

# 记忆计算:概念、特性及研究进展

郭 斌 陈荟慧 李文鹏 於志文 姜佳君 王文辉

(西北工业大学计算机学院 西安 710129)

**摘 要** 随着信息技术的发展,尤其是移动互联网与物联网的发展,有关个人工作和生活的数据呈指数型增长。这些海量的数据中蕴含着丰富而有价值的个人信息,如何从这些数据中挖掘出有价值的信息成为当前信息领域的重要问题。针对该问题,介绍了普适计算领域新兴起的研究主题——记忆计算。记忆计算旨在通过各种带感知和计算功能的设备,比如智能手机、可穿戴设备等,实时感知和捕获用户线上线下活动的数据,分析并挖掘其内在价值,进而组织和管理有意义的记忆数据,实现基于情境的记忆数据呈现,以辅助个体记忆,支持社群交流与协作。讨论了基于移动情境感知的记忆计算的概念、特性、系统模型以及当前研究的关键技术与挑战,综述了记忆计算在生活日志、记忆提醒、往事回忆和群体记忆分享等方面的研究进展,并对其未来发展进行了展望。

**关键词** 普适计算,记忆计算,情境感知,数字记忆,移动及可穿戴设备

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.9.006

## Memory Computing: Concept, Characteristics and Research Advances

GUO Bin CHEN Hui-hui LI Wen-peng YU Zhi-wen JIANG Jia-jun WANG Wen-hui

(School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

**Abstract** With the development of information and communication technology, especially the mobile Internet and the Internet of Things, the data about personal works and life grow exponentially. Since much valuable individual information is invisibly contained in these massive dataset. How to extract the valuable information from these great amount of data has become a new challenge. This paper introduced an newly emerging research topic in the pervasive computing field, memory computing. By utilizing prevalent sensor-embedded smartphones and wearable devices, memory computing collects heterogeneous online/offline data of user's daily activities, extracts and mines inner memory data and associated contexts, manages useful data in the right manner, and renders context-aware individual memory information for helping users to recall their memories and promote their communication and cooperation. This paper presented the concept, features and the system model of memory computing, and discussed its key technologies and research challenges. We also reviewed the applications of memory computing, such as life logging, reminiscence, memory reminding and community memory sharing, and prospected the future development.

**Keywords** Pervasive computing, Memory computing, Context awareness, Digital memory, Mobile and wearable devices

## 1 前言

记忆是一个复杂的认知行为,对人类的日常生活和工作非常重要。在我们的生活中有许多有价值的记忆细节,包括短期记忆和长期记忆。短期记忆可以帮助完成日常的事情,例如帮助健忘的人记住何时吃药;长期记忆可以帮助回忆过去的事情<sup>[1]</sup>。

文献[2]中提出了几个人类记忆所面临的挑战。首先,人类的记忆难免会出错,人们常常忘记该做什么或已经做了什么。在心理学上,记忆是进行信息编码、存储和检索的过程。由于大脑的限制,人类往往需要借助外部技术来辅助高效可

靠地记忆,尤其是有用的短期记忆。其次,人类本质上是社会性的动物,生活在不同的圈子和社区,并常常想分享他们的生活记忆(例如旅游时的照片)。为了解决这些问题,人们使用相册、日记、个人视频和纪念品等有形的纪念物来辅助人类的记忆,但是这些用来辅助记忆的纪念物品经常被闲置,难以发挥其最初被创建的目的。

随着信息技术的发展和 Web 2.0 的兴起,以及 Facebook、人人网、微信等在线社交手段的流行,越来越多的人类记忆开始以数字媒体的方式呈现。由于这些数字媒体容量巨大,人们希望能获得有用的工具来协助其管理这些数据<sup>[3]</sup>。Forget-me-not<sup>[4]</sup>使用个人数字助理收集用户一天的活动信

到稿日期:2015-07-30 返修日期:2015-11-30 本文受国家自然科学基金(61332005,61373119,61222209),国家重点基础研究发展计划(973计划)(2015CB352400),教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NCET-12-0466),陕西省青年科技新星项目(2014KJXX-39)资助。

郭 斌(1980—),男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为普适计算、移动互联网、群智感知等,E-mail: guob@nwpu.edu.cn (通信作者);陈荟慧(1978—),女,博士生,主要研究方向为移动群智感知;李文鹏(1993—),男,硕士生,主要研究方向为移动群智感知;於志文(1977—),男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为普适计算、移动互联网和智能信息技术;姜佳君(1992—),男,硕士生,主要研究方向为普适计算;王文辉(1993—),男,硕士生,主要研究方向为普适计算。

息;StartleCam<sup>[5]</sup>使用可穿戴式相机和传感器来捕捉可能被用户关注到或记住的事件;MyLifeBits<sup>[6]</sup>则通过建立个人数据库来存储和管理用户的数据信息。这些项目的研究目的都是获得用户的数字数据并辅助用户记忆。

近年来,在计算机技术的不断引入和支持下,有关如何通过计算来改善人类记忆的研究取得了飞速的发展,并逐步演变出“记忆计算”的概念。记忆计算是指通过各种具有感知和计算能力的设备(如智能手机、可穿戴设备、平板电脑等)对用户的线上或线下活动数据(或称跨空间数据<sup>[8]</sup>,包括位置、行为、图片、视频、微博、帖子、邮件等)进行实时捕获、智能处理和高效管理,并根据用户实时情境进行有效呈现,以此来辅助用户记忆,提高生活或工作质量。由于人类记忆有触发性<sup>[7]</sup>和随时随地等特征,情境关联性及移动性成为记忆辅助的关键因素<sup>[1]</sup>。换句话说,记忆计算要求能够随时随地获取用户的活动数据,然后能够根据用户所处的情境及时向其推送有价值的记忆内容。

