

文章编号: 1000-0615(2018)04-0614-09

DOI: 10.11964/jfc.20170310760

鱼目标三维信息采集平台中干扰现象的判定与消除

毛家发, 申阿瑟*, 盛伟国, 肖刚

(浙江工业大学计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 为了保证鱼类行为数据采集的准确性和鲁棒性, 本实验提出了一种干扰消除算法, 对鱼目标三维定位算法进行优化。主要针对鱼目标三维信息采集平台中出现的一种由全反射引起的干扰现象, 利用光学原理分析其出现原因, 总结干扰现象特点, 之后通过基于轮廓的运动目标跟踪方法, 设计干扰消除算法, 优化鱼目标三维定位算法, 实现对干扰现象影响的消除, 提高定位精度。通过对红鲫和仿真鱼的定位实验, 结果发现, 本实验提出的去干扰优化算法可以有效消除干扰像对于目标定位的影响, 准确获取鱼目标的三维坐标, 保证鱼目标三维定位跟踪的准确性和鲁棒性, 提高鱼目标行为信息采集精度。

关键词: 鱼类监测; 目标定位; 干扰消除; 三维跟踪定位

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

鱼类行为研究不仅对鱼类本身的生物性质研究有重要意义, 对捕捞、养殖、水质监测、仿生物学等研究也有很大帮助^[1-3]。为了获取鱼类三维行为数据, 可以采用摄像机和平面镜结合的信息采集平台。如Derry等^[4]提出一种单摄像机结合防水镜面来对水箱内软体生物进行跟踪的方法, Wu^[5]通过双摄像头分别拍摄镜面和鱼缸来实现对鱼缸内鱼进行跟踪, 徐盼麟等^[6]利用单摄像头实现了鱼缸内鱼的三维自动跟踪, 分析鱼的运动轨迹, Zhu等^[7]使用单摄像头双平面镜实现对水生动物的实时三维监测。本团队在之前的研究中, 提出了一种基于单摄像头单平面镜的鱼类信息采集平台^[8-10], 可以实现对鱼行为实时三维监测, 并可以解决遮挡问题。单摄像头和单平面镜结合的设备成本更低, 设备更简单。

在利用鱼目标信息采集平台进行鱼类行为追踪研究时, 出现了一个特别的现象: 当一条鱼游到玻璃水箱的某区域时, 平面镜中出现同一条鱼的两个虚像。在类似的系统中, 也会出现该现象, 例如徐盼麟等^[6]研究中明确显示了该现象, 但都没有明确的处理方案。对于不同的

设备, 该现象对计算的影响也是不同的, 设备复杂时, 如双平面镜设备可以利用2个平面镜信息对应消除误差, 双摄像头时也是如此, 但在设备简化时, 如单摄像头单平面镜设备, 该现象影响较大, 因此, 在追求设备精简升级时, 就不得不考虑该现象的消除。本实验根据该现象的特点, 结合视频处理方法, 提出了一种干扰消除算法, 并对鱼目标定位算法进行了优化。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

鱼目标信息采集平台^[8]结构如图1。鱼目标信息采集设备主要有摄像头、透明水箱和平面镜3部分。其中水箱规格为25 cm×25 cm×25 cm, 水深20 cm。摄像头位置距水箱底部距离为75 cm, 水箱中水为普通干净的自来水。平面镜安装于水箱左侧, 与水箱成 α 角摆放(在本平台中 α 取 $\pi/4$)。摄像头放置在水箱左侧面中线正上方, 可以同时拍摄到水箱中鱼的游动情况和其在平面镜中像的移动情况。为了方便描述鱼目标信息

收稿日期: 2017-03-22 修回日期: 2017-05-14

资助项目: 国家自然科学基金(61272310, 61573316); 浙江省自然科学基金(LY15F020032, LQ15E050006)

