

# 基于 Ontology 的智能信息检索<sup>\*</sup>

Intelligent Information Retrieval Based on Ontology

徐振宁 张维明 陈文伟

(国防科技大学管理科学与工程系 长沙410073)

**Abstract** This paper introduces the technology of Ontology which has been widely used in DAI. We propose architecture of an intelligent information retrieval system based on Ontology. The system is implemented using the distributed software Agent techniques, the multilevel approach to building models for the user and multi-user, and the relevant feedback learning approach. The system has the features of precisely querying according to semantic, and adjusting to shifting user's interests and changing source adaptively. The system generally can be used for information retrieval in Internet on special domains or by special user groups, and has high significance in theories and applications.

**Keywords** Ontology, Intelligent information retrieval, Internet, Multi-agent

## 一、前言

对于普通的 WWW 用户,“信息过载”已经成为一个日益严重的问题。目前广泛使用的信息检索或者依赖编码过程,即对于给定的内容使用特定的观点或分类方法进行描述;或者进行全文检索,搜索包含用户指定词汇的信息源。由于编码的描述只能反映内容的一部分,单个词汇的出现更是难以反映文献的内容,所以以上方法都难以确保检索内容的精确匹配。

在实际中大量使用语法方法进行检索的同时,人们逐渐认识到使用语义进行检索是一种解决精确查询的有效途径。但是语义检索要依赖显式标注的信息资源,或完整、正确的自然语言理解系统,显然这两个要求在近期内都难以满足。

采用分布式人工智能(DAI)方法可以代替人工完成繁杂信息的收集、过滤、分类以及融合等任务。DAI 技术大量应用于 WWW 信息检索中,正在逐渐向完全的精确语义检索解决方案努力。在目前的阶段,我们认为 WWW 的信息检索系统可以从以下几个方面对性能进行改进:

- (1) 具有支持检索的语义知识;
- (2) 部分、但强壮的自然语言理解;
- (3) 系统提供多种与用户交互的自然方式;
- (4) 集成结构化文档、半结构化文档和关系数据库的知识。

Ontology(本体库)能够作为以上几个方面的基础和中介,在系统中居于核心地位。本文主要介绍 Ontology 在 AI 领域的概念界定、相关的理论问题,探讨 Ontology 在智能信息检索中的应用,进一步总结提出在 WWW 背景下,基于 Ontology 智能信息检索的体系结构。该体系结构以 Ontology 为核心,采用 Multi-Agent 技术,对单用户和群用户偏好模式的多层次用户偏好建模,并采用多种相关反馈学习算法等方法,有效地解决了在特定领域范围内精确语义查询、自适应用户兴趣和信息源的变化,以及系统的可扩展性等问题。该系统普遍适用于 Internet 特定领域或特定用户群,企业网等分布式系统中的智能信息检索,具有较高的理论价值和应用价值。

## 二、Ontology 的概念界定及相关理论问题

自从90年代以来,围绕 Ontology 召开了为数众多的专题研讨会。来自于哲学、知识获取和表示、计划、过程管理、数据库视图集成、自然语言理解和企业建模等,历史上相互分离的不同领域的研究人员,从各自的角度出发共同探讨 Ontology 问题的核心。1998年这一领域的第一个主题会议“信息系统中形式本体论国际会议”(ICFOIS1998)召开,同时伴随着研究成果数量和质量增加,标志着这一领域的研究日趋走向成熟。

### 2.1 Ontology 的概念界定

Ontology 是从哲学领域借鉴过来的术语,在哲学

<sup>\*</sup> 本课题得到国家自然科学基金和“九五”国防预研基金资助。徐振宁 博士研究生,主要研究方向为分布式人工智能,多主体系统。张维明 教授,主要研究方向信息系统,智能决策支持系统,软件工程。陈文伟 教授,博士生导师,主要研究方向人工智能,决策支持系统,智能决策支持技术。

中 Ontology 是一种存在的系统化解释,为了澄清在知识工程领域(Ontology 的概念,Guarino 和 Guaretta<sup>[1]</sup>针对流行的 Ontology 七种不同概念解释进行了深入的分析,给出了目前基本上得到了 AI 领域认同的概念界定,即:

Ontology: 一个概念化的某些方面的显式说明或表示。

要明确上述概念界定的定义,首先要明确“概念化”的含义。概念化从广义上讲是指世界观,是指对某个领域的思维方法,它可以被看作是“限制实体(reality)某一部份结构的非形式化规则的集合”<sup>[2]</sup>,它也可以被典型地理解并表示为“概念的集合(例如,实体、属性、过程),以及它们的定义和相互间的联系”<sup>[3]</sup>,概念化可以是隐式的,例如,存在于人的头脑中,或嵌入在软件中。

上面对 Ontology 的定义并不是最终的标准定义,但是却符合绝大多数普通的标准用法,对知识工程更具有指导意义,如上的定义明确地要求 Ontology 是显式的,以区别于概念化。除此以外,该定义对 Ontology 没有更多的限制。

在知识工程领域,Ontology 总是以某种方式与特定的表示共享知识的知识库设计相关联,Ontology 理论与任意逻辑理论(或知识库)的不同之处在于理论的语义部分,因为 Ontological 理论所有的公理在基础概念化的任何可能世界中都必须成立的<sup>[4]</sup>,实际上,如果 Ontology 和知识库使用相同的语言定义,它们之间并没有清晰的界限,Ontology 库的设计与实现可以借鉴普通知识库的方法。

下面,我们将从几个不同的角度,进一步对 Ontology 进行说明。

### 2.2 Ontology 的基本内容

在知识工程领域,所谓“存在”就是可以被表示的。当领域知识以一种声明性的形式主义表示时,可以被表示的所有对象的集合被称为会话的世界。在知识工程领域,我们可以通过定义描述性的术语,来描述应用的 Ontology。在知识工程领域 Ontology 可以采用各种不同的表示形式,但是一般都包含一个术语的词汇表和词汇意义的某些说明。这包括概念的定义和概念相互之间的关系,以及概念和概念之间关系所满足的公理。它们共同地在领域(domain)上施加一个结构,限制对术语可能的解释。

一个 Ontology 实际上总是许多 Agent 协定的对某个领域共享理解的表示,这种协定有助于对内容意义的精确、高效通信,同时又反过来促使系统的交互式操作、重用和共享等一系列的性能得以提高。图1是从文[10]中摘取的一个 Ontology 实例,具体说明 Ontol-

