

基于语义 Web 技术的上下文感知的智能移动服务^{*})

邹文科 孟祥武

(北京邮电大学计算机科学与技术学院 北京 100876) (智能通信软件与多媒体北京市重点实验室 北京 100876)

摘要 语义 Web 技术应用于上下文感知的智能移动服务,通过构建上下文信息本体,使得移动服务的实体之间可以进行上下文信息共享和语义互操作,并进行上下文信息推理,实现智能服务。本文首先介绍了语义 Web 及本体技术,其次阐述了语义 Web 技术应用于上下文感知的移动服务,然后详细分析了智能移动服务中的上下文信息本体构建,包括通用的上下文信息本体、用户概况本体、情境本体以及服务本体等,接着介绍了相关的研究项目,最后进行展望和总结。

关键词 语义 Web,本体,上下文感知,移动服务

Context-aware Intelligent Mobile Service Based on Semantic Web Technologies

ZOU Wen-Ke MENG Xiang-Wu

(College of Computer Science & Technology, Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing 100876)

(Beijing Key Laboratory of Intelligent Communications Software & Multimedia, Beijing 100876)

Abstract More and more people access Web through mobile devices, such as mobile phones and personal digital assistants. In order to acquire rich and flexible mobile service, context information within which mobile users operate should be understood. Semantic Web is the evolution of the current Web, which enables computers to understand Web information. Semantic Web and ontology technologies are the key requirement for realizing context sharing, semantic interoperation and context reasoning. Applying semantic Web technologies to context-aware intelligent mobile service was analyzed in this thesis. At first an overview of semantic Web and ontology technologies was introduced. Next why semantic Web technologies were applied in context-aware intelligent mobile service was described. Then context ontology architecture in context-aware mobile service was discussed, including common context ontology, user profile ontology, situation ontology and service ontology. At last some related research projects were listed and this document was summarized.

Keywords Semantic Web, Ontology, Context-aware, Mobile service

1 引言

近年来,越来越多的人通过手机和个人数字助理 PDA 等移动设备来获取各种服务信息。目前的移动应用仅局限于简单的信息服务,例如我们可以查询家人或朋友的移动电话所处的位置等。为了提供更加丰富和灵活的移动服务,需要深入理解移动用户的上下文(Context)信息。上下文信息不但包括我们通常理解的位置信息,同时应该包括描述系统能力和提供的服务、人和计算实体参与的活动和任务,以及他们的情景角色、想法和意图等。

语义 Web(Semantic Web)是对下一代万维网的展望,致力于以计算机可处理形式表示信息。语义 Web 的目的是让计算机能够理解 Web 上的信息,并在理解的前提下更好地处理和利用这些信息,为人类提供更好的服务。语义 Web 技术应用于上下文感知(Context-Aware)的智能移动服务,能够全面考虑移动用户的上下文信息,语义 Web 技术的应用可以充分满足知识共享、语义互操作和上下文推理,使得在深入理解移动用户的上下文信息的基础上,为用户提供更加丰富和灵活的移动服务,实现智能移动服务。本文将探讨语义 Web 技

术在上下文感知的智能移动服务方面的应用,接下来第 2 部分介绍语义 Web 及其相关技术,第 3 部分阐述语义 Web 技术应用于上下文感知的移动服务,第 4 部分详细分析智能移动服务中的上下文信息本体构建,第 5 部分是相关的研究项目,最后进行展望和总结。

2 语义 Web 技术

语义 Web 是由万维网的创始人 Tim Berners-Lee 于 1998 年首次提出的,在发表于 2001 年 5 月的“Scientific American”杂志上的“The Semantic Web”文章中,对语义 Web 做了这样的描述^[1]:语义 Web 是对当前 Web 的扩展,信息被赋予定义良好的含义,更便于计算机与人之间的协同工作。语义 Web 的研究和发展主要由 W3C 来指导和推动,同时大量研究人员和机构共同参与,促进语义 Web 理论和实践应用的发展。语义 Web 技术的相关标准 XML、RDF(S)、OWL 等相继制定,大大加速了语义 Web 的研究和应用步伐。

