

基于模糊控制的齐口裂腹鱼养殖监控系统设计

邹志勇, 许丽佳*, 康志亮, 周曼, 谭雪松

(四川农业大学机电学院, 四川 雅安 625014)

摘要: 为提高人工养殖齐口裂腹鱼的产量与质量, 以 ZigBee 网络、32 位嵌入式控制器和 3G 网络为核心, 开发了设施鱼池监控系统, 系统主要由传感器节点、控制节点、路由节点、网关节点和远程监控 PC 机组成, 采用干电池、蓄电池为系统提供电能, 为减少传感器电路能耗, 由传感器节点控制传感器电路电源适时工作, 控制程序设计出模糊智能算法, 并移植在 32 位嵌入式控制器上实现, 完成设施鱼池的微水流、温度、溶解氧、pH、水位各参数的智能调节。试验结果表明, 微水流流速偏差控制在 ± 1.9 cm/s 范围内, 温度偏差控制在 ± 0.6 °C 范围内, 溶解氧偏差控制在 ± 0.4 mg/L 范围内, 水位偏差控制在 ± 2 cm 范围内, pH 偏差控制在 ± 0.3 范围内, 系统可满足齐口裂腹鱼养殖实际需求。

关键词: 齐口裂腹鱼; 设施鱼池; 模糊控制; ZigBee 网络; 传感器

中图分类号: TP274+.5; S959

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2015)06-0670-06

Design of the monitor and control system for *Schizothorax prenanti* breeding based on the fuzzy control

Zou Zhiyong, Xu Lijia*, Kang Zhiliang, Zhou Man, Tan Xuesong

(College of Mechanical and Electronic, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014)

Abstract: In order to improve the yield and quality of artificial breeding of *Schizothorax prenanti*, a monitor and control system is developed by using ZigBee network, 32-digit embedded controller and 3G network as the core, which consisted of sensor nodes, control nodes, routing nodes, gateway nodes and remote monitoring PC. The power supply for the system can be installed easily by using dry battery and storage battery. In order to reduce the energy consumption of the sensors, the sensor nodes control the power supply of the sensor circuit at the right moments. The control program designs fuzzy intelligent algorithm and transplanted it into the 32-digit embedded controller to achieve the intelligent control for all parameters in facility fishpond such as micro-flow, temperature, dissolved oxygen pH value and water level. The results show that the deviation of micro-flow is controlled within ± 1.9 cm/s, the deviation of temperature within ± 0.6 °C, the deviation of dissolved oxygen within ± 0.4 mg/L, the deviation of water level within ± 2 cm, and the pH within ± 0.3 , which fully satisfies the practical breeding demands of *Schizothorax prenanti*.

Key words: *Schizothorax prenanti*; facilities fishpond; fuzzy control; ZigBee network; sensors

齐口裂腹鱼别名雅鱼、齐口细甲鱼、齐口细鳞鱼、岷江鱼, 是四川省省级保护动物^[1]。齐口裂腹鱼自然分布于雅安青衣江、岷江、长江上游等水域, 最大个体可达 8 kg 以上, 其肉质肥美, 富含脂肪, 也是中国特有的重要经济鱼类, 并具有巨大的市场

潜力^[2-3]。近年来, 由于大量水利工程的修建, 阻断了齐口裂腹鱼栖息地的连续性, 改变了齐口裂腹鱼栖息地水流流态, 严重影响了齐口裂腹鱼的自然生长, 加之水体环境污染和过度捕捞等因素, 齐口裂腹鱼野生资源大幅度下降^[4]。为保护和开发这一

名贵经济鱼类，在四川雅安和攀枝花地区已大量开展流水池塘和网箱养殖。

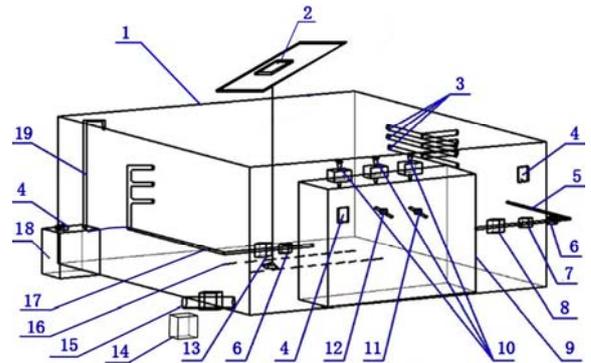
为提高水产养殖的效率和质量,许多学者提出了多种水产养殖监控方法^[5-10]，因齐口裂腹鱼对生长环境有严格的要求^[11]，笔者为齐口裂腹鱼的设施鱼池设计了一种监控系统，旨在实现设施鱼池的微水流、温度、溶解氧、pH 各水质参数的智能调节，以期为齐口裂腹鱼生长提供良好的环境。

