



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115709914 A

(43) 申请公布日 2023. 02. 24

(21) 申请号 202211421832.1

(22) 申请日 2022.11.14

(71) 申请人 中科航宇(北京)自动化工程技术有限公司
地址 100096 北京市昌平区回龙观镇龙域中街1号院1号楼1单元902

(72) 发明人 李强 边古越 张军权 尉龙 武斌斌 喻超飞 庄勇博 葛涛

(74) 专利代理机构 北京市鼎立东审知识产权代理有限公司 11751
专利代理师 刘爽 朱慧娟

B66C 13/46 (2006.01)

B66C 13/48 (2023.01)

G06V 10/82 (2006.01)

G06V 10/44 (2006.01)

G06N 3/0464 (2022.01)

B65G 65/00 (2022.01)

B65G 65/04 (2006.01)

(51) Int. Cl.

B65G 67/60 (2006.01)

B66C 13/06 (2006.01)

B66C 13/16 (2006.01)

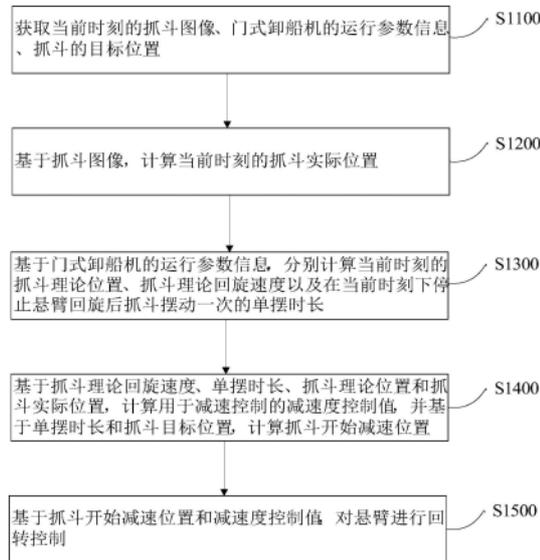
权利要求书2页 说明书12页 附图4页

(54) 发明名称

门式卸船机的抓斗防摇控制方法和装置

(57) 摘要

本公开提供了一种门式卸船机的抓斗防摇控制方法和装置,包括:获取当前时刻的抓斗图像、门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置;基于抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置;基于运行参数信息,计算抓斗理论位置、抓斗理论回旋速度以及单摆时长;基于抓斗理论回旋速度、单摆时长、抓斗理论位置和抓斗实际位置,计算减速度控制值,并基于单摆时长和抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置;基于抓斗开始减速位置和减速度控制值,对悬臂进行回转控制,这样便可以精准计算出抓斗开始减速位置和减速度控制值,实现对抓斗回旋过程的稳定控制,以使抓斗回旋至待卸货船只目标位置上方时处于静止状态,提升卸船的效率。



1. 一种门式卸船机的抓斗防摇控制方法,其特征在于,包括:
获取当前时刻的抓斗图像、所述门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置;
基于所述抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置;
基于所述运行参数信息,分别计算当前时刻的抓斗理论位置、抓斗理论回旋速度以及在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长;
基于所述抓斗理论回旋速度、所述单摆时长、所述抓斗理论位置和所述抓斗实际位置,计算用于减速控制的减速度控制值,并基于所述单摆时长和所述抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置;
基于所述抓斗开始减速位置和所述减速度控制值,对所述悬臂进行回转控制。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在基于所述抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置时,采用卷积神经网络实现。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述运行参数信息包括:悬臂位置、悬臂臂长、悬臂回转角速度、缆绳长度和悬臂最大回旋角速度中的至少一种。
4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,在基于所述运行参数信息,计算当前时刻的抓斗理论回旋速度时,包括:
基于所述悬臂臂长、所述悬臂回转角速度和所述缆绳长度,计算当前时刻的抓斗回旋半径;
基于所述悬臂最大回转角速度,计算对应的抓斗最大回旋半径;
基于所述悬臂最大回转角速度和所述抓斗最大回旋半径对应的向心力到所述悬臂回转角速度和所述抓斗回旋半径对应的向心力变化,计算出所述抓斗理论回旋速度。
5. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,在基于运行参数信息,计算在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长时,包括:
基于所述悬臂臂长、所述缆绳长度和所述悬臂回转角速度,计算当前时刻的缆绳倾角;
基于所述缆绳倾角、所述悬臂臂长、所述缆绳长度,计算当前时刻的抓斗回旋半径;
基于所述抓斗回旋半径、所述缆绳长度、所述悬臂回转角速度结合抓斗质量,计算出所述单摆时长。
6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在基于抓斗理论回旋速度、所述单摆时长、所述抓斗理论位置和所述抓斗实际位置,计算用于减速控制的减速度控制值时,包括:
基于所述抓斗理论回旋速度和所述单摆时长,计算用于减速控制的减速度基准值;
基于所述抓斗实际位置和所述抓斗理论位置的偏差值,计算用于减速控制的减速度修正值;
基于所述减速度基准值和所述减速度修正值,得到用于减速控制的减速度控制值。
7. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,在基于所述单摆时长和所述抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置时,包括:
基于所述单摆时长结合和所述悬臂最大回转角速度,计算减速所需要距离;
基于所述减速所需要距离和所述抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置。
8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在基于所述抓斗开始减速位置、所述减速度控制值和所述悬臂位置,对所述悬臂进行回旋控制时,包括:
判断所述悬臂位置和所述抓斗开始减速位置是否一致;

在判断所述悬臂位置和所述抓斗开始减速位置一致的情况下,按照所述减速度控制值,控制悬臂进行回旋减速。

9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,还包括:

基于所述抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际速度;

根据所述抓斗实际位置和所述抓斗实际速度,预测下一时刻的抓斗实际位置和所述抓斗实际速度;

判断下一时刻的抓斗实际位置与所述抓斗目标位置是否一致;

在判断下一时刻的抓斗实际位置与所述抓斗目标位置一致的情况下,判断所述抓斗运动状态是否满足静止阈值;

在判断所述抓斗实际速度满足所述静止阈值的情况下,确定所述抓斗静止,并控制所述悬臂停止回旋。

10. 一种门式卸船机的抓斗防摇控制装置,其特征在于,包括:

数据获取模块,用于获取当前时刻的抓斗图像、所述门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置;

抓斗实际位置计算模块,用于基于所述抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置;

单摆变量计算模块,用于基于所述运行参数信息,分别计算当前时刻的抓斗理论位置、抓斗理论回旋速度以及在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长;

控制参数计算模块,用于基于所述抓斗理论回旋速度、所述单摆时长、所述抓斗理论位置和所述抓斗实际位置,计算用于减速控制的减速度控制值,并基于所述单摆时长和所述抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置;

控制模块,用于基于所述抓斗开始减速位置和所述减速度控制值,对所述悬臂进行回转控制。

门式卸船机的抓斗防摇控制方法和装置

技术领域

[0001] 本公开涉及自动控制技术领域,尤其涉及一种门式卸船机的抓斗防摇控制方法和装置。

背景技术

[0002] 门座抓斗卸船机(即门式卸船机)是指具有长悬臂大变幅,可旋转机构的抓斗卸船机。门座大车沿码头地面轨道行走,是应用最为广泛的散货卸船机。通过门式卸船机进行卸货时,需要作业人员根据经验对悬臂的回转进行控制,进而实现对连接在悬臂上的抓斗的回旋控制。由于现有的回旋控制过程是由人工控制的,因此,很难实现对抓斗回旋过程的稳定控制,致使抓斗在回旋至待卸货船只目标位置上方时,会出现晃动,降低了卸船的效率。

