

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.190991

# 语音编码在自动化互动模型中的应用研究

张道杰<sup>1</sup>, 张馨文<sup>2</sup>

(1. 许继集团, 河南 许昌 461000; 2. 中国地质大学(北京)信息工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 为了提升电力物联网自动化系统的互动能力, 在电力自动化系统的四层体系结构和输入操作模式基础上, 利用语音输入法构建了一种新的人机交互模型。针对模型中人机语音互动难点, 提出可以简化语音输入的编码原理, 并在新的互动模型中展开方案研究。最后, 通过窗口系统文件对象操作、窗口命令执行和远程控制等方式进行应用程序验证。验证结果表明, 应用简化语音编码的自动化互动模型可以有效提升人机交互效率, 推进电力系统的发展。

**关键词:** 语音; 人机交互; 监控系统; 远程控制

## Application research of speech coding in automated interaction model

ZHANG Daojie<sup>1</sup>, ZHANG Xinwen<sup>2</sup>

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. School of Information Engineering, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to enhance the interactive capability of the 'internet of things' automation system, a new human-computer interaction model is constructed using a speech input method and based on a four-layer architecture and input operation mode of a power automation system. A coding principle which can simplify speech input is proposed to tackle the difficulties of human-computer speech interaction of the model. Then with the new interactive model, scheme research is carried out. Finally, it verifies the application in the window system file object operation, window command execution and remote control and other ways. The verification results show that the application of the simplified speech coding automated interactive model could effectively improve human-computer interaction efficiency and promote the development of the power system.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41601432).

**Key words:** voice; man-machine interaction; monitoring system; remote control

## 0 引言

语音是人与人之间最自然的交流方式, 也是人与计算机之间进行通信的有效信息载体。在智能手机、智能电视、计算机等视窗桌面系统的应用领域, 语音交互技术正在逐步推广应用, 通过朗读应用软件名称启动该应用, 朗读软件菜单或者按钮名称进行对应的操作<sup>[1-3]</sup>。但是语音推广仍然面临许多难题: 首先, 人们的发音具有地域性和个人习惯, 人机交互时, 这些个人特色会导致语音识别错误; 其次, 计算机系统需要花费较长时间识别没有固定发音规则的操作命令, 导致没有触屏、鼠标操作方式

迅捷。

随着对语音互动技术便利性的认识逐步提高, 人们在自动化领域做出了许多努力<sup>[4-7]</sup>。比如语音解析技术的提升以及人们发音的标准化普及推广。但是由于人们居住地域广阔, 各地文化历史背景千差万别, 语音标准化推广繁难; 并且在工作环境中存在各种噪声, 对语音识别有很多影响, 采用语音进行计算机应用软件的操作, 准确性不是很高。

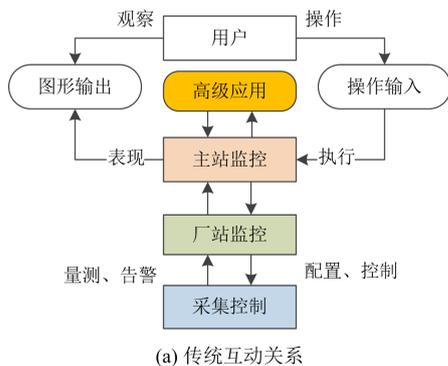
为了增强自动化软件系统的语音交互功能, 避免噪声的干扰, 本文针对自动化系统视窗框架中的操作命令(通常是菜单栏的菜单项, 状态条、工具条的菜单项, 应用程序、文件等的操作命令)提出一种编码方案, 方案中编码的语音简单, 易于清晰读音和学习, 易于语音解析模块辨识; 利用这种编码方

