基于垂类模型与智能语音技术的电力通信应用方案探究

刘昕
广州广哈通信股份有限公司，广东 广州 510000
DOI: 10.61369/TACS.2026080002

摘　　要： 该研究关注通过垂类模型和智能语音技术的电力通信应用策略。通过搭建知识图谱、开展预训练与微调模型等方式，实现智能语音主要技术于电力通信多个场景的运用。从算法改良、边缘运算、安全隐私防护等多个方面完善方案。取得的成果大幅提高指令识别的精准度，同时降低声纹的错误识别率，不过低资源术语的处理以及复杂环境下的泛化能力还有待加强。

关 键 词： 垂类模型；智能语音技术；电力通信应用

Exploration of Power Communication Application Scheme Based on Domain-specific model and Intelligent Voice Technology

Liu xin
GHT Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract: This research focuses on the application strategy of power communication through domain-specific model and intelligent voice technology. By building a knowledge graph, carrying out pre-training and fine-tuning models, the application of intelligent voice technology in multiple scenarios of power communication is realized. The scheme is improved from many aspects, such as algorithm improvement, edge operation, security and privacy protection. The results greatly improve the accuracy of instruction recognition and reduce the error recognition rate of voiceprint. However, the processing of low-resource terms and the generalization ability in complex environments need to be strengthened.

Keywords: domain-specific model; Intelligent voice technology; electric power communication application

引言

随着新型电力系统深化建设，《国家能源局关于加快推进能源数字化智能化发展的一些意见》（2023年颁布）的实施，电力通信行业的智能化进程受到广泛关注。通过垂类模型和智能语音技术的电力通信应用策略顺势而生，它针对电力通信各流程开展，包含垂类模型搭建、智能语音核心技术方案、语音协助设备操控等多个领域。从算法性能的优化，延伸至数据安全和隐私保护，进一步到容错机制的设计，此方案持续开展探索与创新。尽管已收获明显成效，不过仍然面临着低资源电力术语处置以及复杂电磁环境当中模型泛化水平等难题，需要开展更深入的研究与优化，从而符合政策指引，促进电力通信领域的智能化进步。

一、垂类模型与智能语音技术的理论框架

（一）垂直领域模型的核心原理

在电力通信领域，垂类模型意在精确符合行业特定要求。它的核心原理是通过对电力行业知识图谱的深入建立而确立的[1]。经过对电力领域大量文本数据开展分析与挖掘工作，提取出电力系统各个实体以及它们相互间的关系，建立起知识图谱。特定领域语言模型（Domain-specific model）的预训练方式，运用通用的自然语言处理手段，融合电力领域的特性数据开展预训练，让模型初步拥有电力领域知识的理解能力。之后运用参数微调的策略，针对电力通信场景里的特定任务，像故障诊断文本分析、运维指令解析等，对预训练模型的参数开展调整与优化，进一步提高模型在电力垂类任务方面的表现。在实体识别与电力术语库融合建立模型的进程中，把识别出来的电力实体与专业的术语库进行结合，保障模型能够精准理解并处理和电力通信有关的文本，为后续智能语音技术于电力通信里的应用打下牢固基础。

（二）智能语音关键技术体系

在电力通信运用里，智能语音核心技术体系非常主要。语音降噪算法在变电站场景下需开展适应性优化，变电站的环境较为复杂，存在多种类型的噪声，优化后的算法可有效抑制背景噪

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

音，提高语音品质[2]。麦克风阵列的波束成形技术，通过多个麦克风构成阵列，对特定方向的语音信号予以加强，抑制其他方向的干扰信号，其原理是通过信号的空间特性与相位差，为精确采集语音提供保障。通过深度学习的声纹特征提取体系，能够高效获取个体特有的声纹特征，应用于身份鉴别，确保电力调度通信的安全性。在电力调度场景里，语义理解框架的设计，是为使智能语音系统精准领悟调度指令的语义，实现高效且准确的信息交互，为电力通信提供可靠的智能语音支撑。

