

状态自动机支持的环境感知应用框架研究^{*})

俞兆安 张申生 张 勇 童红霞

(上海交通大学计算机科学与工程系 上海 200030)

摘 要 环境感知是普及计算中一个重要的研究领域。为了便于开发环境感知应用程序,许多研究者已经提出了一些环境感知应用框架。然而,目前的一些环境感知应用框架侧重于让应用程序直接订阅或查询相关的环境信息,使得开发者需要关注众多的环境信息且要定义许多相似的规则来区分众多不同的操作,造成了开发和修改环境感知的应用程序仍存在着较多的困难。为解决这些问题,本文在研究环境感知应用框架的基础上,引入了信息空间环境状态的概念,提出了一种基于状态自动机的环境感知改进框架 BS-CTK,并设计和实现了相应的组件以支持基于状态自动机的环境感知应用开发。

关键词 环境感知,普及计算,环境状态,环境信息

Study on Context Awareness Application Framework Based on State Machine

YU Zhao -An ZHANG Shen -Sheng ZHANG-Yong TONG Hong-Xia

(Dept of Computer Science & Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

Abstract Context awareness is one of important research areas in the pervasive computing research. Many researchers have proposed some context awareness application frameworks in order to facilitate the development of context awareness applications. However, many context awareness application frameworks tend to let application subscribe or query related context information directly. Developers should try to pay attention to many kinds of context information and relationship among them and define many similar rules to identify different actions. Aiming at solving these problems, a concept of environmental state in the information space is introduced and a kind of improved context awareness application framework based on state machine is presented on the base of frameworks research. Also, some components are designed to support context awareness application development based on state machine.

Keywords Context awareness, Pervasive computing, Environmental state, Context information

1 引言

普及计算的思想最早由 Mark Weiser 于 1991 年提出,他强调把计算机嵌入到环境或日常工具中去,让计算机本身从人们的视线中消失,让人们注意的中心回归到要完成的任务本身^[1]。在普及计算系统中,人们可以在不同的地点、不同的时间,甚至不同的心情下,以非常自然的方式获得所要的信息服务,这就需要系统具有感知环境的能力。环境感知是指在普及计算的环境下,系统应能自动觉察在当时情景中与交互任务有关的环境信息的变化,并据此做出决策和自动地提供相应的服务。所谓的环境信息是指那些用于表示实体状态特性的信息。这里实体可以是人机交互中相关人、地方、物理或计算对象^[2]。目前,已经有很多研究机构提出了一些环境感知应用框架以支持环境感知应用的开发,然而这些框架大多都关注如何获取环境信息、对低层的环境信息进行解释、环境信息间的通信等问题,而对如何更有效地使用这些环境信息、简化上层应用程序的开发则关注较少。

本文的研究重点是在现有的环境感知应用框架 Context Toolkit^[3]基础上,引入信息空间环境状态的概念,设计状态自动机组件和引擎,来进一步简化环境感知应用程序的开发。

在该框架中,通过将许多的环境信息与信息空间的环境状态相关联,应用程序关注的将主要是信息空间的环境状态及其状态发生变化的条件,简化了应用程序的开发和修改。

本文第 2 节介绍了相关工作情况。第 3 节提出了信息空间中环境状态的概念并用形式化定义了普及计算下环境感知状态自动机。第 4 节提出了基于状态自动机的环境感知改进框架 BS-CTK 并分析了一些优点。第 5 节介绍了一个实例。最后是总结。

2 相关工作

在早期的研究中,许多研究者都致力于研究与具体应用相关的环境感知应用系统,例如,Active Badge 项目^[4]根据一个人在办公地点的位置提供了电话转接的服务;Cyber guide 项目^[5]给游客提供了支持环境感知的导游服务。接着,为了支持环境感知应用程序的开发,越来越多的研究者开始投入到环境感知应用系统开发框架的研究中来。例如,Dey 等人开发了具有层次结构的环境工具包框架 Context Toolkit^[3],该框架采用面向对象方法构建了三类环境组件:收集低级环境信息的 Widget 组件、具有融合环境信息功能的 Aggregator 组件及负责解释和转换功能的 Interpreter 组件。系统开发人

