水面无人舰艇智能技术概论

# 绪论

# 水面无人舰艇智能系统架构

# 水面无人舰艇智能感知与认知技术

# 水面无人舰艇自主决策技术

水面无人艇自主性是水面无人艇具备独立执行任务能力的基础,而自主性等级是对自主性强弱的一种量化。本章对水面无人艇自主性及其等级划分进行介绍,针对无人系统可变自主性研究方法作了分类介绍,并对系统体系结构做出详细说明。路径规划是实现水面无人艇自主执行任务的重点和难点,本章将水面无人艇路径规划分为全局、局部和近域危险规避3个层次,分别介绍适用于不同层次的水面无人艇路径规划方法,并对其进行仿真验证。

## 水面无人艇自主性水平

### 1无人系统自主性

在无人系统研究过程中人们发现，无人系统之所以能够“无需”操作者的干预，其关键就在于它具有一定程度的自主性（autonomy），即能够进行自我管理。因此要进行无人系统研究，首先需要明确自主性的定义。

关于自主性的定义，在很多相关研究中都有涉及，但是美国无人系统自主性等级（autonomy levels for unmanned systems，ALFUS）工作组提出的定义比较全面和规范。该工作组提出的自主性定义如下：

自主性是指无人系统拥有感知、观察、分析、交流、计划、制定决策和行动的能力，能够完成人类通过人机交互布置给它的任务。自主性可以根据任务的复杂性、环境的困难度和完成任务所需的人—机交互程度等因素来划分等级，进而表现出无人系统自我管理的状态和质量。

基于以上对自主性的定义，自主性与传统的智能性相比，前者体现了无人系统更好的自我管理能力，这种能力具有动态性，能够处理意外发生的态势，使人类的干预最小化，即具有自主性的无人系统必须具备生存能力和完成指定任务的能力；后者是系统设计者设计的静态能力，其智能性在设计阶段就已经确定，遇到问题和处理问题的类型都预先由程序决定。此外，也可以把传统的智能性看作是低等级的自主性，因为它也能够进行简单的自我管理，如智能导航。只是传统的智能性需要较多的操作者监督管理，而自主性是智能性系统的高级模块，需要建立在基本的智能功能基础上。

### 2自主性等级的划分及评价

根据自主性的定义，能够看出自主性是指系统自我管理的能力，这种能力有强弱之分。自主性等级（autonomy level）就是对自主性强弱的一种量化，这种量化与系统需要的交互信息量成反比，如图4-1所示。无人系统需要 的交互信息越多，对人类的依赖性就越强，其自主性的等级就越低；无人系统完全由外界控制，就变成遥控系统；相反，如果无人系统需要的交互信息很少，对外界的依赖越弱，就说明其自主性越强，自主性等级越高。

不同的智能系统具有不同的自主性等级，同一个系统在不同的时刻也可能有不同的自主性等级。为了便于衡量自主性的等级，对比自主性的差异，需要定义等级划分标准，并希望该标准有较好的通用性。

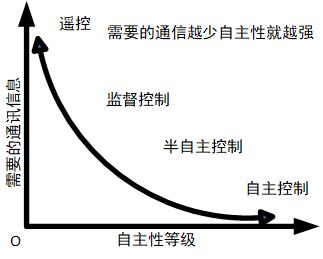


图4.1 自主性等级与需要交互信息的关系

ALFUS工作组从2003年开始，一直致力于开发一个通用的自主性等级框架。他们通过3个视角来衡量无人系统的自主性等级：任务难度（mission complexity）、环境复杂性（environmental difficulty）、交互水平（human interface）。用这3个轴来描述自主性等级，每一个轴各有一套衡量标准，如图4.2所示。

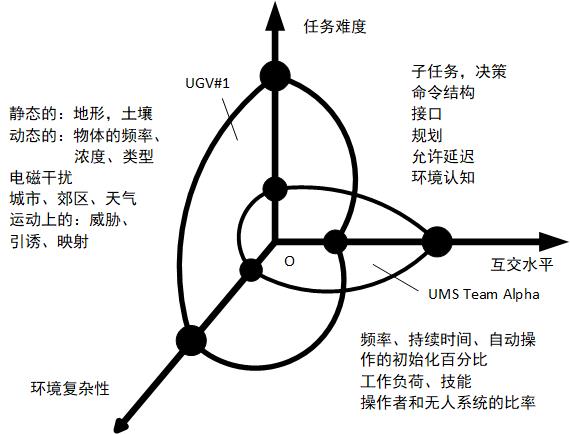


图4.2 自主性等级详细模型的结构和样例图

在对无人系统进行定级的时候，首先要进行任务逐级分解，根据详细模型中对3种视角等级的详细描述为其分配权值。概要模型是在详细模型的基础上进行总结和概括，将其自主性等级线性化为0~10或者1~10的一个范围，评估结果是概念上的自主性等级，一般只作为参考。

