

● 邓锦峰, 吴建华, 袁勤俭 (南京大学信息管理学院, 江苏 南京 210023)

信息觅食理论的演化及其应用*

摘要: [目的/意义] 帮助学界全面掌握信息觅食理论的发展及应用现状, 并为该理论的后续研究与应用提供建议。[方法/过程] 通过对国内外基于信息觅食理论的相关研究文献的梳理, 总结信息觅食理论的演化及当前研究的成果, 并对存在的不足及未来的研究方向进行讨论。[结果/结论] 信息觅食理论的研究主要集中在信息搜寻行为的影响因素、信息系统的设计和优化、信息搜寻效率评估3个方面; 现有研究存在“缺乏在真实环境中的有效性检验”“缺乏纵向研究”“信息搜寻效率评估问题的研究对象较为单一”等问题; 未来的研究可结合客观数据探究用户的信息搜寻行为, 关注不同领域的效率评估问题, 拓展信息觅食理论在新的场景和领域中的应用。

关键词: 信息觅食理论; 信息搜寻; 信息系统; 信息线索

引用格式: 邓锦峰, 吴建华, 袁勤俭. 信息觅食理论的演化及其应用 [J]. 情报理论与实践, 2021, 44 (12): 65-72.

Information Foraging Theory and Its Application

Abstract: [Purpose/significance] In order to help the academic community fully understand the development and application of information foraging theory, and provide suggestions for the follow-up research and application. [Method/process] By reviewing the relevant literature based on information foraging theory at home and abroad, this paper summarizes the evolution of information foraging theory and current research results, and discusses the existing shortcomings and future research directions. [Result/conclusion] The research on information foraging theory mainly focuses on three aspects: the influencing factors of information seeking behavior, the design and optimization of information system, the evaluation of information seeking efficiency. The existing researches have limitations such as “lack of validity test in real environment”, “lack of longitudinal research” and “the research object of information seeking efficiency evaluation is single”. Future research should pay more attention to explore users’ information seeking behavior with objective data, focus on the efficiency evaluation of different fields, and expand the application of information foraging theory in new scenarios and fields.

Keywords: information foraging theory; information seeking; information system; information scent

为了更好地解释信息搜寻行为, 受行为生态学领域的最优觅食理论启发, Pirolli 等于 1995 年首次提出了信息觅食理论 (Information Foraging Theory, IFT)。其核心思想是: 为了提升信息搜寻的效率, 个体会根据其信息需求, 在成本许可的情况下, 尽可能地优化信息搜寻的方法和策略^[1]。

自信息觅食理论提出以来, 涌现出了不少有价值的研究成果。为了揭示信息觅食理论的基本原理及应用现状, Mantovani 从认知角度对信息觅食理论的优点以及局限性进行了分析, 认为信息觅食理论虽将信息环境引入传统认

知模型, 但忽略了其社会文化维度, 因而虽有助于浏览器的原则性设计, 但未必能作为合适的人类认知模型^[2]; 杨阳等则梳理了信息觅食理论的理论背景和基础概念, 并重点阐述了信息觅食理论的基本模型^[3]。更进一步地, 考虑到信息觅食理论在设计中的实用价值, Fleming 等总结了在软件工程领域的研究中基于信息觅食理论的调试工具、重构工具以及重用工具的设计, 并对信息觅食理论在该领域的适用性和实用性进行深入分析, 指出信息觅食理论未来的研究方向^[4]。

随着信息觅食理论不断发展, 其在信息行为方面的应用越来越受到学界的关注, 并积累了不少研究成果。然而, 由前述可知, 虽然已有文献对信息觅食理论进行了评述, 但是多为信息觅食理论基本原理的阐述, 较少涉及该理论的应用现状; 此外, 前述的综述文献发表较早, 最新

* 本文为 2020 年度江苏省文化和旅游科研课题重点项目“数字技术驱动下江苏省文化和旅游深度融合的战略重点和政策框架研究”的成果之一, 项目编号: 20ZD01。

的文献也发表于2013年，并未反映该理论的最新研究成果。因此，为了有助于学界全面了解信息觅食理论的应用进展，本文拟在对信息觅食理论进行简要介绍之后，对信息觅食理论的演化及其应用现状进行评述，指出现有研究存在的问题，提出值得拓展的潜在研究方向。

1 信息觅食理论的演化

信息觅食理论源自于人机交互领域有关智能信息访问的研究，Pirolli 等在研究中发现，研究参与者面临的问题并不仅仅是收集更多的信息，而是如何优化信息策略以减少信息搜寻的时间，从而获得单位成本的最大收益^[5]。为了寻求这一类问题的解决方案，Pirolli 对行为生态学领域的相关文献进行深入分析，发现最优觅食理论的要素有助于解释人类对获取和理解信息的适应能力^[6]，并进一步结合合理性分析的方法，以“觅食”一词来代表个体进行信息搜寻的过程，在此基础上形成了信息觅食理论。信息觅食理论的演化大体上可以划分为基础模型、认知模型和行为预测模型3个阶段。

1.1 信息觅食理论的基础模型

为了达到特定目标，信息觅食者会进行一系列的信息行为，即在信息斑块内部或之间使用个人信息菜单寻找必要的信息。在这一基础上，Pirolli 等引入了 Stephens 等提出的两个模型：斑块模型和菜单模型^[7]，作为信息觅食理论的基础模型，用以分析不同的信息搜寻策略。

