

智能影子(SmartShadow):一个普适计算模型^{*}

潘 纲, 张 犁, 李石坚⁺, 吴朝晖

(浙江大学 计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310027)

SmartShadow: A Model of Pervasive Computing

PAN Gang, ZHANG Li, LI Shi-Jian⁺, WU Zhao-Hui

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

+ Corresponding author: shijianli@zju.edu.cn

Pan G, Zhang L, Li SJ, Wu ZH. SmartShadow: A model of pervasive computing. Journal of Software, 2009,20(Suppl.):40-50. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/09006.htm>

Abstract: Pervasive computing is becoming an emerging paradigm of computing, however currently there is little work addressing pervasive computing model. The goal of this paper is to model a pervasive computing environment as a user-centric “SmartShadow” using the BDP (Belief-Desire-Plan) user model, which maps pervasive computing environments into a dynamic virtual user space. In the BDP model, desires of a user are inferred from his belief set, and plans are made to satisfy each desire. Pervasive services are used to describe computing capabilities of the cyberspace, which can be organized by the user’s BDP to accomplish his/her desires. A composition process casts pervasive services into a user’s SmartShadow. The SmartShadow will follow a user to provide the user with pervasive services, like one’s shadow in the physical world. The proposed model is logically natural, and can flexibly deal with dynamics of pervasive computing spaces. This paper also implements a simulation system to evaluate the SmartShadow model.

Key words: SmartShadow; BDP model; pervasive service; model of pervasive computing

摘 要: 普适计算是一种全新的计算模式,目前对普适计算建模的研究较少.尝试以用户为中心将普适计算环境建模为一个“智能影子”模型.该模型建立在用户建模及普适服务抽象的基础上,通过用户 BDP 模型,将普适环境映射成一个以用户为中心的高度动态的移动的虚拟个人空间,也称“智能影子”,与物理世界的影子一样跟随用户,如影相随.其中,用户 BDP 模型根据信念(belief)推理出用户意图(desire),并对普适服务的计算过程进行规划(plan).普适服务用来抽象信息空间中的计算资源,可被用户 BDP 组织,完成用户的意图,组织的过程即为智能影子的映射过程.智能影子模型在逻辑上简单、自然,且可灵活处理普适计算空间的动态变化.另外,还实现了一个仿真原型系统,对模型的可行性进行了验证.

关键词: 智能影子;BDP 模型;普适服务;普适计算模型

普适计算^[1]力图将以计算机为中心的计算转变为以人为中心的计算.其目标就是构建一个计算和通信无所不在的环境,使数字服务可无缝地在合适时间、合适地点、以合适形式提供并在此基础上提供以人为中心的

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.60525202, 60533040, 60803109 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant Nos.2009AA011900, 2008AA01Z132 (国家高技术研究发展计划(863)); the Zhejiang Provincial Science Foundation of China under Grant No.Y1090690 (浙江省自然科学基金)

Received 2008-09-20; Accepted 2009-04-09

无所不在的服务.普适计算是信息化社会发展进程中的又一次革新,它使人类生活的物理环境与计算机提供的信息环境之间的关系发生革命性改变.普适计算必将大大改变我们未来的生活方式、工作方式.

普适计算作为一种全新的计算模式,它横跨众多研究领域,具有前所未有的复杂性与多样性.目前相关技术研究极多,但对普适计算模型的研究很少.一个好的模型不仅可以抽象普适计算模式“以人为本”的核心理念,还可以为普适计算系统的设计、分析、实施、部署、评估等提供多方面的理论指导,为可扩展性、可维护性、自适应性、易用性及标准化等提供模型层面的支持^[2].

针对普适计算模式的特性,早期研究人员提出了若干个层次化模型.美国国家标准与技术研究院NIST提出了一个层次化的普适计算概念模型^[3].该模型参考计算机网络中的OSI模型,将普适计算由下而上分为5层,分别为:环境层、物理层、资源层、抽象层及意图层.德国学者提出了一个普适计算的3级模型^[4],根据普适计算理念实现的程度及层次的不同,分为3个层次:基件级、集成级和普适世界级,其中集成级实质就是支持可扩充性与自适应性的软件体系.澳大利亚分布系统技术中心的研究人员则将普适计算归纳为4个元素:设备、用户、软件组件及用户接口^[5],其中软件组件是指那些能动态组成完整应用的编程部件,而用户界面则是建立在多个软件组件和设备上负责与用户交互的概念实体.文献^[6]中,我国学者从“物理-信息”对偶空间的角度,分析了普适计算及相应的科学问题,将信息空间描述为计算、通信和数字媒体融合产生的结果,“物理-信息”对偶空间则由信息空间与物理空间的集成和融合所形成,如此,对偶空间中的人机交互就是建立对偶关系,“物理-信息”对偶空间对偶关系的分类对应于普适计算系统的相应类别,对偶关系的层次则刻画了信息空间和物理空间融合的程度.上述若干模型都是从基于层次或系统的角度考察,描述粒度过大,其对普适计算环境的交互与动态性等支持不足.

