

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200610031177.3

B07C 5/00 (2006.01)
B25J 13/00 (2006.01)
G05B 13/00 (2006.01)
G06F 17/00 (2006.01)
B25J 9/10 (2006.01)
B25J 15/10 (2006.01)

[43] 公开日 2006年7月26日

[11] 公开号 CN 1806940A

[22] 申请日 2006.1.23

[21] 申请号 200610031177.3

[71] 申请人 湖南大学

地址 410082 湖南省长沙市河西岳麓山湖南
大学电气与信息工程学院

[72] 发明人 王耀南 余洪山 王 威 陈浩平
李杨果 彭金柱 刘良江 张 辉
蒋彦坤

[74] 专利代理机构 湖南兆弘专利事务所
代理人 赵 洪

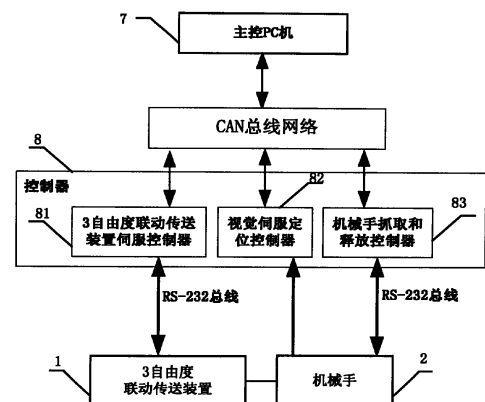
权利要求书 3 页 说明书 17 页 附图 13 页

[54] 发明名称

高速自动化生产线上的次品自动分拣方法及设备

[57] 摘要

一种高速自动化生产线上的次品自动分拣方法及设备，其方法是在生产线次品分拣系统接收到次品分拣信号后，启动 3 自由度联动传送装置，将与该装置相连的机械手快速定位到次品的正上方，并与产品生产线传送带保持同速运动，然后机械手下落抓取次品、提升并释放至指定位置，次品释放后，通过 3 自由度联动传送装置将机械手复位，等待下一轮分拣抓取。其设备包括电气控制和机械部分；机械部分包括 3 自由度联动传送装置和装设于该传送装置上由机械手臂和机械手爪组成的机械手；机械手爪的中心位置设置有摄像机，电气控制部分分别与 3 自由度联动传送装置和机械手电连接。本发明具有准确性高、成本低廉、通用性强、不破碎次品、避免造成环境污染等特点。



1、一种高速自动化生产线上的次品自动分拣方法，其特征在于它是在生产线次品分拣系统接收到次品分拣信号后，启动系统所设 3 自由度联动传送装置，将与该 3 自由度联动传送装置相连的机械手快速定位到次品的正上方，并与产品生产线传送带保持同速运动，同时机械手下降至预定高度位置，抓取次品，然后机械手提升次品至初始高度，并将次品释放至指定位置，实现次品从产品生产线传送带的自动分拣处理，次品释放后，通过 3 自由度联动传送装置将机械手复位至初始位置，等待下一轮分拣抓取过程。

2、根据权利要求 1 所述的高速自动化生产线上的次品自动分拣方法，其特征在于：采用基于神经网络的模糊控制算法，对 3 自由度联动传送装置进行精密伺服运动控制；采用基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法，控制机械手对次品的抓取定位；采用基于多传感器信息的模糊推理方法，控制机械手对次品的抓取和释放。

3、根据权利要求 2 所述的高速自动化生产线上的次品自动分拣方法，其特征在于所述基于神经网络的模糊控制算法包括如下过程：

(1) 对模糊控制器的输入变量误差 e ，误差变化率 ec 进行模糊化处理：

$$a = A_z(e), b = B_z(ec)$$

$$i = \phi_1(e), j = \phi_2(ec)$$

其中 $A_z(e)$ 和 $B_z(ec)$ 分别为 e ， ec 隶属函数； $\phi_1(e)$ 和 $\phi_2(ec)$ 为 e ， ec 的分布函数；

(2) 进行模糊推理：

$$k = \phi(i, j) = (\alpha * i + (1 - \alpha) * j)$$

其中 α 是加权因子，它反映了误差和误差变化率对输出影响的程度； $\langle \quad \rangle$ 表示对其中的数值进行取整；

(3) 计算模糊控制器的输出：

$$\beta = a \wedge b, u = M(C_{k\beta})$$

其中 $C_{k\beta}$ 表示 C_k 的 β 割集， $M(C_{k\beta})$ 表示 $C_{k\beta}$ 的中点； C_k 表示输出变量 U 的语言词集；

(4) 由神经网络计算控制规则加权因子的调整量 $\Delta\alpha$ ：

$$\Delta\alpha = y = \sum_i \omega_i \cdot \exp\left\{-\frac{[(e + ec)/2 - a_i]^2}{b_i^2}\right\}$$

其中 ω_i 代表神经网络权值， a_i 、 b_i 分别代表高斯基函数的分布系数和伸缩系数；

(5) 计算加权因子：

$$\alpha(k+1) = \alpha(k) + \Delta\alpha(k) ;$$

(6) 采用基于变尺度优化方法的多层前向神经网络快速学习算法 MDFP，对神经网络进

行训练。

4、根据权利要求2或3所述的高速自动化生产线上的次品自动分拣方法，其特征在于所述基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法包括以下几个步骤：

(1) 对次品图像的采集和处理，包括次品图像的实时采集、次品图像的预处理、次品图像特征检测、次品图像特征几何中心位置计算；

(2) 计算次品图像特征几何中心位置的期望值和实际值的差值；

(3) 次品图像特征几何中心位置的期望值和实际值的差值对应的电机控制输出量参数的映射表，根据神经网络模型进行离线学习；

(4) 基于卡尔曼滤波器模型，对拟进行分拣的次品进行预测跟踪控制，输出控制指令到3自由度联动传送装置伺服控制器，控制3自由度联动传送装置实现机械手对次品的抓取定位。

5、根据权利要求4所述的高速自动化生产线上的次品自动分拣方法，其特征在于所述基于多传感器信息的模糊推理方法，是通过对设置在机械手上的手指伺服电机的电机编码器、压力传感器的反馈测量信息进行模糊推理计算，实时调整组成机械手手爪的三个手指的手指伺服电机的速度，实现对次品的可靠高速抓取和释放控制。

6、一种如权利要求1所述的高速自动化生产线上的次品自动分拣设备，其特征在于：它包括电气控制部分和机械部分；所述机械部分包括3自由度联动传送装置(1)和机械手(2)；所述机械手(2)包括机械手臂(21)和机械手爪(23)，所述机械手臂(21)装设于可驱动机械手沿X、Y、Z方向作三个自由度运动的3自由度联动传送装置(1)上，机械手爪(23)设于机械手臂(21)下端，机械手爪(23)的中心位置设置有摄像机(22)，所述电气控制部分分别与3自由度联动传送装置(1)和机械手(2)电连接。

7、根据权利要求6所述的高速自动化生产线上的次品自动分拣设备，其特征在于：所述机械手爪(23)包括机械手爪控制箱(231)和三个呈120度角分布的机械手手指(232)，所述机械手爪控制箱(231)包括箱体(2311)，箱体(2311)上连接有三件呈120度角分布的滑轨(2312)，所述滑轨(2312)的下端设有齿条(23121)，侧面设有滑槽(23122)，每个机械手手指(232)的上端设有一电机座(233)，每个电机座(233)上装设有一带电机编码器的手指伺服电机(234)，该手指伺服电机(234)的输出轴上装设有一齿轮(235)，齿轮(235)与对应的滑轨(2312)上所设齿条(23121)相啮合，电机座(233)的一侧还设有与滑槽(23122)相对应的滑块(2331)，滑块(2331)置于滑槽(23122)内，两者构成一导轨副；所述位于机械手爪(23)中心位置的摄像机(22)固定于箱体(2311)上，手指(232)内侧夹持面(2321)上设置有橡胶垫(236)，夹持面(2321)与一个或

多个橡胶垫(236)之间设置有压力传感器(237)。

8、根据权利要求6或7所述的高速自动化生产线上的次品自动分拣设备，其特征在于所述3自由度联动传送装置(1)包括水平X方向自由度传送部件(11)、水平Y方向自由度传送部件(12)和垂直Z方向自由度传送部件(13)，所述水平X方向自由度传送部件(11)包括滑轨—X(111)和控制滑轨—X运动的电机—X(112)，水平Y方向自由度传送部件(12)包括滑轨—Y(121)和控制滑轨—Y运动的电机—Y(122)，垂直Z方向自由度传送部件(13)包括滑轨—Z(131)和控制滑轨—Z运动的电机—Z(132)，所述水平Y方向自由度传送部件(12)安装于滑轨—X(111)上，所述垂直Z方向自由度传送部件(13)安装于滑轨—Y(121)上，所述机械手臂(21)连接于滑轨—Z(131)上。

9、根据权利要求8所述的高速自动化生产线上的次品自动分拣设备，其特征在于所述电气控制部分包括控制器(8)和主控PC机(7)，所述控制器(8)由3自由度联动传送装置伺服控制器(81)、机械手视觉伺服定位控制器(82)和机械手次品抓取和释放控制器(83)组成；主控PC机(7)通过CAN总线网络与控制器(8)连接；3自由度联动传送装置伺服控制器(81)与3自由度联动传送装置(1)通过RS-232总线相连，驱动3自由度联动传送装置(1)的电机—X(112)、电机—Y(122)和电机—Z(132)运动；机械手视觉伺服定位控制器(82)直接与机械手(2)上的摄像机(22)相连，机械手次品抓取和释放控制器(83)通过RS-232总线与机械手(2)相连，驱动控制机械手爪(23)运动的手指伺服电机(234)运动。

10、根据权利要求9所述的高速自动化生产线上的次品自动分拣设备，其特征在于所述设备还设置有次品传送带(4)，所述次品传送带与产品生产线传送带(3)并排设置。

高速自动化生产线上的次品自动分拣方法及设备

技术领域

本发明属于自动化质量检测控制技术领域，具体涉及一种高速自动化生产线上次品自动分拣的方法及设备。

背景技术

目前，在高速自动化流水线上产品的质量检测中，如何将检测出的次品从生产线上准确、快速地分离，保证生产质量，是一项重要且具有挑战性的工作。目前在大多数工业现场一直采用传统的人工分拣处理方法。人工分拣的优点在于灵活性高，工作人员稍加培训即可根据不同的检测标准进行不同产品的检测。人工检测的缺陷在于：1) 检测速度慢、效率低，无法满足高速自动化流水生产线需要；2) 检测精度低，检测质量受人为因素影响，错检、误检率较高，人工不断地进行着简单而重复性的工作，检测人员的技术素质和责任心均会对检测结果造成影响；3) 工人劳动强度大，工作环境差，特别对于一些化学产品或者具有放射性的产品的检测，会影响检测者的身体健康；4) 人力资源浪费，增加了生产成本，无法满足当前工业现代化管理要求。

传统人工检测方法存在上述诸多缺陷，使自动分拣方法及设备的研究和开发提上日程。考虑到目前高速自动化生产线的特性，相应的自动分拣设备必然要求：1) 高速度，高精度；2) 要求分拣设备相对独立，无须对现有生产线改造，直接即可投入使用；3) 考虑到目前产品生产线上引入的自动质量检测系统存在误差，即存在一定的误检率，在所谓的次品中可能存在一定量的合格产品，有必要进行二次检测，所以对次品的分拣处理要求具有非破坏性，也符合环保要求；4) 系统简单，成本造价低，易于推广使用。

现有的自动分拣设备主要为次品直接击出式分离设备，该类设备通常采用气压或者直接机械作为动力，通过击出面与物品发生碰撞，将产品检测生产线传送带上位于击出面正前方的被传送的物品从传送带上迅速、准确、可靠地分离出来，送入另外的传送线或特定的收集台，或者直接击碎处理。其优点是结构简单，击出动作平滑连贯，且机械磨损小，占用空间小，提高了工作效率，降低了劳动强度，节约了生产成本，改善了工人的工作条件，一定程度上提高了工业的自动化管理水平。该类设备缺点在于击出速度不是很快；安装该设备，必须对现有传送带系统进行二次改造，成本较高；直接击出处理多为破坏性处理，容易击碎次品，无法回收利用，且会造成环境污染。

通过上述分析可知，目前的次品分离方法和相关设备均存在不同程度上的缺陷，不

能满足当前高速自动化流水生产线上自动次品分拣的需求，无法实现大规模的推广应用和技术更新换代。

发明内容

本发明所要解决的技术问题是针对上述现有技术所存在的缺陷，提供一种准确性高、成本低廉、通用性强、可移植性好、不破碎次品、避免造成环境污染、可满足多种高速流水生产线次品分拣需要的高速自动化生产线上的次品自动分拣方法及设备。

为解决上述技术问题，本发明采用下述技术方案。

本发明的高速自动化生产线上的次品自动分拣方法，其特征在于它是在生产线次品分拣系统接收到次品分拣信号后，启动系统所设 3 自由度联动传送装置，将与该 3 自由度联动传送装置相连的机械手快速定位到次品的正上方，并与产品生产线传送带保持同速运动，同时机械手下降至预定高度位置，抓取次品，然后机械手提升次品至初始高度，并将次品释放至指定位置，实现次品从产品生产线传送带的自动分拣处理，次品释放后，通过 3 自由度联动传送装置将机械手复位至初始位置，等待下一轮分拣抓取过程。