语义 Web 的发展是按照层次结构来进行的。在 2000 年的 XML 大会上, Tim Berners-Lee 提出语义 Web 的体系结构,描述了语义 Web 的设计和视图的主要层次^[2]。最底层的

^{*}智能通信软件与多媒体北京市重点实验室预研基金项目。邹文科 硕士研究生,主要研究方向:语义 Web、电信本体、企业信息系统;孟祥武 博士,教授,主要研究方向:Web、网络软件。

Unicode 和 URI 是整个语义 Web 的基础,语义 Web 采用 Unicode 作为字符的编码方案和统一资源标识符 URI 来标识资源及其属性。紧接着的上一层 XML 层为结构化文档提供了语法规则,为语义 Web 的建立提供语法基础;为了避免 XML 标签的同名冲突问题,采用了命名空间 NS (Name Space) 机制。在 XML 上面是 RDF(S) 层,资源描述框架 RDF (Resource Description Framework) 是基于 XML 的语法,描述资源的元数据信息成为机器可以理解的信息;RDF Schema 提供了资源组织层次关系的模型原语,进一步定义了更多能够表达语义的原语。在 RDF(S) 上面是 Ontology Vocabulary 层,提供超越 RDF Schema 来表示更加复杂的资源关系的强大的本体语言。本体层描述各种资源之间的联系,表示资源之间更为复杂和丰富的语义信息。在语义 Web 的体系结构中,XML、RDF(S) 和 Ontology 三层主要用于表示 Web 信息的语义,构成系统的核心和关键。最上面的三层分别是逻辑 (Logic) 层、证据 (Proof) 层和信任 (Trust) 层。逻辑层用来进一步增强本体语言的功能和用来描写面向特定应用的陈述性知识。证据层包含实际的推理过程和用网络语言来表示论证及论证确认,执行逻辑层的规则提供认证机制。信任层提供一种数据、服务和代理的信任授权的方法,通过采用数字签名 (Digital Signatures) 和其他知识等来提供信任机制。

本体 (Ontology) 是语义 Web 的一个关键技术,在语义 Web 的研究和发展中占有重要的地位。Gruber 对本体给出了一个定义“本体是概念化的明确规范”^[3]。后来 Studer 等人总结以前的相关定义描述,将本体定义为“共享概念化的形式的明确规范”^[4],其中包括四层含义:概念化 (Conceptualization)、明确 (Explicit)、形式 (Formal) 和共享 (Share)。W3C 制定的在 DAML+OIL 基础上的 Web 本体语言 OWL,已经成为国际通用的标准本体描述语言。OWL 根据语言表达能力和有效推理能力分为三个不同的子语言^[5],分别是 OWL Lite, OWL DL 和 OWL Full。OWL Full 保持对 RDF(S) 的兼容性,将 RDF(S) 扩展为一个完备的本体语言,支持那些需要在没有计算保证的语法自由的 RDF 上进行最大程度表达的用户。OWL DL 更倾向于描述逻辑,主要针对概念、性质、个体之间关系的描述,忽略了对 RDF(S) 的兼容性,支持那些需要在推理系统上进行最大程度表达的用户。OWL Lite 是一个更加简洁的本体语言,降低了 OWL DL 中的公理约束,保证一个迅速高效的推理过程,用于提供给那些只需要一个分类层次和简单的属性约束的用户。

3 语义 Web 技术应用于上下文感知的移动服务

实现上下文感知的一个关键前提,即系统具有理解它们相关的上下文信息。上下文信息是可以用于描述用户与应用程序之间进行交互的实体的情境的任何信息^[6],当然也包括用户和应用程序本身,其中的实体可以是人、地点或者对象等。通常的上下文信息包括位置和时间等物理信息,天气、光线、噪音和移动速度等环境信息,用户的活动行为、社会关系和情绪状态等人物信息,以及其他相关的上下文属性等。

然而,上下文信息分布在不同的异构信息源,位置信息可能来源于用户的移动电话的位置注册,用户活动行为记录在日程安排表中,朋友和同事的信息却存储在个人通信数据库中,而且这些信息的表示形式各不相同,使得综合利用和维护这些信息用于实际应用开发变得异常困难和昂贵。实现上下文感知的智能移动服务,就必须要求不同的实体之间交换和

