

基于机器鱼的内陆湖泊水质在线监测系统的设计

童晓红¹, 陈玲¹, 华艳¹, 杨磊²

(1. 合肥职业技术学院 信息中心, 合肥 238000; 2. 安徽斯玛特物联网科技有限公司, 合肥 231000)

摘要: 仅依赖无线传感器网络在线实测是利用多跳式通信实现远程发送与存储数据丢包率高, 实验阶段设计的二维结构仿真机器鱼巡游避障性能差, GPRS 全天候数据采集与传送所需的流量费用高, 针对以上这些问题, 设计了一套可进行实测的机器鱼自动巡游避障、水质环境实时监测系统平台; 该系统通过移动终端程序设计、利用三维采集路径跟踪算法及 WSNs 与 Wifi 热点技术对机器鱼群实现远程精准控制, 按照设定深度、路径规划的采集点进行水温水位、PH 值、溶解氧、电导率、浊度等常五类水质环境数据实时采集、处理、远程存储、显示、分析及预警, 给出了系统的总体设计、机器鱼的结构与控制系统设计、终端节点与协调器的硬件系统及上下位机软件系统设计; 利用这套系统对巢湖 5 个取样点实测, 水温、溶解氧、PH 值平均误差率分别为 0.18%、0.5% 及 0.01%, 远高于其他水质在线监测的精度要求, 达到了预期成果; 同时对水库及精细水产养殖业等水质在线监测与预警具有很高的推广价值。

关键词: WSNs; WiFi; 机器鱼; 内陆湖泊; 水质在线监测; 系统设计

Design on Monitoring System for Inland Lake Water Quality Based on Robotic Fish

Tong Xiaohong¹, Chen Ling¹, Hua Yan¹, Yang Lei²

(1. Information Center, Hefei Vocational and Technical College, Hefei 238000, China;

2. Anhui Smart Internet of things Technology Co., Ltd., Hefei 231000, China)

Abstract: online measurement of transmission and storage data packet loss rate is high due to the remote multi hop communication rely only on Wireless sensor networks. The obstacle avoidance ability of the simulation robot fish in the two-dimensional structural design stage is poor. data acquisition and transmission costs of GPRS traffic is high all weather. in order to solve the above problems, a set of real-time monitoring system of water quality for automatic obstacle avoidance is designed. the system is designed by using the mobile terminal program, using 3D acquisition path tracking algorithm and WSNs and Wifi hot spot technology to realize the precise control of the robot fish, according to the set depth and planning of acquisition point, achieve five water quality environmental datas including of water level and temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity, turbidity, etc in real-time acquisition, processing, remote storage, display, analysis and warning. the overall design of the system, the structure and control system design, the hardware system of the terminal node and coordinator, the software design of the upper and lower computer are given. the application of the system to the five sampling points in the Chaohu Lake, the average error rate of water temperature, dissolved oxygen and pH value were 0.18%, 0.5% and 0.01%, respectively, much higher than other water quality on-line monitoring accuracy requirements, to achieve the expected results. It has a very high value for the on-line monitoring and early warning of reservoir and fine aquaculture.

Keywords: WSNs; WiFi; robotic fish; inland lake; water quality monitoring; system design

0 引言

内陆湖泊一般位于人口与产业聚集区, 是区内珍贵的水源地, 资源短缺。因此对水质进行监测特别是实时监测显得非常重要, 一旦出现突发性问题需及时报警并采取相应措施。传统的基于国家级的基站多参数水质检测仪无法实现全天候实时监测, 过去的 485 现场总线模式不适合移动多点监测。王士明等人研究设计的基于 ZigBee 的大水域水质环境监测系统仅依靠 ZigBee 网络进行远程多跳式通信, 数据发送与存储丢包率高^[1], 且构建大范围无线传感器网络的算法复杂, 节点布局难; 付焕森等人研究设计的基于 ZigBee 和 GPRS 的仿真机器鱼水质监测系统^[2]虽然引入机器鱼巡游系统, 但二维结构设计的机器鱼巡游避障性能差, 利用 GPRS 模块对数据收集、

传输、存储其稳定性不够、全天候数据采集与传送所需的流量费用也非常昂贵。

本文综合上述思路, 研发设计的机器鱼能按照规划的三维采集路径算法实现精准的巡游避障; 携带多种传感器舱体及浮标球气泵设计使机器鱼用途更广、维护更便利; 机器鱼嵌入的网关节点的 WiFi 模块, 利用智慧城市免费的 wifi 热点连接把基于 WSNs 集成的多传感器各节点数据及时稳定地发送到远程数据库服务器, 通过设计的平台就可以实现对水质实时数据监测、分析与预警。利用该系统对巢湖选定的具有代表性的污染源入口多次实测, 并通过与精密水质分析仪现场测定数据比对、算法校正, 基本实现了预定的水质在线监测目标。这套系统实施成本低, 可操作性便利, 目前与企业合作, 除内陆湖泊外, 在大范围的饮用型水库、精细水产养殖业等水质监测得到广泛的推广应用。

收稿日期: 2017-02-04; 修回日期: 2017-03-13。

基金项目: 安徽省自然科学基金重点项目(KJ2014A219)

