

# 鱼类应激行为作用下的水质视频监测分析系统

黄一凡, 陈欣, 袁飞\*

(水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室(厦门大学), 福建 厦门 361005)

**摘要:** 由于传统的理化分析法无法满足水质实时监测的要求, 采用生物监测法, 基于视觉化的计算机监测系统分析斑马鱼的应激行为, 主要运用 RGB 颜色空间下的红蓝分量差分法实现运动目标检测, 然后进行二值图像标记, 并提出了一种最大重合面积跟踪算法. 实验按污染时间顺序分为正常情况、污染初期及污染末期 3 种状态, 以量化分析鱼群的各项行为特征参数; 基于统计学分析选取可以监测水质变化的参数指标; 最后联合多维参数在两个过渡阶段实现分级报警.

**关键词:** 生物监测; 目标识别; 目标跟踪; 计算机视觉

**中图分类号:** TP 391

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0438-0479(2017)04-0584-06

由于水污染问题异常严重, 找到一种实时有效的水质监测方法已迫在眉睫. 现今大多数工厂仍然采用一般的理化分析法进行水质监测<sup>[1]</sup>. 理化分析法主要是通过人工采集, 利用仪器设备直接检测出水样中的物理、化学成分和浓度. 这种方法虽然能够定性甚至定量地检测出水质状况, 灵敏地检测出毒性物质的成分和浓度, 但物理测量和化学反应都必须经过一段时间, 无法满足实时性的需求.

为了更高效地进行水质监测, 一种新的方法即生物监测法<sup>[2]</sup> 日益成为国内外热门研究对象之一. 其基本原理是选择生活在水中的个体或群体甚至是群落作为受试生物, 以它们的生理行为特征以及对于污染物或毒性物质的应激反应为依据来判断水质变化的情况. 与传统方法相比, 这种基于生物学原理的生物监测法可以更实时有效、快速灵敏地检测到水质变化, 成本低且具有可靠性. 生物监测法常用的生物包括藻类、鱼类、两栖类或者细菌等. 鱼类相对来说比较高级, 种类多、数量大、容易观测, 在出现异常时反应强烈, 因此一般情况下都使用鱼类来监测水质<sup>[3]</sup>. 利用生物监测法监测污染物, 可追溯到 20 世纪初期. 早在 1902 年, Kolkwitz 和 Marsson 就致力于有机物污染的研究, 利用微生物类群来分析污染程度<sup>[2]</sup>. 1929 年,

Belding 最早开始选用鱼类来作为生物监测的指标<sup>[3]</sup>; 另外, 王春凤等使用剑尾鱼验证了重金属对鱼类的毒性影响<sup>[4]</sup>.

然而目前很多基于生物监测法的研究都聚焦于鱼类急性毒性实验, 只针对正常情况和短期的异常情况这两种情况进行分析, 对鱼类的行为特征参数的分析也不全面, 报警过程中容易出现误报、漏报等情况, 不能反映污染的时间变化过程. 针对上述问题, 本研究基于视觉化的计算机监测系统<sup>[5]</sup> 实时采集鱼类视频, 通过分析其行为特征来判断水质变化的情况, 并采用统计学的方法对不同污染阶段实现分级报警. 结果表明本研究可以实现准确的目标检测与跟踪, 在水质污染时报警, 并能反映污染的时间变化过程.

## 1 运动目标检测与跟踪

### 1.1 运动目标检测算法

目前已存在很多成熟的运动目标检测算法. 帧间差分法<sup>[6]</sup> 计算量小, 实时性高, 但检测出的目标不完整, 容易引入噪声; 混合高斯模型法<sup>[7]</sup> 虽然检测效果好, 但计算量大, 对系统的要求高. 对于本研究的实验环境而言, 鱼缸背景及水体颜色主要包括大量的蓝色分量信息, 使

收稿日期: 2016-09-05 录用日期: 2017-01-15

基金项目: 国家自然科学基金(61571377, 61471308)

\*通信作者: yuanfei@xmu.edu.cn

引文格式: 黄一凡, 陈欣, 袁飞. 鱼类应激行为作用下的水质视频监测分析系统[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2017, 56(4): 584-589.

