软件学报 ISSN 1000-9825, CODEN RUXUEW
Journal of Software,2012,23(1):46−64 [doi: 10.3724/SP.J.1001.2012.04120]
©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 Web 搜索研究*

张金增, 孟小峰+

(中国人民大学 信息学院,北京 100872)

Research on Mobile Web Search

ZHANG Jin-Zeng, MENG Xiao-Feng+

(School of Information, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

+ Corresponding author: E-mail: xfmeng@ruc.edu.cn

Zhang JZ, Meng XF. Research on mobile Web search. *Journal of Software*, 2012,23(1):46−64. http://www.jos.org.cn/ 1000-9825/4120.htm

Abstract: With the coming of 3G ages and the high-speed growth of Web resources, there is a trend of rapid development in mobile Internet, making resources accessesible and information obtainable conveniently by using mobile devices. However, in mobile Web search, these are very challenging tasks to geo-tag Web resources, integrated spatial data and Web data seamlessly, and provide valuable and high-relevant information to users. A framework of mobile Web search is proposed in this paper, and the key research techniques in mobile Web search are classified and surveyed according to this framework. Based on the comprehensive comparison and analysis of existing techniques, the suggestions for future research are put forward.
Key words: mobile Web; geotagging; hybrid index; query processing; ranking; result visualization

摘 要: 随着 3G 时代的到来和 Web 资源的飞速增长,移动互联网呈现出快速发展的趋势,人们可以利用移动终端设备便捷地访问网络,从中获取丰富的信息.然而如何对 Web 资源进行地理标记,并将地理数据与 Web 数据进行无缝集成,为移动用户提供有价值的高度相关的信息,却都是十分具有挑战性的工作.提出了一个移动Web搜索的系统框架,依据该框架对移动Web搜索领域关键性技术进行了分类概括总结.在对已有技术进行深入对比分析的基础上,指出了该领域未来的研究工作和面临的挑战.
关键词: 移动 Web;地理标记;混合索引;查询处理;排名策略;结果可视化
中图法分类号: TP311 **文献标识码**: A

随着移动通信和 Internet 在人们日常生活中的日益普及、移动通信带宽的大幅度提高以及移动终端功能的逐渐增强,传统的服务已经不能满足用户多元化的需求,人们希望随时随地访问互联网上的服务,从中获取丰富的信息.移动互联网实现了 Web 和移动通信的逐步融合,加入了移动性、位置可确定性、终端个人化等固有属性,使其成为产业界备受关注的领域,同时也带来了许多新的挑战.

* 基金项目: 国家自然科学基金(60833005, 61070055, 91024032); 核高基重大专项(2010ZX01042-002-003); 高等学校博士学科点专项科研基金(200800020002); 中国人民大学科学研究基金(10XNI018)

收稿时间: 2011-03-05; 定稿时间: 2011-09-01; jos 在线出版时间: 2011-11-08

CNKI 网络优先出版: 2011-11-08 16:19, http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2560.TP.20111108.1619.001.html

随着 3G 时代的到来,越来越多的用户使用移动终端就能够便捷地访问网络.根据 2011 年中国互联网络信息中心发表的最新报告,手机网民数已达 3.03 亿,并呈直线上升趋势.而移动 Web 搜索是用户在访问网络时最经常进行的活动之一.在日常生活中,人们经常会碰到很多“Now and Here”的问题,需要查询与其正在进行的活动相关的信息:

- 我的朋友现在位于什么位置?
- 电影院现在正在放映什么电影,离自己位置最近的影院有无剩余的票?
- 附近有没有比较好的吃晚餐的地方?现在有一些什么优惠活动?
- 我需要停车,现在最近的有停车位的停车场在哪里?

由以上问题可以看出,人们使用移动设备搜索时大多数需求都与位置密切相关,但传统的搜索引擎仅仅利用纯粹的文本搜索,用户往往不能获得理想的查询结果.此外,与传统互联网搜索环境相比,移动终端受到屏幕尺寸小、网络带宽有限等限制,这些不同点为新环境下移动 Web 搜索带来了许多新的挑战.

在移动环境下,根据移动用户的需求,准确地标记 Web 资源的地理位置,并将用户上下文信息(比如位置、时间等)与 Web 中的数据结合起来去回答提出的搜索,在此基础上进行高效的面向移动用户的查询处理,获得高度精确的满足用户需求的结果,从而为用户提供“Nearby Now”的服务,都具有非常重要的研究价值,为 3G 时代下的移动 Web 搜索提供了一条新思路,具有十分广阔的应用前景.由于位置信息在移动搜索中占有重要地位,同时也受篇幅限制,本文仅讨论与地理位置相关的移动搜索.

本文第 1 节对移动 Web 搜索进行概述.第 2 节提出移动 Web 搜索的基本框架,并依据该框架对关键性技术进行对比分析总结.第 3 节和第 4 节对未来工作进行展望,并对全文工作进行总结.

1 移动 Web 搜索概述

与互联网搜索和移动数据库查询技术相比,移动 Web 搜索具有一些独特之处.本节结合相关研究工作,对移动 Web 及其特性进行了分析和总结,指出了移动 Web 搜索与互联网搜索存在的差异,并给出了移动 Web 搜索的整体流程.

1.1 移动Web的基本概念及其特点

移动 Web 是指移动用户从自身实际需求出发,能够通过移动终端随时随地地通过无线方式接入互联网.传统的移动互联网是一个封闭的网络,其封闭性体现在网络、终端和应用 3 个方面.封闭的特性制约了移动互联网的发展.新型移动互联网具备如下特点[1−3]:

- 开放性:体现在网络开放、应用接口开放、内容和服务开放等多个方面,用户拥有更多选择的权利;
- 分享和协作性:在开放性的网络环境中,用户可以通过多种方式与他人共享各类资源,实现活动参与,协同工作;
- 创新性:结合 Web 2.0 与移动网络特征,移动互联网能够为用户提供丰富的创新性服务.

开放、分享和创新构成了移动 Web 的核心特征.随着移动互联网的深入发展,移动 Web 现有的垄断性、封闭性局面终将被打破,开放性将成为移动 Web 服务的基本标准,用户将具有更大的自主性和更多的选择机会,用户角色由被动的信息接受者转变成为主动的内容创造者,移动终端的智能性将进一步有所增强,用户间的通信和内容体验将更具有交互性.

1.2 移动Web搜索与互联网搜索的异同点

移动 Web 搜索是指以移动网络为数据传输承载,将分布在传统互联网和移动互联网上的数据信息进行搜集整理,供手机用户查询的业务.移动搜索作为搜索技术与移动通信技术的一种结合体,融合了两种技术各自的特点.移动搜索的出现真正打破了地域、网络的局限性,满足了用户随时随地的搜索服务请求.目前,大量的商业搜索引擎都推出了各自的移动搜索,比如 Google Mobile,Yahoo! one Search,Ask Mobile Search,MSN Windows Live Search for Mobile 等.从功能上来看,它们除了具有传统搜索引擎的页面、图片、新闻搜索功能以外,最大的

优势是移动搜索可以使用定位功能自动定位出用户的当前位置,当用户使用本地搜索时,搜索结果中会融入用户的位置信息,可以实时地获得更加准确、实用的信息.此外,移动版的即时浏览功能可以进行直观的比较搜索结果与网页预览.从用户搜索模式和信息需求来看,由 Google 和 Yahoo!的移动用户搜索日志的分析结果可知[1−4],使用移动手机提交的查询字符数长度要略小于基于桌面的搜索,而每一个搜索会话(session)中包含的平均查询数也要小于传统的搜索.用户的需求也更加关注于本地服务、娱乐休闲、旅游等内容.而对于提供的本地搜索而言,还不能很好地与 Web 上的海量信息进行整合,为用户提供服务.

可以看出,移动搜索与互联网搜索存在着本质区别[1−6],主要表现在搜索方式、搜索要求、搜索渠道和搜索内容等多个方面,详见表 1.

Table 1 Comparison of mobile Web search and Web search

表 1 移动 Web 搜索与互联网搜索的差异

	移动 Web 搜索	互联网搜索
终端特点	功能单一、普及率高、携带方便、承载网络覆盖面大	功能丰富、普及率低、承载网络覆盖面小
搜索方式	关键字搜索、自然语句搜索	目录检索、关键字搜索
搜索需求	准确性、便捷性、个性化	准确性、海量性、快速性
搜索渠道	短信、搜索门户、搜索栏、IVR	搜索门户、搜索栏、浏览器地址栏
搜索内容	Wap 网站内容、传统互联网内容、运营商及服务提供商内容、传统信息提供商及黄页内容	以互联网网站内容为主,信息量十分丰富
搜索目的	搜索需要的内容、定制需要的服务	搜索需要的内容和站点
搜索限制	无	存在网络接入限制
搜索费用	流量费、服务定制费等	免费

1.3 移动Web搜索的整体流程

Web 信息检索主要集中在识别 Web 页面的文本内容上,支持基于关键字的 Web 搜索.而 Web 内容经常与位置信息存在隐含的关系,因此移动搜索可以将位置信息和 Web 内容信息结合起来为用户提供更为精确和有价值的服务.它依赖于 3 个基本要素:GPS,Internet 和移动设备.下面,我们针对移动 Web 搜索的基本流程进行一个简要介绍.

移动 Web 搜索的整个流程分为客户端和服务器端两部分(如图 1 所示):(1) 移动客户端通过 Internet 访问 Web 服务器,通过连接 GPS 设备获取当前位置坐标.当用户提交一个基于关键字的查询时,如果想要获得本地信息,需将自己的位置信息附在提交的查询中一起传递给 Web 服务器,否则直接将自己的查询提交给服务器进行处理;(2) 服务器检索到相关的信息并将结果返回给移动客户端,然后显示给用户.

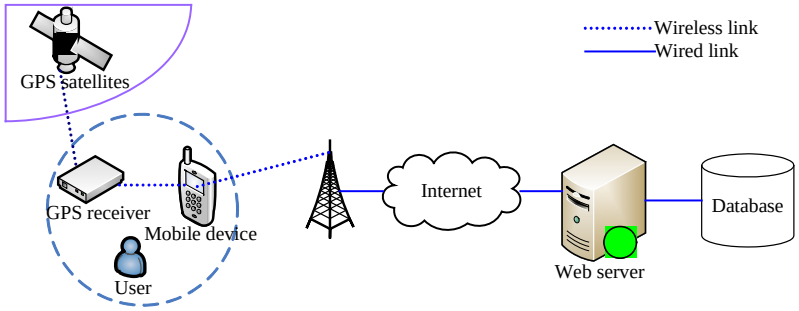

Fig.1 Flowchart of mobile Web search

图 1 移动 Web 搜索流程

将整个流程分成两部分有以下优点:客户端仅仅需要显示处理得到的结果,并不需要在大型数据库中做过多的过滤和搜索工作.这使得该系统可以运行在具有低处理能力的设备上,而让服务器端做大多数重量级的工作.

