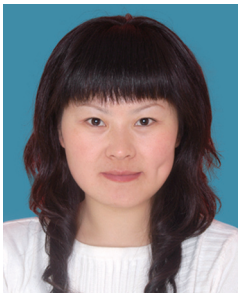
基于IMA－FPGA的电力传感器失调节点定位方法

为了解决动态测试系统中，由于电力传感器失调节点定位偏差，产生的测试数据失调现象，提出基于改进关联挖掘算法（Improved Mining Association Algorithm，IMA）及FPGA实现的电力传感器失调节点定位方法，对关联挖掘算法进行了详细的逻辑分析。利用该算法思路获取电力传感器失调节点间的关联规则，基于该关联规则，通过电力传感器失调节点的DV－Hop定位算法，将未知电力传感器失调节点到信标节点间的距离，用网络中节点平均每跳距离和到信标节点间的跳数乘积表示，采用三角定位获取电力传感器失调节点的位置。为了将最佳电力传感器动态定位器运用在在线检测中，在动态定位器的硬件结构中融入了分布式算法，给出了电力传感器动态定位器的高速并行FPGA实现过程。实验结果说明，所提方法进行电力传感器失调节点定位时的执行时间与内存使用量方面均优于传统方法，定位准确率方面比传统方法也有很大提高，有一定的实际应用价值。

娄　红／中州大学信息工程学院　杨爱云／河南工程学院计算机学院



娄　红／讲师

关键词／Keywords
关联挖掘·
电力传感器·
失调节点定位·
FPGA实现·

动态测试是人们分析电力系统瞬态过程中不同参数变化的有效手段，而电力传感器是动态测试系统的关键部分，且电力传感器网络中的位置信息对测试监控具有重要作用，因此电力传感器失调节点位置的有效定位，是动态测试系统中电力传感器失调节点监控信息的关键部分[1-2]。由于受到技术水平的约束，当前动态测试系统中，电力传感器失调节点定位效果不理想，对电力传感器失调节点进行准确定位，成为相关学者分析的重点方向[3-5]。提出基于IMA－FPGA的电力传感器失调节点定位方法，其按照改进关联挖掘算法获取电力传感器失调节点间的关联规则。基于该关联规则，通过电力传感器失调节点的DV－Hop定位算法，将未知电力传感器失调节点到信标节点间的距离，用网络中节点平均每跳距离和到信标节点间的跳数乘积表示，采用三角定位获取电力传感器失调节点的位置。为了将最佳电力传感器动态定位器运用于在线检测中，在动态定位器的硬件结构中融入了分布式算法，实现电力传感器动态定位器的高速并行FPGA实现。

问题描述及电网模型的设计

用DB表示电力传感器网络的全局事务数据库，用D表示全局事务条数，设J_1，J_2，…，J_n为电力传感器网络中的失调节点，$DB_i(i=1,2,\cdots,n)$是电力传感器失调节点J_i的单一数据流的局部事务数据库，D_i是局部事务条数，则

$$DB=\bigcup_{i=1}^{n}DB_i,\quad D=\sum_{i=1}^{n}D_i \qquad (1)$$

在电力传感器网络中，挖掘电力传感器失调节点定位的问题，即如何从n个电力传感器失调节点收集到的n个单一数据流中，挖掘出局部电力传感器失调节点方位，各节点间通过电力传感器网络传送有限信息，最终在全局事务数据库DB中挖掘出所有电力传感器失调节点方位。在定位过程中，现存问题是由于电力传感器失调节点处于动态变化的系统中，当对其进行定位时，由于动态系统的变化随时性，导致定位常发生偏差，定位不准确。现存方法在处理这个问题上，贡献较少。由于电力传感器失调节点定位偏差，电力传感器失调节点定位模型如图1所示。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

