

社会感知计算:概念、问题及其研究进展

於志文¹⁾ 於志勇²⁾ 周兴社¹⁾

¹⁾(西北工业大学计算机学院 西安 710129)

²⁾(福州大学数学与计算机科学学院 福州 350108)

摘 要 普适计算技术的发展极大地丰富和增强了人类获取数据的途径和能力,如何利用这些感知数据,理解人类的社会行为与活动,实现计算“以人中心”并为社会服务的目标,是当前信息领域的重要问题.本文介绍了计算机科学领域的一个刚刚兴起的研究主题——社会感知计算.社会感知计算旨在通过人类生活空间日益部署的大规模多种类传感设备,实时感知识别社会个体的行为,分析挖掘群体社会交互特征和规律,辅助个体社会行为,支持社群的互动、沟通和协作.论文讨论了社会感知计算的概念、起源、模型和主要研究问题,综述了社会感知计算典型系统与应用、数据感知、行为与交互分析、社会理论与规律验证以及社会交互高效支持等方面的研究进展.

关键词 普适计算;社会感知计算

中图法分类号 TP391 **DOI号**: 10.3724/SP.J.1016.2011.00000

Socially Aware Computing

YU Zhi-Wen¹⁾ YU Zhi-Yong²⁾ ZHOU Xing-She¹⁾

¹⁾(School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129)

²⁾(College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou 350108)

Abstract The advances of pervasive computing technologies significantly enhance the capabilities for data capture. Using the sensing data to understand human behavior, mobility, and activity, and ultimately help to solve social problems is a great challenge in the information era. This paper introduces a new emerging research topic in computer science—Socially Aware Computing. The new paradigm aims at leveraging the large-scale diverse sensing devices deployed in human daily lives to recognize individual behaviors, discover group interaction patterns, and support community communication and collaboration. The paper discusses the concept, origin, model, and research topics of Socially Aware Computing. It also reviews the current stage of the field in five aspects: system and application, data sensing, behavior and interaction analysis, social theory and law verification, and social interaction support.

Keywords pervasive computing; socially aware computing

1 引言

随着嵌入式设备、无线传感网络、移动计算等快

速发展,集成感知、计算和通信能力的普适智能系统被广泛部署,并逐步融入到人类的日常生活环境.普适计算技术,确切地说传感技术和情境感知(Context Aware)技术,以前所未有的方式增强我们收集、分

收稿日期:2010-09-13;最终修改稿收到日期:2011-12-03.本课题得到国家“九七三”重点基础研究发展规划项目基金(2012CB316400)、国家自然科学基金(60903125)、教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NCET-09-0079)、陕西省科学技术研究发展计划(2011KJXX38)、陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2010JM8033)和微软高校合作项目资助.於志文,男,1977年生,博士,教授,博士生导师,中国计算机学会(CCF)高级会员,主要研究领域为普适计算、移动互联网和智能信息技术. E-mail: zhiwenyu@nwpu.edu.cn.於志勇,男,1982年生,博士,讲师,主要研究方向为普适计算、社会感知计算和计算机支持的协同工作.周兴社,男,1955年生,教授,博士生导师,中国计算机学会(CCF)常务理事,主要研究领域为嵌入式计算、普适计算和网格计算.

析和利用数据的广度和深度。

人类生活在由通信网、互联网、传感网等相互融合所形成的混合网络环境中。人类在混合网络环境中留下的数字足迹汇聚成一副复杂的个体和群体行为图景,有助于理解并支持人类的社会活动^[1]。通过对人类及其社会行为的科学理解,可以提高我们的日常生活质量,如减少交通拥塞、限制疾病传播和优化公共资源调度^[2]。

社会感知(Social Awareness/Socially Aware)是来自社会学的概念,用于描述人们的各种社交能力或现象:

(1)知道社会上什么行为是被接受的,并且遵循此规范^[3];

(2)能理解和处理关于社会传统与制度、文化多样性、群体动力学等问题;

(3)有利于交朋友、提高自信心的得体行为^[4];

(4)对归属感、联系感和被关心的感受^[5];

(5)具有同情心,能体会别人的处境^[6]。

人们在一些重要的活动中常常潜意识地用到社会感知,如谈恋爱,在家庭和工作中对经济 and 情感进行谈判,交朋友并维护社会联系,建立信用、威望并影响他人。社会感知如此重要以致不可缺少,否则会带来严重的个人发展问题,如孤独症^[7]。

而在计算机科学领域中,社会感知的涵义主要指计算机系统对社会情境(Social Context)的感知和响应。具有社会感知能力的计算机系统可以帮助人们了解当前状况,提升社交技巧,促进良性交互,满足个人的社会性需求,比如通话时流露的厌烦语气通过手机监测,并提出警告^[8]。

在此,我们先给出社会感知计算的一般性定义。社会感知计算(Socially Aware Computing)是通过人类生活空间日益部署的大规模多种类传感设备,实时感知识别社会个体的行为,分析挖掘群体社会交互特征和规律,辅助个体社会行为,支持社群的互动、沟通和协作。社会感知计算的核心在于“感知”二字,有两层涵义,首先感知现实世界(Sensing),然后觉察并做出响应(Aware)。

与基于单一 Web 数据或用户调查数据的社会计算(Social Computing)^[9]或社会网络分析(Social Network Analysis)^[10]不同,社会感知计算强调利用先进计算机科学技术感知现实世界个体行为和群体交互,理解人类社会活动模式,并为个体和群体交互提供智能辅助和支持。

如图 1 所示,社会感知计算借助普适环境新型

智能设备和技术可以感知现实世界实时、连续、现场数据,经过分析和处理,通过普适环境大量作动器和智能设备,直接作用于现实世界。社会感知计算为社会科学提供新的研究方法、工具和科学数据,同时社会科学可以为社会感知计算提供拟解决的社会问题和成熟的社会学理论。社会科学本身通常利用问卷调查或观察等手工方法获取现实世界数据,通过间接反馈如解释、预测等作用于现实世界。因此,社会感知计算可以很好地将社会科学和现实世界联系起来。

