南京航空航天大学

论文集

（二〇〇六年）第18册

信息科学与技术学院

（第4分册）

南京航空航天大学科技部编

二〇〇七年三月

信息科学与技术学院

042 系

18

信息科学与技术学院2006年发表论文目录

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
1	毛宇光 曹子宁 任　凯 周　勇	副教授 副教授 硕士生 讲师	042-1 042-1 042-1 042-1	不完全信息数据库的逻辑基础研究	南京航空航天大学学报	2006.38.06	
2	毛宇光	副教授	042-1	“数据库原理”课程的教学改革	南京航空航天大学学报(社科版)	2006.08.01	
3	曹汝鸣 毛宇光 陈文彬	硕士生 副教授 讲师	042-1 042-1 042-1	中介命题演算系统MP^M的代数系统	数学研究与评论	2006.26.04	
4	曹汝鸣 毛宇光 陈文彬	硕士生 副教授 讲师	042-1 042-1 042-1	中介命题演算系统MP^M的公理完备集	计算机科学	2006.33.02	
5	孙　雷 毛宇光	硕士生 副教授	042-1 042-1	实用主存数据库实现及其在短信息中心的应用	计算机与现代化	2006.05	
6	王　杰 毛宇光	硕士生 副教授	042-1 042-1	基于神经网络的汇率预测	计算机与现代化	2006.02	
7	刘正涛 毛宇光	硕士生 副教授	042-1 042-1	基于优先级的数据流数据库实时事务调度算法与实现	小型微型计算机系统	2006.27.12	
8	黄　慧 毛宇光 刘正涛	硕士生 副教授 硕士生	042-1 042-1 042-1	一种支持次协调数据库的UcQL语言	计算机工程与应用	2006.42.10	
9	王艳磊 毛宇光	硕士生 副教授	042-1 042-1	一个改进的主从结构表安全数据模型	计算机科学	2006.33.08	
10	王艳磊 毛宇光 翟志刚	硕士生 副教授 硕士生	042-1 042-1 042-1	多级安全关系数据库的分解和恢复算法	计算机工程与应用	2006.42.06	
11	吴　庄 毛宇光 刘正涛	硕士生 副教授 硕士生	042-1 042-1 042-1	流水式流过滤器的顺序研究	计算机应用研究	2006.23 (增刊)	
12	翟志刚 毛宇光	硕士生 副教授	042-1 042-1	一种基于多重结构表的安全关系数据模型	计算机科学	2006.33.08 (专辑)	
13	任　凯 毛宇光 刘正涛	硕士生 副教授 硕士生	042-1 042-1 042-1	传感器中不确定数据流数据模型的研究	计算机科学	2006.33.08 (专辑)	
14	曹子宁 毛宇光 石纯一	副教授 副教授 教授	042-1 042-1 外	Representation Peoperties of Abstract Default Reasoning Frameworks	南京航空航天大学学报(英文版)	2006.23.03	
15	曹子宁	副教授	042-1	Model Checking for Real-Time Temporal, Cooperation and Epistemic Properties	Intelligent Information Processing III	2006	
16	曹子宁	副教授	042-1	A Spatial Logical Characterisation of Context Bisimulation	Lecture Notes in Computer Science	2006	
17	曹子宁	副教授	042-1	Verifying Real-Time Temporal, Cooperation and Epistemic Properties for Uncertain Agents	Lecture Notes in Artificial Intelligence	2006.4293	

信息科学与技术学院2006年发表论文目录

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
18	曹子宁	副教授	042-1	Representing and Verifying Temporal Epistemic Properties in Multi-Agent Systems	Lecture Notes in Artificial Intelligence	2006.4371	
19	曹子宁	副教授	042-1	A Complete Probabilistic Selief Logic	Lecture Notes in Artificial Intelligence	2006.4371	
20	曹子宁	副教授	042-1	Model Checking for Epistemic and Temporal Properties of Uncertain Agents	Lecture Notes in Artificial Intelligence	2006.4088	
21	曹子宁	副教授	042-1	More on Bisimulations for Higher Order 丌-Calculus	Lecture Notes in Computer Science	2006.3921	
22	谭晓阳 刘 俊 陈松灿	副教授 博士生 教授	042-1 042-1 042-1	Sub-intrapersonal Space Analysis for Face Recognition	Neurocomputing	2006.69.13-15	
23	谭晓阳 陈松灿	副教授 教授	042-1 042-1	Face Recognition From a Single Image Per Person:A Survey	Pattern Recognition	2006.39.09	
24	谭晓阳 刘 俊 陈松灿	副教授 博士生 教授	042-1 042-1 042-1	Recognition from a Single Sample per Person with Multiple SOM Fusion	"Proceedings of the Third Interndtional Symposium on Neural Networks" 会议交流(2006)		
25	谭晓阳 陈松灿 周志华 刘 俊	副教授 教授 教授 博士生	042-1 042-1 外 042-1	Learning Non-Metric Partial Similarity Based on Maximal Margin Criterion	"Proceedings of the IEEE Computer Society on Computer Vision and Pattern Recognition" 会议交流(2006)		
26	洪 方 万麟瑞	硕士生 副研	042-1 042-1	基于SSL协议的表单数字签名模型研究	计算机应用与软件	2006.23.05	
27	尹明伟 万麟瑞	硕士生 副研	042-1 042-1	SET认证软件构架及RSA算法模型研究	计算机工程与设计	2006.27.16	
28	张 强 万麟瑞	硕士生 副研	042-1 042-1	基于软交换技术的多连接服务模型研究	航空计算技术	2006.36.02	
29	徐 铭 万麟瑞	硕士生 副研	042-1 042-1	基于多Agent的JIT软件构架研究	计算机工程与设计	2006.27.21	
30	张道强 陈松灿	副教授 教授	042-1 042-1	Diagonal principal component analysis for face recognition	Pattern Recognition	2006.39.01	
31	张道强 陈松灿	副教授 教授	042-1 042-1	Learning the kernel parameters in kernel minimum distance classifier	Pattern Recognition	2006.39.01	
32	张道强 周志华 陈松灿	副教授 教授 教授	042-1 外 042-1	Adaptive kernel principal component analysis with unsupervised learning of kernels	"ICDMA" 会议交流(2006)		
33	张道强 周志华 陈松灿	副教授 教授 教授	042-1 外 042-1	Non-negative matrix factorization on kernels	LNAI	2006.4099	
34	张道强 陈松灿	副教授 教授	042-1 042-1	Recognizing face or object from a single image:Linear vs. kernel methods on 2Dpatterns	LNCS	2006.4109	
35	陈海燕	助教	042-1	MVC模式的研究与应用	计算机技术与发展	2006.16.00	

第 38 卷第 6 期　南京航空航天大学学报　Vol. 38 No. 6
2006 年 12 月　Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics　Dec. 2006

不完全信息数据库的逻辑基础研究

毛宇光[1,2]　曹子宁[1]　任　凯[1]　周　勇[1]
(1. 南京航空航天大学信息科学与技术学院，南京，210016；
2. 南京大学计算机软件新技术国家重点实验室，南京，210093)

摘要：不完全信息问题存在于每一种数据库模型中。传统的二值逻辑难以适应不完全信息处理的需求，而多值逻辑能更多地捕获不完全信息的直觉含义。在关系数据库系统的实现中，对不完全信息的处理通常采用三值逻辑。为满足实际应用的需要，本文选取了适用于不完全信息处理的一组联结词 $\wedge$、$\vee$、$\rightarrow$、$\neg$ 和 μ 作为构造逻辑系统的原始联结词。构造了一种新的三值逻辑命题演算系统 MP^M 和三值逻辑谓词演算系统 MF^M，证明了其可靠性和完备性，并给出了在查询优化方面的应用。MF^M 可作为研究不完全信息数据库理论的逻辑基础。

关键词：不完全信息；三值逻辑；空值；命题演算；谓词演算
中图分类号：TP311.131　**文献标识码**：A　**文章编号**：1005-2615(2006)06-0679-08

On Logical Foundation for Incomplete Information Database

Mao Yuguang[1,2], *Cao Zining*[1], *Ren Kai*[1], *Zhou Yong*[2]
(1. College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China;
2. State Key Lab for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing, 210093, China)

Abstract: The problem of incomplete information exists in every kind of database model. The traditional two-valued logic is difficult to deal with incomplete information while the multi-valued logic can capture more intuitive meanings. When a relational database system is implemented, three-valued logic is usually adopted to handle incomplete information. To meet the application needs of the incomplete information database, based on original connectives $\wedge$, $\vee$, $\rightarrow$, $\neg$ and μ, a new three-valued logic propositional calculus system MP^M and a new three-valued logic predicate calculus system MF^M are constructed. Furthermore, the soundness and the completeness of the MF^M are proved. Finally, its applications to query optimization are given. MF^M is regarded as a logical foundation for the theory of the incomplete information database.