Citation: HUANG Y F, CHEN X, YUAN F. The video monitoring system of water quality based on stress behavior analysis of fish[J]. J Xiamen Univ Nat Sci, 2017, 56(4): 584-589. (in Chinese)



<http://jxmu.xmu.edu.cn>

用的红色斑马鱼同背景色差较大,考虑到这种明显的色彩差异,对红蓝分量进行差分可以增强前景与背景的对比度,进而通过阈值分割提取出前景。

本研究采用 RGB 颜色空间下的红蓝分量差分法,即对需要处理的同一图像帧的红、蓝分量进行差分,再经过阈值分割处理,得到二值化图像。这种方法运用在前景与背景存在很大色差的稳定环境中,可以实现良好的检测效果,且计算量很小,系统的处理速率快,不受反光现象的影响,结果如图 1 所示。

## 1.2 图像去噪与标记

在目标检测过程中,外界光源、水箱中的杂质漂浮物、气泡等因素都会对结果造成影响,因此需先对阈值分割后的图像进行中值滤波和形态学运算<sup>[8]</sup>等去噪处理。由于鱼轮廓的大小远超于噪声,当某一轮廓的面积远小于鱼体最小面积值时,判断其为噪声,去掉该区域。

在做鱼群实验时,二值图像中有多个目标区域<sup>[9]</sup>。而在量化其行为特征时,必须单独处理每条鱼的行为信息,因此要对二值图像进行标记<sup>[10]</sup>,用不同的号码划分出不同的连通区域;由上及下且由左及右地依次扫描图像,当扫描到值为 1 的点时,如果它与之前标记过的点在同一连通区域内,就用这一区域的号码做标记;否则使用新号码,建立一个新区域。

## 1.3 目标跟踪算法

目标跟踪算法<sup>[11]</sup>的主要原理是在帧序列中利用目标的颜色、形态、规模以及细节特征等信息进行匹配,由于在时间间隔较短的两帧中,运动目标的变化很小,所以这些信息相似度最高的最有可能是同一个运动目标。一般来说,相邻视频帧中鱼类移动的距离很小,也就是说,相邻两帧的重合面积最大的两个轮廓区域极有可能是同一个运动目标,实现思路如下:

1) 对相邻的两帧二值图像进行叠加,计算出重叠面积块 $\{B\}$ ,并对 $\{B\}$ 的每个子集标记质心,每个质心分别对应于两帧图像中的两个目标区域。

2) 按面积从大到小遍历 $\{B\}$ ,对每个子集来说,若质心对应的两帧图像的两个目标区域均未被匹配,则

标记这两个目标区域为同一个运动目标;若有至少一个目标区域已经完成匹配,则继续遍历 $\{B\}$ 。

该方法原理简单,只需要与重合面积块个数相同的操作次数就能实现目标跟踪,计算量小,满足实时性要求。该方法在单个目标或多个目标之间距离较大的情况下具有较高的性能。结果如图 2 所示,该算法可以正确地划分出每个运动区域,并且清晰地标记出运动轨迹。

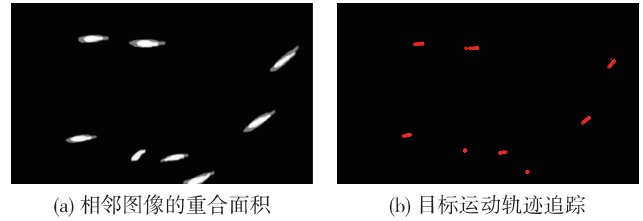


图 2 最大重合面积目标跟踪算法

Fig. 2 Target tracking algorithm via maximum overlap area

## 2 参数量化分析

### 2.1 位置参数分析

针对鱼群进行位置参数分析<sup>[12]</sup>,可反映出异常情况下鱼的应激反应。分别计算各个区域的质心坐标 $(X_c, Y_c)$ 和面积 $A$ ,将前景目标分割成无限小的小块,第 $i$ 个小块的坐标为 $(x_i, y_i)$ ,面积为 $A_i$ ,计算质心的公式如下:

$$X_c = \frac{\sum A_i \cdot x_i}{A}, Y_c = \frac{\sum A_i \cdot y_i}{A}. \quad (1)$$

