

移动群体感知技术研究

熊英 史殿习 丁博 邓璐

(国防科技大学计算机学院并行与分布处理国防科技重点实验室 长沙 410073)

摘要 移动互联网的不断成熟以及搭载各种传感器的智能终端的广泛应用和普及催生了全新的研究领域,即移动群体感知技术领域。移动群体感知是以人为中心的感知,人在感知过程中扮演着重要的角色,发挥着重要的作用。移动群体感知概念自提出以来,受到了学术界和工业界的广泛关注,移动群体感知技术广泛应用于交通、医疗健康等各个领域以及人们日常生活中的各个方面。首先从移动群体感知概念、感知模式、感知规模及其特性的角度阐述了移动群体感知的内涵;在此基础上,对群体感知技术的应用进行了分类,并且对现有典型的移动群体感知研究项目进行了分析、总结和比较;进而描述了移动群体感知技术向规模化、系统化发展的趋势及面向服务的“端+云”的移动群体感知体系架构;最后重点阐述了移动群体感知在大规模环境下所面临的全新挑战及应对策略。

关键词 移动群体感知,感知模式,上下文感知,大数据融合

中图分类号 TP311 文献标识码 A

Survey of Mobile Sensing

XIONG Ying SHI Dian-xi DING Bo DENG Lu

(National Laboratory for Parallel and Distributed Processing, School of Computer,
National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Maturity of the mobile Internet and popularity of intelligent terminals equipped with various sensors have spawned a whole new field of research—mobile sensing. Mobile sensing is human-centric, in which human plays an important role. Since the concept of mobile sensing has been proposed, it has got academia and industry wide attention, which is also widely used in the field of transport, medical care and health, and many other fields as well as all aspects of our life. Above all, the paper expounded the connotations of mobile sensing from the perspective of the concept, sensing paradigms, sensing scale and the characteristic, upon this, classified the mobile sensing applications, and then analyzed, summarized and compared existing typical applications. Further more, it described mobile sensing trending to scale and systematic direction and service-oriented “terminal+cloud” mobile sensing architecture, and finally, focused on clarifying the new challenges and the strategies in the environment of large scale.

Keywords Mobile sensing, Sensing paradigms, Terminal context-aware sensing, Big data fusion

1 引言

随着技术和应用需求的快速发展,以智能手机为典型代表的移动设备如 iPhone、Android 等系列智能手机无论是在硬件配置上还是软件性能上都有了飞跃性的发展,已经成为人们日常工作、生活中的必需品,在人们的日常生活中发挥着越来越重要的作用。与此同时,随着 3G、WiFi 等移动互联网络的快速发展和广泛普及,移动设备可以方便快捷地接入互联网,随时随地获取所需的服务。另一方面,以智能手机为代表的移动设备普遍搭载了 GPS、加速度、距离、方向、光线、温度等各种各样的传感器,与传统的固定设备如 PC 机、服务器等相比,以智能手机为代表的移动设备具有固定设备无法比拟的优势,它们可以利用其自身携带的各种传感器随时随地

地感知人及周边环境信息,使得人们可以及时地获取其自身及其所处环境的状况,以便更好地为人们提供所需的服务。大量诸如此类的移动终端组成了一个无处不在的、具有强大感知能力的移动无线传感器网络,它大大扩展了人类感知世界的维度,改变了人们感知世界的方式,开启了新的应用领域——移动群体感知^[1]应用的大门。

移动群体感知概述起来是指利用人们随身携带的智能手机等移动终端(通过设备内置的传感器)感知人及周边环境信息,并将感知信息通过移动互联网上传至后台的服务端,感知信息在服务端进行数据融合,最终向终端用户提供有用的信息和服务。移动群体感知为人提供了一种新的感知世界的方法,它使任何人(通过移动终端执行感知任务)都能够参与到感知过程中来,并为人提供普适的服务。

到稿日期:2013-06-18 返修日期:2013-09-17 本文受国家新一代宽带无线移动通信网专项课题(2011ZX03002-004-01)资助。

熊英(1988—),女,硕士,主要研究方向为分布计算、移动云计算、移动感知, E-mail: time_xy@163.com;史殿习(1966—),男,博士,研究员,主要研究方向为分布计算、普适计算、移动云计算;丁博(1978—),男,博士,助理研究员,主要研究方向为分布计算、软件适应;邓璐(1989—),女,硕士,主要研究方向为数据库技术、舆情分析。

移动群体感知技术的概念自提出以来受到了学术界的广泛关注,各类移动群体感知应用层出不穷。早期的移动群体感知应用如 CarTel^[2]、BikeNet^[3]、CenceMe^[4]等大多是针对特定问题的特殊化解决方案。现今移动互联网的发展已经走向成熟,同时携带丰富感知能力的移动终端逐渐普及,移动群体感知焕发了新的活力,大规模感知应用如城市级应用 CitySense^[5]、Ear-Phone^[6]等初露端倪,在各个领域如交通、健康以及环境保护等发挥越来越重要的作用。在大规模环境下,移动感知主要是利用群体的优势克服单个感知终端的数据精度相对较低的缺点,随着移动群体感知应用不断发展、应用规模不断扩大,移动终端感知上下文变得越来越复杂,同时海量异构型感知数据处理的压力越来越大,应用的实时性要求越来越高,移动群体感知应用面临诸多新的挑战。因此,开展移动群体感知技术研究具有十分重要的现实意义和应用价值。

本文在系统化分析国内外相关研究工作及实践的基础上,对移动群体感知技术的研究现状进行综述,包括移动群体感知技术的内涵、感知模式及特性、典型应用案例、发展趋势及未来挑战等多个方面。本文第2节首先给出移动群体感知的概念内涵;第3节描述了群体感知的典型应用案例;第4节描述了移动群体感知的发展趋势以及面向服务的“端+云”移动群体感知体系架构;第5节阐述了移动群体感知所面临的挑战及应对策略;最后对全文进行总结。

