

移动社交网络中的感知计算模型、平台与实践

於志文 周兴社 郭 斌
西北工业大学

关键词：移动社交网络 感知计算

引言

目前手机已成为最普及的计算终端，是人们不可或缺的与外界联系和交互的工具。据国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）的报告称，截至2011年底，全球手机用户达到59亿，占全球人口总数的84%。据中国之声报道，2012年3月我国手机用户数突破10亿大关，手机普及率约73.6部/百人，其中3G用户超过一亿两千万人。嵌入式技术、传感技术与通信技术的不断融合发展，使手机不再是简单的通信工具，而成为一种集成通信、计算与感知能力的便携式个人智能终端。例如，iPhone 4就嵌入了环境光传感器、距离传感器、摄像头、GPS、加速度传感器、麦克风、地磁传感器和陀螺仪等八类传感器，并提供Wi-Fi和蓝牙支持。

随着手机数量的增长和能力的增强，移动社交网络（mobile social networks）也呈现蓬勃发展势头。移动社交网络是通过移动设备建立的以社会交互为目的的网络。目前对移动社交网络的理解主要分为两种：一种是现实世界承载社会交互的开放式自组织真实网络^[1-4]；另一种是虚拟的万维网（Web）社交网络在移动设备上的延伸，由相对固定的成员组成，更多地体现虚拟性^[5-7]。前者能够通过感知设备捕获具有时空特征的人类移动和社会交互，是架在虚拟信息空间和真实物理世界之间的一座桥梁。中国互联网数据中心调查表明，手机用户

之间的沟通、传播与分享正在构建自组织移动社交网络，并逐步渗透到人们日常生活、工作、学习和娱乐中。我们认为，移动社交网络的范畴将远远超出传统Web社交网络在移动设备上延伸的水平，将成为一种全新的连接并融合物理空间和网络空间的真实社会网络模式。

移动社交网络特征

人类同时生存于物理和虚拟两个社会空间中。很长一段时间里，这两个社会空间是分离的。Web社交网络缩短了时空距离，在一定程度上促进了人们的交流，但是面对面交互的机会也减少了。社会学家认为线下物理活动对于社交更为重要，事实的确如此，我们更依赖和信赖真实的现实世界交互。移动社交网络连接了物理和虚拟两个社会空间，融合人们线上、线下体验，形成混合社交空间。与传统基于Web的社交网络相比，移动社交网络具有以下特点。

感知的实时连续性 由于人们是在不停地、自然地移动，通过自身携带的移动感知设备，可以获取用户实时、连续的现场数据，实时无缝获取情境信息。

数据的真实时空性 传统社交网络是以Web数据为分析基础，其主体是虚拟的人，在线行为也属于虚拟行为。移动社交网络主体更趋近于真实世

界的人，通过移动社交网络获取的数据更能体现人类行为和社会交互的时空特性。

服务的即时即地性 通过移动社交网络能够实现即时即地的服务，如基于位置的推荐服务。

在移动社交网络中，感知随时随地发生，交流无处不在，服务触手可及，为实现面向社会发展的感知计算（社会感知计算^[8]）提供了一条切实可行的技术途径。一方面，个人凭借随身携带的智能化移动终端设备，随时随地获取自身时空特征信息并与他人分享，即时即地享受服务，这种移动性与情境感知能力极大地扩展了在线社会网络的交互功能；另一方面，通过对大规模个人和群体日常行为和社会交互数据的挖掘与分析，提取具有应用价值的社群交互特征信息，移动社交网络能够对一些社会性问题的解决提供有力的支持，如健康卫生（传染病防控）、公共安全（有组织犯罪预警）等。

因此，感知计算在移动社交网络中显得尤为重要，它主要解决以下三个关键问题。

移动社交网络时空交互语义获取 通过移动社交网络中部署的大规模多种类传感设备实时感知物理世界中社会个体的原始活动数据，提取移动社交网络时空交互语义，建立语义表示和关联模型，生成具备时空特征的抽象群体社会交互网络。

