

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2017 年 9 月 21 日 (21.09.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/157048 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06Q 50/06 (2012.01) G06F 17/50 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/107194
- (22) 国际申请日: 2016 年 11 月 25 日 (25.11.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610146110.8 2016 年 3 月 15 日 (15.03.2016) CN
- (71) 申请人: 厦门亿力吉奥信息科技有限公司 (XIAMEN GREAT POWER GEO INFORMATION TECHNOLOGY CO., LTD) [CN/CN]; 中国福建省厦门市思明区软件园观日路 36 号之二, Fujian 361009 (CN)。国网山东省电力公司电力科学研究院 (STATE GRID ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE IN SHANDONG PROVINCE POWER COMPANY) [CN/CN]; 中国山东省济南市市中区望岳路 2000 号, Shandong (CN)。国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。国网信息通信产业集团有限公司 (STATE GRID INFORMATION A TELECOMMUNICATION GROUP CO., LTD.) [CN/CN]; 中国北京市昌平区未来科技城

北区国网智能电网研究院内 C 座 4 层, Beijing 361000 (CN)。

- (72) 发明人: 王继业 (WANG, Jiye); 中国福建省厦门市思明区软件园观日路 36 号之二, Fujian 361009 (CN)。庄玉林 (ZHUANG, Yulin); 中国福建省厦门市思明区软件园观日路 36 号之二, Fujian 361009 (CN)。高灵超 (GAO, Lingchao); 中国福建省厦门市思明区软件园观日路 36 号之二, Fujian 361009 (CN)。刘光曹 (LIU, Guangcao); 中国福建省厦门市思明区软件园观日路 36 号之二, Fujian 361009 (CN)。

- (74) 代理人: 北京派特恩知识产权代理有限公司 (CHINA PAT INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国北京市海淀区海淀南路 21 号中关村知识产权大厦 B 座 2 层, Beijing 100080 (CN)。

- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,

[见续页]

(54) Title: AUTOMATED LAYOUT METHOD AND SYSTEM FOR POWER GRID SYSTEM GRAPH TO OVERCOME CROSSING, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 电网系统图自动化布局克服交叉的方法及系统、存储介质

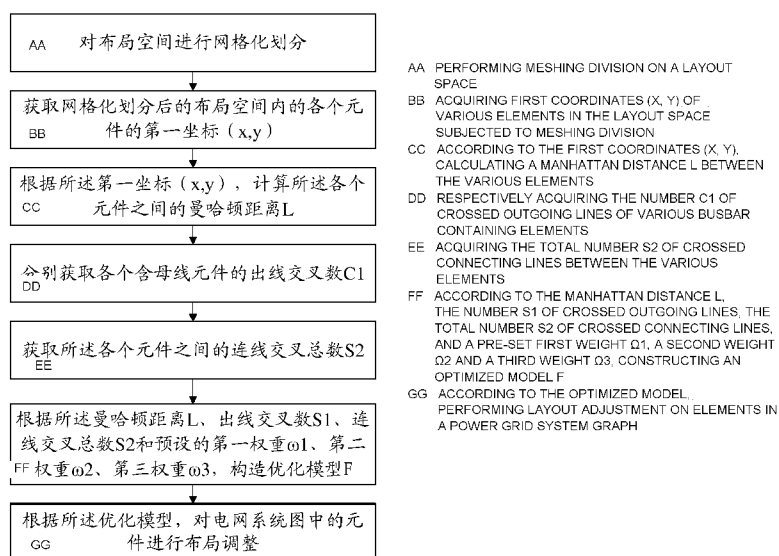


图 1

(57) Abstract: Disclosed are an automated layout method and system for a power grid system graph to overcome crossing, and a storage medium. The method comprises: performing meshing division on a layout space; acquiring first coordinates of various elements in the layout space subjected to meshing division; according to the first coordinates, calculating a Manhattan distance between the various elements; respectively acquiring the number of crossed outgoing lines of various busbar containing elements; acquiring the total number of crossed connecting lines between the various elements; constructing an optimized model; and according to the optimized model, performing layout adjustment on elements in a power grid system graph.

(57) 摘要: 本发明公开了一种电网系统图自动化布局克服交叉的方法及系统、存储介质, 方法包括: 对布局空间进行网格化划分; 获取网格化划分后的布局空间内的各个元件的第一坐标; 根据所述第一坐标, 计算所述各个元件之间的曼哈顿距离; 分别获取各个含母线元件

的出线交叉数; 获取所述各个元件之间的连线交叉总数; 构造优化模型; 根据所述优化模型, 对电网系统图中的元件进行布局调整。



SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,
SN, TD, TG)。

- (84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

电网系统图自动化布局克服交叉的方法及系统、存储介质

技术领域

本发明涉及智能绘图领域，尤其涉及一种电网系统图自动化布局克服交叉的方法及系统、存储介质。

5 背景技术

随着国家智能电网建设的不断深入，在电网的建设、运行、检修中，需要有大量的图纸来支撑，由于电网数据量大，电气接线复杂，动态变化频繁，如果手工绘制，工作量大，而且越来越难以适应现代化电网生产建设和发展的需要，自动成图功能显得越发重要。

10 智能化绘图要求将人工绘图经验与计算机智能技术融合一体，如何依据主观的经验标准建立计算机可识别的数字布局模型，为实现智能化绘图的关键一环。国际上绘图领域(Graph Drawing)的布局模型可以大致分为几种类型：主干分支布局模型、正交布局模型、树形布局模型、力导向布局模型等。几类模型中，正交布局模型与树形布局模型有图结构性要求，适
15 用于特定的场景。力导向布局模型虽具有较强的灵活性，但其发散性倾向倾斜走线，在形成水平垂直对齐的正交图时有困难。

在电网的智能化绘图中，国内的专家和学者从布线总长度和交叉数等方面来评估布局效果，形成多目标优化的方法。在多目标优化中，常常遇到的问题可供搜索的布局数量太大，需要采用优化的算法才能在短暂的
20 时间内找到令人满意的布局。此外，含母线元件的多个出线常常存在交叉，需要矫正。

在公开号为 104361184A 的专利公开文件中，提出了一种电力电网自动布局布线系统及方法，包括控制模块、数据解析模块、布局模块、布线模

块；所述数据解析模块、布局模块、布线模块分别与所述控制模块连接；
所述数据解析模块用于从数据库中读取、解析发电站和/或变电站的信息；
所述布局模块根据发电站和/或变电站信息设定节点，并根据节点位置按照
既定规则进行布局；所述布线模块用于根据发电站和/或变电站信息以及布
局情况进行布线。但该方案主要解决的是电网之间交互困难的问题，不能
解决节点的地理位置会导致图纸后续布线存在难以避免的交叉的情况。

发明内容

本发明所要解决的技术问题是：提供一种电网系统图自动化布局克服
交叉的方法及系统、存储介质，优化电网系统图的布局，减少交叉数，提
高布局效果。

为了解决上述技术问题，本发明实施例采用的技术方案为：

一种电网系统图自动化布局克服交叉的方法，包括

对布局空间进行网格化划分；

获取网格化划分后的布局空间内的各个元件的第一坐标 (x,y) ；

根据所述第一坐标 (x,y) ，计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L ；

分别获取各个含母线元件的出线交叉数 $C1$ ；

获取所述各个元件之间的连线交叉总数 $S2$ ；

根据所述曼哈顿距离 L 、出线交叉数 $S1$ 、连线交叉总数 $S2$ 和预设的第一
权重 $\omega1$ 、第二权重 $\omega2$ 、第三权重 $\omega3$ ，构造优化模型

$$F = \min[\omega1 \times L + \omega2 \times \sum_{i=1}^m C1 + \omega3 \times S2]$$

，其中 m 为含母线元件的个数；

根据所述优化模型，对电网系统图中的元件进行布局调整。

本发明实施例还涉及一种电网系统图自动化布局克服交叉的系统，包
括

划分模块，配置为对布局空间进行网格化划分；

第一获取模块，配置为获取网格化划分后的布局空间内的各个元件的第一坐标 (x,y);

第一计算模块，配置为根据所述第一坐标 (x,y)，计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L;

5 第二获取模块，配置为分别获取各个含母线元件的出线交叉数 C1;

第三获取模块，配置为获取所述各个元件之间的连线交叉总数 S2;

构造模块，配置为根据所述曼哈顿距离 L、出线交叉数 S1、连线交叉总数 S2 和预设的第一权重 ω_1 、第二权重 ω_2 、第三权重 ω_3 ，构造优化模型

$$F = \min[\omega_1 \times L + \omega_2 \times \sum_{i=1}^m C1 + \omega_3 \times S2]$$

，其中 m 为含母线元件的个数;

10 优化模块，配置为根据所述优化模型，对电网系统图中的元件进行布局调整。

本发明实施例还涉及一种存储介质，所述存储介质存储有计算机程序，该计算机程序用于执行上述电网系统图自动化布局克服交叉的方法。

15 本发明实施例的有益效果在于：综合考虑元件之间的线路总长度、含母线元件的出线交叉数和各个元件之间的连线交叉总数，构造优化模型，通过尽量减小优化模型的值，自动搜索出理想的布局，可大大节省人力资源，提高工作效率，且可减少交叉数，提高了电网系统图的成图美观性，改进了布局效果；同时，优化模型的空间布局利用率高，且可根据用户的需要设置各个参数的权重，通用性强，增大了优化模型应用的灵活性。

20 附图说明

图 1 为本发明实施例的电网系统图自动化布局克服交叉的方法的流程图;

图 2 为本发明实施例一的方法流程图;

图 3 为本发明实施例一的优化模型布局效果示意图;

图 4 为正交布局模型布局效果示意图；

图 5 为树形布局模型布局效果示意图；

图 6 为力导向布局模型布局效果示意图；

图 7 为本发明实施例二的方法流程图；

5 图 8 为本发明实施例二的含母线元件示意图；

图 9 为本发明实施例二的极坐标示意图；

图 10 为本发明实施例三的两组元件的交叉示意图；

图 11 为本发明实施例三的方法流程图；

图 12 为本发明实施例三中两组元件连线交叉的判断示意图；

10 图 13 为本发明实施例的电网系统图自动化布局克服交叉的系统的结构示意图；

图 14 为本发明实施例四的系统结构示意图。

标号说明：

1、划分模块；2、第一获取模块；3、第一计算模块；4、第二获取模
15 块；5、第三获取模块；6、构造模块；7、优化模块；

401、建立单元；402、第一计算单元；403、第一得到单元；404、第
二得到单元；

501、第一获取单元；502、第三得到单元；503、第二计算单元；504、
第一判断单元；505、第三计算单元；506、第二判断单元；507、第一判定
20 单元；508、第二判定单元；509、第三判断单元；510、第三判定单元；511、
第四判定单元；512、第四计算单元。

