

基于 LEACH 协议的水产养殖参数智能监控系统*

蒋建明¹ 史国栋¹ 赵德安² 李正明² 史兵^{1,2} 赵以钢¹

(1. 常州大学信息科学与工程学院, 常州 213064; 2. 江苏大学电气信息工程学院, 镇江 212013)

摘要: 提出了基于 LEACH (Low energy adaptive clustering hierarchy) 协议的水产养殖溶解氧参数低功耗无线测量网络和溶解氧浓度的智能变频控制技术。无线传感网络中簇首对测量节点的数据先进行融合, 然后发送到基站。针对水体溶解氧参数变化缓慢的特点, 规定在每一帧内变化小于 0.1 mg/L 时, 不再向簇首发送数据。簇首调整各节点在该帧内数据发送时隙, 延长簇首和节点的休眠时间, 降低了功耗。PLC 根据溶解氧参数的变化一方面通过变频器控制叶轮增氧机, 在白天水体溶解氧质量浓度大于 5.0 mg/L 时, 叶轮增氧机低速“耕水”, 充分利用自然界的风能、光能和藻类的光合作用改善水质; 另一方面当溶解氧质量浓度低于 5.0 mg/L 下限时, 采用模糊变频控制迅速缩小误差, 在接近控制目标后, 变频器输出稳定。通过试验验证, 相对于人工粗略控制, 节约电能 42.3% 以上, 产量提高 11.8%, 综合经济收益提高 41.3%。

关键词: 水产养殖 智能监控 低能量自适应分群分层协议 叶轮增氧机 模糊变频

中图分类号: S953; S951.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0286-06

引言

近年来水产养殖规模迅速发展, 我国已成为世界上水产养殖产量最大的国家。但是人力成本的迅速上升和社会需求的增加迫切需要建立水产养殖参数的智能控制系统。溶解氧参数是规模化水产养殖最重要的参数, 当前养殖户主要依靠经验人工控制, 存在很大的盲目性, 稍有不慎极易引起鱼虾的大面积死亡。王兴国等^[1] 分析研究了超声波增氧方式, 相比传统的机械增氧具有增氧速度快的特点, 但难以在实际应用中广泛推广。谷坚等^[2] 比较和阐述了叶轮式、水车式、螺旋桨式增氧方式的效率, 指出不同应用场合宜采用不同的增氧方式。吴世海、周建来等研究了射流式增氧机的机械结构和效率的提高措施^[3-10]。但上述研究还没有具体分析从电气控制的角度进一步提高增氧机械效率和进行智能化控制。为进一步探讨节能增效, 本文构建溶解氧参数的低功耗无线测量网络和智能增氧系统。

1 系统结构

系统结构如图 1 所示, 养殖池水体溶解氧浓度通过 Zigbee 节点测量, 无线传感网络采用低能量自适应分群分层协议, 测量节点把测量参数发送给簇

首, 簇首把测量数据融合后, 发送给基站, 基站距离控制器比较近, 采用 RS-485 串行通信把测量数据传送给 CPU (S7-200PLC), CPU 根据溶解氧含量的多少以及变化过程变频控制叶轮增氧机应急增氧或低速“耕水”^[11-13]。

2 无线传感网络

无线传感网络节点大部分依靠电池供电, 更换电池特别是单个更换电池非常浪费人力资源。因此在无线传感网络中, 从单个节点到整个网络, 从最底层的硬件到高层的通信协议及数据管理, 节约能源是关键要素。无线通信模块主要存在数据发送、数据接收、空闲和休眠 4 种状态。通信模块在发送状态下能量消耗最大, 而在空闲和接收状态的能量消耗相近, 略低于发送状态的能量消耗, 休眠状态功耗远低于其他 3 种状态。减少不必要的发送和接收, 节点不通信时尽快进入休眠状态可以节约供电电池能耗。

在水产养殖参数监控的无线测量网络中, 在保证测量精度的前提下, 主要采取两种节能措施。一是采用低能量自适应分群分层协议 (LEACH), 对传感节点汇聚到簇首节点的数据进行融合, 由簇首再向基站转发, 与平面路由协议中不断转发数据相比,

收稿日期: 2013-11-19 修回日期: 2013-12-16

* 国家自然科学基金资助项目 (51176016) 和江苏省科技支撑计划资助项目 (BE2013005-3)