记忆计算的关键技术包括跨空间记忆感知(Cross-Space Memory Sensing)、移动情境感知(Mobile Context Awareness)、智能记忆分析与挖掘、人机交互及智能化呈现等。它可以被应用在多个和记忆相关的领域,包括记忆数据感知(Memory Data Sensing)、生活日志(Life Logging)、基于情境的记忆提取(Context-based Memory Retrieval)、往事回忆(Reminiscence)和记忆分享(Memory Sharing)等。记忆计算对于改善人类记忆、提高工作效率和生活质量、促进群体间交互与协作具有重要意义。

本文第2节和第3节分别介绍记忆计算的基本概念和研究进展;第4节介绍记忆计算系统的基本框架;第5节介绍记忆计算的关键技术和面临的挑战;最后总结全文。

## 2 记忆计算及其特性

### 2.1 相关概念

对记忆计算所涉及到的相关概念进行如下介绍。

记忆(Memory)是一种人类心智活动,也是个体认知世界的基础,每个人都离不开记忆。在心理学上,记忆是大脑对外界输入的信息进行编码、存储和检索的过程<sup>[32]</sup>。人的记忆难免会出错,因此需要外界工具来辅助人的记忆。记忆可分为个体记忆(Personal Memory)和群体记忆(Community or Public Memory)<sup>[2,29]</sup>。个体记忆是一个人独处时发生的事或有关个人的私人信息等,是被个人独占的记忆。群体记忆是指与家人、朋友或者其他任何人相处时发生的事,是多个人共同经历过的记忆。人类往往通过分享个体/群体记忆(Personal/Community Memory)来增进彼此之间的感情或建立新的社会关系。

记忆计算(Memory Computing)是指通过与人类工作和生活密切相关的大规模多种类感知设备,实时感知和获取个体的跨空间活动数据(位置、行为、图片、视频、微博等),分析挖掘数据的内在价值,对有意义的记忆数据进行有效的组织管理,并根据情境(时空及活动情况等)为用户呈现可视化的记忆数据,辅助个体记忆,支持社群交流与协作。其涉及到跨空间记忆感知、移动情境感知等多种普适计算技术。

跨空间记忆感知(Cross-Space Memory Sensing)是指在物理、信息和社会三元空间中全方位地感知记忆数据,研究跨空间记忆数据之间的关联性和融合性(例如,如何将在线社交

网络中的数据与物理事件对应),以及合并它们的互补特性,充分结合和利用它们的优点(例如,通过来自不同群体的片面化信息实现对感知对象的全景刻画)<sup>[8,52]</sup>。

移动情境感知(Mobile Context Awareness)是指利用可穿戴设备、智能手机等自动获取当前用户的情境信息,结合用户特征后描述系统的状态和环境的状态,响应用户需求或学习用户操作<sup>[9]</sup>。情境信息是指描述一个实体特征的任何信息,该实体是用户及与应用程序交互过程中涉及到的人、地点或其它物体,同时也包括用户和应用程序本身<sup>[10]</sup>。

### 2.2 记忆计算的特性

记忆计算具有以用户为中心、高度移动性、不可见性、跨空间性、智能感知性以及多学科知识交融性等6大特性。图1描述了这6个特性之间的关系。

1)用户中心性。随着技术的不断发展,计算机技术应用模式也不断发展,经历了以计算机、软件以及服务为中心的时代,目前处在以应用为中心的时代。但未来的应用模式是以用户为中心,因此以用户为中心是记忆计算的首要特性。T. Olsson等人提出记忆计算的设计原则必须以用户为中心<sup>[1]</sup>。D. Tjondronegoro等人指出必须关注用户刻意选择捕捉到的信息作为回忆信息<sup>[11]</sup>。记忆计算本身就是捕获用户数据,经过处理后服务于用户的过程,所以一切设计都必须符合用户的需求,即以用户为中心。

2)高度移动性。由于人的记忆本质上可以在任何时间任何地点发生,即人类记忆具有随时随地的特征,因此随着用户的移动,伴随发生的计算任务必须保证持续执行并能够根据情境触发服务<sup>[1]</sup>。

3)数据的跨空间性。在物联网和移动互联网高速发展的背景下,人类存在于由物理、信息和社会三元空间构成的超世界中。只有对用户不同空间的记忆数据进行全方位感知和关联分析,才能更好地理解用户记忆,进行记忆辅助。

4)不可见性。记忆计算通过在物理环境中提供可穿戴设备、嵌入式设备、移动设备和其他任何具有感知和计算能力的设备,在不被用户察觉的情况下进行感知、计算和通讯,并提供各种服务,最大限度地减少用户的介入<sup>[3]</sup>。

5)智能感知。在获取了用户的记忆信息后,需要选择在何时何地、何种情况下把这些记忆信息提供给用户<sup>[3]</sup>,这就需要使用移动情境感知技术来获取用户当前的情境信息。

6)多学科知识交融性。记忆计算涉及计算科学、认知科学、心理学、社会学等多个学科,通过多学科知识的交叉融合实现对人类记忆辅助的目标。



图1 记忆计算的6个特性

## 3 研究进展

随着移动设备及可穿戴设备的发展,记忆计算成为近年来的研究热点。下面将从记忆数据感知、生活日志、基于情境的记忆提取、往事回忆和记忆分享这5个方面介绍记忆计算的最新研究进展及未来发展方向。表1列举了这5类应用的部分典型系统。

