

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101339410 B

(45) 授权公告日 2011. 01. 26

(21) 申请号 200810118122. 5

(22) 申请日 2008. 08. 12

(73) 专利权人 北京航空航天大学  
地址 100083 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 仇海涛 王丹 徐烨烽 刘伟

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责  
任公司 11251

代理人 贾玉忠 卢纪

(51) Int. Cl.

G05B 17/02 (2006. 01)

审查员 崔朝利

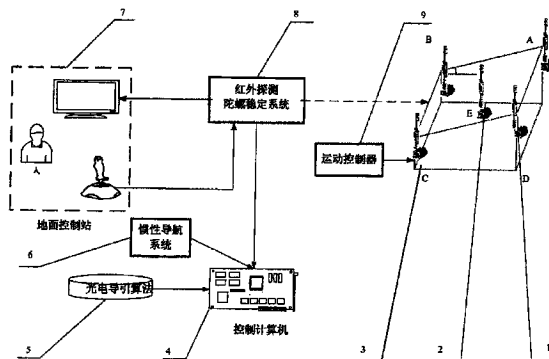
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种着舰光电导引仿真系统

(57) 摘要

一种着舰光电导引仿真系统, 由控制计算机、惯性导航系统、红外探测陀螺稳定系统、红外合作目标、直线运动单元、电机、运动控制器、地面控制站组成。红外探测陀螺稳定系统实现光轴稳定; 五个合作目标置于直线运动单元滑块上, 运动控制器控制直线运动单元运动从而带动合作目标上下运动, 模拟舰船甲板跑道因海浪作用在垂直方向上的运动。红外探测陀螺稳定系统内的红外摄像机取得红外合作目标生成的模拟甲板跑道图像; 红外探测陀螺稳定系统探测到模拟甲板跑道后、地面站操作人员根据图像识别、锁定模拟甲板跑道。红外探测陀螺稳定系统对五模拟甲板跑道图像进行处理后, 将需要的图像信息传送到控制计算机, 控制计算机利用光电导引算法计算出舰船的运动规律和着舰点位置。本发明的精度高、成本低, 对光电导引着舰系统的研制具有重要价值。



1. 一种着舰光电导引仿真系统,其特征在於:包括5个红外合作目标(1)、直线运动单元(2)、电机及减速装置(3)、控制计算机(4)、地面控制站(7)、带有红外摄像机的红外探测陀螺稳定系统(8)和运动控制器(9);所述的5个红外合作目标(1)置于直线运动单元(2)上,运动控制器(9)控制直线运动单元运动从而带动5个红外合作目标(1)运动,5个红外合作目标(1)生成一个模拟舰船甲板跑道,当5个红外合作目标(1)按预定规律运动时,所述模拟舰船甲板跑道的运动与海浪作用下的真实舰船上的跑道的运动相同;红外探测陀螺稳定系统(8)实现红外探测和光轴稳定作用,红外探测陀螺稳定系统(8)一方面探测到红外合作目标(1)生成的模拟甲板跑道图像后,送至地面控制站(7),地面控制站(7)的控制人员根据图像识别、锁定模拟甲板跑道图像,另一方面红外探测陀螺稳定系统(8)对5个模拟甲板跑道图像进行处理后,将需要的图像信息传送到控制计算机(4),控制计算机(4)根据光电导引算法(5)估计出舰船的运动规律和着舰点位置;

所述的光电导引算法(5)的实现步骤为:

(1) 确定系统模型,设红外摄像机模型为中心透视投影模型,其表达式为:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_u & 0 & c_u \\ 0 & f_v & c_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{x_c}{y_c} \\ y_c \\ \frac{z_c}{y_c} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

跑道坐标系到红外摄像机坐标系的刚体转换为:

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & R_2 & R_3 \\ R_1 & R_2 & R_3 \\ R_3 & R_2 & R_3 \end{bmatrix} \left( \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\gamma_s \\ 0 & 1 & \theta_s \\ \gamma_s & -\theta_s & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h_s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x'_c \\ y'_c \\ z'_c \end{bmatrix} \right) \quad (2)$$

其中,  $f_u$ 、 $f_v$ 、 $c_u$ 、 $c_v$  为红外摄像机参数,经离线标定为已知数,  $u$ 、 $v$  为红外合作目标的图像坐标,  $\gamma_s$ 、 $\theta_s$ 、 $h_s$  分别为舰船运动的横摇角、纵摇角、沉浮高度;单位正交旋转矩阵  $R$  是跑道坐标系到红外摄像机坐标系的姿态矩阵,  $R_{mn}$ ,  $m, n = 1, 2, 3$  为单位正交旋转矩阵  $R$  的各元素,是姿态的方位角  $\phi$ 、俯仰角  $\theta$ 、横滚角  $\gamma$  的三角函数组合,  $x_c$ 、 $y_c$ 、 $z_c$  为摄像机坐标系里的坐标,  $x_r$ 、 $y_r$ 、 $z_r$  是跑道坐标系的坐标,  $(x'_c, y'_c, z'_c)$  为红外摄像机坐标系原点在跑道坐标系的坐标,为待求量;

(2) 利用红外摄像机所得的图像,提取5个红外合作目标图像信息,并结合将惯性导航系统提供的俯仰角  $\theta$ 、方位角  $\phi$  作为步骤(1)中系统模型,即公式(1)中的已知量及已知5个红外合作目标的位置关系,按以下步骤估计出舰船的运动规律和着舰点位置:

A、利用5个红外合作目标特征点横向坐标  $u_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$  及红外合作目标的空间位置关系,由系统模型公式(1)得下式:

$$A \cdot \sin \phi = B \cdot \cos \phi \quad (3)$$

其中  $A$ 、 $B$  是与俯仰角  $\theta$ 、横滚角  $\gamma$  及红外合作目标特征点  $(u_i, v_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$  相关的量,由上式可求得相对方位角  $\phi$ ;

B、由系统模型公式(1)得红外合作目标在红外摄像机坐标系的二维坐标为:

$$\begin{cases} x_{ic} = \frac{u_i}{f_u} y_{ic} \\ z_{ic} = \frac{v_i}{f_v} y_{ic} \end{cases} \quad (4)$$

将式 (2) 代入得：

$$\begin{cases} \gamma_s \cdot a_{i1} + \theta_s \cdot a_{i2} + x_c^r \cdot a_{i3} + y_c^r \cdot a_{i4} + (z_c^r - h_s) \cdot a_{i5} = a_{i0} \\ \gamma_s \cdot b_{i1} + \theta_s \cdot b_{i2} + x_c^r \cdot b_{i3} + y_c^r \cdot b_{i4} + (z_c^r - h_s) \cdot b_{i5} = b_{i0} \end{cases} \quad i=1,2..5 \quad (5)$$

其中  $(a_{ij}, b_{ij})$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$ ,  $j = 0, 1, \dots, 5$  是姿态的方位角  $\phi$ 、俯仰角  $\theta$ 、横滚角, 红外合作目标特征点  $(u_i, v_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$  和红外合作目标跑道坐标  $(x_{ir}, y_{ir}, z_{ir})$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$  相关的量, 将机载惯性导航系统提供的俯仰角  $\theta$ 、横滚角  $\gamma$ 、步骤 A 所得的方位角  $\phi$ 、红外合作目标特征点  $(u_i, v_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$  以及红外合作目标跑道坐标  $(x_{ir}, y_{ir}, z_{ir})$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$  代入式 (5)；

C、利用机载惯性导航信息对所求得的  $\gamma_s$ 、 $\theta_s$ 、以及相对高度变化进行参数估计, 得出舰船的运动规律；

D、由实时计算所得的地面车相对于模拟舰船甲板跑道的位置和步骤 (C) 估计出的舰船运动规律, 预测导引结束时飞机相对着舰点的位置关系和到达时间, 并依据该信息调整飞机飞行降落至着舰；

所述的红外探测陀螺稳定系统 (8) 包括俯仰电机、方位电机、俯仰陀螺、方位陀螺、红外摄像机、主机、数据采集板、方位和俯仰陀螺电机驱动器；红外摄像机采集到的图像信号送到数据采集板处理, 数据采集板一方面把没有处理的图像信号送到显示器显示, 另一方面送入主机, 由主机对图像进行处理得出红外合作目标的图像信息送入地面控制站 (7) 用于计算和锁定后的跟踪, 从而实现红外探测功能；俯仰电机、方位电机控制在航向和俯仰两个自由度的方向上扫描, 由两个速率陀螺, 即方位陀螺、俯仰陀螺分别敏感方位和俯仰运动, 然后经过接口板把敏感到的运动转换成数字量送至主机, 主机根据上述数字量计算出稳定红外摄像机光轴所需要的速率指令, 指令经功率放大后加到俯仰电机、方位电机上, 使其按照该速率指令运动, 从而实现光轴稳定。

2. 根据权利要求 1 所述的着舰光电导引仿真系统, 其特征在于: 所述的红外合作目标 (1) 所成平面与地面成  $3.5-4.5^\circ$  夹角。

3. 根据权利要求 1 所述的着舰光电导引仿真系统, 其特征在于: 所述的红外探测陀螺稳定系统 (8) 还内置 CCD 摄像机, 用来观测可见光目标。

4. 根据权利要求 1 所述的着舰光电导引仿真系统, 其特征在于: 所述的地面控制站 (7) 由图像显示设备、操纵杆组成, 红外探测陀螺稳定系统 (8) 得到红外合作目标的图像, 一方面将图像显示在显示设备上, 便于地面控制人员观察, 另一方面将图像进行处理, 得到红外合作目标的图像数据并将图像数据送至控制计算机处理, 控制人员还可以通过显示的图像及任务需求对红外探测陀螺稳定系统进行相应的控制。

## 一种着舰光电导引仿真系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种着舰光电导引仿真系统,适用于模拟飞机在舰船甲板跑道上降落的工程实现。

### 背景技术

[0002] 飞机在舰船上降落比在地面着陆有其特定的技术难度,着舰过程中飞机必须保持 $4^{\circ}$ 左右的理想下滑角,且必须在甲板指定区域停降。传统菲涅耳灯箱导引方式为可见光导引,结构复杂,成本高,且无法提供精确的着舰信息。当处于较高等级海情时,飞行员无法观测到导引的菲涅耳灯箱信息,不具备全天候导引能力。此外,舰体的纵摇和沉浮垂直高度1.25米以上的变化会导致对应着舰点的前后移动超过18米,这会导致降落失败造成复飞甚至酿成事故。传统的导引方式无法提供舰船垂直方向精确的变化,也不能对舰船的运动以及着舰点的变化作出预测。

### 发明内容

[0003] 本发明的技术解决问题是:克服传统导引方式处于较高等级海情时,飞行员无法看清导引信号,当舰体的纵摇和沉浮比较大时,无法在甲板指定区域停,导致降落失败造成复飞甚至酿成事故,提供一种精度高、全天候、成本低的着舰光电导引仿真系统,用于预测舰船运动规律及着舰点位置,实现自主着舰。

