(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110989525 A
(43)申请公布日 2020.04.10

(21)申请号 201911251960.4

(22)申请日 2019.12.09

(71)申请人 北京航空航天大学
地址 100191 北京市海淀区学院路37号

(72)发明人 张月红 郑联语 刘新玉

(74)专利代理机构 北京慕达星云知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 11465
代理人 曹鹏飞

(51)Int.Cl.
G05B 19/418(2006.01)

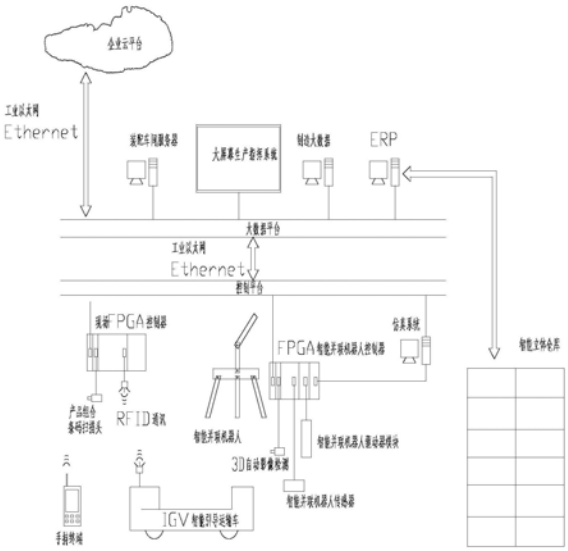
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统及方法,包括企业云平台,企业云平台通过工业以太网连接装配车间服务器、制造大数据管理服务器、智能生产线控制平台;智能生产线控制平台通过CAN总线连接现场FPGA控制器,现场FPGA控制器无线连接有RFID无线通讯调度智能运输车、并联机器人。由现场FPGA控制器、集成了3D立体摄像头检测系统完成视镜导引功能的并联机器人进行现场作业,并将所有采集信息反馈到现场FPGA控制器,现场FPGA根据现场信息,通过工艺信息和装配信息分析,实现并联机器人的协同作业规划和动态路径规划,指挥现场并联机器人的协同作业,对装配控制信息通过现场工业控制网络进行更新存储,完成装配工艺流程的自动化控制。



CN 110989525 A

1.一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统，其特征在于：包括企业云平台，所述企业云平台通过工业以太网连接装配车间服务器、制造大数据管理服务器、智能生产线控制平台；所述智能生产线控制平台通过CAN总线连接现场FPGA控制器，所述现场FPGA控制器无线连接有RFID无线通讯调度智能运输车、智能并联机器人；

所述企业云平台向所述装配车间服务器发送装配车间生产命令；

所述装配车间服务器根据所述装配车间生产命令产生生产计划数据，并发送至所述制造大数据管理服务器；

所述制造大数据管理服务器根据所述生产计划数据分析产生动作指令，并发送至所述智能生产线控制平台；

所述智能生产线控制平台的仿真系统根据产品装配信息，将装配控制信息发送至所述现场FPGA控制器；

所述现场FPGA控制器设置有条码扫描头，用于扫描产品条码并获得产品已装配和待装配信息；结合所述仿真系统发送的装配控制信息，自动产生当前产品生产工艺流程，形成产品装配控制反馈命令，更新所述装配信息，将更新后的所述装配控制信息无线发送至RFID无线通讯调度智能运输车和各个所述并联机器人；

所述并联机器人设置有3D立体摄像头检测系统，用于将现场3D图形信息反馈至现场FPGA控制器，并进行作业视镜导引。

2.根据权利要求1所述的一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统，其特征在于，所述制造大数据管理服务器根据所述生产计划数据分析产生装配生产计划，并发送至所述企业云平台。

3.根据权利要求1所述的一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统，其特征在于，还包括与所述制造大数据管理服务器通过工业以太网连接的ERP管理计算机，所述ERP管理计算机通过工业以太网连接有智能立体仓库，所述制造大数据管理服务器将物料供给计划通过所述ERP管理计算机的工业以太网口发送到所述智能立体仓库。

4.根据权利要求3所述的一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统，其特征在于，所述现场FPGA控制器上设置有RFID通讯模块，无线连接所述RFID无线通讯调度运输车，所述RFID无线通讯调度运输车根据所述产品已装配和待装配信息将待装配的零部件运送到所述并联机器人所在的生产线工位。

5.根据权利要求1所述的一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统，其特征在于，所述现场FPGA控制器在产品装配完成后，更新所述产品信息形成新的条码，并通过工业以太网反馈至所述企业云平台。

6.根据权利要求1所述的一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统，其特征在于，所述并联机器人设置有激光跟踪系统，用于现场工作的同时进行装配位置精度检测，并将检测数据通过工业以太网口发送回现场FPGA控制器。

7.根据权利要求1所述的一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统，其特征在于，还包括手持终端，所述手持终端与所述现场FPGA控制器无线连接，用于接收装配控制信息。

