



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113296540 A

(43) 申请公布日 2021.08.24

(21) 申请号 202110581713.1

(22) 申请日 2021.05.20

(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 蒙志君 黄建森 任玉羲 罗睿

赵文龙

(51) Int. Cl.

G05D 1/10 (2006.01)

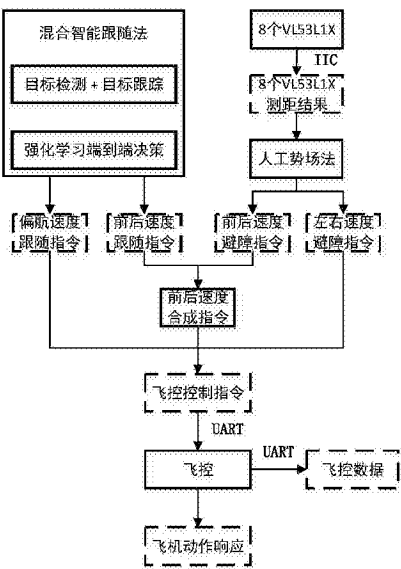
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种适用于室内无人机的混合智能跟随与避障方法

(57) 摘要

本发明公开了一种适用于室内无人机的混合智能跟随与避障方法。本发明采用了一种将先感知后决策和端到端感知与决策进行结合的一种混合智能跟随方法：在多目标情形时运行效率较低、需要频繁重检测的KCF跟踪与PID目标跟随方法，在单目标情形时运行无需频繁重检测的端到端目标跟随算法，有效地提高了整体算法的运行效率；并通过一种目标跟随与避障的联合控制方法，使得微型无人机能够跟随指定目标，并躲避障碍物。



1. 一种适用于室内无人机的混合智能跟随与避障方法,其特征在于:结合传统的先获取目标位置再决策和端到端感知决策的方法,使室内无人机能够高效地跟随指定目标运动并躲避障碍物;将先感知后决策(KCF跟踪与PID控制)的智能跟随方法和端到端感知与决策的智能跟随方法进行结合,根据目标检测结果判断当前画面中的目标数量;若目标数量大于1则切换到整体效率较低的先感知后决策的智能跟随方法,若目标数量为1则切换到整体效率较高的端到端智能跟随方法;最终得到能够跟随目标的前后速度跟随指令和偏航速度跟随指令。通过IIC接口获取无人机的8个VL53L1x激光测距的结果,使用人工势场的方法计算无人机躲避障碍物的前后速度避障指令和左右速度避障指令;将前后速度跟随指令与前后速度避障指令进行叠加,组成前后速度合成指令;将偏航速度跟随指令、前后速度合成指令、左右速度避障指令通过串口通讯发送给无人机的飞控,使得无人机能跟随目标运动并躲避障碍物。

2. 根据权利要求1所述的室内无人机的混合智能跟随与避障方法,其特征在于:使用高性能神经网络前向计算框架ncnn来部署YOLO-fastest目标检测模型;在多目标情形时通过地面站软件指定跟随目标,并使用指定目标的检测结果初始化KCF跟踪器;初始化后的KCF能够快速更新目标的位置;根据目标中心位置相对画面中心的水平误差,使用PID的方法计算无人机的偏航速度跟随指令;根据目标中心位置相对画面中心的垂直误差,使用PID的方法计算无人机的前后速度跟随指令。

3. 根据权利要求1所述的室内无人机的混合智能跟随与避障方法,其特征在于:在单目标时使用基于深度强化学习的端到端单目标跟随控制算法;使用深度神经网络搭建输入图像到输出决策动作(前后速度跟随指令和偏航速度跟随指令)的映射模型,设计好奖励函数后,使用Proximal Policy Optimization深度强化学习算法在仿真环境中对该网络进行训练,实现室内无人机端到端地感知与控制方法。

## 一种适用于室内无人机的混合智能跟随与避障方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于无人机领域,涉及一种适用于室内无人机的混合智能跟随与避障方法。

### 背景技术

[0002] 在城市反恐作战中,我们常需要进入室内环境进行侦查与监视,并在必要时对室内目标进行打击。自动机器人技术的发展使得我们不再需要冒着巨大的生命危险进入危险的室内环境进行作战,而可以使用地面移动机器人等装备进行室内侦查与打击。但目前地面移动机器人的机动能力较弱,移动速度慢,且多为远程操控,使得其操纵信号容易被干扰,难以适应高度复杂动态的室内作战环境。

