

doi: 10.7690/bgzdh.2023.05.001

天基信息精准服务关键技术研究

张书瑞, 杨凡德

(航天工程大学复杂电子系统仿真重点实验室, 北京 101416)

摘要: 为提升天基信息服务能力, 提高作战人员对信息的使用效率, 对天基信息精准服务相关概念进行介绍, 并构建天基信息精准服务的框架。研究讨论服务信息形式化表达、信息匹配、信息分发和个性化推荐等关键技术。结果表明, 该研究可为天基信息精准服务相关问题提供理论基础。

关键词: 精准服务; 形式化表达; 信息匹配; 个性化推荐

中图分类号: TJ86 **文献标志码:** A

Research on Key Technologies of Space-based Information Support Precision Service

Zhang Shurui, Yang Fande

(Complex Electronic System Simulation Key Laboratory, Space Engineering University, Beijing 101416, China)

Abstract: In order to enhance the ability of space-based information service and improve the efficiency of information use by warfighters, the related concepts of space-based information precision service are introduced, and the service framework of space-based information precision service is constructed. The key technologies of service information formal expression, information matching, information distribution and personalized recommendation are studied and discussed. The results show that the research can provide a theoretical basis for space-based information precision service.

Keywords: precision service; formal expression; information matching; personalized recommendation

0 引言

随着卫星技术的逐渐成熟, 天基信息系统已成为联合作战中我军夺取信息优势的重要力量, 针对我国天基信息系统“重建设、轻应用”、服务质量不高和应用效能低的现状, 立足于天基信息服务特点, 从作战人员角色、任务出发, 结合本体建模、信息匹配、深度学习等技术, 构建完整天基信息精准服务体系, 帮助作战人员快速准确获取战场信息, 提高其决策效率是研究天基信息系统支援作战领域的一个重要方向。根据上述需求, 笔者定义了天基信息精准服务的相关概念, 确定其服务内容、服务模式等要素, 分析天基信息精准服务中几种关键技术, 可供相关研究进行借鉴。

1 天基信息精准服务相关概念

1.1 军事信息精准服务

军事信息精准服务是根据不同的作战用户使命角色, 依托现代信息技术手段, 为其提供满足作战需求的信息服务^[1]。未来军事信息系统的建设必将是面向服务的, 即由任务调动服务, 服务使用资源,

可满足系统中业务流程的多变性以及服务资源的高效整合。在实际作战中, “精准”具体体现在服务内容的准确性与时效性, 因此, 军事信息精准服务的本质就是在合适的时间以合适的方式为用户进行满足其需求的信息服务。

1.2 天基信息系统在联合作战中的应用

在联合作战背景下, 天基信息系统凭借其空间感知范围广、通信抗干扰能力强等优势, 已成为我军在战场上夺取信息优势的重要力量。针对用户职能等级不同, 将天基信息系统用户分为战略级用户、战役级用户和战术级用户 3 个层级, 这里主要介绍面向战役级和战术级用户的应用, 主要有目标侦察、卫星通信、导航定位和战场环境保障 4 方面。

目标侦察利用成像侦察卫星、电子侦察卫星等从空间获取区域的特征信息, 掌握敌方兵力部署与调动情况, 发现、识别、监视敌方重点目标并为作战打击效果评估提供依据。

卫星通信可有效保障战场上目标侦察信息、指挥控制信息、气象环境信息的传输, 具有通信范围广、通信容量大、抗干扰能力强的特点。

收稿日期: 2023-01-18; 修回日期: 2023-02-18

作者简介: 张书瑞(1998—), 男, 吉林人, 硕士, 从事辅助决策、精准服务、空间信息系统分析与集成研究。

E-mail: zhangshurui1unwen@163.com。

导航定位具有全球性、全天候、全时段的特点，可为各军种部队，单兵及端对端的武器提供定位、导航、授时的服务。

战场环境保障利用海洋环境卫星、气象卫星等探测战场地形地貌，为精确制导武器等主战装备提供地理地形支援；获取战场气象信息为战斗机起飞着陆、弹道导弹计算提供气象保障；获取海岸地势与海洋特性为海上作战部队提供航行保障。