ogy 的内容,图中表示的内容为某领域研究人员 Ontology 库的一部分,是对研究人员(person)和出版物(publication)的概念,以及研究人员的合作关系(cooperatesWith),研究人员与出版物之间相互关系公理的定义。

```
Object [].
  Person::Object.
  Publication::Object
Person[
  firstName = >STRING,
  lastName = >STRING;
  eMail = >STRING;
  ...
  publication = >>Publication].
publication[
  author = >Person;
  title = >STRING;
  year = >NUMBER;
  abstract = >STRING]
~~~~~
FORALL Person1, Person2
  Person1; Researcher[cooperatesWith - >>Person2] <-
  Person2; Researcher[cooperatesWith - >>Person1].
FORALL Person, Publication1
  Publication1; Publication[author - >>Person1] <-
  Person1; Person1[Publication - >>Publication1].
```

图1 一个 Ontology 的实例。上面为概念定义,下面为关系公理定义。

### 2.3 Ontology 的分类

从目前发表涉及 Ontology 研究与应用成果文献中可以发现,总体上说应用 Ontology 都是为了使系统获得某种方式的重用。某些文献主要将 Ontology 看作是构造知识库的一种途径;另外一些将 Ontology 看作是知识库的一部分;此外还有将 Ontology 视为应用相关的交互工具以及企业 Ontology。

根据已有的文献,按照应用领域的不同可以大致将 Ontology 划分为三大类<sup>[4]</sup>,如图2所示。

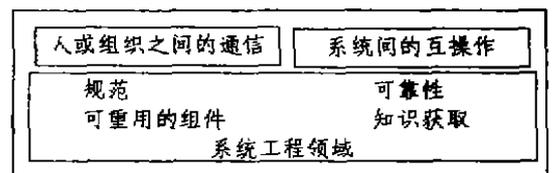


图2 Ontology 应用的三个主要领域

达成概念的共识对人或组织间交流的促进作用是显而易见的,因此 Ontology 很自然地应用于人或组织之间的通信。通过使用 Ontology 作为交换格式,在不同的建模方法、算法,语言和软件工具之间进行转换,实现系统间的互操作,具体过程如图3所示。

将 Ontology 技术应用于系统工程领域,在以下四个方面有助于提高系统的性能:

可重用性:Ontology 是领域中重要的实体、属性、处理过程和它们之间关系形式化编码的基础,这种形



问或维护 Ontology 数据模型, 灵活、方便地维护用户 偏好模式和文档分类标注库提供了接口, 如图4所示。

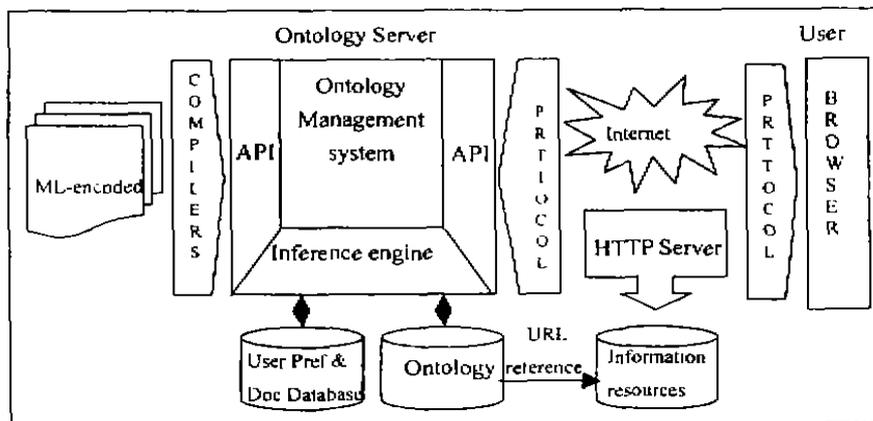


图4 系统的参考体系结构

终端用户和根据 Ontology 的词汇和语法规则对资源标注进行人工维护的人员通过通信协议访问 Ontology 服务器, 现有系统的实践表明<sup>[1]</sup>, HTTP 协议并不是最理想的通信协议, 知识层的通信协议比较适合于如上的情况, 如 KQML 等。

Ontology 库和文档分类标注库也提供通过离线维护, 系统接收以标记语言 (ML, Markup Languages) 编码的文档, 例如扩展的 HTML、XML 或 RDF 等语言。Ontology 服务器引导 HTTP 服务器为用户完成最

终的信息收集任务。

### 3.2 系统的 MAS 视图

在系统设计中, 我们认为 Agent 是一个面向目标的、能够持续运行的、具有一定学习能力的软件程序。每个主体都可以动态地适应不同的用户, 并自动地持续运行, 完成特定的任务。我们设计的系统采用 Multi-Agent 技术, 由多个 Agent 共同协作完成用户的信息查询, 系统组成的 MAS 视图如图5所示。

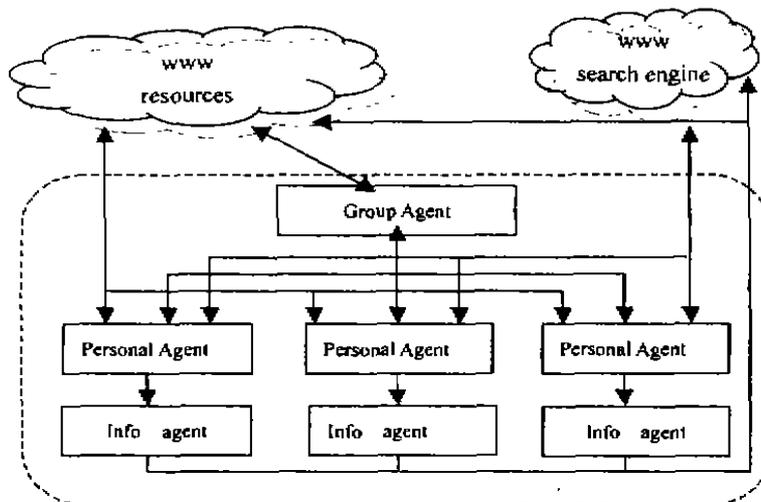


图5 系统组成的 MAS 视图