最近,学者们对普适计算系统中的功能验证、互操作、设备体系结构等问题在模型与理论层面分别进行了若干研究.IBM与UIUC的研究人员为描述普适计算环境、形式化地验证一个普适计算环境的功能和作用,提出了一种基于环境(Ambient)演算与逻辑的形式化模型,并在Gaia系统中进行原型应用^[7].Blackstock等人通过对现有系统的分析和开发经验,设计了一个评估与分析普适计算系统互操作的通用模型UCM^[8],对普适计算系统某些共有部分进行了一定的高层次抽象,以更好地刻画设备和软件的互操作.de Deugd等人提出了一个面向服务的设备体系结构(SODA)^[9],从而使设备能以服务的形式加入到面向服务的软件体系结构中,增强了系统的可伸缩性与灵活性.Costa等人^[10]致力于为普适计算空间设计一种通用的软件基础设施.他们提出了普适计算的10个要点和7项挑战,并讨论的普适计算应用程序生命周期的每一个方面.以上工作体现出当前普适计算模型及体系结构研究方面的一些新趋势,如广泛的实体抽象、注重系统的共性与灵活性、引入基于服务的系统构建思想等,但目前很少见对普适计算系统的整体建模的研究.

本文提出了一个称为“智能影子”的普适计算模型.该模型建立在用户建模及普适服务抽象的基础上,通过构建用户意图与普适服务间的映射关系,动态形成一个以用户为中心的高度变化的虚拟个人空间(称为“智能影子”),实现环境自适应、用户自适应的普适服务.利用这一模型建立的“用户-服务”间的动态映射关系,使普适服务就像用户的影子一样,跟随着用户,并随着空间中光源(服务提供者)的改变而自动变化.智能影子模型工作的初步进展已发表于Percom09的工作进展环节.智能影子与智能空间的简单比较可见表1.

本文第1节介绍如何对用户进行建模;第2节提出智能影子模型,并给出智能影子的构建算法与演化算法框架;第3节是仿真实验及结果;第4节总结全文工作.

Table 1 Comparison between SmartShadow and smart space
表 1 智能影子与智能空间的比较

	Mobility	Dynamics	Substantiality	User-Centric
Smart Space	Static	Weak	Physical	No
SmartShadow	Mobile	Strong	Virtual	Yes

1 BDP:用户建模

1.1 BDP模型

普适计算的重要特征是能够获取用户的个性化需求并自主提供服务.构造合理的用户模型是实现这一目标的前提.受BDI(belief-desire-intention)Agent模型^[11]启发,我们在该模型的基础上提出了适用于对普适计算环境用户进行建模的BDP(belief-desire-plan)模型.该模型包括信念、意图、计划3个基本部分:

- 信念(belief):用于描述用户对自身和世界的认识,以及用户感兴趣对象的情境信息,记作 Bel_{u_id} ,其中 u_id 为用户的唯一标识.信念由若干原子信念组成, $Bel_{u_id} = Bel(t_1, \dots, t_n) = Bel(t_1) \wedge \dots \wedge Bel(t_n)$,其中 $Bel(t)$ 为用户的不可再分的信念.
- 意图(desire):表示用户当前特定的需求和动机,记作 Des_{u_id} .我们将意图分为3类:1) 完成特定的任务,如“打印一份文档”;2) 使特定对象达到某种特定的状态,如“使房间温度降低至25度”;3) 维持特定对象的状态,如“维持房间温度”.用户同一时间的所有意图需在逻辑上相容.我们假设用户意图可以根据该用户的信念计算获得.
- 计划(plan):表示为了完成某个用户意图的动作序列,记作 $Plan_{u_id}$.计划分为两类:1) 原子计划(primitive plan),也称为行为(action),是指用于直接满足某意图的一个不可分割的行为过程,如调用一个函数;2) 复合计划(metaplan),复合计划执行过程中分解为子计划(sub-plan)的执行序列,子计划可以是原子的,也可以是复合的. $Plan_{u_id} = Plan(p_1, \dots, p_n) = Plan(p_1) \wedge \dots \wedge Plan(p_n)$,每个计划 $Plan(p_i)$ 包括 k 个子计划.复合计划可以通过如下3种方式产生子计划:直接调用某个计划;产生新的意图,如经典的HTN规划方式^[12];提供行为序列生成算法,如经典的GraphPlan^[13]等算法.

1.2 BDP模型内在演化

BDP模型中信念、意图与计划三者的关系和演化过程可分为4个阶段(如图1所示):

- 1) 信念修正:根据感知获取的情境信息对用户信念集中的情境部分进行修正,同时根据用户对情境信息认知状态的改变修正信念集的知识部分.
- 2) 意图更新:首先根据信念集情境部分,使用信念集知识部分中的情境-意图关联规则推理产生适当的意图;然后判断产生的意图是否符合当前情境条件并满足和意图集中其他意图的相容条件,若满足,则将其加入意图集.
- 3) 规划:根据用户的情境,为意图集中的各项意图生成合适的计划.
- 4) 执行:将计划中各个子计划按照顺序予以处理,对原子计划,直接予以执行,对复合计划则按其生成子计划序列,并执行该序列.执行过程需要针对情境和用户意图的变化做出相应的自适应的调整,以实现容错功能,防止无意义的执行,提高系统效率,使用户各项意图顺利完成.原子计划的执行过程较为简单,复合计划的执行算法如图2所示.