作者简介: 童晓红(1965-), 男, 安徽合肥人, 工学硕士, 副教授, 研究方向为物联网技术与应用

1 系统总体设计

系统的网络结构的设计包括监测中心、通信基站、网关、传感器节点等。其分层结构是由物理链路感知层、网络数据传

输层、数据分析处理应用层组成^[3], 如图 1 所示。物理链路感知层主要由机器鱼载体及其内嵌的常五类传感器、RS232—485 模块、数据采集器组成; 网络数据传输层是由协调器及网关节点、Wifi 通信模块、无线路由等组成, 对传感器采集的数据以加密包的形式向上位机进行数据分割、传送, 并通过 Web Service 接口, 利用网关节点的负载均衡与存储管理实时存放到对应的数据表内; 数据分析处理应用层是利用算法、NET 框架设计出 Web 系统平台供远程用户登录、实现查询、控制及预警; 移动终端(手机)移植并安装机器鱼控制系统可实现对机器鱼节点定位巡游, 同时也可以利用手机的 APP 系统对水质实时查询。在数据传输方法上规避了总线传输受限固定节点、GPRS 实时远程传送带宽低、丢包率高、全天候费用昂贵等缺陷, 让机器鱼节点间采用 WSNs 技术组网, 网关协调器增加 WiFi 模块, 加上近年来免费的 Wifi 热点覆盖率及带宽呈几何级数递增、无缝漫游技术日趋成熟为机器鱼远程巡游、多点采集与数据实时传输提供了保障, 基于 wifi 模块与热点技术是本系统在设计上区别于国内外其他系统的一个显著特点。

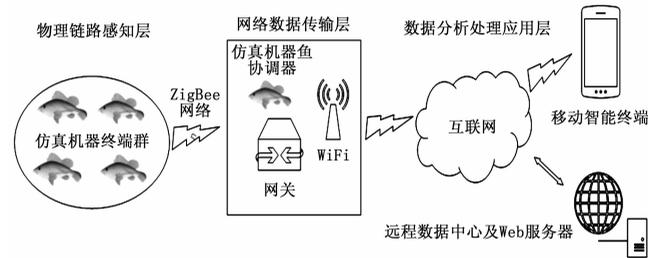


图 1 系统结构图

2 机器鱼的结构与控制系统设计

2.1 机器鱼结构设计

近年来, 国内外许多研究机构和高等院校对机器鱼进行了大量的研究, 并且在各个领域得到了实际运用。英国埃塞克斯大学的研究人员向泰晤士河投放专门设计的机器鱼, 用于探测水中的污染物, 并绘制河水的 3D 污染图; 日本三菱重工也己经将研究的机器鱼玩具批量生产; 中国北京航空航天大学和中国科学院研制的 SPC-II 机器鱼也成功地用于水下考古探测。目前国内外研究机构研制的机器鱼的结构不尽相同, 但基本都是通过模仿和控制鱼鳍的运动来达到运动目的^[4], 到达设定目标完成设定任务后返航或巡游进入下一个测量点。考虑到湖泊水体水质采集点对机器鱼适用性及控制性的要求, 在机器鱼的设计上结合国内外机器鱼的特点, 设计出适应于内陆湖泊水质监测的机器鱼结构模型。如图 2 所示。

其内部结构可分解为视频模块、导航模块、任务调度模块、运动控制模块、通信模块、电源模块和鳍部运动模块等。视频模块设计放在头部, 主要对水下环境进行摄像处理; 导航模块可利用 GPS 定位及数字地图规划路径, 配合伺服电机驱动螺旋桨、及运动控制模块实现自主巡游; 任务调度模块除了协调机器鱼的各个模块之间作业, 主要是完成多参数水质环境的传感器数据采集、存储与传送; 通信模块是实现机器鱼与上位机、服务器、数据库存储系统之间信息交互; 电源模块包含蓄电池组、逆变器、控制器、串口服务器及供电模块; 鳍部除了常备的尾鳍外, 为了巡游与避障考虑, 特别增加了左右腹鳍

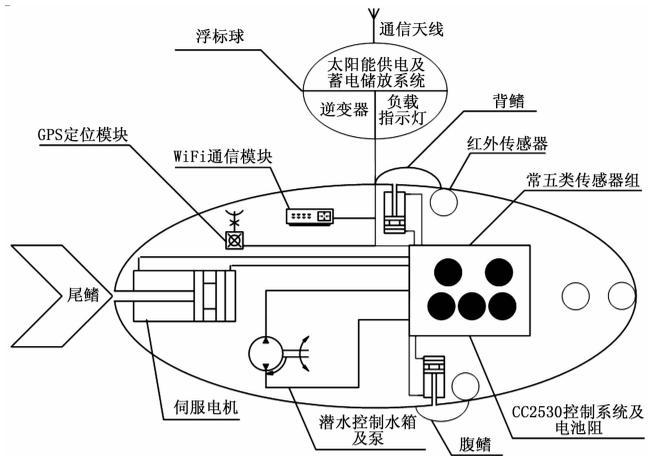


图 2 机器鱼结构

及背鳍部分, 真正实现三维结构的路径设计。各鳍部模块包括鳍关节电机、传动机构、鳍翼、水箱及水箱泵组成, 其中尾鳍摆动或波动是机器鱼的主要巡游工具, 潜水控制模块、水箱及气泵除协助背鳍、左右腹鳍上浮、下潜及左右转向外, 可实现排空水箱后使机器鱼升至水面以便维护与维修。