表1 记忆计算系统举例

系统类别	研究/项目名称	研究内容
记忆数据感知	Startlelam <sup>[5]</sup>	捕获用户关注的事件
	Belimpasakis <sup>[12]</sup>	移动环境下收集处理数据
生活日志	MyLifeBits <sup>[6]</sup>	记录个人生活信息形成包含个人生活信息的数据库
基于情境的记忆提取	F Bentley et al. <sup>[13]</sup>	基于位置的视频分享系统,促进家庭成员的亲密关系
	MemPhone <sup>[2]</sup>	与物理对象关联增强用户记忆
往事回忆	Muse <sup>[14]</sup>	分析历史邮件形成记忆提示信息
	Supporting lifestoris <sup>[15]</sup>	弥补记忆损伤,如治疗老年痴呆
记忆分享	Olsson et al. <sup>[1]</sup>	记忆分享原则
	Mobile sharing memories <sup>[16]</sup>	记忆及时共享
	MemPhone <sup>[2]</sup>	利用物理对象和社会关系触发记忆分享

### 3.1 记忆数据感知

记忆数据感知是指获取和管理用户的数字记忆。数字记忆是指存储在PC、手机等电子设备及网络上的包含人们记忆的媒体信息,如手机上的照片、社交网络上的交互信息等。当前,人们可以以较低的成本存储大量的多媒体内容,如视频、音频、照片、文字等,来记录人生经历。未来信息技术的发展允许人们在任何时间、任何地点来管理个人信息<sup>[17]</sup>。存储人一生中所有的记忆一直是研究者们很感兴趣的话题,研究人员提出了多种方法来记录个人生活方方面面的数字信息。C. Dobbins 等提出记忆数据感知的研究主要分为记忆数据捕获和记忆数据管理两个方面<sup>[18]</sup>。下面将详细介绍记忆数据感知的研究现状。

目前已有大量的关于捕获数字记忆的研究。其中,可穿戴式相机被广泛应用于数据捕获。例如, SenseCam<sup>[5]</sup> 使用可穿戴式相机和传感器来捕捉用户经历的重要事件。此外,生理计算研究中使用基于传感器的系统,来捕捉人们的一举一动,监测健康状况。该系统中使用的微型传感装置和无线通信技术也可以用于记忆数据感知<sup>[19]</sup>。P. Belimpasakis 等人利用手机在移动环境下收集和移动数据,可以把用户记忆和情境语义信息进行关联,如用户的位置、与谁在一起等<sup>[12]</sup>。

在数字记忆呈现方面,主要是对数据进行管理和可视化。由于记忆数据的数量庞大,如不能有效地组织和管理这些数据将产生巨大的数据垃圾。J. Gemmell 等人提出了一种基于时间顺序对内容进行组织和管理的方法<sup>[6]</sup>,该方法被认为可以实现有效的数据管理。同时,相关研究<sup>[21]</sup>也已经证明,时间和日期等标准格式的上下文数据非常有利于从不同的集合中进行内容检索。C. Plaisant 等人在研究中采用了时间轴的格式将记忆数据映射到用户自己的时间轴上进行可视化呈现<sup>[22,23]</sup>。J. Picault 等人指出采用时间轴对记忆数据进行检索是比较有效的方式之一<sup>[24]</sup>,但这种管理模式只是一维的,处理起来不够灵活。为了更有效地查询数据,除了基于时间,还需要引入其他的因素,例如事件是在哪里发生的(地点),当时的情感,事件发生时与谁在一起(朋友)等多维信息。Dickie<sup>[20]</sup>提出让用户与自己的回忆进行互动的理念。该系统按照语义将不同的数据源连接起来,以此形成更加丰富的记忆,通过让用户“进入”自己的记忆,使用户看到各种各样的数据,如温度、位置、情绪等。实验表明这对于用户的生活非常有益,可以帮助用户加强社会关系或者协助有记忆缺陷的人治疗记忆相关的疾病。

### 3.2 生活日志

生活日志是指利用数字存储系统自动并持续地记录一个

人或者一群人的信息。这些信息涵盖的类型非常广泛,包括电子邮件、文件、数字图片、视频、日记、音乐下载、收听习惯、博客、Web 浏览器书签和导航历史记录等<sup>[25]</sup>。

Forget-me-not<sup>[4]</sup>使用个人数字助理收集用户一天的活动信息,并且提供基于时间轴的方式浏览过去的记忆。但该系统只是简单地记录用户的活动信息,并没有对这些信息做进一步的处理,导致最终的数据量很大,查找困难,甚至一些重要的记录被遗忘。为了解决这类问题,MemoryLane<sup>[26]</sup>提出了数据分类管理的思想,用户可以对已分好类的数据进行检索和查询,回忆自己过去的经历,包括与人相关、与地点相关、与事务相关等多类别信息。在查看的同时,用户还可以通过文本或是录音的方式为记录添加注释。这种分类管理的思想在大数据的管理和索引过程中显得尤为重要。MyLifeBits<sup>[6]</sup>是一个个人记忆数据库系统。通过使用可穿戴设备采集用户的活动数据(如使用录音功能记录用户的语音数据,使用微型摄像头来记录用户的行动路径),然后将获取的数据进行处理并组织成详细的生活日志,用户可以快速查找生活日志中的记忆信息,并且可以通过系统提供的评论功能对记忆添加注释。此外,MyLifeBits 还使用人脸识别技术帮助识别照片内容。

### 3.3 基于情境的记忆提取

人的记忆都是在特定的情境下发生的,即人的记忆与当时所处的环境(位置、接触的物体等)有密切的联系。基于情境的记忆提取就是将与地点、物体关联的记忆按照某种方法发掘出来并提供给用户。例如根据时空情境和交互历史对联系人姓名进行快速提取<sup>[27,27]</sup>。

