

一种新的分布式数据模型的规范说明^{*})

张 军 姚 前

(首都经济贸易大学信息学院 北京 100026)

摘 要 在大规模分布的环境下,尤其是当部分网络处于偶联的状态下,数据的分布和访问引发了相应的理论和实践问题。本文从全国人口信息系统的范例出发,提出并定义了数据的典型树状结构的分布,并对该分布模型作出了详细的规范说明。

关键词 分布式系统,树状分布,分布式模型

Specification of a New Distributed Data Model

ZHANG Jun YAO Qian

(College of Information, Capital University of Economics and Business, Beijing 100026, China)

Abstract In a large-scaled distributed environment, especially when some parts of networks are occasionally connected, theoretical problems as well as practical ones arise. Starting from a case-study about the nation-wide population information system, defines a typical hierarchical distributed data model, and presents a detailed specification of such a distributed model.

Keywords Distributed systems, Hierarchical distribution, Distributed model

在大规模分布的环境下,尤其是当部分网络处于偶联的状态下,数据的分布和访问引发了相应的理论和实践问题。我们从长期的全国人口信息系统建设的工作中体会到,由于缺乏相关分布模型的理论研究,多年来人口系统的建设停留在较低的技术水平上。2004年,我们联合了北京大学信息学院和公安部信息中心的研究力量,成功申报了国家自然科学基金会的《大规模分布环境下海量移动对象系统的研究》课题,进而展开了相关的研究工作^[1,2]。经过近3年的努力,课题组完成了一个命名为海量移动对象(Huge Mobile Object System的缩写,以下简称HMOS)的新的分布模型的初步设计工作,本文是这个研究成果的主要内容。

1 问题的提出

覆盖较大区域的数据一般来说是按树状结构来组织和分布的,这主要是因为区域的划分、组织机构划分以及相关的管理模式都呈现树状结构的特征^[3]。关于树状结构分布的最成熟的数据模型当属上个世纪80年代中期制定的X.500目录服务国际标准(ITU-T X.500和ISO/IEC 9594)^[4],它建立了树状结构数据的3个理论模型,即信息模型、操作模型和分布模型。1993年7月,第一个简化的X.500的实现是由密歇根大学开发的,也就是今天的轻量级目录访问协议LDAP。LDAP的开发者们简化了X.500目录访问协议,他们在功能性、数据表示、编码和传输方面做了改建。目前,LDAP的版本是第3版本。相对以前版本来说,第3版本在国际化、命名、安全、扩展性和特性方面更加完善。1997年,第3版本成为因特网国际标准。

通过更深入的分析我们发现,LDAP或X.500标准可以作为本课题的一个重要参考,但它还不是能够解决本课题问

题的直接可用的分布模型。原因表现为以下几个方面:

- 1)LDAP没有关于数据和原数据(meta-data)的划分,不能提供描述、管理和集成异构数据源的标准方法;
- 2)LDAP可以通过对象类来定义目录信息之间的关系,但不提供基于目录关系的数据组织的标准方法;
- 3)LDAP从第3版本开始增加了数据分布的标准,但未能对数据复制提供标准方法。

因此,我们有针对性地开发了一个命名为HMOS的新的数据分布模型。虽然这个模型设计在较大程度上得益于LDAP标准的启迪,但它与LDAP的区别是很明显的。在后面的规范描述中,我们重新定义了使用的术语,以免发生歧义。

HMOS分布模型的主要特点有:

- 1)集成的原数据和数据的管理、原数据和数据都是按照树状结构组织,而且都是可分布的;
- 2)数据的组织和分布按照原数据的规定自动进行;
- 3)原数据支持自上而下的自动复制,而数据支持自下而上的自动复制。

2 HMOS模型

2.1 基本数据结构(Data Structure)