具体实施方式

为详细说明本发明实施例的技术内容、所实现目的及效果，以下结合
实施方式并配合附图详予说明。

25 本发明实施例最关键的构思在于：基于多目标的优化模型，通过搜索

最优值，对电网系统图的布局进行优化。

请参阅图 1，一种电网系统图自动化布局克服交叉的方法，包括对布局空间进行网格化划分；

获取网格化划分后的布局空间内的各个元件的第一坐标 (x,y)；

5 根据所述第一坐标 (x,y)，计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L；

分别获取各个含母线元件的出线交叉数 C1；

获取所述各个元件之间的连线交叉总数 S2；

根据所述曼哈顿距离 L、出线交叉数 S1、连线交叉总数 S2 和预设的第一权重 ω_1 、第二权重 ω_2 、第三权重 ω_3 ，构造优化模型

$$10 \quad F = \min[\omega_1 \times L + \omega_2 \times \sum_{i=1}^m C1 + \omega_3 \times S2] \quad , \text{其中 } m \text{ 为含母线元件的个数；}$$

根据所述优化模型，对电网系统图中的元件进行布局调整。

从上述描述可知，本发明的有益效果在于：通过尽量减小优化模型的值，缩短线路长度，减少电网系统图中的交叉数，搜索出理想的布局，可提高电网系统图的成图美观性，提高布局效果。

15 本发明实施例中，所述“根据所述第一坐标，计算所述各个元件之间的

的曼哈顿距离 L”具体为：根据公式
$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j>i} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \delta(i, j)$$
 计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L，其中 $\delta(i, j)$ 为 delta 函数，当元件 i 与元件 j 之间有连线时， $\delta(i, j) = 1$ ，反之 $\delta(i, j) = 0$ 。

20 由上述描述可知，采用曼哈顿距离作为衡量电网节点间连线长度的模型，符合电网系统图制图走线横平竖直的特点，且曼哈顿距离模型具有有效性与实用性。

本发明实施例中，所述“分别获取各个含母线元件的出线交叉数 C1”具体为：

以所述含母线元件 i 为原点，垂直向上为 0 方向，逆时针为正方向，建

立极坐标系；

根据公式
$$A_{i,k} = (\cos^{-1}(\frac{|x_{i,k} - x_i|}{\sqrt{(x_{i,k} - x_i)^2 + (y_{i,k} - y_i)^2}}) - \frac{\pi}{2}) \bmod 2\pi$$
 计算与所述含母线元

件 i 有直接拓扑连接的第 k 个元件在极坐标系中的角度，其中 (x_i, y_i) 和 $(x_{i,k}, y_{i,k})$ 为所述含母线元件 i 与所述元件 k 的第一坐标；

5 比较与所述含母线元件 i 有直接拓扑连接的各个元件的角度，得到逆序数；

根据所述逆序数，得到所述含母线元件的出线交叉数 C1。

由上述描述可知，通过建立极坐标系，计算并比较与含母线元件有直接拓扑连接的各个元件的角度，得到逆序数，可以推出按最短路径的布线
10 后存在的交叉数。

本发明实施例中，所述“获取元件之间的连线交叉总数 S2”具体为：

获取两组元件，其中一组为有连线关系的第一元件 P1 和第二元件 P2，另一组为有连线关系的第三元件 Q1 和第四元件 Q2；

根据所述第一元件 P1、第二元件 P2、第三元件 Q1 和第四元件 Q2 的
15 第一坐标，得到第一向量 Q1P2、第二向量 Q1P1、第三向量 P1Q1、第四向量 P1Q2、第五向量 Q2P1、第六向量 Q2P2、第七向量 P2Q2、第八向量 P2Q1；

根据公式 $\varepsilon_1 = Q1P2 \times Q1P1$ 、 $\varepsilon_2 = P1Q1 \times P1Q2$ 、 $\varepsilon_3 = Q2P1 \times Q2P2$ 、 $\varepsilon_4 = P2Q2 \times P2Q1$ 计算第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 ；

20 判断所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 是否均为 0；

若所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 均为 0，则根据公式 $\kappa_1 = Q1P2 \cdot Q1P1$ 、 $\kappa_2 = P1Q1 \cdot P1Q2$ 、 $\kappa_3 = Q2P1 \cdot Q2P2$ 、 $\kappa_4 = P2Q2 \cdot P2Q1$ 计算第一点乘结果 κ_1 、第二点乘结果 κ_2 、

第三点乘结果 κ_3 和第四点乘结果 κ_4 ;

若所述第一点乘结果 κ_1 、第二点乘结果 κ_2 、第三点乘结果 κ_3 和第四点乘结果 κ_4 均大于 0, 则判定所述两组元件不相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C_2=0$;

5 若所述第一点乘结果 κ_1 、第二点乘结果 κ_2 、第三点乘结果 κ_3 和第四点乘结果 κ_4 不均大于 0, 则判定所述两组元件相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C_2=1$;

若所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 均大于等于 0 或均小于等于 0, 则判定所述两组元件相交, 并令
10 所述两组元件的连线交叉数 $C_2=1$;

若所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 不均大于等于 0 或不均小于等于 0, 则判定所述两组元件不相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C_2=0$;

根据公式 $S_2 = \sum_{i=1}^t C_2$ 计算连线交叉总数 S_2 , 其中 t 为任意两组有连接关系的元件的取法数量且所述两组元件中不存在共同的元件。
15

由上述描述可知, 通过向量的叉乘结果和点乘结果来判断两组元件是否有交叉, 简单高效。

请参照图 13, 本发明实施例还提出一种电网系统图自动化布局克服交叉的系统, 包括:

20 划分模块, 配置为对布局空间进行网格化划分;

第一获取模块, 配置为获取网格化划分后的布局空间内的各个元件的第一坐标 (x, y) ;

第一计算模块, 配置为根据所述第一坐标 (x, y) , 计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L ;

25 第二获取模块, 配置为分别获取各个含母线元件的出线交叉数 C_1 ;

第三获取模块，配置为获取所述各个元件之间的连线交叉总数 S2；

构造模块，配置为根据所述曼哈顿距离 L、出线交叉数 S1、连线交叉总数 S2 和预设的第一权重 ω_1 、第二权重 ω_2 、第三权重 ω_3 ，构造优化模型

$$F = \min[\omega_1 \times L + \omega_2 \times \sum_{i=1}^m C1 + \omega_3 \times S2]$$

，其中 m 为含母线元件的个数；

- 5 优化模块，配置为根据所述优化模型，对电网系统图中的元件进行布局调整。

本发明实施例中，所述第一计算模块还配置为根据公式

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j>i} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \delta(i, j)$$

计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L，其中 $\delta(i, j)$ 为 delta 函数，当元件 i 与元件 j 之间有连线时， $\delta(i, j) = 1$ ，反之 $\delta(i, j) = 0$ 。

- 10 本发明实施例中，所述第二获取模块包括

建立单元，配置为以所述含母线元件 i 为原点，垂直向上为 0 方向，逆时针为正方向，建立极坐标系；

第一计算单元，配置为根据公式

$$A_{i,k} = (\cos^{-1}(\frac{|x_{i,k} - x_i|}{\sqrt{(x_{i,k} - x_i)^2 + (y_{i,k} - y_i)^2}}) - \frac{\pi}{2}) \bmod 2\pi$$

计算与所述含母线元件 i 有直接拓扑连接的第 k 个元件在极坐标系中的角

- 15 度，其中 (x_i, y_i) 和 $(x_{i,k}, y_{i,k})$ 为所述含母线元件 i 与所述元件 k 的第一坐标；

第一得到单元，配置为比较与所述含母线元件 i 有直接拓扑连接的各个元件的角度，得到逆序数；

第二得到单元，配置为根据所述逆序数，得到所述含母线元件的出线交叉数 C1。

- 20 本发明实施例中，所述第三获取模块包括

第一获取单元，配置为获取两组元件，其中一组为有连线关系的第一元件 P1 和第二元件 P2，另一组为有连线关系的第三元件 Q1 和第四元件 Q2；

第三得到单元,配置为根据所述第一元件 P1、第二元件 P2、第三元件 Q1 和第四元件 Q2 的第一坐标,得到第一向量 $Q1P2$ 、第二向量 $Q1P1$ 、第三向量 $P1Q1$ 、第四向量 $P1Q2$ 、第五向量 $Q2P1$ 、第六向量 $Q2P2$ 、第七向量 $P2Q2$ 、第八向量 $P2Q1$;

5 第二计算单元,配置为根据公式 $\varepsilon1=Q1P2 \times Q1P1$ 、 $\varepsilon2=P1Q1 \times P1Q2$ 、 $\varepsilon3=Q2P1 \times Q2P2$ 、 $\varepsilon4=P2Q2 \times P2Q1$ 计算第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$;

第一判断单元,配置为判断所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 是否均为 0;

10 第三计算单元,配置为若所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 均为 0,则根据公式 $\kappa1=Q1P2 \cdot Q1P1$ 、 $\kappa2=P1Q1 \cdot P1Q2$ 、 $\kappa3=Q2P1 \cdot Q2P2$ 、 $\kappa4=P2Q2 \cdot P2Q1$ 计算第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$;

15 第一判定单元,配置为若所述第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$ 均大于 0,则判定所述两组元件不相交,并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=0$;

第二判定单元,配置为若所述第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$ 不均大于 0,则判定所述两组元件相交,并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=1$;

20 第三判定单元,配置为若所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 均大于等于 0 或均小于等于 0,则判定所述两组元件相交,并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=1$;

25 第四判定单元,配置为若所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 不均大于等于 0 或不均小于等于 0,则判定所述两组元件不相交,并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=0$;

第四计算单元，配置为根据公式 $S2 = \sum_{i=1}^t C2$ 计算连线交叉总数 S2，其中 t 为任意两组有连接关系的元件的取法数量且所述两组元件中不存在共同的元件。

实施例一

5 请参照图 2，本发明的实施例一为：一种电网系统图自动化布局克服交叉的方法，包括如下步骤：

S1：对布局空间进行网格化划分；

稀疏的网格将限制布局效果，影响模型灵活性，网格过密则会增加计算开支，亦对布局美观性要求产生影响，均衡考虑系统性能和模型灵活性，
10 对单元格大小与布局空间的划分规定如下：使用相同大小的单元格来划分布局区域，每个元件只占一行，不允许跨行摆放，元件可以占据一行中的多个单元格，每个单元格中至多有一个元件。元件摆放于单元格中央，在元件四周预留出走线空间；也就是说，假定布局空间为矩形区域，按照一定的横向间距 W_{unit} 与纵向间距 H_{unit} 建立网格， $W_{unit} = \min(w_i) + W_{space} \quad i = 1 \dots n$ ，
15 $H_{unit} = \max(h_i) + H_{space} \quad i = 1 \dots n$ ，其中 W_{unit} 与 H_{unit} 为单元格宽度， w_i 和 h_i 为第 i 个元件的宽度，n 为元件的数量， W_{space} 和 H_{space} 为在元件四周预留走线通道的宽度。

