



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103390251 B

(45) 授权公告日 2016.06.01

(21) 申请号 201310314260.1

(22) 申请日 2013.07.24

(73) 专利权人 大连海事大学

地址 116026 辽宁省大连市高新园区凌海路
1号

(72) 发明人 姚玉斌 杨波 黄升 王丹
吴志良

(74) 专利代理机构 大连东方专利代理有限责任
公司 21212

代理人 李洪福

(51) Int. Cl.

G06Q 50/06(2012.01)

(56) 对比文件

CN 102801162 A, 2012.11.28,

CN 102831315 A, 2012.12.19,

US 2012/0283967 A1, 2012.11.08,

赵冬梅等. 基于改进匹配潮流技术的配电网
虚拟量测.《现代电力》.2012, 第29卷(第5期),
第37-41页.

李碧君等. 状态估计中选取量测权值的新原
则.《电力系统自动化》.2000,(第8期),第10-14
页.

审查员 魏晶瑶

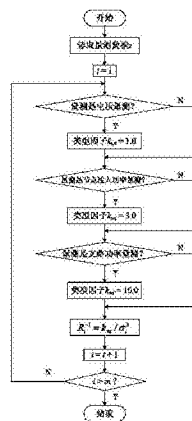
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种电力系统状态估计的量测量权重设置方
法

(57) 摘要

本发明公开了一种电力系统状态估计的量
测权重设置方法,提出了设置权重时要同时考
量测量误差和量测量类型,在传统按方差 σ^2 倒
数设置的权重基础上再乘以一个类型因子 k_w ,本
发明把量测量分为3种类型,分别电压幅值量
测量、支路功率量测量、节点注入功率量测量。
经过多次试验,电压量测量的类型因子 k_w 取值
范围为 0.8~1.2;节点注入功率量测量的类型因
子 k_w 取为 2.5~3.5;支路功率量测量的类型因
子 k_w 取为 8.5~11.5。实施算例表明本发明提
出的量测量权重设置方法可以明显提高电力系
统状态估计的精度。对 IEEE30 系统,各量测量
均存在 1% 误差时,采用本发明方法设置量测
量权重,精度可以提高 4.9%。



1. 一种电力系统状态估计的量测量权重设置方法,其特征在于:包括以下步骤:
- A、读取量测数据 z ;
 - B、设置当前序号 $i=1$;
 - C、判断当前量测量是否为电压幅值量测量,如果不是电压幅值量测量转至步骤E;
 - D、设置当前量测量的类型因子为 $k_{wi}=a$,取 $a=0.8\sim 1.2$;
 - E、判断当前量测量是否为节点注入功率量测量,如果不是节点注入功率量测量转至步骤G;
 - F、设置当前量测量的类型因子为 $k_{wi}=b$,取 $b=2.5\sim 3.5$;
 - G、判断当前量测量是否为支路功率量测量,如果不是支路功率量测量转至步骤I;
 - H、设置当前量测量的类型因子为 $k_{wi}=c$,取 $c=8.5\sim 11.5$;
 - I、设置当前量测量权重为 $R_i^{-1}=k_{wi}/\sigma_i^2$;式中, σ_i^2 为第 i 个量测量的方差;
 - J、令 $i=i+1$;
 - K、判断 i 是否大于量测量个数 m ,如果 i 不大于 m ,则转至步骤C;否则结束。

一种电力系统状态估计的量测量权重设置方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电力系统的状态估计方法,特别是一种加权最小二乘法状态估计的量测量权重设置方法。

背景技术

[0002] 状态估计是能量管理系统(EMS)的重要组成部分,随着电网规模的逐年加大,电力系统的自动化水平越来越高。为了保证电力系统运行的经济性和安全性,要求现代化的电力调度系统能准确、迅速、全面地掌握电力系统实际的运行状态,分析和预测电力系统的运行趋势并能及时地对运行中发生的各种问题,提出处理方法,制定下一步的操作方案。