与地点关联的记忆提取研究中,Place-Its 系统<sup>[28]</sup>通过手机获取用户位置信息,当用户到达或离开某个地点时都会发送提示信息。M-Studio<sup>[29]</sup>则收集和建立基于每个位置的故事,当用户到达一个地点时则将建立的与该地点相关的故事发送给用户。F. R. Bentley 等人通过建立一个基于位置的视频异步通信和分享系统<sup>[13]</sup>,让不在同一地点的家人分享记忆、增进情感。与 M-Studio 面向共同记忆(Public Memory)分享不同,该系统主要面向个人记忆(Personal Memory)的分享。

在与物体关联的记忆提取研究中,Ubiquitous memories<sup>[30]</sup>使用 RFID 技术将人的记忆与物品联系起来以增强用户的回忆。MemPhone<sup>[2]</sup>在这方面做了更深刻的研究,该系统使用移动标记技术让用户可以把他们的记忆/经验数据与各种各样的物理对象(地点、纪念品、书籍等)联系起来,记忆数据通过多种数字媒体(图片、文字、视频等)的方式保存在手机中。此外,MemPhone 组建了一个基于物理对象的社交网络 OBSNs(Object-based Social Networks),可以支持基于情境的记忆分享。通过该系统,用户扫描相关物品的标签(RFID、条形码等),可以方便地“隐藏”或“公开”自己的记忆,同时借助相同的物体可以与他人建立联系。MemPhone 不仅可以增强个人记忆,而且可以加强群体之间的联系,增进朋友间的感情,建立新的社会关系,以此来增强群体记忆。

### 3.4 往事回忆

回忆是一个有价值的活动,所有年龄阶段的人都离不开回忆,且都将其作为生活的一部分<sup>[7]</sup>。回忆可以增强自尊<sup>[31]</sup>,并提供愉悦和享受<sup>[33]</sup>。虽然并非所有的回忆都是积极的,有些回忆也会使人记住仇恨等,但总体来说,回忆是一

个积极的活动<sup>[34,35]</sup>。

为了回忆往事,人们都刻意保存一些纪念物来纪念自己的过去。这些纪念物可以是物理形式也可以是数字形式,用来保存过去的纪念意义重大的、地点或事件<sup>[36]</sup>。在传统概念上,物理纪念物被认为最有价值,这些物理纪念物往往可以生动地使人们重新体验他们的过去<sup>[36,38]</sup>。因此以往的研究大多集中在用纪念物件协助人回忆往事,但也有少数研究<sup>[39,40]</sup>涉及到使用数字化数据和工具来支持用户回忆。但是新技术和新工具(如数码相机、笔记本电脑和录像机以及存储能力日益增强的存储设备)的出现,意味着个人数字档案在以巨大的速率增长<sup>[41]</sup>。因此以数字化数据为基础的往事追忆支持工具开始涌现。The Living Memory Box<sup>[39]</sup>和FMRadio<sup>[43]</sup>等新工具通过将数字记忆和物理纪念物相结合来支持一种身临其境的有形回忆体验。Hoven和Eggen<sup>[44]</sup>以同样的方式研究了数字化的纪念物。Kikhia等在文献<sup>[15]</sup>中提出建立一个数字化日历来记录日常生活中的事情以帮助用户回忆和弥补记忆损伤,例如治疗老年痴呆症等。Mem-Phone<sup>[2]</sup>则通过建立物理对象与人类记忆之间的联系来帮助用户回忆。

电子邮件积累了大量的用户数据,这些数据包含丰富的用户信息,详细记录了用户的生活细节,例如与朋友的交流、兴趣爱好、工作记录等,包含丰富的美好回忆。MUSE<sup>[14]</sup>系统通过对邮件进行整理和分析,如情感挖掘,生成一组记忆提示线索(包括情感、姓名、图像、群体4条线索),根据记忆提示线索将邮件分类管理并进行可视化呈现。以这些线索为索引,用户可以利用用户界面快速浏览邮件信息,激发用户的回忆。

### 3.5 记忆分享

捕捉和收集生活中的回忆并与他人分享是人类一种内在的心理需求,比如与孩子在一起的快乐时刻或者与朋友一起经历的难忘事件,人们都希望将这些快乐的事情与家人、朋友,甚至是陌生人分享<sup>[16]</sup>。人们借助照片或者视频记录自己的过去,供自己回忆使用或与其他人分享,通过共享他们的记忆维持社会关系、表达自己的情感以及构建自己和群体的联系<sup>[45,46]</sup>。如今,在线共享服务已经出现并且发展迅速,比如Flickr和Facebook,但这些服务提供的功能非常有限。Mem-Phone<sup>[2]</sup>提出了OBSNs(Object-Based Social Networks)基于物理对象的社交网络的记忆共享模型,利用移动标记技术,通过到达相同的地方或接触同一个物体(如办公室的椅子等)将不同的用户联系起来,分享彼此的记忆和经历。一个典型的例子是年轻人可以通过燃气炉上的标记获得父母的做饭经验。Olsson等<sup>[1]</sup>通过对用户需求的研究,提出了移动生活记忆共享服务的设计指导方针,并提出一个原型应用程序作为此类设计的指引。其中涉及到用户喜欢以什么样的方式与哪些人分享什么样的内容,以及记忆分享的安全性及隐私保护等方面的问题。文中还指出传统的记忆分享都是面对面的交流,比如老人给年轻人传授经验等。用户喜欢面对面的分享,因为面对面的分享不仅包含对事件的描述,其中还会有情感、眼神以及分享双方之间的交互等,因此在研究中,需要特别注重利用数字记忆分享模拟面对面的交流,将情感、交互等因素引入记忆分享服务中去。SharedLife<sup>[47]</sup>建立了专门的记忆模型,按照记忆的可共享性将人类记忆分为4类,包括个人记忆、社群记忆、事物记忆和应用记忆,用户可以随时在社群记