^{*} 基金项目:浙江省重大科技攻关项目计划资助项目(2003C11009);国家 863 计划项目(2002AA411420)。俞兆安 硕士研究生,研究方向:普及计算、系统集成;张申生 教授,博导,研究方向:普及计算、CIMS 关键技术分布异构环境信息集成技术等;张 勇 博士,研究方向:普及计算;童红霞 博士,研究方向:普及计算、本体技术。

员通过这些组件实现应用系统的环境感知服务的功能。为了支持修改环境感知应用系统的行为,一些研究者提出了便于修改系统的行为的环境感知应用系统框架。这些系统通常基于规则的方法^[6,7]来构建。例如 Tao Zhang 等人在 2004 年提出的一个构建环境感知应用的 3 层框架^[6],它把环境信息的获取和控制系统行为的规则引擎分开,在一定程度上便于系统的更改。然而,为了更改系统,开发者需定义和处理众多相关的规则,无形中加重了开发者的负担。

这些框架的建立为开发环境感知的应用程序提供了很大的帮助,但是它们存在的一个共同不足是物理空间和空间联系不够紧密,最重要的表现是没有将物理空间中的环境状态与信息空间中的环境状态联系起来,开发者关注的仍是众多离散的环境信息,且没有将这些离散的环境信息关联起来,造成了开发和修改环境感知的应用程序仍存在着较大的困难。

3 环境感知状态自动机

3.1 环境感知

环境感知概念最早由 Schilit 和 Theimer 提出^[8],他们将环境感知应用系统定义为能够简单地获得环境信息并能够对环境信息变化做出适应的应用系统。更多的研究者从适应环境的角度去定义环境感知^[9,10],他们认为所谓环境感知是指根据用户和系统本身的环境信息来动态地改变和适应系统的行为。从以上的一些概念我们可以看出环境感知从本质上来讲就是系统应该对环境信息(环境状态)的变化做出适当的反映,而引起环境状态的改变的因素则可能有:系统中环境信息的变化、环境中用户的行为表现、系统外界环境的影响等。

3.2 信息空间中环境状态概念的引入

在物理空间中,我们可以把某个时候或某段时间内在这物理空间内的所有实体的状态总和称为该空间在这个时候或这段时间内的一个状态。如果是某段时间内的状态,还可以将这状态划分为多个子状态。当空间中某个实体或某些实体的状态发生变化时,该变化的范围超出了原先状态的范围,称为环境状态发生了变化,从一个状态转移到了另一个状态。借助物理空间环境状态的概念,我们可以为与物理空间相对应的信息空间定义信息空间环境状态集。当然,在物理空间中环境的状态是不断变化的,不可能也没有必要为物理空间的所有状态设定其对应的信息空间中的状态。在信息空间中,我们只关心与实现环境感知应用功能相关的系统状态,所以信息空间的状态可以与物理空间的实际环境状态不一致,它的目的主要是为了完成环境感知应用程序的功能,设计一些信息空间的环境状态来屏蔽下层众多的环境信息,更好地体现信息空间与物理空间的融合,简化了环境感知应用的开发。

3.3 环境感知状态自动机

为了支持环境感知应用的开发,本文在普及计算环境下引入了环境感知状态自动机的概念。它体现的是在信息空间中环境各状态变化之间的关系。特别是各状态之间变化的条件是开发环境感知应用程序所关心的主要内容之一。参考 Mealy 状态自动机^[11]的定义,本文定义了如下的环境感知状态自动机。

定义 1(环境感知状态自动机) 环境感知状态自动机是一个 6 元组 $(S, \Sigma, \Lambda, T, G, s)$ 。

S : 一组有限的信息空间环境状态, Σ : 一组有限的环境

信息输入信号, Λ : 一组有限的系统输出或行为, T : 一个状态转移函数 $(T: S \times \Sigma \rightarrow S)$, G : 一个输出函数 $(G: S \times \Sigma \rightarrow \Lambda)$, s : 一个初始状态 $(s \in S)$ 。