移动社交网络时空交互模式发现 通过移动社交网络提取的时空特征，对网络进行深度分析和挖掘，发现群体社会交互规律，尤其是特定目标（个体或社群）的交互模式，社会交互的时空特性，以及信息、物质和行为传播的时空规律。

移动社交网络社群在特定情境下的演化 在抽象建模和基本假设等前提下，动态演绎群体交互网络的进化过程，旨在分析和预测群体交互网络在特定情境下的演化趋势，使传播对象能够以预期的模式进行传播。

感知计算模型

建立计算模型是开展移动社交网络感知计算相关理论和技术研究的首要步骤，也是深入认识移动社

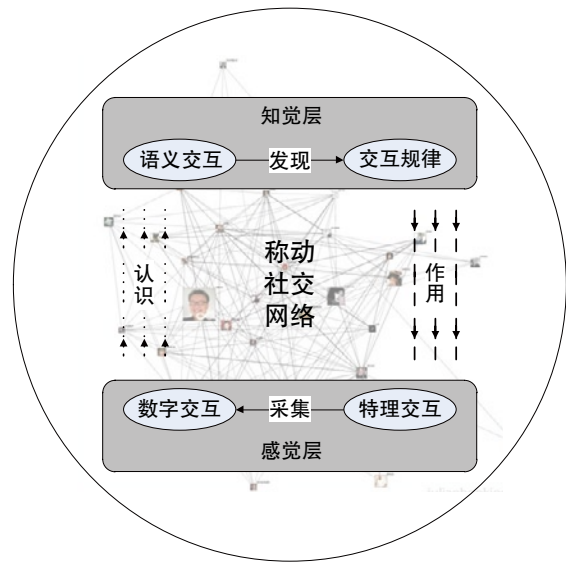


图1 移动社交网络感知计算模型

交网络、明确其核心问题的过程。在现实社会中，人们通过各种类型的交互建立并维护社会关系，而这些交互过程可以被移动互联传感设备所“感”、所“知”。移动社交网络感知系统一方面从物理交互中采集数据，认识其中的语义，发现隐含的规律，如同地表水蒸发为云，隐于空中；另一方面利用语义和规律作用于物理世界，如同云中的水遇冷凝结成雨，回归大地。鉴于移动社交网络感知系统的运行与雨的形成和降落过程相似，我们提出移动社交网络感知计算的“雨”模型，如图1所示。

移动社交网络（ N ）包含感觉层和知觉层，通过感觉，我们只知道事物的个别属性，而通过知觉，才能对事物有一个完整的认识，即 $N = \{N_{sensation}, N_{perception}\}$ 。感知（ A ）体现在层内或层间的转化或作用过程，即 $A = \{f_{sensing}, f_{cognizing}, f_{discovering}, f_{effecting}\}$ 。这样，雨模型可表示为二元组

$$RainModel = (N, A)$$

移动社交网络的感觉层 $N_{sensation}$ 包括物理交互（Physical Interaction） $I_{physical}$ 及其产生的交互数据Data，相当于地表水，是可触或可见的表面现象。物理交互可能依赖于移动设备或无线网络等计算实体，如通过社交网站、邮件、短信、电话等类型的交互；也可能不依赖于计算实体，如面对面的交

谈、握手等。无论何种交互类型，都可以利用设备及其中的传感器采集到原始的、孤立的、语义未知的现场数据（被动遗留的或主动收集的），以键值对、字符、图片、音视频等形式记录下来，记为 $Data = f_{\text{sensing}}(I_{\text{physical}})$ 。

移动社交网络的知觉层 $N_{\text{perception}}$ 包括语义交互（Semantic Interaction） I_{semantic} 及从中归纳的交互规律 Law ，相当于云中水，是隐藏在表象背后的。语义交互是物理交互在信息世界中的抽象重构，如由时空强度、交互的类型、对关系的影响等属性刻画交互，并由关系构建社会网络。交互规律是在大量语义交互中通过知识挖掘而发现的具有统计显著性的特征或模式，一方面包含某时刻社会网络的静态结构规律，另一方面包含某时期社会网络的动态演化规律，记为 $Law = f_{\text{discovering}}(I_{\text{semantic}})$ 。