数据字段(Data Field):数据字段的HMOS模型中最小的数据单元。按照表达上的惯例,描述和定义数据字段的数据称为数据字段定义(Data Field Definition,在无歧义的情况下简称为Data Field),包含字段的名称、描述、类型和是否多值;而数据字段所代表的数据则称为数据字段值(Data Field Value)。

数据条目(Data Entry):数据条目是由一组(不同的)数

^{*})国家自然科学基金资助,2008-2010。张 军 博士,教授,主要研究方向为数据库技术、数据挖掘等;姚 前 博士,教授,主要研究方向为数据库技术、信息安全等。

据字段构成的一个有独立意义的数。描述和定义数据记录的数据称为数据条目类(Data Entry Class, 或简称为 Data Class), 包含名字、描述、必要属性与可选属性。

数据集(Data Set): 数据集是由一组具有相同数据类定义的数据条目的集合。描述和定义数据集的数据称为数据集定义(Data Set Definition), 包含名字、描述和数据类。

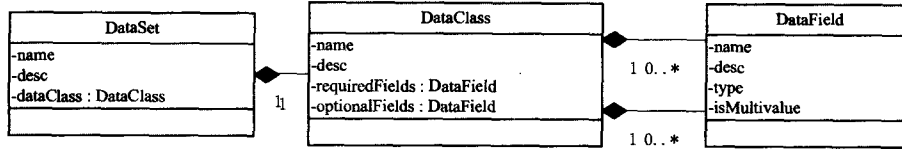


图1 基本数据结构

2.2 数据集的组织模型

一个数据集可以按照某种规则完全地分解为多个互不相交的数据子集, 数据子集还可以按相同原理进行继续分解。一个数据集经过如此递归分解后所形成的数据集的组织结构称为数据集的组织模型(Data Set Organization Model), 或简

称为数据集模型(Data Set Model); 这些“某种”规则称为数据集的分解规则(Partition Rule)。

为了满足数据集模型的需求, 我们需要对基本数据结构做相应的修订: 增加了数据子集的定义, 并在数据集和数据子集上增加了必要的属性, 如图2所示。

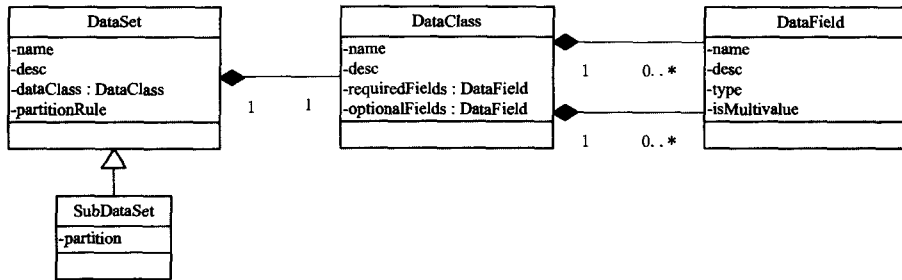


图2 基本数据结构的修订(一)

在DataSet中, 我们增加了 partitionRule, 以定义分解数据集的规则。一种直观和常用的分解规则是基于数据集的某个字段值。可以证明, 这种分解满足数据集模型关于“完全地”和“互不相交”的要求。为了避免陷入关于分解规则的繁琐讨论, 我们在后续的讨论中只使用这种简单形式的分解规则, 我们认为这是不失一般性的约定。