2 移动群体感知的内涵

2.1 移动群体感知的概念

目前手机等移动终端成为越来越多人上网的首选。人们通过手机随时随地地共享和交流信息、获取知识和服务,手机成为人与人之间沟通、交流的媒介。以搭载 Android、IOS 等操作系统为代表的新一代的智能手机往往携带了丰富的传感设施,如 GPS、位置、方向、加速度、声音、温度等,这些传感设施可以多角度地感知人及周边环境,形成局部知识,群体的局部知识往往蕴含了很多有用的信息。而移动群体感知就是通过移动终端获取大量群体的局部知识,进而通过分析处理,聚合出其隐含的有用信息(如态势、趋向性特征等),从而提供人们所需的各种各样的服务。

J. Burkle^[7]等人于 2006 年最早提出了移动群体感知概念,并将这一新兴的领域称为参与式感知——将我们日常使用的移动设备(例如手机)组成大众和专家用户,利用手机执行感知任务,分析和共享局部信息(知识),形成感知、分析、共享的参与式传感器网络。随着研究的不断扩展,移动群体感知的范畴也逐渐发生着变化,参与式感知的概念不能准确概括,目前大家比较公认的叫法是“移动群体感知”,或者更为形象的“以人为中心的感知”,因为移动群体感知是利用人们随身携带的感知设备对其自身和环境进行感知,人在感知过程中发挥着重要作用。

移动群体感知尚属于一个不断发展中的技术,目前还没有统一的概念。理解移动群体感知的概念,主要需把握以下两个方面:首先,顾名思义,移动群体感知与传统感知相比的一大特点是其移动特性,即利用人随身携带的移动群体感知设备完成感知任务;其次,移动群体感知是对大量群体感知信

息的聚合,它将终端感知设备收集到的局部信息通过无线网络上传至服务端进行数据融合等处理,最终将处理的结果反馈给用户,为用户提供其所需的服务。

2.2 感知模式

人如何参与到移动群体感知过程中来,多大程度上参与到感知过程中来,我们称这一量为感知模式。根据感知模式可以将移动群体感知分为参与式感知和机会式感知^[1]。参与式感知^[8]是指人们主动参与感知过程(包括拍摄照片、添加评论等),人自主地决定通过什么方式、何时、何地、采集何种感知数据。机会式感知^[9]是指人通过下载应用程序的方式,在不主动干预的情况下由应用程序自动检测感知终端上下文,并在终端上下文符合的情况下自动启动后台进程执行感知任务(如测定 GPS 位置、环境温度、加速度等)。

两种感知模式的对比如表 1 所列。参与式感知加诸于用户的感知任务更加复杂,这在一定程度上增加了用户招募的负担^[10],同时由于不同用户处理感知任务的能力和特点各有不同,也使用户激励机制和感知数据存优去劣显得尤为重要。同样也正是由于人参与感知,使得感知数据的精度相较于机会式感知要高^[11]。而机会式感知相对来说不需要人过多的干预,主要是利用移动设备自动地完成感知任务,因此减轻了用户的负担;但是在感知过程中由于用户感知上下文的复杂多变,而且受终端应用规模和移动终端处理能力的限制,在终端上下文判定过程中出现误判现象相对普遍,这就使得感知数据的精度大大下降,因此,如何处理精度不高的感知数据是机会式感知面对的主要问题^[9]。与此同时,由于绝大多数情况下感知过程是自动完成的,因此可能导致在感知过程中不经意间泄露了用户个人信息^[12](比如在噪音检测类应用 Ear-Phone 中,录音过程不小心录到用户谈话内容等)。因此,在感知过程中如何保护用户的个人隐私也是机会式感知需要重点研究和解决的问题。

表 1 参与式感知与机会式感知

感知模式	参与式感知	机会式感知
数据精度	高	低
用户负担	重	轻
感知复杂度	小	大
数据类型	图片、视频、文本等	位置、加速度、方向、温度等
典型应用	Creek Watch ^[14] GeoLife ^[15] The MoveBank ^[16]	CarTel Ear-Phone PEIR ^[17]

两种感知孰优孰劣尚不能完全判定。Lane N D 等^[13]采用了模型验证的方法对两种感知模式进行了比较,结果显示机会式感知更加容易支持大规模应用和更加多样化的应用。对于不同应用来说两种模式各有所长。比如对于像 Creek Watch 这样的应用来说需要用户拍摄有关水域照片,显然参与式感知更为适合。而对于 CarTel 这样的应用来说,其重点关注的是用户的位置和速度等感知数据,显然机会式感知更为适合。

2.3 感知规模

感知规模即参与到感知数据融合的数据源规模。根据感知规模的不同可以将移动群体感知分为个人感知、群组感知和群体感知,如图 1 所示。

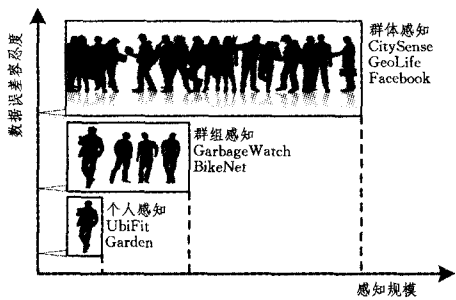


图1 感知规模

个人感知主要是面向单个用户的感知应用,移动终端通过自身携带的传感设施感知用户信息,进而在终端对感知数据进行分析处理,并将处理结果反馈给用户,以达到劝诱、服务等目的。个人感知着重于单个用户感知信息的分析和处理,用户间基本上不进行信息共享和交互。典型的个人感知应用 UbiFit Garden^[18]通过分析用户的运动方式来对用户的健康指数进行评估并鼓励用户达到个人健康目标。个人感知注重用户行为特征以及周边环境的检测,而这些信息往往复杂多变,因此需要多种传感器协同合作得出结果。

群组感知主要是面向具有相同兴趣用户群组的应用。群组规模一般小于城市级。群组内用户往往愿意共享自身的相关信息(至少是保护隐私的情况下)。移动群体感知终端负责感知数据收集和上传,群组内感知数据在服务端进行整合、处理,然后服务端将处理结果反馈到终端用户。这类应用主要是面向具有相同兴趣(如同一职业、相同兴趣爱好等)的群组,规模相对于社会感知来说较小。典型的应用包括 Garbage-Watch^[19]和 BikeNet 等, GarbageWatch 面向的是关注环境卫生的人群, BikeNet 面向的是骑自行车锻炼的人群。