8.根据权利要求1所述的一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统，其特征在于，所述现场FPGA控制器根据所述3D立体摄像头检测系统发回的3D图形信息，经过图形处理，和所述产品数据信息分析后，结合仿真系统给出的并联机器人装配控制信息，所述装配指

令形成更新后的并联机器人装配控制信息，包括当前零部件装配工艺和装配空间路径，安装位置坐标和安装尺寸误差，并将更新后的并联机器人装配控制信息发送到相关并联机器人和手持终端。

9.一种根据权利要求1～8所述的基于FPGA的产品智能装配生产线监控方法，其特征在于，包括如下步骤：

读取产品条码，确定产品已装配和待装配信息的步骤；

通过工业以太网获取产品装配控制命令、物料供给计划，分析产生产品装配步骤；

现场FPGA控制器根据所述装配计划及装配控制信息，结合已装配和待装配信息，自动产生当前产品生产工艺流程，形成产品装配控制反馈命令，对产品装配计划内的信息进行更新的步骤；

将更新后的所述装配控制信息无线发送至RFID无线通讯调度智能运输车和各个所述并联机器人，进行物料运输和产品装配的步骤；

将现场3D图形信息反馈至现场FPGA控制器，并进行作业视镜导引的步骤。

10.根据权利要求9所述的并联智能机器人自动导引方法，其特征在于，还包括如下步骤：

将更新后的所述产品装配信息进行存储，并发送更新后的装配控制信息至手持终端；

所述现场FPGA控制器在产品装配完成后，更新所述产品信息形成新的条码并进行云存储。

一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及产品装配智能控制技术领域，特别涉及一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统及方法。

背景技术

[0002] 随着互连网技术和人工智能技术的日益成熟，智能机器人开始出现在焊接、冶金、化工、军事、生产装配等具有危害、危险或重复性高的工作场所，取代人进行部分工作。应用相应的智能机器人进入生产、工作场地，替代人进行危险、危害、重复性高、空间小，人员难以作业等等的环境下，利用智能机器人和智能生产设备，通过人与机器的协调或机器与机器的协调，完成生产任务是目前需要积极组织实施的主要方面。

[0003] 以往的装配生产线组合形式大多采用普通机器人与AGV搭配使用，通过云计算机控制。其缺点是信息传递是都通过云端进行交互，随着工作量的逐渐增加，易发生信息拥堵现象。且使用的机器人为普通机器人，功能较为单一。其功能仅仅是在操作上替代人为劳动，对自主决策方面应用不足，不能实现自主判断，尤其是在安装工序较长时，等待时间较长。并联机器人目前国外也开始逐步从研发进入到应用领域，还没有将其应用到智能装配生产线领域。FPGA控制器虽然目前使用较为广泛，但在装配生产线领域如何配合工业以太网实现智能监控还未见应用。

[0004] 因此，如何提供一种基于FPGA，有效提高生产效率和装配精度的大型产品智能装配生产线监控系统及方法是本领域技术人员亟待解决的技术问题。

发明内容

[0005] 本发明针对上述研究现状和存在的问题，提供了一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统及方法，由现场FPGA控制器、集成了3D立体摄像头检测系统完成视镜导引功能的并联机器人进行现场作业，并将所有采集信息反馈到现场FPGA控制器，现场FPGA根据现场信息，通过产品装配信息分析，实现并联机器人的协同作业规划和动态路径规划，指挥现场并联机器人的协同作业，对装配控制信息通过现场工业控制网络进行更新存储，完成装配工艺流程的自动化控制。

[0006] 本发明提供的一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统，包括企业云平台，所述企业云平台通过工业以太网连接装配车间服务器、制造大数据管理服务器、智能生产线控制平台；所述智能生产线控制平台通过CAN总线连接现场FPGA控制器，所述现场FPGA控制器无线连接有RFID无线通讯调度智能运输车、并联机器人；

[0007] 所述企业云平台向所述装配车间服务器发送装配车间生产命令；

[0008] 所述装配车间服务器根据所述装配车间生产命令产生生产计划数据，并发送至所述制造大数据管理服务器；

[0009] 所述制造大数据管理服务器根据所述生产计划数据分析产生产品装配信息，并发送至所述智能生产线控制平台；

[0010] 所述智能生产线控制平台的仿真系统根据产品装配工艺要求及技术要求，将装配控制信息发送至所述现场FPGA控制器；

[0011] 所述现场FPGA控制器设置有条码扫描头，用于扫描产品条码并获得产品已装配和待装配信息；结合所述仿真系统发送的装配控制信息，自动产生当前产品生产工艺流程，形成产品装配控制反馈命令，更新所述产品装配指令，将更新后的所述装配控制信息无线发送至RFID无线通讯调度智能运输车和各个所述并联机器人；

[0012] 所述并联机器人设置有3D立体摄像头检测系统，用于将现场3D图形信息反馈至现场FPGA控制器，并进行作业视镜导引。

[0013] 优选的，所述制造大数据管理服务器根据所述生产计划数据分析产生产品装配计划，并发送至所述企业云平台。

[0014] 优选的，还包括与所述制造大数据管理服务器通过工业以太网连接的ERP管理计算机，所述ERP管理计算机通过工业以太网连接有智能立体仓库，所述制造大数据管理服务器将物料供给计划通过所述ERP管理计算机的工业以太网口发送到所述智能立体仓库。