1.3 天基信息精准服务

结合军事信息精准服务概念以及天基信息系统在联合作战中的应用特点，提出天基信息精准服务定义。笔者为依托天基信息系统，区分用户身份并根据其任务需求的变化，在正确的时间以正确的方式为用户提供能支撑其决策的信息服务。

根据实际作战对天基信息精准服务的需求，确定天基信息精准服务的服务模式为被动主动相结合的模式。被动模式可理解为信息的匹配与分发，即由用户根据其任务提出信息需求，根据需求去匹配情报信息；主动模式为服务推荐，根据用户的历史行为去分析其“偏好”，为其推荐可能需要的天基信息服务。由上述分析给出天基信息精准服务框架如图 1 所示。

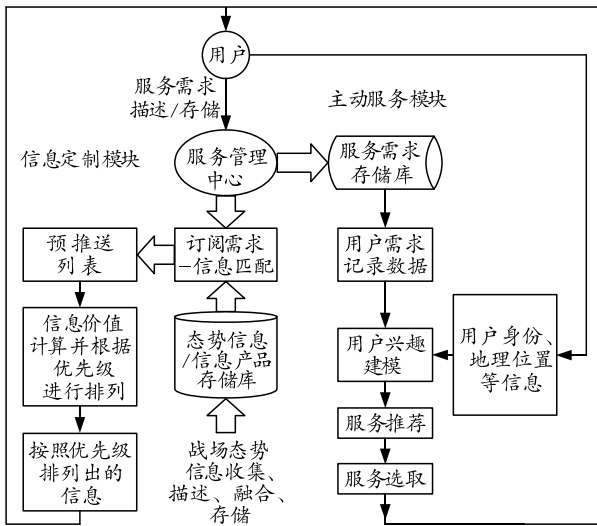


图 1 天基信息精准服务框架

2 服务信息形式化表达方法

由 1.3 节精准服务模式可确定服务对象和服务内容：服务对象为各级作战人员，被动服务的服务内容为战场上各类服务信息，主动服务的服务内容为天基信息服务，服务信息需要用一定的规则表达方式收集、处理、存储才能实现栅格网内语义理解进而检索分发、服务推荐。下面分别对情报信息、

信息服务的描述方法进行介绍。

2.1 基于本体描述语言的信息描述

本体描述语言是用特定的形式化语言来描述本体模型，使计算机和工程人员对某一领域内知识的共同理解，主要包括 XML、RDF、OWL 等。

XML 文件是由标签和内容遵循一定标准构成。其中标记又可细分为元素、属性、实体引用、注释、处理指令和 CDATA 段等。较常用的 XML 模式规范主要有 XML DTD (document type definition) 和 XML Schema 2 种。XML DTD 描述了 XML 文档的结构，用来定义文件中元素种类、顺序以及相互嵌套关系。XML Schema 标准是 XML 的一种模式语言，也可用来定义 XML 文件结构和数据的类型，规范文档中的标记和文本可能的组合形式^[2]，并且弥补了 XML DTD 的不足，逐渐成为主流的模式语言。

RDF 主要功能是对资源间的关系进行描述，并为建立起相应的数据模型提供一种通用框架，RDF Schema 描述了 RDF 资源的属性和类型的词汇表，并给出属性与类型之间最普遍层次的语义。

OWL 是经 W3C 总结多种本体描述语言研发经验后，推行的标准本体描述语言。OWL 可以描述对象、对象间的关系以及对象的属性^[3]。与 XML、RDF 等描述语言相比，OWL 增加了对属性的描述词汇，以及对交运算、并运算、属性取值的限制，并且对属性的取值范围以及取值类型进行了限制。

2.2 服务信息特征捕获

基于本体描述语言的描述方法主要目的是使计算机可以理解识别服务信息，虽然可以全面准确地描述出服务信息的各类属性，但是表达形式和与任务需求进行匹配计算时较为复杂，故可从另一角度出发，对服务信息进行特征捕获，将服务信息以更加简单的形式表现出来。