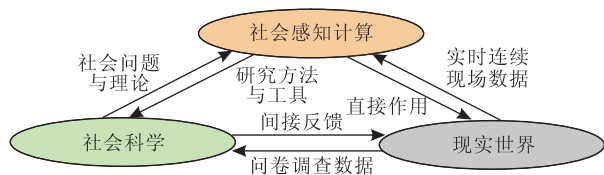


图 1 社会感知计算、社会科学和现实世界的关系

2 社会感知计算起源

人类从未停止过对自身及其所处社会的探究。人类行为的感知理解和社会交互的规律认识,一直是科学界关注的重大基础研究问题。从研究方法和数据获取的角度,围绕这一主题的研究经历了 4 个主要阶段。

早期研究人员通过书面问卷调查、面谈和第三方观察,收集人类活动和社会现象数据,采用统计归纳法,分析理解人类活动规律和特征^[11]。这种方法通常只能小范围采样,其缺点是数据量少,很难具备广泛代表性;其次是静态的,只是一个截面数据;另外这种方法获得的调查数据可能不太准确,因为数据常常带有个人主观偏见。

科学计算机的发明,为分析人类行为和社会现象提供了高效的计算和仿真工具,程序模拟法应运而生^[12]。其通过 Agent 的自下而上的编程,给每个 Agent 设置一定的初始条件和互动规则,让 Agent 之间,Agent 与环境之间进行互动,模拟现实世界的社会交互,最后对互动结果进行分析。这种方法不需要调查数据,就可以进行仿真实验,但需要经典理论和假设的支撑,以设定初始条件和互动规则。

进入互联网时代,尤其是 Web 2.0 的出现,为研究人员分析在线行为和社会网络提供了海量数据来源,社会计算得以蓬勃发展,社会软件和应用不断涌现,如网民行为模式挖掘、网络舆情分析和网络反恐。基于 Web 数据的研究方法,相对于早期的书面问卷调查,可以获得大规模数据,但是在线行为属于

虚拟行为,与真实世界具有时空特征的人类移动和交互有着本质的差别。

普适计算的出现极大地丰富和增强了研究人员获取数据的途径和能力,社会感知计算正是在社会计算需求和普适计算技术发展的推动下问世,或者说是社会计算与普适计算的融合产物。社会感知计算通过大规模多种类传感设备,如普适传感器(RFID、运动传感器、音视频传感器等)、智能手机(GPS、通话记录、短信收发)、结合电子邮件、Web(DBLP、论坛、社交网站、博客、Wiki)等,能够获取关于人类社会行为和交互的大规模、客观、实时、连续、动态的现场数据,为人类行为理解和交互规律认识的研究提供坚实基础。除了分析理解之外,社会感知计算还强调从个体、群体和社会3个层面为人类行为和交互提供智能辅助和支持。

社会感知计算的一些初步思想在计算机支持的协同工作(Computer Supported Cooperative Work, CSCW)中有所体现。CSCW中强调的群体感知,其实就是一种社会感知。群体感知的目标是建立包括外部环境和协作成员的协作场景,为协作成员提供与外部环境和其他协作成员之间的高效信息交换。

尽管社会感知在CSCW等研究领域有所提及,但社会感知计算真正成为独立研究主题,始于美国MIT科学家Alex Pentland的倡导。2005年他在IEEE Computer杂志上发表了题为“Socially Aware Computation and Communication”的论文^[8],首次提及社会感知计算。论文通过对人际交往中的社会情境,如说话声调、面部动作和姿势进行量化,并可视化呈现,以此促进人们的社会交往。在接下来的几年,有关社会感知计算的概念定义、研究范围、理论依据、典型应用等渐渐明晰并充实起来,科研人员也形成了相当规模的研究社区。2009年Alex Pentland和哈佛科学家David Lazer等在美国科学杂志(Science)上撰文阐述了通过收集和分析海量现实生活数据流理解个体、组织和社会^[1],其思路和目标与社会感知计算不约而同,但是更侧重于计算和分析。目前社会感知计算的研究正处于兴起阶段,沿着几个不同的路线进行,如定义新的社会信号、整合更多的交互形态、开发专用的社会传感器、发展新的从交互数据中学习的算法等^[7]。

3 社会感知计算模型

一个粗象模型有助于理解社会感知计算的本

质,确切地说,模型刻画人、计算系统、环境等基本实体之间组织结构和交互关系,描述计算的输入输出、运行机理和模式。在此,我们提出了社会感知计算的实体联系模型。

3.1 实体联系模型

实体联系模型(Entity-Relationship Model)^[13]提供了面向用户的表示实体、联系及其属性的方法和图形符号,用于对现实世界进行概念化描述。本文借鉴此模型来阐述社会感知计算的基本实体和交互关系,形式化表示为

$$C=(E,R),$$

其中, C 为社会感知计算,由二元组构成,如图2所示。 E 为实体集,其中的元素可以粗略地被认为是名词,图2中用矩形框表示。 R 为联系集,其元素可以粗略地被认为是动词,图2中用连线和箭头表示,并连接2个实体。

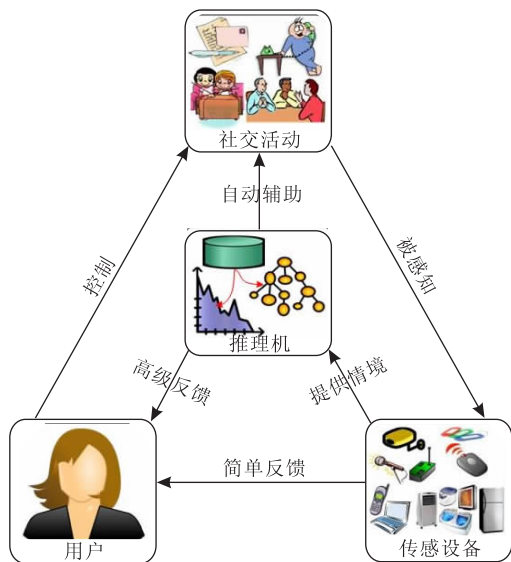


图2 社会感知计算模型

3.1.1 实体

$E=\{e_U, e_A, e_S, e_R\}$,4个基本功能实体分别为:

(1) e_U 为用户。用户是社会感知计算的服务对象,也是社交活动的执行者,可能是个体,也可能是群体。社会感知计算需要对用户进行深度理解,包括可演化的用户模型、多模态人机交互、个性化技术、以用户为中心的评价方法等。

(2) e_A 为社交活动。社交活动指多人之间信息交流和相互影响的行为系列,例如写信、打电话、约会、开会、面试、演说等,而群体协作则是某些社交活动的概称。对社交活动的特别关注是社会感知计算与更一般的情境感知计算或普适计算的标志性区别,其研究有多学科交叉的特点,往往需要结合社会科

学的知识,才能准确地实现对社交活动的分析、识别和相关辅助功能。

(3) e_S 为传感设备. 传感设备是现实世界的信息向数字世界传递的入口,相当于计算系统的五官. 传感设备既可以是手动输入的接口,如键盘、鼠标、触摸屏等,也可以是基于自然交互的实物接口,嵌入在其它功能设备中,以最小化对用户注意力的需求,如音视频传感器、加速度传感器、温度/湿度/压力传感器、RFID 等. 无侵扰、稳定性好、精度高的传感设备是研究的重点。

(4) e_R 为推理机. 推理机相当于计算系统的大脑,其作用是从基本(指直接感知到的、可能冲突的、不精确的、孤立的)情境知识中推导出高级(指不能直接感知的、一致的、精确的、聚合的)情境知识. 推理算法大体上可分为基于领域知识(如基于案例的推理,基于规则的推理,基于本体的推理等)和基于数据统计(贝叶斯网络、支持向量机、决策树等). 随着云计算的兴起,推理机将会向通用化、大规模、多种算法结合的方向发展。

3.1.2 联系

$R = \{r | r = \langle e_i, e_j \rangle\}$, 其中 $e_i, e_j \in E$ 且 $e_i \neq e_j$. 联系连接的 2 个实体不是对称的,具有方向性,揭示了计算的输入输出和信息或控制的流向。

(1) 被感知 = $\langle e_A, e_S \rangle$ 为社交活动被传感设备感知. 要点在于尽可能获取所有可能有助于理解活动的物理环境、人际关系、群体结构、交互的内容、形式、结果等实时、连续、动态的现场原始信息。

(2) 提供情境 = $\langle e_S, e_R \rangle$ 为传感设备向推理机提供情境. 由于传感设备的异构性,原始信息需要经过模数转换和初步整理得到基本情境,再以统一的表示格式传递给推理机。

(3) 简单反馈 = $\langle e_S, e_U \rangle$ 为传感设备向用户提供简单反馈. 未经过推理机,传感设备将得到的基本情境信息以某种形式呈现给用户(由用户的视、听、触等感觉器官接收)。

(4) 高级反馈 = $\langle e_R, e_U \rangle$ 为推理机向用户提供高级反馈. 推理机经过推导,将得到的高级情境信息以某种形式呈现给用户,如统计、预测、推荐、提醒等,并不做任何执行动作。

(5) 自动辅助 = $\langle e_R, e_A \rangle$ 为推理机自动辅助社交活动. 推理机自动执行适应当前高级情境的任务. 如重要会议开始时自动关闭手机铃声,刚认识的人自动交换电子名片等。

(6) 控制 = $\langle e_U, e_A \rangle$ 为用户控制社交活动. 控制

意味着用户按照给定的条件和目标做什么或不做什么,以影响社交活动的过程和结果,如调整语气、改变手势、选择某个节目等。

3.2 运行模式

可以看出图 2 中存在 3 条回路,分别对应了社会感知计算 3 种不同的运行模式,形象称之为感官延伸模式、脑力延伸模式和自主模式. 在实际系统中它们可能独立存在,也可能多种模式相互结合。

3.2.1 感官延伸模式

感官延伸模式对应“ $e_A-e_S-e_U-e_A$ ”这条回路,指社交活动的状态信息被传感设备获取后,直接简单反馈给用户,用户再依据反馈信息控制自己的交互行为. 其意义在于,有些信息是无法通过人的感官捕获到的,比如视频会议,若没有摄像头、话筒、屏幕、音箱的帮助,距离遥远的人们是不可能互相看见或听见的. 另外有些信息是人能感觉到,但无法准确量化的,搜集起来以更形象的方式呈现给用户,比如发言持续时间,声音的能量等. 这些功能并没有经过复杂的推理,相当于仅仅增强了人的感官能力,思考和判断仍然由用户自己完成。

3.2.2 脑力延伸模式

脑力延伸模式对应“ $e_A-e_S-e_R-e_U-e_A$ ”这条回路,指社交活动的基本情境被感知后,提供给推理机,由推理机推导出高级情境反馈给用户,用户再据此调整自己的行为. 这种模式与感官延伸模式相比更加智能,推理机承担一部分记忆、运算、决策等脑力劳动,减轻了用户的负担. 比如用户遇到一个似曾相识的人,却记不起来到底是谁,会比较尴尬,推理机通过某种身份识别算法即可辨认出来. 再如生气等情绪,尽管可以被用户直接观察到,但用户注意力有限,有可能专注于其它事情而忽略别人的感受,这时就需要推理机综合多种基本情境才能做出识别,然后提醒用户。

3.2.3 自主模式

自主模式对应“ $e_A-e_S-e_R-e_A$ ”这条回路,指传感设备获取社交活动的状态信息,推理机经过分析后自动辅助社交活动. 这种模式与脑力延伸模式相比更加主动,全程无需用户参与,亦可称为“傻瓜”模式. 当然自动辅助动作需要事先得到用户的授权. 自主模式适用的情况为任务出错率很低;即使出错也无严重后果;最优与次优候选项差异显著,无需用户仲裁;用户注意力集中于更高优先级的任务上,需在后台静默执行. 反之,则不宜采用自主模式. 也可与感官延伸模式或脑力延伸模式进行折中,可减少用

户的繁琐操作,只在必要时让用户决策并执行,毕竟社交活动的主体是人,一些面对面的谈话、眼神交流、肢体表达等任务计算系统是无法代替用户完成的。

4 社会感知计算主要研究问题

根据前面提出的抽象模型,可以归纳总结出社会感知计算的 4 个主要研究问题:

(1) 现实世界实时数据感知. 利用现实物理世界部署的大规模多种类传感设备实时感知物理世界社会个体的活动原始数据^[14-17]. 不同模态数据的语义表示和关联^[18-19]. 大规模感知数据的汇聚、融合和存储^[20-21].

