

普适环境下自适应行为实体的研究与实现

唐蕾, 周兴社, 於志文, 倪洪波, 王海鹏, 王瀚博
(西北工业大学计算机学院, 710072, 西安)

摘要: 针对在普适环境中系统实施自适应行为的问题, 提出从实体粒度上去建模感知、推理以及作用能力的方法. 该方法通过抽象封装物理和信息实体, 构造行为实体, 能够自主感知和融合行为上下文, 建模多种用户行为(包括顺序、并发行为), 同时建模行为与环境间的制约关系, 通过运用 Petri 网建模用户行为的变迁过程, 计算当前行为实体的可中断度, 来验证当前环境能否支持行为实体的发生, 进而指导服务的自适应实施. 将该方法应用于老年人用药辅助场景, 设计及实现原型系统, 并应用于真实智能家居环境下进行部署与测试. 用户体验结果显示, 系统能够提供自然的人机交互, 保障用药安全, 提高老年患者的合理用药水平.

关键词: 普适计算; 自适应; 行为实体; 用药辅助

中图分类号: TK 223.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2011)02-0102-05

Research and Implementation of Adaptive Entity under Ubiquitous Computing Environment

TANG Lei, ZHOU Xingshe, YU Zhiwen, NI Hongbo, WANG Haipeng, WANG Hanbo
(School of Computer Science and Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: For providing the adaptive assistances to determine when and how to make these assistances available according to the surroundings, the entities are built to model the diverse user behaviors (e. g. , sequential and concurrent behaviors) by integrating the capabilities on sensing, inferring and implementing. By computing the entities' interruption degree based on Petri Net, it is practicable to analyze whether an entity can act under the current environment or not, that means to decide whether an effective assistance can be triggered. We introduce the method in building a smart medication system which provides continuous medication monitoring and context-aware reminders. The experimental results show that our system could improve the medication adherence of elderly in a natural way.

Keywords: ubiquitous computing; adaptation; activity entity; medication aid

老年人作为一类特殊的群体, 其机体在生理和病理上的改变将使其患病的机会、用药频率和用药复杂性均有所增加, 而药物疗效的发挥, 不仅受到药物本身的影响, 而且更多的是由患者本身的用药习惯和用药依从性所决定的^[1]. 从各种调查来看, 老年人由于自身的原因, 普遍存在着不良的用药习惯和用药依从性差的问题, 这会造成药物不良反应增加,

药物疗效降低, 甚至造成患者病情加重, 导致医疗资源的浪费, 医疗支出的增加. 因此, 关注老年人的用药依从性问题是十分必要的.

本文将普适系统行为的有效自适应问题实例化为老年人用药自适应辅助应用, 通过将普适环境中各类物理和信息实体进行智能绑定和抽象封装, 构建具有感知、推理和作用能力的自适应实体, 真正实

现物理与信息空间的融合.该方法目前已被应用于原型系统 SMS(smart medication system)中,能够有效捕获用户的用药行为,理解用户的用药意图,并支持应用的自发行为交互,提供有效用药提醒辅助.

1 用药依从性研究

用药依从性是指患者对医嘱遵守的程度^[2].由于多数老年人存在慢性疾病,他们往往需要长时间地服用多种类型的药品,而且服用方法也不尽相同,这均容易导致老年患者的错误依从性增加^[3].因此,部分医学专家将服药依从性的定义进行扩展,把每日服用药量 DT(dose taking)和服药时机 TD(timing of dose)作为评估体系的两大维度,各有侧重地探索改善老年患者服药依从性的方法.

在普适环境下,用药时机已从传统的单一以时间为发生条件,扩展为结合用户行为、身体状态和当前环境状态的事件触发,这便需要对多种事件进行定义,并支持事件感知机制.典型的代表是 Lundell 搭建的支持上下文感知的 CAMP 系统^[4].然而,由于用户行为存在随机性和并发性,这会带来预设用药事件与随机事件之间的冲突(例如,用药时间到了,而用户此时在卫生间).本文提出的算法以此为背景,通过建立用户接受程度与辅助有效性的关系,结合特定并发行为模式和行为理论,将用药时机的选择问题转化为多个并发行为实体的可中断判断(即验证当前环境能否支持用药行为实体的发生),进而实现用药时机自适应规划.