本发明可采用基于神经网络的模糊控制算法，对 3 自由度联动传送装置进行精密伺服运动控制；采用基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法，控制机械手对次品的抓取定位；采用基于多传感器信息的模糊推理方法，控制机械手对次品的抓取和释放。

所述基于神经网络的模糊控制算法包括如下过程：

(1) 对模糊控制器的输入变量误差 e ，误差变化率 ec 进行模糊化处理：

$$a = A_z(e), b = B_z(ec)$$

$$i = \phi_1(e), j = \phi_2(ec)$$

其中 $A_z(e)$ 和 $B_z(ec)$ 分别为 e ， ec 隶属函数； $\phi_1(e)$ 和 $\phi_2(ec)$ 为 e ， ec 的分布函数；

(2) 进行模糊推理：

$$k = \phi(i, j) = \langle \alpha * i + (1 - \alpha) * j \rangle$$

其中 α 是加权因子，它反映了误差和误差变化率对输出影响的程度； $\langle \rangle$ 表示对其中的数值进行取整；

(3) 计算模糊控制器的输出：

$$\beta = a \wedge b, u = M(C_{k\beta})$$

其中 $C_{k\beta}$ 表示 C_k 的 β 割集， $M(C_{k\beta})$ 表示 $C_{k\beta}$ 的中点； C_k 表示输出变量 U 的语言词集；

(4) 由神经网络计算控制规则加权因子的调整量 $\Delta\alpha$ ：

$$\Delta\alpha = y = \sum_i \omega_i \cdot \exp \left\{ - \frac{[(e + ec)/2 - a_i]^2}{b_i^2} \right\}$$

其中 ω_i 代表神经网络权值, a_i 、 b_i 分别代表高斯基函数的分布系数和伸缩系数;

(5) 计算加权因子:

$$\alpha(k+1) = \alpha(k) + \Delta\alpha(k);$$

(6) 采用基于变尺度优化方法的多层前向神经网络快速学习算法 MDFP, 对神经网络进行训练。

所述基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法包括以下几个步骤:

(1) 对次品图像的采集和处理, 包括次品图像的实时采集、次品图像的预处理、次品图像特征检测、次品图像特征几何中心位置计算;

(2) 计算次品图像特征几何中心位置的期望值和实际值的差值;

(3) 次品图像特征几何中心位置的期望值和实际值的差值对应的电机控制输出量参数的映射表, 根据神经网络模型进行离线学习;

(4) 基于卡尔曼滤波器模型, 对拟进行分拣的次品进行预测跟踪控制, 输出控制指令到 3 自由度联动传送装置伺服控制器, 控制 3 自由度联动传送装置实现机械手对次品的抓取定位。

所述基于多传感器信息的模糊推理方法, 是通过设置在机械手上的手指伺服电机的电机编码器、压力传感器的反馈测量信息进行模糊推理计算, 实时调整组成机械手手爪的三个手指的手指伺服电机的速度, 实现对次品的可靠高速抓取和释放控制。

本发明为实现上述方法所设计的高速自动化生产线上的次品自动分拣设备, 其特征在于: 它包括电气控制部分和机械部分; 所述机械部分包括 3 自由度联动传送装置和机械手; 所述机械手包括机械手臂和机械手爪, 所述机械手臂装设于可驱动机械手沿 X、Y、Z 方向作三个自由度运动的 3 自由度联动传送装置上, 机械手爪设于机械手臂下端, 机械手爪的中心位置设置有摄像机, 所述电气控制部分分别与自由度联动传送装置和机械手电连接。

所述机械手爪包括机械手爪控制箱和三个呈 120 度角分布的机械手手指, 所述机械手爪控制箱包括箱体, 箱体上连接有三件呈 120 度角分布的滑轨, 所述滑轨的下端设有齿条, 侧面设有滑槽, 每个机械手手指的上端设有一电机座, 每个电机座上装设有一带电机编码器的手指伺服电机, 该手指伺服电机的输出轴上装设有一齿轮, 齿轮与对应的滑轨上所设齿条相啮合, 电机座的一侧还设有与滑槽相对应的滑块, 滑块置于滑槽内, 两者构成一导轨副; 所述位于机械手爪中心位置的摄像机固定于箱体上, 手指内侧夹持面上设置有橡胶垫, 夹持面与一个或多个橡胶垫之间设置有压力传感器。

所述 3 自由度联动传送装置包括水平 X 方向自由度传送部件、水平 Y 方向自由度传送部件和垂直 Z 方向自由度传送部件, 所述水平 X 方向自由度传送部件包括滑轨—X 和控

制滑轨—X运动的电机—X,水平Y方向自由度传送部件包括滑轨—Y和控制滑轨—Y运动的电机—Y,垂直Z方向自由度传送部件包括滑轨—Z和控制滑轨—Z运动的电机—Z,所述水平Y方向自由度传送部件安装于滑轨—X上,所述垂直Z方向自由度传送部件安装于滑轨—Y上,所述机械手臂连接于滑轨—Z上。

所述电气控制部分包括控制器和主控PC机,所述控制器由3自由度联动传送装置伺服控制器、机械手视觉伺服定位控制器和机械手次品抓取和释放控制器组成;主控PC机通过CAN总线网络与控制器连接;3自由度联动传送装置伺服控制器与3自由度联动传送装置通过RS-232总线相连,驱动3自由度联动传送装置的电机—X、电机—Y和电机—Z运动;机械手视觉伺服定位控制器直接与机械手上的摄像机相连,机械手次品抓取和释放控制器通过RS-232总线与机械手相连,驱动控制机械手爪运动的手指伺服电机运动。

所述设备还可设置次品传送带,所述次品传送带与产品生产线传送带并排设置。

与现有技术相比,本发明的有益效果在于:

本发明利用机器视觉、智能控制、多传感器融合检测控制等技术,对高速自动化生产线上的次品实现高速智能抓取分拣处理。其具有如下优点:

1)本发明通过控制系统驱动3自由度联动传送装置和机械手,按照预定动作次序和要求,成功实现高速自动化生产线上的次品自动分拣。其设计简单、成本低、易于控制、速度快、稳定性高,可满足多种高速流水生产线次品分拣需要。

2)本发明设备在次品分拣过程中没有对次品进行破坏性处理,可进一步作二次检测,将其中误拣的合格品回收重新投入使用,节约了成本,并且避免造成环境污染。

3)本发明设备相对独立,无需对现有生产线进行大规模改造,只需在现有生产线加入本发明的自动分拣设备,具体布局可以因生产线需要和现有布局特点,灵活方便的调整。并大大减少了技术推广更新所需费用。其结构简单,成本造价低,易于推广使用。

4)本发明设备的机械部分由3自由度联动传送装置和机械手组成,机械部分各部件相对独立。可根据具体生产线和产品的不同,灵活调整3自由度联动传送装置尺寸参数和机械手形状等参数,便于推广应用。

5)设备各控制器之间、控制器和执行机构之间采用RS232或者CAN总线网络进行通信控制,严格保证了通信的实时性和可靠性。

6)设备的执行结构均采用高性能精密电机,配合设备精密的机械设计和高效的控制算法,严格保证了次品分拣的准确性和可靠性。

7)在本发明中,3自由度联动传送装置伺服控制器采用基于神经网络的模糊控制算法。该算法采用实时模糊推理算法计算各电机实时输出,并利用神经网络根据系统的误

差变化在线修正模糊控制规则。基于该算法的伺服控制器具有很好的实时性和稳定性，又具有很强的自学习能力，可满足多种条件下的控制需要。

8) 在本发明中，基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法实现机械手对次品的抓取定位。利用摄像机获取次品图像，通过运算处理获取次品几何特征位置与期望位置的差值，反复调整机械手的位置，直至满足要求。采用图像特征进行定位处理，定位精度高，适用范围广。

9) 在本发明中，基于多传感器信息的模糊推理方法实现机械手对次品的可靠抓取和释放控制。该方法利用设置在机械手上的电机编码器、压力传感器的反馈测量信息进行模糊推理计算，实时调整机械手爪的三个手指的手指伺服电机的速度，实现对次品的可靠高速抓取和释放控制，具有定位精度高、抓取可靠稳固、速度快等优点。

附图说明

图 1 为本发明设备的总体结构框图；

图 2 为本发明设备机械部分的立体结构示意图；

图 3 为本发明设备机械部分的结构示意主视图；

图 4 为本发明设备机械部分的结构示意俯视图；

图 5 为本发明设备机械部分的结构示意左视图；

图 6 为本发明机械手的结构示意主视图；

图 7 为图 6 的 A—A 剖视放大图；

图 8 为图 6 的 B—B 剖视放大图；

图 9 为本发明 3 自由度联动传送装置伺服控制器的电气控制结构图；

图 10 为本发明基于神经网络的模糊控制算法原理图；

图 11 为本发明基于神经网络的模糊控制算法采用的双输入单输出高斯基函数神经网络 (GPFN) 结构图；

图 12 为本发明机械手视觉伺服定位控制器电气控制结构图；

图 13 为本发明视觉伺服定位控制器主控制器电路图；

图 14 为本发明视觉伺服定位控制器视频解码电路图；

图 15 为本发明视觉伺服定位控制器帧存储器电路图；

图 16 为本发明视觉伺服定位控制器外部存储器 EEPROM 电路图；

图 17 为本发明基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法原理图；

图 18 为本发明机械手次品抓取和释放控制器的电气控制结构图；

图 19 为本发明基于多传感器信息的模糊推理方法原理图；

图 20 为本发明作业流程图；

图 21 为本发明设备机械部分为两套时的立体结构示意图。

图中：

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1、3 自由度联动传送装置 | 11、水平 X 方向自由度传送部件 |
| 111、滑轨—X | 112、电机—X |
| 12、水平 Y 方向自由度传送部件 | 121、滑轨—Y |
| 122、电机—Y | 13、垂直 Z 方向自由度传送部件 |
| 131、滑轨—Z | 132、电机—Z |
| 2、机械手 | 21、机械手臂 |
| 22、摄像机 | 23、机械手爪 |
| 231、机械手爪控制箱 | 2311、箱体 |
| 2312、滑轨 | 23121、齿条 |
| 23122、滑槽 | 232、手指 |
| 2321、夹持面 | 233、电机座 |
| 2331、滑块 | 234、手指伺服电机 |
| 235、齿轮 | 236、橡胶垫 |
| 237、压力传感器 | 3、产品生产线传送带 |
| 4、次品传送带 | 5、待检产品 |
| 6、次品 | 7、主控 PC 机 |
| 8、控制器 | 81、3 自由度联动传送装置伺服控制器 |
| 82、机械手视觉伺服定位控制器 | 83、机械手次品抓取和释放控制器 |

具体实施方式

以下结合附图对本发明作进一步的详细描述。

本发明基于机器视觉、智能控制、多传感器融合检测控制等技术，提出了高速自动化生产线上的次品自动分拣方法和设备，对高速自动化生产线上的次品实现高速智能抓取分拣处理。

本发明的高速自动化生产线上的次品自动分拣方法，是在生产线次品分拣系统接收到次品分拣信号后，启动系统所设 3 自由度联动传送装置将机械手快速定位到次品的正上方，与产品生产线传送带保持同速运动，同时机械手下降至预定高度位置抓取次品，然后机械手提升次品至初始高度，并将次品释放至指定位置，实现次品从产品生产线传送带的自动分拣处理，次品释放后，通过 3 自由度联动传送装置将机械手复位至初始位

置,等待下一轮抓取过程。该方法采用基于神经网络的模糊控制算法,对3自由度联动传送装置进行精密伺服运动控制;采用基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法,控制机械手对次品的抓取定位;采用基于多传感器信息的模糊推理方法,控制机械手对次品的抓取和释放。

如图1所示,为实现上述方法而设计的高速自动化生产线上的次品自动分拣设备,由机械部分和电气控制部分组成。如图2~6所示,机械部分包括:3自由度联动传送装置1(X、Y、Z三个自由度方向)和机械手2。机械手2包括机械手臂21和机械手爪23,机械手臂21装设于可驱动机械手沿X、Y、Z方向作三个自由度运动的3自由度联动传送装置1上,机械手爪23设于机械手臂21下端,机械手爪23的中心位置设置有摄像机22,电气控制部分分别与3自由度联动传送装置1和机械手2电连接。其中,3自由度联动传送装置1可以装载机械手2沿X、Y、Z方向做3个自由度的运动,它包括水平X方向自由度传送部件11、水平Y方向自由度传送部件12和垂直Z方向自由度传送部件13,水平X方向自由度传送部件11包括滑轨—X111和控制滑轨—X运动的电机—X112,水平Y方向自由度传送部件12包括滑轨—Y121和控制滑轨—Y运动的电机—Y122,垂直Z方向自由度传送部件13包括滑轨—Z131和控制滑轨—Z运动的电机—Z132,水平Y方向自由度传送部件12安装于滑轨—X111上,垂直Z方向自由度传送部件13安装于滑轨—Y121上,机械手2的机械手臂21连接于滑轨—Z131上。

