

XML 强函数依赖的推理规则^{*})

殷丽凤¹ 郝忠孝^{1,2,3}

(哈尔滨理工大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150080)¹

(齐齐哈尔大学计算机与控制工程学院 齐齐哈尔 161006)²

(哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)³

摘要 当 XML 文档出现不完全信息时,XML 函数依赖同样对于 XML 文档的键、规范化和完整性约束的研究具有重要意义。本文引入不完全信息环境下 XML 模式树概念对 XML 强函数依赖进行了形式化定义;研究了 XML 强函数依赖的判定条件;给出了 XML 强函数依赖推理规则,并对推理规则的有效性和完备性进行了证明。

关键词 不完全信息,XML 模式,XML 函数依赖,推理规则

Inference Rules of XML Strong Functional Dependency

YIN Li-feng¹ HAO Zhong-xiao^{1,2,3}

(School of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)²

(School of Computer and Control Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China)²

(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)³

Abstract When XML document comes forth incomplete information, XML functional dependency has also important meaning for the research of key, normal form and integral restriction for XML document. XML strong functional dependency' definition based on the conception of XML schema tree under incomplete information circumstances is formalized, judging condition of XML strong functional dependency is studied. This paper gives inference rules of XML strong functional dependency and proves the soundness and completeness of inference rules.

Keywords Incomplete information, XML schema, XML functional dependency, Inference rule

1 引言

XML 已经成为 Internet 上的主要的数据表示和交换标准之一,XML 数据库的应用也越来越广泛。在数据库理论中,函数依赖是基础,而原生 XML 数据库在这方面没有什么完备、成功的理论研究,尤其当 XML 文档出现不完全信息时。所以在此提出解决不完全信息环境下的 XML 函数依赖的理论。

在关系数据库中不完全信息环境下的函数依赖的理论已经很成熟,郝忠孝^[1]在空值环境下的数据库导论中进行了详细研究。近年来,对于 XML 函数依赖(记作 XFD)也有了研究,Arenas 和 Libkin^[2]在“树元组”概念的基础上提出了 XFD 定义,Wang 和 Topor^[3]用向上路径定义了 XFD,但是目前对于不完全信息环境下的 XML 函数依赖理论研究还很少,只有 Vincent 和 Liu^[4,5]基于“最邻近节点”定义了不完全信息环境下的 XML 强函数依赖,给出了它的推理规则,并对其有效性和完备性进行了证明。

本文把文献[1]和文献[6]中的不完全信息和强函数依赖的语义引入到了 XML 文档中,基于 XML 模式树定义了 XML 强函数依赖,给出了相应的判定定理和推理规则集,并对它的有效性和完备性进行了证明。

2 基本知识

为了便于形式化地描述 XML 函数依赖,本文用到了路

径^[4]、路径节点集^[4]、有根树^[7]和 v -子树^[7]的概念。本文出现的不完全信息 \perp 均指存在型空值^[1],简记为空值。用 $X \subseteq Y$ 表示 X 是 Y 的子树, XY 表示 v -子树的并, $X-Y$ 表示 v -子树的差。

定义 1 XML 模式树^[7]是一个六元组 $(V_S, A_S, Lab, ele, N, r_S)$, 记作 S 。其中 V_S 表示树的节点的集合; A_S 表示树的有向弧的集合; Lab 表示元素名字(EN)和属性名字(AN)的集合; ele 表示从节点 V_S 到 V_S 中一系列节点的部分映射, 满足对 $\forall v \in V_S, ele(v) = [v_1, \dots, v_n]$ 且有向弧 $(v, v_i) \in A_S$, 其中 $i \in [1, n]$; N 是从树节点 V_S 到 Lab 的映射, 若任意 $v \in V_S$ 且是分支节点, 则 $N(v) \in EN$, 若任意 $v \in V_S$ 且是叶子节点, 则 $N(v) \in AN$; r_S 为树的根节点。

定义 2(同态映射^[7]) 设 XML 模式树 S' 和 S 之间的映射函数为 $\varphi: V_{S'} \rightarrow V_S$, 若 $\varphi(r_{S'}) = r_S$, 则称映射 φ 为根保持的; 若 $\forall v' \in V_{S'}$, 有 $N(v') = N(\varphi(v'))$, 则称映射 φ 为名字保持的; 若 φ 满足下面的两个条件, 则称 φ 在 S' 和 S 之间是同态映射。

