

自适应个性化信息服务:基于情境感知和本体的方法^{*}

潘旭伟 李泽彪 祝锡永 邵晨曦

摘 要 针对个性化信息服务(PIS)中用户信息需求获取的准确性和可靠性较差、自适应性不够等问题,提出采用基于情境感知和本体的方法来实现信息服务的自适应个性化。在分析 PIS 需求的基础上,设计了情境感知的信息服务自适应个性化过程,并对该过程实现的关键问题展开系统研究。应用实证研究验证了提出方法的有效性。图 5。参考文献 20。

关键词 信息服务 个性化 情境感知 本体

分类号 G250.72

ABSTRACT To solve the problems faced in Personalized Information Service (PIS), such as the inaccuracy and unreliability of acquired users' information demand, insufficient adaptivity to users, etc., a context-aware and ontology based approach is proposed to realize PIS. After the requirements of PIS are analyzed, the context aware PIS process is put forward, and the keys to realize such a process are presented in details. An experiment study is conducted to verify the effectiveness of our proposed approach. 5 figs. 20 refs.

KEY WORDS Information service. Personalization. Context-aware. Ontology.

CLASS NUMBER G250.72

1 引言

随着信息技术的普及和发展,数字化信息的规模越来越大,并以极高的速度继续快速增长,信息服务领域面临“信息丰富、但有用信息获取困难”的问题。如何帮助用户从海量的信息中高效地获取有用信息,如何从迅速激增的信息中及时获取最新的信息,是新的信息服务面临的巨大挑战。因此个性化信息服务(Personalized Information Service, PIS)应运而生,它是网络信息服务发展的重要方向^[1-2]。

个性化信息服务以用户为中心,通过研究用户的行为、兴趣、爱好、习惯和环境等,为用户搜索、组织、选择、推荐更具针对性的信息,实现信息的“按需服务”。近年来,个性化信息服务得到

了国内外专家学者的广泛研究,他们对个性化信息服务的体系框架及其关键技术(如用户个性化信息需求的描述、获取技术,个性化信息匹配技术等)展开了大量的研究。但随着个性化信息服务研究和应用的不断深入,人们逐渐发现当前已有的方法存在着用户个性化信息需求获取的准确性和可靠性较差、信息匹配过程的自适应性不够等问题。而在信息获取过程中,用户的个性化信息需求具有情境敏感性^[3],这正是导致这些问题出现的重要原因^[4]。与此同时,情境和情境感知方法的研究在不断深入,并出现了不少成功应用案例^[5]。因此,在个性化信息服务研究中开始探求引入基于情境和情境感知的方法。如 Kwon 等^[6]创建的 NAMA 原型系统通过用户情境、用户描述等信息来发现用户的信息需求,从而为电子商务购买者推荐个性化信息;Vallet 等^[7]采用动

^{*} 本文系国家自然科学基金项目“集成情境知识管理的理论、方法和工具研究”(项目编号:70601025)和浙江省自然科学基金项目“情景感知的自适应个性化信息服务研究”(项目编号:Y107133)研究成果之一。

态语义情境方法激活用户在当前信息获取过程中的兴趣偏好子集;Mylonas 等^[8]认为情境是提升个性化信息服务质量的有效手段,感知用户情境是信息持续增长中提供个性化服务的关键步骤,并对不确定环境下的模糊情境展开了研究。尽管目前个性化信息服务中开始探讨情境与情境感知,但是对于如何描述情境并识别获取用户情境,以及在此基础上实现个性化信息服务的过程和方法等还缺乏系统研究。为此,本文借助本体在统一语义描述和推理方面的优势,对基于情境感知方法的个性化信息服务展开系统研究,使个性化信息服务系统具备能够感知、觉察用户当前和历史情境,并根据用户情境自适应地调整提供给用户的信息,满足用户在特定情境下对信息的个性化需求。

