



无人船海洋应用概况及趋势

Application and tendency for USV in ocean

金久才 副研究员

自然资源部第一海洋研究所

(First Institute of Oceanology)

2018.10.24, 青岛

内容 (Content)

一、无人船国内外研究现状 (Status)

二、无人船海洋应用进展及趋势 (Development and tendency)

三、无人船关键技术进展 (Key technology)

四、核辐射应急观测无人船应用分析 (Nuclear leakage observation using USV)

一、无人船国内外研究现状 (Status)



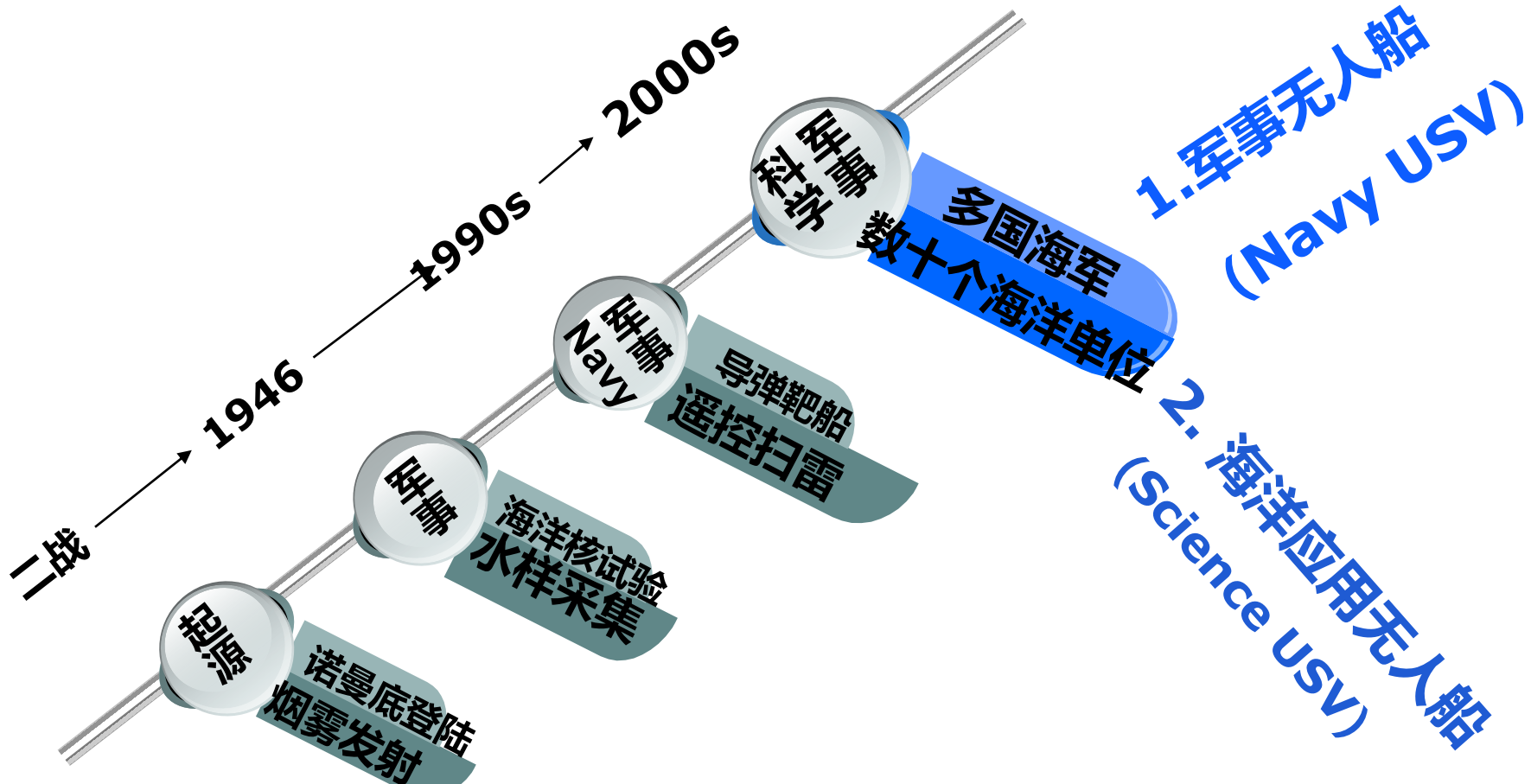
无人机 (**UAV**)

无人船 (**USV**)

无人水下航行器 (**AUV**)

无人船是一种用于海洋表面观测的无人平台，以遥控、预编程、自主的工作方式，通过搭载多种海洋观测传感器，在走航过程中，完成相关海洋观测。

无人船发展过程(Development)



1. 军事无人船 (Navy USV)

美国、以色列等海军已研发出了多种型号和用途的高速无人船，主要用于海上巡逻、扫雷、潜艇跟踪和充当武器平台等，例如“SPARTAN”、“U-RANGER”和“Protector”等。

- ❖ 2007年美国海军发布了第一版“**The Navy Unmanned Surface Vehicle Master Plan**”，促进了军事无人船技术发展。
- ❖ 据美国国防部高等研究计划局报告，美国将投入30亿美元，研发用于**潜艇跟踪 (Submarine hunting)**的无人船，首艘无人船“**SeaHunter**”已于2016年下水试验。

“十二五”国外军事无人船(between 2010 and 2015)



B7 (中东联合, 2015)



CARACaS (美国, 2014)



Edredon (波兰, 2011)



SeaHunter (美国, 2016)



HSMST (美国, 2013)



KATANA (以色列, 2014)



C-Sweep (英国, 2012)



Eclipse (美国, 2013)



Bonefish (瑞典, 2014)

2. 海洋应用无人船 (USV in ocean application)

21世纪以来，无人船平台逐渐引起海洋技术人员的关注。目前已经有超过10个国家数十个研究单位研发了不同用途的海洋应用无人船，例如麻省理工、普利茅斯大学、加利福尼亚大学、密歇根大学等。国内无人船研究单位也不断增多。



DELFIM (里斯本科技大学)



Springer (普利茅斯大学)

国外研究机构 (Abroad research institutes)

- ❖ 弗吉尼亚理工学院 (USA)
- ❖ 佛罗里达亚特兰大大学 (USA)
- ❖ 斯塔克拉拉大学 (USA)
- ❖ 加州理工大学 (USA)
- ❖ 麻省理工学院 (USA)
- ❖ 卡内基梅隆大学 (USA)
- ❖ 美国喷气动力实验室 (USA)
- ❖ 马里兰大学 (USA)
- ❖ 南加州大学 (USA)
- ❖ 罗格斯大学 (USA)
- ❖ 夏威夷大学 (USA)
- ❖ 普利茅斯大学 (England)
- ❖ 贝尔法斯特女王大学 (England)
- ❖ 波尔图大学 (Portuguesa)
- ❖ 里斯本理工大学 (Portuguesa)
- ❖ 圣安娜高等学校 (Italy)
- ❖ 以色列理工学院 (Israel)
- ❖ 波兰海军学院海军武器研究所 (Poland)
- ❖ 哥但斯克工业大学 (Poland)
- ❖ 格丁尼亚海事大学 (Poland)
- ❖ 南洋理工大学 (Singapore)
- ❖ 高级科学技术研究所 (Korea)
- ❖ 汉阳大学 (Korea)
- ❖ 北海道大学 (Japan)
- ❖ 阿德莱德大学 (Australia)
- ❖ 夸祖鲁-纳塔尔大学 (South Africa)
- ❖ 挪威理工大学 (Norway)
- ❖ 滑铁卢大学 (Canada)

国内研究机构(Research institutes in China)

大学(University)

- ❖ 哈尔滨工程大学
- ❖ 大连海事大学
- ❖ 上海大学
- ❖ 上海海事大学
- ❖ 海军工程大学
- ❖ 武汉理工大学
- ❖ 江苏科技大学
- ❖ 华中科技大学
- ❖ 中山大学
- ❖ 北京邮电大学
- ❖ 上海工程技术大学
- ❖ 西北工业大学
- ❖ 中南大学
- ❖ 集美大学
- ❖ 浙江大学
- ❖ 上海交通大学

集团/公司(company)

- ❖ 中国船舶重工集团有限公司
- ❖ 中国船舶工业集团有限公司
- ❖ 中国电子科技集团公司
- ❖ 中国航天科工集团有限公司
- ❖ 中国航天科技集团有限公司
- ❖ 珠海云洲
- ❖ 中海达
- ❖ 安徽科微
- ❖ 武汉楚航
- ❖ 南方测绘
- ❖ 上海华测
- ❖ 劳雷绿湾
- ❖ 深圳三方
- ❖ 北京道可韦尔、凌天世纪、北创、淳一、德维康

研究所(Institute)

- ❖ 沈阳自动化研究所
- ❖ 中科院机械智能研究所
- ❖ 中科院软件所
- ❖ 山东省海洋仪器仪表研究所
- ❖ 自然资源部南海分局
- ❖ 自然资源部东海分局
- ❖ 自然资源部第一海洋研究所

二、无人船海洋应用进展及趋势(Applications)

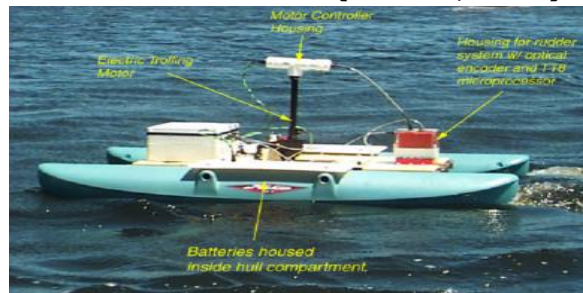
1. 海洋测绘(Survey)
2. 环境监测(Environment)
3. 水上水下通信中继(Relay)
4. 目标侦察与跟踪(Tracking)
5. 海上货运 (Transportation)
6. 异型平台协作(Cooperation)
7. 其它海洋应用(Others)
8. 无人船比赛(Competition)