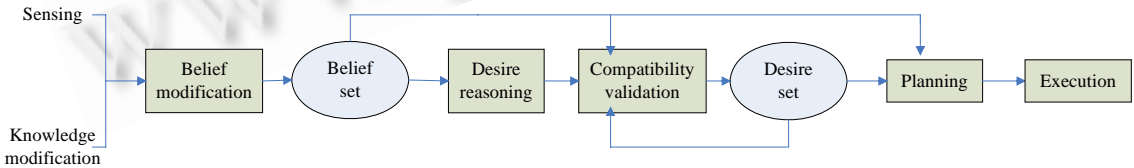


Fig.1 Evolution of BDP
图1 BDP模型内在演化

在计划的执行过程中,计划的执行含有一个或多个子计划,不含有子计划的计划是原子计划,反之是复合计划.计划的执行过程是从初始计划开始按照顺序不断扩展复合计划并执行原子计划.执行过程形成计划树,树的根节点是初始计划,叶结点是原子计划.一个计划并不一定需要将所有的子计划都执行完,只要成功条件达成或失败条件发生就需要终止.此外,如果存在计划可以优化的情况就需要进行重新计划(re-planning)和执行,或者

子计划执行失败,也要重新计划并执行,如果尝试过所有的重新计划方案仍然无法执行成功,则宣布失败.

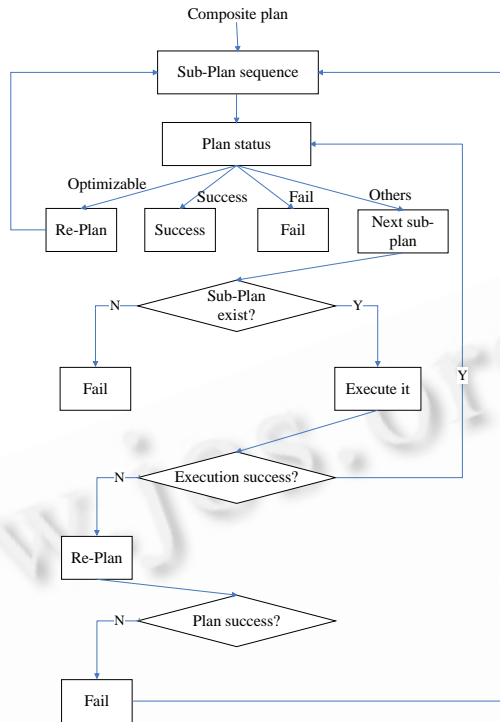


Fig.2 Execution of a composite plan
图 2 复合计划执行算法

1.3 一个例子

这里我们针对一个出国参加会议的例子来对 BDP 模型内在演化进行说明.

出国前某用户接到一个任务,12 月前往冰岛参加国际会议,用户的日程表将此任务记录下来,更新了用户的上下文;并且获取了相关的知识库:12 月的冰岛特别冷.这就是信念修正的过程.信念根据规则来产生意图:需要出国则要准备相关证件;完成酒店和机票的预订(根据信念集,用户有相应的资金,并且适合坐飞机的话);需要预取会议相关的文件资料;去寒冷的地方则需要准备相关的衣物.如果新的意图不会破坏其他意图,则系统将这个目标加入意图集中.在计划的规划阶段,针对订机票的意图,根据当前情境,发现网络可用,于是规划出一个用于执行的复合计划,该计划将顺序执行两个子意图,一是网上预订、二是在线付费.顺序执行上述子意图,如果在执行时某个银行在线服务出现问题导致执行失败,则第 2 个子意图的计划需要重新计划,新的计划为:尝试使用另一银行卡,再次进行网络付费.如果所有的银行都无法用,则执行失败.

在该用户进行会议时,上下文感知的数据管理系统根据当前的议题推理出用户对特定数据的需求意图,并执行数据获取的计划,计划执行中,如果由于用户设备存储资源耗尽,则产生备用计划,可根据周边的设备状态,将所需数据缓存在某个设备上.用户在会议进程中,需要在各个场合或者在行程中随时与别人交流,用户一旦产生此类意图,系统则根据周边的设备状况和环境条件,规划出最合适的计划进行项目演示,比如在会场,将资料放在投影仪演示,而在交通工具上,直接将对方的便携设备屏幕作为输出设备.

