



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104777785 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 20

(21) 申请号 201510093312. 6

(22) 申请日 2015. 03. 02

(73) 专利权人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号

专利权人 武汉华中数控股份有限公司  
襄阳华中科技大学先进制造工程  
研究院

CN 102331749 A, 2012. 01. 25,

CN 102081376 A, 2011. 06. 01,

何兵, 车林仙, 刘初升. 车削加工工艺参数优化. 《现代制造工程》. 2013, (第 2 期),

熊尧, 吴军, 邓超, 王远航. 面向重型数控机床的加工工艺参数优化方法. 《计算机集成制造系统》. 2012, 第 18 卷 (第 4 期),

审查员 刘锋

(72) 发明人 向华 陈吉红 周浩

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心

42201

代理人 李智

(51) Int. Cl.

G05B 19/18(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102004466 A, 2011. 04. 06,

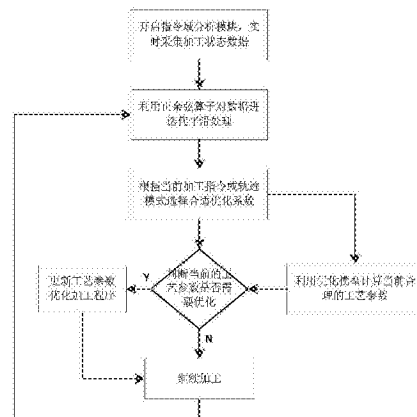
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法,包括:(1) 设置采样的加工状态信息和加工程序指令序列信息,并相应配置形成加工信息动态采集界面;(2) 实时采集获取实际加工数据,并利用正余弦算子对采集的数据进行迭代平滑处理,并提取滤波处理后信号的特征值;(3) 根据当前行加工的G指令和/或刀位轨迹类型在工艺系数数据库中选择确定优化系数;(4) 利用上述步骤获取的特征值以及优化系数,建立优化模型,据此计算当前合理的工艺参数,从而实现对加工工艺参数的动态优化。本发明的方法以指令域分析为基础,可以实现对数控系统工艺参数快速优化,实现与插补周期同步,最大程度实现数控系统加工质量与效率的提升。



CN 104777785 B

1. 一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 设置采样的加工状态信息和加工程序指令序列信息,并相应配置形成加工信息动态采集界面,以实时同步显示采样的信息与指令对应的加工程序行;

(2) 实时采集获取实际加工数据,并利用正余弦算子对采集的数据进行迭代平滑处理,从而获得平滑的信号,并提取滤波处理后信号的特征值,其中,所述迭代平滑处理具体为:

$$y(n) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(i) h(n-i) = x(n) * h(n)$$

其中, $y(n)$ 为平滑处理后的信号, $x(n)$ 表示采集的数据点, $n$ 为 $h(n)$ , $h(n)$ 为加权算子, $h(n)=\sin(2\pi/N*n+\theta)$ , $N$ 为采集的数据点个数, $\theta$ 为 $h(n)$ 的初始相位;

(3) 根据当前行加工的G指令和/或刀位轨迹类型在工艺系数数据库中选择确定优化系数;

(4) 利用上述步骤获取的特征值以及优化系数,建立优化模型,据此计算当前合理的工艺参数,从而实现对加工工艺参数的动态优化,其中,所述加工工艺参数为主轴进给速度,所述优化模型具体为:

$$F_v = f_m \left( 1 - \frac{C_s}{C_m} + \text{cof}_{\text{修}} \right);$$

其中, $F_v$ 表示修正后的进给修调, $f_m$ 表示修调极值即特征值, $C_s$ 是采集的当前主轴电流, $C_m$ 主轴额定电流, $\text{cof}_{\text{修}}$ 为优化系数。

2. 根据权利要求1所述的一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法,其中,所述加工状态信息包括机床各个轴的指令位置、实际位置、指令速度、实际速度、跟随误差、负载电流、以及系统变量和外部传感器信息。

3. 根据权利要求1或2所述的一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法,其中,所述迭代平滑处理的数据为主轴电流。

4. 根据权利要求1或2所述的一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法,其中,还可以对优化后的工艺参数与当前工艺参数值进行比较,并根据判断当前工艺参数值是否合理确定是否更新修正当前工艺参数值。