1. 海洋测绘(Ocean survey)

上世纪90年代，麻省理工学院开发了一个测深无人船原理样机“ARTEMIS”，是小型无人船应用于水深测量的先例。而后麻省理工学院又研发了三个小型双体无人船“AutoCat”，主要用于水深测量和传感器测试。



ARTEMIS (MIT, 90s)

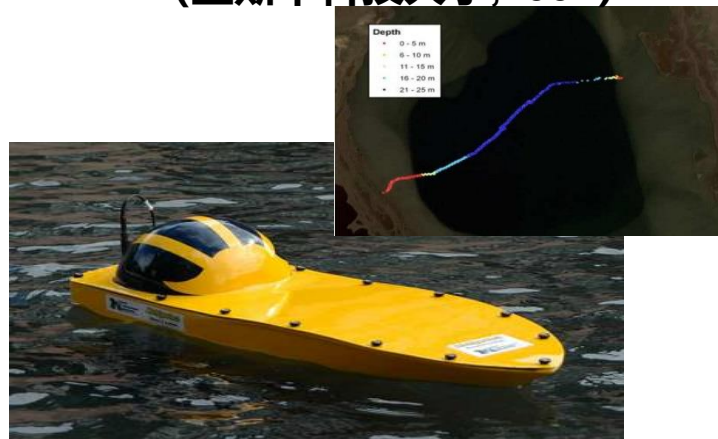


AutoCat (MIT, 2001)

2004年葡萄牙里斯本科技大学研发了无人船“DELFIN”和“DELFIN(x)”，计划用于防波堤检查。2010年美国密歇根大学研发小型水深测量无人船“BathyBoat”，适合于浅水湖泊、地形复杂区域水深测量。



DELFIN (里斯本科技大学,2004)



BathyBoat (密歇根大学,2010)

哈工程研制了高速测量无人艇，可在电推低速下进行相关水文测量和测绘。上海大学研发了一系列测绘无人艇，开展了岛礁测绘应用。上海海事大学研发了用于水深测量和流速测量的无人船。国内无人船产品主要应用于相关海洋测绘。



哈工程“天行一号”



上海大学“精海”

2. 海洋环境监测(Ocean environment)

❖ 电池驱动(battery drive)

普利茅斯大学开发了用于**水质监测**的无人船“Springer”。意大利国家研究理事会智能系统自动化研究所分别在2003年和2008年研发了两台用于**sampling**的无人船“SESAMO”和“Charlie”。



Springer (普利茅斯大学,2008)



Charlie (意大利CNR-ISSIA,2008)

弗吉尼亚理工学院研发了用于**测流和温度测量**的无人船。航天科工集团研发了**气象观测**无人船。澳大利亚CSIRO和昆士兰州大学研发了**剖面水质监测**无人船，携带20米伸缩杆。美国Searobotic 公司研发了系列**环境监测**无人船。



弗吉尼亚理工 (2006)



航天科工 (2008)



澳大利亚(2009)



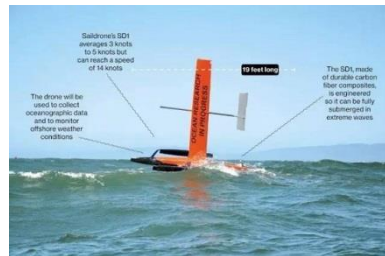
Searobotic(2012)

❖ 长航时(long endurance)

美国 Saildrone 公司开发了**帆船无人船**。美国 Liquid Robotics 公司研发“**Wave Glider**”，采用**波浪驱动**。ASV 公司开发了**风能和太阳能驱动无人船**。国家海洋技术中心、中国海洋大学和中船重工 710 所研制了**WaveGlider**。



Atlantis(2001)



Saildrone(2009)



WaveGlider(2011) C-Enduro(ASV,2012)



❖ 长航时无人船—浮标式 (Buoy USV)

NASA研发了浮标无人船，其由太阳能供电，集成了多种海气监测(Aea-air)传感器。美国佛罗里达理工大学研发了用于评估浮游植物多样性(phytoplankton)的浮标式无人船，搭载了温盐、气象、化学分析仪、荧光计等传感器。



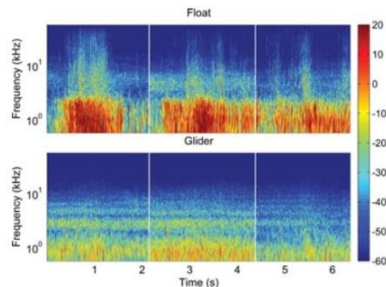
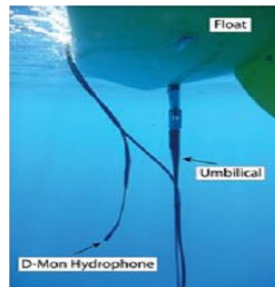
OASIS (NASA,2005)



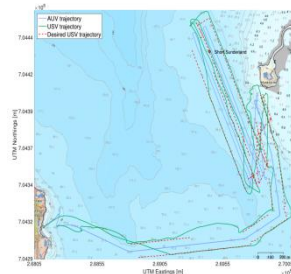
ASMV (佛罗里达理工大学,2007)

3. 水上水下通信中继(Communication relay)

2014年WHOI和夏威夷大学利用 WaveGlider , 搭载水听器和 Modem , 开展了水声通信、定位试验。2015年挪威理工大学利用USV和AUV, 开展了水下通信实验, 通信成功率超过60%。



Acoustic applications

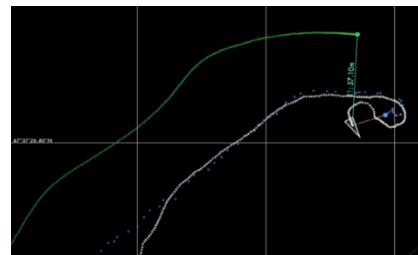


Acoustic communication

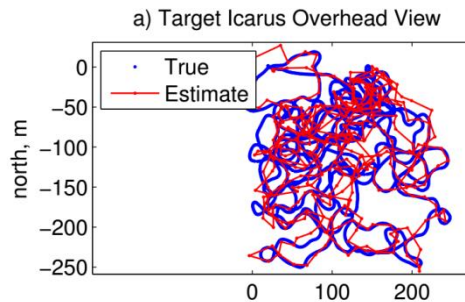
2016年，柏林工业大学研发了一艘半潜式无人船，利用超短基线为水下AUV提供参考位置信息，作为AUV的通信 relay。2016年，WHOI、MIT、东北大学（美国）学者发表了Multi-USV水声通信研究成果。



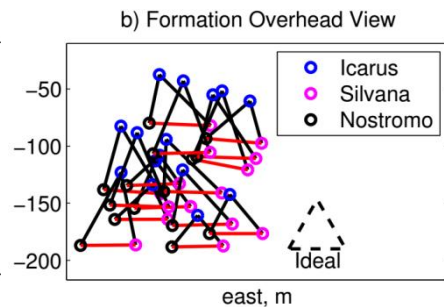
Semi-sub “SMIS”



Following AUV



Following target

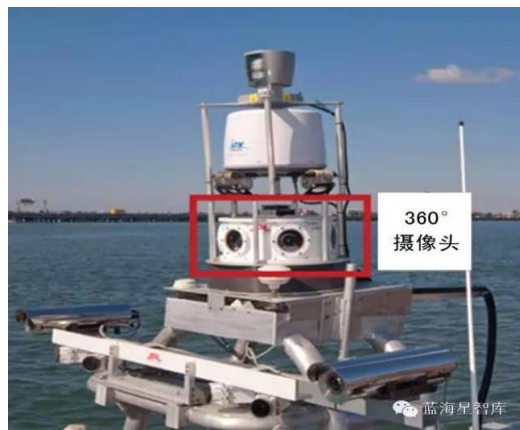


Formation

4. 海上目标侦察与跟踪(Reconnoitre and tracking)

2014年美国海军使用13 USVs (5艘自动、8艘遥控) 组成编队(Formation), 利用舰载传感器网络, 开展了侦察、护航、小艇拦截、集群攻击等场景演练, 开发了任务实现核心软件:

- ❖ CARACaS 机器人智能指挥与感知控制体系架构 (Command and Control)
- ❖ DADFS 分散与自动数据融合系统, 完成态势感知与数据共享(Data fusion)



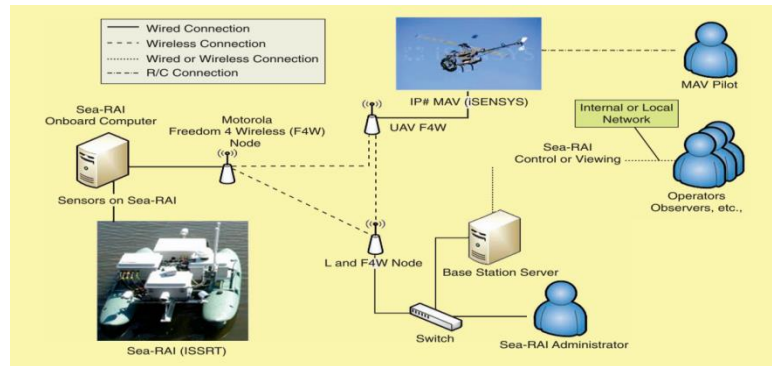
5. 海上无人货运(Transportation)

- ❖ 2017年，中国船级社、珠海市政府、武汉理工大学、云洲智能共同启动了小型无人货船项目；
- ❖ 2018年，新加坡海事局宣布拟投入巨资打造巨型港口，将联合吉宝岸外海洋公司合作开发无人船舶，用于执行包括靠泊、系泊和拖航等港口业务工作；