1 总体设计

1.1 设施鱼池的结构与原理

设施鱼池由主体池和辅助水池 2 大部分组成，在文献[12]的基础上，增大辅助水池的尺寸和安装变频器，其结构如图 1 所示。主体池尺寸为 3 m×2 m×1.5 m，辅助水池尺寸为 1.5 m×0.3 m×1.2 m。在设施鱼池相应处安装有温度传感器、溶解氧传感器、pH 值传感器、水位传感器、电磁阀、水泵、变频器、增氧机和 ZigBee 网络节点等，为设施鱼池提供监控设备。

出水水泵将主体池中的水抽到辅助水池中，入水水泵将辅助水池中的水抽到主体池中，主体池中的六排水管开有微孔，六排水管形成对流即可产生微水流效果。模糊控制器控制变频器即可调节水泵功率，从而实现微水流调节。



1 主体池；2 传感器节点；3 主体池入水排水管；4 控制节点；5 水池进水管；6 止回阀；7 流速检测；8 入水水泵；9 辅助水池；10 消毒液、pH 值调节仓；11 冷水管；12 热水管；13 出水水泵；14 变频器；15 排水排污口；16 增氧管；17 主体出水管；18 增氧机；19 进氧管。

图 1 设施鱼池结构

Fig.1 Structure sketch of the facilities fishpond

1.2 监控系统的设计

系统主要由传感器节点、控制节点、路由节点、网关节点、远程监控 PC 机、用户手机共同组成，采用 ZigBee 网络和 3G 网络实现无线通信，结构如图 2 所示。传感器节点负责水质参数的采集，控制节点实现设备调节的控制，路由节点负责数据的中继转发，网关节点负责数据的汇聚及模糊控制器的实现^[13]，远程监控 PC 机实现远程监控，用户手机实现短信报警。