智能信息检索系统能够利用不同层次的用户偏好知识: 每个用户自身的偏好知识和用户群的偏好知识, 这是因为在特定领域用户群中的单个用户感兴趣的信息, 对用户群中的其他用户往往也是有价值的。利用大量单个用户对所需信息的特征描述知识, 能够识别出

领域内用户信息需求的共性。这样能够有效地利用网络的带宽, 缓存热点信息; 达到检索结果的多用户共享。

出于以上考虑, 我们在系统中设计了三大类 Agent: 每个用户都有自己的个人 Agent (PA, Personal

Agent)和信息收集 Agent(IA, Information Agent),它们共同满足单个用户的特定信息查询需求;系统中存在一个群 Agent(GA, Group Agent),用于维护用户群的知识 and 查询处理,在 Internet 中寻找领域内群体感兴趣的信息,监视群体兴趣集中的网页内容变化,下面详细介绍 PA 与 GA 的结构,以及各个部分的功能。

### 3.3 PA 和 GA 的详细设计

3.3.1 Ontology 库的构造 Ontology 库中存储的是系统内所有 Agent 对领域涉及的概念、概念之间的联系以及对领域内基本公理知识的统一认识,同时也是系统内的所有用户对领域的一个全面共同视图。Ontology 的建立可以分为两大步骤:1)“概念化”关心的领域;2)形式化非形式化的关心领域的“概念化”。

领域“概念化”方法论的研究是一个很前沿的理论研究,研究涉及将 Ontology 的哲学原则发展成为工程的原则,对这一问题的讨论已经超出了本文的研究范围,详细讨论参见文[12]。

“概念化”的领域知识定义,包括对应用问题和其解决过程所必需的概念、属性、关系、启发式规则和实例等的定义。描述逻辑(Description Logics, DL)和框架逻辑(Frame-Logic, FL)是现有众多形式化 Ontology 方法的核心技术,DLs 本身结合了包含检查、自动分类和实例的识别算法,但是它在建模方面的主要不足之处在于限定的表示形式主义,只容许术语知识的

规范说明<sup>[4]</sup>,FL 开发的目的是提出一种用于面向对象和基于框架语言的陈述框架。它提供了对象的标识、复杂对象、继承、多态类型,方法和封装,并且将这些特性集成在一个基于逻辑的框架内。文[14]讨论了在知识工程中用于定义 Ontology 的形式化描述语言的要求,这种语言必须能够对复杂对象建模、能够描述元关系和公理知识,通常 DL 不能完全满足上述要求。因此,用 FL 构造形式化的 Ontology 是比较合理的一种选择。

3.3.2 PA 的详细设计 图6显示了 PA 的详细功能结构图,用户利用普通的 Web 浏览器通过 Internet 访问 PA,进行信息查询,训练。PA 中的 Proxy Module(代理模块)是一个用于解释用户和 Web 间往来消息的模块,它用于识别用户通信的意图和内容,调度相应的模块进行处理,例如识别用户的意图是对个人偏好进行训练,还是信息服务请求等。

Answer Visualizator(应答可视器)对用户查询的结果进行可视化处理,这是因为这些结果可能来自于不同的网页或数据库,需要转换为 Internet 上通用的表示格式。同时,Answer Visualizator 可以根据 Ontology 库中对领域问题的描述、用户的偏好和初始查询携带的动态参数信息,如需要返回的结果数量等,对查询结果进行个性化的显示。

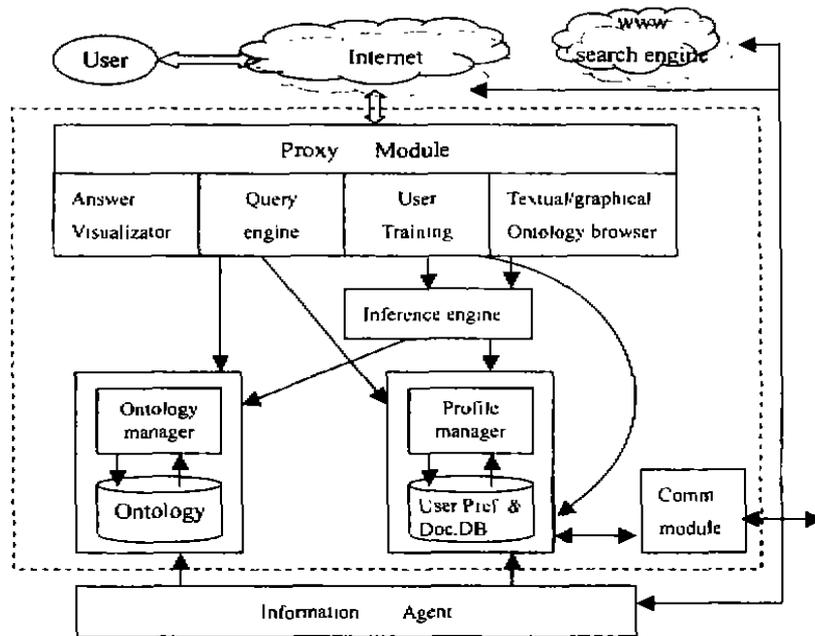


图6 PA 的功能结构图

Query Engine(查询引擎)接收 Proxy Module 提交的查询请求,根据 Ontology 库确定用户查询所涉及

的概念和概念之间的联系,然后结合用户偏好库中的用户偏好模式明确用户的查询意图,接下来用相关的

概念丰富用户的查询,对用户的查询进一步形式化,精确用户的查询内容,在标记文档库中或提取结果信息,或按标记文档库中的 URL 索引调用信息 Agent 进行检索,在文档库中没有可用信息时,调用信息 Agent 检索,同时请求 User Training 模块进行反馈学习,最后 Query Engine 将查询结果提交给 Answer Visualizer 进行可视化处理,提交给 User Training,以便更新用户模式和文档标记库。

