

适应用户需求进化的个性化信息服务模型

谢海涛,孟祥武

(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)

摘要: 针对个性化信息服务难以有效适应用户需求变化的问题,从行为动机角度分析了需求变化的原因.基于“马斯洛需求层次论”设计了分析信息类别与信息行为所对应需求层次的机制,进而提出了面向行为动机的个性化信息服务模型.通过分析用户行为记录,模型有选择性地将候选推荐内容多样化,通过监测用户反馈,判定其需求变化趋势并主动做出适应.实验结果表明,利用模型优化后的个性化信息服务系统对用户需求变化的适应能力得到有效提高.

关键词: 个性化服务;行为动机;马斯洛需求层次论;需求变化

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 03-0643-06

A Personalized Information Service Model Adapting to User Requirement Evolution

XIE Hai-tao, MENG Xiang-wu

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

Abstract: Existing personalized information services methods have poor adaptability of user interest change. Based on the hierarchy of needs theory, this paper analyzed and classified the reasons of interest change, proposed hierarchical motivations analysis mechanisms of information categories and behaviors, and proposed the personalized information service model. The model analyses the user behavior records, provides diverse recommendations, and sets a feedback monitoring to cope with the interest change actively. Experiments show that the system service supported by the model has a higher quality of personalized service.

Key words: personalized service; behavior motivation; Maslow's hierarchy of needs; requirement change

1 引言

基于推荐技术的个性化服务成为信息服务的主流方式,有效缓解了信息过载,其核心内容是识别和预测用户需求并提供相应信息.用户需求不断变化是制约其服务质量的关键问题.

传统推荐机制对用户需求变化的适应能力不同:(1)“伪预测”机制,包括基于内容和协同的信息过滤,前者发现与用户已有兴趣相似的资源^[1],后者找到与当前用户兴趣相似的其它用户的行为对象进行推荐,该类方法基于相似性的本质决定了其旨在围绕用户当前需求提供更全面服务的实质,服务内容对需求变化的适应性较弱^[2];(2)基于Web数据挖掘的“概率预测”个性化服务机制^[3],如基于点击流的协同过滤^[4],基于关联规则的个性化服务方法^[5],该类方法基于用户行为的统计规律能够以概率准确度命中用户需求的变化,但其基于统

计的本质使适应性较易局限在特异的大概率行为模式中;(3)基于事物“内容与逻辑关联”的个性化服务机制,如基于领域本体的需求预测^[6],基于形式化概念分析和知识关联的需求预测^[7],该类方法融合了用户需求的变化规律,具备较好的适应性,但也存在领域知识获得困难和信息对象难以标注的问题.

需求变化主要分为三类:(1)突发事件对用户需求的扰动;(2)用户为满足当前需求而在多种信息类别间的“需求迁移”;(3)用户因当前需求满足后萌生新需求而产生的“需求进化”.上述看似无序的需求变化中隐藏着客观的用户行为动机规律,但传统推荐机制未对此展开深入研究,导致两个问题:(1)服务内容变化滞后于需求变化,难以主动适应“需求进化”;(2)基于相似性的服务特点也导致内容多样性差^[2],难以适应“需求迁移”.马斯洛需求层次论(Maslow's Hierarchy of Needs)通过行为动机分析阐述了人们满足各种需求的规律^[8],为解决

上述两问题提供了思路。

本文第 2 节设计了“信息层次模糊本体”(Fuzzy Ontology of Hierarchical Information Category, FOHIC)和“信息行为层次判定模型”(Hierarchical Information Behavior Analysis Model, HIBAM),分别用于判定信息类别和信息行为的需求层次.第 3 节构建了面向动机的个性化信息服务模型(Motivation Oriented Personalized Information Service Model, MOPISM).该模型通过分析用户行为记录,面向行为动机优化传统推荐机制所生成的候选推荐结果以增强其适应用户需求变化的能力.第 4 节的实验中,应用模型 MOPISM 实现了个性化信息服务系统并验证其服务对用户需求变化的适应性.