[0003] 利用无人机灵活机动的特点,我们可以搭建小型、低成本的智能无人机平台,让无人机通过窗口、烟囱等狭窄通道进入室内作战环境,通过侦查发现目标,并跟随和监视指定目标,同时躲避室内的障碍物。无人机的智能跟随与避障,要求无人机具有较强的智能感知与自主决策能力,并且所有的计算都需要在无人机上进行,使其在遭受信号干扰时也能自主完成任务。在智能跟随任务中,室内无人机仅通过由廉价相机传感器获取的图像输入,进行决策并输出跟随目标的动作,这其中涉及到视觉感知和控制方法。

[0004] 无人机的智能跟随常使用先获取目标位置,再进行运动决策的方法。得益于深度学习技术的发展,基于深度神经网络的目标检测与目标跟踪方法都取得了令人瞩目的效果。目标检测算法虽然能够获取准确的目标位置信息,但模型参数量大,算法推断时间较长。因此在使用目标检测算法获取目标位置后,常切换到基于相关滤波的目标跟踪算法以快速更新目标的位置信息。此类目标跟踪算法的运行速度较快,对计算资源要求不高,但在长时间跟踪目标时容易跟错目标,因此需要频繁地重新启动目标检测算法更新目标的准确位置,使得目标检测与目标跟踪的整体算法性能较差。

[0005] 此外,深度学习开始与强化学习结合形成深度强化学习技术。深度强化学习能够让智能体在与环境的交互过程中学会最优策略,从而做出长期有利的行为。深度强化学习在机器人控制、博弈对抗等领域都取得了巨大的进步。深度强化学习提供了一种学习从输入图片到目标跟随动作的端到端映射方法,能够降低深度模型的参数量,但无法在多目标画面中选择指定目标进行跟随。因此,需要对现有技术进行改进,获得高效的目标跟随决策方法。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是提供基于室内无人机的混合智能跟随与避障方法,结合传统的先获取目标位置再决策和端到端感知决策的方法,使室内无人机能够高效地跟随指定目标运动并躲避障碍物。

[0007] 本发明的基本思路为:在多目标情形时,通过目标检测算法为不稳定的目标跟踪算法提供初始目标位置,在目标跟踪算法更新目标位置后使用PID方法输出目标跟随指令,

不稳定的目标跟踪算法需要频繁运行目标检测算法校正目标位置,降低了整体算法的运行速度,但能够在多目标情形时指定某个目标进行跟随;在单目标情形时,则使用更为稳定、参数量较小的端到端感知与决策算法,直接输出目标跟随指令,并通过降低目标检测算法的运行频率起到整体算法的运行加速效果。

[0008] 为了达到以上目的,本发明提供了如下的技术方案:

[0009] 室内无人机平台:安装有WiFi模块、树莓派计算模块、8个水平布置的VL53L1x激光测距传感器、倾斜向下布置的摄像头。树莓派计算模块与飞控通过串口进行通讯,8个VL53L1x通过IIC与树莓派计算模块进行通讯。

[0010] 基于ZeroMQ的地面站软件:在装有WiFi通讯装置的树莓派计算模块上开启WiFi热点;地面站软件连接无人机计算模块开启的WiFi热点;无人机计算模块和地面站软件之间通过ZeroMQ进行通讯,无人机将飞控数据、获取的第一视角图像、视觉计算结果发送给地面站,地面站可控制无人机开始目标检测、选定目标进行跟踪。

[0011] 基于ncnn的快速目标检测算法:使用高性能神经网络前向计算框架ncnn来部署YOLO-fastest目标检测模型。基于ncnn的YOLO-fastest检测模型能够在树莓派等嵌入式平台上快速向前推断,达到较高的检测帧率;在接收到来自地面站的开始检测指令后,检测模式开启,并将检测结果返回地面站;

[0012] 基于KCF跟踪器和PID的多目标跟随控制算法:根据目标检测算法的检测结果,在画面中有多目标的情形时,通过地面站确定跟随目标,并使用指定目标的检测结果初始化KCF跟踪器;初始化后的KCF能够快速更新目标的位置,并在目标丢失时进行目标重检测,使用YOLO-fastest检测算法更新目标位置并再次初始化KCF跟踪器;由于长时间运行后目标跟踪算法容易跟错目标,故需要定时重启视觉检测算法,并用检测结果初始化KCF跟踪器,再次进入视觉跟踪阶段。获取目标位置后,根据目标中心位置相对画面中心的水平误差,使用PID方法计算无人机的偏航速度跟随指令;根据目标中心位置相对画面中心的垂直误差,使用PID方法计算无人机的前后速度跟随指令;