1.1.1 斑块模型 斑块模型阐述了觅食者在资源不平均分布的环境中的决策问题，假设自然环境中的食物资源是呈斑块状分布的。而信息觅食理论实现了从动物觅食到信息觅食的跨越，将个体在信息觅食的过程中遇到的相关信息也看作是呈斑块状分布的，即信息环境中的觅食者同样会面临着资源的不平均分布以及如何觅食资源的问题（见图1^[5]）。

在斑块模型的基础上，Pirolli 假设信息觅食活动中觅食者的累积收益为 G ，并结合在斑块间移动的时间以及在斑块内觅食的时间，提出了觅食行为累积收益图（见图2^[5]），其中，横坐标代表觅食进行的时间，纵坐标代表觅食活动的累积收益，因此，觅食活动的平均收益率 R 就表示为累积收益 G 与觅食活动所花费的总时间 $T_B + T_W$ 之间的比值：

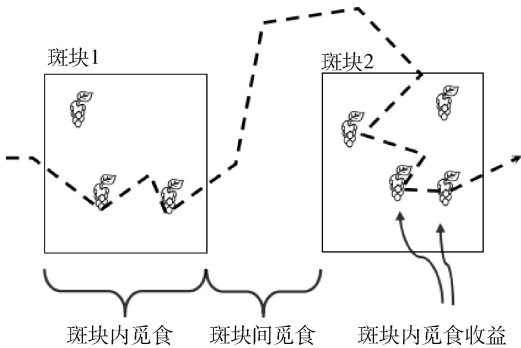


图1 斑块觅食示意图

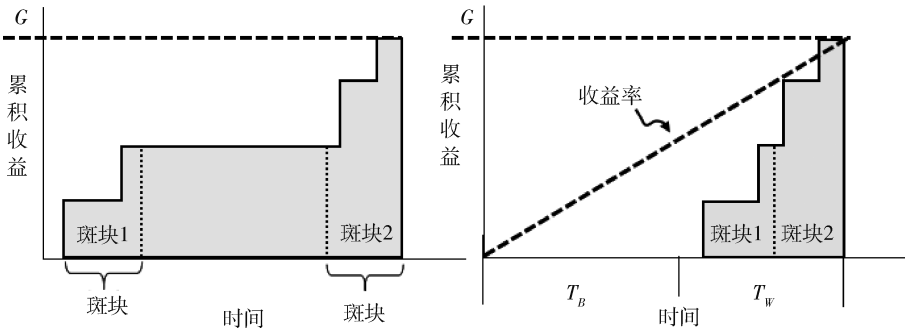


图2 觅食行为累积收益图

$$R = \frac{G}{T_B + T_W}$$

1.1.2 菜单模型 除了要考量在不同的信息斑块中觅食的时间，个体在进行信息觅食时还需要考虑应该选择什么样的食物，或者抛弃何种类型的食物。传统的菜单模型有助于解释觅食者在不同的斑块中应该觅食哪些猎物的问题，因此，在传统菜单模型的基础上，Pirolli 进一步提出了一种最优菜单选择模型^[1]，用以帮助用户制定更为合理的觅食策略。在最优菜单选择模型中，觅食者可以根据信息收益率和信息分布情况判断菜单内是否应该包含该类信息，这种最优菜单的选择方法可以用于判断能够达到最大收益率的信息子集。一个最优菜单选择过程详见图3^[5]。

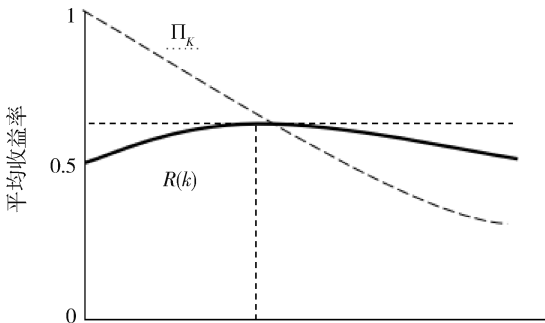


图3 最优菜单选择示例图

1.2 信息觅食理论的认知模型

由菜单模型可知，觅食者会对可用的不同行为策略的

效用做出判断。在此基础上, Pirolli 等将他们进行判断时所处理的局部提示定义为信息线索^[8], 并将这一概念纳入考虑, 进一步构建了信息觅食理论的 SNIF-ACT 认知模型^[9], 旨在通过描述链接、页面布局、用户工作记忆和视觉注意模式的词汇, 来反映用户在与网页交互时的链接选择以及交互时间和注视模式, 模拟用户进行信息搜寻的整个过程^[10]。SNIF-ACT 模型详见图 4^[11]。