如图6~8所示,机械手爪23包括机械手爪控制箱231和三个呈120度角分布的机械手手指232,机械手爪控制箱231包括箱体2311,箱体2311上连接有三件呈120度角分布的滑轨2312,滑轨2312的下端设有齿条23121,侧面设有滑槽23122,每个机械手手指232的上端设有一电机座233,每个电机座233上装设有一带电机编码器的手指伺服电机234,各机械手手指232分别受三个独立的手指伺服电机234控制。该手指伺服电机234的输出轴上通过键连接装设有一齿轮235,齿轮235与对应的滑轨2312上所设齿条23121相啮合,电机座233的一侧还设有与滑槽23122相对应的滑块2331,滑块2331置于滑槽23122内,两者构成一导轨副;手指伺服电机234的转动可以带动其输出轴上的齿轮235与齿条23121啮合并沿齿条23121做往返相对运动,以带动手指伺服电机234、电机座233及与电机座233相连的机械手手指232沿齿条23121做朝向或背离机械手爪23中心的往返相对运动,并由滑块2331和滑槽23122组成的导轨副导向,即三个手指伺服电机234分别带动机械手爪23的三个手指232做开合运动,并由手指伺服电机234所带电机编码器计算检测机械手爪23的开闭距离。机械手爪23的形状可以根据不同的抓取对象进行调整,并不局限于图中形状。位于机械手爪23中心位置的摄像机22固定于

箱体 2311 上, 可根据待抓取次品图像几何特征位置信息, 通过电气控制部分的控制器完成机械手 2 在次品 6 抓取之前的定位, 保证机械手 2 停留在待抓取次品 6 的正上方。手指 232 内侧夹持面 2321 上设置有多个橡胶垫 236, 以增大手指 232 内侧夹持面 2321 和抓取对象之间的摩擦力, 防止抓取对象下滑, 同时防止手指 232 和抓取对象的硬接触, 保护抓取对象免除破损。夹持面 2321 与一个或多个橡胶垫 236 之间设置有压力传感器 237, 每个手指 232 上的压力传感器 237 可在一个橡胶垫 236 内设置, 也可在几个橡胶垫 236 内设置, 或每个橡胶垫 236 内均设置。压力传感器 237 可检测沿机械手爪 23 内侧夹持面 2321 法线方向的接触力, 以控制机械手爪 23 的抓取力度, 保证抓取过程中不对待抓次品 6 造成损伤。当压力传感器 237 检测到压力一定时, 机械手爪 23 停止闭合。当手指伺服电机 234 接受控制指令转动时, 机械手爪 23 的三个手指 232 分别相向运动 (抓紧动作) 或相离运动 (释放动作)。

如图 2~5 所示, 本发明的 3 自由度联动传送装置 1 以某一高度固定于产品生产线传送带 3 的正上方; 为了方便回收次品, 可在产品生产线传送带 3 一侧设置次品传送带 4, 该次品传送带 4 与产品生产线传送带 3 并排平行设置, 产品生产线传送带 3、次品传送带 4 相平行, 间距固定, 速度设置相同。如图 2 所示, 3 自由度联动传送装置 1 的三个自由度分别对应如下: 水平 X 方向自由度对应于产品生产线传送带 3 水平运动方向; 水平 Y 方向自由度对应于垂直于产品生产线传送带 3 指向次品传送带方向; 垂直 Z 方向自由度对应于垂直水平 X 方向和水平 Y 方向运动。固定安装于 Z 方向自由度传送部件 13 的滑轨—Z131 上的机械手 2 可借助 3 自由度联动传送装置 1 在 X、Y、Z 自由度运动范围内自由连续运动。

如图 1 所示, 本发明的电气控制部分包括控制器 8 和主控 PC 机 7。其中控制器 8 包括 3 自由度联动传送装置伺服控制器 81、机械手视觉伺服定位控制器 82 和机械手次品抓取和释放控制器 83; 主控 PC 机 7 通过 CAN 总线网络与控制器 8 连接; 3 自由度联动传送装置伺服控制器 81 与 3 自由度联动传送装置 1 通过 RS-232 总线相连, 采用基于神经网络的模糊控制算法驱动 3 自由度联动传送装置 1 中电机—X112、电机—Y122 和电机—Z132 运动; 机械手视觉伺服定位控制器 82 直接与机械手 2 上的摄像机 22 相连, 采用基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法控制机械手 2 对次品的抓取定位; 机械手次品抓取和释放控制器 83 通过 RS-232 总线与机械手 2 相连, 采用基于多传感器信息的模糊推理方法驱动控制机械手爪 23 的手指 232 运动的手指伺服电机 234 运动。

如图 9 所示, 3 自由度联动传送装置伺服控制器 81 通过控制 3 自由度联动传送装置 1, 使机械手 2 实现 3 个独立自由度 (X, Y, Z) 方向的并行精密伺服运动, 其中 3 自由

度联动传送装置伺服控制器 81 与电机-X112、电机-Y122、电机-Z132 及上述各电机上设置的电机编码器组成反馈闭环控制回路。具体工作过程如下：1) 主控 PC 机 7 通过 CAN 总线网络将控制指令发送到 3 自由度联动传送装置伺服控制器 81；2) 3 自由度联动传送装置伺服控制器 81 根据主控 PC 机 7 的控制指令对应的期望信息和各电机编码器的实时反馈信息，基于神经网络的模糊控制算法进行实时运算处理，不断调整控制输出电机控制指令，实现各自由度电机（电机-X112、电机-Y122、电机-Z132）的精密伺服运动控制，最终实现 3 自由度联动传送装置 1 的运动控制。

如图 12~16 所示，在机械手视觉伺服定位控制器 82 中，核心处理器采用 ADSP-BF533 芯片；帧存储器采用 MT48LC16M16A 芯片，是通过 EBIU 总线扩展接口与 ADSP-BF533 连接的 SDRAM，用于存储采集的原始图像以及算法处理的中间结果；外部存储器 EEPROM 采用 AT25HP512，其通过 SPI 接口与 ADSP-BF533 连接，用于引导程序装载和参数保存；视频解码器采用 SAA7113，主要完成 A/D 转换、图像预处理等功能，是模拟视频信号的输入端，其直接与摄像机 22 相连；RS-485 收发器采用 MAX3485 芯片，是摄像机 22 控制信号的输出口，实现核心处理器 ADSP-BF533 的 UART 串口与摄像机 22 的控制信号接口之间的通信，从而实现摄像机 22 的焦距、光圈和聚焦的调整控制；CAN 总线接口通过 CAN 总线网络与主控 PC 机 7 相连，实现双方控制信号的通信；ADP3339 和 TPS62003 是两个电源模块，分别提供 3.3V, 1.2V 的电源；机械手视觉伺服定位控制器 82 外部还有复位、27M 晶振、JTAG 等接口电路。

机械手视觉伺服定位控制器 82 的工作过程为：上电或复位后，自动将 EEPROM 中的程序下载到 ADSP-BF533 中，然后开始执行程序。程序首先对 SAA7113 视频解码器进行初始化和参数设定，然后由 ADSP-BF533 的 PPI 视频接口，通过 DMA 方式将图像数据存入到帧存储器 MT48LC16M16A 中，同时核心处理器 ADSP-BF533 根据相应的运动目标检测和跟踪算法对帧存储器中的图像数据进行处理，将结果转换为相应的运动控制信号，通过 CAN 总线网络传送至主控 PC 机 7，主控 PC 机 7 通过 CAN 总线网络将控制指令发送到 3 自由度联动传送装置伺服控制器 81，从而实现对次品的精确跟踪和定位。

如图 18 所示，机械手次品抓取和释放控制器 83 负责机械手爪 23 的三个手指 232 的开合控制，实现对次品 6 的抓取和释放控制。机械手次品抓取和释放控制器 83 与手指伺服电机 234 和手指伺服电机 234 上的电机编码器组成内层闭环控制，手指伺服电机 234 上的电机编码器的读数可用于计算手指伺服电机 234 的实际运动行程，实现机械手爪 23 的开合距离的检测；机械手次品抓取和释放控制器 83 与手指伺服电机 234 和设于三个手指 232 内侧夹持面 2321 上的压力传感器 237 组成外层闭环控制，其中压力传感器 237 的

测量信息提供机械手爪 23 内侧夹持面 2321 法线方向的接触力。机械手次品抓取和释放控制器 83 的工作过程如下：1) 主控 PC 机 7 通过 CAN 总线网络对机械手爪 23 的控制指令进行打包处理后，发送到该机械手次品抓取和释放控制器 83；2) 机械手次品抓取和释放控制器 83 根据接收到的控制指令、压力传感器 237 的测量信息和手指伺服电机 234 上的电机编码器的读数，基于多传感器信息的模糊推理方法实时调整输出手指伺服电机 234 的控制信号，实现机械手爪 23 三个手指 232 的手指伺服电机 234 的精密伺服运动控制，实现机械手爪 23 开合的距离和速度精确高速控制。

需要说明的是，机械手 2 执行自动次品分拣处理，需要一定的执行时间，单个次品自动分拣设备在一次工作过程只能抓取单个次品（一个工作周期内），如果生产线上连续出现多个次品时，单个机械手分拣装置难以满足需要，必然造成次品的漏拣。需根据产品传送带运动速度、次品检测速度和机械手执行次品抓取分拣的时间、计算决定使用多台机械手（因为设备相对独立，可以增加至多个），以满足实际检测处理需要。此时需要主控 PC 机 7 负责多机械手次品分拣设备协调调度控制，实现多个分拣设备的协调有序高效可靠运行，满足高速生产线次品分拣需要。如图 21 所示，本实施例中设置有两套 3 自由度联动传送装置 1、机械手 2 以及与其相应的控制器 8，可分别抓取两个次品。

如图 20 所示，本发明的高速自动化生产线上的次品自动分拣设备的工作流程如下：1) 在产品生产线传送带 3 正上方固定机械手 2，当检测发现待检产品 5 中有次品 6 时，电气控制部分的控制器 8 启动与机械手 2 相连的 3 自由度联动传送装置 1，带动机械手 2 沿生产线传送带 3 运动方向（X 方向）运动至次品 6 的正上方，并与次品 6 保持相对静止运动，此后机械手 X 自由度方向速度保持不变直到步骤 5) 结束；2) 当机械手 2 与次品 6 保持同速运动并位于次品 6 正上方时，打开机械手 2 的机械手爪 23，控制机械手 2 垂直降落（Z 方向）至预定位置后，启动对所确定次品 6 的实时高速稳定抓取动作；3) 机械手 2 将次品 6 抓稳后，由 3 自由度联动传送装置 1 带动机械手 2 向上运动（Z 方向），回升到初始高度；4) 控制器 8 控制 3 自由度联动传送装置 1 带动抓有次品 6 的机械手 2 沿着 Y 方向运动，到达次品传送带 4 正上方后停止 Y 方向运动；5) 由 3 自由度联动传送装置 1 带动机械手 2 向下（Z 方向）运动，即下降机械手 2 将次品 6 放至次品传送带 4，打开机械手 2 释放次品 6，然后将机械手 2 回升至预定高度（Z 方向）；6) 3 自由度联动传送装置 1 将机械手 2 复位，返回至初始位置和状态，即机械手 2 沿 X、Y 负方向运动至初始位置，准备对下一次品 6 的抓取。根据产品生产线检测速度需要，以及本设备的单个工作周期所占用的时间，可以灵活设置多个次品自动分拣装置，利用主控 PC 机 7 进行多机械手协调调度控制，实现多个分拣装置的协调有序高效可靠运行，进行同时连续多

个次品的抓取，满足高速生产线次品分拣需要。

对3自由度联动传送装置伺服控制器81的基于神经网络的模糊控制算法、机械手视觉伺服定位控制器82的基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法、及机械手次品抓取和释放控制器83的基于多传感器信息的模糊推理方法详述如下：

(1) 基于神经网络的模糊控制算法

如上所述，本发明中3自由度联动传送装置伺服控制器81采用基于神经网络的模糊控制算法，对3自由度联动传送装置1进行精密伺服运动控制。如图10所示，该算法采用实时模糊推理算法计算3自由度联动传送装置1的电机—X112、电机—Y122、电机—Z132的实时输出，并利用神经网络根据误差变化在线修正模糊控制规则。

基于神经网络的模糊控制算法具体如下：

1) 改进 Fuzzy 推理算法

设模糊控制器的输入变量为输入变量误差 e 和误差变化率 ec ，输出变量为 u 。 A_i 、 B_j 、 C_k 分别表示输入变量误差 e ，误差变化率 ec ，和输出变量 u 的语言词集。

定义 e 、 ec 、 u 的语言值为 $\{NB$ (负大)、 NM (负中)、 NS (负小)、 ZO (零)、 PS (正小)、 PM (正中)、 PB (正大) $\}$ 。

定义： $a = A_{\Sigma}(e) = \bigcup_{i \in I} A_i(e)$ ， $A_{\Sigma}(e) = \max_{i \in I} A_i(e)$

