

文章编号: 2095-4980(2013)06-0990-04

四旋翼飞行器逃逸算法的实现

张金学, 掌 明

(淮海工学院 电子工程学院, 江苏 连云港 222005)

摘 要: 提出了四旋翼飞行器的逃逸行为算法。逃逸行为算法可以降低无人直升机与动态障碍物碰撞的可能性。通过在算法中实现群粒子的相对定位给出了四转子的移动和约束模型。为四转子的实际模型设计了控制器, 该控制器根据规定的轨迹计算出每个螺旋桨转子的速度。通过仿真和对真实的派诺特 AR.Drone 飞行器的测试验证了该算法的功能。

关键词: 逃逸行为; 四转子; 派诺特 AR.Drone 飞行器; 控制器

中图分类号: TN911.72

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201306.0990

Implementation of escape behavior algorithm for quadrotor aircraft

ZHANG Jin-xue, ZHANG Ming

(Department of Electronic Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang Jiangsu 222005, China)

Abstract: An escape behavior algorithm for quadrotor aircraft is proposed, which can decrease the possibility of collision of unmanned helicopters with dynamic obstacles. The models of the quadrotor movement and the constraints are given by relative localization of swarm particles. The controller for the real model of the quadrotor is designed and it calculates the speed of each propeller of quadrotors according to a prescribed trajectory. The functionality of this algorithm is testified by using simulations and testing on a flying vehicle platform—Parrot AR.Drone.

Key words: escape behavior; quadrotor; AR.Drone; controller

在自然界中, 鱼、昆虫、鸟等动物会无意识地使用群体行为, 这些群体行为会在日常生活中帮助它们解决合作任务。当看到一群鸟在飞行时, 好像觉得有某种东西在集中地控制它们。群体会作为一个流体以移动的方式移动, 而个体的运动往往会根据当地的环境来决定, 因而是分散的^[1-2]。为了能够找到一种方式使得多个飞行器从一点移动到另一点, 在飞行过程中能够以一个紧凑的群飞行方式运动, 并且能够避开障碍物, 本文将 1 组四旋翼飞行器与动物的自然行为相结合, 基于群体行为提出一种飞行器逃逸算法^[3], 该算法适用于四旋翼飞行器, 例如派诺特 AR.Drone 飞行器^[4]。

1 AR.Drone 飞行器

四旋翼飞行器是由 4 个转子提升并推进的多轴飞行器, 它是一种旋翼机, 由一套转子产生推力, 2 个螺旋桨顺时针旋转, 另 2 个逆时针旋转, 通过螺旋桨不同的相对速度对飞行器产生推进速度^[5]。

在实验中使用的飞行器是派诺特 AR.Drone 飞行器, 见图 1。AR.Drone 平台由电子调速器、8 英寸螺旋桨和 15 W, 35 000 转无刷电机组成, 这些组件都是由派诺特公司开发的。AR.Drone 是一种垂直起飞和着陆飞行器, 该飞行器由 4 个设有无刷发动机的螺旋桨驱动, 马达和推进器成对反向旋转, 抵消从螺旋桨



Fig.1 Parrot AR.Drone
图 1 Parrot AR.Drone 飞行器

收稿日期: 2012-10-09; 修回日期: 2012-12-17

基金项目: 国家自然科学基金面上资助项目(61174013); 江苏省高校自然科学基金资助项目(No.BK20110398); 江苏省高校自然科学基金资助项目(No.08KJD520003)

产生的扭矩。以"x"轴方向控制配置操纵飞行器表明有 2 个马达用于飞行器的转换。

2 群方程

在本节中, 根据第 i - n 个四旋翼飞行器周围环境的情况开发了理想位置的计算方法。周围环境通过力作用于飞行器, 力相加, 然后将其转化为理想的位置。

2.1 个体影响

飞行器分离与聚合的影响见式(1), 式(1)表明了所有单个飞行器的相互作用并确保它们能被适当地分组。

$$F_{\text{ind}_i} = \sum_{j, j \neq i}^N e_{ij} \cdot F_{\text{ind}_j} \quad (1)$$

式中: F_{ind} 为指向单个飞行器的作用力; e_{ij} 为距离的权重函数, 其大小依赖于飞行器 F_{ij} 之间的相对距离。

2.2 目标影响

在实际应用中, 分配飞行器所应该到达的位置是比较方便的, 指向目标的相互作用力被设计为弹簧-阻尼模型, 设目标向量 L_{ig} 为 0。如果飞行器与目标位置太远, 指向目标的相互作用力 F_{goal_i} 的幅度就会过大, 因此 F_{goal_i} 的幅度设为常数, 方向设为目标向量 L_{ig} 的方向。

$$F_{\text{goal}_i} = K_g \cdot L_{\text{ig}} + D_g \frac{dL_{\text{ig}}}{dt} \quad (2)$$