(1) 若 S' 中任意一条弧 $(v', w') \in A_{S'}$, 则 $(\varphi(v'), \varphi(w')) \in A_S$;

(2) 映射 φ 为根保持和名字保持。若 φ 为同态映射且也为双射函数, 即对于任意 $a = (v', w') \in A_{S'}$, 当且仅当 $a' = (\varphi(v'), \varphi(w')) \in A_S$, 则称 φ 在 S' 和 S 之间是同构映射。

^{*})基金项目:该项目得到黑龙江省自然科学基金资助(F200601)。殷丽凤 博士研究生,主要研究领域为 XML 数据库不完全信息理论;郝忠孝 博导,教授,主要研究领域为数据库系统与理论。

3 定义、定理

定义 3 不完全的 XML 文档树是一个 7 元组 $(V_D, A_D, Lab \cup \perp, ele, N, r_D, val)$, 记作 D 。其中 $V_D, A_D, Lab, ele, N, r_D$ 的定义同定义 1, val 表示叶子节点到字符串和 \perp 的映射。没有 \perp 的 D 称为完全的 XML 文档树, 记作 T 。 D 中的空值被非空值替换的过程称为非空化过程, 经过非空化过程得到的 XML 文档树称为非空化的 XML 文档树。若在 D 和 S 之间存在一个同态映射 φ , 则称 D 符合 S , 记作 $D \models S$ 。

定义 4 设 T' 和 T 表示两个完全的 XML 文档树, φ 为 T' 和 T 之间的同构映射, 对于任意叶子节点 $v' \in V_{T'}$, 满足 $val(v') = val(\varphi(v'))$, 则称 T' 和 T 相等, 记作 $T' \equiv T$; 否则 T' 和 T 不相等, 记作 $T' \not\equiv T$ 。

定义 5 设 D', D 表示两个不完全的 XML 文档树, φ 为 D' 和 D 之间的同构映射, 对于任意叶子节点 $v' \in V_{D'}$, 满足下面的条件之一, 则称 D' 和 D 等价, 记作 $D' \doteq D$; 否则称 D' 和 D 不等价, 记作 $D' \not\doteq D$ 。

(1) 若 $val(v')$ 和 $val(\varphi(v'))$ 为非空值, 则 $val(v') = val(\varphi(v'))$ 。

(2) 若 $val(v')$ 和 $val(\varphi(v'))$ 为空值, 两个空值的语义信息相同, 进行替换时, $val(v')$ 和 $val(\varphi(v'))$ 代换为同一非空值。

定义 6 设 D', D 和 φ 的定义同定义 5, 对于任意叶子节点 $v' \in V_{D'}$, 满足下面的条件之一, 则称 D' 和 D 相容, 记作 $D' \doteq D$; 否则称 D' 和 D 不相容, 记作 $D' \not\doteq D$ 。

(1) $D' \doteq D$ 。(2) 若 $val(v')$ 为空值, $val(\varphi(v'))$ 为非空值, 则至少存在一个非空化的 XML 文档树 D_0 , 使 $val(v') = val(\varphi(v'))$ 成立。(3) 若 $val(v')$ 和 $val(\varphi(v'))$ 都为空值, 且它们的限定的代换范围的交集不是空的, 即至少有一种空值代换过程, 使 $val(v') = val(\varphi(v'))$ 。

定义 7 设 $D \models S$, 存在 $D' \subseteq D$, 在 D' 和 S 之间存在一个同构映射 φ , 则称 D' 为符合 S 的最大子树; 若 $S' \subseteq S$, 则 D' 中存在唯一符合 S' 的最大子树, 记作 $D' |_{S'}$; 把 D 中所有符合 S 的最大子树集合记作 $\{D |_S\}$ 。

定义 8 设 $D \models S$, 若 X 表示 S 的 v -子树, $D' \in \{D |_X\}$, X 由路径集合 P 构成, 则称 $val(D' |_X) = \{val(last(s|_p)) | \text{对于 } \forall P \in P, \text{ 在 } D' \text{ 中存在一个符合 } p \text{ 的路径节点集 } s|_p\}$ 为 D' 在 X 上的投影。