(2) 人类行为与交互分析. 个体行为识别,及其行为特性和规律分析^[22-23]. 在个体行为、移动性和社会交互数据的基础上,利用社会网络分析、机器学习、数据挖掘等方法,分析群体社会交互,如群体形成、组织结构、群体活动、交流模式及其动态演化^[24-26].

(3) 社会交互高效支持. 在了解个体社会行为,群体社会交互状态和规律的前提下,提供社会交互高效智能支持策略和机制^[17,27-29]. 具体技术包括个性化推荐、社会交互状态可视化、群体协作支持、智能决策等。

(4) 社会感知计算应用. 社会感知计算可以应用在很多重要领域,如社交网络(移动社交服务)、健康卫生(传染病防范)、公共安全(突发事件预警)、大规模系统工程(群体协作支持)、智能交通管理(道路交通协同监测)、城市规划与发展(人口、资源、环境预测与规划)等^[2,20,30-32].

5 社会感知计算研究进展

本节首先介绍已有的典型社会感知系统,比较它们的传感设备、功能和应用背景. 然后分析几个关键技术在这些系统中的具体表现,其中属于“被感知”、“提供情境”和“简单反馈”的有现实世界实时数据感知技术;属于“高级反馈”的有人类行为与交互分析技术、社会理论与规律验证技术;属于“自动辅助”和“控制”的有社会交互高效支持技术。

5.1 典型的社会感知系统

表 1 所示为目前的典型社会感知系统,它们所采用的传感设备不同,所实现的功能也各具特色。

表 1 典型社会感知系统

系统/项目	主要功能	传感设备	参考文献
Bluedating	本地化约会服务	手机, 蓝牙	[33]
Genie	线下问答系统, 促进知识交换	可穿戴设备	[27]
DeaiExplorer	促进参会人员交流	RFID	[28]
CenseMe	在社交网站上实时自动共享个人活动、心情、习惯、环境	手机, 可穿戴传感器	[31]
Healthy Aging	帮助老人约定共同的活动时间	红外摄像头, 步程计	[34]
Sensible Orb	团队动力学分析, 可视化员工的工作状态	社会测量传感器	[14]
Serendipity	识别关系, 推荐新朋友	手机, 蓝牙	[15]
UbER-Badge	采集参会人员的兴趣和联系	智能标签	[16]
AMI	在线或线下会议实时支持	摄像头, 麦克风	[17]
VENETA	促进朋友的朋友交往	手机	[29]
ContextContacts	让朋友之间共享彼此当前的位置、活动和情绪	手机	[35]
GroupMedia	量化声调、头部动作和皮肤电, 计算兴趣指标	可穿戴计算机	[23]
VibeFones	打电话时提醒语气, 约会训练	手机	[36]
Meeting Mediator	实时显示会议的平衡性	社会测量传感器	[37]
Real Time Rome	分析城市的动力学特征	手机	[20]
Biketastic	分析道路拥堵情况和空气质量, 推荐路线	手机	[32]

这些系统所面向的应用主要集中在 3 个方面: 增强社交网络、健康卫生和城市规划与交通管理。

5.1.1 增强社交网络

通过感知信息,如位置和邻近,利用移动设备支持和促进人们的面对面社会交互. 最具代表性的研究工作是美国达特茅斯学院的个人感知应用 CenceMe^[31]. 系统通过手机获取原始感知数据,如麦克风采集的音频数据、加速度传感器采集的用户移动速度、蓝牙扫描到的地址、GPS 获取的用户空间位置信息及摄像头随机拍摄的照片,采取分类技术,识别用户的基本活动(坐、站、走及跑)信息,基于规则学习算法提取用户的移动轨迹,在此基础上提取更高层次的语义,如在某个街道上行走、参加派对等. 然后将这些信息通过在线社交网络(如 Facebook)共享,加强用户之间的社会交互。

此外, Konomi 等人^[28]将社交网络显示在大型触摸屏上,并通过 RFID 定位技术,让会议人员了解他们之间的联系和大致物理位置,促进社会交流. Beale^[33]描述了几个典型的利用智能手机增强社会交互的应用:基于位置的约会服务、社群构建、文件共享和移动博客. Genie 系统^[27]是可穿戴社群的一

个具体实现,通过在移动计算设备上的 Agent 实现知识交换,每个用户定义一组问题,当 2 个设备邻近时,Agent 互相交换问题,如果用户对收到的问题感兴趣,可以发送一个回复,然后进行面对面交流。

5.1.2 健康卫生

在健康卫生方面,尤其是传染病防控,利用大规模感知数据,生成群体交互网络,可以通过网络途径阻止传染疾病的传播^[38]。麻省理工学院的 Serendipity 项目^[16]较早地指出了社会感知在疫情防控上所具有的潜力。卡内基·梅隆大学的研究认为移动手机感知数据的分析结果可以用于干预疾病传播^[2]。

另外,社会隔离感会导致老年人产生孤独、抑郁、厌倦等负面情绪,增加某些疾病的发病机率。基于社会感知技术,发现与老年人密切相关的社群情境信息,增强老年人与亲人、外界的联系和交互,将面向老年人的健康辅助从单纯的身体辅助上升到认知和社会性辅助,能够有效消除老年人的社会隔离感,提升生活质量。英特尔研究院开发的 Healthy Aging^[34]就是一个典型的系统,通过红外摄像头和步程计监测老人的室内和户外活动,记录彼此的信息,然后提醒老人和他的朋友可以在某个时间一起活动,例如外出散步。