作者简介: 蒋建明, 副教授, 主要从事计算机远程测量与控制研究, E-mail: jjm-224@163.com

通讯作者: 史国栋, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械及电气化研究, E-mail: jsjby@em.jpu.edu.cn

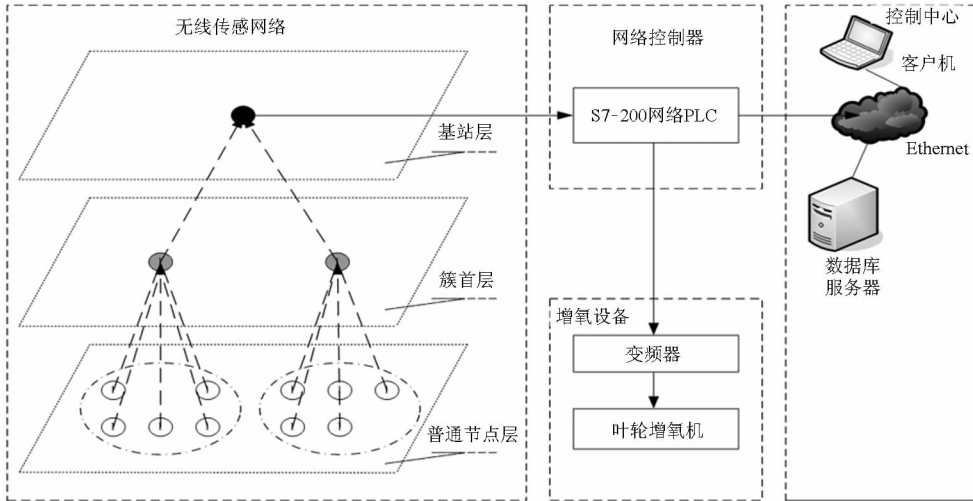


图 1 系统结构图

Fig. 1 Architecture of system

数据融合大幅减少了数据的发送。二是根据水质参数变化的实际情况,增加簇首和普通节点的休眠时间^[14-15]。

2.1 数据融合

无线传感网络中数据融合的主要目的是节省能量、增强采集数据的准确性和提高采集效率。数据融合技术虽然增加了中间节点的计算量,但减少了数据传输过程中的冗余、减少了信道冲突,降低了功耗。

图 1 所示的无线传感网络中,每个簇由 6 个节点组成,其中一个为簇首。当各节点把测量数据汇聚到簇首后,簇首采用加权平均法对数据进行融合,公式为

$$X = \sum_{i=1}^n \beta_i x_i \tag{1}$$

其中 x_i 为第 i 个节点的测量值, β_i 为加权系数,在本系统中,各测量节点加权系数相同,值为 $1/6$ 。当一个节点失效后,在剩下的 5 个节点中, β_i 值为 $1/5$,依次类推。 X 为数据融合值,由簇首发送给基站。

2.2 休眠控制

2.2.1 LEACH 协议中 TDMA 通信

LEACH 协议中采用 TDMA (Time division multiple access) 时分多址通信。时分多址是把时间分割成周期性的帧 (Frame), 每一个帧再分割成若干个时隙, 在每个时隙节点向簇首发送数据。TDMA 通信可以避免信道冲突以及冲突引起的数据丢包; 保证了数据传送的可靠性和实时性; 当节点不在工作时间内时进入睡眠状态以节约能量。

本系统水产养殖无线传感网络中, 传感节点位置和分簇固定。由于被选为簇首的节点能耗大, LEACH 协议中通过节点剩余能量的多少选择簇首, 达到节点剩余能量的均衡。在调度阶段, 簇头将数

据传输阶段分为 n 个帧, 每个帧根据簇内节点数的多少分成相应的时隙。在每个时隙, 簇首一直监听, 随时准备接收普通节点上传的监测数据。

2.2.2 LEACH 协议帧优化

水产养殖中水体溶解氧参数变化缓慢, 而且控制精度要求不高。系统中当监测到水体溶解氧质量浓度与上次发送值差值在 0.1 mg/L 范围内时, 为节省能量不向簇首发送, 簇首默认本次监测值与上次相同。而簇首在该时隙内一直处于监听状态, 能量消耗较大。如图 2a 所示, 在帧 1 中的 5 个时隙中, 仅第 1、3 个节点需要发送数据, 但簇首一直处于监听状态。在优化的 TDMA 通信中, 如图 2b 所示, 在每帧的开始进行时隙调度, 需要发送数据的节点向簇首发出申请, 簇首收到申请后安排 2 个时隙供节点 1、3 发送数据, 发送完则全簇节点休眠, 等待下一帧开始时苏醒, 这样大幅增加了簇首的休眠时间。