定义 9 设 $D \models S$, D 的可能世界的集合记为 $P(D)$, $P(D) = \{D' | D' \models S, \text{ 存在映射 } f: D \rightarrow D', \text{ 满足任意 } p \in S, \text{ 在 } D \text{ 中任意的 } s|_p, \text{ 若 } val(last(s|_p)) = \perp, \text{ 则 } f(val(last(s|_p))) \neq \perp\}$ 。

定义 10 设 $T \models S$, X, Y 是 S 的 v -子树。XFD 的表示形式为 $X \rightarrow Y$, 只要 $\forall T_1, T_2 \in \{T |_{XY}\}$, 若 $T_1 |_X \equiv T_2 |_X$, 则 $T_1 |_Y \equiv T_2 |_Y$, 则此 XFD 在 T 上成立, 记作 $T \models X \rightarrow Y$ 。

定义 11 设 $D \models S$, X, Y 是 S 的 v -子树, XFD 的表示形式为 $X \rightarrow Y$, 只要 $\forall D_1, D_2 \in \{D |_{XY}\}$, 若 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X$, 则 $D_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$, 称此 XFD 为 XML 强函数依赖, 记作 XSFD。此 XSFD 在 D 上成立, 记作 $D \models X \rightarrow Y$ 。

定理 1 XSFD $X \rightarrow Y$ 在 D 上成立, 则 XFD $X \rightarrow Y$ 在 $P(D)$ 中的每个 D' 中也成立。

证明: (1) 设 $\forall D_1, D_2 \in \{D |_{XY}\}$, 若 D_1 是不完全的 XML 文档树且 D_2 是完全的 XML 文档树, 由 XSFD $X \rightarrow Y$ 在 D 中成立, 分为两种情况讨论:

① 当 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X, D_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$ 时, 由相容的概念知至少存在一个 $D'_1 \in P(D_1 |_{XY})$ 且 $D'_1 |_X \equiv D_2 |_X$, 由等价的概念知 $D'_1 |_Y \equiv D_2 |_Y$, 由定义 10, XFD $X \rightarrow Y$ 成立; 当 $D'_1 \in P(D_1 |_{XY})$ 且 $D'_1 |_X \not\equiv D_2 |_X$ 时, 此时, 无论 $D'_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$ 是否成立, XFD $X \rightarrow Y$ 也成立。

② 当 $D_1 |_X \not\doteq D_2 |_X$ 时。由不相容概念知不存在一个 $D'_1 \in P(D_1 |_{XY})$ 且 $D'_1 |_X \equiv D_2 |_X$, 此时, 无论 $D'_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$ 是否成立, 则 XFD $X \rightarrow Y$ 都成立。

(2) 设 $\forall D_1, D_2 \in \{D |_{XY}\}$, 若 D_1 是完全的 XML 文档树且 D_2 是不完全的 XML 文档树, 证明同(1)。

(3) 设 $\forall D_1, D_2 \in \{D |_{XY}\}$, 若 D_1 和 D_2 都是不完全的 XML 文档树。由 XSFD $X \rightarrow Y$ 在 D 上成立, 分为两种情况讨论:

① 当 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X, D_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$ 时, 由相容的概念知至少存在一个 $D'_1 \in P(D_1 |_{XY})$ 和一个 $D'_2 \in P(D_2 |_{XY})$ 且 $D'_1 |_X \equiv D'_2 |_X$, 由等价的概念知 $D'_1 |_Y \equiv D'_2 |_Y$, 由定义 10, 则 XFD $X \rightarrow Y$ 成立; 由相容的概念知当 $D'_1 \in P(D_1 |_{XY})$ 和 $D'_2 \in P(D_2 |_{XY})$ 且 $D'_1 |_X \not\equiv D'_2 |_X$ 时, 此时, 无论 $D'_1 |_Y \doteq D'_2 |_Y$ 是否成立, XFD $X \rightarrow Y$ 也成立;