发明内容

[0003] 有鉴于此,本公开提出了一种门式卸船机的抓斗防摇控制方法和装置,可以实现对抓斗回旋过程的稳定控制,从而使抓斗回旋至待卸货船只目标位置上方时处于静止状态,提升卸船的效率。

[0004] 根据本公开的第一方面,提供了一种门式卸船机的抓斗防摇控制方法,包括:

[0005] 获取当前时刻的抓斗图像、所述门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置;

[0006] 基于所述抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置;

[0007] 基于所述运行参数信息,分别计算当前时刻的抓斗理论位置、抓斗理论回旋速度以及在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长;

[0008] 基于所述抓斗理论回旋速度、所述单摆时长、所述抓斗理论位置和所述抓斗实际位置,计算用于减速控制的减速度控制值,并基于所述单摆时长和所述抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置;

[0009] 基于所述抓斗开始减速位置和所述减速度控制值,对所述悬臂进行回转控制。

[0010] 在一种可能的实现方式中,在基于所述抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置时,采用卷积神经网络实现。

[0011] 在一种可能的实现方式中,所述运行参数信息包括:悬臂位置、悬臂臂长、悬臂回转角速度、缆绳长度和悬臂最大回旋角速度中的至少一种。

[0012] 在一种可能的实现方式中,在基于所述运行参数信息,计算当前时刻的抓斗理论回旋速度时,包括:

[0013] 基于所述悬臂臂长、所述悬臂回转角速度和所述缆绳长度,计算当前时刻的抓斗回旋半径;

[0014] 基于所述悬臂最大回转角速度,计算对应的抓斗最大回旋半径;

[0015] 基于所述悬臂最大回转角速度和所述抓斗最大回旋半径对应的向心力到所述悬臂回转角速度和所述抓斗回旋半径对应的向心力变化,计算出所述抓斗理论回旋速度。

[0016] 在一种可能的实现方式中,在基于运行参数信息,计算在当前时刻下停止悬臂回

旋后抓斗摆动一次的单摆时长时,包括:

[0017] 基于所述悬臂臂长、所述缆绳长度和所述悬臂回转角速度,计算当前时刻的缆绳倾角;

[0018] 基于所述缆绳倾角、所述悬臂臂长、所述缆绳长度,计算当前时刻的抓斗回旋半径;

[0019] 基于所述抓斗回旋半径、所述缆绳长度、所述悬臂回转角速度结合抓斗质量,计算出所述单摆时长。

[0020] 在一种可能的实现方式中,在基于抓斗理论回旋速度、所述单摆时长、所述抓斗理论位置和所述抓斗实际位置,计算用于减速控制的减速度控制值时,包括:

[0021] 基于所述抓斗理论回旋速度和所述单摆时长,计算用于减速控制的减速度基准值;

[0022] 基于所述抓斗实际位置和所述抓斗理论位置的偏差值,计算用于减速控制的减速度修正值;

[0023] 基于所述减速度基准值和所述减速度修正值,得到用于减速控制的减速度控制值。

[0024] 在一种可能的实现方式中,在基于所述单摆时长和所述抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置时,包括:

[0025] 基于所述单摆时长结合和所述悬臂最大回转角速度,计算减速所需要距离;

[0026] 基于所述减速所需要距离和所述抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置。

[0027] 在一种可能的实现方式中,在基于所述抓斗开始减速位置、所述减速度控制值和所述悬臂位置,对所述悬臂进行回旋控制时,包括:

[0028] 判断所述悬臂位置和所述抓斗开始减速位置是否一致;

[0029] 在判断所述悬臂位置和所述抓斗开始减速位置一致的情况下,按照所述减速度控制值,控制悬臂进行回旋减速。

[0030] 在一种可能的实现方式中,所述门式卸船机的抓斗防摇控制方法还包括:

[0031] 基于所述抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际速度;

[0032] 根据所述抓斗实际位置和所述抓斗实际速度,预测下一时刻的抓斗实际位置和所述抓斗实际速度;

[0033] 判断下一时刻的抓斗实际位置与所述抓斗目标位置是否一致;

[0034] 在判断下一时刻的抓斗实际位置与所述抓斗目标位置一致的情况下,判断所述抓斗运动状态是否满足静止阈值;

[0035] 在判断所述抓斗实际速度满足所述静止阈值的情况下,确定所述抓斗静止,并控制所述悬臂停止回旋。

[0036] 根据本公开的第二方面,提供了一种门式卸船机的抓斗防摇控制装置,包括:

[0037] 数据获取模块,用于获取当前时刻的抓斗图像、所述门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置;

[0038] 抓斗实际位置计算模块,用于基于所述抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置;

[0039] 单摆时长计算模块,用于基于所述运行参数信息,分别计算当前时刻的抓斗理论位置、抓斗理论回旋速度以及在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长;

[0040] 控制参数计算模块,用于基于所述抓斗理论回旋速度、所述单摆时长、所述抓斗理论位置和所述抓斗实际位置,计算用于减速控制的减速度控制值,并基于所述单摆时长和所述抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置;

[0041] 控制模块,用于基于所述抓斗开始减速位置和所述减速度控制值,对所述悬臂进行回转控制。

[0042] 本公开中在对门式卸船机的抓斗进行防摇控制时,先获取当前时刻的抓斗图像、门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置;然后,基于抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置;基于运行参数信息,分别计算当前时刻的抓斗理论位置、抓斗理论回旋速度以及在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长;基于抓斗理论回旋速度、单摆时长、抓斗理论位置和抓斗实际位置,计算用于减速控制的减速度控制值,并基于单摆时长和抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置;最后,基于抓斗开始减速位置和减速度控制值,对悬臂进行回转控制。也就是说,本申请通过实时获取的抓斗图像、门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置等信息,实现了抓斗开始减速位置和减速度控制值的精准计算,从而实现了抓斗回旋过程的稳定控制,使抓斗回旋至待卸货船只目标位置上方时处于静止状态,提升卸船的效率。

[0043] 根据下面参考附图对示例性实施例的详细说明,本公开的其它特征及方面将变得清楚。

附图说明

[0044] 包含在说明书中并且构成说明书的一部分的附图与说明书一起示出了本公开的示例性实施例、特征和方面,并且用于解释本公开的原理。

[0045] 图1示出根据本公开一实施例的门式卸船机的抓斗防摇控制方法流程图;

[0046] 图2示出根据本公开一实施例的门式卸船机的机器机械结构展示图;

[0047] 图3示出根据本公开一实施例的实验结果展示图;

[0048] 图4示出根据本公开一实施例的悬臂回旋角度展示图;

[0049] 图5示出根据本公开另一实施例的实验结果展示图;

[0050] 图6示出根据本公开一实施例的门式卸船机的抓斗防摇控制装置的示意性框图。

具体实施方式

[0051] 以下将参考附图详细说明本公开的各种示例性实施例、特征和方面。附图中相同的附图标记表示功能相同或相似的元件。尽管在附图中示出了实施例的各种方面,但是除非特别指出,不必按比例绘制附图。