2 移动 Web 搜索相关技术研究

作为一种新型搜索技术,移动 Web 搜索的研究仍处于起步阶段.这种新兴的搜索是搜索技术在移动平台上的延伸,真正打破了地域、网络和硬件的局限性,满足了用户随时随地的搜索需求.本节首先提出移动 Web 搜索整体框架,然后从地理标记 Web 资源、混合索引的构建、面向移动用户的查询处理、查询结果的处理与可视化等几个方面,对移动搜索的相关工作及研究成果进行对比分析总结.

2.1 移动Web搜索基本框架

由于移动环境的位置发生动态变化,屏幕狭小、计算资源有限等特点对传统的文本搜索提出了高精准的查询要求,给移动 Web 搜索带来了许多新的挑战.而 Web 中包含有丰富的信息资源,这些资源大多与空间位置密切相关,需要对 Web 资源进行地理标记,找出所覆盖的地理范围,并将位置信息和 Web 数据进行无缝的集成,才能更好地得到利用.在此基础上,构造高效的查询搜索机制和排名算法,为用户提供更加精确的查询结果.此外,由于移动设备的局限性,已有的结果可视化方法不适合移动搜索,所以需要对结果页面进行一定的调整处理.基于此,我们提出了移动 Web 搜索的整体框架,如图 2 所示.

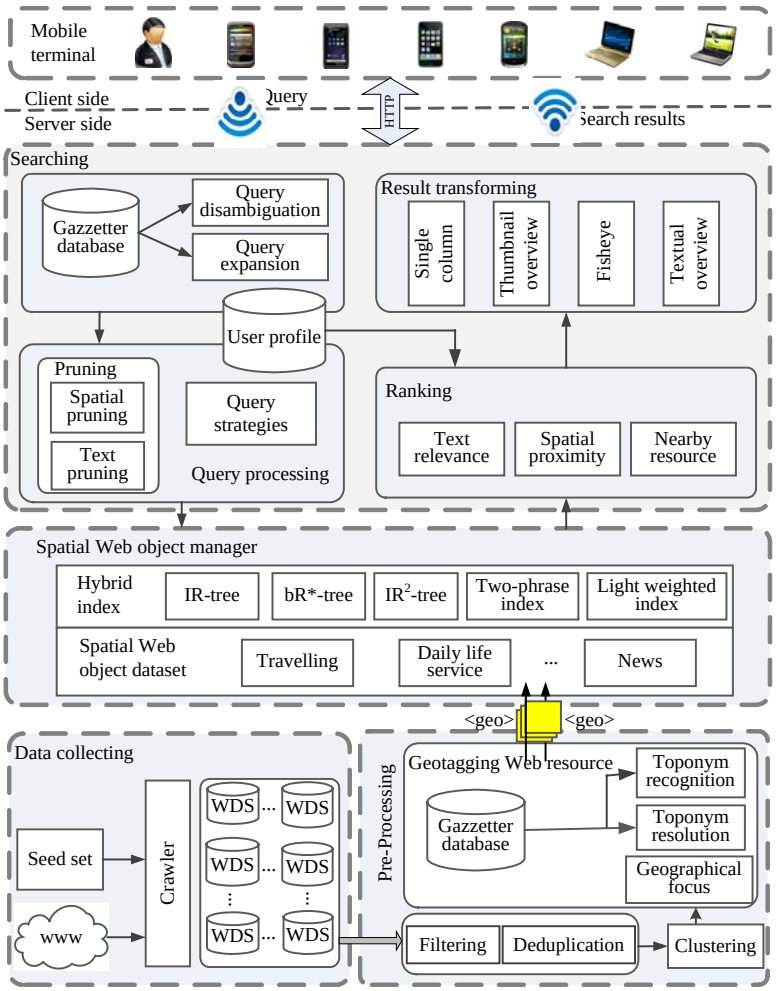

Fig.2 Framework of mobile Web search

图 2 移动 Web 搜索系统框架

该框架被划分为 4 个模块:

- 数据收集模块(data collecting):通过种子节点集合,爬虫从 WWW 发现和下载 Web 页面,接收 URL,下载页面,分析内容,并沿着出链接重复执行一系列操作,从而获得初始的粗糙数据集.
- 预处理模块(pre-processing):数据收集阶段完成后,需要对 Web 数据源进行清洗和去重操作,并对过滤后的数据按内容所在的领域进行聚类.为了支持移动搜索,需要标记出 Web 资源所对应的地理位置或所覆盖的地理范围,完成这项任务需要地名识别、地名分辨和覆盖地理范围的确定这 3 个步骤,在此基础上,就可以获得空间 Web 对象数据集.
- 索引模块(indexing):为了提高搜索效率和访问准确率,对空间 Web 对象构建索引需要综合考虑地理空间和文本两个方面,将空间索引和文本索引进行无缝集成.混合索引的构建用来检索出与用户需求高度相关的信息.
- 搜索模块(searching):用户通过移动终端设备提交查询,需要对提交的查询消除歧义并加以扩展.然后进行查询处理,对返回的结果按照文本相关性、距离相近性及周围环境进行综合排序.由于移动设备的一些固有局限性,需要对用户查看的结果页面进行一定的转换处理.最终,将搜索结果返回给移动终端.

2.2 移动Web搜索关键技术研究

依据整体框架可以看出,在该领域存在着许多研究问题:地理标记 Web 资源、混合索引的构建、面向移动用户的查询处理、查询结果的处理与可视化等.有些问题已经得到了一定程度的研究,而有些问题还处在研究的初步阶段.接下来,我们对目前已有的相关工作进行分析和总结.

2.2.1 地理标记 Web 资源

在 Internet 中,大多数 Web 资源都与空间地理信息彼此相关.一方面,许多与地理相关的兴趣点(point of interest),比如商店、旅游景点、餐馆、娱乐服务、公共交通等都与描述性文本相关联;另一方面,Web 文档显式或隐式地包含地理信息,地理位置和文本文档的集成使得查询不仅要考虑位置相近性,还需要考虑文本相关性.此外,商业搜索引擎已经开始提供基于位置的服务,比如地图搜索、本地搜索以及本地广告等.随着移动互联网的迅速普及,地理位置对移动搜索结果的精确性具有决定性的作用,使得在 Web 中捕获特定位置相关信息变得尤为重要.因此,如何准确、有效地发现 Web 资源对应的地理位置,对于基于位置的 Web 应用来说已经成为一个关键性的挑战.

识别出 Web 资源的位置并消除参照点歧义的过程称为地理标记(geotagging)[7].识别出的 Web 资源的位置大致可以分为 3 类[8]:提供者的位置(provider location)、内容位置(content location)、服务位置(serving location),如图 3 所示.提供者的位置是拥有这些 Web 资源(组织、公司等)的提供者的物理位置,这种类型的位置对 Web 地理检索和导航具有重要的作用;内容位置是 Web 资源的内容所描述的地理位置,这种类型的位置被用于更好地满足用户的信息需求;服务位置是指 Web 资源可以达到的地理范围,这种类型的位置对商业应用,比如本地广告和电子商务等有很大的益处.在这一部分,我们重点介绍前两种位置的标记和定位方法.

对于给定的 Web 资源,准确地标记出所对应的地理位置或覆盖的地理范围大致需要 3 个步骤:地名识别(toponym recognition)、地名分辨(toponym resolution)和地理聚焦点(geographical focus)的确定.地名识别用来识别出 Web 资源中包含的所有地名,地名分辨是指对每一个有多种可能解释的地名分配一个准确的地理坐标.地理标记作为一项非常有难度的任务,第 1 步涉及到自然语言的处理,第 2 步需要对文档的内容有一个很好的理解,以决定大量可能的位置中哪些是需要被进一步标记处理的.下面我们按照地理标记的过程对已有的工作进行简要的分类总结.

(1) 地名识别(toponym recognition):需要处理 geo/non-geo 存在的歧义问题,比如,Washington 表示一个地名,还可以代表一个人名.目前已经提出很多地名识别的方法,它们具有一定的共同点,最普遍采用的方法是找出文档中出现在地名词典或地理位置数据库中的短语,许多研究[7−11]都使用该方法作为基础.其中,Web-a-Where[7]就采用该方法并进行了改进,提高了非地理含义的地名识别的准确率.该方法处理速度较快,适合批量数据,但却无法找到词典里不存在的地名.

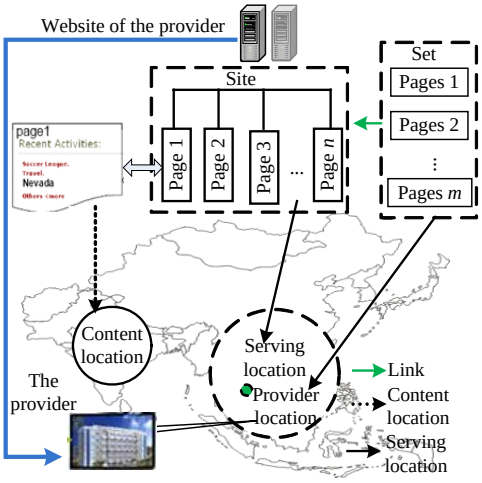

Fig.3 Location classification of Web resource

图 3 Web 资源地理位置分类

另外一种比较普遍的策略是自然语言处理的方法,可以找出文档中几乎所有的地名,它主要采用词性标记(POS)和命名实体识别(NER)对位置短语进行标记.该类方法大致分为两类:基于规则的方法[12−16]和基于统计的方法[17,18].基于规则的方法使用启发式规则捕捉上下文信息,找出文档中所有可能的地名;基于统计的命名实体识别方法分析静态的文档库可以达到很好的效果,但对于动态和不断更新的文档库却无能为力.为此,可以采取混合的策略解决以上缺陷.The SPIRIT[14]采用混合的地名识别方法,将地理词典查询和上下文规则结合使用,过滤掉出现在地名词典中最可能被用作非地理含义的名字;Michael[19]等人提出的混合方法略有不同,使用 POS 和 NER 标记词性和收集位置短语,使用启发式规则收集可能的地名,在收集的每一个阶段,查询地名词典,只将存在于地理词典的短语标记为地名.

