DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)04-0084-05.

基于改进关联规则和知识图谱的电力物资检测系统设计

刘星廷[1]，宁 克[2]，侯 滨[2]，王海旗[1]，王欣伟[1]
（1.国网山西省电力公司电力科学研究院，山西 太原 030000；
2.国网山西省电力公司物资分公司，山西 太原 030021）

摘 要：电力物资量较大且类型复杂，用户无法及时查询电力物资数量及相关属性，难以做到电力物资精准管理，为此设计基于改进关联规则和知识图谱的电力物资检测系统。引入知识图谱设计电力物资检测系统硬件架构，该架构主要由单据管理、物资寿命周期管理、物资查询、用户管理、系统维护、数据管理等模块组成，以保证系统安全稳定运行。软件部分利用改进关联规则完成电力物资数据挖掘，结合挖掘结果实现电力物资检测。实验结果表明，所设计系统能够最大程度降低电力物资数据挖掘偏差，电力物资检测精度高，可靠性强。

关键词：改进关联规则；知识图谱；电力物资检测系统；数据挖掘
中图分类号：TP391.3 文献标识码：A 文章编号：1003-7241(2025)04-0084-05

Design of Power Material Detection System Based on Improved Association Rules and Knowledge Atlas

LIU Xing-ting[1], NING Ke[2], HOU Bin[2], WANG Hai-qi[1], WANG Xin-wei[1]
(1. State Grid Shanxi Electric Power Research Institute, Taiyuan 030000 China;
2. Materials Branch of State Grid Shanxi Electric Power Company, Taiyuan 030021 China)

Abstract: Due to the large quantity and complex types of electric power materials, users cannot timely query the quantity and related attributes of electric power materials, and it is difficult to achieve accurate management of electric power materials. Therefore, an electric power materials detection system based on improved association rules and knowledge maps is designed. The knowledge map is introduced to design the hardware architecture of the power material detection system. The architecture is mainly composed of document management, material life cycle management, material query, user management, system maintenance, data management and other modules to ensure the safe and stable operation of the system. In the software part, the improved association rules are used to complete the data mining of electric power materials, and the mining results are combined to achieve the detection of electric power materials. The experimental results show that the designed system can reduce the deviation of power material data mining to the greatest extent, and the detection accuracy of power material is high and the reliability is strong.

Keywords: improve association rules; knowledge map; power material detection system; data mining

0 引言

随着电力需求的不断提升，水力发电以及风力发电基站数量均在不断增加，与此同时电力信息的传输、采集以及查询等工作量呈直线上升。在电力企业中，电力企业物资管理[1]的效率直接影响到电力企业是否能够稳定生产以及可持续发展等。但目前大多关于电力数据的管理系统不太完善，无法及时获取所需电力物资属性，时常出现物资数据错误等问题。现有的电力物资管理手段通常是手工记账方法，这种方法的数据查询时间过长，浪费人力的同时也不能保证数据管理质量，为此在电力物资管理过程中可引入电力物资检测系统，该系统可以对电力仓库的物资进行系统且科学地检测，不仅可以实现电力数据高质量管理，也可以实时感知电力物资属性变化[2]。

国外非常重视电力物资检测，大量国外电力专家研究发现，根据电力物资检测结果能设计不同的电力故障维修等方案，是电力稳定发展的基础，因此结合新技术设计了物资检测系统，保证物资检测质量与效率。国内对于该研究课题也进行了深入研究，例如贾音[3]等人首先对电力物资检测系统的整体架构进行设计，明确设计原则以及目标等，保证系统符合实时检测、高质量管理等要求，同时开发出与其相配套的软件，通过数据库和数据分类、挖掘算法完成电力物资的动态管理以及采购等，达到电力物资精准检测的目标。王子强[4]等人在移动Agent的支持下构建电力资源管理模型，设计出电力物资检测

