

# Scudware Mobile: 支持可穿戴设备间数据及服务协同的移动中间件

丁扬 李石坚 叶志强 潘纲

(浙江大学计算机科学与技术学院 杭州 310027)

**摘要** 随着计算泛在化日益深入,软硬件一体化成为个人电子消费领域的重要趋势,可穿戴设备正成为目前学术界与工业界的研究热点。这些设备虽然具有一定的传感、计算和服务能力,但其接口各异且设备间的协同能力很弱。这就一方面造成了计算和感知能力的浪费,另一方面也无法提供丰富的服务。针对此问题,提出一个支持可穿戴设备间数据及服务协同的移动中间件——Scudware Mobile。Scudware Mobile 汇聚了可穿戴设备的数据和服务,并以统一的接口提供给应用层,且引入了设备协同机制。在 Scudware Mobile 上,实现了两个应用:个人数据门户和 shaking e-card。

**关键词** Scudware Mobile, 数据及服务协同, 可穿戴设备, 智能手机

**中图分类号** TP311.56 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.10.013

## Scudware Mobile: Mobile Middleware for Collaboration of Data and Services between Wearable Devices

DING Yang LI Shi-jian YE Zhi-qiang PAN Gang

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

**Abstract** With the developing of ubiquitous computing, the integration of software and hardware has become an important trend of personal consumer electronics field, and wearable devices are becoming the current research hotspot of academic and industry. Most of these devices have certain capabilities of sensing, computing and service. But now interface of wearable devices is different from each other, and the capability of collaboration is weak, which causes the waste of sensing and computing capabilities, also can not provide rich services. To solve this problem, this paper proposed a mobile middleware for collaboration of data and services between wearable devices—Scudware Mobile. Scudware Mobile aggregates data and services of wearable devices, and provides a unified interface of accessing to the application layer. Also we introduced collaboration mechanism into Scudware Mobile. Using Scudware Mobile, we implemented two applications: portal of personal data and shaking e-card.

**Keywords** Scudware mobile, Collaboration of data and services, Wearable device, Smart mobile

## 1 引言

随着硬件技术和软件平台的不断发展,可穿戴设备和智能移动终端无疑已经成为目前最热门的话题之一。目前市场上已经出现了多种可穿戴设备的商业化产品,如 Google 的 Google Glass、Jawbone UP2 智能手环、Mindwave Mobile 脑电耳机等。另一方面,智能手机的功能变得越来越丰富,智能手机中内置了多种传感器,这些传感器提供了智能手机感知用户和环境的途径,使手机成为智能感知的重要平台。用户随身带着大量异构设备,这些设备大都拥有着某方面的传感、计算和服务能力。但是现有可穿戴设备以及智能手机的数据和服务通常相对独立,协同方面较为落后。这不仅造成了感知、计算能力的浪费,而且单一的可穿戴设备或者手机在服务内容和提供方式上也会受到较大限制。

目前已有一些平台,如 Xively<sup>[1]</sup>、Funf<sup>[2]</sup>等,正在尝试将不同设备的数据、感知和服务汇聚并重组,通过统一的方式提供给上层应用。但是这些平台缺少一种有效的机制来使可穿戴设备以及智能手机互相连接并协同提供服务。

针对上述问题,我们提出了一个支持可穿戴设备间数据及服务协同的移动中间件——Scudware Mobile。我们曾经开发过一个面向智能汽车空间的语义自适应的中间件平台 Scudware<sup>[3]</sup>。而 Scudware Mobile 以智能手机为中心,汇聚了各种可穿戴设备的数据以及服务,并且它以统一的接口对外提供这些汇聚的数据和服务。Scudware Mobile 使可穿戴设备及智能手机的数据与服务的获取更加方便,并引入了设备协同的机制,可以更好地为用户提供服务。Scudware Mobile 也将为我们的课题智能影子模型<sup>[4]</sup>中的“个人影子”提供重要的系统级支撑。

到稿日期:2013-06-18 返修日期:2013-08-19 本文受国家支撑计划(2012BAH94F03)资助。

丁扬 硕士生,主要研究方向为普适计算,E-mail:baroque@zju.edu.cn;李石坚 副教授,CCF 会员,主要研究方向为普适计算、移动互联网、社会计算等,E-mail:shijianli@zju.edu.cn(通信作者);叶志强 硕士生,主要研究方向为普适计算;潘纲 教授,CCF 会员,主要研究方向为普适计算、计算机视觉、智能系统等。