使用上下文信息,进而进行推理。这就需要找到一种方法,使得上下文信息进行共享,并且将上下文信息表示成为机器能够处理从而进行相应的推理的形式。

语义 Web 技术以及相关的推理工具等可以很好地用于上下文感知系统的实现。语义 Web 技术的如下特性能够很好地符合这种要求:

(1) 语义 Web 技术的本体表示提供了独立地开发上下文感知系统来共享上下文知识,最大程度降低感应装置的冗余和降低成本^[7]。通过上下文本体的使用,使得计算实体(如代理和服务)在计算环境中互操作时可以来自异构来源的上下文概念达成一致理解,满足系统的分布式开发和组件复用^[8]。

(2) 本体语言具有丰富的表达能力,完全可以满足对不同类型的上下文信息进行建模,例如位置信息、人员信息、时间信息、设备信息和天气信息等。通过重用不同领域的定义良好的 Web 本体,我们可以不需要从头开始却能合成大规模的上下文本体。

(3) 上下文信息本体具有显式语义表示能力,能够很好地方便推理引擎进行推理工作。基于本体的上下文感知计算可以挖掘各种存在的逻辑推理机制来进行推理,从而由低层推理出更高层的概念上下文。同时根据上下文信息进行推理检验和解决来自性能不良的传感器收集反馈的不一致的上下文知识。

(4) 语义 Web 技术同时可以用作元语言来定义其他特殊目的的语言,如用于知识共享的通讯语言、用于私密性和安全性的策略语言。这种方法的一个关键好处在于具有更好的交互性。

本体的使用是实现上下文感知系统的一个关键要求,Web 本体语言 OWL 可以充分满足用于知识共享和上下文推理的本体建模。不同的系统个体可以而且必须共享一个公共的上下文信息表示。另外,复杂上下文信息的来源各不相同,但是需要综合这些不同的信息来源进行推理和认证。本体以及基于本体的推理和查询引擎的使用,使得上下文感知系统具有更加丰富的表达能力和强大的推理能力。

4 智能移动服务的上下文信息本体

通过构建一系列通用本体,为上下文感知的智能移动服务构筑起相互交流和表示的桥梁。上下文信息本体定义了在上文感知的移动服务中不同领域的可以共享的上下文信息,包括在不同领域以及领域之间的机器可以理解的基本概念的定义。上下文信息本体构建可以在不同的用户、设备和服务之间达成对上下文信息结构的共同理解,以及它们之间进行语义互操作。

上下文信息本体的构建是一个巨大而艰难的任务。由于上下文信息不同层次的特性,可以将不同的上下文信息进行划分。按照 Guarino 的方法^[9],本体结构可以划分成不同的子本体,分别是上层本体、领域本体和任务本体、应用本体,如图 1 所示。

- 上层本体。描述非常通用的或抽象的概念,独立于特定问题或应用领域,如位置、时间、天气和社会关系等。它们往往体现的是最基本的通用特性。这些通用的本体不但构成上下文感知的基础架构,而且可以在特定的领域中根据需要进行组合或添加其他信息,构成大规模复杂的本体结构。

- 领域本体。描述一般领域的概念,如校园、旅游和工作

等。领域本体可以利用通用的上层本体,具体化通用概念和特性。同时它们反映的是通常的不同领域的通用特性,在具体的应用本体的构建中进行灵活组合。

• 任务本体。描述通用任务、推理活动等的概念,如购物、旅游、运动等。在上下文感知的移动应用中,根据用户的特定任务进行本体构建,包括用户概况(Profile)本体、情境(Situation)本体以及基于 OWL 的服务本体 OWL-S。

• 应用本体。描述依赖于特定领域和任务的概念,通常对应于正在进行某种活动的角色,如校园生活、旅游导游和办公智能、家庭智能等。具体的应用本体是应用于每个不同的子领域中的通用概念和特性的具体化,由许多不同的本体集合组成。