通信作者: 申阿瑟, E-mail: shenase@foxmail.com

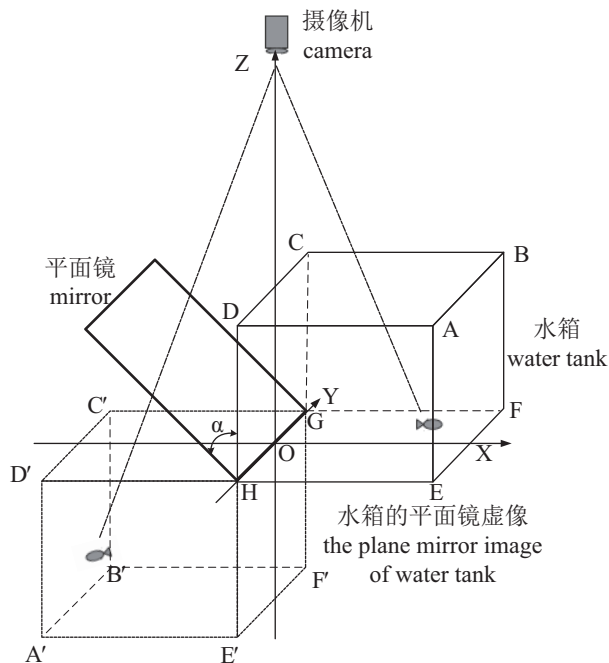


图1 鱼目标三维信息采集平台

Fig. 1 The three-dimensional information acquisition platform of fish target

采集平台得到的鱼三维坐标, 建立如图1所示的三维空间笛卡尔坐标系^[8], 坐标原点O定在实体水箱左壁下方的中点处, XOY平面为与水平面平行的坐标平面, 其中Y轴与实体水箱左壁下方的轴线重合, Z轴正指向摄像头。

测试用鱼分为2种: 活体鱼和仿真鱼。选取4条红鲫(*Carassius auratus*)作为活体鱼实验对象, 平均体积为6 cm×1 cm×1 cm, 仿真鱼为红色树脂鱼, 体积为5.5 cm×4 cm×2 cm。

1.2 干扰现象

在使用平台获取鱼类行为信息时, 会出现一种干扰现象(图2), 在某些时刻, 单条鱼在镜中会出现2个像, 这2个像近似对称。由于该鱼类信息采集平台根据鱼的实像和平面镜所成虚像二者空间关系计算鱼目标的三维坐标, 此干扰现象会影响对实像和虚像对应关系的判断, 并会影响对遮挡情况的判断, 因此消除十分必要。

本实验约定: ①实物水箱称为实体水箱; ②水箱在镜子中的成像称为虚体水箱; ③实体水箱中真实存在的鱼称为实体鱼; ④实体鱼经摄像机拍摄得到的像称为实像; ⑤实体鱼在平面镜中成像经摄像机拍摄得到的像称为平面镜虚像; ⑥平面镜中出现的第2个像经摄像机拍摄



图2 平台中干扰现象图示

Fig. 2 The interference phenomenon in the platform

得到的像称为干扰像。

1.3 干扰现象出现原因

实验中摄像机拍摄到平面镜中出现了2个虚像, 说明平面镜反射了2种传播路径不同的光线进入摄像机镜头。根据光线传播原理, 光的折射和反射原理等分析^[11-13], 以一条鱼为例, 以正对水箱看到的二维平面为研究平面(三维空间情况和二维空间情况相似, 二者误差很小, 在定性分析时差别可以忽略, 为了简化分析过程, 在二维空间进行原理分析), 分析产生该现象的光路图。矩形ABCO表示实体水箱, 平面镜和Y轴夹角 $T=\pi/4$, 矩形A'B'C'O'表示虚体水箱, P点为摄像头位置。以点O为原点, 边AO所在直线为Z轴, 边OC所在直线为X轴, 建立如图3的平面直角坐标系。Ob表示水箱中的鱼, Ob'表示Ob经平面镜成像形成的虚像, Ob''表示Ob对应的干扰像Ob''。在拍摄时有3种光线进入摄像机: 一部分光线经水面折射后被摄像机镜头捕捉形成实像(图中黄色线段), 一部分光线射向平面镜并被平面镜反射入摄像机镜头形成平面镜虚像(图中绿色线段), 然而还有一部分光线射向水面, 但并没有发生折射, 而是由于入射角达到了全反射发生的临界角在水面处发生全反射, 反射回到水中, 又被平面镜反射后经摄像机捕捉形成干扰像(图中红色线段)。由平面镜成像的原理和全反射原理、几何关系进行定量分析可知, 只有当鱼Ob在三角形ABD中时, 才会发生全反射, 并且形成的干扰像一定在三角形A'B'D'中。