2.2 巡游避障系统与算法设计

巡游避障系统是通过红外线漫反射式避障传感器(即红外传感器)实现的。这种传感器是由红外接收管和发射管、发射和接收处理电路组成。电路设计时考虑有障碍物时, 接收电路端口输出高电平, 无障碍时则输出低电平。通过高低电平来识别是否有障碍物^[5]。考虑到机器鱼在水中光衰减明显使得距离分辨率低, 因此除在常设的鱼眼及嘴部外, 在背鳍、左右腹鳍增加红外传感器, 确保巡游过程中的避障与快速逃逸能力。其三维空间节点分布如图 3 所示。由于增加多点空间布局, 参考离散域蚁群算法^[6], 利用空间等分网格方法^[7], 将机器鱼避障传感器节点设计如下:

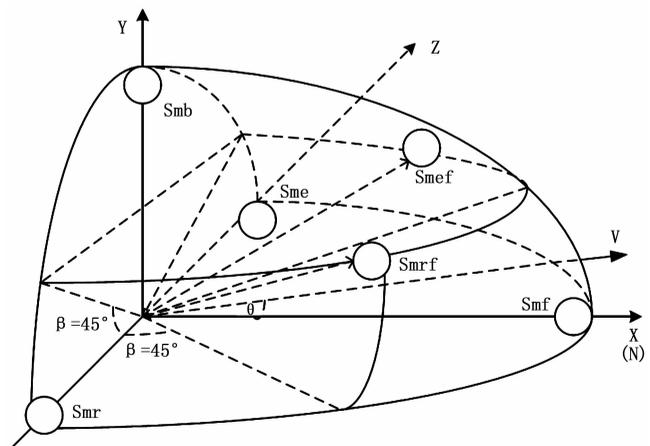


图 3 传感器节点分布

假设 6 个传感器的信号向量为 Sm_i (左腹鳍)、 Sm_r (右腹鳍)、 Sm_f (嘴)、 Sm_b (背鳍)、 Sm_{lf} (左眼) 及 Sm_{rf} (右眼), 垂直三层分布, 嘴、左右腹鳍为水平底层, 左右眼为中间层(为方便计算, 设定与水平底面及垂直剖面夹角都为 β 等于 45°), 背鳍为顶层。机器鱼实时运动的线速度为 v , 电子罗盘 N 的偏角为 θ , 各传感器与所对的实时运动轨迹相对分辨率为

$\alpha_i, \alpha_r, \alpha_f, \alpha_b, \alpha_{if}, \alpha_{rf}$, 设定 $\alpha_i = \alpha_{if}, \alpha_f = \alpha_b, \alpha_r = \alpha_{rf}$, 定义机器鱼在单位时刻 t 的碰撞函数^[8]为 $Risk_t$, 利用路径优化搜索算法^[9]得到:

$$Risk_t = -(Sm_{i,t} \cdot \alpha_{i,t} + Sm_{r,t} \cdot \alpha_{r,t} + Sm_{f,t} \cdot \alpha_{f,t} + Sm_{b,t} \cdot \alpha_{b,t} + Sm_{if,t} \cdot \alpha_{if,t} + Sm_{rf,t} \cdot \alpha_{rf,t}) = -[(Sm_{i,t} + Sm_{if,t}) \cdot (90^\circ - \theta_t) + Sm_{r,t} + Sm_{rf,t} \cdot (90^\circ + \theta_t) + (Sm_{f,t} + Sm_{b,t}) \cdot |\theta_t|] \quad (1)$$

如果 $Risk_t$ 值越小, 机器鱼碰撞可能性越小。巡游与障碍、传感器信号向量、 $Risk_t$ 值相对应, 设巡游规则线性集合为 φ_{Action} , 巡游实时指令为 $Action_t$, 依据三维空间路径规划算法^[10]得出:

$$\varphi_{Action} = \{Action \mid u \{u'\}, \theta \{\theta'\}, \alpha \{\alpha_i, t, \alpha_{r,t}, \alpha_{f,t}, \alpha_{b,t}, \alpha_{if,t}, \alpha_{rf,t}\}\} \quad (2)$$

$$\min_{Action_t \in \varphi_{Action}} \{Risk_t\} = \min_{Action_t \in \varphi_{Action}} [(Sm_{i,t} + Sm_{if,t}) \cdot (90^\circ - \theta_t) + (Sm_{r,t} + Sm_{rf,t}) \cdot (90^\circ + \theta_t) + (Sm_{f,t} + Sm_{b,t}) \cdot |\theta_t|] \quad (3)$$

表 1 巡游避障线性集定义

Action 线性集合置 1	信号向量关联	障碍描述
R-TURN(右转)	Sm_i, Sm_{if}, Sm_f	左侧或前方有障碍
L-TURN(左转)	Sm_r, Sm_{rf}, Sm_f	右侧或前方有障碍
UP(上浮)	Sm_f	下方有障碍
DOWN(下潜)	Sm_b	上方有障碍
HORIZON(水平翻转)	Sm_f, Sm_b	上下方都有障碍
STRAIGHT(直行)	Sm_i, Sm_r, Sm_f, Sm_b	无障碍

3 系统硬件设计

集成了多传感器的机器鱼构成了 WSNs 的终端节点群, 终端节点群通过 CC2530 的 RF 射频模块与网络协调器通信, 嵌入 WiFi 模块的网络协调器(已设计成机器鱼)是构成 ZigBee 网络的网关或路由节点, 当终端节点群正常加入到自建 ZigBee 网络后, 便开始把多参数传感器数据帧发送到路由节点上, 路由节点接收数据是通过 OSAL 操作系统机制将数据封装成一个消息, 然后放入消息队列中。嵌入 WiFi 模块的网关从消息队列中取得所需要的数据, 利用 WiFi 模块获得 Web 服务器远程 IP 地址的高端端口, 并发送到数据库服务器对应的表中, 其他工作全部交给 ZigBee 协议栈自动完成, 从而实现了多传感器数据的自动采集与上传^[12]。