5.1.3 城市规划与交通管理

将社会感知计算应用在城市建筑和规划中,通过传感技术理解人们在一个城市公共区域的活动、移动和交互,将物理空间和社会空间相融合,以路径寻找和事件地图的形式提供可视化服务,增强用户体验^[39]。移动手机数据可以用于分析人类移动性与社会事件的关联,辅助城市应急疏散和交通调度^[16]。麻省理工学院的 CarTel^[40]是一个典型的城市感知系统,通过在用户的交通工具上部署基本的传感设备,采集路况信息、诊断车辆状况。安装在车辆上的嵌入式 CarTel 节点负责采集和处理车辆上所部署的多种传感设备所采集的数据,包括车辆运行信息和道路信息等。在数据通信上,使用 Wi-Fi 或 Bluetooth 等通信技术进行感知数据的交换,车辆上的 CarTel 节点可以在车辆相遇时进行数据交换,也可以通过安装在路边的无线 AP (Access Point) 将数据发送给服务器。

麻省理工学院另一个项目 Real Time Rome^[20]利用大量来自手机、公交、出租车的聚集数据,实时分析罗马城市的动力学特征,为智能交通管理提供支持。Biketastic 项目^[32]通过自行车骑行者的移动手机采集路况信息,辅助他们设计最优路线,尽可能

避免交通事故,并具有最好的空气质量。

5.2 现实世界实时数据感知

社会感知计算的基础是现实数据的感知,即利用不同规模不同种类传感设备实时感知物理世界社会个体的活动原始数据,包括感知设备设计开发、多源异构数据的采集以及大规模感知数据的汇聚、融合和存储。

目前的工作主要集中于设计开发新的感知设备,或者从多种数据源提取分析数据,包括可穿戴传感器、电子邮件、社交网站、论文数据库、即时消息系统和手机等。Olguin 等人^[14]利用可穿戴社会测量传感器 (sociometric badge),感知一个组织或机构内个体移动、说话、邻近等数据,分析员工个性(如神经质、外向、开放和易妥协)和组织行为(工作负荷、压力、生产力和交互质量)。Gips 等人^[16]通过智能标签 (smart badges) 采集参会人员行为数据,如聆听了哪些报告。Malmgren 等人^[41]通过 E-mail 收集人们的通信特征和模式。嵌入式技术、传感技术与通信技术的不断发展与融合,使得手机不再是简单的通信工具,而是一种集成通信、计算与感知能力的便携式个人智能终端,也成为研究人员用于感知个体和社会的重要选择。Eagle 等人^[15]通过手机应用程序采集用户的移动手机数据,如通话历史、短信历史、位置和邻近蓝牙设备。Leskovec 等人^[42]通过微软即时消息系统收集到两亿四千万人的 300 亿次对话,在数据基础上建立了通信网络图。

现有的研究主要利用单一设备或数据源,实际上可以利用的数据可以来自互联网和 Web 应用(电子邮件、即时消息、社交网站等)、固定感知设备(智能空间、城市监控摄像头等)和移动设备(手机、可穿戴传感器等)。这 3 种感知手段具有各自的特点,对它们进行集成和综合利用,可以起到单一感知手段所无法达到的效果。

5.3 人类行为与交互分析

在原始感知数据基础上识别个体行为,分析其行为特性和规律。在个体行为、移动性和社会交互数据的基础上,利用社会网络分析、机器学习、数据挖掘等方法,分析挖掘群体社会交互,如群体形成、组织结构、群体活动、交流模式及其动态演化。

在行为与交互分析方面,一方面是通过学习模型分析传感数据,识别用户行为^[22]。其中学习模型可以分为有监督(如支持向量机、贝叶斯网络、决策树、隐马尔可夫)和无监督(聚类、模式挖掘)2 种。另一方面是通过数值分析的方法,如主成分分析、线性

回归分析和关联分析,发现人类移动性和活动规律. Bayir 等人^[43]通过手机信号塔迁移数据,分析计算用户移动路径,然后通过数据挖掘的方法得到用户移动模式. MIT 的 Reality Mining 项目^[44]通过移动手机数据和关联分析的方法研究用户的朋友关系,以及对工作环境的满意程度. 在 MIT 手机数据基础上, Phithakkitnukoon 等人^[45]采用信息熵的方法计算通话随机度,分析得出位置与通话时机的随机性很相关. Hui 等人^[46]定义了 4 种社会关系: 社群、熟悉的陌生人、陌生人和朋友,通过 4 个现实世界感知的数据集分析个体特征,如受欢迎程度、成员关系和社群发现. Sohn 等人^[26]利用手机 GSM (Global System for Mobile communications) 信号分析用户的移动模式,如步行、驾车或者静止,并计算用户一天步行的确切步数. Kim 等人^[47]利用社会测量传感器,感知购物者的行为,如交谈、姿势、动作、邻近和面对面站立,分析这些特征与购物兴趣的关系,然后采用决策树和支持向量机推理模型,预测购物兴趣. Farrahi 等人^[48]利用手机移动数据,采用文本分析方法 Latent Dirichlet Allocation (LDA) 和 Author Topic Model (ATM) 挖掘个体的日常生活工作规律.

可以看出在个体行为识别上,一般是采用有监督的学习,这种方法需要进行样本训练,算法开销较大,不适合大规模行为和交互分析. 因此在人类移动性和活动规律方面,主要采用数值分析和数据挖掘的方法,它们将是群体交互规律和模式计算分析的主要方法.

另外,现有的研究主要识别个体简单的活动,对复杂个体活动,如并行、交叠和异常活动以及多用户活动研究不够. 另外社会性方面的语义较少,如社会交互中的空间语义、细粒度关系、角色、影响等.

5.4 社会理论与规律验证

利用现实世界感知数据验证经典社会理论是目前社会感知计算的一个研究热点,吸引了大量的研究人员. 其中主要通过移动手机获取现实社会交互数据,建立抽象数学模型,研究人类移动性规律、社交网络特征等.