$f_{\text{cognizing}}(N_{\text{sensation}}) = N_{\text{perception}}$ 用于描述从感觉层到知觉层的语义提取操作，通过对物理交互及其数据进行解释、概括、推论，认识到语义交互及其规律。 $f_{\text{effecting}}(N_{\text{perception}}) = N_{\text{sensation}}$ 用于描述从知觉层到感觉层的反馈、预测、指导等操作，利用移动社交网络中的语义交互及其规律，在一定条件下指导宏观或微观的调控，作用于物理交互及其数据。

系统支撑平台

感知数据的实时连续性、服务的及时性等特点对移动社交网络系统支撑平台提出了新的要求。连续实时的用户状态感知功能使移动终端，尤其是智能手机成为一个理想的数据感知平台，借助于智能移动终端不断增强的感知能力，捕获用户周围的状态信息。同时，服务的及时性以及移动终端的弱计算能力需要以中心服务器为依托，通过分析异构多源感知数据，及时地为目标用户提供个性化的服务。因此，移动社交网络系统支撑平台由手机端的智能感知和服务器端的分布式服务中间件两个部分

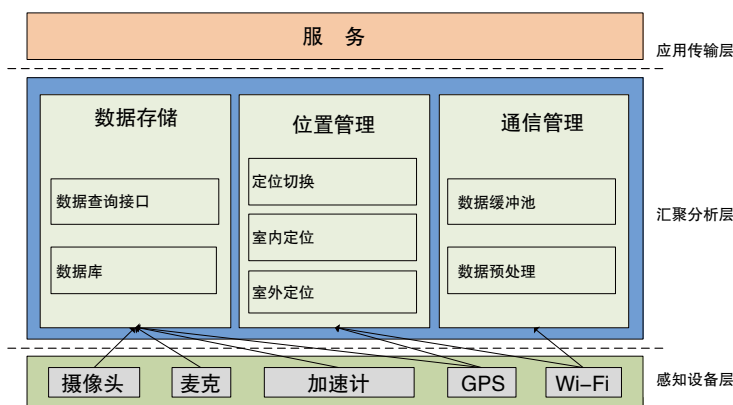


图2 智能感知中间件结构图

构成。

移动感知中间件

移动感知中间件通过智能移动终端中的各种感知设备，包括GPS定位、加速计、蓝牙等，实时地采集用户的状态信息，实现用户数字轨迹的实时检测和记录。同时，由于移动终端设备在功能特征上的差异性，移动感知中间件对原始采样数据进行统一封装，一方面实现采样数据的规范化表示，增强和丰富数据中的语义信息；另一方面达到数据压缩的目的，降低数据传输数量，避免由于频繁无线数据传输导致能量过度消耗。

智能感知中间件可以划分为感知设备层、汇聚分析层和应用传输层三个层次，如图2所示。感知设备层主要以感知设备为依托，通过开发接口实时地获取感知设备的状态信息。感知设备层是构建情境感知应用的基石，通过感知设备将物理世界的状态转换为可度量、可计算的数值信息，从而实现物理空间状态的透明化感知；汇聚分析层是移动感知中间件的核心和灵魂，对原始采样数据进行集中式分析，实现由原始数据到抽象数据的转换。汇聚分析层一方面对原始感知数据进行本地存储，另一方面对采样数据进行数据预处理，实现对原始采样数据的语义抽取。同时，考虑到定位过程中的能耗问题，我们引入了定位方式自动切换的机制。该机制实现了室内定位和室外定位技术的结合，达到

实时监测用户位置的目的，同时通过定位方式的切换，可以适时地调整定位的采样频率，达到移动终端节能的目的；应用传输层则实现数据的统一封装和传输。通过规范化的数据封装协议，提高了数据的可理解性和复用性，为构建上层应用提供了良好的基础。

分布式服务中间件

部署在服务器端的分布式服务中间件是构建移动社交网络系统平台的灵魂，是整个应用系统的中枢。终端感知设备的异构性、应用空间的开放性、用户的移动性等特征对服务中间件提出了严峻的挑战。设备的异构性要求服务中间件能够支持多种异构设备的接入，实现跨网络设备的互联互通。开发性和移动性使得服务中间件采用分布式结构，实现各模块之间的松耦合，增强系统的可扩展性，为用户的无缝连接提供技术支撑。