群体感知主要是面向更加广泛的用户,它与群组感知的区别在于用户规模。当用户数量达到相当大的规模(如大规模的社区级别、城市规模甚至全球规模等)时,我们就可以称之为群体感知。群体感知的用户可以是具有相同兴趣的群体,也可以是借由社交网络等交互平台而相互联系的人。群体感知的典型范例有 GeoLife^[15]、CitySense、Ear-Phone、Safe-Vchat^[20]等,群体感知的用户群规模庞大、信息繁杂,用户的实时请求频繁,服务端数据处理的压力巨大。

个人感知、群组感知、群体感知的感知数据源规模依次递增,由于随着数据源规模的增大,单个数据源精度对整个感知聚合结果的影响下降,因此它们对感知数据的精度要求呈现逐步降低趋势。个人感知不涉及信息的共享与数据融合,严格来讲并不符合我们所定义的移动群体感知的概念,但是它也是利用移动终端来感知用户上下文向用户提供个性化服务,是群体感知的基础,因此我们将其列入移动群体感知的范畴。同时随着移动群体感知的发展和规模的扩大,群组感知与群体感知的界限将越来越模糊。

2.4 以人为中心的感知

移动群体感知与传统的感知应用最大的区别和特色在于它是以人为中心的,人参与到移动群体感知的过程中,并在感知过程中扮演重要角色和发挥重要作用。人在移动群体感知中究竟发挥了怎样的作用呢? Mani Srivastava^[21]等研究人员对在移动群体感知过程中所扮演的角色进行了分析和总结,并以此为切入点对其面临的挑战进行了论述。这里我们

在此基础之上,对在感知过程中所扮演的角色及所发挥的作用进行更加系统性的分析和概括总结。

移动群体感知中人的角色是复杂的。首先,人是移动群体感知的感知对象,不论移动群体感知的关注点是什么,都是通过人来感知世界,也就是说人是移动群体感知的直接感知对象;其次,人是移动群体感知终端设备管理者,移动群体感知通过人手持有的移动感知终端(智能手机、Pad 等)收集需要的感知信息,人通过对移动感知终端的管理干预移动群体感知信息的收集过程;再次,人是移动群体感知的数据源,收集到的移动感知数据是与人相关的局部信息;最后,人是移动群体感知的服务对象,移动群体感知的最终目标是以最低代价用最自然的方式向人提供最优质的服务。

目前关于移动群体感知中人所起的作用的研究已经很多。Giordano 等人从普适计算的角度分析了人在移动群体感知中发挥的重要作用,人的参与开启了移动终端间的机会式计算,从而使移动终端间的信息交互变得更加高效,为移动群体走向普及提供了新的契机^[22]。Iida 等人则从服务的角度阐述了以人为中心的感知的特点,强调了人作为服务受益者的重要性,并且阐明了以人为中心的感知原则及研究要点^[23]。人的参与扩大了移动群体感知的范畴,使移动群体感知呈现出与以往感知截然不同的特性,同时也为移动群体感知带来了新的机遇和挑战。人作为移动群体感知的终端受益者,其关注点在于自身能够以最自然最舒服的方式从云端获得服务,他们并不关心服务获得的过程以及具体处理流程。因此移动群体感知对移动终端的服务推送过程应该是自然的,秉承不会影响用户体验的舒适性原则为用户提供想要的服务。

人的参与赋予移动群体感知旺盛的活力。由于人的移动特性,只要是人类活动的范围内都能通过移动终端进行感知,感知的范围得到了飞跃性的扩展;人的主动参与也能够提高感知的精度,使感知更加“智能化”;人的参与扩大了感知的应用范畴,面对复杂的人类社会特征,以往社会学研究大都是以问卷调查等方式进行,目前以移动社交网络(Twitter、Facebook 等)为代表的各种社会化应用层出不穷,移动群体感知为社会学研究提供了全新的研究方法;随着智能终端的普及以及可穿戴便携感知设备的发展,感知终端设备往往携带了多种传感设施,可以感知时空、温度、声音、心律、图像等多种信息,感知的维度也得到了极大的扩展。

人的行为和周边环境复杂多变,如何在复杂环境下准确地感知并有效地收集数据成为一大难题。比如,交通类应用(CarTel、GreenGPS^[24]等)中如何判别人处于行车状态;健康类应用(BikeNet、UbiFit Garden^[18]等)中如何判定人在进行身体锻炼等。同时移动群体感知数据是繁杂的,可能是人通过感知类应用得到的位置、时间、速度、方向、温度等容易处理的简单信息,也可能是人通过社交网络等平台或者是参与式感知应用得到的文本、图像、视频、声音等不易处理的复杂信息。大量异构性信息管理 with 数据融合是一大挑战。同时由于人的个体差异性以及社会化特性,不同个体的感知数据精度往往不尽相同,联系紧密的感知个体往往在生活习惯、行为特征方面是相似的,这也影响了感知数据的客观性与准确性。对于单一个体而言,人的感知精度也是不稳定的(受环境影响),服务端应该能够适应不同精度的感知数据。

3 典型应用案例

移动群体感知的概念提出以来受到了学术界的广泛关注,各种移动群体感知应用层出不穷。移动群体感知可以广泛应用于交通运输、环境监测、医疗健康、移动社交网络等诸多领域。这里我们将移动群体感知分为3个主要的应用领域:环境感知、基础设施感知、社会感知,如图2所示。下面分别从这3个领域对目前典型的移动群体感知应用案例进行分析和描述。

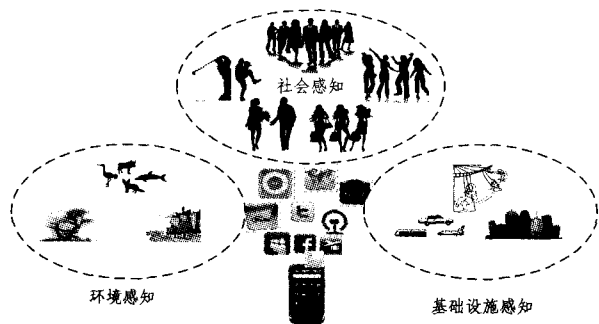


图2 移动群体感知应用类型

3.1 环境感知

环境感知主要用于自然科学研究、环境监测等,感知对象是动物和自然环境。The Movebank Database^[16]是典型的网上动物轨迹数据库,用户可以通过 The Movebank Database 共享各种动物轨迹数据,系统可以帮助用户管理、共享、保护、分析和归档他们的数据,通过 The Movebank Database 科研人员可以方便地进行研究交流,目前 The Movebank Database 已经有超过一千个用户。