忆、事物记忆和应用记忆中检索数据,当用户的共享好友在线时也可以相互查看对方的个人记忆。但是,该模型仅仅包含信息的交互,并未实现模拟面对面交流的功能。文献<sup>[16]</sup>提出了一种基于事件的记忆即时共享原型。一个事件中包含了与用户将要分享的记忆相关的所有信息。用户通过创建一个组,邀请组内的成员参与到一个事件中,每个被邀请的用户都可以查看同组员的记录并分享自己的记录。在创建事件时,用户可以添加标签等对事件进行描述。同时,同组成员可以进行评论和讨论。这种基于事件的记忆即时共享模型实现了模拟面对面交流的功能,此外通过用户添加的标签可快速地浏览和检索所需信息。

## 4 系统框架

记忆计算系统通常采用层次结构,包括记忆感知层、记忆云处理层、记忆服务层。图2描述了记忆计算系统的结构。

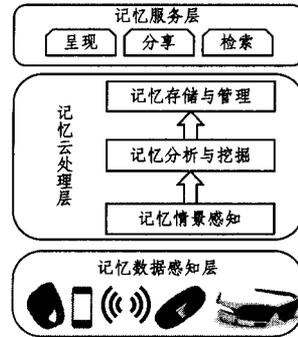


图2 系统结构图

### 4.1 记忆感知层

记忆感知层的主要功能是感知用户的跨空间记忆数据,即使用感知工具(可穿戴设备、智能手机等)全方位地获取用户的记忆数据。图3展示了记忆数据感知的两个方面:个人记忆数据感知(Personal Memory Data Sensing)和群体记忆数据感知(Community Memory Data Sensing)。个人记忆数据感知包括生日、毕业、旅游等相关数据,可以通过手机、照相机、可穿戴设备等获取。群体记忆数据主要是在Facebook、微博、朋友圈等社交网络上的交互数据,可以通过电脑、手机等工具直接获取。在记忆感知层获取的记忆数据交由记忆云处理层存储和管理。

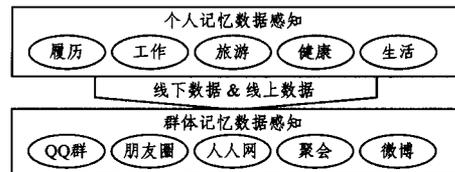


图3 记忆数据感知

### 4.2 记忆云处理层

记忆云处理层用来存储和管理记忆数据,并对用户记忆数据进行分析处理,根据数据分析,感知用户情境,挖掘其中有趣的历史数据,并按照一定的方式对数据进行组织管理。记忆云处理层可以支持对应的移动终端和设备,并提供相应的服务。

#### 4.2.1 记忆情境感知

记忆情境感知旨在通过分析记忆数据感知层获取的用户实时跨空间数据,得到用户当前的情境信息,包括用户的时空信息、活动情况、与其他人的交互等。例如,当你第一次来西

安旅游,通过 QQ 与好友交流自己看到的美丽景色。记忆云处理层会利用手机自带的 GPS 定位系统获取你的位置信息,同时获得你好友的信息并记录下来。当你再次来到西安时,会将第一次来时发生的事情自动推送给你。

#### 4.2.2 记忆分析与挖掘

记忆的分析 and 挖掘主要是对获取的用户数据(文本、图像等)进行分析,进而获得有意义的信息。目前的研究中主要是对文本数据、图像数据和视频数据进行分析。

文本数据包含丰富的用户信息,通过对文本数据的分析,可以获得许多有价值的信息,其中包括文本的含义、所描述事件的重要性、文本涉及的人或物,还包括文本中包含的时间、地点等情境信息,同时还可以获得文本表达出的用户的情绪、感情等。根据以上信息可以获取具有回忆价值的事件并对该事件进行生动的刻画。此外,还可以获得用户的兴趣爱好和社交关系网。

相对于文字信息,照片捕捉的是某个事件的精彩瞬间,其中包含了更多的记忆细节。此外,许多照片都是对用户与家人、朋友等在一起时欢乐场景的记录,具有更高的分享价值。通过对照片的分析,可以获取记忆事件中的细节,挖掘关键的记忆信息,同时可以获取更有价值的分享信息。

视频数据相较于文本和图像数据,具有数据量大、信息丰富的特点。视频可完整地记录用户的历史信息,通过视频能够为用户还原历史场景,使用户完全融入自己的回忆中。

将与同一事件相关的文本信息、图像信息和视频信息结合起来,可以更加生动地为用户还原事件的本身,提供更加人性化的记忆提醒。

#### 4.2.3 记忆存储与管理

经过分析后的记忆数据统一存储在云处理层的数据库中。按照时间顺序对记忆数据进行统筹管理,并对不同的记忆数据进行分类,通过建立索引和添加注释将具有某种关系的数据联系在一起。按照时间顺序管理数据的方法简单方便但不利于查找;分类可以提高查找效率但是会造成数据联系不紧密的问题;通过建立索引则可以突出相关数据之间的联系。综合采用这 3 种方法,可以实现优势互补,有效提高数据管理和检索的效率。但由于记忆数据的增长速度非常快,必须采取某种方法使系统可以自动地“忘记”一些不重要的数据<sup>[3]</sup>,以缓解数据管理的压力,解决信息超载问题<sup>[48]</sup>。