2 个性化信息服务需求分析

根据对现有个性化信息服务的研究分析和对个性化信息服务的认识,我们认为有效的个性化信息服务应该满足如下需求:

(1)隐式地自动获取用户个性化信息需求。当前多数 PIS 系统使用烦琐或系统复杂,如用户必须预先注册如兴趣、年龄等个人相关信息,或用户必须提供相关的反馈,如对信息项从 1(差)到 5(好)的等级评定。这些注册和反馈很花费用户的时间,用户希望有更简单的方法。为避免这些问题,一些新的方法被提出来,如通过挖掘用户最近的网页浏览习惯^[9-10]或用户的网络协同^[11]来提供个性化信息服务,但系统实现复杂。

(2)高准确性和高可靠性。在个性化信息服务中,用户个性化信息需求获取的准确性和可靠性是一个重要因素。目前多数 PIS 系统中用户个性化信息需求获取不正确的一个重要原因在于它们普遍地脱离用户情境,没有考虑用户所处的环境、条件、背景等因素。而用户的信息需求通常是与上述情境因素紧密相关的,因此个性化信息服务中应该考虑这些情境信息。

(3)自适应性。现有 PIS 系统和方法基本上都是假定用户的信息需求在一定时间内保持稳定不变。但用户对信息的需求通常是不断变

化的,可能只是优先程度的相对变化,也可能曾经对某些领域感兴趣,但现在正逐渐消失转而对另一些领域产生兴趣。一般情形下,只有用户部分信息需求是“活动”的,而其他需求可能被认为是“噪音”需求。因此个性化信息服务应能检测到用户对信息需求的变化,自适应地调整提供给用户的信息。

(4)探测性。用户对信息的需求有时不是非常有目的性,需要根据对用户已有信息需求的了解扩展信息收集范围,并以此推断出用户可能感兴趣的其他信息需求。而当前的 PIS 系统和方法在这方面没有考虑或考虑很少。

为满足个性化信息服务需求,需要探求新的有效方法和手段。情境(Context),也称上下文,是指任何可以用来刻画实体特征的信息,其实体可以是人、位置、或是与用户和应用交互相关的物理的或虚拟的对象,包括用户和应用本身^[12]。情境感知(Context Aware)是指在用户需要时利用情境信息向用户提供适合于当前情形(如任务、地点、时间和人物等)的信息或服务,通过感知用户情境自动地获取和发现用户需求,实现信息服务与用户的自适应,并提高信息服务的准确性和可靠性,是协助信息服务系统提高性能和质量的重要支持手段和方法^[13-14]。而本体的语义共享特性和推理能力能对用户的信息需求进行有效探测。为此笔者提出了基于情境感知和本体的方法实现信息服务的自适应个性化。

3 情境感知的信息服务自适应个性化

情境感知的信息服务自适应个性化基于如下基本事实:用户个性化的信息需求并不是在所有情形下都是一致的,它是复杂的、多维的、异构的、变化的甚至是冲突的,它根据用户的目标、任务等特定情境来理解和获取用户个性化信息需求。因此为实现信息服务的个性化,需要感知、获取并更新用户情境信息,并对情境信息和信息资源采用本体进行统一语义描述,实现其自适应匹配。为此设计了情境感知的信息服务自适应个性化过程(图 1)。

在该过程中,用户首先通过与应用程序的

交互执行相关任务,当有信息需求时,用户将提交查询关键词到对应的信息检索服务系统,系统相应地会返回匹配的信息检索结果集。该结果集通常由信息检索服务系统根据用户的查询 q 与信息项 d 之间的匹配相似度 $\text{sim}(d, q)$ 进行排序。这些步骤由原有信息检索服务系统实现,没有体现针对用户情境感知的个性化。为实现信息服务的情境感知个性化,该检索结果集并不直接返回给用户。首先,采用本体对它们进行语义标注,形成语义标注的信息项集合。同时,从应用程序及其事件、与应用程序相关的工作流引擎、用户行为记录等内外部信息源获取当前时间 t 的用户情境信息 $uc_{\text{current}}(t)$ 。而当前的这些情境信息并不直接用于个性化服务,它们通过与用户在时间 t 之前的综合历史情境