群心坐标 $(C_X, C_Y)$ 由各个目标的质心坐标按面积进行加权平均获得,反映群体分布的中心位置,计算公式如下:

$$C_X = \frac{\sum_{k=1}^N A_k X_k}{\sum_{k=1}^N A_k}, C_Y = \frac{\sum_{k=1}^N A_k Y_k}{\sum_{k=1}^N A_k}, \quad (2)$$



图 1 红蓝分量差分法对运动目标的检测结果

Fig. 1 Target detection via difference of R and B components

其中,  $N$  为目标的个数,  $(X_k, Y_k)$  为第  $k$  个目标区域的质心坐标,  $A_k$  为第  $k$  个区域的面积.

空间标准差 ( $X_{SD}$  或  $Y_{SD}$ ) 反映群体沿着  $X$  轴和  $Y$  轴的密集或离散程度, 计算如下:

$$\begin{aligned} X_{SD} &= \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N A_k (X_k - C_X)^2}{\sum_{k=1}^N A_k}}, \\ Y_{SD} &= \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N A_k (Y_k - C_Y)^2}{\sum_{k=1}^N A_k}}. \end{aligned} \quad (3)$$

## 2.2 归一化速率

评估鱼群的活跃化程度<sup>[13]</sup> 主要参考其运动能力的大小. 本研究使用相对游速, 取体长单位为  $\text{cm}$ , 归一化速率单位为  $\text{cm/s}$ , 计算每次单条鱼的游速, 对所有鱼的游速进行平均运算, 即得到鱼群的平均游速. 对于同一个运动目标, 分别求其在当前帧图像和前一帧图像中的质心坐标  $(X_n, Y_n)$  和  $(X_{n-1}, Y_{n-1})$ , 帧率是  $N$  帧/s, 每条鱼体长  $L$  由椭圆模型的长轴近似, 故其归一化速率为:

$$V = N \cdot \sqrt{(X_n - X_{n-1})^2 + (Y_n - Y_{n-1})^2} / L. \quad (4)$$

## 2.3 HSI 颜色空间下体色的量化分析

红色斑马鱼的体色在正常情况下很鲜艳, 但当水环境受到重金属污染时, 则开始慢慢变暗<sup>[14]</sup>. 在 HSI 空间下, 色调和亮度无关, 饱和度  $S$  越大, 色彩越鲜艳, 反之则越淡. 本研究利用饱和度分量量化鱼类体色, 对形态学操作得到的二值图像, 创建一个标记矩阵, 将该矩阵覆盖到相应的 HSI 空间上, 通过 RGB 图像的转换, 提取出 HSI 空间下目标的饱和度分量.

# 3 实验结果与分析

## 3.1 鱼类毒性实验

由于硬件条件的限制, 本研究仅模拟最简单情况下的系统, 包括一个实验水箱、普通相机以及较高性能的计算机. 通过摄像机捕捉鱼群的动态视频图像, 利用计算机对视频进行实时分析, 提取出鱼群的参数信息, 由此判断水质是否异常. 在实验过程中, 存在很明显的反射以及水面倒影现象, 但对本研究采取的红蓝分量差分法没有影响, 仍可以准确检测出运动目标, 验证了这种方法的抗干扰性能.

选择的受试鱼类为红色斑马鱼<sup>[15]</sup>, 红色斑马鱼是

原产于亚洲的淡水观赏鱼类, 体长在  $4 \text{ cm}$  左右, 体形为纺锤形, 体色鲜艳, 正常情况下在水箱中底部不断游动且均匀分布, 适宜的生存环境为  $20 \sim 23 \text{ }^\circ\text{C}$ , 对水源质量要求较低, 较容易饲养. 更重要的是, 其基因与人类具有很高的同源性, 达到  $87\%$ . 也就是说, 用斑马鱼做的实验得到的结果通常也适用于人类.