分布式服务中间件的层次结构如图3所示，包括网络通信层、基础服务层和应用层。网络通信层主要完成跨协议的通信对接，实现移动终端到服务器、终端到终端之间的交互通信，从而达到屏蔽底层硬件设备差异的目的。基础服务层实现公用服务的封装，为上层应用提供统一的服务机制和调度接口。基础服务层以开放服务网关（open service

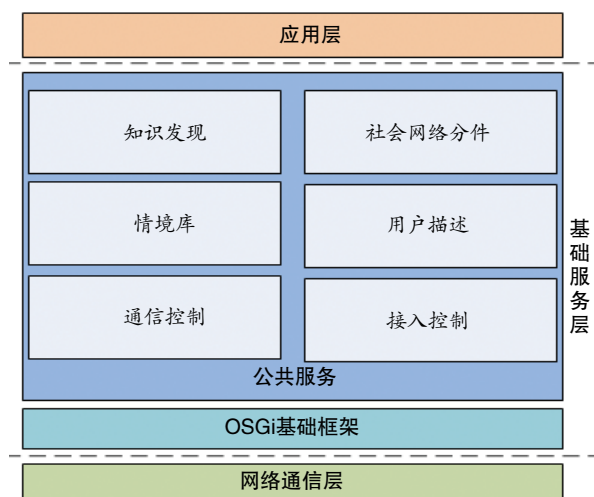


图3 分布式服务中间件结构图

gateway initiative, OSGi) 框架为基础，实现对于公用服务的封装。OSGi是一个在广域网、局域网或设备上展开业务的基础系统，为网络服务定义了一个标准的、面向服务的计算环境。它支持服务的动态发现和服务协作。OSGi框架具有平台独立性、良好的可扩展性和服务的热插拔性等优点，为构建分布式应用系统提供了支持，同时提升了系统的可扩展性。基础服务层提供通信控制、接入控制、情境存储、知识发现和社会网络分析等服务内容。通信控制和接入控制实现用户接入，身份验证等功能，同时为用户提供安全可靠的访问连接。情境存储从感知设备获取的数据实现本地存储，为后续的应用提供数据支持。知识发现和社会网络分析以情境存储部分为依托，借助数据挖掘和人工智能等方法，从大量数据中发现规律性，包括网络的演化特征、信息的传播特征、交互的时空特征等，并为数据的呈现提供可视化的解决方案。应用层则面向具体的需求，以公共服务为基础开发各种服务应用，从而实现为移动社交网络用户提供适时的个性化服务。

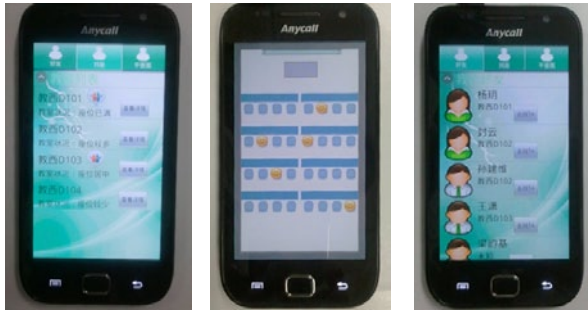
实践

移动社交网络可以广泛应用于多种环境中，通过人与人之间的社会交互，不仅可以增进人际交往的有效沟通，而且为随时随地的信息共享提供了可能，进而真正地激发用户参与社交的热情。西北工业大学普适计算研究组针对移动社交网络展开了深入的研究，提出了移动社交网的感知计算模型和系统支撑平台的框架结构，构建了相应的原型应用系统，并对上述模型和框架进行了初步验证。

智慧校园

为了促进校园中的社会交互，提高公共资源的使用率，我们基于上述移动社交网络系统支撑平台框架，实现了一个信息资源共享的智能校园系统^[9]，其中以自习室查询应用Where2Study和参与感知应用I-Sensing为典型代表。