用户行为模式需要融合多种传感器数据,并根据预设策略或模式识别算法推理而得.智能药箱^[5]可通过预定用药行为发生条件,简单识别用户服药行为.本文同样对用户行为进行识别处理,不同之处在于考虑到行为的并发性以及存在于行为与环境间的相互制约性,本文以实体的概念来建模用户行为,一方面由于感知、推理构件被集成至实体中,行为实体可以自主发布自身状态,并与环境相互作用,自适应调整状态;另一方面,实体可以较好地建模并发特性,便于进行中断性判断.

用药辅助一般采用主动提醒的干预方式,关注于何时何地提供何种提醒.由于提醒辅助强调人机交互,因此提醒方式的设置需要感知用户个性信息,进而选择合适的设备输出提醒信息,例如 PROMES^[6].本文在提醒设置上,同样囊括了以上研究,此外,通过结合行为理论(即行为与环境相互制约),实现场景感知的自适应提醒,包括在多个显

示设备上和多种显示方式上进行选择.

2 SMS 系统结构

对用药行为进行监控,为医护人员提供实时准确的依从性状态信息,并辅助实施有效护理干预,是提高老年患者用药依从性的一个重要手段.秉承此方案,SMS 支持在真实家居环境下,自适应监控及识别依从性模式,并以自然的输出方式予以有效提醒.为此,SMS 需要对家居环境中的多种异构的普适交互资源进行“透明”管理,获取其上下文信息,决策并实施各级服务行为,同时跟踪其对信息与物理空间的映射影响关系,为真正实现物理与信息空间的统一管理,SMS 在构件粒度上统一封装感知、推理和作用能力,进而将自适应特性与各种物理实体进行绑定,使其成为访问信息空间中服务的直接入口^[7].这样,信息空间的状态改变便能够通过实体映射到物理空间中,同时实体也能够支持信息空间自动觉察物理空间中状态的改变,从而触发服务自适应.

在本文中,SMS 主要关注于与用户交互的物体,通过封装感知能力构件、推理能力构件以及作用能力构件^[7],将其与高级的用户行为进行绑定,以集中式实体管理和发现机制实现对用药行为等的监控.

SMS 采用可扩展的分布式系统结构,如图 1 所示,允许通过“组装”构件的方法来搭建具有自主能力的实体.分布于普适环境的各实体根据其实时需求,通过实体服务器发现实体并进行互操作,协同完成监控和辅助任务.

3 行为实体

提高老年患者用药依从性的一个关键任务便是对其日常行为进行识别.一方面通过获取实时的用药行为建立行为模式,能够对错误的依从性(即漏服

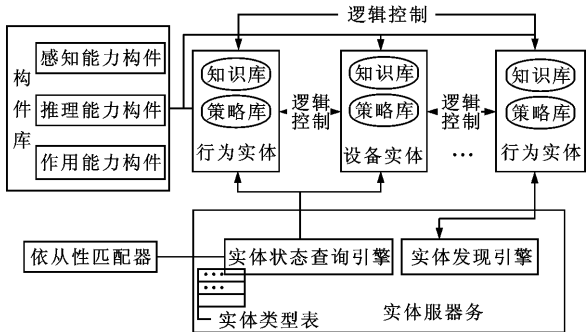


图 1 SMS 系统结构

和误服)进行识别. 另一方面,为保证提醒等辅助支持的有效性,需要考虑实施场景和方式的合理性,即检测与其他行为之间的冲突. 因此,具有能够绑定物理资源、感知行为上下文以及自发决策交互特征的行为实体,便是 SMS 系统中的基本构造单元. 通过引入实体,对行为以及行为与环境的关系进行抽象封装,本文的研究问题便成为对行为实体的状态管理和发现以及实体间的冲突检测.

3.1 行为实体构造

行为实体是 SMS 系统的基本构造单元,它通过对物理和信息实体的智能绑定和抽象封装,自主感知和融合行为上下文,检测环境的变化,进而决策该实体的提醒动作. 因此,行为实体的能力由感知能力构件、推理能力构件以及作用能力构件进行描述,如图 2 所示.