实验所用的红色斑马鱼从花鸟市场购买, 体长大约为  $3 \text{ cm}$ , 提前两周在实验环境里, 采用曝气后的水进行养殖, 采用恒定的日光灯作为唯一光源. 保证实验环境稳定、安静, 尽量减小外界条件对鱼类的影响. 实验所用的毒性试剂为五水合硫酸铜, 其中含有铜离子, 是常见的重金属污染成分, 可以很好地模拟出水质污染的情况.

实验过程中尽量避免外界光照和人为干扰的影响, 建立一个相对稳定的实验环境. 实验的前一天停止喂食物. 单次实验随机选择 10 条健康的红色斑马鱼. 实验分为正常情况和污染初期、污染末期这 3 种情况进行: 实验前设置  $2 \sim 3 \text{ h}$  的过渡期, 使鱼群适应实验环境; 在鱼群的行为稳定后, 进行约  $30 \text{ min}$  的正常监测; 加入毒性试剂, 进行约  $30 \text{ min}$  污染初期的监测; 进行约  $30 \text{ min}$  污染末期的监测, 记录好数据.

在实验过程中, 通过摄像机捕捉鱼群的动态视频图像, 利用计算机对视频进行实时分析, 提取出鱼群的参数信息, 每 5 帧取平均值以对数据进行平滑处理<sup>[16]</sup>, 分析得到的数据, 判断水质是否异常.

## 3.2 统计学分析

本研究对数据进行非参数秩和检验<sup>[17]</sup>, 显著性水平平均取  $0.01$ , 每种状态取  $500$  帧数据. 表 1 和表 2 分别是正常情况-污染初期、污染初期-污染末期的统计特性结果. 其中,  $V$ 、 $S$  分别表示归一化速率、饱和度. 可以看出, 归一化速率、群心纵坐标、水平和垂直方向的空间标准差、饱和度分别在正常情况-污染初期、污染初期-污染末期的对比中都存在显著性差异, 说明在正常情况和受到污染的两个阶段中鱼群的行为会出现明显变化, 故可以使用这 5 个参数作为检验水质的参考标准.

## 3.3 实验结果分析

正常情况下鱼群的活跃化程度趋于一个稳定的较小值, 且均匀分布在水箱中底部; 污染初期鱼群出现应激行为, 游动速率增大, 发生躲避行为, 聚集在某个方位上; 污染末期鱼群开始出现无力、拖尾现象, 不规则地分布, 有的鱼浮向水面, 游动速率减小, 部分鱼死亡. 下面针对各个水质监测的指标进行具体分析.

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

表1 正常情况和污染初期样本统计特性

Tab 1 The sample statistical properties of normal and pollution-early

阶段	参数(平均值±标准差)					
	$V/(cm \cdot s^{-1})$	$C_X$	$C_Y$	$X_{SD}$	$Y_{SD}$	$S$
正常情况	1.29±0.36	25.93±13.55	25.85±1.11	249.71±71.29	61.38±23.85	0.27±0.01
污染初期	3.46±0.62	24.13±7.13	21.92±1.64	291.85±102.15	116.45±37.30	0.25±0.02
显著性差异	0.000**	0.091	0.000**	0.008**	0.000**	0.000**

注:\*\*表示两样本之间具有显著性差异(显著性差异 $<0.01$ ).

表2 污染初期和污染末期样本统计特性

Tab 2 The sample statistical properties of pollution-early and pollution-later

阶段	参数(平均值±标准差)					
	$V/(cm \cdot s^{-1})$	$C_X$	$C_Y$	$X_{SD}$	$Y_{SD}$	$S$
污染初期	3.46±0.62	24.13±7.13	21.92±1.64	291.85±102.15	116.45±37.30	0.25±0.02
污染末期	0.53±0.23	21.93±3.60	2.32±0.13	406.74±40.19	16.84±3.31	0.22±0.02
显著性差异	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**

注:\*\*表示两样本之间具有显著性差异(显著性差异 $<0.01$ ).