1.4 干扰现象特点

通过分析该干扰象出现的原因, 结合实验

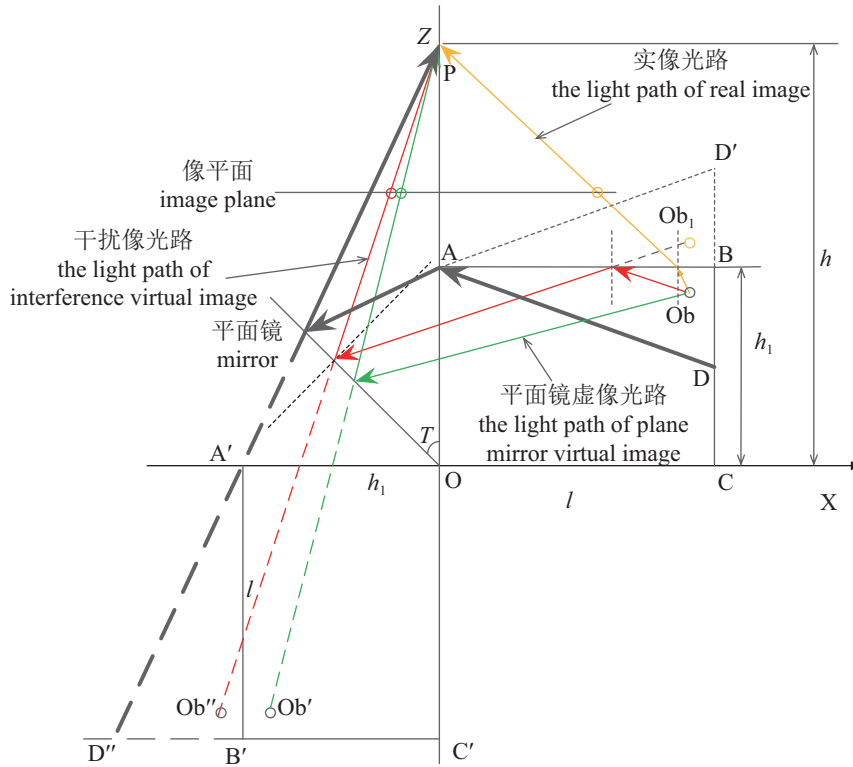


图3 干扰像形成原因二维图示

黄色表示实像光路，绿色表示平面镜虚像光路，红色表示干扰像光路

Fig. 3 Interference image formation reason

Yellow lines are the light path of real image, green lines are the light path of plane mirror virtual image, red lines are the light path of interference virtual image

现象，可以总结出干扰象和平面镜虚像出现的特点：

① 出现干扰现象区域随摄像头接近水面而减小。虽然出现干扰现象区域随摄像头接近水面而减小，甚至一定程度时该区域会消失，但当水箱中完全不会出现干扰现象时，摄像头和水面的距离过近，已经不能拍摄到水箱中全部信息，损失的信息造成的影响远远超过干扰现象，因此必须保持摄像头和水面相距一定距离，保证对水箱中鱼目标运动行为的捕捉。

② 平面镜虚像和实像关于平面镜对称，干扰像和平面镜虚像关于水面虚像A'B'对称。平面镜成像是全反射现象的一种表现，成像总是镜面对称的。干扰现象的出现包含2个镜面对称，首先是平面镜虚像和实像关于平面镜对称(但只有视线跟平面镜平面垂直时，“看到”2像才是对称的，而在实验平台中，摄像机并不与平面镜平面垂直，因此拍摄得到的画面中实像和平面镜虚像坐标并不关于Y轴对称)，二者的行为是对称的，即实像向左移动，平面镜虚像就向右

移动。而干扰像和平面镜虚像也是镜面对称：关于水面在平面镜中所成的像A'B'对称。即平面镜虚像向右移动，则干扰像向左移动。因此，干扰像的移动其实和实像的移动方向是相同的。

③ 干扰像只会在图像左侧的一定区域内出现。全反射发生必须要求光线由光密介质射向光疏介质，对应本实验中为光线必须由水射向空气，在图3中，边AB表示水面，则从Ob处反射的光线与AB的交点一定要在线段AB内。并且要使摄像机拍摄到虚像，应保证平面镜反射的光线进入镜头。因此可以确定：可发生全反射现象的临界情况如图3中黑色粗线部分，临界点D在边BC上，从D发出的光线恰在A点处发生全反射射向平面镜，再由平面镜射向镜头P。那么，只有鱼目标在三角形ABD中才会出现干扰现象，而形成的干扰像都必定在三角形A'B'D"中。不在三角形ABD区域的点，或者难以达到全反射条件，或者发生全反射但不能被摄像头捕捉。摄像机拍摄时，三角形A'B'D"成像在图像左侧，所以在拍摄的画面中，干扰像只会出现