美国东北大学发表在英国自然杂志 (Nature) 上的研究成果^[24],通过分析手机移动网络数据,发现人的移动轨迹具有高度的时空规律性,从整体上看用户的位移分布接近于幂律模型. 他们在此基础上建立了具有时空特征的移动性网络,分析预测个体的位置和移动性,通过计算分析每个用户移动轨迹的熵,发现 93% 的用户移动具备可预测性^[49]. Bayir

等人^[43]通过分析现实世界手机数据,发现用户移动性在位置时间分布上呈现胖尾现象 (Fat Tail),即少数位置占据用户 85% 的时间,大多数位置共只占有用户 15% 的时间,且都少于 1% 的时间. Onnela 等人^[50]利用大规模手机通信数据,分析移动社交网络的结构和连接强度,研究发现社交网络在去掉强连接时是鲁棒的,但去掉弱连接时却会导致网络瓦解. Eagle 等人^[25]通过手机数据研究发现行为相似的人更有可能成为朋友,验证了社会学中的相似吸引理论. Palla 等人^[51]通过 3 年的科学家合作网络和一年的手机用户通话数据,量化分析社会群体演化,包括群体结构、群体内部成员的变化结构、不同规模群体的演化规律和特点等. 结果表明小规模群体相对比较稳定,人员的流动性要小很多. 而对于规模比较大的群体,人员的流动性是非常强的. Calabrese 等人^[30]通过移动手机数据分析人类移动性与社会事件 (艺术展览、乐队演出、体育赛事等) 的关联,结果表明居住在距离事件较近的人们通常会被该事件吸引,同样类别的事件具有相似的人群来源空间分布,通过这种关系可以预测哪里的人们会参加未来的事件,或者通过人群来源空间分布预测某个事件类别.

现有的研究主要关注个体的位置和移动轨迹,发掘人类的移动性规律. 尽管部分已有工作研究了社交网络的结构和连接特性,但是采用的数据只有通信数据. 需要进一步利用现实社会交互的时空特征数据,分析社会交互的区域性分布、周期性变化等时空特性.

5.5 社会交互高效支持

社会感知计算不仅感知现实世界个体行为和群体交互,理解人类社会活动模式,更重要在于为个体和群体交互提供智能辅助和支持. 社会交互高效支持具体实现技术包括个性化推荐、社会交互状态可视化、群体协作支持、智能决策等.

在社会感知智能辅助和支持系统方面,英国兰卡斯特大学^[27]为增强现实世界面对面社会交互而利用可穿戴计算设备建立和维护社交网络. 其智能辅助支持体现在 2 个方面: (1) 从数字交互到社会交互,如设备的频繁相互发现而推荐交往; (2) 从社会交互到数字交互,如 2 个谈话的人交换电子名片. 欧盟 AMI 项目^[17]进行了“增强多方交互”方面的研究,如在智能会议系统中,通过感知并可视化成员的发言和注视行为,发现主导者,平衡参与度,实时获取和解释科学合作行为,提高交叉学科团队协作过程的创造性. 日本东京大学的 DeaiExplorer 系

统^[28],从 Web 论文数据库中动态抽取特定部分,生成社交网络,显示在大型触摸屏上,让会议参加者发现他们之间的联系,利用 RFID 技术,知晓彼此在会场的大致位置,促进学术交流.瑞士苏黎世联邦理工学院开发了一个移动社交网络的平台 VENETA^[29],采用非集中方式发现朋友的朋友,其方法是当 2 个陌生人进入连接范围时,比较 2 个人的手机联系人列表,如果有共同的联系人,则提示 2 个陌生人,他们是朋友的朋友,以此促进人们的交流.美国 MIT 的 Eagle 等人^[15]通过手机和蓝牙设备,监测近邻设备和用户,应用在企业社会网络动力学分析、辅助约会、会议交流等.微软亚洲研究院利用用户 GPS (Global Positioning System) 数据,理解个人历史轨迹,在大量用户的轨迹数据基础上,发掘兴趣点,为用户提供个性化位置服务^[52].

目前在社会交互支持方面的工作,主要集中于封闭的智能空间,实际上社会交互更多地发生在移动、开放的环境,如何在感知随时随地的技术基础上,针对交流无处不在的需求,提供即时即地的社会交互支持将是下一步研究目标.

6 总结与展望

科学家对真理的不懈探索,推动了技术进步和社会发展,反过来新的技术和应用又影响并改变了科学家研究的内容和方法.社会感知计算正是在普适计算技术的发展下面世,由此产生新的科学问题,新的研究方法、工具和数据,使得感知物理世界,分析社会交互,支持宏观社会成为可能.

社会感知计算为中国计算机科学研究与发展带来新的机遇,通过计算机科学与人文社会科学、认知科学、社会心理学的交叉融合,感知揭示人类社会内在活动规律(与自然规律相对应),体现了重大基础和原始创新研究.开展社会感知计算研究,突破关键技术,提供社会性辅助和支持,提高社会活动的效益和水平,增强社会凝聚力并实现和谐社会,将具有重大的科学意义和社会价值.

总体来说,社会感知计算的研究方法呈现 3 个主要特征:

(1) 基于感知信息 (Sensing-based). 通过大量不同的传感设备获取现实世界连续、实时、动态数据.相比手工收集的数据更加客观、准确.另外通过传感的手段,系统能够大规模部署,获取大量、足够丰富的数据.与 Web 数据相比,感知数据能够反映

真实世界个体行为和社会交互的时空特征.

(2) 数据驱动 (Data-driven). 数据的驱动给社会科学研究提供了一个良机.单纯的程序模拟无法体现真实环境的动态发展变化.大量涌现的人与人之间相互交互的数据能够定量地刻画人类集体行为.通过大规模乃至海量数据的统计分析、深度挖掘获取的知识将更有说服力.

(3) 现场研究 (Field study). 社会感知计算强调以人为中心,注重用户体验,其研究对象包括用户行为、偏好、情绪变化和态度等.与以往实验室研究将用户请到实验室调查或体验不同,现场研究是要求研究者进入到用户所处实际生活环境中进行实验和采集数据,最大的优点在于它的真实性.

虽然社会感知计算从兴起到现在只有几年时间,但取得的研究成果是令人瞩目的,其成果得以在国际顶级学术刊物如自然 (Nature) 和科学 (Science) 上发表.本文第 5 节对其典型系统与应用、关键技术研究的进展进行了概述,在此基础上,仍有如下研究问题值得关注 and 进一步探讨:

(1) 社会理论与计算科学的融合方法.一方面可以将社会学知识引入计算科学,使计算具有人文精神,人机更加和谐,同时社会理论可以指导实际问题的解决;另一方面计算科学通过其强大的感知和计算能力,验证经典社会理论并发现新的社会规律,促进社会理论的发展.这两种思路都可以做出创新性的研究成果.