## 2 相关工作

为了解决不同设备的数据、感知能力和服务等的数据的汇聚和使用问题,研究者已经提出了一些移动设备上的感知框架。Kukkonen<sup>[5]</sup>等人提出了一个移动设备上用于收集和处埋情景数据的平台——BeTelGeuse。BeTelGeuse 可以从移动设备的传感器、外置传感器或者网络收集数据,它能够做一些高层的推理,例如从加速度的数据中推理用户的行为。Funf<sup>[2]</sup>是 Android 平台上的一个开源的感知框架,Funf 对手机中的传感器进行了封装,使用它可以方便地采集需要的传感器数据,同时该框架支持云端同步。SocialFusion 框架<sup>[5]</sup>更是汇聚了手机信息、社交信息以及传感器信息,用以在融合的数据上提供更准确的服务。Brunette<sup>[7]</sup>等人提出了一个基于 Android 的框架 ODK(Open Data Kit)。如何屏蔽内置和外置的传感器的底层通信细节,从而统一地使用各个传感器是 ODK 主要解决的问题。ODK 框架提供了一个统一的访问内置和外部传感器数据的接口,使上层应用对数据的使用更加便捷。SDCF(Sensor Data Collection Framework)框架<sup>[8]</sup>是由 Atzmueller 和 Hilgenberg 提出的。SDCF 和 ODK 框架的目的相同,都是对外提供统一的接口,使上层的应用开发更加简单。但是 SDCF 框架中引入了虚拟传感器的概念,其主要指的是来自社交网络的信息。

现有的几个移动设备上的框架主要针对智能手机传感器的数据,少有涉及可穿戴设备,本文提出的 Scudware Mobile 是面向可穿戴设备的数据及服务的。在数据来源上,Scudware Mobile 比这几个框架更丰富。

在物联网方面,研究者也提出了一系列平台来解决数据共享的问题。目前物联网只是将一些设备接入网络,而这些设备无法直接通信。Xively<sup>[1]</sup>和 Open. Sen. Se<sup>[9]</sup>就是两个解决物联网中设备协同以及数据共享的平台。Xively 是一个通用云平台,任何接入 Xively 的设备都能进行相互间的直接通信。它帮助用户在世界范围内连接和共享来自物体、设备、建筑和环境的感应装置的实时数据,实现数据的共享。Open. Sen. Se 则提供了各种封装好的基础 APP,它封装了各种物联网的应用接口,实现了智能终端之间的联动和互操作。它相当于在物联网应用之下增加了一层,在 Open. Sen. Se 中可以接入 Arduino、Withings、Fitbit 和 Xively 等设备。这两个平台主要解决的是数据共享的问题,而本文提出的 Scudware Mobile 在数据共享的基础上更进一步,是针对数据和服务的协同。

智能手机传感器的数据以及各种可穿戴设备的数据可以帮助我们分析很多事情。在上面一些平台及框架的基础上,研究者对收集的数据进行研究。在个人的层面上,许多研究关注个人的行为,通过传感器收集的加速度数据、GPS 数据、蓝牙数据等,对人的活动进行推理和识别<sup>[10]</sup>。也有部分研究关注地点的语义化信息,通过采集的 GPS 数据、WIFI 数据,结合麦克风、摄像头等信息,推理用户当前所处地点的语义信息而提供服务<sup>[11,12]</sup>。在上述的研究中,使用的往往是来自于单一设备的数据。而借助我们的 Scudware Mobile 中间件,就能够通过设备协同来提供更丰富的数据,从而对用户的行

为等进行推理。

## 3 问题及解决方案

### 3.1 问题分析

虽然当前可穿戴设备的市场和相关的研究十分火热,但分析发现在可穿戴设备的协同使用上还存在一些问题:

#### 1. 可穿戴设备种类繁多,接口各异

现在有各式各样的可穿戴设备,这些可穿戴设备有不同的连接方式,并且这些可穿戴设备的 API 各异,每个可穿戴设备提供一套自己的 API 用于数据的获取。如果在应用中需要使用多个可穿戴设备,开发者就需要对所有设备接口进行了解,这增加了开发的时间与难度。