5. 根据权利要求1或2所述的一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法,其中,在提取特征值和计算合理工艺参数值后,指令特征将以柱状图的方式动态显示在界面上,柱状图的宽度由该行插补点的个数决定,如果发现某行的插补特征值超过理想的阈值,超出部分用一定颜色方块显示。

## 一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于数控加工工艺参数优化处理技术领域,具体涉及一种数控加工工艺参数动态优化方法。

### 背景技术

[0002] 数控加工,即在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法,其本身就是一种工艺方法,该方法较传统机加工带来的好处就是,利用数字信息化的技术解决零件复杂多变、小批量、小型化、高精度等问题,从而实现加工领域的自动化、智能化。

[0003] 为了获得最优的加工效果,通常需要对加工中的工艺参数进行优化。在线加工工艺参数优化通常都是通过实时检测加工过程中主轴电流、刀具温度或各轴跟随误差等状态信息,根据反馈值来实时调节切削参数,以获得最优的切削效率,提高加工质量。因此大部分的优化设备都是外置处理器,通过外部传感器采集相关的数据,来对工艺参数进行优化。该方法最大缺点在于无法与数控系统同步,尽管可能用更高的采集卡获取高频采样数据,由于加工环境的复杂,获取的数据本身就更加复杂,与插补数据不同步,分析上更耗成本,需要更多的内存空间,而且也花时间。优化后的数据在反馈到数据系统时由于是外部通信,与插补周期相比存在滞后,因此补偿存在一定的滞后误差。

[0004] 另外,工艺参数优化时常用的数据处理方式通常都是采用时域或频域的方式,对数据进行平滑滤波、小波分析、FFT变换等信息处理方法。但是在数控加工领域,G代码程序是决定机床后面所有的动作,要想加工过程更加精细化,G代码质量、工艺参数的优化是至关重要的一点。

[0005] 成熟的工艺参数优化方法有通过建立基于遗传算法的切削参数优化模型,采用线性加权和罚函数的方法来实现多目标参数优化;也有通过样本集训练和检测BP神经网络的改进BP神经网络的方式对工艺参数优化的方式;还有就是很学术机构都在研究的针对特定使用目标的小型实用专家系统来对车铣加工工艺参数进行优化。

[0006] 但是,这些基于数控加工工艺参数的优化方法都脱离于数控系统,通过外部传感器获取数据源,借助外置处理器平台利用时域或频域的分析算法来进行数据处理,实现工艺参数优化。这种方式普遍存在获取数据精度不高,补偿滞后,测量与补偿耗时长等特点,因此不能从根本提高零件表面加工质量,和加工效率。

### 发明内容

[0007] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法,其直接与数控系统无缝集成,通过实时监测各加工状态数据,并对其指令特征的提取、分析,从而实现对加工工艺参数动态优化,该方法能对数控系统工艺参数快速优化,实现与插补周期同步,最大程度实现数控系统加工质量与效率的提升。

[0008] 为实现上述目的,按照本发明,提供一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法,其特征在于,包括如下步骤:

[0009] (1)设置采样的加工状态信息和加工程序指令序列信息,并相应配置形成加工信息动态采集界面,以实时同步显示采样的信息与指令对应的加工程序行;

[0010] (2)实时采集获取实际加工数据,并利用正余弦算子对采集的数据进行迭代平滑处理,从而获得平滑的信号,并提取滤波处理后信号的特征值;

[0011] (3)根据当前行加工的G指令和/或刀位轨迹类型在工艺系数数据库中选择确定优化系数;

[0012] (4)利用上述步骤获取的特征值以及优化系数,建立优化模型,据此计算当前合理的工艺参数,从而实现对加工工艺参数的动态优化。

[0013] 作为本发明的改进,所述加工工艺参数为主轴进给速度,所述优化模型具体为:

$$[0014] \quad F_v = f_m \left( 1 - \frac{C_s}{C_m} + \text{cof}_{\text{修}} \right);$$

[0015] 其中, $F_v$ 表示修正后的进给修调, $f_m$ 表示修调极值即特征值, $C_s$ 是采集的当前主轴电流, $C_m$ 主轴额定电流, $\text{cof}_{\text{修}}$ 为优化系数。

[0016] 作为本发明的改进,所述迭代平滑处理具体为:

$$[0017] \quad y(n) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(i) h(n-i) = x(n) * h(n)$$