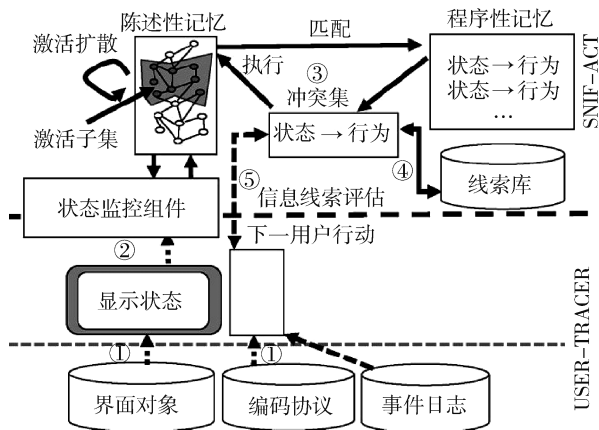


图 4 SNIF-ACT 模型

在提出 SNIF-ACT 模型之后, 为了测试信息线索对导航选择行为的基本预测能力, 并进一步将信息线索的预测能力与链接位置相结合, Pirolli 等又相继提出了 SNIF-ACT 1.0 和 SNIF-ACT 2.0 模型^[12]。SNIF-ACT 1.0 模型继承了初始模型中的冲突解决机制, 假设一个页面上的所有链接都是由用户按顺序进行评估并处理的, 并使用随机效用模型对某一链接被选中和执行的概率进行计算, 结合激活扩散理论来评估信息线索的效用^[11]。与 SNIF-ACT 1.0 不同, SNIF-ACT 2.0 模型实现了一种基于经验的机制, 进一步将信息线索和链接位置融入模型中, 并结合贝叶斯机制进行 Web 链接的评估, 使得该模型能够动态地建立一个期望水平, 即在按顺序处理网页的每个链接时目标信息被找到的可能性, 从而帮助用户选择最好的链接, 而不用耗尽整个网页上的所有链接。

整体而言, SNIF-ACT 模型为不同用户在各种任务中的个人—信息交互行为提供了极好的契合, 但 Fu 等指出, 链接的顺序处理假设在某些类型的网页中可能并不适用, 且专家用户也可能无法使用当前的模型来满足目标需求^[12]。因此, 未来 SNIF-ACT 模型在不同类型网页或专业领域的应用还有待学者对其进行进一步扩展。

1.3 反应式信息觅食理论的行为预测模型

作为一个功能完备的认知模型, SNIF-ACT 多用于描述基于 Web 的导航行为, 且必须针对所研究的每个信息搜寻语境进行定制, 因而很难将其应用于新的领域。因

此, 为了探究基于 Web 导航行为的信息觅食理论能否用于预测开发人员浏览源代码的导航行为, Lawrence 等提出了 PFIS (Programmer Flow by Information Scent) 模型^[13]。

PFIS 模型建立在 WUFIS (Web User Flow by Information Scent) 算法的基础上^[14], 并对 WUFIS 中使用的 Web 路径跟踪方法进行了扩展, 将信息检索技术与扩散激活机制相结合, 旨在计算在给定具体需求的情况下, 开发人员从源代码中的一个类或方法到另一个类或方法的特定“链接”的概率。然而, Lawrence 等指出, 尽管 PFIS 模型对导航行为良好的预测效果通过实证研究得到了证实, 但由于该模型假设源代码不变, 且需要预先描述信息觅食的目标才能做出预测, 在开发人员的目标及源代码发生变化的研究中, PFIS 模型可能未必适合对用户的行为建模^[15]。

因此, 考虑到开发人员在其任务中通常会发生的目标演变, Lawrence 等提出了一种反应式信息觅食理论, 并将 PFIS 模型扩展为 PFIS2 模型, 用于预测开发人员的动态导航行为。与 SNIF-ACT 模型不同, PFIS2 模型既不需要认知建模, 也不需要估计语义相关性。相反, PFIS2 将信息空间视为源代码拓扑结构和开发人员所获线索这两者的结合, 即使没有明确的觅食目标, 只需使用用户公开的导航行为和信息环境, 就能够成功预测开发人员日常活动中的导航行为。

为了探究多因素模型能否提升预测导航行为的准确性, Piorkowski 等将 PFIS2 模型进一步细化为 PFIS3 模型^[16]。PFIS3 模型使用数据模型来预测开发人员的斑块间导航行为, 根据开发人员的当前位置用初始权重激活一些斑块, 然后结合源代码提示、开发人员的导航历史以及信息空间的拓扑结构将此激活扩展到其他斑块, 并根据结果权重对斑块排序, 最后返回排名最低的斑块作为其预测结果。与单因素模型相比, PFIS3 模型的这一扩散激活机制有助于在一定程度上提升预测的准确性。在 PFIS3 模型的基础上, 为了进一步探究在可变信息空间中开发人员的导航行为, Ragavan 等提出了 PFIS-V 计算模型, 旨在用数据模型来表示多个信息空间的变体, 对开发人员在可变信息空间中的心理模型和信息搜寻行为做出不同假设, 研究结果表明, PFIS-V 的预测准确率要比 PFIS3 高出 25% 左右^[17]。

由此可见, 随着信息觅食理论不断发展, 未来的研究中可能会建立更为精确的模型来预测信息搜寻行为, 并进一步验证将反应式信息觅食理论应用于其他类型的信息行为的可能性。此外, 虽然已有学者将 PFIS3 模型用于解决推荐工具中的结构不良问题^[18], 但其研究中包含的线索类型有限, 因此, 如何将 PFIS 模型的准确性实现为有效的工具也是未来值得关注的研究方向。

2 信息觅食理论的应用进展

2.1 信息觅食理论在信息搜寻行为的影响因素研究中的应用

信息搜寻是指与查询、评估和处理相关信息源的行为活动。人们进行信息搜寻,是为了缓解问题空间的不确定性状态,从而制定合理的行为决策。目前已有学者使用信息觅食理论,分别从信息环境、用户认知以及信息线索等角度对信息搜寻行为进行深入探讨。