[0003] 为了监视电力系统的运行状态,在电力系统的各个厂站(发电厂和变电站)都装备了测量单元来获取各种电气量的实时数据,这些被称为量测数据的实时数据通过各种通信手段传送到电网调度中心。但直接用量测数据来判断电力系统状态显然是不合理的、不能满足电网调度的要求,因为量测数据有如下两个缺点:

[0004] (1)量测数据不全面。量测数据并不包含电网的全部数据,仅仅采集了电网的部分数据。

[0005] (2)量测数据存在误差。电网调度中心得到的实时数据是通过传感器、变换器等运动装置传送进来的,数据采集、变换和通信每个环节都有误差,并且存在不同程度的干扰,因而这些数据不是完全可靠的。

[0006] 由于存在以上缺点,量测数据不能直接使用,必须加工处理,补齐不足数据,减少误差影响,才能使用。这个加工处理的过程就是状态估计。

[0007] 加权最小二乘法是状态估计最基本、最常用的算法,最小二乘法就是根据最小二乘准则使目标函数取得极小值。

[0008] 加权最小二乘法状态估计的原理如下:

[0009] 令电力系统量测方程组为

$$[0010] \quad z = h(x) \quad (1)$$

[0011] 式中, z 为 m 维量测量向量; x 为 n 维状态变量向量(由节点电压幅值和电压相角组成); $h(x)$ 为 m 维量测量的计算值函数向量。

[0012] 由于量测方程的个数 m 大于状态变量个数 n ,即 $m > n$,方程一般是无解的,即不存在满足式(1)中所有方程的解。需要寻找一组状态变量,使方程的加权残差最小。

[0013] 令目标函数为

$$[0014] \quad J(x) = (z - h(x))^T R^{-1} (z - h(x)) = \sum_{i=1}^m R_i^{-1} (z_i - h_i(x))^2 \quad (2)$$

[0015] 式中, R^{-1} 表示量测量权重矩阵; $z_i - h_i(x)$ 称为第 i 个量测量的残差。

[0016] 式(2)中的 $h(x)$ 用状态变量表示量测量的计算值,是非线性函数。量测量包括支路有功功率量测量、支路无功功率量测量,节点注入有功功率量测量、节点注入无功功率量测量、节点电压幅值量测量。

[0017] 传统的量测量权重设置方法一般是选择量测量的方差倒数为权重值,即

$$[0018] \quad R_i^{-1} = 1/\sigma_i^2 \quad (3)$$

[0019] 式中, σ_i^2 为第i个量测量的方差。

[0020] 最小二乘法就是要使得目标函数J(x)最小。J(x)的偏导为零是求取J(x)极值的必要条件,即

$$[0021] \quad \frac{dJ(x)}{dx} = -2H^T(x)R^{-1}(z-h(x)) \quad (4)$$

[0022] 式中,H(x)是量测量雅可比矩阵,由量测量的计算值函数h(x)对x的偏导数构成。

[0023] 式(4)是一个非线性方程组,可以用牛顿法求解。

[0024] 令 $f(x) = H^T(x)R^{-1}(z-h(x)) = 0$,将x在 x_0 点附近进行泰勒展开,并取至线性项,得

$$[0025] \quad f(x_0) + \left. \frac{\partial f(x)}{\partial x^T} \right|_{x_0} \Delta x = 0 \quad (5)$$

[0026] 式中,

$$[0027] \quad \left. \frac{\partial f(x)}{\partial x^T} \right|_{x_0} = \frac{\partial}{\partial x^T} [H^T(x)R^{-1}(z-h(x))] \approx -H^T(x)R^{-1}H(x) \quad (6)$$

[0028] 式(6)代入式(5),得状态估计的法方程

$$[0029] \quad H^T R^{-1} H \Delta x = H^T R^{-1} (z - h(x)) \quad (7)$$

[0030] 式中,方程系数部分 $H^T R^{-1} H$ 称为信息矩阵。

[0031] 解法方程,得

$$[0032] \quad \Delta x = [H^T R^{-1} H]^{-1} H^T R^{-1} (z - h(x)) \Big|_{x=x_0} \quad (8)$$

