

风洞通用压力扫描阀综合数据采集系统的设计与实现

曾 星, 顾光武, 张文清, 顾正华, 杨兆欣

(中国空气动力研究与发展中心 设备设计及测试技术研究所, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为了满足风洞中常用压力扫描阀的数据采集要求, 设计了一套风洞通用压力扫描阀综合数据采集系统; 首先对风洞压力扫描阀数据采集系统的结构组成以及常用的压力扫描阀进行了概述; 其次, 详细地给出了该系统的设计思路、系统组成以及实现方法; 最后, 使用该系统分别对两台 DSA 3217、两台 PSI 9116、一台 DSA 3217 和一台 PSI 9116 三种情况进行压力测试, 测试结果表明, 三种情况的数据差异都比较小, 分别为 3.2 Pa、1.6 Pa、9.9 Pa, 同时, 数据时间差最大值也很小, 分别为 5 ms、8 ms、30 ms; 由此, 可以说明本系统具有很好的同步性与兼容性, 能够实现风洞中的各类压力扫描阀的综合数据采集。

关键词: 风洞; 压力扫描阀; 数据采集

Design and Implementation of Comprehensive Data Acquisition System for Wind Tunnel Common Pressure Scanner

Zeng Xing, Gu Guangwu, Zhang Wenqing, Gu Zhenghua, Yang Zhaoxin

(Institute of Equipment Design and Test Technology, China Aerodynamics Research and Development Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: In order to meet the data acquisition requirements of the common pressure scanner in wind tunnel, a comprehensive data acquisition system of the common pressure scanner in wind tunnel was designed. In this paper, the structure of the data acquisition system of the wind tunnel pressure scanner and the commonly used pressure scanner are summarized. Secondly, the design idea, system composition and implementation method of the system are given in detail. Finally, the system was used to pressure test on two DSA 3217, two PSI 9116, one DSA 3217 and one PSI 9116, respectively. The test results showed that the data differences in the three cases are relatively small, respectively 3.2 Pa, 1.6 Pa, 9.9 Pa, and the maximum time difference of data is also small, respectively 5 ms, 8 ms, 30 ms. Therefore, it can be said that the system has a good synchronization and compatibility, and can realize the comprehensive data acquisition of various pressure scanning valves in the wind tunnel.

Keywords: wind tunnel; pressure scanner; data acquisition

0 引言

风洞是以人工方式产生并控制气流, 用来模拟飞行器或实体周围气体流动情况, 并可量度气流对实体的作用效果以及观察物理现象的一种管道状实验设备, 它是飞行器研制工作中的一个不可缺少的组成部分, 其在航空和航天工程的研究与发展中起着重要的作用^[1]。风洞中所涉及到测量参数通常包含很多, 其中, 压力就是风洞测量中的一项非常重要参数, 其主要是针对风洞总压、静压、以及模型表面压力的测量, 通过这些压力的测量可以解算出风速、模型流动特征以及气动外形设计等重要风洞试验参数^[2-3]。风洞中的压力目前主要是采用压力扫描阀来进行测量, 因为其具有小型化、精度高、通道数多等优点, 从而在风洞中得到了广泛的运用^[4]。当前, 针对压力扫描阀在

风洞中进行数据测量, 还存在因风洞不同、扫描阀类型不同以及功能需求不同等原因而重复多次的编写压力扫描阀数据采集软件, 从而造成软件冗余度高、工作效率低的问题^[5-6]。

基于此, 本文开发了一个风洞通用压力扫描阀综合数据采集系统, 以满足风洞中各类压力扫描阀的数据采集需求。系统软件主要由参数设置、主界面、通道类型设置、吹风试验、数据查看等模块组成, 其主要具有以下几个特点: 1) 基于模块化设计, 界面简洁, 操作简单, 扩展性强; 2) 集成了各类风洞使用压力扫描阀进行数据采集所需的各种功能, 功能齐全; 3) 融合了风洞中常用的各类压力扫描阀, 可以实现不同压力扫描阀的综合应用, 兼容性好。

1 系统硬件组成

1.1 系统结构

压力扫描阀数据采集系统的硬件主要由压力扫描阀、交换机、测量上位机三大模块组成。如图 1 所示, 测量上位机与各个压力扫描阀通过网线连接到以太网交换机, 以确保所有设备在一个网段上。当进行吹风试验时, 首先由

