

基于 RFID 普适计算环境的形式化上下文模型

姜丽芬^{1,2}, 卢桂章¹, 辛运伟¹

(1. 南开大学机器人与信息自动化研究所, 天津 300071; 2. 天津师范大学计算机与信息工程学院, 天津 300074)

摘要: 提出了一个适合普适计算环境的、基于本体的形式化的上下文感知模型。该模型使用本体描述语言 OWL 描述上下文, 采用层次化的设计方法, 提高了上下文表达能力和快速上下文原型。为普适计算的上下文建模和应用、上下文重用和建立面向普适计算环境的软件基础设施提供了一种可行的方法。

关键词: 普适计算; 射频识别; 上下文感知; 本体; 形式化模型

Formal Context-aware Model in Pervasive Computing Environment Based on RFID

JIANG Lifen^{1,2}, LU Guizhang¹, XIN Yunwei¹

(1. Institute of Robotics and Information Automatic System, Nankai University, Tianjin 300071;

2. College of Computer and Information Engineering, Tianjin Normal University, Tianjin 300074)

【Abstract】 This paper puts forward a formal context model based on ontology, which is suitable for pervasive computing environment. The ontology is expressed using the Web ontology language (OWL), which improves context expressing ability and rapid prototyping. The model provides a feasible method for context modeling, context application and context reuse in pervasive computing environment.

【Key words】 Pervasive computing; Radio frequency identification(RFID); Context-awareness; Ontology; Formal model

射频识别又称电子标签, 是一种利用射频信号自动识别目标对象并获取相关信息的技术。目前, RFID 标签已经广泛用于商业领域, 为供应链管理、仓储、物流等业务提供方便。然而, 这些应用还远没有充分挖掘出 RFID 的潜力。RFID 技术与传感器技术及无线通信技术相结合, 对构建普适计算基础设施, 感知周围环境、主动地为人服务提供了重要技术支持。RFID 技术将会与普适计算技术相融合, 成为对人类社会产生深远影响的科技之一。

在基于 RFID 的普适计算环境下, 通过给所有对象(包括物品和人)附上 RFID 标签, 从而使物理空间中的个体和信息空间中对象之间建立了对应关系, 为构建智能信息处理实体提供了一种切实可行的途径。针对普适计算环境设备的异构性、用户的移动性和上下文的快速改变性, 同时为了避免复杂性和实现以人为中心的目标, 应用和服务必须感知它们的上下文, 自动适应它们感知到的上下文变化。为了充分挖掘 RFID 系统的潜力, 我们研究和开发了基于 RFID 的广义物流系统原型。普适计算环境中的上下文感知中间件(CAMPCE)的设计和实现是其中的一个重要部分。该中间件支持对 RFID 事件的过滤、挖掘和事件聚合等多种操作, 为 RFID 应用提供了有效的上下文信息。本文主要讨论支持 CAMPCE 中间件的上下文感知模型, 其采用本体描述, 可以使用不同的逻辑推理去适应环境的变化。

1 上下文感知中间件的需求

普适计算^[1]最核心的内容在于以人为中心。在普适计算环境中, 计算将无缝地融入日常生活, 用户可以利用任意设备, 通过任意网络, 在任意时间透明地获得服务。在普适计算环境中, 普适设备需要自动感知环境中对象的信息, 预测和响应用户的各种需求。因此, 上下文感知^[2]在普适计算环

境中起着重要的作用。

传统的中间件技术难以适应普适计算环境新的需求。传统的中间件互操作体系结构往往与特定的对象模型绑定, 如 CORBA 对象模型、EJB、COM 等。这些模型虽然各自拥有广泛的应用基础, 但对于普适计算环境下设备的异构性、网络的多样性等特点, 对象模型无法完备地描述所有的普适计算网络资源和应用模型。因此, 需要一个适合于普适计算环境的松散耦合的上下文感知中间件体系结构, 以适应普适计算的需求。

2 上下文感知技术

上下文普遍采用的一个定义是: 用来表征实体状态或情形的任何信息。上下文感知计算是指计算系统自动地对上下文、上下文变化以及上下文历史进行感知和应用, 并据此作出决策和自动提供相应的响应或服务。

2.1 上下文感知计算的研究现状

过去十几年, 上下文感知计算的研究主要是面向特定的应用。被公认为第 1 个上下文感知应用系统是由 Olivetti 公司开发的 Active Badge 项目^[3]。该项目利用上下文信息实现在办公大楼内的自动电话转接服务。随着普适计算的研究和应用, 上下文感知技术被广泛地应用于各个领域, 如普适办公、旅游、家居等环境。Microsoft 公司的 EasyLiving 项目, 主要目标