[0033] 用 Δx 对初值 x_0 进行修正,得x为

$$[0034] \quad x = x_0 + \Delta x \quad (9)$$

[0035] 由于对f(x)做一阶泰勒展开,当 x_0 十分接近x的真值时,一阶泰勒展开才能足够精确,但是实际上很难取到足够接近x真值的初值 x_0 ,所以应该反复迭代来逐步修正x使它逼近x的真值。迭代公式为

$$[0036] \quad x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)} \quad (10)$$

$$[0037] \quad \Delta x^{(k)} = [H^T(x^{(k)})R^{-1}H(x^{(k)})]^{-1} H^T(x^{(k)})R^{-1}(z-h(x^{(k)})) \quad (11)$$

[0038] 按式(10)和式(11)进行迭代修正,直到 $\max_i |\Delta x_i^{(k)}| < \varepsilon$ 为止(ε 为收敛精度),这时得到的就是最佳估计值,使目标函数J($x^{(k)}$)取得最小值。

[0039] 如图1所示,加权最小二乘法状态估计包括以下步骤:

[0040] 步骤1:读取网络数据和量测数据z;

[0041] 步骤2:按平启动设置电压初值,即所有节点电压幅值为1.0,电压相角为0.0;

[0042] 步骤3:令迭代次数k=1;

[0043] 步骤4:计算量测量的计算值函数对x的偏导数的雅可比矩阵H($x^{(k)}$)、量测量的计算值函数h($x^{(k)}$)、信息矩阵 $H^T R^{-1} H$ 、方程右端向量 $H^T R^{-1}(z-h(x^{(k)}))$;

[0044] 步骤5:解法方程 $(H^T R^{-1} H) \Delta x = H^T R^{-1}(z-h(x^{(k)}))$ 求 $\Delta x^{(k)}$ 及 $\max_i |\Delta x_i|$;

[0045] 步骤6:判断 $\max |\Delta x_i|$ 是否小于收敛精度 ε ,如果不小于 ε ,则转至步骤7;否则结束;

[0046] 步骤7:令 $x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)}$ 、 $k = k + 1$,返回到步骤4。

[0047] 上述计算方法中,量测量的权重设置对状态估计计算精度的影响很大,传统的量测量权重设置方法一般是选择量测量方差的倒数为权重值,实践中发现误差相同的不同类型的量测量对状态估计的影响程度有很大不同。设置权重时不考虑量测量类型对状态估计精度的影响必然影响状态估计的精度。

发明内容

[0048] 为解决现有技术存在的上述问题,本发明要设计一种电力系统状态估计的量测量权重设置方法,以提高状态估计的精度。

[0049] 为了实现上述目的,本发明的技术方案如下:一种电力系统状态估计的量测量权重设置方法,包括以下步骤:

[0050] A、读取量测数据 z ;

[0051] B、设置当前序号 $i = 1$;

[0052] C、判断当前量测量是否为电压幅值量测量,如果不是电压幅值量测量转至步骤E;

[0053] D、设置当前量测量的类型因子为 $k_{wi} = a$,取 $a = 0.8 \sim 1.2$;

[0054] E、判断当前量测量是否为节点注入功率量测量,如果不是节点注入功率量测量转至步骤G;

[0055] F、设置当前量测量的类型因子为 $k_{wi} = b$,取 $b = 2.5 \sim 3.5$;

[0056] G、判断当前量测量是否为支路功率量测量,如果不是支路功率量测量转至步骤I;

[0057] H、设置当前量测量的类型因子为 $k_{wi} = c$,取 $c = 8.5 \sim 11.5$;

[0058] I、设置当前量测量权重为 $R_i^{-1} = k_{wi} / \sigma_i^2$;

[0059] J、令 $i = i + 1$;

[0060] K、判断 i 是否大于量测量个数 m ,如果 i 不大于 m ,则转至步骤C;否则结束。

[0061] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0062] 本发明提出了设置权重时要同时考虑量测量误差和量测量类型,在传统按方差 σ^2 倒数设置的权重基础上再乘以一个类型因子 k_w ,即将式(3)修改为