再如典型环境监测类项目 Common Sense^[25]和 Creek Watch 等。Common Sense 是空气质量检测类应用,它采用参与式感知模式,用户通过专用的手持空气质量感知设备或手机等携带传感器的消费类电子产品对空气中的污染物如 CO₂、NO₂ 等进行感知,并将感知数据通过 WiFi 等无线网络上传到后端的数据库以供科学研究。Creek Watch 是 IBM 公司开发的研究水域污染状况的项目,目前已经提供可以下载的 iPhone 程序。它主要是利用用户参与式上传所处周边环境的水域照片以及关于污染状况的文本信息等进行分析、聚合,从而实现了对水质质量和污染情况的检测。环境感知为自然科学研究和环境监测提供了新的数据获取手段,而且具有成本低、范围广的特点。环境感知的单个数据精度相对于专用部署式传感器来说较低,但是其通过大量的群体感知数据的处理和聚合弥补了这一缺陷。

3.2 基础设施感知

基础设施感知主要致力于通过感知公共基础设施(如道路交通、城市建设等)整体态势以便更好地进行相应的规划。日常生活中应用最为广泛的基础设施感知案例是对道路交通状况的检测和相关服务类应用,典型的应用案例包括 CarTel 和 Vtrack^[26]。

CarTel 项目对用户行车时利用手机感知并通过 WiFi 上传至服务端的行车信息(位置、速度、方向等)进行处理和聚合,得到整体的交通态势(如各路段交通拥堵状况等),可以使用户实时了解各条道路的交通状况,同时可以向用户推荐最佳的行车路线。CarTel 采用具有优先级的数据上传策略以

减少不必要的数据上传,提高系统效率。Vtrack 项目着重考虑如何在有限的手机电池容量条件下,以最小的能耗来实现对用户行车信息的采集。Vtrack 采用相对低功耗的 WiFi 而不是 GPS 传感器进行位置测定,同时为了保证定位的精度,采用隐式 Markov 模型进行优化,得到了很好的实验效果。伦敦大学的 Licia Capra^[27]等人则对最便捷的公共交通——地铁进行了研究,由于伦敦的地铁收费制度非常繁杂,因此旅客在乘坐地铁时往往难以找到最省钱的路线从而导致旅费的大量浪费。他们针对这一问题进行了研究,并通过分析用户乘坐地铁的历史信息,利用数据挖掘算法来为单个乘客提供最佳(比如最便宜)的路线。

3.3 社会感知

社会感知的目标是为人们提供更加优质便捷的日常生活服务,其感知对象是与人类相关的日常生活信息,人们通过网络上传各自的感知数据,在服务端对这些数据进行聚合、分析而形成一定的知识(群体智慧),为人们提供日常生活类服务^[28]。

GeoLife 是典型生活服务类项目,系统主要是通过对众多用户参与式收集到的日常活动信息和附加的评论信息进行分析^[15],综合考虑用户相似度、活动关联性、地点关联性等特征,对各个用户进行个性化的用户旅行的活动推荐和对特定活动进行地点推荐。BikeNet^[3]是健康服务类项目,它通过用户在骑行自行车期间利用车上的传感装置或者手机传感器上传行车信息,信息主要包括实时速度、平均速度、行车距离、Calories 消耗、道路坡度、心跳频率、身体兴奋度等信息,在服务端对上传的大量用户数据进行聚合分析,实现最佳行车路线推荐,从而改善其日常的锻炼习惯。

社会感知也为人的社会活动研究提供了新的研究方法。CitySense^[5]是典型的城市居民日常行为趋向分析系统,它主要通过收集大量手机持有者的日常生活信息来对城市居民的日常行为趋向进行分析。社会感知也可以与移动社交网络(Facebook、Twitter 等)相结合,它们主要是通过聚合移动终端用户参与式上传的文本、位置、图片等感知信息,向用户提供社交类服务。CenceMe 是典型的社会感知与社交网络结合的应用。感知进程通过手机收集用户信息,如用户移动速度、GPS 位置信息以及摄像头拍摄的照片等,从而进一步识别用户特征,包括行为、心情、周边环境等,并将这些用户信息通过社交平台(如 Facebook、MySpace 等)与朋友进行共享^[4]。CenceMe 采用了包括分类、基于规则学习算法等人工智能算法来分析用户特征。再如,目前国内的社交平台人人网提供的位置报道服务和活动轨迹记录服务等。

3.4 分析与总结

从以上的典型移动群体感知应用可以看出,不同应用领域具有不同的特点。环境感知应用一般采用参与式感知模式,需要采集的感知数据类型通常为图像、视频、文本等,环境感知对感知数据的精度要求相对较高,同时感知数据类型较为复杂,且不同用户采集数据的策略方法各有不同,这使得感知数据的质量参差不齐,服务端数据处理的难度相对较大。参与式感知与机会式感知对于基础设施感知来说同时适用,感知数据类型主要是 GPS 位置信息、图像等。目前的应用范围尚局限于道路交通方面的应用,今后可以扩展到城市规划、基础设施分布、绿化建设等更多的领域。社会感知一般

采用参与式的感知模式,将大量群体的感知数据分析整合形成群体智慧(知识),并用得到的知识更好地为用户提供服务。

4 发展趋势与体系架构

从上面的分析和论述中我们可以看到移动群体感知过程涉及感知数据的获取、处理、聚合以及态势的综合等多个环节,同时作为主体的人参与其中并发挥重要作用,移动群体感知技术可以广泛应用于交通、健康、环境监测及保护等各个领域,可以说移动群体感知已经深入到人们日常生活的各个方面,在人们的日常生活中发挥着越来越重要的作用,将来必将成为人们生活中不可或缺的一部分。应用需求的不断深化和应用规模的不断扩大驱动着移动群体感知技术和应用向规模化和系统化方向发展;与此同时,人们在日常生活中基于信息共享获取服务的需求也在不断增加,移动终端携带了多种传感设备,人们希望移动终端能够更加“智能”,这就使对于移动群体感知类服务的需求也在增加,这同样也驱动着移动群体感知走向大规模,因此群体感知技术和应用必将朝着大规模方向发展。