*基金项目：国网山西省电力公司科技项目（B9QD-300009601-00001）
收稿日期：2023-01-03

系统的整体架构，并详细描述出各个模块的功能，同时对部分关键软件技术进行设计，即数据清洗以及存储功能等，以此实现电力物资检测。

以上两种系统在设计过程中没有对电力物资间关联规则进行深入分析，检测结果和实际存在较大偏差。为了解决以上问题，设计基于改进关联规则和知识图谱的电力物资检测系统。

1 电力物资检测系统硬件设计

现有的电力物资系统因为牵扯多个电力部门，因此使用过程十分麻烦，这会大大降低检测效率与质量，所以在设计电力物资检测系统过程中要解决以下几点问题：

(1) 保证系统各个模块之间是相互独立的，并加强物资系统与生产调度等模型之间的关联[5]。

(2) 同一数据不需要二次输入，实现数据的实时共享。

知识图谱可以从海量电力物资数据中，获取用户或管理者所需的带有潜在价值以及隐含的知识和规则，这些数据之间存在特定的关系，可反映出具有价值的知识信息，知识图谱的数据挖掘通常使用可视化程序进行处理即可，根据知识图谱对电力物资检测系统进行设计，可以保证各个模块是相互独立的且数据间具有紧密联系。结合知识图谱构建电力物资检测系统硬件，系统硬件架构图如图1所示。

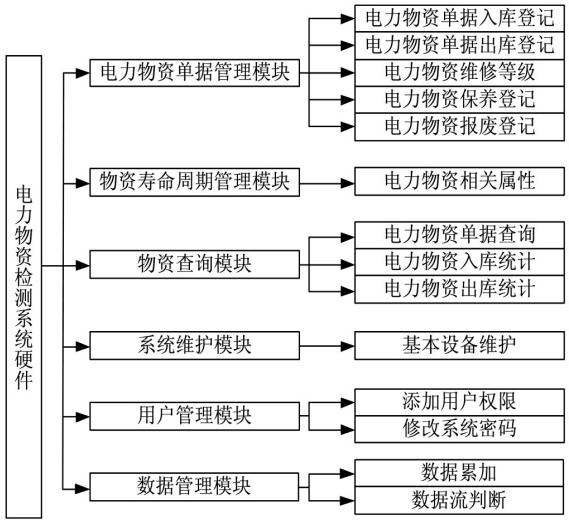


图1 电力物资检测系统硬件架构

下面对由知识图谱构建的图1进行详细介绍，检测系统硬件共分为六大模块，分别是单据管理、物资寿命周期管理、物资查询、系统维护、用户管理模块以及数据管理模块，每个模块的具体功能如下所示。

(1) 单据管理模块

将电力资源所需的物资单据登记入库，具体内容包括物资库单、电力设备维修单、设备保养以及设备报废单。此模块对所有物资进行编码处理，编码是用于日后的物资出库、维修以及保养等的唯一出库凭证，用户可以根据相应的编码准确提取电力物资，同时快速查询库存情况，实现电力物资的精确管理。

(2) 物资寿命周期管理模块

此模块的主要功能就是快速查询出目前电力资源仓库物资的预计报废时间，方便用户和管理者快速查询到物资有效期相关信息。

(3) 物资查询模块

此模块的主要功能是用户和管理者利用物资的对应编号在此模块中进行资料查询。该模块具有GredView以及数据绑定功能，可以详细记录和更新电力物资出入库情况。不仅如此，还可以根据特定条件查询所需数据，可精确掌控电力物资的数量。此模块在查询相关数据时，运用改进关联规则算法[6]可详细挖掘出所需数据，保证数据的完整性。

(4) 用户管理模块

此模块能够授予系统管理员权限，只有管理员可以添加管理员或是赋予用户进入系统的权限。用户的权限仅是可以随意更改自己账号的密码以及进入系统查询电力物资相关数据，不可随意更改系统内数据。

(5) 系统维护模块

此模块可以更改和删除系统内所有数据，该功能仅仅针对管理员的，管理员会实时对数据进行更改，保证数据的真实性和有效性。但是需要注意的一点是，在修改任何数据前都要对电力物资大类数据进行修改，否则无法对其中的小细节进行任何修改。

(6) 数据管理模块

电力物资系统的重点是物资信息数据的挖掘[7]，因此设计了数据管理模块，该模块主要以电力物资信息累加器和RAM主存电路为基础，以此保证数据管理质量。

电力物资数据累加器的主要作用是求解出电力物资数据每层之间的联系，根据累加的联系设计累加器组件，依据组件的接口种类搭建电力物资数据累加的框架结构，进而加强电力物资数据累加的效率以及数据之间的交互能力，为用户提供数据实时共享的物资数据环境。