$b = B_{\Sigma}(ec) = \bigcup_{j \in J} B_j(ec)$ ， $B_{\Sigma}(ec) = \max_{j \in J} B_j(ec)$

其中 A_i 代表 E 的第 i 个语言值， B_j 代表 EC 的第 j 个语言值， $A_{\Sigma}(e)$ 和 $B_{\Sigma}(ec)$ 表示为隶属函数。隶属函数采用高斯基函数 $e^{-\frac{(x-a_i)^2}{b_i}}$ ， a_i 、 b_i 分别代表高斯基函数的分布系数和伸缩系数。

2) 进行模糊推理

定义分布函数 $\phi_1(e)$ 和 $\phi_2(ec)$ 为：

$\phi_1(e) = i, e \in [r_{i-1}^{\prime}, r_i^{\prime}]$ ， $\phi_2(ec) = j, ec \in [r_{j-1}^{\prime\prime}, r_j^{\prime\prime}]$

其中 r_i^{\prime} 表示 $A_i(e)$ 与 $A_{i+1}(e)$ 的交点， $r_j^{\prime\prime}$ 表示 $B_j(ec)$ 与 $B_{j+1}(ec)$ 的交点。

模糊控制规则表示为：

R_i : if E is A_i and EC is B_j then U is C_k ， $(i \in I, j \in J, k = \phi(i, j) \in K)$

每个输出与输入可以用一定的对应关系来表示：

$$k = \phi(i, j) = \langle \alpha * i + (1 - \alpha) * j \rangle, \alpha \in [0, 1]$$

式中 α 是加权因子，它反映了误差和误差变化率对输出影响的程度。 $\langle \rangle$ 表示对其中的数值进行取整。通过调整 α 的值，就可以根据不同对象、不同时刻的误差和误差变化率各自对输出的影响程度来调整控制规则。当被控对象阶次较低或误差较大时，误差

对输出的影响应超过误差变化率的影响， α 的值应取得较大；当被控对象阶次较高或误差较小时，误差变化率对输出的影响则更大些， α 的值就应取得小些。在本发明中，基于神经网络的模糊控制算法就是利用神经网络在线调整 α 值进行控制规则实时调整。

3) 计算输出变量 u

对于 $u \in \{C_k\}, k \in K$ ，定义如下去模糊化方法：

$$u = M(C_{k\beta}), \beta = a \wedge b = \min(a, b)$$

$$C_{k\beta} = \{u | C_k \geq \beta\}$$

$C_{k\beta}$ 表示 C_k 的 β 割集， $M(C_{k\beta})$ 表示 $C_{k\beta}$ 的中点， C_k 表示输出变量 u 的语言词集；

4) 由神经网络计算控制规则加权因子的调整量 $\Delta\alpha$ ：

高斯基函数神经网络 (GPFN) 是一类非常有效的前馈网络，它同多层感知器一样，能够对任意连续非线性映射形成任意精度上的逼近。两者的不同之处在于基函数的特征，多层感知器中 Sigmoid 的基函数在输入空间的有限范围内是非零的，而在 GPFN 网络中的基函数仅在一微小局部范围内是非零的，只有当输入落入该微小范围时，基函数才产生一有效的非零响应。GPFN 的这种局部特征在学习过程中可获得高速化。

该算法采用高斯基函数神经网络 (GPFN) 来调整加权因子 α 的值，从而达到调整控制规则的目的。如图 11 所示，本发明设计采用的 GPFN 为三层前馈结构，有两个输入变量和一个输出变量，输入变量为误差 x_1 和误差变化率 x_2 ，输出变量为 $\Delta\alpha$ 。

网络各层的输入输出关系如下：

$$(1) \text{ 层: } o_i^{(1)} = u_i^{(1)} = x_i \quad (i=1,2)。$$

$$(2) \text{ 层: } u_i^{(2)} = \frac{x_1 + x_2}{2}, \quad o_i^{(2)} = \exp\left[-\frac{(u_i^{(2)} - a_i)}{2b_i^2}\right] \quad (i=1,2,3)。$$

$$(3) \text{ 层: } \begin{aligned} u^{(3)} &= \sum o_i^{(2)} w_i \quad (i=1,2,3) \\ y &= o^{(3)} = u^{(3)} \end{aligned}$$

从而网络的输入输出关系可描述为：

$$\Delta\alpha = y = \sum_i \omega_i \cdot \exp\left\{-\frac{[(e+ec)/2 - a_i]^2}{b_i^2}\right\}$$

其中 ω_i 代表网络权值， a_i 、 b_i 分别代表高斯基函数的分布系数和伸缩系数。

5) 计算加权因子：

$$\alpha(k+1) = \alpha(k) + \Delta\alpha(k)$$

6) 采用基于变尺度优化方法的多层前向神经网络快速学习算法 (MDFP) 对神经网络进行训练：

采用基于变尺度优化方法的多层前向神经网络快速学习算法 (MDFP) 来训练神经网络

GPFN, 要训练的参数 $\theta = \{\omega_i, a_i, b_i\}$ 。定义训练的目标函数为:

$$J = \sum E_k = \sum \frac{1}{2} [y_d(k) - y(k)]^2$$

其中 $y_d(k)$ 为网络期望输出, $y(k)$ 为网络实际输出。

i) 网络权值 ω_i 的训练:

$$\nabla E_k(\omega_i) = \frac{\partial E_k}{\partial \omega_i(k)} = \frac{\partial E_k}{\partial y(k)} \cdot \frac{\partial y(k)}{\partial \omega_i(k)} = -[y_d(k) - y(k)] \cdot o_i^{(2)}(k)$$

写成矩阵的形式为:

$$\nabla E_k(W) = -[y_d(k) - y(k)] \cdot o^{(2)}(k)$$

式中 $W = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)^T$, $O^{(2)} = (o_1^{(2)}, o_2^{(2)}, o_3^{(2)})^T$ 。

根据 MDFP 有

$$H_1(W) = I;$$

$$H_{k+1}(W) = \lambda^{-1} \left[H_k(W) - \frac{H_k(W)^2 \nabla E_k(W)^2}{\beta_k(W)} \right];$$

$$W_{k+1} = W_k - \frac{H_k(W) E_k \nabla E_k(W)}{\beta_k(W)},$$

式中 $0 < \lambda < 1$, 为遗忘因子。

ii) 高斯基函数的参数 a_i, b_i 的训练:

$$\nabla E_k(a_i) = \frac{\partial E_k}{\partial a_i(k)} = \frac{\partial E_k}{\partial y(k)} \cdot \frac{\partial y(k)}{\partial o_i^{(2)}(k)} \cdot \frac{\partial o_i^{(2)}(k)}{\partial a_i(k)} = -[y_d(k) - y(k)] \cdot o_i^{(2)}(k) \cdot \omega_i(k) \cdot \frac{u_i^{(2)}(k) - a_i(k)}{b_i(k)^2}$$

由上式可得出 a_i 的迭代公式为

$$H_1(a_i) = 1;$$

$$\beta_k(a_i) = \lambda + \nabla E_k(a_i)^2 H_k(a_i);$$

$$H_{k+1}(a_i) = \lambda^{-1} \left[H_k(a_i) - \frac{H_k(a_i)^2 \nabla E_k(a_i)^2}{\beta_k(a_i)} \right];$$

$$a_i(k+1) = a_i(k) - \frac{H_k(a_i) E_k \nabla E_k}{\beta_k(a_i)}。$$

同理可得出 b_i 的迭代公式。

(2) 基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法

如上所述, 本发明中机械手视觉伺服定位控制器 82 采用基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法控制机械手 2 对次品 6 的抓取定位。该方法的基本原理是,

在进行次品 6 抓取动作时, 机械手 2 水平 X 方向期望状态是机械手 2 处于次品 6 的正上方并与次品 6 保持相对静止运动。因此在期望状态下, 次品 6 在机械手 2 中部的摄像机 22 中的成像必处于图像中心位置, 即次品 6 特征的几何中心应该也对应于图像中心位置。以啤酒瓶灌装生产线为例, 期望状态下啤酒瓶的图像, 啤酒瓶口的中心位置必定要求处于整幅图像位置的中心坐标位置。基于这一原理, 利用期望图像特征几何位置中心与实际图像几何特征中心位置中间的差值, 生成相应的控制指令通过 CAN 总线网络传送至主控 PC 机 7, 主控 PC 机 7 通过 CAN 总线网络将控制指令发送到 3 自由度联动传送装置伺服控制器 81, 实现机械手 2 的精确定位和次品跟踪。

如图 17 所示, 基于次品特征几何中心位置差分的视觉伺服定位控制方法包括以下几个步骤: 1) 次品图像的处理, 包括图像预处理、次品几何特征检测、特征几何中心位置计算等部分; 2) 根据期望次品特征中心位置, 计算期望值与实际值差值; 3) 期望图像几何位置与实际几何位置差值对应的电机控制输出参数的映射变换, 根据神经网络离线学习模型进行离线学习; 4) 基于 Kalman 滤波器模型, 对次品运动对象进行跟踪预测控制, 输出控制指令通过 CAN 总线网络传送至主控 PC 机 7, 主控 PC 机 7 通过 CAN 总线网络将控制指令发送到 3 自由度联动传送装置伺服控制器 81, 控制 3 自由度联动传送装置 1 实现机械手 2 对次品 6 的抓取定位。

(3) 基于多传感器信息的模糊推理方法

如上所述, 机械手次品抓取和释放控制器 83 采用基于多传感器信息的模糊推理方法实现对机械手的抓取和释放控制。其控制原理如下: 在压力传感器 237 的获取压力值为零时, 利用机械手次品抓取和释放控制器 83 和手指伺服电机 234 上的电机编码器组成内层闭环控制, 实现机械手 2 的快速闭合和松开, 当压力传感器 237 的检测值非零并逐步增大时, 逐步减缓闭合速度; 当手指伺服电机 234 上的电机编码器检测到手指伺服电机 234 的运动行程到达设定期望行程, 并且当压力传感器 237 获取的压力值到达设定阈值时, 停止机械手 2 闭合, 认为此状态下已经抓紧次品 6。在具体实现时, 本发明采用基于多传感器信息的模糊推理方法实现这一控制。

基于多传感器信息的模糊推理方法的结构如图 19 所示, 包括模糊化、规则库、推理算法和去模糊化四个部分组成, 输入量为压力传感器 237 获取的压力 P 和手指伺服电机 234 上的编码器检测到手指伺服电机 234 的实际运动行程和期望行程的差值 T , 输出量为手指伺服电机 234 的速度控制量 U 。

1) 模糊化

在算法中, 输入量实际运动行程和期望行程的差值 T 和输出量 U 的论域都定义为 $[-6,$

6], 输入量压力 P 的论域[0, 6]。对于输入量压力 P 的论域, 定义 3 个语言词集, {“正大”, “正小”, “零”}={PB, PS, ZO}, 表示机械手爪内侧夹持面与次品之间的压力 P 的大小; 对于输入量 T 的论域, 定义 5 个语言词集, {“正大”, “正小”, “零”, “负小”, “负大”}={PB, PS, ZO, NS, NB}, 表示实际运动行程与期望行程的差值, 期望行程大于实际运动行程时为正方向, 期望行程小于实际运动行程时为负方向。对于输出量 U 的论域, 定义 5 个语言词集, {“正大”, “正小”, “零”, “负小”, “负大”}={PB, PS, ZO, NS, NB}, 即控制机械手爪的三个手指的手指伺服电机速度, 向手抓闭合方向为正, 松开方向为负。

2) 规则库

规则库由若干条控制规则组成, 根据实际调试经验制定出如表 1 所示的模糊控制规则 R。其中 P'、T' 是对应于 P、T 模糊化后的输入; U' 是去模糊化之前的输出。

表1 模糊控制规则表

输出量 U'		实际运动行程和期望行程的差值 T'				
		PB	PS	ZO	NS	NB
压力 P'	PB	NB	NB	NS	ZO	ZO
	PS	NS	NS	ZO	PS	PS
	ZO	ZO	ZO	PS	PB	PB

3) 推理算法

本发明采用最常用 Max-min 合成法作为推理算法, 具体说明如下:

当把规则库中的 A_i, B_i, C_i 分别看作 P'、T'、U' 论域上的词集时, 可以得到每条控制规则 R_i 的关系: $R_i = (A_i \times B_i) \times C_i$ 。 R_i 的隶属函数为:

$$\mu_{R_i}(P', T', U') = \mu_{A_i}(p'_i) \wedge \mu_{B_i}(t'_i) \wedge \mu_{C_i}(u'_i) \quad \forall p'_i \in P', \quad \forall t'_i \in T', \quad \forall u'_i \in U'。$$

全部模糊规则所对应的模糊关系, 用取并的方法得到, 即 $R = \bigcup_{i=1}^n R_i$ 。

R 的隶属函数为: $\mu_R(P', T', U') = \bigvee_{i=1}^n [\mu_{R_i}(P', T', U')]$ 。

当输入变量 P'、T' 分别取模糊集 A, B 时, 模糊推理得出的控制量 $U' = (A \times B) \circ R$ 。

U' 的隶属函数为: $\mu_{U'}(u') = \bigvee_{\substack{x \in X \\ y \in Y}} \mu_R(P', T', U') \wedge [\mu_A(p') \wedge \mu_B(t')]$ 。

