预印本版本：Ghorbani, Fatemeh、Mahsa Farshi Taghavi 和 Mehdi Delrobaei。《基于增强现实和严肃游戏的智能辅助系统》。Entertainment Computing 40 (2022)：100458。https://doi.org/10.1016/j.entcom.2021.100458。

基于增强现实和严肃游戏的智能辅助系统

Fatemeh Ghorbani[1], Mahsa Farshi Taghavi[1], Mehdi Delrobaei[1, 2]

[1] 电气工程学院，*K. N. Toosi University of Technology*，德黑兰 *1631714191*，伊朗。[2] 电气与计算机工程系，西安大略大学，伦敦，*ON N6A 5B9*，加拿大。

电子邮箱地址：
fatemeghorbani@email.kntu.ac.ir, m.farshitaghavi@email.kntu.ac.ir, delrobaei@kntu.ac.ir, https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-4188-6958

摘要 - 年龄相关认知障碍通常表现为记忆逐渐丧失和决策困难。本研究旨在探讨多层级支持，并为轻度认知障碍老年人及其照护者（主要终端用户）提出相关的辅助措施。本文报告了一项智能辅助系统的初步成果，该系统通过整合物联网、增强现实和自适应模糊决策方法实现。拟议系统有多种运行模式，包括自动模式和半自动模式。自动模式通过显示增强现实消息或自动进行调整，帮助用户完成日常生活活动；半自动模式则在根据增强现实严肃游戏得分实时评估用户的认知状态后，允许手动进行调整。我们还邀请37名老年参与者评估严肃游戏得分的准确性，并将其与用户的纸质认知测试结果进行比较。我们进一步发现，纸质测试结果与用户的严肃游戏得分之间存在可接受的相关性。此外，我们观察到，随着活动设备数量减少，半自动模式下的系统响应相比自动模式造成的数据丢失更少。

关键词：增强现　　实、模糊决策、智能辅助技术、物联网、严肃游戏　　·

1. 引言

近期的世界人口预测显示，人口老龄化趋势明显，预计全球65岁及以上人口的比例将从2020年的9.3%上升至 2050 [1]年的16.0%。此外，年龄相关认知障碍是一种退行性神经系统疾病，其特征是老年人记忆力逐渐丧失[2]。记忆力丧失和缺乏决策能力是两大主要困难

，老年人和认知障碍患者都会面临这些困难。目前，仅在美国就有近580万患者患有阿尔茨海默病（AD），这是认知障碍的常见病因，[3]。他们通常难以记住近期信息并完成日常任务。因此，应时常提醒他们完成所需任务，以增强他们的信心并提高生活质量[4]。

为应对温和型老年人数量不断增加的情况认知障碍（MCI）老年人数量不断增加、且缺乏能够延缓或阻止其病情进展的治疗方法这一现状，智能辅助系统的广泛部署可能会对老年人及其照护者产生颠覆性影响。照护者的日常生活 [5]。IA系统可以：(i) 通过延缓或免除机构照护，减轻公共财政负担；(ii) 减轻正式照护者和家庭的心理负担，(iii) 弥补人力照护者的不足，同时提升并优化照护质量；(iv) 赋能患有轻度认知障碍的老年人，从而增强他们的信心 [6]。例如，在 [7], 作者提出了一种基于智能增强现实（AR）的*MED-AR* 系统，用于帮助老年人完成服药任务。该系统旨在提出一种研究方法，用于在居家医疗护理场景中跟踪和分发老年人的处方药。

另一方面，严肃游戏在重建功能性环境方面发挥了积极作用，使用户有可能接触到真实场景 [8–10]。此外，研究人员

已证明，严肃游戏是一种有效的日常生活活动评估工具[11] ，也可用于认知筛查 [12]。例如，研究人员曾通过严肃游戏平台，将游戏体验与严肃目的相结合，以评估日常生活活动。该研究旨在通过五项任务，评估老年人的功能独立性，这些任务采用*Smart Aging* 游戏完成 [13]。另一项研究中，作者开发了一款基于虚拟现实的严肃游戏，用于评估用户在执行导航任务时的认知障碍。用户需要跟随箭头前往特定地点，并独立找到回家的路 [14]。尽管该领域的研究数量显著增加，但鲜有研究人员探讨开发可应用于年龄相关轻度认知障碍照护的智能辅助系统，且该系统基于

用户的日常认知能力可能会发生变化这一事实。

本研究旨在为患有轻度认知障碍的老年人提出一种 IA 系统，并提高他们独立完成日常任务的能力。在我们先前的研究中，[15], 我们实现了一个基于增强现实消息的任务提示系统，但没有采用任何自适应决策引擎来评估用户的总体认知状况

以收集用户的室内数据。图1展示了所提出的IA系统的总体架构，其中IA系统以自动模式运行。

我们还设计了一款基于服务的应用（基于C#云服务），供照护者查看传感器检测到的事件相关数据，并控制嵌入智能家居环境中的执行器 [17]。照护者还可以监测用户的认知功能状态和游戏结果。

2. 材料与方法

2.1. 系统架构

由于轻度认知障碍老年人的日常活动取决于其所处环境中的周围物体，因此，温度、湿度和 CO_2 浓度等环境条件对于设计智能家居环境至关重要。在我们的工作中，我们通过在厨房、卧室和洗衣房等多个位置部署不同的传感器和执行器，将此类数据发布到云层。

此外，无线传感器网络已部署在本地雾层中，用于收集有关用户位置的数据。在家庭环境中放置了三个锚点，以估计用户的实时位置。

与我们的IA系统进行的所有通信均通过MQTT完成，数据采用JavaScript对象表示法（JSON）进行序列化。为避免不必要的数据传输，可根据决策算法的结果将IA系统的运行模式切换为半自动模式。

我们提出的模型基于用户佩戴的定位标签，以实现定位系统功能。用于与最终用户交互并评估其认知功能的应用程序是在 Android 操作系统上开发的，并安装在智能手机上。

为了将所有数据发送到云端，我们采用 MQTT 协议作为消息传递协议。MQTT 是物联网架构中常用的应用层协议，凭借其简单性和可扩展性，可用于在设备之间传输数据 [16]。我们使用 HiveMQ 服务器作为 MQTT 消息代理，并为定位系统中的每个传感器、执行器和数据协调器配备 Wemos D1 Mini 模块

2.2. 自适应决策过程

本节中，我们采用一种自适应模糊方法，将系统转变为智能情境感知系统，以促进对用户的监测，并提升其完成日常任务的能力。为了与用户正确交互，决策过程应具备自适应性和准确性，以避免误报通知或误报的增强现实消息。在某些情况下，例如完成日常任务时，人们偶尔需要辅助来回忆记忆。

为了在云端更新IA系统的各个变量并做出正确决策，我们采用了自适应模糊逻辑模型来选取最合适的值。图2展示了模糊自适应决策过程的模型。

模糊控制器有四个主要组成部分：规则库、推理系统、模糊化接口和去模糊化接口。在我们的系统中，我们基于用户的认知状态和增强现实游戏得分，设计了两个知识库。这些规则库对于决定何时提供辅助，以及准确预测用户的目标是必要的。下面我们将逐一介绍模型中的各个部分。