收稿日期: 2019-07-29; 修回日期: 2019-08-12。

基金项目: 国家自然科学基金项目(11602292)。

作者简介: 曾 星(1993-), 男, 四川遂宁人, 硕士, 助理工程师, 主要从事风洞测控系统设计方向的研究。

引压管将外部压力引入到压力扫描阀中。然后，由扫描阀内部的压力传感器将接收到的外部压力转换为压力数据，转换完成后，各个扫描阀再通过网络将压力数据汇聚到测量上位机上。最后，再由测量上位机的数据采集软件对压力数据进行获取。

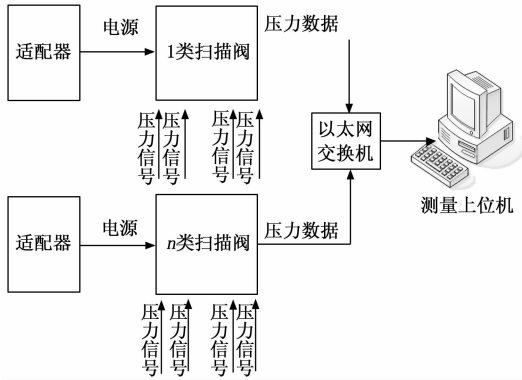


图 1 压力扫描阀数据采集系统硬件组成

1.2 PSI 9116 压力扫描阀

PSI 9116 是一种气体压力智能扫描器，其内部集成了压力传感器和气路校准阀。它所采集到的数据是保证系统精度的工程单位 EU 数据，这些数据是通过上电时读取传感器内部预置的 EU 转换和温度补偿系数经过内部计算得到的。它的网络接口采用的是自适应 10/100 M 以太网接口，使用 TCP/UDP/IP 协议，支持全双工/半双工操作^[7]。PSI 9116 具有 16 个测量通道，每个通道使用单独的气体压力传感器。它的压力扫描精度高达 $\pm 0.05\%$ ，并在校准温度范围内，温度漂移误差低至 $\pm 0.001\% \text{FS}/^\circ\text{C}$ 。此外，它还具备调零校准方便、易于使用、易于更换等特点。

1.3 DSA 3217 压力扫描阀

DSA 3217 是一个独立的电子压力扫描阀，可以接受 16 个气动输入，其是专门设计用于校准周期长、操作简单与精度要求高的应用场合^[8]。每个 DSA 3217 包含 16 个独立的、温度补偿的压阻式压力传感器、1 个 A/D 转换器和 1 个微处理器。每个传感器都具备超压超温特性，该信息存储在 EEPROM 存储器中，使模块能够直接输出工程单位中的核心数据。该模块同时支持以太网通信以及串口 RS-232 通信，但主要的通信方式是带有 MDIX 自动交叉的 100Base-T 以太网端口。

2 系统软件设计

2.1 软件设计平台

C# 是微软公司设计的一种从 C 和 C++ 派生出来的一种简单、现代、面向对象和类型安全的编程语言，其主要用于开发可以运行在 .NET 平台上的应用程序^[9]。C# 具有语法简单、彻底面向对象设计、兼容性好等突出的特点，它的应用领域非常广泛，例如：桌面应用系统开发、网络系统开发、操作系统平台开发、智能手机程序开发等等。

2.2 软件设计思路

压力扫描阀安装连接成功后，打开数据采集软件，在

软件上通过网络连接需要使用的压力扫描阀。连接成功后，对压力扫描阀进行模块参数设置，例如：采样频率、滤波次数、触发模式、采集模式、时间协议等等。参数设置完成后，软件开始实时显示压力扫描阀的零点值，并根据需要通过软件对所有的压力扫描阀进行一键标定。当需要准备试验吹风时，首先通过软件对各个通道的数据类型以及试验参数进行设置，设置完成后进入到吹风试验界面，吹风界面以图形化实时显示需要显示的通道数据。当需要进行数据采集时，通过软件控制数据的采集与存储。数据存储完成后，可以根据需要通过软件对已存储的数据进行检查。此外，针对需要远程控制的情况，可以通过软件连接到远程控制机，并由远程控制机来控制数据的采集。