[0063] $R_i^{-1} = k_{wi} / \sigma_i^2$

[0064] 本发明把量测量分为3种类型,分别电压幅值量测量、支路功率量测量、节点注入功率量测量。经过多次试验,电压量测量的类型因子 k_w 取值范围为 $0.8 \sim 1.2$;节点注入功率量测量的类型因子 k_w 取为 $2.5 \sim 3.5$;支路功率量测量的类型因子 k_w 取为 $8.5 \sim 11.5$ 。实施算例表明本发明提出的量测量权重设置方法可以明显提高电力系统状态估计的精度。对IEEE30系统,各量测量均存在1%误差时,采用本发明方法设置量测量权重,精度可以提高4.9%;存在5%误差时,采用本发明方法设置量测量权重,精度可以提高6.2%。量测量误差越大,本发明方法提高精度的幅度越大。

附图说明

- [0065] 本发明共有附图3张,其中:
 [0066] 图1是现有技术的加权最小二乘法状态估计流程图。
 [0067] 图2是本发明的量测量权重设置流程图。
 [0068] 图3是本发明的量测量权重设置算例IEEE30系统接线图。

具体实施方式

- [0069] 下面结合附图对本发明作进一步地说明。
 [0070] 采用图1-2所示的算法对图3所示的IEEE30系统进行状态估计。计算时以潮流计算结果为量测量的真值和状态量的真值,采用2种方法分别针对5种工况进行状态估计。计算时量测量的类型因子均取典型值,即 $a=1, b=3, c=10$ 。
 [0071] 5种工况分别如下:
 [0072] 工况1:所有量测量增加各自量测量的1%,即所有量测量都存在1%误差;
 [0073] 工况2:所有量测量增加各自量测量的2%;
 [0074] 工况3:所有量测量增加各自量测量的3%;
 [0075] 工况4:所有量测量增加各自量测量的4%;
 [0076] 工况5:所有量测量增加各自量测量的5%。
 [0077] 2种方法分别如下:
 [0078] 方法1:传统的以量测量方差倒数作为权重;
 [0079] 方法2:以本发明提出的以量测量方差倒数乘以类型因子作为权重。
 [0080] 计算结果如下表,表中状态估计总误差为状态估计误差平方和,即

[0081]
$$E = \sum_{i=1}^m (z_{0i} - h_i(x))^2$$
, 其中 z_{0i} 为第 i 个量测量的真值; $h_i(x)$ 称为第 i 个量测量的计算值。精度提高率以方法1的状态估计总误差为基准,计算结果见表1。

[0082] 表1 状态估计结果表

计算工况	状态估计总误差		精度提高率
	方法 1	方法 2	
工况 1	0.0039890	0.0037953	4.9%
工况 2	0.0159649	0.0150867	5.5%
工况 3	0.0359283	0.0338442	5.8%
工况 4	0.0638800	0.0600370	6.0%
工况 5	0.0998205	0.0936340	6.2%

- [0083] 从上表可见,采用本发明提出的量测量权重设置方法,状态估计的精度明显提高,而且量测量误差越大,本发明方法提高状态估计精度幅度越大。
 [0084] 本发明可以采用任何一种编程语言和编程环境实现,如C语言、C++、FORTRAN、Delphi等。开发环境可以采用VisualC++、BorlandC++Builder、Visual FORTRAN等。