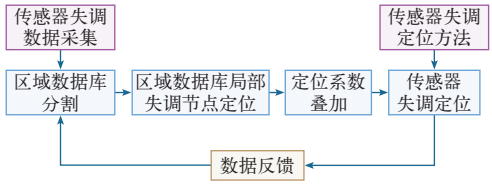


图1　电力传感器失调定位模型

改进的关联挖掘算法

1. 关联挖掘算法

关联挖掘是指建立一棵数据结构上的扩展树，需完成下述过程：

1）确定树的根节点，同时将全部与根节点相关的区域d中的所有节点作为侯选节点C_{k-1}。

2）对侯选集C_{k-1}中的频繁k项节点集L_{k-1}进行采集。

3）完成对L_{k-1}的深度优先扩展处理，获取侯选节点集C_k。

4）对C_k进行剪枝操作。

5）对C_k中的频繁k项节点集L_k进行采集。

重复上述过程，直至全部节点均不能继续扩展，形成由节点a发起的频繁树扩展。关联规则中存在大量可发起上述扩展的节点，产生很多区域强关联树，当全部节点均包含在各强关联区域中时，结束扩展，然后对区域间的关联性进行分析。因为区域间出现强关联的几率远远低于相邻节点间出现强关联的几率，所以仅需确定两个区域间任意两个节点非强关联。上述两个区域即为非强关联，迅速剔除非强关联区域，最终获取强关联区域。

采集到的全部频繁节点集后，即可获取相应的关联规则。通过式（2）可求出所获取关联规则的信任度，其中条件概率可通过节点集的支持频度求出

$$\text{confidence}(A \Rightarrow B) = P(B|A) = \frac{\text{suppout_cont}(A \cup B)}{\text{suppout_cont}(A)} \quad (2)$$

2. 电力传感器失调节点关联规则的获取

根据以上分析提到的方法对电力传感器的节点建立关联规则，方法如下。

假设存在一个半径为d的电力传感器失调节点关联区域，且中心节点与不属于该关联区域的节点几乎不存在强关联性。候选电力传感器失调节点集C_2主要包括树的根节点a与关联区域中全部节点。比较全部节点的历史数据，获取频繁两项节点集L_2，可将其表示成$L_2=\{(a，b)(a，c)(a，d)\}$，主要包括a、b、c和d四个节点。

依据深度优先搜索电力传感器失调节点集L_{k-1}可得侯选k项节点集C_k。而（a，b，e）、（a，b，f）和（a，b，g）等候选节点则可依据以b为中心点，以相关区域为界的关联区域获得。C_k为L_k的超集，C_k中包括所有k频繁项电力传感器失调节点集。由于电力传感器失调节点能量有限，因此需依据节点的关联性尽量压缩C_k。若$k-1$项候选节点为k项集候选节点集，并在C_{k-1}中，不在L_{k-1}中，则该候选节点并非k项频繁节点，删除该候选节点，该过程称为剪枝操作。如果某一候选节点的所有邻居节点均为$k-1$项频繁节点集L_{k-1}，则该候选节点在k项频繁节点集L_k中。否则，如果该节点的所有邻居节点均不属于L_{k-1}，则删除该候选节点。

3. 电力传感器失调节点DV－Hop定位

基于上述过程获取的电力传感器网络节点关联规则，采用DV－Hop定位算法实现电力传感器失调节点的有效定位。考虑到节点间的距离无法直接测量，NICULESCUD等人提出DV－Hop算法，其基本原理为：将未知节点到信标节点之间的距离，用网络中节点平均每跳距离和到信标节点间的跳数乘积进行描述，然后通过三角定位获取节点的位置。尽管未知节点通信区域中获取的信标节点个数较少，而通过该方法可求出通信区域外其他信标节点的估计距离，获取该节点的位置信息。假设算法满足下述要求：