3.1 终端节点 (End Device) 的设计

终端节点设备安装在机器鱼的头部及胸腔部位, 包括避障、水质采样与控制模块(传感器、采集模块、模数转换设备、继电器、总线模块、通讯转换器)、电源模块、通信与定位导航模块、支持 RF 射频的主控模块及电路等。

传感器采集的信号首先要进行信号放大电路及多路信号抗干扰电路处理, 模拟量是通过多通道采集模块(16 路 4~20 mA 直流信号)利用 RS485 接口连接通讯转换器转 RS232 接入片上系统 (SoC) CC2530 对应的信号 I/O 引脚, 开关量采集的传感器信号量主要用来控制机器鱼输出信号与接收指令, 所不同的是采用多通道的数字开关量采集模块。

3.2 协调器 (Coordinator) 的设计

由终端节点与协调器组成的机器鱼群是利用 ZigBee 协议自建网络的, 协调器利用 WiFi 通信模块把数据发送到上位机数

据库服务器上, 并能够接收上位机通讯指令控制机器鱼群避障巡游。协调器作为鱼群一员除具有普通机器鱼结构外, 另外增加 WiFi 通信模块及热点自动漫游切换功能以实现数据的远程全天候无线传输^[13]。在设计信道传输数据时, 是把数字量模块和模拟量模块采集到的数据进行封装组成一个数据包, 考虑到现场采集信号过程的干扰与冗余, 需要进行信号放大、抗扰及算法加密, 通过通信模块并辅以采集点 GPS 定位导航模块发送到数据处理中心。协调器的结构设计如图 4 所示^[14-15]。

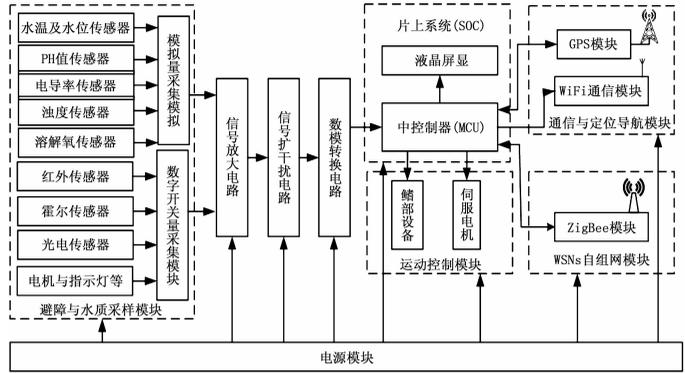


图 4 协调器结构设计

4 系统软件设计

4.1 下位机机器鱼巡游控制系统设计与 WSNs 鱼群流程设计

本系统首先设计出所有机器鱼巡游控制, 使之能到达设计路径指定地点, 并通过 ZigBee 网络, 使处于协调器与终端节点状态下的各机器鱼自组构建机器鱼群网络, 并在 TOP 图上能够显示所有机器鱼的正常连接状态。其设计流程^[16]如图 5 所示。

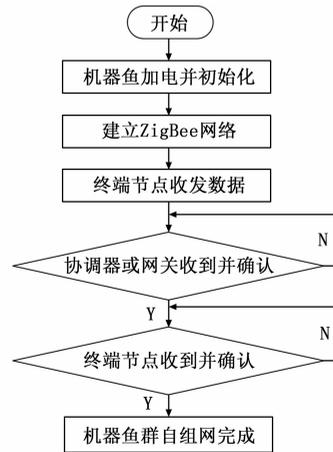


图 5 组网流程图

下位机终端巡游控制与显示系统是利用安卓程序设计, 实现手动控制机器鱼的运动轨迹, 并能屏显水质传感器的实时数据, 其基本设计流程^[17-18]如图 6 所示。

Android 客户端的开发工具为 Eclipse, 开发环境为其内嵌的 Android SDK 及 JDK 容器。其编程方法首先通过自主知识产权的中间件技术(专利号 ZL201521063155.6)让终端机器鱼节点通过协调器注册并允许自建 ZigBee 网络, 然后设计出监测界面线性布局, 最后在主程序文件中按照设计流程进行程序设计, 程序运行的客户端界面如图 7 所示。这里的启动按钮是开始接收传感器实时数据信息, 并在对应的控件上显示数