在设计电子物资数据累加器时，需要提前选取出合适的功率驱动时序，以此建立出物资数据累加电路，具体如图2所示。

为了减少因功率驱动电路高压导致电路受到干扰，可添加PWM信号避免累加器电路逆变，也可以通过添加功率驱动器件提升整体控制能力。

信息累加器在运行过程中，必须确保其运行稳定性，可以设计管理RAM主存电路判断电力物资检测系统数据流的流向。该电路的主要作用就是暂存控制信号，同时对寄存结果进行处理。在对信号处理过程中，需要将

开关信号和电容相连接，以此确定检测系统主存电路的时间暂态持续情况，同时依据电路主回路的冲击求解出电路母线存储能量的值，该能量的计算公式为：

$$P_0\frac{1}{2f}=\frac{1}{2}C\left(U_P^2-U_v^2\right) \tag{1}$$

式中，P_0代表检测系统的主存额定功率，f代表系统电网频率，U_P代表电压的最小值，U_v代表电压最大值，C代表损失系数。

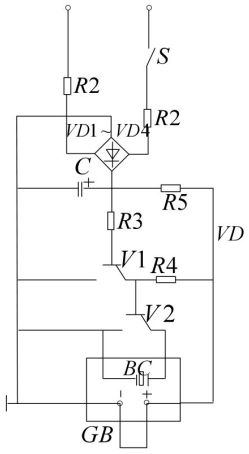


图2 物资数据累加电路图

依据RAM主存电路存储能量的值得出电压峰谷值的大概范围，从而获取母线电压的最大值以及电容的耐压值，同时选取电解电容的并联接口。RAM主存电路示意图如图3所示。

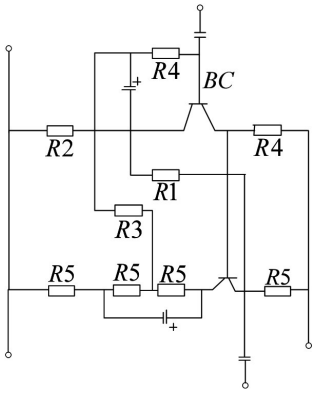


图3 管理RAM主存电路

根据图3设置检测系统的串行外设接口，此接口可将运行的电流转变成输出量，以此得出系统电机转速以及转矩，进而分析系统的数据流流向与大小。

2 电力物资检测系统软件

电力物资检测系统的关键技术就是对电力物资数据挖掘，保证用户所检测的数据是十分完整的，因此使用了改进关联规则对电力物资数据进行挖掘，可确保数据的完整性。

2.1 关联规则参数定义

改进关联规则的对象为电力物资数量、属性、个体参数等海量数据集[8]，根据关联规则在海量数据集中挖掘出所需物资信息。在挖掘前需要定义一些关联规则，具体如下：

假设电力物资数据集合为$I=\{I_1,I_2,\cdots,I_n\}$，包含电力系统所需的相关设备和材料等，系统可以快速查看材料和设备的相关属性，因此对电力物资的检测就是对电力物资数据进行挖掘。电力物资数据集合数量为n项，系统需要完成的项目对应的数据集合为$T=\{T_1,T_2,\cdots,T_m\}$，该集合的数量为m，集合中的任意一项均代表一个事务[9-10]。根据关联规则理论得出数据集的支持度和置信度，其中关联规则就是假设现有项集A和B，两个项集均属于事物集合T，若$A\Rightarrow B$，则说明A就是前件，B则为后件。

事务支持度实际上指的是数据库内所需项集的个数，而置信度则需要利用下列公式计算：

$$confidence\left(A\Rightarrow B\right)=\frac{\sup port\left(A\cup B\right)}{\sup port\left(A\right)} \tag{2}$$

式中，$confidence(A\Rightarrow B)$代表事务置信度，$\sup\text{port}(A)$代表$A$的置信度，$\sup\text{port}(A\cup B)$代表$A$和$B$共同事务的支持度。

