

# 基于特征选择的电网调度控制指令自动推送系统

孟超,王联智,谢敏,符艺超

(南方电网海南数字电网研究院有限公司,海南 海口 570100)

**摘要:**由于已有系统未能对电网调度控制指令推送过程进行评估,导致推送延时和能量损耗等增加。提出一种基于特征选择的电网调度控制指令自动推送系统,根据电网调度控制指令特性对控制指令自动推送过程进行多维度评估,通过特征选择方法对电网调度指令进行层级分类,再根据对不同类别的指令进行多维度分析,加入匹配节点传输功率,构建控制指令自动推送模型,分别在不同层级进行指令传输。在上述基础上,结合系统的需求,给出电网调度控制指令自动推送系统的设计方案,对系统的工作流程和任务模块进行详细分析和介绍。经实验测试证明,所设计系统能够有效降低推送延迟和能量损耗,同时丢包率和拥堵时间也相应减少。

**关键词:**特征选择;电网调度;控制指令;自动推送系统

**中图分类号:**TP393 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd24057

## Automatic Push System of Power Grid Dispatching Control Commands Based on Feature Selection

MENG Chao, WANG Lianzhi, XIE Min, FU Yichao

(Hainan Digital Grid Research Institute, China Southern Power Grid, Haikou 570100, Hainan, China)

**Abstract:** As the existing system fails to evaluate the process of pushing the power grid dispatch control instructions, the push delay and energy loss increase. A feature selection-based automatic push system for power grid dispatch control commands was proposed. According to the characteristics of power grid dispatch control commands, the automatic push process of control commands was evaluated in multiple dimensions. Hierarchical classification of power grid dispatching instructions by feature selection method. The instructions were analyzed in multiple dimensions, the transmission power of matching nodes were added, and the automatic push model of operating instructions was built, and the instructions were transmitted at different levels. On the basis of the above, combined with the requirements of the system, a design scheme for the automatic push system of power grid dispatching control commands was given, and the working process and task modules of the system were analyzed and introduced in detail. Experimental tests prove that the designed system can effectively reduce the push delay and energy loss, while the packet loss rate and congestion time are also reduced accordingly.

**Key words:** feature selection; power grid dispatching; operating instructions; automatic push system

随着我国经济的持续发展,电力领域管理自动化水平快速提升<sup>[1]</sup>,传统的变电系统已经无法满足当前社会的发展需求。国外学者提出未来的变电站将摆脱仅有的硬件保护和自动化系统,取而代之的是运行虚拟服务的软件定义控制系统<sup>[2]</sup>。经过互联网数字化时代的推进,数字化变电站成为了现阶段电网管理的关注焦点。最近几年以来,我国相继研究出了一些新型的变电设备。其中,判断变电设备的操作流程和步骤是否

正确,是现阶段电力调度工作人员的首要任务,尤其是在多站协同的变电操作中,如果电网调度控制指令推送错误将会导致停电事故发生,给国家和人民带来巨大的经济损失。为了确保电网调度控制指令自动推送的质量,满足生产生活中的供电需求,对电网调度指令提出了更高的要求。国内相关专家也给出了一些较好的研究成果。侯敏等人<sup>[3]</sup>设计了海洋观测数据推送系统,采用改进的消息队列遥测传输协议(message

**基金项目:**中国南方电网公司科技项目(ZBKJXM20180617)

**作者简介:**孟超(1988—),男,本科,工程师,主要研究方向为电网调度技术,Email:mcme1949@163.com

queuing telemetry transport, MQTT)对推送数据进行加密,设计消息队列管理模块,结合手机客户端的连接,实现实时数据的推送。但是该方法并未对消息控制指令进行评估,导致信息推送过程中容易产生多路径同时传输情况,产生信号干扰从而增加推送延迟时间;于毅等人<sup>[4]</sup>研究一种切削数据主动推送系统,设计信息通信模块,根据超文本传输协议(hyper text transfer protocol, HTTP)和MQTT协议,设计一旦出现相关信息就立即进行实时切削数据推送的系统。但是该方法算法相对复杂,系统运行中能量损耗较大,因此实用性不高。