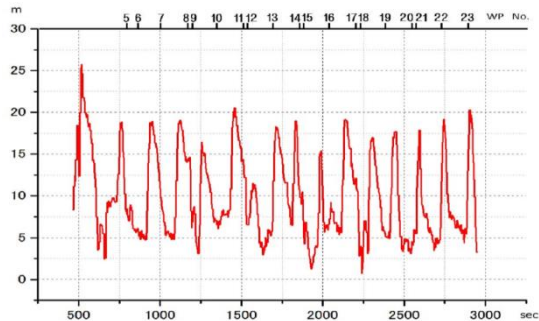
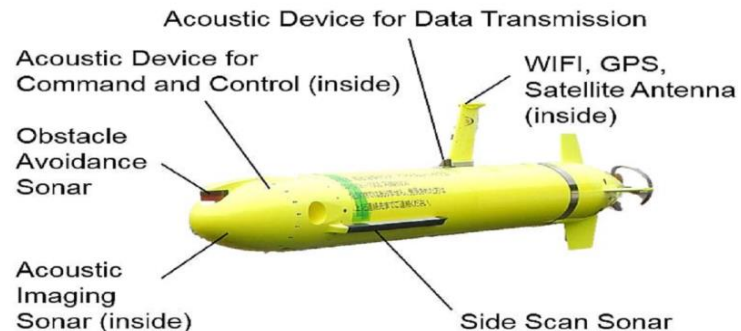
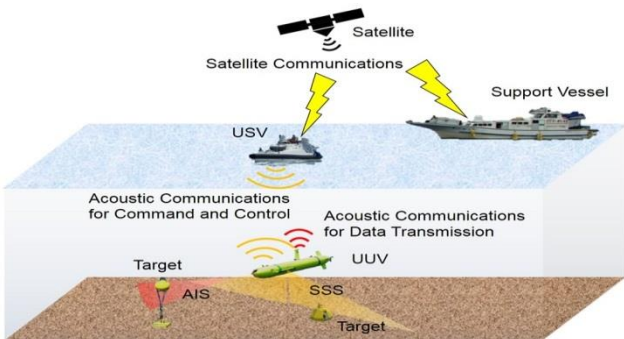
6. 异型平台协作(Cooperation)

❖ 无人船-无人机联合工作(USV & UAV)



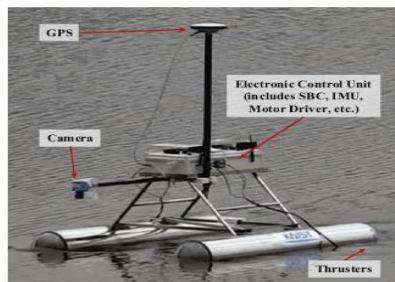
无人船和无人机首次原理性联合工作
(南佛罗里达大学, 2011年)

❖ USV-AUV联合工作-声呐图像传输试验 (日本国防部技术研究开发所)



	UUV shoot	USV received	USV received by retransmission	Success rate
SSS	72	72	11	100%
AIS	348	339	45	97.4%

7. 其它海洋应用(Others applications)



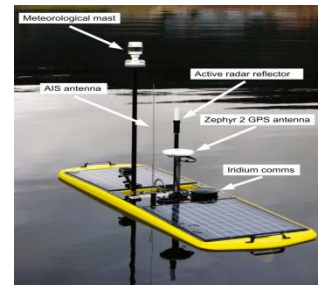
Jellyfish (韩国,2014)



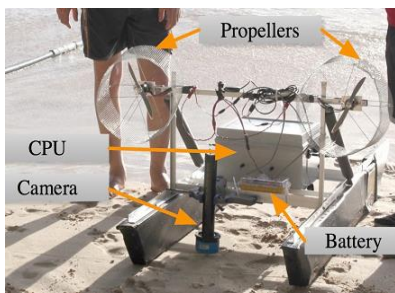
Lifesaving (葡萄牙,2009)



Winch无人船 (意大利,2010)



Sea level height (英国,2016)



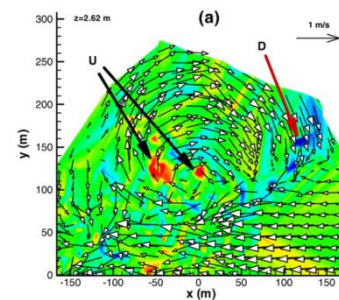
Coral 观察 (加拿大,2011)



投送AUV (美国,2005)



Spilled oil recovery (中国,2014)



Eddy测量 (美国,2009)

8. 无人船比赛(competitions)

- ❖ 国际无人船比赛**MARITIME ROBOTX CHALLENGE**每两年举办一次（2014年，2016年），2018年12月
- ❖ 国内无人船公开赛在上海已举办两届（2017年，2018年）

MEET THE 2018 TEAMS

AUSTRALIA

- Flinders University (Team Australis2)
Website
- Queensland University of Technology (Team QUT)
Website
- University of Newcastle (UoN RoboX)
Website
- University of Sydney (USYD RowBot)
Website

CHINA

- Harbin Engineering University (HEU Heading)
Website
- Northwestern Polytechnical University (MUSS-NPU)
Website

JAPAN

- Osaka Prefecture University - Osaka University (OUXT Polaris)
Website

SINGAPORE

- Nanyang Technological University (OSMIND)
Website
- National University of Singapore (Bumblebee Autonomous System)
Website

TAIWAN

- National Chiao Tung University (Team NCTU)
Website

USA

- Embry-Riddle Aeronautical University (Team Minion)
Website
- Florida Atlantic University (Owltonomous)
Website
- Georgia Institute of Technology (ASDL-Georgia Tech)
Website
- Massachusetts Institute of Technology (Team MIT)
Website
- Old Dominion University (ODUSea)
Website
- University of Florida (NaviGator AMS)
Website
- University of Hawaii at Manoa (Kanaloa)
Website
- University of Louisiana at Lafayette (Ragin Cajuns)
Website
- University of Michigan (Michigan RoboX)
Website



MARITIME ROBOTX CHALLENGE



国内公开赛

无人船海洋应用趋势(Tendencies)

1. 替代人工测量 (Replacing human)

- ❖ **海洋测绘(Survey):** 通过搭载**单/多波束测深仪、侧扫声呐、浅地层剖面仪**等, 可完成大部分海洋测绘现场工作。其成本低、无生理限制、无人员危险等优势, 必将成为一种海洋测绘重要平台;
- ❖ **无人货船(Transportation):** 提高效率, 节省成本;

2. 长时间序列海洋数据获取 (Long sequence data)

- ❖ 海洋环境监测研究依赖于数据，特别是长期连续性监测，也是是浮标应用广泛的原因。
- ❖ 现今无人船越来越趋向于长期性和持久性，目前主要使用了三种海洋可再生资源：波浪、风能和太阳能(Wave, Wind and Solar energy)，以实现长时间序列数据获取。