② 当 $D_1 |_X \not\doteq D_2 |_X$ 时, 由不相容的概念知不存在 $D'_1 \in P(D_1 |_{XY}), D'_2 \in P(D_2 |_{XY})$ 且 $D'_1 |_X \equiv D'_2 |_X$, 此时, 无论 $D'_1 |_Y \doteq D'_2 |_Y$ 是否成立, 则 XFD $X \rightarrow Y$ 都成立。

(4) 设 $\forall D_1, D_2 \in \{D |_{XY}\}$, 若 D_1 和 D_2 都是完全的 XML 文档树, 由已知 XSFD $X \rightarrow Y$ 得 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X, D_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$, 由等价相容定义知 $D_1 |_X \equiv D_2 |_X$ 成立, $D_1 |_Y \equiv D_2 |_Y$ 也成立, 则 XFD $X \rightarrow Y$ 成立。证毕。

4 XSFD 的推理规则

为了解决逻辑蕴含的判定问题, 需要一个推理规则集。下面给出 XSFD 的推理规则集。

定理 2 设 $D \models S$, X, Y, Z 和 W 表示 S 的 v -XML 模式子树, 则下列推理规则 R 是正确的。

- (1) 子树规则。若 $D \models X \rightarrow Y, W \subseteq Y$, 则 $D \models X \rightarrow W$;
- (2) 合并规则。若 $D \models X \rightarrow Y, D \models X \rightarrow Z$, 则 $D \models X \rightarrow YZ$;
- (3) 传递规则。若 $D \models X \rightarrow Y, D \models Y \rightarrow Z$, 则 $D \models X \rightarrow Z$;
- (4) 伪传递规则。若 $D \models X \rightarrow Y, D \models WY \rightarrow Z$, 则 $D \models WX \rightarrow Z$ 。

证明: (1) 设 $\forall D_1, D_2 \in \{D |_{XY}\}$, 由 $D \models X \rightarrow Y$ 得 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X, D_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$, 由于 $W \subseteq Y$, 则 $D_1 |_W \doteq D_2 |_W$ 成立。于是 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X$ 成立时, $D_1 |_W \doteq D_2 |_W$ 也成立, 所以 $D \models X \rightarrow W$, 即子树规则成立。

(2) 设 $\forall D_1, D_2 \in \{D |_{XYZ}\}$, 由 $D \models X \rightarrow Y$ 得 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X$ 时, $D_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$, 又由 $D \models X \rightarrow Z$ 得 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X$ 时, $D_1 |_Z \doteq D_2 |_Z$ 。由此可得 $D_1 |_{YZ} \doteq D_2 |_{YZ}$ 。于是有 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X$ 时 $D_1 |_Z \doteq D_2 |_Z$ 成立, $D_1 |_{YZ} \doteq D_2 |_{YZ}$ 也成立, 即 $D \models X \rightarrow YZ$ 成立, 合并规则成立。

(3) $D \models X \rightarrow Y$ 和 $D \models Y \rightarrow Z$ 成立, 设 $\forall D_1, D_2 \in \{D |_{XYZ}\}$, 分为两种情况进行讨论:

1) 由 $D \models X \rightarrow Y$ 得 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X, D_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$, 由 $D_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$ 成立, 则 $D_1 |_Y \doteq D_2 |_Y$ 也成立, 又由 $D \models Y \rightarrow Z$, 所以 $D_1 |_X \doteq D_2 |_X$ 成立时, $D_1 |_Z \doteq D_2 |_Z$ 也成立, 即 $D \models X \rightarrow Z$ 成立。

2) 当 $D_1 |_X \not\doteq D_2 |_X$, 又有如下可能:
① $D_1 |_X \not\doteq D_2 |_X$ 且 $D_1 |_Y \not\doteq D_2 |_Y$, 此时无论 $D_1 |_Z, D_2 |_Z$ 取何值时, $D \models X \rightarrow Z$ 都成立;

② $D_1|_X \neq D_2|_X$ 且 $D_1|_Y \doteq D_2|_Y$, 又由 $D \vdash Y \rightarrow Z$, 则 $D_1|_Y \doteq D_2|_Y$ 时, $D_1|_Z \doteq D_2|_Z$ 成立, 故 $D \vdash X \rightarrow Z$ 成立。