[0004] 本发明的技术解决方案是:一种着舰光电导引仿真系统,由控制计算机、惯性导航系统、带有红外摄像机的红外探测陀螺稳定系统、红外合作目标、直线运动单元、电机、运动控制器、地面控制站组成。5个红外合作目标置于直线运动单元滑块上,运动控制器控制直线运动单元运动从而带动红外合作目标上下运动,模拟舰船甲板跑道因海浪作用在垂直方向上的运动,即5个红外合作目标生成一个模拟甲板跑道;红外探测陀螺稳定系统实现探测和光轴稳定功能,红外探测陀螺稳定系统一方面探测到模拟甲板跑道图像后,送至地面控制站,地面站控制站控制人员根据图像识别、锁定模拟甲板跑道图像,另一方面对5个模拟甲板跑道图像进行处理后,将需要的图像信息传送到控制计算机,控制计算机根据光电导引算法估计出舰船的运动规律和着舰点位置。

[0005] 本发明的原理是:用地面车和红外探测陀螺稳定系统模拟着舰时的舰载机,用五个红外合作目标模拟着舰时的甲板跑道。利用控制计算机中的光电导引算法,根据红外探测陀螺稳定系统提供的5个红外合作目标所形成的模拟跑道的图像信息,估计舰船的运动规律、着舰点等参数,用于舰载机的自主着舰。

[0006] 本发明与现有技术相比的优点在于:克服了传统传统导引方式对气候条件依赖大,精度低的缺点,构建了一种精度高、全天候、成本低的着舰光电导引仿真系统,它具有以下的优点:

[0007] (1) 本发明采用5个红外合作目标及直线运动单元、电机、减速器模拟舰船跑道,结构大大简化,成本大大降低;

[0008] (2) 本发明采用红外图像系统和红外合作目标,不受各种恶劣气象条件影响,红外成像目标清晰,全天候能力强;

[0009] (3) 本发明通过装有红外探测陀螺稳定系统的地面车模拟飞机,5个合作目标模拟舰船甲板跑道的仿真形式,不需要通过实际的飞行试验方式,费用、难度大大降低;

[0010] (4) 本发明采用光电导引算法,能够精确的预测出舰船的运动规律、着舰点等参数,可以辅助舰载机的自主着舰,仿真精度高,且大大减轻了飞行员的操作难度。

#### 附图说明

[0011] 图1为本发明的结构框架图;

[0012] 图2为本发明的红外探测陀螺稳定系统的结构示意图;

[0013] 图3为本发明的光电导引算法流程图;

[0014] 图4为本发明的地面控制站的组成框图。

#### 具体实施方式

[0015] 如图1所示,本发明实施例包括5个红外合作目标1、直线运动单元2、电机及减速装置3、控制计算机4、地面控制站7、红外探测陀螺稳定系统8、运动控制器9。5个红外合作目标1安装在直线运动单元2(一般为导轨)的滑块上,通过运动控制器9通过按照事先设定的运动要求控制电机及减速装置3的运动带动直线运动单元2上的滑块运动,从而带动5个红外合作目标1来模拟舰船甲板跑道因海浪作用在垂直方向上的运动。5个红外合作目标模拟舰船甲板跑道,其中4个代表跑道的4个端点,1个位于中心,红外合作目标1所成平面与地面夹角成 $3.5-4.5^\circ$ (以 $4^\circ$ 为最优),此时红外探测陀螺稳定系统8与红外合作目标平面的角度等同于着舰时飞机与跑道的下滑角,红外探测陀螺稳定系统8与地面控制站7两者相当于着舰时的舰载机,从而使5个红外合作目标1生成一个模拟甲板跑道。红外探测陀螺稳定系统8探测到红外合作目标1所形成的模拟甲板跑道图像,送到地面控制站7,由地面控制站7的控制人员识别、锁定红外合作目标1模拟甲板跑道图像,地面控制站7的控制人员可以根据图像信息,控制红外探测陀螺稳定系统8中的红外摄像机的运动,同时红外探测陀螺稳定系统8得到模拟甲板跑道图像信息经过处理后并将有用数据传送给控制计算机4,控制计算机4内置的光电导引算法5根据系统模型,估计出舰船的运动规律和着舰点位置,包括地面车相对跑道的运行轨迹、地面车的姿态、跑道的运动规律和着舰点位置。

[0016] 红外合作目标1为可以稳定工作在红外探测器所需要的温度,发出适宜红外探测器探测的波长的红外线目标。

[0017] 红外探测陀螺稳定系统8的结构组成与连接方式如图2所示,红外探测陀螺稳定系统包括俯仰电机、方位电机、俯仰陀螺、方位陀螺、红外摄像机、主机、数据采集板、方位和俯仰陀螺电机驱动器;红外摄像机采集到的图像信号送到数据采集板处理,数据采集板一方面把没有处理的图像信号送到显示器显示,另一方面送入主机,由主机对图像进行处理得出红外合作目标的图像信息送入地面控制站7用于计算和锁定后的跟踪,从而实现红外探测功能;俯仰电机、方位电机控制在航向和俯仰两个自由度的方向上扫描,由两个速率陀螺,即方位陀螺、俯仰陀螺敏感方位和俯仰运动后经过接口板转换成数字量后送至主机,主

机根据俯仰、方位陀螺计算出红外摄像机光轴的速率指令,再经功率放大后加至两个力矩电机,即俯仰电机、方位电机,控制两个电机按照该指令速率运动,从而实现光轴稳定。

[0018] 旋转变压器是一种轴角度测量装置,俯仰旋转变压器、方位旋转变压器用来测量俯仰电机、方位电机旋转过的绝对角度,此角度信号是一种模拟量,经接口板转换后变成数字量,送至主机,以控制俯仰电机、方位电机的旋转角度。

