

# 基于 HORNER OCS 的灌溉施肥智能化控制系统

许华宇

(信阳农林学院 信息工程学院, 河南 信阳 464000)

**摘要:** 为全面提升系统对灌溉、施肥操作指令的控制精准性, 设计基于 HORNER OCS 的灌溉施肥智能化控制系统; 利用灌溉施肥过程向量, 确定协同控制定义式, 完成系统的协同控制能力建模; 在此基础上, 连接 ZigBee 无线模块与单片机控制芯片, 通过设置灌溉传感器与施肥传感器的方式, 明确指令信息在系统中的传输位置, 达到精准控制操作指令的目的, 再借助智能化电平转换电路, 完成系统执行设备选型处理; 在此应用背景中, 选取 HORNER OCS 通讯协议, 进行灌溉施肥组态节点连接, 实现 HORNER OCS 组态软件设置, 完成基于 HORNER OCS 的灌溉施肥智能化控制系统设计; 选取番木瓜作为监测对象, 分析控制数据可知, 应用灌溉施肥智能化控制系统后, 在灌溉、施肥控制指令的促进下, 植株根系与叶片的生长速率明显加快, 由此证明智能化控制系统确实具备更为精准的指令控制能力。

**关键词:** HORNER OCS; 灌溉施肥; 智能化控制; 协同建模; 转换电路; 组态软件

## Intelligent Control System of Irrigation and Fertilization Based on HORNER OCS

Xu Huayu

(College of Information Engineering, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** In order to improve the control accuracy of irrigation and fertilization operation instructions, an intelligent irrigation and fertilization control system based on HORNER OCS was designed. By using the process vector of irrigation and fertilization, the definition of collaborative control is determined, and the collaborative control capability of the system is modeled. On this basis, connected the ZigBee wireless module with the MCU control chip, through setting up the irrigation sensor and fertilizer sensor, the transmission position of instruction information in the system is clear, so as to achieve the purpose of precise control of operation instructions. Then, with the help of intelligent level conversion circuit, the selection and processing of the system execution equipment is completed. In this application background, the HORNER OCS communication protocol is selected to connect the nodes of irrigation and fertilization configuration. The configuration software of HORNER OCS is set up, and the intelligent control system of irrigation and fertilization based on HORNER OCS is designed. The papaya was selected as the monitoring object and the control data were analyzed. The results showed that the growth rate of root and leaf of plant was obviously accelerated with the promotion of irrigation and fertilization control instructions after applying the intelligent control system of irrigation and fertilization, which proved that the intelligent control system indeed had more precise command control ability.

**Keywords:** HORNER OCS; irrigation and fertilization; intelligent control; collaborative modeling; conversion circuit; configuration software

## 0 引言

智能化控制是实现系统操作的重要物理手段, 随着应用化标准的不断提升, 操作指令是否具有精准传输能力已经成为考量系统成功与否的关键指标<sup>[1]</sup>。在植物生长过程中, 施肥、灌溉是必不可少的两项物理培育手段, 为节省人力资源条件, 相关研究人员采用控制系统对植物体生长进行监测, 并通过多项物理设备的共同配合, 实现施肥灌溉指令的精准传输。

现有技术手段主要采用喷灌、滴灌等技术, 完成植株

的日常灌溉处理。这种方法虽然最大程度上做到了水资源的节约、保护, 但所有灌溉水分子基本只能停留在作物表层, 对植物生育期的基质含水量基本不产生影响。通常情况下, 化肥用量、水分子用量间存在一定的数值匹配关系, 但在人力资源干扰下, 这种数值关系不能得到有效满足, 且为保证作物保持良好的生长状态, 绝大多数化肥施用量都是超过预期水平的, 这也是农作物生产过程中水肥利用效率始终低于理想数值的主要原因。为解决上述问题, 引入 HORNER OCS 处理技术, 在协同建模的基础上, 利用 ZigBee 无线模块、单片机控制芯片等设备, 建立完善的硬件执行环境, 再通过设置组态软件的方式, 设计新型的灌溉施肥智能化控制系统, 并通过对比实验的方式, 验证该系统的实际应用价值。