(2) 用户隐私问题.现实世界感知数据通常会涉及人们的日常生活,这些数据属于敏感信息,利用这些数据分析人类的移动和交互特性,可以帮助我们解决很多社会问题,但是我们需要在数据带来的利益的同时最大程度保护用户的隐私.隐私保护可以从 2 个角度实现:数据的采集和数据的使用. Gonzalez 等人^[53]提出数据采集时可以忽视个体,而聚焦于粗粒度系统描述,即不关注某个具体人的轨迹,而是监测一群人的移动,据此在信息需求和隐私方面取得一个平衡.另外,数据使用和共享之前,可以进行数据匿名化处理^[44],例如在个人数据记录中插入一些随机干扰,防止反向用户身份推测^[2].

(3) 社会感知计算软件框架.需要深入研究社会感知计算基础软件框架,为系统的开发、测试和部署提供支撑,从系统观的角度指导模型和算法的设计.另外社会感知计算系统判断和评价的标准和方法也需要考虑,在此方面已有一些尝试,如 Kortuem 等人^[27]定义了可穿戴社群概念框架,制订设计语言

和开发流程, 提供高级编程抽象; Raento 等人^[35] 针对普适社会感知应用列举了 9 条设计准则。

(4) 有影响力的应用. 社会感知计算目前在一些领域有些初步的应用, 但是还缺乏非常有影响力的应用. 目前我国正处在社会快速发展转型期, 人口基数大, 在健康卫生方面资源相对缺乏; 社会成员构成复杂, 个体行为和群体交互具有随机性和不确定性, 存在社会不稳定因素. 开展面向健康卫生和公共安全的社会感知计算基础理论研究和应用示范将具有重要意义, 例如传染病防控和有组织犯罪预警等。

参 考 文 献

- [1] Lazer D, Pentland A et al. Computational social science. *Science*, 2009, 323(5915): 721-723
- [2] Mitchell T M. Mining our reality. *Science*, 2009, 326(5960): 1644-1645
- [3] Dinev T, Hart P. Internet privacy concerns and social awareness as determinants of intention to transact. *International Journal of Electronic Commerce*, 2005, 10(2): 7-29
- [4] Csóti M. *Social Awareness Skills for Children*. : Jessica Kingsley Publishers, 2001
- [5] Bødker S, Christiansen E. Computer support for social awareness in flexible work. *Computer Supported Cooperation Work*, 2006, 15(1): 1-28
- [6] Caselles A, François C, Metcalf G, Ossimitz G, Stallinger F. Awareness and social systems//Chroust G, Hofer C eds. *Social Systems and the Future*. Vienna, Austria, 2000: 31-42
- [7] Vitrià J. Beyond the user: A review of socially aware computing//Proceeding of the 2007 Conference on Artificial intelligence Research and Development. Amsterdam, The Netherlands, 2007: 6-8
- [8] Pentland A. Socially aware computation and communication. *IEEE Computer*, 2005, 38(3): 33-40
- [9] Wang F et al. Social computing: From social informatics to social intelligence. *IEEE Intelligent Systems*, 2007, 22(2): 79-83
- [10] Scott J. *Social Network Analysis: A Handbook*. 2nd Edition. London: Sage Publications, 2000
- [11] Moser C, Kalton G. *Survey Methods in Social Investigation*. Dartmouth, NH: Dartmouth Publishing Co Ltd, 1985
- [12] Axelrod R. *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. New Jersey, USA: Princeton University Press, 1997
- [13] Chen P. The entity-relationship model-toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems*, 1976, 1(1): 9-36
- [14] Olguin D O et al. Sensible organizations: Technology and methodology for automatically measuring organizational behavior. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, 2009, 39(1): 43-55
- [15] Eagle N, Pentland A. Social serendipity-mobilizing social software. *IEEE Pervasive Computing*, 2005, 3(2): 28-34
- [16] Gips J, Pentland A. Mapping human networks//Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2006). Pisa, Italy, 2006: 503-511
- [17] Nijholt A, Rienks R J, Zwiers J, Reidsma D. Online and offline visualization of meeting information and meeting support. *The Visual Computer*, 2006, 22(12): 965-976
- [18] Yu Z W, Yu Z Y, Zhou X, Nakamura Y. Multimodal sensing, recognizing and browsing group social dynamics. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2010, 14(8): 695-702
- [19] Zhang D, Guo B, Yu Z. The emergence of social and community intelligence. *IEEE Computer*, 2011, 44(7): 21-28
- [20] Calabrese F, Ratti C. Real time rome. *Networks and Communication Studies*, 2006, 20(3-4): 247-258
- [21] Campbell A T, Eisenman S B, Lane N D, Miluzzo E, Peterson R. People-centric urban sensing//Proceedings of the 2nd Annual International Workshop on Wireless Internet. Boston, Massachusetts, USA, 2006: 1-14
- [22] Chen L, Nugent C D, Cook D, Yu Z. Knowledge-driven activity recognition in intelligent environments. *Pervasive and Mobile Computing*, 2011, 7(3): 285-286
- [23] Madan A, Caneel R, Pentland A. GroupMedia: Distributed multimodal interfaces//Proceedings of the 6th International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI'04). State College, Pennsylvania, USA, 2004: 309-316
- [24] Gonzalez M C, Hidalgo C A, Barabasi A L. Understanding individual human mobility patterns. *Nature*, 2008, 453(5): 779-782
- [25] Eagle N, Pentland A. Eigenbehaviors: Identifying structure in routine. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2009, 63(7): 1057-1066
- [26] Sohn T et al. Mobility detection using everyday GSM traces//Proceedings of the 8th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2006). California, USA, 2006: 212-224
- [27] Kortuem G, Segall Z. Wearable communities: Augmenting social networks with wearable computers. *IEEE Pervasive Computing*, 2003, 2(1): 71-78
- [28] Konomi S, Inoue S, Kobayashi T, Tsuchida M, Kitsuregawa M. Supporting colocated interactions using RFID and social network displays. *IEEE Pervasive Computing*, 2006, 5(3): 48-56
- [29] Arb M, Bader M, Kuhn M, Wattenhofer R. VENETA: Serverless friend-of-friend detection in mobile social networking//Proceedings of the IEEE 2008 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2008). Avignon, France, 2008: 184-189
- [30] Calabrese F, Pereira F C, Lorenzo G D, Liu L, Ratti C. The geography of taste: Analyzing cell-phone mobility and social events//Proceedings of the 7th International Conference on