[0018] 其中, $N$ 为采集的数据点个数, $n$ 为任一数据序号, $\theta$ 为 $h(n)$ 的初始相位角, $y(n)$ 为平滑处理后的信号。

[0019] 作为本发明的改进,所述加工状态信息包括机床各个轴的指令位置、实际位置、指令速度、实际速度、跟随误差、负载电流(或主轴电流)、以及系统变量和外部传感器信息。

[0020] 作为本发明的改进,所述迭代平滑处理的数据为主轴电流。

[0021] 作为本发明的改进,还可以对优化后的工艺参数与当前工艺参数值进行比较,并根据判断当前工艺参数值是否合理确定是否更新修正当前工艺参数值。

[0022] 作为本发明的改进,在提取特征值和计算合理工艺参数值后,指令特征将以柱状图的方式动态显示在界面上,柱状图的宽度由该行插补点的个数决定,如果发现某行的插补特征值超过理想的阈值,超出部分将用一定颜色方块显示。

[0023] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,具有以下有益效果:

[0024] (1)本发明以指令域分析为基础,建立数控系统工艺参数优化模型,所有特征的提取均是以指令行作为横轴,对当前行的所有插补点进行运算,从而提取重要的指令特征信息。

[0025] (2)本发明与数控系统高度无缝集成,所有数据的交互包括数据系统内部数据、外部传感器采集信息都与数控系统周期同步,改变了传统外部测量、离线优化方式,极大的缩短参数优化周期,保证数据补偿的及时性、有效性。

[0026] (3)本发明提供了便捷式操作人机交互界面,该界面都是基于指令序列的加工状态信息曲线图,加工过程中实时采集当前状态数据,同时绘制指令序列曲线图包括波状和柱状两种形式。其中波状图是以插补点为周期,便于微观分析单个插补点特征及运动轨迹优化;柱状图是以加工G代码程序的行为观察轴,对每行的所有插补数据进行滤波平均、卷积运算,把运算后的结果时时显示,既能观察每个程序行总体平均信息,又能发现不同行之

间的连续变化过程。

[0027] (4)本发明通过自行建立的优化系数数据库和工艺参数优化模型,利用指示域波形分析模块时时采集数控系统加工状态参数,并配置相应的缓冲区,通过迭代方式时时提取当前运行号的指令特征,更新缓冲区。利用数学模型计算合理的工艺参数值,并与当前的工艺参数值进行比较,以更新当前加工G代码程序。

[0028] (5)本发明通过对插补数据轨迹分析,形成工艺参数优化系数数据库,不同轨迹不同插补指令的线段将采取不同的优化系数。同时,采用了具有一定带宽的余弦或正弦算子对插补指令反馈回来的数据进行平滑滤波和微分卷积运算,实现对实际数据高效处理。

## 附图说明

[0029] 图1为按照本发明实施例的方法的总体实施步骤流程图;

[0030] 图2为按照本发明实施例的方法基于指令域的加工状态曲线柱状显示图。其中, $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ …… $L_n$ 表示G代码程序行号, $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ …… $N_n$ 表示对应行插补数据点的总数,不等宽柱状图就是根据所在行插补总数来绘制。纵坐标Y轴代表当前采样加工状态值,每个柱状图的高度由该G代码行对应加工状态的指令特征值决定;

[0031] 图3为按照本发明实施例的方法基于指令域的加工状态曲线波形显示图;其中加工状态值是以时域波形的方式绘制,横轴既有当前插补周期的时间节点,同时也把每个插补节点与对应的程序行显示。

[0032] 图4为按照本发明实施例的方法基于指令域的加工状态指令特征提取流程图;

[0033] 图5为基于指令域分析根据主轴电流优化进给修调前后比较示意图;其中曲线表明通过获取主轴电流状态调整进给修调从而保证主轴加工效率,实线1是进给修调未经优化时整个加工过程主轴电流波动情况,虚线1是进给修调时时优化后主轴电流波动情况,实线2是实际加工过程的修调百分比,通常稳定在100%不变,虚线是根据实线1主轴电流优化后的进给修调值。

## 具体实施方式

[0034] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0035] 本发明实施例所提供的一种基于指令域分析的数控加工工艺参数动态优化方法,其特征在于该方法的实施与数控系统高度无缝集成,如图1所示,主要包含以下几个步骤:

[0036] 步骤1:设置采样的加工状态信息和加工程序指令序列信息,并相应配置形成加工信息动态采集界面,以实时同步显示采样的信息与指令对应的加工程序行。

[0037] 待采样的加工状态信息包括机床各个轴的指令位置、实际位置、指令速度、实际速度、跟随误差、负载电流(或主轴电流)、以及系统变量和外部传感器信息等。

[0038] 加工信息动态采集界面优选配置成左右相对的两区域,例如左侧为采样信息的波形显示区域,而相对的右侧是当前加工G代码程序的同步显示区域,这样可以保证在实时采集过程中当前加工程序行与对应的加工状态信息同步显示,便于对照和参考。

[0039] 步骤2:实时采集获取实际加工数据,并利用正余弦算子对该数据进行迭代平滑处

理,从而获得平滑的信号,并提取滤波处理后信号的特征值。

[0040] 由于采集到数据是一些离散的点,如主轴电流 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$ 、 $n_5$ 、 $n_6$ ……,本实施例中用 $x(n)$ 表示采集的数据点,本实施例中,优选采集的数据点为主轴电流。

[0041] 离散的点只能采用序列卷积的方式运算,本实施例中平滑采用加权算子进行处理,其中加权算子表示如下: $h(n) = \sin(2\pi/N * n + \theta)$ , $N$ 为采集的数据点个数, $n$ 为任一数据点标号, $\theta$ 为 $h(n)$ 的初始相位。将上述加权算子在一定窄宽内离散成序列,然后再进行滑动平均滤波,得到处理后的信号:

$$[0042] \quad y(n) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(i) h(n-i) = x(n) * h(n)$$

[0043] 由于数控加工环境复杂,各种噪音信号比较多,对原始数据处理之前进行平滑处理,可以有效消除环境噪声,提高信号分析质量。

[0044] 本发明实施例中,迭代平滑的运算是以插补行(即程序行)为统计量的,具体的运算步骤参见图4所示。

[0045] 滤波处理后,将滤波后的信号中的特征值提取出来,特征值包括插补周期的平均值和极大值。本实施例中优选将特征值进行实时显示,例如优选将当前插补行提取的特征值通过波状图和柱状图两种方式显示有界面上,如图2和图3所示,其中波状图优选按照时域插补节点与指令域插补行号同时对齐的方式显示的,方便查看单个插补节点的变化情况,而柱状图反馈的是插补周期的平均值,极大值,用来衡量整个G代码程序行的状态变化情况。

[0046] 步骤3:根据当前行加工的G指令或刀位轨迹类型在工艺系数数据库中选择确定优化系数。

[0047] 本发明实施例中,工艺系数数据库涉及到机床加工各工艺参数,例如主轴修调、进给修调、刀具防碰撞、刀具磨损、丝杠预紧力、各导轨空间几何误差补偿、温度补偿等,实际上该数据库即是优化系数与各种工艺参数的对应关系表。该工艺系数数据库本领域技术人员可以根据掌握的经验和本领域的普通技术手段和实验能力进行确定。

[0048] 本实施例中以根据实际加工主轴电流波动情况调整通道轴进给修调为例,实际加工轨迹是空间,几何特征的差异决定了当前位置的主轴转速和进给速度。因此通过识别当前加工轨迹的空间特征,即可选择合理优化系数。

[0049] 步骤4:利用优化模型计算当前合理的工艺参数。

[0050] 根据当前主轴电流波动情况计算合适的进给修调,把平滑后的主轴电流代入数学模型计算当前的进给修调值,修调模型表达式如下所示:

$$[0051] \quad F_v = f_m \left( 1 - \frac{C_s}{C_m} + \text{cof}_{\text{修}} \right);$$

[0052] 其中 $F_v$ 表示修正后的进给修调, $f_m$ 表示修调极值(即特征值), $C_s$ 是当前主轴电流, $C_m$ 主轴额定电流, $\text{cof}_{\text{修}}$ 为工艺数据库选取的优化系数。

[0053] 优选地,可以将优化后的工艺参数与前工艺参数值进行比较,如果当前值合理,则不需要修改,否则修正当前工艺参数值。

[0054] 在提取特征值和计算合理工艺参数值后,可以将指令特征以柱状图的方式动态显示在界面上,柱状图的宽度由该行插补点的个数决定,如果发现某行的插补特征值超过理

