

基于 CNN 的电气继电保护设备自动报警系统

翟亚州¹, 刘燕东², 苗堃¹, 刘旭东¹, 李沛东¹

(1. 国网河南省电力公司济源供电公司, 河南 济源 459000;

2. 国网河南省电力公司洛阳供电公司, 河南 洛阳 471000)

摘要: 电气继电保护设备自动报警系统无法快速察觉继电保护设备定值的变化情况, 影响自动报警效果, 对此, 提出基于 CNN 的电气继电保护设备自动报警系统。设计电气继电保护设备自动报警系统, 该系统内主要包含底层平台、基础层、功能层、硬件层与应用层五部分。基础层存储继电保护设备的运行信息以及定值信息; 功能层利用生成对抗网络, 根据基础层的继电保护设备信息, 生成继电保护设备运行状态信息样本; 硬件层利用嵌入式硬件平台将在线报警信息传输至应用层, 并通过控制报警声音驱动发出警报。实验结果表明, 所提系统可清晰区分四个继电保护设备运行状态信息, 可有效完成继电保护设备定值校核, 并根据校核结果进行自动报警。

关键词: 卷积神经网络; 继电保护设备; 自动报警系统; 对抗网络; 运行方式; 定值校核

中图分类号: TP277 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)03-0056-05

Automatic Alarm System of Electrical Relay Protection Equipment Based on CNN

ZHAI Ya-zhou¹, LIU Yan-dong², MIAO Kun¹, LIU Xu-dong¹, LI Pei-dong¹

(1. Jiyuan Power Supply Company of State Grid Henan Electric Power Company, Jiyuan 459000 China;

2. Luoyang Power Supply Company of State Grid Henan Electric Power Company, Luoyang 471000 China)

Abstract: The automatic alarm system of electrical relay protection equipment cannot quickly detect the change of the setting value of the relay protection equipment, which affects the automatic alarm effect. Therefore, an automatic alarm system of electrical relay protection equipment based on CNN is proposed. The automatic alarm system for electrical relay protection equipment is designed. The system mainly includes five parts, the bottom platform, the foundation layer, the function layer, the hardware layer and the application layer. The basic layer stores the operation information and setting information of relay protection equipment. The function layer uses the generated antagonism network to generate the operation status information sample of relay protection equipment according to the information of relay protection equipment in the basic layer. The hardware layer uses the embedded hardware platform to transmit the online alarm information to the application layer, and sends out the alarm by controlling the alarm sound drive. The experimental results show that the system can clearly distinguish the operation status information of four relay protection equipment, effectively complete the setting check of relay protection equipment, and automatically alarm according to the check results.

Keywords: convolution neural network; relay protection equipment; automatic alarm system; counter network; operation mode; constant value checking

0 引言

继电保护设备是否可以正确动作, 将直接影响电网运行安全^[1-2]。为确保其能够正确动作, 需设计合理的继电保护设备自动报警系统^[3-4]。相关研究如下: 文献[5]研究基于 GAN 模型与随机森林算法的保护系统智能状态评价与预警, 建立继电保护设备状态指标集, 利用随机森林, 构造继电保护设备评价模型, 获取评价结果, 利用继

电保护设备评价结果计算其健康指数, 对比分析健康指数与设置阈值。健康指数低于设置阈值, 则发出报警信息, 该系统能够精准评价继电保护设备状态, 完成自动报警, 为制定继电保护设备检修计划提供参考。文献[6]研究基于方式变化影响域辨识及故障量排序的继电保护定值在线预警, 根据继电保护定值, 求解与其有关的故障量变化率, 按照故障量变化率优化继电保护定值在线分析效率, 当保护定值未通过校核时, 则发出报警信息, 该系统可有效对存在保护定值隐患的继电保护设备进行自动报警。但这两个系统均无法快速跟踪继电保护设备在线

*基金项目: 国网河南省电力公司科技项目 (5217D0220001)

收稿日期: 2023-09-28

运行方式的变化,即无法察觉继电保护设备定值变化,影响自动报警效果。

嵌入式处理器具备功能强大、硬件资源丰富、开发环境先进等优势^[7],可有效解决自动报警系统开发环境不完善与结构随意性强等问题。应用嵌入式处理器后,处理器指令与数据能够并行处理,有效提升自动报警系统的处理效率。为此,设计基于嵌入式的电气继电保护设备自动报警系统,实现自动报警,确保电网稳定运行。

