

"智能教室"——一种用于远程教育的交互空间

谢伟凯, 蒋长浩, 史元春, 徐光祐
(清华大学计算机系, 北京 100084)

文 摘: 交互空间 (Interactive Space 或 Intelligent Environment) 是计算无所不在 (Ubiquitous Computing) 时代人机交互模式的重要发展方向之一。"智能教室"是我们探索交互空间的关键技术及其应用而开展的一个研究项目。目前的远程教育系统基本上都是基于所谓的桌面计算 (Desktop Computing) 模式, 教师必须坐在计算机前用鼠标、键盘这些非自然的方式给远程学生授课, 这与传统课堂教育时教师的经验是完全不同的, 所以不能很好的被教师所接受。智能教室 (Smart Classroom) 把交互空间的概念引入远程教育系统, 在一个被增强了的教室内, 教师可以用在普通课堂中一样自然的方式给远程的学生授课, 语音、手势代替了键盘、鼠标, 大屏幕的墙面投影和电子白板代替了桌面的显示器。同时, 在这个系统的支持下, 远程教育和课堂现场教育的边界被模糊了, 教师完全可以同时给现场的学生和远程的学生进行授课。本文描述了该项目的最新进展并对其中关键问题进行了讨论。

关键词: 交互空间; 智能环境; 无所不在的计算; 远程教育;

中图分类号: TP391

引言

1991 年已故的前 Xerox PARC 首席科学家 Mark Weiser 在《Scientific American》杂志上发表的"The Computer for the 21st Century"[1]一文中首次描述了计算无所不在 (Ubiquitous Computing) 的概念, 他认为现在的桌面计算 (Desktop Computing) 模式中计算机本身过于分散人的注意力, 使人不能集中注意力于要解决的事情本身; 计算应该成为人们日常生活中随手可得又不会分散人的注意力的东西。就像纸和笔一样, 我们随手拿起来就可以用, 却又不需要去考虑其使用方法的细节。从那时以后 Ubiquitous Computing 越来越受到学术界和产业界的关注, 尤其是 90 年代末以来, 世界范围内的各主要学术机构和研究组织都开展了此名目下的项目的研究[2]。我们认为, 从人机交互的角度来说, Ubiquitous Computing 就是要打破传统的人—桌面计算机的交互模式, 而把交互从桌面拓宽到生活空间中的各个位置。从这个角度,

可以把 Ubiquitous Computing 旗下的众多的研究项目分为以下三类:

1) 交互空间 (Interactive Space)。这类项目把计算资源、感知设备嵌入到我们的日常生活、工作空间中去, 我们无需限制在一个固定的地方就可以用自然的人与人交互的方式, 如语音、手势、姿态等, 与系统进行交互并获得服务。这类项目包括 MIT 的 Intelligent Room[3], GIT 的 Aware Home[4], 微软的 Easy Living[5]等。

2) 可穿戴计算 (Wearable Computing)。这类项目把计算资源、感知设备穿戴到人身上, 使得人一机交互可以直接、持续的进行。该类项目以 MIT 的 Media Lab[6]的工作为代表。

3) 信息设备 (Information Appliance)。这类项目把计算、感知资源集成到我们熟悉的日常生活中的器具中, 使这些器具增强为人机交互的接口。当我们用习惯的方式使用这些器具时就隐性的完成了人机交互的任务。这类项目有 IBM 的 Digital Clipboard、Xerox Parc 的 LiveBoard[7]等等。

这三个方面互有优势互为补充, 比如交互空间中对置身其中的人的识别和跟踪 (尤其是多人时) 是十分困难的, 但在可穿戴计算中却是十分容易的, 因为在这里计算机系统处在第一人称的角度。再比如可穿戴计算中对周围物理环境的识别是十分困难的, 但在交互空间中却是系统本身的先验知识。

"智能教室"项目[8]是我们在交互空间技术研究上的一个努力, 我们以交互空间在远程教育系统上的应用作为背景, 对交互空间的关键技术和人一机交互模式的发展方向作了探讨。本文第一章先讨论了已有的远程教育系统的不足, 第二章以我们已经实现的一个场景为例介绍了"智能教室"的功能, 第三章介绍了"智能教室"目前的系统的结构, 第四章讨论了我们认为需要进一步研究的若干关键问题, 最后给出了结论。