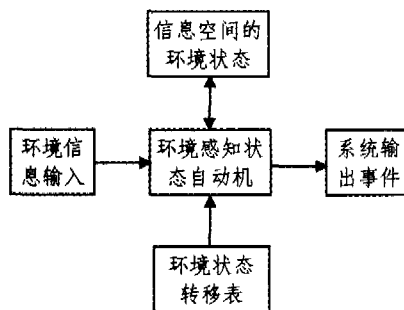


图 1 环境感知状态自动机

图 1 显示了一个环境感知状态自动机的示意图。环境感知状态自动机的输出是环境当前的状态及系统当时环境信息输入所决定的。在状态图中,每个状态转变的边缘包含着对应的输出信号。

3.3.1 环境信息输入 在普及计算环境下信息的原始输入,通常是由物理的传感器和逻辑上的传感器产生的,如环境的声音分贝值、亮度、温度等可以通过许多传统的物理传感器来识别,而一些环境信息如人的情绪等则是由逻辑上的传感器产生的。因为直接运用这些底层的环境信息较为不便,可以设计专门的组件来处理与传感器的信息交换,然后再将得到高层的环境信息传给环境感知状态自动机。

3.3.2 信息空间环境状态 是为了实现环境感知应用程序的功能而设计的与物理空间相关的几个状态,它蕴含了与该环境状态相关的许多的环境信息。当前信息空间环境状态是影响环境感知输出的重要条件之一,同时环境状态自动机也能根据环境信息的变化来改变信息空间环境状态。

3.3.3 系统输出事件 是指系统的行为,而这种事件通常是在特定的环境状态和系统环境信息的输入下产生的。输出事件体现了系统对环境信息变化的一种反映,是系统环境感知的一种行为。

3.3.4 环境状态转移表 它是形如表 1 所示的一张二维表。左边第一列表示的是系统的状态,右边第一行表示触发系统状态改变的环境信息所应该满足的条件,中间的单元格表示改变后系统的状态及其产生的操作或输出事件。例如单元格中值“S3/Action1”表示的是当系统状态为 S1 时,环境信息满足输入条件 1 系统的状态将变为 S3 且产生输出事件 Action1。这里输出事件可以是一个事件集。

表 1 环境状态转移表

条件 状态	Environmental condition1	Environmental condition2
S1	S3/ Action1	S2/Action2
S2	S1/Action3	Null
S3	Null	S2/Action4

4 基于状态自动机的环境感知改进框架

4.1 改进的环境感知应用框架 BS-CTK

Context Toolkit^[5]是一个较好的环境感知应用框架,它用功能组件的集合来表示物理世界实体对象及其相互关系。例如:它把传感器抽象成组件 Widget,把人、地点或某个实体

对象抽象成 Aggregator。它支持许多类型的环境信息,支持信息发现、存储、查询和解释。但是它没有考虑到信息空间中环境状态的概念,使得对于开发较为复杂的环境感知系统仍存在许多设计和实现的问题。图 2 显示了一个基于状态自动机的环境感知应用框架,它是在 Context Toolkit 原有框架基础上增加一层状态自动机层,包括了一些状态自动机组件 Envconditions、States、Actions、State Machine Engine 等。通过状态层,进一步屏蔽了下层众多的环境信息,将各种环境信息与环境的状态紧密关联起来,使得应用程序更加注重的是环境的状态而不是种类繁多的环境信息,且易于控制和修改系统的行为。

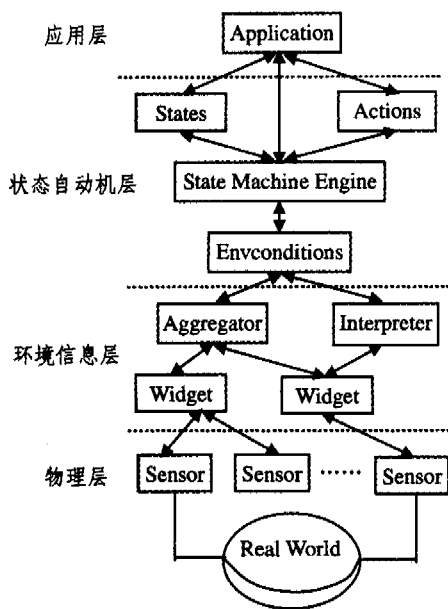


图 2 基于状态自动机的环境感知应用框架 BS-CTK

4.1.1 物理层 这是跟现实世界联系最紧密的一层,许多最原始的环境信息正是从这层获取的。图 2 所示的传感器可以包括物理上和逻辑上的传感器。这里获取的环境信息通常不能直接供应用程序使用,而是传给环境信息层进行分析和处理。