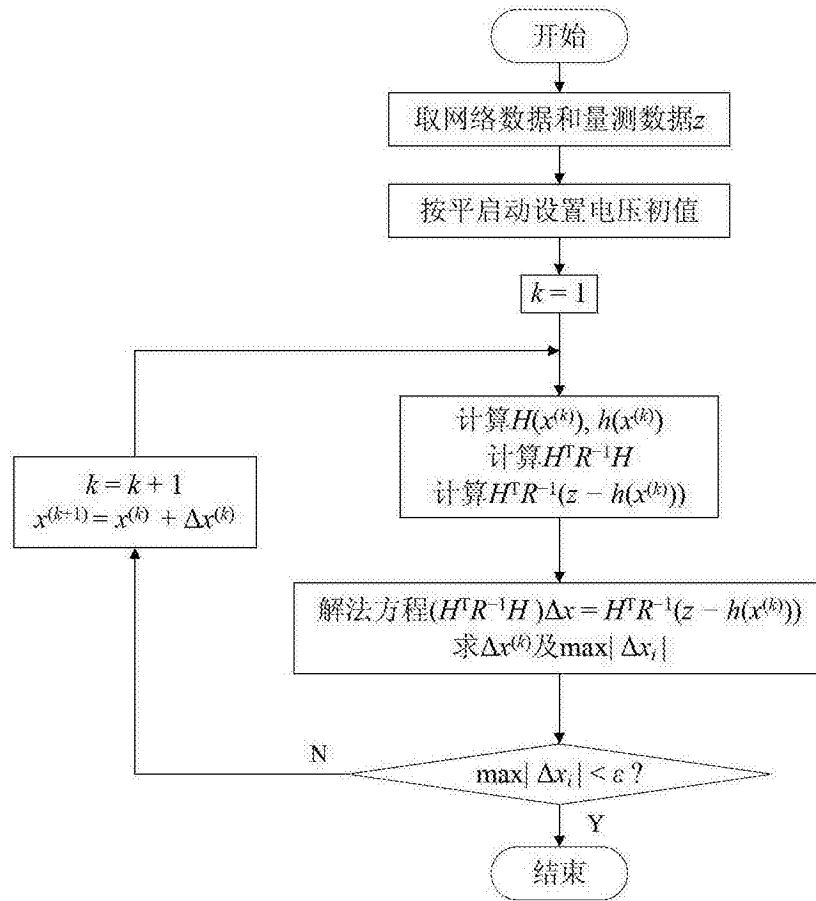


图1

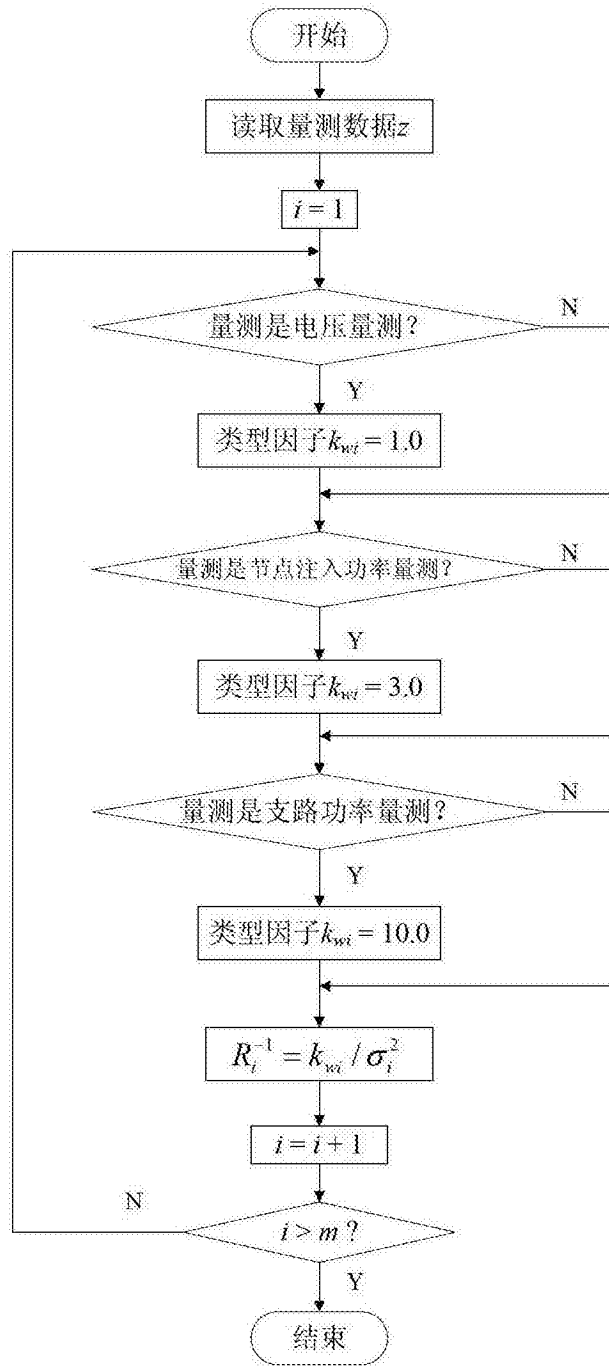