[0019] 此外,主机还可以接收到操作杆的操作信息后,根据操作信息控制俯仰、方位电机运动或者锁定目标。

[0020] 红外探测陀螺稳定系统还内置 CCD 摄像机,可以用来观测可见光目标。

[0021] 红外探测陀螺稳定系统还可以对其俯仰、方位进行修正和补偿控制,根据两个陀螺的温度漂移性曲线进行温度补偿控制,并自动采样、监测系统信号,实现系统主要参数、红外图像的动态显示在显示器上。

[0022] 如图 3 所示,本发明控制计算机 4 中的光电导引算法 5 的实现步骤为:

[0023] (1) 首先确定系统模型:

[0024] 设红外摄像机模型为中心透视投影模型,故成像为:

$$[0025] \quad \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_u & 0 & c_u \\ 0 & f_v & c_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ y_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0026] 则跑道坐标系到红外摄像机坐标系的刚体转换为:

$$[0027] \quad \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \left( \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\gamma_s \\ 0 & 1 & \theta_s \\ \gamma_s & -\theta_s & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h_s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_c^r \\ y_c^r \\ z_c^r \end{bmatrix} \right) \quad (2)$$

[0028] 其中,  $f_u$ 、 $f_v$ 、 $c_u$ 、 $c_v$  为红外摄像机参数,经离线标定为已知数; $u$ 、 $v$  为红外合作目标的图像坐标。设  $\gamma_s$ 、 $\theta_s$ 、 $h_s$  分别为舰船运动的横摇角、纵摇角、沉浮高度,单位正交旋转矩阵  $R$  是跑道坐标系到红外摄像机坐标系的姿态矩阵。 $R_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) 为单位正交旋转矩阵  $R$  的各元素,是姿态角方位角、俯仰角、横滚角 ( $\phi$ ,  $\theta$ ,  $\gamma$ ) 的三角函数组合,  $x_c$ ,  $y_c$ ,  $z_c$  为红外摄像机坐标系里的坐标,  $x_r$ ,  $y_r$ ,  $z_r$  是跑道坐标系的坐标。 $(x_c^r, y_c^r, z_c^r)^T$  为红外摄像机坐标系原点在跑道坐标系的坐标,为待求量。

[0029] (2) 然后利用红外摄像机所得的图像,提取 5 个红外合作目标图像信息,并结合将惯导提供的俯仰角、航向角作为系统模型中的已知量及已知 5 个红外合作目标的位置关系,按以下步骤估计地面车相对模拟舰船甲板跑道的位姿及模拟舰船甲板跑道的运动规律:

[0030] A、经分析可知地面车相对跑道的航向角与红外合作目标特征点的横向坐标  $u$  相关性较大,利用该特征点的横向坐标  $u_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ) 及红外合作目标的空间位置关系,由系统模型公式 (1) 可得下式:

$$[0031] \quad A \cdot \sin \phi = B \cdot \cos \phi \quad (3)$$

[0032] 其中 A、B 是与俯仰角、横滚角及红外合作目标特征点  $(u_i, v_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ) 相关的量, 由上式可求得相对航向角  $\phi$  ;

[0033] B、由系统模型公式 (1) 可推得红外合作目标在红外摄像机坐标系的二维坐标为

$$[0034] \begin{cases} x_{ic} = \frac{u_i}{f_u} y_{ic} \\ z_{ic} = \frac{v_i}{f_v} y_{ic} \end{cases} \quad (4)$$

[0035] 将式 (2) 代入, 经整理可得

$$[0036] \begin{cases} \gamma_s \cdot a_{i1} + \theta_s \cdot a_{i2} + x'_c \cdot a_{i3} + y'_c \cdot a_{i4} + (z'_c - h_s) \cdot a_{i5} = a_{i0} \\ \gamma_s \cdot b_{i1} + \theta_s \cdot b_{i2} + x'_c \cdot b_{i3} + y'_c \cdot b_{i4} + (z'_c - h_s) \cdot b_{i5} = b_{i0} \end{cases} \quad (i=1, 2, \dots, 5) \quad (5)$$

[0037] 其中 :

$$[0038] a_{i1} = f_u (R_{13}x_{ir} - R_{11}z_{ir}) - u_i (R_{23}x_{ir} - R_{21}z_{ir})$$

$$[0039] a_{i2} = f_u (-R_{13}y_{ir} + R_{12}z_{ir}) - u_i (-R_{23}y_{ir} + R_{22}z_{ir})$$

$$[0040] a_{i3} = -f_u R_{11} + u_i R_{21}$$

$$[0041] a_{i4} = -f_u R_{12} + u_i R_{22}$$

$$[0042] a_{i5} = -f_u R_{13} + u_i R_{23}$$

$$[0043] a_{i0} = -f_u (R_{11} + R_{12} + R_{13}) + u_i (R_{21} + R_{22} + R_{23})$$

$$[0044] b_{i1} = f_v (R_{33}x_{ir} - R_{31}z_{ir}) - v_i (R_{23}x_{ir} - R_{21}z_{ir})$$

$$[0045] b_{i2} = f_v (-R_{33}y_{ir} + R_{32}z_{ir}) - v_i (-R_{23}y_{ir} + R_{22}z_{ir})$$

$$[0046] b_{i3} = -f_v R_{31} + v_i R_{21}$$

$$[0047] b_{i4} = -f_v R_{32} + v_i R_{22}$$

$$[0048] b_{i5} = -f_v R_{33} + v_i R_{23}$$

$$[0049] b_{i0} = -f_v (R_{31} + R_{32} + R_{33}) + v_i (R_{21} + R_{22} + R_{23})$$