目前,在人们的现实生活中,城市交通、城市建筑规划、疾病传播、环境问题等城市级问题日益凸显,越来越成为人们日常生活关注的焦点,因为这些问题都是大规模复杂关系的人们的现实问题;另一方面,大规模群体的日常行为趋向在一定程度上反映了整个城市(甚至于国家级、世界级)的趋向性特征与普适性问题,这些特征和问题恰恰是解决城市级问题的关键,而大规模移动群体感知技术可以为这些问题提供全新的解决方案,即利用移动群体感知来感知城市的脉动^[29]。目前,典型的利用大规模移动群体感知技术解决这些现实问题的项目包括 SafeVchat, Ear-Phone, CitySense, GeoLife等,这些研究是人们利用大规模移动群体感知技术解决现实问题的有益探索。

大规模移动群体感知应用需要有良好的体系架构来支撑,云计算技术因其可以提供强大的处理能力、近似无限可用的资源以及丰富多样的服务等独特优势在解决大型复杂应用方面取得了良好效果,并在实际应用中得到广泛应用。因此,将云计算技术与移动群体感知技术有机地结合起来,采用面向服务的“端+云”的移动群体感知体系架构,能够为大规模移动群体应用的开发、运行和管理提供有效支持,如图3所示。

“端+云”的体系架构将移动群体感知的处理过程分为两个部分:终端和云端。移动终端主要完成移动群体感知数据的收集与上传、服务接收,而云端则实现海量的感知数据处理。“端+云”的移动群体感知体系架构有效地减轻了移动终端的负担,移动终端负责感知数据采集与上传工作,而将复杂的数据融合放在云端进行。其中终端主要涉及的研究问题是终端上下文感知、感知策略制定、数据上传等,终端上下文感知是研究的重中之重,它是移动群体感知数据能否走向大规模的关键。云端的研究重点是海量数据管理、大数据融合(基于兴趣的群组数据挖掘)、服务管理与发布等,云端大数据融合是研究的重点。

移动群体感知是以人为中心的,它的最终目的是以人最舒服的方式来为人提供感知类服务。所谓的面向服务就是尽可能地对用户屏蔽感知的处理细节,并将感知服务以分布式

移动应用的形式向用户发布。移动群体感知根据不同的用户终端上下文推送相应的服务(即应用),例如旅行场景中向用户推送个性化线路推荐服务;运动场景中向用户推送健身指南类服务;开车场景中向用户推送实时交通类服务等等。

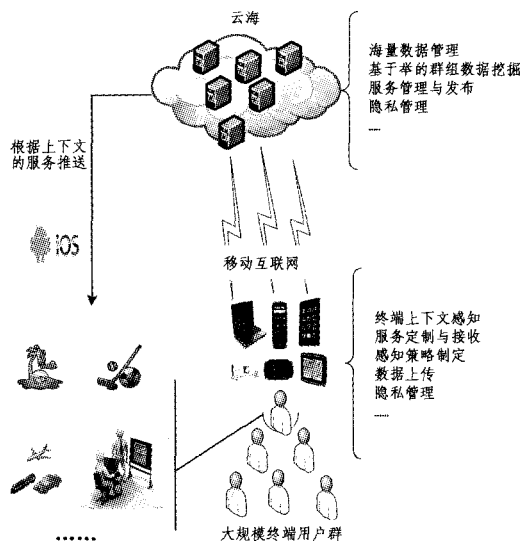


图3 面向服务的“端+云”感知模型

5 面临的挑战

基于大规模移动群体感知技术构建的感知应用系统具有系统和数据量规模巨大、持续感知实时处理以及运行环境动态变化等特征,这些特征为其开发、运行和管理带来诸多新的挑战。早期项目由于数据集规模较小,为了保证小规模数据集下数据融合的效果,移动群体感知研究的关注点集中在如何提高单个感知终端的感知精度,研究重点是移动传感器网络搭建^[30,31]、移动群体感知设备交互^[32]。如今移动互联网技术已经逐渐成熟,各种无线网络接入方式(WiFi, 3G等)可以使移动终端方便地连接到移动互联网。同时由于用户需求的激增,用户群规模的增大,移动群体感知对单个数据源的精度要求降低,而云端数据管理的压力变得越来越大,移动群体感知研究的重点转向云端大数据融合。另外由于用户规模的增大,各类用户请求频繁,如何有效地对频繁的用户请求进行实时响应也是一大研究重点。最后鉴于移动群体感知的以人为中心特性,为了减小人的负担,感知的理想模式是尽可能地感知任务以人不会察觉(即机会式感知)的方式进行,终端上下文感知成为移动群体感知的研究重点。因此,概括起来,大规模环境下移动群体感知的研究重点集中在两方面:终端和云端。终端主要面临感知用户招募与激励机制设计、终端上下文感知两大挑战;云端主要面临云端大数据融合、服务实时推送两大挑战;同时终端和云端都面临着用户隐私问题的挑战。下面就具体地对以上挑战进行论述。

5.1 有效的用户招募与感知数据收集

目前现有的移动群体感知项目大多处于研究和实验验证阶段,规模较小,用户招募问题是限制移动群体感知应用规模扩大的一大桎梏。导致这一问题的主要原因在于用户顾虑感知任务的存在对用户的终端体验产生影响以及参与感知过程可能导致用户隐私的泄漏^[1];一方面,由于大规模移动群体感知应用需要从用户终端收集大量的感知信息,导致终端能耗大大增加,并且参与式感知往往需要用户的主动参与(例如,

拍摄图片、视频等),这些都在很大程度上影响了用户体验,进而影响了用户参与的积极性;另一方面,用户对于上传的信息存在安全顾虑,携带用户行为特征的感知数据可能会泄露用户隐私。用户招募是大规模移动全体感知应用中需要重点研究和解决的问题,因为大规模不仅体现在系统规模巨大,更体现在参与的用户规模巨大,只有众多的个体愿意并积极地参与到感知过程中来,才能充分发挥群体优势,体现出群体智慧。因此,如何在确保不泄漏用户隐私的情况下招募并鼓励众多用户参与到感知过程中来,是大规模群体感知应用必须面对和解决的核心问题之一。

