

高压输电线巡线机器人多传感器相互融合

为了满足电力线路巡视检查的高效化、智能化和自动化的要求,设计了一款基于多传感器相融合的巡线机器人控制系统。首先详细分析了电力巡线机器人控制系统硬件结构,并针对机器人在巡线过程中多个传感器信息相互配合过程中易出现的错误信息,提出了一种多传感器信息相融合技术,系统采用多传感器融合法为实现机器人越障动作作基础保证。实验结果表明,多传感器融合法能够实现传感器信息的高度融合,具有较高的融合准确度,对于巡线机器人的非线性多传感器检测系统的越障提供了有利的保证。

任晓芳 刘 青/兰州工业学院电气工程学院

0 引言

电力系统的快速和稳定发展对于国民经济的提升具有重要作用,同时也给人们的生活带来了巨大便利^[1]。输电线路安全稳定是保证电力快速输送的重要保障,而输电线路中通常存在积雪或者其他漂浮物,且输电线出现微小的破损如果不被及时发现,则破损会不断加大,严重威胁着输电系统的安全,从而造成大面积停电并导致巨大的经济损失^[2-3]。因此电力公司需要对各输电线路进行定期检查,发现问题及时解决,保证国家电力系统正常运行。传统的输电线路通常通过人工进行检查,但该检查存在重大安全隐患,且检查效果并不理想。而采用多传感器相互配合的巡线机器人可以有效地对输电线路进行不间断检查,且不存在人身安全隐患^[4-5]。

巡线机器人在巡检过程中需要跨越多种障碍物,因此在跨越障碍物过程中需要提前发现障碍物,而发现障碍物需

要多个传感器进行检测,多个传感器相互配合并将信号传送到控制系统中,控制器根据采集到的信号作出相应动作,由此可以看出巡线机器人中传感器信号的采集对于机器人能否正常稳定可靠运行具有决定性作用,为此本文针对多传感器巡线机器人信号采集提出了一种多传感器信息融合方法,保证巡线机器人传感器信息的高效、高准确度传输。

1 巡线机器人本体结构

多传感器巡线机器人控制是集计算机、机械、自动化控制和传感器技术等多个学科于一体的综合系统。由于巡线机器人需要在风雪天气中进行巡视,工作环境恶劣,该巡线机器人需要具备以下功能:①机器人能够在高压输电线路路上稳定行走;②能够分辨出障碍物;③在分辨出障碍物的前提下,能够自主跨越输电线路上的防振锤等障碍物;④能够通过摄像头将输电线路状态图像传输到指挥平台。

本文所研究的巡线机器人如图1所示,该机器人由前臂、中臂、后臂和控制柜体组成。在机械臂上安装激光测距传感器、红外传感器以及摄像头,用于



任晓芳/讲师

关键词/Keywords

多传感器·
巡线机器人·
多传感器融合·
实验·



图1 巡线机器人

甘肃省高等学校科研项目(2015B-125)。

障碍物检测和观察线路。通过多传感器相互配合使机器人臂在电路上稳定运行，并保证机器人在障碍物面前能够灵活跨越。

2 巡线机器人硬件结构

巡线机器人控制系统采用三级递阶控制模式，包括管理级、协调级以及执行级，整个控制系统硬件结构如图2所示。

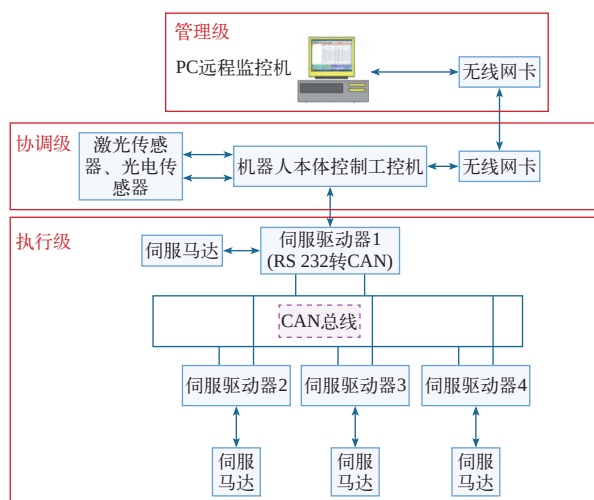


图2 巡线机器人硬件结构

PC远程监控主机的主要作用是对高压输电电路上巡检的机器人进行远程监控和监视。巡检机器人本体控制系统采用工控机进行控制，在远程控制模式下，接收远程PC组态网发送的控制命令，并将其转化为各个电动机的运动轨迹，传感器通过采集障碍信号传送到工控机，并由控制器核心作出判断，并作出相应动作规划，最终生成各伺服电动机的运动轨迹。另外还通过图像采集卡将摄像头采集到的信息通过无线网卡传送到地面PC主机上，最终完成线路的巡视。执行层主要由伺服驱动器和伺服电动机组成，该款伺服驱动器不仅具有CANOPEN协议，还具有CAN总线端口，并可以通过RS 232转CAN总线进行通信。机器人本体控制系统安装在机器人本体上，通过无线网络实现与远程PC主机的通信。

3 多传感器信息融合

随着机器人智能化程度的不断发展，装载

在机器人系统上的智能传感器种类以及数量也越来越多，机器人在运动过程中需要对外部环境进行智能感知，单一的传感器不能满足机器人高智能化以及自动化的要求，系统必须通过多个传感器进行相互配合，从而完成对外部环境信息的同时检测。机器人多传感器在采集信号过程中，需要通过数据融合技术将外部环境信息进行融合处理，并将得到的最终信号传送到控制器核心，多传感器信息融合技术提高了目标信息的准确性以及稳定性。