2.2.1. 变量和隶属函数

在我们提出的模型中，输入变量包括来自嵌入式设备的多种类型数据、用户的实时位置以及其认知状态。输出变量是用户或其照护者接收到的不同类型的增强现实消息。表 1 展示了我们研究中的输入和输出参数、数据类型及其隶属函数。

我们可以添加其他家居物品，并将距离计算为模糊输入变量。通过考虑每个输入和输出变量，我们根据数据类型和模糊规则定义隶属函数。

图3展示了用户的移动时间和增强现实游戏得分的隶属函数。输出变量为语音、图像和文本消息，以模糊单点隶属函数定义。每条消息都有一个识别编号（ID），并可由特定输入激活。三角形隶属函数用于描述继电器执行器的状态。

2.2.2. 模糊规则库

定义每个变量的隶属函数后，我们必须构建规则库，其中包含所有专家 IF-THEN 规则。在我们的 IA系统中，两个主要规则库对于构建自适应决策过程和提供多层级支持至关重要。第一个规则库通过显示增强现实，帮助用户在日常生活中独立完成各项活动

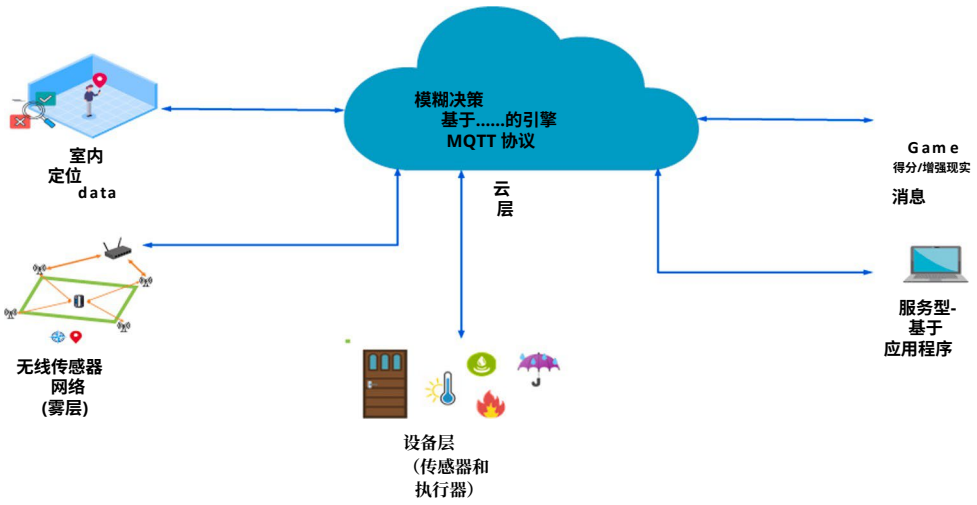

图 1. 智能辅助系统架构。所有物联网数据值，例如室内定位数据、嵌入式传感器数据和严肃游戏得分，都会发布到服务器。根据模糊决策算法和严肃游戏得分，在自动模式下更新数据值。

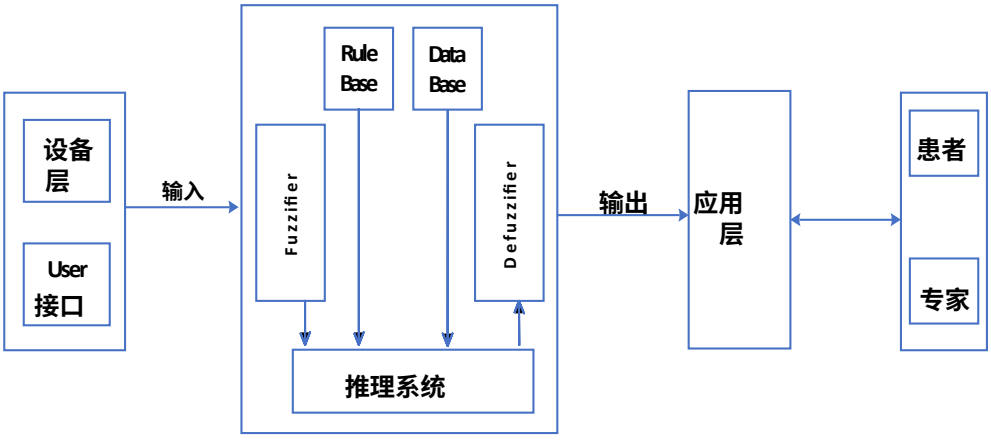

图 2. 模糊自适应决策模型。根据用户的认知状态和严肃游戏得分建立两个知识库。用户和照护者会根据模糊规则的输出收到相应的通知。

表 1模糊系统输入和输出的说明。

参数	模糊隶属函数	数据类型
游戏分数	低、高	语言型
Game	开始、停止	布尔值
Time	清晨、早晨、下午早些时候、较晚下午、傍晚、夜间、午夜	语言型
距离	近、远、很远	语言型
湿度	非常干燥、干燥、潮湿、非常潮湿	语言型
温度	极冷、冷、凉爽、温和、温暖、热、极热	语言型
提醒	是，否	布尔值
运动	低、中、高	语言型
火焰检测	是，否	布尔值
气体检测	是，否	布尔值
中继状态	是，否	布尔值
语音消息	1、2、.....	整数
图像消息	1、2、.....	整数

消息，或生成自动变更，例如激活执行器。第二种方式允许在实时评估后进行手动变更
根据基于增强现实的严肃游戏得分判断用户的认知状态。在这种情况下，可以关闭或禁用部分智能家居传感器和提醒。

事件发生后（例如，服药时间提醒），输入数据 a
位置、增强现实游戏得分和传感器数据值等数值通过 MQTT 协议发布到云端。此外，还会检查模糊规则，并且 d
相应的输出变量会更新并发布到各自的主题。随后，根据激活的规则库，用户会收到不同类型的消息，或者用户的手动更改

可以启用。

自适应模糊决策算法能够扩展以支持更多规则，从而提高用户独立性。位置
不同的对象以及最常用的对象也可以添加到数据库中。Th

因此，可以添加新规则或新对象，或者其他 r rules
照护者可以根据对每位用户生活方式的了解及其需求，远程移除和更新这些内容，并且他们可以手动.....
.....地开始一个场景，或向用户发送简单的提醒。模糊规则必须具备每位用户的知识库，该知识库由.....提供
照护者，因此所有活动都根据他们的偏好进行了调整 [18]。
表2展示了此类情景及其模糊规则的部分内容。这些情景经过精确定义，以便为首次针对认知障碍人士的实验选出最合适的情景 [4,18]。