(2) 地名分辨(toponym resolution):识别出地名后,主要任务是解决 geo/geo 存在的歧义,比如,“Pairs”可以代表一个国家名,也可以是一个城市名称.最常用的方法就是为识别出的地名分配一个衡量其流行度的缺省值(比如该地方的人口数、最经常出现的场所等),并结合其他方法来完成地名的分辨[7,14,16,20−22].MetaCarta 方法[21]以地名在需要标记的文档库中出现的概率作为缺省值,然后使用启发式规则(比如线索词以及与附近地名的共现关系)对概率值进行修改,而这种方法不适合处理不太流行的地名.Michael 等人[19]通过构造这些不太流行的位置的本地词典并利用该词典,以及受到人类分辨地名的启发得出的大量启发式规则,去解决地名辨别的问题.

地名分辨的另外一种流行的策略[7−10,14,20,22]是采用分层地理本体构建“分辨上下文”,这是一个地理区域.使用该区域可以将文档中许多有歧义的地名分辨出来.Web-a-Where[7]方法在文档中找出分层的形式,发现最小分辨上下文并检测邻近地名的包含关系.该方法对分辨上下文区域内地名分辨很有用,但不能很好地解决远距离地名的分辨问题.其他策略基本上是采用地理空间度量来分辨地名,比如最小化地理覆盖面积或最小化成对地名距离.

(3) 地理聚焦点(geographical focus)的确定:即找出文档覆盖的地理区域,目前已提出了多种方法[7,8,13,23],Web-a-Where[7]使用层次本体确定地理聚焦点,该层次结构中分辨出来的每一个地名为其父节点贡献分值,然后选择分值最高的本体节点作为该文档的地理聚焦点.但该方法不能处理包含有多个地理聚焦点的文档.另外一种普遍使用的策略[11,13,17]是选择出现频度最高的地名作为地理聚焦点.

2.2.2 混合索引

在移动环境中,移动性与位置相关性使得移动搜索需要同时考虑文本信息和位置信息.此外,位置信息额外增加了 CPU 和存储的开销,使得建立以文本和地理位置为基础的高效索引变得非常关键.普通的文本搜索索引是面向集合的,主要索引技术有倒排文件(inverted file)、位图(bitmap)、签名文件(signature file)等;而位置信息

是面向二维空间的,主要索引技术有 R-tree[24]、R*-tree[25]、四分树(quad tree)、网格(grid)等.这两类索引在各自的领域都得到了很好的发展.一种最简单的方法是把位置信息看作是普通关键字(比如地名)来表示,建立类似文本的索引,然后采用关键词匹配的方式进行检索.但是,这种方法忽略了基本的空间关系,不支持高级的空间查询.因此,需要构建出一种综合考虑文本和空间位置的索引结构,使其有效地整合空间索引和文本索引,以保证达到最优的搜索效果.

- 两阶段索引(two-phrase index)

Zhou 等人[26]提出将倒排文件和 R*-tree 两种索引结构结合起来处理位置感知的文本查询方法.他们给出了 3 种合并方案:(1) 倒排文件和 R*-trees 双重索引,两种索引结构分别从文本和空间两个角度对 Web 页面进行索引.与普通 R*-tree 不同,该索引结构中树的每一个叶子节点指向的是 Web 页面列表;(2) 先倒排文件后 R*-tree,首先对所有的关键字构造倒排索引文件,然后对倒排文件中的 Web 页面进行空间上的分割,每个关键字指向一个 R*-tree,该关键字所对应的页面列表根据其地理范围划分到不同的 MBR 中;(3) 先 R*-tree 后倒排文件,根据 Web 页面所覆盖的 MBR 构建一棵 R*-tree,每个叶子节点指向其所覆盖的 Web 页面的倒排文件.对这 3 种索引方案进行比较可知,存储代价相同,后两种查询性能优于第 1 种,第 3 种方案最佳,但总的来说,都造成了大量的数据冗余,存储代价非常高.此外,这种两阶段的方法对于提前决定需要获得 Top-*k* 个结果所需要的最近邻的个数是非常困难的,不适合移动 Web 搜索.

- IR^2-tree

目前,许多应用(比如在线黄页等)需要找出匹配关键字集合并距离某一特定位置最近的空间对象.De Felipe 等人[27]提出了一种高效的索引存储结构——IR^2-tree(information retrieval R-tree),它是以 R-tree 为基础,并将 R-tree 和签名文件相结合组成的一种混合索引.该结构节点中的每一项包含两部分信息:空间信息和关键字信息,前者用最小边界区域(minimum bounding area)表示,后者用签名文件表示.

IR^2-tree 采用高度平衡树结构,如图 4 所示.

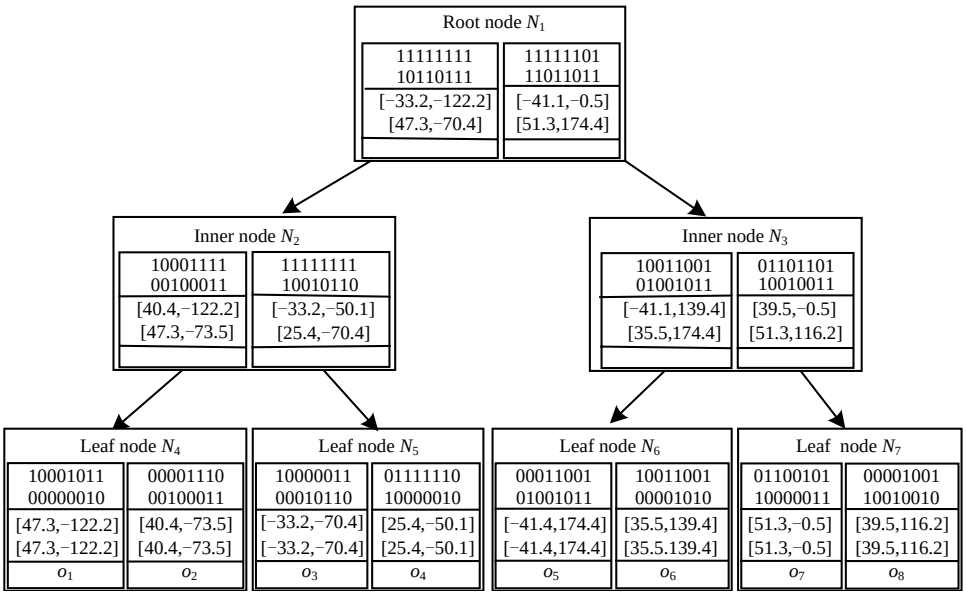

Fig.4 An illustration of IR^2-tree

图 4 IR^2-tree 索引结构示例

叶子节点中每一项用三元组(*ObjPtr*,*A*,*S*)表示,其中,*ObjPtr* 和 *A* 定义在 R-tree 中,*A* 表示节点的边界区域;*S* 是 *ObjPtr* 所指向对象对应的签名文件.在非叶子节点中,每一项用三元组(*NodePtr*,*A*,*S*)表示.同样,*NodePtr* 和 *A*

也定义在 R-tree 中,S 是签名文件.一个节点的签名是该节点所有项签名的叠加,等同于以该节点为根的子树中所有文档签名的叠加.IR^2-tree 采用插入和删除操作对索引进行维护,是 R-tree 相应操作的修改和扩充.实现细节详见文献[27].此外,IR^2-tree 的每个节点需要额外的空间存储签名文件.

但是 IR^2-tree 索引的所有层都采用相同的签名长度,导致层次越高,产生的拒真项(false positives)就越多.为了解决该问题,提出了 MIR^2-tree(multi-level IR^2-tree)索引结构,不同的层采用不同的签名长度,并使用多层叠加的编码方法,以有效地降低拒真项出现的个数.MIR^2-tree 对每一层采用最佳的签名长度,只需对以该节点为根的子树中所有对象的签名文件进行叠加,而不是对所有的孩子节点进行叠加.

- IR-tree

IR^2-tree 将签名文件(signature file)和 R-tree 集成起来,虽然这种索引结构可以很好地处理布尔查询,但对于位置感知的 Top-k 文本检索(LkT)查询却并不适合.因为 LkT 查询是一种排名查询,签名文件不能很好地处理排名的文本检索.因此,Cong 等人[28]提出了一种新的用于处理 LkT 查询的索引结构——IR-tree(inverted file R-tree),该结构将倒排文件和 R-tree 相结合,实现了对 R-tree 的扩展.

IR-tree 的每个节点记录了以该节点为根的子树中所有对象的位置信息和文本内容的概括,如图 5 所示.在 IR-tree 中,叶子节点中每一项用三元组(o,*rectangle*,$o.di$)表示,其中:o 表示数据库 D 的一个空间 Web 对象;*rectangle* 表示对象 o 的 MBR;$o.di$ 是对象 o 的文档标识符,此外还包含一个指向对象文本文档的倒排文件(inverted file)指针.非叶子节点中每一项用三元组(cp,*rectangle*,$cp.di$)表示,cp 是指向孩子节点的指针;*rectangle* 是该节点中包含的所有项的 MBR;$cp.di$ 是伪文档标识符,该文档表示孩子节点中所有项的文档集合,用来估计一个查询与该节点所有文档文本相关性的界限值.

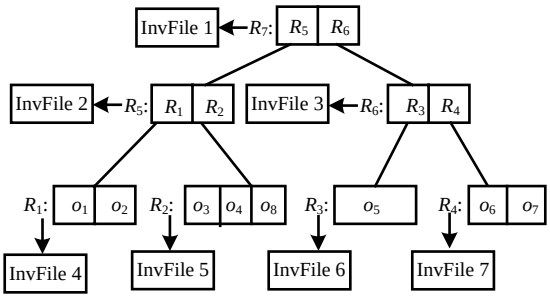

Fig.5 An illustration of IR-tree

图 5 IR-tree 索引结构示例

由于 IR-tree 在构造过程中仅考虑了位置信息,为了进一步提高查询处理的性能,对 IR-tree 进行扩展,于是,有研究者提出了一种称为 DIR-tree 的混合索引结构,该索引在构造的过程中综合考虑位置信息和文本相似度,IR-tree 可以看作是 DIR-tree 的一种特殊情况.

- bR*-tree

为了更加有效并以可扩展的方式回答 m 最近邻关键字(m-closet keyword)查询,Zhang[29]提出了一种新的索引结构——bR*-tree.bR*-tree 是对 R*-tree 的扩展,它利用 R*-tree 对所有的空间对象与其对应的关键字进行索引.

bR*-tree 的每个节点除了包含 MBR 信息外,还增加了附加信息以对节点进行扩展,附加信息由两部分组成:节点包含的所有关键字的概括和每个关键字的 MBR,如图 6 所示.每个节点的关键字用位图表示,即关键字位图.如果数据库中有 N 个关键字,则每个节点的关键字由使用大小为 N 的位图来表示.若节点中存在该关键字,则该关键字所在的位置置 1,否则为 0.这种表示方法占用很小的存储空间.此外,高速的二进制操作也加快了关键字约束的处理速度.关键字 w_i 的关键字 MBR 是节点中与 w_i 相关的所有对象的 MBR,它表示关键字 w_i 的空间位置,通过该信息可以知道节点中每个关键字的大致分布区域.

