软件学报 ISSN 1000-9825, CODEN RUXUEW
Journal of Software,2013,24(1):91−108 [doi: 10.3724/SP.J.1001.2013.04292]
©中国科学院软件研究所版权所有.
E-mail: jos@iscas.ac.cn
http://www.jos.org.cn
Tel/Fax: +86-10-62562563

移动推荐系统及其应用*

孟祥武[1,2], 胡 勋[1,2], 王立才[1,2], 张玉洁[1,2]

[1](北京邮电大学 智能通信软件与多媒体北京市重点实验室,北京 100876)

[2](北京邮电大学 计算机学院,北京 100876)

通讯作者: 孟祥武, E-mail: mengxw@bupt.edu.cn, http://scs.bupt.edu.cn/cs_web

摘 要: 近年来,移动推荐系统已成为推荐系统研究领域最为活跃的课题之一.如何利用移动上下文、移动社会化网络等信息进一步提高移动推荐系统的推荐精确度和用户满意度,成为移动推荐系统的主要任务.对最近几年移动推荐系统研究进展进行综述,对其关键技术、效用评价以及应用实践等进行前沿概括、比较和分析.最后,对移动推荐系统有待深入的研究难点和发展趋势进行分析和展望.

关键词: 移动推荐系统;上下文;社会化网络;应用;综述

中图法分类号: TP18 **文献标识码**: A

中文引用格式: 孟祥武,胡勋,王立才,张玉洁.移动推荐系统及其应用.软件学报,2013,24(1):91−108. http://www.jos.org.cn/1000-9825/4292.htm

英文引用格式: Meng XW, Hu X, Wang LC, Zhang YJ. Mobile recommender systems and their applications. Ruanjian Xuebao/Journal of Software, 2013,24(1):91−108 (in Chinese). http://www.jos.org.cn/1000-9825/4292.htm

Mobile Recommender Systems and Their Applications

MENG Xiang-Wu[1,2], HU Xun[1,2], WANG Li-Cai[1,2], ZHANG Yu-Jie[1,2]

[1](Beijing Key Laboratory of Intelligent Telecommunications Software and Multimedia, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

[2](School of Computer Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Corresponding author: MENG Xiang-Wu, E-mail: mengxw@bupt.edu.cn, http://scs.bupt.edu.cn/cs_web

Abstract: Mobile recommender systems have recently become one of the hottest topics in the domain of recommender systems. The main task of mobile recommender systems is to improve the performance and accuracy along with user satisfaction utilizing mobile context, mobile social network and other information. This paper presents an overview of the field of mobile recommender systems including key techniques, evaluation and typical applications. The prospects for future development and suggestions for possible extensions are also discussed.

Key words: mobile recommender system; context; social network; application; survey

随着信息技术的迅速发展和信息内容的日益增长,“信息过载”问题愈来愈严重,给人们带来很大的信息负担.推荐系统(recommender systems)[1−3]被认为可以有效缓解此难题,从而得到学术界和工业界的广泛关注并加以应用,取得了许多研究成果.推荐系统通过挖掘用户与项目之间(user-item)的二元关系,帮助用户从大量数据中发现其可能感兴趣的项目(如 Web 信息、服务、在线商品等),并生成个性化推荐以满足个性化需求.目前,推荐系统在电子商务(如 Amazon、eBay、Netflix、阿里巴巴、豆瓣网、当当网等)、信息检索(如 iGoogle、MyYahoo、GroupLens、百度等)以及移动应用、电子旅游、互联网广告等众多应用领域取得较大进展[4].

* 基金项目: 国家自然科学基金(60872051); 北京市教育委员会共建项目专项资助

收稿时间: 2011-11-28; 定稿时间: 2012-07-24; jos 在线出版时间: 2012-08-23

CNKI 网络优先出版: 2012-08-23 15:36, http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2560.TP.20120823.1536.001.html

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

随着下一代网络技术的飞速发展,移动通信网络在与计算机网络逐渐融合的过程中,对互联网信息服务进行延伸,为用户提供了比传统通信业务更加丰富多彩(在内容、价格、功能特性、服务质量等方面)的移动互联网服务和信息内容.与此同时,由于智能移动设备日益普及,信息资源的获取和推送可以发生在“任何时间、任何地点、以任何方式”,为用户提供无处不在的信息内容已经成为可能,智能移动设备也逐渐成为人们获取信息的主要平台之一(如通过手机搜索网络信息、浏览新闻,使用平板电脑/手机阅读电子书、听音乐、看视频,使用手机读/写微博等).然而,移动互联网服务和信息内容的日益增长将逐渐超出人们所能接受的范围,加之移动设备的界面显示、终端处理、输入/输出等能力有限,为移动用户带来沉重的“移动信息过载”问题[5],导致移动网络资源利用率和用户体验受到严重影响.

近年来,移动推荐系统(mobile recommender system)[6]利用移动网络环境在信息推荐方面的优势并克服其带来的不利条件,通过获取和预测潜在移动用户偏好来过滤不相关的信息,为移动用户提供满足其个性化需求的结果,逐渐成为缓解“移动信息过载”的有效手段[7,8],得到越来越多的关注.移动推荐系统具有普适性和个性化两种特性[6],目前已成为推荐系统研究领域的研究热点之一.国外许多大学和研究机构对移动推荐展开了深入研究,如意大利波尔察诺自由大学[6,9−11],德国慕尼黑工业大学[12,13],韩国延世大学[14]和国民大学[15],美国麻省理工学院[16]、罗格斯大学[17]、乔治亚大学[18],英国伦敦大学[19],爱立信研究院[20]等.国内的研究机构有香港科技大学[21]、浙江大学[22]、西北工业大学[23,24]、北京邮电大学[4,5,25−27]等.

本文对移动推荐系统目前的研究与应用进展进行综述.第 1 节对移动推荐系统进行概述.第 2 节重点介绍移动推荐系统若干关键技术,包括层次化移动推荐系统研究框架、移动上下文推荐、移动社会化推荐、移动推荐系统的效用评价等.第 3 节对移动推荐系统的应用进展进行描述.第 4 节对有待深入的研究难点和发展趋势进行分析和展望.最后是结束语.

1 移动推荐系统概述

1.1 传统互联网推荐系统

20 世纪 90 年代中期出现关于协同过滤技术的文章之后,推荐系统开始作为一门独立的学科得到系统研究,并逐渐成为缓解“信息过载”的有效手段之一.推荐系统通过建立用户与项目之间的二元关系,利用已有的选择过程或相似性关系挖掘每个用户潜在感兴趣的对象,进而进行个性化推荐.Adomavicius 等人[1]给出推荐系统的形式化定义:设 C 表示用户集合,S 表示需要推荐给用户的项目集合(如图书、电影、餐馆等),u 是一个效用函数,用户计算项目 s 对用户 c 的相关程度,如 $u:C\times S\rightarrow R$,其中,R 表示一个排序后的集合(如一定范围内的全序的非负实数),则推荐系统就是要找到使效用函数 $u(\cdot)$最大的那些项目,即

$$\forall c\in C,\ s'_c=\arg\max_{s\in S}u(c,s).$$

从信息过滤的角度,目前推荐系统主要分为以下几种[1,4]:

(1) 协同过滤推荐(collaborative filtering recommendation):源于“集体智慧”的思想,利用与当前用户相似的其他用户偏好来预测当前用户的偏好.可以是利用当前用户与其他用户对部分项目的已知偏好数据来预测当前用户对其他项目的潜在偏好,或者利用用户对当前项目或者其他项目的已知偏好数据来预测其他用户对当前项目的潜在偏好.其中,协同过滤推荐可以分为启发式方法和基于模型的方法[1]:前者需要计算用户(或者项目)之间的相似度,后者利用用户的已知偏好学习一个模型,为活动用户或者活动项目进行偏好预测.

(2) 基于内容的推荐(content-based recommendation):根据用户喜欢的项目,选择其他类似的项目作为推荐.首先,由系统隐式获取或者由用户显式给出用户对项目属性的偏好,然后通过计算用户偏好和待预测项目的描述文档(由项目属性刻画)之间的匹配度(或相似度),最后按照匹配度进行排序,向用户推荐其可能感兴趣的项目;同样,可分为启发式方法和基于模型的方法.

(3) 混合推荐(hybrid recommendation):混合推荐主要是为了解决单一推荐技术的不足[2],可以按照不同的混合策略(如加权、切换、混合呈现、特征组合、串联、元层次混合等)将不同的推荐技术进行组合并完成推

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

荐[4].在移动推荐系统中,研究和应用最多的是将协同过滤推荐与基于内容推荐混合起来[12,28].

此外,有些研究人员提出“基于知识的推荐(knowledage-based recommendation)”这一概念,利用在特定领域制定的规则进行基于规则和实例的推理,并根据推理结果生成推荐[2,27,29−31].其中,规则的获取与推断、规则知识库的构建等是基于知识的推荐技术的关键所在.

1.2 移动互联网的基本概念及其特点

移动互联网是移动通信网络与互联网的结合,是指用户使用移动设备(如智能手机、PDA、平板电脑等)通过移动通信网络(如 3G,Wifi,GPRS 等)访问互联网.移动用户访问互联网的行为主要包括移动信息搜索、移动网页信息浏览、移动应用程序下载与在线使用(如在线游戏)、移动电子书阅读、移动音/视频播放、移动社交化网络服务行为(如移动社区通信、移动邮件、读/写微博等)、移动电子商务、移动网络办公等等.移动互联网与传统互联网的主要区别在于用户、接入网络和终端,这使前者增加了移动性、上下文感知、终端个人化等固有属性.

与传统互联网用户相比,移动用户通常具有更为明确和真实、可靠的用户标识,并可方便地从概貌层面对移动用户进行刻画.例如,移动用户的人口统计学数据通常由移动用户注册入网时填写,也可以根据一些机器学习或者数据挖掘技术推理获取(如,在移动用户授权许可范围内,可以根据身份证信息获取其籍贯信息、通过移动用户购买行为预测其收入信息、通过移动社交化网络挖掘移动用户的工作/教育背景等).此外,还可以通过某些方式获取移动用户的其他信息.例如,通过 GPS(global positioning system,全球定位系统)获取移动用户地理位置信息或者移动用户轨迹,利用机器学习和数据挖掘技术分析移动互联网用户行为以提取用户属性特征.