4) 去模糊化

去模糊化就是根据一定的算法将模糊推理得到的模糊输出转化为可以直接控制对象的精确输出。本发明采用隶属度函数加权平均判决法, 即:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(U'_i) \cdot U'_i}{\sum_{i=1}^n \mu(U'_i)} .$$

根据推理算法、去模糊化和模糊规则表（表 1），可以计算出模糊数值判决表，见表 2。在控制过程中，可根据 P'、T' 的值由表 2 查处相应的输出值 U。

表 2 模糊数值判决表

输出量 U		实际运动行程和期望行程的差值 T'												
		6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
压力 P'	6	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-3	-2	0	0	0
	5	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-3	-2	0	0	0
	4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	2
	3	-3	-3	-2	-2	-2	-1	0	1	2	2	2	3	3
	2	-1	-1	0	1	1	2	3	3	3	4	4	4	4
	1	0	0	0	1	2	3	4	4	5	5	5	5	5
	0	0	0	0	1	2	3	4	4	5	5	5	5	5

(4) 高速自动化生产线上的次品自动分拣设备所需数量的计算

因为次品自动分拣设备执行自动抓取分拣次品处理，需要一定的执行时间，因此如果产品生产线传送带上连续出现多个次品的情况时，单个次品分拣设备难以满足需要，必然造成次品的漏拣。因此可根据检测产品生产线传送带运动速度、次品检测速度和机械手执行次品分拣抓取的时间来决定使用多个次品自动分拣设备，从而满足实际检测处理需要。此时需要主控 PC 机 7 负责多机械手次品分拣设备协调调度控制，实现多个分拣设备的协调有序高效可靠运行。

本发明高速自动化生产线上的次品自动分拣设备所需数量的计算方法如下：设产品生产线次品检测速度 V_1 （单位：个/秒），产品生产线传送带运行速度 V_2 （单位：米/秒），产品生产线产送带产品间距 S （单位：米），次品自动分拣设备的运行周期时间 T （单位：秒）： $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$ 。

其中： t_1 次品自动分拣设备进行次品跟踪与定位时间，设备接收到次品分拣信号，启动 X 方向自由度运动，实现定位机械手于次品正上方，并保持次品相对静止运动所需时间； t_2 机械手次品抓取时间，即机械手下落至预设高度，完成次品抓取，并回升至初始高度所需时间； t_3 启动次品自动分拣设备 Y 自由度运动，从产品生产线传送带正上方

运动至次品传送带正上方所需时间； t_4 机械手次品释放时间，即机械手下落至预定高度，释放次品至次品传送带，并回升机械手至指定高度位置所需时间； t_5 机械手复位时间，即回复置产品生产线初始位置状态所需时间。

对于稳定的产品生产线，其产品生产线传送带是匀速运动的，因此可得： $\frac{1}{V_1} = \frac{S}{V_2}$ ，

即： $V_1 = V_2 / S$ 。设所需次品分拣装置所需的数量为 N ，则 $N = \langle V_1 \times T + 0.5 \rangle$ ；