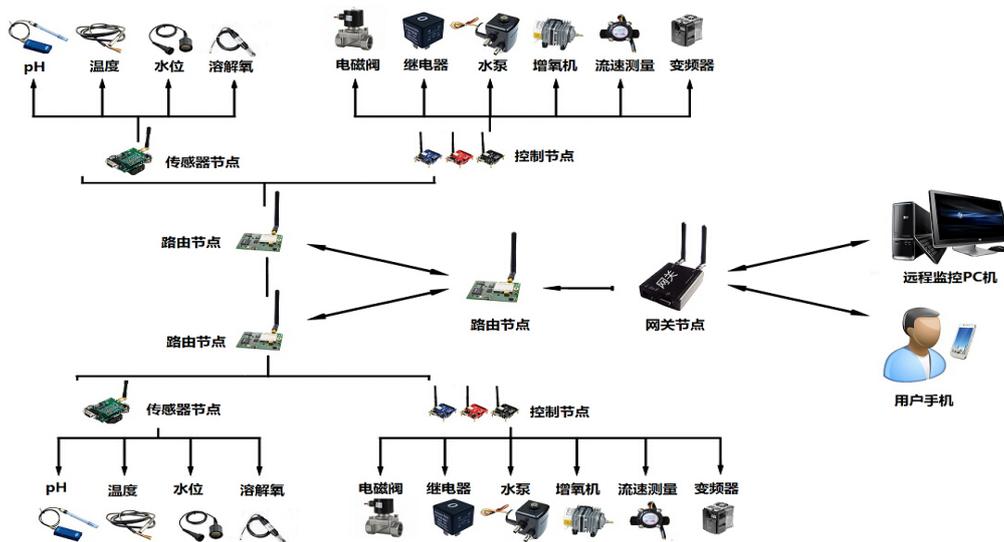


图 2 监控系统结构

Fig.2 Structure of the monitoring system

传感器节点、控制节点、路由节点、网关节点的协调器都采用遵循 ZigBee 协议的 CC2530 无线单片机为核心进行设计。CC2530 无线单片机是美国

TI 公司研制出的一种片上系统，它结合了性能领先的 RF 收发器，业界标准的增强型 8051 CPU，具有出色的灵敏度和抗干扰能力，同时还具有强大的

GPIO 接口。路由节点和网关节点的协调器采用 TI 公式推荐的最小应用系统电路结构设计而成,电路简单、可靠。传感器节点结合传感器信号调理电路进行设计,为减少能耗,通过继电器开关控制传感器电路的电源,当采集周期到时接通传感器电路的电源,反之切断传感器电路的供电。控制节点结合继电器、电磁阀驱动电路进行设计。远程监控 PC 机的监控程序采用 VC++ 进行开发。CC2530 无线单片机程序设计是在 TI 公司 Z-Stack 协议栈的基础上进行二次开发。传感器节点、控制节点和网关节点均采用 12V 5Ah 蓄电池提供电能,路由节点采用 3 V 干电池提供电能,移动电源供电使用灵活。

1.2.1 传感器节点

溶解氧传感器选用 PC-802 型溶解氧电极,具有极高的稳定性,测量范围 0.01 ~ 20 mg/L,工作温度 0 ~ 80 °C,测量时间 3 min 以内。溶解氧检测采用三级电路实现 PC-802 信号调节,第一级由 0.7 V 稳压二极管和电压跟随器为 PC-802 提供 0.7 V 极化电压,第二级采用高输入阻抗、宽电压运放 CA3140 将 PC-802 输出的溶解氧浓度电流转化为电压输出,第三级采用高增益运放 UA741 与直流电压进行求和运算,UA741 输出的模拟电压送 CC2530 无线单片机进行 A/D 转换,实现溶解氧检测。

pH 传感器选用 E-201-C 型电极,测量范围在 0 ~ 14,工作温度 0 ~ 60 °C,测量时间 2 min 以内。pH 检测采用二级运放电路结构,考虑 E-201-C 内阻大,第一级采用高输入阻抗仪表放大器 INA116 进行放大,第二级采用精密运放 OP07 与直流电压进行求和运算,OP07 输出的模拟电压送 CC2530 无线单片机进行 A/D 转换,实现 pH 值检测^[14]。

温度传感器选用 DS18B20 型数字温度传感器模块,其使用优质不锈钢管封装,具有耐腐蚀耐用等显著特点,测量范围在 -55 ~ 125 °C,输出数字接口使用方便、可靠。温度检测通过 CC2530 无线单片机的 GPIO 口直接读取 DS18B20 模块输出的数字温度值。

水位传感器选用 HC-SR04 型超声波测距模块,其探测距离为 2 ~ 450 cm。CC2530 无线单片机的 GPIO 口定时输出 15 us 的高电平信号,触发 HC-SR04 模块,开启测量功能,随即 HC-SR04 模块自动发送 8 个 40 kHz 的方波信号,并自动检测是否有

信号返回,有信号返回,HC-SR04 模块的 ECHO 端口输出一个高电平,此高电平持续的时间就是超声波从发射到返回的时间,根据超声波的传输速度可得水位高度。

流速传感器选用 OKD-HZ21WA 型流速传感器模块,流速检测范围 0 ~ 30 L/min。

1.2.2 控制节点

冷、热水管的电磁阀和消毒液、pH 调节仓的电磁阀控制,通过 CC2530 无线单片机的 P1.0-P1.4 端口驱动 5 个 S9013 三极管实现。微水流的流速调节通过 CC2530 无线单片机的串口 1 控制变频器,由变频器实现水泵转速控制,从而实现微水流的流速调节。CC2530 无线单片机的 P2.0 端口驱动 S9013 三极管,实现继电器的开、关控制,从而实现增氧机的开、闭控制。CC2530 无线单片机的 P3.0 端口驱动 S9013 三极管,实现继电器的开、关控制,从而实现传感器电路的电源控制。