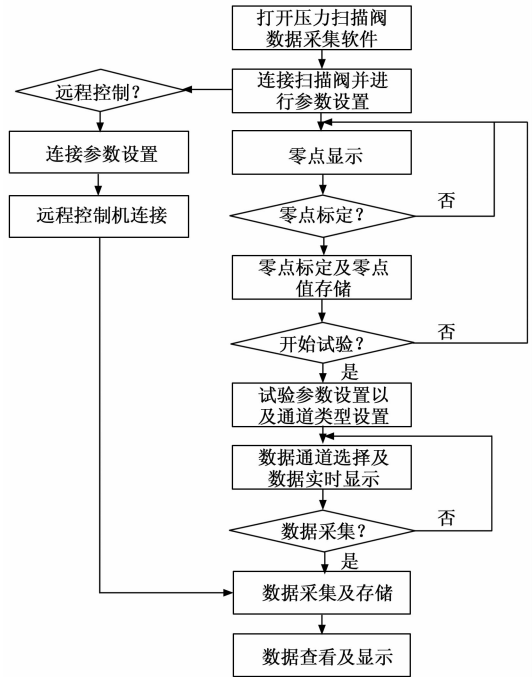


图 2 软件设计思路

2.3 软件组成

依据软件的设计思路以及风洞试验现场使用的需要，对软件进行模块化设计，主要包括参数设置、主界面、通道类型设置、吹风试验以及数据查看等 5 大模块。

参数设置界面主要用于对已连接到软件的压力扫描阀进行参数配置，如图 3 所示。

首先通过 16 个模块按钮对需要配置的模块进行选择，然后根据所选的压力扫描阀选择扫描阀类型，并根据该扫描阀的 IP 地址以及 Port 端口对其进行连接。连接成功后，对模块参数进行设置，设置内容主要包括：1) 采集频率、通道扫描间隔及滤波次数，由于采集频率的设置与通道扫描间隔和滤波次数直接相关，因此设置了两种频率计算方式，一种是根据滤波计算通道扫描间隔，即改变了频率后根据当前的滤波次数计算出通道扫描间隔，一种是根据扫描间隔计算滤波，即改变了频率后根据当前的通道扫描间隔计算出滤波次数；2) 触发模式，扫描阀的数据采集触发



(a) 模块参数设置



(b) PTP设置

(c) 远程控制设置

图 3 参数设置界面

通常包含两种模式, 一种是内部时钟, 即扫描阀根据设置的采集频率使用内部时钟定时触发数据采集, 另一种是外部触发, 即扫描阀连接外部的触发设备, 通过触发设备产生的触发信号来触发数据的采集; 3) 采集模式, 采集模式有两种可选, 一种是根据采集频率进行连续不断采集的连续采集模式, 一种是每次只采集一次数据的单次采集模式; 4) 采集类型, 本软件的数据采集类型主要分为压力值以及各个通道的温度值; 5) 压力单位, 针对压力值可以选择不同的压力单位, 例如: Pa、KPa、PSI 等。模块参数设置完成后, 就可以将参数设置情况下发到压力扫描阀并让其生效, 本软件设置了两种参数设置下发模式, 一种是单次设置, 即只对当前的模块进行参数设置, 另一种是对所有已连接的模块进行统一设置。

为了实现各个扫描阀的时间统一、数据同步以及数据比较, 本软件对每帧数据进行时间戳的获取。针对支持 PTP 协议^[10] (precise time protocol, 精准时间协议) 的扫描阀, 本软件可以对其进行 PTP 设置, 如图 3 (b) 所示, 获取的时间戳即为扫描阀的硬件时间戳。针对不支持 PTP 协议的扫描阀, 本软件获取的时间戳为计算机的系统时间戳。

吹风试验过程中有时需要多个系统同步采集以及远程控制等, 因此本软件设置了远程控制模式, 如图 3 (c) 所以, 首先, 通过本软件设置好远程控制器的 IP 地址、Port 端口以及开始采集命令等, 当需要远程控制时, 将采集控制权交于远程控制器, 远程控制器就可以通过发送采集命令来实现远程的数据采集, 当不需要远程控制时再转为本