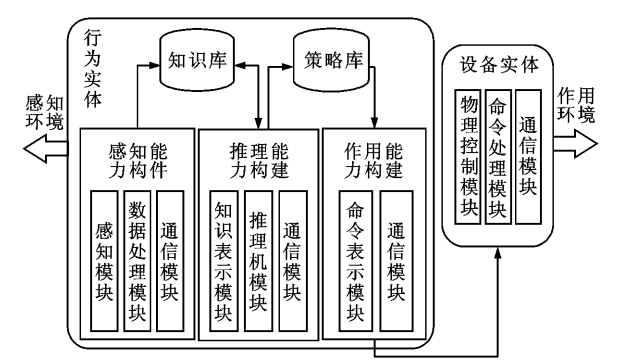


图 2 行为实体的构成

感知能力构件由感知、数据处理和通信模块组成,负责对原始数据的获取,处理并封装为感知能力进行发布. 推理能力构件能够对感知构件提供的信息进行推断和抽象,从而获取具有高级语义的行为上下文信息,产生新的知识体并提交至知识库. 作用能力构件封装了行为实体与设备实体之间的交互,提供统一的方式对多种物理设备进行访问控制. 这样,以实体为粒度构造的普适空间便能够使用行为实体“预感知”用药需求,利用其与设备实体的交互提供自适应的用药辅助服务.

3.2 行为实体管理与发现

为有效实施监控和辅助用药任务,SMS 需要对行为实体的状态进行维护,这包括对新实体的注册

和查询、状态的实时更新以及实体间的协作管理. 针对用药辅助,本文主要关注对用药行为实体的状态识别,以及该实体与其他行为实体之间协作提醒任务的执行可行性.

3.2.1 依从性监控与识别 实体处于活跃状态时,将自动向实体服务器发布自身的实时属性状态,即更新实体 profile 表示文件. SMS 通过构造用药行为实体,利用实体内部的感知、推理能力构件,可获取具体的用药信息,包括服药时间和服用药品. 所有的用药信息将作为匹配器的输入,进行依从性的监控和识别.

在第 2 节对依从性研究的基础上,本文给出了依从性模式的识别体系,分别以时间 T 、药品 M 和药量 D 作为 3 个指标维度,将依从率置于此 3 个维度之内进行分析. R_n 和 D_n 分别表示第 n 次的依从率和服用量; M_n 量化描述了药品取用,

$$M_n = \begin{cases} 1, & \text{取得正确药品} \\ 0, & \text{取得错误药品} \end{cases};$$
$$T_n = \begin{cases} 1, & D(t_n, t_{n-1}) < \alpha \\ 0, & \text{其他情况} \end{cases}$$

刻画了服药时机,其中 t_n 表示第 n 次服药的时间; D_P 表示医嘱规定的服用药量;

$$R_n = M_n T_n \left(\frac{D_n}{D_P} + R_{n-1} \right) \quad (1)$$

3.2.2 行为实体间协作管理 SMS 的一个核心任务在于提供合理有效的用药辅助,即采用最大化效率、最小化干扰的方式. 由于存在并发行为,即多个行为实体同时处于活跃状态,因此用药行为的发生一方面需要依赖特定行为实体的执行,例如饭后 1 h 服药;另一方面也需要对其可行性进行检测,即发现存在冲突关系的并发行为实体,例如睡觉时不能吃药.

实体发现机制是实施有效辅助的技术支撑. SMS 采用基于概念和实例^[8]的查找方法,对实体间的关系进行本体建模和匹配,从而发现目标实体. 在 SMS 中存在 2 类实体关系,即触发与冲突关系. 以用药行为实体为例,表 1 给出了触发与冲突关系的规则表示,其中,eh:sequence 谓词表明 2 个行为实体的执行顺序,此规则定义了吃饭行为与用药行为

表 1 规则定义示例

定义“触发关系”的规则	定义“冲突关系”的规则
eh:medication(? x),eh:dinning(? y), eh:relation(? z),eh:sequence(? y ,? x) $\rightarrow$ eh:triggering(? z)	eh:medication(? x),eh:act(? y), eh:relation(? z), eh:interrupt(? h),eh:lessthan(? h , δ) $\rightarrow$ eh:conflict(? z)

之间的触发关系;eh:interrupt 谓词定义了行为实体的可中断度,此规则定义了中断度与冲突的反比关系.

4 自适应服药提醒

提醒辅助是提高老年人服药依从性的一个重要手段. 由于普适理念的深入,目前的服药提醒都具有上下文感知特性,能够自适应选择提醒发生的时间和方式^[9-10]. 作为一类系统主动行为,提醒的有效性同样成为依从性研究所关注的重点. 由于触发提醒会造成老人注意力的转移,因此不合理地实施提醒将会中断老人的行为模式,甚至干扰老人的生活. 考虑到提醒的执行会造成老人行为的改变,因此在 SMS 中,提醒被建模为行为中断问题^[11],即用药行为实体的可行性依赖于其对多个并发行为实体的中断可达性,这需要实体发现机制的支持,而提醒的有效性便能够以行为实体间的可中断程度作为其量化指标,来表征老人对用药提醒的接受程度.