- Pervasive Computing (PERVASIVE 2009). Nara, Japan, 2009; 22-37
- [31] Campbell A T et al. The rise of people-centric sensing. *IEEE Internet Computing*, 2008, 12(4): 12-21
- [32] Reddy S, Shilton K, Denisov G, Cenizal C, Estrin D, Srivastava M D. Biketastic: Sensing and mapping for better biking//Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2010). Atlanta, USA, 2010; 1817-1820
- [33] Beale R. Supporting social interaction with smart phones. *IEEE Pervasive Computing*, 2005, 3(2): 35-41
- [34] Margaret Morris et al. New perspectives on ubiquitous computing from ethnographic study of elders with cognitive decline//Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2003). Seattle, USA, 2003; 227-242
- [35] Raento M, Oulasvirta A. Designing for privacy and self-presentation in social awareness. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2008, 12(7): 527-542
- [36] Madan A, Pentland A. VibeFones: Socially aware mobile phones//Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2006). Athens, USA, 2006; 109-112
- [37] Kim T, Chang A, Holland L, Pentland A. Meeting mediator: Enhancing group collaboration using sociometric feedback//Proceedings of the 2008 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW 2008). San Diego, CA, USA, 2008; 457-466
- [38] Cho A. Ourselves and our interactions: The ultimate physics problem?. *Science*, 2009, 325(5939): 406-408
- [39] Paay J, Dave B, Howard S. Understanding and representing the social prospects of hybrid urban spaces. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2007, 34(1): 446-465
- [40] Hull B, Bychkovsky V, Zhang Y et al. CarTel: A distributed mobile sensor computing system//Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. Boulder, Colorado, USA, 2006; 125-138
- [41] Malmgren R D, Hofman J M, Amaral L A N, Watts D J. Characterizing individual communication patterns//Proceedings of the 15th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD 2009). Paris, France, 2009; 607-616
- [42] Leskovec J, Horvitz E. Planetary-scale views on a large instant-messaging network//Proceedings of the 17th International Conference on World Wide Web (WWW 2008). Beijing, China, 2008; 915-924
- [43] Bayir M A, Demirbas M, Eagle N. Discovering spatio-temporal mobility profiles of cellphone users//Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WOWMOM 2009). Kos, Greece, 2009; 1-9
- [44] Eagle N, Pentland A, Lazer D. Inferring social network structure using mobile phone data. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 2009, 106(36): 15274-15278
- [45] Phithakkitnukoon S, Husna H, Dantu R. Behavioral entropy of a cellular phone user. *Social Computing, Behavioral Modeling, and Prediction*, Springer, 2008; 160-167
- [46] Hui P, Crowcroft J. Human mobility models and opportunistic communications system design. *Philosophical Transactions of The Royal Society*, 2008, 366(1872): 2005-2016
- [47] Kim T, Brdiczka O, Chu M, Begole J. Predicting shoppers' interest from social interactions using sociometric sensors//Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2009). Boston, USA, 2009; 4513-4518
- [48] Farrahi K, Gatica-Perez D. What did you do today? Discovering daily routines from large-scale mobile data//Proceedings of the 16th International Conference on Multimedia (ACM Multimedia 2008). Vancouver, Canada, 2008; 849-852
- [49] Song C, Qu Z, Blumm N, Barabasi A L. Limits of predictability in human mobility. *Science*, 2010, 327(5968): 1018-1021
- [50] Onnela J P et al. Structure and tie strengths in mobile communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 2007, 104(18): 7332-7336
- [51] Palla G, Barabasi A L, Vicsek T. Quantifying social group evolution. *Nature*, 2007, 446(7136): 664-667
- [52] Zheng Y, Chen Y, Li Q, Xie X, Ma W Y. Understanding transportation modes based on GPS data for web applications. *ACM Transactions on the Web*, 2010, 4(1): 1-36
- [53] Gonzalez M C, Barabasi A L. From data to models. *Nature Physics*, 2007, 3: 224-225



YU Zhi-Wen, born in 1977, Ph.D., professor, Ph.D. supervisor. His research interests include pervasive computing, mobile Internet, and intelligent information technology.

YU Zhi-Yong, born in 1982, Ph.D., lecturer. His research interests include pervasive computing, socially-aware computing, and CSCW.

ZHOU Xing-She, born in 1955, professor, Ph.D. supervisor. His research interests include embedded computing, pervasive computing, and grid computing.

Background

This work is supported by the National Basic Research Program (973 Program) of China under Grant No. 2012CB316400, National Natural Science Foundation of China under Grand No. 60903125, the Program for New Century Excellent Talents in University under Grand No. NCET-09-0079, the Science and Technology Research Plan in Shaanxi Province of China under Grand No. 2011KJXX38, the Natural Science Basic Research Plan in Shaanxi Province of China under Grand No. 2010JM8033, and Microsoft Corp.

As the rapid development of pervasive computing technologies, more and more ubiquitous intelligent systems are deployed in our daily lives. Such systems significantly enrich and enhance the methods and capabilities for data capture. How to use the sensing data to understand human behavior, mobility and activity, and ultimately help to solve social

problems is a great challenge in the information era. In recent years, numerous studies have been done in the area of Socially Aware Computing, ranging from system, data sensing, behavior analysis, to social interaction support. In the past years, the authors also have done research in this area, focusing on human semantic interaction capture, recognition, and mining, preference-based conflict resolution, and social network evolution. To give readers a better understanding of this emerging area, the authors introduce the concept, origin, model, and research topics of socially aware computing. They also conducted a survey on research progresses of the field in five aspects, namely system and application, data sensing, behavior and interaction analysis, social theory and law verification, and social interaction support. The future research issues are discussed as well.