与传统互联网的接入方式不同,移动用户的移动特性、通过移动通信网络接入互联网以及设备的便携性等特征使得移动用户可以在任何时间、任何地点访问互联网,从而使上下文感知计算在移动互联网应用中显得尤为重要.随着移动通信技术的发展,特别是 3G,B3G 技术的逐步应用,移动用户访问移动互联网的速度得到提高,将进一步促进移动互联网的发展.

在终端方面,移动用户所使用的移动设备更加个人化、私有化,也存在屏幕小、输入和处理能力差等缺点.移动互联网中的各种应用不像传统互联网那样一体化、大应用、大软件,而是个性化、小应用、小软件,以此来缓解移动终端的限制.随着信息技术的发展,移动终端将越来越智能,近年来兴起的云计算将存储与计算功能集中于服务器端来缓解终端能力的不足,从而有利于智能移动设备在各个领域的普及应用.

1.3 移动推荐系统及其与传统互联网推荐系统的异同点

移动推荐系统是传统互联网推荐系统在移动互联网领域的延伸.由于移动用户与传统互联网用户相比面临着更加复杂、融合、协作的移动网络环境和泛在的移动信息提供环境,只有在充分、准确提取和预测移动用户在移动网络环境下对各种类型移动信息内容的偏好后,才能有效地生成移动推荐.因此,尽管移动推荐系统的基本思想与传统互联网推荐系统是相似的,但需要着重考虑移动网络环境给推荐系统带来的影响:移动推荐系统中用户处于移动网络环境,移动性强,其移动信息需求和对推荐的需要受上下文影响更大,而且移动设备的处理能力差、屏幕小、输入能力差、无线网络的带宽弱等因素使其对实时性和精确度要求更高,从而使得适合传统互联网用户的推荐方法并不能直接应用到移动推荐中[6,10].移动推荐系统中用户与项目特性的描述如图 1 所示.

移动推荐系统的移动性主要可以从 3 个方面[6]来解释:用户的移动性、设备的移动性和设备的无线接入.用户的移动性是指移动用户使用移动设备可以在任何时间、任何位置访问应用系统.位置和时间上下文与移动用户的关系更紧密.例如,移动用户午餐时间在区域 A 内,移动用户可能会在附近用餐,那么可以向其推荐该区域内满足移动用户偏好的餐馆.移动推荐系统中,基于实时感知上下文的推荐有别于传统的互联网推荐,推荐的实时性要求较高.设备的移动性是指设备便于携带,可以随用户移动.无线接入技术使移动设备可以随时接入访问网络,获取需要的移动网络服务和信息内容,这使得信息推送更及时和有针对性,如商品限时促销,可以及时地将这条信息推荐给附近喜欢该商品的移动用户.由于移动设备的屏幕小,移动用户的浏览行为不同于传统互联

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

网用户,对推荐结果的展示和描述需要变化以适应移动用户,提高移动用户的体验.如在信息显示时,应减少移动用户滑动窗口的操作,过多的滑动操作会降低用户点击的概率.鉴于用户、设备、外界环境存在较大差异,移动用户行为与互联网用户行为也存在较大差别,这使移动推荐系统与互联网推荐系统具体实现所依赖的数据源也不尽相同.移动推荐与传统互联网推荐的主要差异见表 1.

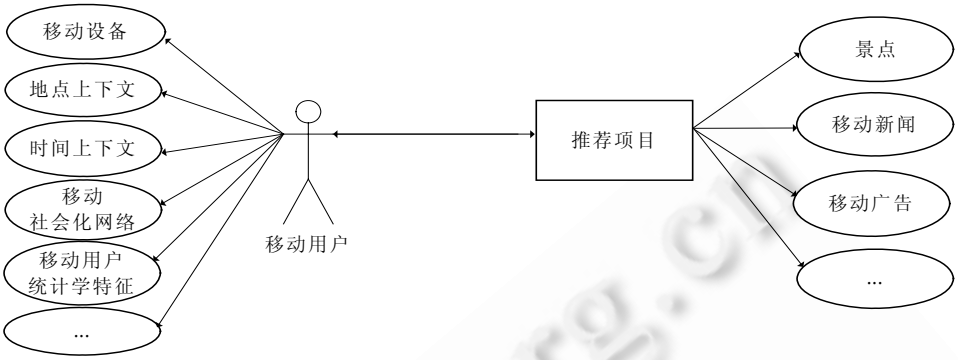


Fig.1 Features of users and items in mobile recommender systems

图 1 移动推荐系统用户与项目特性

Table 1 Differences between mobile recommendation and traditional Internet recommendation

表 1 移动推荐与传统互联网推荐的差异

	移动推荐	传统互联网推荐
设备移动性	手机、PDA、平板电脑等可以随用户移动	无
推荐服务获取	移动用户通过移动通信网络可以随时获取推荐服务	需要有线网络接入
数据来源	移动用户的通信行为记录、移动互联网的行为记录、上下文信息等	传统互联网的行为记录
普适性	实时感知移动用户的上下文信息	较少
推荐实时性	对推荐实时性要求较高	对推荐实时性要求低
推荐结果展示	列表方式、基于地图的方式、基于评价的方式	列表方式、基于评价的方式

2 移动推荐系统关键技术研究

移动推荐系统将传统互联网推荐系统延伸到移动网络环境,进一步缩小了现实物理世界和虚拟网络世界的距离,使用户随时、随地获取符合其个性化需求的信息内容成为一种趋势.目前,对移动推荐系统的研究仍处于起步阶段.本节首先提出层次化的移动推荐系统研究框架,然后重点对移动上下文推荐、移动社会化推荐、移动推荐系统的效用评价等方面相关技术的研究进展进行对比分析和总结.

2.1 层次化移动推荐系统研究框架

移动用户面临动态多变的上下文环境,使其能够充分享用普适计算带来的优势;与自由的传统互联网环境相比,移动用户的用户标识更加真实、可靠,个性化服务也更加容易实现;移动设备的界面显示、终端处理、输入/输出等能力有限,又给移动推荐系统的实时性、精确度、结果可视化等提出更高的要求.这些都给移动推荐系统带来许多新的挑战.首先,移动用户使用移动互联网时,大多与上下文环境密切相关,即用户在不同的上下文环境下的个性化需求不尽相同,只有将上下文信息充分融入移动推荐系统,才能更好地生成移动推荐结果.其次,移动用户之间的交互行为更加频繁(例如移动通信行为、移动社交网络服务等),这使得移动社会化网络的构建相比传统互联网社会化网络更容易实现且真实、可靠;各种各样的社交化网络(家人、朋友、同学、同事、兴趣组等)对于移动用户偏好的预测和移动信息内容的推荐都是十分有益的,因此,移动社会化推荐也是移动推荐系统的重要组成部分和重点研究对象.此外,将用户行为、上下文信息、社会化网络等多源信息进行融合,可以进一步提高移动推荐系统的精确度.最后,移动推荐系统的效用评价技术,即根据一些评价指标发现移动推荐系统的优缺点,并做出相应改进,有利于移动推荐系统的实用性和自适应性.基于此,我们提出了移动推荐系统

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

研究的层次化基本框架(如图 2 所示).该框架被划分为 4 层:

(1) 数据源采集层:获取移动用户信息、移动网络服务信息、上下文信息、移动用户使用移动网络服务的行为日志、移动通信行为日志等信息;

(2) 数据预处理层:采集到相关数据后,需要对它们进行预处理计算,其数据处理结果作为移动推荐系统的数学形式的输入.主要包括:移动用户偏好提取,即根据移动 Web 行为日志、移动通信行为日志等提取移动用户对移动网络服务或者更细粒度的移动信息内容的偏好信息,构建移动用户-移动网络服务二维矩阵;上下文推理计算:对粗糙的上下文信息进行规则推理或者数量化计算[32];上下文用户偏好提取:挖掘移动用户行为与上下文之间的关联性,提取少量包含上下文的移动用户偏好信息,构建移动用户-移动网络服务-上下文关联关系;移动社会化网络构建:利用移动用户人口统计学特征、移动通信行为日志、移动 Web 行为日志中的移动社交网络服务行为、或者与地理位置关联的移动用户行为,构建多模的移动社会化网络;

(3) 移动推荐层:移动推荐系统的核心层,不仅考虑移动协同过滤、基于内容的移动推荐等技术的实现,还需要重点生成移动上下文推荐、移动社会化推荐以及融合多源信息的集成化移动推荐.其中,移动上下文推荐又可以分为基于时间的移动推荐、基于位置的移动推荐、基于多维度上下文的移动推荐等,也可以分为基于启发式的方法和基于模型的方法;移动社会化网络推荐可以分为基于启发式的方法和基于模型的方法;融合多源信息的集成化移动推荐则需要按照各种因素对推荐结果进行综合排序.此外,在很多移动推荐系统中,数据预处理过程与移动推荐生成过程会融合在一起;

(4) 移动推荐效用评价层:在将推荐结果呈现给用户时,需要结合用户的显式或隐式反馈,利用精确度、实时性、可用性、多样性等评价指标评价移动推荐系统的性能,并根据需要对其进行扩展、改进等.

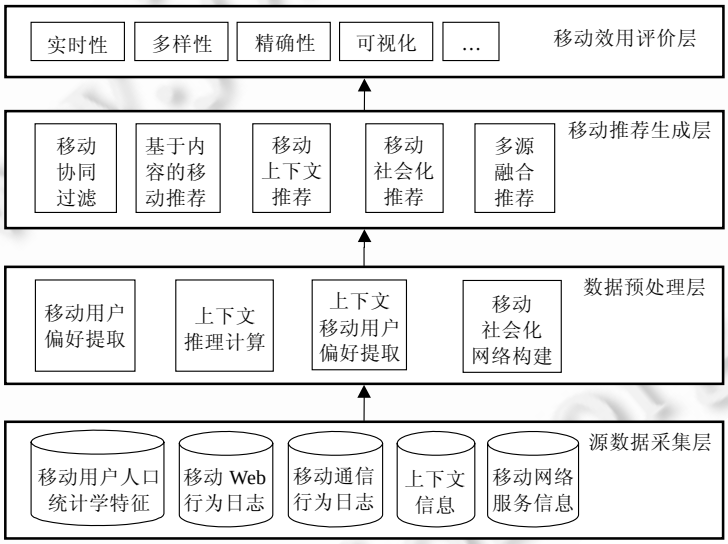


Fig.2 Basic framework of mobile recommender systems

图 2 移动推荐系统的基本框架

2.2 移动上下文推荐

由于移动推荐系统主要基于传统互联网推荐系统模型,所以许多人员直接将传统互联网推荐系统领域的理论和方法应用于求解移动推荐问题.例如,文献[15,33]通过移动用户行为隐式分析来获取用户的个性化偏好,并使用协同过滤算法生成移动推荐.这些移动推荐系统没有考虑上下文信息的影响,从而不能有效利用移动推荐的普适性优点.