节点和簇首的工作状态如图 3 所示, 常规 LEACH 协议中, 每一帧的时间段内簇首大部分时间处于监听状态, 只有在数据接收完毕的时隙内休眠很短的时间, 在下个时隙重新唤醒, 继续监听。而在优化 LEACH 协议中, 经过簇首调度, 安排需要发送数据的节点按时隙发送, 数据发送完毕后簇首和节点均进入较长时间的休眠状态。由图 3 可以看出, LEACH 协议优化后, 大幅增加了簇首休眠时间, 节约了供电电池能量。

3 增氧控制

3.1 理论分析

通过菲克 (Fick) 定律、刘易斯 (Lewis) 和怀特曼 (Whitman) 创立的双膜理论可以得到计算公式

$$\frac{dM}{dt} = D_L A \left(\frac{C_s - C}{X_f} \right) \tag{2}$$

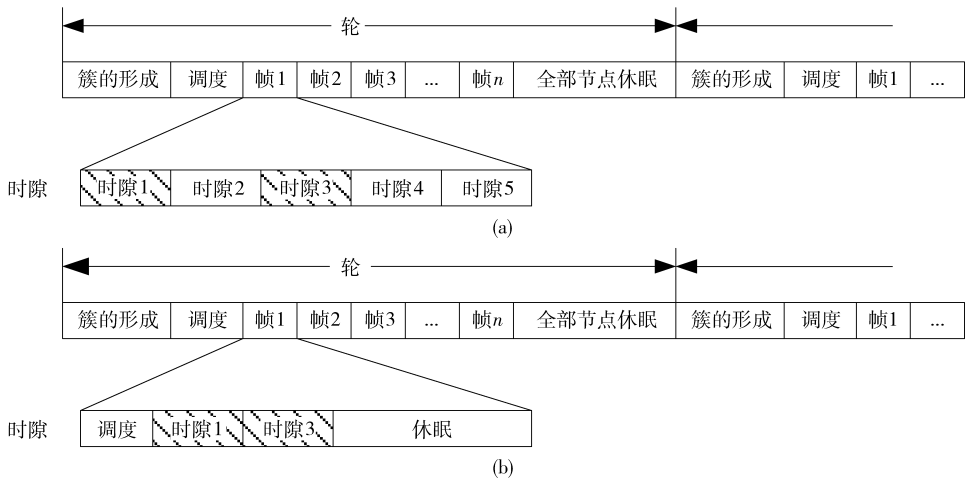


图 2 LEACH 协议帧的优化
Fig. 2 LEACH protocol frame optimization
(a) LEACH 协议 (b) 帧优化的 LEACH 协议

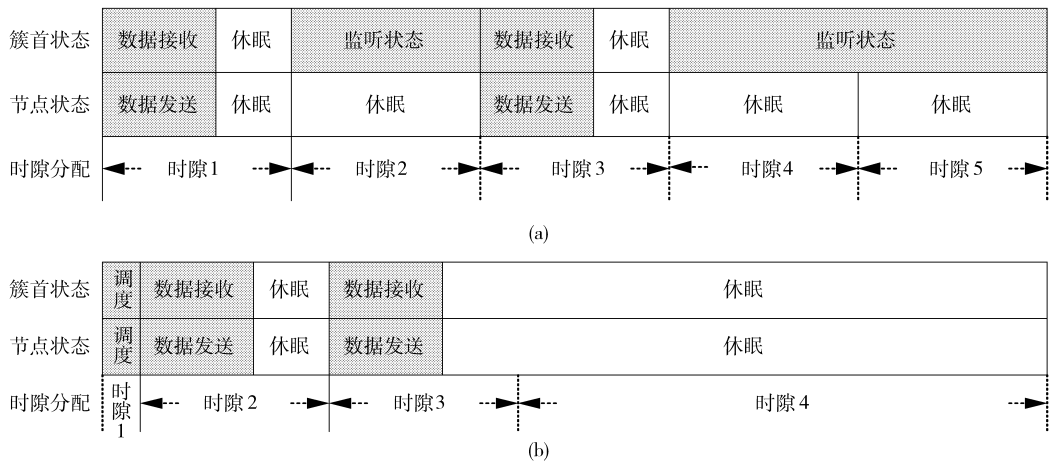


图 3 簇首和节点工作状态比较
Fig. 3 Comparison of cluster head and nodes' work status
(a) 常规 LEACH 协议簇首和节点状态 (b) 优化 LEACH 协议簇首和节点状态