2 智能影子模型

2.1 普适服务

普适计算环境中充满各种向用户提供服务的异构对象,包括各种软件实体、智能设备(PDA、投影仪、复印机等)、以及各种资源(存储资源、计算资源、显示资源)等.现在的服务计算技术中,服务通常是指独立于特定平台及实现的软件组件,而在普适计算环境下,由于设备和软件的泛在性与异构性,必须对现有服务概念进行广义化.我们扩展了OWL-S的服务描述^[14],把普适计算空间中的计算设备、资源、应用程序、网络服务等统一用“普适服务(pervasive service)”这一概念进行描述.OWL-S包括3个域:服务定义、过程模型和基础映射.为了保证普适服务的行为能根据情境自适应,我们增加了情境域;为了指导服务的合成、提高合成的效率,增加了合成条件域.普适服务的描述共有5个关键的域:

- 服务定义(profile):描述服务能够做什么,为服务的发布、发现和匹配提供依据.
- 过程模型(process model):描述“服务如何工作”,即服务的流程逻辑.
- 基础映射(grounding):说明服务访问的细节,包括通讯协议、端口、函数参数等.
- 合成条件(composite conditions):包含服务与其他服务合成时双方需要满足的约束条件,以及合成算法或合成工具的描述.
- 服务情境(context):包括两部分,一是环境中情境对服务质量的影响,用于服务的选取和质量评估;二是该服务本身的情境信息,如服务状态、服务的运行条件、失败条件、作用范围和服务的质量等.

通过普适服务的描述可以达到用户BDP和普适服务之间互相交互与理解,实现BDP驱动的自动发现、调用、组合、协作等服务行为.

2.2 智能影子定义

在普适服务的观点下,普适计算环境就是充满普适服务的一个全局空间(global space),满足当前用户BDP的服务子空间就是当前状况下用户BDP在普适空间中的投影,就如同光线投射在物体上面形成影子一样.即,满足用户意图的服务组合是用户可获取到的服务基于用户BDP的投影,如图3所示.在普适服务空间中,普适服务根据用户BDP产生的服务组合动态投影称为用户的智能影子SmartShadow.

在定义智能影子之前,我们首先约定符号如下:

$PerSS$:普适服务的全局空间.

U_{bdp} :用户BDP模型.

$S_{available}$:根据情境,用户可以获取到的服务的集合.

S_p :用户某个意图的计划执行时从中选取合适的服务进行组合和访问,这样的一组服务以及它们之间的合成关系和执行状态称为用户意图的一个映射,记作 S_p .

$S_{desired}$:用户全部意图在普适空间映射的总和,

则,智能影子可用一个四元组进行描述:

$$SmartShadow = \{PerSS, U_{bdp}, \varphi(\bullet, \bullet), S_{desired}\},$$

其中 $S_{desired} = \varphi(PerSS, U_{bdp}) = \sum S_i$,是当前用户所有意图投影的总和,反映的是确定时刻的投影关系,所以它并不等于SmartShadow,只是SmartShadow某一时刻的表现.SmartShadow通过动态投影公式 $\varphi(\bullet, \bullet)$ 实时地将用户BDP映射到服务空间去,形成投影. $\varphi(\bullet, \bullet)$ 包含两方面的动态映射:1)根据用户BDP,将环境中的普适服务构建成用户的智能影子服务空间;2)智能影子根据周边环境的变化而实现动态演化.

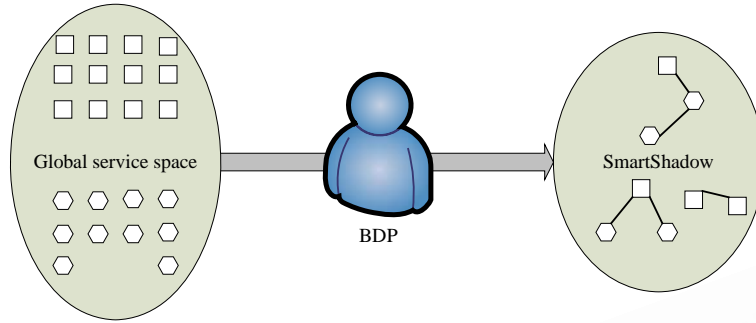


Fig.3 Illustration of SmartShadow mapping
图 3 SmartShadow 映射示意图

2.3 智能影子的构建

根据用户的各种意图,将空间中的普适服务动态映射成为智能影子,从而为用户提供了一个动态的、移动的、用户特定的虚拟空间.智能影子的构建算法框架如下:

智能影子构建算法框架:

- (1) 根据普适服务的情境限定条件,按照当前情境从 $PerSS$ 来筛选可用服务: $S_{available}$;
- (2) 根据 BDP 模型,从 $S_{available}$ 中选取计划执行所需要的服务 S_{used} ;
- (3) 根据 BDP 模型,将 S_{used} 中的普适服务进行合成;
- (4) 将合成的结果集合 $\{ S_p \}$,作为映射结果返回.