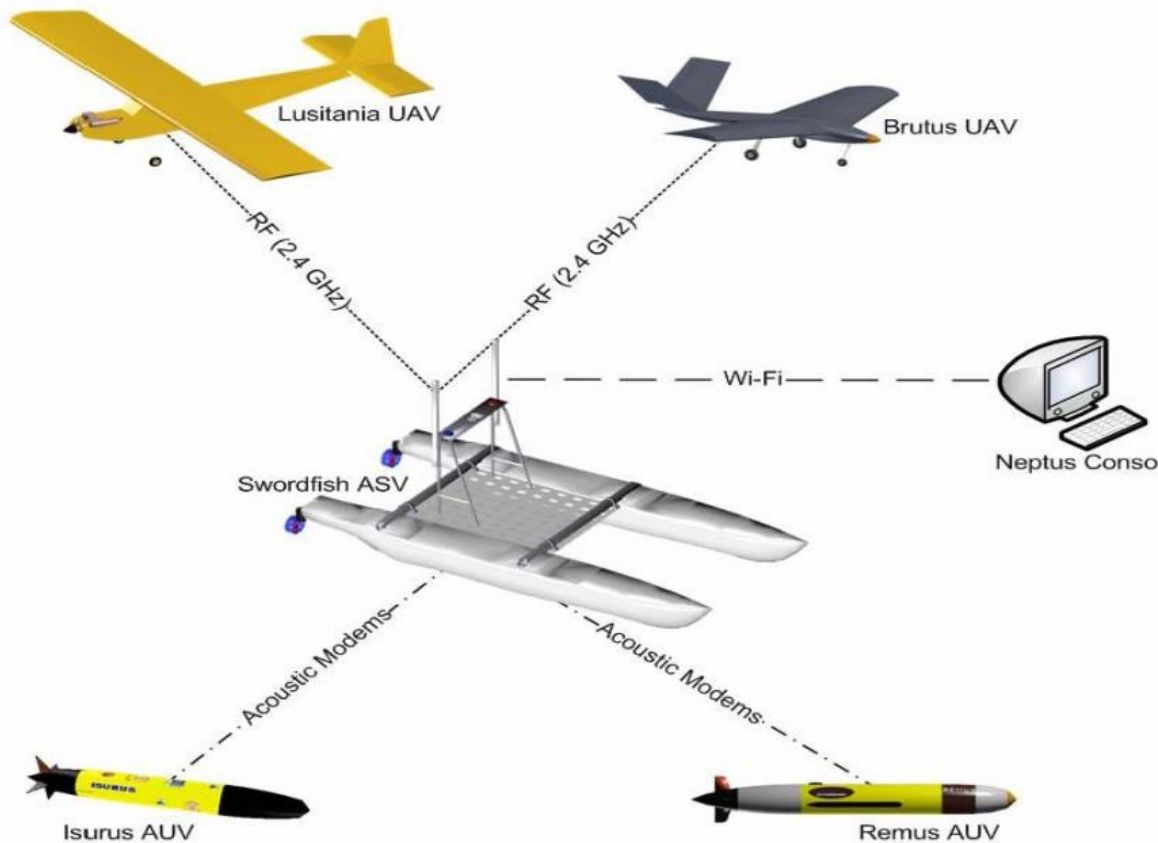
3. 多平台协作

❖ Multi-USV协作

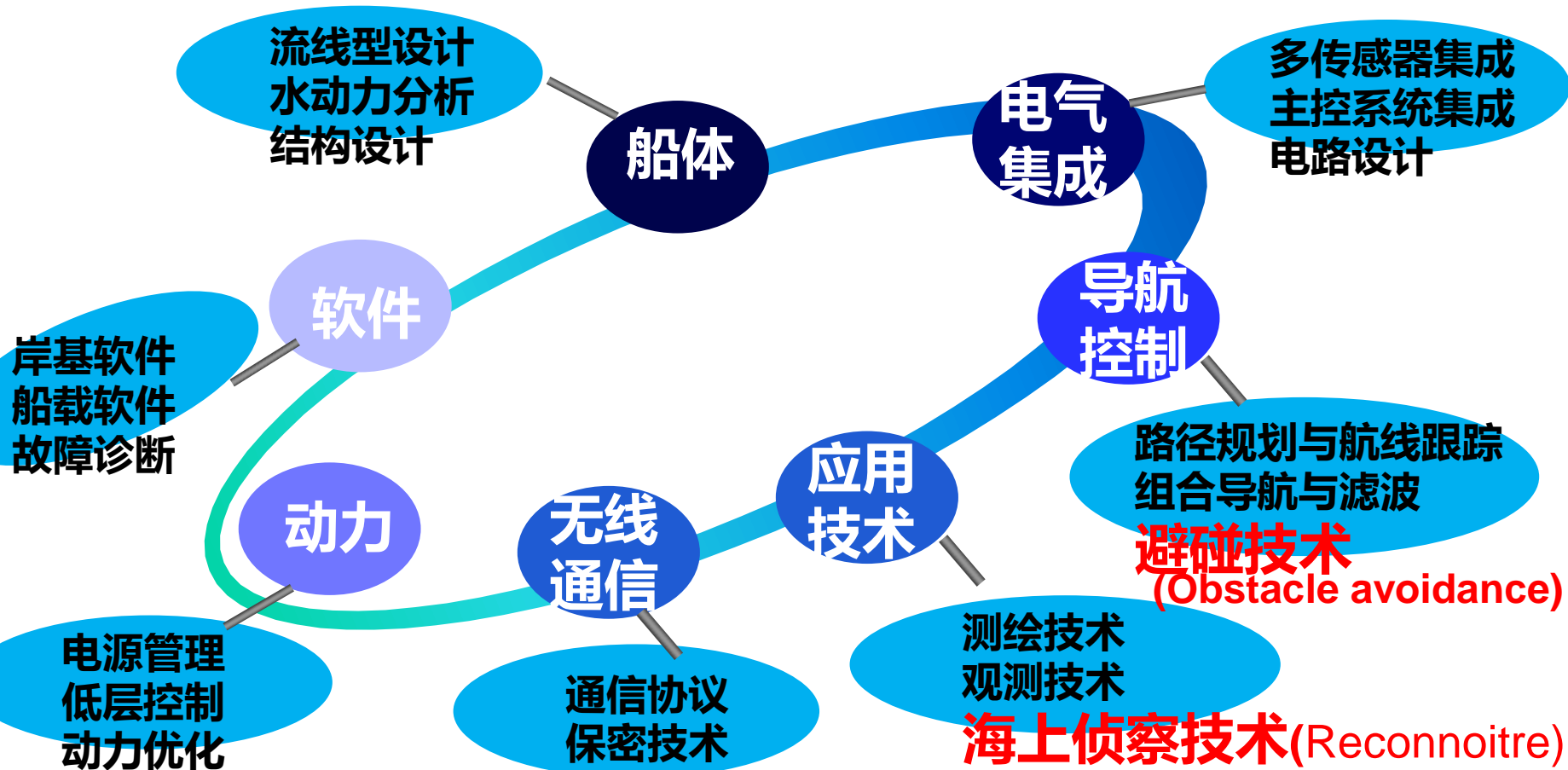
❖ 与UAV、AUV

联合工作

(Cooperation)



三、无人船关键技术进展(Key technologies)



1. 无人船避碰技术进展 (Obstacle avoidance)

(1) 避碰检测(sensing): 是无人船避碰控制的前端

主动检测

❖ 激光雷达

❖ 毫米波雷达

❖ 航海雷达

被动检测

❖ 单目视觉

❖ 双目视觉

❖ AIS

(2) 避碰路径规划(planning): 基于检测的障碍物信息, 规划出一条安全、最优的可航行路径。

主动检测_航海雷达(Marine radar)

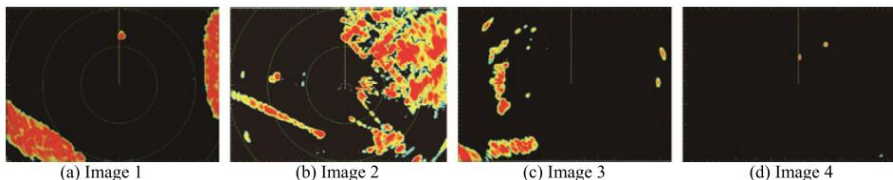
❖ 技术特点

适用于**远距离**海上目标检测与跟踪，对小目标的检测能力不足，且在近距离范围内存在盲区

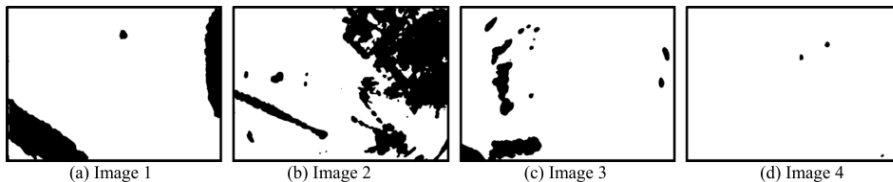
❖ 主要研究进展

葡萄牙ROAZ无人船团队评估了航海雷达目标检测能力，发现其探测距离约**4km**（**1-2m**安装高度），数据噪声较大；对小目标的探测能力不足；

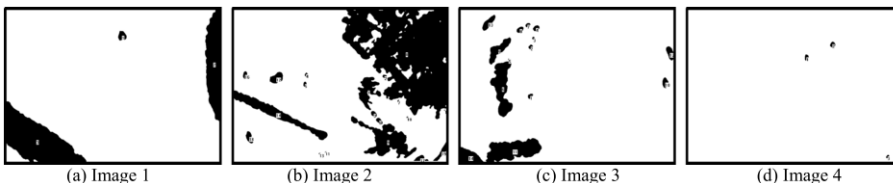
哈尔滨工程大学发展了基于航海雷达实时目标检测方法（结果见右图），并应用到无人船避碰中；



原始航海雷达图像



雷达图像分割结果



雷达图像标记结果

主动检测_激光雷达(Lidar)

❖ 技术特点

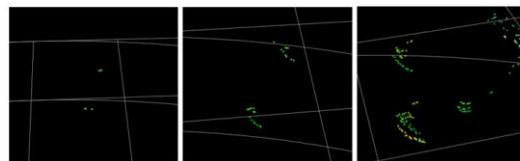
具有高的测距精度和距离分辨率，适用于**近距离目标检测、识别与跟踪**，但对晃动、海雾等影响因素比较敏感