[0013] 基于深度强化学习的端到端单目标跟随控制算法:使用深度神经网络搭建输入图像到输出决策动作的映射模型,设计好奖励函数后,使用Proximal Policy Optimization深度强化学习算法在仿真环境中对该网络进行训练,实现室内无人机端到端地感知与控制方法。该方法的神经网络模型参数量较小,再使用高性能神经网络前向计算框架ncnn加速后能够在计算资源受限的设备上高效运行。但该方法无法在多目标情况下选择其中一个目标进行跟随。

[0014] 基于混合模型的智能跟随与基于人工势场的避障方法:

[0015] 1) 基于混合模型的智能跟随方法:将先感知后决策(KCF跟踪与PID控制)的智能跟随方法和端到端感知与决策的智能跟随方法进行结合,根据目标检测结果判断当前画面中的目标数量。若目标数量大于1则切换到整体效率较低的先感知后决策的智能跟随方法,若目标数量为1则切换到整体效率较高的端到端智能跟随方法。最终得到能够跟随目标的前后速度跟随指令和偏航速度跟随指令。

[0016] 2) 基于人工势场的避障控制算法:通过IIC接口获取无人机的8个VL53L1x激光测距的结果,使用人工势场的方法计算无人机躲避障碍物的前后速度避障指令和左右速度避障指令;将前后速度跟随指令与前后速度避障指令进行叠加,组成前后速度合成指令;将偏

航速度跟随指令、前后速度合成指令、左右速度避障指令通过串口通讯发送给无人机的飞控,使得无人机能跟随目标运动并躲避障碍物。

[0017] 综上所述,由于采用了以上的技术方案,本发明的有益效果如下:

[0018] 1) 本发明采用了一种将先感知后决策和端到端感知与决策进行结合的一种混合智能跟随方法:在多目标情形时运行效率较低、需要频繁重检测的KCF跟踪与PID目标跟随方法,在单目标情形时运行无需频繁重检测的端到端目标跟随算法,有效地提高了整体算法的运行效率;

[0019] 2) 本发明采用了一种目标跟随与避障的联合控制方法,使得微型无人机能够跟随指定目标,并躲避障碍物;

## 附图说明

[0020] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0021] 图1是基于ZeroMQ的地面站软件框架;

[0022] 图2是基于混合模型的智能目标跟随框架;

[0023] 图3是无人机的目标跟随与避障控制流程框架;

## 具体实施方式

[0024] 对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。

[0025] 步骤一:使用深度强化学习训练端到端感知与决策的目标跟随方法:

[0026] 1) 训练环境:使用V-rep搭建训练平台,其中包含一个装有摄像头的无人机和一个随机运动的动态目标。在每一轮训练中,动态目标沿着随机轨迹进行运动,并不断变换运动速度;无人机根据获取的图像进行决策跟随动态目标,若目标丢失则进入下一轮训练。

[0027] 2) 端到端感知与决策的神经网络:采用演员-评论家两个网络,这两个网络共享卷积层(共3层卷积层)部分,且共享卷积层的输入为分辨率为64\*64的彩色图像,最后输出转换为二维;演员网络的剩下部分采用3层全连接层,采用tanh激活函数,输出为2个动作(前后速度跟随指令和偏航速度跟随指令);评论家网络的剩下部分采用2层全连接层,采用ReLU激活函数,输出为1个状态价值函数的估计值。

[0028] 3) 奖励函数设计和模型训练:奖励函数设计为:

$$[0029] \quad r = \frac{1}{2} e^{-2*|\rho-\rho_d|} + \frac{1}{2} e^{-2*|\varphi|}$$

[0030] 其中 $\rho$ 为无人机与目标的实际距离, $\rho_d$ 为无人机与目标的期望距离, $\varphi$ 为无人机与目标的实际朝向误差,当无人机与目标保持在期望距离且面朝目标时,奖励函数达到最大。