#### 2. 缺少一个平台汇聚数据和服务

目前大多数可穿戴设备都是孤立的个体,即使人身上穿戴了各种设备,这些设备也没有联系在一起。当前缺少一个平台汇聚可穿戴设备提供的数据和服务。如果应用需要使用可穿戴设备的数据或者服务,就需要直接向设备进行请求。在数据和服务的汇聚上,需要考虑设备的异构性。

#### 3. 设备与设备之间缺少协同机制

当前的可穿戴设备如手环或者脑电耳机,其关注的都是某一固定的领域,功能受到限制。只利用一个可穿戴设备来提供应用,存在很大的局限。如果两个或者多个设备的数据或者服务能够进行协同,那么可以产生更多更丰富的应用,起到更大的作用。

本文对可穿戴设备的数据和服务做了一个定义。数据指可穿戴设备或智能手机直接采集的原始数据。例如智能手环可以通过三轴加速度传感器采集加速度的信息,这里的加速度是可穿戴设备提供的数据。可穿戴设备具有一定的运算能力,在原始数据的基础上,可穿戴设备能够对数据进行处理。例如脑电耳机可以根据脑电信号计算出穿戴者的专注度。另一方面可穿戴设备具有一些控制或者反馈功能,例如智能手环可以震动,这里的震动功能也是可穿戴设备提供的服务。

### 3.2 解决方案

针对上述问题,本文提出并实现了一个支持可穿戴设备间数据及服务协同的移动中间件——Scudware Mobile。与传统的情境感知中间件和面向智能空间的中间件不同,Scudware Mobile 把个人周围的可穿戴设备与智能手机连接在一起,协同设备提供服务,以服务个人为主要目的。

Scudware Mobile 是以智能手机为中心、其他可穿戴设备为基础的架构。Scudware Mobile 移动中间件运行在智能手机上。Scudware Mobile 屏蔽了可穿戴设备的异构性,对可穿戴设备的数据和服务进行汇聚,并提供了统一对外的接口,同时在 Scudware Mobile 中引入了设备间数据和服务协同的概念。Scudware Mobile 概念示意图 1。

在 Scudware Mobile 中,可以接入多种智能可穿戴设备。在物理上,这些设备通过蓝牙、WIFI 等方式连接到智能手机。在逻辑上,我们把这些设备拆分成各种数据和服务,分别接入到 Scudware Mobile 中,Scudware Mobile 对这些接入的数据和服务进行统一管理。Scudware Mobile 对外提供统一的调用接口,本地应用或者远程应用可以通过这些调用接口简单地获取 Scudware Mobile 中的数据和服务,从而达到设备协同的目的。

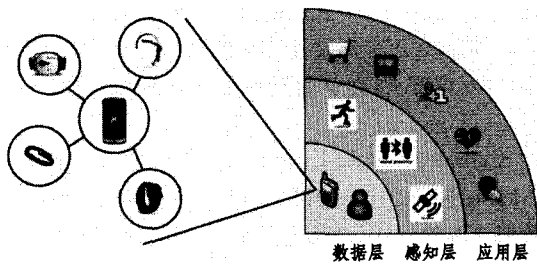


图1 Scudware Mobile 概念示意:从孤立终端到服务汇聚

智能手机是 Scudware Mobile 的主体。智能手环、智能手表、脑电耳机等可穿戴设备可以接入 Scudware Mobile。接入的可穿戴设备把自己的数据和服务注册到 Scudware Mobile 中,如图 2 所示。对于上层应用来看,所有的数据和服务都是来自 Scudware Mobile 的,并不需要了解底层的细节。应用层可以通过可穿戴设备的协同提供健康、娱乐、社交等服务。