❖ 主要研究进展

美国空间和海战系统中心首次验证了激光雷达的可行性（如右图）；

韩国Redone公司和南洋理工大学分别提出了基于激光雷达的海上**目标检测**和**跟踪**方法；

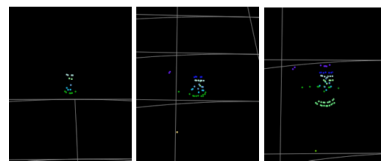
国内**上海大学**和**武汉理工**也开展了激光雷达避碰检测相关研究



(a) 90 m

(b) 70 m

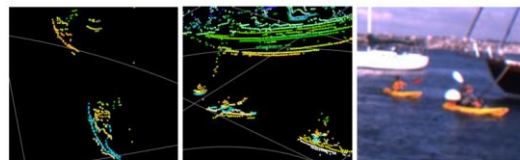
(c) 40 m



(a) 100 m

(b) 70 m

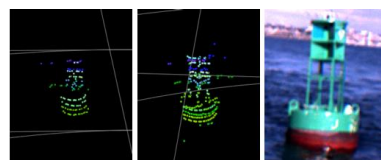
(c) 55 m



(d) 20 m

(e) 10 m

(f) Photo



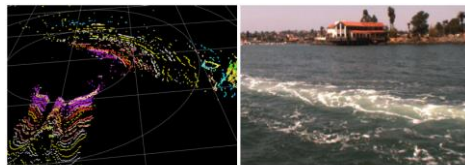
(d) 40 m

(e) 25 m

(f) Photo

不同距离下船只激光点云

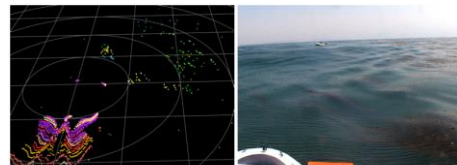
不同距离下浮标激光点云



(a) Return from wake

(b) Photo of wake

海面浪花激光点云



(a) LIDAR return

(b) Photo

海面漂浮物激光点云

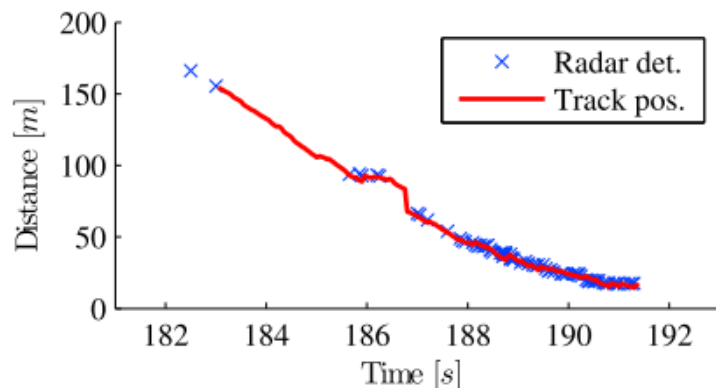
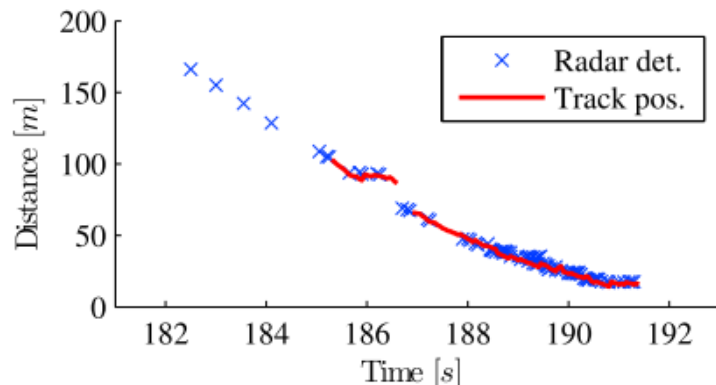
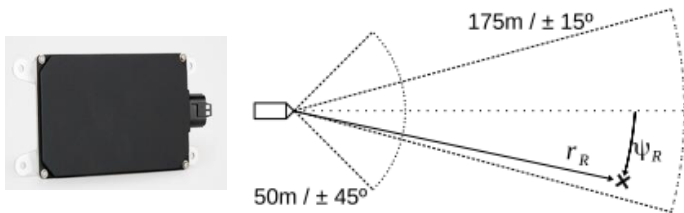
主动检测_毫米波雷达 (Millimeter-wave radar)

❖ 技术特点

在近距离障碍物目标检测方面，不仅具有较高测距精度，而且具有较强的全天候工作能力

❖ 主要研究进展

丹麦理工大学提出了一种基于毫米波雷达和视觉相机的高速无人船障碍物检测技术。**亮点：**利用毫米波雷达和视觉相机实现多目标跟踪，并进行了现场实验验证。



目标跟踪对比结果

被动检测_视觉相机(Vision)

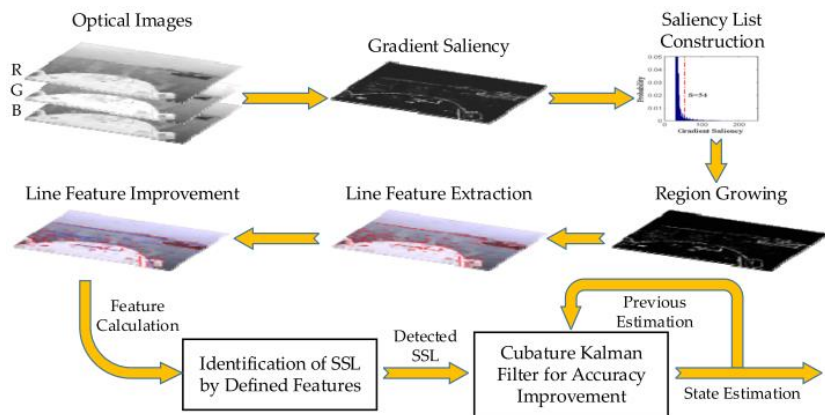
❖ 技术特点

视觉相机包括单目视觉和立体视觉，可获取更丰富的形态信息，易受环境光照条件的影响，测距能力不足

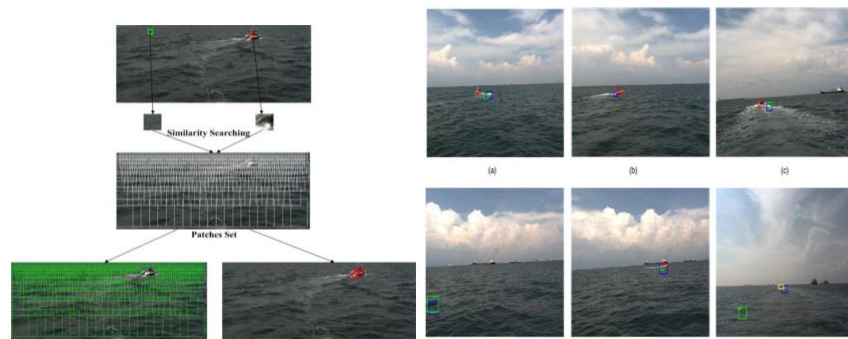
❖ 单目视觉 (Monocular vision):

哈尔滨工程大学的Wang等提出了一种基于梯度显著特征的无人船视觉海天线检测方法；

南洋理工大学的Mou等提出了一种基于全局稀疏势的视觉海上目标检测新方法。



Sea Sky Line 检测流程



全局稀疏势目标检测结果

被动检测_视觉相机

双目视觉方面(Stereo Vision):

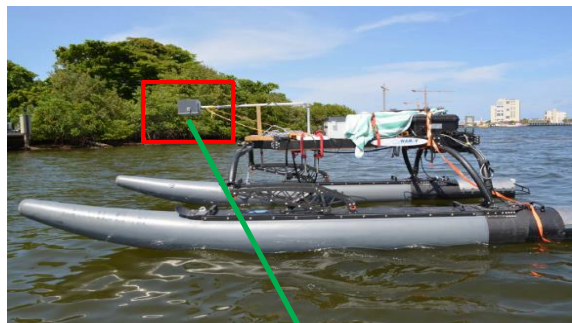
- ① 新加坡南洋理工大学
Han Wang团队



船载双目相机

- 技术特点:
 - ① 采用**BM区域立体匹配算法**处理双目图像得到稠密的视差图像;
 - ② 对**海面进行三维拟合**, 根据高出海面三维点的数量来判定目标。

- ② 佛罗里达亚特兰大大学
Armando Jose团队



船载双目相机

- 技术特点:
 - ① 对**单目图像进行目标检测**;
 - ② 采用**SAD区域立体匹配算法**匹配双目图像中的目标后, 根据几何视差关系实现目标测距。

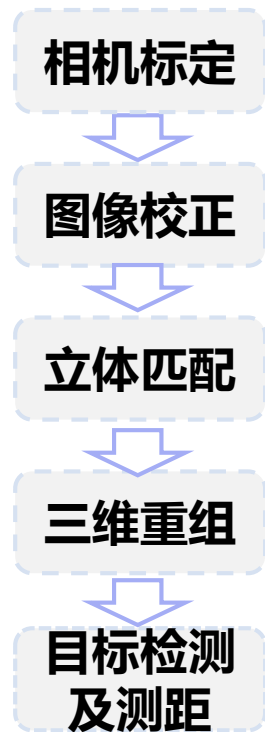
- ③ 美国 SPAWAR系统中心
机器人研究小组



船载双目相机

- 技术特点:
 - ① 采用**SSD区域立体匹配算法**处理双目图像得到稠密的视差图像;
 - ② 根据**三维点的高度信息**判定目标。

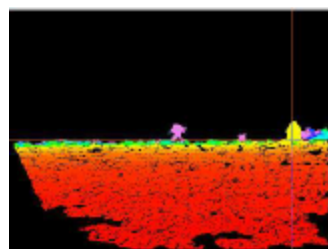
■ 研究路线



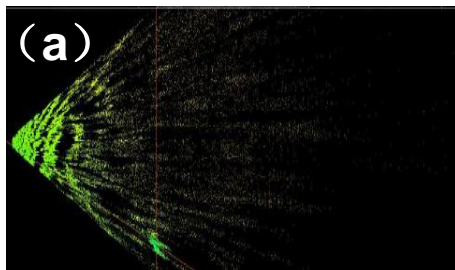
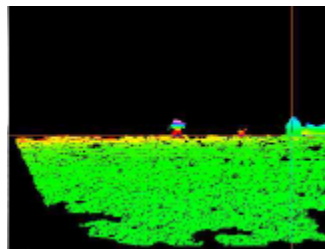
■ 图例