[0015] 优选的，所述现场FPGA控制器上设置有RFID通讯模块，无线连接所述RFID无线通讯调度运输车，所述RFID无线通讯调度运输车根据所述产品已装配和待装配信息将待装配的零部件运送到所述并联机器人所在的生产线工位。

[0016] 优选的，所述现场FPGA控制器在产品装配完成后，更新所述产品信息形成新的条码，并通过工业以太网反馈至所述企业云平台。

[0017] 优选的，所述并联机器人设置有激光跟踪系统，用于现场工作的同时进行装配位置精度检测，并将检测数据通过工业以太网口发送回现场FPGA控制器。

[0018] 优选的，还包括手持终端，所述手持终端与所述现场FPGA控制器无线连接，用于接收装配控制信息。

[0019] 优选的，所述现场FPGA控制器根据所述3D立体摄像头检测系统发回的3D图形信息，经过图形处理，和所述产品装配要求分析后，结合仿真系统给出的并联机器人装配控制信息，所述产品装配指令形成更新后的并联机器人装配控制信息，包括当前零部件装配工艺和装配空间路径，安装位置坐标和安装尺寸误差，并将更新后的并联机器人装配控制信息发送到相关并联机器人和手持终端。

[0020] 优选的，所述装配车间生产命令包括产品型号、数量等；所述生产计划数据包括配套件生产单位生产计划、采购数量计划等；所述产品装配指令的控制信息包括产品图纸，工艺、加工程序，工装、道具、附料明细、并联机器人控制指令等。

[0021] 本发明还提供了一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控方法，包括如下步骤：

[0022] 读取产品条码，确定产品已装配和待装配信息的步骤；

[0023] 通过工业以太网获取产品装配控制命令、物料供给计划，分析产生产品装配计划的步骤；

[0024] 现场FPGA控制器根据所述产品装配计划及装配控制信息，结合已装配和待装配信息，自动产生当前产品生产工艺流程，形成产品装配控制反馈命令，对产品装配工艺要求内的控制信息进行更新的步骤；

[0025] 将更新后的所述装配控制信息无线发送至RFID无线通讯调度智能运输车和各个所述并联机器人，进行物料运输和产品装配的步骤；

[0026] 将现场3D图形信息反馈至现场FPGA控制器，并进行作业视镜导引的步骤。

[0027] 优选的，还包括如下步骤：

[0028] 将更新后的所述产品装配控制信息进行存储，并发送更新后的装配控制信息至手持终端，进行人机协同作业；

[0029] 所述现场FPGA控制器在产品装配完成后，更新所述产品信息形成新的条码并进行云存储。

[0030] 本发明相较现有技术具有以下有益效果：

[0031] 本发明通过云平台仅获取装配车间生产命令，智能生产线控制平台根据产品生产计划、仿真系统进行装配流程的更新，结合现场FPGA控制器对转配控制信息的控制，以及物料攻击计划的有效结合，对生产线实时生产的产品装配过程进行及时调整，避免了由于信息传递不及时，导致的冗余工作量的增加，以及信息拥堵现象。本发明不仅可以提高生产效率和装配精度，还可以通过手持终端进行操作演示来完成人机协调和功能调整，灵活改变用途，任务适应性得到大幅提升，使该智能装配生产线可以柔性高效低适应小批量、多品种装配生产需要。

附图说明

[0032] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0033] 图1是本发明提供的基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统的总体结构示意图；

[0034] 图2是本发明提供的基于FPGA的产品智能装配生产线监控方法流程示意图；

[0035] 图3是本发明提供的现场FPGA控制器的通讯接口设计框图；

[0036] 图4是本发明提供的现场FPGA控制器3D立体摄像头检测系统框图。

具体实施方式

[0037] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0038] 参见说明书附图1，本发明实施例公开了一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统，包括企业云平台，企业云平台通过工业以太网连接装配车间服务器、制造大数据管理服务器、智能生产线控制平台；智能生产线控制平台通过CAN总线连接现场FPGA控制器，现场FPGA控制器无线连接有RFID无线通讯调度智能运输车、并联机器人；

[0039] 企业云平台向装配车间服务器发送装配车间生产命令；装配车间服务器根据装配车间生产命令产生生产计划数据，并发送至制造大数据管理服务器；制造大数据管理服务器根据生产计划数据分析产生产品装配计划，并发送至智能生产线控制平台和企业云平台；智能生产线控制平台的仿真系统根据产品装配要求，将装配控制信息发送至现场FPGA

控制器;现场FPGA控制器设置有条码扫描头,用于扫描产品条码并获得产品已装配和待装配信息;综合仿真系统发送的装配控制信息,自动产生当前产品生产工艺流程,形成产品装配控制反馈命令,更新产品装配控制指令,将更新后的装配控制信息无线发送至RFID无线通讯调度智能运输车和各个并联机器人;并联机器人设置有3D立体摄像头检测系统,用于将现场3D图形信息反馈至现场FPGA控制器,并进行作业视镜导引。现场FPGA控制器在产品装配完成后,更新产品信息形成新的条码,并通过工业以太网反馈至企业云平台。