2.1.1 在信息环境对信息搜寻行为的影响研究中的应用

用户进行信息搜寻行为的信息环境是不断变化的,信息的多源化也使得日益复杂的信息环境中充斥着大量不确定性信息。为了了解信息环境如何参与信息搜寻的整个过程,Ko等基于信息觅食理论提出了一种新的程序理解模型,将程序理解描述为一个搜索、关联和收集相关信息的过程,并通过对开发人员程序理解过程的分析,发现他们是通过信息环境中的各种提示来形成对信息相关性的感知,如果信息环境能够提供明确的提示,就能够帮助开发人员以更有效的方式来寻找并收集信息^[19]。Maxwell等则结合斑块模型来探究交互式信息检索环境中的结果多样化对信息搜寻行为的影响,研究发现与非多样化系统相比,多样化系统可以提供更大的主题覆盖范围,使用户在浏览文档数量减少的同时发出更多的查询,从而减少搜索结果中的潜在偏差^[20]。

随着信息技术的发展,信息安全的威胁也日益凸显,为了探究信息环境的风险属性与相关信息的搜寻是否存在关联,Wang等从查询词条数、信息类型以及结果页面浏览量3个方面来反映用户搜寻策略的变化,发现未知风险的威胁不易理解且难以观察,因而用户更倾向于关注其风险评估信息而不是应对措施,而恐惧性威胁则促使搜索者使用更多的搜索词,并浏览更多的结果页面来查询应对信息^[21]。

此外,信息觅食理论的核心问题就在于如何寻求单位成本的信息收益最大化。在这一基础上,Taylor等假设页面的时间延迟会增加用户返回页面的成本,并通过研究发现,延迟一旦增加到一个临界值,就会触发用户对情境常态的感知变化,从而会通过检查更少的页面来减少搜索的广度^[22]。而Flavian等通过对信息搜寻过程中用户的行为和情绪反应的研究,同样也发现了信息环境中与时间维度相关的因素会很大程度地影响用户的情绪状态,特别是时间压力会导致用户在搜寻过程中难以集中注意力,从而加快其信息搜寻进程,只能获得较为肤浅的搜寻结果^[23]。

2.1.2 在用户认知对信息搜寻行为的影响研究中的应用

用户认知是互联网用户在进行信息搜寻的过程中所进行

的一系列心理活动。心理学领域的研究表明,个人认知会对信息行为产生一定程度的影响^[24]。根据这一观点,一些学者开始使用信息觅食理论来探究用户认知和信息搜寻行为之间的相关关系。

为了解认知差异对信息搜寻行为的影响,Muntinga等以医务工作者为对象来探究以获取医疗信息为目的的搜寻行为,对参与者的眼动数据进行定性分析,发现不同年龄段的人在使用搜索策略上存在偏差,年长用户大多采用“非基于URL的策略”,而年轻用户则采用“基于URL的独占策略”,并且年轻用户会更从客观的角度对所获信息进行评估^[25]。Chin等在其研究中同样发现了与年龄相关的认知差异,即在同等的信息获取环境下,由于年龄增长导致的认知老化,老年人在信息搜寻过程中的探索性较低,且对信息获取效率的感知也不高,因此会采取与年轻人不同的信息搜寻策略来获取所需信息,根据不同的任务情境调整他们对局部线索的使用^[26]。此外,Piorkowski等讨论了生产偏差的压力是否会使开发人员采取不同的信息搜寻策略,结果表明,通过学习获取信息的开发人员更倾向于构建层次化、明确的信息结构,而进行修复工作的人员则相反^[27]。

此外,也有学者采用整合认知的方法来更全面地对信息搜寻行为进行研究。付文殊结合用户认知的多个方面,包括需求动机、知识结构、信息技能等,发现与认知总体水平较低的用户相比,认知水平越高的用户能够更快速地完成信息策略,即使遇到阻碍也能以更高的效率完成信息的获取^[28]。

2.1.3 在信息线索对信息搜寻行为的影响研究中的应用

用户在搜寻信息的过程中,是先利用有效的辅助工具推断出相关的信息线索,再根据这些线索在目标页面上获取其所需信息的。因此,也有一部分学者将信息线索的影响纳入考虑,对用户的信息搜寻行为进行了大量的讨论。Moody等通过研究证明,更丰富的信息线索为相关的、准确的信息的存在提供了更大的可能性,从而可以帮助用户节省搜寻时间;而缺乏信息线索则会降低快速或精确定位所需信息的可能性^[29]。袁红等则提出了信息线索的关联性,发现相互关联的信息线索有助于促进信息搜寻行为的不断拓展^[30]。谢珍的研究也表明,在信息搜寻的过程中,擅长发现并利用信息线索的人,能更快搜寻到所需信息^[31]。

信息的呈现可能会提供大量有用的信息线索,帮助用户实现有效的内容浏览。Adipat等的研究结果表明,基于树状图来表示内容适配可以显著减少信息搜寻的时间,同时提高信息搜寻的准确性,并且额外特征的呈现能够进一步提高用户的信息感知能力^[32]。而信息线索的感知能力