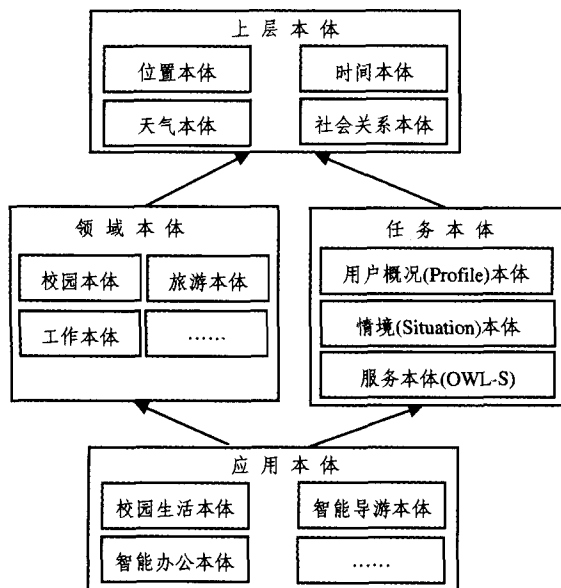


图 1 上下文信息本体架构

由于领域本体和应用本体的构建取决于具体的领域和应用,在此不作详细分析。下面具体分析应用于不同领域和特定应用中的通用上层本体以及任务本体。

位置本体 对于移动应用来讲,位置信息是至关重要的信息要素。物理位置本体上下文包括特定地点、发生或存在的对象和事件。其子类有校园、楼宇、房间、走廊、停车场、休息室和会议室等可以界定地理边界的地点。位置本体包括可以确认的地理界线的位置(如房间、楼宇)、空间位置(如原子地点、组合地点)等的描述。位置本体除了定义位置的命名属性外,还定义包容关系属性,如教室是校园的部分,会议室是办公楼的部分等。

时间本体 为了界定服务和情境的时间维,如定义服务的时间范围和基于时间的推理等,时间本体也是必不可少的。时间本体包括通常的年月日、时分、星期等,也包括特定时间信息定义,如假日、日出日落、晚餐时间等。时间信息本体在具体的任务和领域应用本体中具体化,形成特定的时间信息。时间本体与位置本体结合形成时空信息本体,提供特定事件的特定位置信息,如工作时间的会议室、公众假日的办公室等。

天气本体 天气信息本体是上下文信息中环境的重要组成部分,对于上下文感知的移动服务的环境推理起着重要作用。天气本体包括晴天、下雨、下雪和阴天等常见天气种类,同时包括温度、湿度、光线强度、能见度、风力风向等。

社会关系本体 社会关系本体是上下文信息中与用户紧密相关的信息本体,包括如朋友、同事、同学、老师、邻居和亲戚等通常概念,每一个概念又包括相应的子概念。另外包含相关的属性,如雇佣与被雇佣、认识、合作、教与学等等。

用户概况(Profile)本体 用户概况信息本体描述与用户相关的静态上下文信息,包括用户个人个性信息本体、用户的通讯联系信息、日程安排信息本体、用户的个人权限设置以及与用户相关的其他信息等。用户个性本体描述有关用户的精神方面和物质方面的信息,如心情、专长、缺点、体重、兴趣和偏好等,其中的兴趣和偏好随着应用领域的不同而不同,具有特定领域的具体应用。通讯联系信息是用户之间的联系纽带,如地址邮编、电话、邮件等。日历安排信息本体,如活动类型、时间、参与者、地点等,通常可以由上层本体中的位置本体、时间本体、社会关系本体和天气本体等基本信息本体组合形成用户的日程安排和计划。

情境(Situation)本体 情境被描述为语义情境概况。情境信息本体通常定义与用户、设备和服务等相关的环境信息以及任务信息。环境上下文信息描述用户周围所处的各种信息情况,如事件、服务、灯光、人员和用户可以得到的信息等;任务上下文信息描述用户正在做的事情,可以描述用户的目的、任务、活动等。相对用户概况信息而言,用户情境本体常常是指与实体相关的动态变化的上下文信息,随着时间、位置的变化而不断发生变化。上下文感知的移动服务中需要不断获取情境信息,根据得到的信息进行推理分析,辨别真伪,并且推理出隐含的其他上下文信息。