1 目前的远程教育系统的不足

远程教育系统大概已经发展了三代。最早的是基于电视广播的远程教育, 因为缺乏双向交互性已

经基本淘汰。第二代是基于 Web 的课件浏览形式的远程教育，同样也缺乏应有的交互性。第三代是基于共享多媒体白板的实时课堂形式的远程教育，它可以支持师生之间实时、双向的交互。尽管已经提出了很多第三代远程教育系统，但是远程教育却没有像人们事先设想的那样得到广泛的推广应用。这里的原因自然是多方面的，但值得我们思考的是目前的远程教育系统本身的因素。

1) 我们知道课堂教育是最丰富的人与人的交互方式发生的场所之一，教师可以充分的利用语言、手势、目光接触等方式来引导课程的进行。而目前的远程教育系统却要求教师必须死板的坐在工作桌前，面对计算机，使用键盘、鼠标等非人性的方式来授课。很多教师反映他们不乐于接受这种授课形式，授课的效果也大打折扣。

2) 目前的远程教育系统中课件 (CourseWare) 的制作一般都要求较高的多媒体文档制作的专门知识和经验。这对于一般教师来说显然是一个很大的负担，即使交给专业人员来制作也需要复杂的系统的整理工作。正是这种困难造成了目前远程教育课件匮乏的现状。

我们认为上述这些障碍恰好是因为目前的远程教育系统都是基于桌面计算模式的系统造成的，通过引入交互空间的思想可以很好的突破这种障碍，由此我们开展了"智能教室"项目的研究。该项目在普通的教室中装备大屏幕的墙面投影和电子白板、摄像头、麦克风等设备，在系统软件的支持下，使得教师可以像在普通教室中一样用语言、手势、板书等熟悉的方式来给远程的学生授课和引导课堂讨论的进行。同时课堂中发生的事件，包括老师的话、视频、板书的内容、学生的发言等等，都可以被系统自动记录下来，形成一个可检索的复合多媒体文档。使用一个简单的编辑器就可以把它变成可供学生下载的包含了课堂进行过程全貌的课件。另外，因为在"智能教室"中远程教育和课堂教育的区别实际上已经变得十分模糊了，所以教师完全可以给在智能教室现场的学生和远程的学生同时进行授课。

2 一个已经完成的场景

从外观上来说，智能教室内的主要设施是两个分别称为"媒体板"和"学生板"的投影屏幕。"媒体板"是由一个投影机把影像投影在一个放在教室前部的 Smart Board 设备上形成的。Smart Board 是一种电子白板产品，用户在白板上的笔划可以被采集到计算机中。媒体板充当着传统教室中的黑板的作

用，教师课前准备的课件内容可以在上面显示；课程进行中，教师也可以用特殊的笔在其上添加板书，也可以用特殊的板擦擦除不要的板书。媒体板上显示的内容会同样的显示在远程学生的客户端软件中。"学生板"则是投影在教室侧墙上的另一个显示屏幕，是远程学生和现场的一个窗口。每个出席课程的远程学生都会有一幅静态的头像显示在上面，同时如果一个远程学生获得发言权后，他的运动图像和声音就可以在这儿播放。另外教室中还有多个摄像头和声音采集设备以提供人脸识别、手势识别、语音识别等能力。下面以一个我们已经实现了的场景 (Scenario) 来具体说明智能教室的功能。

假设一个教师要使用智能教室讲一堂课。他进入教室后，先走到讲台附近的一个摄像头前。教室会通过人脸识别确认出他具有合法的使用权，同时教室中的语音识别模块会调入他的语音模型以提高识别率，最后教室通过语音合成问候作者："你好，某某某"。

教师知道教室已经处于待命状态了，所以他说"现在开始上课"。这时媒体板上就会显示出他为这节课准备的课件的内容，同时学生板上显示了参加此次课程的远程学生的情况。另外，教室中还有不少学生在现场听这节课。

教师开始讲授课程的内容，远程的学生可以在其客户端软件中看见与媒体板上显示相同的内容，同时也可以通过视频窗口看见现场的教师的运动图像和听见教师的讲解。

当教师讲完课件中第一页的内容时，他转向媒体板说"请翻到下一页"，这时媒体板上的显示会自动切换到下一页。当他觉得需要强调一下这页中某个内容时，他走到媒体板前，拿起一支笔 (Smart Board 专用的笔) 来，在媒体板上显示的这个内容上画了一个圈。另外他觉得准备的课件写的还不够充分，所以又在上边补充写了一段文字，以便让学生更好的理解。写的时候有个地方写错了，他拿起板擦 (Smart Board 专用的板擦)，随手把这段笔误的字迹擦去了。当他在媒体板上做这些笔划时，远程学生的客户端窗口中也会同步的显示出来。