S2：获取网格化划分后的布局空间内的各个元件的第一坐标 (x,y)；

可选地，为方便计算机处理，将布局空间的左上角设为原点，水平向右为 x 轴正方向，垂直向下为 y 轴正方向。
20

S3：判断各个元件之间是否有连线，即判断布局空间中任意两个元件 i 和 j 之间是否有连线，若是，则执行步骤 S4，若否，则执行步骤 S5。

S4：令 delta 函数 $\delta(i, j) = 1$ 。

S5：令 delta 函数 $\delta(i, j) = 0$ 。

S6: 根据各个元件的第一坐标和公式 $L = \sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \delta(i, j)$, 计

算各个元件之间的曼哈顿距离 L , 其中 (x_i, y_i) 为元件 i 的第一坐标, (x_j, y_j) 为元件 j 的第一坐标, n 为布局空间中元件的数量。

S7: 获取电网系统图中的含母线元件。

5 S8: 分别获取各个含母线元件的出线交叉数 $C1$; 通常情况下, 母线出线接头排放于元件下端, 按照从左至右的顺序编号, 其连接的元件容易因摆放不当造成出线交叉, 出线交叉数即含母线元件的出线的交叉数。

S9: 获取所述各个元件之间的连线交叉总数 $S2$; 可先取两根连线连接的 4 个元件, 判断连接这 4 个元件的两根连线是否有交叉, 若有交叉则令
10 其连线交叉数为 1, 反之则为 0, 获取所有所述两根连线的连线交叉数, 进行求和即为连线交叉总数。

S10: 根据所述曼哈顿距离 L 、出线交叉数 $S1$ 、连线交叉总数 $S2$ 和预设的第一权重 $\omega1$ 、第二权重 $\omega2$ 、第三权重 $\omega3$, 构造优化模型

$$F = \min[\omega1 \times L + \omega2 \times \sum_{i=1}^m C1 + \omega3 \times S2]$$

, 其中 m 为含母线元件的个数。

15 第一权重 $\omega1$ 、第二权重 $\omega2$ 、第三权重 $\omega3$ 可以直接由人工设定, 即直接由系统图相关使用者给出一组权重, 其反应了每个人对于线路长度与两种交叉的厌恶程度, 程度越高, 给出的权重就越大, 通过对多人给出权重的平均, 可以确定系统图相关使用者的平均偏好; 也可以通过统计计算设定, 基于统计学中的序分布模型, 根据已有人工布局的系统图, 分别计算
20 线路长度和两种交叉数的值, 得到三个值的序分布, 从而确定三个值间的比例关系, 再乘以标准化系数即可得出权重; 还可以通过平均值方法, 将人工设定的三个权重的值与统计计算所得到的三个权重的值分别取平均, 作为最终三个权重的值。

S11: 根据所述优化模型, 对电网系统图中的元件进行布局调整; 优化

模型的值越小，布局效果越好，在寻求所述优化模型的最优解的过程中，采用交换元件位置，以及把元件放到空白位置的方式，朝着减小优化模型的值 F 的方向开展搜索尝试，最终搜索到理想的布局。优选地，在优化过程中，所有生成的布局排除重复，只要生成的布局对应的优化模型的值优于当前访问的布局，则暂停生成其他布局，优先访问更加优化的布局，以提高搜索效率。

电网系统图中的线路走向通常由最短路径算法来确定，常见的最短路径算法有深度优先搜索，广度优先搜索，A*算法和 Djisktra 算法。可选地，可以使用带权重网格上的 Djisktra 算法完成电网系统图中元件间连线的计算。

为验证所述优化模型的布局效果，选取常见的三种布局模型进行比较，包括树形布局模型，正交布局模型，力导向布局模型，使用 100 份模拟电网拓扑数据作为算例，通过直接呈现成图结果来比较成图美观与易读性，通过计算成图所占网格数与长宽比来比较模型对空间的利率情况。

图 3 为优化模型布局效果示意图，图 4 为正交布局模型布局效果示意图，图 5 为树形布局模型布局效果示意图，图 6 为力导向布局模型布局效果示意图；表 1 包含上述四种模型的空间利用率，表 2 包含上述四种模型对布局空间长宽比与比面积的控制能力。

	布局所占空间	空间利用率
优化模型	121 单位	24.8%
正交布局	567 单位	5.3%
树形布局	234 单位	12.8%
力导向布局	391 单位	7.7%

表 1

	能否控制面积	能否控制长宽比
多目标优化模型	Yes	Yes

正交布局	No	No
树形布局	No	No
力导向布局	Yes	Yes

表 2

比较图 3-6 和表 1-2，结果显示，所述优化模型在控制布局空间长宽比和优化布局空间利用率上具有显著优势，在减少线路交叉上与所比较的模型均达到了无交叉的效果。

5 实施例二

请参照图 7，本实施例为实施例一基础上，其中的步骤 S8 的一种具体实现方式，包括如下步骤：

S801：以含母线元件 i 为原点，垂直向上为 0 方向，逆时针为正方向，建立极坐标系，角度单位设定为弧度，设元件 i 节点度为 d_j 。

10 S802：计算各个与所述含母线元件有直接拓扑连接的元件在极坐标系

中的角度；根据公式
$$A_{i,k} = (\cos^{-1}(\frac{|x_{i,k} - x_i|}{\sqrt{(x_{i,k} - x_i)^2 + (y_{i,k} - y_i)^2}}) - \frac{\pi}{2}) \bmod 2\pi$$
 计算与所述含母线元件 i 有直接拓扑连接的第 k 个元件在极坐标系中的角度，其中 (x_i, y_i) 和 $(x_{i,k}, y_{i,k})$ 为所述含母线元件 i 与所述元件 k 的第一坐标， $k=1\dots d_j$ 。

15 S803：比较与所述含母线元件 i 有直接拓扑连接的各个元件的角度，得到逆序数；逆序数的定义为：如果在 $1, 2, 3 \dots n$ 这 n 个数的一个全排列 $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$ 中，有 $p_i > p_j, i < j$ 时，就称这是一个逆序，排列 $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$ 中逆序的总数称为该排列的逆序数。

S804：根据所述逆序数，得到所述含母线元件的出线交叉数 C1；即出线交叉数 C1 等于逆序数。

20 例如，如图 8 所示，一种含母线元件与其有直接拓扑连接的元件 A、B、C、D 的摆放示意图，在计算角度时，为避免水平连线多个元件角度重合，

无法分辨是否交叉，如元件 C 和元件 D，可将原点略向出线方向偏移，如图 9 所示；可选地，偏移距离为 0.1 个单元格或 0.01 个单元格；根据步骤 S802 中的公式计算出 A、B、C、D 元件相对含母线元件的角度分别为 116° 、 68° 、 279° 、 272° ，得到的排序为 $116^\circ < 68^\circ < 279^\circ < 272^\circ$ ，其中存在
5 的逆序有： $116^\circ < 68^\circ$ 和 $279^\circ < 272^\circ$ ，即逆序数为 2，推出按最短路径的布线后存在 2 个交叉，即该含母线元件的出线交叉数 $C1=2$ 。

因为逆方向为所述极坐标系的正方向，因此优选地，可以直接得到四个元件的角度排序为 $B < A < D < C$ ，对比排序 $A < B < C < D$ ，存在两个逆序，即逆序数为 2，即可很容易地得到即该含母线元件的出线交叉数 $C1=2$ 。

10 实施例三

本实施例为实施例一基础上，其中的步骤 S9 的一种具体实现方式，在实际布局中，存在多种两根线连接着四个元件发生的交叉，如图 10 左侧的十字交叉，图 10 中部的四角交叉，以及更加随意的情形例如图 10 右侧。尽管元件相对位置存在各种情况，布局中这类交叉的检测发现，都统一采
15 用两线段交叉判断来处理。

通常两线段相交，围成的四边形内角都小等于 180° ；两线段不相交，存在内角大于 180° 。由于计算内角大小比较繁琐，因此用四个向量叉乘结果 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 和 ε_4 来判断，一旦发现其中既有大于 0 也有小于 0，对应着四边形同时存在内角大于 180° 和小于 180° 的情况，就可以快速返回两线
20 段不相交的结果。特殊情况，四个向量叉乘结果全等于 0，对应着两线段在同一直线上，需计算四个向量点乘结果 κ_1 、 κ_2 、 κ_3 和 κ_4 ，若全大于 0 则不相交，否则两线段相交。

请参照图 11，本实施例中步骤 S9 具体可以包括如下步骤：

S901：获取两组元件，其中一组为有连线关系的第一元件 P1 和第二元
25 件 P2，另一组为有连线关系的第三元件 Q1 和第四元件 Q2。

S902: 根据所述第一元件 P1、第二元件 P2、第三元件 Q1 和第四元件 Q2 的第一坐标, 得到第一向量 $Q1P2$ 、第二向量 $Q1P1$ 、第三向量 $P1Q1$ 、第四向量 $P1Q2$ 、第五向量 $Q2P1$ 、第六向量 $Q2P2$ 、第七向量 $P2Q2$ 、第八向量 $P2Q1$ 。

5 S903: 根据公式 $\varepsilon1=Q1P2 \times Q1P1$ 、 $\varepsilon2=P1Q1 \times P1Q2$ 、 $\varepsilon3=Q2P1 \times Q2P2$ 、 $\varepsilon4=P2Q2 \times P2Q1$ 计算第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 。

S904: 判断所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 是否均为 0, 若是, 则执行步骤 S905, 若否, 则执行步
10 骤 S909。

S905: 根据公式 $\kappa1=Q1P2 \cdot Q1P1$ 、 $\kappa2=P1Q1 \cdot P1Q2$ 、 $\kappa3=Q2P1 \cdot Q2P2$ 、 $\kappa4=P2Q2 \cdot P2Q1$ 计算第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$ 。

S906: 判断所述第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$
15 和第四点乘结果 $\kappa4$ 是否均大于 0, 若是, 则执行步骤 S907, 若否, 则执行步骤 S908。

S907: 判定所述两组元件不相交, 即无交叉, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=0$ 。

S908: 判定所述两组元件相交, 即有交叉, 并令所述两组元件的连线
20 交叉数 $C2=1$ 。

S909: 判断所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 是否均大于等于 0 或均小于等于 0, 若是, 则执行 S910, 若否, 则执行步骤 S911。

S910: 判定所述两组元件相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=1$ 。

25 S911: 判定所述两组元件不相交, 并令所述两组元件的连线交叉数

C2=0。

S912: 获取布局空间中所有任意两组元件的连线交叉数 C2, 根据公式

$$S2 = \sum_{i=1}^t C2$$

计算连线交叉总数 S2, 其中 t 为任意两组有连接关系的元件的取法数量且所述两组元件中不存在共同的元件, 即在所有连线中任意取出两根连线且满足这两根连线不连接共同元件的取法数量。