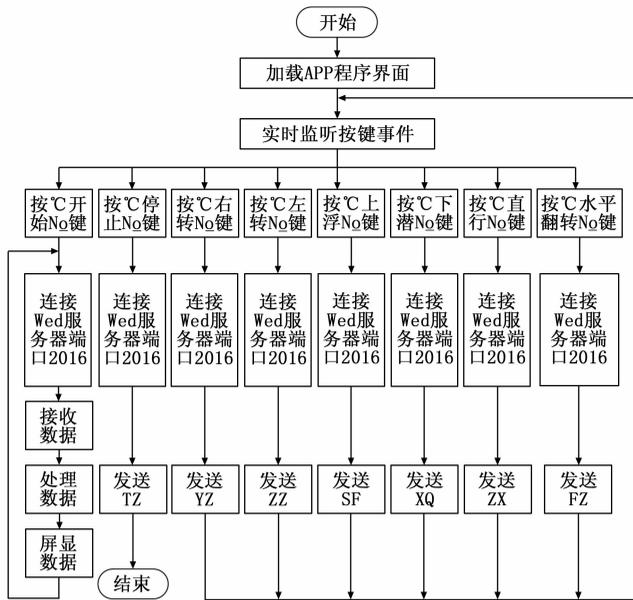


图 6 Android 程序流程图

值, 停止按钮是中止数据采集使机器鱼巡游进入下一测定地点, 其它按钮为控制机器鱼的巡游轨迹^[19-20]。



图 7 Android 客户端程序界面

4.2 上位机数据库系统设计及过程实现

远程数据处理中心数据库管理系统选择 MSSQL2008R2 并开放上位机外网 IP 地址的 14333 端口使之可以远程数据连接与服务, 设计过程如下。

4.2.1 数据库的创建

创建 datainfo (上传传感器原始数据并处理) 及 device (包括传感器在内的所有系统设备管理) 数据库并附加到 SQL Server2008 中。

4.2.2 数据表的设计

dbo. DataInfo 表结构包括 ID、Code、DeviceID、OriginalData、ProcessData、WriteTime、IsValid、Upload 及备注等字段名, 通过网关中间件上传获取的实时记录如图 8 所示。

Dbo. Device 数据表结构包括 ID、Code、Name、WsnNodesID、SensorId、RegistersId、LatestValue、ProtocolTypeID、LatestProcessedValue、Upload、LatestTime、DeviceTypeID、FirstID、SecondID 及备注等字段名等, 图 9 给出不同传感器数据采集相关的实时记录。

ID	Code	DeviceID	OriginalData	ProcessData	WriteTime	IsValid	Upload	Memo
1	58327F003G0050011-201512221328425790	107	1638	5.0	2015-12-22 13:28:42.000	False	False	NULL
2	58327F003G0050006-20151221328430471	101	1436	0.0	2015-12-22 13:28:43.000	False	False	NULL
3	58327F003G0050007-20151221328430511	100	1436	-5.6	2015-12-22 13:28:43.000	False	False	NULL
4	58327F003G0050008-20151221328434051	99	0	0.0	2015-12-22 13:28:43.000	False	False	NULL
5	58327F003G0050009-20151221328437271	98	2006	4.0	2015-12-22 13:28:43.000	False	False	NULL
6	58327F003G0050010-20151221328440891	97	6143	8.6	2015-12-22 13:28:44.000	False	False	NULL
7	58327F003G0050011-20151221331107736	107	1638	5.0	2015-12-22 13:31:10.000	False	False	NULL
8	58327F003G0050006-2015122133111596	101	1440	0.0	2015-12-22 13:31:11.000	False	False	NULL

图 8 datainfo 数据表结构及记录

ID	Code	Name	WsnNodesID	SensorId	RegistersId	ProtocolTypeID	LatestValue	LatestProcessedValue	LatestTime	Memo	Upload	DeviceTypeID	FirstID	SecondID
90	58327F003G0050010	pH	44	6	79	1	5529	7.7	2014-08-01 10:06:52.000	NULL	False	1	-1	-1
91	58327F003G0050009	溶解氧	44	7	80	1	8003	16.0	2014-08-01 10:06:51.000	NULL	False	1	-1	-1
100	58327F003G0050007	水温	44	8	82	1	6966	49.9	2014-08-01 10:06:51.000	NULL	False	1	-1	-1
101	58327F003G0050006	水位	44	21	83	1	720	7.2	2014-08-01 10:06:51.000	NULL	False	1	-1	-1
102	58327F003G0050005	1#程深	45	11	84	1	1	1.0	2014-07-27 08:59:59.000	NULL	False	11	-1	-1
103	58327F003G0050004	2#程深	45	11	85	1	1	1.0	2014-07-27 08:59:03.000	NULL	False	11	-1	-1
104	58327F003G0050003	3#程深	45	11	86	1	1	1.0	2014-07-27 08:59:08.000	NULL	False	11	-1	-1
105	58327F003G0050002	4#程深	45	11	87	1	1	1.0	2014-07-27 08:59:23.000	NULL	False	13	-1	-1
106	58327F003G0050001	5#程深	45	11	88	1	1	1.0	2014-07-27 08:59:28.000	NULL	False	13	-1	-1
107	58327F003G0050011	电导率	44	12	89	1	3402	34.0	2014-08-01 10:06:51.000	NULL	False	1	-1	-1
108	58327F003G0050012	流量	49	20	90	1	115	115.0	2014-08-01 10:06:51.000	NULL	False	1	-1	-1

图 9 device 数据表结构及记录

各传感器表结构 (以溶解氧 dbo. AlarmInfo 为例) 包括 SerialNum、DeviceSerialNum、Data、Unit、Max、Min、CreateTime、IsProcessed、ProcessTime、ID 及备注等字段名及传感器每隔一定时间 (目前设定为 3 秒) 实时状态值如图 10 所示。