在图像左侧的一部分区域内,即三角形A'B'D"成像区域内。

④以观看视频角度看,干扰像总是从图像左侧出现,并从左侧消失。相应的,平面镜虚像则不会从视频左侧出现。

由于干扰像形成原因可以发现只有当鱼游入三角形ABD区域时,摄像机才能捕捉到干扰像。当鱼从AD游入三角形ABD时,摄像机捕捉到干扰像的出现。而根据成像原理,此时干扰像从A'D"游入三角形A'B'D",而A'D"成像后为图像的左边界,所以从拍摄画面来看,干扰像从画面左侧出现并游入画面。鱼只能通过边AD游入游出三角形ABD,则干扰像只能通过A'D"游入游出三角形A'B'D",对应拍摄画面即为干扰像只会从画面左侧游入,左侧游出。而平面镜虚像则和实像对称移动,鱼只能在水箱中游动,并不能穿过水箱壁,鱼不会从水箱右侧壁游入水箱,则拍摄的实像不能从右侧边界游入,那么根据平面镜成像原理其对应的平面镜虚像不能从左侧边界游入。因此平面镜虚像不能从左侧出现。

干扰像从左侧出现时,拍摄图像中总的像的数目增加,如果鱼平面镜虚像从左侧回游时,拍摄图像中像的数目是不变的,只是其形态发生了变化,不能称作从左侧出现。

综上所述,从左侧出现的像皆为干扰像是一个充分必要条件。因此可以利用干扰像这个特点来判定干扰像并消除其影响。

⑤出现干扰像的区域也会出现平面镜虚像。由于摄像头成像基于小孔成像原理,如图3,干扰像出现区域三角形A'B'D"和水箱虚像在摄像头中成像区域会有重叠,叠加位置在画面左侧。鱼目标的平面镜虚像可以出现在水箱虚像任何一个位置,所以在拍摄画面中也会出现在图像左侧干扰像出现区域,但干扰像和平面镜虚像的游动特点不同。

⑥干扰像与其对应的平面镜虚像近似对称,Y坐标一致。严格来说,干扰像与其对应的平面镜虚像关于直线A'B'对称,但由于摄像距离短,在图像看来,二者也是几乎对称的。并且因为摄像头在Z轴上,二者Y坐标应该一致。

⑦干扰像与其对应平面镜虚像相对而言,干扰像总在平面镜虚像左侧。由成像原理和全反射情况可以看出,干扰像总在A'B'左侧,平面

镜虚像在A'B'右侧,拍摄画面中,干扰像也是在对应该平面镜虚像的左侧。这可以作为判定消除时的依据。

⑧干扰像与其对应平面镜虚像可能发生相交,但一般为两像鱼嘴处相互接触,且接触面积较小。平面镜虚像和干扰像是关于平面镜中水面的虚像A'B"对称,因此只有当鱼接触水面(对称面)时才会出现二者接触情况,如果不考虑鱼跃出水面的情况(该情况需要特殊处理),鱼一般只会鱼嘴接触水面,因此两像相交也必然是鱼嘴相连。

⑨干扰像会和其他非对应的平面镜虚像发生遮挡,干扰像之间也会发生遮挡。因为在拍摄画面中,干扰像出现区域和平面镜虚像出现区域是重叠的,干扰像和其非对应平面镜虚像可能发生遮挡现象,不同平面镜虚像对应的干扰像之间也会发生遮挡。

图4为拍摄鱼运动视频中的一帧,从该帧图像可以看出干扰像的一些特点:干扰像从左侧出现;干扰像只在左侧一定区域内;干扰像和其对应的平面镜虚像有对称关系,并只在平面镜虚像左侧;干扰像会在鱼嘴部分和对应平面镜像发生融合等。



图4 干扰现象图示

Fig. 4 Interference phenomenon

1.5 干扰现象消除原理

干扰像有一个充分必要条件:干扰像总是从图像左侧出现。因此,本实验消除干扰像影响的方案是利用视频追踪技术追踪从左侧突然出现的像,认定该像为干扰像;识别干扰像之后,将干扰像设置为背景色,再进行三维坐标计算,这样就可以消除干扰现象对鱼目标三维坐标定位的影响,提高定位精度。

处理干扰现象时,针对融合情况需要特殊

处理。当干扰像与其对应的平面镜虚像融合时,根据视频追踪技术,系统会认为捕捉到的干扰像突然增大,实际上是计算机将干扰像和平面镜虚像认为是一个像所致。此时需要将二者进行分割后再消除干扰像。由于干扰像总在对应虚像的左侧,以上一帧未融合的情况下干扰像和虚像的坐标为基础,消除融合图像左侧部分,然后就可以正常进行三维坐标的计算。

1.6 干扰现象消除算法

本实验对干扰像的跟踪使用基于轮廓的方法^[14-16],干扰像只会出现在拍摄图像的左侧一部分区域内,将这个区域设置为感兴趣区域,只关心这部分内轮廓的变化就可以实现对干扰像的判定和消除。在该区域内监视从左侧出现的轮廓信息,认为该轮廓即为干扰像轮廓,将其覆盖为背景色,实现消除。算法实现如下:

①初始化存储历史目标信息容器fish_state_vec和记录历史目标个数的整数值fish_sum, fish_sum设置为0,表示未有目标出现;

②初始化存储现帧目标信息容器fish_currentFrame_vec,检测被监测区域内是否有目标出现,如果没有目标则返回程序,否则继续执行③;

③如检测到目标,计算所有检测到目标的坐标以及轮廓点等信息并存储至fish_currentFrame_vec中,判断历史目标计数值fish_sum是否为0,若为0则表明之前区域内没有目标出现,所有目标都是新目标,依次判断检测到目标是否为干扰像,将检测到的所有目标进行是否为干扰像标记以及融合初始化操作,并全部存储到容器fish_state_vec中;否则若fish_sum不为0,执行④;

④比较fish_state_vec与fish_currentFrame_vec中目标数目(2个容器大小比较),如果现一帧的目标数目比历史数目多,则说明有新目标出现,根据最近欧氏距离相似选择原则对现有目标进行匹配,更新其在fish_state_vec中的坐标值以及轮廓点等信息,并将未匹配成功的新目标存储到fish_state_vec中;如果2个容器目标数目相等,则认为没有新目标出现,直接根据最近欧氏距离选择原则对fish_state_vec中目标进行信息更新;如现帧目标数目比历史存储的数目少则说明与上一帧相比,有目标消失,则先根据匹配原则对没有消失的目标进行信息更新,并将

fish_state_vec中没有匹配到的目标认定为消失的目标,从该容器中移出;

⑤遍历容器fish_state_vec寻找干扰像,通过将其设置为背景色加以去除,重复②。

如果出现干扰像和平面镜虚像融合的现象,如图4中第2条鱼的情况,上述算法则会产生错误的判断使得目标相似度匹配不成功,因此针对有融合情况改进算法:在目标信息存储中增加目标像的宽、高、融合标示及融合位置信息;融合判断依据在总轮廓数量发生变化时,前后两帧中是否发生了目标像的宽或者高的“突变”,如果通过匹配比较出宽值突然增大的幅度超过正常渐变值,则说明该目标在横向与某一个或多个目标融合为一个目标,这里称这种现象为像的横向融合,同样将高方向的融合称为纵向融合。现帧检测到的大目标都可以在历史容器中找到2个与之在欧氏距离上最近的小目标,在fish_state_vec标记这2个目标,即更新与大目标距离最近与次近的2个目标。

针对融合现象,在干扰像消除算法第④步中目标数量减少后增加优化:

①检测出fish_state_vec发生融合的2个目标的索引index和index2;

②清空这2个目标存储在fish_state_vec中的轮廓信息;

③若是横向融合则根据其X坐标区别2个目标的左右,若是纵向融合则根据Y坐标区分上下目标;

④划分现帧检测到的大轮廓信息点,将边界左(上)边的信息点保存到③中的左(上)目标中,将边界右(下)边的信息点保存到右(下)目标中;

⑤更新2个目标的位置及宽高信息,并更改融合标识以及对应的融合位置信息。

1.7 优化后的鱼目标定位算法

将本实验提出的干扰像消除算法添加到鱼目标三维坐标定位算法^[10]中,实现对该定位算法的优化。

①初始化数据,输入背景图像,根据拍摄视频调整算法参数,如图像中心点和中线,图像剪裁位置等。

②对输入视频进行预处理。剪裁合适区域,使用帧差法灰度处理图像。

③使用基于卡尔曼滤波的跟踪方法确定目

标并跟踪图像中出现的目标像。

④根据干扰像消除算法定位干扰像位置并消除。

⑤消除干扰后再次定位鱼目标, 确定其实像和平面镜虚像坐标。

⑥根据二维成像过程和二维坐标与三维坐标的对应关系^[8]计算出鱼目标实际三维空间坐标, 结束。

2 结果

2.1 干扰现象消除结果

采用4条活体鱼进行视频拍摄, 干扰现象消除前后图示于图5和图6, 图6为经干扰消除算法处理后的图像。由此可见, 干扰消除算法对于干扰现象的消除效果良好, 对发生融合情况时也有很好的处理效果。