2 行为动机规律与应用

2.1 需求层次论原理

主要结论包括^[8]:(1)人的所有需求都源自若干基本需求;(2)需求只会短暂而相对的满足,低层需求被满足,高层需求就出现;(3)由低到高分七层:生理、安全、爱与归属、尊重、认知、审美、自我实现.前四层为匮乏性需求,后三层为成长性需求;(4)需求的满足使人对旧目标物产生轻视,而新需求会使对应事物变得有趣;(5)认知、记忆、习惯都为满足当前需求而动.结论 1~3 阐述了各种需求间的进化规律;结论 4~5 说明用户兴趣随需求而变动.应用该原理构建了 FOHIC 与 HIBAM,两者分别提供面向动机的信息类别和信息行为的分析支持.

2.2 信息类别的需求层次判定

“信息层次模糊本体”FOHIC 用以判定各类别信息所能满足用户各层次需求的程度,如图 1 所示.

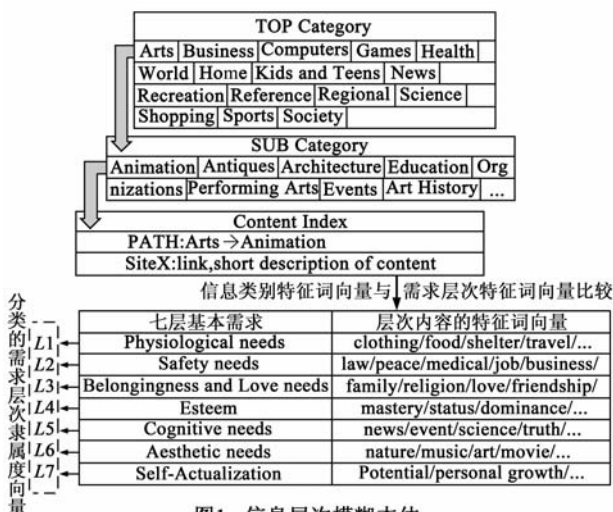


图1 信息层次模糊本体

FOHIC 包括:两级目录构成的类别体系(TOP Category, SUB Category),各类别内容的特征向量(Content Index)、各需求层次及描述其内容的特征词列表、各类别

隶属于各需求层次的隶属度向量.其构造过程如下:

步骤 1 参照公共分类目录,构建类别体系.

步骤 2 基于公共分类目录中对各类别信息的文本描述抽取各类别的特征向量,向量由特征词及其权重构成.

步骤 3 构建各需求层次的内容,根据需求层次论列举出描述各需求层次内容的典型特征词,然后利用词库扩充特征词列表.

步骤 4 计算所有信息类别的需求层次隶属度向量,某类别 c 隶属第 i 层需求的程度 $\text{Membership}(c, i)$ 的计算方法为:

$$\text{Membership}(c, i) = \frac{\sum_{j=1}^{\text{Terms}(c, i)} \text{Weight}(j)}{\sum_{k=1}^7 \sum_{l=1}^{\text{Terms}(c, k)} \text{Weight}(l)} \quad (1)$$

其中 $\text{Terms}(c, i)$ 表示本体中该类别特征词集合与第 i 需求层特征词集合交集的元素个数,序号 j 代表交集中第 j 个词汇, $\text{Weight}(j)$ 是该词在该类别特征向量中的权重,值为词频统计(Word Frequency)结果.

步骤 5 基于本体开发应用程序,以信息类别为输入,输出该类别的需求层次隶属度向量.

2.3 信息行为的需求层次判定

信息行为源自日常需求^[9],用户也依赖信息行为去满足日常需求^[10].该一致性保证了需求层次论在分析信息行为动机问题上的适用性.基于此,构造“信息行为层次判定模型”HIBAM.

用户在不同需求层次间跳转,处于某需求层次时又以不同概率选择各类别信息,该过程是双重随机过程,整个过程可用隐马尔科夫模型(Hidden Markov Model, HMM)加以建模.构造 HIBAM 如下:

$$\begin{cases} \text{Levstat} = \{ \text{Lev}_1, \text{Lev}_2, \dots, \text{Lev}_7 \}; \\ \text{Catobsv} = \{ \text{Cat}_1, \text{Cat}_2, \dots, \text{Cat}_N \}; \\ \mathbf{\Pi} = (\pi_t); \mathbf{A} = (A_{ij}); \mathbf{B} = (B_{mn}); \\ \text{Input} = \langle \text{Cat}_{x_1}, \text{Cat}_{x_2}, \dots, \text{Cat}_{x_l} \rangle \\ \text{Output} = \langle \text{Lev}_{y_1}, \text{Lev}_{y_2}, \dots, \text{Lev}_{y_l} \rangle \end{cases} \quad (2)$$