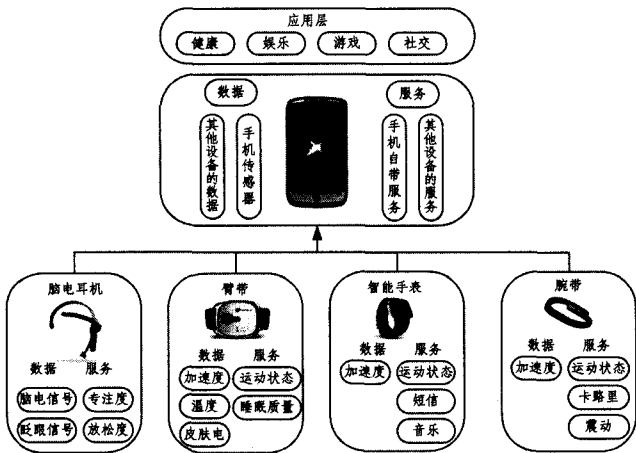


图2 Scudware Mobile 运行图

### 3.3 Scudware Mobile 特性

为了解决 3.1 节提出的问题,本文提出了 Scudware Mobile,它具有以下特性。

**可扩展性:**这个特性解决了可穿戴设备的异构问题。Scudware Mobile 中需要接入各种可穿戴设备,设备各异,并且新的可穿戴设备会不断产生并加入到 Scudware Mobile 中,所以系统架构一定要支持可扩展性,方便新的可穿戴设备的添加。另一方面,不同的可穿戴设备有不同的连接方式,如蓝牙、WIFI、有线等,在设计上需要考虑不同的接入方式,不能仅限于特定的连接方法。

**数据和服务获取的统一接口:**在 Scudware Mobile 中汇聚了来自不同传感设备的数据和服务,对于上层应用 Scudware Mobile 需要提供统一的接口来调用所有可穿戴设备的数据和服务。在新的数据和服务添加后,上层应用只需改变调用的参数即可。

**数据及服务的协同机制:**在 Scudware Mobile 中引入了可穿戴设备间的数据和服务的协同机制。Scudware Mobile 从两方面解决协同的问题。当多个应用对同一数据进行请求时,Scudware Mobile 会缓冲数据,避免数据的重复请求。当一个应用请求多个数据时,Scudware Mobile 会从不同设备请求数据和服务,并把结果一起返还给请求的应用程序。

## 4 Scudware Mobile 系统框架

本文提出的支持可穿戴设备间数据及服务协同的移动中间件——Scudware Mobile,主要分为以下 3 部分:数据和服务层、管理层和应用接口层,如图 3 所示。下面几节将会分层介绍每部分的结构、功能以及技术方案。我们在 Android 系统上开发了 Scudware Mobile,在实现上利用了 Android 提供的许多特性来提高性能。

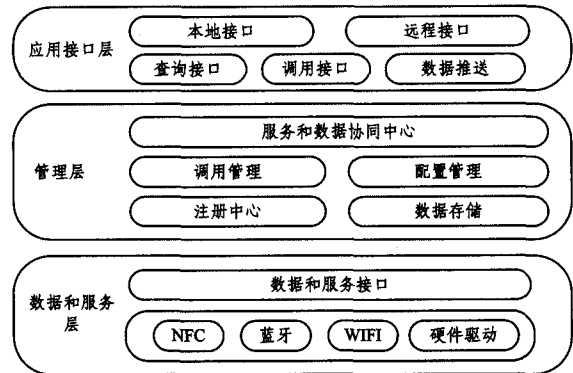


图3 Scudware Mobile 系统框架图

### 4.1 数据和服务层

数据和服务层是 Scudware Mobile 最下面的一层,负责与可穿戴设备直接通信。该层的主要功能是使框架上层与下面的数据和服务隔离,屏蔽各种可穿戴设备的异构性;系统的可扩展性主要在这一层次体现。数据和服务层主要有两个模块:通信模块和接口模块。通信模块负责与智能手机或可穿戴设备连接和通信。接口模块负责拆分智能手机和传感器的数据及服务,为每个数据和服务提供代理。

可穿戴设备在这一层被拆分为多个数据和服务,我们提供一个代理类来对应每个数据或服务。代理类对数据和服务进行封装,在代理类中使用可穿戴设备提供的 API 调用数据和服务。如果需要使用某个可穿戴设备的数据和服务,只需要调用相应的代理类即可。这些代理类在设备加入 Scudware Mobile 后会启动,并向管理层进行注册。在系统运行时,每个代理类接收请求,处理请求,并返回结果。我们把每个设备的代理类设计成一个应用,当安装新的传感器时,只要安装对应的应用即可。所有代理类使用 Android Broadcast 机制与管理层通信和传输数据。

### 4.2 管理层

管理层是 Scudware Mobile 的核心层,负责整个移动中间件中的逻辑部分,主要解决的是数据和服务的汇聚和协同问题。管理层隔离了应用接口层以及数据和服务层,使这两层只关注自己的核心功能,关于协同等逻辑操作都在管理层进行处理。同时,数据服务注册、管理,以及存储调用等都由这一层进行。Scudware Mobile 的管理层主要分为:服务和数据管理、调用管理、配置管理、注册中心和数据存储 5 个模块。管理层以 Android Service 的方式实现,每个模块作为一个 Service 在系统后台运行。