[0052] 在这里专用的词“示例性”意为“用作例子、实施例或说明性”。这里作为“示例性”所说明的任何实施例不必解释为优于或好于其它实施例。

[0053] 另外,为了更好的说明本公开,在下文的具体实施方式中给出了众多的具体细节。本领域技术人员应当理解,没有某些具体细节,本公开同样可以实施。在一些实例中,对于本领域技术人员熟知的方法、手段、元件和电路未作详细描述,以便于凸显本公开的主旨。

[0054] <方法实施例>

[0055] 图1示出根据本公开一实施例的门式卸船机的抓斗防摇控制方法流程图。如图1所

示,该方法包括步骤S1100-S1500。

[0056] S1100,获取当前时刻的抓斗图像、门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置。

[0057] 该抓斗图像通过设置在门式卸船机的象梁前端(即图2中的鹰嘴口位置)的高清摄像装置获取。具体地,在悬臂的回旋过程中,该摄像装置将实时采集抓斗图像,并将该抓斗图像发送至配置在电气控制室的服务器上,这样,服务器便可以基于实时采集的抓斗图像,计算抓斗当前时刻的抓斗实际位置。

[0058] 该门式卸船机的运行参数信息通过设置在门式卸船机上的多个传感装置获取。具体地,在悬臂的回旋过程中,各传感装置将实时采集门式卸船机的运行参数信息,并将采集到的运行参数信息发送至配置在电气控制室的服务器上,这样,服务器便可以基于实时采集的运行参数信息,计算当前时刻的抓斗理论位置、抓斗理论回旋速度以及在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长。

[0059] 在一种可能的实现方式中,实时采集的运行参数信息包括:当前时刻下的悬臂位置(即图2中鹰嘴口的位置)、悬臂臂长(即图2中的 r)、悬臂回转角速度、缆绳长度(即图2中的 L)和悬臂最大回旋角速度中的至少一种。此处需要说明的是,悬臂最大回旋角速度为定值,并且在每次悬臂回转的过程中都能达到该最大回旋角速度。

[0060] 该抓斗的目标位置为待卸货船上指定货物相对于门式卸船机的位置。在待卸货船上指定货物的位置以及门式卸船机的位置固定的情况下,该抓斗目标位置即为固定值。

[0061] S1200,基于当前时刻的抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置。

[0062] 在一种可能的实现方式中,在基于当前时刻的抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置时,采用卷积神经网络实现。

[0063] 此处需要说明的是,在执行本步骤之前需要预先构建具有抓斗识别功能的卷积神经网络。在构建具有抓斗识别功能的卷积神经网络时可以包括以下步骤:首先,通过设置在鹰嘴口的摄像装置的分别采集白天自然光线下、夜晚灯光光线下、阴天、雾霾天等多种环境条件下的抓斗图像作为样本图像,并在样本图像中标注出抓斗轮廓。其次,采用样本图像以及标注的抓斗轮廓,对具有目标识别功能的卷积神经网络模型的参数进行训练,以得到可以识别出抓斗轮廓的卷积神经网络。其中,具有目标识别功能的卷积神经网络模型可以是高斯混合模型GMM,还可以是其它可以具有目标识别功能的卷积神经网络,在此不做具体限定。

[0064] 在完成具有抓斗识别功能的卷积神经网络的构建后,便可以基于当前时刻的抓斗图像,采用预先构建的卷积神经网络,计算出当前时刻的抓斗实际位置。

[0065] 在一种可能的实现方式中,在基于当前时刻的抓斗图像,采用预先构建的卷积神经网络,计算当前时刻的抓斗实际位置时包括步骤S1210-S1230。

[0066] S1210,将当前时刻的抓斗图像输入至预先构建的卷积神经网络,以通过该卷积神经网络识别出抓斗的轮廓信息。

[0067] S1220,基于抓斗的轮廓信息,计算抓斗的质心相对于悬臂鹰嘴口的相对质心位置。具体地,抓斗的轮廓信息中包括多个抓斗轮廓点的位置坐标,对多个轮廓点的位置坐标进行均值计算,得到多个轮廓点的平均位置坐标。该平均位置坐标即为抓斗质心位置坐标。基于抓斗质心位置坐标,结合抓斗相对于悬臂鹰嘴口的高度便可以得到抓斗的质心相对于

悬臂鹰嘴口的相对质心位置。

[0068] S1230, 基于相对质心位置和当前的悬臂位置, 计算出当前时刻的抓斗实际位置。其中, 当前的悬臂位置即为当前时刻下悬臂鹰嘴口的位置。

[0069] 举例来说, 在当前时刻下悬臂位置坐标为 (x, y, z) , 相对质心的位置坐标为 (x', y', h') 的情况下, 则抓斗的实际位置坐标为 $(x+x', y+y', z-h')$ 。

[0070] 为了验证本申请计算抓斗实际位置的准确性, 进行了多组测试实验, 实验结果如图3所示。由图3可以看出, 采用本公开方法计算得到的抓斗实际位置(即图3中的计算抓斗位置)与实际量测的抓斗位置(即图3中的抓斗实际位置)基本一致, 从而证明采用本公开的抓斗实际位置计算方法可以提高抓斗实际位置计算的准确性。

[0071] S1300, 基于门式卸船机的运行参数信息, 分别计算当前时刻的抓斗理论位置、抓斗理论回旋速度以及在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长。

[0072] 在一种可能的实现方式中, 在基于运行参数信息, 计算当前时刻的抓斗理论回旋速度时, 包括以下步骤:

[0073] 首先, 基于当前时刻 k 的悬臂臂长 r_k 、悬臂回转角速度 ω_k 和缆绳长度 L_k , 计算当前时刻的抓斗回旋半径 R_k 。

[0074] 此处需要说明的是, 根据门座式起重器运动规律、受力分析以及机械结构可以推导出公式(1)-公式(3)。

$$[0075] \quad F = m * R * \omega^2 \quad (1)$$

$$[0076] \quad \tan(\theta) = \frac{F}{G} = \frac{m * \omega^2 * R}{m * g} \quad (2)$$

$$[0077] \quad \sin(\theta) = \frac{R-r}{L} \quad (3)$$

[0078] 式中, F 为抓斗受到的向心力, m 为抓斗质量, R 为抓斗回旋半径, ω 为悬臂回转角速度, θ 为缆绳相倾角, G 为抓斗重力, g 为重力和质量的关系系数, $g \approx 9.8n/kg$, r 为悬臂长度, L 为缆绳长度。

[0079] 将公式(2)和公式(3)结合便可以推出悬臂回转角速度 ω 与缆绳倾角 θ 的关系式(4):

$$[0080] \quad \omega = \sqrt{\frac{\tan(\theta) * g}{r + L * \sin(\theta)}} \quad (4)$$

[0081] 在得到悬臂回转角速度 ω 与缆绳相倾角 θ 的关系后, 对于当前时刻, 将当前时刻的悬臂臂长 r_k 、悬臂回转角速度 ω_k 和缆绳长度 L_k , 结合重力和质量的关系系数 g , 便可以计算出当前时刻的缆绳倾角 θ_k 。