[0050] C、由步骤 B 得到的实时相对高度  $(z_c^r - h_s)$  可求得相对高度变化  $\Delta(z_c^r - h_s)$ , 消去机载惯导信息中飞机高度变化可得的  $\Delta h_s$ , 根据下式用正弦规律进行曲线拟合求出舰船的  $\gamma_s$  规律、纵摇角  $\theta_s$  规律和沉浮高度  $h_s$  规律 :

$$[0051] x_{ic} = (m_{11} + m_{13}(\gamma_s \cos \phi - \theta_s \sin \phi))x_{ir} + (m_{12} + m_{13}(-\gamma_s \sin \phi - \theta_s \cos \phi))y_{ir}$$

$$[0052] + (m_{11}(-\gamma_s \cos \phi + \theta_s \sin \phi) + m_{12}(\gamma_s \sin \phi + \theta_s \cos \phi) + m_{13})z_{ir}$$

$$[0053] + (m_{13}\gamma_s)x_{r0}^s + (-m_{13}\theta_s)y_{r0}^s + (m_{11}(-\gamma_s \cos \phi + \theta_s \sin \phi) + m_{12}(\gamma_s \sin \phi + \theta_s \cos \phi))z_{r0}^s$$

$$[0054] - m_{11}X - m_{12}Y - m_{13}(Z - h_s) + x_{p0}^c$$

$$[0055] y_{ic} = (m_{21} + m_{23}(\gamma_s \cos \phi - \theta_s \sin \phi))x_{ir} + (m_{22} + m_{23}(-\gamma_s \sin \phi - \theta_s \cos \phi))y_{ir}$$

$$[0056] + (m_{21}(-\gamma_s \cos \phi + \theta_s \sin \phi) + m_{22}(\gamma_s \sin \phi + \theta_s \cos \phi) + m_{23})z_{ir}$$

$$[0057] + (m_{23}\gamma_s)x_{r0}^s + (-m_{23}\theta_s)y_{r0}^s + (m_{21}(-\gamma_s \cos \phi + \theta_s \sin \phi) + m_{22}(\gamma_s \sin \phi + \theta_s \cos \phi))z_{r0}^s$$

$$[0058] - m_{21}X - m_{22}Y - m_{23}(Z - h_s) + y_{p0}^c$$

$$[0059] z_{ic} = (m_{31} + m_{33}(\gamma_s \cos \phi - \theta_s \sin \phi))x_{ir} + (m_{32} + m_{33}(-\gamma_s \sin \phi - \theta_s \cos \phi))y_{ir}$$

$$[0060] + (m_{31}(-\gamma_s \cos \phi + \theta_s \sin \phi) + m_{32}(\gamma_s \sin \phi + \theta_s \cos \phi) + m_{33})z_{ir}$$

$$[0061] \quad + (m_{33}\gamma_s)x_{r0}^s + (-m_{33}\theta_s)y_{r0}^s + (m_{31}(-\gamma_s \cos \phi + \theta_s \sin \phi) + m_{32}(\gamma_s \sin \phi + \theta_s \cos \phi))z_{r0}^s$$

$$[0062] \quad - m_{31}X - m_{32}Y - m_{33}(Z - h_s) + z_{p0}^c$$

[0063] 其中：

[0064]

$$m_{11} = \cos \gamma_p \cos \varphi_p - \sin \gamma_p \sin \theta_p \sin \varphi_p$$

[0065]

$$m_{12} = \cos \gamma_p \sin \varphi_p + \sin \gamma_p \sin \theta_p \cos \varphi_p$$

$$[0066] \quad m_{13} = -\sin \gamma_p \cos \theta_p$$

[0067]

$$m_{21} = -\cos \theta \cos \theta_p \sin \varphi_p - \sin \theta \sin \gamma_p \cos \varphi_p - \sin \theta \cos \gamma_p \sin \theta_p \sin \varphi_p$$

[0068]

$$m_{22} = \cos \theta \cos \theta_p \cos \varphi_p - \sin \theta \sin \gamma_p \sin \varphi_p + \sin \theta \cos \gamma_p \sin \theta_p \cos \varphi_p$$

$$[0069] \quad m_{23} = \cos \theta \sin \theta_p - \sin \theta \cos \gamma_p \cos \theta_p$$

[0070]

$$m_{31} = -\sin \theta \cos \theta_p \sin \varphi_p + \cos \theta \sin \gamma_p \cos \varphi_p + \cos \theta \cos \gamma_p \sin \theta_p \sin \varphi_p$$

[0071]

$$m_{32} = \sin \theta \cos \theta_p \cos \varphi_p + \cos \theta \sin \gamma_p \sin \varphi_p - \cos \theta \cos \gamma_p \sin \theta_p \cos \varphi_p$$

$$[0072] \quad m_{33} = \sin \theta \sin \theta_p + \cos \theta \cos \gamma_p \cos \theta_p$$

[0073] D、由实时计算所得的地面车相对于模拟舰船甲板跑道的位置步骤和步骤 C 估计出的舰船运动规律,利用惯导系统提供的飞机相对跑道参考坐标系的俯仰角  $\theta_p$ 、横滚角  $\gamma_p$ ,以及红外合作目标的特征点  $(u_i, v_i)$  估计飞机相对跑道参考坐标系的航向角  $\varphi_p$  和位置