基金项目: 天津市自然科学基金资助项目(06YFJMJ00200); 南开大学创新基金资助项目; 天津市高等学校科技发展基金资助项目(20051518)

作者简介: 姜丽芬(1964 -), 女, 副教授、博士生, 主研方向: 普适计算, 嵌入式系统, 人工智能; 卢桂章, 教授、博导; 辛运伟, 教授、博士

收稿日期: 2007-01-08 **E-mail:** jianglf@robot.nankai.edu.cn

是使智能计算资源进入到家庭环境或办公环境中。根据用户的存在来调整环境以适应它们的需要。AT&T实验室建立的位置传感感知网络，保持位置模型在用户和计算机实体之间共享。Dey等人的Context Toolkit项目^[4]提出了基于主动推理的应用开发框架，开创性地提出了上下文感知应用的面向对象的快速原型体系结构。

在早期的上下文系统研究中，上下文一般采用紧耦合的方式处理，这使系统的复用性降低。本文主要针对 CAMPCE 中间件设计中的上下文建模进行讨论。采用本体的方式描述上下文，构建了一个基于本体的上下文模型及基于 RFID 的上下文感知中间件。

2.2 上下文建模

从各种异构资源(如传感器，RFID 阅读器等)和应用获得的原始上下文数据一般是不能直接利用的。因此，需要一个明确表示上下文含义的方法以便应用可以理解它们。上下文模型就是指如何描述这些上下文信息。普适计算对上下文模型提出了更高的要求，一个好的上下文模型设计对于构建上下文感知系统有极其重要的作用。

目前已有的关于上下文建模的方式有 2 种：非形式化的上下文模型和形式化的上下文模型。上下文感知计算早期的研究工作大多采用非形式化模型，如 Context Toolkit^[4]采用了面向对象的方式描述上下文，将每种上下文建模成一个类。非形式化的上下文模型由于缺乏上下文共享、推理等功能，近年来已逐渐被形式化的上下文模型所取代。形式化上下文模型如：Karen 等人提出的结合 ER 和 UML 的模型；Gaia 系统中采用的一阶谓词模型等。而 CoBra 项目和 SOCAM 项目^[5]采用本体进行上下文建模。基于本体的上下文模型由于其易于知识共享，支持本体推理和上下文重用，正成为上下文建模研究的热点。

3 本体及形式化上下文模型

本体的含义是对世界上任何领域内的真实存在所做出的客观描述。近十年来，本体的研究日益成熟，与人工智能、信息技术等都有密切的关系。目前被广泛引用的定义是“本体是共享概念模型的明确的形式化规范说明”。

本体通过对概念的严格定义和概念之间的关系来确定概念精确含义，表示共同认可的、可共享的知识。把本体引入普适计算环境中，使用本体来描述系统中的上下文信息、各种实体及属性、定义不同实体之间的关系，可以为普适设备之间的相互协作打下基础。本文采用 W3C 推荐的 Web Ontology Language(OWL)来构建普适环境中上下文本体。

3.1 形式化的上下文模型

在普适计算环境下使用 OWL 构建上下文本体模型的优势：

(1) OWL 语言可以用来表示 Web 语义信息，也可以用来描述物理世界的上下文语义。这样，在物理世界和信息世界中共享一个公用的上下文理解。因此，OWL 语言有助于在普适计算环境中充分利用 Web 世界和物理世界中的信息。

(2) 使用本体 OWL 语言而不是使用可编程语言如 Java 和 C++ 等，可以极大地提高上下文表达和快速上下文原型。

(3) 本体的层次结构使开发者能够重用上下文本体域。因此，构建实际的上下文模型不必从头做起。

(4) 用本体描述的上下文具有明确的、形式化的上下文表示，有利于本体推理。

以 OWL 语言表示的本体是 RDF 三元组声明的集合。

RDF 三元组声明可形式化表示为

$\langle \text{statement} \rangle ::= (\text{Subject}, \text{Predicate}, \text{Object})$

其中：Subject 和 Object 为本体的概念或实例，Predicate 是和本体相关的属性。

例如：假设 `www.robot.nankai.edu.cn/SemanticSpace#` 说明了缺省的命名空间。基于本体 Person 类的 Lisa 的个人信息描述如下：

```
<Person rdf:about=" Smith ">
<name>Lisa Ann</name>
<mbox>lisa@robot.nankai.edu.cn</mbox>
<homepage rdf:resource="www.roobt.nankai.edu.cn/~lisa"/>
<office rdf:resource="Room104"/>
<officePhone>23508888</officePhone>
<mobilePhone>13920888888</mobilePhone>
</Person>
```