根据 [4]，，患有轻度认知障碍的老年人往往会丧失对穿衣或烹饪等活动进行步骤排序的能力。当用户在不同房间走动并尝试与其他对象互动时，

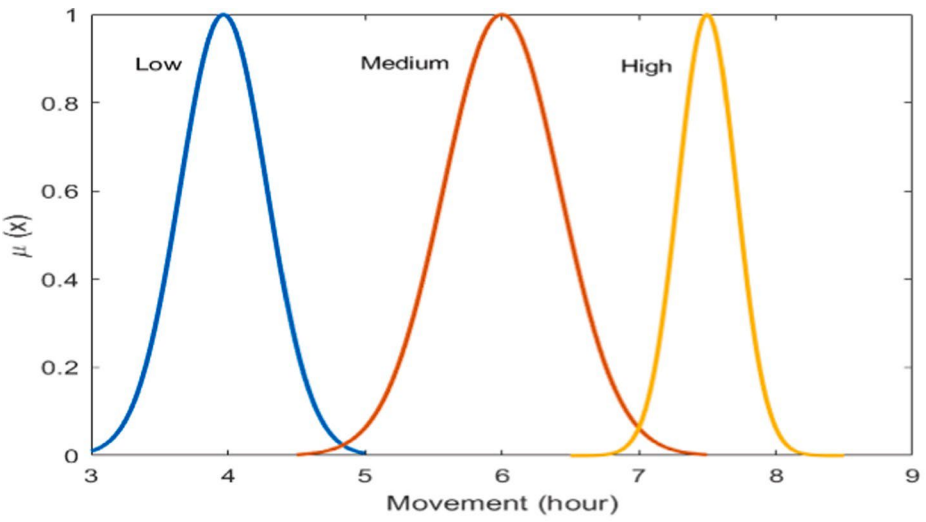

图3. 用户 (a) 运动和 (b) 游戏分数的高斯隶属函数。

IA系统会根据用户与预定义对象之间的距离及其他输入，尝试预测用户的目标。

缺乏运动也是用户日常生活中应考虑的一个重要问题。系统通过用户佩戴的定位标签测量用户的运动情况，以检查这一因素。如果用户每天的运动时间介于 3.5 至 4.5 小时之间，IA系统会向用户及其照护者发送提醒 {v1}。如果用户移动至
每天 3.5 至 4.5 小时之间，IA系统会向用户及其照护者发送提醒 [19]。在另一种情境中，一旦用户靠近卧室衣柜或壁橱里的抽屉，IA系统便可以建议用户穿什么衣服。这种方法可以帮助用户在感到紧张之前做出日常决定。

2.3. 实时位置估计

为了让用户能够与物体交互，并为照护者提供监控平台，我们需要获取用户的实时位置。GPS 会给系统带来许多挑战，例如能耗高，以及可能导致特定环境（如室内位置）定位精度较低的脆弱性。根据文献，最精确的基于信标的局部定位系统（LPS）解决方案采用超声波 [20], 或超宽带（UWB）无线电信号 [21]。

然而，超声波的最大作用范围较短（约 10 米），且无法穿透墙壁；因此，其覆盖范围受需安装的信标数量限制 [22]。超宽带能够穿透建筑物内的墙壁，并且凭借较大的带宽，可以解析各个多径传播机制。因此，我们设计了我们的

基于超宽带的定位系统，因为用户的位置可能会随着时间推移在不同房间之间发生变化。为实现这一目标，我们开发了一种基于低成本超宽带无线传感器网络的新型室内监测方法，该方法采用 IEEE 802.15.4 和 IEEE 802.15.4e 标准，并将其作为 IA系统的一部分 [23]。

文中提到，常用物体的位置是预先确定的，因此可以轻松估算与这些物体的距离。假定这些物体的位置固定不变，并存储在服务器上。因此，要计算用户与预定义物体之间的距离，只需计算用户与这些物体位置之间的欧几里得距离。在所实现的室内定位系统中，采用真距多边定位技术作为定位算法[24]。

位置计算由两部分组成：确定标签到锚点的距离，以及求解位置逆几何问题。基于超宽带的无线传感器网络采用单芯片无线收发器 Decawave（爱尔兰都柏林）的 Sensor DW1000模块 [22] 实现。基于脉冲的超宽带可实现精确测距和

表2模糊规则示例。

事件	用户'的位置	模糊规则		命令type
		If	Then	
娱乐/认知评估	Not 特定	时间 是 “傍晚”	游戏 是 “开始”	启动AR游戏
用药计划	Not 特定的	时间是 “早晨”	语音消息 是“*1*″ 和 图像消息 是“*1*”	提醒
离开炉灶 on	Not specific	气体检测 是“是”	中继状态 是 “是”和 语音消息 是“*2*”	警报
遇到问题烹饪	厨房	距离* 是 “近”	语音消息 是“*3*″ 和 图像消息 是“*2*”	提醒
穿衣	卧室	距离是 “近”	语音消息 是“*4*″ 和 图像消息 是“*3*”	提醒
用餐时间	Not 特定	时间是 “早些时候 下午”	语音消息 是“*5*″ 和 图像消息 是“*4*”	提醒
缺乏运动	Not 特定	时间是 “早些时候 下午”	语音消息 是“*6*″	警报
高游戏得分	Not 具体	游戏分数 是 “高”	提醒是 “*No*”	禁用提醒

*用户与特定物体（冰箱、抽屉等）之间的距离

网络节点的高精度定位 [25,26]。

我们的测距算法基于到达时间差（TDoA）值 [27]，采用双边双向测距方式。在所设计的本地雾中，计算出的距离始终在标签（处理器：STM32F4 Cortex-M4）与锚点（处理器：STM32F1 Cortex-M3）之间传输，并由数据协调器进行侦听。

此外，数据协调器会在本地雾中汇总并封装所有传输的距离数据，并通过 MQTT 协议以 JSON 格式将其发布到云服务器。对于活动识别，用于估算用户总体运动情况的计步器和跌倒检测功能，均可通过 X-CUBE-MEMS1 中提供的所有运动处理库轻松实现。

2.4. 可视化

IA系统使用两个不同的用户界面（UI）与用户及其家人交互。这两个用户界面均利用适用于 Unity 的 ARCore SDK（软件开发工具包）和 Android 功能[28]开发。本节将介绍用于与用户交互的应用及其功能、面向照护者的监控服务，以及严肃游戏环境的设计开发流程。

2.4.1. 增强现实交互

Unity 是一款跨平台游戏引擎，可用于为计算机、游戏主机和智能手机设计游戏与仿真[29]。为了清晰地显示用户的定位信息，我们基于 Unity 3D 平台创建了一个三维室内定位系统。这个可配置的用户界面能够呈现复杂的室内区域地理信息，并提升用户体验[30]。

此外，为了监测和追踪用户的实时位置，并提供用户与物体的交互功能，用户需佩戴室内定位标签。Unity 应用还采用了 MQTTnet 和 Json.NET 库，以 JSON 格式呈现定位数据，并通过 MQTT 协议将其传输至云服务器。

用户佩戴的定位标签会将位置信息发送至监控模块，而监控模块接收所有定位数据。

与定位系统和增强现实消息相关的所有数据都可以存储在云端，以供进一步研究。为了提高用户的安全性，照护者可以添加家中危险区域的位置。因此，如果用户靠近这些位置，IA系统便可以发出警告。第二个用户界面基于 Android Studio 和 SDK工具构建，用于交互

作为与轻度认知障碍患者相伴的个人助理设备 [31]。Android Studio 是专为 Android 操作系统打造的官方集成开发环境 (IDE)，适用于 Android