式中 M ——在单位时间 t 内通过界面扩散的物质数量
 D_L ——扩散系数 A ——界面面积
 C_s ——空气与液面交界处需要扩散的物质浓度
 C ——物质浓度 X_f ——液膜的厚度

应急增氧时由公式(2)可知,随着 C 的增加,增氧效率不断降低,当 C 接近 C_s 时,增氧机增氧效率接近 0,因此在满足鱼类适宜生活溶解氧含量的前提下,系统溶解氧含量控制目标值不能太高^[16]。而人工手动控制时,当水体溶解氧浓度含量较高时,仍然工频增氧,此时增氧效率极低;同样人工控制无法在溶解氧含量低于下限时及时开机,易引起鱼虾窒息死亡^[17]。

3.2 实际应用

叶轮增氧机主要由电动机、减速箱、叶轮、撑杆、浮筒等组成,浮于水面工作,不受水位变化的影响。

工作同时完成水跃增氧、水面更新增氧、负压进气增氧。水体中溶解氧来源一般有 2 个:水体中溶解氧未饱和时,大气中的氧气向水体渗入;水体中藻类的光合作用释放出氧气。而且后者是主要来源,占 80% 以上。耕水机节能的主要原因是促进了水体中藻类的光合作用,向水体释放了大量氧气。因此在白天(增氧主要是夏季)7:00—18:00,只要监测到溶解氧含量不低于设定的下限 5.0 mg/L,PLC 以固定频率(10 Hz)通过变频器控制叶轮增氧机低速“耕水”,搅动水体上下循环。期间在阴雨天如溶解氧低于下限值,则变频模糊控制应急增氧。水产养殖中溶解氧应急控制要求在低浓度时迅速提高溶解氧含量,接近目标值时变频器要求输出稳定,但控制精度要求不高。PLC 工作稳定,使用寿命长,但难以完成复杂控制算法,针对以上特点溶解氧采用模糊变频控制。

水体溶解氧含量测量后传送给 PLC,PLC 通过

三角形隶属函数归类成模糊集。每次采样后溶解氧误差 E_k 和误差变化率 $\dot{E}_k$ 首先按照图 4 所示隶属函数归类为 $\{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\}$ 模糊集,用整数表示为 $\{3, 2, 1, 0, -1, -2, -3\}$ 。常用的隶属函数有三角形和高斯型,三角形更适合于在线调整的自适应模糊控制,公式为

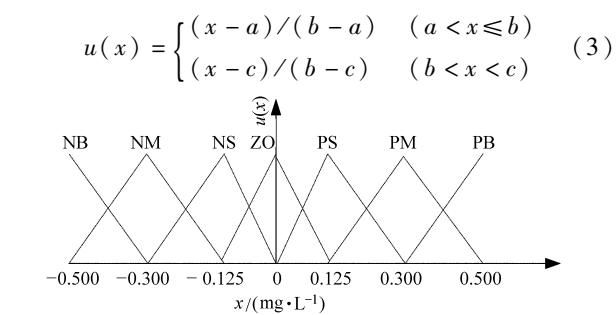


图 4 三角形隶属函数

Fig. 4 Triangle membership function

模糊控制器的设计：模糊控制系统的核心是模糊控制器的设计。设计的核心是模糊语言规则和合成推理。在常规的二维模糊控制器中,输出变量值取决于输入量误差 E_k 和误差变化率 $\dot{E}_k$,它们的加权系数各为 0.5。公式为

$$u = -(E_k + \dot{E}_k)/2 \quad (4)$$

由此得到的控制规则如表 1 所示。

表 1 常规模糊控制规则

Tab.1 Conventional fuzzy control rules

E_k	$\dot{E}_k$						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	3	3	2	2	1	1	0
-2	3	2	2	1	1	0	-1
-1	2	2	1	1	0	-1	-1
0	2	1	1	0	-1	-1	-2
1	1	1	0	-1	-1	-2	-2
2	1	0	-1	-1	-2	-2	-3
3	0	-1	-1	-2	-2	-3	-3