注册和存储模块解决了数据和服务的汇聚问题。在系统运行时,数据和服务的代理类会在注册中心进行注册。所有当前可用的数据和服务都能通过 Query 方法在注册中心进行查询。同时,注册中心具有心跳机制,用以对数据和服务的

可用性进行判断。数据存储模块利用 SQLite 对一些数据进行持久化存储,主要为了应对缓存和长期记录的要求。

数据和服务协同中心负责进行数据和服务协同的处理。来自上层的请求由数据和服务协同中心处理后再分配给其他各个模块进行处理。数据和服务协同中心首先分析请求的数据或服务类型,从注册中心找到对应的代理类,然后发起调用。当发现多个应用对同一数据进行请求时,数据和服务协同中心会对这些数据进行缓存,避免数据的重复请求。当一个应用请求多个数据时,数据和服务协同中心会从不同设备请求数据和服务,并对结果进行打包以 JSON 格式一起返回。

### 4.3 应用接口层

应用接口层是对 Scudware Mobile 提供功能的封装,应用接口层对上层应用提供统一的数据和服务的访问接口。应用接口层分为两部分,上层是本地接口和远程接口,下层是查询接口、调用接口和数据订阅模块。

应用接口层解决了数据和服务统一访问的问题。在请求数据或者调用服务时,只需要描述数据或服务类型,并标明请求方以及是否订阅。请求信息以 JSON 格式进行传递。所有请求采用消息队列进行管理和分发。应用接口层接到请求后会进行解析,然后把请求提交到管理层。本地接口和远程接口是对本地应用调用和远程应用调用的封装,对于管理层,所有的请求都是本地调用,不需要关注数据和服务的返回方式。在实现上本地接口以 Broadcast 的形式调用管理层的 Service,远程接口以 Web Service 实现。

## 5 应用

基于本文实现的支持可穿戴设备间数据和服务协同的移动中间件——Scudware Mobile,我们实现了两个应用:个人数据门户和 shaking e-card。因为 Scudware Mobile 统一管理了可穿戴设备的服务与数据,开发流程只要关注核心功能。这两个应用都不用关注具体可穿戴设备的接口,它们直接使用 Scudware Mobile 提供的 API 来获取需要的数据和服务,达到了设备协同的目的。

### 5.1 个人数据门户

可穿戴设备能够通过传感器感知穿戴者的各种信息,例如智能手环可以通过三轴陀螺仪知道穿戴者的加速度,脑电耳机通过前额的电极可以知道穿戴者的脑波情况。这些人体数据在一定程度上反应了人的当前状态。我们设计并实现了一个个人数据门户的原型。该个人数据门户能够收集和展示关于人的各种数据,为用户提供形象、直观的感知数据展示,如图 4 所示。

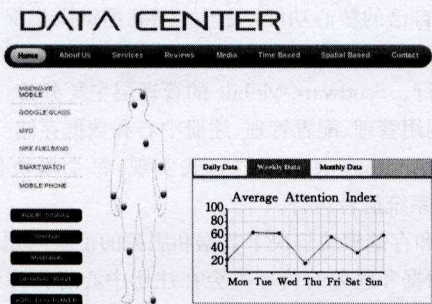


图 4 个人数据门户

在传统的实现中,个人数据门户需要直接与每个传感设备交互,了解底层可穿戴设备的所有 API,并且自己实现数据的获取,开发难度大,而且面对多种设备和数据的扩展性不佳。

在 Scudware Mobile 上实现个人数据门户时,通过 Scudware Mobile 提供的接口能够知道当前能够获取的数据以及每个数据获取的方式,进而直接从 Scudware Mobile 请求数据。图 5 是个人数据门户向 Scudware Mobile 请求脑电数据的流程。Scudware Mobile 使个人数据门户具备可扩展性,当有新的传感设备即数据源添加后,进行少量的配置即能展示新数据。