信息 $uc(t-1)$ 进行更新合成,构建形成在时间 t 的本体语义化综合用户情境 $uc(t)$ 。由于信息项和用户情境都进行了本体语义化,它们可以通过有关基于本体相似匹配方法来确定信息项与用户情境之间的个性化匹配相似度 $\text{pms}(d, uc(t))$ 。而最终的个性化信息服务实现需要综合个性化匹配相似度 $\text{pms}(d, uc(t))$ 和未考虑个性化的信息项与用户查询的匹配相似度 $\text{sim}(d, q)$,从而形成最终返回给用户的个性化信息结果集,实现信息服务的个性化。这样用户在得到个性化信息结果集后,通过选择部分信息来辅助其完成任务,而这些行为又被记录下来,作为下一个时间情境信息的来源。这样,用户的情境信息不断地得到更新,使信息服务能够根据用户情境的不断变化实现自适应个性化。

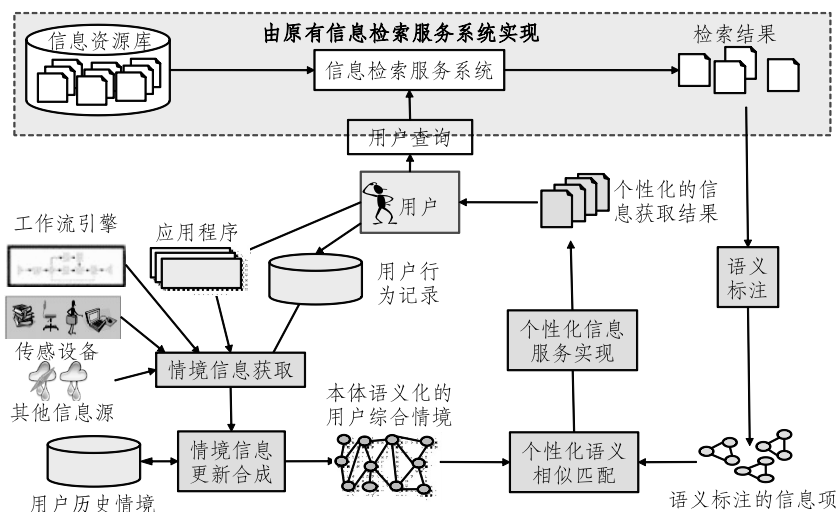


图1 情境感知的信息服务自适应个性化实现过程

从上述过程发现,情境感知的信息服务自适应个性化的实现并不依赖于特定的信息检索服务系统,这保证了其方法能够广泛地应用在不同的信息服务领域,如应用在传统的文档检索服务或 Web 搜索引擎信息服务等。下面将对该过程实现的关键环节进行阐述。

3.1 情境信息识别获取

为实现情境感知的信息服务自适应个性化,

首先必须识别获取用户当前的情境信息,感知用户当前情境,即感知用户当前在做什么、想做什么等情境信息,而这不是通过单一简单的方式就能确定的。有些用户的情境信息可直接从不同的内外部信息源获得,而其他一些情境信息则可能必须在此基础上通过推理间接获得。为此,根据情境获取方式的不同将情境分为两类:直接情境和间接情境。直接情境是直接能从各种情境信息源识别获取得到的;而间接情境则在直接情

境和预先定义的规则(用户自定义规则或语义本体自身包含的约束和关系)基础上通过推理获取得到。然后这两种类型的情境信息被集成到统一的情境描述模型中。我们采用 OWL^[15] 本体对情境进行语义描述,由于 OWL 本体本质上是关于本体概念及其关系的集合,因此本体语义化的用户情境可定义为带权重的本体概念矩阵 $uc, uc \in [0,1] \times |O|$, 其中的权重表示了概念与用户情境的关联紧密程度。上述直接情境和间接情境的识别获取方法如图 2 所示。关于情境识别获取的详细内容可参阅笔者已有的研究^[16-17]。

