

$$\begin{aligned}
S_{N_2}^t &= S_{N_1}^t \otimes S_{N_3}^t \\
&= \{(<)\} \otimes \{f\} \\
&= \{(<, f)\} \\
S_{N_2}^f &= (S_{N_1}^f \times S_{N_3}^f) \cup (S_{N_1}^t \times S_{N_3}^f) \\
&= (\{(>), (=)\} \times \{f\}) \cup (\{(<)\} \times \{t\}) \\
&= \{(>, f), (=, f), (<, t)\} \\
S_{N_4} &= \{(<, f), (>, f), (=, f), (<, t)\} \\
S_{N_6}^f &= S_{N_4}^f \otimes S_{N_5}^f \\
&= \{(>, f), (=, f), (<, t)\} \otimes \{(<), (=)\} \\
&= \{(>, f, <), (=, f, <), (<, t, =)\} \\
S_{N_6}^t &= (S_{N_4}^t \times S_{N_5}^t) \cup (S_{N_4}^f \times S_{N_5}^t) \\
&= (\{(<, f)\} \times \{(<), (=)\}) \cup (\{(>, f)\} \times \{(>)\}) \\
&= \{(<, f, <), (>, f, >)\} \\
S_{N_6} &= \{(>, f, <), (=, f, <), (<, t, =), (<, f, =), (>, f, >)\}
\end{aligned}$$

针对谓词  $p_r$ , 满足以上 5 个 BRO 约束的测试用例如表 2-8 所示。练习 2.31 要求读者证明: 表 2-8 中的测试集针对 BRO 测试准则是充分的。

表 2-8 满足例 2.29 中谓词  $p_r$  的 BRO 约束的测试用例

	$a+b < c$	$p$	$r > s$	测试用例
$t_1$	$>$	<b>f</b>	$=$	$\langle a=1, b=1, c=1, p=\text{false}, r=1, s=1 \rangle$
$t_2$	$=$	<b>f</b>	$<$	$\langle a=1, b=0, c=1, p=\text{false}, r=1, s=2 \rangle$
$t_3$	$<$	<b>t</b>	$=$	$\langle a=1, b=1, c=3, p=\text{true}, r=1, s=1 \rangle$
$t_4$	$<$	<b>f</b>	$=$	$\langle a=0, b=2, c=3, p=\text{false}, r=0, s=0 \rangle$
$t_5$	$>$	<b>f</b>	$>$	$\langle a=1, b=1, c=0, p=\text{false}, r=2, s=0 \rangle$

### 3. 生成 BRE 约束集

现在, 讨论如何生成 BRE 约束集。根据这些约束, 可以设计出确保能够检测出谓词中存在的所有的布尔运算符故障、关系运算符故障、算术表达式故障或以上故障组合。布尔变量的 BRE 约束集仍然是  $\{t, f\}$ , 关系表达式  $e_1 \text{ relop } e_2$  的 BRE 约束集

$$S = \{(+\varepsilon), (=), (-\varepsilon)\}, \varepsilon > 0$$

如下所述, 根据 *relop* 的不同,  $S$  的“真”约束集、“假”约束集的划分结果也不一样:

$$\begin{aligned}
\text{relop 为 } >: S^t &= \{(+\varepsilon)\} & S^f &= \{(<), (-\varepsilon)\} \\
\text{relop 为 } \geq: S^t &= \{(+\varepsilon), (=)\} & S^f &= \{(-\varepsilon)\} \\
\text{relop 为 } =: S^t &= \{(<), (=)\} & S^f &= \{(+\varepsilon), (-\varepsilon)\} \\
\text{relop 为 } <: S^t &= \{(-\varepsilon)\} & S^f &= \{(<), (+\varepsilon)\} \\
\text{relop 为 } \leq: S^t &= \{(-\varepsilon), (=)\} & S^f &= \{(+\varepsilon)\}
\end{aligned}$$

其中, 约束  $(+\varepsilon)$  表示满足条件  $0 < e_1 - e_2 \leq +\varepsilon$ , 约束  $(-\varepsilon)$  表示满足条件  $-\varepsilon \leq e_1 - e_2 < 0$ 。

生成谓词最小 BRE 约束集的算法与前面介绍的算法 BRO-CSET 相似, 只是叶结点约束集构造的方法不一样:

从谓词  $p_r$  的抽象语法树生成最小 BRE 约束集的算法 BRE-CSET

输入: 谓词  $p_r$  的抽象语法树  $AST(p_r)$ 。  $p_r$  只包含奇异表达式。