## 1 协同控制能力建模

协同控制能力建模包含灌溉施肥过程向量选取、协同

收稿日期: 2019-04-11; 修回日期: 2019-07-08。

基金项目: 河南省 2019 年度社会科学界联合会调研课题(SKL-2019-448)。

作者简介: 许华宇(1989-), 女, 河南信阳人, 硕士, 助教, 主要从事通信、计算机网络安全方向的研究。

控制定义式确定两个物理步骤，其具体建模操作方法如下。

### 1.1 灌溉施肥过程向量选取

灌溉施肥过程向量是系统智能化控制的重要物理数值，可直观体现植物生长过程中，灌溉水量、化肥需求量间的需求矛盾关系。相对于传统的农业控制体系来说，灌溉过程直接把控了程式化的水资源应用量，既能清晰反应灌溉细节的精细应用程度，也能避免以经验为主灌溉策略的不合理施行。施肥过程直接把控了程式化的化肥应用量，是智能化控制策略制定的重要参考指标<sup>[2]</sup>。随着植物体生长能力的不断增加，光合作用、呼吸作用等物理消耗能力也随之增加。在不考虑外界影响因素的条件下，植物体生长所需的水资源主要来源于灌溉用水，而各项微量生长元素及矿物质则来源于所施用的各项化肥原料。从应用角度来看，灌溉和施肥都属于流程性动作范畴，故在此过程中涉及到的与植物体吸收、消耗相关的物理量都包含在灌溉施肥过程向量的范畴。定义  $B$  代表植物体生长过程中的水资源消耗系数， $X$  代表生长元素及矿物质系数，联立  $B$ 、 $X$  可将灌溉施肥过程向量计算公式表示为：

$$C = \left( \frac{\kappa \times v}{B \sqrt{\mu} \cdot X \sqrt{\omega}} \right)^{\pm} \quad (1)$$

其中： $\mu$ 、 $\omega$  分别代表总灌溉用水量及化肥施用量， $\kappa$  代表向量求取偏导系数， $v$  代表植物体的灌溉施肥消耗指标。

### 1.2 协同控制定义式

协同控制是灌溉施肥智能化系统的调节处理方式，针对单一的被控植物对象，为保证其生长过程中水资源消耗量、化肥消耗量都不超过理想数值条件，必须确定一个状态临界值，并以该数值条件作为参考依据。在总消耗量未达到该数值条件前，驱使系统相关硬件设备增大灌溉及施肥的物理应用程度，并使其逐渐向临界数值趋近；在总消耗量达到或超过该数值条件后，驱使系统相关硬件设备减小灌溉及施肥的物理应用程度，使其逐渐趋近临界数值，并永不高于该数值条件<sup>[3]</sup>。协同控制定义式也可叫临界控制值计算，利用灌溉施肥过程向量，对灌溉用水资源及化肥应用总量进行严格的限制约束，设  $p_1$  代表灌溉用水量的边界数值， $p_2$  代表化肥施用量的边界数值，联立公式 (1) 可将系统的协同控制定义式表示为：

$$F_C = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|p_1 q_1 + p_2 q_2|^{\epsilon}}{C^2 + \alpha y} q_1 q_2 \quad (2)$$

其中： $q_1$ 、 $q_2$  分别代表灌溉控制向量和施肥控制向量， $\epsilon$  代表既定加权处理系数， $\alpha$  代表控制系统的协同处理权限参数， $y$  代表系统协同控制处理的临界系数条件。