SerialNum	DeviceSerialNum	Data	Unit	Max	Min	CreateTime	IsProcessed	ProcessTime	Memo	ID
58327F003G0050009-20151229 17:34:58	58327F003G0050009	4	mg/l	20	5	2015-12-29 17:34:58.000	True	2015-12-29 17:34:58.000	NULL	1011
58327F003G0050009-20151229 17:35:01	58327F003G0050009	4	mg/l	20	5	2015-12-29 17:35:01.000	True	2015-12-29 17:34:58.000	NULL	1012
58327F003G0050009-20151229 17:35:04	58327F003G0050009	4	mg/l	20	5	2015-12-29 17:35:04.000	True	2015-12-29 17:34:58.000	NULL	1013
58327F003G0050009-20151229 17:35:07	58327F003G0050009	4	mg/l	20	5	2015-12-29 17:35:07.000	True	2015-12-29 17:34:58.000	NULL	1014
58327F003G0050009-20151229 17:35:10	58327F003G0050009	4	mg/l	20	5	2015-12-29 17:35:10.000	True	2015-12-29 17:34:58.000	NULL	1015
58327F003G0050009-20151229 17:35:13	58327F003G0050009	4	mg/l	20	5	2015-12-29 17:35:13.000	True	2015-12-29 17:34:58.000	NULL	1016
58327F003G0050009-20151229 17:35:16	58327F003G0050009	4	mg/l	20	5	2015-12-29 17:35:16.000	True	2015-12-29 17:34:58.000	NULL	1017
58327F003G0050009-20151229 17:35:16	58327F003G0050009	4	mg/l	20	5	2015-12-29 17:35:16.000	True	2015-12-29 17:35:16.000	NULL	1018

图 10 传感器表结构与记录

其他还包括设备运行日志表 (dbo. DeviceLog)、设备类型表 (dbo. DeviceType)、传感器参数配置 (dbo. Parmeter-Config)、传感器及所有设备基础定义 (dbo. Sensor)、节点信息与控制表 (dbo. WsnNodes)、协议类型定义 (dbo. ProtocolType)、传感器注册设定 (dbo. Registers) 及 Web 设计相关表如系统调用的函数定义 (dbo. SysFunction)、Web 站点远程登录 (dbo. SysLogin)、报警的语音定义 (dbo. TTSDa-ta) 等, 用设备 ID 和采集时间作为主键索引。

4.3 上位机水质在线监测系统的功能设计与案例实现

上位机 Web 服务器利用 IIS 构架及 XML Web Service 构建, Web 界面采用 Microsoft Visual Studio 2015 设计。

水质实时监测系统设计的功能模块包括: 水质监测实时环境、设备控制及控制记录、水质数据查询及预警子系统。系统基于 .NET 框架进行的 Web 系统设计, B/S 模式实现过程^[21], 主要包括系统远程登录管理、节点管理、实时监测与显示及图表数据管理等。水质预警与峰值报警在 .NET 系统可设计基线阈值范围, 预警也可以进行移动终端设计, 开发基于 Android 平台的 APP 在移动终端及短信接口, 利用 WLAN 或 GPRS 接入到远程服务器数据中心后台就可以实时了解水质动态值及报警短信提醒。

基于上述设计, 现选定区域内陆湖泊巢湖进行实测, 对系

统实现的主要功能进行演示。

在主页面通过注册用户合法登录后，在 Web 系统页面选定“实时环境”选项，可以查看并搜索各传感器监测的实时数据“设备控制与控制记录”选项，“手动控制”可以对机器鱼水箱内水泵、增氧泵进行控制以实现机器鱼上升与下潜及水质溶解氧补给，“预警设置”可以对各传感器阈值进行设定上下临界点，“控制信息”及“报警记录”是操控相关的日志信息“数据查询”选项主要是选定传感器类型按采集的起止日期对传感器的实时数据进行图表形式的动态显示，为峰值预警及数据分析、数据模型建立提供服务如图 11 所示。

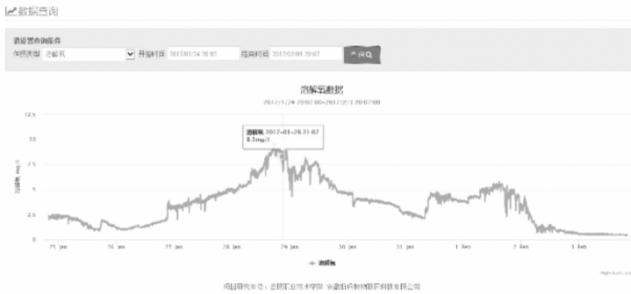


图 11 传感器历史数据查询

4.4 测试样本分析

设计的系统是通过区域选定，在内陆湖泊巢湖的东岸、中心岛、西岸、两条主要入湖河流河口筛选 5 个巡游内测点进行试验。

首先让终端节点机器鱼及携带 WiFi 通信模块与网关的协调器机器鱼用手机终端 APP 程序控制到达设定的路径采集点附近，查看 WSNs 的节点 TOP 图，确定终端节点与协调器机器鱼群自组网成功后，按手机 APP 界面上的“开始”按钮开始测量该点附近的水质参数，包括水温水位、溶解氧、PH 值、电导率、浊度和测量点对应的经纬度等信息，同时实测点投放一台高精度 Hydrolab 多参数水质实测分析仪、一台恩智浦陀螺经纬仪（可以很方便地转换成 Matlab 坐标）用于实时采集数据备本，以便对测得的经纬度、水质实测数据与系统获取的数据进行对比分析，每个采集点每天都是从早晨 10 左右开始连续取样 30 分钟后（设定每 2 分钟自动取样一次，每个采集点取样本 15 次），按“停止”按钮，利用 APP 程序其他控制按钮可以让机器鱼群巡游到下一个采集点进行实测试验。通过对 5 个巡游点八种参数实测与设计开发的系统取值量值（表 2 至表 5）数据对比可绘制出线性图，5 个点图形基本一致，现选定中心岛测定点样本图（如图 12 所示）进行分析。

从图 12 可以得到，水温、溶解氧、PH 值、电导率测定值与实际值也有一定的误差，其中水温、溶解氧、PH 值平均误差率分别为 0.18%、0.5%及 0.01%相比王士明等人提出的仅利用 WSNs 网络的 0.79%、2.7%和 0.52%具有明显的测定精度优势。