2.2 活体鱼目标定位结果

对4条活体鱼进行了1h视频拍摄, 其中出现11次干扰现象, 并且最长的一次干扰现象持续了42 s, 可见未对干扰现象处理时, 鱼目标信息采

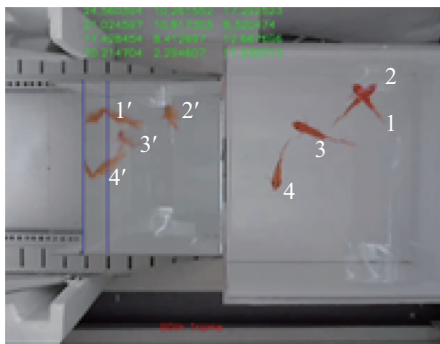


图5 拍摄的原图, 对出现的鱼像进行标记

Fig. 5 Original image, number marks are put on detected fish to distinguish them which are 1 to 4, 1' to 4'



图6 干扰去除后的结果

Fig. 6 The result after interference elimination

集平台的目标位置信息计算会有很大的误差。表1是视频中一帧(图5)经计算得到的4条鱼坐标, 可以看出, 本实验中去干扰优化算法对视频中鱼目标坐标计算有较好的处理效果, 计算结果误差较小, 表明该算法的正确性。

表1 图5中4条鱼的坐标计算结果

Tab. 1 The coordinates of the four fish in Fig. 5

图5中鱼目标 fish target in Fig. 5	活体鱼三维坐标/cm 3D coordinates of the four fish		
	X	Y	Z
鱼1 fish 1	24.56	10.26	17.29
鱼2 fish 2	21.02	10.82	8.32
鱼3 fish 3	17.43	8.41	12.66
鱼4 fish 4	10.21	2.29	11.53

2.3 仿真鱼测量结果与运算结果对比

因为活体鱼一直处于运动状态, 难以精确地比较计算值和测量值的差距, 因此又进行了仿真鱼实验用以比较本实验算法计算的结果和真实坐标的误差。

无干扰现象时仿真鱼拍摄图像示于图7。测量结果和运算结果示于表2。从表2可以看出, 优化后的算法计算出的鱼目标坐标和实际测量值基本吻合, 总体误差较小。并且可以发现越接近水箱中线(即X轴)误差越小, 这是因为摄像机拍摄的边缘处可能出现畸变, 并且由于实像和平面镜虚像到镜头的光程有一定差值, 实际上平面镜虚像距镜头更远, 也会引起误差。实验结果可以证明该算法的正确性。

出现干扰现象时仿真鱼拍摄图像示于图8, 各图鱼目标测量坐标在表3第3列中列出。表3第2列为算法计算出的鱼目标坐标。通过表3可以发现, 在出现干扰现象的情况下, 本实验优化后的定位算法计算出的鱼目标坐标依然与实际坐标吻合, 验证了本实验干扰消除算法的有效性。

本实验提出的去干扰优化定位算法和原鱼目标三维定位算法^[8]对比示于表4。原鱼目标三维定位算法没有考虑干扰像带来的误差, 因此虽然在大部分情况下有良好的表现, 但一旦出现干扰现象, 误差就会增大, 甚至会出现出错的现象, 而本实验提出的优化算法在出现干扰现象时依然有较好的定位效果。

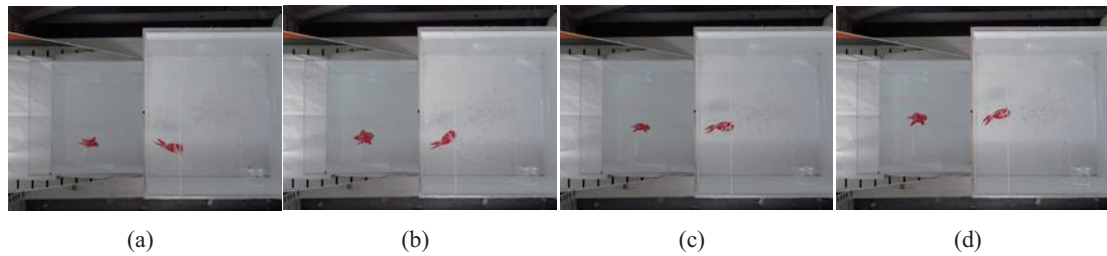


图7 无干扰现象情况实验
Fig. 7 Experiment without interference

表2 无干扰现象时仿真鱼测量结果与运算结果对比

Tab. 2 Measurement results and operation results in simulating fish experiments without interference

图像 images	采用本研究方法计算的仿真鱼坐标/cm operation results			测量坐标/cm measurement results		
	X	Y	Z	X	Y	Z
图像(a) image (a)	5.83	-9.40	13.09	5.00	-6.00	14.50
图像(b) image (b)	5.46	-7.40	14.35	5.00	-4.00	14.50
图像(c) image (c)	5.30	-3.54	17.22	5.00	-2.00	14.50
图像(d) image (d)	5.39	-0.95	12.94	5.00	0.00	14.50

