

“面向人机物融合场景的泛在操作系统 与环境研究进展”专栏

编者语

随着互联网、云计算、大数据、人工智能等技术浪潮不断兴起,推动信息世界、物理世界和人类社会交叉融合,正在逐渐形成“万物互联、人机交互、天地一体”的泛在计算环境,“人机物三元融合”、“应用场景即是计算机”成为软件发展的新需求和新趋势。如何面向多元化的人机物融合应用场景,基于泛在化的软硬件异构资源高效、高质量、低成本地开发和演化人机物融合应用软件系统成为重要挑战。

泛在操作系统面向人机物融合应用场景,从“系统之系统、自底向上抽象”的视角破解多元化应用场景和泛在化异构资源带来的复杂性难题,基于汇聚异构软硬件资源系统的场景计算机,支撑高效、高质量、低成本地开发、运行和演化人机物融合应用软件系统。其拟解决的关键技术问题是泛在异构软硬件资源系统的软件定义、软件定义资源系统的弹性动态管理、以及人机物融合场景应用的共性支撑。

本专栏聚焦面向人机物融合场景的泛在操作系统与环境前沿研究,围绕新型操作系统架构、内核安全、推理服务调度、内存布局优化、高可信验证五大核心方向,集中展示国内在泛在操作系统理论、关键技术与工程实践领域的最新成果。专栏共收录5篇高水平论文,覆盖AI原生操作系统架构、内核安全与漏洞挖掘、AI模型推理服务调度、内存资源智能动态管理、内核形式化验证等多个关键研究方向,完整呈现泛在操作系统全栈技术创新路径。

在AI原生操作系统架构方面,专栏收录的论文《AIOS综述:安全可信的人工智能原生操作系统》系统梳理了安全可信的人工智能原生操作系统(AI-native Operating System)的技术体系和研究进展。其中,围绕AIOS分层架构系统介绍了内核组件库、资源管理服务、共性基础服务以及领域基础软件栈等各层次的技术内容;围绕AIOS关键技术系统梳理了包含端侧智能操作系统、记忆管理系统、安全可信机制等方面的研究进展。在此基础上,论文结合应用场景,分析了AIOS在具身智能、工业与移动等领域的应用前景以及所面临的实践挑战,同时围绕新型操作系统基础技术、智能服务框架与关键技术梳理机制及安全可信基石等方面阐述了未来发展趋势。

在内核安全与漏洞挖掘方面,专栏收录的论文《融合依赖推断与权重优化的Linux内核模糊测试》提出了一种融合依赖推断与权重优化的Linux内核模糊测试机制。该方法通过静态分析识别系统调用所涉及的资源和它们的访问特征,随后推导不同系统调用之间可能存在的依赖联系,并以此构造系统调用依赖图。在此基础上,该方法利用模糊测试技术生成测试用例,同时通过收集运行阶段的反馈数据对依赖图中边的权重不断进行调整,从而持续推动模糊测试效果的提升。基于该方法实现的原型工具在保持

较低额外开销的前提下,能够高效构建出更加全面的依赖图,同时显著提升代码覆盖率和缺陷发现能力。

在 AI 模型推理服务调度方面,专栏收录的论文《泛在计算环境下模型推理输出长度预测》提出了一种轻量级的预测模型训练框架,仅依据输入提示即可预测请求的输出长度区间。框架采用基于 DistilBERT 的架构以保障计算效率,并引入基于正态分布的过滤策略、语义提示增强方法两项关键优化手段。评估结果表明,该方法不仅显著提升了预测精度,还大幅缩短了模型收敛时间,实现了精度与效率的协同优化。该方法可有效满足泛在计算场景下对资源调度精细化的需求,有助于实现高效、智能的模型推理服务。

在内存资源智能动态管理方面,专栏收录的论文《基于强化学习的泛在操作系统内存布局优化框架》提出了一种基于深度强化学习的内存布局优化框架。该框架旨在通过“感知-决策-执行”的闭环机制,实现对内存资源的智能动态管理,其中的多维状态感知模块捕捉硬件层指标、对象层行为以及系统层上下文,并将其编码为高维状态向量;强化学习智能决策模块将内存布局问题建模为马尔可夫决策过程,利用近端策略优化算法在线生成最优决策,同时还采用了“离线预训练与轻量化在线微调”的策略以降低计算开销;策略执行模块实现分配拦截、对象重定位、策略驱动的对象放置及主动碎片整理等机制,完成对内存布局的闭环自适应控制。论文的实证研究验证了强化学习在操作系统内核内存管理中的有效性,为构建高效、自适应的泛在操作系统内核提供了新思路。

在内核形式化验证方面,专栏收录的论文《面向泛在操作系统场景验证的定理自动识别方法》提出了一种基于知识蒸馏的自动化方法,以识别交互式定理中与计算场景相关的关键语义成分,从而支持验证任务的结构化拆分与跨场景迁移。该方法通过将大规模预训练模型的语义和模式知识迁移至轻量级模型,并结合多任务蒸馏、引入辅助任务及课程学习策略,实现模型对计算场景相关特性的准确判别与跨平台迁移能力。论文通过实证研究验证了方法在保持轻量化的同时,实现了性能与效率的有效提升,同时在跨任务场景中仍能保持良好的稳定性与适用性。

本专栏从顶层架构、内核安全、模型调度、内存优化、形式化验证等多个维度,系统反映了人机物融合场景下泛在操作系统面临的核心挑战与创新解决方案,融合软件工程、系统软件、形式化方法、人工智能等技术领域,充分展现了国产泛在操作系统基础软件的理论突破与工程落地成效。专栏既包含领域全景综述,也涵盖内核、内存、推理、验证全链条原创技术方案,兼顾理论创新与实证研究,可为相关领域科研人员、工程研发人员提供详实学术参考与实践指引,助力我国泛在操作系统基础软件技术体系完善与产业生态持续发展。

客座编委: 李宣东 南京大学

郭 耀 北京大学

彭 鑫 复旦大学