普适计算环境的硬件和软件资源提供了丰富的上下文信息。应用程序必须标记这些上下文，以适应它们经常改变的上下文。例如，在基于 RFID 的室内定位系统中，通过用户的手持设备或身上穿戴的标签可以跟踪人的位置。例如，当 Lisa 进入 104 房间时，RFID 阅读器觉察到她的进入，可以作如下的上下文标记：

```
<Person rdf:about="#Lisa">
<locatedIn rdf:about="#Room104"/></Person>
```

每个 OWL 实例都有一个唯一的 URI 和上下文标记。

例如：

```
robot.nankai.edu.cn/SemanticSpace#Lisa
robot.nankai.edu.cn/SemanticSpace#Room104 等。
```

3.2 上下文本体模型设计

在广义物流环境中，上下文信息种类繁多，可以包括描述物理设备的信息、应用信息、用户信息、物品信息等。涉及的领域类型各异，如房间域、仓库域、办公区域等。综合各研究机构已经提出的上下文本体设计方案，结合基于 RFID 的普适计算环境的特点，我们提出了一个层次化的上下文本体设计方案，如图 1 所示。

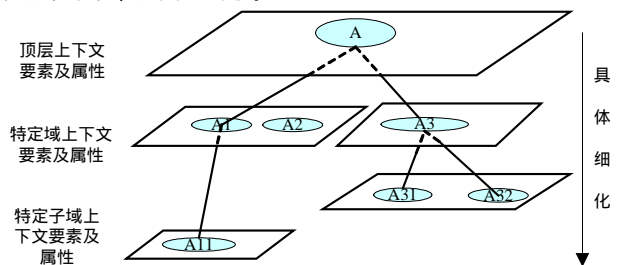


图 1 层次上下文设计

顶层通用本体捕获所有普适计算领域的通用上下文，它提供不同域的基本公共概念集合。顶层通用本体被所有不同域的本体共享。下面各层特定域上的本体定义每个子域的详细概念和它们的属性。

在各种不同的上下文中，选定位置、时间、计算实体、行为和参与者(包括人及物品)⁵ 类定义顶层通用本体基本概念。其中，把位置、时间和其他概念分开，主要是为了强调普适计算环境的“时、空”概念。如图 2 所示。

顶层通用本体抽象出了 14 个类和 7 个属性及相关类的 OWL 词汇。本体的根类是“上下文”类，它提供了一个声明顶层通用本体的入口点。每个上下文的实例展示了时间、位置、行为、参与者及计算实体的各子类集合。这些详细的基本概念在下面各层特殊子域本体中定义。例如：智能办公环

境子类如 OfficeRoom, MeetingRoom, PrintingRoom 等。

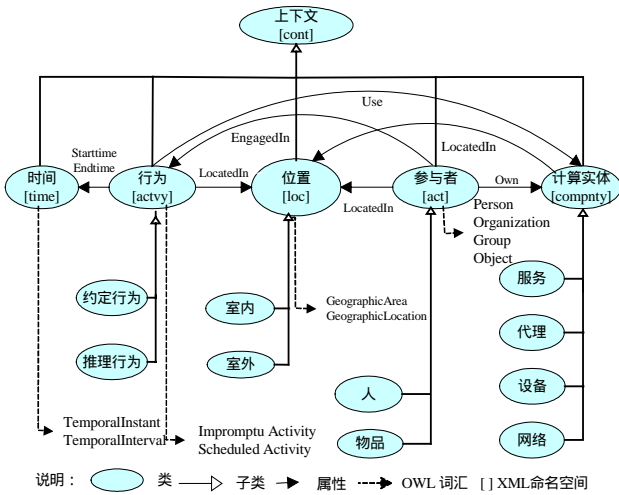


图2 顶层通用本体

采用层次结构本体设计方案减少了上下文信息的范围,使开发者能够重用上层本体域,避免重复的领域知识分析。更重要的是,采用层次化的设计方法可以减少下层特殊子域中普适计算设备处理上下文的负担,尤其适合普适计算环境。当环境改变时,下层子域的本体可以动态地和上层本体组合构成新的环境。例如,当用户在智能办公环境时,办公房间域本体和顶层通用本体组合,可以使用顶层域本体定义的上下文。当用户离开智能办公环境、或货物从仓库中运出时,交通工具域本体将重新和顶层通用本体组合成新的环境。