参考无人飞行器自主性的等级划分，定义水面无人艇6级自主性等级（见表4-1）。

表4.1水面无人艇自主性等级

|  |  |
| --- | --- |
| 主要特征 | 详 细 描 述 |
| 完全自主 | 系统不需要人员干预，就能完成所有的规划和环境条件范围内任何有计划的任务 |
| 混合启动 | 人员和系统都能根据感知的数据启动行为。针对人员明确或含蓄的行为，系统可以调整它的行为。人员能以同样的方式理解系统的行为，提供的许多方法能调整系统关于人员操作的职权 |
| 人员监督 | 一旦由人员给定最高级许可或指示，系统能完成广泛的活动。系统提供足够的洞察内部操作和行为等能力，这些操作和行为可以由人员监督并做适当改变。在当前被控制的任务范围内，系统不能自行启动 |
| 人员委派 | 按照人员委派的指示，系统可以完成有限的控制活动。这个水平包括自动航行控制、发动机控制和其他低级的自动操作，它们由人员决定活动或不活动，共同点是排除了人员的操作 |
| 人员辅助 | 针对人员输入，系统可以和人员并行完成活动。因此，增加了人员完成期望活动的能力。但没有人员附加的输入，系统就不能活动 |
| 人员操作 | 系统内所有活动都是人员启动控制输入的直接结果。系统并不自主控制它的环境，仅能够对响应的感知数据进行报告 |

通过上述自主等级衡量策略，可以对研制的智能设备的自主能力进行衡量，进而得到该设备自主能力的评价标准，这对于可变自主的研究有重要的启示作用。自主等级的划分方法和依据，可以供自主能力的动态评估参考，作为动态调整自主性的依据。

## 水面无人艇可变自主技术

### 无人系统可变自主性

可变自主源于英文adjustable autonomy，adaptive autonomy，sliding autonomy，它的定义体现了可变自主的特征，即可调整、可适应、可滑动。可变自主意味着在一个系统中，智能体之间动态地改变自主性的分配，这里的智能体包括人和其他具有智能的实体。

具有可变自主性的系统在完成任务时，具有效率高、分布式完成、鲁棒性好、适应性强、用户工作压力小的特点，能适合任务环境无限变化的情况。因此可变自主系统的研究具有重要的理论和实际应用价值。

可以看出，可变自主系统中自主性的变化不只是无人系统自主能力的变化，还体现用户自主性及与之对应的变化，即无人系统的自主性增加，用户的自主性就会降低，充分强调了人和无人系统之间的协作关系。可变自主系统在实现任务目标过程中，能够在智能实体之间动态分配决策权责。可变自主机制就是能够管理和实现自主性的这些变化，实现可变自主性的概念模型如图4.3所示。

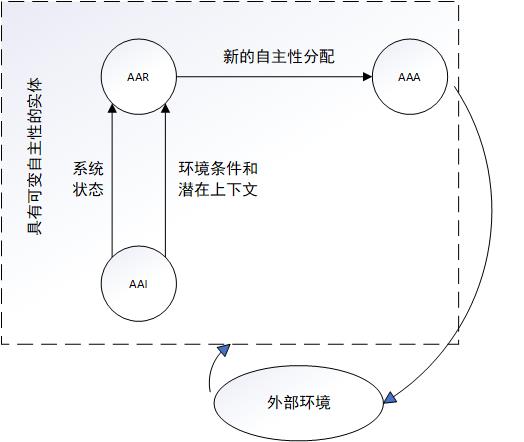


图4.3 实现可变自主性的概念模型

在无人系统中可变自主性可以通过如图4.3所示的概念模型来实现，该模型包括3部分构件：可变自主性信息模块（adjustable autonomy information，AAI）负责获取自主性推理时需要的系统状态信息和系统所处态势信息，其结果为无人系统对当前态势的建模；可变自主性推理模块（adjustable autonomy reasoning，AAR）负责根据上述模块获取的信息由人或者软件来进行自主性等级调整的推理，其结果为当前态势下无人系统的自主性等级；可变自主执行模块（adjustable autonomy actuation，AAA）负责根据推理的自主性等级结果实现授权的变化或者责任转移，即做出自主性的具体调整。