Key words: incomplete information; three-valued logic; null; propositional calculus; predicate calculus

引　言

近年来关系数据库已广泛应用于国民经济的各个领域，但在实际应用中，不完全信息问题是普遍存在的[1-5]。如何处理不完全信息一直是人们关注的重要问题，然而，无论从实践上还是从理论上来说，目前还没有达成共识[1]。为处理关系数据库中的缺失信息，Date 考虑使用缺省值置换缺失数据，Lipski 提出使用属性域的子集来表示实际值是属于这个子集这种部分知识。到目前为止，最常用的技术是使用空值(Null)[1-6]。例如，关系数据库的国际标准语言 SQL 支持单一的空值概念。数据库

基金项目：南京大学计算机软件新技术国家重点实验室开放课题基金资助项目。
收稿日期：2006-06-30；**修订日期**：2006-09-25
作者简介：毛宇光，男，博士后，副教授，1962 年 4 月生，E-mail：nanjingmyg@263.net。

中引入空值之后，传统的二值逻辑难以适应不完全信息的处理[1-7]。关系数据库创始人 Codd 首次提出了用三值逻辑从不完全信息数据库中抽取数据的思想[6,8]。虽然他的处理空值方法受到某些学者的批评，但正如 Biskup 所说，这种方法具有明显的优点[9]。空值的处理可以统一在传统的关系数据库框架之内，其实没有增加基本算法的复杂性。因此，最重要的空值类型能以切实可行的方式进行管理。目前，查询语言 SQL2 和 SQL3 对空值的处理也是以三值逻辑为基础的[1,6,7,10]，但仅使用 ∧、∨ 和 ¬ 3 个联结词，对缺失信息的处理存在限制。另一方面，由于 SQL 语言文本对空值处理的不合理，导致了如 EXISTS 缺陷的一些逻辑错误[1]。因此，探讨不完全信息系统的逻辑基础不仅具有重要的理论价值，而且具有实用价值。

近年来，Yue[7] 对不完全信息数据库所用的三值逻辑进行了深入讨论，但仅是非形式的描述；Negri[10] 等对 SQL 语言的形式语义进行了讨论，主要侧重于语句的等价变换。Chen[2]、Cheng[3]、Wang[4] 等主要从数据挖掘的角度探讨空值的估计，侧重于算法。这些研究的基础都是基于 Kleene 三值逻辑[11]，而 Kleene 三值逻辑的表达能力较弱。中介逻辑[11,12]是一种很有特色的三值逻辑系统，已取得了大量的研究成果，是目前研究较为彻底的一类逻辑系统。本文以中介逻辑命题演算系统 MP 与 MP^* 及中介逻辑谓词演算系统 MF 与 MF^* 为基础，构造了一种新的适用于不完全信息数据库的三值逻辑命题演算系统 MP^M 和三值逻辑谓词演算系统 MF^M，证明了其可靠性和完备性，并应用于不完全信息数据库的查询优化。

1　三值逻辑演算系统 MP^M 与 MF^M

对不完全信息的处理，结构查询语言 SQL2[1,5] 用一个特殊值 Null 表示缺失信息，在对一个条件表达式进行求值时，采用三值逻辑，即表达式的结果有 3 种可能的真值：真(T)、假(F)和未知(U)。复合条件由原子条件经逻辑联结词复合而成。常用的联结词有与(∧)、或(∨)、非(¬)和蕴涵(→)。为便于处理空值，作者增加了一个新的联结词 μ，读作“未知”或“不确定”。故三值逻辑命题演算系统 MP^M 选取的原始联结词是：∧，∨，¬，→和 μ。二元联结词∧，∨，→和一元联结词¬的真值表与 Kleene 三值逻辑系统的真值表相同，一元联结词 μ 的真值是，当命题 A 的真值为未知时，μA 取真，否则为假。

MP^M 的形式推理规则如下：

(∈)　$A_1, A_2, \cdots, A_n \vdash A_i \quad (i=1,2,\cdots,n)$

(τ)　如果 $\Gamma \vdash \Delta \vdash A$，则 $\Gamma \vdash A$

(∧−)　$A \wedge B \vdash A, B$

(∧+)　$A, B \vdash A \wedge B$

(¬∧)　$\neg(A \wedge B) \dashv\vdash \neg A \vee \neg B$

(∨−)　如果 $\Gamma, A \vdash C$ 且 $\Gamma, B \vdash C$；则 $\Gamma, A \vee B \vdash C$

(∨+)　$A \vdash A \vee B, B \vee A$

(¬∨)　$\neg(A \vee B) \dashv\vdash \neg A \wedge \neg B$

(→−)　$A \to B, A \vdash B$

　　　$A \to B, \mu A \vdash B$

(→+)　如果 $\Gamma, A \vdash B$ 且 $\Gamma, \mu A \vdash B$；则 $\Gamma \vdash A \to B$

(¬→)　$\neg(A \to B) \dashv\vdash A \wedge \neg B$（假蕴涵律）

(¬¬)　$A \dashv\vdash \neg\neg A$（重假律）

(μμ)　$\mu\mu A \vdash B$

(U3)　如果 $\Gamma, A \vdash B$，$\Gamma, \mu A \vdash B$ 且 $\Gamma, \neg A \vdash B$；则 $\Gamma \vdash B$

(H1)　$A, \mu A \vdash B$

(H2)　$A, \neg A \vdash B$

(H3)　$\mu A, \neg A \vdash B$

其中：(U3)称为三分律，类似于反证法；(μμ)称为未知律，表示未知的未知可推出任意；(H1)，(H2)，(H3)称为海丁律，表示 3 个文字 A，μA，$\neg A$ 中任意两个组合在一起都产生矛盾。

三值逻辑谓词演算系统 MF^M 是在三值逻辑命题演算系统 MP^M 的基础上引入谓词和量词形成的，MF^M 中没有常元和函数。MF^M 中合式公式的形成规则类似于 MF^*[11] 的形成规则，形式推理规则在 MP^M 的基础上增加了有关全称量词和存在量词的推理规则。

MF^M 增加的形式推理规则如下：

(∀−)　$\forall x A(x) \vdash A(a)$

(∀+)　如果 $\Gamma \vdash A(a)$，其中 a 不在 Γ 中出现；则 $\Gamma \vdash \forall x A(x)$

(∃−)　如果 $A(a) \vdash B$，其中 a 不在 B 中出现；则 $\exists x A(x) \vdash B$

(∃+)　$A(a) \vdash \exists x A(x)$，其中 $A(x)$ 是由 $A(a)$ 把其中 a 的某些出现替换为 x 而得。

(¬∀)　$\neg \forall x A(x) \dashv\vdash \exists x \neg A(x)$

(¬∃)　¬∃ $xA(x)$ ⊣⊢ ∀ x ¬ $A(x)$

其中，(∀ −)、(∀ +)、(∃ −)、(∃ +)、(¬ ∀)和(¬ ∃)依次叫做全称量词消去律、全称量词引入律、存在量词消去律、存在量词引入律、全称否定律和存在否定律。

2　MF^{M} 系统的真值语义

定义 1　MF^{M} 的指派是指所有自由变量到论域的一个映射，记为 σ。

定义 2　MF^{M} 中的项或公式在指派 σ 下的语义解释记为 $\sigma(A)$，定义如下：

若 A 为项(即变元)，则 $\sigma(A)$ 为论域中某一元素。

若 A 为公式，则归纳定义如下：

(1)若 A 为原子命题，则 $\sigma(A)$ 已被定义(事实上，原子公式只有谓词一种，令 $\sigma(A)$ 为 T，当且仅当谓词 A 在 σ 下成立，$\sigma(A)$ 为 F，当且仅当 A 在 σ 下不成立，其余自然为 U)。

(2) A 为 $\neg B$，则 $\sigma(A)=\begin{cases}\mathrm{T}, 如果\ \sigma(B)=\mathrm{F}\\ \mathrm{U}, 如果\ \sigma(B)=\mathrm{U}\\ \mathrm{F}, 如果\ \sigma(B)=\mathrm{T}\end{cases}$

(3)若 A 为 μB，则 $\sigma(A)=\begin{cases}\mathrm{T}, 如果\ \sigma(B)=\mathrm{U}\\ \mathrm{F}, 否则\end{cases}$

(4)若 A 为 $B\wedge C$，则

$$\sigma(A)=\begin{cases}\mathrm{T}, 如果\ \sigma(B)=\mathrm{T}\ 且\ \sigma(C)=\mathrm{T}\\ \mathrm{F}, 如果\ \sigma(B)=\mathrm{F}\ 或\ \sigma(C)=\mathrm{F}\\ \mathrm{U}, 否则\end{cases}$$

