

基于远程控制的六足搜救机器人系统的设计

段志国¹, 赵怀北², 刘叔军¹, 吕 庭¹

(1. 常熟理工学院 电气与自动化工程学院, 江苏 常熟 215500;

2. 常熟理工学院 机械工程学院, 江苏 常熟 215500)

摘要: 针对灾后现场环境的危险性与复杂性, 设计了一套搜救机器人系统; 在基于仿生学的基础上设计机器人六足式移动平台, 以 Atmega128 型单片机为控制核心, 通过步态与动作控制, 使之具有强大的越障能力和机体灵活性; 整个搜救系统分为机器人系统和控制中心系统两大部分; 机器人系统配有完备的传感器模块以及高清摄像头, 通过无线传输技术, 可在 0~1 000 m 范围内实现向控制中心系统上位机的数据与图像传输, 并接受上位机控制指令, 控制中心根据采集到的信息, 可以有效指挥现场搜救人员, 大大提高了搜救速度与效率。

关键词: 搜救; 六足机器人; 多传感器; 远程控制

Design of Search and Rescue Hexapod Robot System Based on Remote Control

Duan Zhiguo¹, Zhao Huaibei², Liu Shujun¹, Lü Ting¹

(1. School of Electric and Automatic Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China;

2. School of Mechanical Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China)

Abstract: A set of search and rescue robot system is designed according to the risk and complexity of the environment after disaster. The hexapod mobile platform of the robot is designed based on the bionics. Its strong ability of obstacle surmounting and body flexibility can be realized by using Atmega128 MCU as control core as well as the control of gait and movement. The search and rescue system is divided into two parts: the robot system and the control center system. The robot system is equipped with complete sensor modules and high-definition camera, realizing the data and image transmission to the upper computer of control center system within 1000 meters through wireless transmission technology, then accept the control command of upper computer. Based on the collected information, the control center can direct the rescue workers effectively, at the same time, improve the speed and efficiency of the search and rescue.

Keywords: search and rescue; hexapod robot; multi sensors; remote control

0 引言

矿难, 地震, 山体滑坡等灾难发生后, 在废墟中搜寻并尽快救出被困者是救援人员面临的紧迫任务。实际经验表明, 超过 48 小时后被困在废墟中的幸存者存活概率变得越来越低^[1]。大多数情况下, 灾后现场的环境复杂性、未知性及潜在的二次伤害等特点, 使得救援人员无法第一时间在灾难现场实施救援工作^[2]。如果在救援人员的安全得不到充分保障的前提下强行实施救援工作, 不但无法完成救援任务, 而且会造成更大的损失^[3], 因此利用搜救机器人在灾后第一时间深入现场可以帮助救灾人员快速获取现场信息, 探明受伤者位置, 同时减少不必要的伤害。

目前国内外灾难搜救机器人以履带式 and 轮式为主, 近几年来, 蛇形机器人和四足机器人也逐渐成为研究热点^[3-6]。在断层、离散空间等复杂区域内, 履带式、轮式、蛇形机器人将大大受到限制, 而在国内自适应步行控制算法匮乏的现状下, 四足机器人的稳定性稍显不足。本文考虑设计一款全面适应灾难现场状况的仿生六足搜救机器人, 提出一种正六边形的机械构造方案和一种远程监控的控制方案, 自主设计硬件电路, 控制

程序以及上位机软件, 构成一个完善稳定的搜救系统。

1 设计方案与原理

利用高清摄像头和传感器系统的配合, 远程控制中心可以控制机器人准确快速的找到幸存者的位置, 了解救灾现场的环境状况, 然后把受伤人员位置, 路线规划, 危险信号等重要信息发送给正在现场搜救的救援人员, 搜救示意图如图 1 所示。