马建威^[4]对军事信息特征捕获进行定义：根据某种评估标准从信息中获取能够最优反映信息主题特征的过程，其目的是寻求获取信息的特征向量，并通过有限维度的特征表示来完整描述信息内容和信息特性。服务信息可看成军事信息的一种，故可按军事信息特征捕获方法对服务信息进行特征描述。

特征捕获可分为特征选择和特征抽取 2 种方式^[5-6]。特征选择在不改变原始特征空间前提下，从特征集中删除无关特征和噪声特征来对特征空间进行降维，即在原始的特征集合中选出具有代表

性的子集；特征抽取通过映射函数等方式对原始空间进行重构，将原始特征重新组合成新的二次特征，转换后的新特征可更加准确地反映文本属性。

军事信息内容的载体形式通常包括文本、图像、视频、音频。马建威^[4]对这种载体形式分别作出特征提取方法，如图 2 所示。

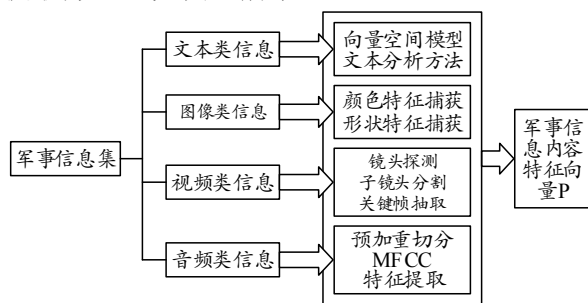


图 2 军事信息特征提取方法

2.3 天基信息服务描述方法

关于信息服务的概念有多种定义，李艳良^[7]结合军事领域中的服务特点给出如下定义：

资源功能属性：某类军事资源能够完成的功能能力可量化为该资源的某种属性值，如侦察机具有扫描功能，将扫描功能量化为数值后为该侦察机资源的一种功能属性。

属性距离：不同资源的相同功能属性值经量化后属性值的差的绝对值。

服务：按照资源间属性距离的某一阈值将资源映射到一起，封装成某种功能，把多种功能按照一定规则生成一种能够完成特定军事需求的功能单元，这种功能单元叫服务。

目前信息服务的建模方法多是由专家设置模型要素，胡建强^[8]提出了一种较为经典的模型 $WS=\{S, C, P\}$ ，其中： S 是基本描述，包括服务名称和文本描述； C 是服务功能描述，主要包括服务的输入、输出、前置条件和结果等，是判断服务是否满足需求的主要依据； P 是属性描述，主要为服务的 QoS 信息，包括代价 (cost)、响应时间 (time)、信誉 (reputation) 等非功能属性，可为用户提供选择服务的参考。

李艳良^[7]结合上述模型和文献[9]对服务的描述，设计服务模型 $MS=\{SN, SF, SR, Q\}$ 。其中 SN 是服务基本信息的描述，包含服务名称、服务类型等； SF 主要对服务的功能进行描述，对直接匹配起主要作用，其中包含具体实现功能描述等； SR 主要是服务约束信息的一些描述，包括服务所能达到的能力及所要求使用者具备的能力，可对相似服务进

行过滤； Q 代表 QoS 信息，主要包括代价、响应时间、服务水平等非功能属性，为服务的优化选择提供参考。服务描述模型如图 3 所示。

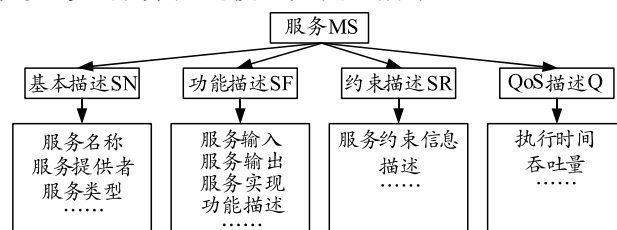


图 3 服务描述模型

曹延华等^[10]提出一种天基信息服务的描述与区分方法，空间信息资源提供的服务除通信服务和导航定位服务外，基本上都是对目标的侦察观测任务，用户在申请服务时只需给出服务的目标信息、服务的执行要求、传感器参数等要求。为了实现服务的智能推荐，主要区分服务时只考虑服务的目标信息和传感器参数要求，具体描述时包括用户选取的服务类型、服务目标地理位置及传感器类型。