其中 Levstat 是 7 个需求层次构成的隐藏状态集合; Catobsv 是所有 N 个信息类别构成的观测状态集合; $\mathbf{\Pi}$ 是用户在初始状态处于各需求层次的概率; \mathbf{A} 是需求层次转移概率矩阵,元素 A_{ij} 值为在 $t-1$ 时刻处于第 i 层需求状态的条件下,在 t 时刻处于第 j 层需求状态的概率; \mathbf{B} 是信息类别选择的概率矩阵,元素 B_{mn} 值为处于第 m 层需求状态的条件下,选择第 n 个信息类别的概率;输入 Input 是用户在信息系统中的长度为 1 的信息行为所对应的信息类别选择序列;输出 Output 是对应的用户需求状态转移序列.模型使用维特比算法

(Viterbi Algorithm)^[11],将 Levstat, Catobsv, \mathbf{II} , \mathbf{A} , \mathbf{B} 作为算法参数,Input 作为算法输入,即可计算得到一个隐藏的需求层次状态转移序列 Output. 参数 \mathbf{A} 的设置要符合需求进化原理:同需求层次内和由低向高层进化的转移概率较大. 参数 \mathbf{B} 通过统计所有用户的行为纪录得出,从而屏蔽了个体行为的不稳定性,元素 B_{mn} 等于所有用户处于 m 层时对第 n 类信息的浏览量占对所有类别浏览量的比例,用户处于 m 层对第 n 类信息的浏览量等于该类别总浏览次数 $T(n)$ 乘以第 n 类信息相对于第 m 层的隶属度 $\text{Membership}(n, m)$, N 是所有类别的个数.

$$B_{mn} = \frac{\text{Membership}(n, m) * T(n)}{\sum_{k=1}^N \text{Membership}(k, m) * T(k)} \quad (3)$$

3 信息服务模型

3.1 问题描述

个性化信息服务对需求变化的适应性差,会导致其推荐内容的方式与用户选择推荐内容的方式偏差大. 本文提出的“面向动机的个性化信息服务模型”MOPISM 旨在解决上述问题,为度量有效性,定义“个性化信息服务偏差”描述推荐内容的服务质量.

定义 1 个性化信息服务偏差 (Error of Personalized Service, EoPS) 为系统推荐内容的方式 Supply 与用户消费推荐内容的方式 Consume 的偏差程度, Error 用于偏差比较.

$$\text{EoPS} = \text{Error}(\text{Supply}, \text{Consume}) \quad (4)$$

定义 2 Cat_i 表示序号为 i 的信息类别, Ps_i , Pc_i 分别为该类别被系统提供和被用户消费的方式. 若 n 为推荐信息的类别数量, N 为所有信息类别的总量,且 $\{x_1, \dots, x_n\} \subseteq \{1, 2, \dots, N\}$. Supply 和 Consume 均可表示为序列集合:

$$\text{Supply} = \{ \langle \text{Cat}_{x_1}, \text{Ps}_{x_1} \rangle \dots \langle \text{Cat}_{x_n}, \text{Ps}_{x_n} \rangle \} \quad (5)$$

$$\text{Consume} = \{ \langle \text{Cat}_{x_1}, \text{Pc}_{x_1} \rangle \dots \langle \text{Cat}_{x_n}, \text{Pc}_{x_n} \rangle \} \quad (6)$$

其中, Ps_i 为所推荐的第 i 类信息的数量与所有推荐的信息总量的比值; Pc_i 为所推荐的第 i 类信息被用户选择的数量与用户选择的所有推荐信息总量的比值.

平均绝对偏差 MAE (Mean Absolute Error) 是最常用的一种推荐质量度量方法^[12], 定义 1 中的 Error 函数也借鉴 MAE 的定义.

