



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104793621 B

(45)授权公告日 2017. 11. 14

(21)申请号 201510239448.3

(22)申请日 2015.05.12

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104793621 A

(43)申请公布日 2015.07.22

(73)专利权人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号北京理工大学

(72)发明人 余张国 黄强 李通通 陈学超

张伟民 孟立波 孙文涛

(51)Int.Cl.

G05D 1/02(2006.01)

审查员 艾春艳

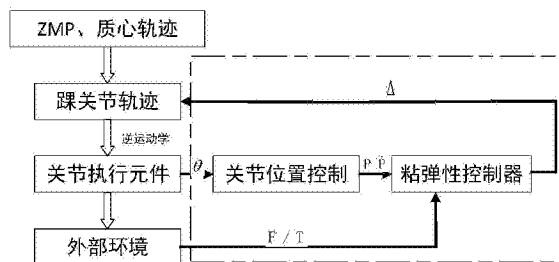
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种模仿肌肉粘弹特性的仿人机器人行走稳定控制方法

(57)摘要

本发明提供了一种模仿肌肉粘弹性的仿人机器人行走稳定控制方法及粘弹性仿生控制系统,其包括粘弹性仿生控制器,并通过模仿肌肉粘弹性的反应机制,在收到外部环境的干扰时,其在保持ZMP和质心的轨迹不变的情况下,所述粘弹性仿生控制器调节关节执行元件的轨迹以适应外部环境。通过对仿人机器人行走步态的仿生控制,使得其脚底能够适应复杂地形,提高了仿人机器人的环境适应性。



1. 一种模仿肌肉粘弹性的仿人机器人的粘弹性仿生控制系统,其包括关节执行元件、关节位置控制部件、粘弹性仿生控制器;其特征在于:当外部环境有干扰时,在ZMP和质心的轨迹不变的情况下,所述粘弹性仿生控制器调节关节执行元件的轨迹以适应外部环境;

所述仿人机器人的脚底板处安装有六维力/力矩传感器用于实时测得所述脚底板所受的力和力矩;

其中,所述粘弹性仿生控制器依据所建立的所述仿人机器人的脚底板和地面接触的粘弹性接触模型得到地面作用外力和踝关节的位姿变化关系:

$$\Delta = \frac{F}{k} \left(1 - e^{-t/\tau} \right),$$

其中 $\tau = \frac{\varepsilon}{k}$, ε 为粘度系数, k 为弹性系数, Δ 表示所述仿人机器人的腿部末端实际位姿变化量 6×1 , F 为受到的地面作用外力, t 是受到上述外力时开始计算的时间。

2. 根据权利要求1所述的粘弹性仿生控制系统,其中,所述粘弹性仿生控制器通过粘弹性控制模型

$$\begin{bmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ \Delta_z \\ \Delta_{\theta_x} \\ \Delta_{\theta_y} \\ \Delta_{\theta_z} \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} f_x \\ f_z \\ m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} \left(1 - e^{-t/\tau} \right), \text{其中 } K = 1/k;$$

其中 Δ_x 、 Δ_y 、 Δ_z 是指踝关节的位置增量, Δ_{θ_x} 、 Δ_{θ_y} 、 Δ_{θ_z} 是指踝关节的姿态增量, f_x 、 f_y 、 f_z 是指六维力传感器所测力, m_x 、 m_y 、 m_z 是指六维力传感器所测力矩;

得到踝关节位置和姿态的变量,得出踝关节的位置和姿态:

$$P(t+1) = P(t) + \Delta P(t)$$

之后通过逆运动学计算得出每个关节的执行角度,并控制关节执行元件的执行。

3. 根据权利要求2所述的粘弹性仿生控制系统,当受到外力 F 时,粘弹性内力 $F_{\text{ext}} = F * (1 - e^{-t/T})$,踝关节的位置和姿态的增量为 $\Delta = F_{\text{ext}}/k$;其中 $T = \frac{\varepsilon}{K}$,其中 ε 为粘度系数, K 为弹性系数;

当受到的外力 F 消失后,粘弹性内力并未消失,令 $F_{\text{ext}} = F_0 * e^{-t/T}$,踝关节的位置和姿态的增量 $\Delta = F_{\text{ext}}/k$;所述粘弹性内力随时间推移而逐渐减小,从而避免了外力消失时由于加速度太大而导致的冲击;其中 F_0 是机器人脚底板受到的外力的平均值,所述粘弹性内力随时间减小的曲线的形状可通过调节粘度系数 ε 和弹性系数 k 实现改变,从而获得不同的缓冲击效果。