教师在媒体板上书写完毕后，又回到讲台前继续讲解。这时讲到一个内容，他课前在网上查到过一个对这个内容很有帮助的网站并把这个网站的链接加到课件的页面中了，他想打开这个网页给学生看。这时他不用走到媒体板前而直接在讲台的位置用手指向媒体板，并移动他的手，相应的媒体板上的光标也跟着移动，但光标落在那个链接上时，

他说"请打开这个网页",媒体板上就会调入并显示这个网页。

这时某位远程学生觉得自己没有明白这段内容,所以他通过自己的客户端请求发言。教室中学生板上他的头像开始闪烁,但是教师没有注意到,教室就用语音提醒教师:"某某某请求发言"。这时教师知道了有学生希望发言,他就说"请说"。教室识别到这个命令后,就为这个远程学生打开音频、视频通道,这个学生提问的图象和声音就会在学生板上播放出来。

下课后,教师回到办公室,打开自己的计算机,连接到智能教室的主页,在这里他发现刚才课堂授课的过程已经被自动记录为一个可索引的复合文档了,包括他的讲解、媒体板上的内容、板书、与学生的讨论等等。他对这个文档进行了简单的编辑,去掉一些没有实际内容的停顿,修改几处讲错的地方后,最后他点击"确定"按钮,这样一个课件就自动生成了。以后任何学生需要复习或其他没有上课的学生想听听这堂课时只需要访问智能教室的主页上这个课件就可以重现这堂课的全部内容了。

图1演示了智能教室中的一个场景,正面是媒体板,侧面是学生板,教师在使用虚拟鼠标。



图1 智能教室的一个场景

3 目前的系统结构

前面所述的场景是智能教室第一阶段的目标。现在已经完成,我们采用的实现方法简要说明如下。

"智能教室"中包含大量的硬件、软件模块,空间的分布性和单台计算机的资源的有限性决定了这个系统必然会是一个分布式的系统。我们采用了SRI的多Agent系统Open Agent Architecture

(OAA)[9]作为系统的分布式计算环境。系统中的每个模块都实现为一个OAA中的Agent,它们通过Agent间通信语言互相通信、互相协作以达到系统所需的功能。目前,系统中包含如下Agent。

1) 人脸识别Agent。该Agent封装了我们所视觉组开发的人脸识别算法[10]。这里用来提供教师身份的自动识别,使得教师不用键盘就可以登录到系统。

2) 虚拟鼠标Agent。该Agent封装了我们所视觉组开发的手部运动跟踪算法[11]。跟踪所用的两个摄像头,一个装在媒体板的上方,一个装在讲台上方,教师站在讲台后、面朝媒体板时,在空间中他的手的移动可以被跟踪识别,其结果用来驱动媒体板上的光标,使得教师可以不借助任何外部设备就完成传统鼠标的功能,所以称为虚拟鼠标。

3) 语音识别Agent。该Agent基于IBM ViaVoice汉语语音识别引擎开发而成。我们设计了一个语音输入接口的语法和语义的形式化描述方法,当其他Agent需要给用户提供一个语音接口时,只需向该Agent提交一个接口描述文件,该Agent就可以在识别出用户说的话后把合适的Agent间通信消息发给目标Agent,这样增加和修改语音命令可以十分方便的完成。同时该Agent可以接受人脸识别Agent的通知切换用户语音模型以适应教室中的实际的使用者。

4) 语音合成Agent。该Agent封装了我们所语音组开发的中文文语转换系统[12]。教室中用语音来提示教师特定事件的发生和命令的执行结果。

5) 媒体板Agent。该Agent封装了我们所多媒体组开发的SameView远程教育系统[13]中的媒体板功能。该Agent实现了一个教师和远程学生共享的多媒体电子白板。

6) 学生板Agent。该Agent封装了SameView系统中的学生发言权控制功能。获得发言权的远程学生的音、视频才能在学生板上播放。

4 关键技术的讨论

通过实现智能教室的第一阶段场景,我们提炼出了若干交互空间技术研究中的关键问题并展开了相应的研究,分别说明如下。

4.1 软件支撑平台

我们把软件支撑平台定位为起屏蔽网络、操作系统底层细节、提供分布的模块间通信支持并提供系统的维护、管理、调试和其它必要的服务的中间件。许多交互空间研究的相关文献都认为交互空间中的计算有其独特性,所以对其软件支撑平台的研