法,可改进电力自动化系统的人机互动模型,为自动化系统的远程操作以及远程控制带来更高的效率和安全性。

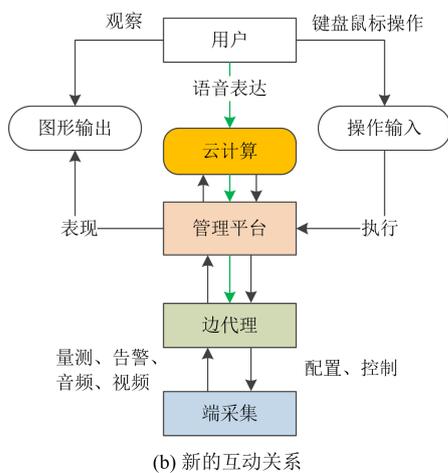
### 1 自动化互动模型

传统的电力自动化系统,划分为测量采集、厂站监控、主站监控、高级应用四层架构。采集控制层把量测、告警信息传给厂站端监控系统汇聚,再发送到主站监控系统,主站高级应用对数据进行分类处理加工,系统操作员通过观察实时数据、加工数据及告警信息图形界面进行键盘鼠标操作,把控制及配置操作逐级上传完成任务,人与自动化系统之间的互动关系如图 1(a)所示。

国家电网公司提出坚强智能电网与泛在物联网建设,电力自动化系统需要扩展概念外延,系统层次结构变为云层、管层、边层、端层。系统采集的信息不仅包含传统的四遥数据,还包括音频、视频以及图形数据。虽然数据及平台技术发生了很大变化,但是互动技术没有产生质的飞跃。



(a) 传统互动关系



(b) 新的互动关系

图 1 人机互动关系

Fig. 1 Man-machine interaction

如果利用智能语音分析技术,增加语音作为重要的一种互动技术,在远程图形可视化技术支持下,自动化系统与系统管理员的互动模型将发生深刻变化,互动关系如图 1(b)所示。语音命令在云端经过智能分析之后变成命令编码,可传给系统管理平台,甚至深度下传给边端代理设备,接收到编码的程序完成系统深度透层操作;特别是远程传递命令,避开管端、边端运行程序之间操作步骤的逻辑关联<sup>[8]</sup>,有效加强系统自动化运维控制能力。

### 2 语音编码原理

作为一种有效的数据驱动方式,语音交互技术在当前自动化系统领域已取得一定的研究成果,应用在当前电力、商务、军事、交通、家居等领域的各个方面<sup>[5,7,9-15]</sup>,其实现主要包括语音合成和语音识别两部分。其中语音合成应用于系统的输出过程,对此的研究大多基于文语转换系统,技术的关键在于对语音定性规则的自然归纳,由语音库与自动化系统相对的容量决定其适用程度;语音识别应用在系统信号输入过程中,可基于动态时间归整、矢量量化、因马尔科夫模型、人工神经网络等方式提取语音特征,建立模型以及匹配参考模式,进而实现有关连续语音的关联分析、口音及噪声干扰的应对、孤立语音以及小词汇量的高精度识别等方面的研究<sup>[11-13]</sup>。目前公认利用卷积神经网络(CNN)和深度学习神经网络(DNN)进行提取的语音特征有优异的性能,CNN 能有效减少模型训练参数和训练时间,提高孤立词语音识别正确率<sup>[16]</sup>,而微软、百度、讯飞等许多公司普遍采用 DNN 进行语音特征提取和建模<sup>[17]</sup>。

在新的电力自动化语音互动模型中,语音识别是系统的关键,识别功能的实现需要由语音特征提取、模式匹配、参考模式库等三个组成部分来共同完成<sup>[11-13]</sup>。语音识别系统在接收到语音信号后,首先进行预处理,然后通过语音帧分析来提取各类语音参数,并将其与参考模式库中的语音模式信息进行匹配,最终选择最优的匹配结果,得出语音识别结果,流程如图 2 所示。由于操作命令没有固定的语音格式,朗读者的语音需满足标准普通话,导致效果不理想。