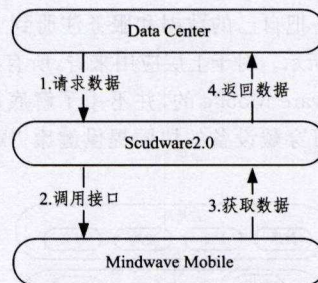


图 5 数据获取过程

在目前的个人数据门户中,我们使用以下几种可穿戴设备的数据和服务: Mindwave Mobile、Google glass、BodyMedia Fit、Sony SmartSwatch 以及智能手机。所有数据和服务均由 Scudware Mobile 提供。在未来,个人数据门户不仅仅是一个数据展示的中心。个人数据门户记录了用户的各种数据,根据这些用户的历史数据,我们能够为用户提供个性化的服务。

### 5.2 基于握手的电子名片传递: shaking e-card

智能手表是目前可穿戴设备中比较热门的一种。由于智能手表的大小等的限制,手表所带的传感器数量有限,一般只有三轴加速度传感器,因此功能受到很大限制。使用 Scudware Mobile,智能手表可以协同其他可穿戴设备的数据和服务,提供丰富的应用。

本文中,我们使用智能手机和智能手表进行协同,实现了一个基于握手的电子名片传递的应用。在 shaking e-card 中,我们采用了索尼的 SmartWatch。应用示意如图 6 所示。

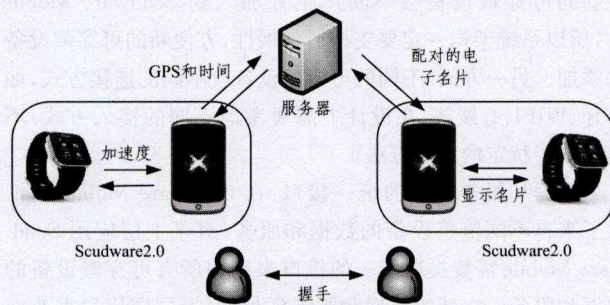


图 6 shaking e-card

在这里我们使用的数据有:智能手表的三轴加速度、智能手机的 GPS 信息以及智能手机提供的时间。这 3 个数据都由 Scudware Mobile 提供,而不是直接从设备获取。当两个用户进行握手时,应用会接收来自 Scudware Mobile 的三轴加速度信息。根据现有成熟的 FDSVM 手势识别算法<sup>[13]</sup>,在数据训练比较充分的前提下,可以较为准确地判断出是否为

握手这一动作。若判断用户双方不全为握手手势,则不做后续处理;若双方用户均为握手手势,则应用接着会请求 GPS 信息和时间信息,并把信息发送到服务器。服务器会根据这些信息判断正在握手的两个用户,并把各用户的电子名片分别发送到对方的智能手机,并最终在智能手表上展示。

**结束语** 本文针对可穿戴设备协同使用的局限性提出并实现了一个支持可穿戴设备间数据及服务协同的移动中间件——Scudware Mobile。Scudware Mobile 以智能手机为中心,把各个可穿戴设备的数据和服务拆分并聚合,以统一的接口提供给上层应用,并加入了同步机制,以此实现数据和服务的协同。在 Scudware Mobile 的基础上,我们实现了两个应用:个人数据门户和 shaking e-card。

但是目前 Scudware Mobile 集中于个人的可穿戴设备,所有的设备协同也以个人服务为目标。未来我们希望搭建一个云平台来接入 Scudware Mobile,该平台具有两个功能:收集和存储个人数据;安全地把个人可穿戴设备的数据和服务共享出去,允许平台上的其他设备调用这些数据和服务,并通过把 Scudware Mobile 接入我们已有的 PSB<sup>[14]</sup> 总线,实现更大范围内的数据和服务分享。

### 参 考 文 献

[1] Xively[OL]. <https://xively.com/>  
 [2] Funf[OL]. <http://funf.org/>  
 [3] Wu Zhao-hui, Wu Qing, Cheng Hong, et al. ScudWare: A semantic and adaptive middleware platform for smart vehicle space [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2007, 8(1): 121-132  
 [4] Wu Zhao-hui, Pan Gang. Smartshadow: Models and Methods for Pervasive Computing[M]. Springer, 2013  
 [5] Kukkonen J, Lagerspetz E, Nurmi P, et al. Betelgeuse: A plat-

form for gathering and processing situational data[J]. *IEEE Pervasive Computing*, 2009, 8(2): 49-56