也是信息搜寻行为的重要影响因素,在这一基础上,王媛媛等使用斑块内信息搜寻模型来模拟用户的信息搜寻全过程,发现信息线索不仅会影响信息斑块内的信息搜寻行为,还能够决定用户对不同信息斑块的选择^[33]。此外,Cress等则在信息觅食理论的基础上结合扩散激活理论,进一步提出了扩散的信息线索模型,用远端线索(感兴趣的话题)和近端线索(标签)来分别代表个体知识结构和集体知识结构,发现用户在信息搜寻时会根据远端线索进行导航路径的选择,而关联程度更高的近端线索和远端线索则会为用户提供更优的导航路径^[34]。

然而,信息在网页上的呈现并非总是有序的,复杂网页中分布的多个信息斑块可能会对用户的注意力分配产生影响。Lee等认为用户可以依据信息线索对网页中信息斑块的可信度进行评估,并通过实验分析参与人员的眼动追踪数据,发现高强度的信息线索,例如整齐的布局或高质量的照片,会增强用户对信息斑块的可信度的感知,从而获取用户更高的关注度^[35]。Blackmon则假设目标信息斑块的语义相似度是决定注意力分配的一个重要因素,但通过实验得到了不同的结果,即网页设计这一信息线索对于注意力几乎没有影响^[36]。

由此可见,无论是基于信息搜寻行为的动机、过程还是结果,信息觅食理论都能够作为研究信息搜寻行为的有用视角,用于检验各种搜寻行为以及对行为产生影响的多种因素。然而现有研究还存在以下问题:①从数据收集方式来看,研究大多使用招募参与者的方式来获取实验数据,其数据客观性难以保持;②现有研究多为横截面研究,缺少基于时间变化的动态分析,未能考虑到用户对于系统的熟悉程度对其信息搜寻行为的影响;③上述有关信息线索对个体注意力分配的影响研究,并未得出一致的结论,这可能与研究情景、实验方法等因素有关,未来可继续对这一问题进行深入探究,探讨产生分歧的原因。

2.2 信息觅食理论在信息系统设计和优化研究中的应用

信息觅食理论有助于揭示在信息搜寻过程中对信息行为及策略产生影响的多种因素,而信息系统的设计和优化则需要将这些关键因素纳入考虑。因此,研究者常利用信息觅食理论来挖掘有效的工具,并将其运用于信息系统的设计和优化研究中。

一些学者分析了将信息觅食理论应用于导航系统设计和优化工作中的可行性。导航系统作为影响用户体验和满意度的主要因素,支持用户通过浏览和路径选择来定位目标信息,Fang等在此基础上结合Web内容、结构及访问数据,基于信息觅食理论生成一种基于Web挖掘的方法,将网站的导航结构建模为距离矩阵来区分内容和索引页,若将该矩阵与访问模式相结合,便可使用查找信息的可能

性、效率和难易程度三个指标来衡量网站的可导航性,帮助开发人员持续地对网站的可导航性进行监控和评估,并快速预测对可导航性产生影响的不良设计,以便更好地进行系统优化工作^[37]。Lawrance等也通过实验发现,开发人员在调试工作中的导航行为与信息觅食理论的假设是相一致的,并且与其他模型相比,基于信息觅食理论构造的PFIS模型能够更准确地预测开发人员的导航行为,从而证明了将信息觅食理论应用于交互式软件调试工具的设计的可执行性^[38]。

一些学者则尤为关注信息线索对于导航系统的价值。Willett等提出用户界面可以通过中小型组件的使用来改善导航系统的线索提示,在此基础上构建了一个基于Java的软件框架,生成一种嵌入式可视化工具,结合数据源信息,开发人员无需编写新的代码就可以使用这一工具直接在用户界面插入小型线索部件,从而通过向现有组件添加视觉线索的方式进行界面优化^[39]。徐芳等则将信息线索作为主要组成部分,结合信息觅食理论和格式塔五原则,构建出学科导航网站信息优化模型,旨在实现文字型、图像型、音频型以及视频型等不同类型的信息线索优化,帮助用户更准确地获取所需信息资源,提高学科导航网站性能^[40]。

此外,信息觅食理论也为系统设计和优化工作提供了需求分析方面的新思路。Chi等假设用户的Web浏览模式是由信息需求引导的,因而利用信息觅食理论来研究用户的导航行为,一方面,研究使用WUFIS算法在给定信息需求的条件下对用户导航行为进行建模,并发现生成的预测使用日志可以用于模拟用户导航路径并推断网站的可用性,除此之外,研究还提出了一种IUNIS算法,根据用户的遍历路径来推断用户的信息需求,从而进行Web环境的个性化设置,帮助开发人员能够及时对网站内容或设计进行动态调整以更好地适应用户的信息需求^[41]。McCart等则基于有关斑块模型的假设,重点探究小型企业网站如何满足用户的信息需求,并提出了一种自动斑块和轨迹发现技术,根据点击流数据来量化小型企业网站中用户访问行为,使网站流量模式能够通过不同的斑块及轨迹来了解并区分“目标”和“非目标”的访问者行为^[41]。此外,不同的信息需求会使得用户采取不同的行为或策略,Jin等发现用户在搜索引擎进行检索时,除了相关性判断之外还存在着进一步的信息过滤和筛选,因而为了帮助用户进行有效的信息搜寻,基于信息觅食理论开发出一种可执行工具,用于识别网页中的信息积累和信息量,在这一工具的支持下,用户搜寻信息的过程中访问页面的数量有所减少,信息获取效率也得到了有效提升^[42]。