SubDataSet 是 DataSet 的简单继承。除此之外, SubDataSet 还定义了一个附加属性 partition, 以说明满足分解规则的值条件。

数据集模型是一个严格的树状结构(Tree Structure), 图3是一个数据集模型的示例。

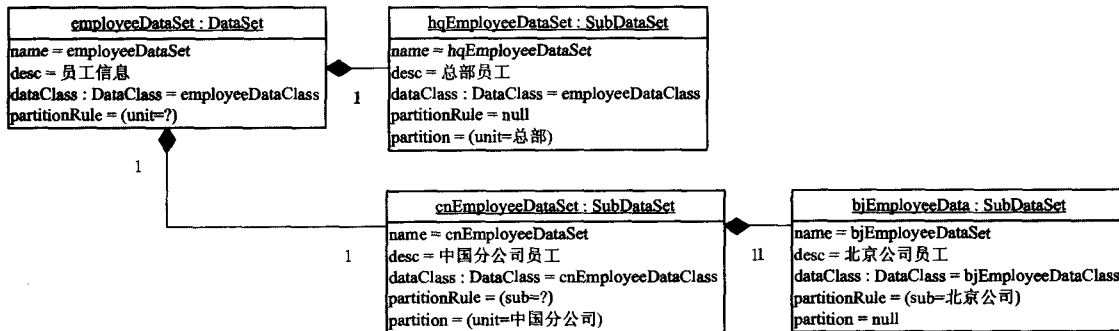


图3 数据集模型示例

我们可以通过设置数据类对象为空来定义一个“虚数据集”, 虚数据集可以用来代表一个数据分类。图4中人口就是一个虚数据集。

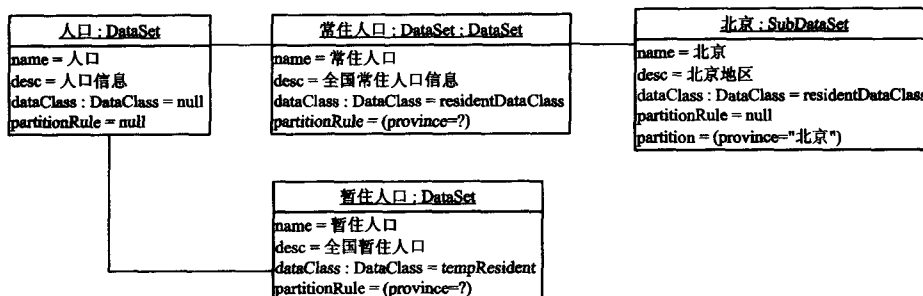


图4 虚数据的示例

一个遗留的问题是,数据集或数据子集所定义的数据类之间有什么样的约束关系。这将涉及到下一节提出的数据类的组织结构。

在后续的讨论中,在不发生歧义的情况下,我们将不加区别地使用数据集和数据子集这两个术语。

2.3 数据类的组织模型

每个数据集有相对应的数据类。对于从同一个根分解出来的数据子集,如果要求这些数据子集的数据类与根数据集

保持一致,可能是过于苛刻。但如果允许不同,那么问题是在多大程度上可以不同。数据类的组织模型(Data Class Organization Model)定义了数据类之间的继承关系,而同一个根的数据集的数据类必须满足这种继承顺序关系。数据类的组织模型可以简称为数据类模型。

为了建立数据类之间的继承关系,每个数据类的定义还必须包含它所依赖的基数据类。再次修订的基本数据结构如图5所示。

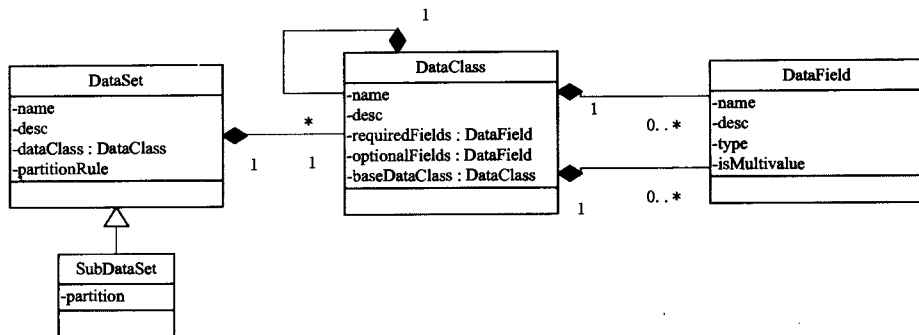


图5 基本数据机构的修订(二)