第(3)、(4)步中通过根据用户的计划合成或访问空间中的服务的过程,在原子计划的执行中完成.若原子计划用一个四元组来描述:(前置情境条件 cc ,所需普适服务 np ,服务流程 sp ,评价标准 r ,目标状态 ss ,失败状态 ls),则可通过前置条件和服务上下文域的匹配筛选出 $S_{available}$.关于普适服务合成的方法已有很多,例如基于 workflow 的方法^[15,16]利用计划服务流程指导搜索,利用服务的合成条件域作为搜索的约束条件,通过搜索对服务进行合成,以及基于人工智能的方法^[17-19],其通过考察计划的目标状态、失败状态和服务的目标状态、失败状态以及合成条件,通过逻辑订定理证明器或AI规划器自动生成一个合成方案.当普适服务合成的方案不止一个时,可采用 Justin 等人提出的增量模型方法^[20],将各种选择分支缓存起来,这部分选择缓存称为原子计划的选择树,选择树随着搜索过的服务不断增大.通过原子计划中的评价标准^[21]对各种选择方案进行计算,就可选出最合适的方案,同时计算的结果缓存在服务选择树中,可供下一次搜索使用.一个服务选择树的例子如图 4 所示.该图显示一棵执行电影播放计划的树,其中计划需要首先调用片源服务以获取电影文件,接下来用投影设备服务进行播放.在搜索服务时,同种有多个选择分支,所有分支都被记录下来,在执行时选用质量总合最高的,如图中粗线条所示选用DVD格式,使用投影仪放映.但如果其中某些服务中断或者发现更好的服务,则可以考虑其他分支.

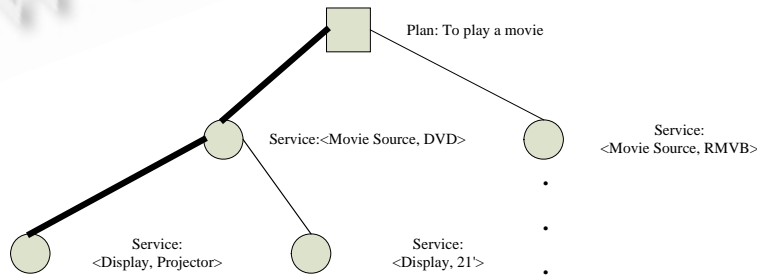


Fig.4 A sample of service selection tree for the plan of playing a movie
图 4 一个播放电影的服务选择树

2.4 智能影子的演化

普适计算环境中,智能影子将随用户 BDP、服务情境不断自主演化,实现对环境的自适应.智能影子的演化包括两方面:1) 用户 BDP 的执行中,智能影子将空间中的普适服务不断合成和执行.2) 根据普适服务情境,智能影子中服务的合成关系和执行状态发生变化,这种情况指的是,智能影子需要进行自主优化或自适应控制,例如服务质量下降、服务中断、出现更优的服务等.针对这种情况我们提出如下算法框架:

智能影子演化算法框架:

```

1 IF 服务质量下降 THEN
2   尝试自动调整系统的控制参数,以保证或提高服务质量;
3   IF 成功 THEN
4     RETURN
5   ELSE
6     CALL 服务自适应过程;
7 IF 服务中断 THEN
8   CALL 服务自适应过程;
9 IF 选择树出现更优的服务组合 THEN
10  IF 重新合成需要引起用户注意和等待 THEN
11    RETURN;
12 ELSE
13  CALL 服务自适应过程;

```

10 // 服务自适应过程:

11 将选择树中改变的分支进行重新评价,并将结果保存;

12 IF 有可用分支 THEN

 选用最优的分支,RETURN ;

13 ELSE

 宣布该计划执行失败,以触发重新计划;

3 仿真实验及结果分析

3.1 仿真系统搭建

为了验证智能影子模型的有效性,我们建立了一个仿真系统.系统分两部分:(1) BDP管理模块.其中知识模块保存用户的信念、意图和计划的集合,我们用Jadex ADF^[23]实现;推理模块负责BDP的演化推理,采用Jadex BDI推理引擎结合基于Case的推理算法^[22]实现.可支持多种推理方式,多种类型的意图和计划选择策略;规划模块用于根据上下文规划产生用户的计划,同时负责计划的重新计划,我们借助CLIPS^[25]实现;计划的执行模块管理用户计划的执行;(2) 普适服务管理框架:其中服务描述采用OWL-S^[14,26],服务发现使用UDDI协议^[27].实验中我们采用Mason^[28]多agent系统模拟器对智能空间场景进行了模拟,该模拟器支持位置关系和Debug并直接开发图形界面来观察实验数据.系统整体框架如图5所示.

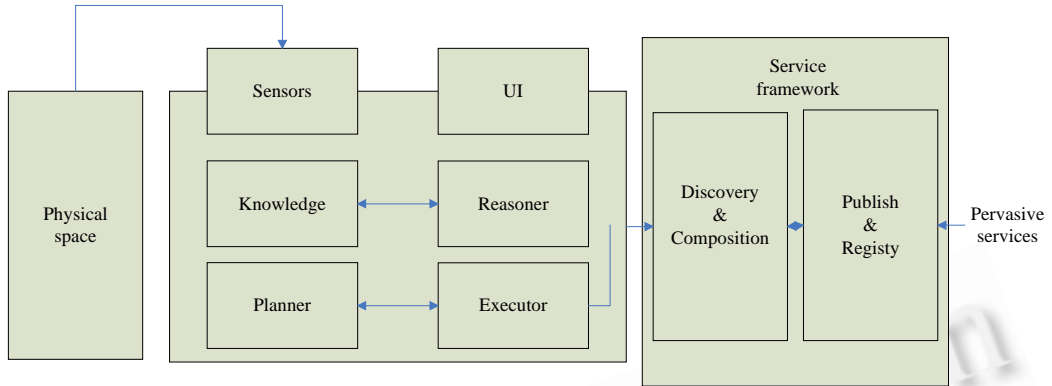


Fig.5 Simulation system framework

图 5 仿真实验系统框架结构

3.2 仿真实验配置

我们为仿真实验设置了 3 个物理空间,如图 6 所示,其中圆点代表一个普适服务,白色矩形代表用户,用户和服务之间、服务和服务之间的连线代表它们在智能影子中的关系.用户可在 3 个空间之间不停切换,每个空间的情境状态不断变化,用户意图也会随之产生或中止,用户意图产生的计划从空间中搜索服务来执行.仿真系统的一些模拟参数见表 2.同时,为了更好地模拟真实情况,我们为每个服务独立设定了近似高斯分布的最大并行数.