综上, EoPS 采用如下公式计算, 其值反映信息推荐与消费的偏差, n 为推荐信息类别数量, $\{x_1, \dots, x_n\}$ 为推荐信息类别的序号:

$$\text{EoPS} = \frac{\sum_{i=x_1}^{x_n} | \text{Ps}_i - \text{Pc}_i |}{n} \quad (7)$$

3.2 模型思想与机制

模型 MOPISM 首先基于传统推荐机制生成候选推荐内容, 借助 FOHIC 与 HIBAM 分析用户行为记录. 然后以面向动机的信息提供方式有选择性得将候选内容的信息类别多样化, 以达到适应用户“需求迁移”的目的. 最后针对用户反馈设置监测器, 在判定发生“需求进化”后主动做出适应. 为说明模型有效性和通用性, 在实验部分将采用实际应用效果较好、较有代表性的基于内容过滤^[13]和协同过滤^[14]机制作为范例进行探讨, 模型工作机制如下:

(1) 候选推荐内容生成

步骤 1 设置候选信息集合 Set_{cand} 和待推荐信息集合 Set_{rec} , 初始均为空集.

步骤 2 基于传统推荐机制生成候选推荐信息放入 Set_{cand} , 根据预设的内容相关阈值 $\text{Para}_{\text{rel}} \in (0, 1)$ 所表示的比例, 将 Set_{cand} 中的信息按照推荐优先度由高到低选择放入 Set_{rec} .

步骤 3 使用 FOHIC 计算 Set_{cand} 、 Set_{rec} 中所有信息的层次隶属度向量, 记为 $\mathbf{V}(\text{Cat}_i)$, 其中 i 表示某信息所属类别的序号.

(2) 用户信息行为分析

使用 HIBAM, 根据预设的行为记录时间窗口 Para_{win} , 将时间窗口内的行为序列作为 Input, 得到需求层次变化序列 Output.

(3) 内容多样化

步骤 1 根据 Output 统计用户处于各层次时浏览信息类别的数量 $\text{Catnum}(k)$ 和浏览信息的总量 $\text{Infonum}(k)$. 两者比值 $\text{Div}(k) = \text{Catnum}(k) / \text{Infonum}(k)$ 称为多样度. 其中 k 是需求层次序号.

步骤 2 所有层次的多样度组成向量 $\text{Div} = \langle \dots, \text{Div}(k), \dots \rangle$, 称为多样性需求向量. 其表征用户在满足各需求层次时需要多样化信息的程度.

步骤 3 将 Set_{cand} 中信息的 $\mathbf{V}(\text{Cat}_i)$ 与 Div 求余弦相似度 (Cosine Similarity), 将相似度大于阈值 Para_{sim} 的信息放入 Set_{rec} . 以上步骤使多样化信息需求程度较大的需求层次具有较多的信息数量, 从而增大了出现更多类别信息的概率.

(4) 需求进化监测

步骤 1 监测时间窗口内的信息服务偏差 EoPS, 若 EoPS 大于预设的变化阈值 $\text{Para}_{\text{chan}}$, 则说明用户需求发生较大变化.

步骤 2 设置集合 Set_{low} 和 Set_{high} . 统计时间窗口内所有推荐类别 Cat_i 中的信息被用户接受的比例值 $\text{Acpt}(\text{Cat}_i)$, 计算所有推荐类别的平均接受率记为 Avg . 若 $\text{Acpt}(\text{Cat}_i) < \text{Avg}$, 则 $\text{Cat}_i \in \text{Set}_{\text{low}}$, 否则 $\text{Cat}_i \in \text{Set}_{\text{high}}$.

步骤 3 分别计算 Set_{low} 和 Set_{high} 中各信息类别的 $V(Cat_i)$ 的向量中心, 即算术平均值, 分别记为 $V_c(Set_{low})$ 和 $V_c(Set_{high})$.

步骤 4 分别计算 Set_{low} 和 Set_{high} 各中信息类别的 $V(Cat_i)$ 与所属集合向量中心 $V_c(Set_{low})$ 和 $V_c(Set_{high})$ 的余弦相似度均值, 分别记为 $L(Set_{low})$ 和 $L(Set_{high})$.

步骤 5 若 $L(Set_{low})$ 和 $L(Set_{high})$ 均大于预设阈值 $Para_{level}$, 说明 Set_{low} 和 Set_{high} 两集合中的各类信息的需求层次均分别相近, 即用户感兴趣和不感兴趣的信息类别都呈现出较强的需求层次性. 由此可判断用户需求发生了需求层次间跳转的需求进化现象, 模型针对该情况采取应对措施.