[6] Beach A, Gartrell M, Xing X, et al. Fusing mobile, sensor, and social data to fully enable context-aware computing[C]// *Proceedings of the Eleventh Workshop on mobile Computing Systems & Applications*. ACM, 2010: 60-65  
 [7] Brunette W, Sodt R, Chaudhri R, et al. Open data kit sensors: a sensor integration framework for android at the application-level [C]// *Proceedings of the 10th international conference on mobile systems, applications, and services*. ACM, 2012: 351-364  
 [8] Atzmueller M, Hilgenberg K. Towards capturing social interactions with SDCF: an extensible framework for mobile sensing and ubiquitous data collection[C]// *Proceedings of the 4th International Workshop on Modeling Social Media*. ACM, 2013: 6  
 [9] Open. Sen. Se[OL]. <http://open.sen.se/>  
 [10] Wang Yi, Lin Jia-liu, Annavaram M, et al. A framework of energy efficient mobile sensing for automatic user state recognition [C]// *Proceedings of the 7th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*. ACM, 2009: 179-192  
 [11] Sae-Tang A, Catasta M, McDowell L K, et al. Semantic place prediction using mobile data[C]// *Mobile Data Challenge Workshop*. June 2012: 18-19  
 [12] Chon Y, Lane N D, Li Fan, et al. Automatically characterizing places with opportunistic crowdsensing using smartphones[C]// *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*. ACM, 2012: 481-490  
 [13] Wu Jia-hui, Pan Gang, Zhang Da-qing, et al. Gesture recognition with a 3-d accelerometer[M]// *Ubiquitous intelligence and computing*. Springer Berlin Heidelberg, 2009: 25-38  
 [14] Pan Gang, Zhang Li, Wu Zhao-hui, et al. Pervasive Service Bus: Smart SOA Infrastructure for Ambient Intelligence[J]. *IEEE Intelligent Systems*, 2012, PP(99)

(上接第 52 页)

[2] Ali E, George B, Mircea N, et al. Vision-based hand pose estimation: A review[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2007(108): 52-73  
 [3] Sushmita M, Tinku A. Gesture Recognition: A Survey[J]. *IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics—Part C: Applications and Reviews*, 2007, 37(3)  
 [4] Juan P W, Mathias K, Helman S, et al. Vision-Based Hand-Gesture Applications[J]. *Communications of the ACM*, 2011, 54(2)  
 [5] Lars B, Ivan L, Tony L. Hand Gesture Recognition using Multi-Scale Colour Features, Hierarchical Models and Particle Filtering, Automatic Face and Gesture Recognition [C] // *Proceedings. Fifth IEEE International Conference*. May 2002: 423-428  
 [6] Yikai F, Kongqiao W, Jian C, et al. A Real-time Handgesture Recognition Method[C]// *2007 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. 2007: 995-998  
 [7] Kenji O, Yoichi S, Hideki K. Real-Time Fingertip Tracking and Gesture Recognition[J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2002, 22(6): 64-71  
 [8] Robert Y W, Jovan P. Real-Time Hand-Tracking with a Color Glove[J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2009, 28(3)  
 [9] Jesus S, Robin R M. Hand Gesture Recognition with Depth Im-

ages: A Review[C]// *RO-MAN*, 2012 IEEE. 2012: 411-417

[10] Iason O, Nikolaos K, Antonis A A. Efficient Model-based 3D Tracking of Hand Articulations using Kinect[C]// *Proceeding of BMVC*. 2011  
 [11] Cem K, Furkan K, Yunus E K, et al. Real Time Hand Pose Estimation using Depth Sensors[C]// *2011 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops (ICCV Workshops)*. 2011: 1228-1234  
 [12] Zhou R, Junsong Y, Zhengyou Z. Robust Hand Gesture Recognition Based on Finger-Earth Mover's Distance with a Commodity Depth Camera[C]// *MM '11 Proceedings of the 19th ACM International Conference on Multimedia*. 2011: 1093-1096  
 [13] 吴莉婷, 张宇, 杨一平, 等. 深度图像中基于轮廓曲线和局部区域特征的 3 维物体识别[J]. *中国图象图形学报*, 2012, 17(2): 269-278  
 [14] 梁秀波, 张顺, 李启雷, 等. 运动传感驱动的 3D 直观手势交互 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2010, 22(3): 521-526  
 [15] 万华根, 肖海英, 邹松, 等. 面向新一代大众游戏的手势交互技术 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2011, 23(7)  
 [16] 周瑾, 潘建江, 童晶, 等. 使用 kinect 快速重建三维人体[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2013, 25(6)