[0040] 还包括与制造大数据管理服务器通过工业以太网连接的ERP管理计算机,ERP管理计算机通过工业以太网连接有智能立体仓库,制造大数据管理服务器将物料供给计划通过ERP管理计算机的工业以太网口发送到智能立体仓库。现场FPGA控制器上设置有RFID通讯模块,无线连接RFID无线通讯调度运输车,RFID无线通讯调度运输车根据产品已装配和待装配信息将待装配的零部件从智能立体仓库运送到并联机器人所在的生产线工位。

[0041] 在一个具体的实施例中,装配生产线组成包括:N个工位,每个工位两台并联智能机器人协同动作,并联机器人设置有激光跟踪系统,用于现场工作的同时进行装配位置精度检测,并将检测数据通过工业以太网口发送回现场FPGA控制器。在协同作业时,可以采用一个集成3D立体摄像头检测系统的并联机器人完成视镜导引功能、另一个加装激光跟踪系统的并联机器人进行安装位置测量定位的方式。协同作业并联智能机器人还设置有多用途操作头工具库,根据实际需求自动更换工具。

[0042] 在一个具体的实施例中,还包括手持终端,手持终端与现场FPGA控制器无线连接,用于接收装配控制信息。完成现场智能并联机器人与现场智能并联机器人的协同作业规划和动态路径规划,指挥现场智能机器人及工作人员进行协同作业,包括智能并联机器人和现场工作人员协同作业,并将相关信息通过现场工业控制网络,反馈到企业云平台。手持终端可以采用如下技术方案:包括3.5寸液晶触摸屏,用于信息的显示和信息输入,同时配有功能键盘进行设备操作;支持MIRCOSOFT WINDOS CE 5.0系统,内置RFID通讯模块,可以接收、发送现场FPGA控制器控制信息,进行设备操作;内置GSM/GPRS模块,支持多通道并行通信;可以接收各服务器通过基站发送的短信、彩信等信息。

[0043] 在一个具体的实施例中,现场FPGA控制器根据3D立体摄像头检测系统发回的3D图形信息,经过图形处理,和产品图形信息分析后,结合仿真系统给出的并联机器人装配控制信息,产品装配控制指令形成更新后的并联机器人装配控制信息,包括当前零部件装配工艺和装配空间路径,安装位置坐标和安装尺寸误差,并将更新后的并联机器人装配控制信息发送到相关并联机器人和手持终端。

[0044] 参见说明书附图4,为3D立体摄像头检测系统,包括3D摄像头A、B完成原始图象采集;摄像头控制逻辑模块和图象处理模块将摄像头A、B采集的图象经LCD控制逻辑模块显示到LCD显示模块上,图象处理模块可以实现图象初级处理和识别,同时将图象发送到FPGA软核处理器,进行目标图象空间坐标计算,并将计算结果通过UART通讯口发送到仿真系统,由仿真系统进行运算、校后,将结果通过工业控制网络发送到现场FPGA控制器,现场FPGA控制器调用产品装配控制指令发送控制指令到相应智能并联机器人完成产品零部件装配。

[0045] 根据位置规划防碰撞装配路径,相互配合完成钻孔、安装螺栓、焊接、通过增加调整垫片调整高低及调整位置等功能,信息通过工控网实时反馈,实现智能装配。其优点是根据提前设定好哪些工序可以并行、哪些工序必须有先后顺序的情况,通过产品装配控制指

令自主决策，在没有相互制约的装配关系下，有些工序可以交叉进行。

[0046] 参见说明书附图2，本发明实施例还提供了一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控方法，包括如下步骤：

[0047] 读取产品条码，确定产品已装配和待装配信息的步骤；

[0048] 通过工业以太网获取产品装配控制命令、物料供给计划，分析产生产品装配步骤；

[0049] 现场FPGA控制器根据产品装配控制信息，结合已装配和待装配信息，自动产生当前产品生产工艺流程，形成产品装配控制反馈命令，对产品装配计划内的装配控制信息进行更新的步骤；

