

融合航空垂类大模型与神经认知反馈的驾驶舱应急交互框架研究

李嘉慧 石宝珠 李文韬 李洛熙

北京城市学院, 北京 101309

摘要: 当在驾驶舱里应对异常状况时, 机组要于时间受限、任务交错且信息不完整的环境下, 实现故障辨认、程序调用、协同决策以及操作执行等任务。目前的系统很难根据飞行阶段以及操作人员的认知状况动态改变信息的展示形式。该系统以授权、脱敏以及版本化的快速核查清单、飞行机组操作指引和培训材料作为知识支撑, 通过检索增强生成的约束模型来给出回应; 融合任务进度、交互数据以及脑电、眼动和皮电等信号开展综合评定, 从而调整信息粒度、显示形式以及确认次数频率。该文进一步规划一个通过 X-Plane 模拟环境的对照实验方案, 且整合安全性、效率、认知负荷及可用性等多方面的评价体系。该文档包括系统设计与研究规划, 不包含未经证实的性能信息, 主要是为航空训练场景里的智能程序支撑和高风险人机协作设计提供指引。

关键词: 航空垂类大模型; 驾驶舱应急交互; 神经认知反馈; 模拟飞行; 检索增强生成

DOI: 10.64649/yh.jydk.issn3080-2660.202610022

0 引言

民航运营具有流程精细、安全要求严苛且团队协作紧密的特点。简单检查清单、机组操控指南和数字化飞行器具给出流程参照, 不过其信息一般按章节与条款方式编排。处于紧张环境之中, 操作人员仍需开展故障线索识别、程序查找、条件验证以及步骤核实, 不过这些信息处理流程或许会与飞行控制和形势判断出现冲突。

自动化能够辅助开展日常任务, 并且会对飞行员监控、接管系统以及理解系统状态的方式产生影响。相关研究表明, 自动化设计需将整体的人机系统性能当作评估目的; 要是自动化能力的局限和任务要求不相适配, 或许会造成操作者的工作负荷陡然提高^{[1][2]}。所以应急支持体系的主要目的并非替代机组的决断, 而是以恰当的形式为机组供给精确、可溯源的程序资讯, 并且留存人工确认与干预的机会。

云端智航方案围绕该课题, 给出融合航空领域专用模型与神经认知反馈的措施: 通过航空程序文档以及培训资料搭建专业知识库, 运用领域适应模型分析飞行员的自然语言提问, 且在 X-Plane 飞行模拟场景里集成语音、文字以及生理信号的交互。本研究重点于系统的设计和验证规划, 主要研究以下三个方面的问题: 怎样对语言模型在应急场景里的功能加以限制, 怎样把认知状态融入信息显示, 以及怎样在模拟条件下评估系统的性能。

1 相关研究与问题界定

1.1 驾驶舱应急交互的人因要求

驾驶舱自动化的研究核心包含功能划分、

情景察觉、任务调配以及信任调节。飞行员针对自动系统的评价涉及多个方面, 像工作负荷、对系统的认知、交叉核验以及压力体验等^[3]。研究显示在特殊情况应对时, 语音交互与恰当的自动化水平可为驾驶员提供帮助, 不过其成效取决于功能边界是否清晰以及交互节奏是否和任务适配^[4]。所以本篇文章把系统界定为程序辅助工具, 并非自主决策体: 它的职责是搜索、解读、提示与记录, 机组要承担起评估程序适用性并开展重要确认的工作。

1.2 航空知识服务与认知反馈的结合

在航空安全研究里, 生成式模型的运用仍要根据具体工作加以调整, 且需经过专业人士的审核^[5]。此项研究意在提高专业知识服务的实用性和价值^[6]。所以本文根据优先检索片段、模型解释辅助的设计准则, 把程序原文、适用领域和版本详情当作输出的主要参照。

认知压力的评估为互动流程的调控提供新的视角。眼动情况、皮肤电活动以及主观评估, 都被用于衡量安全和时效任务里的认知负荷^[7]; 脑电和眼动数据的同步收集能够增进对认知过程的认识, 不过要处理眼动伪迹方面的问题^[8]。在本项研究里, 生理信号并非用于直接对飞行员能力作出评估, 而是当作调整信息量与交互速度的辅助根据。