本文针对语音识别对朗读者发音标准要求严苛的现状,提出本编码方案。方案首先把操作命令或者文件对象名采用一种发音简单、语音普及面广的字符进行编码,通过朗读语音命令编码,进行语音控制操作,它的主要原理如下:(1)对文件对象、命

令等视窗对象增加一个别名；(2) 别名采用由字母、字符、数字、文字的一种或者多种组合进行编码；(3) 别名可以与对象本名并列，或者悬浮在图标上层，或者放置在图标四周，以便于朗读。

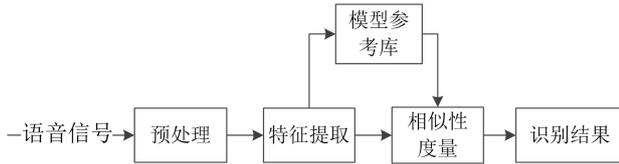


图2 语音识别

Fig. 2 Speech recognition

编码应该遵守几个原则：1) 系统性，保证父子窗口之间编码是一个整体，兼容视窗系统；2) 系统中，有多种类似的应用场景，它们编码应该一致；3) 逻辑性，保证所有编码在不同场景下不能冲突；4) 字符的音节要清晰，对于系统使用的专有音节，甚至可以制造新的清辅音。

基于以上原则，本文对视窗系统不同场景中文件、命令等对象的别名，采用类似楼宇房间号的分层编码序列方法进行研究。比如 A 栋一楼的 50 号房间采用 A0150 编码，编码中层次数不限，字符、数字个数不限，允许有连接字符“\*/-”等；其次，对有表格、矩阵关系的文件对象别名，可以采用矩阵元素编码的方式，用(1-1)或者(1\*9)表示；对于单行单列图标直接采用数字或者 26 个英文字母序列进行编码。

由于本方案编码采用有限的阿拉伯数字、拼音字符组合，语音识别模型参考库中只需要不超过一两百个字符的模型，不仅用以比对的模型与传统上的几万个汉字词组语音模型小的多，而且它们的标准发音普及面广，巧妙地避开汉语字库庞大并且人们发音不标准的困难，可以提高识别准确率。语音解析模块已经有比较成熟的应用<sup>[14-19]</sup>，利用语音云计算分析本文提出的编码命令，准确率很高，这里不再讨论。

### 3 编码实现方法

一个可视化程序，为了实现语音编码与它本身紧密结合，需要一定的配置机制。对于程序的菜单、工具栏的操作命令，别名编码需要在开发阶段就要配置好，属于静态编码；而对于程序的目录树、文件列表、树节点或者文件等对象的别名编码需要根据数据源进行动态配置，配置规则应具有系统性和逻辑性。

为了实现编码配置，程序启动时，需要一个多重链表来记录视窗的别名以及它的子对象的别名，以便程序接收到语音命令后，能够根据别名编码选中相应的操作命令或者相应的视图对象，以便支持命令派发。别名启动流程如图 3 所示。

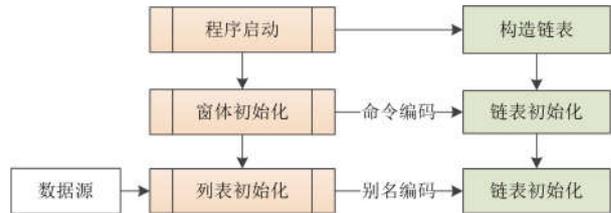


图3 启动流程

Fig. 3 Start-up process

#### 3.1 链表结构

为了支持语音命令的派发，链表需要两个重要数据类型，第一个是多重链表，第二个是链表节点指针。链表节点有六个元素，一个是别名元素(文件对象或者命令菜单别名)，另一个是该对象指针元素，还有父、兄、弟、长子节点指针，长子节点通常与子节点构成父节点的子链表；链表节点指针数据类型，指向当前激活的视窗对应的链表节点，详见图 4(a)。