服务本体 服务本体可以使用基于 OWL 的 Web 服务本体 OWL-S^[9],用于描述 Web 服务,帮助服务提供者进行服务描述,使得服务可以被自动发现、调用、合成和互操作等。服务本体 OWL-S 主要包含如下三层本体:

(1)服务概况(Service Profile)。提供对服务的抽象描述,使用词汇来描述服务提供者的特性和服务的功能属性,如输入、输出、结果和前提,以及其他非功能属性。服务概况指明描述的服务的功能与接口,用于公告和发现服务,以便于服务代理能够搜索与匹配该服务。一个 OWL-S 概况描述了一个功能服务的三个基本信息类型,即哪个组织提供的服务(如联系信息)、服务完成什么功能(输入要求、执行结果、前提条件等)以及一系列描述服务的特性(如服务类型、服务质量 QoS)。

(2)服务模型(Service Model)。描述服务的处理模型,即服务执行相关的具体描述。服务模型指明当服务被调用时的操作,便于服务代理的进一步匹配以及服务合成和服务的协同执行和监控。

(3)服务基础(Service Grounding)。提供与服务之间的通过消息的互操作,指明调用服务的具体细节等。具体细节主要描述传输协议、消息格式、其他特定细节等。

5 相关研究项目

语义 Web 技术在上下文感知的智能移动服务方面的应用研究工作在许多研究机构全面展开,许多相关的研究项目已处在开发和实验阶段,促进移动设备的 Web 服务应用。下面就其中的几个典型研究项目进行介绍、分析。

MyCampus 项目^[11,12]是美国卡耐基梅隆大学 CMU 开发和实验的一个上下文感知的移动服务的语义 Web 环境。这个环境充分考虑具有自动发现和访问客户代理持续收集来的

用户资源信息,如日程安排、位置跟踪和食物偏好等,来更好地提供上下文感知的 Web 服务,帮助用户开展不同的任务。语境信息和其他有关用户的个人详细信息通过一个语义电子钱包(Semantic e-Wallet)来访问。MyCampus 环境的强大性和开放性直接来源于一系列描述个人资源、语境信息、用户偏好和 Web 服务的本体,使得它容易适应新的面向任务的代理、新的个人资源和新的 Web 服务等成为可能。

FLAME2008 项目^[13]是由中德软件集成技术联合实验室 SIGSIT 进行的联合项目,用于北京 2008 年奥运会的智能个人 Web 服务的集成平台。其目的是为了构建一个支持大量用户组和大量服务集的基于 Web 的信息系统平台,支持类似 2008 奥运会的大型应用,面向成千上万甚至几百万的所有包括运动员、记者和观众等的大量移动用户的服务,实现个人情形感知(Situation-Aware)服务。FLAME2008 提供基于每个用户的来自不同的感应器收集得到的当前情形和全面考虑用户概况的推式(Push)信息和服务,呈现在用户的移动终端面前,也可以进行拉式(Pull)服务。这些都是基于提供和需求的语义技术匹配进行的。

SmartWeb 项目^[14]是由德国人工智能研究中心 DFKI 主导、其他相关研究机构和国际企业联合开展的项目。它将包括移动服务、智能用户接口、语言和语音技术、信息抽取和语义 Web 技术等研究领域的专家聚集起来,为在移动设备上的分布式和可组合的语义 Web 服务的多模式用户接口创立基础。SmartWeb 利用语义 Web 页面的机器可以理解的内容来进行智能问题回答。另外,SmartWeb 不但处理信息搜寻对话,还处理面向任务的对话,使得用户可以通过 Web 服务来进行交易,例如购买运动门票或者通过浏览系统找到纪念品商店等。SmartWeb 提供一个上下文感知的用户接口,支持用户处于不同的角色。一个未来计划是在德国 2006 年 FIFA 世界杯的时候作为个人向导,为球迷提供随时随地的移动 Web 服务。

另外还有很多相关的上下文感知的系统架构和本体构建项目。美国马里兰大学巴尔的摩分校 UMBC 开发的面向代理的上下文感知的体系架构 CoBrA(Context Broker Architecture)^[7,15],基于语义 Web 技术开发了上下文本体模型,支持智能空间的上下文推理,并且定义了用于用户控制其上下文信息的策略语言。文^[16]中的基于本体技术开发的上下文本体 CONON,用于普适计算环境中的本体建模和基于逻辑的本体推理。文^[17]中的基于本体的概念模型 GAS 本体,开发了描述普适应用程序的基本概念以及相互关系的本体。