4 上下文感知中间件结构和原型实现

下面简单介绍广义物流系统 CAMPCE 中间件的结构及原型实现方法。CAMPCE 中间件提供一个上下文感知应用的框架,如图3所示。

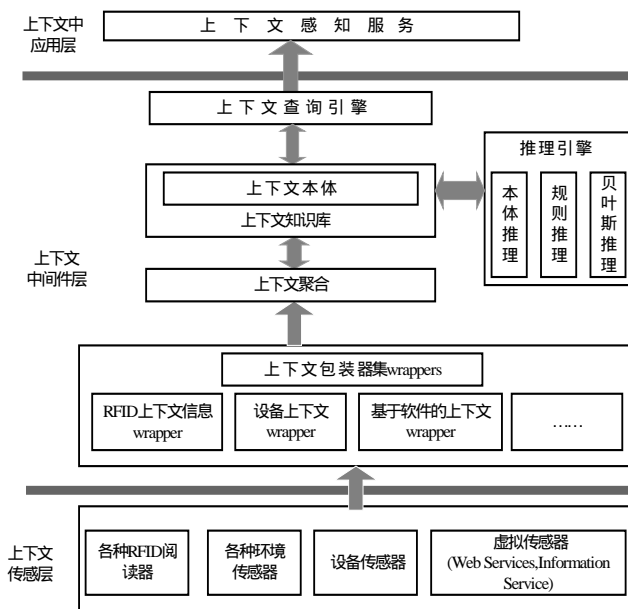


图3 上下文感知中间件(CAMPCE)框架

上下文感知中间件层包括上下文包装器(Wrappers)组件、上下文聚合组件、上下文知识库、上下文推理引擎和上下文查询引擎。下面简单介绍各组件功能:

(1)上下文包装器组件从底层各种分布的、异构的信息源获得各种原始上下文数据,并将之转换为可标记的上下文形

式。每个上下文包装器组件处理一种特定的信息源信息。例如:RFID 上下文信息包装器组件负责搜集来自 RFID 阅读器的原始上下文数据,并进行数据的过滤、聚合和转换。所有的上下文包装器支持统一的界面,为消费者提供上下文标记。

(2)上下文聚合组件动态发现上下文包装器,并搜集来自它的上下文标记。一旦有新的上下文包装器加入,上下文聚合组件将发现并在注册中心注册它,同时获取它的上下文标记信息。只要有上下文事件发生,它就向上下文知识库更新上下文标记信息。

(3)上下文知识库永久存储上下文知识。它存储域本体和来自上下文聚合组件给出的上下文标记。该组件在本体和域的上下文标记之间建立联系并提供上下文查询界面。

(4)上下文推理组件是一个利用存储的知识进行推理的推理引擎。上下文推理组件支持3种类型的推理:本体推理,基于规则的推理和贝叶斯推理。

(5)上下文查询引擎从上下文知识库中查询上下文应用的相关信息。我们使用 RDQL 作为上下文查询语言。

由于普适计算设备的多样性、可移动性以及任务的多样性和复杂性等特点。上下文聚合组件必须不断随着上下文的变化更新上下文知识库。上下文知识库的范围也要随着上下文包装器的变化而更新。

我们在机器人所实验室搭建了广义物流系统试验平台。在此基础上,依据 CAMPCE 上下文中间件框架,构建了上下文感知原型系统。使用 OWL 定义顶层上下文本体,选择了智能办公系统和仓储管理系统作为下层域模型定义了底层上下文本体。使用 Protégé 作为本体的基本开发工具。为适应普适计算环境本体实例的动态更新、本体推理等动态操作,使用了 Jena 的 API 来完成本体动态操作的开发工作。Jena 是一组由 HP 实验室 Semantic Group 开发的 Java API。Jena 建立在描述逻辑的基础上,可以对 RDF、DAML+OIL 和 OWL 的本体语言进行操作。

5 结论

本文主要介绍了基于 OWL 的形式化上下文模型。该模型采用了松耦合和层次化的本体设计方案,有利于对已有的本体的重用。基于这个上下文模型我们设计了 CAMPCE 上下文感知中间件。该系统原型的实现展示了 CAMPCE 上下文感知中间件设计的可行性。CAMPCE 上下文感知中间件适合普适计算环境上下文感知系统的需求,尤其考虑到了普适计算设备的移动性、资源的受限性和高度的动态性等特点。

参考文献

- 1 Weiser M. The Computer for the Twenty-first Century[J]. Scientific American, 1991, 265(3): 43-50.
- 2 Abowd G D, Ebling M, Hunt G, et al. Context-aware Computing[J]. IEEE Pervasive Computing Journal, 2002, 1(3): 22-23.
- 3 Want R, Hopper A, Falcão V, et al. The Active Badge Location System[J]. ACM Transactions on Information Systems(TOIS), 1992, 10(1): 91-102.
- 4 Dey A K, Abowd G D, Salber D. A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-aware Application[J]. Human-Computer Interaction, 2001, 16(2): 97-166.
- 5 Harry Chen. An Intelligent Broker Architecture for Pervasive Context-aware Systems[D]. University of Maryland, 2004.