[0031] 采用Proximal Policy Optimization深度强化学习算法在仿真环境中对端到端感知与决策的神经网络进行训练。

[0032] 4) 部署:训练完成后,使用ncnn框架进行神经网络前向推断的加速。

[0033] 步骤二:与无人机建立通讯连接,地面站开启检测目标指令

[0034] 1) 在无人机的树莓派计算模块上开启WiFi热点,将地面站接入开启的WiFi热点,使得无人机和地面站能够通过WiFi进行通讯。

[0035] 2) 根据图1,将无人机摄像头获取的图像通过ZeroMQ发送给地面站,并进行显示;

[0036] 3) 树莓派计算模块通过串口通讯获取飞控的飞行数据,并通过ZeroMQ发送给地面站,并进行显示;

[0037] 4) 地面站软件通过ZeroMQ给无人机的树莓派计算模块发送开始检测指令。

[0038] 步骤三:无人机传回检测结果,运行基于混合模型的智能目标跟随算法

[0039] 1) 根据图2,在接收到来自地面站软件的开始检测指令后,在树莓派计算模块上运行的基于ncnn的YOLO-fastest视觉检测算法开始进入目标检测阶段;

[0040] 2) YOLO-fastest检测模型将检测到的所有目标,通过ZeroMQ发送给地面站软件,并在地面站的目标检测列表中显示。

[0041] 3) 若目标数为1,则运行模型参数量较小的端到端感知与决策方法,输出跟随目标的决策动作,即偏航速度跟随指令 $V_{yaw}$ 和前后速度跟随指令 $V_y$ ;通过ncnn部署的端到端模型需要使用Pybind11将C++的跟随指令转化为Python语言的跟随指令;由于该方法只适用于单目标的跟随,因此需要每隔 $t_1$ 时间进行重新检测,判断目标数是否变化。

[0042] 4) 若目标数大于1,则在地面站选择指定的目标,并通过ZeroMQ给树莓派计算模块发送跟踪指令;树莓派计算模块使用指定的目标检测结果初始化KCF跟踪器,并进入视觉跟踪阶段;在KCF跟踪器丢失目标后,重新使用YOLO-fastest检测算法获取目标位置,并再次初始化跟踪器,再次进入目标跟踪;跟踪器也会定时(每隔 $t_2$ 时间)进行重新检测,更新目标位置并初始化跟踪器,再次进行目标跟踪;在使用C++语言编写的KCF跟踪器获取目标跟踪结果后,使用Pybind11转化为Python语言的目标跟踪结果,并将目标跟踪结果存入历史跟踪结果;根据目标中心位置相对画面中心的水平误差 $e_x(t)$ ,使用PID方法计算无人机的偏航速度跟随指令 $V_{yaw}$ ;根据目标中心位置相对画面中心的垂直误差 $e_y(t)$ ,使用PID方法计算无人机的前后速度跟随指令 $V_y$ 。

[0043] 5) 由于KCF跟踪器的跟踪性能较弱,常常丢失目标,因此检测器的重启间隔时间 $t_2$ 需要较短,高频率地运行模型参数量大的视觉检测模型会降低目标跟随算法的运行效率;而端到端的感知与决策方法的跟随性能较好,只需以较低频率定时重新检测判断目标数是否为1,且模型参数量较小,有利于单目标情况下的快速目标跟随。

[0044] 步骤六:目标跟随与避障的联合控制

[0045] 1) 根据图3,使用IIC通讯获取8个VL53L1x的激光测距结果,获取无人机与周围障碍物的水平距离 $[d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8]$ ;

[0046] 2) 根据无人机与周围障碍物的水平距离,使用人工势场法计算无人机的前后速度避障指令 $V_y^d$ (机头方向为正)和左右避障指令 $V_x^d$ (机身右侧方向为正);

$$[0047] \quad \vec{V}_i^d = \begin{cases} 0, & R_{max} \leq d_i \\ -G_i \times (R_{max} - d_i)/(d_i - R_{min}), & R_{min} < d_i < R_{max} \\ -\infty, & d_i \leq R_{min} \end{cases}$$

[0048] 其中, $R_{min}$ 为最小安全距离, $R_{max}$ 为安全警告距离, $G_i$ 为超参数, $i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ ;

$$[0049] \quad \vec{V}^d = \sum_{i=1}^8 \vec{V}_i^d$$

- [0050]  $\vec{v}^d$ 沿机头的速度分量为前后速度避障指令 $V_y^d$ ;
- [0051]  $\vec{v}^d$ 沿机身右侧的速度分量为左右速度避障指令 $V_x^d$ ;
- [0052] 3) 将前后速度跟随指令 $V_y$ 与前后速度避障 $V_y^d$ 指令进行叠加,生成前后速度合成指令 $\hat{V}_y$ ;
- [0053] 4) 将偏航速度跟随指令 $V_{yaw}$ 、前后速度合成指令 $\hat{V}_y$ 、左右速度避障 $V_x^d$ 指令通过UART串口通讯发送给无人机的飞控模块;
- [0054] 5) 无人机使用底层的串级PID控制去跟随期望的速度指令进行运动,使得无人机能够跟随目标运动并能够避免与周围障碍物发生碰撞。