自动化系统桌面程序启动后，它的构造函数会构建的多重链表如图 4(b)所示。根节点的两个元素分别用程序主窗口指针和主窗口别名进行初始化，焦点指针指向主窗口。根节点的子链表需构造多个节点，子窗口的指针和窗口别名分别初始化这几个节点。依此类推，子窗口如果也有自己的子窗口，它对应的链表节点也需构造自己的子链表。

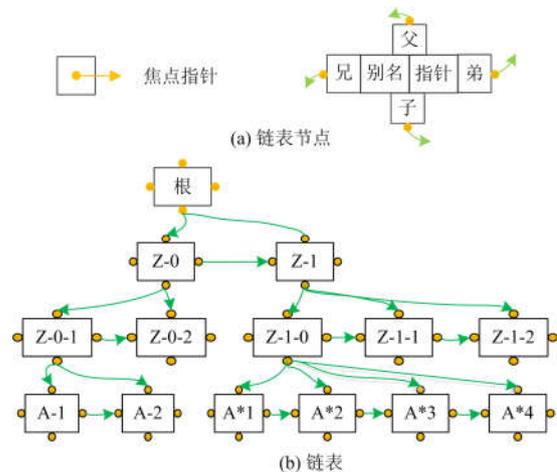


图4 链表结构

Fig. 4 Link list structure

### 3.2 派发流程

在新的“云、管、边、端”自动化系统架构下，键盘、鼠标、语音三种人机互动方式中，语音可以借助网络通信，把命令编码转给本地派发模块，本地模块再发送给管端运行程序，本地派发模块也可以转发给远程派发代理，由代理转发边端运行程序。运行程序利用图形远传技术，把图形压缩后传给云端图形浏览设备<sup>[20]</sup>，供操作员朗读语音命令，流程如图 5 所示。

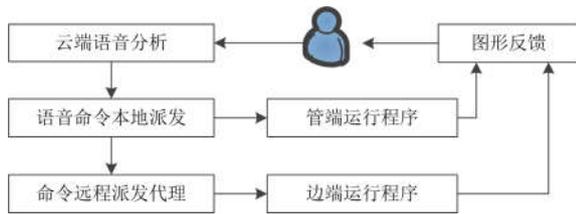


图 5 命令派发流程

Fig. 5 Command dispatch process

### 3.3 命令派发

对于应用程序，当某个视窗具有焦点时，朗读该视窗某个对象别名，语音解析后别名编码传给命令分发模块，该模块必须遍历该视窗对应的子链表中的别名列表，比对匹配成功，派发模块则向该对象发送对象激活消息，焦点指针指向该对象；如果别名对象是文件对象，收到激活消息，则光标选中它，如果别名对象是菜单命令字符，则菜单收到激活消息后，系统执行命令；匹配均不成功，不执行任何动作，流程如图 6(a)所示。

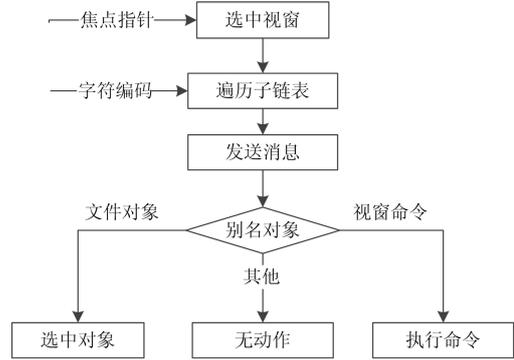
对于编辑界面，当视窗被激活时，光标自动进入编辑窗口，编码派发模块把语音输入的字符作为字符流发给窗口显示；如果字符是命令，则派发模块获取当前光标的坐标后，向编辑视窗发送具有坐标信息的鼠标消息，弹出上下文菜单，通过朗读这些菜单的编码即可执行菜单命令进行编辑，流程如图 6(b)所示。