1 电气继电保护设备自动报警系统

为确保电气继电保护设备安装运行,提升电力系统运行稳定性,设计电气继电保护设备自动报警系统,该系统内主要包含底层平台、基础层、功能层、硬件层与应用层五部分,具体结构如图1所示。

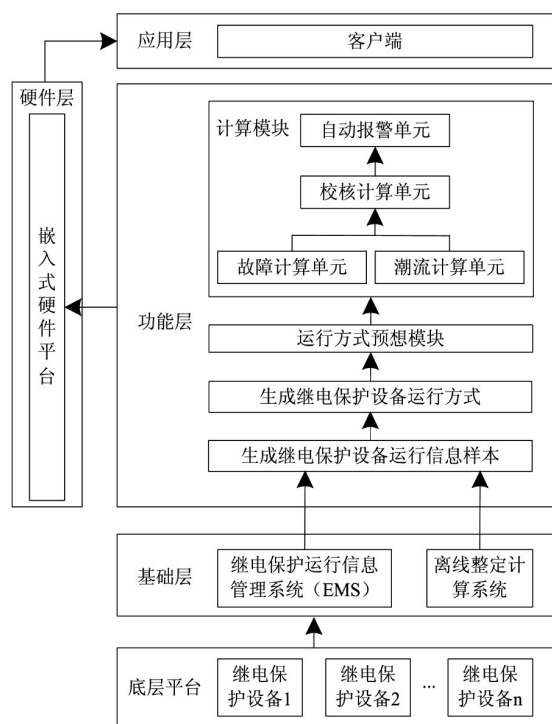


图1 电气继电保护设备自动报警系统结构图

基础层通过继电保护运行信息管理系统EMS与离线整定计算系统,存储底层平台内全部继电保护设备的运行信息,以及继电保护设备定值信息^[8]。

功能层中运行信息样本生成模块,利用生成对抗网络,根据基础层内的电气继电保护设备运行信息与定值信息,生成电气继电保护设备运行状态信息样本,解决继电保护设备运行状态信息不平衡问题;运行方式生成模块依据生成的信息样本,生成不同类型的运行方式;运行方式预想模块按照用户预想规则,生成预想运行方式;在预想运行方式下,计算模块负责计算继电保护设备的故障量与潮流,利用校核计算单元,按照故障量与潮流计算结果,对继电保护设备保护定值进行在线校核;对未通过

在线校核的继电保护设备进行在线报警^[9]。

将功能层获取的继电保护设备在线报警信息,输入至硬件层内,硬件层利用嵌入式硬件平台,以短信形式,发送报警信息至应用层,并控制报警声音驱动,发出警报。

应用层利用客户端为用户呈现电气继电保护设备自动报警信息,呈现形式包含图、表、曲线与文本等多种形式。

1.1 基于嵌入式硬件平台的继电保护设备报警信息控制

硬件层利用嵌入式硬件平台,将功能层获取的电气继电保护设备在线报警信息,传输至应用层,并利用嵌入式硬件平台,控制报警声音驱动,发出警报,嵌入式硬件平台的结构如图2所示。