[0082] 在计算出当前时刻的缆绳倾角 θ_k 后, 将当前时刻的缆绳倾角 θ_k , 缆绳长度 L_k 以及悬臂臂长 r_k 带入公式(3)便可以计算出当前时刻的抓斗回旋半径 R_k 。

[0083] 其次, 基于悬臂最大回转角速度 ω_{max} , 计算悬臂最大回转 ω_{max} 对应的抓斗最大回旋半径 R_{max} 。具体地, 将悬臂最大回转角速度 ω_{max} , 悬臂最大回转角速度 ω_{max} 对应的悬臂臂长 r_{max} 和缆绳长度 L_{max} , 以及重力和质量的关系系数 g 带入公式(4), 便可以计算出悬臂最大回转角速度 ω_{max} 对应的缆绳倾角 θ_{max} 。将缆绳倾角 θ_{max} 、缆绳长度 L_{max} 和悬臂臂长 r_{max} 带入公式(3)便可以得到悬臂最大回转 ω_{max} 对应的抓斗最大回旋半径 R_{max} 。

[0084] 最后,基于悬臂最大回转角速度 ω_{\max} 和抓斗最大回旋半径 R_{\max} 对应的向心力到当前时刻下悬臂回转角速度 ω_k 和当前抓斗回旋半径 R_k 对应的向心力变化,计算出当前时刻的抓斗理论回旋速度 V_k 。其中,当前时刻的抓斗理论回旋速度 V_k 的计算式如公式(5)所示。

$$[0085] \quad V_k = \sum_0^{\theta_{\max}} (R_{\max} * \omega_{\max}^2 - (r_k + \sin(\theta_k) * L_k) * \omega_k^2) \quad (5)$$

[0086] 式中, V_k 为当前时刻的抓斗理论回旋速度, R_{\max} 为悬臂最大回转角速度 ω_{\max} 对应的抓斗最大回旋半径, ω_{\max} 为悬臂最大回转角速度, $(r_k + \sin(\theta_k) * L_k)$ 即为当前时刻下抓斗回旋半径 R_k , ω_k 为悬臂当前角速度, θ_{\max} 为悬臂最大回转角速度 ω_{\max} 对应的缆绳倾角 θ_{\max} 。

[0087] 在一种可能的实现方式中,在基于运行参数信息,计算在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长时,包括以下步骤:

[0088] 首先,基于当前时刻的悬臂臂长 r_k 、缆绳长度 L_k 和悬臂回转角速度 ω_k ,计算当前时刻的缆绳倾角 θ_k 。具体计算过程参见上文,在此不再赘述。

[0089] 其次,基于当前时刻的缆绳倾角 θ_k 、悬臂臂长 r_k 、缆绳长度 L_k ,计算当前时刻的抓斗回旋半径 R_k 。具体计算过程参见上文,在此不再赘述。

[0090] 最后,基于当前时刻的抓斗回旋半径 R_k 、缆绳长度 L_k 、悬臂回转角速度 ω_k ,结合抓斗质量 m ,便计算出从当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长 T_k 。

[0091] 此处需要说明的是,在抓斗回转过程中,由于抓斗和鹰嘴口之间的连接是通过缆绳连接的,所以在回转过程中抓斗速度是与悬臂回转的角速度有关,整个过程类似于钟摆,其中钟摆的摆动时间计算公式如(6)式所示。

$$[0092] \quad T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (6)$$

[0093] 式中, T 为单摆一次的时长, L 为缆绳长度, g 为重力加速度。

[0094] 由于抓斗在运动过程中受到倾斜的拉力影响重力加速度值,本申请中需要计算的是抓斗在水平方向的速度,因此,需要将公式(6)中的 g 替换为向心力加速度。也就是根据公式(1)和公式(6)便可以推导出在当前时刻 t 下停止悬臂回旋后抓斗在水平方向摆动一次的单摆时长 T_k 、的计算公式(7)。

$$[0095] \quad T_k = 2 * \pi * \sqrt{\frac{L_k}{R_k * \omega_k^2}} \quad (7)$$

[0096] 式中, T_k 为当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗在水平方向上摆动一次的单摆时长, L_k 为当前时刻下的缆绳长度, R_k 为当前时刻下的抓斗回旋半径, ω_k 当前时刻下的悬臂回转角速度。

[0097] 在一种可能的实现方式中,在基于运行参数信息,计算当前时刻的抓斗理论位置时,可以通过以下公式实现。

$$[0098] \quad x_k = (r_k + L_k * \sin(\theta_k)) * \sin(\beta_k) \quad (8)$$

$$[0099] \quad y_k = (r_k + L_k * \sin(\theta_k)) * \cos(\beta_k) \quad (9)$$

$$[0100] \quad z_k = z - r_k * \cos(\theta_k) \quad (10)$$

[0101] 式中, (x_k, y_k, z_k) 为当前时刻 k 下的抓斗理论位置, r_k 为当前时刻 k 下的悬臂臂长, L_k 为当前时刻 k 下的缆绳长度, θ_k 为当前时刻下的缆绳倾角, β_k 为当前时刻 k 下的悬臂回旋角度(即图4中的角 β), z 为悬臂位置的纵坐标,其中,在悬臂的回旋过程中悬臂位置的纵坐标为

固定值。

[0102] S1400, 基于抓斗理论回旋速度、单摆时长、抓斗理论位置和抓斗实际位置, 计算用于减速控制的减速度控制值, 并基于单摆时长和抓斗目标位置, 计算抓斗开始减速位置。

[0103] 在一种可能的实现方式中, 在基于当前时刻的抓斗理论回旋速度 V_k 、单摆时长 T_k 、抓斗理论位置和抓斗实际位置, 计算用于减速控制的减速度控制值时, 包括以下步骤:

[0104] 首先, 基于当前时刻 t 的抓斗理论回旋速度 V_k 和单摆时长 T_k , 计算当前时刻计算出的用于减速控制的减速度基准值 a_{1k} 。

[0105] 此处需要说明的是, 要想保障悬臂停止回旋后(即抓斗回旋动作完成后), 抓斗可以不摆动(即处于静止状态), 就需要抓斗在单摆时长的一半时间内将抓斗理论回旋速度减为0, 才能避免抓斗摆动, 满足这个过程的减速度即为减速度基准值。具体地, 对于当前时刻 k , 基于公式(11)便可以计算出当前时刻下对应的减速度基准值 a_{1k} 。

$$[0106] \quad 0 = V_k - a_{1k} * \frac{T_k}{2} \quad (11)$$

[0107] 式中, V_k 为当前时刻 k 的抓斗理论回旋速度, T_k 当前时刻 k 下停止悬臂回旋后抓斗在水平方向上摆动一次的单摆时长, a_{1k} 当前时刻下对应的减速度基准值。

[0108] 其次, 基于当前时刻下抓斗实际位置和抓斗理论位置的偏差值, 计算用于减速控制的减速度修正值 a_{2k} 。在一种可能的实现方式中, 先计算当前时刻下抓斗实际位置和抓斗理论位置的偏差值(即理论位置与实际位置的差值), 然后将该偏差值与预设的固定系数相乘, 即可得到用于减速控制的减速度修正值。其中, 该固定系数可以根据公式(12)计算得到。

$$[0109] \quad \eta_k = (R_{tk} * \omega_k^2 - \frac{V_k^2}{R_{rk}}) * LC_{max} \quad (12)$$