开发。在这项工作中，定义了两种不同的增强现实消息，用于向用户发送提醒或警报，包括视觉消息和音频消息。

增强现实消息根据预定义的模糊规则，利用虚拟数据显示信息。这些多媒体内容用于提醒用药、进行 AR 认知训练游戏、提醒用餐时间，

并对危险区域提醒警报。例如，为提醒用药计划，定义了一条语音消息“让我们服药吧”，以及一条显示药物图片的图像消息。这些消息不得提醒

用户的残障。

与其他计划轻度认知障碍患者设计严肃游戏的类似研究及其建议相似 [32–34], ，我们还考虑了增强现实交互中的其他设计因素，包括：

- 显示分数、错误或游戏时间的摘要屏幕，有助于促进竞争并实现适当的交互。
- 游戏开始前关于如何完成游戏任务的说明简短精炼。
- 设计中仅设置了一个可供交互的活动屏幕区域。
- 游戏采用大尺寸、高对比度的图标。游戏以用户的视角进行，以免与虚拟形象混淆。用户正确完成第一个任务后，游戏的难度等级会提高，这有助于用户早期取得成功，增强动机并避免产生挫折感。

2.4.2. 基于增强现实的严肃游戏及情景

在认知问题的早期阶段开始治疗，有助于减缓病情进展并提升个人的生活质量 [35]。在本研究中，基于增强现实的严肃游戏同时提供娱乐和精神统建议每天多次进行游戏，以吸引用户参与并让他们保持活跃。游戏功能的部分特点如下：

- 该游戏基于“世界追踪”设计，允许用户在摄像头视野中的任意位置放置增强现实物体。每项任务开始前，系统会在问题中提供一些细节，并通过语音交互触发记忆。完成每项任务后，系统会根据正确和错误决策的数量自动计算用户得分。每项任务的时长和总响应时间也会自动测量。

增强现实严肃游戏模拟日常生活场景，包含五项任务：寻找特定物体、记住颜色以及排列编号。这些任务旨在通过测量反应时间 [33]，评估多种认知功能，例如模式分离与补全、视空间记忆和情景记忆、决策能力、注意力以及整体加工速度。

执行此类任务最终也可能提升用户的认知能力。此外，系统可依据模糊规则，建议用户每天执行数次任务，以评估其认知状态并制定康复计划。为防止再次出现，我们设计了三组游戏场景，每项任务均包含不同的三维对象。在每次训练中，IA

系统会随机选择一组游戏系列并推荐给用户。表3描述了各项任务及其输出指标。

在开始评估过程和游戏场景之前，用户应如图4（a）所示，观察所有物体10秒（s），以记住它们的位置和颜色。每项任务开始前都会提供音频消息，帮助用户理解任务要求，例如需要回忆哪个物体的颜色[33]。图4说明了基于表3所列任务的游戏步骤。

更具体地说，图5（a）展示了任务4，在该任务中，用户应识别物体的不自然摆放，例如水槽中的耳机[33]。下一步，用户观察屏幕上显示的数字序列5秒，随后必须在相框中选择正确的数字序列。提出这一步骤是基于这样一个事实：轻度认知障碍患者通常会失去记忆序列的能力

能力[4]。图5（b）展示了游戏的这一步骤。最后，根据总响应时间以及正确（T）和错误（F）答案的数量，计算用户的最终得分。

总响应时间不得超过10分钟，这是认知评估测试的常规时长 [34]。图5 (c)展示了一个评估结果示例，该结果会发送至模糊决策系统，用于评估支持程度；此结果不纳入统计分析。

IA系统基于无错误学习设计，旨在鼓励用户回忆不同事件。如果用户给出的正确答案更多，系统就会减少提醒，并关闭部分智能家居传感器。

因此，这可以提升用户的自我管理和自我照护能力，也有助于延缓疾病进展[3]。

为实现便于用户使用的交互，游戏通过触摸屏呈现，以便执行不同任务，因为大多数老年人无需任何培训即可使用触摸屏进行交互 [36]。我们使用了不同的三维对象来创建增强现实环境，并采用基于事件的创建支持单元，以事件脚本的格式定义虚拟空间对象之间的交互 [37]。

为构建增强现实严肃游戏，我们将不同的虚拟物体整合到基于网页的增强现实平台 ZapWorks Studio 和 ZapWorks Designer（Zappar 有限公司，英国） [38]中。该平台支持我们上传多媒体内容，以创建增强现实体验，让用户通过移动设备应用程序 Zappar 查看虚拟对象。此应用程序可在 Android 和 iOS 操作系统上高效运行。本研究使用 Samsung Galaxy S9 Plus 智能手机查看增强现实体验，该手机配备八核处理器、6 GB RAM 和双 12 MP 后置摄像头，每个虚拟对象均显示在屏幕上。

表3任务和结果测量指标说明。

任务	结果测量指标
任务1：检索物体位置	任务1所用时间 任务完成情况：选择正确的位置 得分：答对得1分
任务2：记忆物体颜色	任务2所用时间 任务完成情况：选择正确的颜色 得分：答对得1分
任务3：识别额外物体	任务3所用时间 任务完成情况：选择正确的物体 得分：答对或答错均得1分
任务4：识别不自然的物体摆放	任务4的时间 任务完成情况：选择正确的图片 得分：答对或答错均得1分
任务5：回忆数字序列	答案 任务5所用时间 任务完成情况：依次选择正确的编号 得分：答对得1分