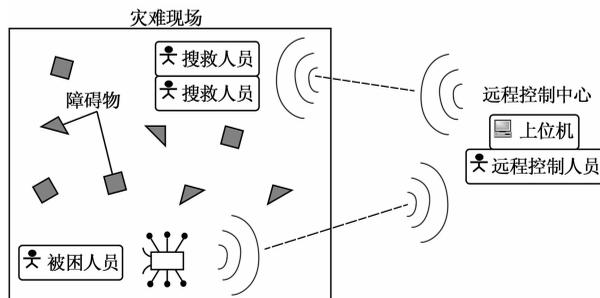


图 1 搜救过程示意图

机器人的“眼睛”——高清摄像头和“感官”——传感器系统使其实现了图像的采集以及生命、火焰、烟雾、温湿度、光强、障碍等信息的检测, 主控制器对这些信号处理后通过无线通信系统发送给上位机, 并根据上位机传回的控制命令驱动执行机构完成相应动作, 控制示意图如图 2 所示。

收稿日期: 2015-01-23; 修回日期: 2015-03-24。

作者简介: 段志国(1992-), 男, 江苏句容人, 主要从事机器人与目标跟踪方向的研究。

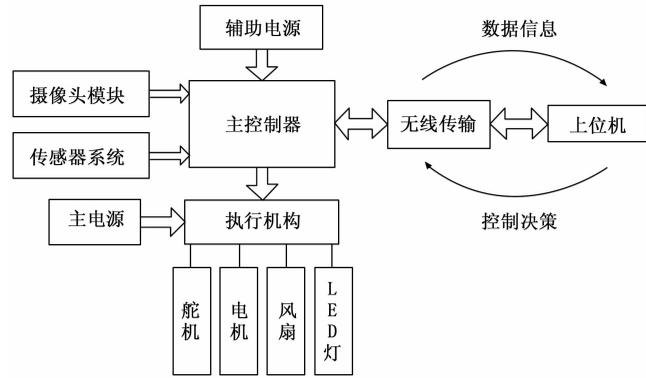
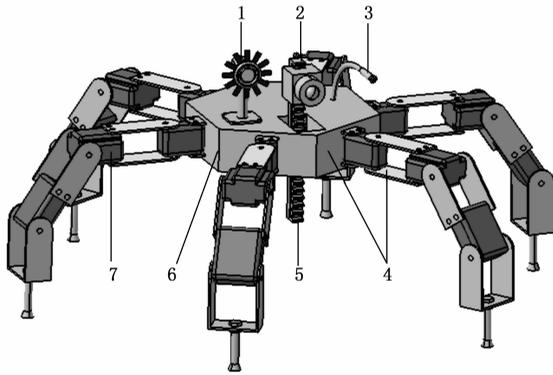


图 2 控制原理示意图

2 系统硬件结构的设计

机器人的机械结构如图 3 所示, 在基于仿生学的基础上, 结合稳定性设计正六边形机身。机身及腿部架构采用硬铝制作, 和 18 个驱动舵机共同构成机器人的主体硬件支撑。主要的传感器模块和电源电路安装在机身内部, 机身上装有风扇, 高清摄像头和 LED 灯。风扇安装在一个具有俯仰自由度的云台上。高清摄像头在电机带动下可以沿着齿条上下移动, 配合腿部自由度, 真正实现了全方位无死角的视角探测。



1. 风扇 2. 高清摄像头 3. LED 灯
4. 机架 5. 齿条 6. 传感器模块 (内部) 7. 舵机

图 3 机器人整体结构图

2.1 主控制器

六足搜救机器人系统搭载的是 ATMEL 公司研发出的增强型内置 Flash 的 RISC 精简指令集高速 8 位单片机 Atmega128。Atmega128 具有强大的高速处理能力, 处理速度达到 1MIPS/MHz (百万条指令每秒/兆赫兹); 抗干扰能力强, 可靠性高; I/O 口资源灵活、功能强大。其具备的特点非常适合搜救机器人的工作需求。

2.2 传感器系统

为了让远程控制中心准确了解救灾现场状况, 同时也保证搜救机器人在救援环境中的顺利前进, 必须采取先进的信号采集与测量系统, 并利用先进的控制手段对搜救机器人的运动状态和姿势进行实时有效的控制。搜救机器人搭载多种传感器, 实现了相应信号的检测, 包括热释电红外传感器、火焰传感器、烟雾传感器、超声波测距传感器、光敏传感器、温湿度传感器。