4. 一种模仿肌肉粘弹性的仿人机器人行走稳定控制方法,其包括如下步骤:

- (1) 在仿人机器人规划轨迹时,给出ZMP和质心的轨迹;
- (2) 规划仿人机器人的踝关节轨迹;
- (3) 根据规划的所述轨迹计算各个关节执行元件的轨迹并执行;

其特征在于,还具有下述步骤:(4) 当外部环境有干扰时,在ZMP和质心的轨迹不变的情况下,调节各个关节执行元件的轨迹以适应外部环境;

其中,在所述步骤(4)中,还包括利用所述仿人机器人的脚底板处安装的六维力/力矩传感器实时测得所述脚底板所受的力和力矩的步骤;以及还包括获得所述仿人机器人的脚底板实时的位置和姿态进而得出速度和角速度的步骤;

在所述步骤(4)中,依据所获得的速度和角速度、力和力矩建立的所述仿人机器人的脚底板和地面接触的粘弹性接触模型,得到地面作用外力和踝关节的位姿变化关系:

$$\Delta = \frac{F}{k} (1 - e^{-t/\tau}),$$

其中 $\tau = \frac{\varepsilon}{k}$, ε 为粘度系数, k 为弹性系数, Δ 表示所述仿人机器人的腿部末端实际位姿变化量 6×1 , F 为受到的地面作用外力, t 是受到上述外力时开始计算的时间。

5. 根据权利要求4所述的仿人机器人行走稳定控制方法,其中,在所述步骤(4)中,还包括如下步骤:

通过粘弹性控制模型

$$\begin{bmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ \Delta_z \\ \Delta_{\theta_x} \\ \Delta_{\theta_y} \\ \Delta_{\theta_z} \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} f_x \\ f_z \\ m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} (1 - e^{-t/\tau}), \text{其中}, K = 1/k$$

其中 Δ_x 、 Δ_y 、 Δ_z 是指踝关节的位置增量, Δ_{θ_x} 、 Δ_{θ_y} 、 Δ_{θ_z} 是指踝关节的姿态增量, f_x 、 f_y 、 f_z 是指六维力传感器所测力, m_x 、 m_y 、 m_z 是指六维力传感器所测力矩;

得到踝关节位置和姿态的变量,得出踝关节的位置和姿态:

$$P(t+1) = P(t) + \Delta P(t)$$

之后通过逆运动学计算得出每个关节执行元件的执行角度,并控制关节执行元件的执行。

6. 根据权利要求5所述的仿人机器人行走稳定控制方法,当受到外力 F 时,粘弹性内力 $F_{\text{ext}} = F * (1 - e^{-t/T})$,踝关节的位置和姿态的增量为 $\Delta = F_{\text{ext}}/k$;其中 $T = \frac{\varepsilon}{K}$,其中 ε 为粘度系数, K 为弹性系数;

当受到的外力 F 消失后,粘弹性内力并未消失,令 $F_{\text{ext}} = F_0 * e^{-t/T}$,踝关节的位置和姿态的增量 $\Delta = F_{\text{ext}}/k$;所述粘弹性内力随时间推移而逐渐减小,从而避免了外力消失时由于加速度太大而导致的冲击;其中 F_0 是机器人脚底板受到的外力的平均值,所述粘弹性内力随时间减小的曲线的形状可通过调节粘度系数 ε 和弹性系数 k 实现改变,从而获得不同的缓冲击效果。

一种模仿肌肉粘弹特性的仿人机器人行走稳定控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种仿人机器人,具体涉及一种模仿肌肉粘弹性的仿人机器人行走稳定控制方法及粘弹性仿生控制系统。

背景技术

[0002] 仿人机器人是具有人类外形特征,并具有与其外形特征相应的类人功能的人形机器人。其研究的目的是研究一种能与人和谐共处的类人形机器人,它能在人类现实环境中工作,使用人们所用的工具,并服务人类,而人类环境多种多样,仿人机器人的环境适应性还有待于进一步提高。