针对现有方法的不足,本文提出一种基于特征选择的电网调度控制指令自动推送系统,对控制指令自动推送过程进行多维度评估,构建基于特征选择的电网调度控制指令自动推送模型,实现指令的自动推送。经实验测试证明,所设计系统能够快速准确地完成电网调度控制指令的自动推送,同时可以有效降低推送延迟和能量损耗,具有较好的应用性能。

## 1 基于特征选择的电网调度控制指令自动推送系统设计

### 1.1 硬件设计

在本文提出的基于特征选择的电网调度控制指令自动推送系统的硬件设计中,将主控芯片与拓展服务器作为系统运行的主要支撑。

**主控芯片:**系统采用STM(ST micro ecectics)作为设计系统的主控芯片,基于ARM(acorn RISC machine)内核,使得系统的数据处理能力得到提高。在设计系统运行时,时速可达84 MHz。同时,装载了高速集成的数据存储单元,可以适应256 KB数据的同时处理,扩展性较高,使系统的运行与数据处理能力具有一定程度的提升。

**拓展服务器:**系统采用IBM Fast T600型号的拓展服务器,是用于构建数据信息资源组的一种储存设备,可用于存储数据信息和相关数据文件,具有较好的性能。

### 1.2 软件设计

系统主要通过载波集中器和低电压力线载波和推送端进行通信,其中系统的采集终端主要采用485总线和用户的电表进行连接,进而得到不同类型的电力数据,图1给出电网调度控制指令自动推送系统的组成结构图。

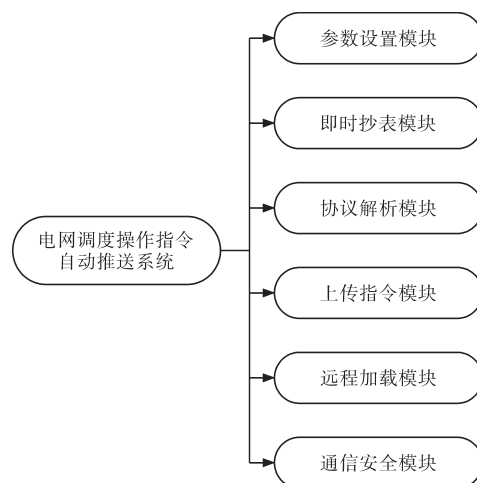


图1 电网调度控制指令自动推送系统

Fig.1 Automatic push system of power grid dispatching operation instructions

参数设置模块主要负责电力系统主站下的集中器参数设定,其中重点包含推送路径选择以及数据存储<sup>[5-6]</sup>等相关操作。

即时抄表模块主要负责执行电网下达的抄表指令,在得到数据后直接下达对应的控制指令,并且将其推送至主站。

协议解析模块负责对主站下达的数据帧进行协议解析,精准分析电网调度指令,同时对得到的控制指令进行协议封装后再进行推送。

上传指令模块将电网设定的控制指令及时推送到主站服务器,同时也可以设定对应的推送任务参数。

远程加载模块主要是为了对系统中一直处于运行状态的软件进行实时更新和维护<sup>[7]</sup>。实时更新用户请求,结合相关请求制定电力设备更新方案,确保系统的工作效率得到有效提升。

通信安全功能能够确保电网调度指令的隐私性,同时也能够安全进行推送。

### 1.3 构建基于特征选择的电网调度控制指令自动推送模型

#### 1.3.1 模型构建原理

基于特征选择的电网调度控制指令自动推送模型是针对电网调度指令进行特征选择,建立一个通用的电网调度指令特征选择的框架,针对不同指令进行分类,按照不同类别指令层级进行自动推送,在推送前还需进行多维评估,避免数据丢失、多路径同时推送产生拥堵及延时、噪声干扰等情况发生。电网调度指令特征选择的框架如图2所示。