其中函数 $\langle \rangle$ 表示取整操作。

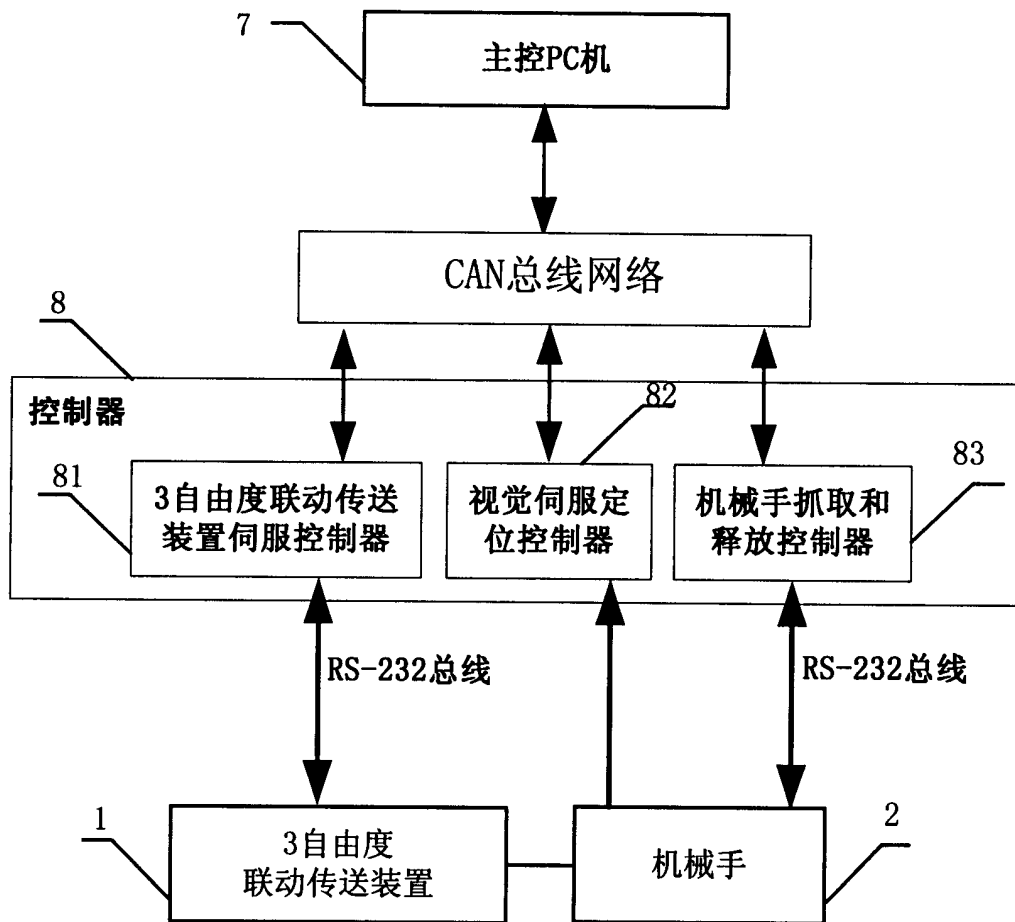


图 1

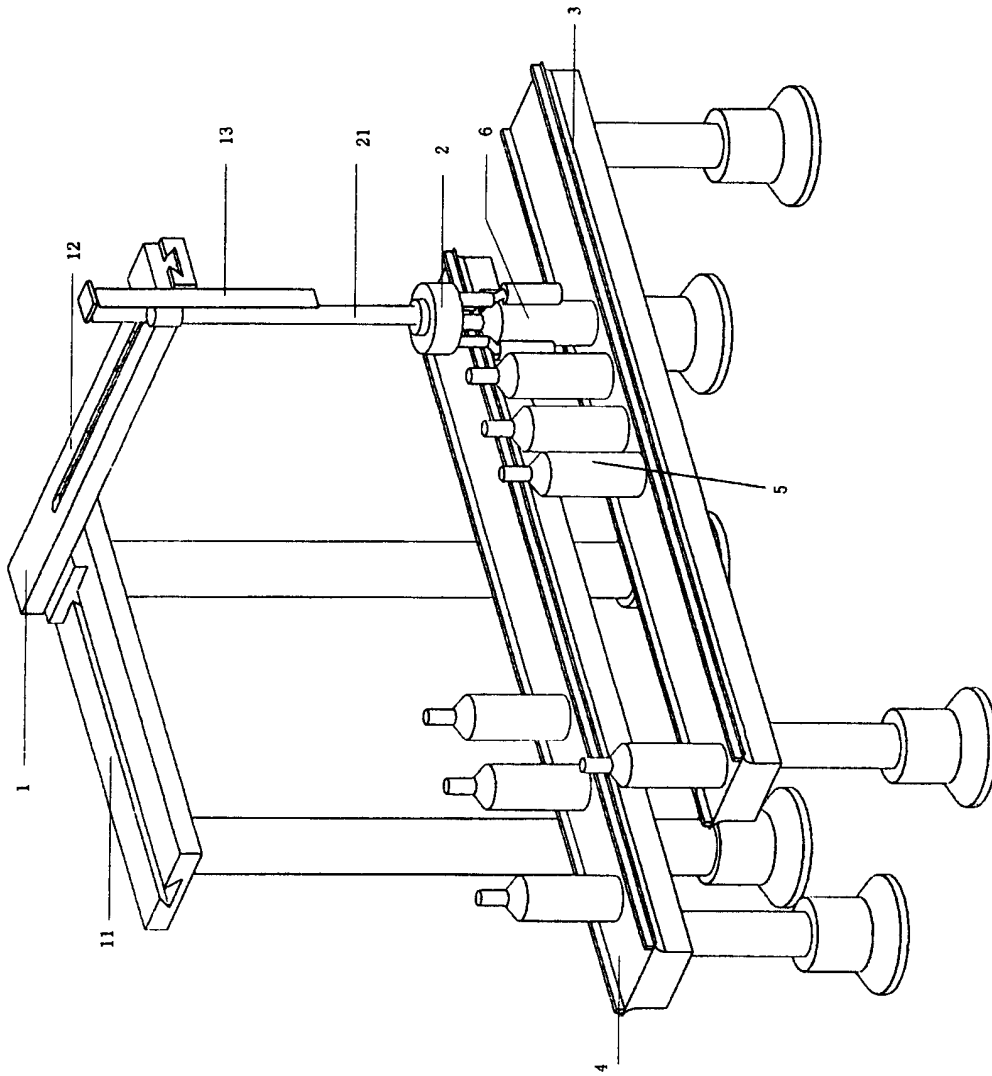


图 2

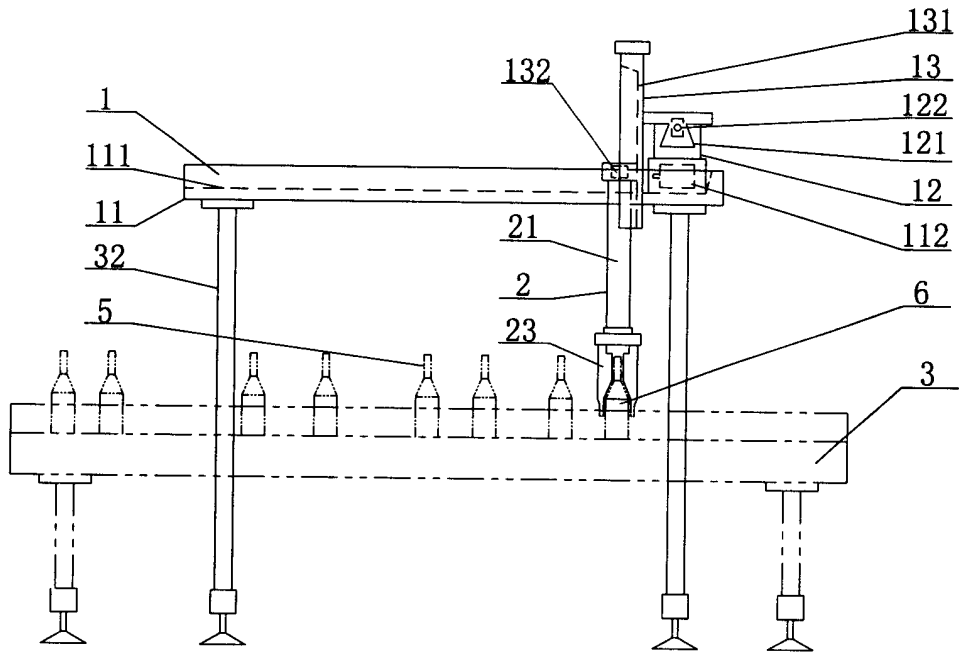


图3

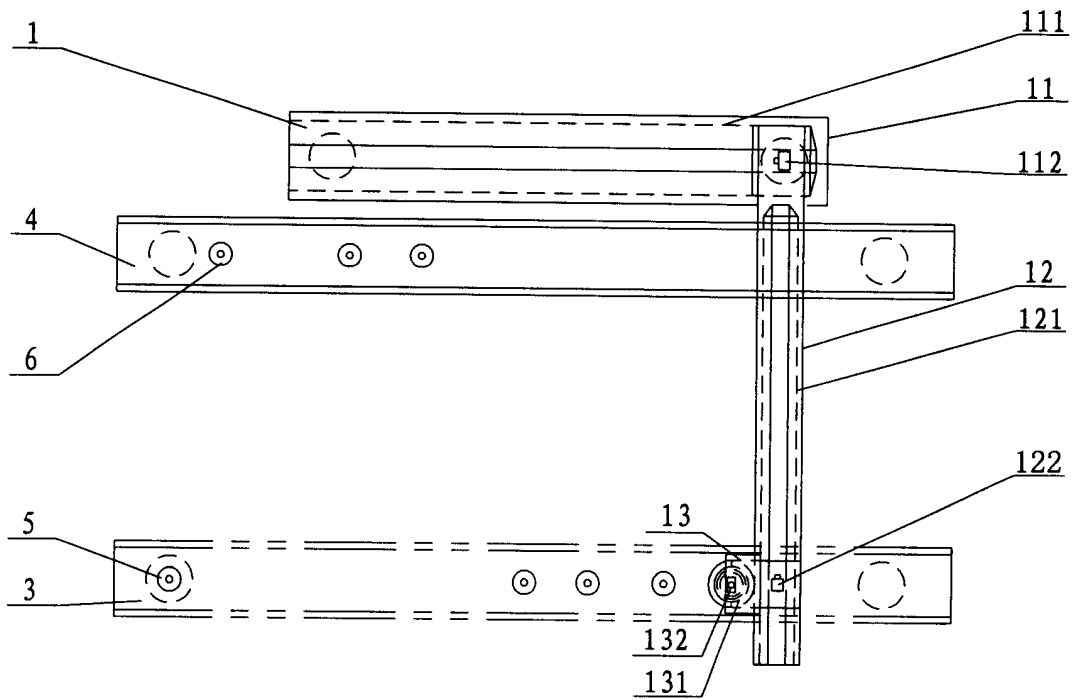


图4

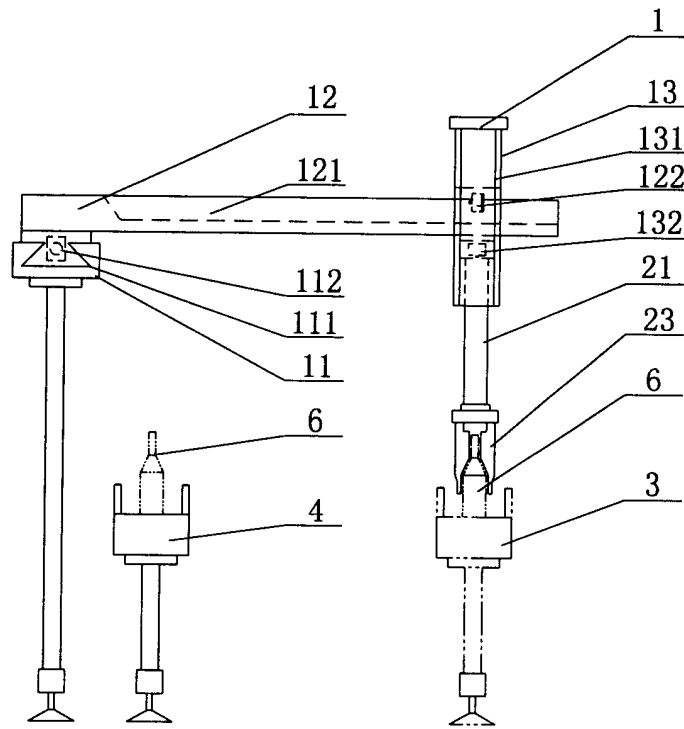


图5

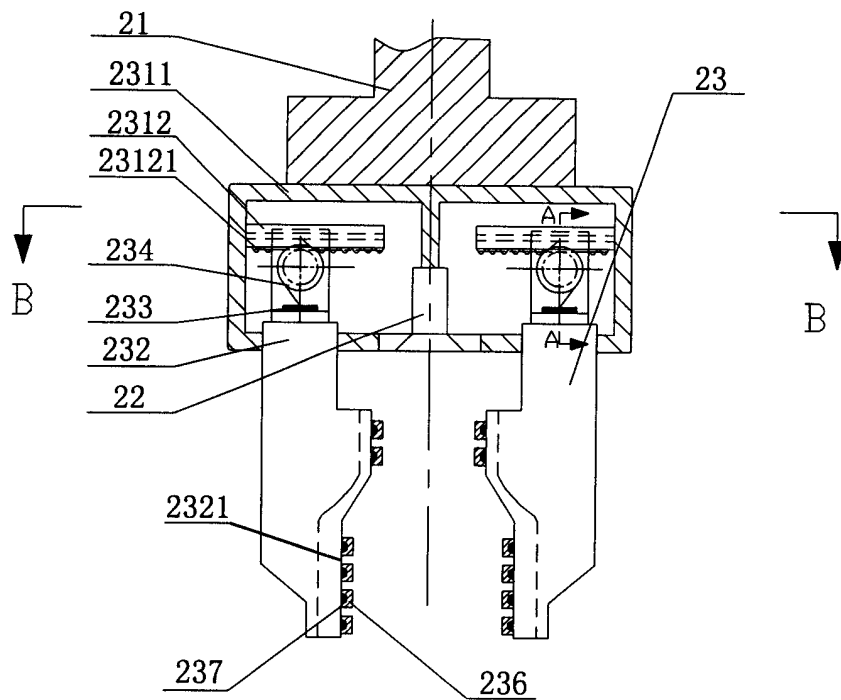


图6

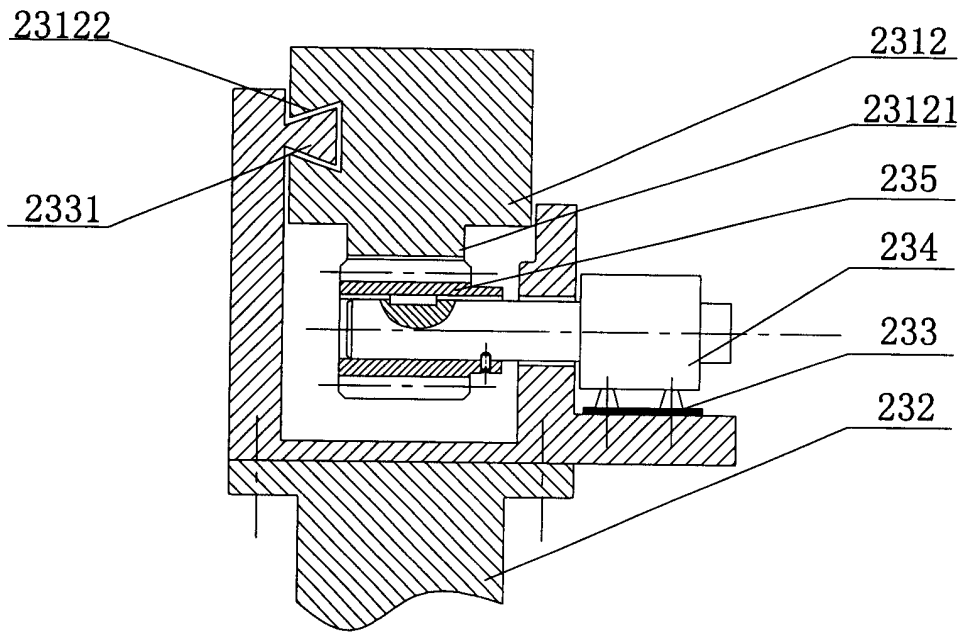