[0003] 专利CN200810171985.9提出了一种仿人机器人稳定行走的脚着地时间的控制方法及系统,通过力传感器的反馈来实时检测机器人脚底板是否提前着地或滞后着地,当提前或滞后着地时分别上移或下移踝关节的位置,通过逆运动学来计算各关节角的位置,从而实现机器人稳定着地行走。但是此方法只考虑了地面接触力的大小,而未考虑接触力矩,当地面有坡度时,此方法不能实现机器人的稳定着地行走。

[0004] 现有论文“Balance control strategy of humanoid robot based on stiffness control”阐述了采用控制关节刚度的方法来进行机器人的稳定平衡控制。该方法在踝关节将动力学和关节刚度进行结合;在髋关节处控制关节的刚度和速度,控制方法复杂,且只适用于单一方向的扰动,具有局限性。

[0005] 现有技术能适应外界干扰时,只能单一的适应某一方向上的干扰,当地面干扰复杂时,如既有三个方向上的力又有三个方向上的力矩时,现有方法不具有普适性。

[0006] 动物在整个运动过程中神经系统、骨骼肌肉系统及外界环境相互交互,其中骨骼肌肉粘弹性在动物行走中起到重要作用。骨骼肌肉系统通过自身粘弹性特性对外部环境的适应能力,无需中央神经系统对其进行干预,而是通过肢体快速粘弹性反应来避免妨碍自身平衡的扰动。

[0007] 因此,本发明旨在将人体行走规律运用到仿人机器人行走控制,提高仿人机器人环境适应性。以仿人机器人为平台,基于人在行走过程中的肌肉粘弹性规律,通过一定的程序算法来设计仿人机器人行走仿生控制器,增强仿人机器人的环境适应性。

发明内容

[0008] 本发明的模仿肌肉粘弹性的仿人机器人的粘弹性仿生控制系统,其包括关节执行元件、关节位置控制部件、粘弹性仿生控制器;其特征在于:当外部环境有干扰时,在ZMP和质心的轨迹不变的情况下,所述粘弹性仿生控制器调节关节执行元件的轨迹以适应外部环境。

[0009] 根据上述的粘弹性仿生控制系统,其中,所述关节位置控制部件利用关节位置,得出仿人机器人的脚底板实时的位置和姿态,进而得出速度和角速度。

[0010] 根据上述的任一粘弹性仿生控制系统,其中,所述仿人机器人的脚底板处安装有

六维力/力矩传感器用于实时测得所述脚底板所受的力和力矩。

[0011] 根据上述的任一粘弹性仿生控制系统,其中,所述粘弹性仿生控制器依据所建立的所述仿人机器人的脚底板和地面接触的粘弹性接触模型得到地面作用外力和踝关节的位姿变化关系:

$$[0012] \quad \Delta = \frac{F}{k}(1 - e^{-t/T}),$$

[0013] 其中 $T = \frac{\epsilon}{k}$, ϵ 为粘度系数, k 为弹性系数, Δ 表示所述仿人机器人的腿部末端实际位姿变化量 (6×1), F 为受到的地面作用外力, t 是受到上述外力时开始计算的时间。

[0014] 根据上述的任一粘弹性仿生控制系统,其中,所述粘弹性仿生控制器通过粘弹性控制模型

$$[0015] \quad \begin{matrix} \Delta \\ \Delta \\ \Delta \\ \Delta \\ \Delta \\ \Delta \end{matrix} = K \begin{matrix} t \\ t \\ t \\ m \\ m \\ m \end{matrix} (1 - e^{-t/T}) \quad \text{其中, } K = 1/k;$$

[0016] 得到踝关节位置和姿态的变量,得出踝关节的位置和姿态:

$$[0017] \quad P(t+1) = P(t) + \Delta P(t)$$

[0018] 之后通过逆运动学计算得出每个关节的执行角度,并控制关节执行元件的执行。

[0019] 根据上述的任一粘弹性仿生控制系统,当受到外力 F 时,粘弹性内力 $F_{\text{ext}} = F * (1 - e^{-t/T})$,踝关节的位置和姿态的增量为 $\Delta = F_{\text{ext}}/k$;当受到的外力 F 消失后,粘弹性内力并未消失,令 $F_{\text{ext}} = F_0 * e^{-t/T}$,踝关节的位置和姿态的增量为 $\Delta = F_{\text{ext}}/k$;所述粘弹性内力随时间推移而逐渐减小,从而避免了外力消失时由于加速度太大而导致的冲击;其中, F_0 是机器人脚底板受到的外力的平均值,所述粘弹性内力随时间减小的曲线的形状可通过调节粘度系数 ϵ 和弹性系数 k 实现改变,从而获得不同的缓冲击效果。