除根数据类外,每个数据类定义了一个基类。这时,每个数据类所定义的必要字段和可选字段应该被理解为相对于集类的附加的必要字段和可选字段。因此实际上,一个数据类的必要字段和可选字段是从根数据类开始定义的所有必要字

段的合集和所有可选字段的合集。

继续引用上节的例子,所涉及的数据类定义可以是图6的形式。

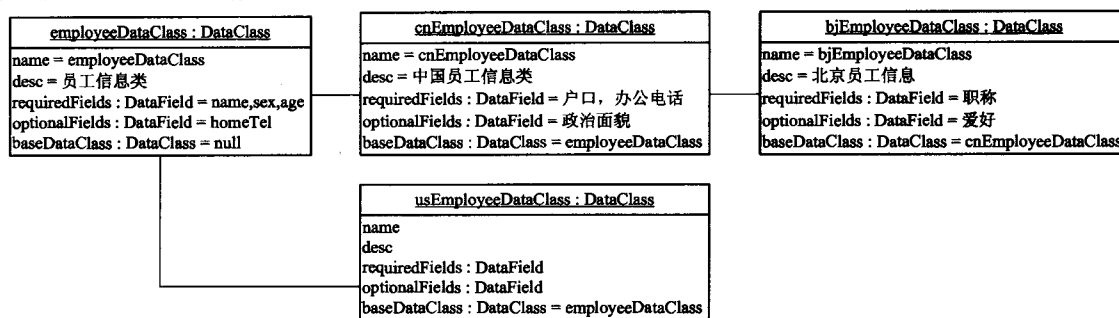


图6 数据类组织模型示例

数据类模型也是一个严格的树结构。

2.4 数据访问单元

每个数据集(除虚数据集外)的数据是一个逻辑上不可再分解的整体,我们将数据集的数据定义为数据副本(Data Copy)。一个数据集可以有0个或多个保存在不同位置、或/和不同数据容器处的副本数据。数据访问单元(Data Access Unit)定义了该副本的访问协议、位置和其它参数。从原始还是复制数据的角度划分,副本又分为主副本(Primary Copy)和复制副本(Replicate Copy)。

为了避免不必要的复杂性,HMOS模型假设在一棵数据集树上,数据的复制总是自下而上的。因此,对一棵给定的数据集树而言,主副本只可能存在于叶子结点处,而其它数据集结点处只有复制副本数据。

这个假设并不排除在叶子结点也可能存在复制副本数据。

基本数据结构在增加了数据访问单元的定义后,成为图7所示的结构。

HMOS模型被设计为可以支持多种不同数据容器访问功能,并且易于扩展。

2.5 元数据模型

HMOS的元数据模型(HMOS Meta Data Model,以下简称元数据模型):元数据一般被定义为描述和定义数据的数据。HMOS模型包含以下4个方面的内容:

- (1)字段的定义;
- (2)数据类的定义和数据类树;
- (3)数据集的定义和数据集树;
- (4)其它系统参数(暂不涉及)。

为了准确地定义元数据模型,我们采用了以下11条数学表达式的定义。

<def.1> $MD = \{F, DC, DS\}$, 其中:

- MD: HMOS模型的元数据集
- F: 数据字段定义的集合
- DC: 数据类定义的集合
- DS: 数据集定义的集合

<def.2> $F = \{f_i | 0 < i \leq n\}$, 其中:

f_i : 第*i*个数据字段定义

<def.3> $DC = \{dc_i | 0 < i \leq m\}$, 其中

(1)每个管理域有一个系统范围内全局唯一的标识,记为 ServerID。HMOS 分布模型对 ServerID 的产生、分发和管理不做任何具体要求。

(2)HMOS 模型中的每个元素(数据字段、数据类和数据集)都唯一地从属于某一个 ServerID。

(3)由此构成 HMOS 分布图必须是一个无环的有向图。

图 9 将一个 HMOS 模型分解为 8 个管理域。其中红线圈定的域不是一个合法的 HMOS 管理域。

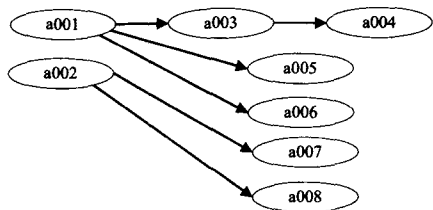


图 10 HMOS 模型分布图

这 8 个管理域形成如图 10 所示的分布图。

2.7 元数据的操作模型

用户对元数据的操作是通过登录到某一个元数据服务器上完成的。

用户对上级服务器的元数据的只读操作权限和对所在管理域的元数据有完全的操作权限。

因此,与数据集复制方向正好相反,元数据的管理是自上而下的。

元数据的操作模型由以下几个部分构成。

(1)对字段定义的操作:

a)读字段定义。允许读本管理域和上级管理域的数据字段定义。

b)创建新的字段定义。字段的作用范围分为 3 类:系统全局(system,暂不涉及)、仅限于本管理域(local)和管理域范围(zone)。用户可以创建后两类字段定义。

c)修改字段定义。只允许对本管理域定义的字段进行修改。在修改前,系统需要检查该字段是否被使用,否则禁止修改。被使用是指数据字段已经在对象类的定义中使用。

d)删除字段定义。只允许对本管理域定义的字段进行删除。在删除前,系统需要检查该字段是否被使用,否则禁止删除。

e)由于没有机制可以知道一个 zone 作用范围的数据字段是否被下级管理域引用,因此操作模型还特别规定:所有新创建的字段在没有被管理域的某一个数据集引用时,都只有本地的作用范围。

(2)对数据类的操作:

a)读数据类定义。允许读本管理域和上级管理域的数据类定义。

b)创建新的数据类。数据类有与数据字段相同的作用范围定义。用户可以创建 local 和 zone 范围的数据类。需要注意的是,local 数据类可以使用 local 和 zone 作用范围的数据字段,而 zone 作用范围数据类必须全部使用 zone 范围的数据字段。用户可以在本管理域创建根数据类,也可以创建派生数据类。派生数据类中的集类可以是上级或本管理域中定义的数据类。

c)修改数据类。只允许对本管理域定义的数据类进行修改。在修改前,系统需要检查该数据类是否被使用,否则禁止

修改。被使用是指数据类已经在数据集的定义中使用。

d)删除数据类。只允许对本管理域定义的数据类进行修改。在删除前,系统需要检查该数据类是否被使用,否则禁止删除。

e)由于没有机制可以知道一个 zone 作用范围的数据类是否被下级管理域引用,因此操作模型还特别规定:所有新创建的数据类在没有被管理域的某一个数据集引用时,都只有本地的作用范围。

(3)对数据集定义的操作:

a)读数据集定义:允许读本管理域和上级管理域的数据集定义。

b)创建新的数据集。用户可以本管理域内创建根数据集和虚根数据集。根数据集可以引用上级或本管理域定义的数据类;用户也可以创建其它数据集,但必须符合上级数据集的分解规则和数据类继承的顺序性的要求。

c)修改数据集定义:只允许对本管理域定义的数据集定义进行修改。在修改前,系统需要检查该数据集是否已经注册了数据访问单元,如果已经注册,则禁止修改。

d)删除数据集定义:只允许对本管理域定义的数据集定义进行删除。在删除前,系统需要检查该数据集是否已经注册了数据访问单元,如果已经注册,则禁止删除。

e)数据访问单元的注册操作:对本地管理的数据集,用户可以注册、修改和注销数据访问单元。

2.8 名字空间

对元数据的任何操作都依赖一个名字系统。HMOS 模型分别对服务器标识、字段、数据类、数据集进行了相应的命名规定。

(1)服务器标识(ServerID):服务器标识是一个全局唯一的名字,是一个由字母和数字组成的长度小于等于 8 的字符串,首字符是字母。

(2)URL:HMOS://host:port/HMOSPath

HMOSPath = “”; 返回 ServerID

HMOSPath = relativePath; 本地管理域名字

HMOSPath = serverID? relativePath; 指定管理域的名字

relativePath = F; fieldname; 数据字段定义

relativePath = DC; dataclassname; 数据类定义

relativePath = DS; datasetPart; subdatasetPart; accessunitPart

datasetPart = ds1-ds2-d3; ds1, ds2, ds2 数据集名

subdatasetPart = df1 = dv1, df2 = dv2; df1, df2 是分解字段,

dv1, dv2 是字段值

accessunitPart = url

例如:

HMOS://host:port/; 返回服务器的服务标识

HMOS://host:port/F; homeTel; 数据字段 homTel

HMOS://host:port/a001? DC; employee; 服务标识 a001 上的数据类 employee

HMOS://host:port/a001? DS; 人口-常住人口; city=北京, district=朝阳; jdbc://192.123.1.1:333/user=zj, password=zj, database=person

(下转第 225 页)

的相似度量区分能力扩大了 100 倍。

3) 以上各种相似度量方法满足定理 1 的情况见表 3, 其

中完全满足定理 1 的度量方法有 $M_{pk}, M_{ydq}, M_{zcy}, M_{xy}, M_{cl}, M_z$ 。

表 3 各种相似度量方法满足定理 1 中相关性质的情况

相似度量方法	Mc	Mh	Mlf	Mpzk	Mmzf	Mlyh	Mlhw	Mydq	Mclj	Mhgs	Mzcy	Mal	Mljl	Mcll	Mz
满足定理 1 的性质	P1-P4	P1-P4	P1-P4	P1-P5	P1-P4	P1-P4	P1-P3	P1-P5	P1-P4	P1-P5	P1-P5	P1-P4	P1-P4	P1-P5	P1-P5

4) 对于 M_z 的进一步说明: 虽然 M_z 的区分能力小于 M_{gl} 的区分能力, 但 M_z 在度量 $x_1=[0.1, 0.9]$ 和 $y_1=[0.2, 0.9]$ 时的结果为 0.933, 在度量 $x_2=[0.7, 0.9]$ 和 $y_2=[0.8, 0.9]$ 时的结果是 0.942, 这样的结果符合我们关注的已知的确切信息。因为 x_2 和 y_2 的未知量远小于 x_1 和 y_1 的未知量且端点距离相等, 所以 x_2 和 y_2 的相似度应该大于 x_1 和 y_1 的相似度, 这个结果比 M_{gl} 的计算结果更合理更适用(用 M_{gl} 计算时, x_2 和 y_2 的相似度小于 x_1 和 y_1 的相似度)。但要特别指出的是, 不是说在端点距离相等且 x_2 和 y_2 的未知量小于 x_1 和 y_1 的未知量的情况下, 就一定得出 x_2 和 y_2 的相似度大于 x_1 和 y_1 的相似度的结论。这是因为未知量大小不是影响相似度的唯一因素, 在某些情况下可能不起作用。例如, 当 $x_1=[0.1, 0.9], y_1=[0.1, 0.9], x_2=[0.8, 0.9], y_2=[0.8, 0.9]$ 时, 端点距离相等且 x_2 和 y_2 的未知量远小于 x_1 和 y_1 的未知量, 但此时 x_2 和 y_2 的相似度等于 x_1 和 y_1 的相似度, 均为 1。

结束语 本文通过对现有的 Vague 集相似度量方法的分析, 指出这些度量方法不足以准确描述 Vague 集的相似本质, 给出了相似度量的一系列讨论, 提出了度量 Vague 集相似性的必要参数和评价方法, 定义了相似度量区分能力, 为衡量 Vague 集相似度量方法提供了理论依据。在充分分析 Vague 集特点的基础上给出了一种新的相似度量的方法, 经试验验证该方法有更好的度量效果, 相似度量区分能力高, 该方法有望在更广的领域得到应用。