关联规则下的电力物资检测实际上是从目前的物资数据库中挖掘出全部频繁模式，并在其中得出强关联规则，即可完成电力物资检测。

2.2 基于关联规则的电力物资检测

事件支持度是事件集合D中带有事件A和B与总事件的比，其表达式为：

$$\sup port\left(A\Rightarrow B\right)=\frac{\left|\left\{T:A\cup B\subseteq T,T\in D\right\}\right|}{\left|D\right|} \tag{3}$$

支持度结果与关联规则的重要程度成正比，假设关联规则的最小发生概率为$\text{Sup}_{\min}$，已知置信度是D与带有A事件之间的比，其意义就是衡量关联规则的准确性，置信度计算公式为：

$$Confidencee\left(A\Rightarrow B\right)=\frac{\left|\left\{T:A\cup B\subseteq T,T\in D\right\}\right|}{\left|\left\{T:A\subseteq T,T\in D\right\}\right|} \tag{4}$$

通过式(4)计算出最小置信度$Conf_{\min}$，通过$Conf_{\min}$即可过滤掉大部分无用规则[11-13]。在挖掘电力物资数据的过程中，关联规则置信度以及指出度的阈值对电力物资数据挖掘十分重要，若最终挖掘的规则过多或过少都会影响最终的挖掘结果，所以阈值的选取十分重要。

频繁项集的数量要符合最小阈值项集，利用关联规则进行数据挖掘其实就是在数据库D中得出全部与频繁项集有关联的规则，因此其核心就是计算频繁项集。假设备选的K项集为C_k，K的频繁项集为L_k，通过计算全部的C_1，并将数据库中的非频繁子集排除，生成1-频繁项集

L_1,L_1和C_1进行相连得到C_2,重复上述操作生成C_k以及L_k,当频繁项集不再出现时,则停止运算。

关联规则中的强规则必须符合Sup_{min}以及$Conf_{min}$的关联规则,若$\frac{\sup port(B)}{\sup port(A)} \geqslant Conf_{min}$,此时的输出规则是$B \Rightarrow (B-A)$,则$Conf_{min}$就是最小置信度对应的最佳阈值。

根据频繁项集的规则即可挖掘出所需电力物资相关属性数据,实现电力物资检测,检测流程图如图4所示。

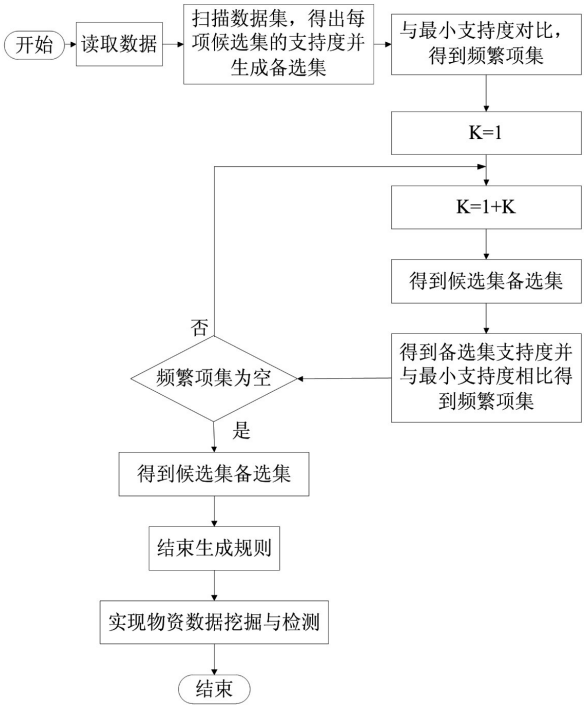


图4 改进关联规则的电力物资检测的流程图

3 实验结果与分析

为了验证基于改进关联规则和知识图谱的电力物资检测系统的整体有效性,对本系统进行一系列相关测试,并将其与物资储备系统设计以及电力调度管理系统设计进行性能比较。实验主要从检测精度入手,对三种系统的检测极差、最大偏差率、标准差以及平均偏差率进行比较,以此详细验证本系统的检测性能。

3.1 实验环境

表1 实验环境参数

实验环境	种类	参数
CPU	Intel core i8 9700KF	64+256 GB内存
操作系统	Windows x86	
实验模型	ECP管理系统	GEN-2标签
建模软件	Simulink R2020a	268 帧

