# 绪论

* 1. 水产养殖饵料投喂控制研究背景
     1. 水产养殖发展与现状

我国鱼类的养殖具有悠久的历史，早在公元前五世纪的春秋战国时代我国便出现了第一部的淡水鱼养殖著作《养鱼经》，经过几千年的实践积累了丰富的技术经验。在2000年我国的水产养殖总量为2578吨，占渔业总产量的60.2%，是世界上唯一水产养殖量高于捕捞产量的国家 [1]。如图1所示，不论是从世界其他各国还是我国来看，水产养殖的比例都是在逐年升高,而且与世界其他各国总产量不同的是我国已经实现了以水产养殖为主的产业发展，而且在2016年我国水产养殖产量比世界其他各国的水产养殖总量的2倍还多，因此不论是从世界发展趋势还是从我国水产养殖现状来看，对水产养殖进行深入的研究是十分有必要的。

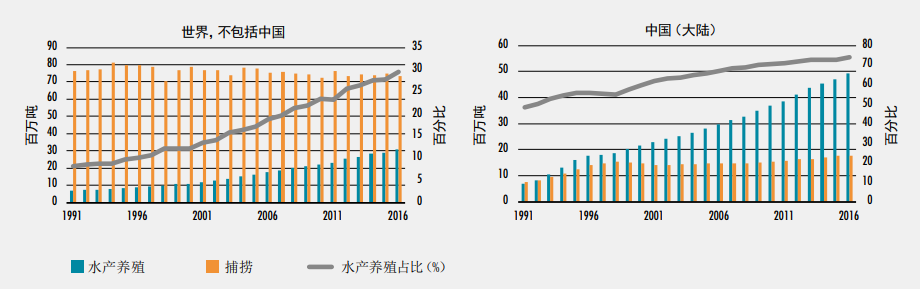


图1. 水产养殖与捕捞产量对比图 [2]

在全球的水产养殖部门，需要饲喂的水生生物养殖产量增速高于无饲喂的品种,整个产业逐渐向饲喂品种倾斜世界各国都越来越重视饲喂品种的水生生物养殖（图2）。而在饲养生产过程中饲料是最主要的消耗品，在水产养殖的经济投入中占有很大的比例，其投放量对水产养殖的产量有着重要影响，而且其投放量会随着饲养生物的生长阶段发生变化。在传统的水产养殖中，饲料的投放量一直困扰着饲养人员。若饲料投放不足，会使得养殖生物无法最大限度的生长，严重时甚至会引起肉食性养殖生物相互蚕食，降低最终的产量；若投放过量，则不仅会浪费饲料、增大水产养殖的投入产出比，还会污染水质、造成水体富营养化，间接增加养殖生物的患病几率、增大投入成本、降低产量。对饲料进行精准投放，不仅可以保证水产品的产量，还可以减少饲料的浪费、遏制水体富营养化，使得经济效益最大化的同时又保护了环境。所以对鱼类的投饵研究具有重大的意义。

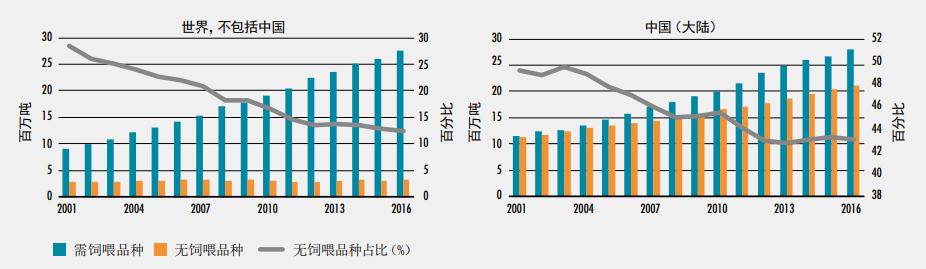


图2. 需饲喂和无饲喂鱼类食品养殖产量 [2]