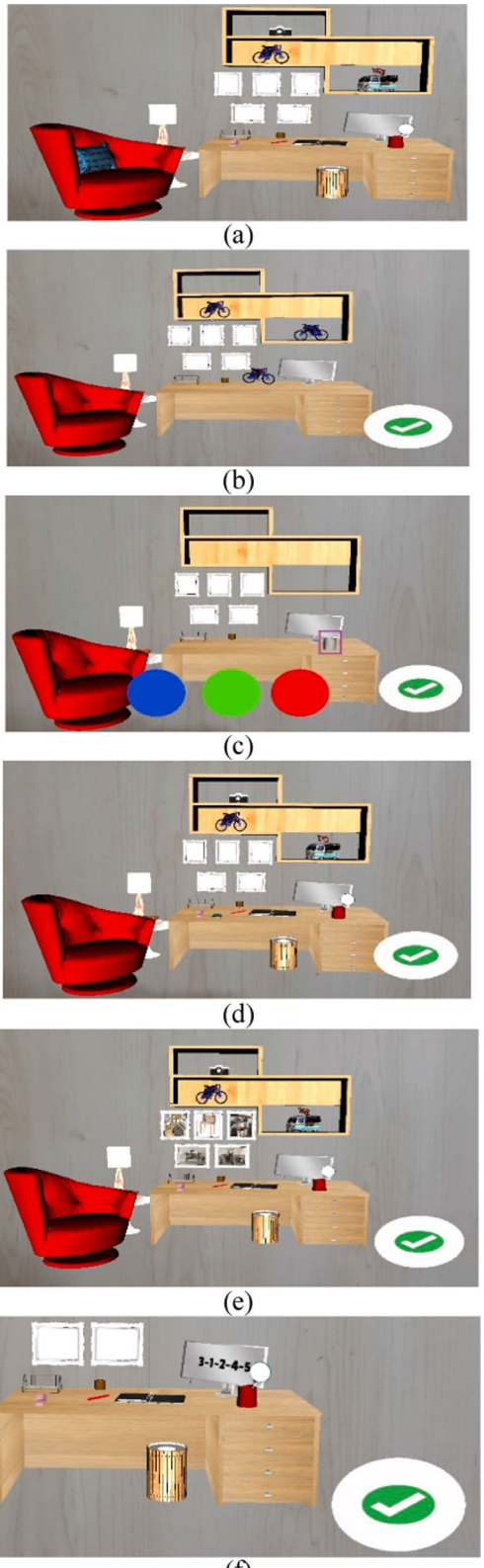

图4. 五项增
，(b) 任务
物体颜色，
相框中对象的不自然的摆放，以及 (f) 任务5：回忆
屏幕上的数字序列。

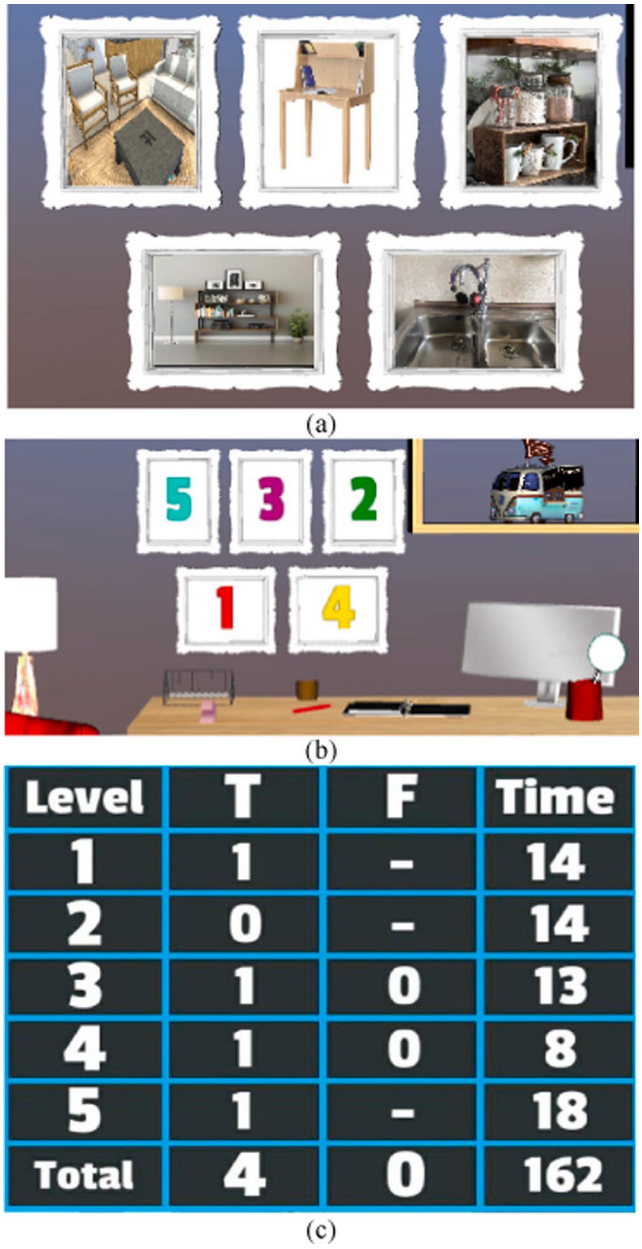

图5. 用户反应示意图：(a) 识别物体的不自然摆放；(b) 选择相框中正确的数字序列；(c) 最终得分发送至决策系统。

2.5. 研究参与者

我们旨在一组年龄超过50岁的人群中验证IA系统和严肃游戏，使其年龄与最终用户相匹配。该组共有37名老年人，其中女性16名、男性21名。所有参与者均为通过大学和社交媒体招募的志愿者。他们都独立生活，社交和认知生活活跃。所有研究参与者的母语均为波斯语。在体验增强现实严肃游戏之前，参与者接受了蒙特利尔认知评估量表 [39]。蒙特利尔认知评估量表是一项满分为30分的测试，包含一组涉及六个不同认知领域的认知分测验。

根据文献，采用26分作为临界值（得分为25分或以下表示存在认知障碍），能够在轻度认知障碍组与其他组之间取得灵敏度和特异度的最佳平衡 [40]。因此，在本研究中，我们根据参与者的蒙特利尔认知评估量表结果，将其分为两组：(A) 对照组（蒙特利尔认知评估量表 ≥ 26）和 (B) 轻度认知障碍组（蒙特利尔认知评估量表 < 26）。表4显示了

表4研究中的组别特征（A：对照组，B：轻度认知障碍组）。

参与者（n = 37）	总人数	女性	蒙特利尔认知评估量表得分
A组	26	12	≥26
B组	11	4	<26

各组的人数及其性别。

所有参与者首先填写了一份问卷，其中包括人口统计信息、个人病史和医疗史。随后，他们在游戏中进行了训练，以熟悉.....的交互操作

用于最终评估的虚拟物体。表5详细描述了所有参与者的人口统计特征。

2.6. 统计分析

我们分析了所有数据和游戏分数，以评估严肃游戏相较于蒙特利尔认知评估分数的准确性。我们选择MoCA作为参考筛查工具，因为它已被证实能够灵敏地识别轻度认知障碍，并且是测量认知能力的准确筛查工具。

所有分析的显著性水平设为 $\alpha < 0.05$。我们使用SPSS 26.0统计软件包进行所有统计分析。数据呈正态分布且具有齐同性，因此对分类变量使用了皮尔逊相关系数。

3. 结果与讨论

本节通过仿真和用户体验介绍系统的技术可行性和可用性。首先，IA系统在检测危险区域并做出适当识别方面的准确性

已对随后进行评估 t 建议，提供了37名参与者的严肃游戏结果，并将其与他们的蒙特利尔认知评估测试得分进行了比较。最后，我们评估了系统在不同工作模式下的性能。

3.1. 禁区

在这次实验中，我们评估了系统检测危险区域的准确性。在一个8.5 4.6 2 m^3 的房间空间内，定义了四个大小相同的危险区域，每个区域的尺寸为0.52 0.7 0.23 m^3，如图6所示。图7展示了这些区域；它们是在Unity游戏引擎中确定的，以便清晰显示用户的定位信息。

在典型场景中，用户一旦进入危险区域（例如壁炉附近），就会收到图像消息警报。该警报会提醒他们远离该区域。近距离隶属函数的范围定义为1至5分米（危险区域）。图 8展示了通过激活模糊规则编号16向用户发送火灾警报的增强现实消息。其他提醒内容还可以包括药物管理和完成日常任务。

实验期间记录了用户的定位数据和移动时间。根据系统的运行模式和用户的认知状态，如果用户的移动时长低于4 IA系统发送的消息（ID 13）提醒用户缺乏运动 [19]。如果移动时长高于 4.5，或者

表5
参与者人口统计特征。

参与者	平均值	最小值	最大值	标准偏差
A组年龄	60.07	51	81	7.98
B组年龄	65.73	56	80	7.91
组的蒙特利尔认知评估量表得分 A	27.71	26	29	1.069
B组MoCA评分	23.36	21	25	1.36