[0020] 根据上述的任一粘弹性仿生控制系统,其中,所述关节执行元件包括踝关节。

[0021] 本发明的模仿肌肉粘弹性的仿人机器人行走稳定控制方法,其包括如下步骤:(1) 在仿人机器人规划轨迹时,给出ZMP零力矩点(Zero Moment Point)和质心的轨迹;

[0022] (2) 规划仿人机器人的踝关节轨迹;

[0023] (3) 根据规划的所述轨迹计算各个关节执行元件的轨迹并执行;

[0024] (4) 当外部环境有干扰时,在ZMP和质心的轨迹不变的情况下,调节各个关节执行元件的轨迹以适应外部环境。

[0025] 根据上述的仿人机器人行走稳定控制方法,其中,在所述步骤(3)中,依据逆运动学将规划的所述轨迹计算各个关节执行元件的轨迹并执行。

[0026] 根据上述的任一仿人机器人行走稳定控制方法,其中,在所述步骤(4)中,采用肌肉粘弹性的反应机制对关节执行元件的角度进行微调。

[0027] 根据上述的任一仿人机器人行走稳定控制方法,其中,在所述步骤(4)中,还包括利用所述仿人机器人的脚底板处安装的六维力/力矩传感器实时测得所述脚底板所受的力和力矩的步骤。

[0028] 根据上述的任一仿人机器人行走稳定控制方法,其中,在所述步骤(4)中,还包括获得所述仿人机器人的脚底板实时的位置和姿态进而得出速度和角速度的步骤。

[0029] 根据上述的任一仿人机器人行走稳定控制方法,其中,在所述步骤(4)中,依据所获得的速度和角速度、力和力矩建立的所述仿人机器人的脚底板和地面接触的粘弹性接触模型,得到地面作用外力和踝关节的位姿变化关系:

$$[0030] \quad \Delta = \frac{F}{k}(1 - e^{-t/T}),$$

[0031] 其中 $T = \frac{\epsilon}{k}$, ϵ 为粘度系数, k 为弹性系数, Δ 表示所述仿人机器人的腿部末端实际位姿变化量 (6×1), F 为受到的地面作用外力, t 是受到上述外力时开始计算的时间。

[0032] 根据上述的任一仿人机器人行走稳定控制方法,其中,在所述步骤(4)中,还包括如下步骤:

[0033] 通过粘弹性控制模型

$$[0034] \quad \begin{matrix} \Delta \\ \Delta \\ \Delta \\ \Delta \\ \Delta \\ \Delta \end{matrix} = K \begin{matrix} t \\ t \\ t \\ m \\ m \\ m \end{matrix} (1 - e^{-t/T}) \quad \text{其中, } K = 1/k;$$

[0035] 得到踝关节位置和姿态的变量,得出踝关节的位置和姿态:

$$[0036] \quad P(t+1) = P(t) + \Delta P(t)$$

[0037] 之后通过逆运动学计算得出每个关节执行元件的执行角度,并控制关节执行元件的执行。

[0038] 根据上述的任一仿人机器人行走稳定控制方法,当受到外力 F 时,粘弹性内力 $F_{\text{ext}} = F * (1 - e^{-t/T})$,踝关节的位置和姿态的增量为 $\Delta = F_{\text{ext}}/k$;当受到的外力 F 消失后,粘弹性内力并未消失,令 $F_{\text{ext}} = F_0 * e^{-t/T}$,踝关节的位置和姿态的增量为 $\Delta = F_{\text{ext}}/k$;所述粘弹性内力随时间推移而逐渐减小,从而避免了外力消失时由于加速度太大而导致的冲击;其中, F_0 是机器人脚底板受到的外力的平均值,所述粘弹性内力随时间减小的曲线的形状可通过调节粘度系数 ϵ 和弹性系数 k 实现改变,从而获得不同的缓冲击效果。