#### 4.3 记忆服务层

记忆服务层是指安装在移动终端的应用程序,是记忆计算系统与用户直接交互的接口。记忆服务层主要提供以下 3 个功能。

**记忆呈现:**把记忆计算系统处理和分析后的记忆信息按照某种方式(系统推送、用户主动查看等)进行可视化呈现。可视化呈现要求数据的易读性,比如使用在地图上标示用户位置的方式代替简单的文字呈现。通过可视化呈现让用户快速获得有意义的记忆数据,辅助用户记忆。

**记忆分享:**记忆服务层应当提供记忆分享功能,以便其家人、朋友或陌生人可以随时随地分享该用户的记忆。

**记忆检索:**为了使用户能够方便快捷地获得感兴趣的记忆,记忆服务层应该支持基于内容的记忆检索功能。

除此之外,记忆服务层还应支持用户主动上传记忆数据或者对已有的记忆数据进行标注的功能。通过用户主动标注和系统自动分析相结合的方式,记忆计算系统能够更加精确

地获取用户感兴趣或有意义的记忆数据,为用户提供更加人性化的记忆辅助服务。

## 5 关键技术与挑战

### 5.1 跨空间记忆感知

记忆数据感知是记忆计算的前提,只有获取到用户的记忆数据,才能对这些数据进行分析挖掘。在物联网和移动互联网发展背景下,人类存在于由物理、信息和社会三元空间构成的超世界中。对用户不同空间的记忆数据进行全方位感知和关联分析,才能够更好地理解用户记忆,进行记忆辅助。然而,由于数据的多源性与相关性,如何做到全方位地感知用户成为记忆计算面临的巨大的挑战。我们在记忆感知层将记忆数据感知分为个人数据感知和群体数据感知,感知方式分为参与式感知和机会感知<sup>[42]</sup>。个人数据往往是存储在照相机、手机上的数据(照片等),由于照片的数据量很大,受传输速率的限制很难自动传输到记忆云处理层,除非是用户上传。群体数据感知中的线上数据(Facebook 等)感知和线下数据(手机、蓝牙等)感知都会受到传输速率的限制,可能会造成数据的缺失或无法获得,有时需要利用协作式感知<sup>[49]</sup>降低采集成本并保证感知质量。另外,还需要获取用户的手机号、Facebook 等社交网络的标识符。由于不同的数据可能与用户关心的同一件事情相关联,因此如何将基于同一事件的来自不同数据源(个人和群体、线上和线下)的数据融合在一起成为了一个亟待解决的问题。

### 5.2 关键数据挖掘

记忆数据挖掘与分析是为了发掘对用户有意义的信息(如结婚纪念日、聚会照片等)。记忆感知层获取的来自多种数据源的数据是杂乱无章的,这些数据内部包含了大量的无用信息,如何在这些庞大的数据中找出对用户有意义的信息是非常困难的。通常的解决办法是将这些数据按照时间顺序进行组织,然后再进行数据筛选,去除毫无价值的无用数据,对剩余的有价值的信息进行分类管理。目前在记忆计算研究中使用到的数据挖掘技术还不成熟。MUSE<sup>[14]</sup>中利用 TF-IDF 技术在文本信息中挖掘表示用户情感的信息,比如高兴、生气、积极等,但对于语义分析和情感挖掘的技术至今还不成熟。如何挖掘图片中用户的表情信息也是一个重大的挑战,虽然目前有关表情识别的研究非常多,诸如流形学习算法<sup>[50]</sup>、鲁棒表情识别算法<sup>[51]</sup>等,但是由于人的照片受很多因素的影响(光影、遮挡物等),这些算法目前还无法非常精准地识别照片中人脸的表情,因此为了从大规模记忆数据中提取有效信息,应该加强对高效的数据挖掘技术的研究。

### 5.3 个性化记忆支持

记忆计算系统的潜在用户范围非常大,每一类用户群甚至是同一用户群的不同用户的需求都是不同的。记忆计算系统旨在通过分析用户历史记忆数据,挖掘有意义的记忆数据并推送给用户,辅助用户记忆。然而对用户有意义或者用户感兴趣本身就是一个很模糊的概念,这其中包含很大的不确定性。如对 Bob 有意义的信息对 John 不一定有意义,针对 A 背景(如工作)重要的信息对 B 背景(如家庭)不一定重要,现在重要的事情未来可能不重要(反之亦然)<sup>[17]</sup>。因此,在记忆计算系统研究中,应该将用户的个性化需求作为一个重要的因素,需要找出一种方法,使记忆计算系统能够针对不同的用户提供个性化的记忆支持服务。

## 5.4 记忆智能呈现

人的记忆往往在类似的环境中被触发,比如当一个人第二次来到某个地方时,他总会想起第一次到来时发生的事情。因此根据情境等信息和用户需求将记忆数据进行智能呈现是记忆计算需重点解决和突破的瓶颈。记忆智能呈现需要对用户当前情境进行实时获取,并与记忆数据中的情境信息进行匹配,这将使用到情境捕获以及数据检索等多个方面的技术。此外,如何将记忆数据显式地提供给用户,将不可见的信息转化为可见的信息(比如人的情绪),即实现记忆数据的可视化,使用户获得更好的视觉感受以引起更加强烈的回忆欲望也应该是记忆计算要解决的问题。Czerwinski 等人<sup>[17]</sup>指出数量和类型越来越多的数据源要求我们必须正确地理解和使用这些抽象的信息,并将其进行有用的、有见地的、有吸引力的可视化。例如,将 GPS 数据作为地图上的一个标签进行展示比作为经纬度的表更容易解释。