## 2 系统设备选型

联合系统协同控制能力建模原理，按照 ZigBee 无线模块、单片机控制芯片、灌溉传感器与施肥传感器、智能化电平转换电路的搭建流程，完成系统的设备选型操作。

### 2.1 ZigBee 无线模块

ZigBee 无线模块中集合了增强型信号收发器与 8051

MCU 内核设备，具备容量为 256 Mb 的控制指令存储空间，在与灌溉传感器、施肥传感器进行物理连接的过程中，可借助 USART 通讯串口，传输水肥量的数量级利用条件，完整模块结构如图 1。增强型信号收发器包含 DMA、ADC 两类核心搭建装置，在进行灌溉施肥控制的过程中，DMA 装置借助系统 CPU 向核心计算机传输智能化控制仲裁请求，且所有连接信息流都满足空间大小为 256 KB FLASH 数据的物理传输限制<sup>[4]</sup>。核心计算机通过输出信道，将与水肥利用量相关的数据信息传输至 ADC 设备中，再由相关信号收发处理装置，对这些信息分子进行加密处理。8051 MCU 内核设备作为 ZigBee 无线模块的核心搭建装置，具备多个等效计时器和两个 USART 设备，一方面可按照植物体的具体种植面积，限制水流与化肥的输出总量，另一方面可利用 USART 设备分别记录灌溉、施肥处理的操作进行程度，并根据植物体的接收情况，选择是否继续进行灌溉施肥处理操作<sup>[5]</sup>。

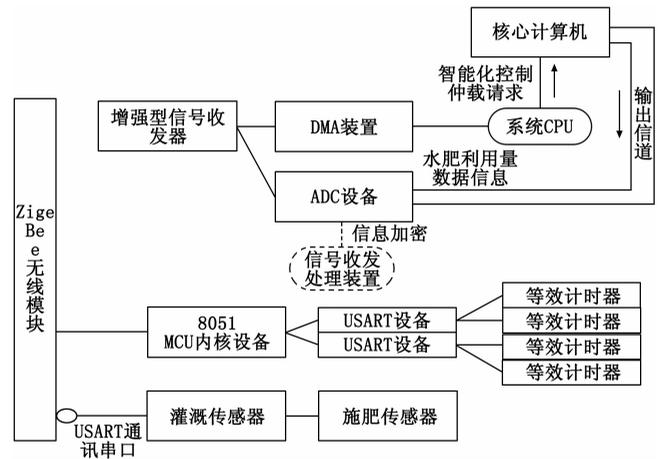


图 1 ZigBee 无线模块组成结构

### 2.2 单片机控制芯片

单片机控制芯片采用型号为 NH 1350AM2 BJP36047 1236 的 intel 板材作为核心搭建设备，如图 2。在芯片周围分布多个智能化控制开关，可控制板材结构与灌溉传感器、控制板材结构与施肥传感器之间的物理连接。单片机控制芯片作为系统智能化控制指令的关键输出结构，可与 ZigBee 无线模块保持长久的并列连接关系，并借助 AD 物理接口与上级模块组织保持信息传输关系。从功能性角度来看，AD 物理接口具备指向性的通断控制功能，即所有经过单片机控制芯片的智能化水肥应用指令，始终只能保持由起点到终点的物理传输方向，无论核心计算机中累积的水量、化肥量数据条件是否达到额定限度条件，与系统控制结果相关的智能化水肥应用指令也只能在原有物理频率的基础上，保持定量传输<sup>[6]</sup>。单片机控制芯片左下角有两个负责控制转接的接入节点，分别负责建立与灌溉传感器和施肥传感器的物理连接，以保证在智能化控制系统的促进下，植物体始终能得到足量的水肥供应。