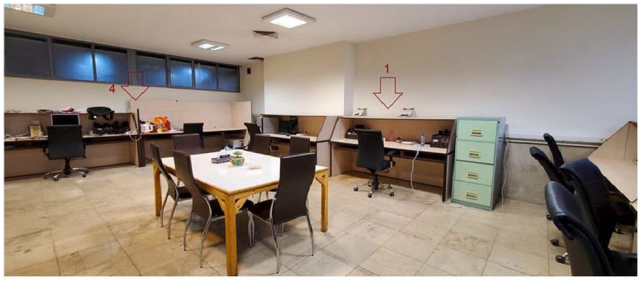



图6. 在实验条件下，定义了四个危险区域，以评估定位系统。

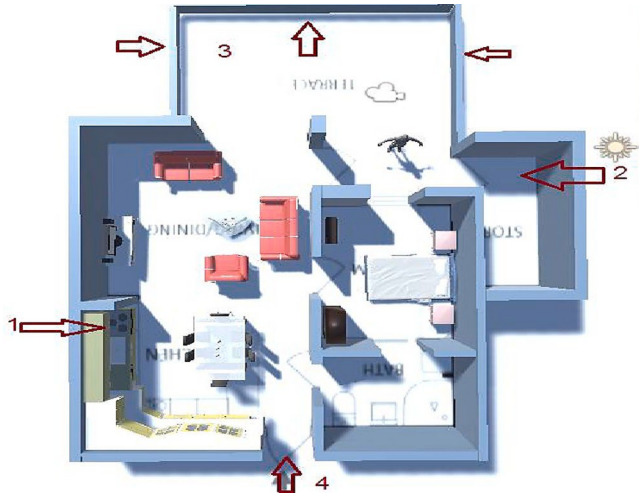

图7. Unity 游戏引擎中模拟的3D室内定位系统模型及四个危险区域

在



图 8. 用户在特定模糊规则被触发时收到的图像消息示例，图片消息编号 16（火灾警报）。

如果用户的严肃游戏结果较高，则不会收到任何消息或警报。表6根据数据值总结了不同条件下这些实验的结果。

3.2. 严肃游戏

我们邀请37名参与者评估了严肃游戏的准确性，并将游戏分数与用户的蒙特利尔认知评估测试得分进行了比较。表7对比了A组和B组的两项得分。

考虑到数据的参数性，我们对对照组参与者使用皮尔逊相关系数；对于

轻度认知障碍

我们计算了蒙特利尔认知评估量表得分与游戏得分之间的相关性，以

组

及总时间与参与者年龄之间的相关性。结果见表8和表9。

根据结果，在对照组中，蒙特利尔认知评估量表总得分与游戏总得分显著相关（0.911）；而在轻度认知障碍组中，斯皮尔曼相关系数显示相关性较低（0.722）。此外，在对照组中，蒙特利尔认知评估量表总得分与游戏总时间之间不存在相关性。而在轻度认知障碍组中，蒙特利尔认知评估量表总得分与游戏总时长之间存在一定的相关性（0.773）。这可能表明，与对照组相比，反应时间是轻度认知障碍组中更为有效的影响因素。

此外，在两组中，游戏得分与参与者年龄之间均无相关性，这意味着参与者的年龄并非决定游戏分数的因素。

表10比较了蒙特利尔认知评估量表得分与严肃游戏结果。这些分数表明，蒙特利尔认知评估量表得分高于27分的参与者，在严肃游戏中至少能获得4分。

对于在游戏中获得3分的参与者，蒙特利尔认知评估量表总分与总时间之间的斯皮尔曼相关系数为0.692。对于在游戏中获得2分和1分的参与者，这一数值升至0.841。然而，由于游戏得分为1至3分的各参与者组样本量非常小，因此无法根据这些相关性得出全面的评估结论。

我们还对游戏总分进行了*T*检验，以确定对照组与轻度认知障碍组成员之间是否存在有意义的表现差异。评估结果显示，与对照组相比，轻度认知障碍组的游戏总分较低（2.09 0.893）。

对照组参与者（4.21 0.70）；t（37）6.939，$p < 0.001$。

此外，对照组与轻度认知障碍组的游戏总时长进行的*T*检验结果表明，轻度认知障碍组的游戏总时长（5.13 2.03）高于对照组（3.35 1.9）；t（37）2.275，$p \leq 0.05$。

这意味着对照组与轻度认知障碍组参与者的认知表现存在显著差异。我们的评估结果与先前的研究结果一致；根据参与者的反馈，没有计算机使用经验的参与者也能很好地接受触摸屏 [41,42]。

3.3. 系统操作模式

我们考虑了多种设备，这些设备必须涵盖最大值

表6实验测试结果。

运动（小时）	严肃游戏结果（满分为100）	语音消息 ID	危险区域编号	图像消息 ID
1.15	55	13	1	16
5.30	48	–	2	17
5.25	97	–	3	18
3.40	76	13	4	19

表7A组与B组游戏结果的比较。

参与者	平均值	最小值	最大值	标准差
严肃游戏得分（满分为5）A组	4.21	3	5	0.70
严肃游戏得分（满分为5）B组	2.09	1	3	0.83
严肃游戏时长（分钟）A组	3.35	1.38	7.47	1.9
严肃游戏时长（分钟）B组	5.13	2.42	8.83	2.03

表8对照组中，蒙特利尔认知评估分数与严肃游戏总分、总响应时间及年龄之间的皮尔逊相关系数。

A组中的皮尔逊相关 A组	严肃游戏总分数	总响应 Time	参与者 Age
蒙特利尔认知评估总分	0.911	-0.343	0.003
严肃游戏总分 得分	1	-0.115	0.031

表9

轻度认知障碍组中，蒙特利尔认知评估分数与严肃游戏总分、总响应时间及年龄之间的皮尔逊相关系数。

A组中的皮尔逊相关 A组	严肃游戏总分 游戏分数	总响应 Time	参与者 Age
蒙特利尔认知评估总分	0.722	-0.773	-0.278
严肃游戏 总分	1	-0.477	0.017

表10

蒙特利尔认知评估量表得分与严肃游戏结果的比较。

组别	MoCA总得分	严肃游戏总分
对照组	29≤	5
	28	4–5
	27	4
	26	3
轻度认知障碍组	25	3
	24	2–3
	23	2
	22	1–2
	21	1–2

用户环境的区域。设备数量从 10 到 15 不等，以实现不同的工作负载，其中包括各种传感器和执行器，
正如我们在第 2.1 节中提到的执行器。具体而言，对于每种设备数量，我们根据系统的运行模式模拟了两种不同情况。随着活动设备数量从 22 个降至 14 个，决策过程的复杂度从自动模式到半自动模式逐渐降低。

在功能测试中，我们考察了发送给用户的音频消息数量，以及实验期间启用的物联网设备数量。图9展示了每种情况下包含并由用户接收的不同类型增强现实消息的数量。如图9所示，警报和提醒消息的数量随着