由上述讨论知, 传递规则成立。

(4) 设 $\forall D_1, D_2 \in \{D|_{XYWZ}\}$, 由 $D \vdash X \rightarrow Y$ 得 $D_1|_X \doteq D_2|_X$ 时, $D_1|_Y \doteq D_2|_Y$ 成立, 又由 $D \vdash WY \rightarrow Z$ 得 $D_1|_{WY} \doteq D_2|_{WY}$, $D_1|_Z \doteq D_2|_Z$ 成立, 对 $D_1|_{WX}$ 和 $D_2|_{WX}$ 分以下两种情况讨论:

1) $D_1|_X \neq D_2|_X$, 则 $D_1|_{WX} \neq D_2|_{WX}$, 此时无论 $D_1|_Z$ 和 $D_2|_Z$ 取何值时, $D \vdash WX \rightarrow Z$ 成立;

2) $D_1|_X \doteq D_2|_X$, 由 $D \vdash X \rightarrow Y$ 得 $D_1|_X \doteq D_2|_X$ 时, $D_1|_Y \doteq D_2|_Y$ 成立。又有两种可能:

①若 $D_1|_W \doteq D_2|_W$, 则 $D_1|_{WY} \doteq D_2|_{WY}$, 又由于 $D \vdash WY \rightarrow Z$ 得, 所以当 $D_1|_{WY} \doteq D_2|_{WY}$ 成立时, $D_1|_Z \doteq D_2|_Z$ 也成立。由于 $D_1|_X \doteq D_2|_X$, $D_1|_W \doteq D_2|_W$, 则有 $D_1|_{WX} \doteq D_2|_{WX}$ 。于是有 $D_1|_{WX} \doteq D_2|_{WX}$ 时, $D_1|_Z \doteq D_2|_Z$ 成立, 所以 $D \vdash WX \rightarrow Z$ 成立;

②若 $D_1|_W \neq D_2|_W$, 则 $D_1|_{WX} \neq D_2|_{WX}$, 此时无论 $D_1|_Z$ 和 $D_2|_Z$ 取何值时, $D \vdash WX \rightarrow Z$ 都成立。

由上述讨论知, 伪传递律成立。证毕。

定义 12 设 $D \vdash S, F$ 表示通过 S 的 $XSFD$ 集, 若 $D \vdash F$ 成立, $D \vdash X \rightarrow Y$ 也成立, 则称 F 逻辑蕴涵 $X \rightarrow Y$, 记作 $F \vdash X \rightarrow Y$ 。

定义 13 关于 R 通过 S 的 $XSFD$ 集 F 的闭包是由 F 根据 R 推出的所有 $XSFD$ 的集合, 记作 $F^+ = \{X \rightarrow Y | F \vdash X \rightarrow Y\}; X \subseteq S$, 子树 X 的闭包记作 $X_{F^+} = \cup \{Y | \text{存在 } X \rightarrow Y \in F^+\}$ 。

定理 3 由推理规则 R 构成的公理系统是完备的。

证明: 设 F 表示通过 S 的 $XSFD$ 的集合, $X \rightarrow Y \in F$ 。根据子树规则, $Y = \{A\}$, A 表示单一路径。

(反证法)。假设 $X \rightarrow A \in F^+$, 但是不能通过 F 使用推理规则而推出。为了证明推理规则是完备的, 需要构造出一棵 $D \vdash S$, 使 F 在 D 上成立, 同时使 $X \rightarrow A$ 在 D 上不成立, 这样就与 $X \rightarrow A \in F^+$ 矛盾。

(1) 构造 D 。设 $D \vdash S, \{0, 1\}$ 表示 D 中叶子节点的两个不同的非空值, $X(S, \forall D_1, D_2 \in \{D|_S\})$, 满足 $\forall W \in X, val(D_1|_W) = \perp$ 且 $\forall W \in S-X, val(D_1|_W) = 1; \forall W \in S, val(D_2|_W) = 0$ 。 D_1 和 D_2 分别如图 1 和图 2 所示, r 表示根节点, \perp 的取值范围为 0。

(2) 修改 D , 判定 F 是否成立。对于任意的 $XSFD W \rightarrow B \in F$, 则修改 $val(D_1|_B) = val(D_2|_B) = 0$, 由定义 11, 此 $XSFD$