[0110] 式中, η_k 为当前时刻 k 下的固定系数, R_{tk} 为当前时刻 k 下的抓斗理论位置对应的抓斗回旋半径, R_{rk} 为当前时刻 k 下的抓斗实际位置对应的抓斗回旋半径, ω_k 为当前时刻 k 下的悬臂回转角速度, V_k 为抓斗实际的运动速度, LC_{max} 为抓斗简单谐振最大值。其中, $LC_{max} = 5 * \pi / 180$ 。

[0111] 最后, 基于当前时刻对应的减速度基准值 a_{1k} 和当前时刻对应的减速度修正值 a_{2k} , 得到当前时刻对应的用于减速控制的减速度控制值 a_k 。具体地, 将减速度基准值 a_{1k} 与减速度修正值 a_{2k} 相加, 即可得到减速度控制值 a_k 。

[0112] 在一种可能的实现方式中, 在基于单摆时长和抓斗目标位置, 计算抓斗开始减速位置时, 包括以下步骤:

[0113] 首先, 基于当前时刻下的单摆时长 T_k 结合悬臂最大回转角速度 ω_{max} , 计算当前时刻对应的减速所需要距离 S_{1k} 。具体地, 可以通过公式(13)计算减速所需距离 S_{1k} 。

$$[0114] \quad S_{1k} = \frac{T_k}{2} * \omega_{max} \quad (13)$$

[0115] 其次, 基于当前时刻对应的减速所需距离 S_{1k} 和抓斗目标位置, 计算抓斗开始减速位置。具体地, 可以将抓斗目标位置与减速所需距离 S_{1k} 的差值作为抓斗开始减速位置。

[0116] S1500, 基于抓斗开始减速位置和减速度控制值, 对悬臂进行回转控制。

[0117] 在一种可能的实现方式中, 在基于抓斗开始减速位置、减速度控制值和悬臂位置, 对抓斗进行回旋控制时, 包括以下步骤:

[0118] 首先,判断当前时刻下的悬臂位置和计算出的抓斗开始减速位置是否一致。具体地,若当前时刻下的悬臂位置和计算出的抓斗开始减速位置之差小于设定第一阈值,则可以判定两者位置一致。若当前时刻下的悬臂位置和计算出的抓斗开始减速位置之差大于设定第一阈值,则可以判定两者位置不一致。其中,第一预设阈值的范围可以是-1度至1度。

[0119] 其次,在判断悬臂位置和抓斗开始减速位置一致的情况下,按照减速度控制值,控制悬臂进行回旋减速。

[0120] 在一种可能的实现方式中,门式卸船机的抓斗防摇控制方法还包括以下步骤:

[0121] 首先,基于抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际速度。具体地,参照上文的步骤可以计算出每一时刻抓斗实际位置,这样,对于当前时刻k,可以计算当前时刻k下抓斗实际位置与前以时刻k-1下抓斗的实际位置的差值,并将该差值作为相邻时刻的实际位置偏移量。

[0122] 接着,用实际位置偏移量除以相邻时刻的时间间隔即可以得到当前时刻k的抓斗实际速度。

[0123] 其次,根据抓斗实际位置和抓斗实际速度,预测下一时刻的抓斗实际位置和抓斗实际速度。

[0124] 在一种可能的实现方式中,根据抓斗实际位置和抓斗实际速度,预测下一时刻的抓斗实际位置和抓斗实际速度,基于预先构建的卡尔曼滤波模型实现。

[0125] 此处需要说明的是,在执行该步骤之前需要预先构建卡尔曼滤波模型。在构建卡尔曼滤波模型时,包括以下步骤:

[0126] 第一,根据匀减速运动的规律可推导出公式(14)-公式(15)。

$$[0127] \quad S_{k+1} = S_k + V_k * T_0 + 0.5 * T_0^2 * A_k \quad (14)$$

$$[0128] \quad V_{k+1} = V_k + T_0 * A_k \quad (15)$$

[0129] 式中, S_k 为当前时刻k下计算出的抓斗实际位置, S_{k+1} 为预测出的下一时刻k+1下的抓斗实际位置, V_k 为当前时刻k下计算出的抓斗实际运行速度, V_{k+1} 为预测出下一时刻k+1下的抓斗实际运行速度, T_0 为相邻两个时刻之间的时间间隔, A_k 为抓斗的加速度。

[0130] 此处需要说明的是,抓斗的运动可以分解成机械臂方向的运动和由环境因素引起的随机运动。其中,抓斗在机械臂方向的运动轨迹类似于一个等角螺旋线,在这个方向上的运动速度跟悬臂的加速运动相关,通过多次采集抓斗运动位置数据并进行对比,发现抓斗在减速时在x,y方向的运动速度接近于匀减速运动,因此,为了降低计算数据的复杂度将抓斗在机械臂方向的运动看作一个匀减速运动。

[0131] 在抓斗的实际运行过程中,抓斗加速度 A_k 是由机械单摆的运动加速度 μ_k 以及天气等原因产生的随机加速度 γ_k 组成,由此可以得到公式(16)所示的抓斗加速度 A_k 的计算公式。

$$[0132] \quad A_k = \mu_k + \gamma_k \quad (16)$$

[0133] 在一种可能的实现方式中,机械单摆的运动加速度 μ_k 可以通过公式(17)-(19)计算得到。

[0134] 首先,根据公式(17)计算当前时刻k下抓斗受到的向心力。

$$[0135] \quad F_k = \frac{V_k^2}{R_k} \quad (17)$$

[0136] 式中, F_k 为当前时刻k下抓斗受到的向心力, V_k 为当前时刻k下抓斗实际运行速度,

R_k 为当前时刻k抓斗实际位置对应的抓斗回旋半径。

[0137] 其次,根据公式(18)计算当前时刻k下的缆绳倾角。

$$[0138] \quad \tan \theta_k = \frac{F_k}{m * g} \quad (18)$$

[0139] 式中,m为抓斗的质量, θ_k 为当前时刻k下的缆绳倾角。

[0140] 最后,当抓斗的速度下降时,根据对应受力分析可得加速度公式(19)计算出当前时刻k下抓斗机械单摆的运动加速度 μ_k 。

$$[0141] \quad \mu_k = \frac{v_k^2}{R_k} - \tan(\theta_k) * g \quad (19)$$

[0142] 式中, μ_k 为当前时刻k下抓斗机械单摆的运动加速度。

[0143] 此处需要说明的是,在理想状态下(即抓斗以均减速在降低本身速度,并且不受空气阻力等外部随机加速度影响的状态),随机加速度 γ_k 的取值是零均值。

[0144] 第二,便可以由公式(14)-公式(15)可以推导出如公式(20)所示的抓斗的运动观测方程(即卡尔曼滤波模型)。

$$[0145] \quad F(k+1) = \begin{bmatrix} S_{k+1} \\ V_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1, & T_0 \\ 0, & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_k \\ V_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.5 * T_0^2 \\ T_0 \end{bmatrix} * \mu_k + \begin{bmatrix} 0.5 * T_0^2 \\ T_0 \end{bmatrix} * \gamma_k \quad (20)$$