电网调度控制指令主要通过5G信号进行推

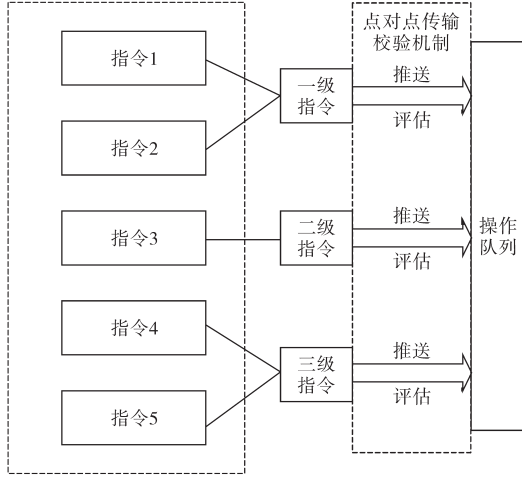


图2 电网调度指令特征选择的框架

Fig.2 Framework of power grid dispatching command feature selection

送<sup>[8-9]</sup>,同时还具有可移动性。采用移动组网模式完成拓扑可连通性的检测,网络建立完成后主要通过点对点传输校验机制进行自动推送。控制指令在进行首次推送的过程中,需要对指令推送情况进行裁决,当确定稳定推动后,才可以进行下一次的电网调度控制指令自动推送。假设在推送过程中出现抖动,会导致部分指令丢失或者指令停止,需要重新启动推送过程,方便数据为接收端所获取。

图3给出了电力系统网络节点的部署情况。

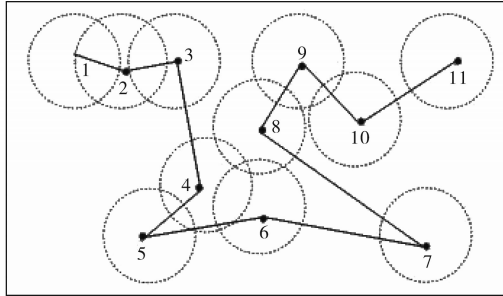


图3 电力系统网络节点部署

Fig.3 Power system network node deployment

在分布区域内,节点均采用随机分布的形式进行部署,当电力系统中的节点完成数据组网后以及数据推送流程,中继节点需要依次确定数据推动质量,同时判断是否继续进行电网调度指令推送<sup>[10-11]</sup>。

### 1.3.2 控制指令多维度评估

在推送过程中可能存在链路抖动以及能量限制等多方面不利的因素,使得电网调度控制指令在自动推送过程中发生故障,在故障时间内电网调度控制指令自动推送将处于停滞状态。为了确保电网调度控制指令的正常推送,分别从多

个不同的方面展开分析和研究,对控制指令自动推送过程进行多维度评估<sup>[12-13]</sup>。

1)由于电网发射调度指令的过程中需要通过无线方式进行信号预成型,在推送过程中相邻节点可能会存在路径抖动的情况,促使下一跳节点无法同时进行数据检验,同时还会出现数据报文丢失的情况。针对上述情况,需要针对相邻节点间的信号衰减损耗进行评估<sup>[14-15]</sup>,有效降低电网调度控制指令自动推送的指令问题。

电网调度控制指令在推送过程中可能会存在源信号和信道附加信号,通常情况下,信号分布需要满足以下的约束条件:

$$P(\Psi) = \frac{1}{\phi\sigma^2} \exp\left(-\frac{m^2}{2\phi\sigma^2}\right) \Psi^2 \quad (1)$$

式中: $P(\Psi)$ 为信号分布函数; $\phi$ 为随机数; $\sigma$ 为电力系统的源信号; $m$ 为信道附加信号的传输周期值; $\Psi$ 为电力系统信号的标准差。

当电网调度的分布序列满足式(1)的约束条件后,需要通过计算获取统计平均值 $E[P(\Psi)]$ ,如下式:

$$E[P(\Psi)] = \int \frac{1}{\phi\sigma^2} \exp\left(-\frac{m^2}{2\phi\sigma^2}\right) \Psi^2 d\Psi \quad (2)$$