Where2Study是一个自习室状态共享的应用查

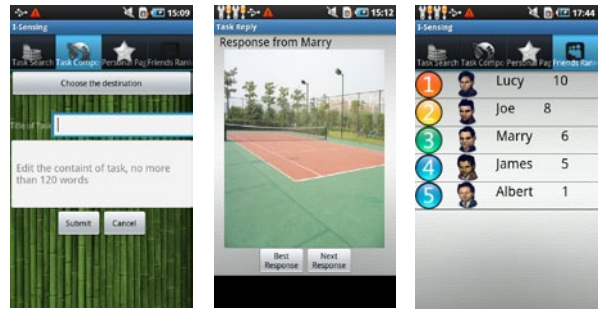


(a) (b) (c)

图4 Where2Study应用系统功能

询系统。通过检测Wi-Fi信号的RSSI信号强度，实现用户的室内定位功能。用户通过移动终端可以查询每个教室的使用情况（图4a），同时能够清楚地了解每个教室座位的剩余数量（图4b）。另外，Where2Study应用提供了好友所处教室方位的查询功能。系统为用户呈现所有正在上自习的好友所在教室的信息，从而可以快速地找到自己的好友（图4c）。Where2Study应用系统一方面有助于提高自习教室的使用率，另一方面借助社会交互促进同学之间的互助合作。

I-Sensing是一个基于参与感知的应答系统。系统中的每一个用户充当一个可移动的感知节点，为系统提供相应的输入信息。使用者可以就校园内公共设施的使用情况，例如运动场地是否空闲等问题向系统发起一个任务请求，如图5a所示。任务请求以文本的方式详细地描述了查询者的查询意图。系统根据目标区域的位置信息，向处于目标区域的用户转发任务请求。任务的接收者可以通过本文信息或者图片的方式向服务器反馈相关内容，例如运动场地空闲等，同时这些反馈内容由服务器转发给任务的发起者（图5b）。系统引入了社会竞争机制以达到激励群体用户参与和接收任务的目的。针对每个任务反馈信息，任务的发起者可以从中选择最佳的答



(a) (b) (c)

图5 I-Sensing应用系统功能

复内容，并给予信息提供者适当的积分激励。系统使用者可以查看好友的积分状态，从而激发用户对于系统的参与程度（图5c）。

健康辅助

为了督促老年人按时服药，我们设计了基于移动社交网络的协作式老年人服药系统。该系统在智能家居的基础上引入了移动社交网络的思想，通过社会化的提醒，一方面使老年人能够按时服药，另一方面增强老年人之间的社会交互。首先，借助智能家居中的感知能力，系统自动检测老人是否按时服用药物，当检测到用户没有按时服用药物时，系统自动形成一个服药提醒任务，并发送到任务服

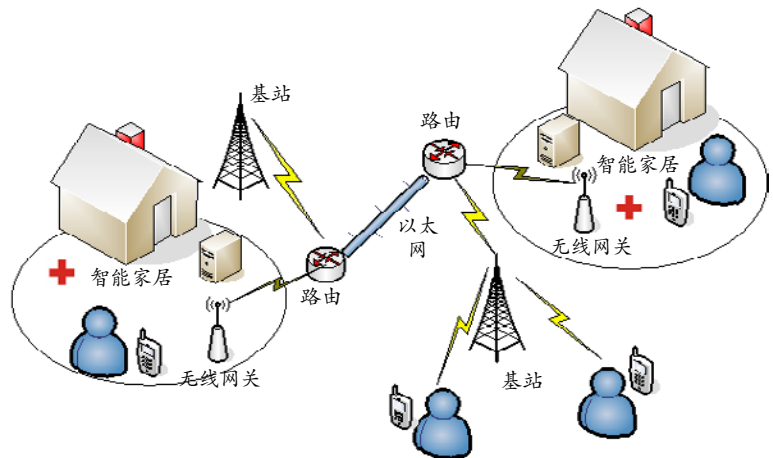
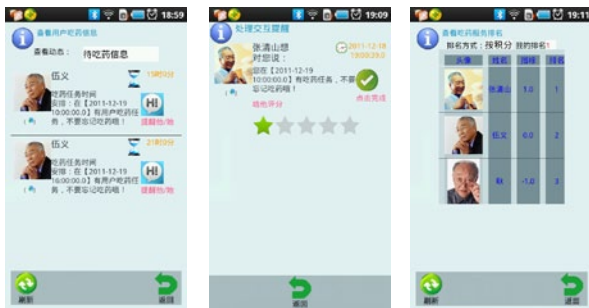