自 20 世纪 90 年代“上下文感知计算”概念提出以来,目前上下文还没有公认的定义,其中引用最广泛的是 Dey 等人[34]给出的:“上下文是指可以描述实体(如人、地点)状态的任何信息.其中,实体是指与用户和应用程序

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

交互相关的客体,包括用户与应用程序”.在移动上下文推荐系统中,移动上下文也没有明确的规定.由于移动设备便于携带,通过移动设备可以感知或者推理得到用户的当前上下文(如地点、时间、周边人员、温度等).而移动用户的偏好通常会受上下文的影响,在不同的上下文环境中,移动用户的选择不同,如有的移动用户喜欢早上而不是下午浏览自己喜欢的新闻,有的移动用户喜欢在公交车上而不是在办公室阅读自己喜欢的小说.

因此,移动上下文推荐得到广泛关注和研究,根据移动上下文与移动推荐系统的结合方式,可以分为移动上下文过滤[35]和移动上下文建模[23,36].移动上下文过滤只是使用上下文对待推荐项目集进行过滤,将与当前上下文不相关的项目过滤掉.对过滤后的项目集,使用传统的推荐技术(如协同过滤推荐、基于内容的推荐等)进行推荐,生成满足当前上下文约束和用户偏好的推荐结果.移动上下文建模是指通过设计推荐算法将上下文信息融入到推荐过程,而不是在推荐前对项目集或对推荐结果进行过滤.将上下文融入到推荐模型中,会使推荐模型变得复杂,但这种方式使用户偏好与上下文结合得更紧密,更能准确地挖掘用户的偏好.移动上下文过滤将“多维推荐”转化为“二维推荐”,能够利用传统推荐系统的成熟技术.但是,它们由于使用筛选出来的相关数据生成推荐,降维后数据的完整性不能保证,而且忽略了上下文信息之间的关联关系,因而使推荐效果受到影响[4].

在移动上下文推荐系统中,可以利用的上下文包括地点、时间、天气、同伴、用户情绪、设备类型、活动状态等,下面对基于常用上下文的移动推荐系统进行介绍.

2.2.1 基于位置的移动推荐

移动用户在不同的地理位置环境下偏好会有所不同,如何利用位置上下文更准确地获取移动用户偏好并提供准确的个性化推荐,成为移动上下文研究的热点[12,13,26,36−42].移动用户的地理位置信息可以通过 GPS 定位、移动基站定位或者其他技术手段来获取或者推理得到.移动推荐系统领域的位置上下文信息可以从硬指标(hard criteria)和软指标(soft criteria)角度来划分[39,43].硬指标是指必须要满足的条件,用来过滤项目;而软指标用来对项目集进行排序或预测用户对每个项目的偏好程度.位置上下文作为硬指标时,只有在满足当前位置上下文要求的项目才会被推荐;而作为软指标,是根据与当前位置上下文的匹配程度对项目进行排序.从功能上看,将上下文分为硬指标和软指标,跟上下文与推荐系统的结合方式是一致的.

文献[41]提出的移动旅游向导,只考虑了位置上下文对移动偏好的影响,将移动用户周围的热门景点和周边服务(如餐厅、宾馆等)推荐给移动用户,并没有考虑移动用户的个性化偏好.Girardello 等人[35]利用用户当前的位置上下文,分析该位置附近手机应用程序的使用情况,将使用最频繁的应用程序推荐给用户,也只是考虑位置上下文和应用程序使用情况对应用程序选择的影响,并没有考虑移动用户个人偏好对应用程序选择的影响.文献[36]通过统计分析移动用户访问过的商家网页,得到移动用户的偏好特征向量,使用余弦相似度来衡量用户描述文件与商家网页的相似度来衡量用户对商家的偏好,同时考虑移动用户与商家间的位置距离,距离远的商家,移动用户的偏好会降低.在将位置作为物理标识来使用时,主要利用位置间的距离来衡量对移动用户偏好的影响,还可以进一步对位置进行抽象,如在家、在办公室、在户外等,通过对位置不同程度的抽象,更有利于推理和分类.位置上下文经常与其他上下文结合使用[23,40,42].

2.2.2 基于时间的移动推荐

鉴于用户移动性和移动设备的便携性,时间上下文对移动用户信息需求的影响也很重要,即用户在不同时间的偏好并不相同,如有的用户晚上看移动新闻,周末玩移动在线游戏或通过移动终端购物;利用时间上下文[23,42,44]可以更准确地获取移动用户偏好,对于满足移动推荐的实时性要求也十分重要.文献[23]使用朴素贝叶斯分类方法对当前时间上下文进行归类,将时间上下文分为工作日和周末,计算项目属于不同类别的概率,从而进行移动推荐.但是,它仅考虑了移动用户在不同时间段的偏好可能不一致,没有考虑移动用户偏好随着时间的推移所可能发生的变化,例如用户在中午原来喜欢阅读移动时事新闻,后来喜欢观看移动视频或听音乐.文献[44]考虑移动用户购买项目时间和项目上架时间对移动用户偏好的影响,通过将用户购买记录按购买时间的先后顺序分成不同的购买分组,将项目按上架时间的先后顺序分成不同的项目组,如目前(recent)、中期(middle)、早期(old).移动用户的购买记录能够反映用户的偏好,但随着时间的推移,用户的偏好会发生变换.用户的偏好主要根据用户最近的购买记录来衡量,更早的购买记录在移动用户偏好挖掘时所占权重会随时间推移而变小.因

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

而在不同时间段,购买不同上架时间的项目,反映出不同的偏好权重,通过设定不同的权重,如当前购买了新上架的项目其评分权重是 3,当前购买中期上架的项目偏好权重为 2,从而获取移动用户对已经购买项目的偏好,使用余弦相似度或 Pearson 相关性计算用户间的相似性,通过协同过滤算法进行推荐,结果表明,这一做法比传统的协同过滤算法准确性更高.

2.2.3 多维上下文移动推荐

移动用户的移动信息需求可能不仅受一种上下文的影响,而是多种上下文(如位置、时间、天气、周围人员、情绪等)同时作用的结果[23,42,45−47],各种上下文对推荐的影响程度也可能不尽相同.Abdesslem 等人[48]发现,移动用户对基于位置服务的配置同时受周围人员和位置上下文的影响,而时间上下文对服务配置的选择没有影响.Shiraki 等人[49]研究位置、时间和天气对移动用户选择餐厅的影响,发现位置、时间和天气对移动推荐系统的影响程度是不同的.在考虑多维上下文对移动推荐系统的影响时,需要确定哪些上下文对移动推荐是有重要影响的,避免引入不必要的上下文而增加计算复杂度.

文献[42]考虑多维上下文(日期、时间段、天气、同伴等)对移动用户餐厅食物选择的影响,如果将上下文加入用户项目评分矩阵,则会形成多维矩阵.根据假设:在两种不同的上下文中使用相同的实体,那么这两种上下文相似.使用自组织映射神经网络(self-organizing maps)对用户在不同上下文中的使用模式进行聚类,形成不同上下文下的多个用户,根据聚类得到的用户形成新的二维评分矩阵,然后使用协同过滤算法进行推荐.文献[47]提出二阶段的上下文移动推荐模型,首先考虑用户状态(行走、静止等)、时间、地理、同伴等上下文的综合权重,如果权重达到一定阈值,再利用协同过滤或其他推荐算法进行推荐.其中,上下文只是用来判断是否需要进行推荐的先决条件.文献[23]通过贝叶斯分类方法统计分析项目所属位置和时间上下文的概率,使用向量空间模型描述移动用户偏好和项目,用余弦相似度计算其匹配程度,通过线性组合综合考虑上下文概率和移动用户偏好匹配程度.由于移动终端的处理能力不同,使用基于规则的推理方法决定向移动用户传送什么格式的媒体.文献[50]通过贝叶斯网络模型构建地点、时间、天气、温度等上下文对移动用户的影响,使用 EM 算法学习在不同上下文中的条件概率.基于模型的多维上下文移动推荐需要花费较长时间来构建模型,而且需要调整相关参数来优化模型,但利用模型的特点能够提高推荐准确度,而且只需要存储模型的相关参数,节约了存储空间.

在移动网络环境下,还可能出现上下文感知错误或缺失的情况,这会降低移动上下文推荐系统的推荐性能.如何处理错误或缺失的上下文,值得深入地加以研究.例如,文献[51]通过两层上下文模型的上下文因果关系来处理错误或丢失的上下文,从而提高移动上下文感知推荐系统的健壮性.

2.3 移动社会化推荐

随着 Web 2.0 的发展,人们之间的虚拟交互变得越来越频繁,如用户在各种社交网络中的信息分享、用户间的相互通信等.通过用户的社交化行为可以构建出各种类型的社会网络,如用户的信任关系网络、用户的信息共享网络、用户间的通信网络等,社会网络中的用户之间存在某些特定的关联.传统的基于用户或基于项目的协同过滤算法中存在用户评分数量不均衡、数据稀疏性等问题,为了解决问题,一些研究者将社会化信息引入到推荐中.社会化推荐(social recommendation)是指利用显式的社会化网络或者隐式的社会化群体行为对信息内容进行推荐(如向自己信任的朋友去了解有什么好电影或音乐推荐).

近年来,移动社交网络服务迅速发展,如 Facebook,MySpace 等社交网络都先后出现手机应用版本.由于手机比互联网络更接近用户,使移动社交具有“现实交往”的特性,移动用户在移动社交网络行为更能体现真实用户的社交行为.移动社会化推荐是社会化推荐在移动互联网领域的延伸,首先需要构建精确的移动社会化网络,分析并找到用户间存在的社会关系,再利用社会化网络进行移动推荐.本文将移动社会化推荐分为两个阶段:(1) 移动社会化网络构建;(2) 移动社会化推荐生成.