3 信息匹配与分发技术

3.1 基于发布订阅模式信息分发系统

信息分发模式按照信息获取者到信息需求者的传递过程可分为直接分发模式、汇聚编组分发模式、有代理的主动拉取分发模式和基于发布订阅机制的信息分发模式。直接分发和汇聚编组分发都是对信息的直接传输，当需求者无法了解所需信息是否产生以及信息来源时便无法进行信息分发；有代理的主动拉取分发在共享空间中加入代理机制，虽然保证信息可按时分发但无法保证信息的安全；基于发布订阅的信息分发模式可以保证信息快速共享，同时兼顾了扩展性和安全性，故在面向战场这种大规模、高动态性的应用场景得到广泛应用。

目前，发布订阅系统可分为基于主题的发布订阅系统、基于内容的发布订阅系统、基于语义的发布定制系统^[11]。基于主题的发布订阅共享空间信息结构多为非结构化，信息都会加以主题标识符，类似于给信息加标签，信息需求者需提供自己的兴趣主题，与信息标签进行匹配。基于内容的发布订阅模式中数据多以为 Map 或者 XML 语言表达出来的结构化数据，订阅需求可看为对信息属性的约束，以此为依据进行过滤、匹配。基于语义的发布订阅模式与基于内容的发布订阅模式约束条件设置上类似，但在匹配方式上是根据订阅需求与信息的语义进行匹配。

3.2 订阅需求与服务信息匹配方法

在实际作战中，作战人员对服务信息分发的准确性、延时性要求较高。面对规模庞大、种类繁多的信息，实现信息与需求高效准确的匹配已成为亟需解决的难题。下面列举国内外学者对匹配算法的研究。

周红卫等^[12]针对订阅者的普通订阅要求，采用梯形匹配法，进行信息需求与信息供给之间的匹配。试验结果表明，该机制能提高态势情报信息分发效率。王子明等^[13]提出了基于信息特征的态势信息域及信息需求集的建模方法，提出了基于加权欧氏距离的态势信息需求关联性模型，模型计算简单迅速，便于计算机实现。陈聪^[14]对基于语义的战场态势订阅匹配方法进行了改进研究，提出了事件关联发现、属性值动态匹配 2 种改进方法并论述了具体算法规则，提高了订阅匹配效率。K.Hongjae^[15]提出了一种基于本体的定量相似性度量方法，采用比较订阅中关键词出现频率的方法来度量订阅与事件的相似程度。董龙明等^[16]提出了一种基于语义发布订阅系统的战场态势实时分发技术的初步构想，构建了战场本体模型及与其相符的匹配算法。

3.3 信息推送排序研究

传统的信息按产生顺序分发会导致作战人员对突发事件等重要信息不能及时获取，无法适应战场高动态的特点，为解决此类问题，需对信息推送策略进行改进。主要的改进思路是通过对信息价值进行衡量，根据价值确定信息优先级进而研究信息实时排序，提高分发效率。

Y. Ai^[17]将信息价值衡量细分为针对性、可靠性、重要性、时效性、完整性 5 个指标，如图 4 所示。针对性是指信息内容与作战人员需求匹配程度；可靠性指信息反映内容符合客观实际；重要性是衡量信息使用价值的重要指标，需从信息反映的行动威胁、行动规模、变化率 3 方面进行考量；时效性也是衡量信息价值的重要指标，体现信息随时间变化价值的变化；完整性指信息反映事件完整的元素数目和分布状况。