1）所有电力传感器失调节点均采用同一通信距离r实现与其相邻节点的信息交换。

2）经大量分析表明，电力传感器失调节点的通信距离r大小较为合理。

3）监测区域中包含5%的信标节点。

电力传感器失调节点定位算法主要包括三个步骤：首先通过广播的方式对信息进行传递；然

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

后获取所有未知节点与信标节点之间的距离；最后通过三角计算获取节点的位置坐标。

在进行信息广播的过程中，所有信标节点均将其自身的位置信息发送至其领导节点。以{id_i，x_i，y_i，$Hops_i$}形式对信息进行广播，主要包括信标节点的标志id_i，位置坐标（x_i，y_i）和跳数$Hops_i$。对$Hops_i$进行初始化，接收到该数据的所有节点将$Hops_i+1$，同时将其统计在表中，再对其他邻居节点进行广播。

如果电力传感器失调节点接收到同一id数据包，则对其$Hops_i$进行比较，若新的跳数没有超过已有的跳数，则保留新的跳数；否则，删除上述数据包，同时不进行转发处理。

通过广播所有信标的信息即可获取各节点到各信标节点的跳数，并且信标节点亦可获取剩余信标节点的坐标与跳数，则信标节点i平均每跳的距离可用式（3）描述，其数据包格式是{id_i，c_i}，即

$$c_i=\frac{\sum\sqrt{(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2}}{\sum h_{ij}} \qquad (3)$$

式中，j为剩余信标节点；h_{ij}为信标节点i到信标节点j间的跳数。

在对距离进行计算的过程中，未知节点接收到所有信标节点的数据包后，将其每跳平均距离记录在表中，再向与其相邻的节点进行广播。如果出现同一id数据包，则删除。完成信息广播后，对所有信标节点的每跳平均距离进行计算，获取整个网络的每跳平均距离，用cc进行描述。未知节点求出自身当前位置与各信标节点间的距离$d_i=Hops_i\times cc$后，记录在表中。

在一个二维度量空间进行定位计算时，一个未知节点的位置r_u可通过以三个信标节点为圆心的圆的交点进行判断，具体过程如图2所示。

通过上述分析的定位原理即可获取未知节点的位置坐标。

电力传感器失调节点定位的FPGA实现

1. 基于FPGA的数据采集

图3为依据FPGA的数据采集系统总体结构图，

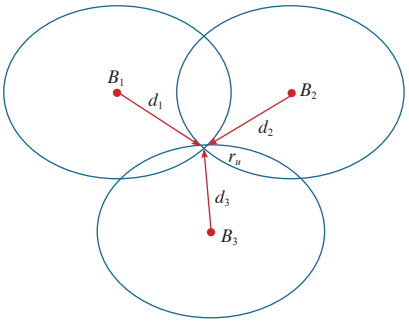


图2 未知节点由三个信标节点确定的几何表示

该系统以XILINX公司生产的XC4VSX25FPGA为系统的核心控制单元，以AD公司生产的AD7492为系统的模数转换器，以三星公司生产的K9K2G8U0MFLASH为系统的数据保存介质，通过FT245RL芯片实现系统板和上位机间的信息交换。

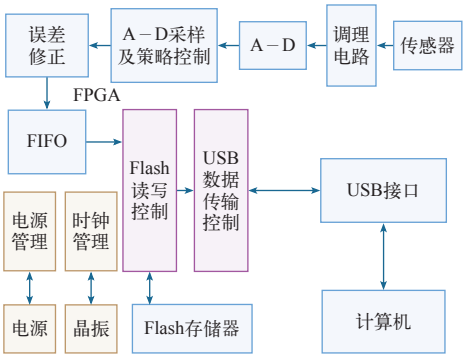


图3 基于FPGA的数据采集系统结构图

本文所采用芯片的技术指标是：系统时钟频率为30 MHz；采用12位分辨率，量程在0～2.5 V之间的A－D转换器；采样频率不超过1 MHz；可用保存空间为256 M×8 bit；USB传递数据的速度为12 Mbit/s。