[0146] 式中,F(k+1)为抓斗在k+1时刻的运动状态。

[0147] 在得到上述卡尔曼滤波模型后,对于当前时刻k,在得到当前时刻k下的抓斗实际位置 S_k 以及抓斗实际回旋速度 V_k ,将其输入上述卡尔曼滤波模型即可以预测出下一时刻k+1下的抓斗实际位置 S_{k+1} 以及下一时刻k+1下的抓斗实际回旋速度 V_{k+1} 。

[0148] 接着,判断下一时刻的抓斗实际位置与抓斗目标位置是否一致。具体地,若下一时刻k+1下的抓斗实际位置和斗目标位置之差小于设定的第二阈值,则可以判断两者位置一致。若下一时刻k+1的抓斗实际位置和斗目标位置之差大于设定的第二阈值,则判断两者位置不一致。其中,第二阈值的范围可以是正负0.1*抓斗半径,例如,在抓斗半径为3m时,第二阈值的范围可以是-0.3m至+0.3m。其中,抓斗半径根据抓斗型号进行设定。具体地,可以将抓斗长度的一半作为抓斗的半径。例如,抓斗型号:U80轻型9立方单绳悬挂抓斗,斗长宽3350*1990(单位mm),最大张开4280mm,则抓斗半径为3350/2=1675mm。又如,抓斗型号:U82轻型15立方单绳悬挂抓斗,斗长宽3850*2290(单位mm),最大张开4280mm,则抓斗半径为3850/2=1925mm。

[0149] 在一种可能的实现方式中,在得到上述卡尔曼滤波模型之后,还可以将抓斗的运动状态扩展至二维平面,在二维平面的抓斗运动状态F(k)可以如公式(21)所示。

$$[0150] \quad F(k) = [x(k), vx(k), y(k), vy(k)] \quad (21)$$

[0151] 式中,F(k)为抓斗在k时刻的运动状态,x(k)为抓斗在k时刻下在x方向上的实际位置(等于k时刻下抓斗实际位置的横坐标),y(k)为抓斗在k时刻在y方向上的实际位置(等于k时刻下抓斗实际位置的纵坐标),vx(k)抓斗在k时刻下在x方向上的实际回旋速度(等于k时刻下抓斗实际回旋速度的横坐标),vy(k)抓斗在k时刻下在y方向上的实际回旋速度(等于k时刻下抓斗实际回旋速度的纵坐标)。

[0152] 这样,结合公式(20)和公式(21)便可得到二维平面下的卡尔曼滤波模型,具体的可以如公式(22)所示。

$$[0153] \quad F(k+1) = \begin{bmatrix} x(k+1) \\ vx(k+1) \\ y(k+1) \\ vy(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1, T, 0, 0 \\ 0, 1, 0, 0 \\ 0, 0, 1, 0 \\ 0, 0, 0, 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ vx(k) \\ y(k) \\ vy(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.5 * T^2, 0 \\ T, 0 \\ 0, 0.5 * T^2 \\ 0, T \end{bmatrix} * a_k + \begin{bmatrix} 0.5 * T^2, 0 \\ T, 0 \\ 0, 0.5 * T^2 \\ 0, T \end{bmatrix} * \gamma_k \quad (22)$$

[0154] 在该可实现方式中,在计算得到当前时刻k下的抓斗实际位置 S_k 以及抓斗实际回旋速度 V_k 后,先将其分解至二维,然后将得到二维数据输入至公式(22)所示的卡尔曼滤波模型,最终预测出下以时刻,抓斗的二维运动状态。

[0155] 再次,在判断下一时刻的抓斗实际位置与抓斗目标位置一致的情况下,判断抓斗运动状态是否满足静止阈值。

[0156] 在将抓斗的运动状态分解至二维的可实现方式中,在预测出抓斗在下一时刻的二维运动状态后,基于公式(23)计算静止判定值,并判断该静止阈值是否满足预先设定的静止阈值。

$$[0157] \quad \text{静止判定值} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x(k+1) \\ vx(k+1) \\ y(k+1) \\ vy(k+1) \end{bmatrix} + \delta(k+1) \quad (23)$$

[0158] 式中, $\delta(k)$ 为预设的量测误差。

[0159] 在一种可能的实现方式中,量测误差 $\delta(k)$ 的计算式可以如下公式(24)所示。

$$[0160] \quad \delta(k) = \frac{\text{摄像头可视角度} * \text{当前时刻k下的缆绳长度}}{\text{图像宽度}} * 6 \quad (24)$$

[0161] 此处需要说明的是,在进行图像边缘检测时,需要至少 $3*3$ 的一个像素矩阵对图像进行高斯降噪处理,在不考虑边界识别中的增强和神经网络手动标记产生误差的情况下,图像一侧边界的识别误差最小有3个像素,因此,图像在宽度方向上的识别误差为 $3*2=6$ 个像素。

[0162] 最后,在判断抓斗运动状态满足静止阈值的情况下,确定抓斗静止,并控制悬臂停止回旋。具体地,在静止判定值小于预设的第三阈值的情况下,即可判断抓斗在下一时刻可以处于静止状态,此时,将成静止信号并将该静止信号发送至控制悬臂回旋的控制器件,以使控制器件结束对悬臂的回旋控制。其中,第三阈值的取值范围可以是正负 $0.5*$ 抓斗半径,例如,在抓斗半径为3m时,第三阈值的范围可以是 $-1.5m$ 至 $+1.5m$ 。

[0163] 为了验证本公开的抓斗防摇效果,进行了多次测试实验,测试结果如图5所示。图5中上侧曲线为现有抓斗停摆时长数据,下侧曲线采用本公开的抓斗防摇方法对应的抓斗停摆时长数据,显然,采用本公开的抓斗防摇方法可以使抓斗到达目标位置时更快地趋于静止状态,从而提高了卸船效率。

[0164] 本公开中在对门式卸船机的抓斗进行防摇控制时,先获取当前时刻的抓斗图像、门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置;然后,基于抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置;基于运行参数信息,分别计算当前时刻的抓斗理论位置、抓斗理论回旋速度以及在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长;基于抓斗理论回旋速度、单摆时长、抓斗理论位置和抓斗实际位置,计算用于减速控制的减速度控制值,并基于单摆时长和抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置;最后,基于抓斗开始减速位置和减速度控制值,对

悬臂进行回转控制。也就是说,本申请通过实时获取的抓斗图像、门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置等信息,实现了抓斗开始减速位置和减速度控制值的精准计算,从而实现了抓斗回旋过程的稳定控制,使抓斗回旋至待卸货船只目标位置上方时处于静止状态,提升卸船的效率。

[0165] <装置实施例>

[0166] 图6示出根据本公开一实施例的门式卸船机的抓斗防摇控制装置的示意性框图。如图6所示,该抓斗防摇控制装置100包括:

[0167] 数据获取模块110,用于获取当前时刻的抓斗图像、门式卸船机的运行参数信息、抓斗的目标位置;

[0168] 抓斗实际位置计算模块120,用于基于抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置;

[0169] 单摆变量计算模块130,用于基于运行参数信息,分别计算当前时刻的抓斗理论位置、抓斗理论回旋速度以及在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长;

[0170] 控制参数计算模块140,用于基于抓斗理论回旋速度、单摆时长、抓斗理论位置和抓斗实际位置,计算用于减速控制的减速度控制值,并基于单摆时长和抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置;