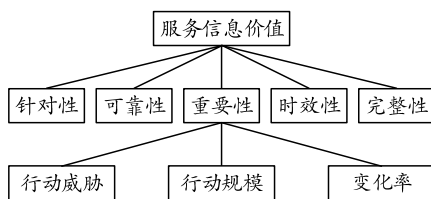


图 4 信息价值指标体系要素

以上是对信息价值定性，覃光成等^[18]从定量的角度将新息 s 的价值直接用信息推送优先级进行定义：

$$R_s = T_s I_s \sum_{i=1}^n \alpha_i \rho_i \quad (1)$$

式中： R_s 为信息 s 的优先级； T_s 为信息 s 的时效性 (Timeliness)； I_s 为信息 s 的完整性 (Integrity)，取值为 $[0, 1]$ ，由订阅方提出需求； ρ_i 是信息第 i 项价值指标的需求，即针对性 (Pertinence)； α_i 是第 i 项价值指标在该信息总价值量中的权重值。

在对信息价值量化后确定其优先级，根据其优先级大小进行排序，常用的排序算法按分类原则可分为直接插入排序、选择排序、快速排序、归并排序、基数排序 5 类，性能如表 1 所示。

表 1 排序方法比较

排序方法	平均时间复杂度	最好情况	最坏情况	稳定性
直接插入排序	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$	稳定
选择排序	$O(n^2)$	$O(n^2)$	$O(n^2)$	不稳定
快速排序	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	$O(n^2)$	不稳定
归并排序	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	$O(n \log n)$	稳定
基数排序	$O(n \cdot dn)$	$O(n \cdot dn)$	$O(n \cdot dn)$	稳定

4 主动服务技术

天基信息精准服务的主动服务通过分析作战人员任务需求与天基信息服务的功能间匹配关系、作战人员之间的联系、作战人员历史行为等信息，通过推荐算法分析各种类型作战人员的作战偏好，即潜在的军事信息服务需求，并为其定期、不定期、即时地推送天基信息服务。主动服务技术主要解决以下 2 点问题：

1) 为军事用户推荐其未申请过但可能需要的服务。在实际作战过程中，用户需要关注多个目标，同样需要的军事信息服务种类也繁多，但用户可能对能满足其需求的服务认识不全面，造成申请服务的困难，个性化推荐技术可较好解决此类问题，通过对用户个人信息与历史行为的分析，不断完善并推测用户所需要的天基信息服务。

2) 有效处理战场突发事件。战场上敌我态势不断变化，突发事件经常发生，需要各级指挥员及时洞悉并快速响应，如拦截敌方导弹、突破敌方防御等，主动服务在此类事件中发挥重要作用。个性化推荐技术可及时洞悉突发事件发生，追踪用户需求的变化并为其推荐按相应服务。

由此可见精准服务体系必将是主动被动相结合，主动服务又可理解为推荐技术。

4.1 基于内容的推荐

基于内容的推荐主要是对用户历史行为中的项目进行特征提取，学习用户的偏好，并对现有项目进行特征提取，计算用户偏好特征向量与现有项目特征向量之间相似程度，将相似度高的项目推荐给用户。

面向天基信息主动服务，推荐的物品可看成是天基信息服务，用户为各级作战人员，所以首先根据用户的历史定制过的服务类型及内容分析其作战兴趣，再对现有信息服务依次进行描述形成服务项目描述向量，将二者进行相似度匹配，将相似度高的服务项目推荐给作战人员，如图 5 所示。

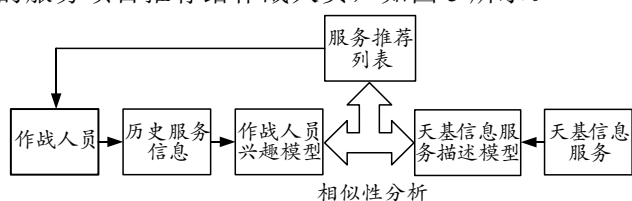


图 5 基于内容的推荐方法

该种推荐方法最主要的 2 个环节是建立描述天基信息服务模型，作战人员描述模型及二者相似度匹配问题，其中作战人员描述本质上是根据其历史服务信息进行，所以该环节也可看成天基信息服务的描述。相似度匹配可利用余弦相似性、皮尔逊相关系数、修正余弦函数相似性等方法。