1) 红外探测器采用热释电元件, 对人体辐射出的 $10\ \mu\text{m}$

左右波长的红外辐射非常敏感。该传感器用于探测由于摄像头忽略掉的, 或者是压在废墟下不易被观察到的生命存在, 确定受伤人员的位置。

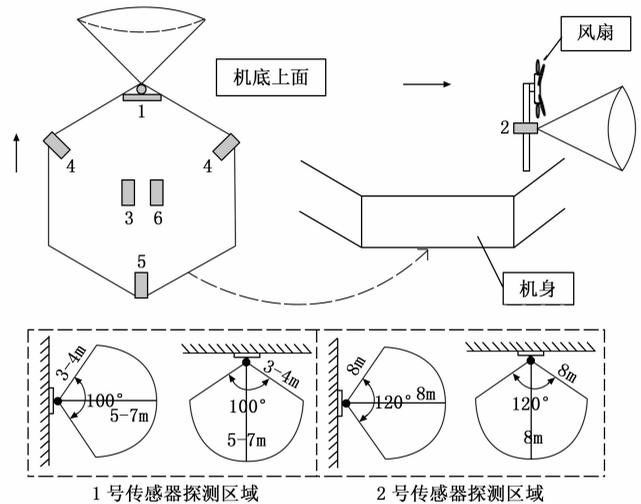
2) 火焰传感器探测角度为 60 度左右, 对火焰光谱特别灵敏, 用于检测救灾现场的明火, 当接收到开启风扇命令时, 火焰传感器和高速风扇配合可以实现自动对准火焰进行灭火。

3) 烟雾传感器检测现场的气体状况, 当检测到烟雾浓度过高而影响观测距离时, 可以控制高速风扇开启进行驱散。

4) 超声波测距传感器实时测量前方两侧障碍, 机器人根据测得的距离能够灵活变换姿态, 顺利通过各种狭窄路径。

5) 光敏传感器以及温湿度传感器采集现场的光强, 温度以及湿度, 当光照强度过弱时, 可以开启 LED 灯进行照明。

传感器系统实现了搜救现场环境信息的采集, 这些信息可以帮助控制中心作出最有利的路线规划与控制决策, 对整个搜救系统至关重要, 各传感器的安装如图 4 所示。



1. 热释电红外传感器 2. 火焰传感器 3. 烟雾传感器
4. 超声波测距传感器 5. 光敏传感器 6. 温湿度传感器

图 4 传感器安装示意图

2.3 无线通信系统

机器人采用分离式双数据传输方式, 即无线蓝牙串口通信和 WIFI 无线通信, 无线蓝牙用于传输传感器系统采集的数据信息以及上位机对机器人的控制指令, WIFI 用于传输高清摄像头采集的视频画面, 这两种方式是独立进行互不干扰的, 可以增加单位时间内的信息传输量。系统采用 HC-12 蓝牙串口模块, 该模块功耗小, 传输距离长, 省电模式下工作电流为 $0.08\ \text{mA}$ 左右, 全速状态模式工作电流为 $16\ \text{mA}$ 左右, 在空旷地区最大传输距离可达 $1\ 000\ \text{m}$ 。搜救机器人使用的无线网络摄像头通过 WIFI 将视频信号传输到对应的网络站点上, 在网页上以流媒体的形式展现, 接着利用上位机的网页访问功能进行访问, 可以恰到好处的实现现场画面的监测。

2.4 电源模块

机器人在搜救过程中需要稳定持久的电源, 故本机器人系统采用双电源管理模式。主电源采用 $7.4\ \text{V}\ 5200\ \text{mah}\ 30\ \text{C}$ 锂电池, 该锂电池容量大, 电流放大倍率大, 可以保证机器人的续航能力。锂电池通过大功率降压芯片转换为 $6\ \text{V}$ 电压, 为机器人运动舵机, 高速电机供电。辅助电源采用 $7.2\ \text{V}\ 2\ 200$