## 5.5 记忆决策支持

记忆决策支持主要有两种形式,从系统的角度分为被动式和主动式。被动式是指用户的记忆被触发后需要自己查询以往与此相关的记忆信息,主动式是指系统根据捕捉到的情境信息,主动为用户推荐与情境相关的记忆信息。目前的系统中多采取第一种方式,比如 MUSE、MyLifeBits 等。但是这种方式存在很大的缺点。因为记忆具有自发性<sup>[1]</sup>,与详尽的数字记录相比,用户更加喜欢精心挑选的线索<sup>[52]</sup>,更倾向于系统能够自发地向用户提供记忆信息<sup>[7]</sup>。但目前还没有成熟的能够自发地为用户提供记忆提示信息的系统,在未来的研究中还要突破这个瓶颈,使系统更加完备、更加符合用户的需求。

**结束语** 本文对记忆计算的概念和特征、研究现状、系统架构以及未来研究所面临的挑战进行了详细的阐述。通过论述,可以发现利用记忆计算辅助人类记忆、支持缅怀往事、分享回忆等已经成为一个研究热点。但是,目前的研究大都停留在被动地捕获用户信息和分类整合,需要用户主动地去查看提示信息,才能激发用户的回忆。

在未来的研究中,应该转换用户和记忆计算支持工具的主客观地位。通过记忆计算系统自动感知、处理和管理用户记忆数据,并为用户推送记忆提示信息以辅助用户记忆。利用可穿戴设备等与人类工作和生活密切相关的大规模、多种类感知设备,可以获取用户的当前情境信息,基于情境为用户主动推送与当前情境相匹配的记忆提示信息,满足用户的个性化需求,提供更加智能化、人性化的服务。

## 参 考 文 献

- [1] Olsson T, Soronen H, Mattila K. User needs and design guidelines for mobile services for sharing digital life memories[C]// Proceedings of the 10th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI). Amsterdam, Netherlands, 2008; 273-282
- [2] Guo Bin, Yu Zhi-Wen, Zhou Xing-She, et al. MemPhone: From personal memory aid to community memory sharing using mobile tagging[C]// Proceedings of Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), San Diego, Canada, 2013; 332-335
- [3] Van den Hoven E, Sas C, Whittaker S. Introduction to this special issue on designing for personal memories: past, present, and future[J]. Human-Computer Interaction, 2012, 27(1/2): 1-12
- [4] Lamming M, Flynn M. Forget me not: Intimate computing in support of human memory[C]// Proceedings of FRIEND21, 1994 International Symposium on Next Generation Human Interface. Meguro Gajoen, Japan, 1994; 1-9
- [5] Healey J, Picard R W. Startlecam: A cybernetic wearable camera[C]// Proceeding of the Second International Symposium on Wearable Computers. Pittsburgh, USA, 1998; 42-49
- [6] Gemmell J, Bell G, Lueder R. MyLifeBits: a personal database for everything[J]. Communications of the ACM, 2006, 49(1): 88-95
- [7] Peesapati S T, Schwanda V, Schultz J, et al. Pensieve: supporting everyday reminiscence[C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Atlanta, USA, 2010; 2027-2036
- [8] Guo Bin, Yu Zhi-wen, Zhang Da-qing, et al. Cross-Community sensing and mining (CSM)[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(8): 144-152
- [9] Wu Zhao-hui, Pan Gang. Ubiquitous computing[C]// Proceeding of China Computer Federation. Tsinghua University Press, Beijing, 2006(in Chinese)  
吴朝晖,潘纲. 普适计算[C]// 中国计算机学会文集. 清华大学出版社,北京,2006
- [10] Chen Yuan-yuan, Liu Zheng-jie. Research on mobile context awareness applications and interactions [J]. Application Research of Computers, 2011, 28(12): 4420-4425(in Chinese)  
陈媛媛,刘正捷. 移动情境感知及其交互研究[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(12): 4420-4425
- [11] Tjondronegoro D, Chua T S. Transforming mobile personal life log into autobiographical multimedia eChronicles[C]// Proceedings of the 10th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia. Bali, Indonesia, 2012; 57-63
- [12] Belimpasakis P, Roimela K, You Y. Experience explorer: a life logging platform based on mobile context collection[C]// Proceedings of Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies. Cardiff, Wales, 2009; 77-82
- [13] Bentley F R, Basapur S, Chowdhury S K. Promoting intergenerational communication through location based asynchronous video communication[C]// Proceedings of International Conference on Ubiquitous Computing. Beijing, China, 2011; 31-40
- [14] Hangal S, Lam M S, Heer J. Muse: Reviving memories using email archives[C]// Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology. Charlotte, NC, 2011; 75-84
- [15] Kikhia B. Supporting lifestories through activity recognition and digital reminiscence[D]. Lulea University of Technology, Sweden, 2011
- [16] Olsson T, Lehtonen M, Pavel D, et al. User centered design of a mobile application for sharing life memories[C]// Proceedings of International Conference on Mobile Technology, Applications, and Systems and the 1st International Symposium on Computer Human Interaction in Mobile Technology. Singapore, 2007; 524-531
- [17] Czerwinski M, Gage D W, Gemmell J, et al. Digital memories in an era of ubiquitous computing and abundant storage[J]. Communications of the ACM, 2006, 49(1): 44-50
- [18] Dobbins C, Merabti M, Fergus P, et al. Towards a framework for capturing and distributing rich interactive human digital memories[C] // Proceedings of Postgraduate Symposium on

Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting, Liverpool, UK, 2011;27-28