2.3.1 移动社会化网络构建

移动用户的社会化网络构建基本分为两种方法:显式方法和隐式方法.

显式方法[52,53]是指移动用户显式地标识与其他用户间的关系,如移动用户在社交网站中将其他用户添加

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

为自己的好友,根据用户的好友列表可以构建出移动用户间好友的社会化网络.文献[52]通过移动用户显式标识其信任的其他移动用户,并进一步标识信任程度.其中,信任值为 0~1,1 表示完全信任,0 表示不信任.通过移动用户的显式标识从而建立移动用户的信任社会化关系网络,通过移动用户主动标识用户间关系强度的方法会影响用户的体验.文献[53]通过分析地理社交网络的“check-in”记录(包括“check-in”的地点、行为及评分)和朋友关系网络进行朋友、位置和行为推荐,其中的社交关系网络使用移动用户在 Facebook 中的好友来构建.

隐式方法[18,19,25,54−56]是指移动用户之间没有显式地标识社会化关系,移动社会化网络需要通过分析移动用户的社交化行为来构建(例如,在移动通信网中的通话、短信、彩信等收/发方,移动电子邮件的收发方,在移动社交网站中浏览了相同网页、购买了相同商品、参与了同一个新闻主题讨论等,在某些时刻出现在相近的地理位置等等).隐式方法不需要移动用户的参与,主要通过分析移动用户行为来实现.文献[56]研究室内人员位置邻近(physical proximity)对形成社会关系的影响,发现移动用户间邻近的频率高、时间长,形成社会关系的可能性大.文献[19]利用移动设备中的 Bluetooth 技术可以感知移动用户间的交互,通过分析移动用户间的交互频率和交互时长来构建移动社会化网络,构建的目的是为了挖掘移动用户潜在的朋友关系,其中,网络中的节点表示人,边表示用户间成为朋友的概率,其计算公式如下:

$$\left.\begin{aligned} &p(A\to B)\propto\frac{1}{rankFreq_A(B)+1}\\ &rankFreq_A(B)=|\{C:freq(A,C)>freq(A,B)\}|+1\end{aligned}\right\}\tag{1}$$

$$\left.\begin{aligned} &p(A\to B)\propto\frac{1}{rankDur_A(B)+1}\\ &rankDur_A(B)=|\{C:Dur(A,C)>Dur(A,B)\}|+1\end{aligned}\right\}\tag{2}$$

其中,$p(A\to B)$表示成为朋友的概率,$rankFreq_A(B)$,$rankDur_A(B)$表示移动用户 B 与移动用户 A 交互中的交互频率、交互时长的排名,$freq$ 表示交互频率,dur 表示交互时长.文献[18]针对低端手机只具备电话、短信等基本功能,使用电话和短信记录构建移动用户间的社会化关系网络,认为移动用户间只要有通信,他们间就会相互影响,其强弱由移动用户的通话时长或短信数量占所有通话时长或所有短信数量的比例来决定.上文假定两个用户之间的影响是对称的,而现实中用户间的影响力是不对称的,用户 A 对用户 B 有一定的影响力,但用户 B 不一定会影响用户 A.为了区别用户间的影响,文献[25]对通话或短信记录,按用户充当主叫方或被叫方进行划分.在计算用户间的信任关系时,由于用户间主叫时长、被叫时长和主动发送短信的数量不同,用户间的信任关系不一定是对称的,由此构建的信任关系网络更符合实际.

此外,有些移动社会化网络服务系统同时结合显式方法与隐式方法,通过显式方法标识用户间的关系,通过隐式方法获取关系间的强度或进一步挖掘用户潜在的关系及强度.文献[52]根据用户的显式信任关系图,通过与未显式标识用户之间是否存在连通路径来挖掘信任关系及计算关系强度.

2.3.2 移动社会化推荐生成

目前,移动社会化推荐系统主要以移动社会化网络关系矩阵和移动用户偏好矩阵为输入,以预测潜在的移动用户偏好为主要目的,输出新的移动用户偏好矩阵.文献[57]通过社交网站的朋友关系来构建协同过滤算法中的邻居,结果表明,社交网站中的朋友关系能够提高传统协同过滤算法的推荐准确度.为了提高推荐准确性,文献[58]将社交网站中的用户信任关系引入到电影推荐,其中,用户间的信任强度由用户给定,通过信任关系来获取用户邻居而不是通过评分相似;文献[59]对用户评分矩阵进行矩阵分解,获取影响用户评分的潜在因素,并考虑信任朋友对用户评分的影响,以线性方法来融合两者对用户的影响.将社会化信息引入推荐,主要由于社会化网络中存在传递性、“小世界”效应、社区结构等特性[60],传递性是指社会关系的传递性,如用户朋友的朋友也可能是自己的朋友;社会化影响(social influence)是指用户会受与自己交往的其他用户的影响,如用户的好朋友看了某部电影并且评价很高,用户可能会受朋友的影响去看该电影;而选择(selection)是指用户倾向于与自己相似的其他用户建立社会关系,合理利用社会化网络的特性有助于提高推荐准确度.

在移动环境中,手机本身作为一种社交工具,通过手机的通信记录或移动用户访问社交网站的记录,可以用

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

来分析与建立移动用户的社会化网络.在移动社会化推荐中,被推荐的可以是人(如向用户推荐其潜在的朋友等)、音乐、电影、新闻等.但目前,由于移动电子商务与真实移动用户之间缺乏实际性的关联,利用通话、短信、彩信等记录构建的社会化网络主要用于挖掘用户潜在的社会关系[19,56].文献[19]通过隐式分析移动设备中Bluetooth 设备间的交互频率和时长,得到移动用户交互关系的社会化网络,根据交互频率和时长计算其社会化关系的强度.由于社会化网络的传递性,计算网络中节点到其他节点的最短路径,根据小世界理论,两个节点间距离(距离为路径上边的权重之和,边的权重为移动用户间交互频率或交互时长在用户交互中的排名)越短,成为朋友的可能性越大.因此,将距离短的节点作为潜在的朋友推荐给用户.

文献[25]将协同过滤算法与信任社会化网络结合,通过信任网络中的信任度来获取用户的邻居,从而利用协同过滤算法完成推荐,并在模拟的数据集上验证利用信任关系对用户进行电影推荐的性能.文献[52]将信任社会化网络与协同过滤算法结合,用户间的相似性不仅与用户对项目的评分相关,也与用户间的信任关系相关,将两者融合作为用户间相似的最终权重.根据用户的最终相似权重,使用基于用户的协同过滤算法进行兴趣点(可以是饭店、商场、咖啡店等)推荐与用户评分矩阵相似,由于社交网站中用户量很大,用户能显式标识的数量有限,因此用户的信任矩阵非常稀疏.为解决信任矩阵的稀疏性问题,利用信任关系的传递性计算用户的间接信任关系,通过间接信任关系进行填充,在一定程度上解决信任矩阵的稀疏性问题,提高了推荐的准确性.文献[53]将朋友社会化网络与地理信息引入移动推荐,用张量来表示用户、位置和行为,使用高阶奇异值分解方法进行朋友、位置和行为推荐.文献[61]提出一种基于启发式的在社会化网络和上下文感知基础上的移动服务推荐方法,将移动社会化网络信息和上下文信息同时引入移动服务推荐系统,以缓解移动信息过载问题.

2.4 移动推荐系统的效用评价

效用评价(evaluation)对于检验推荐系统的性能和发现其存在的问题十分重要,是推荐系统不可或缺的步骤.而数据集与效用评价指标是两个重要因素.

2.4.1 移动推荐相关数据集

获取移动推荐系统相关的数据集,要比获取传统互联网推荐系统相关的数据集更困难.目前,在移动推荐系统中没有公开可用的数据集.为验证移动推荐系统的性能,可以收集志愿者的真实数据或经过处理不涉及用户隐私的数据集[19,21,42,44,62]或使用模拟生成的数据集[17,36,63](模拟数据集主要根据应用场景和相应的规则自动生成).下面对移动推荐系统中一些典型数据集进行简要介绍.

文献[64]为了收集在不同上下文中用户对景点的评分,召集 20 个用户对 20 个景点进行了评分,用户假设在两种不同的条件下进行评分:不考虑上下文情况和考虑相关上下文的情况,共收集了 1 272 条评分记录,其中 1/4 评分与上下文无关,3/4 评分是上下文相关的.

文献[42]在对移动推荐系统进行效用评价时,使用真实的关于食物评分的数据集,其中包括 630 个用户从 2008 年 10 月到 12 月,对 400 种不同食物在不同上下文下的评分记录.其中,上下文包括天(day)分为工作日、周末,时间(time)分为早上、中午、下午、晚上,同伴(companion)分为配偶、家人、朋友、同事、单独、其他,天气(whether)分为冷/晴、冷/雨、温度适中/晴、温度适中/雨、热/晴、热/雨.

文献[44]使用的测试数据集是韩国 SK 通讯公司提供的真实数据集,其中包括移动用户从 2004 年 6 月到 8 月下载和购买壁纸的记录.其中,数据集中有 1 922 个用户至少购买了一次壁纸,有 9 131 种不同的壁纸,总共交易记录数量为 65 101.为了体现时间上下文对推荐的影响,壁纸的上架时间和每次下载壁纸的时间都有记录.

文献[21]使用真实的数据集来验证基于位置的移动用户行为推荐,数据集包含 164 个用户在 2 年半中的 GPS 数据,其中包括 139 310 公里的 GPS 轨迹.

2.4.2 效用评价指标

在使用数据集对移动推荐系统性能进行评价时,指标主要针对推荐的准确性,主要有 MAE[63,65], Precision[15,23,25,44,53,55,62],Recall[15,23,53,55],F1[15,42,66,67],P@N[42]等.其中,MAP 属于预测精确度指标,而其他几种属于分类精确度指标.推荐系统的评测方法来自机器学习等领域,将数据集分成训练集和测试集.推荐算法在训练集上进行训练得到算法的相应参数,在测试集上测试评价算法的性能.在移动推荐系统中,由于缺少公开可用的

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

数据集,通常通过部署相应的原型系统进行实际的测试,通过聘请志愿者使用系统,对使用者进行调查问卷来统计分析系统的性能[7,10,12,15,33,39,62,68],以此来了解用户对移动推荐的满意度、有效性等,这是移动推荐系统性能测试的一条重要途径,但这种测试方式所需测试人员的规模相对较小而且测试结果的主观性较强.