上述系统的具体过程是：通过调理电路对从电力传感器发出的模拟信号进行处理，使其达到A－D转换器可采范围，然后通过A－D转换器完成对其的转换。A－D转换的时钟来自FPGA，在一个模数转换周期中，通过误差修正部分对上一个数据进行修正，同时把12位修正完成的数据按照高6位与低6位保存在FPGA中的FIFO内，最终将上述数据保存在Flash中。完成上述过程后，在使用时经由USB接口把保存在Flash中的数据传递给上位机进行显示即可。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2. 基于FPGA电力传感器动态定位器并行结构设计

在FPGA领域中，分布式算法是一项关键的技术，主要用作数字信号的处理与计算，其通过把乘法运算变为加法或移位运算，大大提高了乘法运算的效率，增强了芯片的使用率。将其引入本文的动态定位器中，以卷积和的方式描述成

$$z(k)=\sum_{l=0}^{m}A_l y(k-l) \tag{4}$$

式中，$y(k-l)$可表示

$$y(k-l)=\sum_{b=0}^{B-1}y_b(k-l)\times 2^b \tag{5}$$

式中，$y_b(k-l)$为$y(k-l)$的第b位，通常取0或1；$y(k-l)$表示A－D转换器的第$k-l$次转换结果，将式（5）代入式（4）可获取补偿器的输出

$$z(k)=\sum_{b=0}^{B-1}2^b\sum_{l=0}^{m}[A_l y_b(k-l)] \tag{6}$$

式中，方括号中的乘积项，表示A－D转换结果的其中一位和定位系数的二进制“与”操作；指数因子表示对括号中的值进行加权处理。

若提前建立一个查找表，其中包含了输入信号二进制各位全部可能的逻辑值和动态定位器系数“与”运算的结果，则可依据所有输入变量对应位的组合值完成对该表的比对查找，最终在不采用乘法运算的同时获取计算结果。在规划FPGA的过程中，以组件Component的形式对该表进行建立，同时将其设计成ROM结构，给出输入寻址端口与输出端口，融入式（6）即可获取电力传感器动态定位器的高速并行结构图，如图4所示。

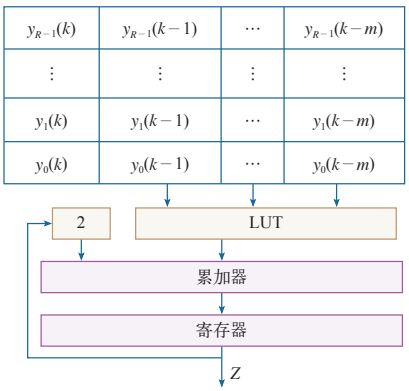


图4　动态定位器并行结构图

实验结果与分析

本文通过仿真实验对电力传感器网络环境进行模拟，假设网络中的节点量是100，内部装有发热源，对外部散射热量。实验结果表明本文方法在进电力传感器失调节点定位的系统执行时间与内存使用量方面均优于传统方法（PSO方法），如图5、图6所示。

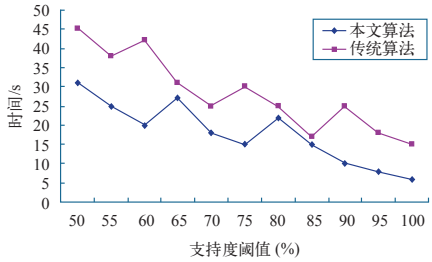


图5　支持度阈值变化时算法的运行时间比

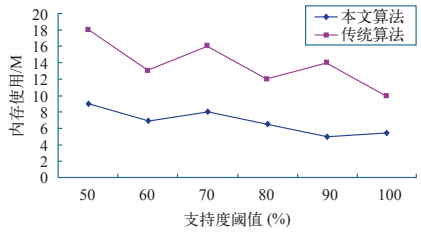


图6　支持度阈值变化时算法占用内存比较

分析图5、图6可知，当支持度阈值不断增加时，本文方法和传统方法所消耗的CPU时间与内存量均逐渐减低，但本文方法进行电力传感器失调节点定位时系统的运行时间与内存占用量均一直低于传统方法。这是因为本文方法依据集合特征，结合排序与比较函数，在对频繁项目集进行判断的过程中，仅比较新增节点和已存在频繁项目集的最后一个节点即可，大大降低了操作的复杂度，也降低了电力传感器失调节点定位系统CPU的运行时间，减少能量使用率。由于比较次数与比较对象较少，因此占用的系统内存空间也随之降低，符合电力传感器失调节点内存空间有限的条件。

