

文章编号: 2095-4980(2025)03-0288-07

基于坐标动态转换算法的专变采集终端 ALB 算法

范文婧, 孙剑锋, 霍成欣, 高 阳, 李毅彪

(国网青海省电力公司营销服务中心, 青海 西宁 810016)

摘 要: 为避免专变采集终端因负载差异较大影响其运行稳定性, 提出基于坐标动态转换算法的专变采集终端自适应负载均衡(ALB)算法。采用分布式采集信息方法采集专变采集终端负载信息, 并通过集中迁移方法量化处理采集的负载信息; 结合加权平均算法和双线内插处理专变采集终端节点残差, 经坐标动态转换获取专变采集终端新坐标; 依据专变采集终端坐标位置, 建立各个专变采集终端节点的星型结构, 结合采集负载信息, 通过负载和负载转移阈值之间的关系, 判断专变采集终端节点负载是否均衡。负载不均衡时, 需结合识别重载节点和基于二叉树的备用节点表, 将重载节点的负载转移至备用节点, 实现专变采集终端自适应负载均衡。实验结果表明: 该算法可有效缓解重载节点的压力, 使专变采集终端负载达到均衡状态, 且坐标转换误差值较小; 能有效降低专变采集终端负载均衡的响应时间, 增强吞吐量并提升负载均衡度, 负载均衡效果较好。

关键词: 坐标转换; 专变采集终端; 负载均衡; 星型结构; 重载节点; 轻载节点

中图分类号: TP393

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2023279

Adaptive Load Balancing algorithm based on coordinate dynamic transformation algorithm for dedicated transformer acquisition terminal

FAN Wenjing, SUN Jianfeng, HUO Chengxin, GAO Yang, LI Yibiao

(State Grid Qinghai Marketing Service Center, Xining Qinghai 810016, China)

Abstract: To avoid the phenomenon of significant load differences in dedicated transformer acquisition terminals affecting their operational stability, an Adaptive Load Balancing(ALB) algorithm for dedicated transformer acquisition terminals based on a dynamic coordinate transformation algorithm is proposed. The load information of the dedicated transformer acquisition terminals is collected using a distributed information acquisition method, and the collected load information is quantitatively processed through a centralized migration method. By combining the weighted average algorithm with the bilinear interpolation of the residual of the dedicated transformer acquisition terminal nodes, new coordinates for the dedicated transformer acquisition terminals are obtained through dynamic coordinate transformation. Based on the coordinate positions of the dedicated transformer acquisition terminals, a star structure is established for each terminal node. Combined with the collected load information, the relationship between the load and the load transfer threshold is employed to determine whether the load of the dedicated transformer acquisition terminal nodes is balanced. When the load is unbalanced, it is necessary to identify overloaded nodes and establish a backup node table based on a binary tree to transfer the load from the overloaded nodes to the backup nodes, thereby achieving adaptive load balancing of the dedicated transformer acquisition terminals. Experimental results show that the application of this algorithm can effectively alleviate the pressure on overloaded nodes and achieve a balanced load state for the dedicated transformer acquisition terminals. The coordinate transformation error is relatively small. It can effectively reduce the response time for load balancing of the dedicated transformer acquisition terminals, enhance throughput, and improve load balancing performance.

收稿日期: 2023-09-25; 修回日期: 2023-11-30

resulting in a good load balancing effect.

Keywords: coordinate transformation; dedicated transformer acquisition terminal; load balancing; star structure; overloaded node; lightly loaded node

随着计算机网络技术的不断完善^[1],专变采集终端的数量不断增多^[2]。如何使专变采集终端负载均衡,对增强专变采集终端的稳定性具有重要意义。为此,国内外专家进行了研究:KABIRI等^[3]使用基于控制器的可变阈值检测负载的拥塞或不平衡情况,通过智能组合遗传算法和反向学习粒子群优化(Opposition-based Particle Swarm Optimization, OPSO)算法选择最佳控制器进行迁移。利用遗传算法和粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)算法计算最佳解,并使用OPSO算法计算每个粒子的最佳权重,从而实现解决方案以迁移到控制器。张娜等^[4]提出了一种基于改进布谷鸟搜索网络集群的负载均衡方法,通过确定目标函数的布谷鸟搜索方式构建负载均衡权重模型,求出最优权重值,并在反向学习的基础上,结合混沌变异方法提升了种群的离散度,使最优权重可快速输出,将权重分配到集群每个节点,实现负载均衡。李娟等^[5]提出一种物联网技术的异构集群负载均衡算法,通过物联网的传感技术完成异构集群信道传输模型的建立,结合动态加权对信道的特性进行分解,再将异构集群信道进行噪声干扰的收敛,采用波特间隔均衡平衡集群信道的均衡,利用模糊度和空间均衡完成异构集群的负载均衡。