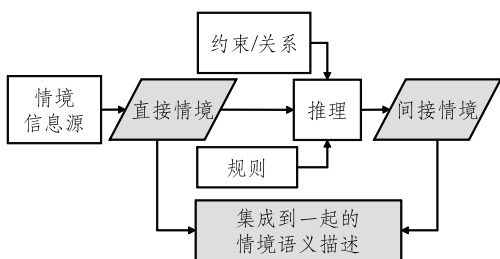


图2 情境的识别获取过程

3.2 情境信息更新合成

用户的行为具有一定连续性,其信息服务需求也具有连续性,而当前情境只是局部反映了用户当前短时间内的情况,为实现情境感知的信息服务个性化,还需要考虑其随时间推移不断累积的历史情境,并通过当前情境与历史情境的更新合成形成用户当前综合情境,以便更准确和更可靠地反映用户的真实信息需求。因此反映用户真实信息需求的综合情境由历史情境和当前情境两部分构成。历史情境是根据时间推移不断累积形成的,用于对后续情境信息的开发;而当前情境是在用户当前时间识别获取得到的。用户在时间 t 的综合情境 $uc(t)$ 可由公式(1)更新合成:

$$uc(t) = \xi \cdot uc(t-1) + (1-\xi) \cdot uc_{current}(t) \quad (1)$$

其中:

ξ ——遗忘系数;

$uc(t-1)$ ——在时间 t 之前的用户综合情境;

$uc_{current}(t)$ ——在时间 t 的用户当前情境。

遗忘系数 ξ 反映了历史情境在综合情境 $uc(t)$ 中的权重。随着时间推移,历史情境通过遗忘系数 ξ 自动递减。 $\xi \in [0,1]$, 当 $\xi=0$, 表示仅考虑用户的当前情境信息,而忽略历史情境信息。对于初始状态,即 $t=0, uc(0) = uc_{current}(0)$ 。

在利用公式(1)更新合成用户当前综合情境过程中,可通过调节遗忘系数 ξ 来反映当前情境在信息服务个性化中的影响。为强调当前情境对个性化的影响,则需要把 ξ 调小,反之则要调大 ξ 。根据目前所取得的初步经验, ξ 的取值在 $[0.1-0.5]$ 范围内效果较佳。情境动态更新合成过程如图 3 所示。

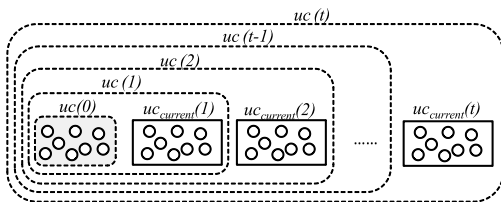


图3 情境动态更新合成过程示意

3.3 个性化语义相似匹配

个性化语义相似匹配是通过某种匹配算法确定信息项 d 与在时间 t 的用户综合情境 $uc(t)$ 的个性化匹配相似度 $pms(d, uc(t))$ 。该相似度根据本体语义化的用户综合情境和信息项的本体语义标注来确定,且都基于它们的扩展本体语义。其计算过程首先是扩展初始的信息项本体语义标注和本体语义化情境,形成扩展的信息项本体语义标注和本体语义化情境,然后在扩展的本体概念间计算匹配相似度。图 4 示意了该匹配相似度计算过程。

在扩展的本体语义信息项和本体语义化情境基础上,具体计算它们的语义匹配相似度时,可根据具体情况采用不同方法,如可采用我们先前工作中提出的基于情境模型树的相似性评估方法^[17]。因为信息项 d 和用户综合情境 $uc(t)$ 通过本体语义化后,都可表示为带权重的语义本体概念矩阵,因此也可采用矩阵的余弦函数相似度匹配计算方法,即:

$$pms(d, uc(t)) = \cos(d, uc(t)) = \frac{d \cdot uc(t)}{|d| \cdot |uc(t)|} \quad (2)$$