但在水产养殖的水体溶解氧实际控制中,当误差较大时控制系统的主要任务是迅速消除误差,这时对误差的加权应该大些;当误差较小时,控制系统主要任务是保持控制稳定,对误差变化率加权要大些。因此控制器采用变加权因子模糊控制,公式为

$$u = \begin{cases} -[\alpha_1 E_k + (1 - \alpha_1) \dot{E}_k] & (E_k = 0, \pm 1) \\ -[\alpha_2 E_k + (1 - \alpha_2) \dot{E}_k] & (E_k = \pm 2, \pm 3) \end{cases} \quad (5)$$

式中 $\alpha_1, \alpha_2 \in (0, 1)$ 。系统中取 $\alpha_1 = 0.4, \alpha_2 = 0.6$,由此得到的实际控制规则如表 2 所示。

由此得到 u 的论域为 $(-3, 3)$,由于变频器的

输入电压为 0 ~ 5 V,其线性转化公式为

$$U = 5u/6 + 2.5 \quad (6)$$

由式(6)得到的 0 ~ 5 V 输出电压控制增氧电动机以 0 ~ 50 Hz 的频率应急变频增氧。

表 2 变加权因子的模糊控制规则

Tab.2 Changed weighting factor fuzzy control rules

E_k	$\dot{E}_k$						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	3	3	2	2	2	1	1
-2	3	2	2	1	1	1	0
-1	2	2	1	1	0	-1	-2
0	2	1	1	0	-1	-1	-2
1	2	1	0	-1	-1	-2	-2
2	0	-1	-1	-1	-2	-2	-3
3	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3

4 试验与分析

在江苏省镇江市横塘千亩水产养殖基地选择 6 个 100 m × 200 m 的家鱼养殖池作为试验池。每个养殖池投放 12 000 尾草鱼、鲢鱼、青鱼和辅养少量鲫鱼,养殖周期两年。每个养殖池采用一台 3.0 kW 叶轮增氧机(YL-3.0 型)增氧。采用无线测量与智能控制的养殖池变频器为三菱 FR-S540E-3.7K-CHT 型,CPU 选用西门子 S7-224XP 型。养殖池 1、2、3、4 参数测量采用 Zigbee 无线通信网,每个养殖池均匀分布 12 个测量节点和 1 个固定在岸边的基站节点,测量节点按照地理位置的不同固定分为 2 个簇,每个簇包含 6 个节点。1、2 号池采用常规 LEACH 协议,3、4 号池采用休眠控制的帧优化的 LEACH 协议。养殖池 5、6 则采用人工粗略控制:冬天一般不开机;春、秋季温度较高视情况开机;夏天开机时间为:22:00 ~ 次日 8:00,阴雨天则全天开机,均为工频工作。

如图 5 所示,采用 LEACH 协议的 1、2 号池无线测控网络出现第 1 个失效节点的时间为第 45 天和第 50 天;出现第 3 个失效节点的时间为第 65 天和

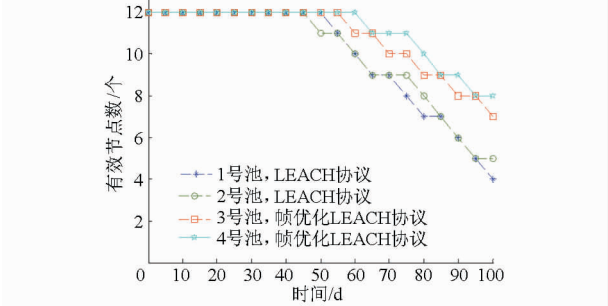


图 5 剩余有效节点图

Fig.5 Graph of remaining active nodes

第 70 天。采用帧优化的 LEACH 协议的 3、4 号养殖池出现第 1 个失效节点的时间为第 55 天和第 60 天,比 1、2 号养殖池延长约 20%;出现第 3 个失效节点的时间为第 80 天和第 85 天,假定无线网络出现 3 个失效节点时网络失效,则 3、4 号养殖池无线测量网络比 1、2 号养殖池有效生命周期延长约 21%。

试验统计结果如表 3 所示,采用 Zigbee 通信测

量和智能化增氧系统的 1、2、3、4 号养殖池虽然初期硬件投入大于采用手动控制的养殖池,但是由于采用了智能化的增氧方式,不仅节省了人力成本和电能,而且智能化控制的水环境更适合鱼类生长,减少了药品的使用,最终水产品产量和利润均高于采用手动控制的 5、6 号养殖池。经统计节约电能 42.3%,产量提高 11.8%,利润增加 41.3%。