原始图像



视差图像

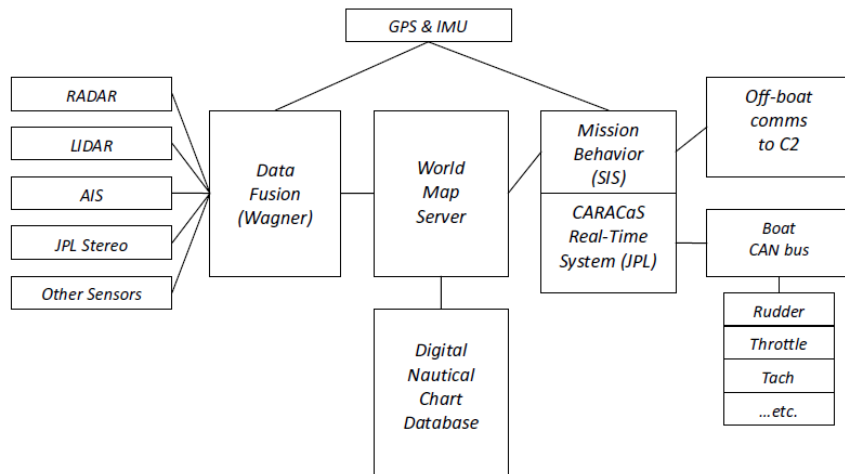


三维点云数据： (a) 为俯视图； (b) 为侧视图；

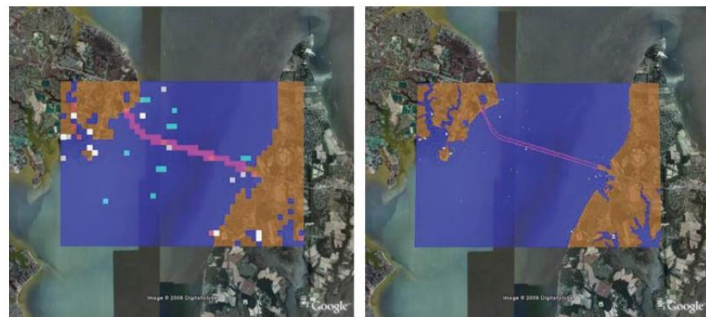
避碰检测技术发展趋势(OA technology's tendency

❖开展基于多传感器信息融合的无人船避碰检测技术已成为无人船海上自主导航避碰研究领域的一个新的热点方向。

❖美国空间集成系统公司提出了一种海上自主导航系统AMN 架构，侧重将多种传感器集成，构建一个可自主执行任务的通用导航系统，所构建的环境地图采用电子海图表示。



Autonomous Marine Navigation`

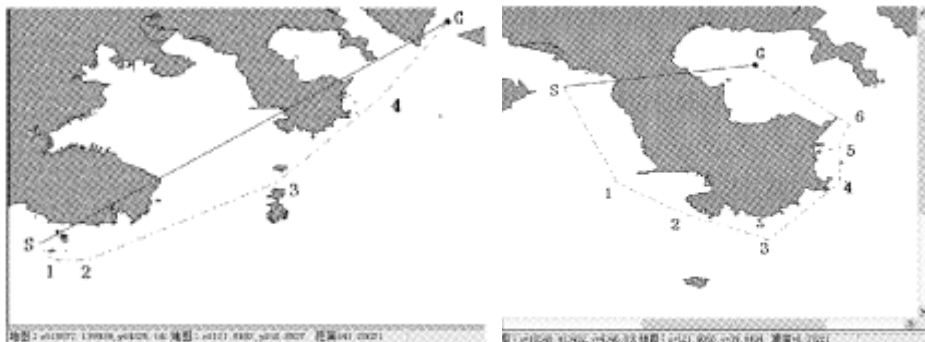


避碰路径规划 (全局 Global planning)

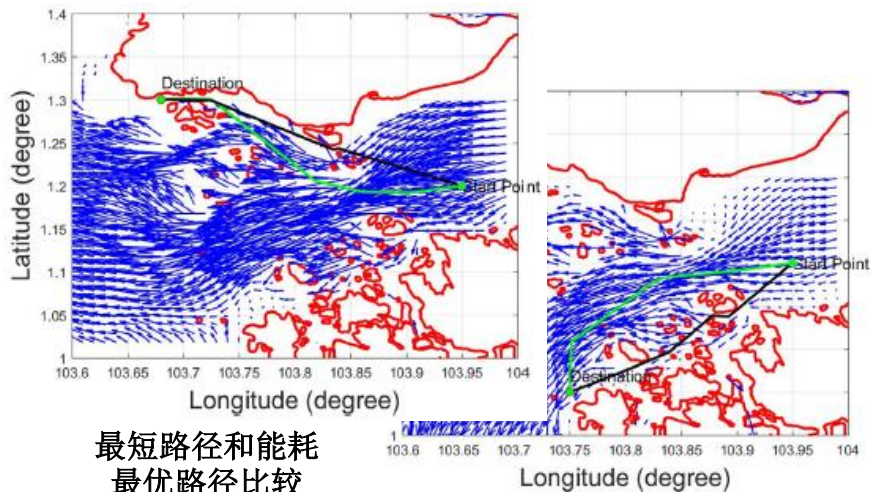
最短路径算法：搜索从起始点出发，沿图的边到达目标点中各边权值和最小的路径。

❖ 哈尔滨工程大学的庄佳园等(2011) 提出了一种基于电子海图的距离寻优Dijkstra算法。算法采用动态网络模型，克服了传统方法占用内存问题。

❖ 英国克兰菲尔德大学的Niu Hanlin等(2018) 提出了一种结合Voronoi图和可视图，利用Dijkstra搜索海流条件下能耗最优路径的方法。



仿真规划结果



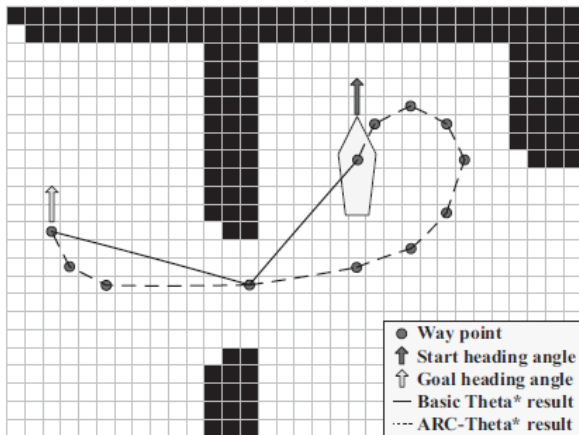
最短路径和能耗
最优路径比较

启发式搜索算法：基于启发式代价函数，无需执行完整搜索即可搜索一条可靠路径。

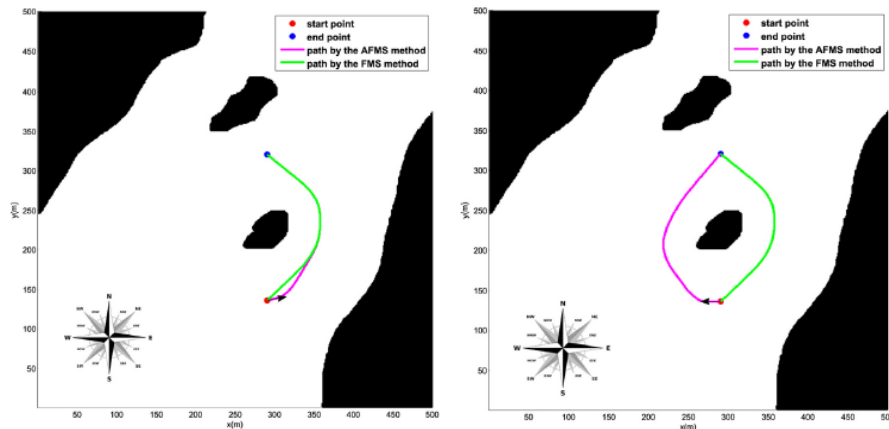
❖ 韩国科学技术院的Kim等(2014) 提出了一种角变化率约束Theta*(ARC-Theta*)算法，实现了无人船运动性能约束下的路径规划。

快速行进法(Fast Marching Method): 一种求解Eikonal方程的数值方法。

❖ 英国伦敦大学学院的Liu等(2016) 提出了一种角度导航快速行进平方法 (AFMS)，得到一条平滑、连续的最优路径。



基本Theta*算法和ARC-Theta*算法生成路径实例

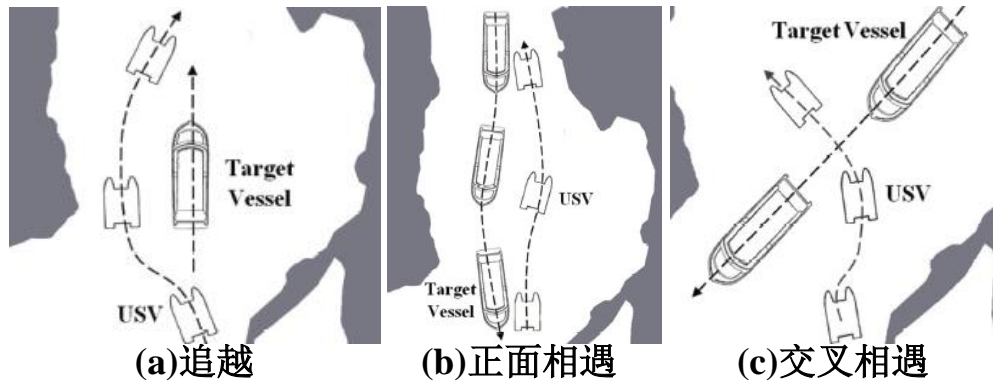


传统FMM与AFMS方法生成路径比较

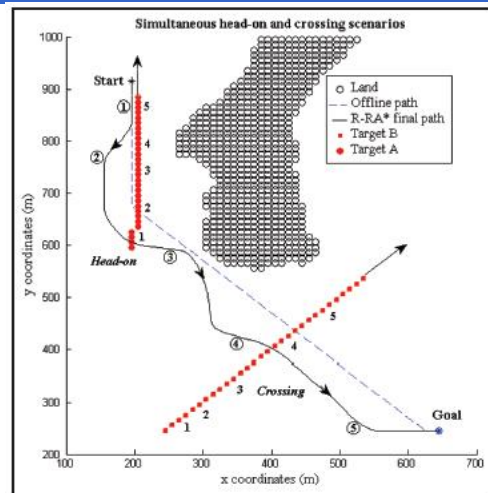
避碰路径规划（局部 Local planning）

主要是结合国际海上避碰规则(COLREGs), 其中三条主要避碰规则:

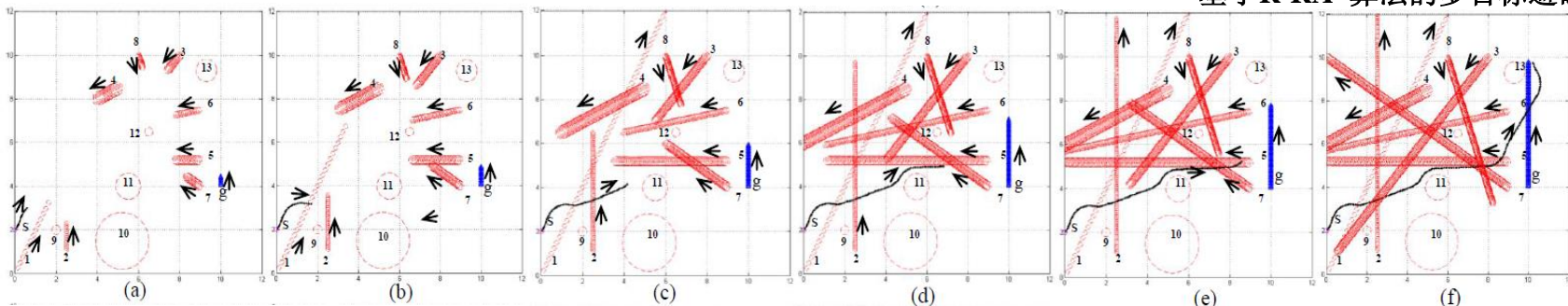
- ❖ 规则1: **追越**。船舶追越其他船只时, 均应给被追越船让路。
- ❖ 规则2: **正面相遇**。两船在相反或接近相反航向上相遇致有碰撞危险时, 各应向右转向, 从他船左舷驶过。
- ❖ 规则3: **交叉相遇**。两船交叉相遇致有碰撞危险时, 有它船在本船右舷的船舶应给它船让路, 若环境允许, 还应避免横越他船前方。