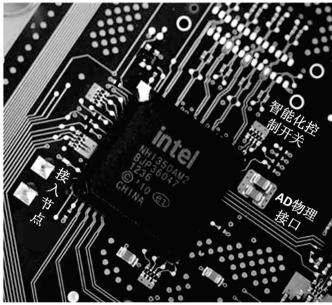


图 2 单片机控制芯片



图 3 灌溉传感器



图 4 施肥传感器

### 2.3 灌溉传感器与施肥传感器

EPION EB-C1 设备作为系统灌溉传感器组织，借助 BI 信道与系统核心计算机相连，对系统应用过程中，灌溉用水的数量级情况进行严格限制。根据图 3 可知，灌溉传感器为一个拥有 6 个规则平面的长方体结构，最上方物理平面由一个数值显示屏和两个保护模具共同组成。数值显示屏中数据信息包含上、下两部分，其中相对较小的数值结果表示当前灌溉用水输出量，较大数值结果表示灌溉操作所需的总用水输出量<sup>[7]</sup>。在不发生执行故障的条件下，较小数值始终不会等于极大数值，二值的数量级单位均为 L/min。作为智能化控制系统中的重要物理元件，灌溉传感器左侧物理平面包含两个灌溉指令传输接口。在系统处于正常运行的条件下，由核心计算机生成的灌溉指令数据借助 ZigBee 无线模块进入单片机控制芯片，再通过接入节点进入 BI 信道中，经过一系列的分析利用后，与水流量控制、总耗水量设置等操作相关的物理信息，经由传感器自带的指令传输接口进入下级智能化控制结构中。

PU15-TN15DNO 设备作为系统施肥传感器组织，借助 AI 信道与系统核心计算机相连，可在适应系统执行工作能力的基础上，对促生长性化肥施用量进行调节控制。从结构层次来看，施肥传感器的物理形态类似一个“圆音叉”，依靠一个旋转螺丝固定 AI 数据线与设备体结构间的物理连接。AI 信道左右两侧分设两个智能感知辅助体，可对施肥传感器组织中流通的控制信息数据进行稳促性调节。当施肥控制指令经由 AI 信道进入施肥传感器组织后，感知辅助体释放信息促传因子，并将完整的控制数据均匀分成左、右两部分，并将其分别传输至前馈触发器中，进而实现一次完整系统施肥控制指令的传感处理。

### 2.4 智能化电平转换电路

智能化电平转换电路中主要包含一个 CC2530 继电器、一系列 CPU 串口和一个 TTL 模控装置。其中，CC2530 继电器负责输出系统运行所需的全部量子参量，且为保证系统环境中配电量的绝对性平衡，继电器下端直接连接地线，上端均匀支出三条物理电子传输通道，一条与下端电平通路相同，直接连通系统接地线，另外两条通路在阻电容的促进下，先后向灌溉传感器电阻、施肥传感器电阻传输一定量的流通电子，以保证在水肥用量控制指令传输的

过程中，相关硬件执行设备始终能够获取足量的电平供应。CPU 串口是智能化控制技术支持下的物理助连结构，存在于与继电器相连的每条电阻线首端，不具备特殊意义的物理功能，但可在系统电平出现下降时，加速继电器的电子输出进程，达到维持系统用电平衡的目的<sup>[8]</sup>。TTL 模控装置包含 9 个物理连接引脚，其中 1~5 号引脚连接系统的灌溉传感器电阻与施肥传感器电阻，6~9 号引脚则直接与 CC2530 继电器相连，可在获取传输电子的同时，通过电平消耗量，感知系统中水肥量的具体应用情况，进而对灌溉施肥信息进行更好的智能化控制。

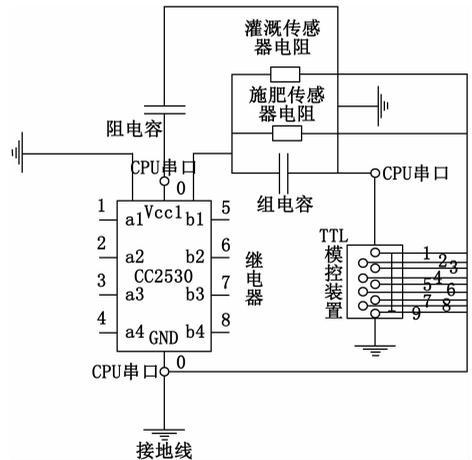


图 5 智能化电平转换电路图

## 3 HORNER OCS 组态软件设置

借助相关设备元件，通过 HORNER OCS 通讯协议，实现灌溉施肥组态节点连接，完成基于 HORNER OCS 的灌溉施肥智能化控制系统设计。

### 3.1 HORNER OCS 通讯协议

HORNER OCS 通讯协议是应用于单片机控制芯片与系统传感器之间的传输性促进物质，可对灌溉用水信息及施肥量信息进行严格的筛选控制，并以此达到提升系统智能化精准控制水平的目的。在协同控制模型的约束下，ZigBee 无线模块中的信息数据只能保持顺向传播形式，进而限定单片机控制芯片内的系统执行指令只能经由 AD 物理接口传输至结构型接入接口，即灌溉传感器、施肥传感器两个物理组织结构只能同时建立与单片机控制芯片的物理连接<sup>[9]</sup>。