式中: K_g 为弹簧劲度系数; D_g 为阻力系数。

2.3 四旋翼飞行器逃逸算法的实现

通过 2 个步骤为四旋翼飞行器设计逃逸算法: a) 将所有群成员的实际位置作为程序循环中的输入参数, 所有四旋翼飞行器的理想位置作为输出, 它们的理想位置作为每个飞行器控制器的输入; b) 为单个飞行器设计控制器。控制器的输入参数是飞行器的理想位置, 输出为螺旋桨的角速度。

在程序循环开始时, 群中的每个四旋翼飞行器计算出其理想的位置。理想位置由以下条件决定: a) 具有本地交互的所有成员的位置; b) 在飞行器传感器范围内的障碍物的位置; c) 目标位置。

四旋翼飞行器的理想位置作为控制器的输入。控制器计算飞行器需要获得理想位置的升力和时刻, 升力和时刻能够转化为转子的速度, 第 3 小节描述了控制器的设计。

3 控制器设计

3.1 四旋翼飞行器模型

图 2 为四旋翼飞行器模型, f_1, f_2, f_3 和 f_4 为每个轴所受的力, i_1, i_2, i_3 和 i_4 为中心各轴的向量。该系统的 4 个相同的转子位于正方形的顶点, 产生该正方形的面的法线的推力和扭矩。选择 b_1, b_2 和 b_3 为机体的固定框架, 机体的固定框架原点位于飞行器质量的中心。 b_1 和 b_2 位于有 4 个转子的中心所定义的平面。机体的固定框架轴 b_1 相对于平面指向下, 与总力矩的方向相反。要开发控制器需要进一步阐述四转子的动态性^[6-7]。

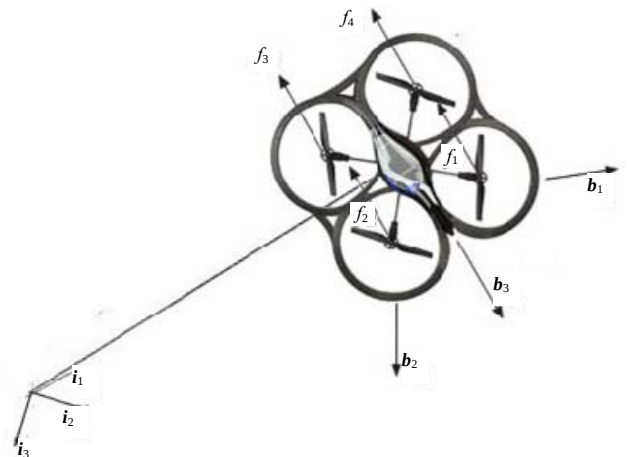


Fig.2 Illustrated model of quadrotor aircraft
图 2 四旋翼飞行器模型

3.2 跟踪控制器设计

控制器用来跟随质量中心位置以及已给出头向量方向的路径。对于位置与速度的追踪误差如下:

$$e_x = x - x_d \quad (3)$$

$$e_v = v - v_d \quad (4)$$

式中: e_x 为位置误差; x 为目标位置; x_d 为初始位置; e_v 为速度误差; v 为目标速度; v_d 为初始速度。

旋转矩阵和角速度的跟踪误差分别如下:

$$e_R = \frac{1}{2}(\mathbf{R}_d^T \mathbf{R} - \mathbf{R}^T \mathbf{R}_d)^\vee, \quad e_\Omega = \Omega - \mathbf{R}^T \mathbf{R}_d \Omega_d \quad (5)$$

式中: e_R 为旋转矩阵的跟踪误差; e_Ω 为角速度的跟踪误差; Ω 为角速度; $\mathbf{R}$ 为旋转矩阵。

下面根据 x_d 和头方向向量 $\mathbf{b}_{1d}$ 定义理想旋转矩阵 $\mathbf{R}_d$ 。如果四转子不在理想的位置, 它就会倾斜移动, 因此旋转矩阵 $\mathbf{R}_d$ 还要依赖位置误差 e_x 和速度误差 e_v 。旋转矩阵 $\mathbf{R}_d$ 中的倾斜度取决于机体的固定轴 $\mathbf{b}_{3d}$, $\mathbf{b}_{3d}$ 定义如下:

$$\mathbf{b}_{3d} = \frac{-k_x e_x - k_v e_v - m g e_3 + m \ddot{x}_d}{\| -k_x e_x - k_v e_v - m g e_3 + m \ddot{x}_d \|} \quad (6)$$