地采集模式。

主界面主要用于零点显示、零点标定以及试验参数设置等, 如图 4 所示。

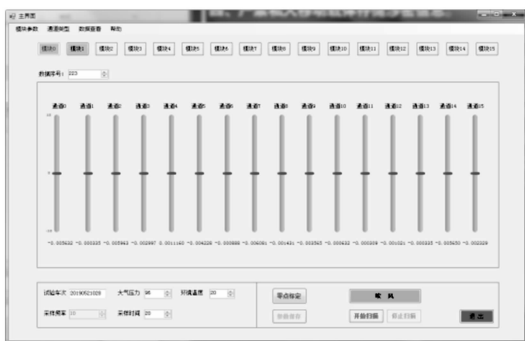


图 4 主界面

扫描阀连接设置成功并开始扫描后, 主界面的数据显示控件会实时显示各个扫描阀的零点值, 各个扫描阀的零点切换通过 16 个模块按钮来实现。当需要进行零点标定时, 软件会发送零点标定命令到各个扫描阀, 扫描阀自动标定后返回零点值到软件, 软件再将各个扫描阀的零点值进行临时存储。此外, 由于每次吹风过程的试验条件可能不同, 因此本软件还设置了吹风试验的参数设置与存储, 设置内容主要包括试验车次、大气压力、环境温度、采集频率以及采样时间等常规参数。

通道类型设置界面主要用于对压力扫描阀各个通道的数据类型进行设置, 如图 5 所示。



图 5 通道类型设置界面

由于吹风试验过程中扫描阀各个通道的数据类型与采集位置有所不同, 因此, 为了便于后续的数据采集、数据区分以及数据处理等, 本软件设置了扫描阀通道类型设置功能。即在准备吹风试验前, 先将所用到的数据类型名称输入到软件中, 然后对每个通道的数据类型进行选择, 这样每次数据采集完成后保存的数据文件就能对每个通道的数据类型进行标注。

吹风试验界面主要用于数据图形显示以及数据采集, 如图 6 所示。

当进入吹风试验状态时, 吹风试验界面会以曲线流动的形式实时显示扫描阀各通道的数据, 图形显示频率的规则为采集频率小于 10 Hz 时就以采集频率显示, 采集频率

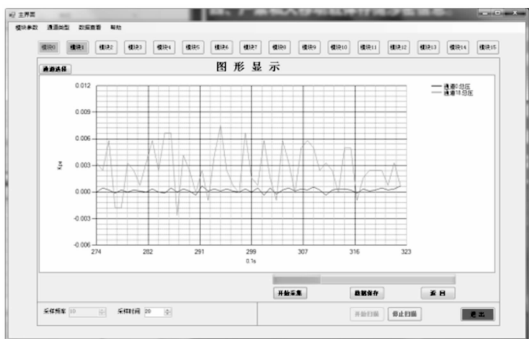


图 6 吹风试验界面

大于 10 Hz 时就对数据进行抽样显示, 显示频率为固定的 10 Hz。此外, 通过通道选择控件还能够对需要显示的通道数据进行任意选择。当需要进行数据采集时, 点击开始采集按钮软件就会实时的存储扫描阀当前获取到的数据, 采集过程中会有进度提示, 采集完成后, 点击数据保存按钮对数据进行存储, 数据存储的类型有 CSV、TXT、Excel 等多种类型可选。

数据查看界面主要用于对已存储的数据进行查看, 如图 7 所示。

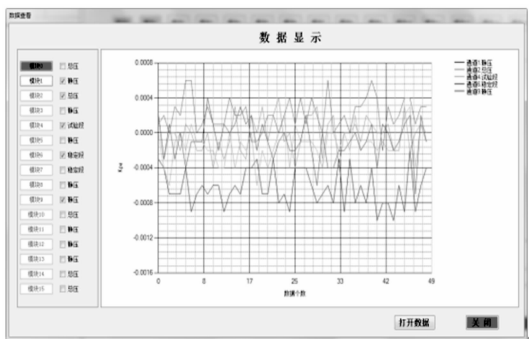


图 7 数据查看界面

吹风试验结束后, 为了便于数据查看以及数据校验, 因此, 本软件设置了数据查看功能。即通过软件打开需要查看的数据, 软件就能以图形化的形式显示出打开的数据。同样, 通过通道选择控件可以对需要查看的通道数据进行任意选择。

2.4 压力扫描阀指令

DSA 3217:

- set format 0 设置数据刷新格式;
- set bin 1 设置上传数据为二进制格式 (0 为 ASCII 格式);
- set time 3 设置时间戳格式;
- set period 100 设置通道扫描间隔为 100us;
- set avg 4 设置滤波次数为 4;
- set fps 0 设置数据采集模式 (0 为连续采集、1 为单次采集);
- set unitscan kpa 设置数据单位为 Kpa;
- set xscantrig 0 设置数据触发模式 (0 为内部时钟、1 为