图7

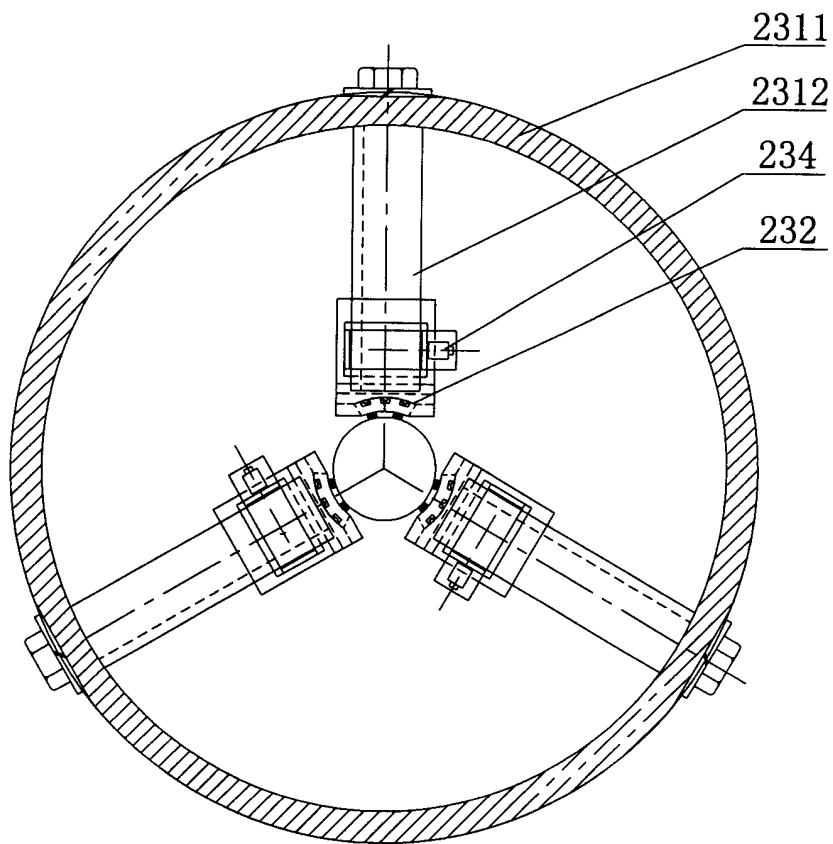


图8

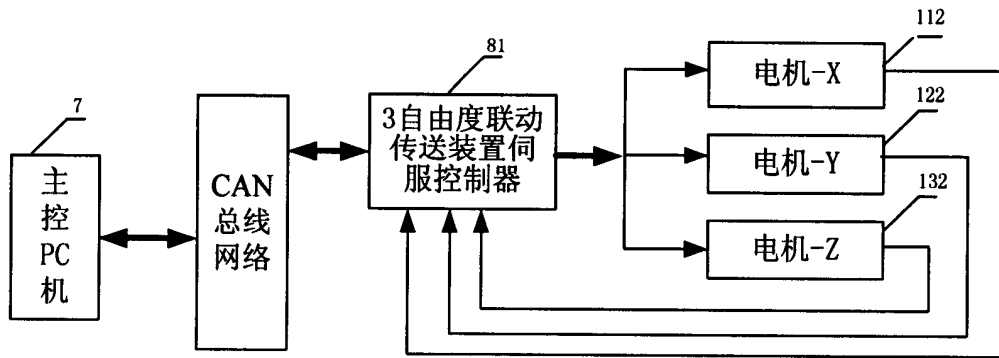


图 9

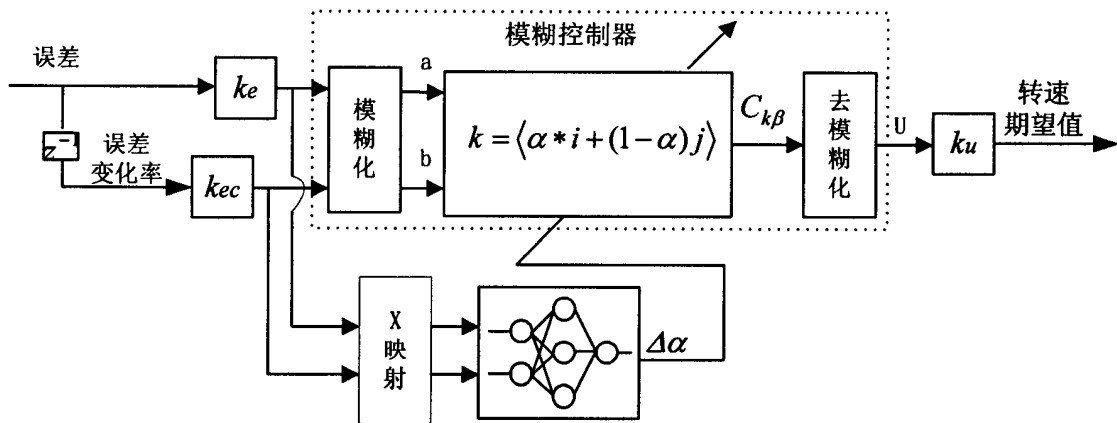


图 10

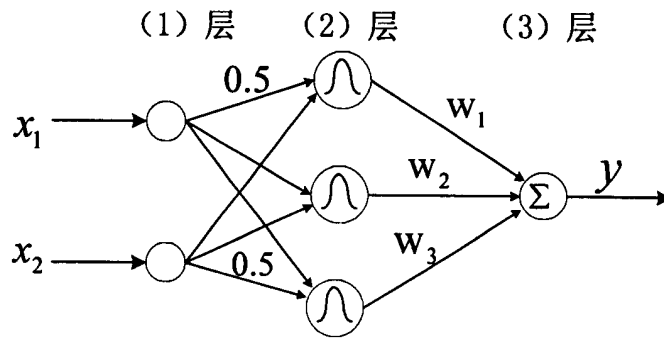


图 11

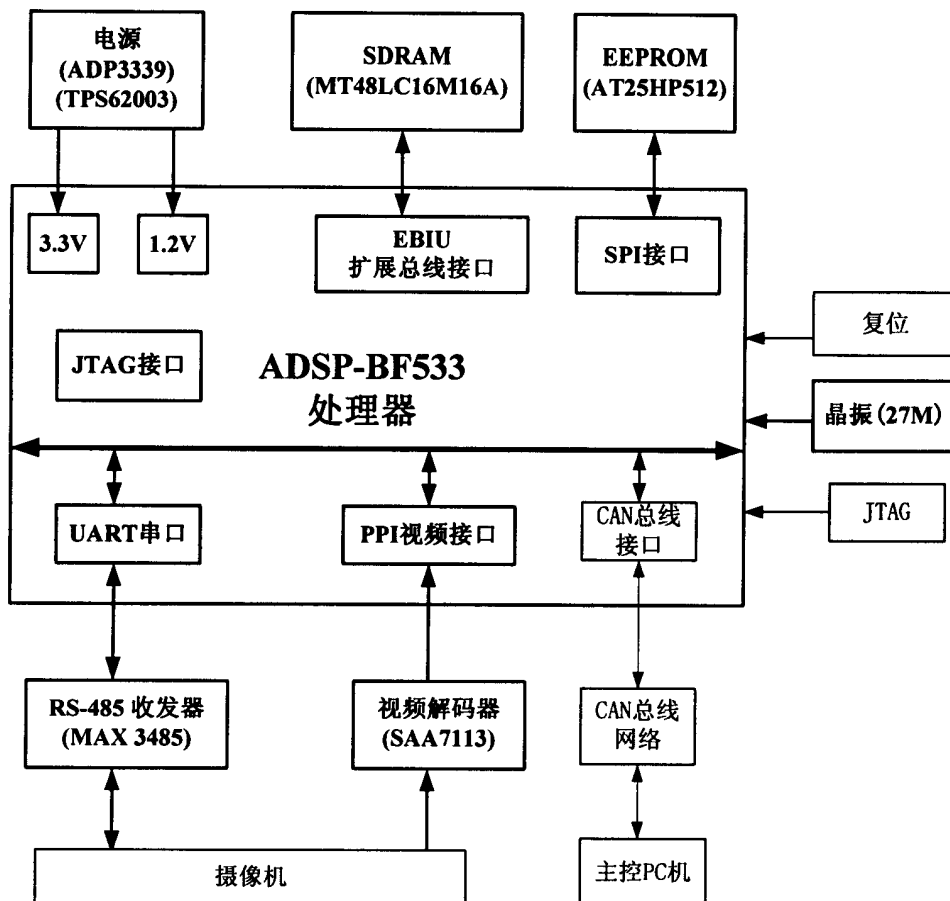


图 12

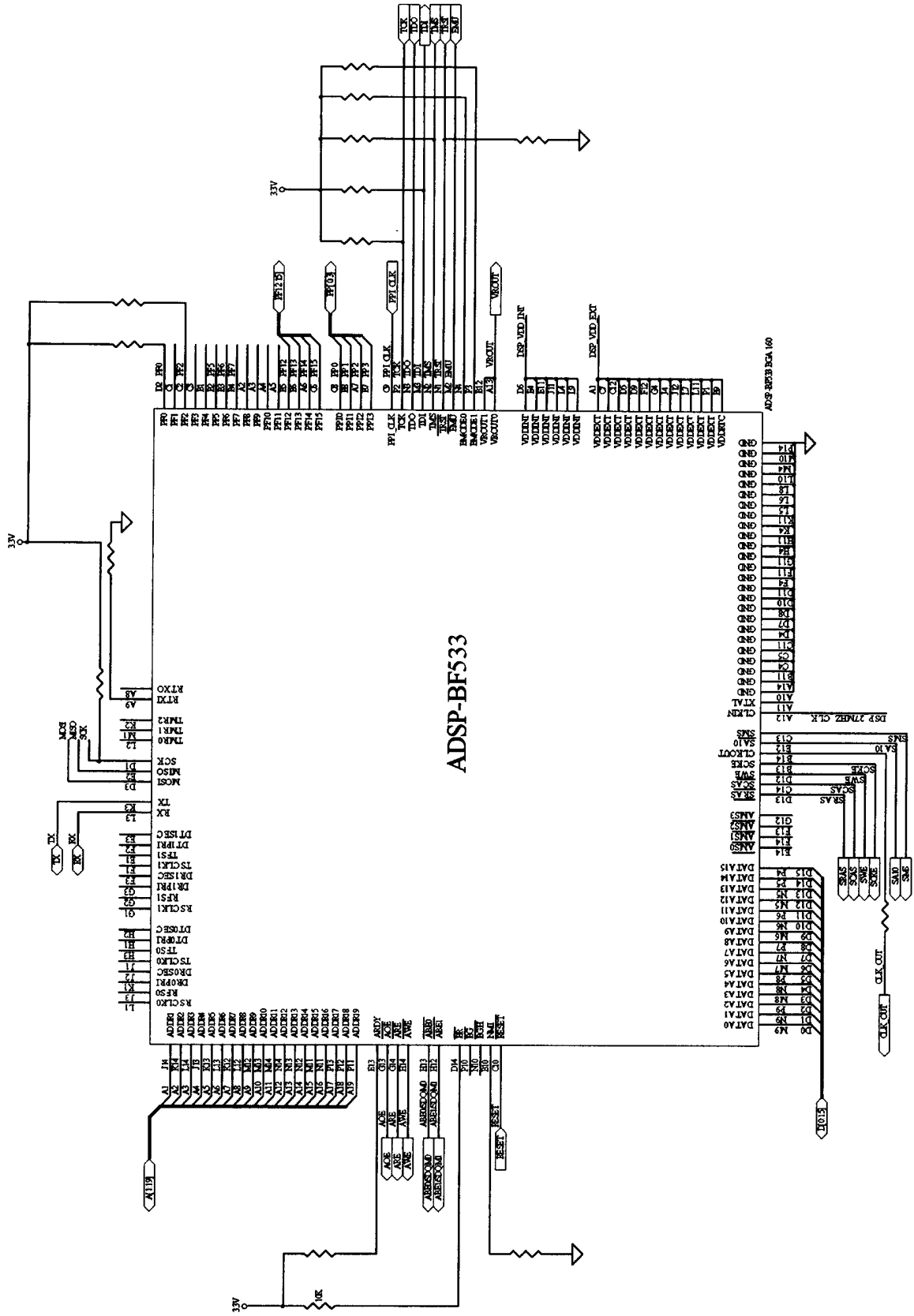


图 13

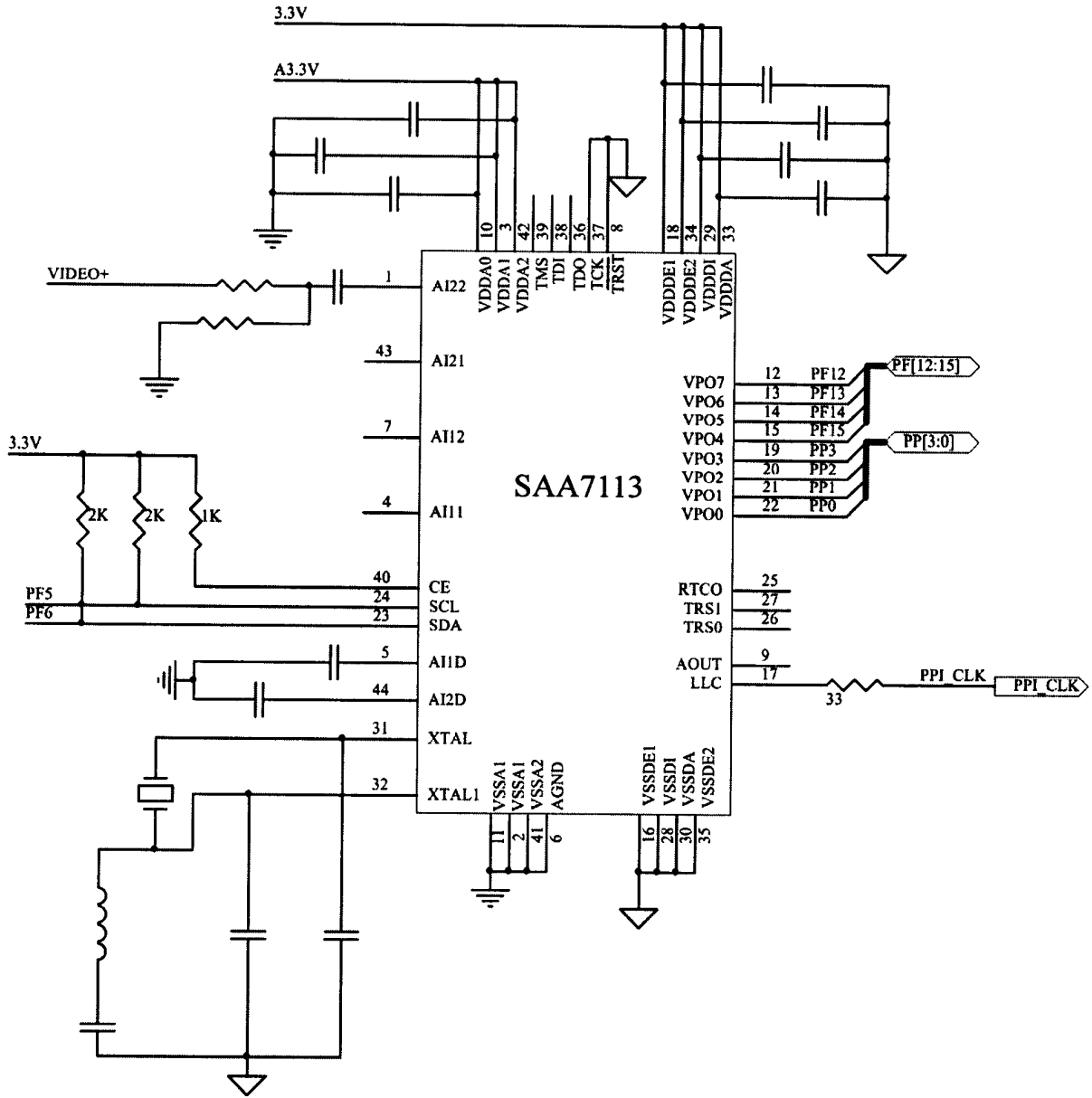