图6 基于移动社交网络的协作式服药系统体系结构



(a) (b) (c)

图7 基于移动社交网络的协作式老年人服药系统

务器上。其他用户通过任务服务器上的状态，查看是否存在需要完成的提醒任务。如果存在提醒任务时，则通过交互式终端向目标主体发起服药提醒，目标主体在接收并完成服药任务后，通过社会竞争机制给提醒服务的发起者以反馈。图6示出了协作式服药系统的网络结构图。

为了实现老年人服药状态的自动检测，我们基于RFID标签实现了一个智能药箱，通过智能药箱可以自动检测取出药品和放回药品等动作，从而实现对用户服药行为的实时监控。同时，为了方便用户之间的协作式社会交互，我们在基于移动终端的基础上开发了社会交互接口。社会交互接口连接不同于物理区域中的个体，是为群体用户之间的社会交互提供了便利条件，用户可以查看自身的服药日志信息，如图7a所示。同时，用户可以向其他个体发送服药提醒信息，协助对方完成吃药任务，如图7b所示。另外，为了激励用户按时服药，系统还对用户服药的执行情况进行了排名（图7c）。

结语

移动社交网络作为一种全新的社交模式，连接了虚拟信息空间和真实物理世界，受到人们越来越多的青睐。美国科技资讯网站CNET预测移动社交网络将成为未来社交的主流方式。相对于传统社交网站，移动社交网络的移动化和本地化体现了真实世界社会交互的时空特性，而用户的地理位置结合

真实社交关系使得用户的信息更为精准，有利于移动社交网络在数字娱乐、广告投放、健康卫生、公共安全等领域的应用。■

致谢： 本文得到国家“973”重点基础研究发展计划（2012CB316400）、国家自然科学基金（60903125, 61103063）、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）和微软高校合作项目资助。



於志文

CCF高级会员、本刊编委。2011年CCF青年科学家奖获得者。西北工业大学教授。主要研究方向为普适计算、移动互联网和智能信息技术。
zhiwenyu@nwpu.edu.cn



周兴社

CCF常务理事。西北工业大学教授。主要研究方向为嵌入式计算、普适计算和网格计算。
zhouxs@nwpu.edu.cn



郭斌

CCF会员。西北工业大学副教授。主要研究方向为普适计算、人机交互和社会计算。
guob@nwpu.edu.cn

参考文献

- [1] L. Gou, J. H. Kim, H. H. Chen, et al. MobiSNA: a Mobile Video Social Network Application, MobiDE' 09, June 29, 2009, Providence, RI, USA, 53-56
- [2] A. K. Pietilainen, E. Oliver, and J. LeBrun, MobiClique: Middleware for Mobile Social Networking, WOSN' 09, August 17, 2009, Barcelona, Spain, 49-54
- [3] S. Gaonkar, J. Li, and R.R. Choudhury. Micro-Blog: Sharing and Querying Content Through Mobile Phones and Social Participation, MobiSys' 08, June 17-20, 2008, Breckenridge, Colorado, USA, 174-186

- [4] E. Miluzzo, N.D. Lane, K. Fodor, et al. Sensing Meets Mobile Social Networks: The Design, Implementation and Evaluation of the CenceMe Application, SenSys' 08, November 5-7, 2008, Raleigh, North Carolina, USA, 337~350
- [5] Dodgeball, <http://www.dodgeball.com>
- [6] Twitter, <http://twitter.com>
- [7] Jaiku, <http://jaiku.com>
- [8] 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, 计算机学报, Vol. 35, No. 1, 2012年1月, 16~26
- [9] Z. Yu, Y. Liang, B. Xu, Y. Yang, and B. Guo. Towards a Smart Campus with Mobile Social Networking, The 2011 IEEE International Conference on Internet of Things (IEEE iThings 2011), October 19-22, 2011, Dalian, China