## 4 典型编码应用

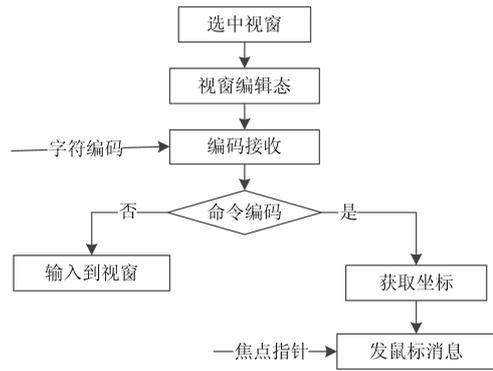
### 4.1 管端文件列表编码

自动化系统中使用语音编码的主要场景里，通常的操作集中在监控系统主界面，所以本文着力研究在监控系统方面的应用研究。图 7 是某网省公司监控系统管理主界面，左侧是浏览页面目录树，左下侧是类似 Windows XP 系统的开始程序菜单，可以启动多种维护工具，下侧是任务栏状态条，显示当前打开应用程序的状态，中间是监控系统各种组态主界面。图形界面设计有不少研究<sup>[21-23]</sup>，需要使

用组态技术，与 Windows 的桌面管理类似。为了便于分析，对监控主界面简化为图 8 所示，它是类似于资源管理器的一个典型应用场景，窗口下部是任务栏，任务栏左下角是开始菜单，桌面有文件图标。



(a) 焦点视窗流程



(b) 编辑视窗流程

图 6 流程图

Fig. 6 Flow chart



图 7 监控桌面

Fig. 7 Monitor desktop

对图 8 可采用以下方式编码，桌面主窗口编码别名是 Z-0，任务栏别名是 Z-1；桌面的上两个组态对象，它们的别名分别是 Z-0-1、Z-0-2；两个对象文件启动后，分别打开两个窗口，别名分别是 A-1 和 A-2；两个文件在任务栏的状态图标分别是 Z-1-1 和 Z-1-2。

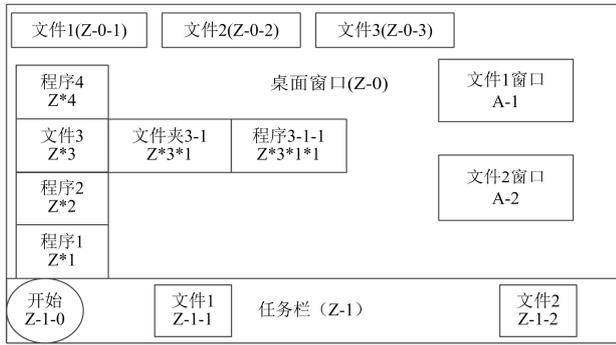


图 8 桌面示意图

Fig. 8 Desktop sketch

语音命令朗读“Z 杠 0 杠 1”，语音光标选中文件 1，朗读“点”，启动文件执行，朗读“点点”，启动光标上下文菜单；文件 1 启动后，默认选中文件 1 窗口，如果要选中文件 2 窗口，可以朗读 A-2；朗读任务栏 Z-1-1，则可以选中窗口 A-1。

对于任务栏上的开始按钮，编码为 Z-1-0，朗读后，打开如图 8 所示的程序列表，列表编码采用“Z\*n”方式，朗读“Z 乘 3”，选中文件夹 3，继续朗读“Z 乘 3 乘 1”，弹出程序 3-1-1，再朗读“Z 乘 3 乘 1 乘 1”，可启动程序。

本文对于字符“点”、“点点”、“杠”、“乘”等语音作为命令专用。朗读命令，相当于鼠标左键单击，“点”与“点点”相当于鼠标的左双击键、右单击键，后两个作为语音的连接符号，“Z”作为桌面专用，“A”作为视窗专用，“M”作为菜单专用，“T”作为工具栏专用，也可以采用特殊符号对系统命令进行专用，比如回车键等。