Inference Engine(推理引擎)将建立 Ontology 库所依赖的逻辑系统转换为常用的逻辑系统,用相对成熟的技术进行推理,然后将推理结果转换为 Ontology 依赖的逻辑系统,这样可以充分利用 Ontology 依赖的逻辑系统的领域描述能力,例如 Frame Logic(框架逻辑)<sup>[1]</sup>,Description Logics(描述逻辑)<sup>[2]</sup>等,同时利用常用逻辑系统成熟的推理技术,如 Horn Logic 等进行推理,Inference Engine 利用 Ontology 库中的知识对文档的内容和用户的偏好推理,利用 Ontology 的定义语言对标记文档库中的文档和用户偏好模式进行编

码。

User Training(用户训练)模块采用相关反馈学习算法,如果标记文档库中的信息能够满足用户的查询请求,在用户退出系统时,采用离线无教师学习算法更新用户的模式库,如果标记文档库中的信息不能满足用户的查询请求,将使用在线启发式学习算法来实现相关反馈学习算法,User Training 调用 Inference Engine 对学习的结果采用 Ontology 库中的词汇和格式进行编码、描述、存储。

维护人员通过 Textual/graphical Ontology browser(文本/图形 Ontology 浏览器)对 Ontology 库的内容进行增、删、改、查等维护工作,用户可以通过它对 Ontology 进行浏览,以便方便地对领域进行理解。

用户偏好与文档标记库存储管理用户的偏好模式和根据 Ontology 库中的概念定义语言编码的文档索引,用户偏好模式和文档索引由 User Training 产生,由 Inference Engine 维护。

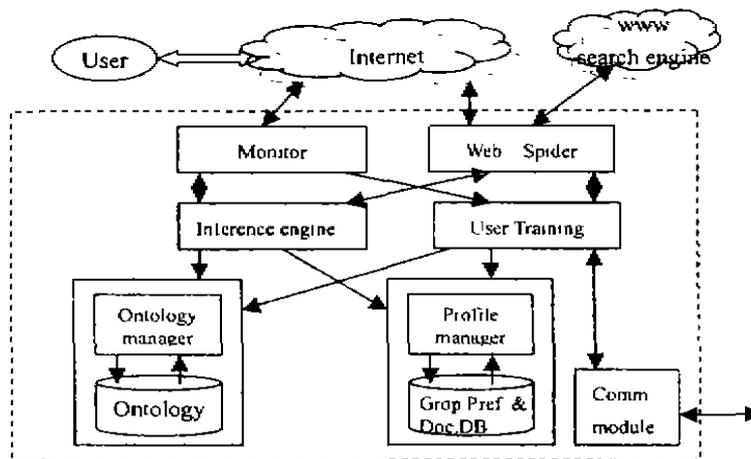


图7 GA的功能结构图

3.3.3 GA的结构 GA的结构与PA相似,如图7所示,通过Comm Module(通信模块)与多个PA进行通信,收集多个用户的偏好信息,通过反馈学习形成群体偏好,Web Spider根据群用户偏好和Ontology库中的信息,主动收集相关的网页,并进行反馈学习,Monitor监视群体用户感兴趣网页的变化,更新群用户偏好库和标记文档库。

选择在GA中主动收集相关的网页、监视群体用户感兴趣网页的变化,是出于效率的考虑,GA管理和维护大多数用户共同感兴趣的信息,既能有效地满足多数用户的信息需求,又兼顾了网络带宽的使用效率。

**结论和展望** 本文介绍了Ontology的概念和相关的理论问题,着重介绍了Ontology在智能信息检索

中的应用,作者设计的基于Ontology的具有智能化和个性化特征的领域精确语义信息检索系统体系结构,具有良好的适应性,既可自成系统作为个人个性化智能信息检索系统使用,也可作为企业网智能信息服务器、或Internet中特定领域搜索引擎,具有很强的理论意义和实际意义。

#### 参考文献

- 1 Guarnio N, Giaretta P. Ontology a Knowledge Bases-towards a terminological clarification. In: NJ Mars, ed. Towards Very Large Knowledge Bases—Knowledge Building and Knowledge Sharing. ISO Press, 1995. 25~32
- 2 Guarnio N. Understanding, building and using ontologies—a commentary to Using explicit ontologies in KBS development by van Heijst, Schreiber and Wielinga. International

(下转第44页)

采用100M base-T 作为本地网络,可使  $n > 20$ ,而在涉及远程网络时,上述条件很难满足。

事实上,在计算机协同工作过程中,为适应群组中各成员的动态行为,多媒体信息是根据协作需要而有选择地传送的,对媒体的信息传送要求也不相同,因此,我们采用以下 QoS 管理策略来优化网络带宽的使用:

(1) CSCW 环境下,对各种媒体流进行不同的协调策略,在网络带宽不足时,对数据和音频分配足够的带宽,以保证其 QoS,而允许视频的 QoS 降级。

(2) 要考虑协作过程中群组成员的动态行为(如打开或关闭媒体流、动态加入或退出等),系统应能够根据当前状态动态调整带宽的分配,以充分利用网络带宽。

(3) 和上层协调策略相结合,优先保证焦点的服务质量,对焦点的视频 QoS 原则上不降级,在协作中,协作成员有不同的级别和权限,我们定义取得令牌或发言权<sup>[7]</sup>的协作成员为焦点,如某一会议中当前发言者。焦点具有较高的权限,因此需分配给它较多的资源。当带宽不足时,可关闭非焦点视频传输或降低其传输率。

**应用与总结** 在设计“基于 Intranet/Internet 的多层次多群体 CSCW 系统(NetCoop)”时(已通过有关部门的鉴定),我们遵循了本文所叙述的系统模型。系统由一台服务器和四台工作站组成。服务器上运行 MCU,作为 MCU 的试验环境,我们选用100M 快速以太网将服务器和二个工作站连接成支持组播或广播的子网,作为本地节点的试验环境,此外通过路由器和校园网和一个远程工作站连接,作为远程节点的试验环境,操作系统为 Windows NT Server 和 Windows 98,开发语言为 Visual C++。

该系统建立在本文所叙述的模型基础上,利用多

对多媒体通信功能,为用户提供以下服务:

(1) 提供多对多的实时视频传输功能,视频窗口可任意缩放、打开和关闭,可实现多对多的视频会议功能;

(2) 提供全双工的多点音频传输功能,提供高质量的语音效果;

(3) 提供丰富的协作工具(CHAT、应用程序共享、远程文件传输),以帮助人们实现协作设计、合作会诊、协同编辑、远程合作教学等协作。

总之,在 Internet 上实现 CSCW 依然是一个挑战,其关键问题之一是如何在现有网络环境下有效地实现多对多多媒体通信,本文所叙述的模型为实现这类系统提供了一个成功的尝试。当然,该模型还可以进一步扩展,使得能够用多个 MCU 通过 Internet 连接多个分布的本地网络,以支持更大规模的协同工作。

### 参考文献

- 1 Reinhard W, et al. CSCW Tools: Concepts and Architectures. IEEE Computer, May 1994
- 2 Chwan-Hwa. Multimedia and Multimedia Communication: A Tutorial. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1998, 45(1): 4~14
- 3 Turlett T, Huitema C. Videoconferencing on the Internet. IEEE/ACM Transaction on Networking, 1996, 4(3): 340~351
- 4 Watabe K. An Internet Base Collaborative Distance Learning System. CODILESS Computer Education, 1995, 24(3): 141~155
- 5 Lawton G. Multicasting will it transform the Internet?. IEEE Computer, 1998, 31(7): 13~15
- 6 Microsoft. Netmeeting Resource Kit, 81~130. Available at <http://www.microsoft.com/netmeeting>
- 7 Demmel H P. Floor control for multimedia conferencing and collaboration. Springer-Verlag, Multimedia Systems, 1997, 5: 23~38
- 8 Journal of Human and Computer Studies, 1997b, 46(3/4): 293~310
- 9 Uschold M, Gruninger M. 1995. Ontologies: Principles, methods and applications. The Knowledge Engineering Review, 11(2). (Also available as AIAI-TR-191 from AIAI, The University of Edinburgh)