互联网推荐系统主要针对推荐的准确性来评价推荐系统的性能,在移动推荐系统中推荐的实时性很重要,在评价移动推荐性能时可以作为一个考核指标.效用评价的目的是检测推荐系统的性能以评价其优劣,在获取评价指标的评价效果后,如果评价效果不理想或不能让用户满意,应根据具体评价指标分析推荐的哪些环节需要改进以达到更好的推荐效果.

3 移动推荐系统的应用进展

移动推荐系统的普适性和个性化特性使其具有广阔的应用前景,本节就移动推荐系统的应用进展进行分析、总结,表 2 列举分析了移动推荐系统的一些典型案例.

Table 2 Classification of typical applications of mobile recommender systems

表 2 典型移动推荐系统应用分类

应用领域	典型应用	移动设备类型	推荐方法
移动新闻	Moners[16]	PDA、手机等	基于内容的推荐
	Daily Learner[67]	PDA、手机等	基于内容的推荐
移动搜索	明复移动搜索[69]	手机	混合推荐
移动旅游	Compass[39]	PDA、手机等	混合推荐
	Cyberguide[41]	PDA、手机等	基于知识的推荐
	MTRS[68]	PDA、手机等	协同过滤推荐
	myMytileneCity[70]	PDA、手机等	基于内容的推荐
移动应用程序	Applause[20]	手机	混合推荐
	Appjoy[62]	手机	协同过滤推荐
	Appazaar[71]	手机	协同过滤推荐
移动博客	m-CSS[65]	PDA、手机等	混合推荐
	M-CRS[72]	手机	基于内容的推荐
移动广告	Caesar[18]	手机	协同过滤推荐
	MALCR[73]	PDA、手机等	基于内容的推荐
电影/音乐	CoFoSIM[15]	手机	协同过滤推荐
	MOBICORS-Movie[33]	手机	混合推荐
服务配置	ICR[27]	PDA、手机等	协同过滤推荐

3.1 移动新闻推荐

新闻推荐一直是互联网推荐系统研究热点之一,近年来在移动领域也受到研究者的关注.Daily Learner[67]新闻推荐系统可以运行在 Palm PDA 或手机上,通过挖掘用户的短期兴趣和长期兴趣向移动用户推荐每天的新闻,其中,用户兴趣使用选择的关键字权重向量来表示.为了解决冷启动问题,当用户第一次使用该系统时,需要用户在预先定义好的新闻类别中选择自己喜欢的类别.由于新闻的时效性,用户喜欢阅读自己关注方面的最新消息,如用户喜欢足球,那用户可能希望尽快了解最新重要足球比赛结果和扼要介绍.新闻随着时间的推移对用户的吸引力会逐渐降低,但其中一些重要的新闻依然有价值.移动互联网新闻推荐系统 Moners[16]考虑了新闻的时效性,表明时效性的权重随新闻存在时间长短而变化,随着时间的推移,其权重会有所降低,综合考虑新闻的重要性、时效性和用户的偏好,向移动用户推荐新闻.

3.2 个性化移动搜索

移动搜索将搜索技术与移动通信技术融合,对分布在传统互联网和移动互联网上的数据信息进行搜索,满足用户随时随地搜索的要求.传统的搜索引擎只是对文本的搜索,用户并不能获取理想的查询结果.由于移动设备的输入能力、屏幕、无线连接等限制,用户希望移动搜索能够提供更准确的、满足自己需求的搜索结果.为了理解用户的需求,可以分析用户的搜索记录、个人信息等,由于移动终端所具有的个人化特性,使移动搜索更

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

容易获取这些信息.移动搜索中的排序功能往往可以利用移动推荐系统的技术,以提供个性化的搜索结果.例如,文献[69]将基于用户统计信息的推荐、协同过滤推荐与基于关联规则的推荐加以混合,应用到移动搜索.其中,用户统计信息包括用户基本信息、消费习惯、使用偏好、兴趣偏好等;协同过滤算法中,通过移动用户的显式评分或隐式推导(根据页面停留时间和浏览频率)得到用户对项目的偏好;通过用户预先定制和统计挖掘的方式获得项目集与项目集之间的关联规则.

3.3 移动旅游推荐

移动旅游推荐是移动推荐系统中的一个主要应用点,旅游推荐不仅包括旅游景点的推荐,还涉及周边服务(如餐厅、宾馆等).传统的推荐系统主要以列表的方式向用户展示推荐的内容,而在旅游推荐中,为了使用户更清楚地了解推荐项目的信息,可以选择基于地图的方式来展示推荐内容.旅游向导 Cyberguide[41]根据用户当前的位置及历史位置进行一般化推荐,没有考虑用户的个人偏好.文献[68]针对前期旅游向导没有考虑相似旅游者的评分、行为等信息,利用相似旅游者(根据对相同景点的评分来计算)的信息,同时结合上下文信息(如用户目前的位置、时间、天气情况、已经参观的景点等),利用协同过滤算法对用户进行推荐.文献[74]针对协同过滤算法在旅游推荐中的一些先天性的缺陷,数据的稀疏性变得更严重,用户旅游行为远低于看电影、购物等其他消费行为,为了避免数据稀疏性造成的推荐性能下降,采用基于知识的方法来进行推荐.其中,知识来源于Wikipedia.文献[75]为了使旅游向导适应性更强,如适应不同的移动设备、不同的移动连接方式等,实现了不同的用户定位方式(Wi-Fi、GPS、用户设定).使用基于用户行为推理的方法进行推荐,其中,行为主要分为在线预订、项目选择、网页标签等.

3.4 移动应用程序推荐

随着智能手机的推广,为了满足移动用户的各种应用需求(如通过手机接收邮件等),手机应用程序层出不穷,“过载”的应用程序让用户难以选择.移动推荐系统能够挖掘用户、上下文(如位置等)、应用程序之间的潜在关联,为用户的选择提供有效的支持.这使得移动应用程序成为移动推荐系统的重要应用场合.Applause[20]是基于位置上下文的个性化移动应用程序推荐,位置信息通过移动设备自动感知或人为设定获取.而对于“新用户”,系统不考虑用户的个人偏好,只是根据当前位置附近应用程序的使用频繁程度向其进行推荐,在一定程度上解决“新用户”问题.Appjoy[62]针对免费移动应用程序的下载行为并不能很有效地体现用户需求,因为用户的消费习惯,有时下载免费的应用程序只是想试一试,Appjoy 通过分析用户使用应用程序的行为(使用频率、使用时长、最近使用时间)获取用户对应用程序的真实偏好并使用协同过滤算法进行推荐.Appazaar[71]从用户识别、项目识别、上下文获取、偏好获取这 4 个方面提出移动上下文感知推荐系统的设计空间,其中,每个方面都可以通过显式或隐式的方式实现.

3.5 移动博客推荐

博客近几年发展迅速,博文数量剧增,使用户在获取自己感兴趣的博文时变得困难(特别是移动用户由于手机的屏幕和输入能力的限制),博客推荐成为移动推荐系统中的主要应用之一[65,72].m-CCS 系统[72]将博文进行聚类,通过分析移动用户的博文浏览记录,获取移动用户对不同博文类型的偏好,并考虑互联网用户对博文的点击率,将点击率高并满足用户偏好的博文推荐给移动用户.微博作为一个基于用户关系的信息分享、传播以及获取平台,通过广播、收听、听众等关系来及时传播用户感兴趣用户的留言.随着微博用户量的增加,如何找到用户感兴趣的其他用户变得困难,基于微博的用户推荐将是移动推荐系统应用热点之一.

3.6 移动广告推荐

随着智能手机和平板电脑等智能移动终端的普及,移动广告投放也成为工业界关注的热点之一.移动广告弥补了互联网和电视广告的空缺,使得广告可以根据移动用户的个性化需求、位置、移动社交网络等进行实时、有针对性的推送,从而能够准确地为潜在的产品用户提供相关信息.文献[73]通过隐式分析用户的浏览行为来获取用户对广告的偏好,并考虑位置上下文对广告推荐的影响,从而形成推荐结果.在现实生活中,对选择什么

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

类型的产品,熟人(如朋友)的建议作用显著.文献[18]利用手机短信记录构建社会化网络,并找到移动用户的朋友,根据朋友的行为向移动用户推荐.如果移动用户以前在附近的餐厅就餐并给出了好评,而其朋友恰好在午餐的时间在这附近,那么就向其朋友推荐该餐厅.文献[76]使用行为定向方法来获取用户的广告偏好,为了避免移动用户信息集中在系统的中心结点,系统采用 P2P 的体系结构获取信息并进行协同推荐.

3.7 移动音乐/电影推荐

随着移动通信带宽的增加、移动终端处理能力的增强和移动多媒体应用程序的日益丰富,越来越多的移动用户通过手机来看电影、听音乐.而目前,对电影音乐等多媒体资源内容本身的分析比较困难.如何提取移动用户对多媒体的偏好并向其推荐,是移动推荐在电影音乐领域应用需要研究的问题.文献[15]通过移动用户的浏览行为(忽略、点击、试听、购买等)隐式地获取移动用户对音乐的相对偏好,如购买行为表达的偏好强于试听行为表达的偏好,则根据获取的偏好使用协同过滤算法预测该移动用户对其他音乐的偏好关系,从而进行音乐推荐.文献[52]使用向量空间模型描述电影特征和移动用户对电影特征的偏好,通过行为分析用户对电影的潜在偏好,不同的行为表达移动用户对电影的不同偏好程度,移动用户首先根据用户对电影的潜在偏好使用协同过滤算法推荐,根据移动用户对某部推荐电影的反馈,如果移动用户喜欢推荐的电影,则向其推荐类似的电影,否则屏蔽该电影下次不再推荐.