用户游戏得分提高。

结果表明，用户所需的提醒更少，而其认知测试得分高于之前的会话。这些因素还使决策算法以及发布或订阅消息过程中的数据丢失减少。此外，半自动模式下的运行可以减少对电池充电或更换的需求[43]。

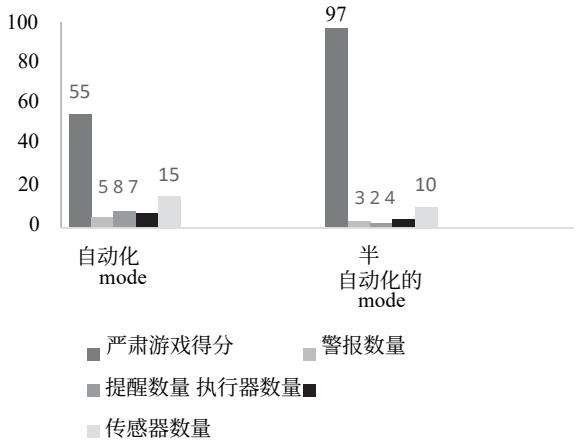

图9。 工作负荷场景描述。警报数量和提醒消息数量随着用户游戏得分的提高而减少。

3.4. 局限性

我们拟议系统的目标人群和主要终端用户是存在认知障碍且能够理解——的老年人
理解他们所使用的技术及其预期的辅助作用和风险。本研究旨在评估拟议系统的可用性，评估方式为
未患认知障碍的用户，并考虑了他们的反馈。然而，这项研究存在一些局限性。

本研究的空间效度有限，因为部分研究内容
在实验室环境中呈现。IA系统原型可以通过更多用户进行评估，并包含更多情景和功能。因此，尽管我们的工作考虑了情景的技术要求，但在系统实施之前，必须针对每位用户定制消息的具体内容。

为实现这一目标，IA系统能够添加更多模糊规则，并可针对每个人进行定制。

4. 结论与未来工作

记忆丧失和决策困难是老年人轻度认知障碍的主要症状。患者会忘记近期发生的事情，并且难以记住相关信息。这些情况会显著影响老年人及其照护者的信心和生活质量。本研究旨在为患有年龄相关性轻度认知障碍的个体介绍一种 IA 系统，并

提高他们独立完成日常任务的能力，同时不损害其隐私。我们设计、实施并评估了一个基于增强现实严肃游戏和物联网的IA系统，通过互动和事件回忆，帮助用户更独立地做出日常决策。

我们使用了多个即用型库，以便在智能手机和计算机上实现系统。我们通过仿真以及37名老年参与者的使用体验，评估了系统的技术可行性和可用性。评估结果表明，在对照组中，严肃游戏的总分与蒙特利尔认知评估量表的总分高度相关，而在轻度认知障碍组中，两者也存在可接受的相关性。此外，我们的游戏能够显著区分对照组与轻度认知障碍组参与者的认知表现。这表明，与传统评估工具相比，该系统在估测用户认知状态方面具有较高的准确性。

此外，触屏交互和语音提醒创造了自然的交互方式，且没有计算机使用经验的参与者也很乐于接受。在半自动模式下，系统响应造成的数据丢失也少于自动模式，

因为活动设备的数量减少了。

本研究结果支持这样一种观点：IA系统有望为家庭环境中的老年人提供帮助，并可根据认知障碍用户的反馈进行评估，参与者的

反馈严肃游戏也对向用户展示重建功能性环境的可能性产生了积极影响。未来的计划可以包括研究历史数据（包括每日严肃游戏得分），以评估用户的身心健康状况。

利益冲突声明

作者声明，他们不存在任何已知的竞争性财务利益或个人关系，可能会影响本文所报告的工作。

致谢

作者谨向参与本研究的家庭和个人致以诚挚谢意。

参考文献

[1] 联合国经济和社会事务部，2020。联合国经济和社会事务部，《2020年世界人口老龄化概况：老年人的居住安排》。联合国出版物（2020）。2021年4月8日检索自联合国网站：https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd-2020_world_population_ageing_highlights.pdf。[2] S. Rattan、M. Kyriazi，《健康与长寿中的hormesis（兴奋效应）科学》（2018）。[3] A.s. Association，《2019年阿尔茨海默病事实与数据》，《阿尔茨海默病与痴呆》15（2019）321–387。[4] V. Bell、D. Troxel，《有尊严的生活：阿尔茨海默病照护的最佳朋友TM方法：照护伙伴指南》，Health Communications, Inc.，2012。[5] M.E. Pollack，《智能辅助技术：现状与未来》，载于：用户建模国际会议，施普林格，2007年，第5–6页。[6] M. Ienca、J. Fabrice、B. Elger、M. Caon、A. Scoccia Pappagallo、R.W. Kressig、T. Wangmo，《面向阿尔茨海默病及其他痴呆症的智能辅助技术：系统综述》，J. Alzheimer's Dis. 56（2017）1301–1340。[7] E. Guerrero、M.-H. Lu、H.-P. Yueh、H. Lindgren，《设计并评估用于协助老年人进行用药管理的智能增强现实系统》，Cognit. Syst. Res. 58（2019）278–291。[8] M. Pasch、N. Bianchi-Berthouze、B. van Dijk、A. Nijholt，《基于动作的体育电子游戏：动机与游戏体验研究》，Entertain. Comput. 1（2009）49–61。[9] I.T. Paraskevopoulos、E. Tsekleves、C. Craig、C. Whyatt、J. Cosmas，《利用定制游戏传感器开发用于帕金森病康复的定制严肃游戏：设计指南》，Entertain. Comput. 5（2014）413–424。[10] K. Seaborn、D.I. Fels，《理论与实践中的游戏化：调查》，Int. J. Hum Comput Stud. 74（2015）14–31。[11] Ioannis Tarnanas、Winfried Schlee、Magda Tsolaki、Ren´e Müri、Urs Mosimann、Tobias Nef，《用于早期痴呆筛查的虚拟现实日常生活活动的生态效度：纵向研究》，JMIR Serious Games 1 (1)（2013）e1，https://doi.org/10.2196/games.2778。[12] H. Tannous、D. Istrate、A. Perrochon、J.-C. Daviet、A. Benlarbi-Delai、J. Sarrazin、M.-C.H.B. Tho、T.T. Dao，《GAMEREHAB@ HOME：一种在家进行功能康复、结合严肃游戏与多传感器融合的新型工程系统》，IEEE Trans. Games（2019）。[13] S. Bottiroli、C. Tassorelli、M. Lamonica、C. Zucchella、E. Cavallini、S. Bernini、E. Sinforiani、S. Pazzi、P. Cristiani、T. Vecchi，《用于评估老龄化过程中认知功能的智能老龄化平台：与正常人群中的MoCA进行比较》，Front. Aging Neurosci. 9（2017）379。[14] V. Vallejo、P. Wyss、L. Rampa、A.V. Mitache、R.M. Müri、U.P. Mosimann、T. Nef，《评估一种面向阿尔茨海默病患者的新型基于严肃游戏的评估工具》，PLoS One 12（2017），e0175999。[15] F. Ghorbani、M. Kia、M. Delrobaei、Q. Rahman，《评估整合增强现实与物联网技术以帮助阿尔茨海默病患者的可能性》，载于：伊朗全国暨第四届国际生物医学工程会议（ICBME），IEEE，2019年，第139–144页。[16] A. Al-Fuqaha、M. Guizani、M. Mohammadi、M. Aledhari、M. Ayyash，《物联网：赋能技术、协议与应用综述》，IEEE Commun. Surv. Tutorials 17（2015）2347–2376。[17] A. Jindal、A. Dua、N. Kumar、A.K. Das、A.V. Vasilakos、J.J. Rodrigues，《利用云计算中的基于模糊规则的大数据分析提供医疗即服务》，IEEE J. Biomed. Health. Inf. 22（2018）1605–1618。