表 3 各养殖池数据统计
Tab.3 Statistics of each breeding pond

养殖池	饲料		耗电		幼苗 费用/元	机电设备 费用/元	其他:租金、 人力、药品 等费用/元	养殖鱼		利润 /元
	用量/kg	费用/元	电量/(kW·h)	费用/元				产量/kg	价值/元	
1(自动)	1 907	13 350	5 048	2 776	12 000	15 000	17 300	8 235	98 820	38 394
2(自动)	1 907	13 350	5 235	2 879	12 000	15 000	17 800	8 121	97 452	36 423
3(自动)	1 907	13 350	5 076	2 792	12 000	15 000	15 700	8 203	98 436	39 594
4(自动)	1 907	13 350	5 036	2 770	12 000	15 000	15 500	8 178	98 136	39 516
5(手动)	1 907	13 350	8 743	4 836	12 000	5 000	25 700	7 395	88 740	27 854
6(手动)	1 907	13 350	8 921	4 907	12 000	5 000	25 100	7 246	86 952	26 595

5 结束语

本文探讨了基于 LEACH 层次路由协议的水产养殖参数智能控制系统,在无线测量网络中依据水产养殖溶解氧参数的变化特点对 LEACH 协议的帧进一步优化,通过试验发现优化后的协议出现第 1 个失效节点和网络生命有效周期均延长约 20%。

系统在应急增氧时采用模糊变频控制。通过试验验证,采用智能增氧控制系统平均节约电能 42.3%以上,平均产量增加 11.8%,利润增加 41.3%。试验发现,基于优化 LEACH 协议的智能化水产养殖系统不仅延长了无线传感网络的有效寿命,而且减少了增氧机电能消耗,提高了水产养殖效益。

参 考 文 献

1 王兴国,王悦蕾,赵水标. 养殖水体增氧技术及方法探讨[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2004,23(2):114-117.
Wang Xingguo, Wang Yuelei, Zhao Shuibiao. Study on a method of increasing oxygen for aquaculture water[J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science,2004,23(2): 114 -117. (in Chinese)

2 谷坚,顾海涛,门涛. 几种机械增氧方式在池塘养殖中的增氧性能比较[J]. 农业工程学报,2011,27(1):148-151.
Gu Jian, Gu Haitao, Men Tao. Performance comparison for different mechanical aeration methods in pond[J]. Transactions of the CSAE, 2011,27(1):148-151. (in Chinese)

3 吴世海. 射流自吸式增氧机[J]. 农业机械学报,2007,38(4):88-92.
Wu Shihai. Study on aspirating aerator[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(4):88-92. (in Chinese)

4 周建来,邱白晶,郑铭. 双侧吸气射流增氧机的增氧性能试验[J]. 农业机械学报,2008,39(8):70-73.
Zhou Jianlai, Qiu Baijing, Zheng Ming. Experiment on dual laterolog aspiratoing aerator[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(8):70-73. (in Chinese)

5 李玉全,张海艳,李健,等. 水产养殖系统中机械增氧与液态氧增氧的效果比较[J]. 中国农学通报,2008,24(2):475-480.
Li Yuquan, Zhang Haiyan, Li Jian, et al. The comparison of aeration effect between air aeration and pure oxygen aeration systems in aquaculture[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(2): 475-480. (in Chinese)

6 曾筱鸿. 耕水机使用性能研究及试验结果分析[J]. 现代农业装备,2008(7):44-49.

7 丁翔文,张树阁,孙新超. 应用耕水机养殖南美白对虾试验[J]. 农业工程学报,2010,26(8):130-135.
Ding Xiangwen,Zhang shuge,Sun Xinchao. Experimental study on applying biofan to cultivate *Penaeus vannamei*[J]. Transactions of the CSAE, 2010,26(8):130-135. (in Chinese)

8 Delgado P C, Avnimelech Y, McNeil R, et al. Physical, chemical and biological characteristics of distinctive regions in paddlewheel aerated shrimp ponds[J]. Aquaculture, 2003, 217(1-4): 235-248.