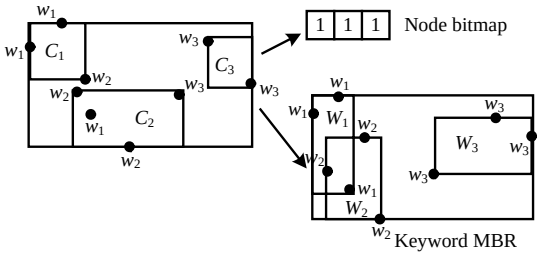

Fig.6 Node information of the bR*-tree

图 6 bR*-tree 节点信息结构

在 bR*-tree 中,非叶子节点中的每一项用四元组(*ptrs*,*mbr*,*bmp*,*kwd.mbr*)表示,*ptrs* 为指向孩子节点的指针,*mbr* 为节点的最小边界矩形,*bmp* 是关键字位图,*kwd.mbr* 为包含在该节点中的所有关键字的关键字 MBR 向量.叶子节点中的每一项采用三元组(*oid*,*loc*,*bmp*)表示,其中,*oid* 是指向对象的指针,*loc* 表示空间对象的坐标,*bmp* 为关键字位图.bR*-tree 的构建过程类似于 R*-tree,只是在原始算法的基础上添加了关键字和关键字 MBR 更新操作.同样地,bR*-tree 的删除操作也是对原始算法进行扩充.

- Light-Weighted 索引

在 Web 2.0 中,每个用户都可以为 Map 贡献新的资源,导致 Map 中的位置数量以及与其相关联的标签(tag)数量不断增加,因此可以通过标签匹配去定位对象.但是,bR*-tree 索引对每一个 tag 都需要额外的存储空间,当 tag 数量较多时,就会造成非常高的 I/O 代价.为此,文献[30]基于 R*-tree 和倒排文件提出一种更有效的索引结构——Light-Weighted 索引结构,如图 7 所示.

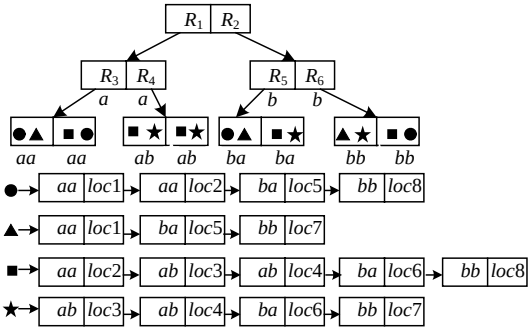

Fig.7 Light-Weighted index

图 7 Light-Weighted 索引结构

Light-Weighted 索引不需要存储内部节点的概要信息,而是在搜索的过程中动态地构建.该结构没有将位置和标签信息集成到一棵树结构中,而是分割成两个部分:一个空间索引和一个倒排索引.空间索引采用 R*-tree 来索引与标签相连的空间位置,每个节点被分配给一个标号(label),用来表示该节点到根节点的路径,树的构造方式与 R*-tree 相同.比如,图 7 中节点 R_3 和 R_4 到根节点的路径相同,故它们的标号都记为“*a*”.给定一个节点的标号,不需要遍历 R*-tree 就可以直接定位出它在树中的位置.两个邻近的位置可能有相同的节点标号前缀,如果它们位于同一个内部节点,则被赋予相同的标号.因此,可以用标号来近似度量数据点间的空间距离.倒排索引用来对数据库中所有标签进行索引,倒排表中的每一个元素由节点标记和位置两部分组成.这种索引结构具有很好的扩展性,每当有一个新位置标记在地图上时,就对 R*-tree 和倒排列表进行插入更新.然而,如果频繁进行插入操作,计算代价则非常昂贵.由于在该搜索算法中并不需要精确标记,可以采用 Lazy 方法,因此,只有在出现分裂操作时才进行更新.Light-Weighted 索引与采用 bR*-tree 对标签和位置进行索引相比,前者的 I/O 代价大为降低.

混合索引结构对比分析可见表 2.

Table 2 Comparison of hybrid index

表 2 混合索引结构对比分析表

索引方法	组合模式	节点信息	主要特性
Two-Phrase index[9,27,31]	倒排文件和 R*-trees 双重索引,先倒排文件后 R*-tree,先 R*-tree 后倒排文件	R*-tree 节点:节点 MBR;倒排文件节点:关键字信息	优点:结构简单,维护方便 缺点:产生冗余数据,存储代价高,I/O 性能差,查询性能差,无法确定过滤阶段产生的候选对象个数
IR^2-tree[27]	R-tree 为基础,R-tree+签名文件	节点的 MBA、节点包含的文本信息的签名文件	优点:降低存储代价,提高搜索速率 缺点:所有层中签名长度相同,层次越高,拒真项越多;需要额外空间存储签名文件
IR-Tree[28]	R-tree 为基础,R-tree+倒排文件	节点的 MBR、节点包含的文本内容的倒排列表	优点:减少存储空间;加速搜索效率 缺点:构建过程中未考虑文本相似性
bR*-Tree[29]	R*-tree 为基础,R*-tree+位图	节点 MBR、节点包含的所有关键字的位图和关键字 MBR	优点:加速关键字约束的检验处理过程;需要很少的存储空间 缺点:关键字过多,I/O 代价过高
Light-Weighted 索引[30]	R*-tree 和倒排索引分开存储,R*-tree 索引与标签相连的空间位置,倒排索引对所有标签进行索引	R*-tree 节点:MBR 和反映节点到根节点路径的 Lable;倒排节点:标记位置组成	优点:可扩展性较强;I/O 代价较低; 缺点:频繁进行插入操作时,计算代价非常昂贵

2.2.3 查询处理算法

查询处理算法[32]利用混合索引方法去评估空间相近性和文本相关性.数据库中的每一个空间对象 *o* 被定义为(*o.loc*;*o.doc*),*o.loc* 是多维空间中的位置描述符,*o.doc* 是对象文档.查询 *Q*=(*loc*,*keywords*)中,*Q.loc* 是位置描述符,*Q.keywords* 是关键字集合.查询结果满足位置上距离最近,文本高相关.本文中主要介绍 5 种查询方案:top-*k* 关键字查询[27]、位置感知的 top-*k* 文本检索查询(L*k*T)[28]、基于 Prestige 的位置感知的 top-*k* 文本检索(L*k*PT)查询[33]、*m* 最近邻关键字(*m*CK)查询[29]和共现位置标签匹配查询[30].针对不同的查询方案,需要采取不同的搜索策略.

- Top-*k* 空间关键字查询

为了找到包含某关键字集合且距指定位置最近的对象,文献[27]提出了两种有效的解决方案:距离优先 IR^2-tree 算法和 IR^2-tree 算法.这两种方法都采用 IR^2-tree 索引结构,结构的遍历基于增量最近邻(incremental nearest neighbor)算法.如果节点的签名文件与查询 *Q* 的签名文件不匹配,可以剪掉以该节点为根的整棵子树.通过将空间剪枝和签名文件剪枝两种技术紧密结合,使得在利用该算法回答 top-*k* 空间关键字查询时,访问的 IR^2-tree 节点和对象数量最少,搜索效率较高.而以上两种算法的最大区别在于采用的排名机制不同.此外,第 2 种方法不是为查询 *Q* 的所有关键字整体上创建一个单独的签名文件,而是给 *Q* 中的每一个关键字构建一个相应的签名文件,使得仅包含部分关键字的对象也可以作为结果返回.

- 位置感知的 top-*k* 文本检索(L*k*T)查询

地理位置和文本的融合使得 top-*k* 查询需要综合考虑位置的相近性和文本的相关性.为此,Cong 等人[28]提出了一种新的查询方法——位置感知的 top-*k* 文本检索(L*k*T)查询.它采用 IR-tree 混合索引结构,利用最佳优先遍历算法(best-first traversal algorithm)检索空间 Web 对象,并计算节点的排名分值,从而找出前 top-*k* 个对象的列表.在查询处理的过程中,需要用到一个重要的度量 $\mathrm{MIN}D_{ST}$,它表示查询 *Q* 和包含在节点 *N* 的 MBR 的对象之间的空间-文本距离的最小下界,用于在搜索过程中进行排序和搜索空间的有效剪枝.而在最佳优先遍历算法中,使用一个优先队列去跟踪记录那些仍然需要被访问的节点和对象,每次选择所有节点集中 $\mathrm{MIN}D_{ST}(Q,N)$值最小的节点 *N* 作为下一个要访问的节点,利用空间的近邻性和文本的相关性对搜索空间剪枝,当 top-*k* 个最近邻的空间 Web 对象都找到后,算法终止.

- 基于 Prestige 的位置感知的 top-*k* 文本检索(L*k*PT)查询

位置感知的关键字查询返回距离查询位置较近并且与查询关键字相匹配的对象.目前,现有的研究建立在

空间 Web 对象之间相互独立的基础上,然而在实际中,空间 Web 对象之间并不相互独立,如果一个对象及其周围的对象也与查询相关,那么该对象要比周围没有相关对象的更加相关.基于此,Cao 等人[33]提出了一个新的概念——对象 Prestige,用来衡量与查询相关对象其附近的对象对查询结果的影响.L*k*PT 查询根据基于 Prestige 的相关性(即 PR 值)和位置的相近性对结果对象排名,从而获得前 top-*k* 个结果.

该查询算法的核心部分是 PR(prestige-based relevance)值的计算,其计算方法类似于个性化 Pagerank 向量的计算,但 PR 值的计算代价和时间代价都非常高.文献[33]提出两种加速 PR 值计算的方法,并在此基础上给出了有效回答的 L*k*PT 查询方案.一种是 ES-EBC(early stop extended bookmarking coloring),如果某一节点和查询点的距离超过某一阈值,则该节点就不会对前 top-*k* 对象的 PR 值产生影响,所以 PR 值的传播仅需考虑附近的节点,从而加速了 PR 值的计算;通过迭代计算每个对象 PR 值的上界和下界,当前 top-(*k*+1)个对象中第 *k* 个对象 PR 值的上界小于第 *k*+1 个对象的 PR 值的下界值,算法终止.由于 ES-EBC 算法在整个图上传播 PR 值,增加了计算代价,可以采取近似计算方法——S-EBC(subgraph-based EBC),它在选择出的最有可能包含 top-*k* 个结果的子图上进行 PR 值的计算,在每个子图内传播计算局部 PR 值,使用子图边界节点的 PR 值更新所有对象的全局 PR 值.当优先队列未被访问的头节点最小可能排名值大于当前第 *k* 个结果对象的分值时,就可以保证找到前 top-*k* 个对象.无论是运行时间还是可扩展性,S-EBC 的总体性能都要优于 ES-EBC.