移动群体感知的感知数据精度相对于专业传感设施来说较低,这就导致感知数据收集的效率变得很低,如何最大限度地提高感知数据收集的效率也是我们要解决的核心问题。一方面,用户个人习惯、所处环境、携带终端等方面的个体差异性导致移动群体感知用户质量参差不齐。显然高质量用户的感知数据精度往往更高,他们对感知结果的贡献更多,增加高质量用户感知数据的权重可以提高感知数据的收集效率,有利于更加有效地得到更加理想的聚合结果。如何有效地识别高质量的感知用户并增加高质量的感知用户的参与权重是移动群体感知需要解决的关键问题。对于参与式感知,可以采用用户激励的方式来提高高质量用户的感知参与积极性,从而提高感知的效率,目前国内外关于参与式感知模式下的用户激励研究已经取得了一些有益的成果。加利福尼亚大学的 Reddy 等人提出了一种参与式感知的用户激励框架,将用户激励划分为用户质量测定、用户质量评定和审核评定与激励 3 个过程^[10],并针对参与式感知中微奖励机制设计原则进行了研究和实验^[33]。对于机会式感知来说,感知用户的质量与其所处的周边环境和设备的质量有重要关系,机会式感知通常采取任务分配策略^[9,34],即将感知任务分配到最适合的终端,来提高高质量感知数据的权重。无论是参与式感知的用户激励机制设计还是机会式感知的任务分配策略,研究的一大难题在于人的参与带来的不确定性和复杂性,如何把握人的因素是解决这两个问题的关键。

另一方面,不同移动群体感知数据内容往往是重叠的,造成资源的重复收集。因此可以考虑在移动终端将不同的感知任务进行整合,根据整合后的总感知任务定制感知收集策略。感知收集策略也可以根据用户的终端现有任务进行动态调整^[35]。移动终端的数据预处理可以减少数据上传量,从而降低终端能耗。

5.2 有效准确地识别终端上下文

大规模群体感知应用中参与感知的众多个体所处的运行环境是动态多变的,高效准确地识别和判断参与感知的用户的行为和其所处环境是完成其所承担的感知任务的前提和基础,比如用户在行车过程中移动设备如何自动地识别开车这一行为,并且启动采集位置、速度等信息的感知任务;再如如何判断和识别更为复杂的用户行为如用餐、工作、休闲、运动等等,以及如何判断和识别用户所处的复杂的周边环境如家中、公司、餐厅、酒吧等等。用户的行为和所处环境对其所承担的感知任务具有至关重要的影响,例如在嘈杂的环境中收集用户的语音信息时需要将噪音进行处理,以保证获取高质量的语音信息^[36],因此如何有效地感知和识别复杂的用户行

为和其所处的周边环境是大规模群体感知所面临的又一个巨大挑战。用户的行为和所处环境信息的判断和识别可以统称为终端上下文感知。

在大规模群体感知应用中,终端上下文感知需要重点研究和解决的是移动终端如何通过收集有关用户行为和周围环境的信息来自动启动感知数据采集任务以及获取感知服务。目前,人们针对如何进行移动终端上下文感知进行了大量研究,取得了丰硕的研究成果。达特莫斯大学的 Miluzzo 等人提出了一种自动识别终端上下文的处理框架,其能够正确识别手机所处环境(在手中还是衣袋等)。通过移动终端携带的位置、方向、加速度等信息,传感设施能够对用户的行为如行走、跑步、开车等进行有效的识别和判断^[37-39]。终端上下文感知的难点在于终端环境的复杂性、有限终端处理能力和能耗问题。由于移动终端的限制,终端上下文感知算法必须是相对简单的、轻量级的;另一方面由于用户终端环境往往比较复杂,这就为终端上下文感知带来极大的困难,一种有效的解决方案是利用终端的多传感器协同来减轻终端上下文感知的压力^[4,39-41]。终端上下文感知的效果往往很大程度上影响感知数据的质量,因此终端上下文感知是移动群体感知急待解决的关键性问题。

5.3 高效的云端大数据融合和服务的实时推送机制

在基于“端+云”体系架构的大规模群体感知应用中,云端数据处理的压力随着移动群体感知规模和系统规模的扩大而急速增加,逐渐成为移动群体感知的一大难题。收集到的感知数据种类繁多(音频、视频、图像、文本等)、质量参差不齐,如何对这样异构的大规模数据集进行有效管理(维护、更新等)同样是一个挑战。这不仅仅是大规模感知所特有的挑战,更是所有大规模分布式应用所共有的挑战。

有效地对云端海量异构性数据进行融合是巨大的挑战。云端大数据融合不只是移动群体感知的独有挑战,它是所有大规模分布式应用的共性问题。移动群体感知云端大数据融合主要采取基于兴趣点的群组数据挖掘,其中涉及到人工智能中有关群组数据挖掘方面的知识。例如 GeoLife 中采用的是协同过滤的方法^[15]对不同的兴趣点进行数据挖掘。大规模移动群体感知的数据是海量的,快速地从海量数据中提取出具有相同兴趣点的用户感知数据也是一个挑战。

感知信息的价值往往随着时间的流逝而降低,云端大数据融合的效率是需要考虑的首要问题。目前业界普遍采用的是并行计算模型。分布式批处理模型(如 Map-Reduce 模型^[42])、分布式流式计算模型^[43]都是可选的解决方案。批处理模型适合于利用用户历史信息挖掘的感知类应用,如通过对用户的运动信息进行挖掘的健康类应用。而流式计算模型适合于数据变化迅速、流量巨大的场景,如社交网络中的舆论态势分析。目前 Twitter、Facebook 等成熟的社交网络平台已经为实时数据分析找到了解决方案——流式计算(Twitter Storm、Facebook Puma)。它们都为移动群体感知云端大数据融合的计算模式提供了借鉴。

由于用户规模庞大,用户请求也是大量的,如何迅速地对用户的服务请求进行响应也是要考虑的问题。有效地对用户请求进行分类、设定优先级、实时响应成为大规模移动群体感知的一大研究重点。可借鉴的处理方法来自一些大型的商业