### 3.3.1 归一化速率

图3(a)为鱼群在这3种状态下的归一化速率曲线图,每个数据都是由5帧结果取平均得到,每种状态均是观测500帧视频得到的数据.

当水质污染时,鱼群运动加剧,归一化速率大约从1.3 cm/s增加到3.5 cm/s;随着污染时间增长,鱼群开始出现无力、拖尾等现象,速率开始减小,直到鱼逐渐死亡,速率接近0.整个过程的变化十分明显,归一化速率先增大后减小.

### 3.3.2 位置参数分析

图3(b)为鱼群群心纵坐标即垂直方向的变化.在这3个过程中,群心纵坐标一直呈现减小的趋势.由于坐标原点在图像左上角,所以纵坐标的值越小,表示目标越接近水面.这是由于随着污染时间增长,水中溶氧量逐渐降低,鱼群中部分个体开始从水底浮向水面吸收氧气,群心纵坐标逐渐减小.这种变化是明显的.在污染末期几乎所有鱼都浮出水面,故群心纵坐标达到一个稳定的较小值.

图3(c)为水平方向上的空间标准差的变化.当水质污染时,水平方向的空间标准差逐渐增大,说明鱼群受到刺激反应强烈,活动量增大,群体在水平方向上分布变得离散,而该指标的方差也逐渐增大;随着污染时间延长,在污染末期,水平空间标准差达到一个稳定的较大值,该指标的方差也达到一个较小值,说明受到污染的影响,鱼群开始出现无力游动的现

象,均匀且离散分布在水平方向上.在这3个过程中,水平方向上的空间标准差整体上呈现增大的趋势.

图3(d)为垂直方向上的空间标准差的变化.正常情况下,鱼群均匀且随机分布在水箱中下部,垂直方向上的空间标准差维持在一个稳定的较小值;当水质受到污染时,水中溶氧量降低,由于每条鱼在异常情况下的反映存在差异,所以此时部分鱼从水底浮向水面吸收氧气,部分鱼仍在中下部,鱼类分布离散程度增大,所以垂直方向上的空间标准差逐渐增大;污染末期几乎所有鱼都浮出水面,垂直空间标准差趋于零,该指标的方差也随之减小.在这3个过程中,垂直方向上的空间标准差先增大后减小,且变化明显.

### 3.3.3 体色量化分析

红色斑马鱼的体色用HSI颜色空间下的饱和度S分量量化,由于各个像素点的饱和度分量存在差异,无法直接进行比较,因此计算运动目标的每个像素点的饱和度分量的平均值作为参数指标.其体色在正常情况下很鲜艳,即饱和度较大.但当水环境受到重金属即铜离子的污染时,鱼的体色会逐渐变得暗淡,饱和度分量也随之减小.实验结果如图3(e)所示.在这3个过程中,饱和度分量一直呈现减小的趋势.