外部触发);

calz 100 4 零点标定 (以通道扫描间隔 100us, 4 次滤波进行标定);

set ptpen 0 设置 ptp 协议 (0 为关闭 PTP、1 为从设备、2 为主设备);

scan 开始扫描;

stop 停止扫描。

PSI 9116:

c 05 1 0090 设置上传数据的格式 (数据包括压力值与温度值);

w104 设置滤波次数为 4;

c 00 1 ffff 1 100 8 0 设置为内部时钟触发模式、扫描周期为 100ms、连续采集模式;

hffff 零点标定;

c 01 1 开始扫描;

c 02 1 停止扫描。

3 系统测试与分析

为了验证本系统的可行性, 本文开展了压力扫描阀数据测试实验。即按照两台 DSA 3217、两台 PSI 9116、一台 DSA 3217 和一台 PSI 9116 的三种情况依次连接到本系统, 然后, 使用压力信号源 (Ruska 7250LP) 产生标准的压力变化信号 (0KPa-1KPa-2KPa-3KPa-4KPa-5KPa 逐渐变化的信号) 同时输入到各个扫描阀的第一个通道, 最后, 使用本系统对扫描阀获取到的数据进行采集, 第三种情况采集得到的数据如图 8 所示。三种情况采集完成后, 计算每种情况的不同扫描阀之间的数据差异如图 9 所示。

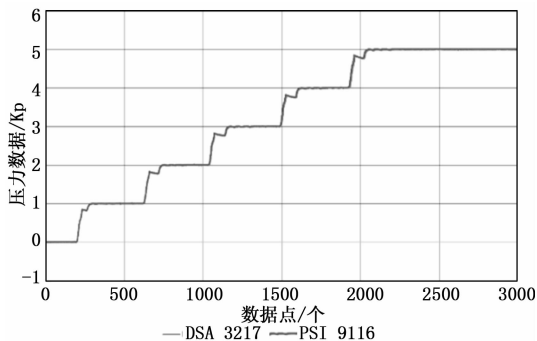


图 8 第三种情况的扫描阀采集数据

由图 8 可知, 三种情况的压力扫描阀之间的数据差异都较小, 分别为 3.2 Pa、1.6 Pa、9.9 Pa, 其中, 第三种情况的数据差异比前两种情况大是由于两种不同扫描阀的精度不一致导致的。同时, 由图 9 可以看到第三种情况还出现了 5 次较大的波动, 这是由于压力信号产生较大变化时, 两种不同扫描阀的动态响应不同而造成的。此外, 三种情况的扫描阀之间的数据时间差最大值分别为 5 ms、8 ms、30 ms, 其中第三种情况的时间差较大是由于两种不同扫描阀的启动机制不一样造成的, 即扫描阀响应启动指令的时间不一致。综上, 本系统在前两种情况下的数据差异以及数据时间差都较小, 第三种情况虽然要差一些但依

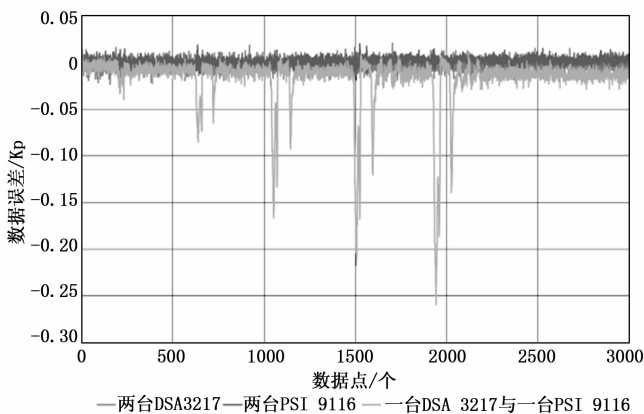


图 9 三种情况的扫描阀数据差异

然能够满足风洞试验的需要。因此, 通过本实验可以说明本系统具有较好的一致性与同步性, 具备多个扫描阀综合数据采集的能力, 能够满足风洞中各类压力扫描阀的数据采集需求。

4 结束语

本文为了满足风洞中的常用压力扫描阀数据采集的需求, 设计了一个压力扫描阀综合数据采集系统。基于 C# 对系统进行设计, 将风洞中常用的压力扫描阀融合在了一个系统中, 并根据风洞试验的功能需求从零点显示与标定、参数设置、数据显示以及数据查看等方面对系统进行了详细设计, 最后, 通过压力测试实验对本系统进行了实验验证。

证。实验结果表明, 本系统界面简洁、功能齐全、同步性好并且兼容性高, 能够实现风洞中的各类压力扫描阀的综合数据采集。下一步工作是融合更多类型的压力扫描阀在本系统中, 并且根据风洞试验的需要, 不断的扩展系统功能。

参考文献:

[1] 恽起麟. 实验空气动力学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.