为保证灌溉、施肥两类控制信息数据不出现混乱传输行为，HORNER OCS 通讯协议的执行功能可划分为提取判断和连通两个物理阶段。在灌溉控制信息占据主导传输条件时，HORNER OCS 通讯协议与灌溉传感器建立主要连接、与施肥传感器建立次要连接（完成提取判断），进而使系统对于灌溉用水的智能化控制指令得以稳定传输。在施肥控制信息占据主导传输条件时，HORNER OCS 通讯协议与施肥传感器建立主要连接、与灌溉传感器建立次要连接（完成提取判断），进而使系统对于化肥用量的智能化控制指令得以稳定传输。

### 3.2 灌溉施肥组态节点连接

灌溉施肥组态节点包含灌溉节点、施肥节点两类主观组态形式，是直接影响灌溉传感器、施肥传感器接入系统的关键物理因素。在 HORNER OCS 通讯协议的促进下，灌溉节点、施肥节点分别散落在灌溉传感器与施肥传感器周围，且为保证传感器连接速率与系统连接指令传输周期进行良好适配，所有节点均保持 .mcgs 的物理存在状态。随着系统执行时间的增加，灌溉用水量、化肥施用量均保持逐渐上升的变化趋势，在这种物理驱使作用的影响下，处于 .mcgs 状态的灌溉施肥节点会逐渐形成多个独立的组态组织，且每个组织结构中都包含数量相等的灌溉节点与施肥节点<sup>[10]</sup>。随着系统消耗条件的持续上涨，单独组态组织的促进作用不足以支撑灌溉传感器、施肥传感器在系统中的接入传输功能。为解决此问题，HORNER OCS 通讯协议连接首先连接相邻的两个组态组织，并在确保连接状态可行的前提下，顺次连接所有组态组织，直至所有单独灌溉节点与施肥节点都得到物理占用。至此，完成所有设备搭建及协议连接操作，实现基于 HORNER OCS 灌溉施肥智能化控制系统的顺利应用。

## 4 控制化性能监测

在同一片生长园区中，圈出处于生育期内且长势基本相同的番木瓜，任选相等数量的植株体，分别作为实验组、对照组监测对象。以完整负载基于 HORNER OCS 灌溉施肥智能化控制系统的主体作为监测设备，通过调节枢纽执行系统是否接入监测环节的物理指令（调节枢纽打开，智能化控制系统接入监测环节，所记录指标为实验组参考数据；调节枢纽关闭，智能化控制系统不接入监测环节，所记录指标为对照组参考数据）。

图 6 为番木瓜生长监测器，蓝色柱体结构中存储了一定量的灌溉用水及植株体生长所需的化肥物质。右侧白色结构为存储显示器，屏幕中左侧数据表示水肥物质的原始量，右侧数据表示水肥物质的现存量（与番木瓜植株相关的根系、叶片生长数值只能存储在装置中，不进行物理显示）。每隔一段时间进行一次记录，每次间隔时间相等，借助监测主机导出存储显示器中番木瓜根系、叶片的生长数据。