(5)若 A 为 $B\vee C$，则

$$\sigma(A)=\begin{cases}\mathrm{T}, 如果\ \sigma(B)=\mathrm{T}\ 或\ \sigma(C)=\mathrm{T}\\ \mathrm{F}, 如果\ \sigma(B)=\mathrm{F}\ 且\ \sigma(C)=\mathrm{F}\\ \mathrm{U}, 否则\end{cases}$$

(6)若 A 为 $B\rightarrow C$，则

$$\sigma(A)=\begin{cases}\mathrm{T}, 如果\ \sigma(B)=\mathrm{F}\ 或\ \sigma(C)=\mathrm{T}\\ \mathrm{F}, 如果\ \sigma(B)=\mathrm{T}\ 且\ \sigma(C)=\mathrm{F}\\ \mathrm{U}, 否则\end{cases}$$

(7)若 A 为∃ $xB(x)$，则

$$\sigma(A)=\begin{cases}\mathrm{T}, 如果存在\ x, \sigma(B(x))=\mathrm{T}\\ \mathrm{F}, 如果对任意\ x, \sigma(B(x))=\mathrm{F}\\ \mathrm{U}, 否则\end{cases}$$

(8)若 A 为∀ $xB(x)$，则

$$\sigma(A)=\begin{cases}\mathrm{T}, 如果对任意\ x, \sigma(B(x))=\mathrm{T}\\ \mathrm{F}, 如果存在\ x, \sigma(B(x))=\mathrm{F}\\ \mathrm{U}, 否则\end{cases}$$

定义 3　如果对任一指派 σ，只要 $\sigma(A_1)=\sigma(A_2)=\cdots=\sigma(A_n)=\mathrm{T}$，就有 $\sigma(B)=\mathrm{T}$，则称 B 是 $A_1, A_2, \cdots$，的语义推出，记为 $A_1, A_2, \cdots, A_n \models B$。如果对任意指派 σ，都有 $\sigma(B)=\mathrm{T}$，则称 B 为永真式，记为 $\models B$。

3　MF^{M} 的部分定理

定理 1　三值逻辑谓词演算系统 MF^{M} 是可靠的，即，设 A 是 MF^{M} 的公式，如果 $\Gamma\vdash A$，则 $\Gamma\models A$。

证明：由 MF^{M} 的形式推理规则，易证 MF^{M} 是 MF*[11]的子系统，由 MF* 的可靠性可推出 MF^{M} 的可靠性。

为证明 MF^{M} 的完备性，需用到下面一些定理，证明略。

定理 2　$B\vee C, \mu B\vdash C$。

定理 3　$B\vee C, \neg B\vdash C$。

定理 4　$\mu B\vdash \mu\neg B$。

定理 5　$\neg B\vdash \neg\mu B$。

定理 6　$\mu(B\wedge C)\vdash(\mu B\wedge\mu C)\vee(\mu B\wedge C)\vee(B\wedge\mu C)$。

定理 7　$\mu\exists xB(x)\vdash \forall x(\mu B(x)\wedge\neg B(x))\wedge\exists x\mu B(x)$。

定理 8　$\forall x(\neg A(x)\vee\mu A(x))\vdash\neg\exists xA(x)\vee\mu\exists xA(x)$。

4　MF^{M} 的完备性定理证明

定义 4　对于公式集合 Γ，如果不存在公式 B 使得 $\Gamma\vdash B\wedge\neg B$，则称 Γ 为协调集。如果 Γ 是协调集，并且对任意公式 A，如果 $A\notin\Gamma$，则 $\Gamma\cup\{A\}$ 不协调，则称 Γ 为极大协调集。

引理 1　对于任意协调集 Γ，都有极大协调集 Φ，使得 $\Gamma\subseteq\Phi$。

证明：因为 MF^{M} 中所有合式公式构成的集合为一可数集，因而系统内的一切合式公式可排列为一可数无穷序列：$A_1, A_2, \cdots, A_n, A_{n+1}, \cdots$。

现按如下方式构造 MF^{M} 中具有协调性的合式公式集的无穷序列：

$$T_0=\Gamma, T_{n+1}=\begin{cases}T_n\cup\{A_{n+1}\} & 若\ T_n\cup\{A_{n+1}\}\ 协调\\ T_n & 否则\end{cases}$$

显然，$T_n\subseteq T_{n+1}$，$(n=0,1,2,\cdots)$，其中每个 T_n 都是协调的。现令 $\Phi=\bigcup_{i<\omega}T_i$，下面证明 Φ 是极大协调集。

先证 Φ 是协调集，反设 Φ 不协调，则存在 MF^{M} 中的公式 A，有 $T\vdash A\wedge\neg A$，于是有 Q_1, Q_2，

$\cdots,Q_m\in T$ 使 $Q_1,Q_2,\cdots,Q_m\vdash A\wedge\neg A$。设 $Q_k\in T_{j_k}$，令 $j=\max(j_1,j_2,\cdots,j_m)$，则 $Q_k\in T_j(k=1,2,\cdots,m)$，因此 $T_j\vdash A\wedge\neg A$，与 T_j 是协调集矛盾，所以 Φ 为协调集。

再证 Φ 为极大协调集。设有公式 $B\notin\Phi$，则 $B\notin T_n(n=0,1,2\cdots)$，现 B 为上述 MF^M 的合式公式序列中的 A_{k+1}，$A_{k+1}\notin T_{k+1}$。由 Φ 的构造可知，$T_k\cup A_{k+1}$ 不协调，即 $T_k\cup B$ 不协调，但 $T_k\cup B\subseteq\Phi\cup B$，从而 $\Phi\cup B$ 不协调。所以，Φ 为极大协调集，且 $\Gamma\subseteq\Phi$。

引理 2　Φ 为极大协调集，A 为合式公式，$\Phi\vdash A$ 当且仅当 $A\in\Phi$。

证明：(⇒)反设 $A\notin\Phi$，由极大协调集的定义，$\Phi\cup\{A\}$ 不协调，所以 $\Phi,A\vdash B\wedge\neg B$，由(H2)，$B\wedge\neg B\vdash\neg A$，由($\tau$)，$\Phi,A\vdash\neg A$，由($\in$)，$\Phi\vdash\Phi$，所以 $\Phi\vdash\Phi,A$，再由(τ)，$\Phi\vdash\neg A$，由前提和($\wedge+$)，$\Phi\vdash A\wedge\neg A$，与 Φ 是协调集矛盾。

(⇐)由($\in$)直接可得。

引理 3　Γ 为协调集，如果 $\Gamma\nvdash A$，则 $\Gamma\cup\{\mu A\}$ 协调或 $\Gamma\cup\{\neg A\}$ 协调。

证明：反设两者都不协调，则有 $\Gamma,\neg A\vdash B\wedge\neg B$，由(H2)，$B\wedge\neg B\vdash A$，由($\tau$)，$\Gamma,\neg A\vdash A$。同理，$\Gamma,\mu A\vdash A$，由($\in$)，$\Gamma,A\vdash A$。由规则(U3)，$\Gamma\vdash A$，与前提条件矛盾。

引理 4　Φ 为极大协调集，A 为合式公式，则 $A,\mu A,\neg A$ 中有且仅有一个属于 Φ。

证明：首先，三者中不能有两者同时属于 Φ，否则由(H1)、(H2)或(H3)知 Φ 不协调。其次，如果三者都不属于 Φ，由极大协调集的定义，及(H1)—(H3)，$\Phi,A\vdash A$，$\Phi,\neg A\vdash A$ 且 $\Phi,\mu A\vdash A$，再由(U3)，$\Phi\vdash A$，由引理 2，$A\in\Phi$，矛盾。因此上述引理得证。

定义 5　极大协调集 Φ 中的指派 σ_Φ，对于原子公式(即谓词)p：

如果 $p\in\Phi$，则 $\sigma_\Phi(p)=\mathrm{T}$；

如果 $\mu p\in\Phi$，则 $\sigma_\Phi(p)=\mathrm{U}$；

如果 $\neg p\in\Phi$，则 $\sigma_\Phi(p)=\mathrm{F}$；

由引理 4，上述 σ_Φ 的确是一个真值指派。

引理 5　Φ 为极大协调集，若 $\Phi\vdash B\vee C$，则 $\Phi\vdash B$ 或 $\Phi\vdash C$。

证明：设 $\Phi\nvdash B$，由引理 2，$B\notin\Phi$，再由引理 4，$\mu B\in\Phi$ 或 $\neg B\in\Phi$。分情况讨论：若 $\mu B\in\Phi$，则 $\Phi\vdash\mu B$，由定理 2 及(τ)，得 $\Phi\vdash C$；若 $\neg B\in\Phi$，则 $\Phi\vdash\neg B$，由定理 3 及(τ)，得 $\Phi\vdash C$。因此总有 $\Phi\vdash C$，结论成立。

推论 1　Φ 为极大协调集，B,C,D 为合式公式，若 $\Phi\vdash B\vee C\vee D$，则 $\Phi\vdash B$ 或 $\Phi\vdash C$ 或 $\Phi\vdash D$。