(5) 需求进化处理

步骤 1 计算 Set_{cand} 中所有信息的 $V(Cat_i)$ 与 $V_c(Set_{high})$ 的余弦相似度, 若大于预设阈值 $Para_{evolve}$, 则将信息放入 Set_{rec} .

步骤 2 计算 Set_{rec} 中所有信息的 $V(Cat_i)$ 与 $V_c(Set_{low})$ 的余弦相似度, 若大于 $Para_{evolve}$, 则将信息从 Set_{rec} 删除.

步骤 3 以上步骤使 Set_{rec} 中的信息所能满足的需求层次与用户进化后的需求层次更一致. 将 Set_{rec} 中信息作为结果推荐给用户.

4 实验与结果分析

实验分 4 步骤. 实验 1 检验 FOHIC 判定信息类别对应需求层次的有效性; 实验 2 进一步验证用户信息行为存在需求层次进化性; 实验 3 检验 HIBAM 通过用户信息行为而计算出需求层次转移序列的有效性; 实验 4 检验模型 MOPISM 优化后的个性化服务适应用户需求变化的有效性.

表 1 列举了实验中各需求层次的标记.

实验 1 FOHIC 中由特征抽取程序得到的部分类别的信息特征如表 2 所示, 特征表示形式为: “序号. 特征词. 词频. 特征词对应的需求层次(可无)”.

FOHIC 根据信息类别 Arts→Music 的信息特征计算出其需求层次隶属度向量的结果如表 3 所示.

结合表 3 结果并根据马斯洛指出的各需求层次包含的内容, 得知模糊本体 FOHIC 能够对信息类别的需求层次隶属度做出有效判定.

表 1 需求层次标记

匮乏性需求		成长性需求	
需求层次	标记	需求层次	标记
生理层	AL1	认知层	BL5
安全层	AL2	审美层	BL6
爱与归属感	AL3	自我实现层	BL7
尊重层	AL4		

表 2 类别特征抽取

类别	Arts→Music	
特征向量	1. music. 1035. BL6	11. rock. 104. BL6
	2. review. 209	12. links. 100
	3. humanistic. discipline. 193	13. album. 92. BL6
	4. artist. 153. BL6	14. musician. 90. BL6
	5. news. 147. BL4	15. musical. 89. BL6
	6. poser. 135	16. song. 81. BL6
	7. include. 132	17. forum. 78. AL4
	8. lyric. 117. BL6	18. site. 78
	9. band. 117. BL6	19. instrument. 74. BL6
	10. information. 112. BL4	20. classical. music. 74. BL6

实验 2 使用标准数据集

MSNBC^[15]. 首先通过 FOHIC 对数据集中的信息类别进行需求层次隶属度判定, 然后过滤掉数据集中长度大于 50 的信息浏览行为序列, 最后计算不同需求层次的信息浏览行为在用户行为序列中出现位置的数学期望值, 实验结果显示用户满足各层次信息需求的行为呈现出一定的优先级顺序, 总体规律符合需求层次论.

表 3 类别隶属度向量

需求层次	隶属度
AL1	0
AL2	0
AL3	0
AL4	0.033
BL5	0.109
BL6	0.857
BL7	0

实验 3 HIBAM 处理了 3 组分别模拟在不同的用户需求变化趋势下的信息浏览行为. 为观察实验效果, 用户行为符合需求层次越高, 越倾向于选择序号较大的信息类别的预设模拟规律. 如图 2 所示.

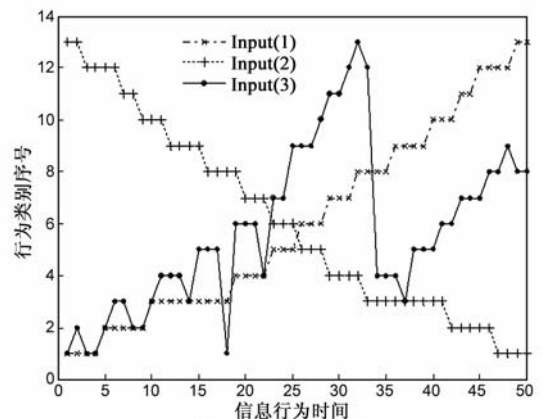


图 2 用户行为序列

计算得到的需求层次转移序列如图 3 所示.