以上方法不仅实施较复杂,且增加运行成本,存在一定弊端。可通过稳定和精准的坐标转换获取数字化终端位置坐标^[6],有效完成专变采集终端的负载均衡,缓解重载终端节点压力。为此,本文提出基于坐标动态转换算法的专变采集终端自适应负载均衡(ALB)算法,提升专变采集终端的稳定性。

1 专变采集终端ALB算法

1.1 专变采集终端自适应负载信息的采集与量化

为实现专变采集终端的自适应负载均衡^[7],需了解专变采集终端的负载状态,并采集其负载信息,从而识别各个专变采集终端节点的负载状态。专变采集终端节点负载在一般情况下是动态变化的,为使专变采集终端自适应负载均衡效果更加理想^[8],需实时对专变采集终端节点的负载信息进行采集,获取专变采集终端节点的负载状态^[9]。因此,结合分布式采集信息方法和集中迁移方法对专变采集终端节点进行负载信息的采集,同时,将专变采集终端节点的负载信息量化:

$$\begin{cases} F(t) = \sum_{i=1}^k f(i, t)\omega(i) \\ \omega(i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^k j} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $F(t)$ 为专变采集终端节点在 t 时相对应的负载量; k 为采集负载信息的时间间隔; $f(i, t)$ 为当 $i - k\Delta t$ 为起点时,第 i 个时刻专变采集终端节点负载量; $\omega(i)$ 为权值,表示专变采集终端节点负载情况对其均衡效果的影响。

以上实现了专变采集终端负载信息的采集和量化处理,得到专变采集终端节点的负载情况,为实现专变采集终端自适应负载均衡提供了支持。

1.2 专变采集终端的坐标动态转换

坐标动态转换是将处于不同空间上的坐标之间进行转换^[10],网格坐标动态转换是将比较大的转换空间分为一些比较小的网格单元,同时,将这些小的网格节点作为转换中心进行坐标动态转换。

将待转换坐标部分划分成具有固定间隔的网格,利用此空间内的新坐标和老坐标的公用点坐标差值,求出各个小网格单元节点转换成新坐标的修正值。结合专变采集终端节点中待转换的网格空间,采用双线性内插模型求出相对应的网格单元4个节点(a 、 b 、 c 、 d)坐标修正值:

$$x = (L_p - L_1)/(L_2 - L_1); y = (B_p - B_1)/(B_2 - B_1) \quad (2)$$

$$\begin{cases} a = t_1 \\ b = t_3 - t_1 \\ c = t_2 - t_1 \\ d = t_1 + t_3 - t_2 - t_4 \end{cases} \quad (3)$$

式中: t_1, t_2, t_3, t_4 为网格节点坐标修正值; $(B_1, L_1), (B_2, L_2), (B_3, L_3), (B_4, L_4)$ 为 a, b, c, d 网格节点在老坐标中的经纬坐标; (B_p, L_p) 为待转换专变采集终端节点的经纬坐标。

采用加权平均模型建立专变采集终端节点坐标动态转换网格模型, 依据附近点与中心点之间的距离表示权重。距离越近, 产生的影响越大, 权重越大。加权平均模型为:

$$X = \frac{1}{\sum_{i=1}^p w_i} \sum_{i=1}^p w_i x_i \quad (4)$$

式中: X 为中心点的预估值; x_i 为中心点附近的数据节点; w_i 为数据节点的权重。

权重函数的表达式为:

$$w_i = d_{\min}^{-d_i^2} \quad (5)$$

式中: d_i 为数据点与中心点之间的距离; d_{\min} 为数据点到中心点之间的最小距离; d 为点与点间的距离。

专变采集终端的坐标动态转换的具体步骤如下:

- 1) 结合公共点坐标差, 利用最小二乘回归方法设平面模型为: $ax + by + c = z(x, y)$;
- 2) 利用步骤 1) 的平面模型拟合值去除残差;
- 3) 通过加权平均算法将专变采集终端节点邻近范围内的残差点拟合在网格节点中, 求出专变采集终端节点残差;
- 4) 结合专变采集终端节点平面模型的拟合值和残差值, 得到专变采集终端节点新坐标和旧坐标的修正值;
- 5) 通过双线性插值得到专变采集终端网格节点坐标的修正值^[11], 结合旧坐标便可以得到坐标转换后的新坐标, 完成专变采集终端的坐标动态转换。

1.3 专变采集终端自适应负载均衡算法

1.3.1 星型结构的建立

完成专变采集终端节点的坐标转换之后, 获取专变采集终端节点坐标。专变采集终端坐标节点越接近, 物理距离就越接近; 同时, 专变采集终端节点越多, 误差则越小^[12]。在专变采集终端自适应负载均衡算法中^[13], 利用获取的终端负载信息量化结果, 得到各个专变采集终端节点负载转移阈值 T_A , 完成负载均衡判断。

在专变采集终端中, 节点 A 的出、入度的和表示节点 A 的连接数 D_A ; 节点 A 的各种综合评价能力形成的量化值表示节点 A 的能力值 C_A ; 则专变采集终端节点的负载量可表示为:

$$L_A = D_A / C_A \quad (6)$$

负载转移阈值 T_A 为:

$$T_A = (utl_L_A + \varepsilon) \times C_A \quad (7)$$

式中: ε 为可变参数; utl_L_A 为各个专变采集终端节点局部利用率:

$$utl_L_A = \frac{\sum_{A=1}^p L_A}{\sum_{A=1}^p C_A} \quad (8)$$

适当地调整 ε 使专变采集终端负载均衡质量与负载移动开销均衡, 当 $\varepsilon = 0$ 时, 专变采集终端负载均衡质量较优, 而专变采集终端负载移动开销也比较大。

当专变采集终端节点 A 的负载 $L_A > T_A$ 时, 出现负载不均衡现象, 专变采集终端节点 A 将会发出信号给坐标数符合条件 $|H_i - H_A| < \delta$ 的专变采集终端节点 (其中, H_i 为其他专变采集终端节点的坐标数, H_A 为本节点的坐标数, δ 为常量), 同时, 以专变采集终端节点 A 为中心建立星型结构, 如图 1 所示。其中, 圆形节点表示专变采集终端负载比较重的节点, 圆形节点与方形节点形成了星型结构, 且它们之间物理距离较近, 从而将专变采集终端负载转移。

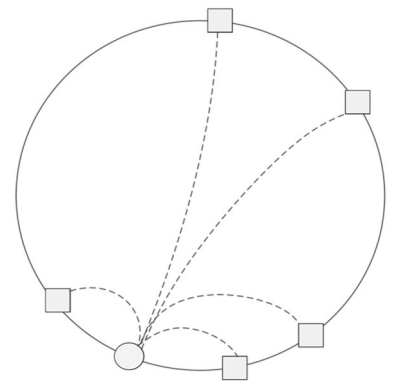


Fig.1 Load transfer of star shaped structure
图 1 星型结构负载转移

1.3.2 专变采集终端LAB算法

专变采集终端负载分布不均衡影响了专变采集终端的可靠性。为增强专变采集终端的可靠性，调整专变采集终端中的各个节点的负载量^[14]，使专变采集终端负载均衡^[15]。

完成专变采集终端自适应负载均衡算法的步骤如下：

- 1) 专变采集终端节点*i*接收不同节点的请求，识别专变采集终端节点是否为重载节点；
- 2) 如果专变采集终端节点是轻载节点，则接收该节点的请求；如果专变采集终端节点是重载节点，重载节点会发出信号给星形结构中坐标数符合条件 $|H_i - H_A| < \delta$ 的专变采集终端节点，构建备用节点表；
- 3) 如果备用节点表中有轻载情况的备用节点，则向备用节点移动；依据二叉树重新构建此请求的备用节点表。