从多因素分析确定引起误差是由于实测后期机器鱼在水中受风产生的波浪的影响最大，另外算法、选定的传感器品质、采集与上传时延、样本选址等也会产生一定的阈值变化，且差异相比初值的梯度误差随采集时间有逐步增大的现象，后期还须深入研究，找出原因并给予校正。其他传感器与经纬度数据的实测值与实际值，经过多次实测、算法修正与较验，目前离

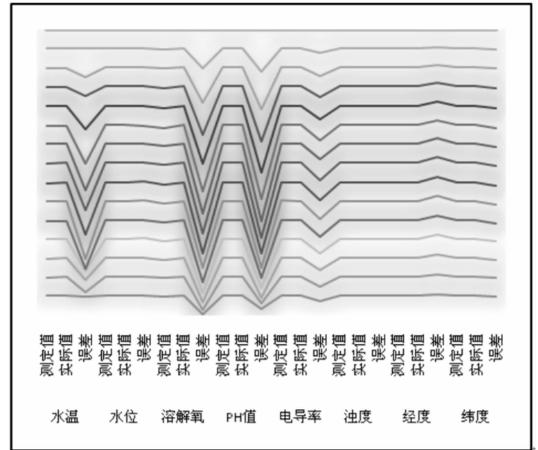


图 12 样本线性图

散性极小，几乎忽略不计，系统测量显示的数据与高精度水质分析仪、陀螺仪获得的数据基本一致，系统基本能够满足水质

表 2 水温、水位实测值及误差

水温			水位		
测定值	实际值	误差	测定值	实际值	误差
34.24	34.33	0.0900	7.5600	7.5200	0.0400
34.331	34.377	0.0452	7.5601	7.5207	0.0393
34.297	34.358	0.0606	7.5607	7.5208	0.0399
34.263	34.348	0.0853	7.5609	7.5201	0.0408
34.317	34.34	0.0226	7.5602	7.5204	0.0397
34.297	34.364	0.0669	7.5600	7.5207	0.0393
34.25	34.385	0.1352	7.5603	7.5204	0.0399
34.331	34.338	0.0072	7.5605	7.5205	0.0399
34.336	34.361	0.0247	7.5602	7.521	0.0392
34.333	34.361	0.0281	7.5609	7.5209	0.0399
34.299	34.375	0.0766	7.5608	7.5205	0.0403
34.283	34.367	0.0836	7.5602	7.5200	0.0402
34.29	34.34	0.0492	7.5609	7.5202	0.0407
34.246	34.38	0.1344	7.5604	7.5204	0.0400
34.314	34.381	0.0674	7.5603	7.5208	0.0395

表 3 溶解氧与 PH 值实测值及误差

溶解氧			PH 值		
测定值	实际值	误差	测定值	实际值	误差
16.76	16.75	0.0100	7.672	7.6711	0.0009
16.869	16.759	0.1103	7.6721	7.6711	0.0010
16.864	16.752	0.1116	7.6729	7.6712	0.0017
16.858	16.754	0.1040	7.6722	7.6712	0.0010
16.761	16.762	0.0013	7.6729	7.6712	0.0017
16.829	16.759	0.0696	7.6721	7.6711	0.0010
16.862	16.755	0.1073	7.6722	7.6712	0.0010
16.836	16.757	0.0789	7.6723	7.6712	0.0011
16.850	16.755	0.0953	7.6726	7.6711	0.0015
16.891	16.757	0.1345	7.6722	7.6712	0.0010
16.794	16.754	0.0400	7.6721	7.6712	0.0009
16.860	16.755	0.1050	7.6721	7.6712	0.0010
16.902	16.761	0.1418	7.6721	7.6712	0.0009
16.863	16.759	0.1043	7.672	7.6711	0.0009
16.817	16.76	0.0567	7.6726	7.6712	0.0014

表 4 电导率、浊度实测值及误差

电导率			浊度		
测定值	实际值	误差	测定值	实际值	误差
34.24	34.35	0.11	135.12	135.35	0.23
34.237	34.35	0.113	135.12	135.35	0.2299
34.231	34.35	0.1187	135.12	135.35	0.23
34.237	34.35	0.1127	135.12	135.35	0.2299
34.23	34.35	0.12	135.12	135.35	0.2301
34.236	34.35	0.1141	135.12	135.35	0.2298
34.238	34.35	0.1119	135.12	135.35	0.2302
34.235	34.35	0.1149	135.12	135.35	0.2299
34.23	34.35	0.1197	135.12	135.35	0.2306
34.239	34.35	0.111	135.12	135.35	0.2293
34.237	34.35	0.1131	135.12	135.35	0.2303
34.237	34.35	0.1134	135.12	135.35	0.23
34.232	34.35	0.1176	135.12	135.35	0.2296
34.238	34.35	0.1117	135.12	135.35	0.2296
34.228	34.35	0.1217	135.12	135.35	0.2303