图 3 显示 HIBAM 计算得到的需求转移趋势与图 2 中对应曲线的升降趋势保持一致, 根据预设的“需求层次越高, 选择类别序号越大”的信息行为规则, 得知计算出的用户需求转移曲线与实际需求转移曲线升降趋势一致.

实验 4 使用模型 MOPISM 实现了基于内容过

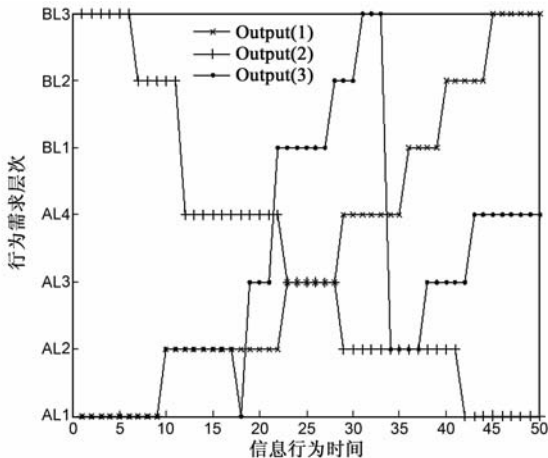


图3 需求层次序列

滤^[13]和协同过滤^[14]机制的两个 Web 信息服务系统,使用 EoPS 来度量在有无 MOPISM 支持下的个性化信息服务偏差.让 20 名用户进行 4 组实验,实验中用户都根据各自偏好在目标系统中浏览信息,统计四组实验中所有用户的前 15 次交互过程,分别计算四组实验中目标系统对所有用户服务的 EoPS 的平均值,其中基于内容过滤与使用 MOPISM 优化后的基于内容过滤系统的对比结果如图 4 所示;协同过滤与使用 MOPISM 优化后的协同过滤系统的对比结果如图 5 所示.

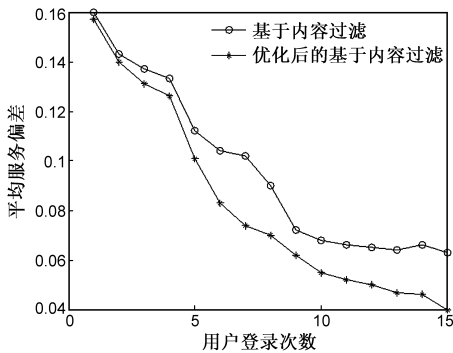


图4 信息推荐与用户消费偏差对比

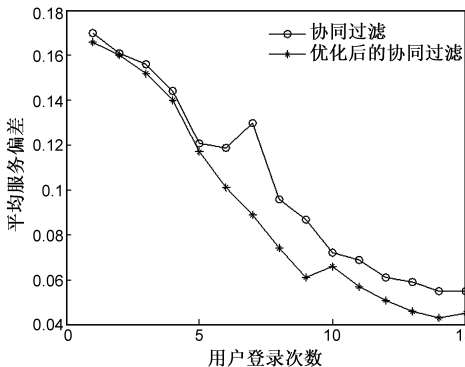


图5 信息推荐与用户消费偏差对比

通过图 4、5 中曲线对比得知:使用 MOPISM 优化后的个性化信息服务机制的推荐内容与用户需求更一致,服务偏差更小.统计 4 组实验中所有用户浏览的信

息类别的平均数,对比结果如图 6 所示.

图 6 显示 MOPISM 有效地多样化了用户所浏览的信息,可以有效适应用户因信息类别单调而产生的“需求迁移”问题.然后筛选上述实验数据,留下监测到发生过“需求进化”的用户登录并浏览信息的过程,分别计算 4 组实验中用户浏览的信息中来源于系统推荐的信息所占的比例得知:优化后的推荐机制更能适应进化后的用户需求.综合上述实验,可知模型 MOPISM 在优化个性化信息服务机制以使其适应用户需求变化的能力上是有效的.