[0039] 根据上述的任一仿人机器人行走稳定控制方法,其中,所述关节执行元件包括踝关节。

[0040] 本发明以动物行走过程中的肌肉粘弹性为基础,通过程序算法设计粘弹性仿生控制器,增强了仿人机器人的环境适应性,与现有的技术相比,有以下优点:

[0041] 1) 算法较为简单,通过直接调节踝关节位姿来适应地面环境的变化;

[0042] 2) 当脚底板受到外界干扰时,根据踝关节位姿增量变化曲线,踝关节的调整量由小变大,曲线平滑,可以有效减小因受到外力导致的对机器人机械结构的冲击;

[0043] 3) 当外力消失时,踝关节位姿增量并不是直接消失为零,根据粘弹性的规律,外力消失后,内力逐渐减小,如图3所示,从而避免了外力消失时由于加速度太大而导致的冲击。

附图说明

- [0044] 图1是本发明的仿人机器人运动控制系统示意图
 [0045] 图2是本发明的基于粘弹性的粘弹性仿生控制系统的结构示意图
 [0046] 图3是踝关节位姿增量变化曲线

具体实施方式

[0047] 如图1,仿人机器人在规划轨迹时,首先给出ZMP和质心轨迹,然后规划仿人机器人踝关节轨迹,之后根据逆运动学计算各个关节的轨迹并执行。当外部环境有干扰时,根据肌肉粘弹性反应的机理,我们可以改变踝关节的轨迹而ZMP和质心的轨迹不变,使仿人机器人通过调节各个关节执行的轨迹适应外部环境。

[0048] 如图2,仿人机器人正常行走时执行关节位置控制,当机器人脚底着地时采用粘弹性仿生控制器进行行走稳定控制。利用关节位置,通过运动学可以得出机器人脚底板实时的位置和姿态,进而得出速度和角速度。机器人脚底板处安装有六维力/力矩传感器,可以实时测得机器人脚底板所受的力和力矩。此时建立机器人脚底板和地面接触的粘弹性接触模型,得到地面作用力和踝关节的位姿变化关系:

$$[0049] \quad \Delta = \frac{F}{k}(1 - e^{-t/T}),$$

[0050] 其中 $T = \frac{\xi}{k}$, ξ 为粘度系数, k 为弹性系数, Δ 表示所述仿人机器人的腿部末端实际位姿变化量 (6×1), F 为受到的地面作用外力, t 是受到上述外力时开始计算的时间。

$$[0051] \quad \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \Delta_4 \\ \Delta_5 \\ \Delta_6 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{bmatrix} (1 - e^{-t/T}) \quad \text{其中, } K = 1/k;$$

[0052] 通过粘弹性控制模型,可以得到踝关节位置和姿态的变量,得出踝关节的位置和姿态:

$$[0053] \quad P(t+1) = P(t) + \Delta P(t)$$

[0054] 之后通过逆运动学可以得出每个关节的执行角度,并下发到关节执行。

[0055] 当受到外力时,粘弹性内力 $F_{\text{ext}} = F * (1 - e^{-t/T})$, 由 $\Delta = F_{\text{ext}}/k$ 得到踝关节的位姿调节增量如图3的曲线①。

[0056] 当受到的力去除或消失后,粘弹性内力并未消失,令 $F_{\text{ext}} = F_0 * e^{-t/T}$, 由 $\Delta = F_{\text{ext}}/k$ 得到踝关节的位姿调节增量变化趋势如图3中的曲线②。所述粘弹性内力逐渐减小,从而避免了外力消失时由于加速度太大而导致的冲击。

[0057] 其中,力 F 是机器人脚底板所受到的外力和力矩, F_0 是机器人脚底板受到的外力的平均值,所述粘弹性内力随时间减小的曲线的形状可通过调节粘度系数 ξ 和弹性系数 k 实现改变,从而获得不同的缓冲击效果。