4.1.2 环境信息层 完成的主要功能是将原始的环境信息进行分析、解释和融合来产生较为高层的环境信息。Widget 组件主要负责从信息源收集环境信息并为其他的组件提供一个获取环境信息的统一接口。Aggregator 组件负责将多个 Widget 获得的环境信息进行融合以产生更加高层的环境信息。Interpreter 组件则负责将获取的环境信息进行进一步的解释。

4.1.3 状态自动机层 这是我们在 Context Toolkit 框架中增加的一层,是开发基于状态自动机的环境感知应用程序非常重要的一层。Envconditions 组件主要负责将获取的较高层的环境信息转化为能触发环境感知状态自动机的一系列条件,同时需处理与环境信息层之间的通信问题。这是环境感知状态自动机的一个重要的输入来源。States 组件处理信息空间中环境状态及其蕴含的各类环境信息之间的关系。该组件是影响状态自动机行为的另一个重要因素,同时系统的环境状态变化也受状态自动机的影响。State Machine Engine 组件(状态自动机引擎组件)是一个的核心组件,它根据状态转移表控制着系统在不同的情况下的环境状态转换及行为。Actions 组件负责执行系统的输出事件,体现了系统环境

感知的行为表现,该组件也负责处理多种行为同时发生时的冲突的处理。这些组件构成一个整体,共同为应用层开发基于状态自动机的环境感知应用程序提供支持。

4.1.4 应用层 在应用层上就可以利用框架所提供的各种组件开发自己的环境感知应用程序了。在开发中应用程序将侧重于定义与功能相关的环境状态转换关系及其相应的操作或事件,而状态自动机引擎将会自动处理许多状态转换的操作。

4.2 优点

通过这种方式构建的环境感知应用系统,开发者关心的将主要是系统在当时的状态及当时的可能输入下的输出的事件。而按以前方式构建的环境感知应用系统,由于只是考虑了系统在某种输入条件满足时所应该执行的事件,没有考虑到信息空间的环境状态,因此较难处理系统在不同状态下但输入相同时所应该执行的不同的操作的情况。例如,在智能教室的环境下,考虑系统的一个来自声音传感器的输入。这间教室晚上是供给学生自习的,白天是让老师讲课的教室。我们希望这间智能教室能够自动检测该房间的声音的大小,晚上自习时如果同学讲话的声音过大,则自动发出提示语音“请大家保持安静,现在是自习时间,请不要影响他人”。而在白天老师上课时则对相同的音量输入则不会有任何的提示。这个简单的例子反映了系统应该在不同的状态下对相同的输入表现出不同的行为。而这种情况在普及计算的环境下确是非常常见的现象。如果我们按照以往的方式去构建上述一个环境感知的系统,因为与白天和晚上关联的环境信息还有很多如时间、灯光、人物、活动等,则为了完成在晚上音量过大时播放提示音的系统事件,就需要对系统的许多环境信息进行监视订阅或定义许多的规则来完成某些状态下特定的功能,这不但加大了计算量同时也将使系统的反应时间变慢。而采用了基于状态自动机的环境感知应用框架后,由于在信息空间中引入了状态的概念,则系统会自动根据外界的输入不断改变自己的状态,当出于某个状态时,它只需关心在这个状态下可能输入的环境信息及其所应该采取的行为,而不需要对与此状态下不相关的许多的环境信息进行监控和订阅。