究是十分重要的[14]。我们在实现"智能教室"第一阶段场景的过程中,对交互空间中计算的特点也有越来越清楚的认识,正是这些特点对软件支撑平台的设计提出了特殊的要求,这些特点可以归结为以下几点。

1) 分布性

分布的原因,一是因为交互空间本身就是提供在空间上分布式的服务,教师不再面对一台单独的计算机了;二是因为交互空间中所需的软硬件模块也不可能全放在一台计算机上。分布性自然对软件平台提出了支持分布式计算的要求,这里就要选择是采用分布式对象模型来构造系统(如 CORBA、EJB)还是采用多 Agent 模型来构造系统(如 OAA, Agelets),我们认为作为交互空间的软件支撑平台,多 Agent 模型更加适合。原因之一是 Agent 模型把每一个模块都抽象为具有自治的执行进程 - Agent,而不像对象模型中的对象是没有自己的执行进程的。从人工智能的角度来说,这种通过多个自治进程的互相通信和协作是可以更易于使一个系统表现出复杂和智能的行为方式的。选择多 Agent 模型的其他原因在下面还会提到。

2) 动态性

交互空间的研究一般采取面向场景的方式,通过不断地引进新场景来动态的扩展系统。新场景意味着有新的模块的加入,这些模块必须能和已有的模块友好共存,更要能利用已有模块的能力。动态性还来自于开发过程中需要不断地修改已有模块的实现和算法。我们认为在这样一个动态的系统中必然要求各个模块之间尽可能的是松散耦合的,多 Agent 模型中因为 Agent 的自治性,使其更能提供这种必要的松散耦合。

3) 集成性

交互空间中模块涉及视觉、语音、模式识别等等许多方面,显然我们不可能完全从头开始来实现这个系统,而必须紧密的与这些领域的开发人员合作,利用他们已有的代码或模块来构造系统。从软件工程的角度来说, Agent 比对象具有封装更加本地化(Localization)的特点,即它不仅封装了模块的内部状态,还封装了模块的调用逻辑,换句话说就是模块之间的交互更加高层。这就使得这些具体模块的开发人员不需要太多对整个系统的细节的了解,就能轻松的把他们已有的工作封装成可以和系统中其它模块协作的所需的模块。

4) 实时性

人一机交互系统的一个自然要求是交互的实时性,如果一个系统对人的交互的反应是不能保证

实时的话,用户肯定会感觉很难掌握这个系统。实时性一方面要求软件支撑平台必须能合适的调度并分配计算资源,以满足交互空间中各种需要极大计算量的感知模块的需求;另一方面也要求系统提供的通信服务是必须保证服务质量的,主要是要保证消息传递的时延。这种实时性的要求在通常的多 Agent 系统中是没有考虑到的,因为它们面向的应用领域通常并不需要太多的实时性的要求,如分布式问题求解。

5) 伺候性 (Attentative)

交互空间与现在的采用桌面计算模式的人机交互系统一个重要的区别就是所谓伺候式服务,即它应该不需要用户对其进行配置、运行等准备工作,而时刻处于待命状态,并且是主动 (Proactive) 的发现人的需求并提供服务的。这种特性也被称为安静的 (Calm) 计算[15]。这就要求软件支撑平台必须具有自动的把系统引导到一个合适的状态并维护这种状态的完整性的机制。

虽然我们目前的系统使用了 OAA 作为软件支撑平台,但因为 OAA 更多的是从分布式人工智能需求的角度出发来设计其系统的,所以不能很好的解决上述交互空间中计算的实时性和伺候性的需求。在开发过程中我们越来越体会到它作为交互空间的支撑平台的局限性,同时 SRI 提供的实现代码的质量也不是太高,使得系统的鲁棒性和执行效率不能得到保证。因此我们提出了自己的面向分布伺候式交互空间的软件支撑平台 - Smart Platform,目前已经完成了 Smart Platform 的设计阶段。Smart Platform 的主要特性如下。