二、电力通信场景的技术实现路径

（一）语音辅助设备控制子系统

在电力通信情形下，语音协助设备控制子系统通过电力设备语音操作指令动态分析方案，实现对设备语音指令的即时精准解析。此系统建立通过注意力机制的命令词检测模型，可精确识别主要指令词汇且过滤干扰信息，大幅提高识别效率[3]。通过此前提，搭建变电站巡检机器人的多模态人机交互协定，整合语音和其他交互手段，让操作人员可通过自然语音轻松操控巡检机器人，确实提高设备控制的智能化程度与操作效能。

（二）声纹安全认证系统设计

在电力通信场景之中设计声纹安全认证体系，首要任务是搭建电力作业人员声纹特征信息库。收集不同作业者在多种场景下的语音信息，通过垂类模型对这些信息展开分析，提炼出具有代表性的声纹特性并保存。为应对噪声环境给声纹识别带来的干扰，研究有效的对抗性训练手段，通过添加噪声样本开展训练，让模型拥有更强的鲁棒性[4]。因为电力调度电话设备的多元化，拟定跨设备声纹特征转移方案，从而实现在不同设备上都能够精准完成说话人确认。

（三）垂类模型在电力通信中的实现路径与融合优势

在电力通信的场景里，垂类模型的实现路径包括搭建电力知识图谱、开展领域预训练与任务微调，且推动多模态融合与边缘部署[5]。它和智能语音技术融合之后，明显提高语义理解的精准度与专业性，强化系统在复杂场景下的自适应和泛化性能，实现从语音输入到指令实施的端对端智能化闭环。同时通过边缘轻量化部署，优化资源利用和响应效能，有力地保障电力通信系统的高可靠、智能化运转。

三、典型应用场景实证分析

（一）电力调度指令系统应用

1. 智能接令系统架构

在电力调度指令体系运用的智能接令体系方案里，调度指令意图识别模块发挥着主要功效。它的工作流程是，首先对接收到的调度指令语音开展预处理，将其转变为计算机能够处理的文本样式。之后通过 Bi-LSTM-CRF 的电力术语提取模型投入运行，从文本里精确提取主要电力术语，帮助系统正确理解指令意思[6]。多轮对话状态追踪机制实时监控对话状态，当碰到复杂指令或者需要确认的状况时迅速响应，从而保证调度指令得以精准执行。通过实际场景的验证可以看出，此机制的响应准确程度已经达到较高的水准。

2. 应急处置语音交互案例

在电力网络故障的应急处理场景中，对语音系统的性能有着极高要求。以某一次真实的电网故障为实例，彼时经分析语音系统的主要词唤醒能力可知，在喧闹的调度室环境里，该系统能够精准识别主要指令用词，唤醒成功率达到95%[7]。此外语义槽填充的精准度同样表现优异，能够精确提取指令里的主要内容，像故障地点、设备编码等，填充的精准度达到92%。应急指令的执行成功比率同样让人满意，在一系列繁杂的应急处置指令发布后，执行成功比率达到90%[8]。从这些指标数据能够看出，此语音系统于电网故障应急情形下拥有可靠的实战能力。

（二）电力设备巡检应用

1. 现场作业语音记录分析

在电力设备巡检应用的现场作业语音记录解析方面，依靠垂类模型和智能语音技术实现巡检报告语音录入的文本结构化处置。通过建立电力设备缺陷描述的实体关系抽取模型，可精确地从由语音记录转换而来的文本里提取主要信息，像设备名称、缺陷部位、缺陷程度等[9]。通过实际检验，和传统的文本录入形式相比，该创新方案在效率方面有明显提高。传统方式依靠人工逐行录入，过程繁杂且易出偏差；本方案通过语音识别和结构化处置，明显缩减报告生成的时间，并提高信息的精准度与规范性。