此外,由于可以获取系统的状态,因此可以在系统到达某个状态时让系统自动加载相关的环境信息,减少了信息的重复获取过程,而当系统离开某个状态时,自动卸载旧的环境信息而加载新的状态下的环境信息。再者,基于状态自动机的环境感知框架将有利于系统的修改和扩充。若系统需要在原有状态之间转换时增加一个新的操作,则只需在原有输出事件集中增加一个事件即可,原有程序不需要做很大的改动。若系统需要增加新的功能,则可以定义一个信息空间中新的环境状态,然后在状态转移表中添加与原有状态之间的转换关系即可。

5 实例分析

SCR(Smart Classroom)是我们利用 BS-CTK 框架及组件开发的智能教室原型。我们将该智能教室的主要状态设置为以下四种:上课、课间休息、自习、空闲,在每个状态下还可以设计多个子状态以完成多个不同的功能。图 3 显示的是在 SCR 中各个主状态之间的转换关系图。其中 C1-C4 表示的是转换的条件,A1-A4 表示的是执行的操作或输出的事件集。目前,该原型系统只采用了时间信息作为状态之间转换

(下转第 199 页)

(7)序列的编码问题。特征提取直接影响识别效果,但一个序列的特征是什么?怎样提取一个序列的特征?这也是今后生物信息学要继续研究的方向。

但隐马尔可夫模型仍然具备机器学习的3大条件,已经成功进行了语音识别、手写数字识别、蛋白质分类、基因预测等重大问题。和其它机器学习方法(如SVM)一样,结合计算机计算能力的不断提高和计算生物学的发展,其应用还将越来越广泛,今后仍然是机器学习的重要方向。

参考文献

- 1 Baum L E, Egon J A. An inequality with applications to statistical estimation for probabilistic functions of a Markov process and to a model for ecology. Bull Amer Meteorol Soc., 1967, 73: 360~363
- 2 Baker J K. The dragon system-An overview. IEEE Trans. Acoust Speech Signal Processing, 1975, ASSP-23(1): 24~29
- 3 Schlapbach A, Bunke H. Using HMM based Recognizers for

- writer identification and verification. In: Frontiers in Handwriting Recognition, 2004. 167~172
- 4 Asai K, Hayamizu S, Handa K. Prediction of protein secondary structure by the hidden Markov model. Computer Applications in the Biosciences(CABIOS), 1993, 9: 141~14
- 5 Krogh A. Two methods for improving performance of an HMM and their application for gene finding. In: Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology(ISMB), 1997. 179~186
- 6 Gough J, Chothia C. SUPERFAMILY: HM-MS representing all proteins of known structure. SCOP sequence searches, alignments and genome assignments. Nucleic Acids Research, 2002. 268~272
- 7 Baum L E, Sell G R. Growth functions for transformations on manifolds. Pac. J. Math., 1968, 27(2): 211~227
- 8 Baker J K. The dragon System-An overview. IEEE Acoust, Speech Signal Processing, 1975, ASSP-23(1): 24~29
- 9 Kundsén S. Promoter 2.0: for the Recognition of Promoter Sequences. Bioinformatics, 1999, 15: 356~361
- 10 Kasabov N, Pang Shaoning. Transductive Support Vector Machines and Applications in Bioinformatics for Promoter Recognition. In: IEEE Int Conf. neural Networks & signal Processing. Nanjing, China, Dec. 2003

(上接第194页)