- 10 Uschold M, Ed. Knowledge level modeling: concepts and terminology. The Knowledge Engineering Review, 1998, 13(1): 5~29
- 11 Krulwich B, Burkoy C. The InfoFinder Agent: Learning user interests through heuristic phrase extraction. IEEE Expert, 1997, 12(5): 22~27
- 12 Guarino N. Ontoseek: Content-Based Access to the Web. IEEE Intelligent Systems, May/June, 1999, 70~80
- 13 Decker S, Erdnau M, Fensel D, Studer R. Ontobroder: The Very High Idea. In: R. Meersman et al., eds. Semantics Issues in Multimedia Systems. Kluwer, 1999
- 14 Lai H, Yang T. A system architecture for intelligent browsing on the Web. Decision Support Systems, 2000, 28: 219~239
- 15 Bauer M, Dengler D. TriAs: Tractable Information Assistants for Cooperative Problem Solving. Agents, 1999, 260~267
- 16 Benjamins R, Fensel D, Perez G. A. Knowledge Management Through Ontologies. In: Proc. of the Second Int. Conf. on Practical Aspects of Knowledge Management (PAKM'98), Basel, Schweiz, Oktober 1998, 29~30
- 17 Odubiyi J, et al. SAIRE-A Scalable Agent-Based Information Retrieval Engine. In: The Proc. of the First Int. Conf. on Autonomous Agents, California, 1997, 5~8
- 18 Guarino N, Welty C. Towards a methodology for ontology-based model engineering. In: Bezzvin J, Ernst J, eds. Proc. of the ECOOP-2000 Workshop on Model Engineering, June 2000
- 19 Fensel D, Rousset M-C, Decker S. Workshop on Comparing Description and Frame Logics, Data and Knowledge Engineering (DKE), 1998, 25(3): 347~352
- 20 Fensel D, Motta E, Decker S, Zdrahal Z. Using Ontologies For Defining Tasks, Problem-Solving Methods and Their Mapping. In: E. Plaza et al. (Hrsg.), Knowledge Acquisition, Modeling and Management, Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI), 1319, Springer-Verlag, Berlin, 1997, 113~128