控制调节枢纽，分别记录实验组、对照组番木瓜根系



图 6 番木瓜生长监测器

的生长尺寸，再将其导入监测主机的 Hangman 软件中，利用程序自带的曲线生成属性，绘制如图 7 所示的番木瓜根系生长曲线图。

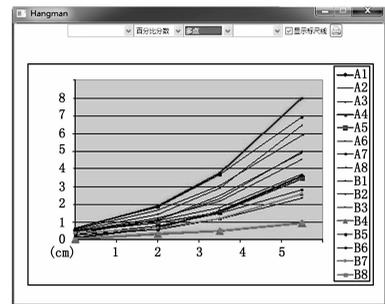


图 7 番木瓜根系生长曲线图

图 7 中 A1~A8 曲线代表实验组番木瓜根系生长情况，B1~B8 代表对照组番木瓜根系生长情况。分析 6 可知，随着记录次数的增加，实验组、对照组番木瓜根系都保持持续生长的变化趋势。分别取两组变化幅度最大的曲线进行对比，即 A4 与 B5。初始条件下，两组番木瓜根系长度均为 0，在前 3 次记录中，实验组、对照组生长曲线基本保持重合，但从第 4 次记录开始，实验组番木瓜根系长度开始逐渐大于对照组数值，直到第 5 次记录，实验组番木瓜根系长度达到 8 cm，而对照组番木瓜根系长度只达到 7，二者间差值为 1cm。

将实验组、对照组番木瓜叶片生长数据导入至 H-JPG Recovery 软件中，并选取其中长势最好的一组数据进行叶片生长图像复原，如图 8 所示（已知 H-JPG Recovery 软件可根据生长数据绘制植株体器官的真实生长图片）。



图 8 番木瓜叶片生长对比图

分析图 8 可知, 实验组番木瓜叶片已经呈现完整的闭合状态, 且整个叶片较厚、片体中部相对较为肥硕。对照组番木瓜叶片依然呈现分离状态, 两个子叶片相对较薄, 整体生长速度低于实验组。

综上所述, 随着基于 HORNER OCS 灌溉施肥智能化控制系统的应用, 番木瓜根系的生长速度得到明显促进, 植株体叶片也在短时间内达到了肥厚状态。相较于普通灌溉施肥策略来说, 智能化控制系统细化了灌溉、施肥指令的传输能力, 针对植物器官进行控制指令的精准传达, 不仅加快了植物体的生长能力, 也凸显出精准控制在系统应用过程中的重要性。

## 5 结束语

在协同控制能力模型的约束下, 由 ZigBee 无线模块、单片机控制芯片、灌溉施肥传感器等硬件设备组成的新型智能化控制系统, 可有效连接 HORNER OCS 通讯协议, 并对组态节点进行精准设置, 不仅最大限度提升了植物体的生长速率, 也从根本上提升灌溉、施肥指令的传输精准性。从实用结果来看, 随着基于 HORNER OCS 灌溉施肥智能化控制系统的应用, 番木瓜根系与叶片的生长速度均得到一定程度的促进, 弱化不良灌溉、施肥指令传输对系统平稳运行的影响, 凸显精准化控制在系统应用过程中的主导地位。

(上接第 65 页)

### 参考文献:

[1] Golinelli E, Perini U, Ogliari G. A new IR laser scanning system for power lines SAG measurements [J]. *Photonic Technologies*. IET, 2017; 59 (4).

[2] Golinelli E, Musazzi S, Perini U, et al. Conductors sag monitoring by means of a laser based scanning measuring system: Experimental results [A]. *Sensors Applications Symposium* [C]. IEEE, 2012; 1-4.

[3] 马跃涛. 基于多源信息融合的无人机智能避障系统的研究与應用 [D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2018.

[4] Mahajan S M, Singareddy U M. A Real-Time Conductor Sag Measurement System Using a Differential GPS [J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2012, 27 (2): 475-480.

[5] Kamboj S, Dahiya R. Evaluation of DTLR of power distribution line from Sag measured using GPS [A]. *Energy, Automation, and Signal (ICEAS)*, 2011 International Conference on [C]. IEEE, 2011; 1-6.

[6] 王凤艳, 黄润秋, 陈剑平, 等. 基于免棱镜全站仪的岩体边坡控制测量及结构面产状检验测量 [J]. *吉林大学学报 (工)*, 2013, 43 (6): 1607-1614.