想的阈值,超出部分将用一种特点颜色例如红色方块显示。

[0055] 柱状图如图2所示,根据主轴电流优化进给修调前后比较图如图5所示。实际加工主轴电流通常是容易受切削深度主轴转速出现波动,尤其是尖峰电流值不利于零件加工表面质量如图实线1所示,而实际进给修调在加工过程中通常保持在基准修调值100%不变,如图实线2所示。通过参数优化后,主轴电流明显平稳如虚线1所示,而优化后的进给修调将根据电流幅度出现波动,如图虚线2所示。

[0056] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

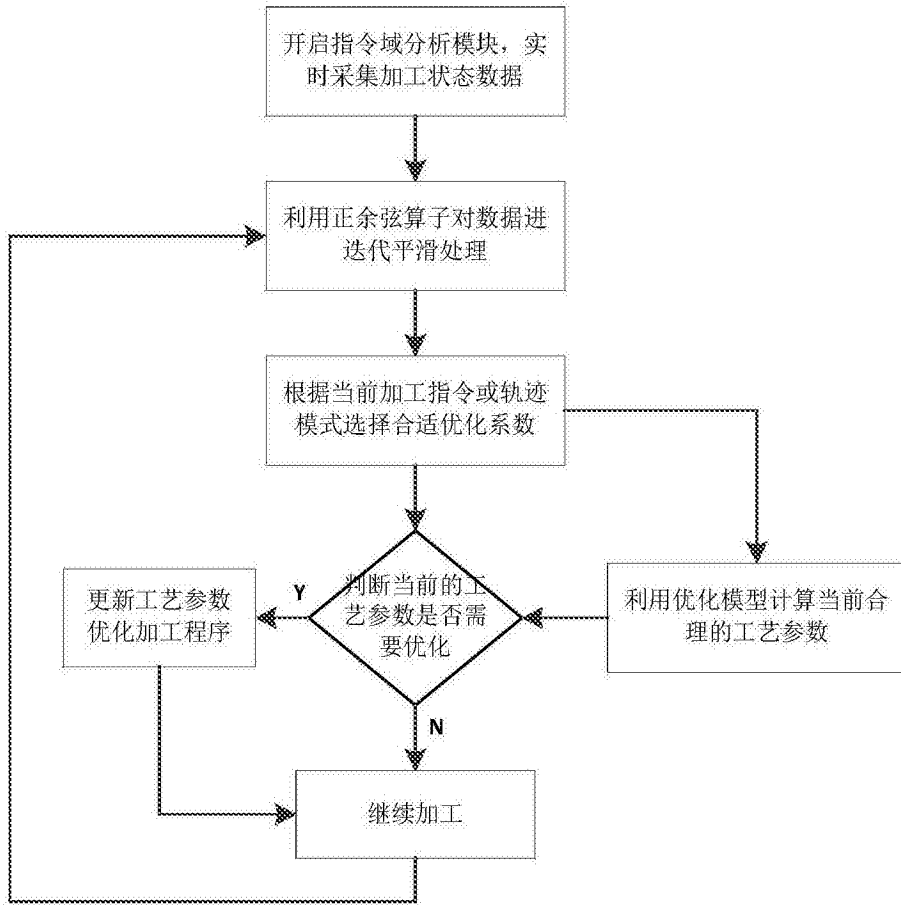


图1

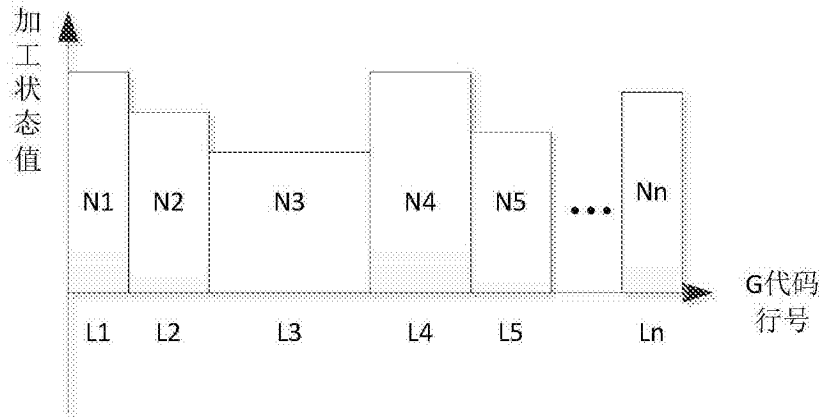


图2



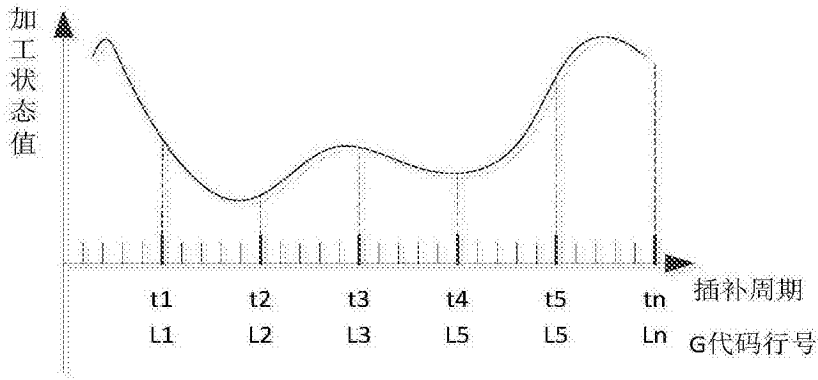


图3

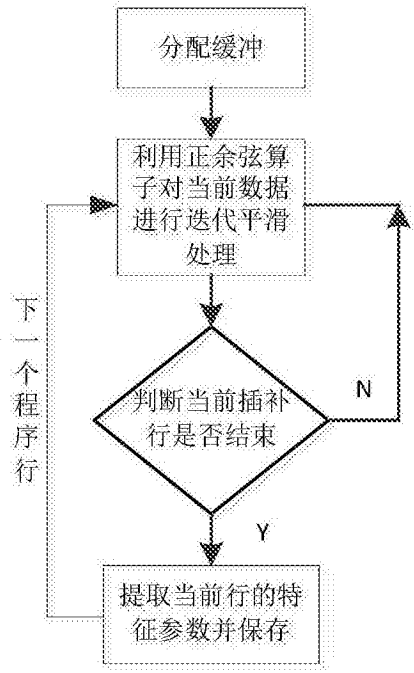


图4

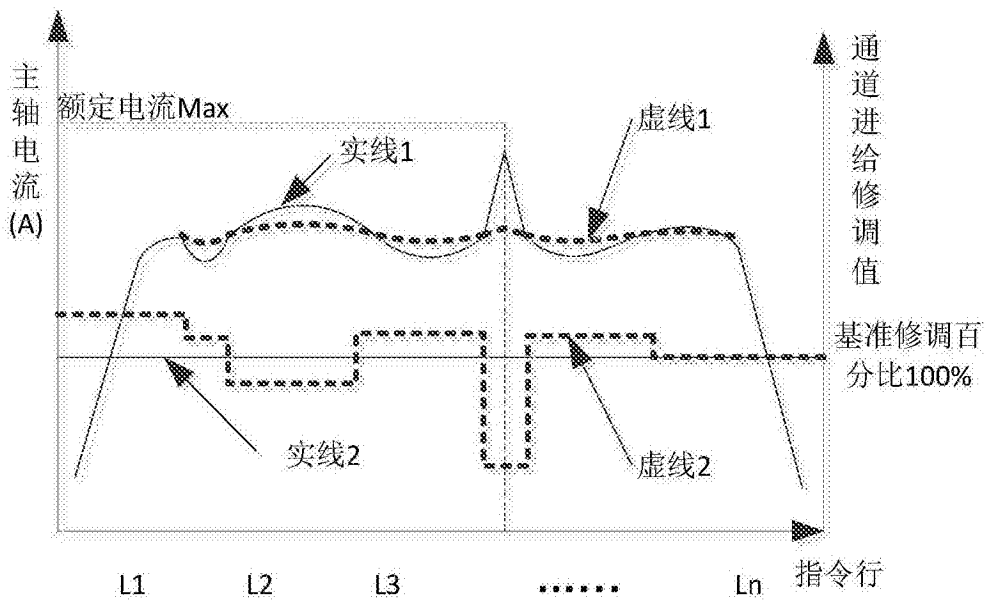


图5