当电网中的节点处于移动状态时,需要确保弱分布和高斯分布条件保持一致,即需要对式(2)进行化简,则有:

$$E[P(\Psi)] = \sigma^2 \quad (3)$$

由式(3)可知,当推送端的信号能量 $\sigma^2$ 满足高斯分布过程,则借助衰减过程对随机数 $\phi$ 进行收敛。所以,通过以上计算公式能够确定电网信号衰减损耗 $\Omega$ ,即

$$\Omega = N(0, \sigma^2) \quad (4)$$

式中: $N$ 为电力系统中电力设备总信号能量。

2)在电网调度控制指令推送端移动的过程中还会存在多路径同时推送的情况,由于存在多条可推送链路,会出现节点互相串扰以及信号显著衰减等情况,产生拥堵,增加推送延时,降低工作效率。设定推送端数据推送初始化过程信号原始功率为 $P_0$ ,下一跳节点接收功率为 $P_{\text{nest}}$ ,则链路传输损耗 $\Omega_{\text{get}}$ 可以通过下式获取:

$$\Omega_{\text{get}} = \sum_{i=1} \frac{P_0}{P_{\text{nest}}(i)} \quad (5)$$

式中: $i$ 为链路按跳获取下一跳的节点。

通过网络任意节点功率代入式(5)中,即可得到当前时间段的链路传输损耗。在实际应用

的过程中,可以把链路推送进行分贝化处理,即对式(5)进行变形,具体的表达式如下:

$$[\Omega_{\text{get}}] \Delta P = [\ln \sum_{i=1}^{P_0} \frac{P_0}{P_{\text{nest}}(i)}] \Delta P \quad (6)$$

式中: $\Delta P$ 为增益功率。

由于电网中的节点全部为制式节点,所以可以将当前网络中接收功率最低节点对应的功率设定为 $P_{\text{nest}}$ 的最小值,同时设定电网中最大跳数为 $k$ ,则式(6)可以转换为以下的形式:

$$[\Omega_{\text{get}}] \Delta P = [\ln \sum_{i=1}^k \frac{kP_0}{P_{\text{nest}}} ] \Delta P \quad (7)$$

3)噪声干扰衰落损耗主要是由推送信道中噪声干扰形成,对功率损耗具有全局性影响,增加了能量消耗,同时还存在大量的制约性因素。结合莱斯噪声分布特性能够获取最大阈值 $\omega$ 对应的分布函数需要满足的约束条件:

$$G(\omega) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\phi}} \exp(-\frac{\omega^2}{2\phi\sigma^2}) \quad (8)$$

对式(8)中的莱斯噪声功率进行标准映射处理和归一化处理,进而能够得到:

$$G(\omega) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\phi}} \exp(-\frac{\omega^2}{2\phi}) \quad (9)$$

考虑到电网调度指令具有按照顺序推送的特性,可以通过阈值分布的方式进行调度指令自动推送,则推送链路中第 $n$ 个节点的接收信噪比 $\chi_n$ 如下式所示:

$$\chi_n = \frac{P_{\text{nest}}(n)}{\max G(n)} \quad (10)$$

式中: $P_{\text{nest}}(n)$ 为第 $n$ 个节点的接收功率; $\max G(n)$ 为噪声分布函数的最大值。

通过上述分析,实现对控制指令自动推送过程进行多维度评估,在评估结果中选择几个比较典型的指标,采用匹配节点传输功率,完成基于特征选择的电网调度控制指令自动推送模型的构建,实现指令自动推送。

## 2 实例验证

为了验证所提基于特征选择的电网调度控制指令自动推送系统的有效性,将本文设计系统与文献[3]和文献[4]提出的系统进行对比实验。选择某电网企业2020年第三季度电网数据进行实验,对三种不同系统的自动推送延时、丢包率、能量消耗和拥堵时间进行对比,以此验证本文系统的性能。