Table 2 Simulation configuration

表 2 实验参数基本设置

Subject	Item	Value scope
Services	Execution time	200(±50)~2000(±500)
	Execution timeout	5 000
	Discovery timeout	5 000
	Max parallelization	Gaussian distribution:N(3,1)
Spaces	Service staying time	Eternal
	User staying time	2000~20000
	Service quantity	30~120
	Context keeping time	1 000
Users	User amount	1~30

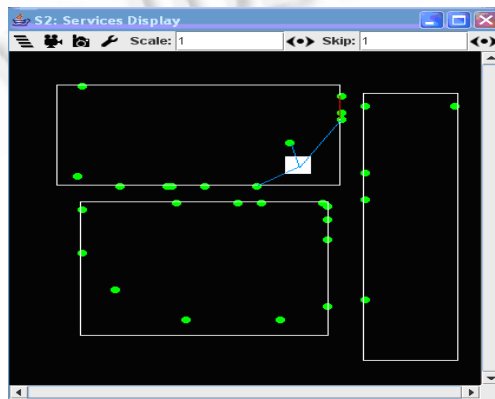


Fig.6 Screenshot of the simulation interface

图 6 仿真环境界面

3.3 仿真结果与分析

我们设置了 4 个实验:单用户仿真实验、用户数量变化实验、服务数量变化实验、空间动态切换实验,以评估用户数量、服务数量、移动性等对用户意图完成的影响.评价指标以用户意图的执行成功率为主.用户意图的执行结果有 4 种:1) 成功执行;2) 在应该运行某服务时在规定的时间内找不到该类服务;3) 整个计划执行超时;4) 情境的改变导致产生某 plan 的意图不再合适.后 3 种结果都将导致执行的失败.由于实验中多个参数以服从特定发布的概率随机生成,故所有实验结果都是多次仿真之后的平均统计数据.

1) 单用户仿真实验.通过该仿真实验,我们初步验证了智能影子模型的可行性.这个实验中,我们设置了一个比较苛刻的实验环境,参数如下:3 个独立空间共有 30 个服务,服务发现和执行的超时时间均为 3 000,用户逗留时间 12 000,服务逗留时间 5 000,情境变化时间 300.在该参数设置环境下,容易找不到服务和情境改变.实验结果表明:单用户平均产生 31 个意图,其中 23 个顺利完成,寻找服务失败 3 个,执行超时 4 个,由于情境的变化失效 1 个,如图 7 所示.

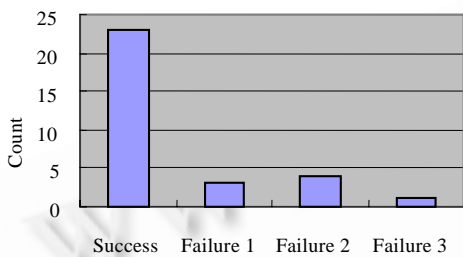


Fig.7 Simulation result of single user

图 7 单用户的意图执行结果

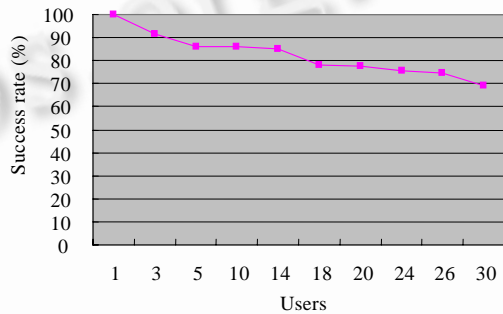


Fig.8 Effect of multi-users

图 8 服务充足时用户数对意图成功率的影响

2) 用户数量变化实验.单空间中服务数量设为 120、用户逗留时间设为 4 000.通过该实验,我们分析了用户数量对用户意图执行成功率的影响.实验结果如图 8 所示,随着用户数量的增多,成功率一般呈下降趋势,这是由于服务在并行性上的限制所导致的.

3) 服务数量变化实验.对成功率影响的另一重要因素是服务的数量.我们将用户逗留时间设为 4 000,其他参数见表 2.实验结果如图 9 所示,随着服务数量的增加,由于用户可以获取的服务增多,成功率会上升,但是在服务变化的小范围内也存在着随着服务增多,成功率下降的现象,这种现象是由于服务的增多会导致在服务的管理、搜索和执行上产生额外的支出,使得服务搜索和执行超时现象增多.