从就近的原则,辅助水池处的控制节点还具有流速检测及辅助水池水位检测功能。水位检测方法同上述设计相同。流速检测通过 OKD-HZ21WA 模块实现。该模块主要由铜阀体、水流转子、稳流组件和霍尔传感器组成。霍尔元件正极串入负载电阻,同时通上直流电压并使电流方向与磁场方向正交,当水通过涡轮开关推动磁性转子转动时,产生不同磁极的旋转磁场,切割磁感应线,即可产生高低脉冲电平。由于霍尔元件的输出脉冲信号频率与磁性转子的转速成正比,转子的转速又与流速成正比,通过 CC2530 无线单片机的外部计数功能计算脉冲信号的频率值,即可测量出微水流的流速。

1.2.3 网关节点

网关节点是传感器节点、控制节点与监控中心通信的桥梁,也是模糊算法的程序载体,同时负责传感器数据的汇聚、ZigBee 网络的现场管理,因此,选用具有强大数据处理能力的 32 位 S3C6410 嵌入式控制器为核心进行设计。网关节点采用模块化、可重用的设计思路,具有升级性、兼容性好等优点。网关节点主要由 32 位 S3C6410 嵌入式控制器核心板、CC2530 无线单片机、七寸液晶触摸屏、3G 无线通信模块组成,同时网关节点上的 CC2530 无线单片机担当 ZigBee 网络的协调器。采用 Platform 软

件自行定制出 WinCE6.0 嵌入式操作系统。为有效管理数据，在 WinCE6.0 系统上移植 SQLite 嵌入式数据库，将 sqlite.lib、sqlite.dll 2 个库文件加入 WinCE6.0 系统的应用程序工程，通过 API 函数实现 SQLite 嵌入式数据库的操作。监控系统程序流程图如图 5 所示。

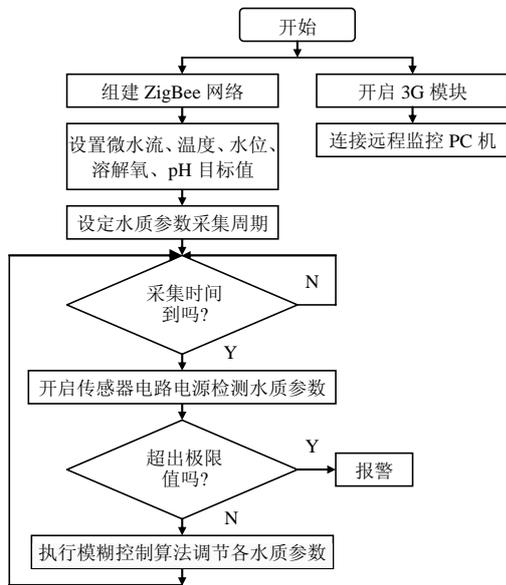


图 3 监控系统程序流程图

Fig.3 Flow chart of the monitoring system

2 模糊控制器的设计

以微水流流速控制为例进行设计，微水流流速目标值设定为 32 cm/s，超出控制范围由硬件电路报警，并同时向管理者手机发送警报短信。针对微水流流速控制的模糊控制器如图 4 所示。以微水流流速目标值和实测流速的误差为流速偏差 e 的输入量，流速偏差 e 的变化作为 ec 输入量，变频器的调控量为控制器的输出量 f 。

e 、 ec 和 f 对应的模糊变量分别设为 E 、 EC 和 F ，3 个模糊变量的模糊量设为： $E=EC=F=\{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}$ 。