式中: k_x 为位置系数; k_v 为速度系数; m 为机体质量; g 为重力加速度; e_3 为第 3 轴位置误差。

对于给定的 $\mathbf{b}_{1d}$ 和计算得出的 $\mathbf{b}_{3d}$, $\mathbf{b}_{2d}$ 为 $\mathbf{b}_{3d}$ 和 $\mathbf{b}_{1d}$ 这 2 个垂直轴交叉积的一个单位向量,

$$\mathbf{b}_{2d} = \frac{\mathbf{b}_{3d} \times \mathbf{b}_{1d}}{\| \mathbf{b}_{3d} \times \mathbf{b}_{1d} \|} \quad (7)$$

$$\mathbf{R}_d = (\mathbf{b}_{1d}, \mathbf{b}_{2d}, \mathbf{b}_{3d}) \quad (8)$$

一旦计算出所有的误差和理想的位置, 就可以确定螺旋桨到达理想的位置所产生的力和时刻:

$$\mathbf{f} = (-k_x e_x - k_v e_v - m g e_3 + m \ddot{x}_d) \cdot \mathbf{R}_{e_3} \quad (9)$$

$$\mathbf{M} = -k_R e_R - k_\Omega \Omega + \Omega \times \Omega - J(\dot{\Omega} \mathbf{R}^T \mathbf{R}_d \Omega_d - \mathbf{R}^T \mathbf{R}_d \dot{\Omega}) \quad (10)$$

式中: $\mathbf{f}$ 为螺旋桨到达理想的位置所产生的力; $\mathbf{R}_{e_3}$ 为第 3 轴跟踪误差的旋转矩阵; $\mathbf{M}$ 为作用于四转子的所有时刻的总和; k_R 为旋转矩阵系数; k_Ω 为角速度系数; Ω_d 为初始角速度。

4 实验与仿真结果

通过 2 个实验对本文所设计的控制器在群四旋翼飞行器中进行测试。

实验 1: 在实验中使用 27 个四旋翼飞行器编队, 该编队开始在系统原点, 在 (5,0,0) 处放置一个障碍物, 目标位置为 (10,0,0)。仿真开始时, 飞行器增加与预设值的相对距离并且以一个群的方式移动。几步之后, 飞行器会检测到障碍物, 然后群会分成组来避障。所有飞行器与障碍物之间的距离见图 3。群飞行器中相邻最近的飞行器之间的距离见图 4。

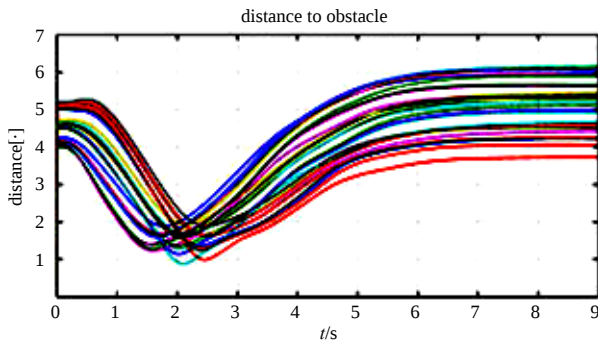


Fig.3 Distances to the obstacle in experiment 1
图 3 实验 1 中障碍物距离曲线图

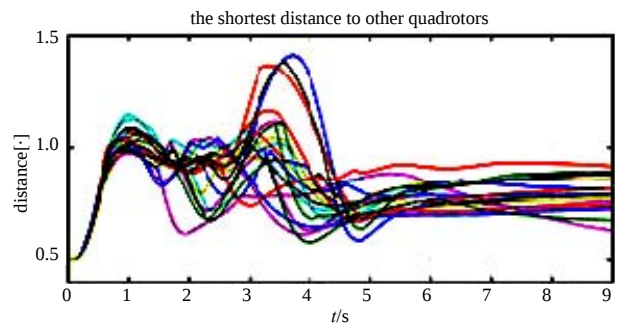


Fig.4 Distances to the closest neighbor in experiment 1
图 4 实验 1 相邻最近的飞行器之间距离曲线图

实验 2: 在 (5,0,0), (5,0,2) 和 (7,2,0) 处分别放置 3 个障碍物, 飞行器按预期避障, 飞行器与障碍物之间的距离见图 5。群飞行器中相邻最近的飞行器之间的距离见图 6。