4) 空间动态切换实验.另一个相当重要的因素是用户在若干物理空间之间的移动频率.我们考察 100 000 单位时间内用户在不同空间中切换次数对成功率产生的影响,实验结果如图 10 所示.在每空间都有足够数量的服务(120 个)的情况下,随着切换频率的增高成功率呈递减趋势,说明了由于用户与服务的相对运动,可能会导致服务的中断,或是其他空间的情境导致意图的中止.其他实验条件除了以用户逗留时间作为自变量外,其余参数见表 2.

4 结论与展望

针对普适计算“以人为本”的本质特征,本文提出了一个智能影子模型.该模型首先采用 BDP 模型对用户进行建模,基于 BDP 用户模型,对普适计算环境中的普适服务进行动态组织,形成一个用户的虚拟、移动的个人空间,称为该用户的智能影子.本文还给出了智能影子的构建算法与演化算法框架,使智能影子成为一个支持高度动态性与交互性的普适计算模型.多个仿真实验表明了该模型的可行性.

在下一步工作中,我们将着眼于以下几个方面:1) 开发一个部署在真实空间的实验系统,深入验证并完善本模型;2) 进一步完善意图推理和计划规划,计划重新规划的方法,使得自适应更强、更高效;3) 建立一种用户

BDP 在物理空间的动态管理模式,使用户 BDP 的管理更加灵活、高效;4) 将研究智能影子模型在普适计算系统设计、分析、部署、评估等方面的应用.

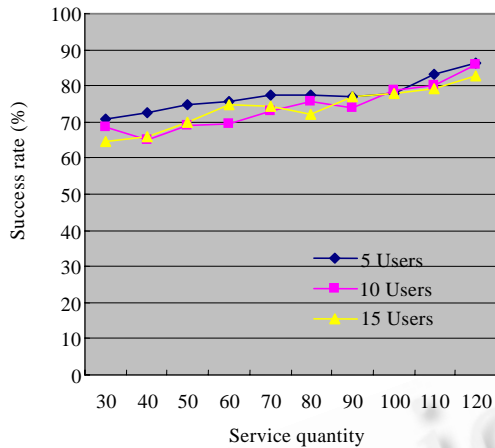


Fig.9 Effect of service quantity with different user number

图 9 不同用户数量下服务数对成功率的影响

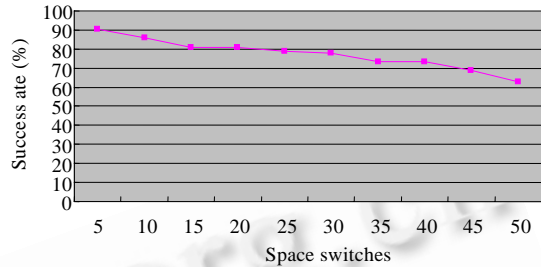


Fig.10 Effect of frequency of a user's switches between spaces

图 10 同一时间内用户在不同物理空间切换次数对成功率的影响

References:

- [1] Mark W. The computer for the 21st Century. Scientific American, 1991,265(3):66-75.
- [2] Wu ZH, Pan G. Pervasive computing. In: China Computer Federation, ed. China Computer Federation Proc. (CCFP-0002). Beijing: Tsinghua University Press, 2006. 175-187 (in Chinese with English abstract).
- [3] Dima A, Ciarletta L. A conceptual model for pervasive computing. In: Sadayappan P, ed. Proc. of the 2000 IEEE Int'l Workshops on Parallel Processing. Toronto: IEEE Press, 2000. 9-15.
- [4] Muhlhauser M. Ubiquitous computing and its influence on MSE. In: IEEE, ed. Proc. of the 2000 Int'l Symp. on Multimedia Software Engineering. Taipei: IEEE Press, 2000. 48-55.
- [5] Henricksen K, Indulska J, Rakotonirainy A. Infrastructure for pervasive computing: Challenges. In: Ferscha A, Mattern F, Mühlhäuser M, eds. Proc. of the 2001 Workshop on Pervasive Computing (INFORMATIK 2001). Vienna, 2001. 214-222.
- [6] Xu GY, Tao LM, Zhang DP, Shi YC. The dual relationship between physical space and information space. Chinese Science Bulletin, 2006,51(5):610-616 (in Chinese with English abstract).
- [7] Ranganathan A, Campbell RH. Provably correct pervasive computing environments. In: Ni LM, ed. Proc. of the 6th Annual IEEE Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications. Hong Kong: IEEE Press, 2008. 160-169.
- [8] Blackstock M, Lea R, Krasic C. Evaluation and analysis of a common model for ubiquitous systems interoperability. In: Lowe D, Gaedke M, eds. Proc. of the 6th Int'l Conf. on Pervasive Computing (PERVASIVE 2008). Sydney: Springer-Verlag, 2008. 180-196.
- [9] de Deugd S, Carroll R, Kelly KE, Millett B, Ricker J. SODA: Service-Oriented device architecture. IEEE Pervasive Computing, 2006,5(3):94-c3.
- [10] Costa C, Yamin A, Geyer C. Toward a general software infrastructure for ubiquitous computing. IEEE Pervasive Computing, 2008, 7(1):64-73.
- [11] Rao AS, George MP. BDI agents: From theory to practice. In: Lesser V, Gasser L, eds. Proc. of the 1st Int'l Conf. on Multi-Agent Systems (ICMAS'95). San Francisco: MIT Press, 1995. 312-319.
- [12] Erol K, Hendler JA, Nau DS. UMCP: A sound and complete procedure for hierarchical task-network planning. In: Mmond KJ, ed. Proc. of the 2nd Int'l Conf. on Artificial Intelligence Planning Systems. Chicago: Elsevier, 1994. 249-254.
- [13] Blum AI, Furst ML. Fast planning through planning graph analysis. Artificial Intelligence, 1997,90:1636-1642.