[0050] 将更新后的装配控制信息无线发送至RFID无线通讯调度智能运输车和各个并联机器人，进行物料运输和产品装配的步骤；

[0051] 将现场3D图形信息反馈至现场FPGA控制器，并进行作业视镜导引的步骤。

[0052] 其中，还包括如下步骤：

[0053] 将更新后的产品装配计划进行存储，并发送更新后的装配控制信息至手持终端；

[0054] 现场FPGA控制器在产品装配完成后，更新产品信息形成新的条码并进行云存储。

[0055] 具体的实施过程如下：

[0056] 企业云平台通过工业以太网与各个生产单位、技术部门、调度管理部门连接，对整个企业生产、管理、运营的数据进行采集和分析管理，各个单位之间的产品计划、产品生产状态信息传递和产品生产命令下达也通过企业云平台完成，装配车间包括装配生产线、装配车间服务器、制造大数据管理服务器、智能生产线控制平台、ERP管理计算机和大屏幕生产指挥系统，装配车间服务器主要负责整个车间网络管理，通过工业以太网接口接收企业云平台发送的本装配车间产品生产命令(包括型号、数量、计划等)，同时将产品生产装配有关的生产计划数据(如配套件生产单位生产计划、采购部门采购计划)，通过工业以太网接口，发送到本车间制造大数据管理服务器，制造大数据管理服务器通过工业以太网接口接收装配车间服务器发送的生产计划数据，经分析后，通过工业以太网接口向智能生产线控制平台、企业云平台、相关单位服务器、仿真系统发布产品装配指令，即本单位生产命令及相关技术文件(产品图纸、工艺、加工程序、工装、刀具、附料)。同时大屏幕生产指挥系统通过工业以太网口接发收本单位内部生产计划并显示在大屏幕上，同时将物料相关供给计划要求通过本单位ERP管理计算机的工业以太网口发送到智能立体仓库，同时，将产品装配指令发送到智能生产线控制平台。

[0057] 其中，企业各相关单位服务器通过工业以太网口接收产品生产信息，根据信息自动完成本单位生产计划、技术文件调用、物料信息供给要求等信息，并将本车间分析后形成的产品生产信息通过工业以太网口发送回企业云管理平台，企业云管理平台汇总所有相关信息，分析确认后，发布装配车间生产命令到各相关单位。

[0058] 智能生产线控制平台的仿真系统通过工业以太网口接收产品装配信息、命令，将产品装配各零部件装配工艺、公差要求、并联机器人装配控制PID信息和PWM控制指令通过以太网口发送到现场FPGA控制器，现场FPGA控制器通过工业以太网口接收的仿真系统产品装配设备控制信息相关信息，对现场并联机器人、并联机器人用多用途操作头进行排列组合，同时通过无线网络向现场工作人员手持终端发送任务命令和工作信息。

[0059] 待产品装配主体进入本装配车间智能装配生产线后，现场FPGA控制器通过产品组

合条码扫描头扫描要装配的产品主体条码，读取相关产品装配所有信息，包括所有控制尺寸误差、已装配零部件状态、需要本智能装配生产线完成的装配作业内容等，综合生产装配命令、计划、仿真系统发送的技术文件和ERP管理系统发送的物料仓储信息、供给计划、各生产零部件生产进度计划等物料供给信息，现场FPGA控制器自动安排生产装配工艺流程，同时现场FPGA控制器通过RFID无线通讯调度智能运输车前往智能立体仓库按计划进行物料搬运，同时现场FPGA控制器根据实际情况进行生产计划调整和装配工艺调整，形成新的生产装配计划和命令，现场根据实时发布的生产计划和命令，将装配所需产品装配指令(包括生产装配信息、智能机器人控制命令)通过工业以太网口发送到各个并联机器人和工作人员手持终端，进行并联机器人与并联机器人之间的协同配合工作组合、并联机器人与工作人员之间的协同配合工作组合，智能运输车将要装配的零件或部件运送到智能生产线。

[0060] 本智能装配生产线并联智能机器人集成了3D立体摄像头检测系统，进行并联智能机器人作业视镜导引，同时还加装了激光跟踪系统，进行安装位置测量定位，每个并联智能机器人配备有多种多用途操作头，用以完成多种作业。作业过程中，3D立体摄像头检测系统根据所配集成视觉系统将现场的情况发送回现场FPGA控制器，现场FPGA控制器根据发回的3D图形信息，经过图形处理，获得产品零部件安装路径情况、安装位置坐标和安装尺寸误差，经产品装配仿真分析后，形成本零件或部件装配工艺和装配空间路径，并将相关控制信息发送到相关并联机器人和工作人员手持终端，指挥协同作业并联智能机器人组合进行产品装配作业，装配完成后，更新产品信息形成新的条形码。

[0061] 对于缺件信息通过工业以太网发送到ERP管理平台和云管理平台，进行物料供给调度。

[0062] 新的产品进行装配前，仿真系统与现场FPGA控制器通过CAN总线进行通讯连接，将仿真系统形成的控制信息和装配工艺信息发送到现场FPGA控制器，现场FPGA控制器通过CAN接口接收上述信息后，控制并联机器人进行模拟装配，形成产品装配控制信息和设备控制命令，在经过实际产品装配校核后，形成新的产品装配指令，并通过现场FPGA控制器工业以太网接口发送该产品装配控制指令到仿真系统进行存储。