- [19] Pantelopoulos A, Bourbakis N G. A survey on wearable sensor based systems for health monitoring and prognosis[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2010, 40(1): 1-12
- [20] Dickie C, Vertegaal R, Fono D, et al. Augmenting and sharing memory with eyeBlog[C]//Proceedings of the ACM Workshop on Continuous Archival and Retrieval of Personal Experiences. New York, USA, 2004, 105-109
- [21] Fuller M, Kelly L, Jones G J F. Applying contextual memory cues for retrieval from personal information archives[C]//Proceedings of Personal Information Management in Conjunction with CHI 2008 Workshop. Florence, Italy, 2008; 1-11
- [22] Plaisant C, Milash B, Rose A, et al. LifeLines: visualizing personal histories[C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 1996; 221-227
- [23] Kumar V, Furuta R, Allen R B. Metadata visualization for digital libraries; interactive timeline editing and review[C]//Proceedings of ACM Conference on Digital Libraries. Vancouver, Canada, 1998; 126-133
- [24] Picault J, Ribière M, Senot C. Beyond life streams; activities and intentions for managing personal digital memories[C]//Proceedings of International Workshop on Adaptation, Personalization and Recommendation in the Social Semantic Web. Heraklion, Greece, 2010; 25-32
- [25] O'Hara K, Tuffield M, Shadbolt N. Lifelogging: Privacy and empowerment with memories for life[J]. Identity in the Information Society, 2008, 1(1): 155-172
- [26] Kalnikaitė V, Whittaker S. A saunter down memory lane; Digital reflection on personal mementos[J]. International Journal of Human Computer Studies, 2011, 69(5): 298-310
- [27] Guo Bin, Zhang Da-qing, Yang Di-qi, et al. Enhancing memory recall via an intelligent social contact management system[J]. IEEE Transactions on Human Machine Systems, 2014, 44(1): 78-91
- [28] Sohn T, Li K A, Lee G, et al. Place its: A study of location based reminders on mobile phones[C]//Proceedings of International Computing on Ubiquitous Computing. Tokyo, Japan, 2005; 232-250
- [29] Pan P, Kastner C, Crow D, et al. M Studio: an authoring application for context aware multimedia[C]//Proceedings of the Tenth ACM International Conference on Multimedia. Juan Les Pins, France, 2002
- [30] Kawamura T, Fukuhara T, Takeda H, et al. Ubiquitous Memories; a memory externalization system using physical objects[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2007, 11(4): 287-298
- [31] Lewis, Charles N. Reminiscing and self concept in old age[J]. Journal of Gerontology, 1971, 26: 240-243
- [32] Yang Zhi-liang. Talking about studies of human's memory[J]. Psychological Science, 2011, 34(1): 249-250 (in Chinese)  
杨治良. 漫谈人类记忆的研究[J]. 心理科学, 2011, 34(1): 249-250
- [33] Thaler R H, Sunstein C R. Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness[J]. Constitutional Political Economy, 2008, 19(4): 356-360
- [34] Butler R N. The life review; An interpretation of reminiscence in the aged[J]. Psychiatry, 1963, 26(1): 65-76
- [35] Long N M, Danoff M S, Kahana M J. Recall dynamics reveal the retrieval of emotional context[J]. Psychonomic Bulletin & Review, 2015, 22: 1-6
- [36] Petrelli D, Whittaker S, Brockmeier J. AutoTopography: what can physical mementos tell us about digital memories? [C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Florence, Italy, 2008; 53-62
- [37] Ingle N, Butalia A. social contact management system for memory recall enhancement[J]. International Journal of Innovations & Advancement in Computer Science, 2014, 3(9): 201-206
- [38] Petrelli D, Whittaker S. Family memories in the home; contrasting physical and digital mementos[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2010, 14(2): 153-169
- [39] Stevens M M, Abowd G D, Truong K N, et al. Getting into the living memory box; family archives & holistic design[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2003, 7: 210-216
- [40] Fivush R, Nelson K. Culture and language in the emergence of autobiographical memory [J]. Psychological Science, 2004, 15(9): 573-577
- [41] Beagrie N. Plenty of room at the bottom? Personal digital libraries and collections[J]. Dlib Magazine, 2005, 11(6): 781-831
- [42] Guo Bin, Yu Zhi-wen, Zhang Da-qing, et al. From Participatory Sensing to Mobile Crowd Sensing [C]//Proceedings of IEEE PerCom Workshops. Budapest, Hungary, 2014; 593-598
- [43] Petrelli D, Villar N, Kalnikaite V, et al. FM radio; family interplay with sonic mementos [C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Atlanta, USA, 2010; 2371-2380
- [44] Van den Hoven E, Eggen B. Informing augmented memory system design through autobiographical memory theory[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2008, 12(6): 433-443
- [45] Van House N, Davis M, Ames M, et al. The uses of personal networked digital imaging; an empirical study of cameraphone photos and sharing[C]//Proceedings of CHI'05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. Portland, USA, 2005; 1853-1856
- [46] Höfllich, Joachim R, Hartmann M, et al. Mobile communication in everyday life; Ethnographic views, observations and reflections[M]. Frank & Timme GmbH, 2006
- [47] Kroner A, Schneider M, Mori J. A framework for ubiquitous content sharing[J]. Pervasive Computing, 2009, 8(4): 58-65
- [48] Whittaker S. Personal information management; from information consumption to curation[J]. Annual Review of Information Science and Technology, 2011, 45(1): 1-62
- [49] Chen H, Guo B, Yu Z, et al. CrowdPic: An Interactive and Selective Picture Collection Framework for Participatory Sensing Systems[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT). Xi'an, China, 2014; 512-519
- [50] Wang H, Chen S, Hu Z, et al. Locality preserved maximum information projection [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2008, 19(4): 571-585
- [51] Kotsia I, Pitas I, Zafeiriou S. Novel multiclass classifiers based on the minimization of the within class variance [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2009, 20(1): 14-34
- [52] Petrelli D, Van den Hoven E, Whittaker S. Making history; intentional capture of future memories[C]//Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems. Boston, USA, 2009; 1723-1732