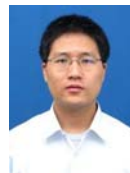
- [14] Martin D, Paolucci M, McIlraith S, Burstein M, McDermott D, McGuinness D, Parsia B, Payne T, Sabou M, Solanki M, Srinivasan N, Sycara K. Bringing semantics to Web services: The OWL-S approach. In: Cardoso J, ed. Proc. of the 1st Int'l Workshop on Semantic Web Services and Web Process Composition. San Diego: Springer-Verlag, 2004. 26–42.
- [15] Casati F, Ilnicki S, Jin L. Adaptive and dynamic service composition in EFlow. In: Wangler B, Bergman L, eds. Proc. of the 12th Int'l Conf. on Advanced Information Systems Engineering. Stockholm: Springer-Verlag, 2000. 13–32.
- [16] Schuster H, Georgakopoulos D, Cichocki A, Baker D. Modeling and composing service-based and reference process-based multi-enterprise processes. In: Wangler B, Bergman L, eds. Proc. of 12th Int'l Conf. on Advanced Information Systems Engineering. Stockholm: Springer-Verlag, 2000. 247–263.
- [17] Medjahed B, Bouguettaya A, Elmagarmid AK. Composing Web services on the semantic Web. The VLDB Journal, 2003,12(4): 333–351.
- [18] McDermott D. Estimated-Regression planning for interactions with Web services. In: Ghallab M, Hertzberg J, Traverso P, eds. Proc. of the 6th Int'l Conf. on AI Planning and Scheduling. Toulouse: AAAI, 2002. 204–211.
- [19] McIlraith S, Son TC. Adapting Golog for composition of semantic Web services. In: Ghallab M, Hertzberg J, Traverso P, eds. Proc. of the 8th Int'l Conf. on Knowledge Representation and Reasoning. Toulouse: Springer-Verlag, 2002. 482–493.
- [20] Paluska JM, Pham H, Saif U, Chau G, Terman C, Ward S. Structured decomposition of adaptive applications. In: Ni LM, ed. Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications. Hong Kong: IEEE Press, 2008. 1–10.
- [21] Wixom BH, Todd PA. A theoretical integration of user satisfaction and technology acceptance. Information Systems Research, 2005,16(1):85–102.
- [22] Leake D, McSherry D. Introduction to the special issue on explanation in case-based reasoning. Artificial Intelligence Review, 2005,24(2):103–108.
- [23] Unland R, Klusch M, Calisti M. Software Agent-Based Applications, Platforms and Development Kits. Birkh: Springer-Verlag, 2005. 143–168.
- [24] Bordini R, Dastani M, Dix J, Seghrouchni A. Multi-Agent Programming. Springer-Verlag, 2005.
- [25] Giarratano JC, Riley GD. Expert Systems: Principles and Programming. 3rd ed., Course Technology, 1998.
- [26] McIlraith S, Son TC, Zeng H. Semantic Web service. IEEE Intelligent Systems, 2001,16(2):46–53.
- [27] Kawamura T, De Blasio JA, Hasegawa T, Paolucci M, Sycara K. Preliminary report of public experiment of semantic service matchmaker with UDDI business registry. In: Orlowska ME, Weerawarana S, Papazoglou MP, Yang J, eds. Proc. of the 1st Int'l Conf. on Service-Oriented Computing (ICSOC 2003). Trento: Springer-Verlag, 2003. 752–766.
- [28] Luke S, Cioffi-Revilla C, Panait L, Sullivan K, Balan G. MASON: A multiagent simulation environment. Simulation, 2005,81: 517–527.

附中文参考文献:

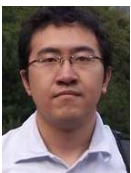
- [2] 吴朝晖,潘纲.普适计算.见:中国计算机学会,编.中国计算机科学技术发展报告 2005.北京:清华大学出版社,2006.175–187.
- [6] 徐光祐,陶霖密,张大鹏,史元春.物理空间与信息空间的对偶关系.科学通报,2006,51(5):610–616.



潘纲(1976—),男,博士,副教授,主要研究领域为普适计算,计算机视觉,模式识别.



李石坚(1979—),男,博士,讲师,主要研究领域为普适计算,传感器网络.



张犁(1985—),男,主要研究领域为普适计算.



吴朝晖(1966—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为普适与嵌入式计算,语义与服务计算.