[7] 韩侃, 卢波, 方建生, 等. 古塔变形监测方法及数据分析 [J]. *甘肃科技*, 2015 (3): 107-110.

[8] 郭瑞峰, 袁超峰, 杨柳, 等. 基于 OpenCV 的机器视觉尺寸测量研究 [J]. *计算机工程与应用*, 2017, 53 (9): 253-257.

[9] 郭卜瑜, 于佳, 王姣姣, 等. 双目视觉用于鱼苗尺寸测量 [J]. *光学技术*, 2017, 43 (2): 153-157.

### 参考文献:

[1] 於沈刚, 马明舟, 岳雪峰, 等. 模糊 PID 智能灌溉控制器的设计及 MATLAB 仿真 [J]. *节水灌溉*, 2018, 273 (5): 86-89.

[2] 刘文东, 范世鹏, 李华滨, 等. 闭环两尺度系统复合 LQR 控制建模与设计方法 [J]. *控制与决策*, 2017, 32 (4): 741-745.

[3] 查峰, 覃方君, 李京书, 等. 三轴旋转惯性导航系统的旋转控制建模研究 [J]. *兵工学报*, 2017, 38 (8): 157-165.

[4] 李铁良, 于纪言, 孙宇嘉, 等. 基于 Zigbee 孤立节点快速入网机制研究 [J]. *电子设计工程*, 2018, 26 (14): 57-61.

[5] 姜雪, 陈晓冬, 王丽瑶, 等. 基于 ZigBee 通信的自启动食管起搏器研究 [J]. *纳米技术与精密工程*, 2018, 1 (1): 88-94.

[6] 汪文立, 王琪, 丁柏文, 等. 基于 IAP15F2K61S2 单片机的无线语音智能小车 [J]. *机械制造与自动化*, 2018, 47 (1): 187-189.

[7] 杜博超, 韩守亮, 张超, 等. 基于自抗扰控制器的内置式永磁同步电机无位置传感器控制 [J]. *电工技术学报*, 2017, 32 (3): 105-112.

[8] 孔维功, 李丽荣, 贾耀华. 基于数字控制 Buck 电路的 DC-DC 电源变换器仿真研究 [J]. *电气传动*, 2017, 47 (10): 33-38.

[9] 张新, 饶若楠, 郭宁, 等. 多端口自适应 UDP 通信协议的设计与实现 [J]. *计算机工程与设计*, 2017, 38 (4): 846-851.

[10] 宋剑杰, 谭新辉, 肖永良. 基于组通信和节点链接加权的云机器人通信方案 [J]. *控制工程*, 2017, 24 (8): 1723-1727.

[10] Scharstein D, Szeliski R. A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2002, 47 (1): 7-42.

[11] Hirschmuller H, Scharstein D. Evaluation of Cost Functions for Stereo Matching [A]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* [C]. IEEE, 2007; 1-8.

[12] Mei X, Sun X, Zhou M, et al. On building an accurate stereo matching system on graphics hardware [A]. *IEEE International Conference on Computer Vision Workshops* [C]. IEEE, 2012; 467-474.

[13] Chang X, Zhou Z, Wang L, et al. Real-Time Accurate Stereo Matching Using Modified Two-Pass Aggregation and Winner-Take-All Guided Dynamic Programming [A]. *3d International Conference on Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission* [C]. IEEE, 2011; 73-79.

[14] 朱铭武, 韩军, 陆冬明, 等. 自然场景中基于局部轮廓特征的对象识别方法 [J]. *计算机工程与应用*, 2016, 52 (1): 162-167.

[15] 迟健男. 视觉测量技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

[16] Humenberger M, Zinner C, Weber M, et al. A fast stereo matching algorithm suitable for embedded real-time systems [J]. *Computer Vision & Image Understanding*, 2010, 114 (11): 1180-1202.

[17] Mattocchia S, Giardino S, Gambini A. Accurate and efficient cost aggregation strategy for stereo correspondence based on approximated joint bilateral filtering [A]. *Asian Conference on Computer Vision* [C]. Springer-Verlag, 2009; 371-380.