[0063] 参见说明书附图3，是现场FPGA控制器的通讯接口，整个系统分为发送模块、接收模块、MAC状态模块、MAC控制模块、MII管理模块和主机接口模块六部分。发送模块和接收模块主要提供MAC帧的发送和接收功能，其主要操作有MAC帧的封装与解包以及错误检测，它直接提供了到外部物理层芯片的并行数据接口。在实现中物理层处理直接利用商用的千兆PHY芯片，主要开发量集中在MAC控制器的开发上。MAC控制模块则用于执行全双工模式中的流量控制功能。MAC状态模块可用来监视MAC操作过程的各种状态信息，并作修改。MII管理模块提供了标准的IEEE 802.3介质独立接口，可用于连接以太网的链路层与物理层。主机接口则提供以太网控制器与上层协议(如TCP/IP协议)之间的接口，以用于数据的发送、接收以及对控制器内各种寄存器(控制、状态和命令寄存器)的设置。MAC发送模块可将上层协议提供的数据封装之后通过MII接口发送给PHY。发送模块可接收主机接口模块的数据帧开始和数据帧结束标志，并通过主机接口从外部存储器中读取要发送的数据，然后对数据进行封装，再通过PHY提供的载波侦听和冲突检测信号，在信道空闲时由MII接口将数据以4位的宽度发送给PHY芯片，最后由PHY将数据发送到网络上。

[0064] 以上对本发明所提供的一种基于FPGA的产品智能装配生产线监控系统及方法进

行了详细介绍，本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本发明的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

[0065] 在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

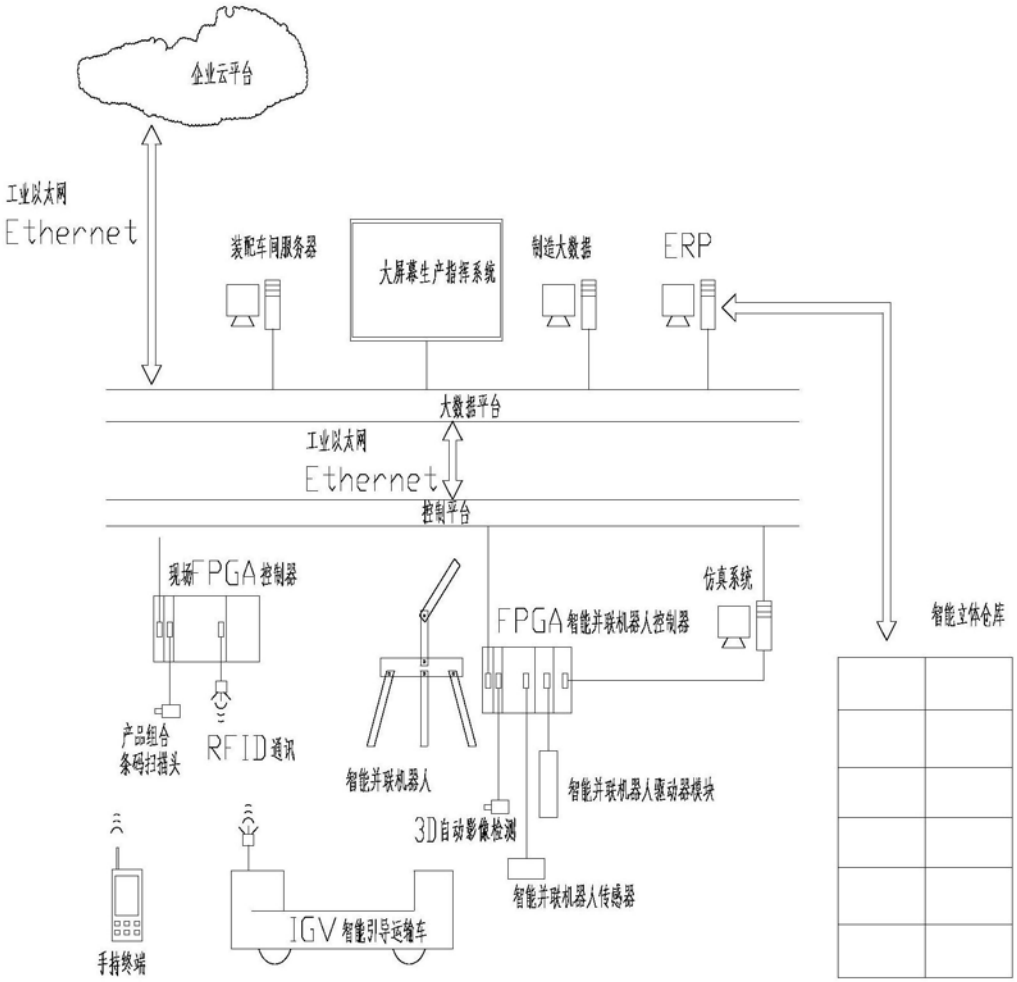

企业云平台
工业以太网
Ethernet
装配车间服务器
大屏幕生产指挥系统
制造大数据
ERP
大数据平台
工业以太网
Ethernet
控制平台
现场FPGA控制器
仿真系统
FPGA智能并联机器人控制器
智能立体仓库
产品组合
条码扫描头
RFID通讯
智能并联机器人
智能并联机器人驱动器模块
3D自动影像检测
智能并联机器人传感器
手持终端
IGV智能引导运输车