### 2.1 电网调度控制指令自动推送延时对比

将电网调度控制指令自动推送延时作为测试指标,使用同一数据进行5次实验测试,对比三种不同系统的推送延时,具体实验结果如图4所示。

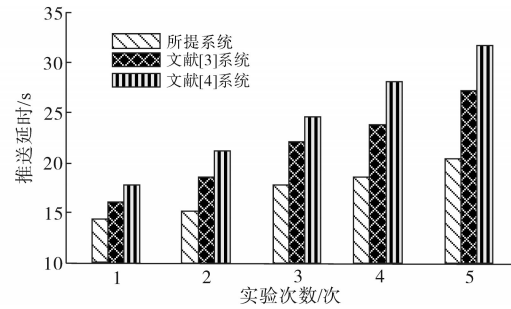


图4 不同系统的推送延时测试结果

Fig.4 Push delay test results of different systems

从图4可知,当实验次数逐渐增加,各个系统的推送延时也开始增加。文献[3]系统延时最高为27 s,文献[4]系统延时最高为32 s,和这两种系统相比,本文设计系统的推送延时最高为20 s,明显低于另外两种系统,有效验证了所提系统的优越性。这是因为所设计系统在控制指令自动推送过程中,对其进行多维度评估,多路径同时推送,减少了推送延时。

### 2.2 电网调度控制指令自动推送丢包率对比

在电网调度指令进行自动推送的过程中,会存在丢失的情况,实验主要采用丢包率衡量不同系统电网调度指令的丢失概率。使用同一数据进行5次实验测试,得到详细的实验结果如图5所示。

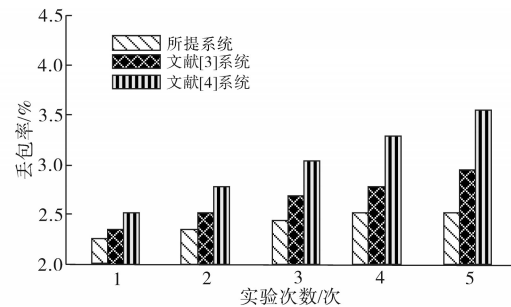


图5 不同系统的丢包率测试结果

Fig.5 Test results of packet loss rate of different systems

分析图5中的实验数据可知,文献[3]系统丢包率最高为3.0%,文献[4]系统丢包率最高为3.7%,本文系统的丢包率最高为2.5%,明显要比另外两种系统低,主要是因为所提系统在设计的过程中,针对控制指令自动推送过程进行多维度评估,结合评估结果选择对应的指标,这样能够全面增强系统的整体性能,有效降低丢包率。

### 2.3 电网调度控制指令自动推送能量消耗对比

为了进一步验证所设计系统的优越性,实验对比不同系统进行指令推送过程中的能量消耗情况,具体实验结果如图6所示。

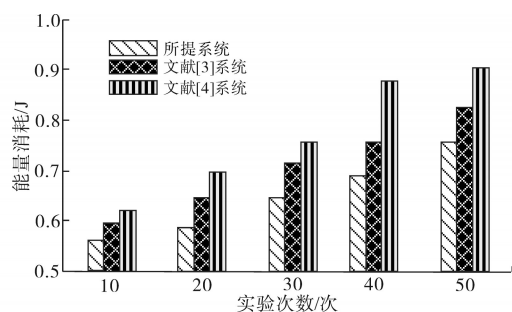


图6 不同系统的能量消耗测试结果

Fig.6 Energy consumption test results of different systems

由图6中的实验数据可知,文献[3]系统的能量消耗最高为0.82 J,文献[4]系统的能量消耗最高为0.9 J,所提系统的能量消耗在三种系统中为最低,最高能量消耗为0.72 J,充分验证了所提系统可以有效降低能量消耗的优越性。这是因为本文系统在进行多维评估时,降低了噪声干扰,对噪声功率进行标准映射处理和归一化处理,降低了能量消耗。