4.2 协同过滤推荐

协同过滤推荐系统通过数据挖掘等技术对用户之间关系、项目之间的关系进行分析，基于用户历史项目评分数据，补全用户评分矩阵中用户没有评价过的项目，最后按照评分高低来推荐项目。基于协同过滤的推荐系统可以根据任务的不同分为评分预测和 Top-N 推荐^[19]，协同过滤一般流程如图 6 所示。

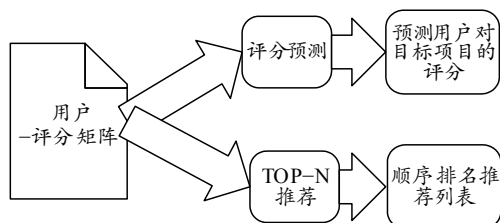


图 6 协同过滤一般流程

J. S. Breese^[20]把协同过滤分为基于内存的协同过滤和基于模型的协同过滤，而基于内存的协同过滤根据推荐对象的不同，又可分为基于用户和基于项目的协同过滤推荐。

基于用户的协同过滤可以理解为“人以群分”，将具有相似浏览行为的用户归为一类，即这一类人兴趣相似，将相似用户感兴趣的项目推荐给目标用户。基于项目的协同过滤可以理解为“物以类聚”，即分析用户之间历史行为计算项目之间相似度。由于这 2 种方法的原理不同，因此在不同应用场景中的表现不同。

基于模型的协同过滤算法通过建立模型模拟用户的评分行为，使用深度学习、数据挖掘等技术对用户的历史数据进行训练，进而创建模型并将模型用于用户或项目分类、预测未知商品评分等。常见模型包括聚类模型、贝叶斯模型、矩阵分解等。

聚类模型的主要功能是将相似的用户、项目聚合形成簇，主要方法有 K-means、学习向量量化、高斯混合聚类等；贝叶斯模型通过条件概率和贝叶斯定理推导出项目与用户间概率依赖关系，主要方法有朴素贝叶斯分类器、贝叶斯网、EM 算法；矩阵分解模型主要思路是将一个比较复杂的矩阵替换成 3 个较小且简单的矩阵相乘的模式，分解的矩阵需分别体现总矩阵的重要特征，主要方法有奇异值分解算法(SVD)。

4.3 基于深度学习的推荐

随着 Deep Cross, Wide&Deep, FNN, PNN 等模型的研发，基于深度学习的推荐系统在新闻、广告等领域已成为主流的推荐方式，并可有效解决传统推荐算法中冷启动、数据稀疏等问题。

推荐系统中常用的神经网络包含卷积神经网络、循环神经网络等。卷积神经网络是一类包含卷积计算且具有深度结构的前馈神经网络^[21]，由输入层、卷积层、池化层、全连接层和输出层组成，主要用于特征提取，处理非结构化、多源异构数据。

循环神经网络包括输入层、输出层和隐层，如图 7 所示。其中神经元除接受其他神经元的信息，同时也可接受自身信息，可以处理数据中的时序关系，主要应用在机器翻译、语音识别等领域。

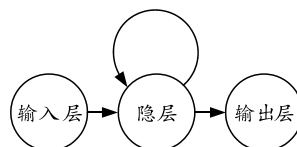


图 7 循环神经网络结构

深度学习技术通常用来优化传统的推荐模型，黄立威等^[22]对深度学习在推荐系统中研究方向进行归纳总结，笔者结合军事信息系统中信息精准服

务的特点, 给出以下 4 点主要研究内容:

1) 在基于内容的推荐系统中利用军事用户注册数据、用户任务需求、用户历史申请服务数据、天基信息服务内等信息, 利用深度学习技术学习用户与服务项目的隐向量, 以此为依据将与用户申请过的服务的相似项目推荐给用户。

2) 在协同过滤推荐系统中利用深度学习技术分析用户相关数据及服务内容, 获取用户和服务的隐向量, 基于此预测用户对服务项目的评分。

3) 在基于网络的推荐系统中, 根据用户的角色、地理位置、申请过的服务类型等数据, 利用深度学习技术获取用户之间的社会化关系, 即对具有相同需求的用户进行划分, 更好地发现用户偏好。