## 3.4 分级报警

在实验过程中,个别鱼可能处于在水底休息或浮

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

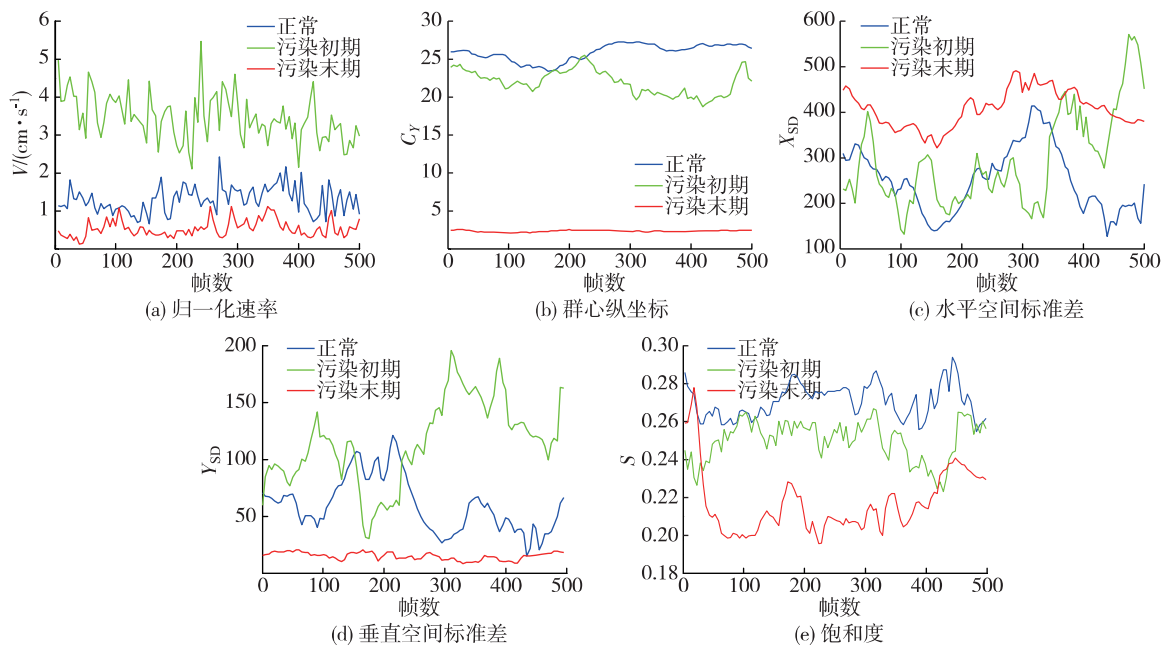


图 3 3 种情况下各参数的变化曲线  
 Fig. 3 Parametric variation in normal, pollution-early, pollution-later

在水面呼吸的状态,但由于鱼群具有统计特性,个别鱼的异常行为不会影响鱼群的参数量化结果,从实验结果可以看出,参数量化的结果比较平稳,因此不会因为个别鱼的反常行为出现误检的结果.与单条鱼相比,使用鱼群进行实验提高了水质监测的准确性,降低了错误报警的概率.

分别选取各情况不连续的 500 帧视频图像进行 MATLAB 软件测试<sup>[18]</sup>,由于污染末期与正常情况下的归一化速率的值相近,无法分辨这两种情况,故该软件可以实现二级报警系统,避免正常情况下出现错误报警.具体步骤如下所述:

1) 利用实验数据分别界定各项参数的报警阈值.选择正常情况下若干帧(一般选 500~1 000 帧)某参数的数据以及污染初期若干帧数据,分别求出它们的平均值  $\bar{X}_{normal}$  和  $\bar{X}_{pollution-early}$ ,然后求出这两个值的均值作为该参数的正常情况到污染初期的一级报警阈值:

$$T_{threshold1} = (\bar{X}_{normal} + \bar{X}_{pollution-early})/2. \quad (5)$$

选择污染初期若干帧数据以及污染末期若干帧数据,分别求出它们的平均值  $\bar{X}_{pollution-early}$  和  $\bar{X}_{pollution-later}$ ,然后求出这两个值的均值作为污染初期到污染末期的二级报警阈值:

$$T_{threshold2} = (\bar{X}_{pollution-early} + \bar{X}_{pollution-later})/2. \quad (6)$$

2) 对鱼类行为进行在线监测,将选择作为监测指

标的各个参数分别与设定好的阈值进行比较.为了消除单一时刻参数的随机变化对结果的影响,将各个参数若干帧数据的平均值与阈值进行比较.当两个及两个以上参数同时达到一级报警条件时进行报警.应该注意参数的变化趋势,体现出过渡阶段.

3) 当两个及两个以上参数同时达到二级报警条件时,先判断是否进行过一级报警,若是则说明此时处于污染初期到污染末期的过渡时期,应该发出二级警报;否则说明此时仍是正常情况,不进行任何处理.