[0171] 控制模块150,用于基于抓斗开始减速位置和减速度控制值,对悬臂进行回转控制。

[0172] 在一种可能的实现方式中,抓斗实际位置计算模块120,在基于抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际位置时,采用卷积神经网络实现。

[0173] 在一种可能的实现方式中,数据获取模块110获取的运行参数信息包括:悬臂位置、悬臂臂长、悬臂回转角速度、缆绳长度和悬臂最大回旋角速度中的至少一种。

[0174] 在一种可能的实现方式中,单摆变量计算模块130,在基于运行参数信息,计算当前时刻的抓斗理论回旋速度时,具体用于:

[0175] 基于悬臂臂长、悬臂回转角速度和缆绳长度,计算当前时刻的抓斗回旋半径;

[0176] 基于悬臂最大回转角速度,计算对应的抓斗最大回旋半径;

[0177] 基于悬臂最大回转角速度和抓斗最大回旋半径对应的向心力到悬臂回转角速度和抓斗回旋半径对应的向心力变化,计算出抓斗理论回旋速度。

[0178] 在一种可能的实现方式中,单摆变量计算模块130,在基于运行参数信息,计算在当前时刻下停止悬臂回旋后抓斗摆动一次的单摆时长时,具体用于:

[0179] 基于悬臂臂长、缆绳长度和悬臂回转角速度,计算当前时刻的缆绳倾角;

[0180] 基于缆绳倾角、悬臂臂长、缆绳长度,计算当前时刻的抓斗回旋半径;

[0181] 基于抓斗回旋半径、缆绳长度、悬臂回转角速度结合抓斗质量,计算出单摆时长。

[0182] 在一种可能的实现方式中,控制参数计算模块140,在基于抓斗理论回旋速度、单摆时长、抓斗理论位置和抓斗实际位置,计算用于减速控制的减速度控制值时,具体用于:

[0183] 基于抓斗理论回旋速度和单摆时长,计算用于减速控制的减速度基准值;

[0184] 基于抓斗实际位置和抓斗理论位置的偏差值,计算用于减速控制的减速度修正值;

[0185] 基于减速度基准值和减速度修正值,得到用于减速控制的减速度控制值。

[0186] 在一种可能的实现方式中,控制参数计算模块140,在基于单摆时长和抓斗目标位

置,计算抓斗开始减速位置时,具体用于:

[0187] 基于单摆时长结合和悬臂最大回转角速度,计算减速所需要距离;

[0188] 基于减速所需要距离和抓斗目标位置,计算抓斗开始减速位置。

[0189] 在一种可能的实现方式中,控制模块150,在基于抓斗开始减速位置、减速度控制值和悬臂位置,对抓斗进行回旋控制时,具体用于:

[0190] 判断悬臂位置和抓斗开始减速位置是否一致;

[0191] 在判断悬臂位置和抓斗开始减速位置一致的情况下,按照减速度控制值,控制抓斗进行回旋减速。

[0192] 在一种可能的实现方式中,控制模块150,还具体用于:

[0193] 基于抓斗图像,计算当前时刻的抓斗实际速度;

[0194] 根据抓斗实际位置和抓斗实际速度,预测下一时刻的抓斗实际位置和抓斗实际速度;

[0195] 判断下一时刻的抓斗实际位置与抓斗目标位置是否一致;

[0196] 在判断下一时刻的抓斗实际位置与抓斗目标位置一致的情况下,判断抓斗实际速度是否满足静止阈值;

[0197] 在判断抓斗实际速度满足静止阈值的情况下,确定抓斗静止,并控制悬臂停止回旋。

[0198] 以上已经描述了本公开的各实施例,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择,旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术的技术改进,或者使本技术领域的其它普通技术人员能理解本文披露的各实施例。

