

The Research on Substation Planning Based on Density-Means Clustering Algorithm

Feng Li, Qiqi Zhang, Quanhui Guo, Wei Wu

State Grid Jiangxi Electric Power Company Jiujiang Power Supply Branch, Jiujiang Jiangxi
Email: datouli110@qq.com

Received: Mar. 10th, 2017; accepted: Mar. 27th, 2017; published: Mar. 31st, 2017

Abstract

In this paper, for the site selection of the electric substation planning, according to the characteristics of the electric substation load, the k-means clustering algorithm based on density method is presented. Through the analysis of the existing load distribution and electric substation type of its capacity, to determine the clustering center, the radius and density distribution, in combination with GIS data processing function, and in a substation load rate and power supply radius as constraint conditions, the sting of station of electric substation and the supply district are determined, quality of power supply is improved, and the investment and operating cost are reduced. The results of the simulation example demonstrate the superiority and the economy of the algorithm.

Keywords

Substation Planning, Load Density Method, Center of Clustering, Clustering Algorithm

基于密度均值聚类算法的变电站规划研究

李 峰, 张琪琪, 郭泉辉, 吴 伟

国网江西省电力公司九江供电分公司, 江西 九江
Email: datouli110@qq.com

收稿日期: 2017年3月10日; 录用日期: 2017年3月27日; 发布日期: 2017年3月31日

摘 要

针对变电站规划中站址的选取问题, 本文根据变电站负荷的特点, 提出了基于密度法的K-均值聚类算法。通过对已有的负荷分布以及变电站的容量类型分析, 以密度分布和半径确定聚类中心, 结合GIS系统的数据处理功能, 并以变电站的负载率和供电半径为约束条件, 确定变电站的站址以及供电范围, 提高了供

电质量, 减少线路投资以及运行费用。仿真算例的结果表明了该算法的优越性以及经济性。

关键词

变电站规划, 负荷密度法, 聚类中心, 聚类算法

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着国家对智能电网的提出, 电力系统中对于电源配置和网络结构的要求也是越来越高。其中, 变电站在电网中作为主配网的连接点, 既可以将它当作上一级电网的负荷点, 也可以将其作为下一级的电源点, 所以合理的变电站规划是构成坚强电网的重要保证。

目前国内外的一些学者对于变电站规划进行了大量的研究, 提出了许多较好的分析方法和数学模型, 这些方法主要分为传统的数学规划算法、启发式方法、以及智能优化算法。其中粒子群算法、遗传算法、神经网络等技术已广泛运用于变电站规划中[1] [2] [3] [4] [5]。这些算法在变电站规划中取得了较为满意的结果, 但工程实际中还是有很多变电站规划需要考虑的因素被忽略, 此外变电站的负载率和供电半径不能有很好的约束, 所以具有一定的局限性。近些年计算几何学开始在变电站的规划中的广泛应用, 例如文献[6] [7]提出了利用加权 Voronoi 图去解决变电站供电范围, 文献[8]采用了动态网格减少优化初址的方法等, 但这些方法在负载率和供电半径约束上具有一定的局限性, 另外忽略了现实环境因素对变电站站址选择的影响。K-均值聚类算法以其在收敛速度上的优势[9] [10] [11], 也广泛应用于变电站规划中, 但由于 K-means 聚类算法对初始聚类中心的选取具有较大的依赖性[12], 所以采用随机法选取初始站址一直是 K-均值聚类算法在变电站规划应用中的缺陷。

本文在已有的较为完善的 K-均值聚类算法电力规划基础上, 利用电力 GIS 系统的数据处理能力以及优化的密度法 K-均值聚类算法, 以负载率和供电半径为约束条件, 实现了对变电站选址的规划, 确定了变电站的最优规划地址, 减少了实际电力规划的工作量。最后, 通过 GIS 系统不仅可以很好的解决了地理因素对变电站的影响, 而且通过缓存分析能更好的调整变电站的负载率和供电半径。

2. 变电站规划数学模型

通过分析影响变电站规划的各种因素以及对各类数学模型的分析, 现对变电站规划的描述为: 在相关区域的目标年负荷分布已确定的前提下, 通过约束变电站的负载率和供电半径, 确定供电范围, 并使变电站的投资费用以及运行费用总和为最小, 则其数学模型可表示为:

$$C_{\min} = C_{si} + C_{so} + C_{li} + C_{lf} \quad (1)$$

其初始条件为:

$$\sum_{j \in J_i} W_j \ll S_i \times e \times \cos \theta \quad (2)$$

$$l_{ij} \ll L \quad (3)$$

式中: C_{si} 为变电站的年投资总费用; C_{so} 即为变电站年运行的所需费用; C_{li} 为每年馈线投资的费用; C_{lf}

为馈线年网损的费用总和； J_i 为变电站 i 所提供的负荷总和； W_j 为负荷点 j 的有功负荷； S_i 为变电站 i 的容量； e 为经济负载率； $\cos\theta$ 为变电站的功率因数； N 为变电站总数之和； l_{ij} 为变电站 i 到负荷 j 之间的欧式距离； $l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ ； x_i, x_j 是变电站和负荷的横坐标， y_i, y_j 是变电站和负荷的纵坐标， L 是所允许的变电站最大供电半径。

C_{si} ， C_{so} ， C_{li} ， C_{lf} 可表示为：

$$C_{si} = \sum_{i=1}^N (d_{fix} + d_{var} \times S_i) \frac{r_o (1+r_o)^m}{(1+r_o)-1} \quad (4)$$

$$C_{so} = \sum_{i=1}^N d_{op} \times S_i \quad (5)$$

$$C_{li} = \sum_{i=1}^N \sum_{j \in J_i} d_{line} \times l_{ij} \frac{r_o (1+r_o)^m}{(1+r_o)-1} \quad (6)$$

$$C_{lf} = \sum_{i=1}^N \sum_{j \in J_i} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_N^2} C \times r \times \tau_{max} \times l_{ij} \quad (7)$$

式中： d_{fix} 为变电站的固定投资系数； d_{var} 变电站的可变投资系数； d_{op} 变电站年运行费用的折算系数； m 为预计变电站的使用年限； r_o 为年利率； d_{line} 为单位长度线路的投资费用； P_i 为每段线路最大负荷时通过的有功功率， Q_i 为每段线路最大负荷通过时的无功功率； U_N 为线路额定电压； c 为电价； r 为线路单位长度的电阻； τ_{max} 为最大负荷利用小时数。

3. 改进型 K-均值聚类算法

3.1. K-均值聚类算法

K-means 聚类算法最早于在 1955 年提出，至今已超过 60 年历史，但其虽然仍然是应用最广泛的划分聚类算法之一[9] [10] [11]。K-均值聚类算法的基本原理：在样本集随机选取 k 个点作为初始中心，通过样本集中数据点的坐标和样本中心坐标计算它们之间的距离，将数据划分给距离最近的聚类中心；重复操作将新的聚类中心与原聚类中心进行比较，若相邻两次的聚类中心的位置没有发生变化，说明聚类中心选择完成。该算法一般采用误差平方和准则函数作为聚类准则函数，其定义为：

$$J_c = \sum_{i=1}^k J_i = \sum_{i=1}^k \sum \|X_j - M_i\|^2 \quad (8)$$

式中， X_j 样本中的数据对象， M_i 为样本中的聚类中心。

K-均值聚类算法通过反复迭代计算将所有的对象进行分配。在处理一些量大的数据集时，具有比较好的伸缩性和高效性，但由于聚类中心 k 是事先随机给定的，所以初始的中心 k 的选取对于算法具有的较大的影响，不同的初值将会产生聚类效果也会有很大的不同。因此可以通过结合变电站以及负荷分布的特点，优化初值的选取来获得最优解。

3.2. 基于密度初值优化的 K-均值聚类算法

由上述可知，初值的选取对于 K-均值聚类算法聚类效果的具有较强的影响。通过结合变电站的特点以及样本集分布，基于样本集密度分布不同，选择合适的初值来实现对算法的优化。

通过对样本密度分析，选取点密度最大的点作为第一个初始的聚类中心 k_1 ，然后以数据集属性值之和 $\sum S$ 和半径 r 作为约束条件，选出第二个聚类中心 k_2 ，重复操作直到选取 n (n 趋近 k) 个初始聚类中心，聚类中心的选择满足以下条件：

$$\text{Dist}(x, k_j) > r \tag{9}$$

$$\frac{\sum S}{c} < \sigma \tag{10}$$

式中：Dist 表示为某种距离度量的含义，这里采用欧式距离； x 表示样本中的数据点； k_i 表示第 i 个初始聚类中心； r 表示约束半径； $\sum S$ 表示以 k_i 聚类中心点的数据值之和； C 表示额定值； σ 表示为约束指标。

基于密度法选取初值，避免随机选取初值对算法的影响，其次更好的反映了聚类之间的差异，提高了聚类的质量，另外以 $\sum S$ 和 r 为约束，在工程应用中具有良好的适用性。

4. 基于聚类算法的变电站的定容选址

4.1. 算法流程

本文变电站规划以总费用 C_{\min} 最小为原则，通过已知负荷总量和已有变电站容量，以及变电站的组合类型，将确定需要规划变电站的个数范围 n_{\min} 、 n_{\max} ，以 n_{\min} 为循环变量通过 GIS 分析和 K-均值聚类算法确定变电站的站址和供电范围。变电站规划的最优解的流程如图 1 所示：

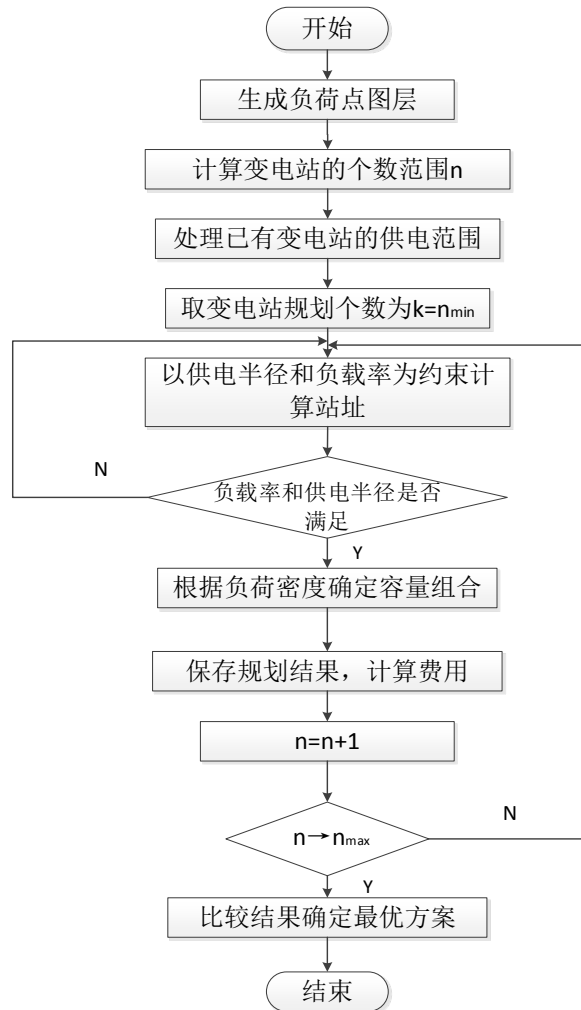


Figure 1. Curve: K-means clustering algorithm flow

图 1. K-均值聚类算法流程图

4.2. 变电站的定容

根据负荷预测以获取目标年的负荷总量、以及现有变电站的容量以及变电站的容量组合类型来确定变电站的规划的最大个数 n_{\max} 和最小个数 n_{\min} 。则变电站规划的个数如下：

$$n_{\max} = \text{int} \left[\frac{\sum W - \sum P}{S_{\max} e \cos \theta} \right] \quad (11)$$

$$n_{\min} = \text{int} \left[\frac{\sum W - \sum P}{S_{\min} e \cos \theta} \right] + 1 \quad (12)$$

式中：int 为取整函数； $\sum W$ 为目标年预测负荷的总的有功功率； $\sum P$ 为目标年已有变电站所能提供的功率之和； e 为折算后变电站的负载率； S_{\max} 、 S_{\min} 分别表示规划的变电站候选容量的最大组合和最小组合。

4.3. 变电站的选址

根据变电站的定容确定变电站规划台数的范围，可根据 GIS 数据分析以及 K-均值聚类算法最终确定变电站的站址。

4.3.1. 已有站址的处理

在目标年负荷大小以及分布情况，以及已知变电站的容量大小。现通过在 Arcgis 中生成的负荷的点图层，以及生成变电站的点图层，如表 1 所示，根据备选变电站容量组合以及大负载率的要求，确定变压器的容量组合，以负载率为指标，确定目标年变电站的供电范围以及供电半径，将该变电站所供电范围的负荷进行舍弃，重新生成负荷点图层。

4.3.2. 初始站址的选取

在 GIS 中空间分析法中密度分析通过对重新生成的点图层进行分析，对整个相关区域的负荷密度进行比较，选取密度最大点坐标作为变电站的初始值 k_1 ，以负载率为约束条件，确定供电半径 r 。以 k_1 为圆心， r 为半径生成舍弃相关区域负荷，并保存 k_1 的坐标点。对舍弃后的区域进行密度分析，选取密度最大点 k_2 ，重复迭代一直选取 n ($n \rightarrow k$) 个点。

4.4. 确定站址以及供电范围

通过上述步骤已确定变电站的初始地址，考虑到地理因素，以及变电站选址的基本需求(水源、交通、线路走廊等)，通过 GIS 地图对初始站址进行局部调整。对于调整后变电站地址进行保存进行下一步处理来获取变电站的供电范围。其主要步骤为：

步骤 1：初始化处理后的变电站的站址以及负荷分布，统计区域内负荷的坐标位置以及负荷的大小。

步骤 2：通过计算区域内每一个负荷到变电站的距离，将其分配给它最近的变电站。

Table 1. The permissible maximum load factor of the substation in the case of an overload or not overloaded of 30%
表 1. 变电站不过载和考虑过载 30%情况下所允许的最大负载率

主变台数	不过载	过载 30%
2	50%	65%
3	67%	87%
4	75%	97.5%

步骤 3: 累加负荷点的负荷值, 与变电站的容量进行比较, 若不超过, 进行下一个负荷点, 否则选取下一个变电站。

步骤 4: 重复迭代, 直到所有负荷分配完毕。

5. 算例分析及结果

算例为九江市某供区规划区内 110 kv 变电站规划, 该区域被划分为 150 个小区, 总面积约为 16 km², 每个区域的预测负荷已经确定。现该区域已有两个 110 v 变电站, 容量分别为 80 MVA (2 × 40 MVA) 和 100 MVA (2 × 50 MVA), 已知该变电站的供电范围。中压线路选型为 LGJ-240, 投资费用为 25 万元/km, 折旧年限为 20a; 功率因数为 0.95; 最大供电半径取 10 km。表 2 给出了变电站的容量类型以及投资费用。

已知目标年该地区的总负荷为 250 MVA, 现根据负荷点的分布以及现有变电站的容量, 由公式(11) (12) 确定变电站台数为 2 到 4 台, 本文通过对比分析, 采用随机选取初值以及密度法进行初值选取, 以目标函数 C_{min} 为参考, 对比两种算例的结果如图所示详细结果如表 3。

从图 2、图 3 可以看出密度法比随机法规划的效果更加合理, 变电站的分布上更加靠近负荷中心, 从而减小了变电站的供电半径以及馈线的长度, 不仅提高了电网的质量, 而且大大减少了馈线的投资以及运行费用。

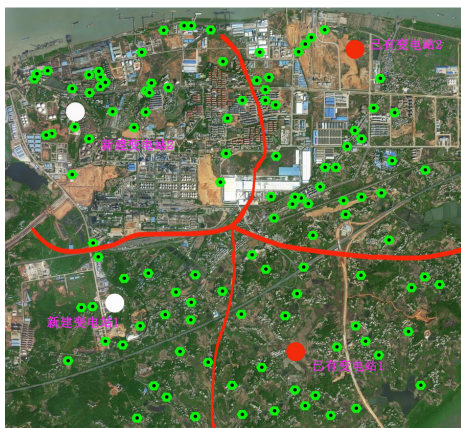


Figure 2. The simulation results of substation planning using random approach
图 2. 随机法初始化变电站规划仿真结果



Figure 3. The simulation results of substation planning using density approach
图 3. 密度法初始化变电站规划仿真结果

Table 2. Substation type and investment cost table
表 2. 变电站类型及投资费用表

变电站规模/MVA	综合投资/万元	年运行费用/万元	使用年限/a
2 × 40	2600	260	30
2 × 50	3000	300	
3 × 40	3300	330	
3 × 50	3700	370	

Table 3. The comparison results of substation load factor
表 3. 变电站负载率结果对比

变电站	优化后容量/MVA	密度法负载率/(%)	随机法负载率/(%)
已有变电站 1	3 × 40	66.57	64.8
已有变电站 2	3 × 50	71.28	74.60
新建变电站 1	2 × 50	44.08	49.15
新建变电站 2	2 × 50	48.96	39.64
变电站的投资及运行总费用/万元		3127.4	3127.4
线路投资及网损总费用/万元		507	480
总计		3634.4	3607.4

从上表 3 可以看出基于密度法的变电站规划以及随机法变电站规划的计算结果的对比, 两种方法变电站的容量变化是一致的, 由于地址的选择不同导致负载率以及总投资费用产生差别, 由表中数据可以看出, 通过密度法的规划, 变电站的负载率交随机法的负载率分布较为均匀, 使负载率得到有效改善, 从费用投资的角度来看, 由于密度法更靠近负荷密度中心, 减少了线路的投资费用, 从而减少了总费用, 得到了较优的规划结果。

6. 结论

本文以密度法的 k-均值聚类算法对变电站规划中站址, 负载率以及供电范围进行了研究, 利用了 GIS 强大的数据处理功能以及可视化地图来确定变电站的最优地址, 主要结论概述如下:

1) 通过对负荷分布, 基于密度法对变电站初始站址的选择, 使得变电站的选址更加靠近负荷中心, 提高了供电质量以及减少了线路投资。

2) 运用 k-均值聚类算法, 以变电站的负载率以及供电半径为约束条件, 更好的划分供电范围。避免了供区内负荷分布划分的不均匀, 提高变电站的利用率。

3) 结合 GIS 系统强大的数据处理功能, 减少了数据处理时间, 快速的得到最优的变电站规划, 另外, 通过 GIS 地理信息数据库, 可以提供地理信息以及行政边界等因素, 减少了实际工作中规划量。

参考文献 (References)

- [1] 高炜欣, 罗先觉, 朱颖. 贪心算法结合 Hopfield 神经网络优化配电变电站规划[J]. 电网技术, 2004, 28(7): 73-76.
- [2] 曹承栋, 常鲜戎, 刘艳. 考虑地理因素的改进量子粒子群算法在多目标电网规划中的应用[J]. 电网技术, 2012, 36(3): 134-139.
- [3] Miranda, V., Ranito, J.V. and Proenca, L.M. (1994) Genetic Algorithms in Optimal Multistage Distribution Network

Planning. *IEEE Transactions on Power Systems*, **9**, 1927-1933.

- [4] 沈瑜, 徐逸清, 陈龙翔. 高压配电网优化规划的研究[J]. 电网技术, 2011, 35(10): 70-75.
- [5] 高炜欣, 罗先觉. 基于 Hopfield 神经网络的多阶段配电变电站的规划优化[J]. 电工技术学报, 2005, 20(5): 58-64.
- [6] 葛少云, 李慧, 刘洪. 基于加权 Voronoi 图的变电站优化规划[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(3): 29-34.
- [7] 王芳东, 林韩, 温步瀛, 等. 基于改进定位策略的顶点加权 Voronoi 图高压变电站规划[J]. 华东电力, 2010, 38(11): 1692-1698.
- [8] 王玉瑾, 王主丁, 张宗益, 等. 基于初始站址冗余网格动态减少的变电站规划[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(12): 39-43.
- [9] 王千, 王成, 冯振元, 叶金凤. K-means 聚类算法研究综述[J]. 电子设计工程, 2012(7): 21-24.
- [10] Anil, K.J. (2010) Data Clustering: 50 Years beyond K-Means. *Pattern Recognition Letters*, **31**, 651-666.
- [11] Likas, A., Vlassis, M. and Verbeek, J. (2003) The Global K-Means Clustering Algorithm. *Pattern Recognition*, **36**, 451-461.
- [12] 谢娟英, 郭文娟, 谢维信, 高新波. 基于样本空间分布密度的初始聚类中心优化 K-均值算法[J]. 计算机应用研究, 2012(3): 888-892.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org