即  $T_p^r = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$ ,以及舰船相对于舰船参考坐标系的横摇角  $\gamma_s$  规律、纵摇角  $\theta_s$  规律和沉浮高

度  $h_s$  规律可得：

$$[0074] \quad \gamma_s(m_{33} \cos \phi x_{ir} - m_{33} \sin \phi y_{ir} + (-m_{31} \cos \phi + m_{32} \sin \phi)z_{ir}$$

$$[0075] \quad + m_{33}x_{r0}^s + (-m_{31} \cos \phi + m_{32} \sin \phi)z_{r0}^s$$

$$[0076] \quad - v_i'(m_{23} \cos \phi x_{ir} - m_{23} \sin \phi y_{ir} + (-m_{21} \cos \phi + m_{22} \sin \phi)z_{ir}$$

$$[0077] \quad + m_{23}x_{r0}^s + (-m_{21} \cos \phi + m_{22} \sin \phi)z_{r0}^s))$$

$$[0078] \quad + \theta_s(-m_{33} \sin \phi x_{ir} - m_{33} \cos \phi y_{ir} + (m_{31} \sin \phi + m_{32} \cos \phi)z_{ir}$$

$$[0079] \quad - m_{33}y_{r0}^s + (m_{31} \sin \phi + m_{32} \cos \phi)z_{r0}^s$$

$$[0080] \quad - v_i'(-m_{23} \sin \phi x_{ir} - m_{23} \cos \phi y_{ir} + (m_{21} \sin \phi + m_{22} \cos \phi)z_{ir}$$

$$[0081] \quad - m_{23}y_{r0}^s + (m_{21} \sin \phi + m_{22} \cos \phi)z_{r0}^s))$$

$$[0082] \quad + X(m_{21} - m_{31}) + Y(m_{22} - m_{32}) + (Z - h_s)(m_{23} - m_{33})$$

$$[0083] \quad = (m_{21} - m_{31})x_{ir} + (m_{22} - m_{32})y_{ir} + (m_{23} - m_{33})z_{ir} + y_{p0}^c - z_{p0}^c$$

[0084] 利用以上所求得的  $\varphi_p$ 、 $m_{11}$ 、 $m_{12}$ 、 $m_{13}$ 、 $m_{21}$ 、 $m_{22}$ 、 $m_{23}$ 、 $m_{31}$ 、 $m_{32}$ 、 $m_{33}$  以及 5 个红外合作目标模拟跑道坐标  $(x_{ir}, y_{ir}, z_{ir})$  及其对应的红外合作目标特征点  $(u_i, v_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ) 可解得



着舰点位置。

[0085] 如图 4 所示,地面控制站 7 由图像显示设备、操纵杆组成,红外探测陀螺稳定系统 8 探测到的图像显示在显示设备上,便于地面控制人员观察,另一方面图像被红外探测陀螺稳定系统 8 处理,计算需要模拟甲板跑道图像信息后,送到控制计算机 4,控制计算机 4 拥有光电导引算法 5,控制计算机内置的光电导引算法根据系统模型,估计舰船的运动规律、着舰点位置。控制人员还可以通过显示的图像信息及任务需求对红外探测陀螺稳定系统 8 进行相应的控制。