为了验证本文系统的物资检测效果,需要保证三种设计方法的实验环境完全相同,实验环境参数如表1所示。

3.2 检测精度

电力物资数据挖掘精度决定系统的综合性能,因此将系统的挖掘精度视为评判系统的优劣指标,仅仅用挖掘准确性对比三种系统的优劣过于笼统,为此选取出极差、标准差、最大偏差率以及平均偏差率四种指标对三种系统的精度进行比较,其中极差计算公式为:

$$R_V = V_{k,\max} - V_{k,\min} \tag{5}$$

式中,$V_{k,max}$和$V_{k,max}$分别代表频繁集的最大值以及最小值。

最大偏差率的计算公式为:

$$D_V^{\max} = \max\left\{\frac{\left|V_k - V_k^N\right|}{V_k^N}\right\} \tag{6}$$

式中,V_k代表挖掘出来的数据,V_k^N表示电力物资数据总量。

标准差的计算公式为:

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{\left[\sum_{k=1}^{N}\left(V_k - \overline{V}\right)^2\right]}{N-1}} \tag{7}$$

式中,$\overline{V}$代表数据平均值,N代表频繁项集总量。

平均偏差率的计算公式为:

$$D_V^{ave} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{n}\left\{\frac{\left|V_k - V_k^N\right|}{V_k^N}\right\} \tag{8}$$

随机选取10组样本数据,分别利用三种系统对10组样本提出的要求进行数据挖掘,并分别计算三种系统在每组实验下的极差、标准差、最大偏差率以及平均偏差率,实验结果如图5、图6和图7所示。

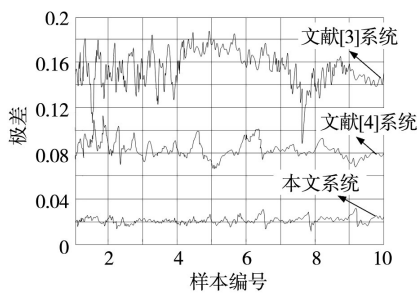


图5 三种系统的极差

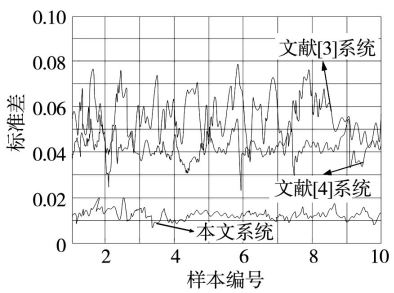


图6 三种系统的标准差

分析图5中的结果可知,本文系统的极差要远远低于文献[3]系统和文献[4]系统,说明本文系统的数据挖掘精度更高,能够有效保障电力物资检测的精度。

分析图6中的结果可知,本文系统的标准差最高仅为

0.02，要远远低于文献[3]系统和文献[4]系统，说明本文系统的数据挖掘质量更高。

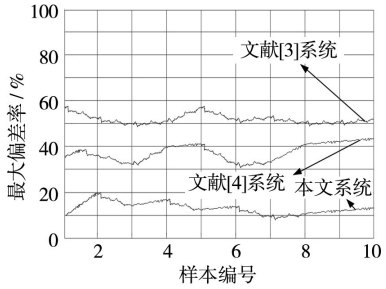


图7 三种系统的最大偏差率

分析图7中的结果可知，本文系统的最大偏差率要远远低于文献[3]系统和文献[4]系统，说明本文系统的数据挖掘偏差更低，能够有效保障电力物资检测的精度。

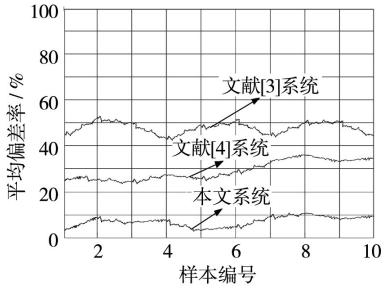


图8 三种系统的平均偏差率

分析图8中的结果可知，本文系统的平均偏差率最高仅为10.5%，要远远低于文献[3]系统和文献[4]系统，说明本文系统的数据挖掘结果的偏差率更低，数据挖掘效果更好。

综合来看，将三种系统的实验结果对比后发现每项指标均远远低于其余两种方法，从标准差可以看出，本文系统的准确性是十分高的，因此证明该系统的挖掘结果准确且完整，从而证明该系统的电力物资检测精度较高。