例如, 图 12 中 (a) 所示的两组元件所计算出的叉乘结果分别为 $\varepsilon_1 > 0$ 、 $\varepsilon_2 > 0$ 、 $\varepsilon_3 > 0$ 、 $\varepsilon_4 > 0$, 四个叉乘结果均大于 0, 因此判定其相交, C2=1; 图 12 中 (b) 所示的两组元件所计算出的叉乘结果分别为 $\varepsilon_1 < 0$ 、 $\varepsilon_2 < 0$ 、 $\varepsilon_3 < 0$ 、 $\varepsilon_4 < 0$, 四个叉乘结果均小于 0, 因此判定其相交, C2=1; 图 12 中 (c) 所示的两组元件所计算出的叉乘结果分别为 $\varepsilon_1 < 0$ 、 $\varepsilon_2 > 0$, 因同时存在大于 0 和小于 0 的情况, 可不用计算第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 , 直接判定所述两组元件不相交, C2=0; 图 12 中 (d) 所示的两组元件所计算出的叉乘结果分别为 $\varepsilon_1 = 0$ 、 $\varepsilon_2 > 0$ 、 $\varepsilon_3 > 0$ 、 $\varepsilon_4 > 0$, 四个叉乘结果均大于等于 0, 因此判定其相交, C2=1; 对于图 12 中 (e) 和 (f), 其所计算出的四个叉乘结果均为 0, 因此计算其四个点乘结果, 对于 (e) 所示的两组元件, 其所计算出的点乘结果分别为 $\kappa_1 > 0$ 、 $\kappa_2 > 0$ 、 $\kappa_3 > 0$ 、 $\kappa_4 > 0$, 四个点乘结果均大于 0, 因此判定所述两组元件不相交, C2=0; 对于 (f) 所示的两组元件, 其所计算出的点乘结果分别为 $\kappa_1 > 0$ 、 $\kappa_2 < 0$ 、 $\kappa_3 < 0$ 、 $\kappa_4 > 0$, 四个点乘结果不均大于 0, 因此判定所述两组元件相交, C2=1。

实施例四

请参照图 14, 本实施例为实施例一、实施例二和实施例三的基础上的一种电网系统图自动化布局克服交叉的系统, 包括

划分模块 1, 配置为对布局空间进行网格化划分;

第一获取模块 2, 配置为获取网格化划分后的布局空间内的各个元件的

第一坐标 (x,y);

第一计算模块 3, 配置为根据所述第一坐标 (x, y) , 计算所述各个元件

之间的曼哈顿距离 L ; 还配置为根据公式
$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j>i} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \delta(i, j)$$
 计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L , 其中 $\delta(i, j)$ 为 delta 函数, 当元件 i 与元件 j 之间有连线时, $\delta(i, j) = 1$, 反之 $\delta(i, j) = 0$;

5 第二获取模块 4, 配置为分别获取各个含母线元件的出线交叉数 $C1$;

第三获取模块 5, 配置为获取所述各个元件之间的连线交叉总数 $S2$;

构造模块 6, 配置为根据所述曼哈顿距离 L 、出线交叉数 $S1$ 、连线交叉总数 $S2$ 和预设的第一权重 $\omega 1$ 、第二权重 $\omega 2$ 、第三权重 $\omega 3$, 构造优化模

型
$$F = \min[\omega 1 \times L + \omega 2 \times \sum_{i=1}^m C1 + \omega 3 \times S2]$$
, 其中 m 为含母线元件的个数;

10 优化模块 7, 配置为根据所述优化模型, 对电网系统图中的元件进行布局调整。

所述第二获取模块 4 包括

建立单元 41, 配置为以所述含母线元件 i 为原点, 垂直向上为 0 方向, 逆时针为正方向, 建立极坐标系;

15 第一计算单元 42, 配置为根据公式

$$A_{i,k} = (\cos^{-1}(\frac{|x_{i,k} - x_i|}{\sqrt{(x_{i,k} - x_i)^2 + (y_{i,k} - y_i)^2}}) - \frac{\pi}{2}) \bmod 2\pi$$
 计算与所述含母线元件 i 有直接拓扑

连接的第 k 个元件在极坐标系中的角度, 其中 (x_i, y_i) 和 $(x_{i,k}, y_{i,k})$ 为所述含母线元件 i 与所述元件 k 的第一坐标;

20 第一得到单元 43, 配置为比较与所述含母线元件 i 有直接拓扑连接的各个元件的角度, 得到逆序数;

第二得到单元 44, 配置为根据所述逆序数, 得到所述含母线元件的出线交叉数 $C1$ 。

所述第三获取模块 5 包括

第一获取单元 501, 配置为获取两组元件, 其中一组为有连线关系的第一元件 P1 和第二元件 P2, 另一组为有连线关系的第三元件 Q1 和第四元件 Q2;

第三得到单元 502, 配置为根据所述第一元件 P1、第二元件 P2、第三元件 Q1 和第四元件 Q2 的第一坐标, 得到第一向量 $Q1P2$ 、第二向量 $Q1P1$ 、第三向量 $P1Q1$ 、第四向量 $P1Q2$ 、第五向量 $Q2P1$ 、第六向量 $Q2P2$ 、第七向量 $P2Q2$ 、第八向量 $P2Q1$;

第二计算单元 503, 配置为根据公式 $\varepsilon1=Q1P2 \times Q1P1$ 、 $\varepsilon2=P1Q1 \times P1Q2$ 、 $\varepsilon3=Q2P1 \times Q2P2$ 、 $\varepsilon4=P2Q2 \times P2Q1$ 计算第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$;

第一判断单元 504, 配置为判断所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 是否均为 0;

第三计算单元 505, 配置为若所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 均为 0, 则根据公式 $\kappa1=Q1P2 \cdot Q1P1$ 、 $\kappa2=P1Q1 \cdot P1Q2$ 、 $\kappa3=Q2P1 \cdot Q2P2$ 、 $\kappa4=P2Q2 \cdot P2Q1$ 计算第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$;

第二判断单元 506, 配置为判断所述第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$ 是否均大于 0;

第一判定单元 507, 配置为若所述第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$ 均大于 0, 则判定所述两组元件不相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=0$;

第二判定单元 508, 配置为若所述第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$ 不均大于 0, 则判定所述两组元件相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=1$;

第三判断单元 509, 配置为判断所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、

第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 是否均大于 0 或均小于 0;

第三判定单元 510, 配置为若所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 均大于等于 0 或均小于等于 0, 则判定所述两组元件相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C_2=1$;

5 第四判定单元 511, 配置为若所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 不均大于等于 0 或不均小于等于 0, 则判定所述两组元件不相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C_2=0$;

第四计算单元 512, 配置为根据公式 $S_2 = \sum_{i=1}^t C_2$ 计算连线交叉总数 S_2 ,

10 其中 t 为任意两组有连接关系的元件的取法数量且所述两组元件中不存在共同的元件。

在实际应用中, 所述电网系统图自动化布局克服交叉的系统中的各个单元模块所实现的功能, 均可由位于电网系统图自动化布局克服交叉的系统中的中央处理器 (Central Processing Unit, CPU)、或微处理器 (Micro Processor Unit, MPU)、或数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP)、
15 或现场可编程门阵列 (Field Programmable Gate Array, FPGA) 等实现。

本发明实施例上述电网系统图自动化布局克服交叉的系统如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用, 也可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解, 本发明实施例的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,
20 该计算机软件产品存储在一个存储介质中, 包括若干指令用以使得一台计算机设备 (可以是个人计算机、服务器、或者网络设备等) 执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分。相应地, 本发明实施例还提供一种存储介质, 其中存储有计算机程序, 该计算机程序用于执行本发明实施例的电网系统图自动化布局克服交叉的方法。

25 综上所述, 本发明提供的一种电网系统图自动化布局克服交叉的方法

及系统、存储介质，采用曼哈顿距离作为衡量电网节点间连线长度的模型，符合电网系统图制图走线横平竖直的特点，且曼哈顿距离模型具有有效性与实用性；通过建立极坐标系，计算并比较与含母线元件有直接拓扑连接的各个元件的角度，得到逆序数，推出按最短路径的布线后存在的交叉数；

5 通过向量的叉乘结果和点乘结果来判断两组元件是否有交叉，简单高效；综合考虑元件之间的线路总长度、含母线元件的出线交叉数和各个元件之间的连线交叉总数，构造优化模型，通过尽量减小优化模型的值，自动搜索出理想的布局，可大大节省人力资源，提高工作效率，且可提高电网系统图的成图美观性，提高布局效果；同时，优化模型的空间布局利用率高，

10 且可根据用户的需要设置各个参数的权重，通用性强，增大了优化模型应用的灵活性。

以上所述仅为本发明的实施例，并非因此限制本发明的专利范围，凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等同变换，或直接或间接运用在相关的技术领域，均同理包括在本发明的专利保护范围内。

15 工业实用性

本发明综合考虑元件之间的线路总长度、含母线元件的出线交叉数和各个元件之间的连线交叉总数，构造优化模型，通过尽量减小优化模型的值，自动搜索出理想的布局，可大大节省人力资源，提高工作效率，且可减少交叉数，提高了电网系统图的成图美观性，改进了布局效果；同时，

20 优化模型的空间布局利用率高，且可根据用户的需要设置各个参数的权重，通用性强，增大了优化模型应用的灵活性。

权利要求书

1、一种电网系统图自动化布局克服交叉的方法，包括

对布局空间进行网格化划分；

获取网格化划分后的布局空间内的各个元件的第一坐标 (x,y)；

5 根据所述第一坐标 (x,y)，计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L；

分别获取各个含母线元件的出线交叉数 C1；

获取所述各个元件之间的连线交叉总数 S2；

根据所述曼哈顿距离 L、出线交叉数 S1、连线交叉总数 S2 和预设的第一权重 ω_1 、第二权重 ω_2 、第三权重 ω_3 ，构造优化模型

$$10 \quad F = \min[\omega_1 \times L + \omega_2 \times \sum_{i=1}^m C1 + \omega_3 \times S2] \quad , \text{其中 } m \text{ 为含母线元件的个数；}$$

根据所述优化模型，对电网系统图中的元件进行布局调整。

2、根据权利要求 1 所述的电网系统图自动化布局克服交叉的方法，其中，所述“根据所述第一坐标，计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L”具

体为：根据公式
$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j>i} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \delta(i, j)$$
 计算所述各个元件之间的曼哈

15 顿距离 L，其中 $\delta(i, j)$ 为 delta 函数，当元件 i 与元件 j 之间有连线时， $\delta(i, j) = 1$ ，反之 $\delta(i, j) = 0$ 。

3、根据权利要求 1 所述的电网系统图自动化布局克服交叉的方法，其中，所述“分别获取各个含母线元件的出线交叉数 C1”具体为：

20 以所述含母线元件 i 为原点，垂直向上为 0 方向，逆时针为正方向，建立极坐标系；

根据公式
$$A_{i,k} = (\cos^{-1}(\frac{|x_{i,k} - x_i|}{\sqrt{(x_{i,k} - x_i)^2 + (y_{i,k} - y_i)^2}}) - \frac{\pi}{2}) \bmod 2\pi$$
 计算与所述含母线元

件 i 有直接拓扑连接的第 k 个元件在极坐标系中的角度，其中 (x_i, y_i) 和

$(x_{i,k}, y_{i,k})$ 为所述含母线元件 i 与所述元件 k 的第一坐标;