综上所述，专变采集终端自适应负载均衡算法主要是先识别重载节点，再依据二叉树构建备用节点表。

1.3.3 专变采集终端重载节点的识别

寻找专变采集终端重载节点是通过比较专变采集终端节点的负载量和目前相邻的全局负载量均值，大于均值的专变采集终端节点为重载节点。具体步骤如下：

输入：专变采集终端节点坐标和此时专变采集终端相邻节点的负载均值

输出：专变采集终端重载节点的坐标

- 1) 通过专变采集终端节点的相邻矩阵计算与其相邻节点数量*n*；
- 2) 获取专变采集终端每个相邻节点的负载量，计算相邻节点的总负载量*sum*；
- 3) 利用 $Navg(t)_i = sum/n$ 求出专变采集终端节点相邻节点的负载均值；
- 4) 利用式(6)求出专变采集终端节点的负载量 L_A ，与步骤3)求得的 $Navg(t)_{end}$ 进行比较，如果步骤1)的负载均值较大，表示该专变采集终端节点为重载节点；反之，则表示该专变采集终端节点为轻载节点；
- 5) 返回专变采集终端节点位置结束。

1.3.4 基于二叉树构建备用节点表

专变采集终端节点收到请求后，如果本身为重载节点则不接收该请求，在星形结构中寻找该请求相应的备用节点表，将请求向备用节点移动。如果该备用节点表中的节点全部为重载节点或不存在备用节点表，则将该节点向与它相邻的节点发出请求，找到轻载节点。备用节点的寻找方法步骤如下：

输入：重载专变采集终端节点位置及其邻居节点位置。

输出：备用节点附近的指针，左子树表示为**l*，右子树表示为**r*。

- 1) 通过专变采集终端节点的相邻矩阵，寻找与该节点连接的节点编码序列；
- 2) 在步骤1)中得到的节点选出具有共享标识符的节点列表；
- 3) 如果没有返回的节点，则返回失败信息；如果返回了1个节点，则将此节点表示为结束节点位置的**l*；如果返回了2个节点，则将负载量比较小的节点表示为**l*，负载量较高的节点表示为**r*；如果返回的节点数大于2个，进行下一步骤；
- 4) 将步骤3)得到的节点通过专变采集终端负载量进行排序，同时，将第1个节点作为结束节点位置的备用节点的**l*，将第2个节点作为结束节点位置的备用节点的**r*；
- 5) 如果**l*为专变采集终端轻载节点，则返回**l*指针；反之，从**l*和**r*出发，重复前5个步骤。
- 6) 如果返回的节点不是0，则返回**l*指针和**r*指针；反之，返回失败信息。

通过识别专变采集终端重载节点并基于二叉树建立备用节点表，将重载节点的部分转移到备用节点，从而达到专变采集终端负载均衡的目的。

2 实验分析

为验证本文算法对专变采集终端负载均衡的应用性能，在一台具有3 GB内存、Intel(R)Core(TM)i6-2520M处理器的PC机上安装Linux操作系统，配置Snort软件并确保在PC机上成功运行；使用Python编程语言，编写代码实现负载均衡算法，确保算法能够识别重载节点，并构建备用节点表进行负载转移。在PC机上运行负载均衡算法的Python代码，利用编程脚本创建3 000个请求连接，模拟专变采集终端的高负载情况，确保每个连接的负载量在700之内。观察专变采集终端中各节点的负载分布情况，测试结果如图2所示。

由图2(a)可以看出，连接数较少的节点显著高于连接数较多的节点，这种现象导致终端节点负载两极化现象较为严重。同时，随着专变采集终端节点文件请求连接数量的增加，连接数多的节点能获得更多的连接数，导

致专变采集终端节点连接数失衡；应用本文算法进行终端负载转移后，专变采集终端重载节点连接数不再继续增加，轻载节点的连接数逐渐上升，负载率也逐渐上升，有效缓解重载节点的压力，且专变采集终端负载节点的分布密集且均匀，如图2(b)所示，证明了本文算法可使专变采集终端节点的负载达到均衡状态。

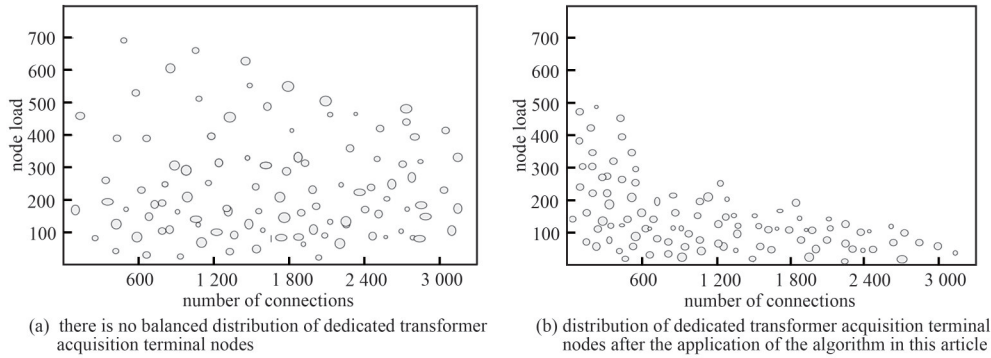


Fig.2 Load balancing effect of dedicated transformer acquisition terminal
图2 专变采集终端负载均衡效果