4) 在情境感知的推荐系统中对用户情景进行建模, 挖掘出用户在特定作战环境下的任务需求, 及时捕捉用户的需求变化。

5 结束语

信息精准服务可在未来军事信息系统建设中提高作战人员对军事信息的利用效率, 而天基信息系统又是联合作战中重要信息高地; 因此, 天基信息精准服务可改变天基信息系统“重建设, 轻应用”的现状, 是我军军事力量的倍增器。笔者根据精准服务概念以及天基信息系统在联合作战中的应用, 提出了天基信息精准服务的概念及服务框架, 并对框架中涉及到的服务信息形式化表达、信息匹配、信息分发及服务推荐等关键技术进行介绍, 为研究天基信息精准服务相关问题提供了理论基础。

参考文献:

- [1] 陈洪辉, 陈涛, 罗爱民, 等. 指挥控制信息精准服务[M]. 北京: 国防工业出版社, 2015: 12-13.
- [2] 李纪华. 基于 XML 的 Web 信息提取方法研究[C]// 全国高校社科信息资料研究会第六次会员代表大会暨第 13 次学术研讨会. 2010.
- [3] 朱姬凤, 马宗民, 吕艳辉. OWL 本体到关系数据库模式的映射[J]. 计算机科学, 2008(8): 165-169.
- [4] 马建威. 军事信息利用过程中的信息精准服务关键技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2014.
- [5] 王博. 文本分类中特征选择技术的研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009.
- [6] SCHUTZE H, HULL D A, PEDERSEN J O. A Comparison of Classifiers and Document Representations

for the Routing Problem[C]// Proceedings of the 18th ACM International Conference on Research and Development in Information Retrieval. IEEE, 1995: 229-237.

- [7] 李艳良. 面向应用的军事信息服务规划研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- [8] 胡建强. Web 服务发现若干关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学研究生院, 2005.
- [9] 于晓浩. 面向任务的军事信息服务组合方法与关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学研究生院, 2011.
- [10] 曹廷华, 杨海涛. 天基信息服务体系概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2018: 1-3.
- [11] 宛海宁. 基于 Pub/Sub 的战场态势信息分发方法与原型系统研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.
- [12] 周红卫, 周宏印. 基于向量空间用户兴趣模型的态势情报信息分发机制[J]. 指挥信息系统与技术, 2015, 6(6): 90-95.
- [13] 王子明, 陈邓安, 马培蓓. 基于特征的态势信息及需求关联性模型研究[J]. 现代防御技术, 2012, 40(3): 94-98.
- [14] 陈聪. 语义态势共享分发技术及原型系统研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2018.
- [15] HONGJAE K, SANGGIL K, SANGYOON O. Ontology-based quantitative similarity metric for event matching in publish/subscribe system[J]. Neurocomputing, 2015, 152: 77-84.
- [16] 董龙明, 高天成, 邱瑞波. 基于语义发布订阅系统的战场态势实时分发技术[J]. 火力与指挥控制, 2017(4): 110-113.
- [17] AI Y. Research on Assistant Decision-Making of Logistics Message Priority Distribution Based on Information Value[C]// 2017 2nd International Conference on Computer, Mechatronics and Electronic Engineering. Xiamen: DEStech, 2017: 698-703.
- [18] 覃光成, 尹浩, 陈强. 面向价值的战场信息处理与分发优化算法[J]. 通信学报, 2011(3): 64-72.
- [19] 赵俊逸, 庄福振, 敖翔. 协同过滤推荐系统综述[J]. 信息安全学报, 2021, 6(5): 17-34.
- [20] BREESE J S, HECKERMAN D, KADIE C. Empirical analysis of predictive algorithms for collaborative filtering[C]// Fourteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann Publishers Inc, 1998: 43-52.
- [21] 李琳, 刘锦行, 孟祥福. 融合评分矩阵与评论文本的商品推荐模型[J]. 计算机学报, 2018, 41(7): 131-145.
- [22] 黄立威, 江碧涛, 吕守业. 基于深度学习的推荐系统研究综述[J]. 计算机学报, 2018, 41(7): 1619-1647.