由以上分析可知,由于信息觅食理论对行为良好的预

测力和解释力,其在基于行为的信息系统设计和优化研究中积累了丰富的应用成果。然而现有研究还存在以下问题:①研究的进行是在少部分人参与的实验室实验的背景下,其外部有效性未能得到验证,未来可以更多地使用真实系统中的用户行为数据,以提升实验结果的外部有效性;②研究的设计思路大多依赖用户点击数据以及浏览轨迹,并通过模拟用户的信息行为对信息系统进行设计和优化,未来的研究可以考虑结合不同用户特征及信息环境,进一步完善信息觅食理论的模型和框架,为信息系统的设计和优化提供帮助。

2.3 信息觅食理论在信息搜寻效率评估研究中的应用

人们在进行信息搜寻的过程中不断优化其行为策略,是为了提升信息搜寻效率。应用信息觅食理论对信息搜寻效率进行评估,有助于发现信息搜寻过程中存在的问题,优化信息搜寻的时间,因此,在信息搜寻效率评估的相关研究中,信息觅食理论得到了广泛应用。

信息搜寻效率往往是由成本和收益共同决定的。Azzopardi等基于信息觅食理论提出了一个用户停止模型,用来获取用户在页面中所花费的时间,并通过评估页面中的元素相关性来衡量结果页面的效用,随后根据时间和效用计算用户的信息搜寻效率,帮助用户根据这一指标调整其信息行为,此外,研究还使用了CWL框架生成的聚合效用曲线,对成本及效用的不同度量方法进行比较,发现基于信息觅食理论的度量方法能够更准确地反映用户的信息行为和效率^[43]。Maxwell等则根据实验所得日志数据,对实验参与人员的信息搜寻时间进行度量,包括发布查询的时间,在结果页面停留的时间以及检查结果和文档所花费的时间,并将参与者保存的相关文档数量作为收益,形成多个随时间变化的增益曲线,用来评估不同搜索系统中的信息搜寻效率及其差异^[20]。除了决策时间之外,Li等将浏览的产品数量以及决策过程中的认知消耗也作为消费者生成决策的成本,并用决策满意度来衡量消费者获得的最终效用,帮助在线购物网站评估不同情况下消费者的决策绩效,发现产品评论的信息序列性对消费者在线购物决策的执行效率会产生显著的影响,适当地增加产品评论信息的连续性可以减轻消费者对认知能力耗竭的担忧,提高其决策绩效^[44]。

此外,除了对成本和收益的具体量化进行效率评估,Piorkowski等在开发人员进行BUG修复任务的过程中进行了一项有声思考实验,使用有序的测量量表来获取开发人员对于信息搜寻成本以及信息获取价值的预期值和实际值,并将预期值和实际值进行比较,评估开发人员预测成本和价值的准确性,研究发现,预测成本和价值的准确程度是决定效率下限的关键因素,若能有效提升这一准确程

度,则能使开发人员的工作效率提升50%以上,而研究结果表明,目前多数开发人员对于成本的预期值要低于实际值,而对于价值的预期值则远远高于实际值^[45]。

由此可见,不同于传统的信息检索理论,在使用信息觅食理论进行效率评估研究时,除了结果的查全率和查准率之外,研究者还将用户的认知消耗及结果满意度等考虑在内,从用户认知和实践的角度出发来探索有效评估信息搜寻效率的方法和工具。但现有研究仍存在以下不足:①研究多集中于以时间为成本的效率评估,信息收益的衡量则相对分散,未来的研究可以探索更为统一的衡量标准,尝试将结果相关性与用户满意度相结合,对信息搜寻效率进行更为全面的评估;②现有研究证实信息觅食理论在开发人员工作绩效评估研究中的适用性,然而除开发人员以外,其他领域工作人员的工作过程中同样需要面临复杂的信息搜寻任务,但鲜有学者考虑到使用信息觅食理论来满足其他类型的工作领域对效率评估的需求。

3 结论与展望

通过文献综述可以发现,信息觅食理论作为信息系统领域的一项基础理论,其发展大致经历了由基础模型到认知模型再到行为预测模型的转变,且研究者在拓展模型应用领域、提升模型准确性等方向仍在不断探索。此外,由于信息觅食理论对用户行为的良好解释力,大量学者将其应用于用户行为研究中,已经涌现出丰富的研究成果。这些成果主要集中在以下3个方面:“信息搜寻行为的影响因素研究”“信息系统设计和优化研究”“信息搜寻效率评估研究”。

然而,现有研究仍然存在以下不足之处:①研究多使用横截面数据,但随着信息搜寻过程的持续,个体认知也在不断变化,对系统的熟悉程度是否会对信息搜寻行为及其效果产生影响还需要进一步探讨;②与信息线索相关的研究大多集中于信息线索的丰富度或者与信息线索相关的用户感知,较少考虑信息线索的类型,且对于信息线索与注意力分配的研究还未得出一致的结论;③为了方便控制,多数研究采用了实验室实验的方式,来获取特定环境下用户点击流数据以及用户浏览轨迹,且在模型构建与程序设计完成之后,未能对结果的外部有效性进行进一步验证;④在效率评估研究中,对信息收益的衡量标准往往只考虑结果相关性或用户满意度,且在对工作绩效进行评估时,研究对象也仅局限于开发人员这一特定群体。