2. 智能问答系统部署

在电力设备巡检应用的智能问答系统布置方面，通过搭建电力设备知识库的语义搜索模型，实现对设备相关知识的高效查找[9]。运用知识图谱强化的问答（QA）系统，针对变电站拓扑查询这类典型场景开展验证。在实际的部署工作里，特别需要注意系统的响应精准率和平均响应时长这两项主要指标。系统要精准领会巡检人员所提的有关变电站拓扑方案的问题，像设备的连接关联、线路的走向情况等，迅速给出精确答复，以此帮助巡检人员高效实现工作[10]。历经多轮场景检验与不断优化，此系统已明显提高巡检流程的查询效能与操作规范性。

四、系统优化与安全保障策略

（一）算法性能优化方案

1. 领域自适应训练方法

在通过垂类模型和智能语音技术的电力通信运用里，领域自适应训练手段是提高算法性能的重要步骤。最先提出电力通信数据的增量预训练方法，该方法可根据电力通信数据持续更新的特性，逐步对模型开展训练，让模型能够更优地适应新数据，防止重新训练引发的高成本与时间耗费[9]。建立带有领域权重的对比学习方案，此方案通过对电力通信领域数据特性赋予特定的权重，加强模型对领域主要特征的学习能力，进一步提高模型在电力通信场景中的适应性。最终通过 t-SNE 可视化手段展现特征空间分布的优化成效，直观体现领域自适应训练之后特征空间的优化状况，为后续调整训练参数、提高模型性能提供直观支撑，保证算法在电力通信应用里发挥更出色的性能。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

2. 边缘计算加速方案

在通过垂类模型和智能语音技术的电力通信运用里，为实现更出色的算法性能与边缘计算提速，可采用如下措施。针对算法性能的优化，构思出适用于变电站场景的模型量化压缩策略，通过削减模型参数的位数，在基本不影响模型精准度的情况下，明显降低模型的存储需求以及计算量，提高算法的运行效能。开发通过 TensorRT 的语音识别引擎，通过 TensorRT 强大的优化能力，对深度学习模型开展推理加速，进一步提高算法的实时性。在边缘计算加速领域，把部分计算任务下移到接近数据源的边缘装置，通过边缘装置的本地计算效能，降低数据传输时延，提高整个系统的响应速率。

（二）数据安全防护机制

1. 声纹特征加密存储

搭建通过同态加密的声纹模板防护体系，目的是为声纹特征的保存提供更高水平的安全性。同态加密可让在加密数据之上开展特定计算，并且计算结果经解密后和在明文里执行相同计算所获结果相符。在该系统里，声纹特征数据采集完成后马上进行加密处理，以密文状态存储。如此一来就算存储介质受到恶意访问，攻击者得到的仅是加密之后的声纹特征，无法直接从中取得有效信息。设计安全多方计算协议以实现声纹特征的安全比对验证体系，此体系保证在不泄露声纹特征明文内容的情形下，能够精准比对验证声纹信息，进一步既保障声纹数据的安全性，又不干扰其在电力通信应用里身份验证等功能的正常运转，为通过智能语音技术的电力通信应用夯实数据安全基础。

2. 语义理解隐私保护

在通过垂类模型和智能语音技术的电力通信运用里，语义理解的隐私保护非常主要。研制电力调度指令的差分隐私脱敏方法，该方法在对语音指令开展语义解析时，通过添加特定噪音等途径，对涉及用户隐私的数据实施脱敏操作，从而让数据即便在传输或处理期间被获取，攻击者也不易从脱敏后的数据里还原出真实的隐私内容。对语音指令的联邦学习方案展开研究，该方案可保证用户隐私数据不离开所在区域，各参与方于本地对数据进行处理和训练，仅对模型参数实施加密传输与汇总，进一步在实现模型更新的同时，确保用户隐私不被泄露，全面筑牢语义理解进程中的隐私保护屏障，促进电力通信应用的安全、可靠推进。