5 结论

本文为群飞行器设计了逃逸行为算法, 该算法降低了群飞行器与动态障碍物碰撞的可能性。此逃逸行为算法能够为真实的四旋翼飞行器实现控制器, 可用于将整个群由 A 点转换到 B 点。理论与实验测试结果表明算法能够用于四旋翼飞行器的动态障碍物避障。

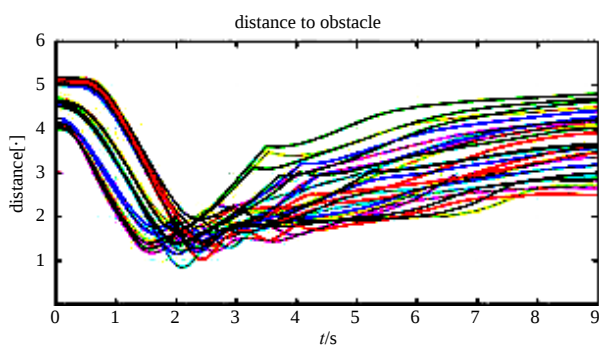


Fig.5 Distances to the obstacle in experiment 2

图5 实验2中障碍物距离曲线图

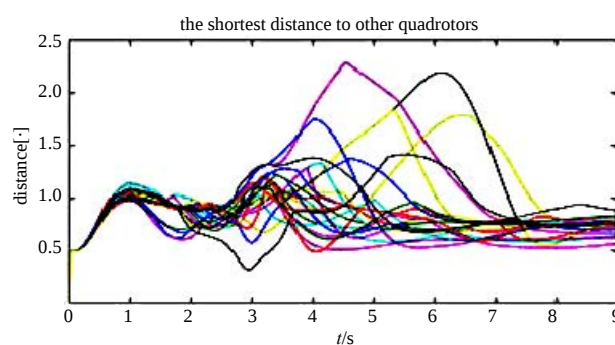


Fig.6 Distances to the closest neighbor in experiment 2

图6 实验2中相邻最近的飞行器之间距离曲线图

参考文献:

- [1] LaLena M. Flocking behavior simulator[EB/OL]. [2012-01-02]. <http://www.lalena.com/AI/Flock/>.
- [2] 刘永强,常青,熊华钢. 改进蚁群算法求解多属性双边稳定匹配问题[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2011,9(4):510-514. (LIU Yongqiang, CHANG Qing, XIONG Huagang. Improved ant colony algorithm for multi attribute stable bipartite matching problems[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2011,9(4):510-514.)
- [3] Min Hongkyu, Wang Zhidong. Design and analysis of group escape behavior for distributed autonomous mobile robots[C]// 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA). Shanghai:[s.n.], 2011:6128-6135.
- [4] P.S.A. Ar.drone[EB/OL]. [2012-01-02]. <http://ardrone.parrot.com/parrot-ar-drone/en>.
- [5] 庞庆霖,李家文,黄文浩. 四旋翼飞行器设计与平稳控制仿真研究[J]. 电光与控制, 2012,19(3):51-55. (PANG Qingpei, LI Jiawen, HUANG Wenhao. Design of a Quadrotor Helicopter and Its Smooth Motion Control Simulation[J]. Electronics Optics & Control, 2012,19(3):51-55.)
- [6] Hoffmann M Gabriel, Huang Haomiao, Waslander L Steven, et al. Quadrotor helicopter flight dynamics and control: Theory and experiment[C]// Proceedings of the AIAA guidance, navigation, and control conference and Exhibit. Hilton Head, South Carolina:[s.n.], 2007:1-20.
- [7] 杨庆华,宋召,时磊. 四旋翼飞行器建模、控制与仿真[J]. 海军航空工程学院学报, 2009,24(5):499-502. (YANG Qinghua, SONG Zhao, SHI Lei. Modeling, Control and Simulation of a Quadrotor Aircraft[J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautic University, 2009,24(5):499-502.)

作者简介:



张金学(1974-),男,黑龙江省齐齐哈尔市人,硕士,实验师,主要研究领域为计算机技术和机器人技术.email:greyground@163.com.

掌明(1971-),男,江苏省连云港市人,博士,副教授,主要研究领域为无线传感器网络与机器人技术.