- *M* 最近邻关键字(*m*CK)查询

这是一种新的空间关键字查询方法[29],用来发现空间数据库中与用户提交的 *m* 个关键字匹配且在空间上相近邻的元组.该方法使用分层 bR*-tree 索引结构组织空间对象,采用先验搜索策略缩小搜索空间,引入距离互斥和关键字互斥两个先验属性作为单调约束条件,促进 bR*-tree 的有效剪枝.需要注意的是,在搜索 bR*-tree 过程中,目标关键字可能定位到根节点的一个孩子节点,也可能定位到多个孩子节点,因此需要检测这些孩子节点的所有可能子集.候选的搜索空间包括两部分:

1) 搜索空间在一个孩子节点内;
2) 搜索空间跨越多个(>1)孩子节点.

如果一个孩子节点包含所有的 *m* 个关键字,该节点被视为一个候选搜索空间.类似地,如果多个候选节点的组合满足 *m* 个查询关键字,并且彼此距离邻近,则也被添加到搜索空间中.根据候选搜索空间中节点的个数是 1 个还是多个,采用不同的搜索策略.单节点搜索采用先验算法,找出该节点所有的孩子节点中匹配查询关键字且近邻的子集;多节点搜索采取扩展的先验算法检测出多个节点所有可能的孩子节点组合.搜索从根节点开始,获得满足要求的候选子集列表,然后依次向下遍历这些候选节点集.迭代执行该过程,直到叶子层或者没有匹配 *m* 个关键的节点为止.对于候选集中叶子节点集合,检索叶子节点项中任意 *m* 个元组构成的所有组合集,采用穷举法搜索找到满足条件的结果,其所覆盖的区域直径越小越好.

- 共现位置标签匹配查询

对来自不同数据源(比如博客、图片、视频等)的对象进行聚合(MashUp),并使用地图 API 接口(Google map, Yahoo map)将其标记在地图上,日益成为 Web 2.0 的一个重要的应用.这些对象与表示其潜在语义的标签集和指示地理位置的坐标集相关联.由于缺少地名词典上下文,传统的 Web 资源搜索策略在这种环境下不太适用.在文献[30]中,Zhang 等人首先提出了一种以标签为中心(tag-centric)的查询处理策略,用于发现匹配 *m* 个空间查询标签的对象,这些对象在空间上近邻共现.回答这种查询最简单的方法是从倒排文件的 *m* 个列表中找出所有可能的集合,但这种方法代价较大且不能充分利用嵌入在标签中的空间信息.为此,Zhang 等人又提出了一种最佳解决方法,该方法首先使用 Light-Weighted 索引,然后使用标记信息和位置信息构建虚拟的 bR*-tree.虚拟的 bR*-tree 采用自底向上的方式构建,对应的查询标签的 *m* 个倒排列表被检索,并按照节点的标签合并成一个有序列表.通过遍历有序列表,可以取回同一标记的所有节点.这些点被用来构造一个新的虚拟节点,这个新的节点与原始 R*-tree 中的某个节点相对应.然后,采用基于先验的搜索方法对虚拟 bR*-tree 进行自底向上的搜索,返回满足条件的结果.

查询处理方法对比分析可见表 3.

Table 3 Comparison of query processing

表 3 查询处理方法对比分析

搜索类型	搜索策略	索引结构	排名技术	剪枝策略	典型应用
top-*k* 关键字查询[27]	基于增量最近邻算法	IR^2-tree	仅考虑距离因素进行排序	空间剪枝和签名文件剪枝	在线黄页服务、Real estate 站点等
位置感知的 top-*k* 文本检索查询[28]	最佳优先的遍历算法	IR-tree	综合考虑文本相关性和空间相近性	使用 MIND_{ST} 度量对搜索空间路径进行有效剪枝	基于位置的服务:在线黄页服务、Map 服务、Travel 站点等
基于 Prestige 的位置感知的 top-*k* 文本检索查询[33]	最佳优先的遍历算法	IR-tree	Prestige 的相关性(PR 值)和位置的相近性	使用节点的 PR 上边界分值进行剪枝	基于位置的服务:在线黄页服务、Map 服务、本地搜索、Travel 站点
m 最近邻关键字查询[29]	基于先验的搜索策略	bR*-tree	无	使用距离互斥和关键字互斥,加速剪枝	地理标记 Web 文档等
共现位置标签匹配查询[30]	自底向上先验搜索策略	Light-Weighted 索引	geo-tf-idf 排名方法	使用距离互斥和关键字互斥,加速剪枝	Web 2.0 中在线地理资源定位

2.2.4 相关性排名技术

结果排序是搜索技术中最关键的部分之一,排序策略和算法决定了排序效果的优劣.移动设备由于自身的特点只能为用户提供较小的显示区域,无法浏览大量的信息,如果用户被淹没于大量查询结果中,会导致用户的满意度下降.对检索结果的排序需要综合考虑多个因素对排序的影响:文本信息、位置信息和周围环境等.目前,已有的对地理和文本排序进行整合方法的研究如下,但对这方面的研究相对较少:

在 top-*k* 空间关键字查询[27]中,查询结果按照排名函数 $f(distance(o.loc,Q.loc),IRscore(o.doc,Q.keywords))$进行排序,然后对得到的 top-*k* 对象集合按照排名分值顺序输出.该方法仅指出了排名技术要综合考虑文本和位置两个因素这一观点,并没有给出具体的分值计算方法.位置感知的 top-*k* 文本检索(L*k*T)查询[28]采取的排名方法综合考虑了文本的相关性和空间的相近性,并对二者进行归一化因子的线性插值处理,每一个对象 *o* 按照如下公式进行排名:

$$D_{ST}=\alpha\times\frac{D_{\varepsilon}(Q.loc,o.loc)}{\max D}+(1-\alpha)\times\left(1-\frac{P(Q.keywords\mid o.doc)}{\max P}\right),$$

其中,$\alpha\in(0,1)$,用来权衡空间相近性和文本相关性所占的比重;$D_{\varepsilon}(Q.loc;o.loc)$表示 *Q* 和 *o* 之间的欧几里德距离;max*D* 是数据库 *D* 中两个对象之间的最大距离,用来对距离进行归一化处理;文本相关性使用语言模型进行计算,max*P* 用来对文本进行归一化处理.

共现位置标签搜索[30]使用 geo-tf-idf 排名方法去度量在某一区域中地理标签(geo-tags)的相关性.它是将传统的 tf-idf 排名方法进行扩展应用到地理上下文中.与查询 *Q* 相关的地理区域 *R* 的排名函数定义如下:

$$Score(Q,R)=\sum_{k\in Q}weight(k,Q)\times score(k,R).$$

权重 $weight(k,Q)$表示关键字 *k* 相对于查询 *Q* 出现的频率.排名分值的计算就变成了一个标记 *k* 相对于区域 *R* 重要性 $score(k,R)$的度量问题.如果标记 *k* 和区域 *R* 符合以下特性:

1) 标记 *k* 频繁地出现在区域 *R* 的周围;

2) 标记 *k* 不频繁出现在除 *R* 以外的其他区域,

则 $score(k,R)$的值会更高.

在该方法中,文档的概念比较模糊,每个位置与一个标签集合相联系,定位在同一点的不同资源组成一个大的虚拟文档.然而在实际 Web 2.0 应用中,许多资源是由用户贡献和上传的,某一位置点 *p* 的分值不能完全体现

出它的地理上下文信息,需要考虑附近标签资源对位置点 p 分值的影响.

通过构造一个退化模型(degradation model)来反映标签和区域之间的关系,采用高斯函数表示这种退化,标签主要受到附近区域的影响,而距其较远的区域影响较小.

2.2.5 查询结果处理与可视化

虽然具备 Web 浏览功能的移动设备可以直接访问普通的搜索页面,但是移动设备访问 Web 信息并不像台式电脑那么方便.由于移动设备固有的一些局限(比如屏幕小、电量有限、与用户的交互能力差等),已有的 Web 搜索信息发现机制并不适合移动环境下查询结果的可视化,无疑对移动设备以及用户感兴趣信息的识别增加了负担.因此,需要对用户查看的结果页面进行一定的调整处理,使其更加适合用于移动设备的有限屏幕.此外,移动用户对信息需求的要求更高,希望得到更相关以及更清晰的结果,需要进一步从 Web 页面中抽取出主要内容,去除像广告、导航条等不相关的内容.目前,对移动终端查询结果的浏览和 Web 页面的调整都有一定的研究,但仍然处于初级阶段.

目前,调整查询结果的 Web 页面使其适合移动设备的屏幕的方法大致可以分为 3 类[34]:比例缩放(scaling)、手工编排(manual authoring)和转换(transforming).Scaling 方法可以有效地减少滚动,但同时也降低了页面的可读性;Manual authoring 方法有些费时费力,需要专业的 Web 设计者手工调整页面使其适合不同的移动设备;与此相比,页面自动调整方法——Transforming 更为有效,它可以对原始 Web 页面的内容和结构进行修改,使其适合小屏幕的显示,可以引入一些新的组织结构,如内容表(table of contents)或者其他一些概要页面.已有的转换方法有以下几种:

- 基于摘要的方法(the summary-based approach)

仅显示 Web 页面的一部分或者摘要[35,36],使用户看了部分片段(snippets)或摘要之后决定是否要进一步查看更多的详细内容.

- 单列方法(the single column approach)

将 Web 页面的多列布局调整为单列,从而减少水平滚动.比如,Opera SSR 系统可以缩小字体大小和图像大小,并将页面布局转换为适合小屏幕的单列显示.这种方法很好地消除了水平维的滚动,但却大大增加了垂直维的滚动次数.Xie 等人[37]也提出将页面分成一系列的块,每一块采用单列显示,并将重要度高的那些块放在前面显示给用户.

- Fisheye 可视化方法(the Fisheye visualization approach)[38,39]

在可读范围内显示页面中兴趣度超过一定阈值的比较重要的页面内容,而压缩该页面中其他部分的内容.兴趣度的计算采用重要度优先度量方法,用户可以通过点击,将压缩内容放大来查看详细内容.

- 文本概要+Detail 的方法(textual overview+detail approach)

该方法首先将 Web 页面分成多个部分,然后在概要页面(overview page)中使用文本摘要将各个部分链接起来,可以进一步查看详细的 Web 页面内容.文档分割表示系统(DSPS)[40]和 Standford Power Browser[41−46]是该方法的两个典型的应用.虽然使用文本摘要使内容显示简单明了,但却丢失了原始 Web 页面中的视觉语境(如 Style、图片等),使得用户的桌面浏览经验在发现目标信息时不能很好地在移动终端上得以利用.