[2] 施洪昌. 风洞数据采集技术 [M]. 北京: 长沙: 国防工业出版社, 2004.

[3] 黄成. 风洞数据采集系统设计与实现 [D]. 南京: 南京理工大学, 2008.

[4] 邓学莹. 压力扫描阀系统的扫描速度特性研究 [J]. 航空学报, 1987 (3): 195-199.

[5] 王艳. PSI8400 电子压力扫描阀在风洞中的应用 [J]. 测控技术, 2018 (37): 197-200.

[6] 李蓓. 基于虚拟仪器的扫描阀风洞数据采集系统研究 [J]. 机械与电子, 2011 (8): 54-57.

[7] 谭正一. 基于 PSI 9116 智能压力扫描阀的多路压力测量系统设计 [J]. 航空兵器, 2014 (2): 44-48.

[8] 高颖. DSA3217 型气体压力扫描阀现场原位校准方法 [J]. 中国科技信息, 2017 (13): 33-36.

[9] 明日科技. C# 从入门到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.

[10] 王聪. 基于 PTP 协议时钟同步系统的实现 [J]. 网络与通信, 2014 (4): 43-44.

(上接第 187 页)

UWB 遮挡目标识别研究对双目视觉算法结合其他算法组成复杂的目标识别算法网络是一次有益的尝试^[17], 为双目视觉机器人解决复杂的目标识别问题提供了方向。

参考文献:

[1] 刘锐, 陈凤翔, 陈科羽, 等. 基于双目视觉的障碍物检测方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (12): 67-71.

[2] 郭攀, 杜鸿. 机器人双目测距算法研究 [J]. 无线互联科技, 2018, 15 (5): 99-101.

[3] 王志远, 王茂森. 基于双目视觉的移动机器人测距与定位系统 [J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38 (11): 173-177.

[4] 马建明, 王霞, 李宝泉. 超宽带 UWB 信号测试的技术分析 [J]. 集成电路应用, 2017, 34 (11): 74-78.

[5] 范焯, 陈秋霞, 倪丽慧. DWM1000 模块的 UWB 机器人室内定位系统 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2018, 18 (11): 48-50, 54.

[6] 陈小斯, 沈重, 周群, 等. 基于 TDOA 算法的差分 UWB 室内定位系统研究 [J]. 现代电子技术, 2018, 41 (6): 45-49.

[7] 潘忠祥, 江剑. 基于 UWB 的三边优化算法研究 [J]. 国外电子测量技术, 2019, 38 (2): 25-29.

[8] 陈伟森, 裴海龙, 夏睿灿. 基于超宽带技术的室内定位系统设

计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (11): 179-182.

[9] 李威, 叶焱, 谢晋雄, 等. UWB 高精度室内定位系统及其实现 [J]. 数据通信, 2018 (5): 13-18.

[10] 刘奇儒, 刘丹镜. UWB 在仓库识别中的应用 [J]. 电工技术, 2019 (4): 80-83.

[11] 韩志强, 林乾, 陈亮, 等. 基于 UWB 定位系统在粮库中的应用分析 [J]. 粮食储藏, 2018, 47 (1): 6-9.

[12] 高振清, 李明刚, 杜艳平, 等. 带双目视觉的全向移动物流机器人设计与实现 [J]. 机械科学与技术, 2019, 38 (5): 779-782.

[13] 贾宁. 基于双目视觉的家庭机器人的目标识别与检测 [J]. 现代电子技术, 2017, 40 (23): 51-54, 58.

[14] 李龙委, 胡海燕, 章仁辉, 等. 基于 UWB 室内定位的迎宾机器人系统研究 [J]. 机械与电子, 2018, 36 (12): 58-63, 68.

[15] 高思琪, 孙建平. UWB 定位技术的应用研究 [J]. 仪器仪表用户, 2019, 26 (3): 77-82.

[16] 曾劲松, 薛文凯, 徐博凡, 等. 双目视觉引导机器人定位抓取技术的研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2019 (1): 131-133, 137.

[17] 乔智, 徐爱功, 隋心, 等. 一种单目视觉/UWB 组合的室内定位方法 [J]. 导航定位学报, 2018, 6 (4): 29-34, 63.