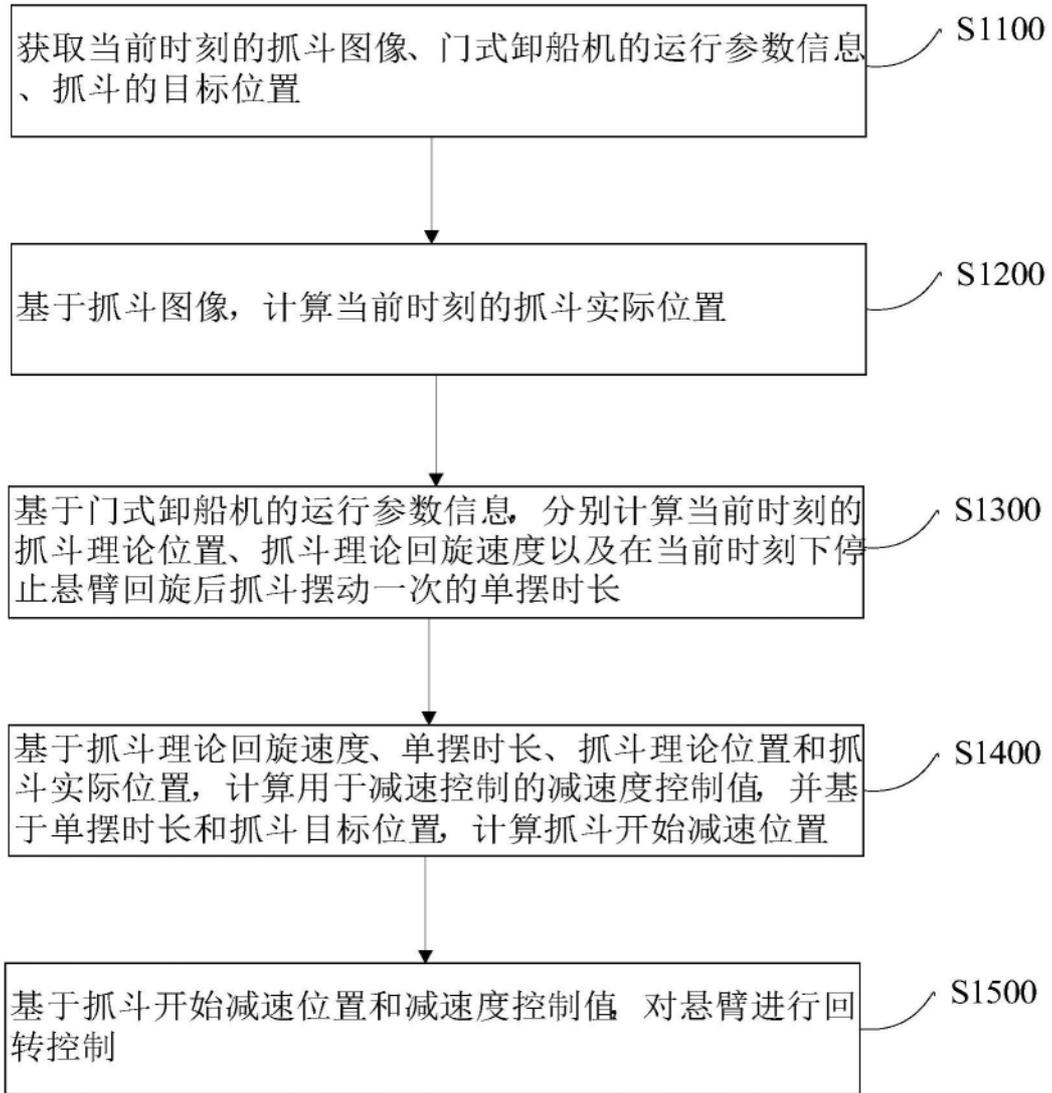


图1

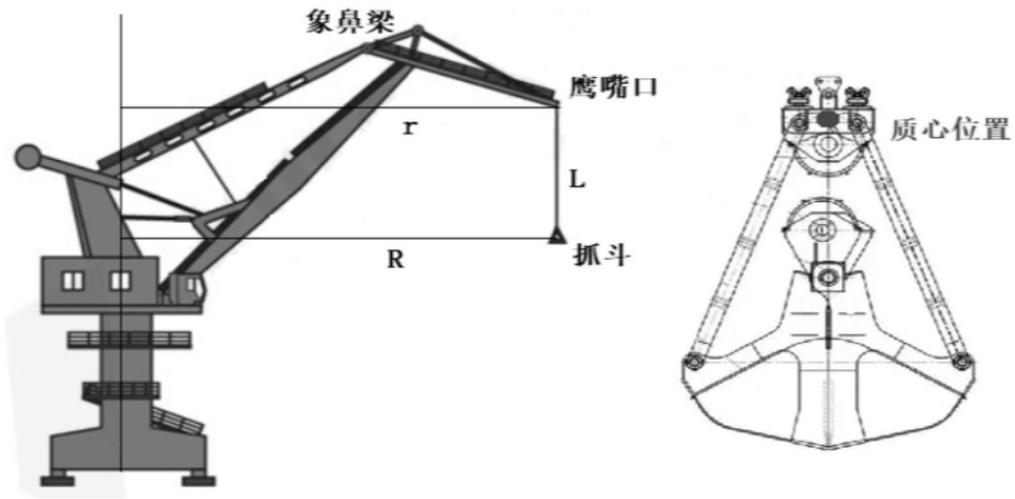


图2

抓斗位置记录

| 作业记录 | 抓斗实际位置 | 计算抓斗位置 |
|------|--------|--------|
| 回转1 | 38 | 40 |
| 回转2 | 50 | 49 |
| 回转3 | 62 | 60 |
| 回转4 | 75 | 77 |
| 回转5 | 87 | 88 |
| 回转6 | 99 | 99 |
| 回转7 | 110 | 109 |
| 回转8 | 120 | 120 |
| 回转9 | 131 | 132 |
| 回转10 | 140 | 141 |
| 回转11 | 150 | 150 |
| 回转12 | 160 | 161 |

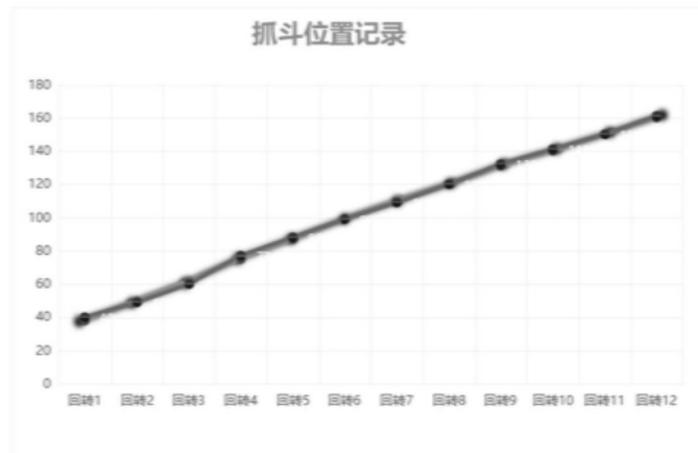


图3



图4

抓斗停止时摇晃距离

| 作业记录 | 最大摆距 (cm) | 停留时长 (s) |
|------|-----------|----------|
| 回转1 | 38 | 13 |
| 回转2 | 25 | 10 |
| 回转3 | 39 | 14 |
| 回转4 | 15 | 7 |
| 回转5 | 40 | 17 |
| 回转6 | 17 | 6 |
| 回转7 | 20 | 7 |
| 回转8 | 18 | 6 |
| 回转9 | 48 | 21 |
| 回转10 | 36 | 19 |
| 回转11 | 21 | 8 |
| 回转12 | 35 | 14 |

抓斗位置记录

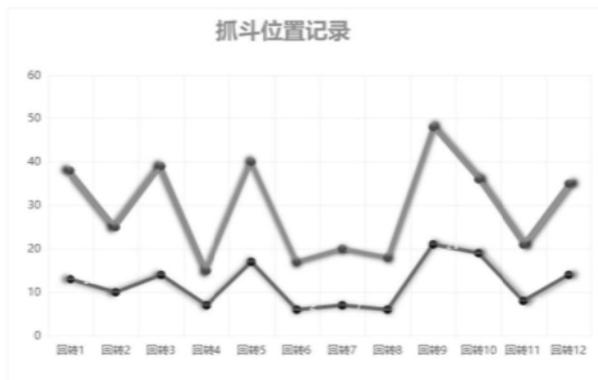


图5

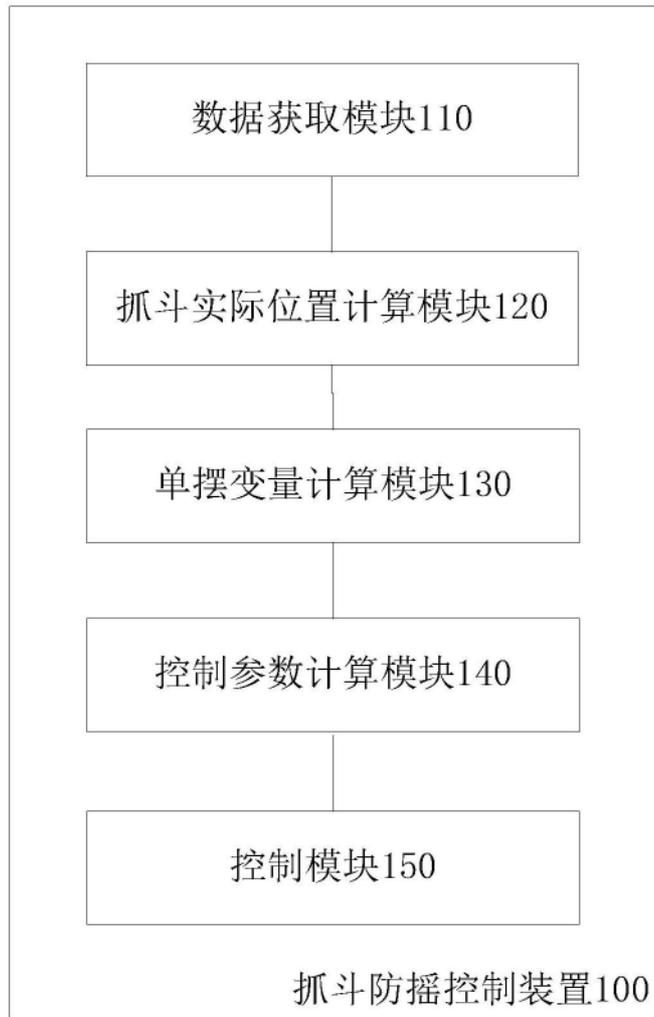


图6