表 5 经纬度实测值及误差

经度			纬度		
测定值	实际值	误差	测定值	实际值	误差
117.4923	117.4984	0.0061	31.3603	31.3646	0.0043
117.4924	117.4984	0.0060	31.3603	31.3646	0.0043
117.4923	117.4984	0.0061	31.3604	31.3647	0.0044
117.4923	117.4984	0.0061	31.3604	31.3648	0.0044
117.4924	117.4984	0.0060	31.3604	31.3648	0.0044
117.4924	117.4984	0.0060	31.3604	31.3648	0.0044
117.4923	117.4984	0.0061	31.3604	31.3648	0.0044
117.4924	117.4984	0.0060	31.3604	31.3649	0.0045
117.4924	117.4984	0.0060	31.3604	31.3649	0.0045
117.4923	117.4984	0.0061	31.3604	31.3650	0.0046
117.4924	117.4984	0.0060	31.3603	31.3651	0.0048
117.4924	117.4984	0.0060	31.3603	31.3652	0.0049
117.4924	117.4984	0.0060	31.3604	31.3652	0.0048
117.4923	117.4984	0.0061	31.3603	31.3652	0.0049
117.4923	117.4984	0.0061	31.3604	31.3653	0.0049

在线监测的需求。

与该系统相关的自动巡游轨迹及避障算法研究、机器鱼自动导航与定位实现、多水质传感器的研发、实测样本差异性分析与优化、多样本大数据挖掘与预警模型再造等研究也取得预期的进展,确保了平台实用性、精准性与可延展性。

5 结束语

大范围河湖特别是“三河三湖”水环境智能及远程监测系统目前主要还是采用国家级固定基站为主、区域二级布点加上移动节点、航标船只等采样获得,成本高,实时性差,数据采集精度不高。利用基于 WSNs 技术的机器鱼,携带多参数传感器,通过远程 WiFi 通信实现对区域内水质实时监测,不仅集成了固定节点与移动节点诸多优点,而且成本低,布点、数据采集与传送灵活。同时机器鱼巡游、自组网、受控便捷,采集点路径规划及到达率高,受天气等外环境影响小,对水环境监测特别是水下实时监测非常实用。同时移动终端的设计对机器鱼巡游控制非常方便,Web 桌面开发使得水质环境实时显

示、分析、水箱控制及峰值预警提供的方案实用、有效、可行。目前通过在十多家企事业单位(包括饮用型水库、大规模精细水产养殖场等)推广应用,系统稳定可靠,监测、预警预报、增氧等措施及时便捷,值得推广应用。

参考文献:

- [1] 王士明, 俞阿龙, 杨维卫. 基于 ZigBee 的大水域水质环境监测系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2014, 33 (11): 102-105.
- [2] 付焕森, 曹健, 李元贵. 基于 ZigBee 和 GPRS 的仿真机器鱼水质监测系统设计 [J]. 中国农机化学报, 2016, 37 (7): 179-182.
- [3] 王英帅, 张乐, 蒋鹏. 基于传感器网络的水环境监测系统 [J]. 杭州电子科技大学学报, 2014, 34 (5): 91-95.
- [4] 周超, 曹志强, 王硕, 等. 微小仿生机器鱼设计与实时路径规划 [J]. 自动化学报, 2008, 34 (7): 772-777.
- [5] 桑海泉, 王硕, 谭民, 等. 基于红外传感器的仿生机器鱼自主避障控制 [J]. 系统仿真学报, 2005, 17 (6): 1400-1404.
- [6] Liao T, Stützle T, Montes de Oca M A, et al. A Unified Ant Colony Optimization Algorithm for Continuous Optimization [J]. European Journal of Operational Research, 2014, 234 (3): 597-609.
- [7] 马腾, 赵兴忠, 高博青. 自由曲面形状和拓扑联合优化研究 [J]. 浙江大学学报工学版, 2015, 49 (10): 1946-1951.
- [8] Lai Y C, Lin C C. A Pair-Resolution Blocking Algorithm on Adaptive Binary Splitting for RFID Tag Identification [J]. IEEE Communications Letters, 2008, 12 (6): 432-434.
- [9] Mika T, Rantanen, Martti Juhola. A Configuration Deactivation Algorithm for Boosting Probabilistic Roadmap Planning of Robots [J]. International Journal of Automation and Computing, 2012, 9 (2): 155-164.
- [10] 齐勇, 魏志强, 殷波, 等. 于忠达, 庄晓东. 增强蚁群算法的机器人最优路径规划 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41 (3): 130-133
- [11] 童晓红, 陈玲, 徐伟, 等. 基于 WSNs 的巢湖水质监测系统的设计 [J]. 巢湖学院学报, 2015, 17 (6): 84-89.
- [12] 刘洋. 湖泊水质检测机器鱼的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [13] 张礼杰, 殷建军, 项祖丰, 等. 多传感器集成水质检测系统的设计 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2011 (1): 49-52.
- [14] 李金凤, 刘丰喜, 杨中华, 等. 基于无线传感器网络及 GPRS 的水质监测系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (12): 3887-3890.
- [15] 彭亮. 基于模糊 BP 网络的机器鱼水质分析系统设计 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [16] 童晓红, 陈玲. 基于数据包捕获分析 ZigBee 网络建立过程 [J]. 佳木斯大学学报 (自然科学版), 2015, 33 (6): 892-895.
- [17] 刘星桥, 陈海磊, 朱成云. 基于 GPS 的自学习导航游弋式水质监测系统设计 [J]. 农业工程学报, 2016, 32 (1): 84-90.
- [18] BILL PHILLIPS, BRIAN HARDY. Android 编程权威指南 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.
- [19] IAN G. CLIFTON. Android 用户界面设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [20] 王卫星, 高奕龙, 陈彬彬, 陈佳森, 朱智斌. 无人驾驶自动导航水质监测船 [J]. 信息技术与信息化, 2014 (5): 36-38.
- [21] 黄欢. 基于 Web 的三峡库区水质监测及分析系统的研究与设计 [D]. 重庆: 重庆大学, 2009.