$$K_j = \frac{2n_j}{|b-a|} \tag{1}$$

式中： K_j 为量化因子； n_j 是输入量的模糊论域； a 、 b 是输入量的物理论域。

$$K_u = \frac{f}{n} \tag{2}$$

式中： K_u 为比例因子； f 是控制量的物理论域； n 是输出量的模糊论域。

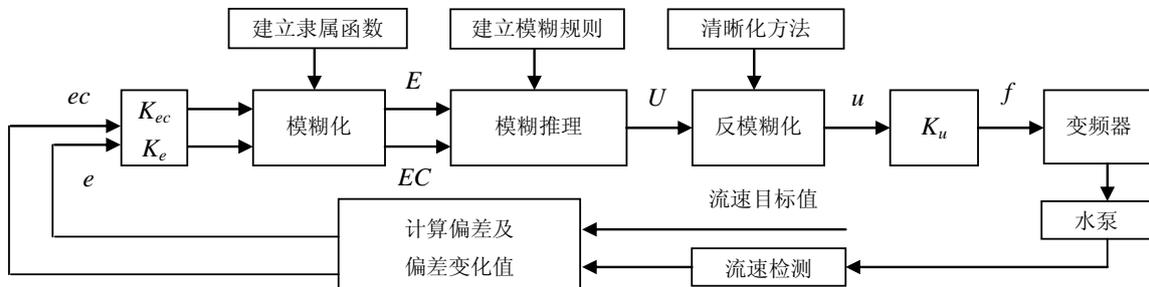


图 4 微水流模糊控制器的结构

Fig.4 The fuzzy controller structure of microflow

设微水流的流速在 25 ~ 40 cm/s， e 的论域为 [25, 40]cm/s，并将 e 的大小量化为 7 个等级，模糊数表示为 $\{-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3\}$ ，则对应的模糊论域为 $[-3, 3]$ ，由式(1)求出量化因子 K_e ，式中 n_j 为 3， b 为 40， a 为 25，得出 $K_e=0.4$ 。设微水流流速 5 min 调节 1 次， ec 的论域为 $[-0.023, 0.027]$ cm/s，将 ec 的大小量化为 7 个等级，模糊数表示为 $\{-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3\}$ ，则对应的模糊论域为 $[-3, 3]$ ，同理得出 $K_{ec}=120$ 。 f 的输出值对应为 $[-100, 100]$ Hz，此值以变频器的型号为参考相对应设置，将 f 的大小量化为 9 个等级，模糊数

表示为 $\{-4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4\}$ ，则对应的模糊论域为 $[-4, 4]$ ，由式(2)求出输出比例因子 K_u ，式中 f 为 100， n 为 4，得出 $K_u=25$ 。各变量均选用三角形隶属函数，具有使用稳定、简单等特点^[15]。由于水流紊流的存在，流量是一个较不稳定的量，流量传感器每次测量的值会有一些的波动，为保证流量的基本稳定，允许 E 有较小的偏差，因此设置 E 的隶属函数两端密、中间疏^[16]；为实现 E 较大时输出响应快， E 较小时输出精度高而且超调量少，输出量 F 的隶属函数设置成中间密、两端疏；3 个模糊变量的隶属函数如图 5 所示。

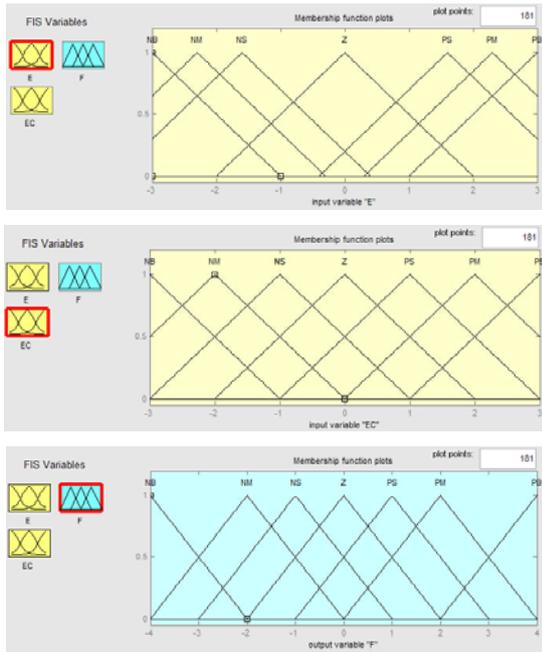


图 5 E、EC、F 的隶属函数曲线

Fig.5 Membership function of E, EC and F

采用 if A and B then C 模糊条件推理方法，根据实践调试经验得出表 1 所示模糊控制规则表，共 49 条控制规则，反模糊化采用最大隶属度平均值法^[17]，温度、溶解氧和 pH 水质参数的模糊控制器设计相似。采用 MATLAB 的 Fuzzy Logic 工具箱，设计出 Mamdani 型 FIS 系统，该 FIS 系统的输出曲面如图 6 所示。输出曲面总体光滑，控制效果良好。