为了进一步完善信息觅食理论的相关研究,并弥补现有研究的不足,未来的研究方向可以总结为以下几个方面:①尝试在具有多种信息斑块的可变信息空间中预测人们的觅食行为,在此基础上进一步扩展PFIS模型,以提

升其作为预测模型的准确性；②结合更多类型的信息线索，针对不同用户或不同环境的需求，在软件开发之外的环境中使用 PFIS 模型的准确性来进行有效的工具设计；③收集纵向研究数据，将由于时间作用而产生变化的影响因素考虑在内，进行基于时间变化的动态分析，并在探究因果关系的同时对各类因素的作用效果进行多方面的考量；④有关信息搜寻过程中注意力如何分配的研究问题，可尝试使用眼动追踪等方法，对现有研究存在的分歧进行分析，通过更多的讨论和梳理得出更具普遍性的结论；⑤丰富研究情景，使用日志文件获取更为客观的用户数据，进一步验证信息系统的设计思路和优化模型在真实网站中的实用性和适用性，此外，还可以对除导航系统以外不同类型的信息系统的设计及优化方案进行讨论；⑥可以考虑使用结果相关性及用户满意度相结合的方式衡量信息收益，还可以进一步探索反映信息收益的其他因素，寻求更为有效的评估信息搜寻效率的方法；⑦针对不同的工作环境，应用信息觅食理论对电子商务平台、在线医疗系统、人工智能等其他领域内信息工作者的效率评估问题进行研究。□

参考文献

- [1] PIROLI P, CARD S K. Information foraging in information access environments [C] //CHI '95: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995: 51-58.
- [2] MANTOVANI G. The psychological construction of the Internet: from information foraging to social gathering to cultural mediation [J]. Cyber Psychology & Behavior, 2001, 4 (1): 47-56.
- [3] 杨阳, 张新民. 信息觅食理论的研究进展 [J]. 现代图书情报技术, 2009 (1): 73-79.
- [4] FLEMING S D, SCAFFIDI C, PIORKOWSKI D, et al. An information foraging theory perspective on tools for debugging, refactoring, and reuse tasks [J]. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 2013, 22 (2): 1-36.
- [5] PIROLI P. Information foraging theory: adaptive interaction with information [M]. New York: Oxford University Press, 2007: 30-89.
- [6] MACARTHUR R H, PIANKA E R. On optimal use of a patchy environment [J]. American Naturalist, 1966, 100 (916): 603-609.
- [7] STEPHENS D W, KREBS J R. Foraging theory [M]. Princeton: Princeton University Press, 1986: 24-37.
- [8] PIROLI P, CARD S K. Information foraging [J]. Psychological Review, 1999: 643-675.
- [9] PIROLI P, FU W, REEDER R, et al. A user-tracing architecture for modeling interaction with the World Wide Web [C] //AVI '02: Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces. New York: Association for Computing Machinery, 2002: 75-83.
- [10] PIROLI P, FU W. SNIF-ACT: a model of information foraging on the World Wide Web [C] //Proceedings of UM 2003: User Modeling 2003. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2003: 45-54.
- [11] 柯青, 王秀峰. Web 导航模型综述——信息觅食理论视角 [J]. 现代图书情报技术, 2014 (2): 32-40.
- [12] FU W, PIROLI P. SNIF-ACT: a cognitive model of user navigation on the World Wide Web [J]. Human-Computer Interaction, 2007, 22 (4): 355-412.
- [13] LAWRANCE J, BELLAMY R, BURNETT M, et al. Using information scent to model the dynamic foraging behavior of programmers in maintenance Tasks [C] //CHI '08: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2008: 1323-1331.
- [14] CHI E H, PIROLI P, CHEN K, et al. Using information scent to model user information needs and actions on the web [C] //CHI '01: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2001: 491-496.
- [15] LAWRANCE J, BURNETT M, BELLAMY R, et al. Reactive information foraging for evolving goals [C] //CHI '10: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2010: 25-33.
- [16] PIORKOWSKI D, FLEMING S, SCAFFIDI C, et al. Modeling programmer navigation: a head-to-head empirical evaluation of predictive models [C] //Proceedings of 2011 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC). Pittsburgh: IEEE, 2011: 109-116.
- [17] RAGAVAN S S, PANDYA B, PIORKOWSKI D, et al. PFIS-V: modeling foraging behavior in the presence of variants [C] //CHI '17: Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2017: 6232-6237.
- [18] PIORKOWSKI D, FLEMING S, SCAFFIDI C, et al. Reactive information foraging: an empirical investigation of theory-based recommender systems for programmers [C] //CHI '12: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2012: 1479.
- [19] KO A J, MYERS B A, COBLENZ M J, et al. An exploratory study of how developers seek, relate, and collect relevant information during software maintenance tasks [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2006, 32 (12): 972-981.
- [20] MAXWELL D, AZZOPARDI L, MOSHFEGHI Y. The impact of result diversification on search behaviour and performance