[18] M.A. Salichs、I.P. Encinar、E. Salichs、A´. Castro-Gonza´lez、M. Malfaz，《面向阿尔茨海默病患者及其照护者的社交辅助机器人：情景与技术要求研究》，Int. J. Soc. Robot. 8（2016）85–102。[19] A. Al-Adhab、H. Altmimi、M. Alhawashi、H. Alabduljabbar、F. Harrathi、H. ALmubarek，《基于模糊逻辑的物联网老年患者远程护理》，载于：2016年国际网络、计算机与通信研讨会（ISNCC），IEEE，2016年，第1–5页。[20] F. Seco、A.R. Jim´enez、F. Zampella，《补偿码分多址干扰的精细声学定位》，载于：2015年IEEE国际工业技术会议（ICIT），IEEE，2015年，第3418–3423页。[21] L. Zwirello、T. Schipper、M. Jalilvand、T. Zwick，《大规模室内应用中基于脉冲的定位系统的实现极限》，IEEE Trans. Instrum. Meas. 64（2014）39–51。[22] Antonio Ramon Jimenez Ruiz、Fernando Seco Granja，《Ubisense、Bespoon与Decawave超宽带定位系统的比较：室内性能分析》，IEEE Trans. Instrum. Meas. 66 (8)（2017）2106–2117。[23] I. Group，《第15.4部分：低速无线个人区域网络（低速无线个人区域网络）。修正案1：媒体访问控制子层》，IEEE，《IEEE城域网和局域网标准》，IEEE Std，802（2012）4e-2012。[24] C.L. Sang、M. Adams、T. Korthals、T. Ho¨rmann、M. Hesse、U. Rückert，《采用真距多边定位法的双向目标跟踪与导航系统》，载于：2019年国际室内定位与室内导航会议（IPIN），IEEE，2019年，第1–8页。[25] M.Z. Win、D. Dardari、A.F. Molisch、W. Wiesbeck、W. Jinyun Zhang，《超宽带的历史与应用》，电气电子工程师学会，2009年。[26] D. Neuhold、C. Bettstetter、A.F. Molisch，《HiPR：面向传感器网络的高精度超宽带测距》，载于：第22届国际ACM无线与移动系统建模、分析与仿真会议论文集，2019年，第103–107页。[27] G. Oguntala、R. Abd-Alhameed、S. Jones、J. Noras、M. Patwary、J. Rodriguez，《面向基于物联网的实时应用的室内位置识别技术：综合综述》，Comput. Sci. Rev. 30（2018）55–79。[28] J. Linowes、K. Babilinski，《面向开发者的增强现实：使用Unity、ARCore、ARKit和Vuforia构建实用增强现实应用》，ARKit和Vuforia，Packt Publishing Ltd，2017。[29] J. Hocking，《Unity实战：使用Unity 5以C#进行多平台游戏开发》，Manning Publ.，2015。[30] G. Chen、X. Meng、Y. Wang、Y. Zhang、P. Tian、H. Yang，《采用无迹卡尔曼滤波算法进行WiFi/PDR/智能手机集成三维室内定位》，Sensors 15（2015）24595–24614。[31] K.M. Kanno、E.A. Lamounier Jr、A. Cardoso、E.J. Lopes、S.A. Fakhouri Filho，《通过具备语音交互功能的移动增强现实协助阿尔茨海默病患者：针对早期阶段患者开展的接受度实验》，Res. Biomed. Eng. 35（2019）223–234。[32] C. Dietlein、B. Bock，《面向痴呆症患者的严肃游戏设计建议》，EAI Endorsed Trans. Serious Games 5（2019）。[33] A. Vovk、A. Patel、D. Chan，《用于早期阿尔茨海默病诊断的增强现实》，载于：2019年计算机系统中的人为因素会议扩展摘要集，2019年，第1–6页。[34] C. Dietlein、S. Eichberg、T. Fleiner、W. Zijlstra，《面向痴呆症患者的严肃游戏的可行性与效果：系统综述及未来研究建议》，老年技术学 17（2018）1–17。[35] T. Pradeep、M.J. Bray、S. Arun、L.N. Richey、S. Jahed、B.R. Bryant、C. LoBue、C. G. Lyketsos、P. Kim、M.E. Peters，《创伤性脑损伤史会干扰阿尔茨海默型痴呆的准确诊断：全国性病例对照研究》，Int. Rev. Psychiatry 32（2020）61–70。[36] J. Asad、S. Kousar、N.Q. Mehmood，《痴呆症相关严肃游戏：比较研究》，Univ. Sindh J. Inf. Commun. Technol. 3（2019）171–177。[37] L. Jun-Sup、S.-W. Lee、J.-Y. Youn、L. Suk-Hyun、G.-H. Lee，《创建空间增强现实内容的装置与方法》，载于Google专利，2014。[38] G. Terzopoulos、I. Kazanidis、M. Satratzemi、A. Tsinakos，《用于构建教育类移动应用的增强现实平台比较研究》，载于：《交互式移动通信、技术与学习》，施普林格，2019年，第307–316页。[39] M. Abd Razak、N. Ahmad、Y. Chan、N.M. Kasim、M. Yusof、M.A. Ghani、M. Omar、F. Abd Aziz、R. Jamaluddin，《初级卫生保健中老年人痴呆症与轻度认知障碍筛查工具的有效性：系统综述》，公共卫生 169（2019）84–92。[40] Z.S. Nasreddine、N.A. Phillips、V. B´edirian、S. Charbonneau、V. Whitehead、I. Collin、J.L. Cummings、H. Chertkow，《蒙特利尔认知评估（MoCA）：一种用于轻度认知障碍的简短筛查工具》，J. Am. Geriatr. Soc. 53（2005）695–699。[41] V. Vallejo、A.V. Mitache、I. Tarnanas、R. Müri、U.P. Mosimann、T. Nef，《结合定性与定量方法分析严肃游戏结果：一种新型认知筛查工具的试点研究》，载于：2015年第37届IEEE医学与生物学工程学会国际年会（EMBC），IEEE，2015年，第1327–1330页。[42] V. Vallejo、I. Tarnanas、T. Yamaguchi、T. Tsukagoshi、R. Yasuda、R. Müri、U. P. Mosimann、T. Nef，《严肃游戏中自然用户界面的可用性评估：针对痴呆症干预的调整》，J Pain Manage. 9（2016）333–339。[43] G. Maselli、M. Piva、J.A. Stankovic，《智能家居中面向无电池设备的自适应通信》，IEEE Internet Things J. 6（2019）6977–6988。