比较与所述含母线元件 i 有直接拓扑连接的各个元件的角度, 得到逆序数;

根据所述逆序数, 得到所述含母线元件的出线交叉数 $C1$ 。

- 5 4、根据权利要求 1 所述的电网系统图自动化布局克服交叉的方法, 其中, 所述“获取元件之间的连线交叉总数 $S2$ ”具体为:

获取两组元件, 其中一组为有连线关系的第一元件 $P1$ 和第二元件 $P2$, 另一组为有连线关系的第三元件 $Q1$ 和第四元件 $Q2$;

- 10 根据所述第一元件 $P1$ 、第二元件 $P2$ 、第三元件 $Q1$ 和第四元件 $Q2$ 的第一坐标, 得到第一向量 $Q1P2$ 、第二向量 $Q1P1$ 、第三向量 $P1Q1$ 、第四向量 $P1Q2$ 、第五向量 $Q2P1$ 、第六向量 $Q2P2$ 、第七向量 $P2Q2$ 、第八向量 $P2Q1$;

根据公式 $\varepsilon1=Q1P2 \times Q1P1$ 、 $\varepsilon2=P1Q1 \times P1Q2$ 、 $\varepsilon3=Q2P1 \times Q2P2$ 、 $\varepsilon4=P2Q2 \times P2Q1$ 计算第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$;

- 15 判断所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 是否均为 0;

- 20 若所述第一叉乘结果 $\varepsilon1$ 、第二叉乘结果 $\varepsilon2$ 、第三叉乘结果 $\varepsilon3$ 和第四叉乘结果 $\varepsilon4$ 均为 0, 则根据公式 $\kappa1=Q1P2 \cdot Q1P1$ 、 $\kappa2=P1Q1 \cdot P1Q2$ 、 $\kappa3=Q2P1 \cdot Q2P2$ 、 $\kappa4=P2Q2 \cdot P2Q1$ 计算第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$;

若所述第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$ 均大于 0, 则判定所述两组元件不相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=0$;

- 25 若所述第一点乘结果 $\kappa1$ 、第二点乘结果 $\kappa2$ 、第三点乘结果 $\kappa3$ 和第四点乘结果 $\kappa4$ 不均大于 0, 则判定所述两组元件相交, 并令所述两组元件的

连线交叉数 $C2=1$;

若所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 均大于等于 0 或均小于等于 0, 则判定所述两组元件相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=1$;

- 5 若所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 不均大于等于 0 或不均小于等于 0, 则判定所述两组元件不相交, 并令所述两组元件的连线交叉数 $C2=0$;

根据公式 $S2 = \sum_{i=1}^t C2$ 计算连线交叉总数 $S2$, 其中 t 为任意两组有连接关系的元件的取法数量且所述两组元件中不存在共同的元件。

- 10 5、一种电网系统图自动化布局克服交叉的系统, 包括

划分模块, 配置为对布局空间进行网格化划分;

第一获取模块, 配置为获取网格化划分后的布局空间内的各个元件的第一坐标 (x, y) ;

- 15 第一计算模块, 配置为根据所述第一坐标 (x, y) , 计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L ;

第二获取模块, 配置为分别获取各个含母线元件的出线交叉数 $C1$;

第三获取模块, 配置为获取所述各个元件之间的连线交叉总数 $S2$;

构造模块, 配置为根据所述曼哈顿距离 L 、出线交叉数 $S1$ 、连线交叉总数 $S2$ 和预设的第一权重 ω_1 、第二权重 ω_2 、第三权重 ω_3 , 构造优化模型

20
$$F = \min[\omega_1 \times L + \omega_2 \times \sum_{i=1}^m C1 + \omega_3 \times S2]$$
, 其中 m 为含母线元件的个数;

优化模块, 配置为根据所述优化模型, 对电网系统图中的元件进行布局调整。

6、根据权利要求 5 所述的电网系统图自动化布局克服交叉的系统, 其

中, 所述第一计算模块还配置为根据公式 $L = \sum_{i=1}^n \sum_{j>i} (|x_i - x_j| + |y_i - y_j|) \delta(i, j)$ 计算所述各个元件之间的曼哈顿距离 L, 其中 $\delta(i, j)$ 为 delta 函数, 当元件 i 与元件 j 之间有连线时, $\delta(i, j) = 1$, 反之 $\delta(i, j) = 0$ 。

7、根据权利要求 5 所述的电网系统图自动化布局克服交叉的系统, 其中, 所述第二获取模块包括

建立单元, 配置为以所述含母线元件 i 为原点, 垂直向上为 0 方向, 逆时针为正方向, 建立极坐标系;

第一计算单元, 配置为根据公式 $A_{i,k} = (\cos^{-1}(\frac{|x_{i,k} - x_i|}{\sqrt{(x_{i,k} - x_i)^2 + (y_{i,k} - y_i)^2}}) - \frac{\pi}{2}) \bmod 2\pi$

计算与所述含母线元件 i 有直接拓扑连接的第 k 个元件在极坐标系中的角度, 其中 (x_i, y_i) 和 $(x_{i,k}, y_{i,k})$ 为所述含母线元件 i 与所述元件 k 的第一坐标;

第一得到单元, 配置为比较与所述含母线元件 i 有直接拓扑连接的各个元件的角度, 得到逆序数;

第二得到单元, 配置为根据所述逆序数, 得到所述含母线元件的出线交叉数 C1。

8、根据权利要求 5 所述的电网系统图自动化布局克服交叉的系统, 其中, 所述第三获取模块包括

第一获取单元, 配置为获取两组元件, 其中一组为有连线关系的第一元件 P1 和第二元件 P2, 另一组为有连线关系的第三元件 Q1 和第四元件 Q2;

第三得到单元, 配置为根据所述第一元件 P1、第二元件 P2、第三元件 Q1 和第四元件 Q2 的第一坐标, 得到第一向量 Q1P2、第二向量 Q1P1、第三向量 P1Q1、第四向量 P1Q2、第五向量 Q2P1、第六向量 Q2P2、第七向量 P2Q2、第八向量 P2Q1;

第二计算单元，配置为根据公式 $\varepsilon_1=Q_1P_2 \times Q_1P_1$ 、 $\varepsilon_2=P_1Q_1 \times P_1Q_2$ 、 $\varepsilon_3=Q_2P_1 \times Q_2P_2$ 、 $\varepsilon_4=P_2Q_2 \times P_2Q_1$ 计算第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 ;

第一判断单元，配置为判断所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、
5 第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 是否均为 0;

第三计算单元，配置为若所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 均为 0，则根据公式 $\kappa_1=Q_1P_2 \cdot Q_1P_1$ 、 $\kappa_2=P_1Q_1 \cdot P_1Q_2$ 、 $\kappa_3=Q_2P_1 \cdot Q_2P_2$ 、 $\kappa_4=P_2Q_2 \cdot P_2Q_1$ 计算第一点乘结果 κ_1 、第二点乘结果 κ_2 、第三点乘结果 κ_3 和第四点乘结果 κ_4 ;

10 第一判定单元，配置为若所述第一点乘结果 κ_1 、第二点乘结果 κ_2 、第三点乘结果 κ_3 和第四点乘结果 κ_4 均大于 0，则判定所述两组元件不相交，并令所述两组元件的连线交叉数 $C_2=0$;

第二判定单元，配置为若所述第一点乘结果 κ_1 、第二点乘结果 κ_2 、第三点乘结果 κ_3 和第四点乘结果 κ_4 不均大于 0，则判定所述两组元件相交，
15 并令所述两组元件的连线交叉数 $C_2=1$;

第三判定单元，配置为若所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 均大于等于 0 或均小于等于 0，则判定所述两组元件相交，并令所述两组元件的连线交叉数 $C_2=1$;

第四判定单元，配置为若所述第一叉乘结果 ε_1 、第二叉乘结果 ε_2 、第三叉乘结果 ε_3 和第四叉乘结果 ε_4 不均大于等于 0 或不均小于等于 0，则判定所述两组元件不相交，并令所述两组元件的连线交叉数 $C_2=0$;

第四计算单元，配置为根据公式 $S_2 = \sum_{i=1}^t C_2$ 计算连线交叉总数 S_2 ，其中 t 为任意两组有连接关系的元件的取法数量且所述两组元件中不存在共同的元件。

25 9、一种存储介质，所述存储介质中存储有计算机可执行指令，该计算

机可执行指令配置为执行权利要求 1-4 任一项所述的电网系统图自动化布局克服交叉的方法。

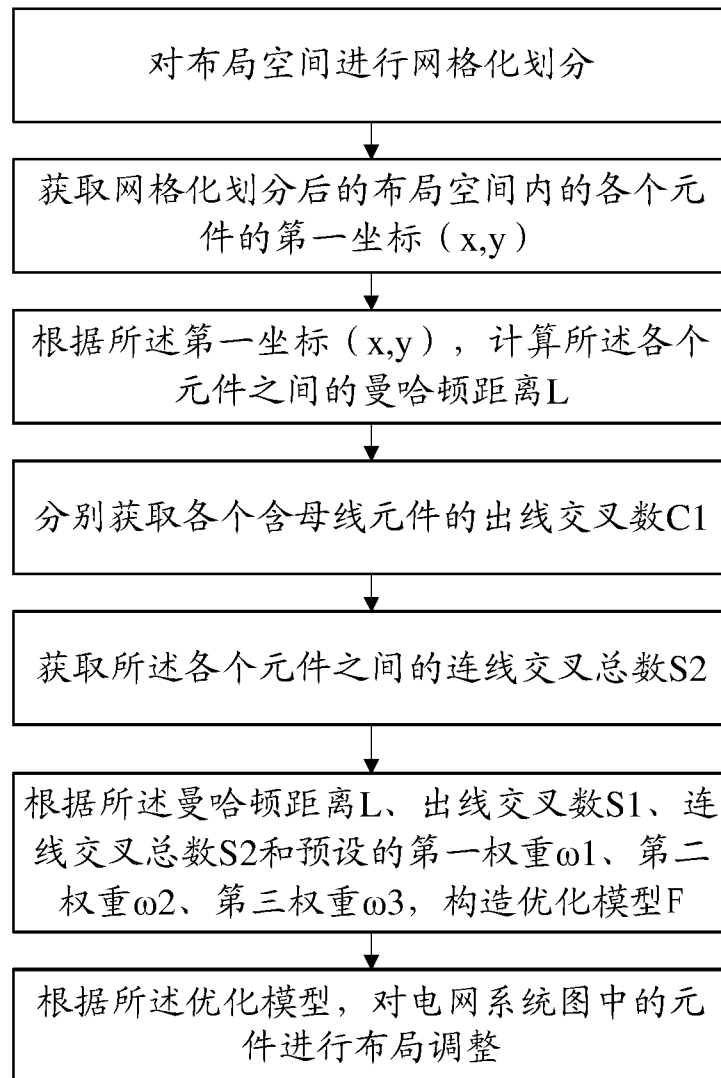


图 1

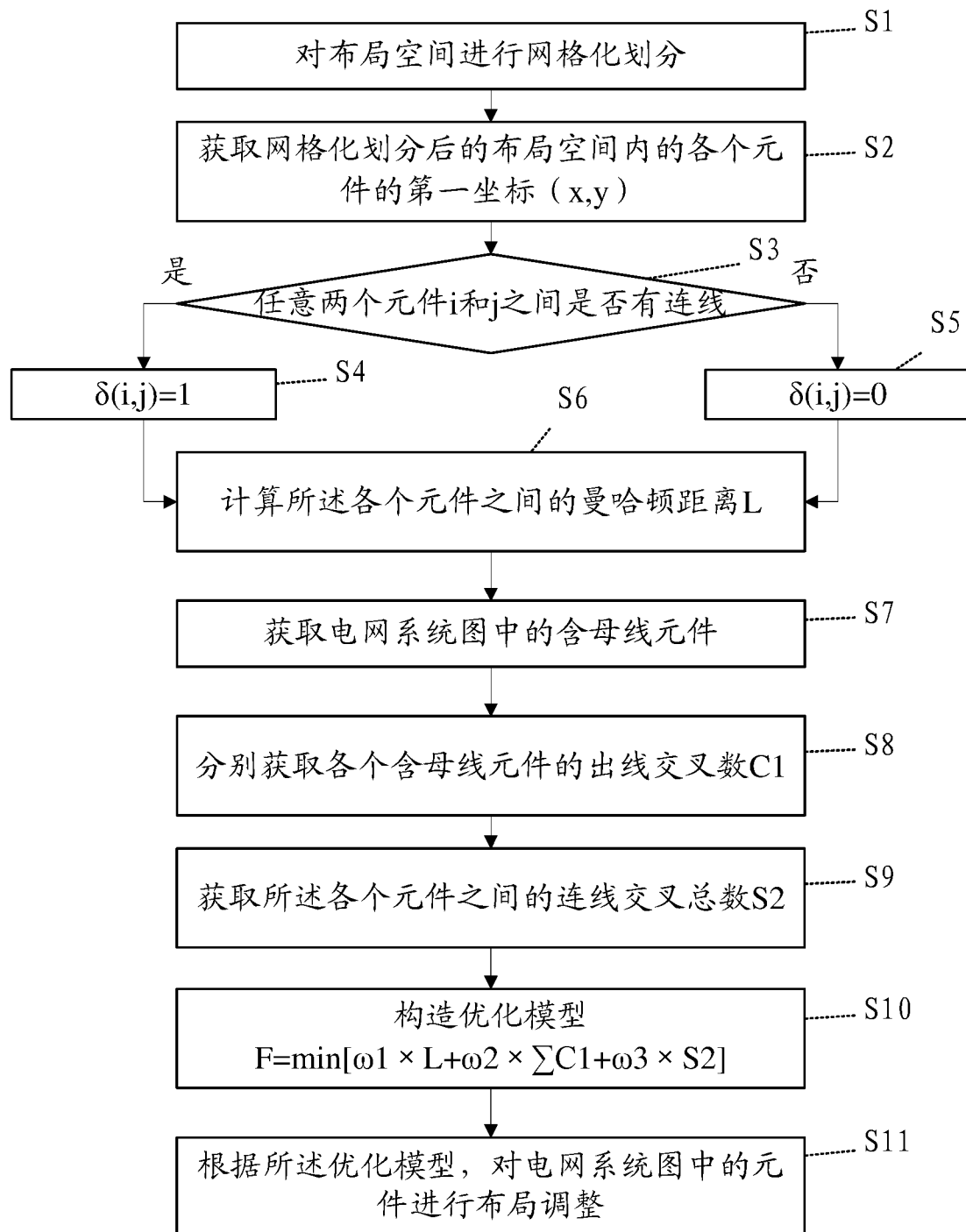


图 2

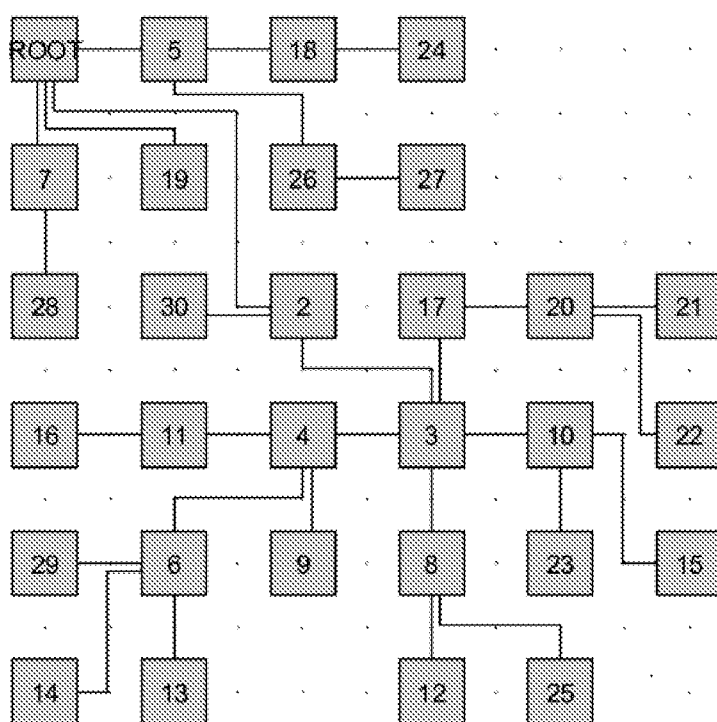


图 3

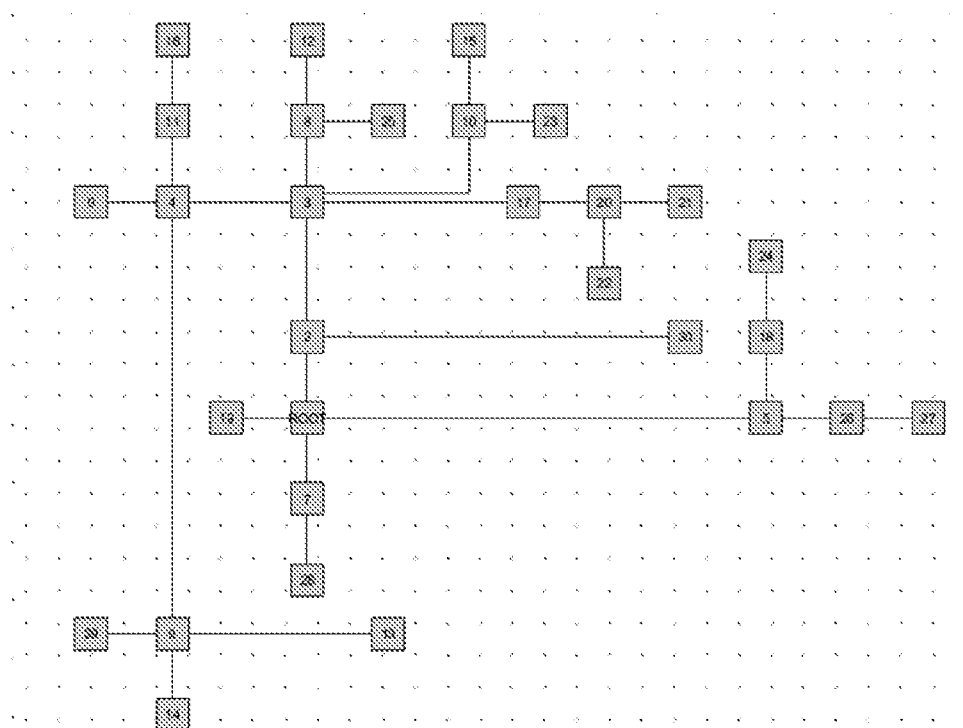


图 4

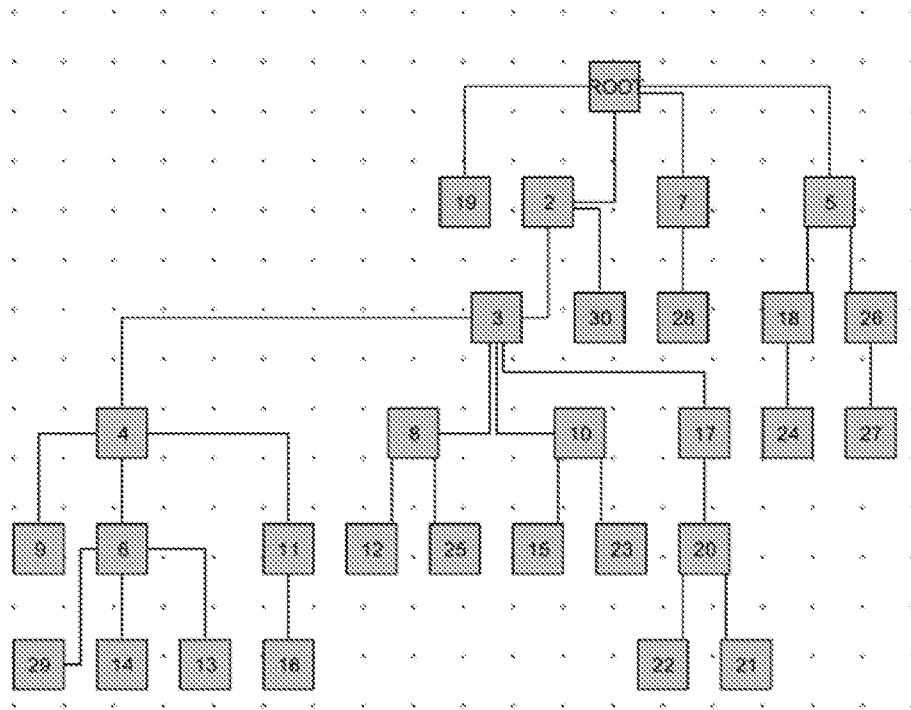


图 5

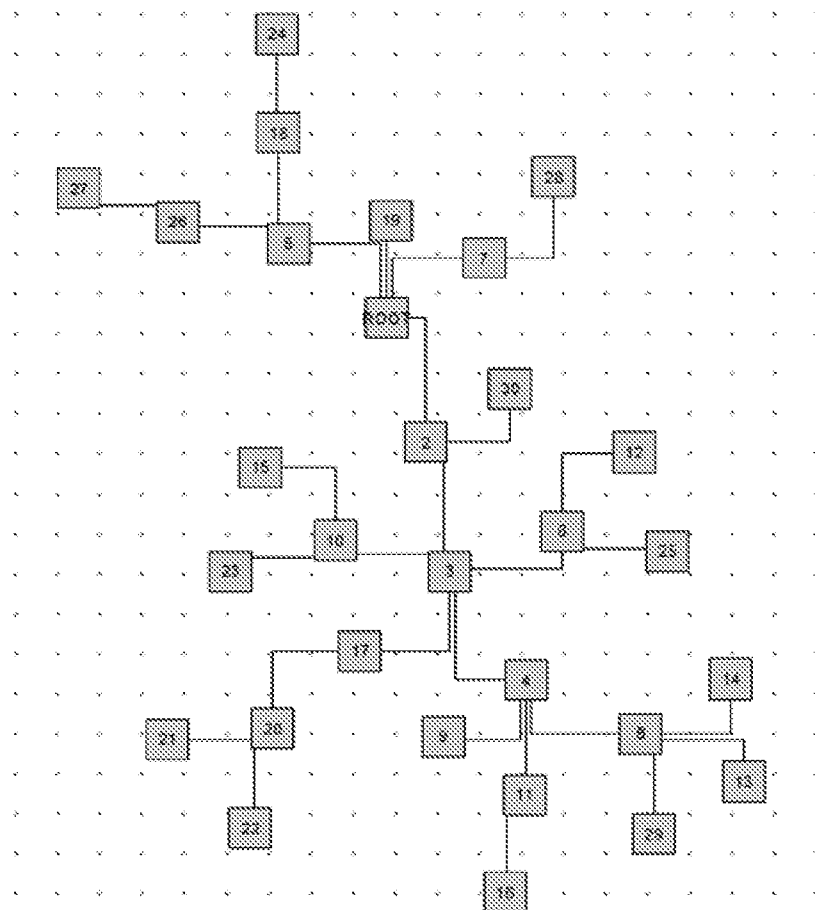


图 6

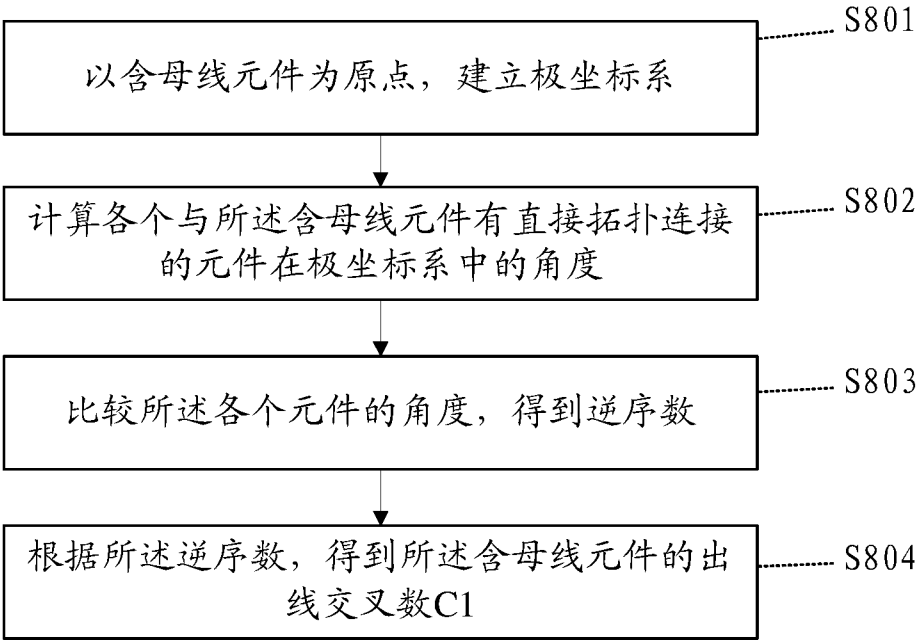


图 7

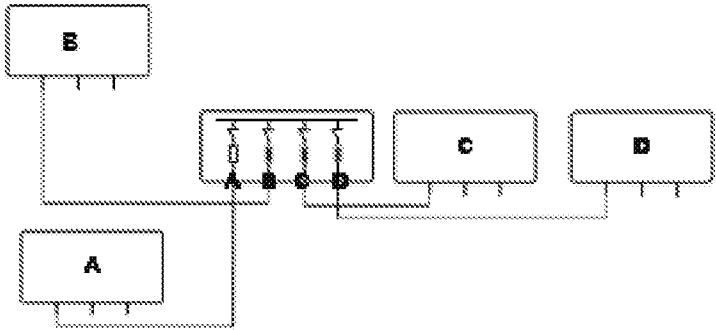


图 8

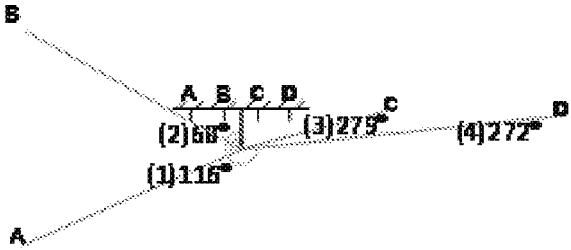


图 9

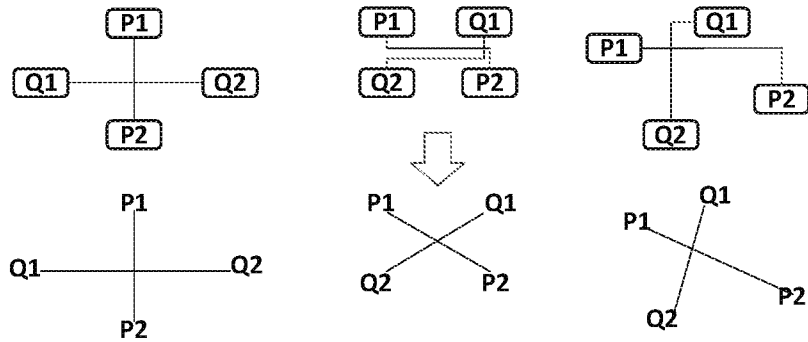


图 10

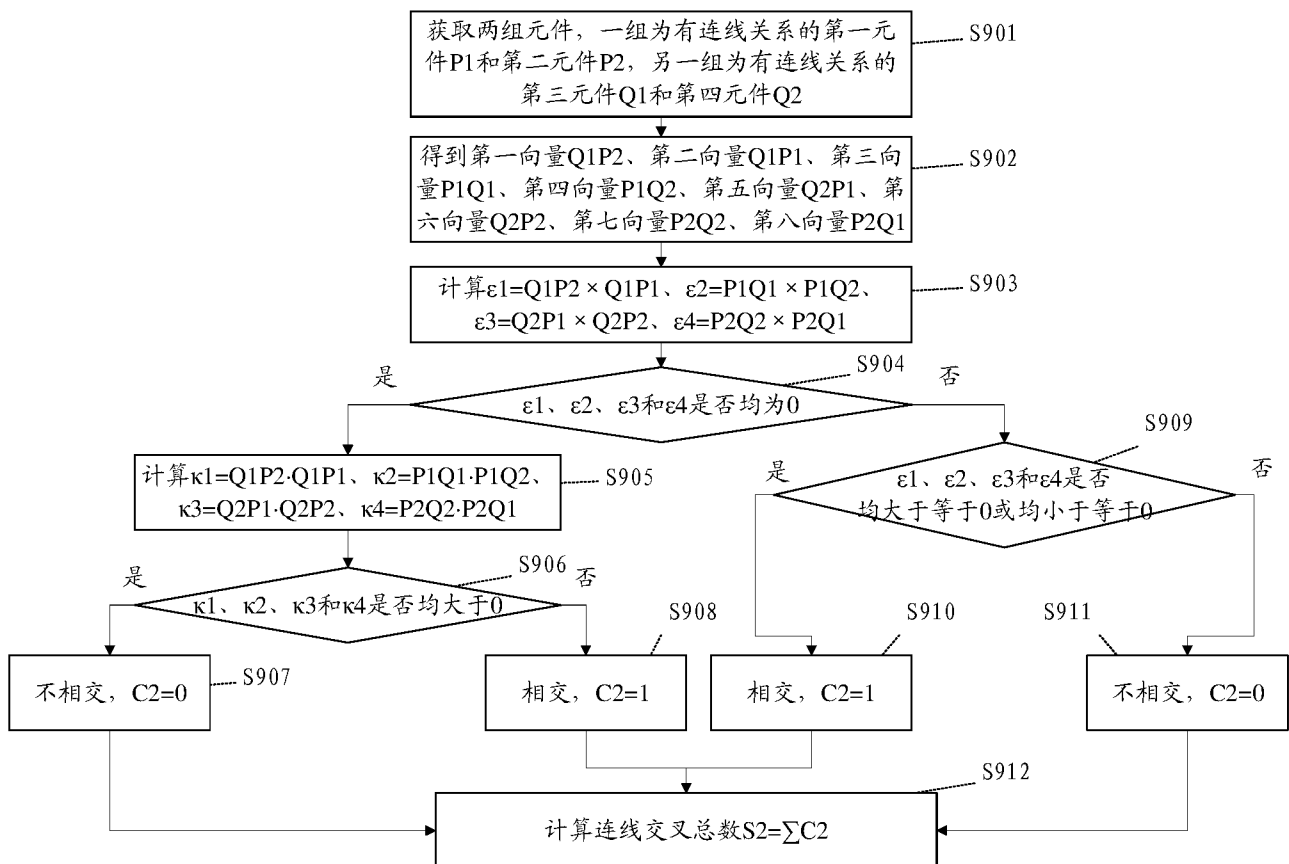


图 11

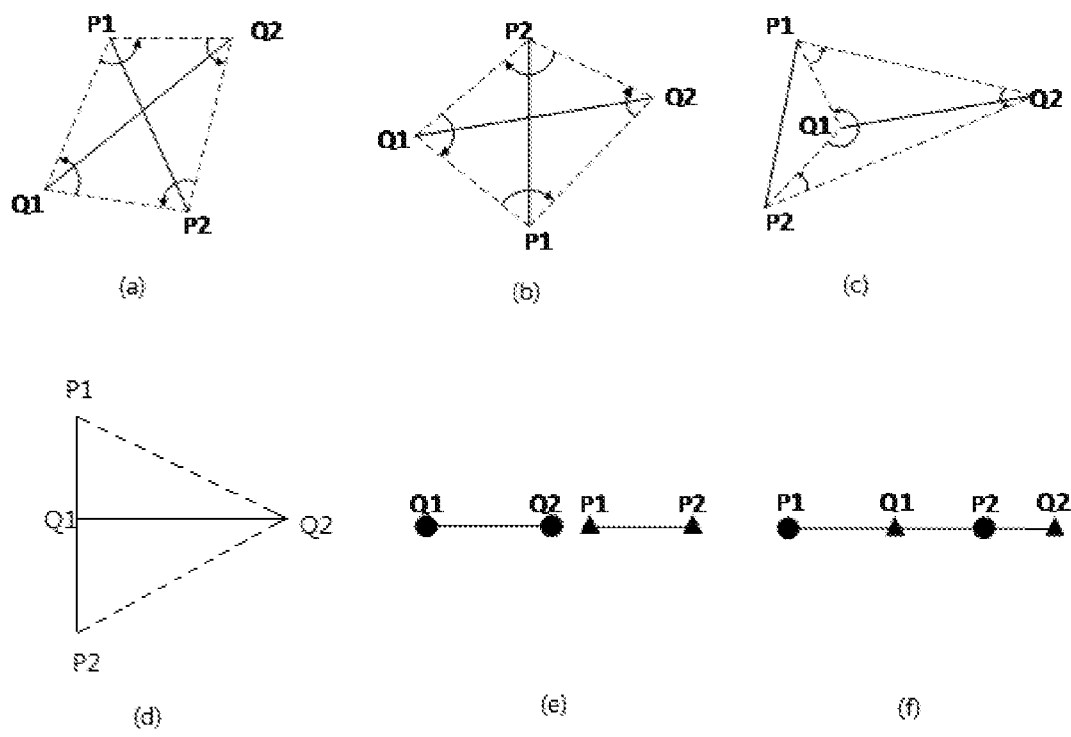


图 12

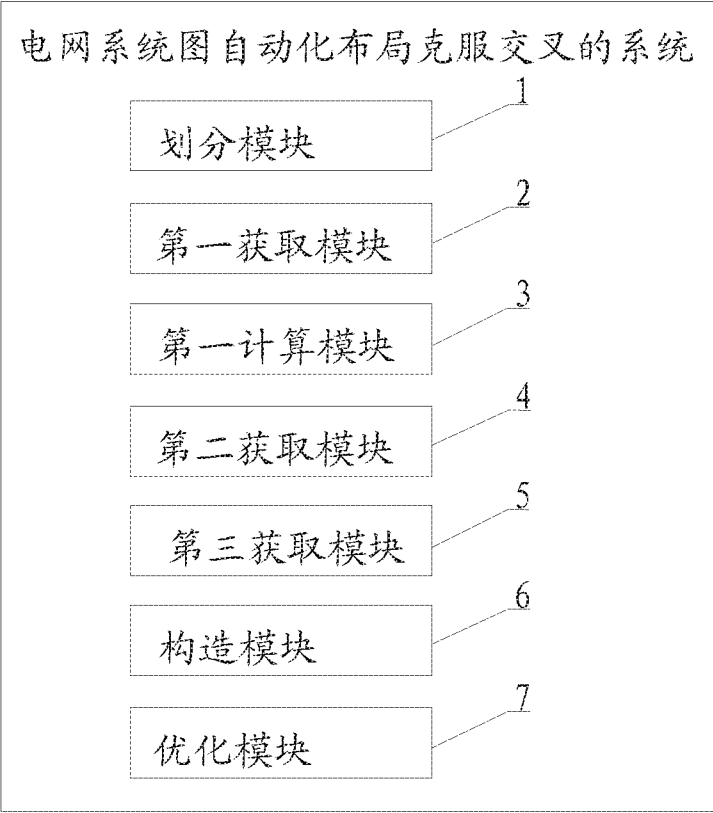


图 13

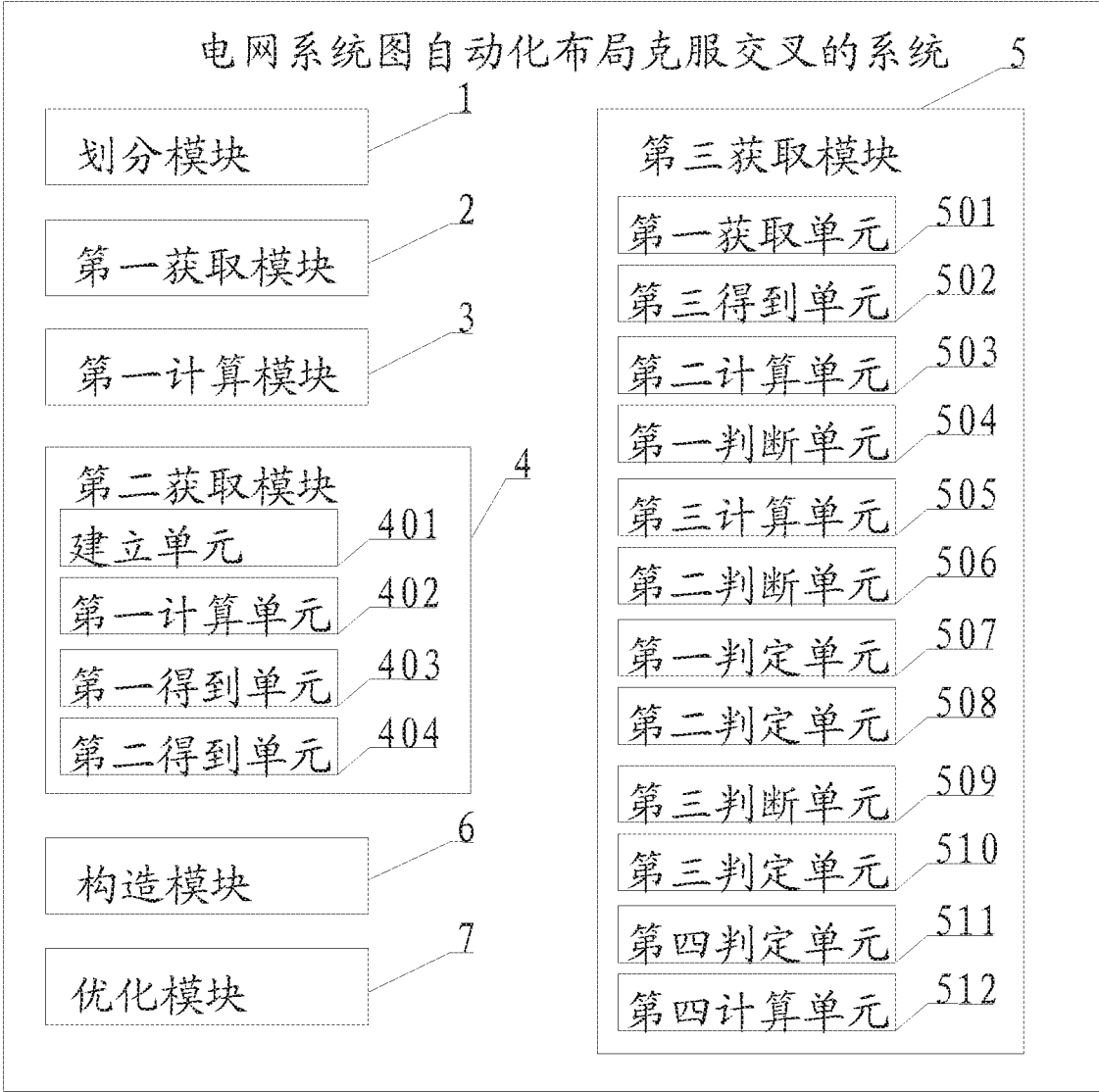


图 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/107194

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06Q 50/06 (2012.01) i; G06F 17/50 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06Q; G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; DWPI; CNKI: electric power, power grid, wire, connect, electric, power, grid, layout, cross, line, distance

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 105138764 A (STATE GRID SHANDONG ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE et al.), 09 December 2015 (09.12.2015), description, paragraphs 0046-0074	1-3, 5-7, 9
Y	CN 105138764 A (STATE GRID SHANDONG ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE et al.), 09 December 2015 (09.12.2015), description, paragraphs 0046-0074	4, 8
Y	CN 101706834 A (HANGZHOU DIANZI UNIVERSITY), 12 May 2010 (12.05.2010), description, paragraphs 0049-0054	4, 8
A	CN 102902847 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY), 30 January 2013 (30.01.2013), the whole document	1-9
A	US 2014067151 A1 (STEM, INC.), 06 March 2014 (06.03.2014), the whole document	1-9
PX	CN 105787811 A (STATE GRID CORPORATION OF CHINA et al.), 20 July 2016 (20.07.2016), the whole document	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 26 December 2016 (26.12.2016)	Date of mailing of the international search report 22 February 2017 (22.02.2017)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer CHENG, Qiong Telephone No.: (86-10) 62089112

International application No.
PCT/CN2016/107194

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

A. 主题的分类 G06Q 50/06 (2012.01) i; G06F 17/50 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																							
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G06Q; G06F 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS; CNTXT; DWPI; CNKI; 电力, 电网, 网络, 布局, 交叉, 线路, 连线, 距离, electric, power, grid, layout, cross, line, distance																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 105138764 A (国网山东省电力公司电力科学研究院 等) 2015年 12月 9日 (2015 - 12 - 09) 说明书第0046-0074段</td> <td>1-3, 5-7, 9</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 105138764 A (国网山东省电力公司电力科学研究院 等) 2015年 12月 9日 (2015 - 12 - 09) 说明书第0046-0074段</td> <td>4, 8</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 101706834 A (杭州电子科技大学) 2010年 5月 12日 (2010 - 05 - 12) 说明书第0049-0054段</td> <td>4, 8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102902847 A (华北电力大学) 2013年 1月 30日 (2013 - 01 - 30) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2014067151 A1 (STEM, INC.) 2014年 3月 6日 (2014 - 03 - 06) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 105787811 A (国家电网公司 等) 2016年 