#### 4.2 右键菜单操作编码

语音操作时，如果菜单命令太多，也可以利用传统的右键菜单进行提示，不过不需要键盘和鼠标，而是朗读右键菜单命令的编码，右键菜单通常根据场景有所变化，在图 8 中，如果朗读 A-2 选中应用程序框架，则朗读“点点”弹出的右键菜单如图 9(a)所示，只有三个选项最大、最小、关闭，对应的编码分别是 01、02、03，这个与传统的命令一致。如果组态对象“Z-0-1”是一个遥控量，朗读“点点”，则弹出右键菜单如图 9(b)所示，可以是监控系统中遥测量或者遥控量的常用命令，比如遥控命令，遥测刷新，或者告警确认等等，有很丰富的菜单内容。图 9(c)是编辑菜单。

顶级场景菜单，一般采用“0”+“数字”格式，增加语音识别精确度，避免其他信号干扰。



图 9 右键菜单

Fig. 9 Right-click menu

#### 4.3 边端系统远程控制

边端属于变电站，边端监控系统远程控制能为设备运维效率带来质的提升<sup>[24]</sup>。比如一键顺控，能减轻操作员的劳动强度。但是，为了能实现在统一的监控平台完成多种监控子系统的远程控制，花费大量人力物力制定规范，目前仍然难以推广<sup>[25]</sup>，核心问题是采用的远程控制方法试图嵌入到远程运行程序的逻辑进程。在新的语音互动架构下，利用前两节的编码方法，仅仅向远端程序发出执行命令，只要远端程序具备语音互动机制，可以解决这个难题，并且不仅是一键顺控，站端远程各种操作控制都可比较顺利实现。

操作员在控制系统主站选择某个站端图形进行浏览时，图形反馈模块自动向本地命令派发模块发送选择的站点信息，以便本地派发模块与当前被浏览站点的派发代理建立连接；操作员朗读图形的命令编码，派发代理转发给站端系统；站端执行相应操作，同时把执行的图形结果上传主站图形反馈，流程如图 10 所示。

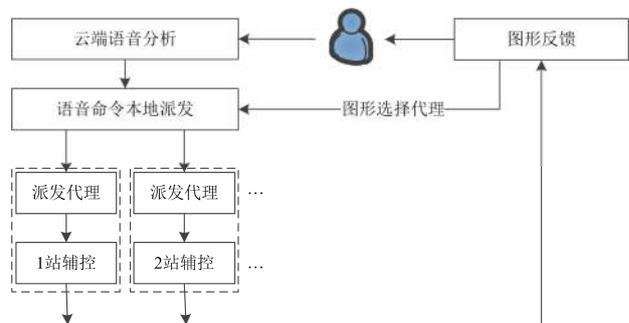


图 10 远程控制

Fig. 10 Remote control

目前上传图形技术和网络带宽都有成熟的技术<sup>[26]</sup>, 采用语音命令方式与图形分离的方式更安全, 控制更可靠更高效。

### 5 结语

本文没有针对当前研究热点, 而是属于计算机基础应用研究。利用当前语音解析技术, 对自动化人机互动模型给予改进, 然后提出一种简洁、易用的语音命令编码方法, 在新的互动模型中展开实现方案研究。最后, 从视窗系统文件对象操作、视窗命令执行、远程控制等方面进行应用论证。

语音互动方案为计算机系统提供一种新的操作方式, 满足人们对语音输入技术的渴望, 为计算机系统和操作人员远距离互动增添一种新的路径。由于水平有限, 本文的构思尚需从语言学、逻辑学等多方面对语音命令的系统设计进行广泛验证, 未来需要更深入全面的研究。

### 参考文献

[1] 马海峰, 孙利峰, 翟二宁, 等. 某自行装备车载语音交互系统设计[J]. 火炮发射与控制学报, 2019, 40(3): 61-65.  
 MA Haifeng, SUN Lifeng, ZHAI Erning, et al. The design of on-board voice interaction system for self-propelled equipment[J]. Journal of Gun Launch & Control, 2019, 40(3): 61-65.