证明：由引理 5，$\Phi\vdash B\vee C$ 或 $\Phi\vdash D$，再由引理 5，$\Phi\vdash B$ 或 $\Phi\vdash C$ 或 $\Phi\vdash D$。

引理 6　对极大协调集 Φ，若有 $\exists xA(x)\in\Phi$，则存在论域中的个体 a 使得 $A(a)\in\Phi$；若有 $\forall xA(x)\in\Phi$，则对论域中的任意个体 a 都有 $A(a)\in\Phi$。

证明：如果 $\exists xA(x)\in\Phi$，反设不存在论域中的个体使得 $A(a)\in\Phi$，即对论域中的任意个体 x 都有 $A(x)\notin\Phi$。由引理 4，对论域中的任意个体 x 都有 $\neg A(x)\in\Phi$ 或 $\mu A(x)\in\Phi$；由引理 2，$\Phi\vdash\forall x(\neg A(x)\vee\mu A(x))$；由定理 8，$\Phi\vdash\neg\exists xA(x)\vee\mu\exists xA(x)$；由引理 5，$\Phi\vdash\neg\exists xA(x)$ 或 $\Phi\vdash\mu\exists xA(x)$；由引理 2，$\neg\exists xA(x)\in\Phi$ 或 $\mu\exists xA(x)\in\Phi$，都矛盾于引理 4，于是必存在论域中的个体 a 使得 $A(a)\in\Phi$。

如果 $\forall xA(x)\in\Phi$，由引理 2，$\Phi\vdash\forall xA(x)$。任取论域中的个体 a，有($\forall$)，$\Phi\vdash A(a)$，由引理 2，$A(a)\in\Phi$。

引理 7　Φ 为极大协调集，A 为合式公式，则

(1)如果 $A\in\Phi$，则 $\sigma_\Phi(A)=\mathrm{T}$；

(2)如果 $\mu A\in\Phi$，则 $\sigma_\Phi(A)=\mathrm{U}$；

(3)如果 $\neg A\in\Phi$，则 $\sigma_\Phi(A)=\mathrm{F}$。

证明：对合式公式 A 的结构进行归纳。

基始：如果 A 是原子命题，则由 σ_Φ 的定义可知上述 3 式成立。

归纳：

(1)如果 A 为 $\neg B$，由归纳假设得

如果 $B\in\Phi$，则 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{T}$；如果 $\mu B\in\Phi$，则 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{U}$；如果 $\neg B\in\Phi$，则 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{F}$。

现分 3 种情形 $A\in\Phi$，$\neg A\in\Phi$，$\mu A\in\Phi$ 证之。

① 如果 $A\in\Phi$，即 $\neg B\in\Phi$，由归纳假设，$\sigma_\Phi(B)=\mathrm{F}$，所以由指派的语义定义，$\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(\neg B)=\mathrm{T}$。

②如果 $\neg A\in\Phi$，由引理 4，$A\notin\Phi$ 且 $\mu A\notin\Phi$，因此 $\neg B\notin\Phi$，且 $\mu B\notin\Phi$(否则由引理 2，$\Phi\vdash\mu B$，由定理 4，$\Phi\vdash\mu\neg B$，即 $\Phi\vdash\mu A$，再由引理 2，$\mu A\in\Phi$，矛盾)；再由引理 4，$B\in\Phi$，从而 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{T}$，所以由语义定义 $\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(\neg B)=\mathrm{F}$。

③如果 $\mu A\in\Phi$,由引理 4,$A\notin\Phi$ 且 $\neg A\notin\Phi$,因此 $\neg B\notin\Phi$,且 $B\notin\Phi$(否则由引理 2,$\Phi\vdash B$,由($\neg\neg$),$\Phi\vdash\neg\neg B$,即 $\Phi\vdash\neg A$,再由引理 2,$\neg A\in\Phi$,矛盾);再由引理 4,$\mu B\in\Phi$,从而 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{U}$,所以由语义定义 $\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(\neg B)=\mathrm{U}$。

(2) 如果 A 为形如 μB 的公式

①如果 $A\in\Phi$,由引理 4,$\neg A\notin\Phi$ 且 $\mu A\notin\Phi$,因此 $B\notin\Phi$(否则由引理 2,$\Phi\vdash B$,由,$\Phi\vdash\mu\mu B$,由规则($\mu\mu$),得 Φ 不协调,矛盾),且 $\neg B\notin\Phi$(否则由引理 2,$\Phi\vdash\neg B$,由定理 5,$\Phi\vdash\neg\mu B$,即 $\Phi\vdash\neg A$,再由引理 2,$\neg A\in\Phi$,矛盾);再由引理 4,$\mu B\in\Phi$,由归纳假设 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{U}$,所以由语义定义 $\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(\mu B)=\mathrm{T}$。

②如果 $\neg A\in\Phi$,由引理 4,$A\notin\Phi$,因此 $\mu B\notin\Phi$;再由引理 4,$\neg B\in\Phi$ 或 $B\in\Phi$。如果 $\neg B\in\Phi$,则由归纳假设 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{F}$,由指派的语义,$\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(\mu B)=\mathrm{F}$;如果 $B\in\Phi$,则由归纳假设 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{T}$,由指派的语义,$\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(\mu B)=\mathrm{F}$。因此总有 $\sigma_\Phi(A)=\mathrm{F}$。

③$\mu A\in\Phi$ 不可能成立,否则,$\mu\mu B\in\Phi$。由引理 2,$\Phi\vdash\mu\mu B$,由($\mu\mu$)推理规则,$\mu\mu B\vdash A$,再由传递律(τ),$\Phi\vdash A$;再由引理 2,$A\in\Phi$,与引理 4 矛盾。

(3) 如果 A 为 $B\wedge C$,由归纳假设得

如果 $B\in\Phi$,则 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{T}$;如果 $\mu B\in\Phi$,则 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{U}$;如果 $\neg B\in\Phi$,则 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{F}$;如果 $C\in\Phi$,则 $\sigma_\Phi(C)=\mathrm{T}$;如果 $\mu C\in\Phi$,则 $\sigma_\Phi(C)=\mathrm{U}$;如果 $\neg C\in\Phi$,则 $\sigma_\Phi(C)=\mathrm{F}$。

①如果 $A\in\Phi$, $B\wedge C\in\Phi$,由引理 4,$\Phi\vdash B\wedge C$,由规则($\wedge_-$),$\Phi\vdash B$ 且 $\Phi\vdash C$;再由引理 4,$B\in\Phi$,且 $C\in\Phi$,因此由归纳假设得 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{T}$,且 $\sigma_\Phi(C)=\mathrm{T}$,由指派的语义,$\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(B\wedge C)=\mathrm{T}$。

②如果 $\neg A\in\Phi$,$\neg(B\wedge C)\in\Phi$,由引理 4,$\Phi\vdash\neg(B\wedge C)$,由规则($\neg\wedge$),$\Phi\vdash\neg B\vee\neg C$;由引理 5,$\Phi\vdash\neg B$ 或 $\Phi\vdash\neg C$;再由引理 4,$\neg B\in\Phi$ 或 $\neg C\in\Phi$,因此由归纳假设得 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{F}$ 或 $\sigma_\Phi(C)=\mathrm{F}$,由指派的语义,$\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(B\wedge C)=\mathrm{F}$。

③如果 $\mu A\in\Phi$,$\mu(B\wedge C)\in\Phi$,由引理 4,$\Phi\vdash\mu(B\wedge C)$;由定理 6,$\Phi\vdash(\mu B\wedge\mu C)\vee(\mu B\wedge C)\vee(B\wedge\mu C)$;由推论 1,$\Phi\vdash\mu B\wedge\mu C$ 或 $\Phi\vdash\mu B\wedge C$ 或 $\Phi\vdash B\wedge\mu C$。分情况讨论:

(a)$\Phi\vdash\mu B\wedge\mu C$,由规则($\wedge_-$),$\Phi\vdash\mu B$ 且 $\Phi\vdash\mu C$;再由引理 4,$\mu B\in\Phi$ 且 $\mu C\in\Phi$,因此由归纳假设得 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{U}$ 且 $\sigma_\Phi(C)=\mathrm{U}$,由指派的语义,$\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(B\wedge C)=\mathrm{U}$。

(b)$\Phi\vdash\mu B\wedge C$,由规则($\wedge_-$),$\Phi\vdash\mu B$ 且 $\Phi\vdash C$;再由引理 4,$\mu B\in\Phi$ 且 $C\in\Phi$,因此由归纳假设得 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{U}$ 且 $\sigma_\Phi(C)=\mathrm{T}$,由指派的语义,$\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(B\wedge C)=\mathrm{U}$。

