

1. 规则：语义明确，描述数据分布。

$\textcircled{1} \leftarrow f_1 \wedge f_2 \wedge \dots \wedge f_L$ 其中 \wedge 表示 并且，
规则头 ↓ 规则体 ↓ 表示 规则长度

① 单条规则 可以看作子模型

② 空空消解：投票，排序，元规则。

优势：可解释，强大的表达能力。

① 命题规则：由原命题和逻辑连接词组成。

2. 规则分类：
② 一阶规则：描述事物属性或关系的原子公式。
如： $\text{父亲}(x) = x+1$, $\begin{cases} \text{自然数}(x) \\ \text{父亲}(x, y) \end{cases}$

$\forall, \exists \rightarrow$ 量词。

$$\forall x \exists y (\text{自然数}(y) \leftarrow \text{自然数}(x) \wedge P = \text{父}(x))$$
$$\rightarrow \forall x (\text{自然数}(x) \leftarrow \text{自然数}(x))$$

3. 序列覆盖：逐条归纳，在训练集上学到一条规则，就将规则覆盖样例去除，重复剩余

① 开始，将正例作规则头，遍历取值，加入规则体，使其仅覆盖正例，产生一条规则。

去除已覆盖对象，基于剩余产生下一条规则。

穷尽搜索 组合爆炸的解决
自底向上：缩小范围，规则简化，加限制 → 简化操作，覆盖率好，命题规则中使用
自底向上：将样例一般，扩大范围，数据驱动，删除文字
→ 适用样本少，一阶规则

评估标准：规则准确率 > 覆盖样例数 > 属性次序

正确率
覆盖总

集中搜索 考虑保留 5 个逻辑文字，数据局部最优问题。

4. 前枝：缓解过拟合。

前剪枝：规则生长过程中进行
后剪枝：规则产生后。

(1) CN2 算法： $I_{RS} = 2 \cdot \left(\hat{m}_+ \log_2 \frac{\left(\frac{\hat{m}_+}{\hat{m}_+ + \hat{m}_-} \right)}{\left(\frac{m_+}{m_+ + m_-} \right)} + \hat{m}_- \log_2 \frac{\left(\frac{\hat{m}_-}{\hat{m}_+ + \hat{m}_-} \right)}{\left(\frac{m_-}{m_+ + m_-} \right)} \right)$

I_{RS} 很大时 CN2 将停止生长

(2) REP：减缓前枝，后剪枝

训练集 → 规则 → 前枝 → 候选 → 验证集评估。
P

IREP：针对单参数规则减枝

规则训练集 → 规则 Y → 验证集 → 去除覆盖
(一) Y'

RIPPER：结合前枝与后处理

$$IREP^* : \text{若果 准确率 } \frac{\hat{m}_+ + (m - \hat{m})}{m_+ + m_-}$$

输入：训练样例集 D ;
重复次数 k .
过程：
1: $\mathcal{R} = IREP^*(D)$;
2: $i = 0$;
3: repeat
4: $\mathcal{R}' = PostOpt(\mathcal{R})$;
5: $D_i = NotCovered(\mathcal{R}', D)$;
6: $\mathcal{R}_i = IREP^*(D_i)$;
7: $\mathcal{R} = \mathcal{R}' \cup \mathcal{R}_i$;
8: $i = i + 1$;
9: until $i = k$
输出：规则集 \mathcal{R}

前枝时删除尾部多个字符，得到 R 后再有一次

后处理：
 γ' ：覆盖样例，新规则替换
 γ'' ： γ 文本简化，剪枝后得到修改规则

5. 一阶规则学习：背景知识，类数据样例。

$$(\forall x, y) \quad (\text{更好}(x, y) \leftarrow \text{提高更晚}(x, y) \wedge \text{距离更远}(x, y))$$

更易引入领域知识：属性重构，函数约束。

FOIL：背景覆盖 + 自顶向下。

$$F\text{-Gain} = \hat{m}_+ \cdot \left(\log_2 \frac{\hat{m}_+}{\hat{m}_+ + \hat{m}_-} - \log_2 \frac{m_+}{m_+ + m_-} \right) \quad \text{为背景正例。}$$

优：变量替换：命题 \rightarrow 一阶

缺：不支持函数和逻辑表达式嵌套。

6. 归纳逻辑程序设计：
 PROLOG. 困难：冗余，组合爆炸。

(a) 最小一般泛化：自底向上，剪枝到一般。

$$J(1, 10) \leftarrow A(1, 10) \wedge B(1, 10) \wedge C(1, 10) \wedge D(1, 10)$$

$$J(1, 15) \leftarrow A(1, 15) \wedge C(1, 15) \wedge D(1, 15)$$

$$\Rightarrow J(1, Y) \leftarrow A(1, Y) \wedge C(1, Y) \wedge D(1, Y)$$

$$\begin{aligned} \text{若有 } J(2, 10) &\leftarrow E(2, 10) \wedge A(2, 10) \wedge F(2, 10) \wedge C(2, 10) \wedge D(2, 10) \\ \Rightarrow J(x, Y_2) &\leftarrow A(x, Y_2) \wedge C(x, Y_2) \wedge D(x, Y_2) \end{aligned}$$

(b) 强归答：

归答：规则 + 背景

强答：一般 \rightarrow 特殊 \rightarrow 重置通用

强归答：基于背景发现新概念。

归答：特殊 \rightarrow 一般 \rightarrow mI

 增收
群代
内构，互构。