图1

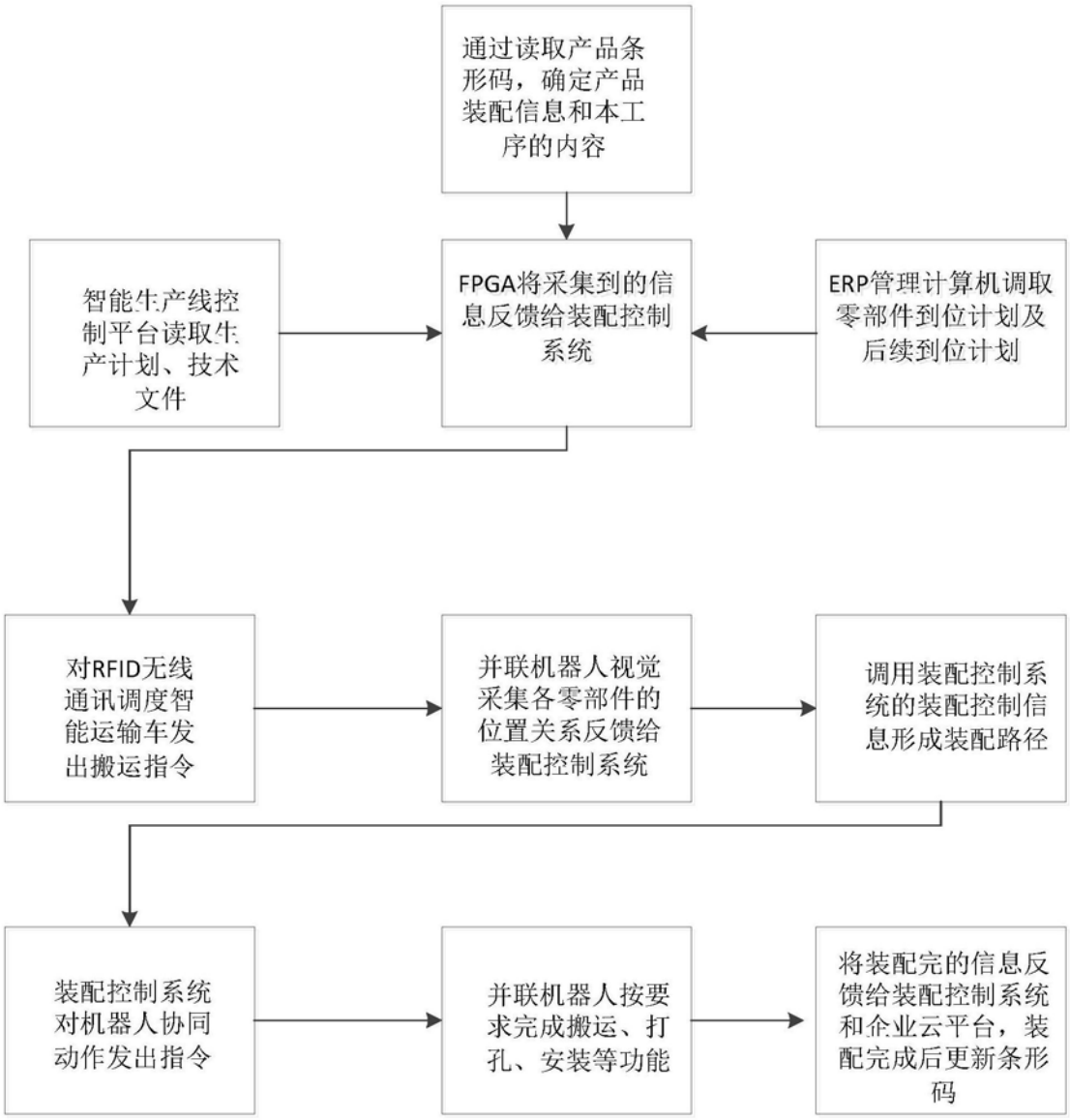

通过读取产品条形码，确定产品装配信息和本工序的内容
智能生产线控制平台读取生产计划、技术文件
FPGA将采集到的信息反馈给装配控制系统
ERP管理计算机调取零部件到位计划及后续到位计划
对RFID无线通讯调度智能运输车发出搬运指令
并联机器人视觉采集各零部件的位置关系反馈给装配控制系统
调用装配控制系统的装配控制信息形成装配路径
装配控制系统对机器人协同动作发出指令
并联机器人按要求完成搬运、打孔、安装等功能
将装配完的信息反馈给装配控制系统和企业云平台，装配完成后更新条形码