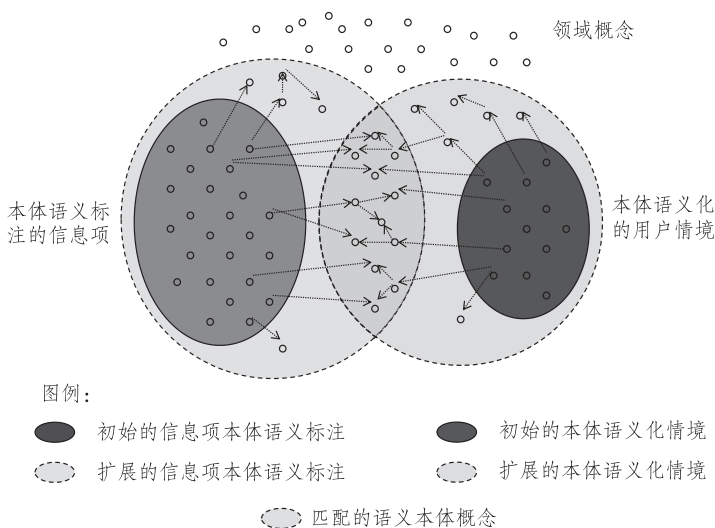


图4 基于扩展本体语义的个性化语义相似度计算过程

3.4 个性化信息服务实现

为使信息服务结果能综合体现用户查询和情境感知的个性化,需要将上述个性化匹配相似度 $pms(d, uc(t))$ 和未考虑个性化的用户查询与信息项的匹配相似度 $sim(d, q)$ 综合,确定信息项 d 匹配用户情境和用户查询的最终综合排序得分 $score(d, q, uc(t))$,可用公式(3)表示:

$$score(d, q, uc(t)) = f(pms(d, uc(t), sim(d, q))) \quad (3)$$

在该公式中,信息项与用户查询的匹配相似度 $sim(d, q)$ 可由原信息检索服务系统提供,也可通过原信息检索服务系统初始检索结果的信息项排序重新计算得到。因此 $sim(d, q)$ 不依赖于具体的信息检索服务系统,这保证了该方法能够在已有的信息检索服务系统中得到应用。

在公式(3)中,一个关键问题是确定根据多个排序源生成综合得分的功能函数 f ,该问题已经成为信息服务领域的一个重要研究课题^[18]。在本文中采用了线性组合的方法来生成综合的排序得分,即:

$$score(d, q, uc(t)) = \lambda \cdot pms(d, uc(t)) + (1 - \lambda) \cdot sim(d, q) \quad (4)$$

其中 λ 为个性化参数, $\lambda \in [0, 1]$ 。 λ 的大小将

决定情境感知的个性化对信息服务最终结果的影响程度。当 $\lambda = 0$,即个性化影响被忽略,相当于一般的查询信息服务;当 $\lambda = 1$,用户的显式查询被忽略,信息服务结果完全依赖于用户的个性化情境信息,这可用于主动推荐的信息系统; λ 越大,个性化的影响程度越大,反之亦然。

在上述线性组合方法中,个性化参数 λ 的选择至关重要。在具体应用过程中,考虑到用户使用的便捷性,一般采用隐式地自动获取用户情境信息,而由于用户情境本身的不确定性和模糊性,采用自动获取和推理的方法就不得不承担对用户情境信息识别获取错误的风险,在这种情况下,个性化参数 λ 越高,导致错误结果或不合理结果的可能性就越大。此外,即便用户的情境信息都是正确的,但是在用户的查询信息需求发生剧烈变化的情况下,情境信息与用户本身的查询需求信息可能有不一致性甚至发生冲突,这时如果个性化参数 λ 过大,也不利于获得理想结果。因此个性化参数 λ 的设定一定要格外注意,需要根据实际的运行经验进行有效调节。当然也可以考虑由用户自己来调节 λ ,如关闭个性化服务($\lambda = 0$),或设置为一个