表 1 模糊控制规则

Table 1 Control rule of fuzzy algorithm

E	EC						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PM	PS	Z
NM	PB	PM	PM	PS	PS	Z	NS
NS	PM	PM	PS	PS	Z	NS	NM
Z	PM	PS	PS	Z	NS	NM	NB
PS	PS	PS	Z	NS	NM	NM	NB
PM	PS	Z	NS	NS	NM	NM	NB
PB	Z	NS	NS	NS	NM	NM	NB

表 2 微水流、温度、溶解氧、水位和 pH 试验数据

Table 2 Test data of microflow, temperature, dissolved oxygen, water level pH value of the water

时间/h	微水流流速/(cm·s ⁻¹)	偏差	温度/℃	偏差	溶解氧/(mg·L ⁻¹)	偏差	水位/cm	偏差	pH	偏差
0	31.4	-0.6	19.6	-0.4	7.1	-0.4	109	-1	6.9	-0.3
2	30.5	-1.5	19.5	-0.5	7.3	-0.2	110	0	7.4	0.2
4	33.1	1.1	19.8	-0.2	7.3	-0.2	111	1	7.1	-0.1
6	32.6	0.6	20.1	0.1	7.7	0.2	108	-2	7.3	0.1
8	31.2	-0.8	20.4	0.4	7.8	0.3	109	-1	7.1	-0.1
10	32.4	0.4	20.1	0.1	7.6	0.1	109	-1	6.9	-0.3

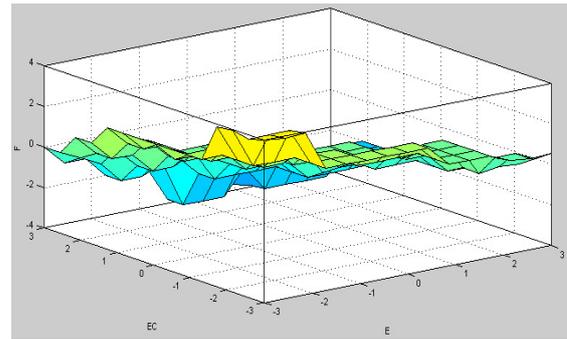


图 6 FIS 曲面观察器

Fig.6 Surface viewer of FIS

3 系统试验

按图 1 所示建造 4 个试验设施鱼池，按图 2 所示组建监控系统进行试验。模糊控制器移植在网关节点的 S3C6410 嵌入式控制器上，以响应表的形式实现。设施鱼池的水泵电压 12 V 直流、电机转速 2 800 r/min，变频器电压 12 V 直流、可调频率 0 ~ 1 000 Hz，增氧机电压 12 V 直流，功率 80 W。在网关节点上设定设施鱼池的水质参数为：微水流流速 32 cm/s，温度 20 ℃，溶解氧 7.5 mg/L，水位 110 cm，pH 值 7.2。微水流流速调节通过控制水泵转速实现；温度调节通过控制冷、热水管的电磁阀实现；水中溶解氧含量调节通过继电器控制增氧机实现；pH 调节通过控制 pH 调节仓的电磁阀实现。试验数据与标准仪器检测的数据对比如表 2 所示。结果表明，24 h 内微水流流速偏差控制在±1.9 cm/s 范围内，温度偏差控制在±0.6 ℃ 范围内，溶解氧偏差控制在±0.4 mg/L 范围内，水位偏差控制在±2 cm 范围内，pH 偏差控制在±0.3 范围内，模糊控制器调节精度可满足系统实际运行的需求。为进一步减少传感器的测量误差，提高系统的可靠性，在传感器采集数据时，采用数值滤波方法。

表 2(续)

时间/h	微水流速/(cm·s ⁻¹)	偏差	温度/°C	偏差	溶解氧/(mg·L ⁻¹)	偏差	水位/cm	偏差	pH	偏差
12	31.7	-0.3	20.3	0.3	7.2	-0.3	110	0	7.1	-0.1
14	32.7	0.7	20.5	0.5	7.4	-0.1	111	1	7.4	0.2
16	32.6	0.6	20.2	0.2	7.2	-0.3	111	1	6.9	-0.3
18	33.2	1.2	19.8	-0.2	7.2	-0.3	109	-1	7.3	0.1
20	31.4	-0.6	19.7	-0.3	7.5	0.0	111	1	7.1	-0.1
22	30.1	-1.9	19.4	-0.6	7.7	0.2	112	2	7.2	0.0