[2] 齐保良, 王旭, 蔺玉璞, 等. 一种具有语音交互功能的停车诱导系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(6): 167-171.  
 QI Baoliang, WANG Xu, LIN Yupu, et al. Design of parking guidance information system with voice interactive function[J]. Computer Measurement & Control, 2019, 27(6): 167-171.

[3] 马鸿飞, 赵月娇, 刘珂, 等. 一种采用栈自动编码机的语音分类算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2017, 44(5): 13-17.  
 MA Hongfei, ZHAO Yuejiao, LIU Ke, et al. Algorithm of speech classification using stack autoencoder[J]. Journal of Xidian University, 2017, 44(5): 13-17.

[4] 曹晶晶, 许洁萍, 邵圣淇. 多噪音环境下的层级语音识别模型[J]. 计算机应用, 2018, 38(6): 1790-1794.  
 CAO Jingjing, XU Jieping, SHAO Shengqi. Hierarchical speech recognition model in multi-noise environment[J]. Journal of Computer Applications, 2018, 38(6): 1790-1794.

[5] 鄢发齐, 王春明, 窦建中, 等. 基于隐马尔可夫模型的电力调度语音识别研究[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2018, 51(10): 920-923.

YAN Faqi, WANG Chunming, DOU Jianzhong, et al. A study of speech recognition in power dispatching based on hidden Markov model[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2018, 51(10): 920-923.

[6] 彭育强, 张薇琳. 基于语音监控的车内防误锁装置设计[J]. 自动化仪表, 2018, 39(6): 95-98.  
 PENG Yuqiang, ZHANG Weilin. Design of the in-vehicle anti-locked by mistake device based on voice monitoring[J]. Process Automation Instrumentation, 2018, 39(6): 95-98.

[7] 宋吉峰, 周智成, 谢代钰. 语音合成技术在电力调度自动化系统中的应用[J]. 通信电源技术, 2019, 36(4): 196-197.  
 SONG Jifeng, ZHOU Zhicheng, XIE Daiyu. Application of speech synthesis technology in power dispatching automation system[J]. Telecom Power Technology, 2019, 36(4): 196-197.

[8] 裘愉涛, 周震宇, 杨剑友, 等. 继电保护远程运维技术研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(18): 17-24.  
 QIU Yutao, ZHOU Zhenyu, YANG Jianyou, et al. Research and application of remote operation and maintenance technology of relay protection[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(18): 17-24.

[9] ROHANI B. Power control for mobile radio systems using perceptual speech quality metrics[D]. University of Western Australia, 2007.

[10] HODGSON T, MAGRABI F, COIERA E. Evaluating the usability of speech recognition to create clinical documentation using a commercial electronic health record[J]. International Journal of Medical Informatics, 2018, 113: 38-42.

[11] WOODARD J, CUPPLES E. Selected military applications of automatic speech recognition technology[J]. Communications Magazine IEEE, 1984, 21(9): 35-41.

[12] SEN S, CHAKRABARTY S, TOSHNIWAL R, et al. Design of an intelligent voice controlled home automation system[J]. International Journal of Computer Applications, 2015, 121(15): 39-42.

[13] 王永, 王敏, 李敏. 管理信息系统中用户个性化界面配置研究[J]. 科技管理研究, 2012, 32(17): 220-224.  
 WANG Yong, WANG Min, LI Min. Research on configuration of custom UI in MIS[J]. Science and Technology Management Research, 2012, 32(17): 220-224.

[14] 陈哲怀, 郑文露, 游永彬, 等. 标签同步解码算法及其在语音识别中的应用[J]. 计算机学报, 2019, 42(7): 1511-1523.  
 CHEN Zhehuai, ZHENG Wenlu, YOU Yongbin, et al.