合适的值,但这将增加用户操作的复杂性。

4 应用实证研究

为验证本文提出的基于情境感知和本体的方法实现信息服务自适应个性化的有效性,我们在提供礼品信息服务的某电子商务网站开展了应用实证研究。该网站是一个专业选礼互动平台,通过注册会员、商家等的互动提供丰富的礼品信息,并根据用户在特定场景下(如送礼的对象、送礼的场合等)送礼需求为其提供专业的、适合的和有价值的礼品信息服务。因此如何有效地感知觉察用户特定的情境信息,自适应地为之提供个性化礼品信息服务就显得尤为重要。

4.1 方法应用

在该应用实证研究中,综合情境的更新合成、个性化匹配相似度 $pms(d, uc(t))$ 和信息项的综合排序得分 $score(d, q, uc(t))$ 的计算分别采用公式(1)、(2)和(4)得到。为实现情境感知的信息服务自适应个性化,还需确定用户查询与信息项的匹配相似度 $sim(d, q)$ 、语义标注信息项和识别获取情境信息,对这些问题简要说明如下:

(1) 用户查询与信息项匹配相似度 $sim(d, q)$ 的确定。该礼品信息服务网站自身提供了礼品信息的查询服务,通过查询可以返回具有先后排序相关的礼品信息,但没有直接返回信息项与用户查询之间的相似度指标 $sim(d, q)$,因此要实现信息服务的个性化,需采用一定的方法重新计算得到该指标。我们采用了基于查询结果排序信息来构建 $sim(d, q)$ 。记 $rank_i$ 为返回的第 i 个信息项,其中 $rank_1$ 为返回的第 1 个信息项, $rank_N$ 为返回的最后一个信息项,则第 i 个信息项与查询的相似度定义为:

$$sim(d, q)_i = \frac{(rank_N + 0.5c) - rank_i}{rank_N + c} \quad (5)$$

其中 c 为一个与查询返回结果信息项数量相关的常数,在本应用实证研究中取 $c = 0.5rank_N$ 。根据该公式,返回的第一个信息项相似度最高,

最后一个相似度最低,与实际情况相符。

(2) 查询结果信息项的语义标注。在该礼品信息服务网站并没有对其信息项进行语义本体标注,因此需要对其查询返回的信息项结果集进行本体语义标注,其语义标注过程主要包括以下步骤:①预处理 Web 页面,如去掉广告、框架等无关或不能解析的内容,将网页结构化为规范的格式,然后转换为文档对象模型(Document Object Model, DOM)树结构;②确定 DOM 树结构中语义本体相关联的对象和元素,并构建他们之间的映射关系;③描述 Web 网页资源,形成 OWL 本体的网页语义标注。

(3) 情境信息的识别获取

在该网站的应用实证研究中主要通过以下方式获得相关的情境信息:

- 通过用户注册信息获得该用户基本身份情境信息;
- 通过网站的互动信息与好友信息获得用户的社会网络关系情境信息,如朋友信息;
- 通过用户上网的 IP 获得用户的地点区域情境信息;
- 通过系统获得当前有关的时间和节假日情境信息;
- 通过跟踪用户在网站上的行为,获得他对礼品有关偏好的情境信息,如礼品价格、类别等。

通过这些方式获得用户基本情境信息后,采用建立在一阶谓词逻辑(First Order Logic, FOL)基础上基于规则的方法(Rule-based FOL method,记为 R-FOL 方法)^[19]进行情境推理,扩展得到更多的用户间接情境信息。

4.2 应用实证结果与讨论

为验证本文提出方法的有效性,在应用实证研究中选择了 20 个不同的礼品主题进行检索,并采用 R-precision 测评指标^[20]对检索结果进行比较。因为在一般情况下用户只会对前 30 个检索信息项进行查看,因此设置 R 值为 30。通过 30 天观察数据的统计,不同遗忘系数 ξ 和个性化参数 λ 对个性化信息服务结果的影响如图 5 所示。