1) 采用多 Agent 模型

2) Agent 间的通信模型采用结合了中心转发模式 (Delegated Computing) 和类 RPC 模式的混杂模式。中心转发模式是指 Agent 间通信都通过一个特殊的系统模块 (一般称其为 Facilitator) 来转发, Facilitator 维护了每个 Agent 对哪些消息感兴趣的信息,所以当 Agent 发出一个消息时没有必要指定其接受者, Facilitator 会把它转给需要的 Agent。这个模式的好处是降低了 Agent 间的耦合程度,但缺点是 Facilitator 成了系统的通信瓶颈,对于有些 Agent 间可能存在的频繁的实时的通信是不适合的。OAA 采用的就是这种模型。而类 RPC 模式是指每个 Agent 和其它 Agent 要进行通信时都必须建立独立的连接,这种模式的缺点是 Agent 间耦合程度高,有时候甚至几个互相依赖的 Agent 的启动顺序都很难安排。但这种模式的好处是没有通信的瓶颈。我们采用了结合这两种模式的混杂模

式,即向 Agent 提供两种类别的通信服务,一般的 Agent 间通信需求可以选择中心转发模式,而高数据量的实时的通信则可以选择类 RPC 模式,但必须指定通信的另一方是谁。

3) 采用 XML 作为 Agent 间通信语言的格式。XML 以其出色的可扩展性和丰富的相关代码资源已经成为一种主流技术。我们利用 XML 来作为 Agent 间通信语言的句法格式的载体,可以大大减少自己开发专用分析器的工作量,同时也为 Smart Platform 和其它 Agent 系统互相通信提供了基础。

4) 提供了系统的自动引导机制。即一个 Agent 可以描述其依赖的 Agent,当它运行时,Smart Platform 会自动检查其依赖的 Agent 是否已经运行,如果不是,它会自动加载并运行所需的 Agent。这就使得通过 Agent 间的依赖关系,Smart Platform 可以自动的把系统引导到一个合适的状态。

5) 提供了计算环境的自动发现及加入的机制。我们把由 Smart Platform 连接到一起的计算机群称为一个计算环境,Agent 就是在这个计算环境中运行的。一台新的计算机如果需要加入这个计算环境,在 Smart Platform 的支持下只需监听一个多播地址就可以自动的定位所需的系统资源的位置并加入这个环境。

4.2 多模态人机交互接口的形式化方法

一个交互空间中用户应该可以通过多种模式与系统交互,比如智能教室中就包括笔输入、语音、手的运动等,但更重要的是这些模式之间必须是有机的结合的,比如教师用手指向媒体板上的一个超链接,然后说"请打开这个网页",这里就必须把手的位置和语音命令结合才能确定用户的交互的语义。尽管现在的智能教室系统因为场景还比较简单,对多模态的处理采用了 Ad Hoc 的方法,但是我们充分的认识到了对多模态人机交互接口进行形式化描述的必要性。为此我们也对国际上这方面的研究做了调研,目前最成功的多模态接口的形式化方法应该是 OGI 的基于 Feature Structure 的合一的文法形式[16]。但是该形式化方法是针对移动计算中语音和笔输入的结合设计的,而交互空间中还有很多身体语言的输入模式,如点头、摇头,手势等等,身体语言的一个重要特点就是模糊性,比如用户做了一个向上卷屏的手势,但应该卷多大的幅度却是模糊的,不同的人可能有不同的习惯,另外处理这些模态的视觉方法目前来说都还不甚可靠。所以我们感觉应该在多模态文法中引入较强的统计因素,而这是 OGI 的方法不能提供的。我们对于该问题的研究目前还在进行中。

4.3 上下文的获取、查询和利用

意识上下文(Context Awareness)的计算目前正在受到越来越多的关注。人类日常生活中的交流正是大量的使用了上下文的信息而使交流变得十分高效。但目前的计算机系统却十分缺乏这种能力。交互空间中要想做到伺候式的服务,就必须让计算机系统具有处理上下文信息的能力。这一方面是因为一个人的行为只有放在特定上下文中才可以正确的识别,比如智能教室中教师说话时可能是对教室的命令,也可能是对课的内容的讲解,这时教室就必须利用当时的上下文信息才能区分这两种情况;另外只有意识了上下文,交互空间才可以主动的为用户提供服务,比如我们下一阶段想在智能教室中增加的智能导播功能就是一个很好的例子。自动导播是指教室能根据课堂进行的上下文,自动的为现场的视频图象选择最好的取景角度,比如教师在媒体板上书写和现场学生提问这两个情景对摄像机的取景角度就有不同的要求。

人的位置是一个很强的上下文信息,我们目前已经在智能环境中添加了一个人物跟踪模块,通过一个固定在屋角的广角摄像头来确定教师的位置。另外,我们还计划加入人脸检测模块,通过是否能检出人脸来推断教师的朝向。通过教师的位置和朝向,我们就可以在一定程度上区分教师讲话时是在讲课还是在给学生讲课或者教师的手的运动是想用虚拟鼠标还只是讲课时的身体语言。