4 结束语

电力系统运行过程中所需的物资多之又多，随着经济的提升，电力设备需要的数量也随之增加，无论是设备维修或是更换，电力物资的数据量都是不容小觑的。仅仅依靠传统人工登记电力物资的方式不仅效率低，也不能全面地获取所需物资的有效期等相关信息，严重影响电力行业发展。为此，本文设计基于改进关联规则和知识图谱的电力物资检测系统，分别对系统硬件和软件进行设计，以此实现电力物资检测。解决了物资检测精度低问题，保证电力系统工作稳定性，也为电力故障诊断和维修奠定坚实的基础。

参考文献：

[1] 范江东，王伟，高瞻.基于RFID技术的电力企业物资管理系统设计[J].现代电子技术，2021，44(24)：11-15.

[2] 宋鑫磊，黎莫林，詹勤辉，等.基于SARIMA与ANFIS组合方法的电力物资需求预测[J].机械设计，2022，39(6)：66-72.

[3] 贾音，孔胜利，陈备，等.智慧园区应急物资储备系统设计与应用[J].消防科学与技术，2020，39(5)：717-721.

[4] 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.

[5] 赵文炎，卢泽钰，郭宏伟.基于电子标签和智能数据处理的电力物资检测系统设计[J].电子设计工程，2022，30(6)：113-117.

[6] 邓佳乐，孙辰昊，胡博，等.基于改进关联规则挖掘的变压器油中溶解气体分析模型[J].电力科学与技术学报，2022，37(3)：165-172.

[7] 白杰，杜彦辉.基于区块链的大型社交类网游敏感信息数据挖掘框架[J].西安理工大学学报，2021，37(3)：397-402.

[8] 刘可真，林铮，骆钊，等.基于改进关联规则的直流换流站典型运维事件集诊断方法[J].电力系统自动化，2022，46(4)：180-187.

[9] 张振海，张湘婷.基于关联规则的高速铁路信息服务组合方法研究[J].铁道学报，2021，43(4)：85-94.

[10] 毛伊敏，邓千虎，陈志刚.基于信息熵与遗传算法的并行关联规则增量挖掘算法[J].通信学报，2021，42(5)：122-136.

[11] 徐霖.智能数据挖掘技术在土壤肥力评价中的应用[J].农机化研究，2022，44(12)：225-229.

[12] 郭霏霏.基于关联规则算法的医院财务信息自动处理系统[J].自动化技术与应用，2022，41(7)：155-158，169.

[13] 涂晓斌，郭力，刘晨宁，等.一种基于图论与最大路径的关联规则挖掘算法[J].华东交通大学学报，2021，38(3)：137-141.

作者简介：刘星廷(1989-)，男，硕士，工程师，研究方向：物资检测。

(上接第42页)

电检测[J].中国电机工程学报，2022，42(3)：1015-1024.

[6] 陈向群，肖湘奇，黄瑞，等.配电网窃电检测与预防策略[J].湖南科技大学学报(自然科学版)，2020，35(4)：56-66.

[7] 王德文，杨凯华.基于生成式对抗网络的窃电检测数据生成方法[J].电网技术，2020，44(2)：775-782.

[8] 邓高峰，赵震宇，王珺，等.基于改进自编码器和随机森林的窃电检测方法[J].中国测试，2020，46(7)：83-89.

[9] 阙华坤，冯小峰，刘盼龙，等.Grassberger熵随机森林在窃电行为检测的应用[J].计算机科学，2022，49(S1)：790-794.

[10] 韩建富，肖春，宋小兵，等.基于GA-BP神经网络的能源互联网窃电行为识别方法[J].电气传动，2022，52(14)：38-44.

[11] 付青，匡文凯，薛阳，等.基于高斯核密度估计法的路灯窃电检测方法[J].电力系统及其自动化学报，2021，33(10)：18-23.

[12] 海威，高博，王晓光，等.基于关联分析的电网状态估计数据含坏点自动辨识[J].自动化技术与应用，2021，40(10)：108-111，185.

作者简介：张春梅(1978-)，女，本科，高级工程师，研究方向：数字化管理、人工智能、大数据分析。