图2

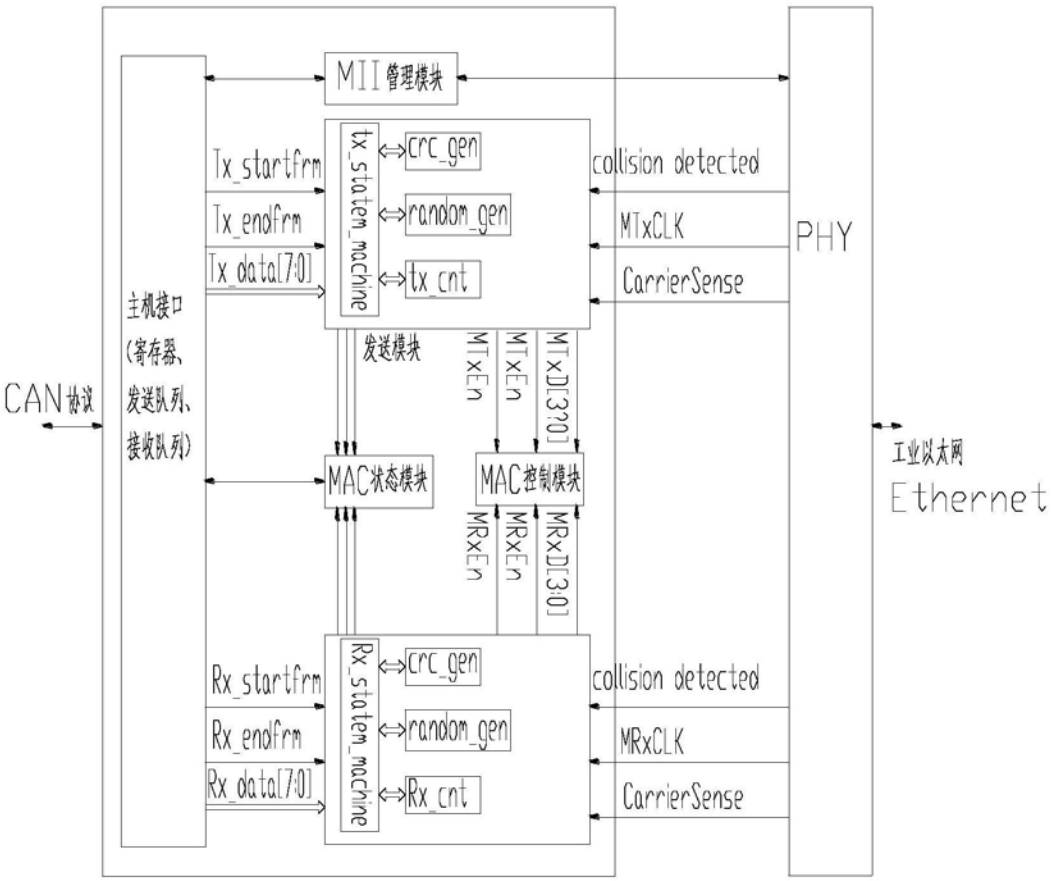

MII管理模块
tx_statem_machine
crc_gen
random_gen
tx_cnt
Tx_startfrm
Tx_endfrm
Tx_data[7:0]
collision detected
MTxCLK
CarrierSense
PHY
主机接口
(寄存器、
发送队列、
接收队列)
CAN协议
发送模块
MTxEn
MTxEn
MTxD[3?0]
MAC状态模块
MAC控制模块
MRxEn
MRxEn
MRxD[3:0]
工业以太网
Ethernet
Rx_statem_machine
crc_gen
random_gen
Rx_cnt
Rx_startfrm
Rx_endfrm
Rx_data[7:0]
collision detected
MRxCLK
CarrierSense

图3

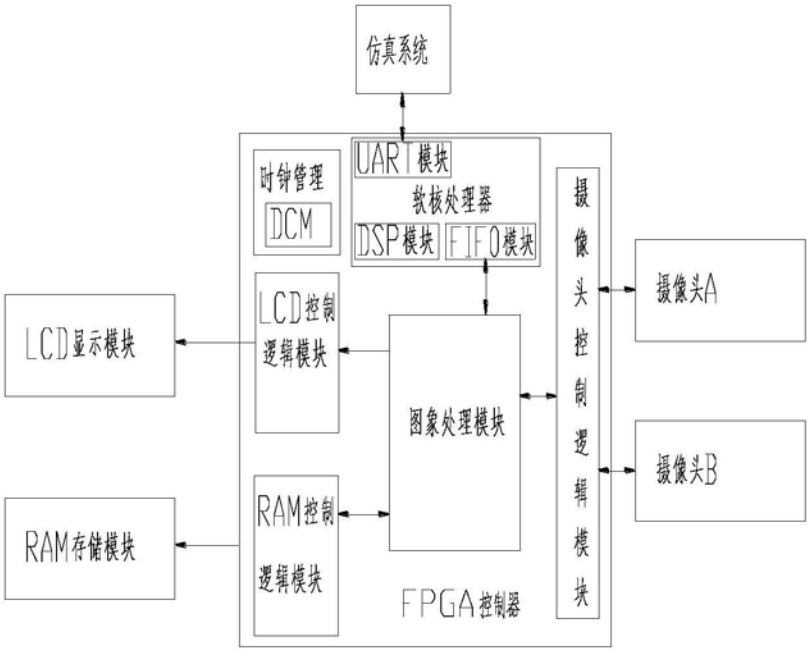

仿真系统
时钟管理
DCM
UART模块
软核处理器
DSP模块
FIFO模块
摄像头控制逻辑模块
摄像头A
摄像头B
LCD显示模块
LCD控制逻辑模块
图象处理模块
RAM存储模块
RAM控制逻辑模块
FPGA控制器

图4