- 缩略图概要+Detail 的方法(thumbnail overview+detail approach)

与文本概要的方法相比,缩略图概要的方法可以保存原始 Web 信息的视觉上下文信息.Baluja 等人[47]第一次提出把 Web 页面显示成一个包含 9 个区域的缩略图,每个区域与移动设备上的数字键 1~9 相对应,用户可以选择其中一个区域进行放大查看.Collapse-to-zoom[48]的方法除了可以放大缩略图查看用户感兴趣的详细内容外,还可以允许用户对区域进行折叠.Björk 等人[49,50]提出了 3 种页面块查看模式:缩略图查看、关键词查看和链接方式查看.Chen 等人[51,52]提出了采用启发式方法将页面划分为内容块集合,并生成一个内容表(table-of-content)作为索引页.SearchMobil[53]使用缩略图概要为信息搜索过程提供方便,如果该页面被检索到,则显示出查询词在概要中的位置.Xie 等人[37]提出块重要度模型(block importance model),为页面中的不同块分配重要性,并基于该模型提出了 3 种显示结果页面的方法.其中,二维缩略图查看方法属于该类.但是,上面的方法都局限于

单个缩略图概要并链接子页面的详细内容两级层次上,当原始页面非常大时,缩略图概要也会变得很大,不适合小屏幕显示.为此,Xiao 等人[54]提出对页面建立分层树 SP-Tree,通过调整 SP-Tree 的扇出数以及高度,使得缩略图查看起来足够清晰,并且点击的页面尽可能地少.

结果处理与可视化方法对比分析见表 4.

Table 4 Comparison of result processing and visualization

表 4 结果处理与可视化方法对比分析

方法	主要技术	优点	缺点
基于摘要的方法[27,31]	重要词、句等的提取	帮助用户做出正确的相关性决策	为用户提供的信息较少
单列方法[28,29]	多列布局调整为单列; 块重要度的计算	消除水平滚动; 方便阅读,提高阅读效率	增加了垂直维的滚动次数; 部分上下文结构信息丢失
Fisheye 可视化 方法[30,33]	页面中各部分内 容的兴趣度计算	降低了花费在页面导航的时间; 适合时间紧迫的任务	不能为用户提供一个 页面概要;实用性差
文本概要+ Detail 方法[34−38]	文本摘要页面的构建	显示简单明了;页面的下载和 显示时间大幅度降低	原始 Web 页面上下文结构 信息丢失;桌面浏览经验不能 很好地在移动终端上利用
缩略图概要+ Detail 方法[39−48]	页面分割为块的方法; 分层缩略图构造技术	保存原始页面的上下文信息; 采用缩略图提供页面的整体轮廓	迫使用户使用多次的 back-and-forth 操作, 非常耗时

3 未来工作展望

移动环境其位置动态变化、计算资源有限等特点给移动 Web 搜索带来了许多新的挑战,目前在该领域已有一些相关的研究工作.本文依据移动 Web 搜索的框架对已有工作进行了分类和概括总结,并进行了深入的对比分析.然而,大部分工作仍然处于探索性阶段,有些工作甚至才刚刚起步,还存在许多问题有待进行更加深入的研究.

(1) 地理标记 Web 资源:准确、有效地找出 Web 资源对应的地理位置,对移动搜索来说是一个关键性的问题.目前已有大量的研究,对显式位置的识别和绝对位置的分辨也已有了较高的准确率.但是对相对地理位置(比如中关村向南 200m)这样的不准确的地理信息还不能很好地进行处理,无法确定其对应的准确位置,而这种信息在 Web 需求中却大量存在.如何准确地标记出这种类型的位置是一个亟需解决的问题,对于这个问题,可以从以下两个方面来考虑:首先需要找出合适的启发式规则识别出文档中的相对位置;其次是对这个相对位置具体定位目标区域的问题.此外,在抽取的过程中需要定义大量的启发式规则去协助地名的识别和分辨,但就目前而言,启发式规则都是通过手工定义的,如何使用自适应的信息抽取技术自动学习上下文规则,从而识别出潜在的位置,也是一个需要迫切解决的问题.

(2) 结果排名技术:在移动搜索中,排名策略的好坏直接影响到查询结果的优劣和用户的满意度.目前,大多数的排名方法要么只考虑文本的相关性,要么仅按照距离的相近性进行排名,或者综合考虑文本和距离,但仅仅是将二者进行简单的线性组合.虽然这些方法对最终结果的排名起到了一定的作用,但却未从根本上解决搜索结果不准确、搜索结果泛滥等问题.对于移动搜索中的排名算法至少需要从 4 个维度进行考虑:地理维度、信息相关度维度、宏观环境维度及个性化因素维度.前两个维度在已有的方法中已有涉及,特别是信息相关度的考虑已经相对成熟.我们知道,很多搜索都是基于位置的,位置有一个粒度问题,可以是北京,也可以是中关村,还可以具体到某个具体的地铁站出口,需要针对不同的粒度级别进行处理,因为同样的搜索,不同的位置粒度将会返回不同的结果.宏观的环境维度需要考虑周围的环境对结果的影响,还包括所处的时间,比如季节.此外,还要考虑到个性化信息,除了用户的一些基本信息外,还需要考虑用户在使用移动服务中沉淀下来的用户偏好、生活形态等丰富的用户需求.如何将这些维度进行综合考虑,每个维度占到多大的比重,从而构造出符合不同用户需求的排名函数(距离远近、价格高低、用户评比等)和具体的解决策略,都是需要深入探讨的问题.另外,已有的排名策略在考虑距离这个要素时,都是在欧式空间下采用简单的距离计算(比如欧拉距离)方法度量位置的相近性.目前的方法尚未考虑到真实的道路情况,比如单行道、障碍物限制等,因此需要考虑路网空间,计算出反映现

实情况的距离,这样不仅保证了更高的准确率,而且更符合用户的需求,也更具有实际应用价值.

(3) 基于位置的模糊搜索:已有的方法仅仅支持精确的关键字查询,在很多情况下,用户对要寻找的空间 Web 对象位置名称不太熟悉,或者对空间 Web 对象有一些偏好需求,经常会提交模糊查询.这类查询包括两种:一种是模糊关键字查询,在这种用户提交的查询中存在简单拼写错误或者仅仅提供了部分名称或者包含一些模糊搜索条件.Yao 等人[55]提出的空间数据库中近似字符串搜索方法第一次解决了这个问题,使用编辑距离作为近似性度量,采用 MHR-tree 索引结构有效地回答近似字符串匹配查询.在 MHR-tree 中,将以索引节点为根的子树的 q-gram 的 min-wise 签名嵌入到该节点中,可以有效地支持范围查询和 NN 查询.但是这种方法处理整个字符串的近似匹配问题,还需要进一步考虑近似子字符串的查询问题,并需要设计出更好的索引动态更新方法.另一种查询是提交的查询中包含模糊词汇,对象的界定不清晰,比如价格的“高与低”、评价的“好、差与一般”等.对于这种查询中包含柔性检索条件的查询,在基于位置的关键字搜索中至今还没有真正意义上的研究工作.比如要查询本地的“Moderate-Price 宾馆”,其中,Moderate-Price 是模糊词汇,目前的本地搜索引擎只是将这些模糊词汇作为一个普通的关键字进行处理,而实际上,这个模糊词语“Moderate-Price”是对关键字“宾馆”的限定,两个词并不独立.可以看出,提交的查询中包含的模糊词汇在一定程度上反映了用户的偏好信息.Zadeh[56,57]提出的模糊集模型很好地反映了这种定性特征,可以利用模糊集合的隶属函数去模拟用户的偏好信息或者需求限定信息,最大的难点是隶属函数的确定,以及如何利用位置、文本及用户偏好、需求等信息去构建混合索引和结果排名算法.

(4) 自然语言搜索:在普通的信息检索中,采用的都是输入关键字的搜索方式获取想要的结果.但在目前的移动 Web 搜索中,用户使用手机进行搜索时一般目的性都比较强,再加上手机屏幕大小有限,一页显示的搜索结果较少,使用手机上下翻看结果不便利(一般搜索用户最多翻看前两页的结果),另外使用手机搜索的用户很少有耐心去翻看那么多的链接,去寻找一个符合他的答案,移动搜索用户真正想要的是一个符合其需求的答案.因此,必须提供一种好的检索提问语言.为了克服关键词检索和目录查询的缺陷,可以采用自然语言查询方式,用户可以输入简单的疑问句,比如“离我最近的销售 iphone 手机的商店在哪?”,在对提问进行结构和内容分析之后,或者直接给出提问的答案,或者引导用户从几个有限的结果进行选择.自然语言的优势在于网络交流更加人性化,查询更加方便、直接、有效,为查询提供了更多的上下文信息,这种方式较好地考虑了用户的手机体验.然而,这种模式要求必须能够给用户返回准确的结果,如果不能给用户一个良好的查询结果,还不如给用户一个选择的权利.自然语言移动搜索目前还很不成熟,还有大量的工作需要去研究,其中,在底层数据的抽取和存储上,不能纯粹地把一个文档看成“a bag of words”,需要抽取出词语之间的关系.一种方案是可以看成一个三元组,使其符合 Entity- Relationship-Entity 这样的结构,比如“北京是中国的首都”,然后对其建立索引供用户搜索.另外,在提出查询时,充分理解并准确分析出用户提交的自然语言查询的真正意图也是非常重要的.

(5) 移动社交网络(mobile social network)搜索:Web 2.0 的出现,使得互联网开始提供越来越多的社区网络服务,并积聚了大量的用户,比如 Myspace,Facebook,Wikipedia,Flickr,Youtube 等.随着移动互联网的发展,社交网络开始向移动领域渗透,个人/组织利用移动终端,借助移动网络实现相互联系,形成移动社交网络.借鉴互联网社交网络服务的特点,结合移动互联网的移动性和用户位置的属性,可以看出,移动社交网络包含了移动性,与朋友沟通、接触并与陌生人沟通,个性化展示,个性化内容分享等特征.