mah 的普通锂电池，通过三端稳压集成芯片 LM7805 降压为 5 V 电压，为主控制器和 LED 灯供电，安全可靠。图 5 是为本系统专门设计的电源电路。

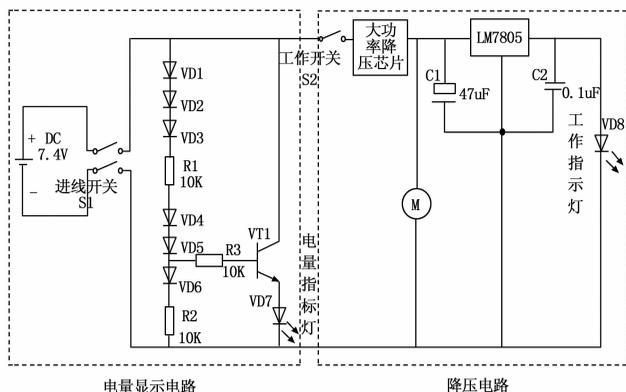


图 5 主电源电路

3 六足搜救起机器人的步态设计

本系统为机器人设定了多种基本步态，包括“3+3”快速型直行步态，“4+2”稳定型直行步态，以及同心圆定点转弯步态，远程控制人员可以根据救灾现场具体的地形灵活的调节机器人运动步态。

1) “3+3”型直行步态：

“3+3”型步态又称三角步态。这种行走方式的特点是：3 条腿为一组，交替前行。每个时刻总有 3 条腿着地，保持身体的平衡。腿的每一个运动周期使身体前进一个步长 S，所以这种步态是直线行走中最快速的步态，对于直行的机构往往采用三角步态^[7]。

2) “4+2”型直行步态：

“4+2”型步态又称四足步态，是指机器人前进过程中有 4 条腿作为支撑相，另外 2 条腿作为摆动相。每个时刻总有 4 条腿着地的支撑状态相比 3 条腿的支撑状态来说，每条腿承受的力更小，从而更加稳定。缺点是每个前进周期需要的阶段更多且向前推进的距离 W 只有三足步态下推进距离 S 的 1/2，即快速性降低。在四足步态下，机器人可以承受更大的负载，故四足步态也具有重要的应用意义。

3) 同心圆定点转弯步态：

机器人的转弯可以是同心圆定点转弯，也可以是在前进过程中转弯，考虑到灾后现场空间的狭小性，本系统采用更加灵活、快速的同心圆定点转弯。

4 下位机程序设计

机器人系统以 Atmega 128 作为下位机控制核心，利用上位机进行远程操控。下位机程序主要包括初始化程序，中断控制程序，串口通信程序，传感器信号采集程序，A/D 转换程序，智能动作程序，动作组程序，避障操作程序。

机器人进入救灾现场后，首先对所需要用到的模块进行初始化，然后控制人员根据高清摄像头采集到的现场画面对机器人进行前进，后退，向左，向右的控制。机器人的运动利用主控制器的定时器产生 18 路 PWM 波，以控制 18 个舵机的转角来完成相应的动作。机器人的常规运动采用动作组控制模式，即把机器人的直行，转弯等低层步态、动作进行预先的规划，将提前计算得到的舵机转角数据存储在主控制器中，作为固定

步态来调用。这些动作组成机器人的“动作库”，供机器人运行时调用^[8]。

在机器人行进过程中，传感器模块实时采集现场环境信息，通过无线蓝牙传送给上位机，让监控人员随时了解现场状况，基于这些采集的信息，可以实现机器人的智能动作、避障动作等高层动作（智能动作是指机器人根据火焰传感器检测的数据自动对准火焰的能力）。另外机器人身体两侧靠前部分安装有两块超声波测距模块，在前进过程中，不断地发射超声波进行测距，根据测得两侧障碍的距离，以变化腿部角度，调节前进姿态，顺利通过各种窄径，并在有限的空间区域内实现同心圆定点旋转。为了完成姿态角的计算，建立如图 6 (a) 所示坐标系，其中 r 为正六边形机身内切圆半径，图 6 (b) 为机器人行进过程中测距示意图。