- [J]. Information Retrieval Journal, 2019, 22 (5): 425-442.
- [21] WANG J, XIAO N, RAO H R. An exploration of risk characteristics of information security threats and related public information search behavior [J]. Information Systems Research, 2015, 26 (3): 629-631.
- [22] TAYLOR N J, DENNIS A R, CUMMINGS J W. Situation normality and the shape of search: the effects of time delays and information presentation on search behavior [J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2013, 64 (5): 912-921.
- [23] FLAVIAN C, GURREA R, ORUS C. An integrative perspective of online foraging behavior with search engines [J]. Psychology and Marketing, 2012, 29 (11): 841-846.
- [24] FORD N, WILSON T D, FOSTER A, et al. Information seeking and mediated searching. Part 4. cognitive styles in information seeking [J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2002, 53 (9): 728-734.
- [25] MUNTINGA T, TAYLOR G. Information-seeking strategies in medicine queries: a clinical eye-tracking study with gaze-cued retrospective think-aloud protocol [J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2018, 34 (6): 508-515.
- [26] CHIN J, PAYNE B R, FU W, et al. Information foraging across the life span: search and switch in unknown patches [J]. Topics in Cognitive Science, 2015, 7 (3): 446-448.
- [27] PIORKOWSKI D, FLEMING S D, SCAFFIDI C, et al. To fix or to learn? How production bias affects developers' information foraging during debugging [C] //Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME). Bremen: IEEE, 2015: 12-18.
- [28] 付文姝. 基于信息觅食理论的高校图书馆用户信息获取行为研究 [D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2015: 24-37.
- [29] MOODY G D, GALLETTA D F. Lost in cyberspace: the impact of information scent and time constraints on stress, performance, and attitudes online [J]. Journal of Management Information Systems, 2015, 32 (1): 198-213.
- [30] 袁红, 杨婧. 信息觅食视角的学术信息探索式搜索行为特征研究 [J]. 情报科学, 2019, 37 (5): 61-65.
- [31] 谢珍. 基于信息觅食理论的大学生信息搜寻行为实证研究 [J]. 情报理论与实践, 2016, 39 (11): 75-76.
- [32] ADIPAT B, ZHANG D, ZHOU L. The effects of tree-view based presentation adaptation on mobile Web browsing [J]. MIS Quarterly, 2011, 35 (1): 114-116.
- [33] 王媛媛, 刘丽. 基于信息觅食理论的信息搜寻行为模式构建 [J]. 情报理论与实践, 2015, 38 (10): 39-41.
- [34] CRESS U, HELD C, KIMMERLE J. The collective knowledge of social tags: direct and indirect influences on navigation, learning, and information processing [J]. Computers & Education, 2013, 60 (1): 62-72.
- [35] LEE H, PANG N. Information scent-credibility and gaze interactions: an eye-tracking analysis in information behavior [J]. Information Research, 2017, 22 (1): 20-23.
- [36] BLACKMON M H. Information scent determines attention allocation and link selection among multiple information patches on a web-page [J]. Behaviour & Information Technology, 2012, 31 (1): 5-14.
- [37] FANG X, HU P J H, CHAU M, et al. A data-driven approach to measure web site navigability [J]. Journal of Management Information Systems, 2012, 29 (2): 178-205.
- [38] LAWRENCE J, BOGART C, BURNETT M, et al. How programmers debug, revisited: an information foraging theory perspective [J]. IEEE Transactions On Software Engineering, 2013, 39 (2): 201-210.
- [39] WILLETT W, HEER J, AGRAWALA M. Scented widgets: improving navigation cues with embedded visualizations [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007, 13 (6): 1130-1136.
- [40] 徐芳, 孙建军. 信息觅食理论与学科导航网站性能优化 [J]. 情报资料工作, 2015 (2): 48-50.
- [41] MCCART J A, PADMANABHAN B, BERNDT D J. Goal attainment on long tail web sites: an information foraging approach [J]. Decision Support Systems, 2013, 55 (1): 238-244.
- [42] JIN X, NIU N, WAGNER M. Facilitating end-user developers by estimating time cost of foraging a webpage [C] //Proceedings of 2017 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing, Raleigh: IEEE, 2017: 32-34.
- [43] AZZOPARDI L, THOMAS P, CRASWELL N. Measuring the utility of search engine result pages [C] //SIGIR '18: The 41st International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval. New York: Association for Computing Machinery, 2018: 606-613.
- [44] LI M, TAN C H, WEI K K, et al. Sequentiality of product review information provision: an information foraging perspective [J]. MIS Quarterly, 2017, 41 (3): 869-886.
- [45] PIORKOWSKI D, HENLEY A Z, NABI T, et al. Foraging and navigations, fundamentally: developers' predictions of value and cost [C] //FSE 2016: Proceedings of the 2016 24th ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering. New York: Association for Computing Machinery, 2016: 99-106.
- 作者简介:** 邓锦峰, 女, 1998年生, 硕士生。研究方向: 电子商务。吴建华, 男, 1964年生, 博士, 教授, 博士生导师。研究方向: 信息资源管理。袁勤俭 (通信作者), 男, 1969年生, 博士, 教授, 博士生导师。研究方向: 电子商务。
- 作者贡献声明:** 邓锦峰, 论文撰写及文献整理。吴建华, 指导论文研究思路。袁勤俭, 把握论文整体框架, 指导论文修改。
- 录用日期:** 2021-06-18