3.8 移动设备服务配置推荐

随着移动智能设备上各种应用程序的增加,在安装各种应用程序时,大部分用户使用程序的默认配置.但是不同情况下,用户并不了解默认的配置是不是最优的.由于不正确的配置可能泄漏用户的隐私信息,如基于位置的服务,有些情况用户愿意公开自己的位置信息,但有些情况用户并不愿意公开.可以根据用户在不同情况下的配置行为,为用户提供合理的配置推荐.文献[48]研究表明,移动用户在不同上下文情况下对基于位置服务的配置是不同的,通过统计分析用户在不同上下文中的配置,向用户提供服务配置推荐.文献[27]针对上下文不完全匹配的特性,利用模糊粗糙集进行上下文间的匹配,并根据匹配的上下文进行应用程序配置的推荐.

4 移动推荐系统研究发展的难点与热点

针对“信息过载”问题和面向移动用户的个性化服务趋势,随着移动通信技术的发展和移动终端处理能力的提升,移动推荐系统的研究与应用取得了一定的进展.作为一个新兴的研究领域,其中可以深入研究并可能取得成果的研究方向有很多,主要包括:

(1) 移动用户偏好获取

推荐系统中获取用户偏好是推荐的前提,移动推荐中,由于移动设备屏幕小和输入能力差,通过显式的用户评分来获取用户偏好会严重影响用户的体验.移动推荐中,常用隐式方法来获取用户偏好.如何快速、准确地获取移动用户的偏好,依然是移动推荐系统的难点.随着时间的推移,移动用户偏好不是一成不变的,上下文用户偏好也是如此(例如,用户原本喜欢“独自”看喜剧类电影,后来喜欢“和好友一起”看喜剧类电影),因此,上下文用户偏好变化检测与修正技术,也是值得关注的研究方向.

(2) 移动推荐的冷启动问题

推荐系统中的冷启动问题,在移动推荐系统也存在包括新用户问题和新项目问题.对首次使用系统的移动用户,系统没有或只有少量关于用户的信息,不能准确地获取用户偏好.新项目问题是指新加入的项目在一段时间之后才可能有移动用户对其浏览并评价,在使用协同过滤的移动推荐系统中,由于新项目没有被移动用户浏览或评分,因此不能被推荐.如何解决移动推荐系统中的冷启动问题,值得关注.文献[20]利用位置信息来解决新用户的推荐问题,根据当前位置移动应用程序的使用情况向新用户推荐.文献[75]为了避免冷启动问题,利用用户的基本信息(年龄、性别、职业等),使用基于规则的推理进行推荐.

(3) 移动社会化网络推荐

移动社交具有“现实交往”的特性,移动用户在移动社交网络行为更能体现真实用户社交行为,将移动社会

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

化网络信息用于移动推荐系统以提高推荐性能.移动社会化网络的精确构建是移动推荐的基础,移动社会化网络的构建可以通过显式的方法[52],也可通过用户的行为隐式地构建[25].在隐式构建中,如何确定用户间的关系及关系强度,是构建移动社会化网络的难点.通过构建的信任网络或朋友网络获取用户的邻居结点,进而使用协同过滤算法进行推荐,是将移动社会化网络和移动推荐结合的一种方法[19,25].如何将移动社会化网络融合到移动推荐以提高推荐性能,是移动社会化网络推荐的研究热点之一.

(4) 移动上下文感知推荐

移动推荐系统中上下文对移动用户偏好存在不同程度的影响,当并没有明确规定需要考虑哪些类型的上下文时,从降低计算复杂度来讲,获取尽可能多的上下文信息并不是必需的[4].因此,明确不同上下文在不同领域对移动推荐系统性能的影响,只考虑有效的上下文以降低计算复杂度.由于移动环境的不确定性,获取的上下文可能存在错误或丢失的情况.如何处理上下文错误或丢失的情况以提高移动推荐系统的健壮性,也是移动上下文感知推荐需要研究的问题.利用有效的上下文生成推荐结果,是移动上下文感知推荐的核心.目前,移动上下文感知推荐生成技术也面临各种问题,包括单维上下文与多维上下文推荐、基于模型的上下文感知推荐等.

(5) 移动推荐系统的评价

移动推荐系统的性能,主要是由其评价指标来衡量的.传统互联网推荐系统中的评价指标,如 Precision, Recall 等也被用来衡量移动推荐性能.在使用这些指标时需要相应的数据集,但目前,在移动推荐领域很少有公开可用的数据集,这给移动推荐系统的验证带来了一定的困难.为了评价移动推荐系统的性能,研究者经常召集志愿者实际使用移动推荐系统,通过调查问卷的方式统计分析用户的反馈,以了解移动推荐的性能.通过调查问卷的方式可以了解到移动用户对推荐系统的满意度、实时性、交互体验等用户主观性指标,但这需要花费较大成本,而且样本数量相对较少.如何有效地评价推荐系统的性能,是移动推荐系统需要研究的问题之一.

(6) 移动推荐结果的解释

很少有研究者关注移动推荐结果的解释,但这方面的研究对移动推荐系统很重要,有效而正确的解释可以让用户了解系统是如何工作的、可以提高用户对系统的信任、能够帮助用户更快、更好地做出决定[77]、提高用户对推荐结果的点击、浏览或购买率.在移动设备屏幕比较小、输入不方便的情况下,如何设计有效的方法以提供有效而正确的解释,特别是在推荐算法很复杂的情况下,让移动用户了解系统推荐的动机,帮助用户更快、更好地做出决定,这是一个很有意义的研究方向.

(7) 移动推荐系统的人机交互技术

移动推荐系统在实时性和精确度等方面的高要求,使其特别依赖于移动人机交互技术.传统互联网推荐系统领域的用户主要关心商品的价格、服务的质量、信息内容的精确性和多样性等,但是移动推荐系统并不是单纯地将推荐系统的现有技术和实用系统简单地转到移动设备上去,要从移动终端着手,开发良好的用户界面,注重交互性(甚至使用语音、动作等手段),让移动用户参与推荐结果的反馈[9],使得系统能够根据用户反馈进行自适应改进.为吸引移动用户积极参与到推荐过程中,需要设计人性化、游戏化的移动推荐交互,通过移动用户的参与能够更准确地获取用户的偏好,提高推荐的性能.

(8) 移动组推荐

目前,移动推荐系统的对象基本针对个人,但在一些情况下,有必要为一组人而不是个人进行推荐[78,79],如为一家人推荐电视节目、为一群朋友推荐餐厅等,这需要综合考虑一组人的偏好进行推荐,而不是只是考虑某个人的偏好.组推荐中需要考虑多个用户的偏好,但组用户的偏好不尽相同,如何处理组用户偏好之间的冲突,以获取准确的组偏好并完成对一组用户的推荐,是组推荐的重点.目前,移动推荐系统中对组推荐的研究很少,但这是一个很有意义的研究方向,值得深入研究.

(9) 移动推荐的隐私和安全问题

移动用户的隐私保护和安全问题[55,76]制约了移动推荐系统的发展.移动推荐系统为了给移动用户提供准确的推荐,必须记录并分析移动用户的信息、行为、位置等,但出于隐私与信息安全的考虑,移动用户不愿意提供完整和准确的信息给推荐系统,认为用户的隐私会得不到保障,移动推荐系统记录的信息有可能被泄露.通过

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

移动用户不同时间的位置信息可以分析出移动用户的移动轨迹,而移动轨迹是一种特殊的个人隐私,它本身包含敏感信息(移动用户访问过的敏感位置),或由移动轨迹推导出其他个人信息(如家庭住址、工作地点、生活习惯等)[80],对移动轨迹的保护也是移动推荐系统需要关注的问题.为了缓解由于信息集中带来的安全问题,使用分布式的移动推荐系统[76],用户描述文件在各个移动终端代理间相互传递并保存,避免了用户信息集中的问题.另外,有些熟悉移动推荐算法的攻击者可能利用虚假数据欺骗推荐系统,从而危害系统的推荐信用.移动推荐系统的用户隐私和安全问题是其研究的一个难点.

5 结束语

随着无线网络技术的发展和移动手机等移动设备的普及,移动设备已成为人们信息访问的一个主要平台.但是,随着信息技术的迅速发展和信息内容的日益增长,“信息过载”问题愈来愈严重,给用户,特别是移动用户获取信息带来很大的负担.推荐系统作为缓解此问题的有效手段,在互联网领域得到了广泛关注和应用.近年来,移动推荐系统用于缓解移动用户获取信息的负担,在学术界和工业界得到广泛关注和应用,但依然存在大量问题需要进行深入、细致的研究,以提高移动推荐的性能.因此,移动推荐系统具有重要的研究意义和广阔的应用前景.

References:

[1] Adomavicius G, Tuzhilin A. Towards the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, 2005,17(6):734−749. [doi: 10.1109/TKDE.2005.99]

[2] Xu HL, Wu X, Li XD, Yan BP. Comparison study of Internet recommendation system. Ruanjian Xuebao/Journal of Software, 2009,20(2):350−362 (in Chinese with English abstract). http://www.jos.org.cn/1000-9825/3388.htm [doi: 10.3724/SP.J.1001.2009.03388]

[3] Resnick P, Varian HR. Recommender systems. Communications of the ACM, 1997,40(3):56−58. [doi: 10.1145/245108.245121]

[4] Wang LC, Meng XW, Zhang YJ. Context-Aware recommender systems. Ruanjian Xuebao/Journal of Software, 2012,23(1):1−20 (in Chinese with English abstract). http://www.jos.org.cn/1000-9825/4100.htm [doi: 10.3724/SP.J.1001.2012.04100]

[5] Wang LC, Meng XW, Zhang YJ. A cognitive psychology-based approach to user preferences elicitation for mobile network services. Acta Electronica Sinica, 2011,39(11):2547−2553 (in Chinese with English abstract).

[6] Ricci F. Mobile recommender systems. Int'l Journal of Information Technology and Tourism, 2011,12(3):205−231.