4 结论

为养殖齐口裂腹鱼的设施鱼池设计出一种监控系统,硬件设计实现微水流流速、温度、溶解氧、水位和 pH 传感器信号调理电路。ZigBee 节点程序是在 TI 公司 Z-Stack 协议栈的基础上实现二次开发。在网关节点上自行定制出 WinCE6.0 嵌入式操作系统,并为实现数据有效管理在 WinCE6.0 上实现 SQLite 嵌入式数据库。

在网关节点上实现水质参数调节模糊控制器,为达到快速调节效果,模糊控制器采用变化量和变化率为输入的二维结构,反模糊化采用最客观全面的最大隶属度平均值法。为方便、高效执行模糊控制算法,模糊控制器以输出响应表的形式实现。模糊控制结果,微水流流速偏差在±1.9 cm/s 范围内、温度偏差在±0.6 °C 范围内,溶解氧偏差在±0.4 mg/L 范围内,水位偏差在±2 cm 范围内,pH 偏差在±0.3 范围内,系统控制效果良好。

参考文献:

- [1] 孟立霞,张文华.齐口裂腹鱼人工养殖技术[J].中国水产,2011(5):40-41.
- [2] 谢佳艳.我国齐口裂腹鱼的研究现状[J].安徽农业科学,2010,38(25):13721-13722.
- [3] 周波,龙治海.齐口裂腹鱼繁殖生物学研究[J].西南农业学报,2013,26(2):811-813.
- [4] 夏娟,王玉蓉,谭艳平.水电工程建设对齐口裂腹鱼栖息地的影响分析[J].四川水利,2010(2):59-62.
- [5] 史兵,赵德安,刘星桥,等.基于无线传感网络的规模化水产养殖智能监控系统[J].农业工程学报,2011,27(9):136-139.
- [6] 黄建清,王卫星,孙道宗,等.基于无线传感器网络的水产养殖水质监测系统开发与试验[J].农业工程学

报,2013,29(4):183-188.

- [7] 李慧,刘星桥,李景,等.基于物联网 Android 平台的水产养殖远程监控系统[J].农业工程学报,2013,29(14):175-179.
- [8] 张小康,许肖梅,彭阳明,等.集中式深水网箱群鱼群活动状态远程监测系统[J].农业机械学报,2012,43(6):178-182.
- [9] 蒋建明,史国栋,李正明,等.基于无线传感器网络的节能型水产养殖自动监控系统[J].农业工程学报,2013,29(13):166-174.
- [10] 陆卫忠,付宝川,刘文亮,等.基于 GPRS 的水产养殖水质监控系统的设计[J].仪器仪表学报,2007,28(1):163-165.
- [11] 杨义,李山友,周小宁,等.裂腹鱼的生物学及养殖[J].水利渔业,2003,23(4):22-23.
- [12] 邹志勇,许丽佳,康志亮,等.齐口裂腹鱼养殖智能设施鱼池设计[J].农业机械学报,2014,45(S1):296-301.
- [13] 李震,洪添胜,文韬,等.基于物联网的果园实蝇监测系统的设计与实现[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2015,41(1):89-93.
- [14] 宦娟,刘星桥,程立强,等.基于 ZigBee 的水产养殖水环境无线监控系统设计[J].渔业现代化,2012,39(1):34-39.
- [15] 徐焕良,张灏,沈毅,等.设施花卉环境参数低功耗传输及模糊控制研究[J].农业机械学报,2013,44(6):236-241.
- [16] 刘志壮,洪添胜,李震,等.基于模糊控制的流量控制阀仿真[J].农业工程学报,2009,25(2):83-85.
- [17] 李加念,洪添胜,冯瑞珏,等.基于模糊控制的肥液自动混合装置设计与试验[J].农业工程学报,2013,29(16):22-30.

责任编辑:罗慧敏

英文编辑:吴志立