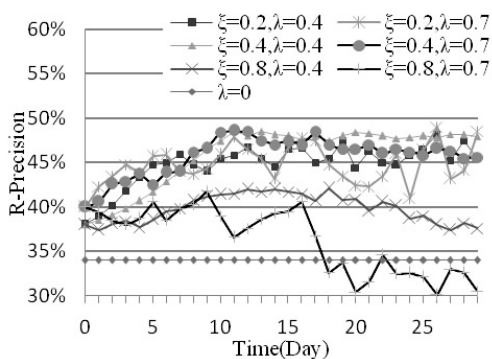


图5 ξ 和 λ 对个性化信息服务结果的影响

由图5可见,采用基于情境感知和本体的方法总体上提高了信息服务的准确性。注意:在图5中,当不考虑情境感知的个性化($\lambda = 0$)时,即该网站自身提供的礼品信息查询服务,其R-Precision为一个固定值,因为其结果不依赖于某一方时间变化所导致的个性化信息需求变化。

根据上述统计结果,结合在应用实证中的更多观察,得到初步结论及分析讨论如下:

(1)当 $\xi \in [0.1, 0.5]$ 且 $\lambda \in [0.3, 0.7]$ 时,R-precision有较显著的提高;而当 ξ 和 λ 不在这些范围时,R-precision的提高并不明显,甚至出现低于其网站自身的信息查询服务(即不考虑情境感知的个性化)。这表明在采用基于情境感知的方法实现信息服务自适应个性化时,在历史情境与当前情境更新合成综合情境过程中,要适度地加大当前情境的关注,而历史情境的比重不宜过大,这恰恰反映了用户的信息服务需求是与其当前的目标、任务等特定情境紧密相关的;而在综合情境感知的个性化匹配与用户显式查询过程中,要对二者的权重予以合理的分配,不宜过分偏重其中一者,这反映了情境感知的用户信息需求和用户显式的查询信息需求都是用户信息需求的重要方面,也说明了信息服务个性化中感知用户情境的重要性。

(2)对R-precision提高比较显著的 ξ 和 λ 取值范围内,一般在前5~10天内R-precision可逐步得到提高,之后则在一定范围内上下波动,

且 ξ 值若相对较小,则波动幅度就略大。这表明在感知用户当前情境基础上,合理地综合历史情境有助于提升个性化信息服务的效果;并且通过历史情境较好地反映了用户信息需求的连续性,抑制了当前情境的波动给信息服务质量带来的不确定影响。

(3)在 ξ 值一定的情况下,随着 λ 值的增大,对应R-Precision值的变化波动也随之增大。这种波动表明基于情境感知的方法所获取的用户个性化信息需求具有一定的不确定性,导致了信息服务质量的波动,并且其在个性化信息服务中的比重越大,所带来的影响也越加明显。因此,采用有效的方法准确地识别获取用户情境,具有十分重要的意义。

5 结语

情境在个性化信息服务中正不断地得到认识和重视,本文提出了基于情境感知和本体的方法来实现信息服务的自适应个性化,并对其展开了系统研究。应用实证的研究结果验证了提出方法的有效性。

在本文研究中,为反映历史情境的影响和情境感知的个性化影响,分别引入了遗忘系数 ξ 和个性化系数 λ ,而这两个系数的设定对信息服务的个性化实现都具有重要影响。如何在更多的信息服务领域进行应用实证研究,获取关于 ξ 和 λ 的更多经验是非常有价值的工作。此外,在个性化信息服务系统中,对所有的用户都使用相同的 ξ 和 λ 可能也不一定合适, ξ 和 λ 本身也是情境相关的,因此,如何在情境感知的信息服务自适应个性化过程中,根据用户情境自适应调节 ξ 和 λ ,也是一个值得探讨的问题。

参考文献:

- [1] Souldatos S, Dalamagas T, Sellis T. Captain Nemo: A Metasearch Engine with Personalized Hierarchical Search Spaces[J]. Informatica, 2006 (30):173 - 181.
- [2] 曾春, 邢春晓, 周立柱. 个性化服务技术综述[J]. 软件学报, 2002, 13(10):1952 - 1961.