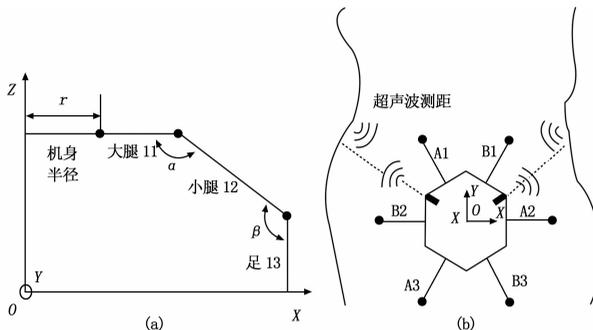


图 6 机器人腿部坐标定义与测距示意图

姿态角计算公式如下：

$$r + \frac{\sqrt{3}}{2}c = r + l1 + l2\sin(\alpha - 90^\circ) \quad (1)$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\sqrt{3}c - 2l1}{2l2}\right) + 90^\circ \quad (2)$$

$$\beta = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{\sqrt{3}c - 2l1}{2l2}\right) \quad (3)$$

式中，c 为测距传感器返回测量距离， $r + \frac{\sqrt{3}}{2}c$ 为前方实际最大可行半径。整个下位机控制流程图如图 7 所示。

5 上位机设计

上位机系统是本设计的关键部分，在整个系统的运行中扮演着中转站的角色，对于远程控制人员准确了解救灾现场信息从而给现场搜救人员发送指令至关重要。上位机系统由 Visual Basic 进行开发，主要分为视频采集，串口设置以及远程监测与控制三大部分，主要功能是信息显示以及给机器人发送控制指令。

本系统的上位机程序采用图形化的操作界面，通过图形和控件的提示性文字，可以准确了解现场环境，同时可以对机器人运行状态，执行机构，步态和越障进行控制与选择，即在机器人运行过程中控制人员可以根据地形状况切换其快速型或稳定型步态，进行运行高度的控制以及根据光强、烟雾浓度和火焰状况开启或关闭 LED 灯和风扇。

6 测试结果与分析

经测试，由笔者设计的六足机器人在上位机的控制下具有稳定的直行与转弯状态，能够顺利跨越 6 cm 高的台阶，通过

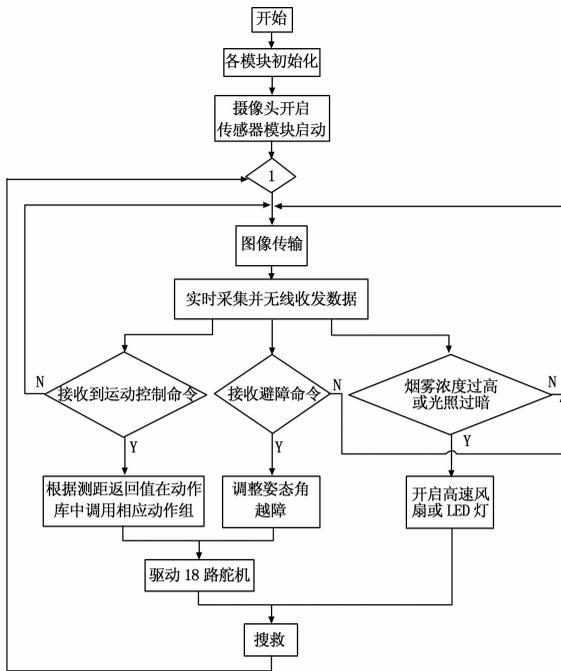


图 7 下位机控制流程图

高 10 cm, 直径为 8 cm 的凸起。机器人通信系统和传感器系统工作正常, 配合高清摄像头能够准确的采集现场环境信息和视频状况, 并实时显示在上位机上。

实验证明, 该机器人兼顾稳定性与足式机器人受地面障碍物的影响小的优点, 可以在更复杂的环境下顺利行进, 整个搜

(上接第 2391 页)

5 结论

本文首次将萤火虫优化算法应用于船舶航向跟踪控制器的参数优化, 并提出一种主从交互式萤火虫群优化算法。与 PSO 算法进行比较, 实验证明 FA 优化的 FOPID 控制器有更好的控制效果。敏感性分析证明了算法得出的 FOPID 参数具有鲁棒性, 当系统参数大幅度变化时不需要重新设置。

参考文献:

[1] Yang X-S. Nature-inspired metaheuristic algorithm. Frome [M]. Somerset: Luniver Press.