为进一步验证本文算法的专变采集终端负载均衡的有效性，对专变采集终端负载的坐标转换进行测试。收集的数据长度为1 600，包括经度和纬度等。在专变采集终端负载坐标转换时，测试x、y、z轴的原始数值和变换后的数值误差大小，并将文献[3-5]算法作为本文算法的对比算法，测试结果如图3所示。

由图3可知，文献[3]算法测试专变采集终端负载坐标转换时的误差值有一定的波动，误差在0.6~1.1之间；文献[4]算法测试专变采集终端负载坐标转换时的误差值较高，在1.5~1.7之间，虽比较稳定，但收敛效果较差；文献[5]算法的误差波动较大，误差在0.0.8~1.4之间；而本文算法对专变采集终端负载坐标转换的误差在0.3左右，最低误差为0.2，相较于其他3种算法，误差值最低，可增强算法的有效性。

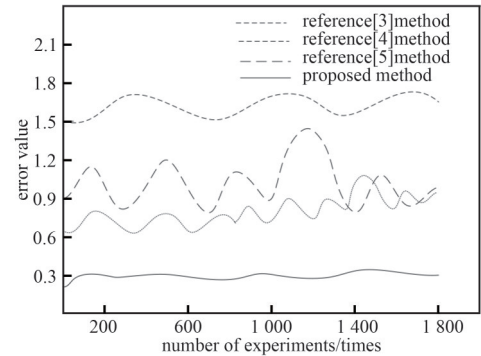


Fig.3 Error curves
图3 误差曲线图

根据专变采集终端自适应负载均衡实验的需求，将响应时间、吞吐量和负载均衡度作为判断本文算法对专变采集终端负载均衡有效性的能力，并将文献[3-5]的算法作为本文算法的对比算法，分析不同文件请求连接数下不同算法的各项指标的对比结果，如表1、表2和图4所示。

专变采集终端自适应负载均衡的响应时间为：

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{q_i \times t_i}{\lambda n^2} \tag{9}$$

式中： q_i 为负载均衡任务量； t_i 为参数*i*相对响应时间； λ 为平均响应时间； n 为测试次数。

表1 不同算法的响应时间对比(单位:s)
Table1 Comparison of response time of different algorithms(unit:s)

number of file request connections	reference[3] method	reference [4] method	reference [5] method	proposed method
100	0.34	0.39	0.37	0.31
200	0.42	0.58	0.46	0.40
300	0.53	0.69	0.58	0.47
400	0.61	0.71	0.64	0.48
500	0.69	0.79	0.71	0.48
600	0.75	0.82	0.79	0.56
700	0.79	0.93	0.84	0.61
800	0.90	0.99	0.91	0.68

由表1可以看出，4种算法均随着连接数的增加，响应时间也有所增加。文献[3]算法在连接数为100时的响应时间为0.34 s，文献[4]算法为0.39 s，文献[5]算法为0.37 s，而本文算法为0.31 s，响应时间相差较少；在连接数增加到800时，文献[3]~[5]算法的响应时间均在0.9 s及以上，而本文算法的响应时间为0.68 s，表明本文算法

无论连接数增加到多少时，响应时间均低于其他 3 种算法，且连接数越大，响应时间的效果差距越明显，证明了本文算法的终端负载均衡实时性更好。

专变采集终端自适应负载均衡的吞吐量为：

$$g = \sum_{i=1}^n \frac{q_i \times \vartheta_i}{\gamma n} \tag{10}$$

式中： ϑ_i 为参数 i 的吞吐量； γ 为吞吐量，且 $\gamma \in [0, 1]$ 。

表2 不同算法的吞吐量对比(单位:bit)