9 管崇武,刘晃,宋红桥,等. 涌浪机在对虾养殖中的增氧作用[J]. 农业工程学报,2012,28(9):208-212.
Guan Chongwu,Liu Huang, Song Hongqiao, et al. Oxygenation effect of wave aerator on shrimp culture[J]. Transactions of the

CSAE, 2012,28(9):208–212. (in Chinese)

10 何东健,邹志勇,周曼. 果园环境参数远程检测 WSN 网关节点设计[J]. 农业机械学报,2010,41(6):182–186.
He Dongjian, Zou Zhiyong, Zhou Man. Design of WSN gateway nodes for remote detection of orchards environment parameters [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(6):182–186. (in Chinese)

11 包长春,李志红,张立三,等. 基于 Zigbee 技术的粮库监测系统的设计[J]. 农业工程学报,2009,25(9):197–201.
Bao Changchun, Li Zhihong, Zhang Lisan, et al. Design of monitoring system for grain depot based on Zigbee technology [J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(9):197–201. (in Chinese)

12 宁静红,刘圣春,严雷. 太阳能蔬菜生产配送基地组合系统[J]. 农业机械学报,2012,43(9):131–135.
Ning Jinghong, Liu Shengchun, Yan Lei. Combined system of solar energy vegetable growth and distribution center [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(9):131–135. (in Chinese)

13 郭文川,程寒杰,李瑞明,等. 基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统[J]. 农业机械学报,2010,41(7):181–185.
Guo Wenchuan, Cheng Hanjie, Li Ruiming, et al. Greenhouse monitoring system based on wireless sensor networks [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(7):181–185. (in Chinese)

14 蒋建明,史国栋,赵德安,等. 基于 Zigbee 通信的节能型混合式机械增氧系统[J]. 农业机械学报,2013,44(10):242–247.
Jiang Jianming, Shi Guodong, Zhao Dean, et al. Energy-efficient hybrid mechanical aeration system based on Zigbee communication [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(10):242–247. (in Chinese)

15 Wang Xiaodong, Qin Boqiang, Gao Guang, et al. Phytoplankton community from Lake Taihu, China, has dissimilar responses to inorganic and organic nutrients [J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, 22(10): 1491–1499.

16 熊迎军,沈明霞,孙玉文. 农田图像采集与无线传输系统设计[J]. 农业机械学报,2011,42(3):184–187.
Xiong Yingjun, Shen Mingxia, Sun Yuwen. Design on system of acquisition and wireless transmission for farmland image [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(3):184–187. (in Chinese)

17 韩安太,何勇,陈志强,等. 基于无线传感器网络的茶园分布式灌溉控制系统[J]. 农业机械学报,2011,42(9):173–180.
Han Antai, He Yong, Chen Zhiqiang, et al. Design of distributed precision irrigation control system based on wireless sensor network for tea plantation [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(9):173–180. (in Chinese)

Intelligent Monitoring System of Aquaculture Parameters Based on LEACH Protocol

Jiang Jianming¹ Shi Guodong¹ Zhao Dean² Li Zhengming² Shi Bing^{1,2} Zhao Yigang¹
(1. School of Information Science & Engineering, Changzhou University, Changzhou 213064, China
2 Electronic and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Low-power wireless measurement network of dissolved oxygen concentration based on LEACH (Low energy adaptive clustering hierarchy) protocol and intelligent inverter control in aquaculture were introduced. In LEACH protocol, the measured data were fused by the cluster head and then sent to the base station. As the dissolved oxygen concentration changed slowly, it was set that when changes in dissolved oxygen concentration were less than 0.1 mg/L, node was no longer send data to the cluster head in each frame. Simultaneously head node adjusted the transmission slot of each node in the frame. Sleep time of cluster head and node was extended and power consumption was reduced. When dissolved oxygen concentration was not less than 5.0 mg/L during the day, PLC controlled aerator automatically “farming water” at low speed through inverter. That fully took advantage of natural wind energy, solar energy and algae photosynthesis to improve water quality. When the dissolved oxygen concentration was less than 5.0 mg/L, fuzzy variable frequency control was used to reduce errors rapidly. When approaching the control target value, the inverter outputted stability to ensure the stable operation of the aerator motor. Statistics show that this control method saved more than 42.3% of the electricity, increased the production by 11.8% and increased the comprehensive economic gains by 41.3%.

Key words: Aquaculture Intelligent monitoring Low energy adaptive clustering hierarchy Impeller aerator Fuzzy variable