经过不断的发展，我国的水产养殖业已经成为世界水产养殖业的重要组成部分，尤其是集约化养殖因为其单位水体产量高、养殖周期短、饲料转化率高、养殖对象广、便于管理等特点备受青睐[3]。但是集约化水产养殖方案仍然存在一定的局限性，主要表现在以下几个方面：a).投入成本大，与粗放型水产养殖相比集约化水产养殖需要人工构建鱼类生态环境同时对于生产管理有更高的技术要求使得人力成本也进一步的提高；b).易污染水源，为使得养殖生物最大限度的生长通常在集约化养殖过程中会大量投喂高蛋白饲料，这造成的一个不良后果就是残余饵料和水生生物的排泄物致使水体富营养化严重污染水体；c).易滋生鱼病，集约化养殖的高密度环境使得鱼类长期处于紧张状态，特别是肉食性鱼类容易造成同类相食；长期的食用单一的配合饵料也使得鱼类体质脆弱，抗病能力较低容易患病。机器视觉在近几年的蓬勃发展，为集约化水产养殖自动化提供了一种新的解决思路。机器视觉技术因为其高效、经济、非侵害、无损等特点[4][5]已经被研究者在各个领域广泛运用。将机器视觉技术引入到集约化水产养殖中，对于上述集约化养殖所存在的局限性均有所帮助，由于机器视觉技术成本不高自动化程度高所以可以降低生产过程中的人力成本，通过机器视觉技术指导鱼类的饵料投放以及水质检测可以降低对水体的污染，基于机器视觉技术实施监控鱼类健康状态可以及时发现鱼类病害防止传播降低损失。实际上已经有大量的研究者开发了针对水产养殖的机器视觉应用（将在下一节详细介绍），例如基于机器视觉的鱼种类识别[6]、鱼类行为评估[7]、鱼类轨迹跟踪[8]等。

机器视觉技术，除应用于水产养殖之外，在海底勘查、海洋环境监测以及水下目标识别等领域也有重要的研究意义和实用价值，比如水下摄像机可以在海底和海面完成对异常情况的监控[9]，使相关人员及早对一些极端情况进行预防，比如海啸，台风，地震等灾害，也可以监测一些藻类的生长情况，及早对赤潮等灾害采取措施。

* 1. 国内外相关研究现状
     1. 机器视觉在渔业中的研究现状

机器视觉被运用到水产养殖业已有较长历史，在1983年就有研究者通过发光二极管作为光源，红外摄像机作为传感器观察鱼苗的生长过程[10]，而首次通过机器视觉建立一套观测系统的是Huse[11]等人在1990年建立的一套远程监控系统。该系统通过远程控制伺服电机使相机在水平和竖直方向移动并调整对焦观察鳕鱼和比目鱼的鱼苗运动状态。而真正将机器视觉技术用于水产养殖自动化的是从Foster[12]等人提出一种算法通过补光摄像头在水下检测残余饵料并对其进行计数开始，该算法为自动投喂设备的饵料使用量提供了一定的理论指导意见。而在鱼类行为研究方面，Israeli[13][14]等人利用两台摄像机观察在缺氧/氨胁迫环境下鲫鱼的行为特征，研究不同环境压力下鲫鱼的应激行为特征，该系统可作为一个辅助生产系统对养殖鱼类进行监控，提高了水产养殖鱼类福利。

机器视觉技术因其无接触、高效、无损和低成本的优点被广泛的运用于水产养殖的各个领域。比如Zion等人利用不同光照条件下的CCD相机所获取的图像进行不变矩的分析对鲤鱼，圣彼得鱼和鲻鱼实现了分类[15]，在此基础上为了进一步地提高算法的可用性，他们实现了对运动中的鱼进行分类[16]。但是这一类的研究一直处于实验室状态，算法对环境有较高的要求，直到Spampinato[17]等人提出了一套完整的鱼类检测，跟踪和计数的方法，该方法的所有实验都是在自然环境下进行并且对鱼类没有任何限制。Costa[18]通过水下双目相机的校准获得了游动鱼的生理尺寸。Hu[19]等人基于多类别支持向量机（MSVM）根据鱼的颜色和纹理特征实现了鱼的分类算法。

由于我国集约化养殖尤其是循环养殖池（RAS）的蓬勃发展，为渔业自动化研究提供了平台，国内有大量的研究者基于机器视觉技术针对鱼类的摄食行为进行了研究。目前通过机器视觉技术对鱼类的摄食行为研究主要有两个方向：通过观察残余饵料的方法间接反应鱼类摄食行为和通过直接观察鱼类的运动行为评估鱼类的摄食行为。

Zhou[20]等人采用近红外摄像头获取鱼类运动数据，采用梯度共生灰度矩阵和SVM分类方法去除由于鱼类打破水面造成的反光帧。通过求矩的方法求取鱼的中心点，并将这些点作为劳内三角分割的顶点，通过计算鱼群簇拥指数FIFFB(flocking index of fish feeding behavior)量化鱼类捕食运动量并通过最小二乘法拟合反射帧的数据。于欣[22]等人利用光流法（Lucas-Kanade）检测鱼群运动矢量，得到速度与转角的联合直方图和概率分布，基于标准互信息和局部异尝因子对鱼群进行异常检测，检测准确率达95%。

* + 1. 视频分类研究现状
    2. 课题组研究现状
  1. 本文主要研究工作及组织结构
     1. 主要研究工作
     2. 论文组织结构