[0058] 本发明借鉴人的行走肌肉粘弹性规律,设计控制算法对仿人机器人进行行走步态仿生控制,使得机器人脚底能够适应复杂地形,增加仿人机器人的环境适应性。

[0059] 以上所述的实施例,只是本发明较优选的具体实施方式的一种,本领域的技术人

员在本发明技术方案范围内进行的通常变化和替换都应包含在本发明的保护范围内。

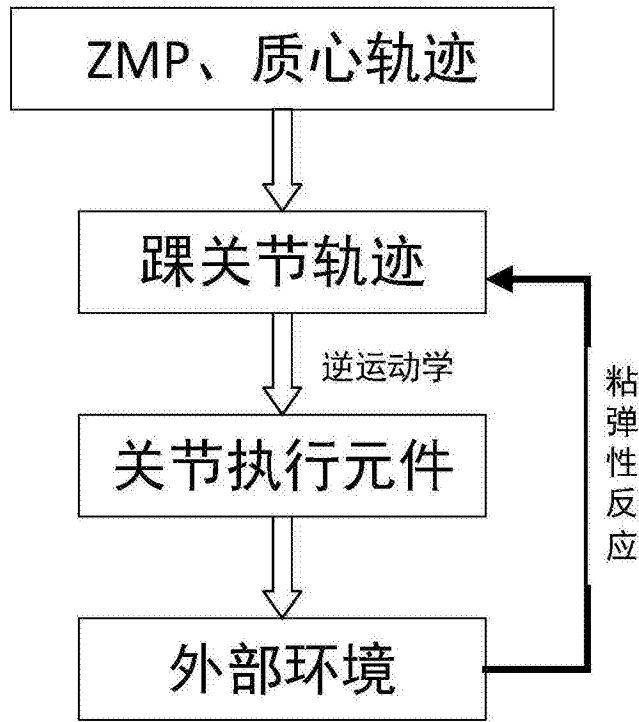


图1

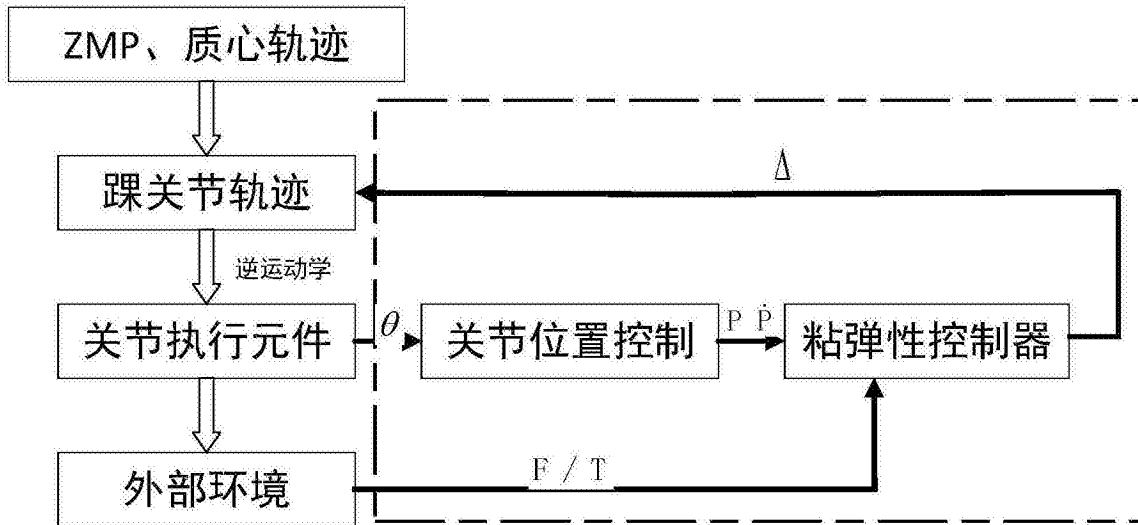


图2

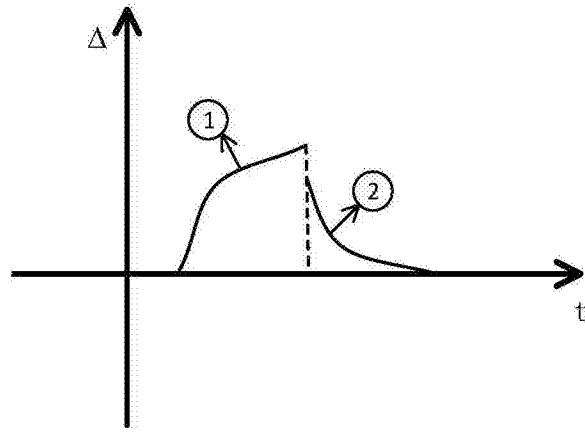


图3