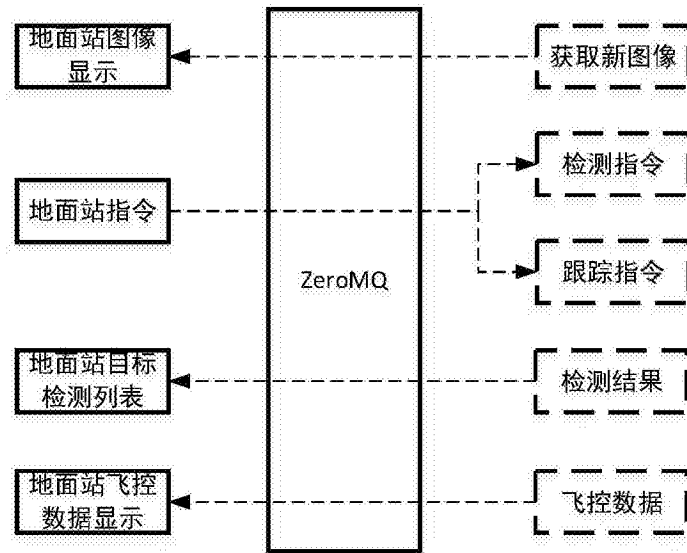


图1



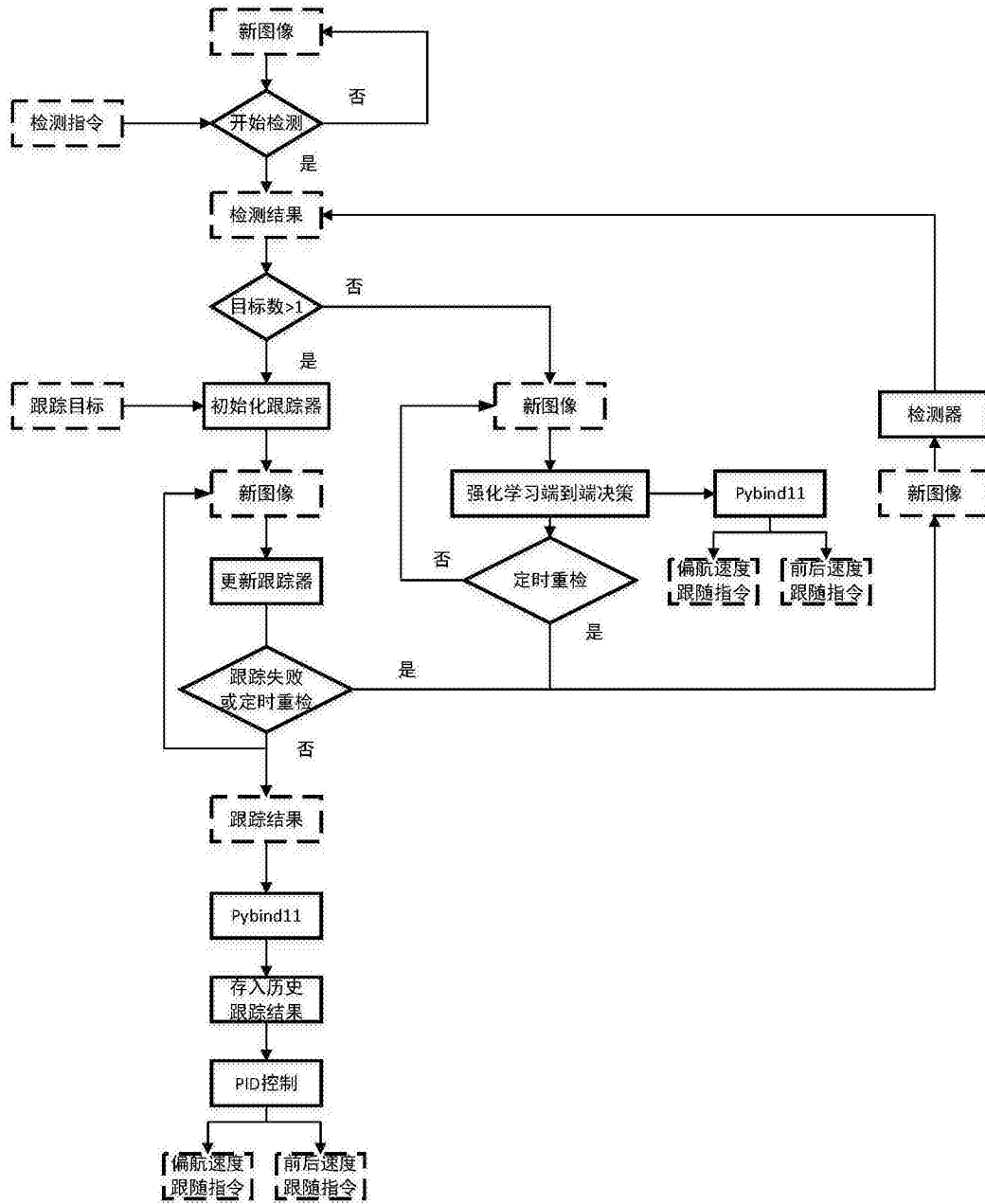