移动社交网络作为人们沟通、分享的平台,最大程度地缩短了人们沟通的时间和空间距离,促进了人们沟通模式的转变和社会关系的整合.移动社交网络使用户之间的沟通通过 IM、论坛、微博、空间留言等方式在任何时间和任何地点都可以实现.对移动社交网络的研究主要关注以下几个方面:

(1) 移动社交网络除了拥有用户的简介等基本信息外,还掌握了用户在使用移动社交网络服务中沉淀下来的用户偏好、生活形态等丰富的用户需求,通过手机用户的搜索时间、搜索内容等个人偏好基尼系数分析,可以为用户提供更加符合个人需求的搜索功能和服务;

(2) 用户通过使用手机、PDA 等移动设备的定位功能,可以很方便地获得个人位置信息,也可以将自己的行为轨迹记录下来,并附以一些行程中的图片、个人经历、心情、评论等与轨迹自动关联,从而能够实时地与朋

友或者他人分享.但是,轨迹实际上记录的是用户在真实世界的活动,而这些活动在一定程度上反映出个人的意图、偏好和活动模式.利用这些信息可以构造一个 3 层图模型:用户层、位置层和 Tag 信息层.那么,如何利用这些信息挖掘出社交网络和空间之间隐含的知识显得非常重要.通过对个人数据进行挖掘可以得到该用户的喜好、生活模式等,比如根据用户经常出现在运动场所,说明该用户喜欢体育运动;还可以对多人的历史数据进行分析,从而找出热点区域和线路,比如可以应用到旅游推荐中,为游客推荐景点和旅游线路;

(3) 根据用户之间、用户和位置之间、位置和位置之间的层次关系,首先可以分析挖掘出用户之间的潜在关系,比如朋友等,找出兴趣相近的用户,在此基础上为其推荐其兴趣接近的潜在朋友去过而自己没有去过的地方.此外,还可以根据用户提出的空间及其他限制条件搜索满足其需求的人.用户经常在线搜索两类社会关系:持久关系和临时关系.典型的持久关系有朋友、商业合作等,比如,当一个新生想找一个与他分享学校附近公寓的室友时,在移动社交网络的帮助下,可以帮他很快找到有类似意图的用户.临时关系,比如交易等.如用户想要在附近找一个可以帮助做家务的小时工,而小时工也可以通过网络找到离他比较近的需要家政服务的家庭;

(4) 以上提出的种种方法在社交网络中仅仅考虑了空间要素,而忽略了时间因素.众所周知,人类活动需要在时空架构下进行,时间与空间是结合在一起的两个方面,所以在向用户推荐场所时,需要考虑活动场所对不同人和时间上的限制,比如某商场的营业时间是上午 9 点至晚上 10 点,一般顾客只有在此时间段内才可以进入这个商场,从而为他们在时间和空间上做出更加合理的安排.此外,还可以分析出两个人是否在时间和空间上共存、在某时间段内重叠,根据这些信息,我们就可以找出哪些地方、哪些时间段是热点.

移动社交网络如何提供与人类活动紧密相关的服务、吸引更多用户积极、主动地参与,从而改变个人活动的形态和方式,创造更好的社会价值和经济价值,都是需要进行深入考虑的.目前,该领域的研究还处于探索阶段,还没有对移动社交网络给出一个严格和标准的定义,也还存在大量问题需要去解决,同时,这也是我们下一步工作研究的重点.

4 结 论

随着移动网络的日益普及,用户的规模呈指数级增长,移动 Web 搜索日益成为学术界和工业界共同关注的热门话题.本文对最近几年来国际上在该领域的主要研究成果进行了回顾与总结,综述了移动 Web 搜索中若干主要问题的研究现状,包括地理标记 Web 资源、混合索引的构建、面向移动用户的查询处理方法、相关排名技术以及查询结果的处理与可视化,并进行了深入的对比分析,同时指出仍然存在的问题和可能的解决办法.目前,虽然在移动环境下的 Web 搜索的某些方面提出了一些解决方法,但总体上仍然缺乏系统性.总的来说,对移动 Web 搜索的研究仍然处于起步阶段,仍有大量关键问题需要进行深入而细致的研究.因此,移动 Web 搜索具有非常重要的研究价值和广阔的应用前景.

References:

[1] Kamvar M, Baluja S. A large scale study of wireless search behavior: Google mobile search. In: Grinter RE, Rodden T, Aoki PM, Cutrell E, Jeffries R, Olson GM, eds. Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI 2006). New York: ACM Press, 2006. 701−709. [doi: 10.1145/1124772.1124877]

[2] Yi J, Maghoul F, Pendersen J. Deciphering mobile search patterns: A study of Yahoo! mobile search queries. In: Huai JP, Chen R, Hon H-W, Liu YH, Ma WY, Tomkins A, Zhang XD, eds. Proc. of the 18th Int'l Conf. on World Wide Web (WWW 2008). New York: ACM Press, 2008. 257−266. [doi: 10.1145/1367497.1367533]

[3] Kamvar M, Kellar M, Patel R, Xu Y. Computers and iphones and mobile phones, oh my! A logs-based comparison of search users on different devices. In: Quemada J, León G, Maarek YS, Nejdl W, eds. Proc. of the 19th Int'l Conf. on World Wide Web (WWW 2009). New York: ACM Press, 2009. 801−810. [doi: 10.1145/1526709.1526817]

[4] Church K, Smyth B, Bradley K, Cotter P. A large scale study of European mobile search behaviour. In: ter Hofte GH, Mulder I, de Ruyter BER, eds. Proc. of the 10th Int'l Conf. on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (Mobile HCI 2008). New York: ACM Press, 2008. 13−22. [doi: 10.1145/1409240.1409243]

[5] Church K, Smyth B, Cotter P, Bradley K. Mobile information access: A study of emerging search behavior on the mobile Internet. ACM Trans. on the Web, 2007,1(1):4-es. [doi: 10.1145/1232722.1232726]

[6] Kamvar M, Baluja S. Deciphering trends in mobile search. Computer, 2007,40(8):58−62. [doi: 10.1109/MC.2007.270]

[7] Amitay E, Har'El N, Sivan R, Soffer A. Web-a-Where: Geotagging Web content. In: Sanderson M, Järvelin K, Allan J, Bruza P, eds. Proc. of the 27th Annual Int'l ACM SIGIR Conf. on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR 2004). New York: ACM Press, 2004. 273−280.

[8] Wang C, Xie X, Wang L, Lu YS, Ma WY. Detecting geographic locations from Web resources. In: Jones C, Purves R, eds. Proc. of the Geographic Information Retrieval (GIR 2005). New York: ACM Press, 2005. 17−24. [doi: 10.1145/1096985.1096991]

[9] Pouliquen B, Kimler M, Steinberger R, Ignat C, Oellinger T, Blackler K, Fuart F, Zaghouani W, Widiger A, Forslund AC, Best C. Geocoding multilingual texts: Recognition, disambiguation, and visualization. In: Proc. of the 5th Int'l Conf. on Language Resources and Evaluation (LREC 2006). 2006. 53−58. http://www.lrec-conf.org/lrec2006/

[10] Schilder F, Versley Y, Habel C. Extracting spatial information: Grounding, classifying and linking spatial expressions. In: Purves R, Jones C, eds. Proc. of the Geographic Information Retrieval (GIR 2004). New York: ACM Press, 2004. 59−62.

[11] Volz R, Kleb J, Mueller W. Towards ontology-based disambiguation of geographical identifiers. In: Bouquet P, Stoermer H, Tummarello G, Halpin H, eds. Proc. of the Workshop on Identity, Identifiers, Identifications (I3). CEUR-WS, 2007. 15−21.

[12] Buscaldi D, Rosso P. A conceptual density-based approach for the disambiguation of toponyms. Int'l Journal of Geographical Information Science, 2008,22(3):301−313. [doi: 10.1080/13658810701626251]

[13] Ding JY, Gravano L, Shivakumar N. Computing geographical scopes of Web resources. In: Abbadi AE, Brodie ML, Chakravarthy S, Dayal U, Kamel N, Schlageter G, Whang K-Y, eds. Proc. of the 26th Int'l Conf. on Very Large Data Bases (VLDB 2000). San Francisco: Morgan Kaufman Publishers, 2000. 545−556.

[14] Purves RS, Clough P, Jones CB, Arampatzis A, Bucher B, Finch D, Fu GH, Joho H, Syed AK, Vaid S, Yang BS. The design and implementation of SPIRIT: A spatially aware search engine for information retrieval on the Internet. Int'l Journal of Geographical Information Science, 2007,21(7):717−745. [doi: 10.1080/13658810601169840]

[15] Sallaberry C, Gaio M, Lesbegueries J, Loustau P. A semantic approach for geospatial information extraction from unstructured documents. In: Scharl A, Tochtermann K, eds. Proc. of the Geospatial Web. London: Springer-Verlag, 2007. 93−104. [doi: 10.1007/978-1-84628-827-2_9]

[16] Zong WB, Wu D, Sun AX, Lim EP, Goh DHL. On assigning place names to geography related Web pages. In: Marlino M, Sumner T, Shipman III FM, eds. Proc. of the 5th ACM/ IEEE-CS Joint Conf. on Digital Libraries (JCDL 2005). New York: ACM Press, 2005. 354−362. [doi: 10.1145/1065385.1065464]

[17] Leidner JL. Toponym resolution in text: Annotation, evaluation and applications of spatial grounding of place names [Ph.D. Thesis]. Edinburgh: University of Edinburgh, 2007.

[18] Lieberman MD, Samet H, Sankaranaranayan J, Sperling J. STEWARD: Architecture of a spatio-textual search engine. In: Cushing JB, Pardo TA, eds. Proc. of the 15th Annual ACM Int'l Symp. on Advances in Geographic Information Systems (ACMGIS). New York: ACM Press, 2007. 186−193. [doi: 10.1145/1341012.1341045]

[19] Lieberman MD, Samet H, Sankaranarayanan J. Geotagging with local lexicons to build indexes for textually-specified spatial data. In: Li FF, Moro MM, Ghandeharizadeh S, Haritsa JR, Weikum G, Carey MJ, Casati F, Chang EY, Manolescu I, Mehrotra S, Dayal U, Tsotras VJ, eds. Proc. of the 26th Int'l Conf. on Data Engineering (ICDE 2010). Washington: IEEE Computer Society, 2010. 201−212. [doi: 10.1109/ICDE.2010.5447903]

[20] Martins B, Manguinhas H, Borbinha J, Siabato W. A geo-temporal information extraction service for processing descriptive metadata in digital libraries. e-Perimetron, 2009,4(1):25−37.

[21] Rauch E, Bukatin M, Baker K. A confidence-based framework for disambiguating geographic terms. In: Kornai A, Sundheim B, eds. Proc. of the HLT-NAACL Workshop on Analysis of Geographic References. New York: ACM Press, 2003. 50−54. [doi: 10.3115/1119394.1119402]

[22] Stokes N, Li Y, Moffat A, Rong JW. An empirical study of the effects of NLP components on geographic IR performance. Int'l Journal of Geographical Information Science, 2008,22(3):247−264. [doi: 10.1080/13658810701626210]

[23] Silva MJ, Martins B, Chaves M, Afonso AP, Cardoso N. Adding geographic scopes to Web resources. Computers, Environment and Urban Systems, 2006,30(4):378−399. [doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2005.08.003]

[24] Guttman A. R-Trees: A dynamic index structure for spatial searching. In: Yormark B, ed. Proc. of the 4th Int'l Conf. on Management of Data (SIGMOD'84). New York: ACM Press, 1984. 47−57.