## 4 结 论

本研究基于视觉化的计算机监测系统,对红色斑马鱼进行监测,根据鱼群的应激行为分析水质,并在异常状况下预警.与传统的理化分析法相比,生物监测法更快速、灵敏.实验结果表明,本系统采用的 RGB 颜色空间下的红蓝分量差分法和最大重合面积算法能够很好地实现运动目标的提取和跟踪.使用多维参数联合报警和分级报警,可以降低误报率,实现更准确有效的水质监测.实验数据表明,鱼群的归一化速率、群心纵坐标、水平和垂直方向的空间标准差、饱和度分别在正常情况-污染初期、污染初期-污染末期的对比中都存在显著性差异,故可以使用这 5 个参数作为检验水质的参考标准.

## 参考文献:

- [1] 马颖璐,左航,白明.水中重金属在线监测技术发展概述[J].环境科学与管理,2011,36(8):130-132.
- [2] 杨培莎,朱艳华.水质生物监测方法及应用展望[J].北方环境,2010,22(2):71-73.
- [3] 黄东龙,周勤.水体突发性重金属污染胁迫下斑马鱼的行为反应分析[J].环境监测管理与技术,2011,23(4):27-31.
- [4] 王春风,方展强.汞和硒对剑尾鱼的急性毒性及其安全浓度评价[J].环境科学与技术,2005,28(2):32-34.
- [5] 黄东龙,凌亮,周勤.基于视觉技术的水质安全在线生物预警系统设计[J].中国给水排水,2014(9):113-117.
- [6] 赵毅震,王祖林.背景差分与帧间差分相融合的运动目标检测方法[J].通信学报,2007,28(8A):133-136.
- [7] 李百惠,杨庚.混合高斯模型的自适应前景提取[J].中国图象图形学报,2013,18(12):1620-1627.
- [8] 高浩军,杜宇人.中值滤波在图像处理中的应用[J].信息化研究,2004,30(8):35-36.
- [9] 葛春平.一种二值图像连通区域标记的简单快速算法[J].价值工程,2012,31(28):232-233.
- [10] 张修军,郭霞,金心宇.带标记矫正的二值图像连通域像素标记算法[J].中国图象图形学报,2003,8(2):198-202.
- [11] 刘焯,赵峰民,陈望达.一种基于背景自适应的运动目标检测与跟踪算法[J].海军航空工程学院学报,2012(1):15-18.
- [12] 张金松,黄毅,韩小波,黄廷林.鱼的行为变化在水质监测中的应用[J].给水排水,2013,7(39):166-170.
- [13] 黄晓荣,庄平.鱼类行为学研究现状及其在实践中的应用[J].淡水渔业,2002,32(6):53-56.
- [14] 纪岚,李菁.生物指标在环境评价中的使用方法论述[J].安徽预防医学杂志,2005,11(6):356-357.
- [15] 孙杰,陈再忠.利用鱼类在线预警系统对重金属暴露下斑马鱼行为的分析和比较[J].江苏农业科学,2012,40(10):206-208.
- [16] 胡强,谢剑斌,刘继伟.数字视频监控系统与运动检测技术概述[J].科技信息:学术版,2007(27):98-104.
- [17] 张凤菊,刘晓娟,赵丽平,等.数据差异显著性检验[J].农机使用与维修,2012(4):51-52.
- [18] 王玉林,葛蕾,李艳斌.新型界面开发工具:MATLAB/GUI[J].无线电通信技术,2008,34(6):50-52.

## The Video Monitoring System of Water Quality Based on Stress Behavior Analysis of Fish

HUANG Yifan, CHEN Xin, YUAN Fei\*

(Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology,  
Ministry of Education, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Because the traditional physical and chemical analysis cannot meet the real-time requirement, the biological monitoring method is used in this paper in which we analyze the stress behavior of zebrafish based on the visual monitoring system of computers. In fact, we primarily use the difference of red and blue components in RGB color space to detect moving targets, then tag binary images obtained, and a tracking algorithm of maximum overlap area is proposed. In the experiment, there are three conditions according to the pollution time, and we quantify the behavior characteristic parameters of fish in normal, pollution-early, and pollution-later situations. And then we select some parameters which could monitor the water quality based on statistical analysis. Finally, a hierarchical alarm system has been accomplished in two transition stages by combining multidimensional parameters.

**Key words:** biological monitoring; target recognition; target tracking; computer vision