[7] Modsching M, Kramer R, Hagen KT, Gretzel U. Effectiveness of mobile recommender systems for tourist destinations: A user evaluation. In: Proc. of the Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 2007. Washington: IEEE Computer Society, 2007. 663−668. [doi: 10.1109/IDAACS.2007.4488505]

[8] Miller BN, Albert I, Lam SK, Konstan JA, Riedl J. Movielens unplugged: Experiences with an occasionally connected recommender system. In: Proc. of the Intelligent User Interfaces (IUI) 2003. New York: ACM Press, 2003. 263−266. [doi: 10.1145/604045.604094]

[9] Francesco R, Nhat NQ. Acquiring and revising preferences in a critique-based mobile recommender system. IEEE Intelligent Systems, 2007,22(3):22−29. [doi: 10.1109/MIS.2007.43]

[10] Averjanova O, Ricci F, Nguyen QN. Map-Based interaction with a conversational mobile recommender system. In: Proc. of the Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM 2008). Washington: IEEE Computer Society, 2008. 212−218. [doi: 10.1109/UBICOMM.2008.16]

[11] Nguyen Q, Ricci F. Long-Term and session-specific user preferences in a mobile recommender system. In: Proc. of the Intelligent User Interfaces 2008. New York: ACM Press, 2008. 381−384. [doi: 10.1145/1378773.1378835]

[12] Wörndl W, Schüller C, Wojtech R. A hybrid recommender system for context-aware recommendations of mobile applications. In: Proc. of the Int'l Conf. on Data Engineering (ICDE 2007). Washington: IEEE Computer Society, 2007. 871−878. [doi: 10.1109/ICDEW.2007.4401078]

[13] Woerndl W, Brocco M, Eigner R. Context-Aware recommender systems in mobile scenarios. Int'l Journal of Information Technology and Web Engineering, 2009,4(1):67−85. [doi: 10.4018/jitwe.2009010105]

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[14] Min JK, Jang SH, Cho SB. Mining and visualizing mobile social network based on bayesian probabilistic model. In: Proc. of the Ubiquitous Intelligence and Computing 2009. Brisbane: Springer-Verlag, 2009. 111−120. [doi: 10.1007/978-3-642-02830-4_10]

[15] Lee SK, Cho YH, Kim SH. Collaborative filtering with ordinal scale-based implicit ratings for mobile music recommendations. Information Sciences, 2010,180(11):2142−2155. [doi: 10.1016/j.ins.2010.02.004]

[16] Lee HJ, Park SJ. Moners: A news recommender for the mobile Web. Expert Systems with Applications, 2007,32(1):143−150. [doi: 10.1016/j.eswa.2005.11.010]

[17] Ge Y, Xiong H, Tuzhilin A, Xiao KL, Gruteser M, Pazzani MJ. An energy-efficient mobile recommender system. In: Proc. of the KDD 2010. New York: ACM Press, 2010. 899−907. [doi: 10.1145/1835804.1835918]

[18] Ramaswamy L, Deepak P, Polavarapu R, Gunasekera K, Garg D, Visweswariah K, Kalyanaraman S. Caesar: A context-aware, social recommender system for low-end mobile devices. In: Proc. of the Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware-Volume 2009. Washington: IEEE Computer Society, 2009. 338−347. [doi: 10.1109/MDM.2009.66]

[19] Quercia D, Capra L. FriendSensing: Recommending friends using mobile phones. In: Proc. of the RecSys 2009. New York: ACM Press, 2009. 273−276. [doi: 10.1145/1639714.1639766]

[20] Davidsson C, Moritz S. Utilizing implicit feedback and context to recommend mobile applications from first use. In: Proc. of the CaRR 2011. NewYork: ACM Press, 2011. 19−22. [doi: 10.1145/1961634.1961639]

[21] Zheng V, Cao B, Zheng Y, Xie X, Yang Q. Collaborative filtering meets mobile recommendation: A user-centered approach. In: Proc. of the AAAI 2010. Menlo Park: AAAI Press, 2010. 236−241.

[22] Wu JY, Ping LD, Wang H, Lin ZJ, Zhang QF. Research on improved collaborative filtering-based mobile e-commerce personalized recommender system. In: Proc. of the MultiMedia and Information Technology 2008.Washington: IEEE Computer Society, 2008. 143−146. [doi: 10.1109/MMIT.2008.108]

[23] Yu Z, Zhou X, Zhang D, Chin CY, Wang X, Men J. Supporting context-aware media recommendations for smart phones. IEEE Pervasive Computing, 2006,5(3):68−75. [doi: 10.1109/MPRV.2006.61]

[24] Yu Z, Li C, Zhou X, Wang H. A service-oriented platform for ubiquitous personalized multimedia provisioning. Journal of Universal Computer Science, 2010,16(10):1291−1310. [doi: 10.3217/jucs-016-10-1291]

[25] Huang WH, Meng XW, Wang LC. A collaborative filtering algorithm based on users' social relationship mining in mobile communication network. Journal of Electronics & Information Technology, 2011,33(12):3002−3007 (in Chinese with English abstract).

[26] Xu FL, Meng XW, Wang LC. A collaborative filtering recommendation algorithm based on context similarity for mobile users. Journal of Electronics & Information Technology, 2011,33(11):2785−2789 (in Chinese with English abstract).

[27] Xie HT, Meng XW. Intelligent configuration recommendation of context-aware mobile application. In: Proc. of the Globlecom 2011 Workshop on Ubiquitous Computing and Networks. Washington: IEEE Computer Society, 2011. 1263−1268. [doi: 10.1109/GLOCOMW.2011.6162386]

[28] Wang SL, Wu CY. Application of context-aware and personalized recommendation to implement an adaptive ubiquitous learning system. Expert Systems with Applications, 2011,38(9):10831−10838. [doi: 10.1016/j.eswa.2011.02.083]

[29] Woerndl W, Hristov A. Recommending resources in mobile personal information management. In: Proc. of the ICDS 2009. Washington: IEEE Computer Society, 2009. 149−154. [doi: 10.1109/ICDS.2009.21]

[30] Tokarchuk L, Shoop K, Ma A. Using co-presence communities to enhance social recommendation. In: Proc. of the Wireless On-Demand Network Systems and Services (WONS 2009). Washington: IEEE Computer Society, 2009. 169−172. [doi: 10.1109/WONS.2009.4801863]

[31] Koren A, Stash N, Andreev A. A proposal for semantic recommender for outdoor audio tour guides. In: Proc. of the RecSys 2011 Workshop on PeMA 2011. Chicago: 2011. http://pema2011.cs.ucl.ac.uk/papers/pema2011_koren.pdf

[32] Liu D, Meng XW, Chen JL, Xia YM. Algorithms for rule generation and matchmaking in context-aware system. Ruanjian Xuebao/Journal of Software, 2009,20(10):2655−2666 (in Chinese with English abstract). http://www.jos.org.cn/1000-9825/3436.htm [doi: 10.3724/ SP.J.1001.2009.03436]

[33] Kim J, Cho Y, Kim S. MOBICORS-Movie: A mobile contents recommender system for movie. In: Proc. of the Int'l Conf. on Electronic Business (ICEB 2004). Beijing: Academic Publishers/World Publishing Corporation, 2004. 789−794.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[34] Dey AK. Understanding and using context. Personal and Ubiquitous Computing, 2001,5(1):4−7. [doi: 10.1007/s007790170019]

[35] Girardello A, Michahelles F. AppAware: Which mobile applications are hot? In: Proc. of the Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI 2010). New York: ACM Press, 2010. 431−434. [doi: 10.1145/1851600.1851698]

[36] Yang WS, Cheng HC, Dia JB. A location-aware recommender system for mobile shopping environments. Expert Systems with Applications, 2008,34(1):437−455. [doi: 10.1016/j.eswa.2006.09.033]

[37] Ricci F, Rokach L, Shapira B, Kantor PB. Recommender Systems Handbook. Berlin: Springer-Verlag, 2011. 1−842.

[38] Zheng Y, Zhang L, Ma Z, Xie X, Ma WY. Recommending friends and locations based on individual location history. ACM Trans. on the Web (TWEB), 2011,5(1):1−44. [doi: 10.1145/1921591.1921596]

[39] Setten MV, Pokraev S, Koolwaaij J. Context-Aware recommendations in the mobile tourist application COMPASS. In: Proc. of the Adaptive Hypermedia and Adapotive Web-Based Systems 2004. LNCS 3137, Berlin: Springer-Verlag, 2004. 235−244. [doi: 10.1007/978-3-540-27780-4_27]

[40] Woerndl W, Groh G. Utilizing physical and social context to improve recommender systems. In: Proc. of the Int'l Agent Technology Conf. (IAT 2007). Washington: IEEE Computer Society, 2007. 123−128. [doi: 10.1109/WI-IATW.2007.123]

[41] Abowd GD, Atkeson CG, Hong J, Long S, Kooper R, Pinkerton M. Cyberguide: A mobile context-aware tour guide. Wireless Networks, 1997,3(5):421−433. [doi: 10.1023/A:1019194325861]

[42] Hosseini-Pozveh M, Nematbakhsh MA, Movahhedinia N. A multidimensional approach for context-aware recommendation in mobile commerce. Int'l Journal of Computer Science and Information Security, 2009,3(1):86−91.

[43] Emrich A, Chapko A, Werth D. Context-Aware recommendations on mobile services: The *m*: Ciudad approach. In: Proc. of the European Conf. on Smart Sensing and Context 2009. LNCS 5741, Berlin: Springer-Verlag, 2009. 107−120.

[44] Lee TQ, Park Y, Park YT. A time-based approach to effective recommender systems using implicit feedback. Expert Systems with Applications, 2008,34(4):3055−3062. [doi: 10.1016/j.eswa.2007.06.031]

[45] Kim HJ, Choi YS. EmoSens: Affective entity scoring, a novel service recommendation framework for mobile platform. In: Proc. of the RecSys 2011 Workshop on PeMA 2011. Chicago, 2011. http://pema2011.cs.ucl.ac.uk/papers/pema2011_kim.pdf

[46] Ahn H, Kim KJ, Han I. Mobile advertisement recommender system using collaborative filtering: Mar-cf. In: Proc. of the 2006 Conf. of the Korea Society of Management Information Systems. The Korea Society of Management Information Systems, 2006. 709−715.