- [3] 张树良, 冷伏海. Web 环境下个性化信息的获取和个性化服务的实现[J]. 中国图书馆学报, 2007, 33(4): 77-81.
- [4] Shen X, Tan B, Zhai C. Context-sensitive information retrieval using implicit feedback[G]. Proceedings of the 28th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Salvador, Brazil, 2005, 43-50.
- [5] 林仙, 刘惟一. 基于上下文的知识表示和推理: 人工智能的观点[J]. 计算机科学, 2005, 32(1): 142-147.
- [6] Kwon O, Choi S, Park G. NAMA: a context-aware multi-agent based web service approach to proactive need identification for personalized reminder systems[J]. Expert Systems with Applications, 2005, 29: 17-32.
- [7] Vallet D, Fernández M, et al. Personalized information retrieval in context. [2008-12-26]. <http://nets.iuam.es/~acemedia/publications/mrc06.pdf>.
- [8] Mylonas P H, Vallet D, et al. Personalized information retrieval based on context and ontological knowledge[J]. The Knowledge Engineering Review, 2008, 23(1): 73-100.
- [9] Sugiyama K, Hatano K, Yoshikawa M. Adaptive web search based on user profile constructed without any effort from users[G]. Proc. of the 13th International World Wide Web Conference, 2004, 675-684.
- [10] 童毕建. 基于点击流技术的个性化信息服务应用研究[D]. 北京: 对外经济贸易大学, 2006.
- [11] 胡昌平, 孙高岭. 个性化网络协同推荐服务系统的扩展及其实现[J]. 中国图书馆学报, 2008, 34(5): 61-64, 45.
- [12] Dey A K, Abowd G D, Salber D. A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications[J]. Human-Computer Interaction J., 2001, 16(2): 97-166.
- [13] Yang S, Shao N. Enhancing pervasive Web accessibility with rule-based adaptation strategy[J]. Expert Systems with Applications, 2007(32), 1154-1167.
- [14] 徐光祐, 史元春, 谢伟凯. 普适计算[J]. 计算机学报, 2003, 26(9): 1042-1050.
- [15] W3C. OWL Web Ontology Language Guide Recommendation. [2006-05-16]. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/>.
- [16] Pan X W, Gu X J, Wang Z C. Context-based adaptive personalized Web Search for improving information retrieval effectiveness[G]. Proc. Of 2007 International Conference on Wireless Communication, Networking and Mobile Computing, IEEE Society, Shanghai, 2007, 5427-5430.
- [17] 祝锡永, 潘旭伟, 王正成. 基于情境的知识共享与重用方法研究[J]. 情报学报, 2007, 26(2): 179-184.
- [18] Dwork C, Kumar R, Naor M, Sivakumar D. Rank aggregation methods for the Web[G]. Proc. of the 10th Intl. World Wide Web Conference (WWW10), Hong Kong, 2001, 146-153.
- [19] 潘旭伟. 集成情境知识管理中几个关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [20] Baeza-Yates R, Ribeiro-Neto B. Modern information retrieval[M]. ACM Press, 1999.

潘旭伟 浙江理工大学经济管理学院博士, 副教授。通讯地址: 杭州下沙区高教园区。邮编 310018。

李泽彪 浙江理工大学讲师。通讯地址同上。

祝锡永 浙江理工大学教授。通讯地址同上。

邵晨曦 杭州向日葵科技有限公司技术总监。通讯地址: 浙江杭州西湖区天苑大厦。邮编 310013。

(收稿日期: 2009-04-17)