根据行为理论^[12],行为的产生是对物理环境的反应,不同行为的执行取决于其在当前环境下能够被满足的程度. 例如房间光线暗,将引发“开灯”行为的执行. 因此,自适应提醒问题的实质便是验证当前环境能否支持用药行为实体的发生. 考虑到多种行为实体可能会同时存在,SMS 将根据表 1 给出的冲突关系规则,与实体类型表中处于活跃状态的实体进行中断性匹配,即比较用药行为实体的执行条件与活跃实体的作用环境影响之间的制约关系. 由于引起行为改变的一个重要因素便是对环境的感知,因此 SMS 选取 4 类主要的感知模式,即视觉、听觉、移动性和发生场景,来表征行为实体的环境约束和作用影响,即表示为二元 $\langle$ 类型 T ,值 $V\rangle$.

表 1 中,冲突关系采用了 eh:interrupt 谓词定义用药行为实体 $E(B)$ 的中断度 G . 式(2)用来计算以顺序执行的行为实体间中断度 G ,其中 $E(A^{\cdot})$ 表示并发行为实体的作用影响, $E(\cdot B)$ 表示用药行为实体的约束.

$$E(A^{\cdot}) = \langle T_s, V_s \rangle,$$
$$E(\cdot B) = \langle T_m, V_m \rangle,$$
$$\text{IF sequence}(A, B) \text{ EXISTS,}$$
$$\text{THEN } G = V_s \Delta V_m \mid_{T_s = T_m} \quad (2)$$
$$a \Delta b =$$
$$\begin{cases} \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma} \exp\left\{-\frac{(b-a)^2}{2\sigma^2}\right\}, & T = \text{sight/hearing} \\ M, & T = \text{scene} \end{cases}$$

$$M = \lambda_{\text{sight}} \left(\frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma} \exp\left\{-\frac{(H_{\text{sight}} - \bar{L})^2}{2\sigma^2}\right\} \right) +$$
$$\lambda_{\text{hearing}} \arctan(H_{\text{hearing}} - \bar{H})$$

本节主要介绍行为实体对提醒辅助的支持,而具体的实现,即行为实体中断模型和自适应提醒算法已在文献[11]中进行了阐述.

5 SMS 系统实现与评价

为监控和辅助老人用药,SMS 系统采用了基于 RFID 的药箱 E-cabinet 来捕获老年患者的用药信息,如图 3a 所示. 通过将绑定 Tag 的药品构造为用药行为实体,SMS 能够自动记录服用的药品和时间,并提供可视化的查阅方式,辅助个人用药规划,如图 3b 所示.

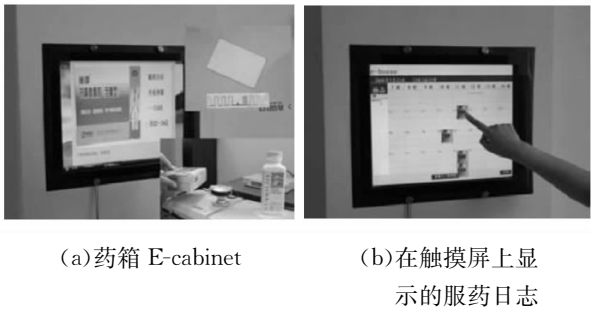


图 3 辅助个人用药规划

目前,SMS 已在西北工业大学的 e-house 进行实地部署和测试. 图 4 展示了 e-house 的硬件部署,包括用于捕获行为实体作用影响的温度、声音、光强等环境传感器,以及用于感知行为、构造行为实体的压力、RFID 传感器和家电智能设备.