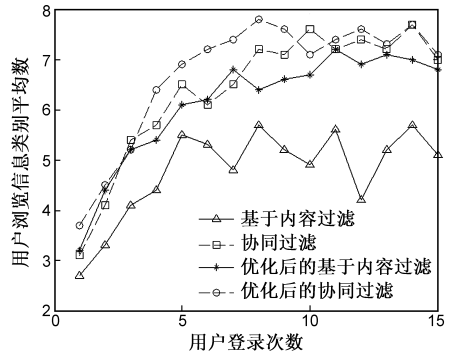


图6 信息类别多样化对比

5 总结语

用户需求变化是个性化信息服务的核心问题,受“马斯洛需求层次论”启发,本文提出了 FOHIC 和“HI-BAM,上述两种机制可以对信息类别和信息行为的需求层次做出有效判定.在此基础上,提出了 MOPISM,该模型在传统推荐方法生成的候选推荐内容的基础上,可以有选择性得增加信息类别的多样性并在监测到需求进化时予以主动适应.实验中应用 MOPISM 实现了两类有代表性的个性化信息服务系统,系统可以有效适应用户的需求变化.

参考文献

[1] 曾春,邢春晓,周立柱.基于内容过滤的个性化搜索算法[J].软件学报,2003,14(5):999-1004.
Zeng Chun, Xing Chun-Xiao, Zhou Li-Zhu. A personalized search algorithm by using content-based filtering[J]. Journal of Software, 2003, 14(5): 999-1004. (in Chinese)

[2] 韩立新,陈贵海,谢立.一个面向 Internet 的个性化信息检索系统模型[J].电子学报,2002,30(2):240-244.
Han Li-xin, Chen Gui-hai, Xie Li. A model of personalized information retrieval systems for internet applications[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(2): 240-244. (in Chinese)

[3] Eirinaki M, Vazirgiannis M. Web mining for web personalization[J]. ACM Transactions on Internet Technology, 2003, 3(1):1-27.

- [4] Kim D H, Im Il, Adam N, Atluri V, Bieber M, Yesha Y. A clickstream-based collaborative filtering personalization model: towards a better performance[A]. Proceedings of the International Workshop on Web Information and Data Management [C]. Washington: Association for Computing Machinery, 2004. 88 - 95.
- [5] Mobasher B, DAI H H, LUO T, Nakagawa M. Effective personalization based on association rule discovery from web usage data[A]. Proceedings of the Third International Workshop on Web Information and Data Management (WIDM) [C]. Atlanta: Association for Computing Machinery, 2001. 9 - 15.
- [6] LI Yue-feng, ZHONG Ning. Mining ontology for automatically acquiring web user information needs[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2006, 18(4): 554 - 568.
- [7] HUANG H, Wang R J. Acquiring user information needs for personalized search[A]. International Conference on Information Acquisition, ICIA 2007[C]. Jeju: IEEE Computer Society, 2007. 177 - 181.
- [8] Maslow AH. Motivation and Personality[M]. New York: Addison Wesley Longman, 1987. 56 - 61.
- [9] Wilson TD. Models in information behavior research[J]. Journal of Documentation, 1999, 55(3): 249 - 270.
- [10] Elizabeth F, Francis P. Maslow's hierarchy of needs and ict: challenges of end-user adoption of digital life[J]. The Journal of The Institute of Telecommunications Professionals, 2008, 2(4): 23 - 28.
- [11] LOU Hui-ling. Implementing the viterbi algorithm[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1995, 12(5): 42 - 52.
- [12] Sarwar B, Karypis G, Konstan J, Riedl J. Item-based collaborative filtering recommendation algorithms[A]. Proceedings of

the 10th International Conference on World Wide Web[C]. Hong Kong: ACM Press, 2001. 285 - 295.

- [13] Balabanovic M, Shoham Y. Fab: content-based, collaborative recommendation[J]. Communications of the ACM, 1997, 40(3): 66 - 72.
- [14] Breese JS, Heckerman D, Kadle C. Empirical analysis of predictive algorithms for collaborative filtering[A]. In Proc of the Fourteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence [C]. Madison: Morgan Kaufmann, 1998. 43 - 52.
- [15] Cadez I, Heckerman D, Meek C, Smyth P, White S. Model-based clustering and visualization of navigation patterns on a web site[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 2003, 7(4): 399 - 424.

作者简介



谢海涛 男, 1984年2月出生于山东省莱芜市. 现为北京邮电大学计算机学院博士研究生. 主要研究方向: 需求进化、个性化服务.

E-mail: xiehito@gmail.com



孟祥武 男, 1966年11月出生于山东省招远市. 现为北京邮电大学计算机学院教授, 博士生导师, CCF高级会员. 主要研究方向: 通讯软件、网络服务.

E-mail: mengxw@bupt.edu.cn