尽管在智能环境目前较小的场景中,我们可以用 Ad Hoc 的方法来表示和利用上下文信息,但我们注意到十分有必要把上下文的查询和利用设计成一个通用的框架,国际上目前也有若干相关的研究[17]。我们认为这里的本质问题实际上是上下文的如何表示的问题,其困难在于上下文这个概念的边界比较模糊,时间、地点、人的位置、天气、甚至各种程序的状态都可以是上下文信息,所以要求这种表示框架必须有足够的可扩展性和完备性,但又必须具有很好的形式化。我们目前在探讨是否有可能利用人工智能中知识表示领域的成果来解决这个问题。

5 结论

"智能教室"是我们对交互空间技术的研究的一个载体,我们希望通过它的进展能提炼并解决若干交互空间技术的关键问题。目前我们已经总结出三个关键问题即软件支撑平台、多模态接口的形式化和意识上下文的计算,并分别取得了一定的进展。同时,"智能教室"也是一个具有重要实际应用

价值的远程教育系统，通过交互空间概念的引入，使得远程教育可以更好的被教师接受，并解决了远程教育课件匮乏的问题。下一阶段，我们希望能在智能教室中添加更多的体现意识上下文计算的场景。另外，我们希望能在实际教学中使用"智能教室"以提供可用性测试报告。

[参 考 文 献]

- [1] Weiser M. "The Computer for the 21 st Century". Scientific American, September 1991, pp94-100.
- [2] Ubicomp2001. <http://www.ubicomp.org/>.
- [3] Coen, M. "The Future Of Human-Computer Interaction or How I learned to stop worrying and love My Intelligent Room". IEEE Intelligent Systems, March/April, 1999.
- [4] Kidd, Cory D., Robert J. Orr, Gregory D. Abowd, and et al. "The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research". In the Proceedings of the Second International Workshop on Cooperative Buildings - CoBuild'99.
- [5] Shafer S. and et al. "The New EasyLiving Project at Microsoft Research". Proceedings of the 1998 DARPA/NIST Smart Spaces Workshop, July 1998, pp.127-130.
- [6] Alex P. Pentland. "Smart Rooms, Smart Clothes". Scientific American, April 1996.
- [7] M. Weiser, R. Gold, J. S. Brown. "The origins of ubiquitous computing research in PARC in the late 1980s". IBM systems journal, 1999, Vol. 38, No.4, pp693-696
- [8] W.K. Xie, Y.C. Shi, G.Y. Xu. "SMART CLASSROOM - AN INTELLIGENT ENVIRONMENT FOR TELE-EDUCATION". Submitted to The Second IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM2001)
- [9] OAA. <http://www.ai.sri.com/~oaa/>.
- [10]谢峰, 彭振云, 徐光祐, "高可靠性的身份验证系统", 第四届中国计算机智能接口与智能应用学术会议, pp. 250-255, 1999.
- [11]Ren, H.B., Zhu, Y.X., Xu, G.Y. and et al. "Spatio-temporal appearance modeling and recognition of continuous dynamic hand gestures". *Chinese Journal of Computers (in Chinese)*, Vol 23, No. 8, Agu.2000, pp.824-828.
- [12]J.H. Tao, L.H. Cai. "A NEURAL NETWORK BASED PROSODIC MODEL OF MANDARIN TTS SYSTEM-2". In the proceedings of ICSLP2000, II 75-78
- [13]Pei, Y.Z., Liu, Y., Shi, Y.C. and et al. "otally Ordered Reliable Multicast for Whiteboard Application". In proceedings of the 4th International Workshop on CSCW in Design, Compigne, France, 1999.
- [14]Coen, M. "Design Principles for Intelligent Environments". In Proceedings of The Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence. (AAAI98). Madison, Wisconsin. 1998.
- [15]Weiser, M. and J.S. Brown. "Designing Calm Technology". PowerGrid Journal, 1996.
- [16]Johnston M. "Unification-based multimodal parsing". In the Proceedings of the 17th International Conference on Computational Linguistics and the 36th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, August 98, ACL Press, pp. 624-630.
- [17]Hee Eon Byun, Keith Cheverst. "Achieving Context Interoperability: A Multi-layered DTD Approach". Submitted to UbiComp2001.