[47] Vico DG, Woerndl W, Bader R. A study on proactive delivery of restaurant recommendations for Android Smartphones. In: Proc. of the RecSys 2011 Workshop on PeMA 2011. Chicago, 2011. http://pema2011.cs.ucl.ac.uk/papers/pema2011_vico.pdf

[48] Abdesslem FB, Henderson T, Brostoff S, Sasse MA. Context-Based personalised settings for mobile location sharing. In: Proc. of the RecSys 2011 Workshop on PeMA 2011. Chicago, 2011. http://pema2011.cs.ucl.ac.uk/papers/pema2011_benabdesslem.pdf

[49] Shiraki T, Ito C, Ohno T. Large scale evaluation of multi-mode recommender system using predicted contexts with mobile phone users. In: Proc. of the RecSys 2011 Workshop on CARS 2011. Chicago, 2011. http://cars-workshop.org/wp-content/uploads/2011/09/paper6.pdf

[50] Park, MH, Hong JH, Cho SB. Location-Based recommendation system using bayesian user's preference model in mobile devices. In: Proc. of the Ubiquitous Intelligence and Computing 2007. LNCS 4611, Berlin: Springer-Verlag, 2007. 1130−1139. [doi: 10.1007/978-3-540-73549-6_110]

[51] Yap G, Tan A, Pang H. Discovering and exploiting causal dependencies for robust mobile context-aware recommenders. IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, 2007,19(7):977−992. [doi: 10.1109/TKDE.2007.1065]

[52] Wang YX, Qiao XQ, Li XF, Meng LM. Research on context-awareness mobile sns service selection mechanism. Chinese Journal of Computers, 2010,33(11):2126−2135 (in Chinese with English abstract). [doi: 10.3724/SP.J.1016.2010.02126]

[53] Papadimitriou A, Symeonidis P, Manolopoulos Y. Geo-Social recommendations. In: Proc. of the RecSys 2011 Workshop on PeMA 2011. Chicago, 2011. http://pema2011.cs.ucl.ac.uk/papers/pema2011_papadimitriou.pdf

[54] Jung J. Contextualized mobile recommendation service based on interactive social network discovered from mobile users. Expert Systems with Applications. 2009,36(9):11950−11956. [doi: 10.1016/j.eswa.2009.03.067]

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[55] Baglioni E, Becchetti L, Bergamini L, Colesanti UM, Filipponi L, Vitaletti A, Persiano G. A lightweight privacy preserving SMS-based recommendation system for mobile users. In: Proc. of the RecSys 2010. New York: ACM Press, 2010. 191−198. [doi: 10.1145/1864708.1864745]

[56] Xu B, Chin A, Wang H, Wang H, Zhang L. Social linking and physical proximity in a mobile location-based service. In: Proc. of the MLBS 2011. New York: ACM Press, 2011. 99−108. [doi: 10.1145/2025876.2025895]

[57] Groh G, Ehmig C. Recommendations in taste related domains: Collaborative filtering vs. social filtering. In: Proc. of the GROUP 2007. New York: ACM Press, 2007. 127−136. [doi: 10.1145/1316624.1316643]

[58] Golbeck J. Generating predictive movie recommendations from trust in social networks. In: Proc. of the Trust Management 2006. LNCS 3986, Berlin: Springer-Verlag, 2006. 93−104. [doi: 10.1007/11755593_8]

[59] Ma H, King I, Lyu MR. Learning to recommend with social trust ensemble. In: Proc. of the SIGIR 2009. New York: ACM Press, 2009. 203−210. [doi: 10.1145/1571941.1571978]

[60] Newman MEJ. The structure and function of complex networks. SIAM Review, 2003,45(2):167−256.

[61] Wang LC, Meng XW, Zhang YJ. A heuristic approach to social network-based and context-aware mobile services recommendation. Journal of Convergence Information Technology, 2011,6(10):339−346.

[62] Yan B, Chen GL. Appjoy: Personalized mobile application discovery. In: Proc. of the MobiSys 2011. New York: ACM Press, 2011. 113−126. [doi: 10.1145/1999995.2000007]

[63] Prete LD, Capra L. DiffeRS: A mobile recommender service. In: Proc. of the Mobile Data Management 2010. Washington: IEEE Computer Society, 2010. 21−26. [doi: 10.1109/MDM.2010.22]

[64] Baltrunas L, Ludwig B, Peer S, Ricci F. Context relevance assessment and exploitation in mobile recommender systems. Personal and Ubiquitous Computing. 2012,16(5):507−526 [doi: 10.1007/s00779-011-0417-x]

[65] Tsai PY, Liu DR. Personalized popular blog recommender service for mobile applications. LNCS, 2009. 2−13. [doi: 10.1007/978-3-642-03964-5-2]

[66] Yan Z, Zhang P, Deng RH. Truberepec: A trust-behavior-based reputation and recommender system for mobile applications. Personal and Ubiquitous Computing, 2011,16(5):485−506. [doi: 10.1007/s00779-011-0420-2]

[67] Billsus D, Pazzani MJ. User modeling for adaptive news access. User Modeling and User-Adapted Interaction, 2000,10(2-3): 147−180. [doi: 10.1023/A:1026501525781]

[68] Gavalas D, Kenteris M. A Web-based pervasive recommendation system for mobile tourist guides. Personal and Ubiquitous Computing, 2011,15(7):1−12. [doi: 10.1007/s00779-011-0389-x]

[69] Cheng Q. Research and application of a hybrid personalized recommendation method in mobile search [MS. Thesis]. Shanghai: Fudan University, 2010 (in Chinese with English abstract).

[70] Kenteris M, Gavalas D, Economou D. An innovative mobile electronic tourist guide application. Personal and Ubiquitous Computing, 2009,13(2):103−118. [doi: 10.1007/s00779-007-0191-y]

[71] Böhmer M, Bauer G, Krüger A. Exploring the design space of context-aware recommender systems that suggest mobile applications. In: Proc. of the RecSys 2010 Workshop on CARS 2010. Barcelona, 2010. http://cars-workshop.org/wp-content/uploads/papers/2010/BoehmerEtAl-CARS-2010.pdf

[72] Chiu PH, Kao GYM, Lo CC. Personalized blog content recommender system for mobile phone users. Int'l Journal of Human-Computer Studies, 2010,68(8):496−507. [doi: 10.1016/j.ijhcs.2010.03.005]

[73] Yuan ST, Tsao YW. A recommendation mechanism for contextualized mobile advertising. Expert Systems with Applications, 2003, 24(4):399−414. [doi: 10.1016/S0957-4174(02)00189-6]

[74] Goren-Bar D, Kuflik T. Off the beaten track: A mobile field study exploring the long tail of tourist recommendations. In: Proc. of the Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI 2010). New York: ACM Press, 2010. 209−218. [doi: 10.1145/1851600.1851636]

[75] Cena F, Console L, Gena C, Goy A, Levi G, Modeo S, Torre I. Integrating heterogeneous adaptation techniques to build a flexible and usable mobile tourist guide. AI Communications, 2006,19(4):369−384.

[76] Moreno A, Castro H, Riveill M. Decentralized recommender systems for mobile advertisement. In: Proc. of the RecSys 2011 Workshop on PeMA 2011. Chicago, 2011. http://pema2011.cs.ucl.ac.uk/papers/pema2011_moreno.pdf

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[77] Carolis BD, Novielli N, Plantamura VL, Gentile E. Generating comparative descriptions of places of interest in the tourism domain. In: Proc. of the RecSys 2009. NewYork: ACM Press, 2009. 277−280. [doi: 10.1145/1639714.1639767]

[78] Hu X, Meng XW, Wang LC. SVD-Based group recommendation approaches—An experimental study of Moviepilot. In: Proc. of the RecSys 2011 Workshop on CAMRa 2011. New York: ACM Press, 2011. 23−28. [doi: 10.1145/2096112.2096117]

[79] Shi YC, Meng XW, Wang LC. A heuristic approach to identifying the specific household member for a given rating. In: Proc. of the RecSys 2011 Workshop on CAMRa 2011. New York: ACM Press, 2011. 47−52. [doi: 10.1145/2096112.2096121]

[80] Huo Z, Meng XF. A survey of trajectory privacy-preserving techniques. Chinese Journal of Computers, 2011,34(10):1820−1830 (in Chinese with English abstract). [doi: 10.3724/SP.J.1016.2011.01820]

附中文参考文献:

[2] 许海玲,吴潇,李晓东,阎保平.互联网推荐系统比较研究.软件学报,2009,20(2):350−362. http://www.jos.org.cn/1000-9825/3388.htm [doi: 10.3724/SP.J.1001.2009.03388]

[4] 王立才,孟祥武,张玉洁.上下文感知推荐系统.软件学报,2012,23(1):1−20. http://www.jos.org.cn/1000-9825/4100.htm [doi: 10.3724/SP.J.1001.2012.04100]

[5] 王立才,孟祥武,张玉洁.移动网络服务中基于认知心理学的用户偏好提取方法.电子学报,2011,39(11):2547−2553.

[25] 黄武汉,孟祥武,王立才.移动通信网中基于用户社会化关系挖掘的协同过滤算法.电子与信息学报,2011,33(12):3002−3007.

[26] 徐风苓,孟祥武,王立才.基于移动用户上下文相似度的协同过滤推荐算法.电子与信息学报,2011,33(11):2785−2789.

[32] 刘栋,孟祥武,陈俊亮,夏亚梅.上下文感知系统中的规则生成与匹配算法.软件学报,2009,20(10):2655−2666. http://www.jos.org.cn/1000-9825/3436.htm [doi: 10.3724/SP.J.1001.2009.03436]

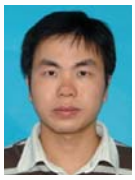
[52] 王玉祥,乔秀全,李晓峰,孟洛明.上下文感知的移动社交网络服务选择机制研究.计算机学报,2010,33(11):2126−2135. [doi: 10.3724/SP.J.1016.2010.02126]

[69] 程琦.混合的个性化推荐方法在移动搜索中的研究和应用[硕士学位论文].上海:复旦大学,2010.

[80] 霍峥,孟小峰.轨迹隐私保护技术研究.计算机学报,2011,34(10):1820−1830. [doi: 10.3724/SP.J.1016.2011.01820]

孟祥武(1966－),男,山东招远人,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为网络服务,通信软件,人工智能.
E-mail: mengxw@bupt.edu.cn

王立才(1984－),男,博士,主要研究领域为推荐系统,智能信息处理.
E-mail: wiizane@gmail.com



胡勋(1985－),男,博士生,主要研究领域为社会化网络分析,推荐系统.
E-mail: hu_xun@163.com

张玉洁(1969－),女,讲师,主要研究领域为智能信息处理,通信软件,网络服务.
E-mail: zhangyj@bupt.edu.cn

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn