



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104898021 B

(45)授权公告日 2018.03.06

(21)申请号 201510271056.5

CN 101242097 A,2008.08.13,

(22)申请日 2015.05.25

CN 101546906 A,2009.09.30,

(65)同一申请的已公布的文献号

WO 2014/154164 A1,2014.10.02,

申请公布号 CN 104898021 A

李彩林等.基于聚类分析和相关分析的故障选线方法.《电力学报》.2014,第29卷(第1期),

(43)申请公布日 2015.09.09

审查员 姜浩

(73)专利权人 昆明理工大学

地址 650093 云南省昆明市五华区学府路253号

(72)发明人 束洪春 高利

(51)Int.Cl.

G01R 31/08(2006.01)

(56)对比文件

CN 101545943 A,2009.09.30,

CN 103941163 A,2014.07.23,

CN 101162838 A,2008.04.16,

权利要求书2页 说明书4页 附图3页

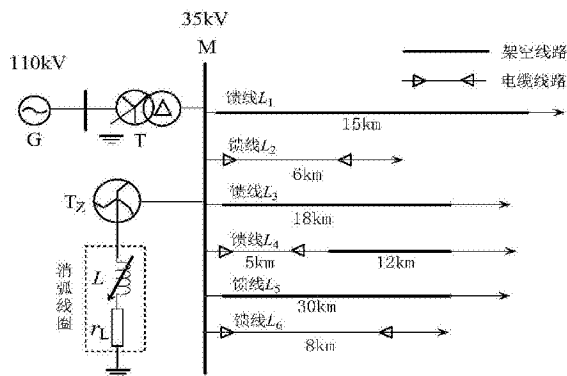
(54)发明名称

一种基于k-means聚类分析的配电网故障选线方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于k-means聚类分析的配电网故障选线方法,具体为沿谐振接地系统中线路设置故障位置,并由电磁暂态仿真获得故障电流曲线簇作为样本数据,选取故障后5ms内的零序电流,采用db小波对其进行6层小波分解,计算出全频带下的暂态零序电流总能量;同时,计算出综合小波能量相对熵,将暂态零序电流总能量及综合小波能量相对熵这两个维度作为表征故障特征的测度,并将其映射到二维平面上;再采用k-means聚类分析算法计算出上述数据在二维平面上的聚类中心,然后在聚类空间中,故障线路形成一个聚类中心,未故障线路形成一个聚类中心,选线元件故障启动后,取5ms时窗内故障电流数据作为测试样本,并根据测试数据与两类聚类中心的欧氏距离来判断出该线路是否故障。

CN 104898021 B



1. 一种基于k-means聚类分析的配电网故障选线方法,其特征在于:沿谐振接地系统中线路设置故障位置,并由电磁暂态仿真获得故障电流曲线簇作为样本数据,选取故障后5ms内的零序电流,采用db小波对其进行6层小波分解,计算出全频带下的暂态零序电流总能量;同时,计算出综合小波能量相对熵,将暂态零序电流总能量及综合小波能量相对熵这两个维度作为表征故障特征的测度,并将其映射到二维平面上;再采用k-means聚类分析算法计算出上述数据在二维平面上的聚类中心,然后在聚类空间中,故障线路形成一个聚类中心,未故障线路形成一个聚类中心,选线元件故障启动后,取5ms时窗内故障电流数据作为测试样本,并根据测试数据与两类聚类中心的欧氏距离来判断出该线路是否故障;

具体步骤为:

(a) 沿谐振接地系统中线路设置故障位置,并由电磁暂态仿真获得故障电流曲线簇作为样本数据,选取故障后5ms内的零序电流,采用db小波对其进行6层小波分解,计算出全频带下的暂态零序电流总能量;其中暂态零序电流能量定义为:对于正交小波变换,变换后各尺度的能量可直接由其单支重构后的小波系数的平方得到,即

$$E_j(n) = D_j^2(n) \quad (1)$$

在式(1)中, $j=1,2,3,\dots,6$ 为小波分解的层数;

现假设谐振接地系统中有m条线路,则第i条线路,在所有尺度下的总能量为:

$$E_i = \sum_{j=1}^6 E_{ij} \quad (2)$$

在式(2)中, $i=1,2,3,\dots,m$ 为谐振接地系统中出线数;

计算各条线路小波分解能量最大的第4尺度下的能量和为:

$$E_{i4} = \sum_{k=1}^N D_4^2(k) \quad (3)$$

式中, $k=1,2,\dots,N$ ,N为采样点个数,对于10kHz采样率下,5ms时窗内采样点个数 $N=50$ ;其中 $i=1,2,3,\dots,m$ 为谐振接地系统中出线数,则所有出线在第4尺度的暂态零序电流总能量为:

$$E_4 = \sum_{i=1}^m E_{i4} \quad (4)$$

由此可得到第i条线路在第4尺度下的暂态零序电流能量与所有线路暂态零序电流总能量之比为:

$$p_{i4} = \frac{E_{i4}}{E_4} \text{ 且 } \sum_{j=1}^{m+1} p_{ij} = 1 \quad (5)$$

根据式(2)~(5)计算第1条线路第4尺度下的暂态零序电流能量与所有线路暂态零序电流总能量之比为 $p_{14} = \frac{E_{14}}{E_4}$ ,根据相对熵理论,定义小波能量相对熵为:

$$M = \left| p_{14} \ln \frac{p_{14}}{p_{14}} \right| \quad (6)$$

根据式(6),定义第i条线路相对于第1条线路的综合小波能量相对熵为:

$$M_i = \sum_{l=1, l \neq i}^6 (M_{il} + M_{li}) \quad (7)$$

(b) 根据式(1)~(7)计算得到故障线路和非故障线路的全频带下的暂态零序电流总能量 $E_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, m$ )和综合小波能量相对熵 $M_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, m$ ),并将其映射到以综合小波能量相对熵为横轴暂态零序电流总能量为纵轴的二维平面上,采用k-means聚类分析方法计算出未故障线路的聚类中心 $C_1 = (E_{o1}, M_{o1})$ 和故障线路中心 $C_2 = (E_{o2}, M_{o2})$ ;

(c) 选线元件故障启动后,取5ms时窗内故障电流数据作为测试样本,并根据(a)中(1)~(7)式得到 $E_i'$ 和 $M_i'$ ,并根据测试数据的 $E_i$ 和 $M_i$ 与两类聚类中心 $C_1$ 和 $C_2$ 的欧氏距离来判断出故障线路;

即:

$$d_s = \sqrt{(E_i' - E_{os})^2 + (M_i' - M_{os})^2} \quad (8)$$

式中, $s=1, 2$ ;  $C_1$ 为未故障线路中心;  $C_2$ 为故障线路中心;  $d_1$ 表示测试样本与未故障线路中心 $C_1$ 的距离,  $d_2$ 表示测试样本与故障线路中心 $C_2$ 的距离;

(d) 比较 $d_1$ 和 $d_2$ ,确定故障线路:

若 $d_{\min} = d_1$ ,该线路未故障,

若 $d_{\min} = d_2$ ,该线路故障。

## 一种基于k-means聚类分析的配电网故障选线方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于k-means聚类分析的配电网故障选线方法,属于电力系统故障选线技术领域。

### 背景技术

[0002] 随着配网的规模不断地壮大,线路的不断增多,电缆线路与缆线混合线路的数量也在不断的增多,当发生单相故障时,接地电容电流也随之增大,长时间带故障运行,使弧光接地引起的系统过电压过高,电弧难以自行灭,若不能及时排除故障,将损坏设备,重则引起电厂机组停运,工艺流程中断等恶性事故,破坏系统的安全运行。

[0003] 长期以来,由于故障电流微弱,故障电弧不稳定等原因,中性点经消弧线圈接地系统的单相接地故障使用稳态量进行选线常有误选漏选的现象产生。谐振接地系统发生故障后,其暂态过程一般在1~2个工频周期就结束了,进入稳态过程后,其故障馈线与健全线路的稳态零模电流的幅值受消弧线圈的影响都很小。消弧线圈主要补偿故障馈线的稳态零序电流,对故障引起的电磁暂态过程中零序暂态电流的影响较小,基本上不受消弧线圈补偿动作的影响;就算在相电压过零点瞬间发生接地故障,也会有明显的暂态过程。基于暂态信号的幅值远大于稳态信号的幅值这一特点,使用暂态信号选线克服了因故障电流微弱而造成的漏选问题,具有一定的快速性和灵敏性,因此,利用暂态量来进行选线具有一定的研究意义。从当前小电流接地选线装置的运行来看,许多地区的选线装置选线正确率很低,这充分说明了故障选线问题的复杂性及新方法研究的必要性。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是利用k-means聚类分析对谐振接地系统单相接地故障进行仿真判断,能够减少现场运行维护人员分析故障录波的工作量,且选线准确率较高,能够满足电力系统安全运行的要求,进而提出一种基于k-means聚类分析的配电网故障选线方法。

[0005] 本发明的技术方案是:一种基于k-means聚类分析的配电网故障选线方法,沿谐振接地系统中线路设置故障位置,并由电磁暂态仿真获得故障电流曲线簇作为样本数据,选取故障后5ms内的零序电流,采用db小波对其进行6层小波分解,计算出全频带下的暂态零序电流总能量;同时,计算出综合小波能量相对熵,将暂态零序电流总能量及综合小波能量相对熵这两个维度作为表征故障特征的测度,并将其映射到二维平面上;再采用k-means聚类分析算法计算出上述数据在二维平面上的聚类中心,然后在聚类空间中,故障线路形成一个聚类中心,未故障线路形成一个聚类中心,选线元件故障启动后,取5ms时窗内故障电流数据作为测试样本,并根据测试数据与两类聚类中心的欧氏距离来判断出该线路是否故障。

[0006] 具体步骤为:

[0007] (a) 沿谐振接地系统中线路设置故障位置,并由电磁暂态仿真获得故障电流曲线

簇作为样本数据,选取故障后5ms内的零序电流,采用db小波对其进行6层小波分解,计算出全频带下的暂态零序电流总能量:其中暂态零序电流能量定义为:对于正交小波变换,变换后各尺度的能量可直接由其单支重构后的小波系数的平方得到,即

$$[0008] \quad E_j(n) = D_j^2(n) \quad (1)$$

[0009] 在式(1)中, $j=1,2,3,\dots,6$ 为小波分解的层数;

[0010] 现假设谐振接地系统中有 $m$ 条线路,则第 $i$ 条线路,在所有尺度下的总能量为:

$$[0011] \quad E_i = \sum_{j=1}^6 E_{ij} \quad (2)$$

[0012] 在式(2)中, $i=1,2,3,\dots,m$ 为谐振接地系统中出线数;

[0013] 计算各条线路小波分解能量最大的第4尺度下的能量和为:

$$[0014] \quad E_{i4} = \sum_{k=1}^N D_4^2(k) \quad (3)$$

[0015] 式中, $k=1,2,\dots,N$ , $N$ 为采样点个数,对于10kHz采样率下,5ms时窗内采样点个数 $N=50$ ;其中 $i=1,2,3,\dots,m$ 为谐振接地系统中出线数,则所有出线在第4尺度的暂态零序电流总能量为:

$$[0016] \quad E_4 = \sum_{i=1}^m E_{i4} \quad (4)$$

[0017] 由此可得到第 $i$ 条线路在第4尺度下的暂态零序电流能量与所有线路暂态零序电流总能量之比为:

$$[0018] \quad p_{i4} = \frac{E_{i4}}{E_4} \text{ 且 } \sum_{j=1}^{m+1} p_{ij} = 1 \quad (5)$$

[0019] 根据式(2)~(5)计算第1条线路第4尺度下的暂态零序电流能量与所有线路暂态零序电流总能量之比为 $p_{14} = \frac{E_{14}}{E_4}$ ,根据相对熵理论,定义小波能量相对熵为:

$$[0020] \quad M = \left| p_{i4} \ln \frac{p_{i4}}{P_{14}} \right| \quad (6)$$

[0021] 根据式(6),定义第 $i$ 条线路相对于第1条线路的综合小波能量相对熵为:

$$[0022] \quad M_i = \sum_{l=1, l \neq i}^6 (M_{il} + M_{li}) \quad (7)$$

[0023] (b) 根据式(1)~(7)计算得到故障线路和非故障线路的全频带下的暂态零序电流总能量 $E_i$  ( $i=1,2,3,\dots,m$ )和综合小波能量相对熵 $M_i$  ( $i=1,2,3,\dots,m$ ),并将其映射到以综合小波能量相对熵为横轴暂态零序电流总能量为纵轴的二维平面上,采用k-means聚类分析方法计算出未故障线路的聚类中心 $C_1 = (E_{o1}, M_{o1})$ 和故障线路中心 $C_2 = (E_{o2}, M_{o2})$ ;

[0024] (c) 选线元件故障启动后,取5ms时窗内故障电流数据作为测试样本,并根据(a)中(1)~(7)式得到 $E_i'$ 和 $M_i'$ ,并根据测试数据的 $E_i$ 和 $M_i$ 与两类聚类中心 $C_1$ 和 $C_2$ 的欧氏距离来判断出故障线路;

[0025] 即：

$$[0026] \quad d_s = \sqrt{(E'_i - E_{os})^2 + (M'_i - M_{os})^2} \quad (8)$$

[0027] 式中,  $s=1, 2$ ;  $C_1$ 为未故障线路中心;  $C_2$ 为故障线路中心;  $d_1$ 表示测试样本与未故障线路中心 $C_1$ 的距离,  $d_2$ 表示测试样本与故障线路中心 $C_2$ 的距离;

[0028] (d) 比较 $d_1$ 和 $d_2$ , 确定故障线路:

[0029] 若 $d_{\min}=d_1$ , 该线路未故障,

[0030] 若 $d_{\min}=d_2$ , 该线路故障。

[0031] 本发明的有益效果是:

[0032] (1) 本方法是基于数据驱动的一种选线方法, 不需要高采样率, 易于现场实现。

[0033] (2) 相比较其他测距算法, 该方法容错性较高, 且受过渡电阻的影响较小。

### 附图说明

[0034] 图1为谐振接地系统仿真模型。

[0035] 图2为故障线路与未故障线路样本数据利用k-means聚类分析方法得到的聚类中心。

[0036] 图3实施例1的聚类结果。

[0037] 图4实施例2的聚类结果。

[0038] 图5实施例3的聚类结果。

### 具体实施方式

[0039] 实施例1: 现沿架空线每隔2km, 电缆线路每隔1km选取故障点, 过渡电阻为 $20 \Omega$ , 故障初相角为 $90^\circ$ 的条件下形成318个故障样本数据。数据长度为5ms。现假设 $l_1$ 距离M端1km处发生A相接地故障, 故障初相角为 $10^\circ$ , 过渡电阻为 $20 \Omega$ 。

[0040] (1) k-means聚类分析方法得到的两类聚类中心, 分别为未故障中心 $C_1$ 、故障中心 $C_2$ 。其中 $C_1 = (4.476, 0.2806)$ ,  $C_2 = (15.347, 3.1574)$ 。分析结果如图2所示。

[0041] (2) 将测试数据利用db10小波分解后, 计算出其暂态零序电流能量及综合小波相对能量熵, 根据测试数据与两类聚类中心的欧氏距离来判断出故障线路。

[0042] 即

$$[0043] \quad d_j = \sqrt{(c_1 - c_{j1})^2 + (c_2 - c_{j2})^2} \quad (9)$$

[0044] 式中,  $C_1$ 为未故障线路中心;  $C_2$ 为故障线路中心;  $(c_{j1}, c_{j2})$ 表示的是 $C_1, C_2$ 的坐标;  $d_1$ 表示测试样本与未故障中心 $C_1$ 的距离,  $d_2$ 表示测试样本与故障中心 $C_2$ 的距离,  $j=1, 2$ 。

[0045] (3) 线路1与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=11.32, d_2=3.13, d_2 < d_1$ ; 线路2与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.75, d_2=12.98, d_2 > d_1$ ; 线路3与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.71, d_2=9.71, d_2 > d_1$ ; 线路4与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.50, d_2=12.74, d_2 > d_1$ ; 线路5与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.00, d_2=10.40, d_2 > d_1$ ; 线路6与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.44, d_2=12.68, d_2 > d_1$ ; 据此得出故障线路为线路1。

[0046] 实施例2: 现沿架空线每隔2km, 电缆线路每隔1km选取故障点, 过渡电阻为 $20 \Omega$ , 故

障初相角为 $90^\circ$ 的条件下形成318个故障样本数据。数据长度为5ms。现假设 $l_1$ 距离M端14km处发生A相接地故障,故障初相角为 $90^\circ$ ,过渡电阻为 $200\ \Omega$ 。

[0047] (1) k-means聚类分析方法得到的两类聚类中心,分别为未故障中心 $C_1$ 、故障中心 $C_2$ 。其中 $C_1 = (4.476, 0.2806)$ ,  $C_2 = (15.347, 3.1574)$ 。分析结果如图2所示。

[0048] (2) 将测试数据利用db10小波分解后,计算出其暂态零序电流能量及综合小波相对能量熵,根据测试数据与两类聚类中心的欧氏距离来判断出故障线路。

[0049] 即

$$[0050] \quad d_j = \sqrt{(c_1 - c_{j1})^2 + (c_2 - c_{j2})^2} \quad (9)$$

[0051] 式中, $C_1$ 为未故障线路中心; $C_2$ 为故障线路中心; $(c_{j1}, c_{j2})$ 表示的是 $C_1, C_2$ 的坐标; $d_1$ 表示测试样本与未故障中心 $C_1$ 的距离, $d_2$ 表示测试样本与故障中心 $C_2$ 的距离, $j=1, 2$ 。

[0052] (3) 线路1与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=10.05, d_2=3.11, d_2 < d_1$ ;线路2与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.89, d_2=13.12, d_2 > d_1$ ;线路3与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.95, d_2=9.48, d_2 > d_1$ ;线路4与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.87, d_2=13.11, d_2 > d_1$ ;线路5与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=0.92, d_2=10.48, d_2 > d_1$ ;线路6与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.39, d_2=12.63, d_2 > d_1$ ;据此得出故障线路为线路1。

[0053] 实施例3:现沿架空线每隔2km,电缆线路每隔1km选取故障点,过渡电阻为 $20\ \Omega$ ,故障初相角为 $90^\circ$ 的条件下形成318个故障样本数据。数据长度为5ms。现假设 $l_2$ 距离M端3km处发生A相接地故障,故障初相角为 $30^\circ$ ,过渡电阻为 $20\ \Omega$ 。

[0054] (1) k-means聚类分析方法得到的两类聚类中心,分别为未故障中心 $C_1$ 、故障中心 $C_2$ 。其中 $C_1 = (4.476, 0.2806)$ ,  $C_2 = (15.347, 3.1574)$ 。分析结果如图2所示。

[0055] (2) 将测试数据利用db10小波分解后,计算出其暂态零序电流能量及综合小波相对能量熵,根据测试数据与两类聚类中心的欧氏距离来判断出故障线路。

[0056] 即

$$[0057] \quad d_j = \sqrt{(c_1 - c_{j1})^2 + (c_2 - c_{j2})^2} \quad (9)$$

[0058] 式中, $C_1$ 为未故障线路中心; $C_2$ 为故障线路中心; $(c_{j1}, c_{j2})$ 表示的是 $C_1, C_2$ 的坐标; $d_1$ 表示测试样本与未故障中心 $C_1$ 的距离, $d_2$ 表示测试样本与故障中心 $C_2$ 的距离, $j=1, 2$ 。

[0059] (3) 线路1与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=2.00, d_2=9.43, d_2 > d_1$ ;线路2与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=8.74, d_2=3.52, d_2 < d_1$ ;线路3与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=0.28, d_2=11.39, d_2 > d_1$ ;线路4与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.60, d_2=12.82, d_2 > d_1$ ;线路5与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=0.84, d_2=10.56, d_2 > d_1$ ;线路6与两类聚类中心的欧氏距离分别为 $d_1=1.59, d_2=9.73, d_2 > d_1$ ;据此得出故障线路为线路2。

[0060] 以上结合附图对本发明的具体实施方式作了详细说明,但是本发明并不限于上述实施方式,在本领域普通技术人员所具备的知识范围内,还可以在不脱离本发明宗旨的前提下作出各种变化。

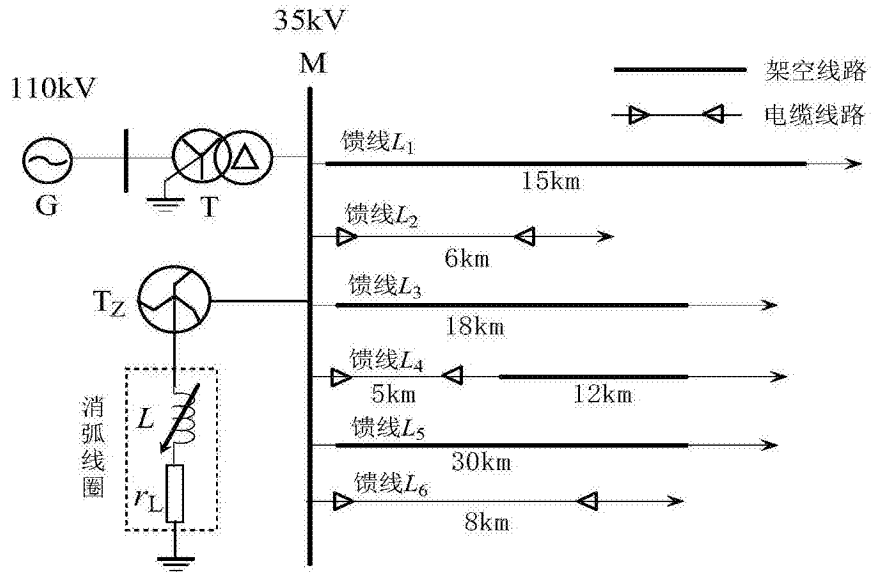


图1

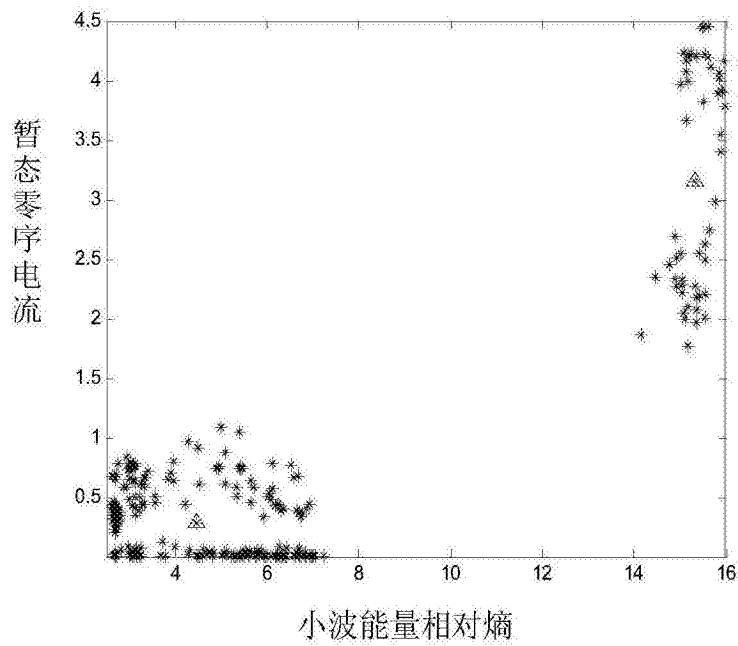


图2



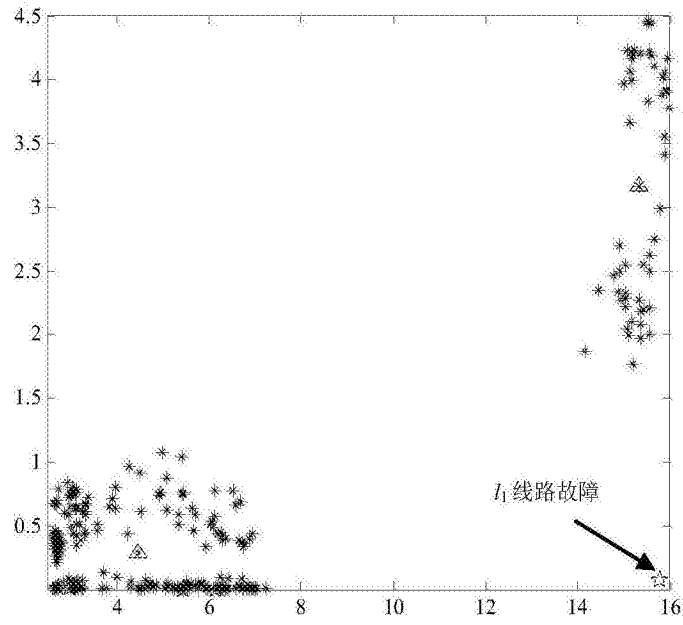


图3

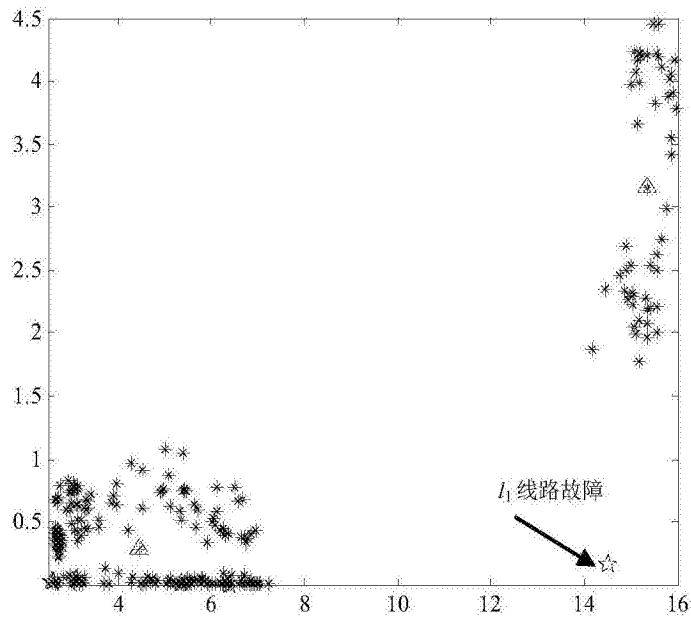


图4

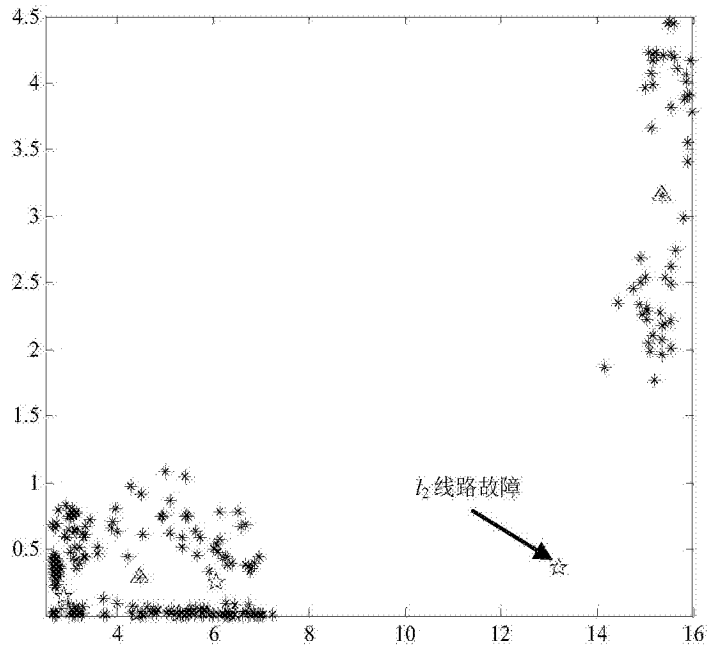


图5