[2] Yang X-S. Firefly algorithms for multimodal optimization. In Stochastic algorithms: Foundations and applications, SAGA 2009 [C]. Lecture notes in computer sciences, 5792, 169-178.

[3] Fister I, Fister I, Jr, Yang X-S. et al. A comprehensive review of firefly algorithms [J]. Swarm and Evolutionary Computation, 2013, 13: 34-46.

[4] Fister I, Yang X-S, Brest J, et al. Modified firefly algorithm using quaternion representation [J]. Expert System with Applications, 2013, 40: 7220-7230.

[5] Yang X-S, He X. Firefly algorithm: Recent advances and applications. International Journal of Swarm Intelligence, 2012, 1: 36-50.

[6] Astrom K J, Hagglund T. PID Controllers: Theory, Design and Tuning, second ed [M]. Instrument Society of America, Re-

search Triangle Park, North Carolina, USA, 1995.

7 结束语

本系统利用仿生学原理设计了六足机器人的机械结构, 基于传感器模块的信息采集系统和基于远程上位机的运动控制系统构成了一个完整的搜救系统, 体现了本设计的智能性与实用性。六足搜救机器人系统的创新之处在于自主设计的硬件结构并针对救灾现场地形与环境状况研究了搜救机器人的步态规划与越障能力, 对于今后进一步研究机器人在灾后搜救过程中的应用有着重要的意义。

参考文献:

[1] 毛丽民, 刘叔军, 徐本连, 等. 蚂蚁机器人的群智搜救系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (11): 3051-3053.

[2] 王立忠, 孙汉林, 张为家, 等. 可视无线搜救机器人控制系统研制 [J]. 吉林师范大学学报 (自然科学版), 2013, 2013, 34 (4): 101-103.

[3] 王 鹏, 李 鑫, 江文浩. 地震搜救机器人构型设计综述 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2012, 17 (1): 15-19.

[4] 王忠民. 灾难搜救机器人研究现状与发展趋势 [J]. 现代电子技术, 2007, 30 (17): 152-155.

[5] 董晓坡, 王绪本. 救援机器人的发展及其在灾害救援中的应用 [J]. 防震减灾工程学报, 2007, 27 (1): 112-117.

[6] 李 斌. 蛇形机器人的研究及在灾难救援中的应用 [J]. 机器人技术与应用, 2003 (3): 22-26.

[7] 金 波, 胡 厦, 俞亚新. 新型六足爬行机器人设计 [J]. 机电工程, 2007, 24 (6): 23-25, 36.

[8] 王 倩, 陈 甫, 臧 希, 等. 新型六足机器人机构与控制系统设计 [J]. 机械设计与制造, 2008 (3): 148-150.

[7] Oustaloup A, Levron F, Mathieu B, et al. Frequency-band complex noninteger differentiator: characterization and synthesis [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 2000, 47: 25-40.

[8] Samko S G, Kilbas A A, Marichev O I. Fractional integrals and derivatives: theory and applications [M]. Gordon & Breach Science Publishers Inc, Philadelphia, Pennsylvania, 1993.

[9] Yousfi N, Melchior P, Rekić C, et al. Path tracking design by fractional prefilter using a combined QFT/H ∞ -design for TDOF uncertain feedback systems [J]. Journal of Applied Nonlinear Dynamics 1, 2012, 239-261.

[10] Miller K, Ross B. An Introduction to the Fractional Calculus and Fractional Differential Equations [M]. Wiley-Blackwell, New York, 1993.

[11] Podlubny I. Fractional-order systems and PI-D α -controller [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1999, 44: 208-214.

[12] Li H S, Luo Y, Chen Y Q. A fractional order proportional and derivative (FOPD) motion controller: tuning rule and experiments [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2010, 18: 516-520.

[13] Swarm intelligence based dynamic obstacle avoidance for mobile robots under unknown environment using WSN [J]. Journal of Central South University of technology, 2008, 15 (6): 860-868.

[14] Nomoto K. On the steering quality of ships [J]. International Ship building Progress. 1957, 35: 354-370.