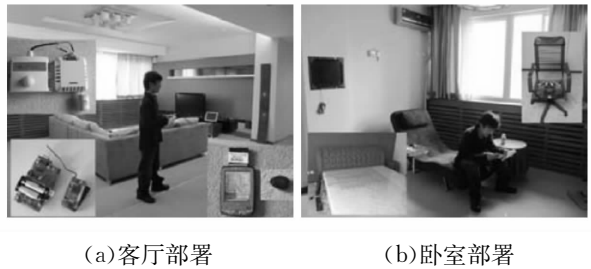


图 4 e-house 的硬件部署

为评估 SMS 的有效性,本文选取 5 位受试对象展开为期 3 周的可用性测试. 受试者被要求使用 E-cabinet 完成每日服用 2 次维生素(随餐服用和睡前服用)的用药任务. 测试结果显示,SMS 能够监控用药行为,并通过提醒辅助提高用药依从性. 60% 的受试者描述了 SMS 的易用性,包括方便查看用药日志以及有效识别药品用法. 表 2 给出了测试结果,通过

采用式(1)和依从性的 2 个评价指标,即每日服用药量 DT(即两次服药)和服药时机 TD(即随餐和睡前 30 min),对 SMS 的自适应提醒算法进行分析(对提醒算法的定量分析已在文献[11]中给出).测试结果显示,自适应提醒能够在很大程度上解决漏服药品问题,特别是对于需要服用具有特定用法的药品.

表 2 用药依从率 R 评估

评估指标	用药依从率 R/%	
	不提醒时	自适应提醒时
DT	75.8	90.1
TD	44.7	79.6

6 结 论

本文将普适计算理念应用于解决老年患者用药安全问题,提出的解决方案具有以下几方面的创新性.

(1)以实体建模用户行为,将传统的资源管理转变为对抽象自主实体的管理.通过集成感知、决策和作用能力,实现物理与信息空间的统一管理.这个技术目前已经被很好地用于对实验室资源的管理中.

(2)定义行为关系(触发、冲突)规则,建立实体发现机制,通过对实体间的关系进行本体建模和匹配,从而发现目标实体.基于本体的实体发现技术可支持多种计算网络环境(例如 p2p),它利用消息订阅/发布机制,允许实体进行自适应调整.

(3)建模行为与环境间的制约关系,并将其用于行为实体冲突管理,即通过运用 Petri 网建模行为的变迁过程,计算当前行为实体的可中断度,验证当前环境能否支持行为实体的发生.该技术将用户感官作为建模指标,并提出了具有可操作性的计算公式和算法.目前该技术用于提醒应用中,可自适应调整提醒的触发时机.

(4)从老年人的特定需求出发,提供较自然的人机交互,如设计支持多药品“插拔”式管理的基于 RFID 药箱、可视化的用药规划.

参考文献:

[1] 于伟凡. 患者用药依从性调查与药学服务对策[J]. 中国当代医药, 2009, 16(5):99-100.
YU Weifan. Survey and treatment of medication adherence[J]. China Modern Medicine, 2009,16(5):99-100.

[2] OSTERBERG L, BLASCHKE T. Adherence to medication[J]. N Engl J Med, 2005, 353: 487-497.
[3] BANNING M. Enhancing concordance with prescribed medication in older people[J]. Nursing Older People, 2004, 16: 14-17.
[4] LUNDELL J, HAYES TL, VERGUN S, et al. Continuous activity monitoring and intelligent contextual prompting to improve medication adherence[C]//Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007:6286-6289.
[5] HAYES T L, HUNT J M, ADAMI A. An electronic pillbox for continuous monitoring of medication adherence[C]//Proceedings of the 28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006: 6400-6403.
[6] CHOI J H, LIM M E, KIM D H, et al. Proactive medication assistances based on spatiotemporal context awareness of aged persons [C]// Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008:5121-5124.
[7] 沈健. 实体管理关键技术[D]. 西安: 西北工业大学计算机学院, 2008.
[8] YU Zhiyong, ZHOU Xingshe, YU Zhiwen, et al. iMuseum: a scalable context-aware intelligent museum system[J]. Computer Communications, 2008, 31(18): 4376-4382.
[9] SOHN T, LI K A, LEE G. Place-its: a study of location-based reminders on mobile phones[C]//Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Computing. Berlin, Germany: Springer Verlag, 2005: 232-250.
[10] POLLACK M E, BROWN L E, COLBRY D, et al. Autominder: an intelligent cognitive orthotic system for people with memory impairment[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2003,44(3/4):273-282.
[11] TANG Lei, ZHOU Xingshe, YU Zhiwen, et al. Adaptive prompting based on Petri Net in a smart medication system[C]//Proceedings of Perlom Workshop on Pervasive Healthcare. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 328-333.
[12] KAPTELININ V, NARDI B A. Acting with technology: activity theory and interaction design[M]. Cambridge, MA, USA: MIT Press,2006.

(编辑 武红江)