[25] Beckmann N, Kriegel HP, Schneider R, Seeger B. The R*-tree: An efficient and robust access method for points and rectangles. In: Garcia-Molina H, Jagadish HV, eds. Proc. of the 10th Int'l Conf. on Management of Data (SIGMOD'90). New York: ACM Press, 1990. 322−331. [doi: 10.1145/93597.98741]

[26] Zhou YH, Xie X, Wang C, Gong YC, Ma WY. Hybrid index structures for location-based Web search. In: Herzog O, Schek H-J, Fuhr N, Chowdhury A, Teiken W, eds. Proc. of the 14th ACM Int'l Conf. on Information and Knowledge Management (CIKM 2005). New York: ACM Press, 2005. 155−162. [doi: 10.1145/1099554.1099584]

[27] De Felipe I, Hristidis V, Rishe N. Keyword search on spatial databases. In: Alonso G, Blakeley JA, Chen A, eds. Proc. of the 24th Int'l Conf. on Data Engineering (ICDE 2008). Washington: IEEE Computer Society, 2008. 656−665. [doi: 10.1109/ICDE.2008.4497474]

[28] Cong G, Jensen CS, Wu DM. Efficient retrieval of the top-*k* most relevant spatial Web objects. Journal Proc. of VLDB Endowment (PVLDB 2009), 2009,2(1):337−348.

[29] Zhang DX, Chee YM, Mondal A, Tung AKH, Kitsuregawa M. Keyword search in spatial databases: Towards searching by document. In: Ioannidis Y, Lee D, Ng R, eds. Proc. of the 25th Int'l Conf. on Data Engineering (ICDE 2009). Washington: IEEE Computer Society, 2009. 688−699. [doi: 10.1109/ICDE.2009.77]

[30] Zhang DX, Ooi BC, Tung AKH. Locating mapped resources in Web 2.0. In: Li FF, Moro MM, Ghandeharizadeh S, Haritsa JR, Weikum G, Carey MJ, Casati F, Chang EY, Manolescu I, Mehrotra S, Dayal U, Tsotras VJ, eds. Proc. of the 26th Int'l Conf. on Data Engineering (ICDE 2010). Washington: IEEE Computer Society, 2010. 521−532. [doi: 10.1109/ICDE.2010.5447897]

[31] Hariharan R, Hore B, Li C, Mehrotra S. Processing spatialkeyword (sk) queries in geographic information retrieval (GIR) systems. In: Barker K, KoudasN, eds. Proc. of the 19th Int'l Conf. on Scientific and Statistical Database Management (SSDBM 2007). Washington: IEEE Computer Society, 2007. 161−170. [doi: 10.1109/SSDBM.2007.22]

[32] Chen YY, Suel T, Markowetz A. Efficient query processing in geographic Web search engines. In: Chaudhuri S, Hristidis V, Polyzotis N, eds. Proc. of the 26th Int'l Conf. on Management of Data (SIGMOD 2006). New York: ACM Press, 2006. 277−288. [doi: 10.1145/1142473.1142505]

[33] Cao X, Cong G, Jensen CS. Retrieving top-*k* prestige-based relevant spatial Web objects. Journal Proc. of VLDB Endowment (PVLDB 2010), 2010,3(1):374−384.

[34] Schilit BN, Trevor J, Hilbert DM, Koh TK. Web interaction using very small Internet devices. Computer, 2002,35:37−45. [doi: 10.1109/MC.2002.1039516]

[35] Lam H, Baudisch P. Summary thumbnails: Readable overviews for small screen Web browsers. In: van der Veer GC, Gale C, eds. Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing System. New York: ACM Press, 2005. 681−690. [doi: 10.1145/1054972.1055066]

[36] Otterbacher J, Radev D, Kareem O. News to go: Hierarchical text summarization for mobile devices. In: Efthimiadis EN, Dumais ST, Hawking D, Järvelin K, eds. Proc. of the 29th Int'l Conf. on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR 2006). New York: ACM Press, 2006. 589−596. [doi: 10.1145/1148170.1148271]

[37] Xie X, Miao GX, Song RH, Wen JR, Ma WY. Efficient browsing of Web search results on mobile devices based on block importance model. In: Nahrstedt K, ed. Proc. of the 3rd IEEE Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications. Washington: IEEE Computer Society, 2005. 17−26. [doi: 10.1109/PERCOM.2005.16]

[38] Furnas GW. Generalized Fisheye views. In: Mantei M, Orbeton P, eds. Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 1986. 16−23. [doi: 10.1145/22627.22342]

[39] Gutwin C, Fedak C. Interacting with big interfaces on small screens: A comparison of fisheye, zoom, and panning techniques. In: Heidrich W, Balakrishnan R, eds. Proc. of the Conf. on Graphics interface (GI 2004). Canadian: Human-Computer Communications Society, 2004. 145−152.

[40] Lee DL, Hoi KK, Xu JL, Wang WAW. Web browsing on small displays. IEEE Distributed Systems Online, 2003,4(10).

[41] Buyukkokten O, Garcia-Molina H, Paepcke A. Focused Web searching with PDAs. In: Akyildiz IF, Rudin H, Enslow PH, eds. Proc. of the 9th Int'l World Wide Web Conf. on Computer Networks (WWW 2000). New York: ACM Press, 2000. 213−230. [doi: 10.1016/S1389-1286(00)00060-8]

[42] Buyukkokten O, Garcia-Molina H, Paepcke A. Accordion summarization for end-game browsing on PDAs and cellular phones. In: Jacko JA, Sears A, eds. Proc. of the SIGCHI Conf.on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 2001. 213−220. [doi: 10.1145/365024.365102]

[43] Buyukkokten O, Garcia-Molina H, Paepcke A. Seeing the whole in parts: Text summarization for Web browsing on handheld devices. In: Shen VY, Saito N, Lyu MR, Zurko ME, eds. Proc. of the 10th Int'l World Wide Web Conf. (WWW 2001). 2001. 652−662. [doi: 10.1145/371920.372178]

[44] Buyukkokten O, Garcia-Molina H, Paepcke A, Winograd T. Power browser: Efficient Web browsing for PDAs. In: Turner T, Szwillus G, eds. Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 2000. 430−437. [doi: 10.1145/332040.332470]

[45] Buyukkokten O, Kaljuvee O, Garcia-Molina H, Paepcke A, Winograd T. Efficient Web browsing on handheld devices using page and form summarization. ACM Trans. on Information System, 2002,20(1):82−115. [doi: 10.1145/503104.503109]

[46] Kaljuvee O, Buyukkokten O, Garcia-Molina H, Paepcke A. Efficient Web form entry on PDAs. In: Shen VY, Saito N, Lyu MR, Zurko ME, eds. Proc. of the 10th Int'l World Wide Web Conf. (WWW 2001). New York: ACM Press, 2001. 663−672. [doi: 10.1145/371920.372180]

[47] Baluja S. Browsing on small screens: Recasting Web-page segmentation into an efficient machine learning framework. In: Carr L, De Roure D, Iyengar A, Goble CA, Dahlin M, eds. Proc. of the 15th Int'l World Wide Web Conf. (WWW 2006). New York: ACM Press, 2006. 33−42. [doi: 10.1145/1135777.1135788]

[48] Baudisch P, Xie X, Wang C, Ma WY. Collapse-to-Zoom: Viewing Web pages on small screen devices by interactively removing irrelevant content. In: Feiner S, Landay JA, eds. Proc. of the 17th Annual ACM Symp. on User Interface Software and Technology (UIST 2004). New York: ACM Press, 2004. 91−94. [doi: 10.1145/1029632.1029647]

[49] Björk S, Holmquist L, Redström J, Bretan I, Danielsson R, Karlgren J, Franzén K. West: A Web browser for small terminals. In: Zanden BV, Marks J, eds. Proc. of the 12th Annual ACM Symp. on User Interface Software and Technology (UIST'99). New York: ACM Press, 1999. 187−196. [doi: 10.1145/320719.322601]

[50] Björk S, Redström J, Ljungstrand P, Holmquist LE. POWERVIEW: Using information links and information views to navigate and visualize information on small displays. In: Thomas PJ, Gellersen H-W, eds. Proc. of the 2nd Int'l Symp. on Handheld and Ubiquitous Computing. 2000. 46−62. [doi: 10.1007/3-540-39959-3_4]

[51] Chen Y, Ma WY, Zhang HJ. Detecting Web page structure for adaptive viewing on small form factor devices. In: Hencsey G, WhiteB, eds. Proc. of the 12th Int'l World Wide Web Conf. (WWW 2003). New York: ACM Press, 2003. 225−233. [doi: 10.1145/775152.775184]

[52] Chen Y, Xie X, Ma WY, Zhang HJ. Adapting Web pages for small-screen devices. IEEE Internet Computing, 2005,9(1):50−56. [doi: 10.1109/MIC.2005.5]

[53] Rodden K, Milic-Frayling N, Sommerer R, Blackwell A. Effective Web searching on mobile devices. In: O'Neill E, Palanque P, Johnson P, eds. Proc. of the17th Annual Conf. on Human-Computer Interaction (HCI 2003). 2003.

[54] Xiao XY, Luo Q, Hong D, Fu HB, Xie X, Ma WY. Browsing on small displays by transforming Web pages into hierarchically structured subpages. ACM Trans. on the Web, 2009,3(1). [doi: 10.1145/1462148.1462152]

[55] Yao B, Li FF, Hadjieleftheriou M, Hou K. Approximate string search in spatial databases. In: Li FF, Moro MM, Ghandeharizadeh S, Haritsa JR, Weikum G, Carey MJ, Casati F, Chang EY, Manolescu I, Mehrotra S, Dayal U, Tsotras VJ, eds. Proc. of the 26th IEEE Int'l Conf. on Data Engineering (ICDE 2010). Dallas: IEEE Computer Society, 2010. 545−556. [doi: 10.1109/ICDE.2010.5447836]

[56] Zadeh LA. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. Fuzzy Sets and Systems, 1997,90(2):111−127. [doi: 10.1016/S0165-0114(97)00077-8]

[57] Zadeh LA. From computing with numbers to computing with words. From manipulation of measurements to manipulation of perceptions. IEEE Trans. on Circuits and Systems, 1999,46(1):105−119. [doi: 10.1109/81.739259]

张金增(1983－),女,河南南阳人,博士生,CCF 学生会员,主要研究领域为移动数据管理,移动 Web 搜索.

孟小峰(1964－),男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为 Web 数据集成,XML 数据库,云数据管理,移动对象管理,闪存数据库系统,隐私保护.