b;O-1a,O-2b,O-3b}		

测试帧生成完毕后，按照 METRIC*方法的步骤，我们将对联通计费服务进行蜕变关系识别。

蜕变关系识别：

按 O-choice 将 IO-CTF 归类，具有相同 O-choice 组合的 IO-CTF 归为一组。分类结果如下表 5-43 所示：

表 5-43 IO-CTF 的分类

O-choices 组合	Complete test frames
{O-1a,O-2a,O-3a}	{l-1a,l-2a,l-3a,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1a,l-2a,l-3b,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1a,l-2a,l-3c,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1a,l-2a,l-3d,l-4a,l-5a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1a,l-2b,l-3a,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1a,l-2b,l-3b,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1a,l-2b,l-3c,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1a,l-2b,l-3d,l-4a,l-5a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2a,l-3a,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2a,l-3b,l-4b;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2a,l-3b,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2a,l-3c,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2a,l-3d,l-4a,l-5a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1c,l-3a,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1c,l-3a,l-4b;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1c,l-3b,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1c,l-3b,l-4b;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1c,l-3c,l-4a;O-1a,O-2a,O-3a} {l-1c,l-3d,l-4a,l-5a;O-1a,O-2a,O-3a}
{O-1a,O-2a,O-3b}	{l-1a,l-2a,l-3d,l-4a,l-5b;O-1a,O-2a,O-3b} {l-1a,l-2b,l-3d,l-4a,l-5b;O-1a,O-2a,O-3b} {l-1b,l-2a,l-3d,l-4a,l-5b;O-1a,O-2a,O-3b} {l-1c,l-3d,l-4a,l-5b;O-1a,O-2a,O-3b}
{O-1a,O-2b,O-3a}	{l-1a,l-2a,l-3a,l-4b;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1a,l-2a,l-3b,l-4b;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1a,l-2a,l-3c,l-4b;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1a,l-2a,l-3d,l-4b,l-5a;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1a,l-2b,l-3a,l-4b;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1a,l-2b,l-3b,l-4b;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1a,l-2b,l-3c,l-4b;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1a,l-2b,l-3d,l-4b,l-5a;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1b,l-2a,l-3b,l-4b;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1b,l-2a,l-3c,l-4b;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1b,l-2a,l-3d,l-4b,l-5a;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1c,l-3c,l-4b;O-1a,O-2b,O-3a} {l-1c,l-3d,l-4b,l-5a;O-1a,O-2b,O-3a}
{O-1a,O-2b,O-3b}	{l-1a,l-2a,l-3d,l-4b,l-5b;O-1a,O-2b,O-3b} {l-1a,l-2b,l-3d,l-4b,l-5b;O-1a,O-2b,O-3b} {l-1b,l-2a,l-3d,l-4b,l-5b;O-1a,O-2b,O-3b} {l-1c,l-3d,l-4b,l-5b;O-1a,O-2b,O-3b}
{O-1b,O-2a,O-3a}	{l-1a,l-2c,l-3a,l-4a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1a,l-2c,l-3b,l-4a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1a,l-2c,l-3c,l-4a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1a,l-2c,l-3d,l-4a,l-5a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2b,l-3a,l-4a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2b,l-3b,l-4b;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2b,l-3b,l-4a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2b,l-3c,l-4a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2b,l-3d,l-4a,l-5a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2c,l-3a,l-4a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2c,l-3a,l-4b;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2c,l-3b,l-4a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2c,l-3c,l-4a;O-1b,O-2a,O-3a} {l-1b,l-2c,l-3d,l-4a,l-5a;O-1b,O-2a,O-3a}
{O-1b,O-2a,O-3b}	{l-1a,l-2c,l-3d,l-4a,l-5b;O-1b,O-2a,O-3b} {l-1b,l-2b,l-3d,l-4a,l-5b;O-1b,O-2a,O-3b} {l-1b,l-2c,l-3d,l-4a,l-5b;O-1b,O-2a,O-3b}
{O-1b,O-2b,O-3a}	{l-1a,l-2c,l-3a,l-4b;O-1b,O-2b,O-3a} {l-1a,l-2c,l-3b,l-4b;O-1b,O-2b,O-3a} {l-1a,l-2c,l-3c,l-4b;O-1b,O-2b,O-3a} {l-1a,l-2c,l-3d,l-4b,l-5a;O-1b,O-2b,O-3a} {l-1b,l-2b,l-3b,l-4b;O-1b,O-2b,O-3a} {l-1b,l-2b,l-3c,l-4b;O-1b,O-2b,O-3a} {l-1b,l-2b,l-3d,l-4b,l-5a;O-1b,O-2b,O-3a} {l-1b,l-2c,l-3b,l-4b;O-1b,O-2b,O-3a} {l-1b,l-2c,l-3c,l-4b;O-1b,O-2b,O-3a} {l-1b,l-2c,l-3d,l-4b,l-5a;O-1b,O-2b,O-3a}
{O-1b,O-2b,O-3b}	{l-1a,l-2c,l-3d,l-4b,l-5b;O-1b,O-2b,O-3b} {l-1b,l-2b,l-3d,l-4b,l-5b;O-1b,O-2b,O-3b} {l-1b,l-2c,l-3d,l-4b,l-5b;O-1b,O-2b,O-3b}

机票补偿费用(airfare)、其他补偿费用(other expenses)、偿付公司的额外英里数费用(fee for the use of car)这三个范畴的不同 choice 组合所对应的 amount 的情况，如表 5-44 所示：

表 5-44 O-choice 组合所对应的最终输出 amount 的情况

组合编号	O-choices	满足 O-choices 组合时最终输出 amount 的情况
1	{ O-1a, O-2a, O-3a }	amount = 0
2	{ O-1a, O-2a, O-3b }	amount > 0
3	{ O-1a, O-2b, O-3a }	amount > 0
4	{ O-1a, O-2b, O-3b }	amount > 0
5	{ O-1b, O-2a, O-3a }	amount < 0
6	{ O-1b, O-2a, O-3b }	amount = 0、amount > 0、amount < 0 皆有可能
7	{ O-1b, O-2b, O-3a }	amount = 0、amount > 0、amount < 0 皆有可能
8	{ O-1b, O-2b, O-3b }	amount = 0、amount > 0、amount < 0 皆有可能

按照 METRIC* 的流程对这个实例进行蜕变关系识别：

1. 组内比较：

在进行同组内的每对不同完整测试帧蜕变关系识别时，我们首先可以发现：对于上表中 1 组来说，实际意义相当好。从 1 组 O-choice 组合我们可以得到 r_f ：当月补偿费用（amount）不产生变化且等于零。从这个组中随意选择两个测试帧记为 IO-CTF₁₁ 和 IO-CTF₁₂，则其中的蜕变关系是当输入由 IO-CTF₁₁ 的输入转化为 IO-CTF₁₂ 的输入时，IO-CTF₁₁ 的输出结果 amount₁₁ 与 IO-CTF₁₂ 的输出结果 amount₁₂ 相等且等于 0。

举例：

选择 1 组中{l-1a, l-2a, l-3a, l-4a;O-1a,O-2a,O-3a}与{l-1a, l-2a, l-3b, l-4a;O-1a,O-2a,O-3a}进行比较。通过比较两个测试帧的输入 choice 组合，我们可以得到输入变化关系 r ：员工等级为高级销售经理，当月销售额 s 满足 $0 \leq s < 50,000$ ，当月申请的机票补偿费用为 0，当月车辆使用英里 y 数由 $0 \leq y \leq 3,000$ 变化到 $3,000 < y \leq 4,000$ 。结合 r_f ，我们可以得到以下蜕变关系：在员工等级为高级销售经理、当月销售额 s 满足 $0 \leq s < 50,000$ 、当月申请的机票补偿费用为 0、当月车辆使用英里 y 数由 $0 \leq y \leq 3,000$ 变化到 $3,000 < y \leq 4,000$ 的情况下，当月补偿费用不会产生变化且等于 0。用 IO-CTF 表示如表 5-45 所示：

表 5-45 组内测试帧对比得到的蜕变关系举例

r	r _f
{l-1a, l-2a, l-3a, l-4a;O-1a,O-2a,O-3a}--> { l-1a, l-2a, l-3b, l-4a;O-1a,O-2a,O-3a}	amount* = amount = 0

对于 2 至 7 组，组内测试帧比较无法得出输出变化关系。通过比较仅仅能得知两个测试帧所分别对应的输出都满足大于 0，但是两个测试帧的输出之间的变化关系我们得不到。

2. 组间比较：

举例：

将{O-1a,O-2a,O-3a}组与{O-1a,O-2b,O-3a}组进行比较，我们可以得到前者 O-choice 组合变化到后者 O-choice 组合的变化关系 r_f 是：当月补偿费用（amount）增大。我们从{O-1a,O-2a,O-3a}组中选择一个完整测试帧{l-1a, l-2a, l-3b, l-4a;O-1a,O-2a,O-3a}，从{O-1a,O-2b,O-3a}组中选择一个完整测试帧{l-1a, l-2a, l-3c, l-4b;O-1a,O-2b,O-3a}。对比输入组合我们可以得到从前者输入到后者输入的变化关系 r：员工等级为 senior sales manager，当月车辆使用英里数 y 满足 $0 \leq y \leq 3,000$ ，当月销售额 s 由 $50,000 \leq s < 80,000$ 变化至 $80,000 \leq s < 100,000$ ，当月申请的机票补偿费用由 0 变化为大于 0。将 r_f 与 r 结合我们即可得到以下蜕变关系：在员工等级为 senior sales manager、当月车辆使用英里数 y 满足 $0 \leq y \leq 3,000$ 、当月销售额 s 由 $50,000 \leq s < 80,000$ 变化至 $80,000 \leq s < 100,000$ 、当月申请的机票补偿费用由 0 变化为大于 0 的情况下，当月补偿费用增大。用 IO-CTF 表示如表 5-46 所示：

表 5-46 组间测试帧对比得到的蜕变关系举例

r	r _f
{l-1a, l-2a, l-3b, l-4a;O-1a,O-2a,O-3a}--> { l-1a, l-2a, l-3c, l-4b;O-1a,O-2b,O-3a}	amount* > amount

首先选取两个 O-choice 组合存在变化关系的组，得出 O-choice 组合存在的变化关系 r_f，再分别从两个组中选择一个测试帧，比较得出输入的变化关系 r。将 r 与 r_f 结合即可得到蜕变关系。存在输出变化关系的候选组，如表 5-47 所示：

表 5-47 存在输出变化关系的候选组

存在输出变化关系的候选组	第一个组中完整测试帧数目	第二个组中完整测试帧数目	蜕变关系系数	r_f (第一组变化到第二组)
{O-1a,O-2a,O-3a}与{O-1a,O-2a,O-3b}	19	4	76	amount* > amount
{O-1a,O-2a,O-3a}与{O-1a,O-2b,O-3a}	19	13	247	amount* > amount
{O-1a,O-2a,O-3a}与{O-2a,O-2b,O-3b}	19	4	76	amount* > amount
{O-1a,O-2a,O-3a}与{O-3b,O-2a,O-3a}	19	14	266	amount* < amount

在组内比较中，共生成 5 个候选组，465 个候选对。在组间比较过程中，共生成 4 个候选组，665 个候选对。共计 9 个候选组，1130 个候选对。

5.5.4 结论

回答问题 1：在费用补偿系统的实例研究中，METRIC*成功识别出了该对象中的蜕变关系。METRIC*被证明是可行的。

回答问题 2：对于费用补偿系统，METRIC 需要比较的候选对的数目为 2145，而 METRIC*需要比较的候选对数目为 1017。后者需要比较的候选对数目大大少于前者，说明 METRIC*能够剔除无用候选对，有效减少对无用候选对进行判断的情况。

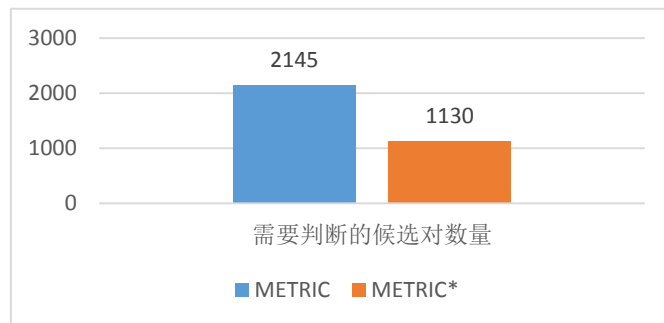


图 5-3 费用补偿系统 METRIC 与 METRIC*比较

METRIC*方法能够更加高效地选择两个测试帧组成有用的 candidate pair 进行对比，极大减少了 METRIC 方法中出现的对比无用 candidate pair 的情况，从而进一步提高了蜕变关系识别的效率。对比的步骤有很多重复的部分，我认为开发支持工具能进一步发挥 METRIC*的优势。

5.6 实例研究四：订餐系统 MOS

5.6.1 规格描述

MOS 被航空餐饮公司用来确定该公司服务的飞机所需要准备和装载的每种类型餐饮和其他特殊要求食物的量。

对于每一架航班，MOS 会产生一个称为“餐饮安排计划报告”（MSR），报告中包含各种各样有关不同舱位餐饮数量的信息：

- （1） 头等舱餐饮数目；
- （2） 商务舱餐饮数目；
- （3） 经济舱餐饮数目；
- （4） 乘务人员餐饮数目；
- （5） 飞行员餐饮数目；
- （6） 儿童餐饮数目；
- （7） 花的数目；

对于一架航班，MOS 需要以下信息来生成 MSR：

- （1） 航班的飞机模型。不同飞机模型存在不同的配置。在 MOS 中，我们假定系统数据库中存在五种模型。表 5-48 对飞机模型进行了详细阐述：

表 5-48 MOS 系统中飞机模型描述

Aircraft model	# of first class seats	# of business class seats	# of economic class seats	# of crew members	# of pilots
747200	0	20	150	10	2
747300	5	25	200	12	3
747400	10	30	240	14	3
000200	0	35	210	13	2
000300	10	40	215	14	3

在上表中第一列，前三个数字的含义是模型的系列，“747”代表波音，“000”代表空中客车；后三个数字的含义是特定系列下的子模型；

- （2） 乘务人员数量（# of crew numbers）是否有变化。如果有变化，则新的数字（大于 0）必须给出，同时这个新的数字将会使用，而不是默认的相关飞机模型的乘务人员数量；

- (3) 飞行员的数量 (# of pilots) 是否有变化。如果有变化, 必须给出新的数字, 同时这个新的数字将会使用, 而不是默认的相关飞机模型的飞行员数量;
- (4) 儿童乘客的数量 (大于等于 0);
- (5) 需要的花的数量 (大于等于 0)。

除了以上的信息, MOS 存在下列假设:

- (1) 每架航班提供两种餐饮;
- (2) 儿童乘客不占用任何座位;
- (3) 假定每架航班被成年乘客全部预订, 所以座位的数量等于在飞机上的成年乘客的数量;

根据以上假设, 每种舱位餐饮的数量是当前舱位座位数的两倍, 儿童餐饮的数量是相对应的儿童乘客数量的两倍, 但需要的花的数目等于相对应的需求数量。

5.6.2 使用 METRIC 识别蜕变关系

METRIC 框架使用 CHOC’LATE 测试用例生成方法产生的完整测试帧并识别蜕变关系, 故需要先生成测试对象的测试帧。

完整测试帧生成:

生成测试帧主要经历以下三个步骤:

1. 划分范畴和选项:

测试人员首先鉴别出对软件执行行为有影响的输入参数或环境条件。输入参数或环境条件被定义为范畴(category)。每一个范畴被进一步划分为不同的选项(choice), 选项代表着其所属范畴可能产生的不同情况。订餐系统的范畴和选项划分如表 5-49 所示:

表 5-49 MOS 范畴选项划分

Categories	Choices
1. Aircraft model	1a. 747200
	1b. 747300
	1c. 747400
	1d. 000200
	1e. 000300
2. Change in the number of crew members	2a yes
	2b. no

表 5-49 MOS 范畴选项划分（续）

Categories	Choices
3. Number of crew(crewNum)	3a. crewNum > default value
	3b. crewNum = default value
	3c. crewNum < default value
4. Change in the number of pilots	4a. yes
	4b. no
5. Number of pilots(pilotNum)	5a. pilotNum > default value
	5b. pilotNum = default value
	5c. pilotNum < default value
6. Number of Child Passengers(childNum)	6a. childNum > 0
	6b. childNum = 0
7. Number of bundles of flowers(flowerNum)	7a. flowerNum > 0
	7b. flowerNum = 0

2. 确定每对选择之间的关系并记录至选择关系表，如表 5-50 所示：

表 5-50 选择关系表

	1a	1b	1c	1d	1e	2a	2b	3a	3b	3c	4a	4b	5a	5b	5c	6a	6b	7a	7b
1a	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1c	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1d	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1e	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3c	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5c	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7a	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7b	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. 使用选择关系表生成完整测试帧

完整测试帧是选择的集合，这个集合包含每个范畴其中的一个选项，即完整测试帧是通过在每个范畴选择一个选项再根据选择关系表中选择的关系进行组合得到的。MOS 的部分完整测试帧如表 5-51 所示：

表 5-51 MOS 部分完整测试帧

{1a,2a,3a,4a,5a,6a,7a}	{1a,2a,3a,4a,5a,6a,7b}	{1a,2a,3a,4a,5a,6b,7a}
{1a,2a,3a,4a,5a,6b,7b}	{1a,2a,3a,4a,5c,6a,7a}	{1a,2a,3a,4a,5c,6a,7b}
{1a,2a,3a,4a,5c,6b,7a}	{1a,2a,3a,4a,5c,6b,7b}	{1a,2a,3a,4b,5b,6a,7a}
{1a,2a,3a,4b,5b,6a,7b}	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7a}	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b}
{1a,2a,3c,4a,5a,6a,7a}	{1a,2a,3c,4a,5a,6a,7b}	{1a,2a,3c,4a,5a,6b,7a}
{1a,2a,3c,4a,5a,6b,7b}	{1a,2a,3c,4a,5c,6a,7a}	{1a,2a,3c,4a,5c,6a,7b}
{1a,2a,3c,4a,5c,6b,7a}	{1a,2a,3c,4a,5c,6b,7b}	{1a,2a,3c,4b,5b,6a,7a}
{1a,2a,3c,4b,5b,6a,7b}	{1a,2a,3c,4b,5b,6b,7a}	{1a,2a,3c,4b,5b,6b,7b}
{1a,2b,3b,4a,5a,6a,7a}	{1a,2b,3b,4a,5a,6a,7b}	{1a,2b,3b,4a,5a,6b,7a}
{1a,2b,3b,4a,5a,6b,7b}	{1a,2b,3b,4a,5c,6a,7a}	{1a,2b,3b,4a,5c,6a,7b}
{1a,2b,3b,4a,5c,6b,7a}	{1a,2b,3b,4a,5c,6b,7b}	{1a,2b,3b,4b,5b,6a,7a}
{1a,2b,3b,4b,5b,6a,7b}	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7a}	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b}

完整测试帧生成完毕后，将所有完整测试帧作为输入提供给 METRIC 的支持工具 MR-GEN 进行蜕变关系识别。

蜕变关系识别：

按照 METRIC 蜕变关系识别的三个步骤，对 MOS 进行蜕变关系识别。部分蜕变关系如表 5-52 所示。其中，↑表示增大，→表示不变，↓表示减少。

表 5-52 使用 METRIC 方法得到的部分蜕变关系

蜕变关系序号	r	cmMealNum 变化	pMealNum 变化	cpMealNum 变化	flowerNum 变化
1	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4b,5b,6b,7a}	→	→	→	↑
2	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4b,5b,6a,7b}	→	→	↑	→
3	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4b,5b,6a,7a}	→	→	↑	↑
4	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5a,6b,7b}	→	↑	→	→
5	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5a,6b,7a}	→	↑	→	↑
6	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5a,6a,7b}	→	↑	↑	→
7	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5a,6a,7a}	→	↑	↑	↑

表 5-52 使用 METRIC 方法得到的部分蜕变关系（续）

蜕变关系 序号	r	cmMealNum 变化	pMealNum 变化	cpMealNum 变化	flowerNum 变化
8	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5c,6b,7b}	→	↓	→	→
9	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5c,6b,7a}	→	↓	→	↑
10	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5c,6a,7b}	→	↓	↑	→
11	{1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5c,6a,7a}	→	↓	↑	↑
12	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4b,5b,6b,7b}	↑	→	→	→
13	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4b,5b,6b,7a}	↑	→	→	↑
14	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4b,5b,6a,7b}	↑	→	↑	→
15	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4b,5b,6a,7a}	↑	→	↑	↑
16	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5a,6b,7b}	↑	↑	→	→
17	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5a,6b,7a}	↑	↑	→	↑
18	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5a,6a,7b}	↑	↑	↑	→
19	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5a,6a,7a}	↑	↑	↑	↑
20	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5c,6b,7b}	↑	↓	→	→
21	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5c,6b,7a}	↑	↓	→	↑
22	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5c,6a,7b}	↑	↓	↑	→
23	{1a,2a,3a,4b,5b,6b,7b} --> {1a,2b,3b,4a,5c,6a,7a}	↑	↓	↑	↑

注：影响乘务人员餐饮数目的输入量为乘务人员变动数目，影响飞行员餐饮数目的输入量为飞行员变动数目，影响儿童餐饮数目的输入量为儿童数目，影响花的数目的输入量为花的需求量。由于乘务人员变动数目、飞行员变动数目、儿童数目、花的需求量互不相关，他们之间的组合所产生的蜕变关系数量众多，不再一一列出。

过程共生成 16110 个候选对，如果要得到全部蜕变关系需要对全部 16110 个候选对进行判断。

5.6.3 使用 METRIC*识别蜕变关系

METRIC*使用了包含输入范畴(I-category)和选项(I-choice)与输出范畴(O-category)和选项(O-choice)的测试帧识别蜕变关系。需要首先使用 CHOC' LATE-DIP 生成包含输入输出的测试帧。

完整测试帧生成：

生成测试帧主要经历以下三个步骤：

1. 划分范畴和选项。

测试人员不仅需要鉴别出对软件执行行为有影响的输入参数或环境条件并定义范畴和选项，还需要鉴别出程序不同的输出情景并定义范畴和选项。MOS 的范畴和选项划分如表 5-53 和 5-54 所示：

表 5-53 MOS 的输入范畴选择划分

I-categories	I-choices
I-1. Aircraft model	I-1a. 747200
	I-1b. 747300
	I-1c. 747400
	I-1d. 000200
	I-1e. 000300
I-2. Change in the number of crew members	I-2a. yes
	I-2b. no
I-3. Number of crew(crewNum)	I-3a. crewNum > default value
	I-3b. crewNum = default value
	I-3c. crewNum < default value
I-4. Change in the number of pilots	I-4a. yes
	I-4b. no
I-5. Number of pilots(pilotNum)	I-5a. pilotNum > default value
	I-5b. pilotNum = default value
	I-5c. pilotNum < default value
I-6. Number of child Passengers(childNum)	I-6a. childNum > 0
	I-6b. childNum = 0
I-7. Number of bundles of flowers(flowerNum)	I-7a. flowerNum > 0
	I-7b. flowerNum = 0

表 5-54 输出的范畴选项划分

Output	O-category	O-choice
Meal schedule report	O-1.Number of crew members' meals(cmMealNum)	O-1a. cmMealNum > 2*default value
		O-1b. cmMealNum = 2*default value
		O-1c. cmMealNum < 2*default value
	O-2.Number of pilots' meals(pMealNum)	O-2a. pMealNum > 2* default value
		O-2b. pMealNum = 2* default value
		O-2c. pMealNum < 2* default value
	O-3.Number of child passengers'meals(cp MealNum)	O-3a. cpMealNum > 0
		O-3b.cpMealNum = 0
	O-4.Number of bundles of flowers(flowerNum)	O-4a.flowerNum > 0
		O-4b.flowerNum = 0
	O-5. Aircraft model	O-5a. 747200
		O-5b. 747300
		O-5c. 747400
		O-5d. 000200
		O-5e. 000300
	O-6.Number of first class meals	O-6a. 0
		O-6b. 5
		O-6c. 10
	O-7.Number of business class meals	O-7a. 20
		O-7b. 25
		O-7c. 30
		O-7d. 35
		O-7e. 40
	O-8.Number of economic class meals	O-8a. 150
		O-8b. 200
		O-8c. 210
		O-8d. 215
		O-8e. 240

将 aircraft model 加入 O-category 并作为 IO-CTF 分组依据的原因：若仅仅按 O-1、O-2、O-3 与 O-4 的选项组合进行分组的话，我们会发现，每个组中的完整测试帧仅仅飞机模型不同。在这种情况下如果进行组内比较，我们仅仅能知道组内两个测试帧的输出结果与 default value 有关，但输出的变化得不到。如果要得到输出变化必须再从规格说明中对不同模型的 default value 进行比较才，这样就加重的工作的复杂度。进行组间比较没有实际意义，原因是如果从两个组分别选取的测试帧具有不同飞机型号，那么比较时会具有

两个变化的部分，一个是飞机模型的差别，一个是组与组之间的差别，更加无法进行比较。故将飞机模型作为 IO-CTF 的分类标准，尽量可以使具有相同飞机型号的 IO-CTF 进行比较；但是在这个例子里由于输出选项之间的约束条件不存在，造成的结果是输出 choice 之间随意组合都有效，并且一个 IO-CTF 就是一个分类。

2. 建立同时包含 I-choice 和 O-choice 的选择关系表，并且将选择之间的关系记录进入选择关系表中。

我们可以直接通过 I-1、I-3、I-5、I-6 和 I-7 分别推知 O-5、O-1、O-2、O-3 和 O-4 的选项，故构建扩展的选择关系表十分简单。

3. 使用扩展的选择关系表生成 IO-CTF。

MOS 的部分 IO-CTF 如表 5-55 所示：

表 5-55 MOS 的部分 IO-CTF

{I-1a,I-2a,I-3a,I-4a,I-5a,I-6a,I-7a;O-1a,O-2a,O-3a,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3a,I-4a,I-5a,I-6b,I-7a;O-1a,O-2a,O-3b,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3a,I-4a,I-5c,I-6a,I-7a;O-1a,O-2c,O-3a,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3a,I-4a,I-5c,I-6b,I-7a;O-1a,O-2c,O-3b,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3a,I-4b,I-5b,I-6a,I-7a;O-1a,O-2b,O-3a,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3a,I-4b,I-5b,I-6b,I-7a;O-1a,O-2b,O-3b,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3c,I-4a,I-5a,I-6a,I-7a;O-1c,O-2a,O-3a,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3c,I-4a,I-5a,I-6b,I-7a;O-1c,O-2a,O-3b,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3c,I-4a,I-5c,I-6a,I-7a;O-1c,O-2c,O-3a,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3c,I-4a,I-5c,I-6b,I-7a;O-1c,O-2c,O-3b,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3c,I-4b,I-5b,I-6a,I-7a;O-1c,O-2b,O-3a,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2a,I-3c,I-4b,I-5b,I-6b,I-7a;O-1c,O-2b,O-3b,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2b,I-3b,I-4a,I-5a,I-6a,I-7a;O-1b,O-2a,O-3a,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2b,I-3b,I-4a,I-5a,I-6b,I-7a;O-1b,O-2a,O-3b,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2b,I-3b,I-4a,I-5c,I-6a,I-7a;O-1b,O-2c,O-3a,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2b,I-3b,I-4a,I-5c,I-6b,I-7a;O-1b,O-2c,O-3b,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2b,I-3b,I-4b,I-5b,I-6a,I-7a;O-1b,O-2b,O-3a,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}
{I-1a,I-2b,I-3b,I-4b,I-5b,I-6b,I-7a;O-1b,O-2b,O-3b,O-4a,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a}

测试帧生成完毕后，按照 METRIC*方法的步骤，我们将对联通计费服务进行蜕变关系识别。

蜕变关系识别：

为了寻找输出之间的变化关系，表 5-56 列出了包含乘务人员变动数目、飞

行员变动数目、儿童数目及花的需求量四个范畴的选项组合所对应的乘务人员餐饮数目、飞行员餐饮数目、儿童餐饮数目与花的数目的情况：

表 5-56 乘务人员变动数目、飞行员变动数目、儿童数目及花的需求量四个范畴的选项组合所对应的乘务人员餐饮数目、飞行员餐饮数目、儿童餐饮数目与花的数目的情况

Combination of O-choices	number of crew numbers' meals	number pilots' meals	number child passengers' meals	number of bundles of flowers
O-1a,O-2a,O-3a,O-4a	>default number	>default number	>0	>0
O-1a,O-2a,O-3a,O-4b	>default number	>default number	>0	=0
O-1a,O-2a,O-3b,O-4a	>default number	>default number	=0	>0
O-1a,O-2a,O-3b,O-4b	>default number	>default number	=0	=0
O-1a,O-2b,O-3a,O-4a	>default number	=default number	>0	>0
O-1a,O-2b,O-3a,O-4b	>default number	=default number	>0	=0
O-1a,O-2b,O-3b,O-4a	>default number	=default number	=0	>0
O-1a,O-2b,O-3b,O-4b	>default number	=default number	=0	=0
O-1a,O-2c,O-3a,O-4a	>default number	<default number	>0	>0
O-1a,O-2c,O-3a,O-4b	>default number	<default number	>0	=0
O-1a,O-2c,O-3b,O-4a	>default number	<default number	=0	>0
O-1a,O-2c,O-3b,O-4b	>default number	<default number	=0	=0
O-1b,O-2a,O-3a,O-4a	=default number	>default number	>0	>0
O-1b,O-2a,O-3a,O-4b	=default number	>default number	>0	=0
O-1b,O-2a,O-3b,O-4a	=default number	>default number	=0	>0
O-1b,O-2a,O-3b,O-4b	=default number	>default number	=0	=0
O-1b,O-2b,O-3a,O-4a	=default number	=default number	>0	>0
O-1b,O-2b,O-3a,O-4b	=default number	=default number	>0	=0
O-1b,O-2b,O-3b,O-4a	=default number	=default number	=0	>0
O-1b,O-2b,O-3b,O-4b	=default number	=default number	=0	=0
O-1b,O-2c,O-3a,O-4a	=default number	<default number	>0	>0
O-1b,O-2c,O-3a,O-4b	=default number	<default number	>0	=0
O-1b,O-2c,O-3b,O-4a	=default number	<default number	=0	>0
O-1b,O-2c,O-3b,O-4b	=default number	<default number	=0	=0
O-1c,O-2a,O-3a,O-4a	<default number	>default number	>0	>0
O-1c,O-2a,O-3a,O-4b	<default number	>default number	>0	=0
O-1c,O-2a,O-3b,O-4a	<default number	>default number	=0	>0
O-1c,O-2a,O-3b,O-4b	<default number	>default number	=0	=0
O-1c,O-2b,O-3a,O-4a	<default number	=default number	>0	>0
O-1c,O-2b,O-3a,O-4b	<default number	=default number	>0	=0

表 5-56 乘务人员变动数目、飞行员变动数目、儿童数目及花的需求量四个范畴的选项组合所对应的乘务人员餐饮数目、飞行员餐饮数目、儿童餐饮数目与花的数目的情况（续）

Combination of O-choices	number of crew numbers' meals	number pilots' meals	number child passengers' meals	number of bundles of flowers
O-1c,O-2b,O-3b,O-4a	<default number	=default number	=0	>0
O-1c,O-2b,O-3b,O-4b	<default number	=default number	=0	=0
O-1c,O-2c,O-3a,O-4a	<default number	<default number	>0	>0
O-1c,O-2c,O-3a,O-4b	<default number	<default number	>0	=0
O-1c,O-2c,O-3b,O-4a	<default number	<default number	=0	>0
O-1c,O-2c,O-3b,O-4b	<default number	<default number	=0	=0

注：O-1b, O-2b, O-3b, O-4b 相对于默认条件无变化，可以作为比较的基准。

对于 MOS 这个例子，我们 METRIC*的思想进行蜕变关系识别时会经历比较麻烦的步骤。从表 8-55 中，我们可以看出，每个 IO-CTF 的输出选项组合都不相同，即每个 IO-CTF 自成一个类，即测试帧分类共有 180 个。造成这么多分类的原因是：输出选项组合与输入选项组合之间的关系是一一对一，使得具有相同输出组合的 IO-CTF 不存在。在这种情况下 METRIC*方法的工作量就与 METRIC 的工作量相同，甚至更多一些。

组内测试帧比较得出蜕变关系不可行，因为每个组内仅有一个测试帧，无法进行比较。

对于组与组之间的比较，就完全成为了一个测试帧与另一个测试帧之间的比较。

举例：

我们选择两个飞机模型相同，其他选项不同的两个组。这两个组的输出选项组合如表 5-57 所示：

表 5-57 组间蜕变关系识别选取的候选组举例

Combination of aircraft model and O-choices	Number of						
	crew numbers' meals	pilots' meals	child passengers' meals	bundles of flowers	first-class meals	business-class meals	economic
O-1b,O-2b,O-3b,O-4b,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a	=default number	=default number	=0	=0	0	20	150
O-1b,O-2c,O-3a,O-4b,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a	=default number	<default number	>0	=0	0	20	150

比较两个 O-choices 组合，我们得到后者相对于前者的变化是：飞机模型为 747200、乘务人员餐饮数量不变且等于 default number、飞行员餐饮数量减少、儿童餐饮数量增多、花朵数量不变、头等舱餐饮数量不变、商务舱餐饮数目不变、经济舱餐饮数目不变。

这两个组对应的 IO-CTF 如表 5-58 所示：

表 5-58 对应的完整测试帧

Combination of aircraft model and O-choices	Complete test frame
O-1b,O-2b,O-3b,O-4b,O-5a, O-6a,O-7a,O-8a	{ l-1a, l-2b, l-3b, l-4b, l-5b, l-6b, l-7b;O-1b,O-2b,O-3b,O-4b,O-5a, O-6a,O-7a,O-8a }
O-1b,O-2c,O-3a,O-4b,O-5a, O-6a,O-7a,O-8a	{ l-1a, l-2b, l-3b, l-4a, l-5c, l-6a, l-7b;O-1b,O-2c,O-3a,O-4b,O-5a,O-6a,O-7a,O-8a }

通过对比 IO-CTF 并结合上述两个测试帧 O-choices 组合之间的变化关系，我们不难得到如下蜕变关系：在飞机模型为 747200、乘务人员数量不变、飞行员数量减少、儿童数量增多、花朵数量不变的情况下，飞行员餐饮数量减少、儿童餐饮数量增多、头等舱餐饮数量不变、商务舱餐饮数目不变、经济舱餐饮数目不变。

在组间比较过程中，共生成 16110 个候选组，16110 个候选对。

从以上例子我们可以看出，在 l-choice 组合与 O-choice 组合一一对应的情况下，METRIC*方法无法体现出它的优势。

5.6.4 结论

回答问题 1：在订餐系统实例研究中，METRIC*成功识别出了该对象中的蜕变关系。METRIC*被证明是可行的。

回答问题 2：对于订餐系统，METRIC 需要比较的候选对的数目为 16110，而 METRIC*需要比较的候选对数目为 16110。后者需要比较的候选对数目与前者完全相等。在这个实例中 METRIC*未能减少需要比较的候选对的数目。其原因是该实例中不存在没有蜕变关系的候选对，故不能减少需要比较的候选对的数目。