传感器信息融合是对多种信息的获取、表示及其内在联系进行综合处理和优化的技术。多传感器信息融合技术从多信息的视角进行综合处理，得到各种信息的内在联系和规律，剔除无用错误的信息，保留正确有用的成分，最终实现信息的优化。多传感器融合（MSF）是利用计算机技术将来自多源或多传感器的数据和信息在一定原则下加以自动分析、综合，以完成所需要的估计和决策而进行的信息处理过程，目的是得出更为准确可信的结论^[6-8]。为了提高机器人传感器信息采集的准确性，本文提出了一种多传感器信息融合算法，由此得到准确的传感器信息。

假设 F 为所有可能证据所构成的有限集， A_i 为集合 F 中的某个元素（证据）。引入信任函数 $B(f) \in [0, 1]$ ，它表示每个证据的信任程度： $B(F) = 1$ ， $B(\Phi) = 0$ 。引入基础概率分配函数 $m(f) \in [0, 1]$ ，满足 $m(\Phi) = 0$ 和 $\sum_{A \subseteq F} m(A) = 1$ ，与之相对应的信任函数： $B(A) = \sum_{C \subseteq A} m(C)$ ，其中 $C \subseteq A$ 。当利用 N 个传感器检测环境 M 个特征时，每一个特征为 F 中的一个元素。第 i 个传感器在第 $k-1$ 时刻获得的包括 $k-1$ 时刻前关于第 j 个特征的所有证据，用基础概率分配函数表示，其中 $i=1, 2, \dots, m$ 。第 i 个传感器在第 k 时刻所获得的关于第 j 个特征的新证据用基础概率分配函数表示。利用证据组合算法，可获得在 k 时刻关于第 j 个特征的第 i 个传感器和第 $i+1$ 个传感器的联合证据。以此递推，可获得所有 N 个传感器在 k 时刻对 j 特征的信任函数，信任度最大的即为信息融合过程最终判定的环境特征。

4 实验分析

准确测量线路上障碍物的距离，为机器人跨越障碍决策提供有价值的距离信息。为了验证本文提出的多传感器信息融合方法的有效性和准确性，对于不同距离的障碍物进行分组测试，实验前首先测出障碍物与传感器的实际距离，通过实验得到的测量数据如表1所示。

表1 实验结果

(单位: cm)

多传感器未融合		多传感器未融合
实际距离	距离偏差	
100	+0.5	+0.2
110	+0.7	+0.1
120	-1.5	+0.1
130	-0.5	-0.1
140	+1	+0.1
150	+0.4	0
160	-0.5	+0.2
170	-0.5	-0.1
180	+0.5	-0.2
190	-1.1	+0.2
200	+1.3	+0.1
210	+1.2	+0.2
220	-0.9	-0.1
230	-0.7	+0.2
240	+0.8	-0.1
250	-0.6	-0.2
260	+0.7	+0.1
270	-0.8	-0.2
280	-0.6	+0.1
300	-0.5	-0.1

由表1得到的融合数据可知，融合后的数据比单一传感器测得的数据更加准确，更接近实际值，实验结果验证了激光与红外传感器相互融合方法的有效性。

对机器人分别进行传感器未融合和传感器融合的越障实验，总共进行4组实验，每组进行20次自主越障，20次越障成功次数如表2所示。

由表2可以看出，经过传感器相互融合后的巡线机器人控制系统更加稳定、鲁棒性更高，越障成功率明显得到提高，因此，本文设计的控制系统以及多传感器相互融合方法能够为机器人的稳

表2 越障成功次数

序列	多传感器未融合	多传感器融合
1	19	16
2	18	15
3	20	13
4	18	15

定运行提供有效保证。

5 结束语

为了提高高压巡线机器人的智能自主性，有效地实现机器人在高压线路上安全稳定运行并自主越障，本文设计了一款基于工控机的多传感器相互融合的机器人控制系统。采用本文设计的多传感器融合方法，可以最大程度地减小机器人因为障碍物造成的控制系统紊乱，明显提高了机器人跨越障碍的成功率，有效地保证了巡线机器人全天候顺利完成线路的检查工作。

参考文献

- [1] 吴功平, 戴锦春, 郭应龙, 等. 输电导线机械破损的红外检测与故障诊断 [J]. 仪器仪表学报, 1999, 20 (6): 571.
- [2] 陈中伟, 肖华, 吴功平. 高压巡线机器人电磁传感器导航方法 [J]. 传感器与微系统, 2006, 25 (9): 33-35.
- [3] 张运楚, 梁自泽, 谭民. 架空电力线路巡线机器人的研究综述 [J]. 机器人, 2004, 26 (5): 467-473.
- [4] 吴功平, 肖晓晖, 郭应龙, 等. 架空高压输电线自动爬行机器人的研制 [J]. 中国机械工程, 2006, 17 (3): 237-240.
- [5] 王耀南, 李树涛. 多传感器信息融合及其应用综述 [J]. 控制与决策, 2001, 16 (5): 518-522.
- [6] 沈飞, 郭军. 基于BP神经网络的数据融合方法 [J]. 自动化与仪器仪表, 2005 (5): 63-68.
- [7] 龚元明, 萧德云, 王俊杰. 多传感器数据融合技术 (上) [J]. 冶金自动化, 2002 (4): 4-7.
- [8] 孙辉, 赵峰, 张峰云. 多传感器信息融合技术及其应用 [J]. 海洋测绘, 2009, 29 (5): 77-80.

(收稿日期: 2016-11-01) EA