### 2.4 电网调度控制指令自动推送拥堵时间对比

实验对比三种不同系统在电网调度指令在推送过程中的拥堵时间。选择10条调度指令作为测试对象,将其编号为1~10,使用三种系统推送10条调度指令,以此对比三种不同系统在电网调度指令在推送过程中的拥堵时间,测试结果如表1所示。

表1 不同系统的推送拥堵时间测试结果

Tab.1 Push congestion time test results of different systems

| 测试对象<br>编号 | 推送拥堵时间/s |         |         |
|------------|----------|---------|---------|
|            | 所提系统     | 文献[3]系统 | 文献[4]系统 |
| 1          | 158      | 167     | 164     |
| 2          | 150      | 157     | 153     |
| 3          | 132      | 140     | 138     |
| 4          | 156      | 174     | 170     |
| 5          | 140      | 158     | 152     |
| 6          | 122      | 130     | 128     |
| 7          | 143      | 156     | 150     |
| 8          | 168      | 184     | 178     |
| 9          | 180      | 197     | 190     |
| 10         | 125      | 153     | 142     |

分析表1中的实验数据可知,文献[3]系统在电网指令自动推送过程中最高拥堵时间为197 s,文献[4]系统在电网指令自动推送过程中最高拥

堵时间为190 s,所提系统在电网指令自动推送过程中拥堵时间最高为180 s,明显低于另外两种系统,充分验证了所提系统的优越性。这是因为本文所设计的系统在对控制指令进行自动推送时,通过特征选择进行多维评估,避免了多路径同时推送而产生的拥堵,所以本文系统推送时的拥堵时间较低。

## 3 结论

针对传统系统存在的不足,提出一种基于特征选择的电网调度控制指令自动推送系统。根据电网调度控制指令的特征,对控制指令自动推送过程进行多维度评估。通过实验测试,能够证明本文提出系统能够有效降低能量消耗和推送拥堵时间,同时还能够减少丢包率和推送延时,可广泛应用于不同的研究领域中。

但是在电网指令自动推送过程中,本文系统的最高拥堵时间为180 s,虽然高于现有方法的时间,但是在此部分还有进步的空间。在接下来的研究中,需着重对指令推送拥堵时间进行研究,以此进一步提高设计系统的使用性能。

### 参考文献

- [1] 王子强,李家璐,陈静鹏,等. 基于移动 Agent 的电力调度管理系统设计与研究[J]. 电子器件, 2020, 43(2): 255-260.  
WANG Ziqiang, LI Jialu, CHEN Jingpeng, et al. Design and research of power dispatching management system based on mobile agent[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2020, 43(2): 255-260.
- [2] HUNT R, FLYNN B, SMITH T. The substation of the future: moving toward a digital solution[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2019, 17(4): 47-55.
- [3] 侯敏,刘倩,杨华勇,等. 基于 MQTT 协议的海洋观测数据推送系统[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(20): 227-231.  
HOU Min, LIU Qian, YANG Huayong, et al. Data push system of marine observation based on MQTT protocol[J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(20): 227-231.
- [4] 于毅,黄传真,牛佳慧,等. 基于消息队列遥测传输协议的切割数据主动推送系统设计[J]. 工具技术, 2019, 53(5): 46-50.  
YU Yi, HUANG Chuazhen, NIU Jiahui, et al. Design of active push system for cutting data based on message queue telemetry transmission protocol[J]. Tool Engineering, 2019, 53(5): 46-50.
- [5] 陈涛,王东升,王政军,等. 一种基于压缩感知的数字图书馆数据存储方法研究[J]. 图书馆杂志, 2019, 38(9): 4-11.  
CHEN Tao, WANG Dongsheng, WANG Zhengjun, et al. An efficient data storage method in digital library based on compressed sensing[J]. Library Journal, 2019, 38(9): 4-11.
- [6] 刘雪娇,叶薇,蒋经纬,等. 混合云模式下数据安全存储方案