输入信息,所以C1-C4的信息主要来自TimeWidget(在环境信息层专门负责处理时间信息的组件)。

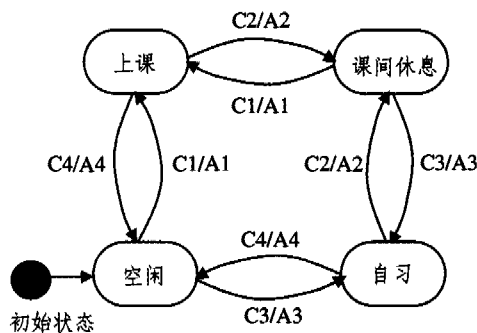


图3 SCR状态转换图

下面详细描述了系统在不同的状态下环境感知的功能。由于系统中提供了该教室的使用情况,则系统可以自动地在这几个状态之间进行切换。例如上午7:50时,教师手持PDA经教室门口安放的红外适配器进行身份识别后,系统将发出语音提示“某某老师已经来到,请大家做好上课准备”,并自动打开PowerPoint准备让教师使用。上午8:00时,系统将自动响铃以通知学生已经上课,同时将其内部状态切换为上课状态,自动加载上课相关的环境信息(如课程名称、学生人数的信息包括应到人数、实到人数等)并将信息显示到教师电脑桌面上。教师关闭系统消息显示后,系统启动了录音机准备记录教师的讲课录音,接着教师开始正常讲课。当到了下课时间时,系统再次响铃提示下课并提示下一节课的课程名称。教师结束讲课后,再次拿PDA对门外红外适配器照了一下通知系统离开的事件,系统检测到教师离开教室了以后则自动关掉电脑中打开的PPT、关掉录音设备等,同时将自身状态转为课间休息。当系统一旦进入课间休息的状态时,它将自动加载该状态下的环境信息(如学生喜欢听的音乐列表)并开始播放。而当到了上课时间时又能自动关掉音乐播放,再次执行响铃等操作。当到了自习的时间如晚上19:00时,系统将转入自习状态,此时将检测房间的亮度、温度等信息以便自动开启电灯、空调等设备,同时关注传感器传来的教室的音量信息,如果发现音量过大则自动发出提示音“现在是自习时间,请同学们保持安静”。当到了自习结束的时间以后,系统则自动关闭除电脑外的所有的设备以减少功耗,系统

转入空闲状态。

SCR原型系统的构造过程表明了本文提出的基于状态自动机的环境感知框架能较好地支持环境感知应用的开发,它加强了物理空间和信息空间的状态的联系,简化了系统分析和开发的过程,同时易于实现系统的修改和功能的扩充。

结束语 本文针对现有环境感知应用框架的不足,引入了信息空间环境状态的概念,加强了物理空间状态与信息空间状态的联系,同时提出了一个基于状态自动机的环境感知的改进框架,设计了相应的组件以进一步简化应用程序的开发并解决原有框架下较难处理的一些问题。实践证明,用基于状态自动机的环境感知应用框架开发应用程序是简单和快速的,同时很容易实现系统功能的扩展或重构。然而,该框架还存在些不足,如为了完成特定的功能,我们有可能定义过多的信息空间状态,而状态自动机引擎还没有对此进行优化处理。我们下一步的研究重点将集中在优化状态自动机引擎,使之能够自动优化多余的状态,争取用最少的状态来完成相同的功能。

参考文献

- 1 Mark W. The computer for the 21st Century. Scientific American, 1991, 265(3): 66~75
- 2 Dey A, Abowd G. Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In: Workshop on what, who, where, when and how of context-awareness at CHI 2000, April 2000
- 3 Dey A K, et al. A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications. HCI Jou, 2001, 16(2-4): 97~166
- 4 Roy, Want, Hopper A, Falcao V, Gibbons J. The Active Badge location system. ACM Transactions on Information Systems, 1992, 10(1): 91~102
- 5 Abowd G D, Atkinson C J, Hong J, Long S, Kooper R, Pinkerton M. Cyberguide: a mobile context-aware tour guide. Wireless Networks, 1997, 3(5): 421~433
- 6 Zhang T, Brüggé B. Empowering the User to Build Smart Home Applications, ICOST 2004
- 7 Humble J, et al. Playing with your bits: user-composition of ubiquitous domestic environments. In: Proc. UBIComp 2003, to appear
- 8 Schilit, Bill N, Norman I. Adams and Roy Want(1994). Context-aware computing applications. In: the Proc. of the 1st Intl. Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Santa Cruz, CA, IEEE. Dec. 1994. 85~90
- 9 Brown, Peter J, Bovey J D, Chen Xian. Context-aware applications: From the laboratory to the marketplace. IEEE Personal Communications, 1997, 4(5): 58~64
- 10 Davies, Nigel, Mitchell K, Cheverst K, Blair G. Developing a context-sensitive tour guide. In: the 1st Workshop on Human Computer Interaction for Mobile Devices, Glasgow, Scotland, May, 1998
- 11 Mealy G H. A Method for Synthesizing Sequential Circuits. Bell System Tech. J., 1955, 34: 1045~1079