图2

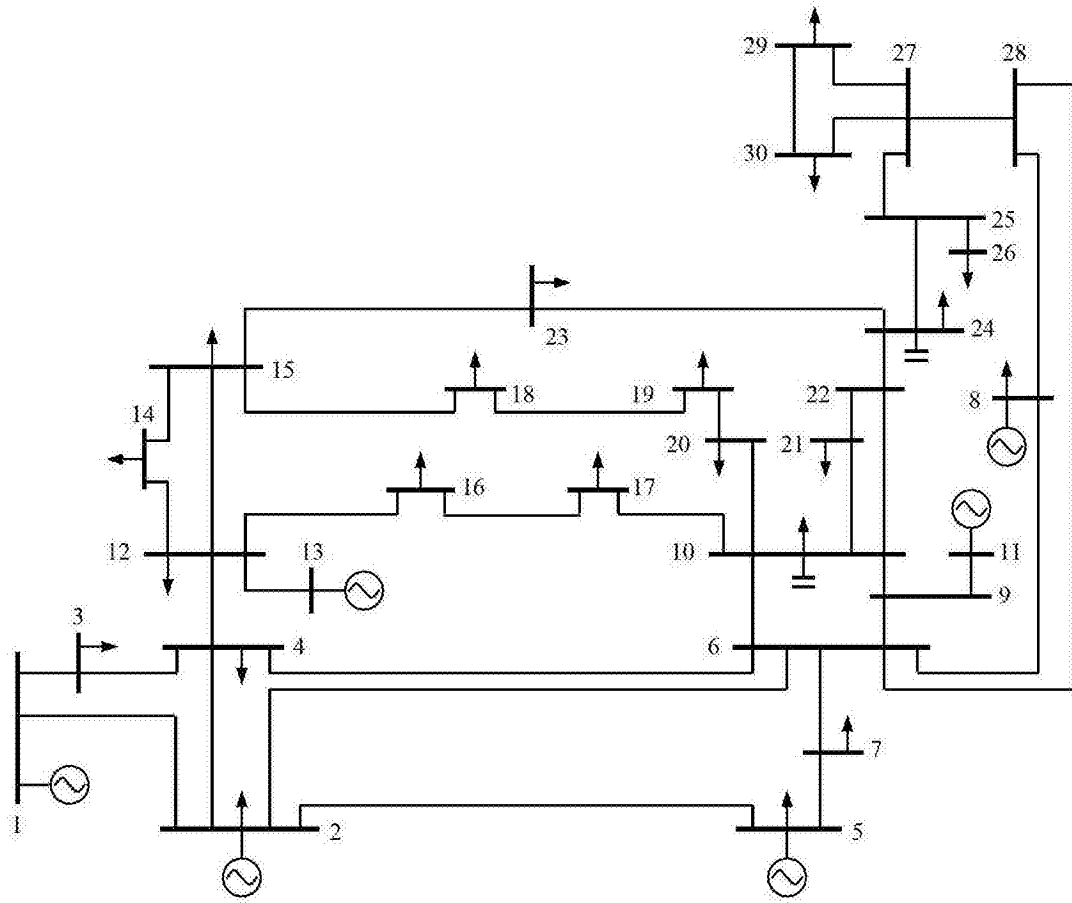


图3