7月 20日 (2016 - 07 - 20) 全文</td> <td>1-9</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 105138764 A (国网山东省电力公司电力科学研究院 等) 2015年 12月 9日 (2015 - 12 - 09) 说明书第0046-0074段	1-3, 5-7, 9	Y	CN 105138764 A (国网山东省电力公司电力科学研究院 等) 2015年 12月 9日 (2015 - 12 - 09) 说明书第0046-0074段	4, 8	Y	CN 101706834 A (杭州电子科技大学) 2010年 5月 12日 (2010 - 05 - 12) 说明书第0049-0054段	4, 8	A	CN 102902847 A (华北电力大学) 2013年 1月 30日 (2013 - 01 - 30) 全文	1-9	A	US 2014067151 A1 (STEM, INC.) 2014年 3月 6日 (2014 - 03 - 06) 全文	1-9	PX	CN 105787811 A (国家电网公司 等) 2016年 7月 20日 (2016 - 07 - 20) 全文	1-9
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
X	CN 105138764 A (国网山东省电力公司电力科学研究院 等) 2015年 12月 9日 (2015 - 12 - 09) 说明书第0046-0074段	1-3, 5-7, 9																					
Y	CN 105138764 A (国网山东省电力公司电力科学研究院 等) 2015年 12月 9日 (2015 - 12 - 09) 说明书第0046-0074段	4, 8																					
Y	CN 101706834 A (杭州电子科技大学) 2010年 5月 12日 (2010 - 05 - 12) 说明书第0049-0054段	4, 8																					
A	CN 102902847 A (华北电力大学) 2013年 1月 30日 (2013 - 01 - 30) 全文	1-9																					
A	US 2014067151 A1 (STEM, INC.) 2014年 3月 6日 (2014 - 03 - 06) 全文	1-9																					
PX	CN 105787811 A (国家电网公司 等) 2016年 7月 20日 (2016 - 07 - 20) 全文	1-9																					
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																							
国际检索实际完成的日期 2016年 12月 26日		国际检索报告邮寄日期 2017年 2月 22日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		受权官员 程琼 电话号码 (86-10) 62089112																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/107194

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	105138764	A	2015年 12月 9日	无	
CN	101706834	A	2010年 5月 12日	无	
CN	102902847	A	2013年 1月 30日	CN 102902847	B 2015年 6月 10日
US	2014067151	A1	2014年 3月 6日	无	
CN	105787811	A	2016年 7月 20日	无	