$W \rightarrow B$ 在修改后的文档树 D 中成立。

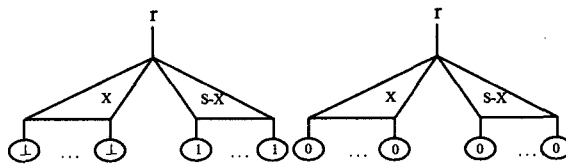


图 1 文档树 D_1

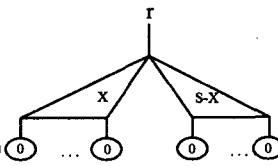


图 2 文档树 D_2

(3) 判定 $XSFD X \rightarrow A$ 在 D 上成立的条件。

当 $val(D_1|_A) = 0$ 时, $val(D_1|_A) = val(D_2|_A)$, 即 $D_1|_A \doteq D_2|_A$, 又由 $D_1|_X \doteq D_2|_X$, 则 $X \rightarrow A$ 成立。若 $X \rightarrow A$ 成立, $D_1|_X \doteq D_2|_X$ 时, 则 $D_1|_A \doteq D_2|_A$, 所以 $val(D_1|_A) = 0$ 。

所以 $val(D_1|_A) = 0$ 是 $X \rightarrow A$ 成立的充要条件。

(4) 根据(2), 任意的 $W \rightarrow Z \in F$, 则 $D \vdash W \rightarrow Z$ 。又由于 $F \vdash X \rightarrow A$, 则 $A \in X^+$, 再由(3), $val(D_1|_A) \neq 0$, 此时 $X \rightarrow A$ 在 D 上不成立。综合可得推理规则集是完备的。证毕。

结束语 在 XML 文档中具有不完全信息的情况下, 本文研究了 XML 强函数依赖理论。通过对 XML 强函数依赖理论的研究, 对 XML 文档中的不确定性数据进行了约束, 使维持 XML 数据库的完整性操作更加容易。

参 考 文 献

[1] 郝忠孝. 空值环境下数据库导论. 机械工业出版社, 1996
 [2] Arenas M, Libkin L. A normal form for XML documents. ACM Transactionson Database Systems, 2004, 29(1):195-232
 [3] Wang Junhu, Topor R. Rkemoving XML data redundancies using functional and equality generating dependencies. In Database Technologies ADC. Newcastle, Australia, 2005
 [4] Vincent M W, Liu Jixue. Strong functional dependencies and a redundancy free normal form for XML. In Systemics, Cybernetics and Informatics-SCI, 2003, IIIS; 218-22
 [5] Vincent M W, Liu Jixue. Strong functional dependencies and their application to normal forms in XML. ACM Transactions on Database Systems, 2004, 29(3):455-462
 [6] Levene M, Loizu G. Axiomatisation of functional dependencies in incomplete relations. Theoretical computer science, 1998, 206(1/2): 283-300
 [7] Hartmann S, Link S, Kirchberg M. A subgraph-based approach to wards functional dependencies for XML. In Systemics, Cybernetics and Informatics-SCI, 2003, IIIS; 200-205

(上接第 157 页)

[3] Formica A. Ontology-based concept similarity in Formal Concept Analysis. Information Science[J], 2006, 176:2624-2641
 [4] Ganter B, Wille R. Formal Concept Analysis; Mathematical Foundation[M]. New York. Springer-Verlag, 1999
 [5] Dntsch I, Gediga G. Algebraic aspects of attribute dependencies in information systems. Fundamenta Informaticae[J], 1997, 29: 119-133
 [6] Dntsch I, Gediga G. Approximation operators in qualitative data analysis// de Swart H, Orłowska E, Schmidt G, et al., eds.

Theory and Application of Relational Structures as Knowledge Instruments[M]. Springer, Heidelberg, 2003; 216 - 233
 [7] Pagliani P. From concept lattices to approximation spaces; Algebraic structures of some spaces of partial objects. Fundamenta Informaticae[J], 1993, 18(1):1-25
 [8] Yao Y Y. Concept lattices in rough set theory //Proceedings of 23rd International Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society. 2004
 [9] 曹锐, 陈刚, 蔡铭. 基于本体的网络化制造资源检索. 计算机工程 [J], 2004, 2(3):143-146