图 14

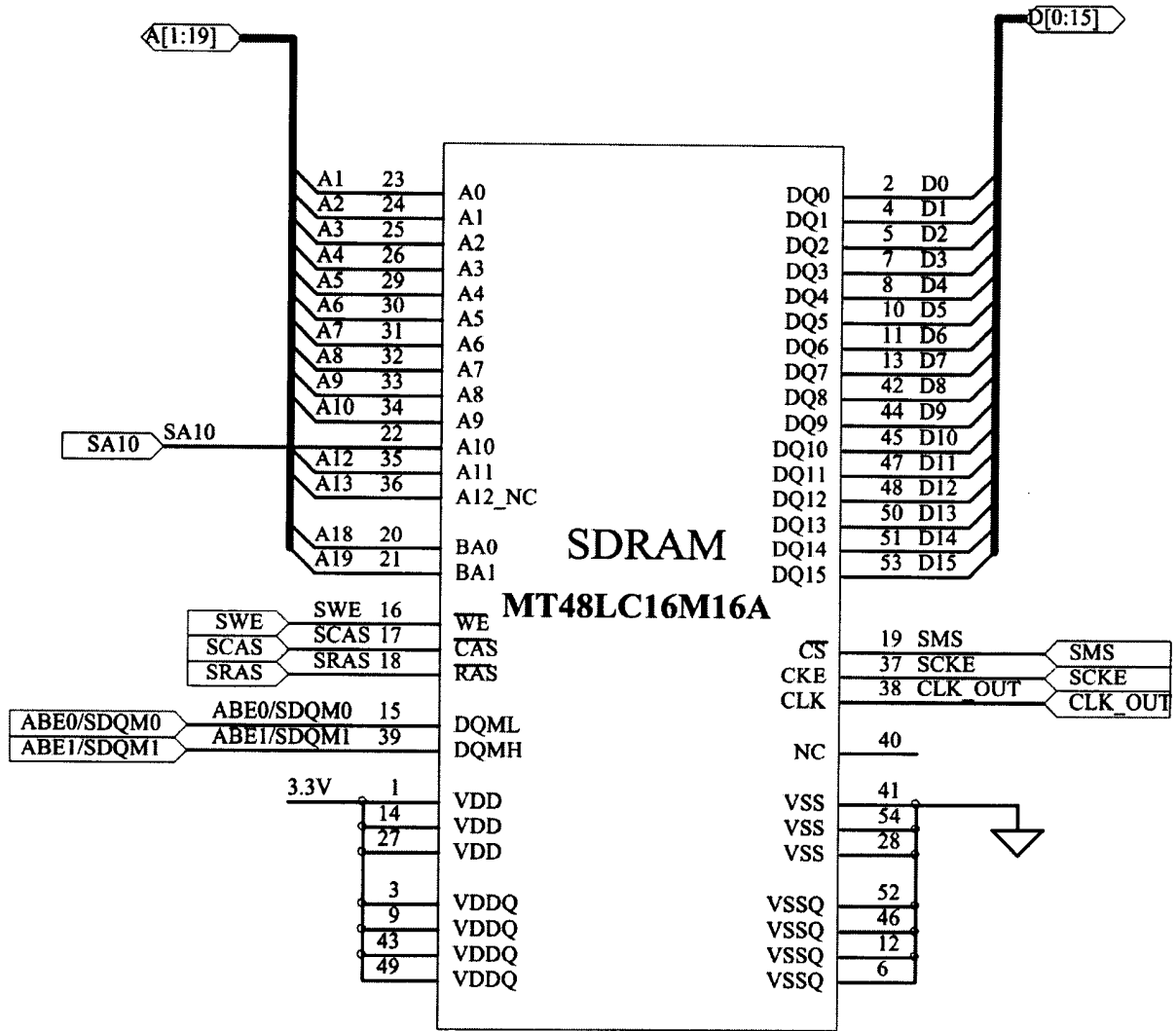


图 15

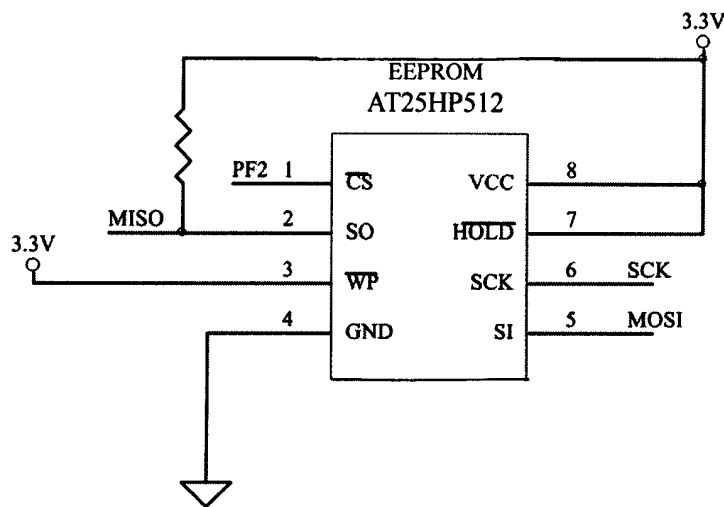


图 16

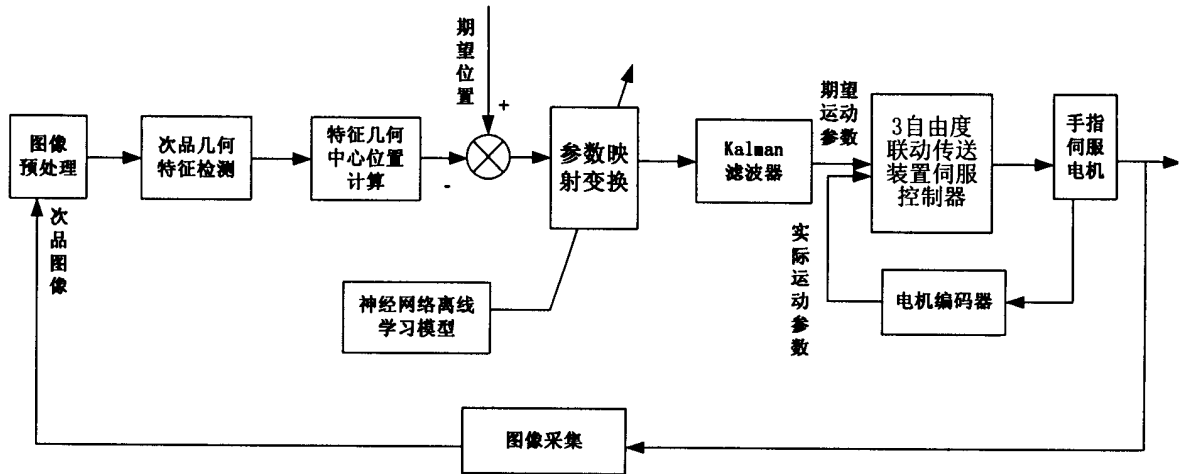


图 17

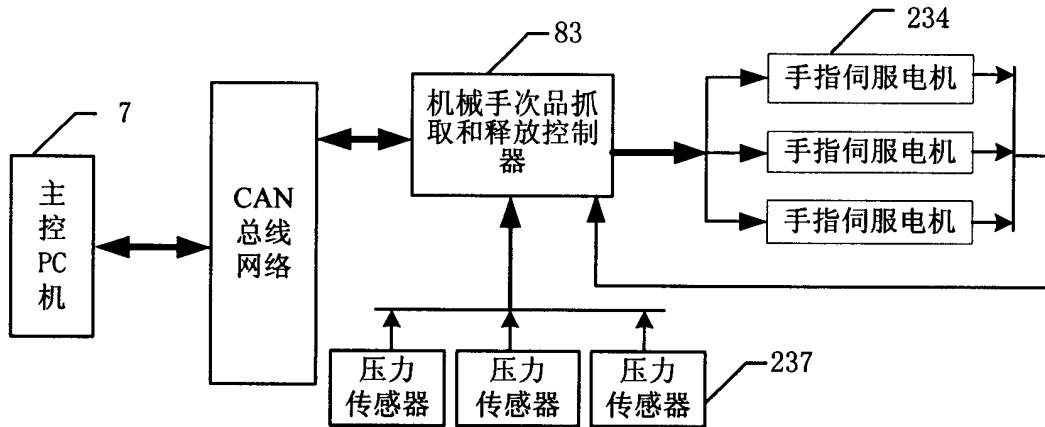


图 18

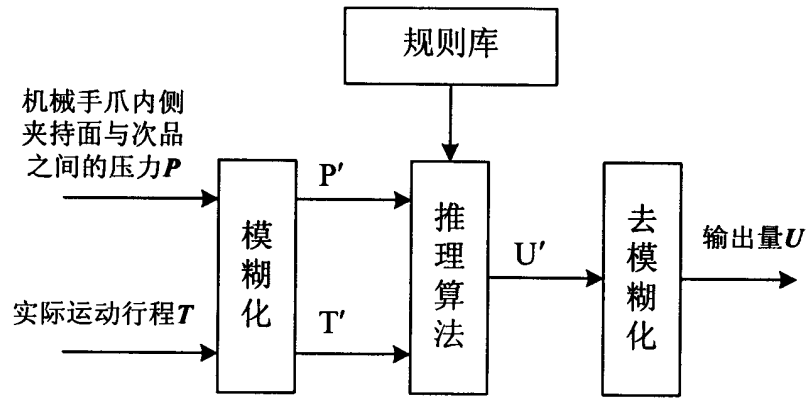


图 19

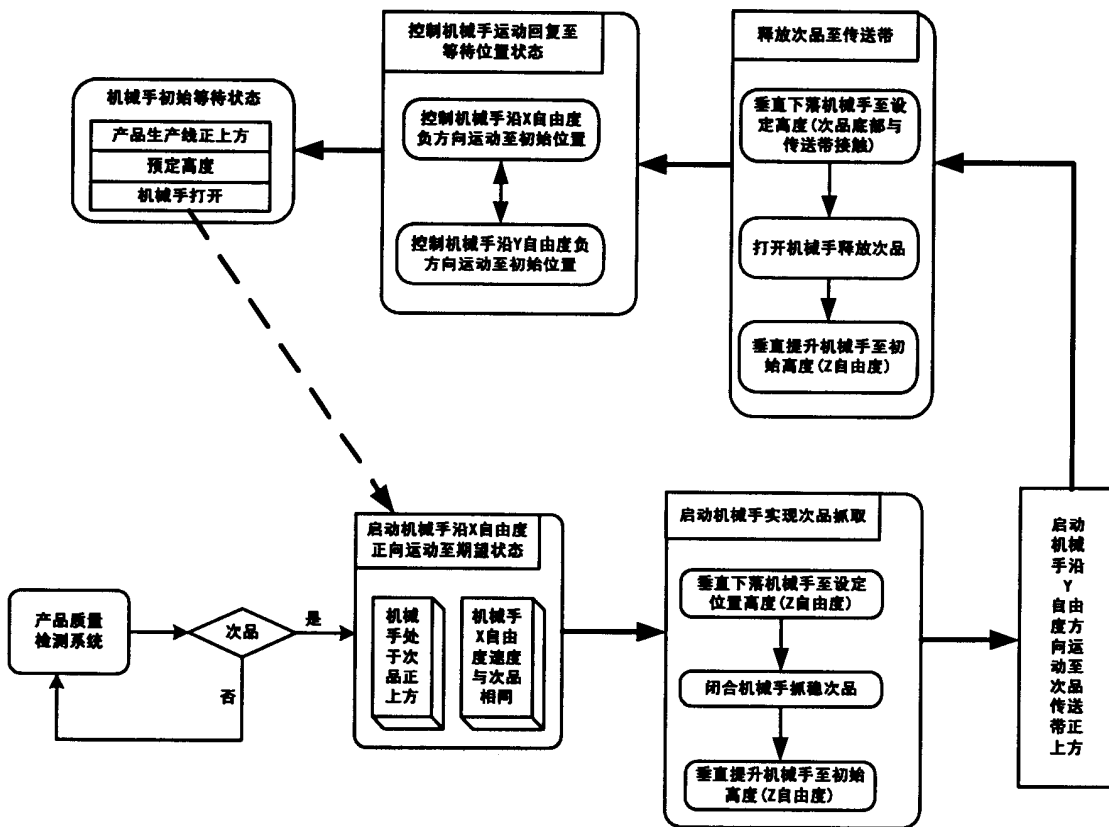


图 20

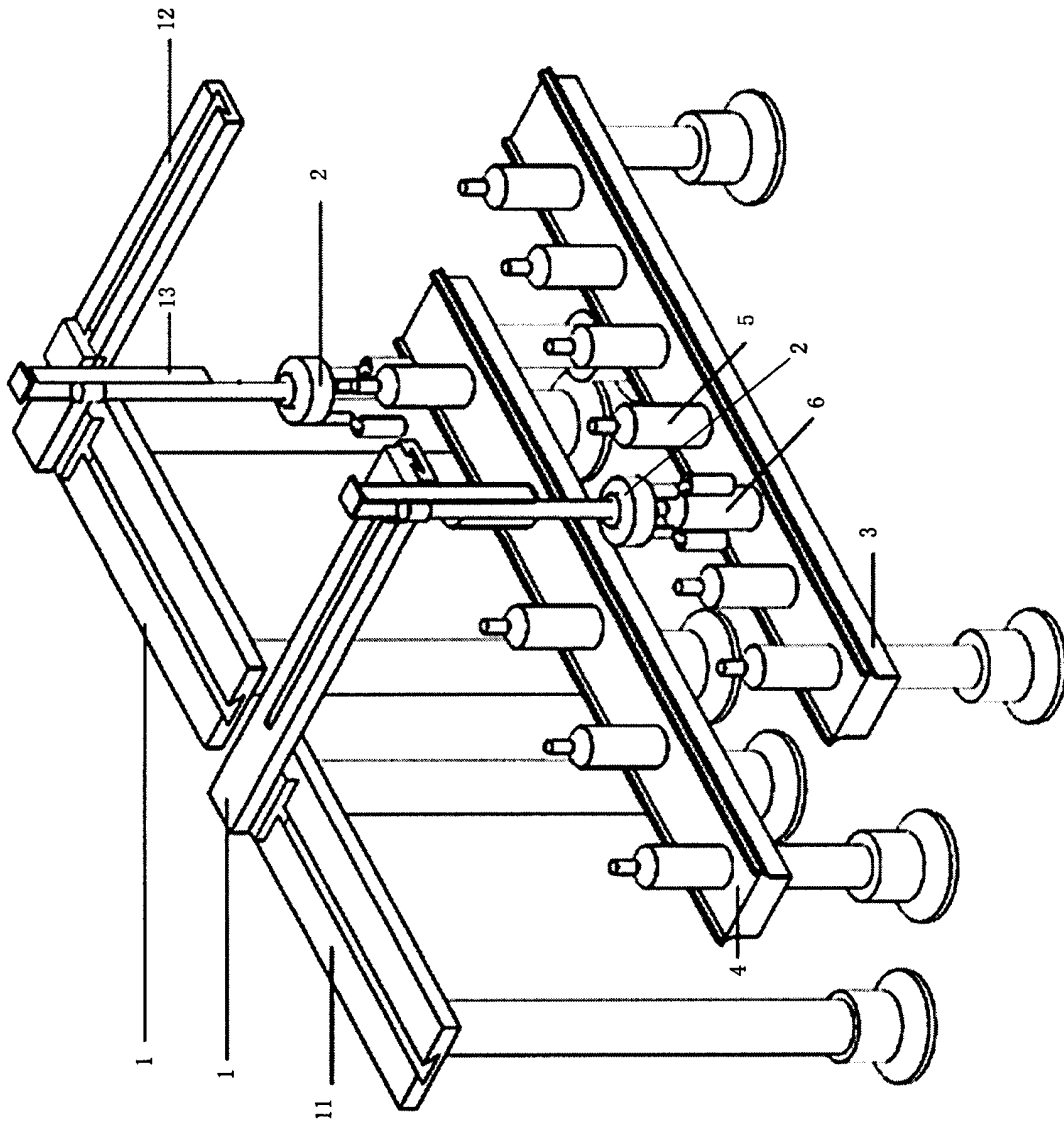


图 21