网站,如亚马逊、淘宝等。毫无疑问它们的单位时间请求量是巨大的,例如淘宝采用的是在线数据分析,它能够实时处理用户请求,并且能够允许用户随时更改分析的约束和限制条件。亚马逊采用的是 Spark 集群计算系统来处理实时请求。这些方法为大规模移动群体感知应用中云端大规模数据分析、处理和融合提供了有益的借鉴。

5.4 用户隐私问题

隐私问题是用户最为关心的问题。用户总是对自上传的感知数据是否会泄露个人信息心存顾虑。例如,得到特定用户的 GPS 信息,我们就可以对其跟踪;得到其个人信息(如银行帐号等)也可以进行非法盗取他人财物等等。隐私问题是移动群体感知走向大规模的关键,因而移动群体感知应注重隐私方面的研究^[44-46]。Kapadia 等人研究了机会式感知中面临的隐私挑战及应对措施^[12]。达姆施塔特工业大学的 Christin 等人研究了参与式感知中面临的安全挑战及应对措施^[44]。新泽西理工学院的 Jing Shi 等人提出了一种保护隐私的数据聚合方案,其能够有效地支持求和、平均、方差、中位数、直方图等多种数据聚合操作^[47]。

概括起来,移动群体感知需要从 3 个方面来保证用户的隐私安全,即终端、上传链路、云端。终端防止隐私泄露的手段主要有数据的加密,同时上传链路上也可以加入安全机制。云端的隐私问题也不能够忽视,云端泄密的主要原因是非法地读取用户信息造成隐私泄露。这就需要在云端数据管理方面增加防止恶意攻击、恶意访问的安全机制。移动群体感知处理过程中各个可能带来安全威胁的部分都要设置安全机制以保证用户的隐私安全。

结束语 本文对移动群体感知技术进行了综述,主要介绍了移动群体感知的内涵,力图对移动群体感知技术的范畴与研究内容进行准确的概括和描述。在此基础之上对现有的移动群体应用进行了总结和分析,提出了移动群体感知面向规模化和系统化的发展趋势。大规模环境下“端+云”的体系架构是移动群体感知的必然发展方向,利用云端来进行数据处理能够减轻终端的压力,同时云端无限的计算、存储资源为移动群体感知的规模化提供了有力支撑。最后本文从云端和终端两个方面论述了移动群体感知面临的全新挑战并且给出了可能的解决方案。

移动群体感知将人们生活的物理世界与人们所处的信息世界有效地融合在一起,毫无疑问其魅力是势不可挡的。研究表明,2013 年中国移动互联网用户规模将达 6.48 亿,移动互联网已经取代固定互联网成为人们交流和共享的主要方式。同时智能手机等移动终端也逐步取代功能机成为人们通信工具的首选。移动群体感知大规模化的条件已经成熟。移动群体感知的应用前景非常广阔。需求驱动技术,目前移动群体感知的研究大都是面向小规模应用,大规模环境下移动群体感知有待全新的探索。移动群体感知是一个新兴的研究领域,相信随着移动终端技术、移动云计算技术的发展,移动群体感知将深入我们的生活,为我们的日常生活提供舒适、自然、便捷的服务。

参 考 文 献

[1] Lane N D, Miluzzo E, Lu H, et al. A survey of mobile phone

sensing[J]. *Communications Magazine*, 2010, 48(9): 140-150

[2] Hull B, Bychkovsky V, Zhang Y, et al. CarTel: a distributed mobile sensor computing system[C]// *SenSys'06*, Proceedings of the 4th international conference on Embedded network sensor systems, *SenSys'06*, ACM, New York, NY, USA, 2006: 125-138

[3] Eisenman S B, Miluzzo E, Lane N D, et al. BikeNet: A mobile sensing system for cyclist experience mapping[J]. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 2009, 6(1): 6

[4] Miluzzo E, Lane N D, Fodor K O F, et al. Sensing meets mobile social networks: the design, implementation and evaluation of the CenceMe application[C]// *SenSys'08*, Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems, ACM, New York, USA: 2008: 337-350

[5] Murty R, Gosain A, Tierney M, et al. CitySense: A vision for an urban-scale wireless networking testbed[C]// *Technologies for Homeland Security*, 2008 IEEE Conference on. Waltham, MA, 2008: 583-588

[6] Rana R K, Chou C T, Kanhere S S, et al. Ear-phone: an end-to-end participatory urban noise mapping system[C]// *IPSN'10* Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks, ACM, New York, USA, 2010: 105-116

[7] Burke J A, Estrin D, Hansen M, et al. Participatory sensing[C]// *WSW'06*, Mobile Device Centric Sensor Networks and Applications, 2006: 117-134

[8] Goldman J, Shilton K, Burke J, et al. Participatory Sensing: A citizen-powered approach to illuminating the patterns that shape our world[R]. Foresight & Governance Project, White Paper, 2009

[9] Roggen D, Forster K, Calatroni A, et al. OPPORTUNITY: Towards opportunistic activity and context recognition systems[C]// *World of Wireless, Mobile and Multimedia Network & Workshops*, 2009. WoWMoM 2009. IEEE International Symposium on. IEEE, 2009: 1-6

[10] Reddy S, Estrin D, Srivastava M. Recruitment framework for participatory sensing data collections[M]// *Pervasive Computing*. Springer, 2010: 138-155

[11] Reddy S, Shilton K, Burke J, et al. Evaluating participation and performance in participatory sensing[C]// *Int. Workshop on Urban, Community and Social Applications of Networked Sensing Systems*. Raleigh, NC, 2008: 1-5

[12] Kapadia A, Kotz D, Triandopoulos N. Opportunistic sensing: Security challenges for the new paradigm[C]// *First International Communication Systems and Networks and Workshops*, 2009. COMSNET 2009. IEEE, 2009: 1-10

[13] Lane N D, Eisenman S B, Musolesi M, et al. Urban sensing systems: opportunistic or participatory? [C]// *Proceedings of the 9th workshop on Mobile computing systems and applications*. ACM, 2008: 11-16

[14] Kim S, Robson C, Zimmerman T, et al. Creek watch: pairing usefulness and usability for successful citizen science[C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2011: 2125-2134