- Label synchronous decoding for speech recognition[J]. Chinese Journal of Computers, 2019, 42(7): 1511-1523.
- [15] 陈昊, 俞立凡. 基于系统运行状态的中文语音声光报警系统的开发[J]. 华电技术, 2019, 41(1): 69-71.  
CHEN Hao, YU Lifan. Development of Chinese voice and visual alarm based on system state in service[J]. Huadian Technology, 2019, 41(1): 69-71.
- [16] 李玉华. 基于隐马尔可夫模型的连续语音同步识别系统[J]. 现代电子技术, 2019, 42(11): 64-67, 71.  
LI Yuhua. Continuous speech synchronization recognition system based on hidden Markov model[J]. Modern Electronics Technique, 2019, 42(11): 64-67, 71.
- [17] 侯一民, 周慧琼, 王政一. 深度学习在语音识别中的研究进展综述[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(8): 2241-2246.  
HOU Yimin, ZHOU Huiqiong, WANG Zhengyi. Overview of speech recognition based on deep learning[J]. Application Research of Computers, 2017, 34(8): 2241-2246.
- [18] 侯一民, 李永平. 基于卷积神经网络的孤立词语音识别[J]. 计算机工程与设计, 2019, 40(6): 1751-1756.  
HOU Yinmin, LI Yongping. Speech recognition of isolated words based on convolution neural networks[J]. Computer Engineering and Design, 2019, 40(6): 1751-1756.
- [19] 胡青, 刘本永. 基于卷积神经网络的说话人识别算法[J]. 计算机应用, 2016, 36(增刊 1): 79-81, 200.  
HU Qing, LIU Benyong. Speaker recognition based on convolutional neural network[J]. Journal of Computer Applications, 2016, 36(S1): 79-81, 200.
- [20] JIANG S, HUA X. Construction site environment temperature monitoring system based on zigbee and virtual instrument[J]. Journal of Networks, 2013, 8(4): 963-970.
- [21] FISHTIK I, CALLAGHAN C A, DATTA R. Wiring diagrams for complex reaction networks[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2006, 45(19): 6468-6476.
- [22] 李伟, 辛耀中, 沈国辉, 等. 基于CIM/G的电网图形维护与共享方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 48-53.  
LI Wei, XIN Yaozhong, SHEN Guohui, et al. Scheme of power grid graphics maintenance and sharing based on CIM/G[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 48-53.
- [23] 林孝斌, 江浩侠, 胡金磊, 等. 面向变电站安全监控的视频智能终端布点优化[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(12): 146-152.  
LIN Xiaobin, JIANG Haoxia, HU Jinlei, et al. Layout optimization of video intelligent terminal for substation safety monitoring[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(12): 146-152.
- [24] 张巧霞, 王广民, 李江林, 等. 变电站远程运维平台设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(10): 165-173.  
ZHANG Qiaoxia, WANG Guangmin, LI Jianglin, et al. Design and implementation of substation remote operation and maintenance platform[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(10): 165-173.
- [25] 赵威, 孙绍辉, 曹勇. 远程信息通信设备运行环境监控解决方案研究[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(2): 69-73.  
ZHAO Wei, SUN Shaohui, CAO Yong. Research on operation environment monitoring solution for the remote information communication equipment[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018, 16(2): 69-73.
- [26] 刘家军, 杨瀚鹏, 刘悦, 等. 基于 4G 网络通信的接触网主回路电气节点过热在线监测系统[J]. 电网与清洁能源, 2018, 34(1): 1-7.  
LIU Jiajun, YANG Hanpeng, LIU Yue, et al. Research on monitoring device of grounding wire for catenary inspection based on 4G network communication[J]. Power System and Clean Energy, 2018, 34(1): 1-7.

收稿日期: 2019-08-19; 修回日期: 2019-09-28

作者简介:

张道杰(1970—), 男, 本科, 工程师, 从事电力系统自动化研究; E-mail: zdj6638@sina.com

张馨文(1998—), 女, 硕士研究生, 从事信息工程研究; E-mail: 1012162104@cugb.edu.cn

(编辑 张爱琴)