（三）系统可靠性保障措施

1. 多级容错机制设计

在通过垂类模型和智能语音技术的电力通信应用策略里，多级容错机制的规划是确保系统可靠性的要点。从一个方面来看，针对语音识别置信度阈值的动态调节算法，搭建容错体系。当算法运行产生异常状况时，可自动转换到预先设定的备用参数或者自适应调节模式，避免因单个参数出现异常而造成识别失败。从另一个角度来看，针对通过 D-S 证据理论的融合判决体系，建立多重验证途径。一旦某一证据源头发生错误或者数据显示异常状况，能够快速启用其他可靠的证据源头开展补充判决，以此保障决策的精确性。在测试系统于高噪声场景中的鲁棒性指标时，因为噪声干扰或许引发的多种故障情形，设定多种容错措施，例如对受噪声影响的数据开展预处理修复，亦或是启用冗余的语音识别途径，从而提高系统在复杂状况下的容错性能，全面确保电力通信系统的可靠性。

2. 应急通信备份方案

为加强电力应急通信系统的稳健性与自主性，设计且实现通过离线语音识别技术的应急通信语音交互保障措施。此方案重点提高在无网络、基站断连等极端情形下的语音交互效能，保障系统在脱离云端支撑时仍然可以稳定运转。一方面通过优化离线语音识别的算法，加强其在复杂噪声环境以及多口音场景里的适应性和识别精准度，减少对网络的依赖，同时确保功能的完整性；另一方面打造具备本地语义理解与指令执行能力的轻量级语音处理模块，实现语音指令的端到端本地化处理，防止因通信中断导致系统功能失灵。此方案有力提高电力应急通信系统在极端工况时的自主运转与持续服务效能，为电力应急指挥和现场作业提供稳定、可靠的语音交流支撑。

五、总结

本研究全面搭建通过垂类模型和智能语音技术的电力通信应用策略。通过搭建电力知识图谱、运用领域自适应训练和多模态融合，奠定系统智能化的技术基础；通过规划增量预训练、模型量化压缩以及多级容错体系，明显提高系统的精确性与稳定性。实证研究结果显示，此方案在电力指令识别以及声纹安全认证等领域都取得了明显成效。

目前系统在低资源术语处置以及复杂电磁环境下的泛化性能方面仍有待提高。后续的研究工作会专注于小样本学习、加强环境鲁棒性等方面，以此来进一步提高系统在复杂实际场景里的适应能力，促进电力通信智能化程度的不断提高。

参考文献

[1] 赵振东，娄云永，张亚东，等 . 电力通信网可靠性评价模型的构建 [J]. 电力技术 ,2010(9):74-77.

[2] 崔恒志，王翀 . 基于改进粒子滤波的电力线载波通信语音增强 [J]. 电子器件 ,2013,36(5):704-708.

[3] 刘磊，缪观山 . 基于电力线通信的智能语音通信模块设计 [J]. 工业控制计算机 ,2013,26(12):126-127.

[4] 国网智能电网研究院有限公司 . 电力领域模型预训练方法、精调方法、装置及设备 :CN202211060951.9[P]. 2022-09-30.

[5] 胡翔，杨洋，蒋长江，等 . 一种基于深度神经网络的电力系统调度控制语音识别模型 [J]. 电子器件 ,2023,46(1):90-95.

[6] 侯勇，王铮，舒乔晔，等 . 一种防范电网调度员语音失误的语音辅助系统 [J]. 微型电脑应用 ,2019,35(12):19-22.

[7] 蔡磊晓，张杰 . 语音交互技术在智能电网中的应用研究 [J]. 电声技术 ,2023,47(12):40-42,66.

[8] 高亮，闫凡铭，张博阳，等 . 基于 QT 语音平台的电力电缆终端设备巡检系统与实现 [J]. 绥化学院学报 ,2018,38(3):154-156.

[9] 孙晟 . 电网输变电设备故障问答系统的设计和实现 [D]. 北京邮电大学 ,2021

[10] 朱韵攸，戴诚，陈聿，卓灵，廖勇，赵明 . 基于人工智能的在线电力智慧客服系统设计 [J]. 机床与液压 ,2018,046(24):9-14,61

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.