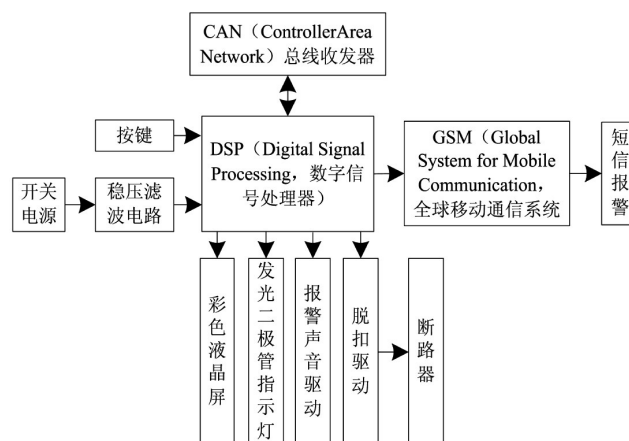


图2 嵌入式硬件平台结构图

嵌入式硬件平台采用的处理器为DSP,利用DSP控制CAN总线收发器,将功能层内的电气继电保护设备在线报警信息,传输至DSP内,DSP将收到的在线报警信息进行整理后,控制报警声音驱动发出警报,并利用全球移动通信系统GSM将在线报警信息,以短信形式,发送至应用层的客户端内。当指示灯为红色时,说明嵌入式硬件平台出现故障,当指示灯为绿色时,说明嵌入式硬件平台无故障;通过彩色液晶屏实时呈现嵌入式硬件平台的工作状态^[10]。

嵌入式硬件平台内DSP处理器的结构如图3所示。

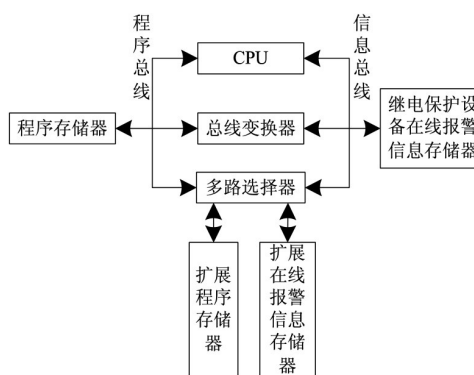


图3 DSP处理器结构图

DSP结构的特点是将程序与信息存储分离开来,令其形成两个彼此独立的存储器,使这两个存储器可独立编码,彼此间互不影响。在DSP内安装两条总线,用于加快信息吞吐率,提高信息处理效率^[11]。

1.2 电气继电保护设备运行信息样本生成模块

基础层利用EMS与离线整定计算系统存储的继电保护设备运行信息以及定值信息,存在信息不平衡问题,为解决这一问题,功能层内运行信息样本生成模块,利用生成对抗网络(Generative Adversarial Network, GAN),根据基础层存储的电气继电保护设备运行信息以及定值信息,生成继电保护设备运行状态信息样本,为后续继电保护设备自动报警提供平衡的信息样本,提升自动报警效果^[12]。利用GAN生成继电保护设备运行状态信息样本,即生成模型G与判别模型H的训练与优化过程。通过G学习真实继电保护设备运行状态信息样本的分布情况,生成与实际样本非常接近的假样本,通过H精准区分输入样本是真实样本还是假样本。

判别模型H的目的是令 $H(x)$ 接近1, $H(G(s))$ 接近0, $V(H,G)$ 不断变大,即计算 $\max H$,从而精准判断输入样本的真实性。G的目的是生成更接近真实样本的继电保护设备运行状态信息样本,即令 $H(G(s))$ 无限接近1,这个时候 $V(H,G)$ 不断变小,就是计算 $\min G$ 。

GAN生成继电保护设备运行状态信息样本的目标函数 $V(H,G)$ 如下:

$$\min_G \max_H V(H,G) = \lambda E_{x \sim Q_{data}(x)} [\log H(x)] + \lambda E_{s \sim Q_s(s)} [\log(1 - H(G(s)))] \quad (1)$$

式中,真实继电保护设备运行状态信息样本是 x ;输入G的随机噪声是 s ; x 的分布是 $Q_{data}(x)$;利用H判断输入样本是真实样本或 $G(s)$ 的概率是 $H(x)$ 、 $H(G(s))$;生成继电保护设备运行状态信息样本的分布是 $Q_s(s)$;梯度惩罚项是 E ;在G内,输入 s 后的样本是 $G(s)$;惩罚系数是 λ 。

GAN对离散型继电保护设备运行状态信息的学习效果较差,导致继电保护设备运行状态信息样本生成质量低、收敛速度慢。为解决这一问题,在GAN内引入卷积神经网络(Convolutional Neural Networks, CNN),在G内引入CNN,实施无监督训练,依据CNN的特征提取能力,加强GAN的学习能力,提升GAN训练时的稳定性,以及生成继电保护设备运行状态信息样本的质量。

G内包含一个输入层、两个微步幅卷积层、一个输出层,其中,仅有输出层使用Tanh激活函数,其余层均采用ReLU激活函数,公式如下:

$$\begin{aligned} \text{Tanh}(x) &= \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \\ \text{ReLU}(x) &= \begin{cases} x, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