结束语

为了解决测试系统中由于电力传感器失调节

(下转第45页)

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表4 采用LED与高压钠灯功率对比

灯具	安装灯具功率/W	灯具数量/套	安装功率/kW	总安装功率/kW	路灯总价/万元	初期增加费用/万元
高压钠灯	400 250	1 240 360	496 90	586	280.8	872.8
按LED低标准	280 180	1 240 360	347.2 64.8	412	1 153.6	

生命周期内（如6年）总体节能效果如表5所示。高压钠灯更换灯头400 W为300元/套、250 W为250/套，更换人工费为200元/套；更换周期按每两年更换一次。

高压钠灯在六年内需更换三次灯头，因此更换的费用为：(1 240×500+360×450)万元×3=234.6万元。

表5 总体节能效果

分类	总安装功率/kW	第一年耗电量/万kW·h	第二年耗电量/万kW·h	第三年耗电量/万kW·h	第四年耗电量/万kW·h	第五年耗电量/万kW·h	第六年耗电量/万kW·h
按LED低标准	412	126.3（按功率70%计算）	135.3（75%计算）	144.4（80%计算）	153.4（85%计算）	162.4（90%计算）	180.5（100%计算）
高压钠灯	586	256.7	256.7	256.7	256.7	256.7	256.7
节省电能		130.4	121.4	112.3	102.9	91.3	76.2
合计/万kW·h	634.5						
折算标准煤/t	634.5×1.229=779.8						
节省费用/万元	634.5×0.68=431.5						

在LED的六年生命周期内，一次性投资增加872.8万元，节省电费431.5万元，高压钠灯需增加更换费用234.6万元。因此，采用LED低标准比传统高压钠灯增加费用为：872.8万元－431.5万元－234.6万元=206.7万元。

结束语

山岭路段LED道路照明标准以及光衰预补偿技术研究应用在南坪快速路工程中技术可行，经济指标合理，节能减排更优。

（收稿日期：2015－01－10）EA

(上接第33页)

点偏差，产生的测试数据失调现象，提出了一种基于IMA－FPGA的电力传感器失调节点定位方法，其按照改进关联挖掘算法获取电力传感器失调节点间的关联规则。基于该关联规则，通过电力传感器失调节点的DV－Hop定位算法，将未知电力传感器失调节点到信标节点间的距离，用网络中节点平均每跳距离和到信标节点间的跳数乘积表示，采用三角定位获取电力传感器失调节点的位置。为了将最佳电力传感器动态定位器运用于在线检测中，在动态定位器的硬件结构中融入了分布式算法，实现电力传感器动态定位器的高速并行FPGA实现。实验结果说明，所提方法在进电力传感器失调节点定位的系统执行时间与内存使用量方面均优于传统方法。

参考文献

[1] 吴健，张志杰，王文廉．传感器动态误差高速并行修正方法及其FPGA实现 [J]．传感技术学报，2012，25 (1)：55-58．

[2] 张维良，杨再初，杨知行．高速并行FIR滤波器的FPGA实现 [J]．系统工程与电子技术，2009，31 (8)：1819-1822．

[3] 刘清，曹国华．基于微粒子群算法优化的微硅加速度传感器动态补偿研究 [J]．仪器仪表学报，2006 (27)．

[4] 董辉，卢建刚，王智，等．传感器网络中的节点关联规则挖掘 [J]．传感技术学报，2007，20 (8)：1875-1880．

[5] 王锡智．一种冶金腐蚀区域图像分割算法研究 [J]．科技通报，2014，2 (30)：35-37．

（收稿日期：2014－12－10）EA

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net