(c)$\Phi\vdash B\wedge\mu C$,由规则($\wedge_-$),$\Phi\vdash B$ 且 $\Phi\vdash\mu C$;再由引理 4,$B\in\Phi$ 且 $\mu C\in\Phi$,因此由归纳假设得 $\sigma_\Phi(B)=\mathrm{T}$ 且 $\sigma_\Phi(C)=\mathrm{U}$,由指派的语义,$\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(B\wedge C)=\mathrm{U}$。

(4) 如果 A 为 $\exists xB(x)$

①如果 $A\in\Phi$,即 $\exists xB(x)\in\Phi$,由引理 6,存在个体 a,$B(a)\in\Phi$,由归纳假设,$\sigma_\Phi(B(a))=\mathrm{T}$,所以由语义定义,$\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(\exists xB(x))=\mathrm{T}$。

②如果 $\neg A\in\Phi$,即 $\neg\exists xB(x)\in\Phi$,由引理 2,$\Phi\vdash\neg\exists xB(x)$,由($\neg\exists$),$\Phi\vdash\forall x\neg B(x)$;由引理 6,任意个体 a,$\neg B(a)\in\Phi$,由归纳假设,$\sigma_\Phi(B(a))=\mathrm{F}$,由 a 的任意性及 $\exists$ 的语义定义,$\sigma_\Phi(A)=\Phi(\exists xB(x))=\mathrm{F}$。

③如果 $\mu A\in\Phi$,由引理 2,$\Phi\vdash\mu A$,即 $\Phi\vdash\mu\exists xB(x)$;由定理 7,$\Phi\vdash\forall x(\mu B(x)\vee\neg B(x))\wedge\exists x\mu B(x)$;由($\wedge_-$),$\Phi\vdash\forall x(\mu B(x)\vee\neg B(x))$ 且 $\Phi\vdash\exists x\mu B(x)$。由后者及引理 2,$\exists x\mu B(x)\in\Phi$,由引理 1,存在个体 a,$\mu B(a)\in\Phi$,由归纳假设,$\sigma_\Phi(B(a))=\mathrm{U}$。再由前者,$\forall x(\mu B(x)\vee\neg B(x))\in\Phi$;由引理 6,对任意个体 a,$(\mu B(a)\vee\neg B(a))\in\Phi$;由引理 2,$\Phi\vdash\mu B(a)\vee\neg B(a)$;由引理 5,$\Phi\vdash\mu B(a)$ 或 $\Phi\vdash\neg B(a)$,由此得,$\mu B(a)\in\Phi$ 或 $\neg B(a)\in\Phi$,由归纳假设,$\sigma_\Phi(B(a))=\mathrm{U}$ 或 $\sigma_\Phi(B(a))=\mathrm{F}$。由 a 的任意性,得到 $\sigma_\Phi(B(a))\neq\mathrm{T}$,和存在 a,$\sigma_\Phi(B(a))=\mathrm{U}$ 以及语义定义,$\sigma_\Phi(A)=\sigma_\Phi(\exists xB(x))=\mathrm{U}$。

由于联结词 $\vee,\rightarrow,\forall$ 可以归约为以上 4 个联结词,不必再行证明,所以由上面的基始和归纳,引理 7 证毕。

引理 8　Γ 为协调集,则存在指派 σ,对于任意 Γ 中的合式公式 A 有 $\sigma(A)=\mathrm{T}$。

证明:由引理 1 可知,存在极大协调集 Φ,$\Gamma\subseteq\Phi$。由引理 7 可知,存在指派 σ_Φ,使得对任意公式 $A\in\Phi$,有 $\sigma_\Phi(A)=\mathrm{T}$,由于 $\Gamma\subseteq\Phi$,所以对于任意 Γ 中的合式公式 A 有 $\sigma(A)=\mathrm{T}$。

定理 9　(MF^{M} 的完备性定理)设 A 是 MF^{M} 中的公式,如果 $\Gamma\models A$,则 $\Gamma\vdash A$。

证明:反设 $\Gamma \not\vdash A$,则由引理3,$\Gamma \cup \{\neg A\}$协调或$\Gamma \cup \{\mu A\}$协调。如果$\Gamma \cup \{\mu A\}$协调,由引理8,存在指派σ,$\sigma(\Gamma \cup \{\mu A\}) = \mathrm{T}$,从而$\sigma(\Gamma) = \mathrm{T}$且$\sigma(\mu A) = \mathrm{T}$。因为$\Gamma \models A$,所以$\sigma(A) = \mathrm{T}$,这与指派的语义定义矛盾。如果$\Gamma \cup \{\neg A\}$协调,由引理8,存在指派$\sigma$,$\sigma(\Gamma \cup \{\neg A\}) = \mathrm{T}$,从而$\sigma(\Gamma) = \mathrm{T}$且$\sigma(\neg A) = \mathrm{T}$。因为$\Gamma \models A$,所以$\sigma(A) = \mathrm{T}$,这与指派的语义定义矛盾。因此,$\Gamma \vdash A$。

5 MP^{M}与其他系统的不等价性

中介逻辑命题演算系统包括MP和MP^*[11],MP所用的联结词为→、╕(对应于MP^{M}的¬)和～,MP^*增加了真值程度词≺,为MP的扩张系统。已证明MP是命题联结词含量不完全的逻辑系统,而MP^*是命题联结词含量完全的逻辑系统。一元联结词～称为模糊否定词,其真值为:当命题A的真值为U时,$\sim A$的真值为T,其余都为U。

定理10 三值逻辑命题演算系统MP^{M}是命题联结词含量不完全的逻辑系统,即$\{\wedge, \vee, \rightarrow, \neg, \mu\}$是联结词不完全组,且一元联结词～不能被其表示出来。

证明:先证命题:“任一个一元真值函数f:$\{\mathrm{F},\mathrm{U},\mathrm{T}\} \rightarrow \{\mathrm{F},\mathrm{U},\mathrm{T}\}$,如果能用$\wedge, \vee, \rightarrow, \neg, \mu$这5个联结词表示出来,则必有$f(\mathrm{F}) \neq \mathrm{U}$”。

设函数f中用了k次上述联结词,现对k进行归纳。

如果$k=0$,则$f(v)=v$,显然$f(\mathrm{F})=\mathrm{F}\neq\mathrm{U}$。

如果$k>0$,则$f(v)$必为以下5种形式之一:

①$f(v) = \neg g(v)$

②$f(v) = \mu g(v)$

③$f(v) = g(v) \wedge h(v)$

④$f(v) = g(v) \vee h(v)$

⑤$f(v) = g(v) \rightarrow h(v)$

由归纳假设,$g(\mathrm{F}) \neq \mathrm{U}$,$h(\mathrm{F}) \neq \mathrm{U}$,又由上述5个联结词的真值语义定义,无论$f(v)$为哪一种形式,都有$f(\mathrm{F}) \neq \mathrm{U}$。于是上述命题成立。但是,若取$f(v) = \sim v$,则有$f(\mathrm{F}) = \mathrm{U}$,因此,$f(v) = \sim v$无法用上述5个联结词表示出来。所以$\{\wedge, \vee, \rightarrow, \neg, \mu\}$是联结词不完全组。进一步,$\mathrm{MP}^{\mathrm{M}}$的联结词可归约为$\{\rightarrow, \neg, \mu\}$,$\{\wedge, \neg, \mu\}$或$\{\vee, \neg, \mu\}$。

定理11 一元联结词μ不能用MP系统中的联结词表示出。

证明:MP的联结词可归约为$\{\wedge, \neg, \sim\}$。先证命题:“任一个一元真值函数f:$\{\mathrm{F},\mathrm{U},\mathrm{T}\} \rightarrow \{\mathrm{F},\mathrm{U},\mathrm{T}\}$,如果能用$\wedge, \neg, \sim$这3个联结词表示出来,则以下两种情形均不会出现”。

①$f(\mathrm{F})=\mathrm{F}$且$f(\mathrm{U})=\mathrm{T}$;

②$f(\mathrm{F})=\mathrm{T}$且$f(\mathrm{U})=\mathrm{F}$。

设函数f中用了k次上述联结词,现对k进行归纳。

如果$k=0$,则$f(v)=v$,显然$f(\mathrm{F})=\mathrm{F}$且$f(\mathrm{U})=\mathrm{U}$,上述命题成立。

如果$k>0$,则$f(v)$必为以下3种形式之一:

(a)$f(v) = \neg g(v)$

(b)$f(v) = \sim g(v)$

(c)$f(v) = g(v) \wedge h(v)$

由归纳假设,以下4种情形均不会出现:

(a)$g(\mathrm{F})=\mathrm{F}$且$g(\mathrm{U})=\mathrm{T}$

(b)$g(\mathrm{F})=\mathrm{T}$且$g(\mathrm{U})=\mathrm{F}$

(c)$h(\mathrm{F})=\mathrm{F}$且$h(\mathrm{U})=\mathrm{T}$

(d)$h(\mathrm{F})=\mathrm{T}$且$h(\mathrm{U})=\mathrm{F}$

又由上述3个联结词的语义定义,无论$f(v)$为哪一种形式,情形①和②都不会出现,于是上述命题成立。但是,若取$f(v)=\mu v$,则上述①成立,因此,$f(v)=\mu v$无法用上述3个联结词表示出来。