参 考 文 献

[1] Zadeh L A. Fuzzy sets. Information and control, 1965, 8(3): 338-353
 [2] Gau Wen-Lung, Buehrer D J. Vague sets. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1993, 23(2): 610-614
 [3] Chen S M. Measures of similarity between vague sets. Fuzzy Sets Syst, 1995, 74(2): 217-223
 [4] Chen S M. similarity measures between vague sets and between elements. IEEE Trans, Syst, Man, Cybern, 1997, 27(1): 153-158

(上接第 191 页)

结束语 本文试图给出 HMOS 模型的一个理论规范。我们认为这种模型比较适合大规模分布系统的应用, 但很多内容还有待展开。目前课题组正在开发和完善该理论模型的一个计算机软件实现。实现的细节就不在本文中赘述了。

致谢 首都经济贸易大学赵丹亚教授、王利教授、李宁副教授, 以及项目组的全体成员。

参 考 文 献

[1] 谢毅平, 李书旺, 张军. HMOS 系统的规范介绍. 中国公安大学

[5] Hong D H, Kim C. A note on similarity measures between vague sets and between elements. Information Sciences, 1999, 115(1): 83-96
 [6] 李凡, 徐章艳. Vague 集之间的相似度量. 软件学报, 2001, 12(6): 922-927
 [7] 马志锋, 邢汉承. Vague 决策表中的含糊规则获取. 计算机学报, 2001, 21(4): 382-389
 [8] 刘华文. 模糊模式识别的基础——相似度量. 模式识别与人工智能, 2004, 17(2): 141-145
 [9] 阎德勤, 迟忠先. Vague 集中的分解定理与相似度量. 计算机科学, 2003, 30(1): 78-79
 [10] 阎德勤, 迟忠先, 李艳红. 关于 Vague 集的相似度量. 模式识别与人工智能, 2004, 17(1): 22-26
 [11] Lu A, Ng W. Managing Merged Data by Vague Functional Dependencies // 23rd International Conference on Conceptual Modeling (ER2004). Shanghai, China, LNCS3288, 2004, 11: 259-272
 [12] Lu Jingli, Yan Xiaowei, Yuan Dingrong, et al. A New Similarity Measure for Vague Sets. IEEE Intelligent Informatics Bulletin, 2005, 6(2): 14-18
 [13] Lo C-C, Wang P, Chao K-M. A Fuzzy Analysis Method for New-Product Development // The 9th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. Coventry, UK, 2005, 5: 211-216
 [14] 李艳红, 迟忠先, 阎德勤. Vague 相似度量与 Vague 熵. 计算机科学, 2002, 29(12): 129-132
 [15] 裴振奎, 徐九韵. Vague 集之间相似度量的一种新方法. 广西师范大学学报, 2003, 21(1): 138-143
 [16] 蔡立晶, 吕泽华, 李凡. Vague 集的三维表示及相似度量. 计算机科学, 2003, 30(5): 76-77
 [17] 黄国顺, 刘云生. Vague 集相似度量及其在模式识别中的应用. 复旦学报, 2004, 43(5): 869-872
 [18] 黄国顺, 刘云生. 一类新 Vague 集相似度量. 计算机应用与软件, 2005, 22(7): 24-26
 [19] 张诚一, 党平安. 关于 Vague 集之间的相似度量. 计算机工程与应用, 2003, 17(1): 92-94

学报, 2004(4)

[2] 张军, 李书旺. HMOS 分布模型的初步研究. 计算机科学与实践, 2004(6)
 [3] 张军, 李书旺. 典型树状结构分布对象的复制、定位和联结服务. 计算机科学与实践, 2005(3)
 [4] Weider C, Reynolds J. Executive Introduction to Directory Services Using the X. 500 Protocol, RFC 1308, March 1992
 [5] Yeong W, Howes T, Kille S. ISODE Consortium, X. 500 Lightweight Directory Access Protocol. RFC 1487, July 1993