[0086] 本发明说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员公知的现有技术。

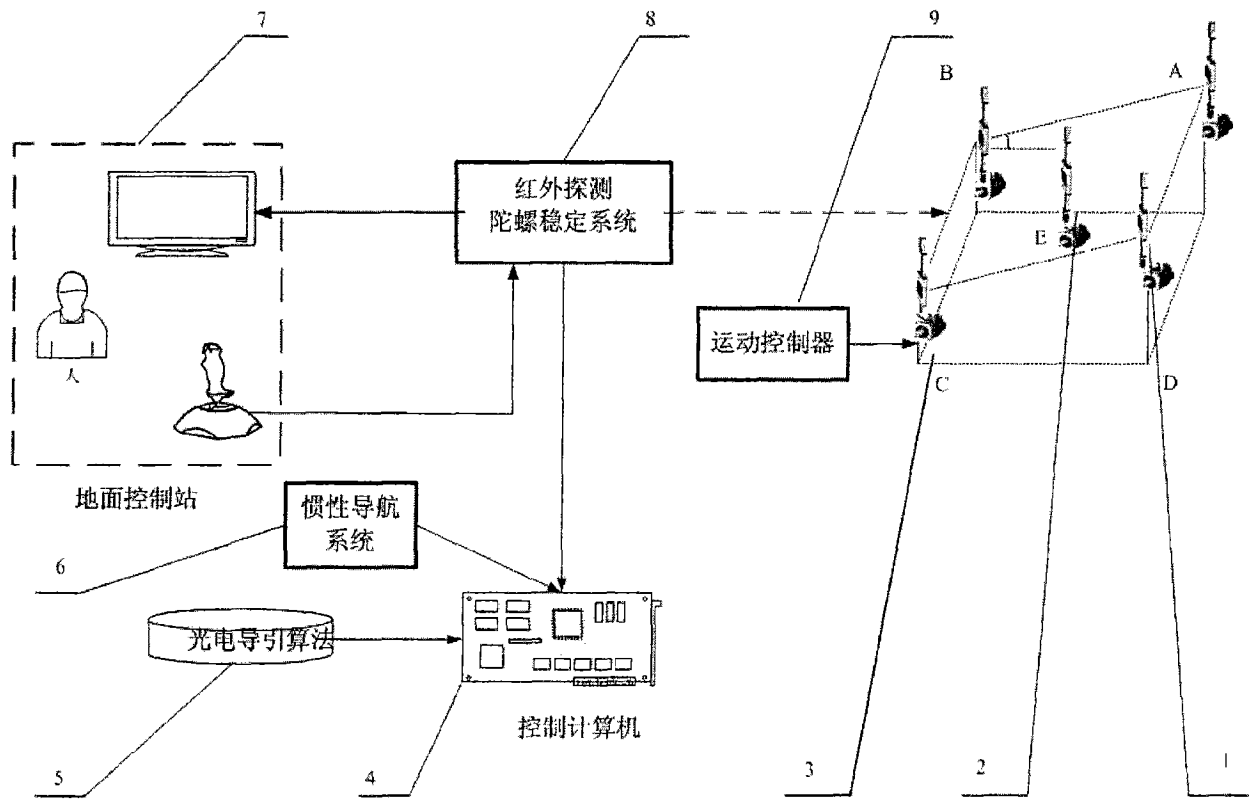


图 1