定理10和定理11的结果表明,三值逻辑系统MP^{M}与MP不等价且$\mathrm{MP}^{\mathrm{M}} \subset \mathrm{MP}^*$,从而易证它与Kleene三值逻辑系统$K_3$不等价且$K_3 \subset \mathrm{MP}^{\mathrm{M}}$,与其他逻辑系统的比较研究可参考文献[11]和[12]。

6 MF^{M}系统的应用

SQL语言的真实语义是基于三值逻辑的[1,5,7,10],采用二值逻辑作为SQL语言查询等价变换的基础是不充分的。由于在SQL语言的WHERE条件和HAVING条件的实现中,把逻辑值Unknown处理成False,导致了许多错误[1]。若完全采用三值逻辑实现,则这些错误就不会发生。三值逻辑由于难于理解和反直觉受到批评,从而引起了90年代初的一场大辩论。许多学者,包括关系数据库之父Codd,相信空值和三值逻辑是数据库的正确解决方案。存在的问题不是采用革命的方法而是采用进化的方法是完全可以解决的。目前SQL语言标准(如SQL89和SQL2)对三值逻辑的支持有两个不足:(1)存在EXISTS错误,这是由于对EXISTS,WHERE或HAVING条件的求值仅有两种可能的结果;(2)明显地缺少对未知条件

进行测试的操作符，即 MAYBE 操作符（对应于联结词 μ）。若 SQL 语言真正地基于三值逻辑实现，存在的问题是可以解决的，但基于经典二值逻辑的数据库理论与实现技术需要扩充。现代数据库系统的优化器为了提高效率大都采用查询重写技术。重写模块将用户给出的 SQL 语句等价变换为另一种效率较高或利于优化的 SQL 语句。重写需要利用关系数据库中已知的等价公式，但经典的在二值逻辑下是正确的一些转换并不能保证在三值逻辑下一定正确，因此利用 MF^M 系统可方便地证明适用于三值逻辑的一些等价变换公式。下面列出对等价变换有用的一些定理，限于篇幅，就不证明了。

定理 12　MF^M 中下列定理成立：

(1)$A \vee \neg A \mathrel{|\!\!-\!\!|} \neg \mu A$

(2)$\neg(A \wedge B) \mathrel{|\!\!=\!\!|} \neg A \vee \neg B$

(3)$\neg(A \vee B) \mathrel{|\!\!=\!\!|} \neg A \wedge \neg B$

(4)$\neg\neg A \mathrel{|\!\!=\!\!|} A$

(5)$A \rightarrow B \mathrel{|\!\!-\!\!|} \neg A \vee B$

(6)$\mu A \mathrel{|\!\!=\!\!|} \mu \neg A$

(7)$\mu(A \wedge B) \mathrel{|\!\!=\!\!|} (A \wedge \mu B) \vee (\mu A \wedge B) \vee (\mu A \wedge \mu B)$

(8)$\mu(A \vee B) \mathrel{|\!\!=\!\!|} (\mu A \wedge \mu B) \vee (\mu A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge \mu B)$

(9)$\mu(A \wedge B \wedge C) \mathrel{|\!\!=\!\!|} (\mu A \wedge B \wedge C) \vee (A \wedge \mu B \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \mu C) \vee (\mu A \wedge \mu B \wedge C) \vee (A \wedge \mu B \wedge \mu C) \vee (\mu A \wedge B \wedge \mu C) \vee (\mu A \wedge \mu B \wedge \mu C)$

(10)$\mu(A \vee B \vee C) \mathrel{|\!\!=\!\!|} (\mu A \wedge \neg B \wedge \neg C) \vee (\neg A \wedge \mu B \wedge \neg C) \vee (\neg A \wedge \neg B \wedge \mu C) \vee (\mu A \wedge \mu B \wedge \neg C) \vee (\neg A \wedge \mu B \wedge \mu C) \vee (\mu A \wedge \neg B \wedge \mu C) \vee (\mu A \wedge \mu B \wedge \mu C)$

其中，符号 $\mathrel{|\!\!=\!\!|}$ 和 $\mathrel{|\!\!-\!\!|}$ 分别表示互推和等值，在三值逻辑系统里是两个不同的概念，其含义可参见文献[11]。下面以学生数据库 STUDENT 为例，其属性为 SNO（学号），SNAME（姓名），AGE（年龄），SEX（性别）和 DEPT（系），来说明 SQL 查询的等价变换。

例 1

SELECT SNAME
FROM STUDENT
WHERE AGE <20 OR AGE>=20；

根据定理 12(1)，该查询可变换为

SELECT SNAME
FROM STUDENT
WHERE NOT MAYBE(AGE < 20)；

或

SELECT SNAME
FROM STUDENT
WHERE AGE IS NOT NULL。

例 2

SELECT *
FROM STUDENT
WHERE (DEPT = '数学' AND MAYBE (AGE> 20))
OR (MAYBE(DEPT = '数学') AND AGE > 20)
OR (MAYBE(DEPT = '数学') AND MAYBE(AGE>20))；

根据定理 12(7)该查询可变换为

SELECT *
FROM STUDENT
WHERE MAYBE(DEPT = '数学' AND AGE> 20)；

MF^M 在 SQL 语言的形式语义、不完全完整性约束的简化等方面的应用，作者将另文介绍。

7　结束语

为满足数据库实际应用的需要，本文构造了三值逻辑命题演算系统 MP^M 与三值逻辑谓词演算系统 MF^M，并证明了其可靠性和完备性定理。MP^M 是一种新的命题联结词含量不完全的三值逻辑系统，已证明它与 MP 系统和 K_3 系统不等价。MF^M 对不完全信息的处理较为方便、自然，可作为研究不完全信息、不确定信息及不完全信息推理的逻辑工具。MF^M 不仅为 SQL 查询的等价变换提供了基础，而且还可进一步应用于 SQL 语言形式语义的研究、不完全完整性约束的简化和不完全信息推理等方面。

参考文献：

[1] Klein H J. Null values in relational databases and sure information answers[C]//Bertossi L, Katona G, Schewe K D, et al. Semantics in databases. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2002, 2582: 102-121.

[2] Chen S M, Hsiao H R. A new method to estimate null values in relational database systems based on

automatic clustering techniques[J]. Information Sciences,2005,169(1-2):47-69.

[3] Cheng C H, Wang Jiawen. A new approach for estimating null value in relational database [J]. Soft Computing—A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications,2006,10(2):104-114.

[4] Wang Jiawen, Cheng C H, Chang Weiting. Partitional approach for estimating null value in relational database[C]//Zhang Shichao, Jarvis R. AI 2005: Advances in Artificial Intelligence. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag,2005,3809:1213-1216.

[5] Tre G, Caluwe R, Prade H. Null values revisited in prospect of data integration [C]//Bouzeghoub M, Goble C, Kashyap V, et al. Semantics of a Networked World: Semantics for Grid Databases. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag,2004,3226:79-90.

[6] Codd E F. Extending the database relational model to capture more meaning[J]. ACM Trans Database Syst,1979,4(4):397-434.

[7] Yue K B. A more general model for handling missing information in relational databases using a 3-valued logic[J]. SIGMOD Record, 1991,20(3):43-49.

[8] Codd E F. Missing information (applicable and inapplicable) in relational databases[J]. ACM SIGMOD Record,1986,15(4):53-77.

[9] Biskup J. A foundation of Codd's relational maybe-operations[J]. ACM Trans Database Syst, 1983,8(4):608-636.

[10] Negri M, Pelagatti G, Sbattella L. Formal semantics of SQL queries[J]. ACM Trans Database Syst, 1991,17(3):513-534.

[11] 朱梧槚,肖奚安.数学基础概论[M].南京:南京大学出版社,1996:236-382.

[12] 顾红芳,朱梧槚,肖奚安.不完全三值逻辑在语言表达上的相互比较[J].模糊系统与数学,2001,15(1):28-33.