式中,指数函数是 e 。

判别模型H内包含一个输入层、两个卷积层、一个输出层,内全部网络层都以LeakyReLU函数为激活函数,公式如下:

$$\text{Leaky ReLU}(x) = \begin{cases} x, & x > 0 \\ 0.2x, & x \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

判别模型H的输出结果是一维向量,用于描绘输入继电保护设备运行状态信息样本属于真实样本的概率,以概率较高对应的样本为生成的继电保护设备运行状态信息样本。

1.3 电气继电保护设备自动报警方法

功能层内计算模块,依据方式变化影响域辨识及故障量排序原理,进行电气继电保护设备自动报警。

功能层内运行方式预想模块,依据 $N-k$ 轮断规则,结合生成的信息样本,生成继电保护设备的预想运行方式,设置线路数量是 N ,正整数是 $k \geq 2$ 。依据用户指定需要重点考虑的 $N-k$ 个故障方式,生成 $N-k$ 个继电保护设备的预想运行方式。

功能层内计算模块中的校核计算单元,通过定值比较法的选择性校核完成继电保护设备定值校核,具体步骤如下:

步骤1:确定继电保护设备配合保护与待保护最近的两段时间,记作第 $M-1$ 段与第 M 段;

步骤2:求解继电保护设备 R_1 保护段和配合继电保护设备 R_2 的 $M-1$ 段选择性保护的临界定值 A' ,令可靠系数是 U ; A' 的公式如下:

$$A' = UA_L + UV_+ V_0 A_{R_2}^M \quad (4)$$

式中,正序阻抗是 A_L ;正序、零序助增系数较小值是 V_+ 、 V_0 ; R_2 的 M 段定值是 $A_{R_2}^M$;

步骤3:令继电保护设备 R_1 保护段和配合继电保护设备 R_2 的 $M-1$ 段选择性保护的**实际保护定值是 A ,展开选择性校核判断,如果 $A' > A$,那么符合选择性定值校核需求,反之,不符合选择性定值校核需求,对该继电保护设备进行自动报警处理。

实际应用中,电网线路开断后,会影响继电保护设备的保护定值,但影响幅度较小,同时开断元件的距离越远,线路开断对继电保护设备的保护定值影响越小,受开断元件影响的区域叫作影响域。继电保护设备在指定预想方式运行时,对继电保护设备展开故障计算,获取该预想运行方式对应的继电保护设备故障量,依据故障量获取运行方式变化时的影响域。受元件开断影响最大的是与其邻近继电保护设备配合的最小正序分支系数故障量,即以不同预想运行方式对应的继电保护设备故障量为影响域的辨识指标。

为缩短继电保护设备自动报警的计算时间,可通过降序排列故障量的方式,优化自动报警流程,即仅对故障量较大预想运行方式下的继电保护设备进行定值校核,继电保护设备自动报警的具体步骤如下:

步骤1:依据 $N-k$ 轮断规则,结合生成的信息样本,生成一个继电保护设备预想运行方式,同时展开故障计算,按照故障量确定影响域;

步骤2:对影响域展开潮流计算;

步骤3:依据 $N-k$ 轮断规则,结合生成的信息样本,再次生成一个继电保护设备的预想运行方式,同时展开故障计算与潮流计算,以全部预想运行方式完成分析为止,获取不同预想运行方式对应的继电保护设备故障量;

步骤4:随机选择一个继电保护设备,降序排列不同预想运行方式对应的继电保护设备故障量,选取最大故障量对应的预想运行方式,对继电保护设备展开定值校核,如果 $A' > A$,那么符合选择性定值校核需求,反之,不符合选择性校核需求,发出报警信息,完成继电保护设备自动报警。