- ❖ 英国贝尔法斯特女王大学的Campbell等(2014)提出了基于R-RA*算法的路径规划方法。该方法基于A*算法规划全局路径，利用R-RA*算法在线规划满足COLREGs规则的局部路径。
- ❖ 大连海事大学的Lyu等(2017)将改进人工势场(APF)法应用于无人船局部路径规划。在引力势场函数增加相对速度势场，在满足COLREGs规则下，用于解决静态和动态障碍物避碰问题。

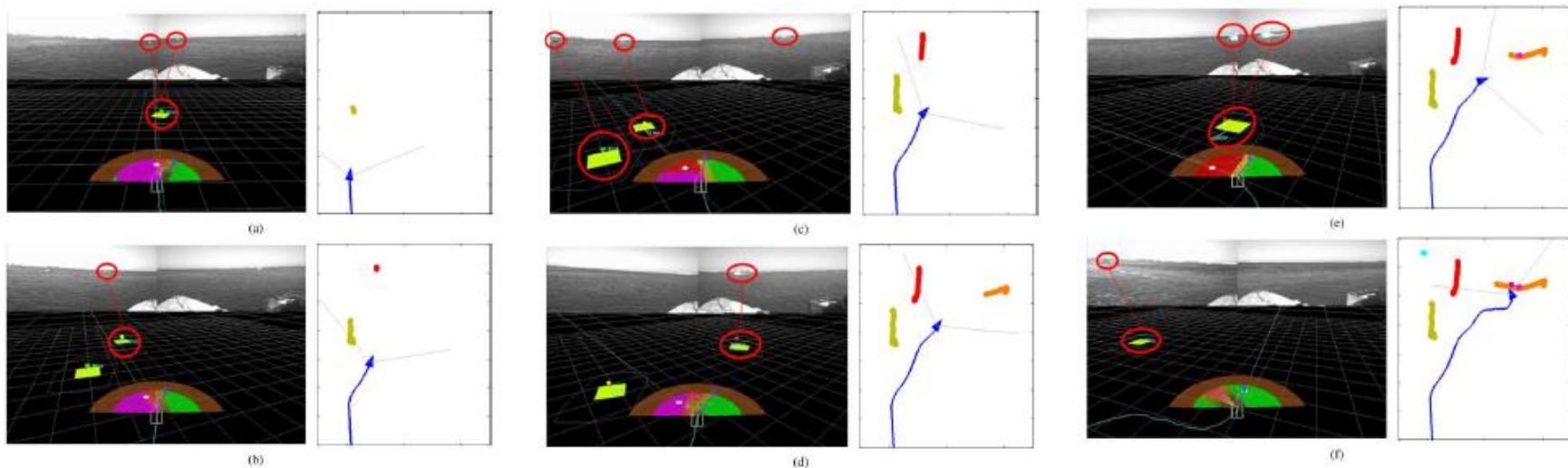


基于R-RA*算法的多目标避碰仿真



基于改进人工势场法的多船遭遇且目标运动场景的避碰仿真

美国JPL的Kuwata等(2014)将COLREGs规则在基于速度障碍法的速度空间内编码，实现了动态复杂环境下的无人船安全导航自主运动规划，并利用四艘船只进行了水上演示试验。



四船COLREGs场景水上演示。(a)探测到障碍;(b)识别正面相遇情形;(c)探测到他船处于正面相遇情形;(d)探测到交叉相遇船只;(e)躲避交叉相遇船只;(f)躲避交叉相遇船只,探测到追越船只;

避碰路径发展趋势 (Path planning's tendency)

- ❖ 相比局部路径规划算法，全局路径规划算法相对成熟；
- ❖ 部分传统的全局路径规划算法经过适应性改造后开始同样应用于局部路径规划算法；
- ❖ 针对无人船动态障碍，在局部路径规划中引入COLREGs规则可有效提高安全性，也是一种必然趋势；
- ❖ 目前无人船路径规划算法总体还处于发展阶段，大部分算法验证以仿真为主(Much simulations)，极少数海上实验也通常只针对简单情形，离完全自主规划的海上实用还存在一定距离(Lack of verification)。

2. 无人船海上侦察技术进展(Reconnoitre)

(1) 视频 (Vision)

- ❖ 目跟踪对象以**单目标**为主，跟踪方法主要采用**检测+预测**或**预测跟踪**
- ❖ 从采用传统的物体显著性检测、轨迹预测，发展到深度学习与相关滤波结合实现目标的自动检测、跟踪、**识别**；

(2) 航海雷达(Marine radar)

- ❖ 航海雷达主要为无人船的避碰功能服务，开展目标跟踪的研究较少；
- ❖ 主要基于**粒子滤波**、**卡尔曼滤波**方法对目标轨迹进行预测；

卢布尔雅那大学研究人员使用**基于语义分割的生成式模型**来检测海上目标。

将海上图像分为语义上的四部分：**天空、海面、海天区域，海上目标。**

❖ **三种高斯分量的混合模型**

描述海面、天空、海天区域

❖ **一种均匀分布**

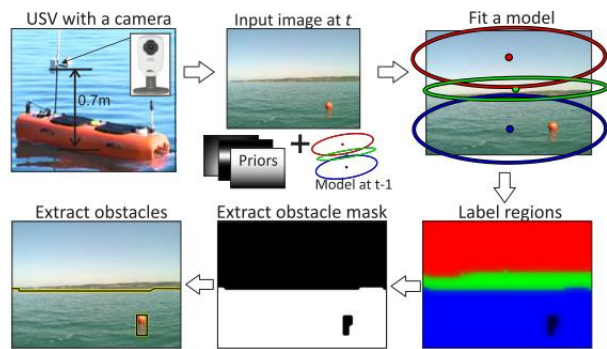
描述目标区域

❖ **改进的最大化估计**

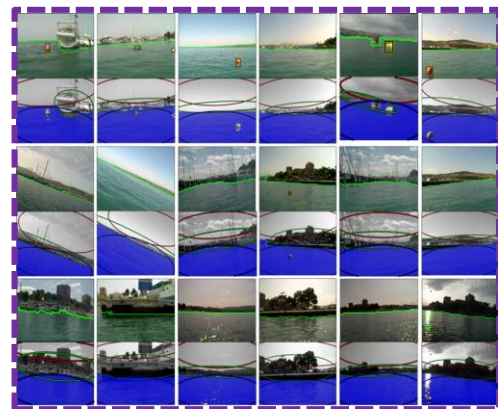
计算每个高斯分量的最优参数

❖ **马尔可夫随机场**

平滑分割结果



算法实现流程



Goals and Sea-sky line

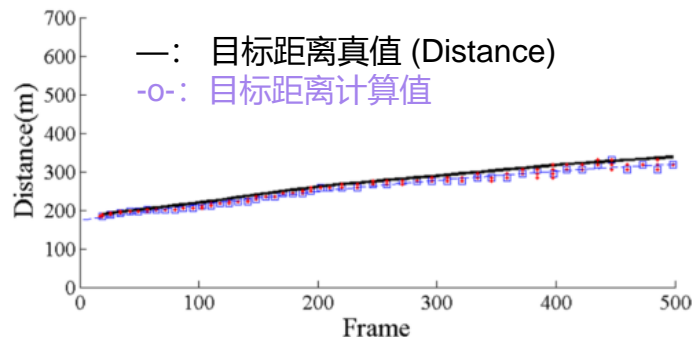
南洋理工大学研究人员基于双目视觉3D点云检测和时空上下文信息，研究目标跟踪(Stereo Vision)。

检测

- ❖ 降采样得到LD(Low Definition)图像
- ❖ 使用双目相关性方法重建3D场景及点云
- ❖ 在点云数据中，利用随机抽样一致性方法得到海平面
- ❖ 采用Harr特征确定ROI区域，位于海平面上方的限定ROI点确定为目标点

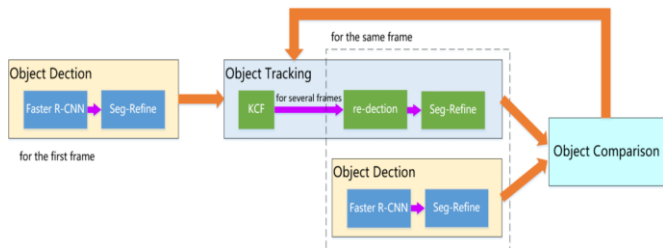
跟踪

- ❖ 基于贝叶斯框架的时空上下文学习目标跟踪



基于深度学习的检测+基于核相关滤波跟踪（华中科技大学）

- ❖ **Faster R-CNN**目标检测精度较高，识别结果较好。
- ❖ **KCF（核相关滤波）跟踪器**跟踪速度快，跟踪结果鲁棒性强。



算法流程



Result of object detection

目标跟踪发展趋势(Object tracking tendency)

- ❖ 单一手段难以实现目标的稳定、长时间跟踪，基于视频的跟踪方法难以解决目标遮挡、移入移出以及海上强光等难题，基于雷达的跟踪方法难以克服海上杂波干扰等问题。
- ❖ 现阶段无人船目标跟踪技术趋向于，以视频图像为主要手段，结合航海雷达和AIS，进行多源数据的时空融合(Fusion)，同时利用基于深度模型(Deep learning)的目标检测、跟踪相关技术，可进一步提升单目标甚至多个目标长时间鲁棒跟踪性能。

四、核辐射应急观测无人船(Nuclear leak)