第 8 卷第 1 期　南京航空航天大学学报 社会科学版 高等教育研究　Vol. 8 No. 1
2006 年 9 月　Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics Social Sciences Higher Education Research　Sep. 2006

“数据库原理”课程的教学改革

毛宇光

（南京航空航天大学 信息科学与技术学院，江苏 南京 210016）

摘　要：“数据库原理”教学的改革对课堂教学提出了挑战。以加强学生的基础知识学习、加强学生的实践能力和创新能力培养为主线，推行教学内容、教学方法等方面的教学改革；加强学生的逻辑思维、抽象思维、创新能力、实践能力的培养；建设并不断完善课程的网络教学平台。

关键词：教学改革；教学实践；课程建设

中图分类号：G642.0　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1671－2129(2006)01－0074－04

“数据库原理”是我校信息科学与技术学院计算机科学与技术、信息安全两个专业的必修课，在专业课程教学中占有重要地位，对人才培养具有十分重要的意义。近 30 年来，数据库技术不断发展、完善，已广泛应用于金融、保险、电信、学校、医院等各行各业。目前，计算机的大部分应用都需要数据库技术的支持。因此，系统地学习数据库的基础知识和基本理论，掌握数据库技术及其应用，使学生能够从事大型数据库系统的研究、开发和应用工作，是对计算机专业学生的基本要求[1]。“数据库原理”课程的建设目标就是通过不断改革，更新教学内容，提高教学水平，来增强学生的实践能力、研究能力和创新能力。

一、课程建设的基本情况

我院从上个世纪 80 年代初就开设了作为计算机专业主干课程之一的“数据库原理”课程。数据库是计算机领域发展较快的一个分支，新概念、新技术层出不穷，数据库教学也应与时俱进，不断进行教学改革，逐步提高数据库教学的教学质量和教学效果。目前我院“数据库原理”课程总学时为 56 学时（其中理论教学 48 学时，上机实习 20 学时），每届大约有 15 个班级，近 500 名学生（其中信息学院有 8 个班级，270 人左右，其余为专升本、理学院及金城学院的学生）。主讲教师有教授 1 人、副教授 5 人和讲师（具有博士学位）2 人。教材选用的是国内公认的数据库课程的优秀教材《数据库系统概论（第三版）》，该教材由中国人民大学的萨师煊和王珊教授编著，高等教育出版社出版。为提高数据库教学质量和教学效果，近几年来我们搜集了大量的国外教材、幻灯片及相关的教学资源，充分运用我校的现代化教学手段，开展了“数据库原理”课程的多媒体教学，制作了适合我院学生需求的电子教案和教学网站（http://gc.nuaa.edu.cn/dbs/）。从 2002 年开始，本课程建设主要在教学内容、教学方法、实践环节、能力培养等方面开展工作，对全面提高数据库课程的教学水平起到了积极作用。

二、不断改进教学内容和教学方法，努力提高课堂教学质量

基金项目：2005 年南京航空航天大学教学改革研究项目。

收稿日期：2006-07-05

作者简介：毛宇光（1962－　），男，江苏海门人，南京航空航天大学信息科学与技术学院副教授，博士后，主要研究方向为数据库理论、特种数据库及多值逻辑。

自上个世纪 90 年代末以来，由于高校大规模的扩招，学生人数急剧增加，而学生的学习能力和水平参差不齐，教学效果大打折扣，这对教师的课堂教学提出了新的挑战。为了提高"数据库原理"课程课堂教学的质量，我们着重从以下四个方面改革或改进了教学形式。

1. 借鉴国外名校的数据库教学经验和先进教学理念，追踪现代数据库技术的发展，不断更新教学内容。借助互联网收集并整理了斯坦福大学、康奈尔大学、麻省理工学院、加利福尼亚大学伯克莱分校、威斯康星大学等著名学府的数据库课程网站的相关教学资源。选择有典型意义的教学实例，不断充实教学内容，力求教学内容推陈出新，开阔学生视野，帮助和引导学生理解和掌握数据库技术的精髓，了解数据库技术的发展和趋势，为继续深化学习创造了有利条件。例如增加了多重集（multiset）、空值（null）、SQL3、递归查询、新一代数据库技术等内容。

2. 贯彻启发式、互动式教学，注重培养学生分析问题和解决问题的能力[2]。在教学过程中，采用"问题牵引"的教学方法，注重过程。首先提出问题，引导学生积极思考，充分调动学生的学习主动性，培养学生分析问题和解决问题的能力，并将问题进行改造和拓宽，一步一步地引导学生解决这些问题。鼓励学生积极参与讨论，通过讨论和问题的逐步求解来学习相关的理论知识。比如在讲授关系数据理论一章时，通过引入问题：什么是"好"的关系模式？什么是"不好"的关系模式？"不好"的关系模式有哪些弊病？如何解决这些弊病？然后再讲解范式的定义，再做课堂练习。通过对这些问题的层层展开，学习关系数据库设计的理论知识。事实上，启发式和互动式教学使程度各异的学生都从中受益，激发了学生的学习积极性，提高了课堂教学的效果。

3. "教、学、练"相结合，从"错误"中学习数据库的基本知识。在课堂教学中，对数据库教学中的重点和难点，选择有代表性的题目，进行课堂练习。本科生在接受能力、理解能力、思维能力、知识背景等方面参差不齐，出现错误在所难免。比如在学习关系代数、关系演算、SQL 语言、范式理论等理论知识的过程中，由于这些知识的逻辑性和抽象性较强，学生极易犯错误。通过课堂练习，可以发现错误，然后留给学生足够的思考时间，让学生自己去纠正错误。最后教师再进行点拨、引导和解惑，学生感到豁然开朗，这样学的理论知识比较牢固。

4. 贯彻"少而精、博而通"的教学原则。在传统的课堂教学中，往往把教学内容和要求当作一成不变的，教师容易照本宣科，满堂灌。人才培养的目的，就是为了使学生将来能够从事创造性的工作。因此，在教学过程中，力求加强基础知识的学习，精简教学内容，教师少讲，学生多练，引导学生自主学习，给予学生更多的学习自主权，使学生课后有较大的发展空间。在这样的思想指导下，我们对教学内容作了适当的取舍、扩充和重组。重点讲授教材前五章的内容，使学生深刻领会和掌握数据库原理的基本概念、基本方法和应用技术。在保持数据库教学内容完整的前提下，对教材的后五章的内容有选择性地进行不同深度的讲解，部分内容留给学生自学，并增加对一些学生感兴趣的数据库前沿知识的介绍。实践表明，这样的教学不仅加强了学生的基础，而且扩大了他们的视野和知识面，这对学生的能力培养也是十分有益的。

三、努力加强学生的逻辑思维、抽象思维和创新能力的培养

逻辑思维能力是以概念、判断、推理的形式来反映客观事物的本质特征和内部联系的思维能力，包括分析综合能力、抽象概括能力、判断推理能力等。"数据库原理"课程的特点之一是理论性强、抽象程度高，并用到许多大学一年级和二年级时学的"数理逻辑与集合论"、"图论与代数"等先修课程的知识，许多基本概念和定理由于在后续课程中用的不多，同学们在学过一年之后都忘的差不多了。这对"数据库原理"的教学，带来了一定的困难。在课堂教学中，我们对所用到的知识，首先进行提问，帮助学生回忆以前所学的知识，然后重点回顾数据库课程教学中所用到的离散数学知识，最后详细讲解这些知识是如何在数据库中应用的，使同学们逐步认识到这些理论知识的重要性。然后通过典型例子，帮助学生理解这些概念的含义，掌握这些知识是如何应用的。比如在关系演算的教学中用到了"数理逻辑与集合论"课程中的谓词演算的一些概念和定理，我们通过一些典型例子详细讲解这些概念和定理在表达关系数据库查询和查询等价变换上的应用，然后通过课堂练习巩固这些知识的学习。再比如，关系数据理论是数据库课程教学的难点，通过有代表性的例子，可以帮助学生理解范式概念的实质。因此，这些抽象概念的教学对于培养学生的抽象思

维能力和逻辑思维能力是十分有利的。

江泽民同志曾说:"创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力。"研究型大学教学的一个重要任务是培养学生的创新能力。创新能力是高素质人才的显著特点和重要标志。在课堂教学中,把学生真正看成是学习的主人,切实贯彻"以学生为主体,以教师为主导"的教学模式,充分发扬教学民主,创设轻松和谐、宽松的教学气氛,充分调动学生的学习积极性,鼓励同学们参与讨论,这样才有利于学生个性的发展和创造性思维的培养。比如在关系代数、SQL 语言等的教学过程中,有意识训练学生的发散思维能力,对同一个数据库查询题目,让学生讨论如何给出几种不同解答,然后对各种答案进行分析、比较,选择其中一种执行效率较高的答案,以讨论式和启发式来活化课堂教学,有利于激发学生的创造性思维。此外,对学有余力的学生成立兴趣小组,研读一些数据库新技术的论文,定期开展专题讨论,引导学生进行独立的探究,培养学生的创新能力和研究能力。