展望和总结 移动设备如个人数字助理 PDA 和移动电话等逐步向具有大容量存储和快速计算的智能型发展,同时移动宽带通讯技术的不断发展,使得 Web 服务的移动应用成为一种新的广阔前景。语义 Web 技术,特别是本体以及相关的本体推理技术,能够根据上下文信息提供更加个性化的和定制特性的上下文感知的智能移动服务,丰富移动用户的个性需求。基于语义 Web 技术的上下文感知的智能移动服务必定是未来研究和开发的重要方向。

语义 Web 技术应用上下文感知的智能移动服务,其中的核心在于一系列上下文信息本体的构建。基于本体技术,用户、设备和服务等实体之间可以进行上下文信息共享,根据用

户的概况信息和情境信息进行推理,实现上下文感知。本文就语义 Web 技术应用于上下文感知的移动服务方面进行了研究,分析了应用于上下文感知的智能移动服务中的上下文信息本体的构建。实现上下文感知的智能移动服务是一项巨大而艰难的工作,未来还有待进一步进行更加全面和深入的研究和开发工作。

参 考 文 献

- 1 Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O. The Semantic Web. *Scientific American*, 2001,284(5):34~43
- 2 Berners-Lee T. Semantic Web Architecture. <http://www.w3.org/2000/Talks/1206-xml2k-tbl/slide10-0.html>
- 3 Gruber T R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*, 1993,5(2):199~220
- 4 Studer R, Benjamins V R, Fensel D. *Knowledge Engineering, Principles and Methods*. Data and Knowledge Engineering, 1998, 25(1-2):161~197
- 5 W3C. OWL Web Ontology Language Overview. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210>
- 6 Dey A K. Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications: [PhD dissertation]. Georgia Institute of Technology, Nov. 2000
- 7 Chen H, Finin T, Joshi A. Semantic Web in the Context Broker Architecture. In: 2nd IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications, Orlando, March 2004. 277
- 8 战照鹏,付长龙,姚全珠. 基于语义 Web 技术的上下文感知系统架构. *计算机工程与应用*, 2005,41(14): 94~97
- 9 Guarino N. Formal Ontology and Information Systems. In: Proc FOIS'98, Trento, Italy, June, 1998. 3~15
- 10 W3C. OWL-S: Semantic Markup for Web Services. <http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-OWL-S-20041122/>, 2004-11-22
- 11 Sheshagiri M, Sadeh N, Gandon F. Using Semantic Web Services for Context-Aware Mobile Applications. *MobiSys 2004 Workshop on Context Awareness*, Boston, 2004
- 12 Sadeh N, Gandon F, Kwon O B. Ambient Intelligence: the MyCampus Experience: [Technical Report]. CMU-ISRI-05-123, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, July 2005
- 13 Norbert W, Agnes V, Rudiger G. Using Ontologies in Personalized Mobile Applications. In: Proc. of the 12th Annual ACM International Workshop on Geographic Information Systems, 2004. 2~11
- 14 Wolfgang W. SmartWeb: Mobile Applications of the Semantic Web. In: Proc of Informatik, 2004. 50~51
- 15 Chen H, Finin T, Joshi A. An Ontology for Context-Aware Pervasive Computing Environments. Special Issue on Ontologies for Distributed Systems, *Knowledge Engineering Review*, 2003, 18(3):197~207
- 16 Wang X H, Zhang D Q, Gu T, et al. Ontology Based Context Modeling and Reasoning using OWL. Workshop on Context Modeling and Reasoning at IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication (PerCom'04), Orlando, Florida, 2004
- 17 Christopoulou E, Goumopoulos C, Zaharakis I, et al. An Ontology-based Conceptual Model for Composing Context-Aware Applications. Workshop on Advanced Context Modeling, Reasoning and Management at Sixth International Conference on Ubiquitous Computing (Ubicomp2004). Nottingham, England, 2004