2 “云端智航”系统方案

2.1 研究目标与总体思路

此系统是为模拟飞行训练时应对异常状况而设, 和实际飞行器的操作流程不衔接。目的是优化程序信息的查找与理解流程, 并且调整自动化参与的程度。此项目方案专注于航空关

联领域,通过模型、语音交互、神经反馈以及飞行模拟这四项核心要素:这些核心要素各自承担处理与生成专业内容、开启和终结自然交流、感知并调节操作者状态,还有建立与验证任务情景的职责,它们并非孤立运作,而是形成一个应急处置的循环信息流。从具体方面讲,航空领域的模型在领域相关知识的约束下开展代码查找与解释内容的生成工作,语音交互为机组人员提供不影响操作的查询及确认途径,神经认知反馈根据飞行员的即时状态对系统输出的参与程度予以调整,模拟飞行的环境可用于在可控状况下重现异常事件场景并对系统反应进行测试。所以系统按照知识追溯、人工介入接管、稳态调节保守、全流程审查这四项准则开展运行。回复要包括信息出处、系统版本以及适用领域;驾驶者能够随时中止讲解、访问源头信息或者转换至人工协同;理解反馈仅对信息表述方式予以调整,不更改系统内容以及核心执行权限;搜索成果、模型输出、互动记载以及状态变更事件均要记录在日志里。

2.2 四层架构

第一层为航空知识层。此层级承担清理、摒除敏感信息、拆分和标注授权文件的任务,同时建立索引,分类的根据包括机型、飞行时期、系统类型、故障类型以及步骤流程。知识数据库要把初始程序当作可靠的内容,训练数据无法取代初始文档进行版本控制。换言之所有经训练所产出的帮助信息,都要回溯到受版本管理的起始代码文件,以此确保每项知识均可找出来源并实施验证与追踪。

第二层为受控推理层。系统通过接收飞行员的语音或者文字输入,再结合模拟器的告警情况、飞行时段以及搜索所得结果,来生成可供选择的回复。模型输出要包括程序名称、当下步骤、必要先决条件以及参考提示;要是材料不够、问题超出知识领域,或者版本信息不相符,系统需明确提示无法确定,并且返回到原始文档进行查询,而非开展推测性生成。换种说法来讲,这一层次在追寻响应速度之际,把无把握则不回应当作准则,宁可提议用户回到原材料处确认,也不凭借猜测去填补信息空白。

第三层级是将多种交互形式集合起来的层级。规划方案会融合语音识别、语音合成、文本信息展现以及动态图形化显示功能。在相对稳定情形下,系统可显示计划概况、判别根据以及未来需留意的部分,使飞行员通过听觉与视觉相融合的方式,快速把握程序要点而不用中断当下任务。

第四层为认知反馈层。通过分析任务所需时长、查询的频繁状况、步骤回溯以及操作差

错等行为数据,对负荷的变动加以评估。因为个体生理特性存在差别,并且信号容易受到外界环境的干扰,在检测质量欠佳或者判断结果不够稳定的情况下,系统会维持现有的互动方式,不会开展动态优化,以避免因误判负荷情况而给飞行员增添额外的压力。

2.3 应急交互流程

仿真训练中,系统首先会收集警报数据、飞行状况以及飞行员的问询请求,这三类信息形成应急交互的起始之处。随后从数据库里提取和当前情形有关的程序条款,系统把这些条款整合为扼要的步骤指引,以助飞行员快速识别主要操作细节。飞行员在确认已理解指引内容之后,方可开展下一步。在该过程里,认知反馈部件不断监测飞行员的负荷变动:若多种行为和生理数据一同显示负荷上升,系统会自动削减每次输出的信息数量,重点突出当前最为主要的任务,同时加强确认提示的明显特征;而当状态再度趋向稳定,系统便及时补充程序背景和相关信息,以帮助飞行员建立更完整的任务认知。此流程的核心是辅助飞行员把控信息展示的节奏和范围,并非替代飞行员的决策与操作能力。

3 验证方案与评价指标

3.1 模拟飞行对照实验

要对熟悉效应进行管理,可以随机改变两种条件的次序,同时设置操作适应时期。此计划意在验证交互设计能否优化程序的支持流程,不预先设定具体的提高程度。

3.2 多维评价体系

评估需包含以下四个方面的考量:安全程度、效能、认知负荷和用户亲善性。安全性关联主要程序缺失、操作失误及恢复差错次数;效率性包含首次有效查找时间、完成任务用时及交互频次;认知负荷包括 NASA-TLX 评分、脑电波特性和视觉注意力与皮肤电反应变动;可用性涉及理解程度、感觉干扰性、信任调节和持续使用意愿。生理数据需开展一些处理流程,像时间校准、噪声检测、个体基准线校正还有任务事件匹配,之后方可开展分析。此方法和当代航空体系里对飞行员表现与心理压力综合评定的思路相符合^[9]。