Table2 Comparison of throughput of different algorithms(unit:bit)

number of file request connections	reference [3] method	reference [4] method	reference [5] method	proposed method
100	5.01	4.15	4.95	5.23
200	4.37	3.87	4.16	6.31
300	4.73	3.92	4.51	5.47
400	5.24	4.69	5.03	6.53
500	4.21	2.97	3.98	5.77
600	4.78	3.17	4.53	5.99
700	4.61	3.06	3.99	6.28
800	3.99	2.68	3.84	5.62

由表 2 可以看出，4 种算法均在连接数为 400 时，吞吐量最高。因连接数的增加，专变采集终端节点重载，导致专变采集终端的吞吐量减小，但文献[3]~[5]算法的吞吐量始终低于本文算法。本文算法的吞吐量最高为 6.53 bit，说明本文算法对专变采集终端的负载均衡效果更好。这是因为本文算法采用基于坐标动态转换的方法进行负载均衡，能够有效将重载节点的负载转移至备用节点上，从而减轻重载节点的压力，提高吞吐量。

专变采集终端自适应负载均衡的负载均衡度为：

$$\chi = \sum_{i=1}^n \frac{\left(\frac{t_i}{p_i} - \bar{\chi} \right)^2}{n} \times 100\% \tag{11}$$

式中： t_i 为参数 i 的响应时间； p_i 为参数 i 的吞吐量； $\bar{\chi}$ 为负载均衡度的标准值。

由图 4 可以看出，在实验次数为 200 时，文献[4]算法的负载均衡度最低，低至 5% 左右，说明文献[4]算法的负载均衡效果较差；文献[3]和[5]算法的负载均衡度虽高于文献[4]算法，最高分别为 41% 和 32%，但专变采集终端自适应负载均衡效果并不理想；而本文算法的负载均衡度最高可达 71%，高于其他 3 种算法，说明本文算法负载均衡的效果更好。这是因为本文算法采用了基于坐标动态转换的方法进行负载均衡，并结合了分布式采集信息和集中迁移等策略，可更准确地判断节点负载状态，并采取相应的调度措施，使负载均衡度得到有效提升。

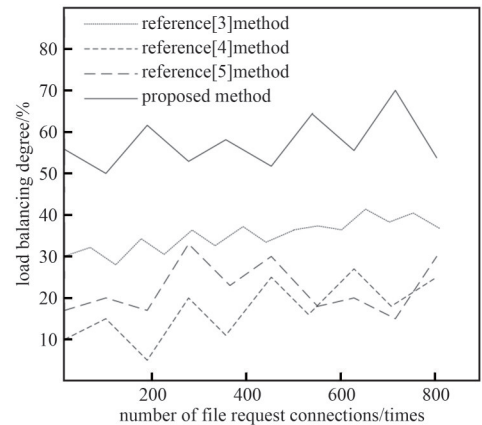


Fig.4 Comparison of load balancing degrees of different algorithms

图 4 不同算法的负载均衡度对比

为验证算法的复杂度，对不同规模的输入数据集进行 4 种算法的执行时间进行测量，结果如表 3 所示。

表3 不同算法的执行时间对比(单位:ms)

Table3 Comparison of execution time of different algorithms(unti:ms)

number of file request connections	execution time			
	reference [3] method	reference [4] method	reference [5] method	proposed method
100	7	9	8	5
500	30	40	35	20
1 000	58	75	65	45
2 000	108	149	118	86
3 000	159	218	171	108

由表 3 可看出，随着文件请求连接数量的增加，本文算法都表现出最佳的执行时间，说明本文算法具有较好的时间复杂度，在处理数据时具有较好的效率。这是因为本文算法通过预先计算并存储节点之间的连接关系，可直接获取相邻节点的编码序列，避免了重复计算和遍历时间开销。同时对返回的候选节点按负载量大小进行排序，优先选择负载较小的节点作为备用节点，快速确定最合适的备用节点，避免了不必要的节点搜索和比较。

3 结论

为增强专变采集终端的可靠性,提出了一种基于坐标动态转换算法的专变采集终端自适应负载均衡算法。通过采集专变采集终端的负载状态,调整专变采集终端中的各个节点坐标的负载量,从而使专变采集终端负载达到均衡状态;并通过实验证明了本文算法对专变采集终端自适应负载均衡的有效性。相比于其他算法,本文算法的平均响应时间最少;且本文算法在连接数为 400 时,吞吐量可达到 6.53 bit,负载均衡度相较于其他算法有明显提升。

参考文献:

- [1] 李静,贺利春,雷鸣. 基于改进蚁群算法的软件定义网络负载均衡[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2022,20(10):1081-1086. (LI Jing, HE Lichun, LEI Ming. Software defined network load balancing based on Im-ACO[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2022,20(10):1081-1086.) doi:10.11805/TKYDA2020384.
- [2] 陈光. 基于 ZigBee 技术的数据采集终端设计[J]. 数字技术与应用, 2021,39(3):132-134. (CHEN Guang. The design of data acquisition terminal based on ZigBee technology[J]. Digital Technology and Application, 2021,39(3):132-134.) doi:10.19695/j.cnki.cn12-1369.2021.03.43.
- [3] KABIRI Z, BAREKATAIN B, AVOKH A. GOP-SDN: an enhanced load balancing method based on genetic and optimized particle swarm optimization algorithm in distributed SDNs[J]. Wireless Networks, 2022,28(6):2533-2552. doi:10.1007/s11276-022-02990-2.
- [4] 张娜,董亮亮,金瑜婷,等. 基于改进布谷鸟搜索的 Web 集群自适应负载均衡算法[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2020, 43(4):527-534. (ZHANG Na, DONG Liangliang, JIN Yuting, et al. Adaptive load balancing algorithm in web cluster based on improved cuckoo search[J]. Journal of Zhejiang Institute of Science and Technology, 2020,43(4):527-534.) doi:10.3969/j.issn.1673-3851(n).2020.04.014.
- [5] 李娟. 基于物联网技术的异构集群动态负载均衡算法[J]. 计算机与现代化, 2021(4):104-108. (LI Juan. Dynamic load balancing algorithm for heterogeneous clusters based on Internet of things technology[J]. Computer and Modernization, 2021(4): 104-108.) doi:10.3969/j.issn.1006-2475.2021.04.018.
- [6] 王谦,赵学胜,王政,等. 一种改进的 QTM 地址码与经纬度坐标转换算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020,45(2):303-308,316. (WANG Qian, ZHAO Xuesheng, WANG Zheng, et al. An improved transformation algorithm between QTM code and longitude/latitude coordinate[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020,45(2):303-308,316.) doi:10.13203/j.whugis.20170390.
- [7] 陈铸,严朝阳,吴广富,等. 软件定义无线网络的负载均衡算法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2021,33(1):28-33. (CHEN Zhu, YAN Chaoyang, WU Guangfu, et al. Load balancing algorithm based on software defined wireless network[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2021,33(1):28-33.) doi:10.3979/j.issn.1673-825X.201904220161.
- [8] 许红亮,杨桂芹,蒋占军. 基于软件定义网络的数据中心自适应多路径负载均衡算法[J]. 计算机应用, 2021,41(4):1160-1164. (XU Hongliang, YANG Guiqin, JIANG Zhanjun. Data center adaptive multi-path load balancing algorithm based on software defined network[J]. Journal of Computer Applications, 2021,41(4):1160-1164.) doi:10.11772/j.issn.1001-9081.2020060845.
- [9] 汪雷,黄剑,段涛,等. 基于气压肌电图和改进神经模糊推理系统的手势识别研究[J]. 自动化学报, 2022,48(5):1220-1233. (WANG Lei, HUANG Jian, DUAN Tao, et al. Research on gesture recognition based on pressure-based mechanomyogram and improved neural fuzzy inference system[J]. Acta Automatica Sinica, 2022,48(5):1220-1233.) doi:10.16383/j.aas.c200901.
- [10] 周勇,吕琛,侯福金,等. 基于坐标转换的多路侧激光雷达数据配准方法[J]. 山东大学学报(工学版), 2022,52(6):41-49. (ZHOU Yong, LYU Chen, HOU Fujin, et al. Data fusion method of multi roadside LiDAR based on coordinate transformation[J]. Journal of Shandong University(Engineering Science), 2022,52(6):41-49.) doi:10.6040/j.issn.1672-3961.0.2022.108.
- [11] 柏植,许海峰,郭凯,等. 基于坐标修正的改进 WSN 节点定位算法[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版), 2020,20(12):117-121. (BAI Zhi, XU Haifeng, GUO Kai, et al. Improved DV-Hop node location algorithm based on coordinate optimization[J]. Journal of Heilongjiang University of Technology(Comprehensive Edition), 2020,20(12):117-121.) doi:10.3969/j.issn.1672-6758.2020.12.024.

(下转第 301 页)