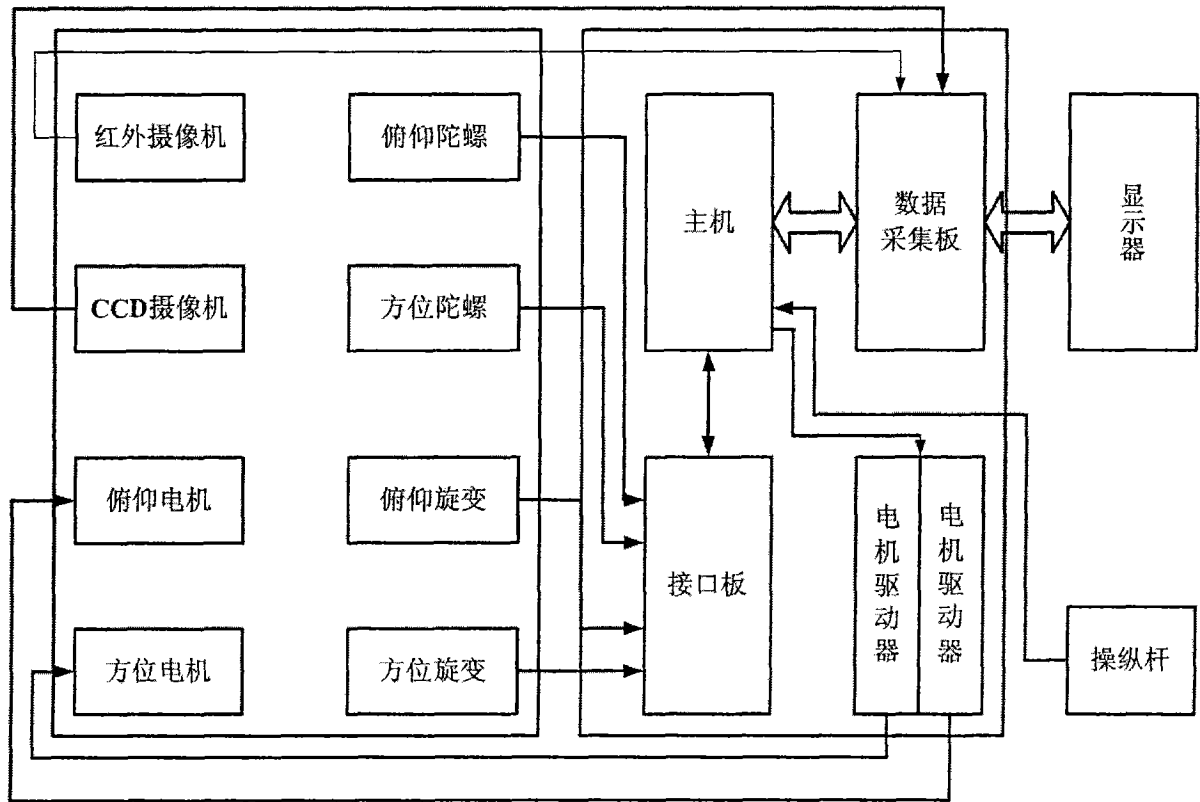


图 2

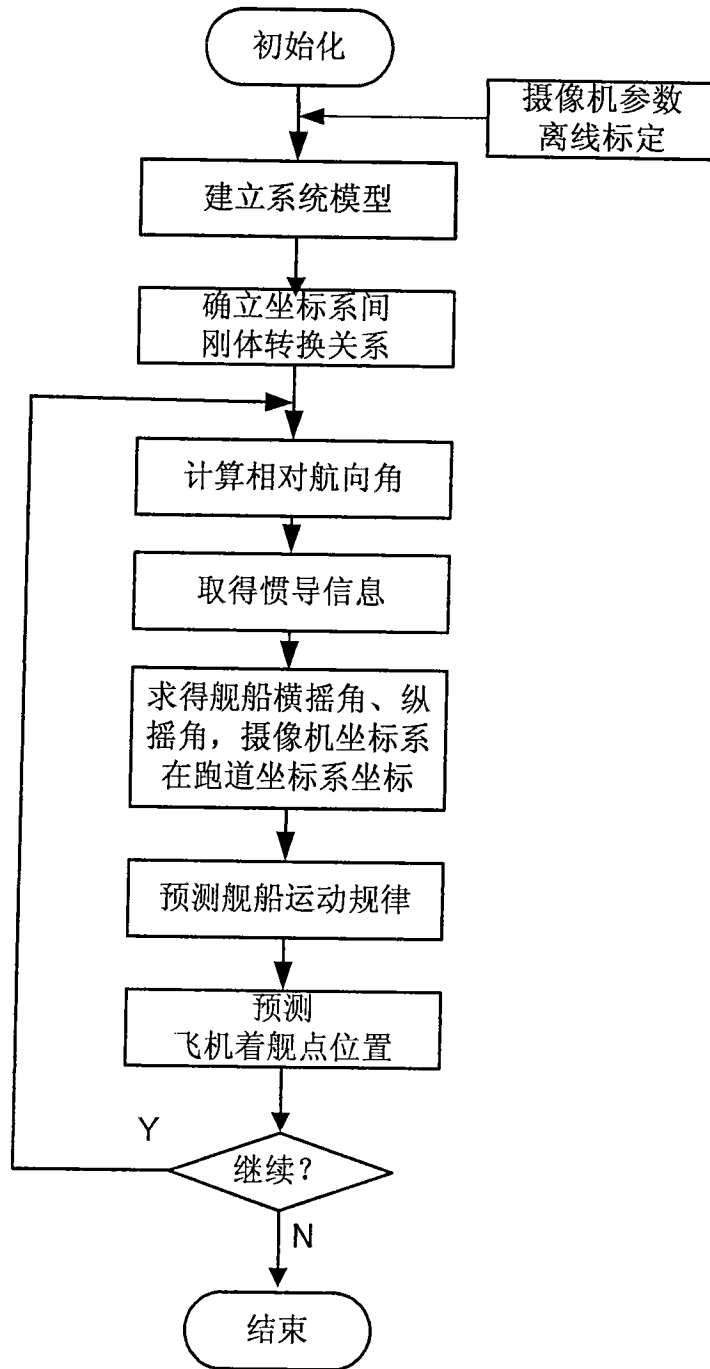


图 3

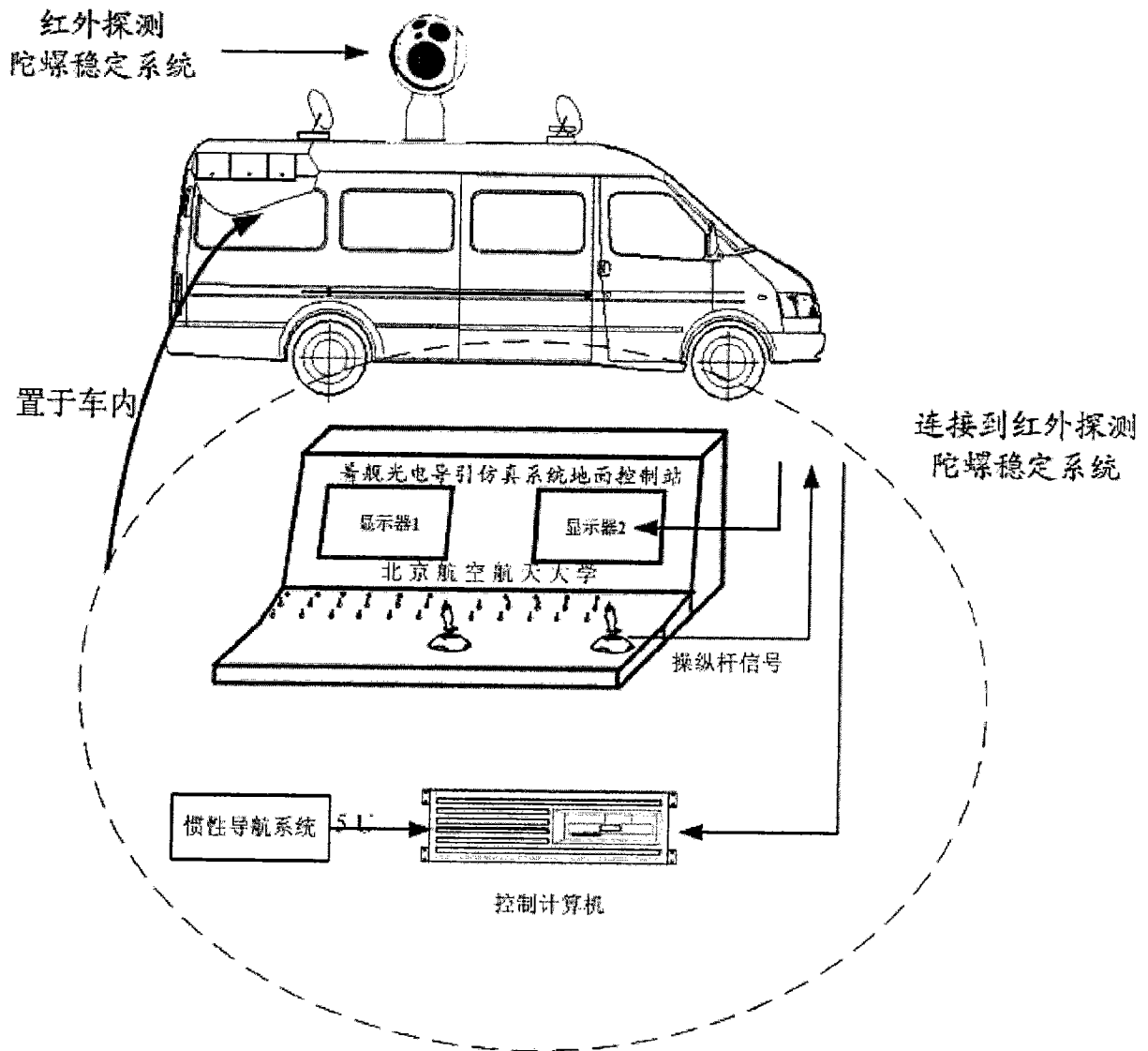


图 4