[15] Zheng Y, Xie X, Ma W. Geolife: A collaborative social networking service among user, location and trajectory[J]. *IEEE Data*

- Engineering Bulletin, 2010, 33(2):32-40
- [16] Kranstauber B, Cameron A, Weinzerl R, et al. The Movebank data model for animal tracking[J]. Environmental Modelling & Software, 2011, 26(6):834-835
- [17] Mun M, Reddy S, Shilton K, et al. PEIR, the personal environmental impact report, as a platform for participatory sensing systems research[C]//Proceedings of the 7th international conference on Mobile systems, applications, and services. ACM, 2009:55-68
- [18] Consolvo S, McDonald D W, Toscos T, et al. Activity sensing in the wild: a field trial of ubifit garden[C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2008:1797-1806
- [19] CENS/UCLA. Participatory Sensing/Urban Sensing Projects [OL]. <http://research.cens.ucla.edu>
- [20] Xing X, Liang Y, Cheng H, et al. SafeVchat: Detecting obscene content and misbehaving users in online video chat services [C]//Proceedings of the 20th international conference on World Wide Web. ACM, 2011:685-694
- [21] Srivastava M, Abdelzaher T, Szymanski B. Human-centric sensing[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2012, 370 (1958):176-197
- [22] Giordano S, Puccinelli D. The human element as the key enabler of pervasiveness [C]//Ad Hoc Networking Workshop (MedHoc-Net), 2011 The 10th IFIP Annual Mediterranean. IEEE, 2011:150-156
- [23] Iida I, Morita T. Overview of Human-Centric Computing [J]. Fujitsu Sci. Tech. J., 2012, 48(2):124-128
- [24] Ganti R K, Pham N, Ahmadi H, et al. GreenGPS: A participatory sensing fuel-efficient maps application [C]//Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services. ACM, 2010:151-164
- [25] Dutta P, Aoki P M, Kumar N, et al. Common sense: participatory urban sensing using a network of handheld air quality monitors[C]//Proceedings of the 7th ACM conference on embedded networked sensor systems. ACM, 2009:349-350
- [26] Thiagarajan A, Ravindranath L, Lacerda K, et al. VTrack: accurate, energy-aware road traffic delay estimation using mobile phones[C]//Proceedings the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. ACM, 2009:85-98
- [27] Mcnamara L, Mascolo C, Capra L. Media sharing based on colocation prediction in urban transport [C]//Proceedings of the 14th international conference on Mobile computing and networking. ACM, 2008:58-69
- [28] 於志文, 於志勇, 周兴社. 社会感知计算: 概念, 问题及其研究进展[J]. 计算机学报, 2012, 35(1):16-26
- [29] Froehlich J, Neumann J, Oliver N. Measuring the pulse of the city through shared bicycle programs [C] // Proc. of UrbanSense08. 2008:16-20
- [30] Miluzzo E, Lane N D, Campbell A T, et al. CaliBree: A self-calibration system for mobile sensor networks[M] // Distributed Computing in Sensor Systems. Springer, 2008:314-331
- [31] Lu H, Lane N, Eisenman S, et al. Bubble-sensing: A new paradigm for binding a sensing task to the physical world using mobile phones[C]//Intl. Workshop on Mobile Devices and Urban Sensing. 2008
- [32] Eisenman S B, Lu H, Campbell A T. Halo: Managing node rendezvous in opportunistic sensor networks [M] // Distributed Computing in Sensor Systems. Springer, 2010:273-287
- [33] Reddy S, Estrin D, Hansen M, et al. Examining micro-payments for participatory sensing data collections [C] // Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous. ACM, 2010:33-36
- [34] Eisenman S B, Lane N D, Campbell A T. Techniques for improving opportunistic sensor networking performance [M] // Distributed Computing in Sensor Systems. Springer, 2008:157-175
- [35] Kanjo E, Bacon J, Roberts D, et al. MobSens: Making smart phones smarter[J]. Pervasive Computing, 2009, 8(4):50-57
- [36] Lu H, Pan W, Lane N D, et al. SoundSense: scalable sound sensing for people-centric applications on mobile phones[C]//Proceedings of the 7th international conference on Mobile Systems, applications, and services. ACM, 2009:165-178
- [37] Kern N, Schiele B, Schmidt A. Multi-sensor activity context detection for wearable computing [M] // Ambient Intelligence. Springer, 2003:220-232
- [38] Bao L, Intille S S. Activity recognition from user-annotated acceleration data[M]//Pervasive Computing. Springer, 2004:1-17
- [39] Harrison B L, Consolvo S, Choudhury T. Using multi-modal sensing for human activity modeling in the real world[M]//Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments. Springer, 2010:463-478
- [40] Bao L, Intille S S. Activity recognition from user-annotated acceleration data[M]//Pervasive Computing. Springer, 2004:1-17
- [41] Lester J, Choudhury T, Borriello G. A practical approach to recognizing physical activities[M]//Pervasive Computing. Springer, 2006:1-16
- [42] Yang H, Dasdan A, Hsiao R, et al. Map-reduce-merge: simplified relational data processing on large clusters[C]//Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data. ACM, 2007:1029-1040
- [43] Neumeyer L, Robbins B, Nair A, et al. S4: Distributed stream computing platform[C]//Data Mining Workshops (ICDMW), 2010 IEEE international Conference on. IEEE, 2010:170-177
- [44] Christin D, Reinhardt A, Kanhere S S, et al. A survey on privacy in mobile participatory sensing applications[J]. Journal of Systems and Software, 2011, 84(11):1928-1946
- [45] Cornelius C, Kapadia A, Kotz D, et al. Anonymsense: privacy-aware people-centric sensing[C]//Proceedings of the 6th international conference on Mobile systems, applications, and services. ACM, 2008:211-224
- [46] Gilbert P, Cox L P, Jung J, et al. Toward trustworthy mobile sensing[C]//Proceedings of the Eleventh Workshop on Mobile Computing Systems & Applications. ACM, 2010:31-36
- [47] Shi J, Zhang R, Liu Y, et al. PrisenSense: privacy-preserving data aggregation in people-centric urban sensing systems[C]//INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE. IEEE, 2010:1-9