我国沿海已有商业运行核电机组
19台，在建核电机组34台，到2020
年要达到40多台核电机组，但存在：

- ❖ 海上核辐射应急监测技术还比较薄弱
- ❖ 缺少无人化、自动化的海上抵近监测手段




Nuclear stations in China

从20公里扩大至30公里



311 Nuclear accident in Fukushima of Japan in 2011



面对日益严峻的海上核辐射监测形势，特别是服务于核电海域的疑似核泄漏应急监测，研制核辐射应急观测无人船，可为海上核辐射监测提供一种无人、抵近、自动的监测平台：

- ❖ 为核泄露先期评估提供信息 (Early evaluation)**
- ❖ 为其它人工监测方式提供早期预警(Early warning)**
- ❖ 有效降低人工监测危险性 (Reduce dangerous)**

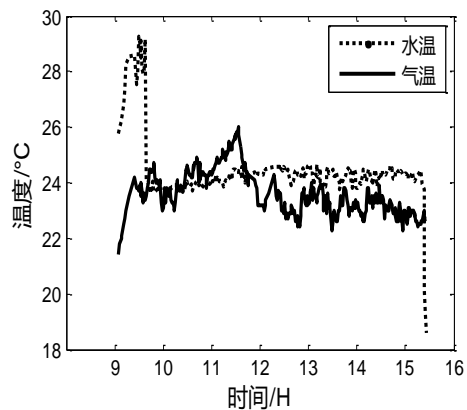
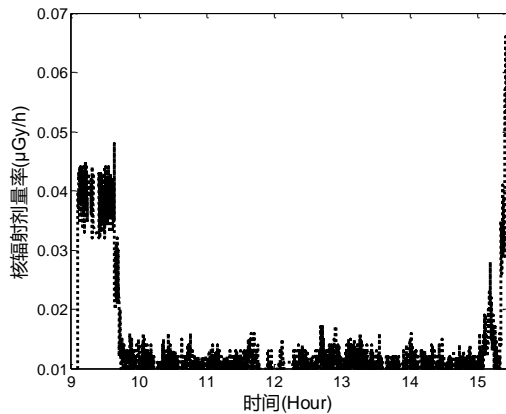
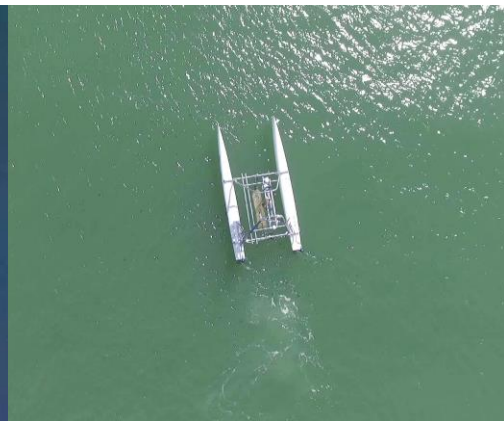
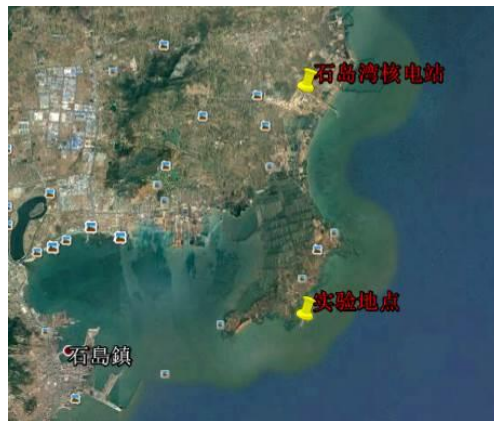
海洋一所研发了一种可遥控和自动航行的“久航490”核辐射应急观测无人船系统，集成了γ探测器 (Gamma detector)、CTD、气象仪、测深仪、摄像机等传感器，在走航过程中实时回传数据，用于疑似核泄漏应急监测，开展2次海上试验。



尺寸	4.9*2.5*2.5米
重量	500千克
续航里程	60~80千米
速度	1~6节
测量要素	核辐射剂量率、基本水文与气象、视频

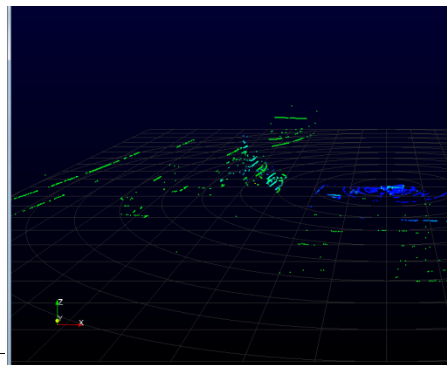
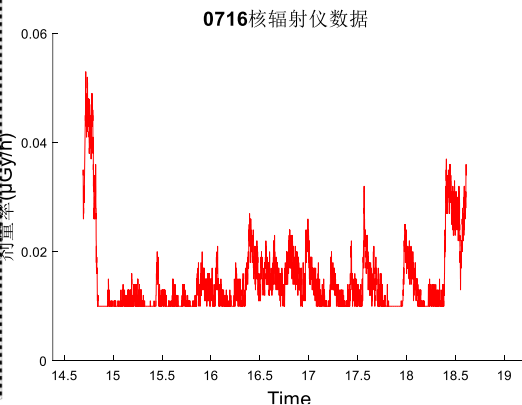
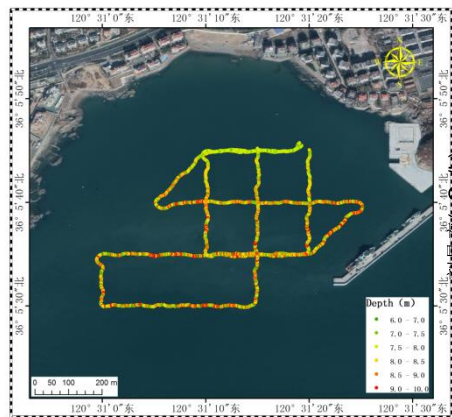
Sea experiment 1 (2017年9月)

石岛湾核电站(nuclear station)是全球首座将四代核电技术成功商业化的示范项目，是我国第一座高温气冷堆示范电站。实验获取了附近海域核辐射剂量率、气温、水温、风速、风向等数据。

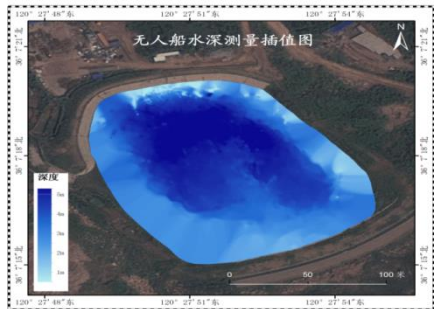


Sea experiment 2 (2018年7月)

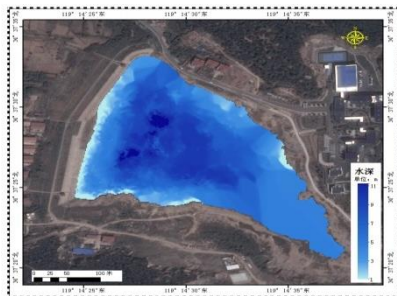
在北海分局码头开展了应用试验，在10个工作日内总航程约160km，主要完成了海上核辐射数据获取 (Radiation)，避碰测试 (OA)，船只目标跟踪(Goal tracking)等。



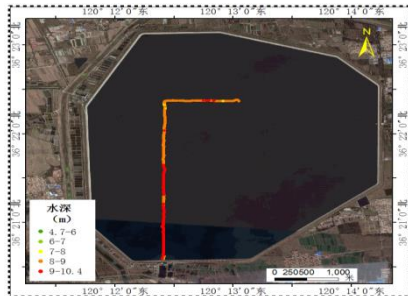
其它应用成果 (测深、采样、环境、水声)



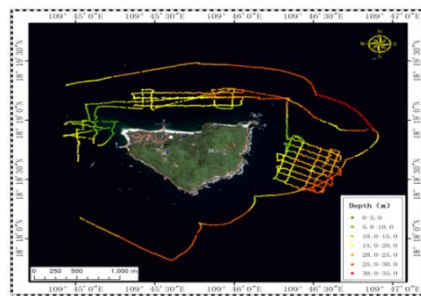
青岛某湖测深图



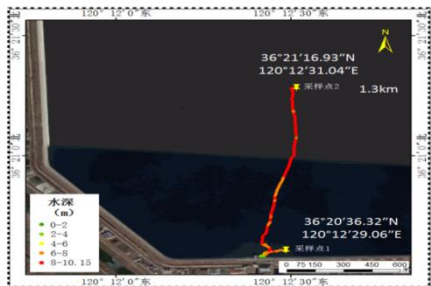
当路水库测深图



棘洪滩水库测深



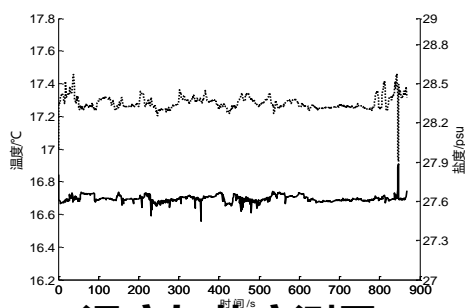
海南蜈支洲岛 bathymetry



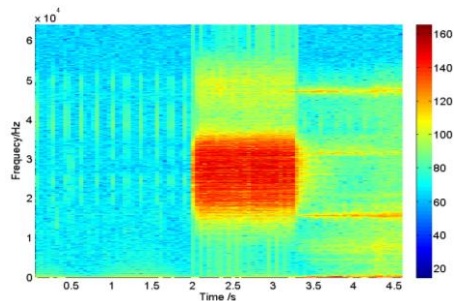
采水样 **sampling**



抵近监视



温度与盐度测量



Acoustic communication



Thank You !

Website: www.usbv-fio.com

Email: jinjiucaifio@fio.org.cn