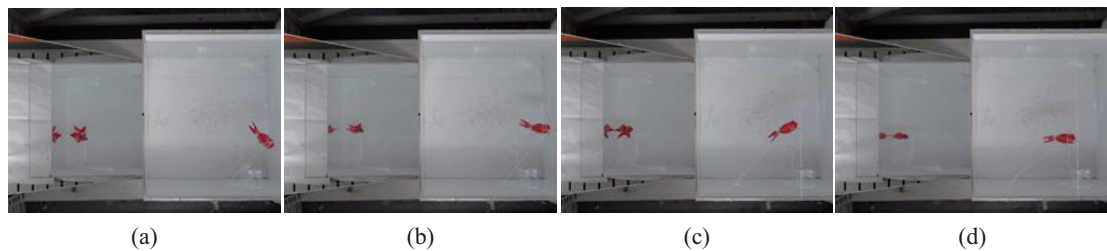


图8 有干扰现象情况实验
Fig. 8 Experiment with interference

表3 有干扰现象时仿真鱼测量结果与运算结果对比

Tab. 3 Measurement results and operation results in simulating fish experiments with interference

图像 images	采用本研究方法计算的仿真鱼坐标/cm operation results			测量坐标/cm measurement results		
	X	Y	Z	X	Y	Z
图像(a) image (a)	15.53	-4.03	16.46	19.00	-4.00	18.00
图像(b) image (b)	16.14	-2.21	17.00	19.00	-2.00	18.00
图像(c) image (c)	13.80	-1.77	17.74	14.00	-2.00	19.00
图像(d) image (d)	13.94	-4.60	17.20	14.00	-4.00	19.00

3 讨论

本实验提出了一种基于单摄像头单平面镜的鱼目标三维坐标定位方法的去干扰优化算法,

主要针对鱼目标三维信息采集时出现的一种由全反射引起的干扰现象进行研究并对该现象引起的误差进行消除,通过活体鱼和仿真鱼的实验证明了干扰消除算法的正确性和优化后算法

表 4 优化算法和原算法比较

Tab. 4 Comparison of optimization algorithms and original algorithms

图像 images	本实验优化算法计算结果/cm optimization algorithms results			原算法计算结果/cm original algorithms results			测量结果/cm measurement results		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
图像(a) image (a)	15.53	-4.03	16.46	出错 error			19.00	-4.00	18.00
图像(b) image (b)	16.14	-2.21	17.00	出错 error			19.00	-2.00	18.00
图像(c) image (c)	13.80	-1.77	17.74	10.16	14.00	-2.00	14.00	-2.00	19.00
图像(d) image (d)	13.94	-4.60	17.20	10.20	14.00	-4.00	14.00	-4.00	19.00

的优越性。本实验提出的去干扰优化定位算法, 提高了鱼目标三维定位算法的鲁棒性, 确保多种情况下鱼目标三维坐标计算的精度, 为鱼目标行为追踪的准确性提高了保证, 对鱼类信息采集平台设备简化有重要意义。

造成定位结果误差的因素之一是实验设备的精度, 在实验仪器精度进一步升高时, 需要将更多的情况纳入考虑范围, 确保所建立的模型的准确性, 例如透明水箱壁的折射。

当需定位的对象发生改变时, 灰度化和帧差法的相关参数可以进行调整, 以适应新的鱼类的特点保证目标提取的准确性。

本实验提出的算法实现了对干扰现象融合情况的处理, 当鱼群数目增加, 可能出现没有考虑到的融合和遮挡情况, 目前的算法对这些情况的处理可能并没有良好的效果, 需要有新的针对性处理方法。

参考文献:

- [1] Vowles A S, Anderson J J, Gessel M H, *et al.* Effects of avoidance behaviour on downstream fish passage through areas of accelerating flow when light and dark[J]. *Animal Behaviour*, 2014, 92: 101-109.
- [2] Jeon W, Kang S H, Leem J B, *et al.* Characterization of fish schooling behavior with different numbers of Medaka (*Oryzias latipes*) and goldfish (*Carassius auratus*) using a Hidden Markov Model[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2013, 392(10): 2426-2433.
- [3] 田超, 黄志勇, 熊彪, 等. 运用多视图几何原理重建鱼类游泳三维轨迹[J]. *水产学报*, 2017, 41(10): 1631-1637.
- Tian C, Huang Z Y, Xiong B, *et al.* Fish swimming 3D trajectory reconstruction based on multi-view geometry[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(10): 1631-1637(in Chinese).
- [4] Derry J F, Elliott C J H. Automated 3-D tracking of video-captured movement using the example of an aquatic mollusk[J]. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 1997, 29(3): 353-357.
- [5] Wu G H. Measuring the Three-Dimensional kinematics of a free-swimming koi carp by video tracking method[J]. *Journal of Bionic Engineering*, 2010, 7(1): 49-55.
- [6] 徐盼麟, 韩军, 童剑锋. 基于单摄像机视频的鱼类三维自动跟踪方法初探[J]. *水产学报*, 2012, 36(4): 623-628.
- Xu P L, Han J, Tong J F. Preliminary studies on an automated 3D fish tracking method based on a single video camera[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(4): 623-628(in Chinese).
- [7] Zhu L Q, Weng W. Catadioptric stereo-vision system for the real-time monitoring of 3D behavior in aquatic animals[J]. *Physiology & Behavior*, 2007, 91(1): 106-119.
- [8] Mao J F, Xiao G, Sheng W G, *et al.* Research on realizing the 3D occlusion tracking location method of fish's school target[J]. *Neurocomputing*, 2016, 214: 61-79.
- [9] Mao J F, Xiao G, Sheng W G, *et al.* A 3D occlusion tracking Model of the underwater fish targets[C]//IEEE International Conference on Electro/information Technology. Dekalb, IL, USA: IEEE, 2015: 82-86.
- [10] 胡海彪. 鱼类目标三维空间行为语义模型研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2015.
- Hu H B. Study on semantic model of fish behavior in three-dimensional spatial[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2015 (in Chinese).
- [11] Born M, Wolf E. Principles of optics[M]. 6th ed. Oxford: Pergamon Ltd., 1980: 121-127.
- [12] 王馨, 田宏. 三维空间中平面反射镜的法线方向角[J]. *光电技术应用*, 2008, 23(3): 13-14.

- Wang X, Tian H. Normal direction angle of reflect mirror in three-dimensional space[J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2008, 23(3): 13-14(in Chinese).
- [13] 戴慧莹, 董秋霞. 反射光及折射光偏振度变化规律的研究[C]//2005年全国高校非物理类专业物理教育学术研讨会论文集. 济南: 山东省科学技术协会, 2005.
- Dai H Y, Dong Q X. Polarization of reflected light and refraction light[C]//Proceedings of the national conference on Physics education for non-physics majors in 2005: Jinan:Shandong Provincial Association of Science and Technology. 2005.
- [14] 杨杨, 张田文. 基于多分辨率方法的主动轮廓线跟踪算法[J]. *计算机学报*, 1998, 21(3): 210-216.
- Yang Y, Zhang T W. Tracking algorithm for active contours based on multiresolution[J]. *Chinese Journal of Computers*, 1998, 21(3): 210-216(in Chinese).
- [15] 谢明红, 蔡伯阳, 朱国力, 等. 基于图像的轮廓跟踪及NC代码生成技术[J]. *机械与电子*, 2001(2): 33-35.
- Xie M H, Cai B Y, Zhu G L, *et al.* Trace for the contour and the generating technology for NC code based on image[J]. *Machinery & Electronics*, 2001(2): 33-35(in Chinese).
- [16] 查宇飞, 张育, 毕笃彦. 基于区域活动轮廓运动目标跟踪方法研究[J]. *中国图象图形学报*, 2006, 11(12): 1844-1848.
- Zha Y F, Zhang Y, Bi D Y. Moving objects tracking using region-based active contours[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, 11(12): 1844-1848(in Chinese).

Interference phenomenon in a 3D information acquisition platform of fish target

MAO Jiafa, SHEN Ase*, SHENG Weiguo, XIAO Gang

(College of Computer Science & Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In order to ensure the accuracy and robustness of fish behavior data acquisition, an interference cancellation algorithm was proposed to optimize the 3D positioning algorithm of fish target. In this paper, the study was based on a singular phenomenon caused by total reflection in this platform, the causes of the phenomenon were analyzed, and the influence of the phenomenon was eliminated. Firstly, based on the principle of geometrical optics and the principle of total reflection, the causes of interference phenomena were analyzed, and the characteristics of interference image were summarized to determine the elimination scheme. Using the digital image and video processing technology, the interference recognition and elimination algorithm was designed to optimize the original positioning algorithm. Based on the experiment of red crucian carp and simulated fish, the results showed that the proposed algorithm is accurate and confirmed that this algorithm has high precision and robustness.

Key words: fish monitoring; target positioning; interference cancellation; 3D tracking and positioning

Corresponding author: SHEN Ase. E-mail: shenase@foxmail.com

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (61272310, 61573316); Natural Science Foundation of Zhejiang Province, China (LY15F020032, LQ15E050006)