3.3 数据治理与安全边界

按照密级与敏感度,程序资料、训练档案以及生物信息要实施分类管控。在采集、保存、运用和共享的进程里,分别对应不同类别和层级的数据,保证符合不同的访问权限与管理模式。建立知识库之前,要界定不同文件的许可领域,详尽记录其版本来源、更新时间以及权

限边界,避免把机密情报、未获许可的内容或者不适用于训练的资料直接运用到模型训练当中。开展实验之前,要根据相关的法律法规取得受试者的知情同意,且清晰告知数据的用途、存储时长、访问权利、应用领域以及退出办法,确保受试者在充分知悉的前提下自愿参与研究。研究所得结论采用匿名或者整体数据的形式来显示,防止直接披露个人身份信息以及原始身体特征。在模型部署进程里,要开展权限管控、数据加密以及日志输出的标准化操作,通过对访问记载、调用日志和输出数据的跟踪管理,保证后续问题排查、版本更新和责任追查有迹可循。

云端智航计划的独特之处不只是把大语言模型引入驾驶舱,还在于将专业知识约束、认知状态监控和人类决策权融入到统一的交互流程里。领域模型的目标是提高从自然语言问题到程序条目检索的效率,认知反馈根据任务推进和人员情况来调整信息传递的节奏,并且机组始终掌握着程序核查与操作确认的最终决定权。这样的分工让系统定位更为清晰,有助于防止把生成模型错误应用于自主飞行决策手段,防止模型超出人类授权范围进行飞行动作判定。

此计划仍然受某些限制条件的约束。语言

模型给出的解答或许与检索信息不一致,或者缺少详细来源,所以后续的改进工作要专注于建立高质量授权数据、提高检索精准度、设立专家审核一致性流程,并且逐步开展多层次的经验测试。同时也需要在各类设备以及不同类型的事件里对系统的稳健性和适应性加以测试。

4 结论

此篇文章通过云端智航项目方案,把驾驶舱应急交互系统的核心方案及运作机理当作研究主要予以研究。该系统通过版本化航空程序知识数据库,运用经授权、整理和标注后处理的程序信息作为知识根据,融合受控检索与生成手段,帮助飞行员实现查询与解读操作,保证模型输出在专业程序限定范围内具备可验证特质。在交互环节里,系统将整合任务状况、行为特性以及生理数据,用以评定认知负荷,并根据评定结果对信息的显示形式与确认步骤加以调整,从而缓解高负载情形下的信息压力。应当指出本文没有进行性能的实际测验,并未对程序的准确性、处理效率、认知负担以及信任调节等方面开展详细验证,所以其实际应用意义仍要通过后续实验来确定。

参考文献:

- [1]WIENER E L, CURRY R E. Flight-deck automation: promises and problems[J]. Ergonomics, 1980.
- [2]FEIGH K M, PRITCHETT A R. Requirements for effective function allocation: A critical review[J]. Journal of cognitive engineering and decision making, 2013.
- [3]DURSO F T, STEARMAN E J, MORROW D G, et al.. Exploring relationships of human-automation interaction consequences on pilots: uncovering subsystems[J]. Human factors: the journal of the human factors and ergonomics society, 2014.
- [4]THOMAS L C. Pilot workload under non-normal event resolution: assessment of levels of automation and a voice interface[J]. Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting, 2011.
- [5]RAY A T, BHAT A P, WHITE R T, the potential of generative language models for aviation safety analysis: case study and insights using the aviation safety reporting system [J]. Aerospace, 2023.
- [6]ZHANG Z, YANG X, ZENG C. A domain-specific retrieval-augmented generation system for civil aviation safety[C]//International conference on biometric, identification and authentication. .
- [7]CHAKRABORTY S, KIEFER P, RAUBAL M. The influence of uncertainty visualization on cognitive load in a safety- and time-critical decision-making task[J]. International journal of geographical information science, 2024.
- [8]TOURYAN J, LAWHERN V J, CONNOLLY P M, et al.. Isolating discriminant neural activity in the presence of eye movements and concurrent task demands[J]. Frontiers in human neuroscience, 2017.
- [9] KYLE A R, ROUSER B, PAUL R C, et al.. Quantifying pilot performance and mental workload in modern aviation systems: A scoping literature review[J]. Aerospace, 2025.

作者简介:李嘉慧(2001.02—),女,汉族,山东济南人,研究生,助教,研究方向:人工智能大数据与航空智媒。

项目信息:北京城市学院大学生创新创业训练项目(编号:S202611418064)资助。