四、努力加强学生的实践能力培养

人民教育家陶行知先生非常重视培养和发展学生的动手能力,他提出的"教学做合一"教学模式,对于我们今天培养大学生的动手能力也有很大的启发和借鉴意义。"数据库原理"是一门理论性和实践性都很强的计算机专业课程,在强调基础理论知识的同时,更应强调解决实际问题的能力和动手能力的培养[3]。作为课程建设的一个重要方面,多年来我们坚持不断地充实与更新实验内容。在多年改革探索的基础上,改变传统实验环节,将实验分为三大部分:一是基本的实验练习,要求学生熟练掌握 Oracle 8i/9i 或 SQL Server 2000 环境下 SQL 语言的基本用法,能够顺利地创建数据库和表,进行数据的插入、删除和修改操作,并逐步练习不同难易程度的查询操作。在此基础上,给出两道难度较大的探索性题目,让学生考虑如何用 SQL 语言进行求解。部分同学经过冥思苦想和讨论,最终得出了问题的答案,同学们感觉受益非浅。二是综合性应用系统的开发,要求学生以数据库的设计与应用为核心,综合运用软件工程、数据库原理、数据库设计、程序设计等各方面知识,设计和实现一个小型管理信息系统。掌握基于客户器(Client)/服务器(Server)模式或浏览器(Browser)/服务器(Server)模式的数据库应用系统的开发,如学生通讯录管理、库存管理、学生网上选课系统等。客户端采用 Visual C + + 、Java 或 Delphi 等语言,服务器端采用 Oracle 或 SQL Server 数据库。这种应用级的软件开发,锻炼了学生的综合动手能力,激发学生的创造性。三是系统级的开发,研制一个小型 DBMS 软件。网上有许多国外优秀的数据管理系统(DBMS)软件源代码,如 PostgreSQL、Predator、MySql、MSQL、Minibase 等,组织部分动手能力强的、学有余力的学生分析 MSQL 和 Minibase 的部分源代码,了解数据库系统的内部实现技术,再合作或独立实现 DBMS 的一个模块,这对学生动手能力的提高有很大帮助。在今年的毕业设计时,部分优秀学生已独立完成了小型 DBMS 软件的设计与实现。目前我们在着手"数据库系统实现"课程的建设,已开发完成了教学型 DBMS 软件,供学生开发 DBMS 的某个模块时参考,这将对我院进一步提高数据库教学质量大有裨益。经过近几年的实践探索表明,我们的实验环节有利于学生的个性化培养,充分发挥了学生的能动性和探索精神,稳步提高了学生的动手实践能力。特别是随着我院计算机开放实验室的全面开放,必将为学生的发展提供更广阔的空间。

五、建设并不断完善课程的网络教学平台

从 2000 年起,我们在数据库教学(本科生必修课"数据库原理"和本科生全校辅修课"数据库原理及应用")中普遍采用了现代化教学手段,相继研制出多种版本的电子教学课件。各教学课件有效地提高了教学效率,增强了教学效果,推动了教学改革的发展。自 2003 年至今,已初步建成"数据库系统概论"课程网站,并且投入使用。上网的教学资源包括:《数据库系统概论》(第三版)教材提要、电子教学大纲、教学计划、电子教案、习题测试、上机实习指导和典型实例程序[4]。"习题测试"收集了大量的习题,提供了选择题、判断题、填空题、简答题和综合题以及模拟试卷,系统提供了参考答案,可帮助学生在课后复习时把握重点内容,学生选做一定量的习题后,可以巩固学习效果。此外还提供了"学习交流(BBS)"和"聊天室",促进了师生间的交流、互动和沟通。课程网站界面生动、直观、操作简便、实用性强,对数据库教学起到了很好的辅助作用。该网

络课件获得 2004 年校级优秀多媒体课件三等奖,并获江苏省高校第二届“方正奥思杯”多媒体教学课件竞赛好课件奖。

我们今后将做进一步的改进和完善工作,使该课程网站建设成为具有自主学习和研究型教学的数据库网络教学平台,目标是让学生能够通过网络及时了解数据库技术的发展和研究动态,掌握新一代数据库系统的理论和实现技术。引导学生开展探究性和创新性的活动。力争将网站建设成为学生和老师相互交流、教与学互动式的教学和研究平台,最大限度地激发学生自主学习的积极性,提高学生综合掌握和运用知识的能力,培养学生的创新能力。

课程建设和改革的根本目的是提高教学质量和教学效果,使学生受益。近几年的数据库教学改革与实践表明:我们的教学改革是成功的,深受学生的欢迎,教学质量也得到了稳步提高。相信通过课程组老师们的不断努力、不断改革和不断探索,数据库教学一定能再上一个新台阶。

参考文献:

[1] 金远平,孙志挥. “数据库原理”课程建设[J]. 东南大学学报(社科版)· 高等教育研究专集,1999(2):42 - 44.

[2] 王伟,金远平,董逸生.《数据库系统原理》课程的教学思考与实践[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版 · 高等教育研究),2003,5(2):28 - 32,36.

[3] 孙志挥,倪巍伟,刘亚军. 案例教学——开放课程“数据库系统”改革的有效模式[J]. 电气电子教学学报,2005,27(1):105 - 107,113.

[4] 王珊. 数据库课程教学改革:面向 21 世纪课程教材与国家精品课程[J]. 中国大学教学,2006(4):16 - 19.

On Reform in the Principles of the Course “Database Systems”

MAO Yu-guang

(*College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, Jiangsu* 210016, *China*)

Abstract: Reform in the teaching of the principles of database systems presents a challenge to classroom instruction. This course will enable students to investigate both practical and theoretical aspects of database systems. According to practical situations of our college, this paper explores the reform of database teaching and introduces experiences of database teaching practice aiming at strengthening students' basic knowledge learning, practice skills and creativity.

Key words: teaching reform; teaching practice; course construction

第26卷第4期　　数学研究与评论　　Vol.26, No.4
2006年11月　　JOURNAL OF MATHEMATICAL RESEARCH AND EXPOSITION　　Nov., 2006

文章编号: 1000-341X(2006)04-0846-05　　**文献标识码**: A

中介命题演算系统 MP^M 的代数系统

曹汝鸣[1]，毛宇光[1,2]，陈文彬[1]

(1. 南京航空航天大学信息科学与技术学院，江苏 南京 210016;
2. 南京大学计算机软件新技术国家重点实验室，江苏 南京 210093)
(E-mail: caoruming@hotmail.com)

摘　要: MP^M 系统是在中介逻辑系统的基础上建立起来的，用于处理数据库中不完全信息的三值逻辑命题演算系统. 本文通过在 MP^M 系统上建立一个代数系统，对 MP^M 系统进行了代数抽象，讨论了 MP^M 系统的代数性质. 本文还研究了该代数系统的次直积，以及与其它一些代数系统之间的关系.

关键词: 中介逻辑；命题演算系统；代数系统；次直不可约.
MSC(2000): 03G25
中图分类: O141.1

0 引 言

自应用数据库技术进行数据管理以来，如何处理不完全信息一直是人们关注的重要问题. 1979 年， E. F. Codd[1] 首次提出了用三值逻辑从不完全信息数据库中抽取数据的思想. 虽然他的处理空值的方法受到某些学者的批评，但这种方法具有明显的优点. 空值的处理可以统一在传统关系数据库框架之内，实质上没有增加基本算法的复杂性，而且最重要的空值类型能以切实可行的方式进行管理. 目前，数据库查询语言 SQL2 和 SQL3 处理空值也都是以三值逻辑为基础的. R. Frost[2] (1985) 提出了利用三值逻辑处理不完全关系结构数据库的方法，但没有形成理论体系，仅是非形式的描述. 1991 年， K. Yue[3] 提出了利用三值逻辑处理缺失信息的一种更一般模型，不足之处是没有给出形式系统. M. Negri[4] 等用三值逻辑讨论了 SQL 查询的形式语义，也仅是非形式的讨论，所用的三值逻辑系统的表达能力也较弱. 近年来，对空值的理论研究重新引起国外许多学者关注，探讨不完全信息系统的逻辑基础具有重要的理论价值.

中介逻辑 [5] 是朱梧槚教授和肖奚安教授于八十年代中期共同创立的一种很有特色的三值逻辑系统. 自创立以来，在语形、语义等方面得到了广泛的研究，是目前研究较为彻底的一类逻辑系统. 但是由于其研究背景是为了解决数学基础中的悖论问题，在计算机领域的实际应用中一直受到限制. MP^M 和 MF^M[6-8] 系统是在中介逻辑系统的基础上发展起来的，是用于处理数据库中不完全信息的三值逻辑命题演算系统和三值逻辑谓词演算系统. 并且经过几年的研究，已经取得了初步的成果. MP^M 系统还具有一些良好的代数性质，为了便于研究 MP^M 系统的代数性质，本文在 MP^M 系统的基础上构造了一个代数系统，并且详细讨论了该代数系统的性质. 在文章中，为了便于进行讨论，将该代数系统简称为 MP^M 中介代数.

收稿日期: 2004-12-14
基金项目: 计算机软件新技术国家重点实验室 (南京大学) 开放课题：数据库中的不完全信息与不一致信息研究； 973 计划："海量信息系统规律、模型和维护机理研究" 子课题：海量信息系统知识与管理研究 (G1999032701)