2 实验分析

以某区域局部电网为实验对象,在该区域局部电网内应用本文系统,验证本系统的电气继电保护设备自动报警效果。该区域局部电网的拓扑结构如图4所示。

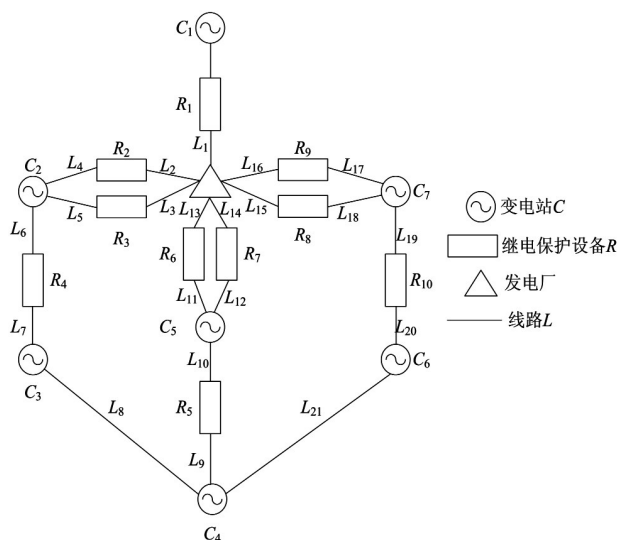


图4 局部电网拓扑结构图

该区域局部电网拓扑结构内共包含7个变电站,10个继电保护设备,1个发电厂,21条线路,每个继电保护设备的三段保护定值如表1所示。

利用本系统在EMS与离线整定计算系统内,根据继电保护设备运行状态信息,生成继电保护设备运行状态信息样本,以 R_1 至 R_4 的前四个继电保护设备为例,利用本系统生成的这四个继电保护设备运行状态信息样本分布

情况如图5所示。

表1 继电保护设备三段保护定值

继电保护设备	I段保护定值(Ω/s)	II段保护定值(Ω/s)	III段保护定值(Ω/s)
R1	32.47/0	66.11/1.5	76.24/3.6
R2	5.95/0	28.16/1.2	29.94/3.5
R3	5.25/0	26.43/1.2	27.97/3.4
R4	2.49/0	9.68/1.2	9.21/3.4
R5	2.45/0	9.65/1.2	9.16/3.4
R6	15.37/0	33.28/1.2	41.85/3.2
R7	18.43/0	35.38/1.0	45.95/3.2
R8	16.41/0	32.24/1.0	39.59/3.2
R9	24.29/0	40.02/0.9	47.38/3.1
R10	28.21/0	43.16/0.9	43.73/3.1

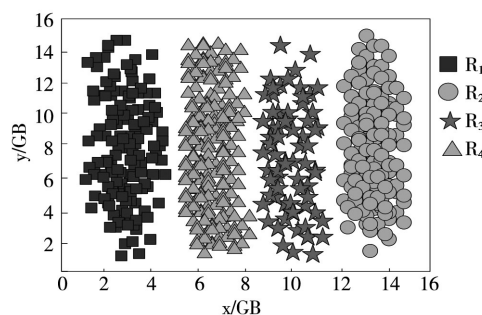


图5 生成的继电保护设备运行状态信息样本分布情况

分析图5可知,本系统可有效根据继电保护设备运行状态信息,生成继电保护设备运行状态信息样本,且生成的四个继电保护设备运行状态信息间,无混淆情况,可清晰区分四个继电保护设备运行状态信息,为后续继电保护设备自动预警提供更为便利的数据支持。实验证明本系统可有效生成继电保护设备运行状态信息样本。

以继电保护设备 R_4 为例,利用本系统为 R_4 生成9个预想运行方式,并计算不同预想运行方式时的故障量,不同预想运行方式时的故障量如表2所示。

表2 不同预想方式时故障量

编号	预想运行方式	故障量/ Ω
1	L_7 挂检、 C_2 主变停	2.476
2	L_7 停	2.47
3	L_7 挂检	2.464
4	L_7 挂检、 C_3 主变停	2.424
5	L_6 停	1.994
6	L_7 停	0.954
7	L_6 挂检、 L_7 挂检	0.951
8	C_2 主变停	0.943
9	C_3 主变停	0.722

根据表2可知,本系统可有效为继电保护设备生成不同预想运行方式,同时计算不同预想运行方式时,继电保护设备的故障量,按照故障量的降序排序结果,继电保护设备 R_4 的 L_7 挂检、 C_2 主变停的预想运行方式对应的故障

(下转第65页)