图2

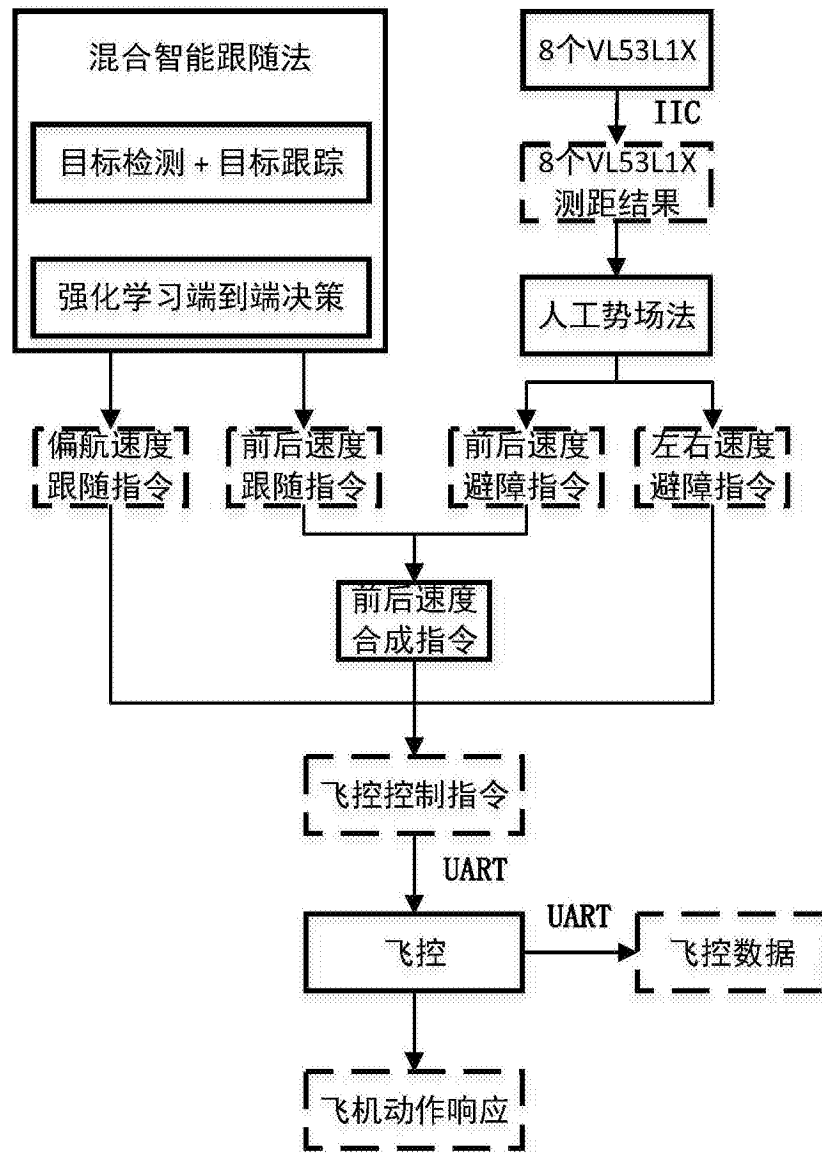


图3