### 无人系统可变自主性研究方法

国外在2001年较早、较全面地提出了可变自主的概念和关于可变自主理论研究的需求以及概念模型。2001年，出现了一个可变自主完善理论研究和应用的例子，被后续的所有可变自主的研究者参考和引用。至今该项研究已获得多项进展和应用，下面对可变自主研究方法进行分类和介绍。

1）自主等级刻度盘的方法

刻度盘形象地说明了该方法的性质，那就是将自主性划分为不同的刻度（离散的若干个等级），操作者或者无人设备（Agent）对自主性的调节就像旋转刻度盘一样。每个刻度对应一个自主等级，从全自主到全手动控制，其间包括自主和手动混合控制系统的自主等级。不同的自主等级对应不同的规划算法。因此，该方法对于可变自主的研究主要分为两个步骤：

（1）在设计系统时，定义系统自主能力应有几个等级需要根据系统要完成的任务和能力来确定。划分等级的数量往往是不同的，可以对整个系统的能力划分，也可以针对不同的任务划分不同的等级。

（2）对应不同的等级，设计不同的算法实现任务规划。执行任务时，根据环境变化来判断影响能力的因素是否发生变化，然后根据变化计算对应的自主等级，调用对应的规划算法。或者用户主动干预自主等级，然后根据被设定的自主性等级进行任务规划，每个自主等级需要进行严格的试验。

这种可变自主实现方法是最简单的，但是自主等级是离散的，不能灵活地反映自主等级的调整。对于简单的系统可以采用，而对于活动复杂的系统则会表现出严重的局限性。

2）分层的方法

这种方法将负责Agent的规划能力和执行能力分到不同层次上。上层相当于管理者，负责规划该层的每个Agent负责一个子任务；底层相当于工程师，负责执行完成管理者的目标。可变自主实现的机制就是通过对上层Agent的管理，包括增加、删除和挂起来调节自主能力。增加负责规划的Agent，增加对应的自主能力；删除负责规划的Agent，降低对应的自主能力；挂起负责某些规划的 Agent，用户可以对规划结果进行审查，通过审查再激活。底层的Agent如果被挂起，就屏蔽了执行能力，变成了全遥控的控制过程。

这种可变自主实现方法中，自主性的调节需要用户控制，即用户对Agent的状态进行管理。

3）基于原则的方法

基于原则的方法，是用户建立一套系统必须遵循的原则，该原则是基于系统可能遇到的意外或为了适应一些变化时，需要系统遵循的处理意外或变化的方式。在原则中规定了无人设备在什么样的条件下需要获得用户的许可才能执行一些活动；在什么条件下，只能等待用户的决策方可执行任务等。用户能够通过原则，建立无人系统采取策略的偏好。

在原则中，将能够执行的活动分为几个集合：可能的活动、许可的活动、能够实现的活动、强制的活动、能独立实现的活动。活动有交集，对于自主性的调整就是通过原则中对上述活动集合的调整而实现。

4）决策权转移的方法

基于决策权转移的方法，其实现自主性调节的方式是通过决策权转移体现的。如果转移给无人系统自身，即为全自主；如果全部转移给用户，即为遥控；如果部分转移决策权，即为半自主。该方法主要研究两个问题：①对决策问题建立数学模型；②根据模型计算不同的智能实体，给出决策的质量。

一般来说，决策权可以采用多种转移方案形成决策树，计算每个分支期望的效用值，然后选择效用最佳的策略予以实施。期望的效用值为获得决策的概率与该决策质量的乘积。

在此基础上，可以研究不同数学建模方法，更好描述不同领域的需求。此种方式下的自主等级调整主要是由系统决定的，而不是用户干预的。

5.） 面向多任务的方法

面向多任务的可变自主方法，是以用户工作负荷为核心，其自主等级的变化随着用户对该任务的关注程度而变化，因此称为面向任务的、以用户为中心的可变自主。

这样的系统中往往有多个智能设备，即多个无人设备。其基本原理为：

(1)对用户当前的状态建立模型，描述用户的工作负荷和当前偏好。

(2)判断任务的紧急程度。

(3)判断用户的独立性。

(4)形成对多个无人设备(Agent)多个任务的自主等级评估结果，并予以实施。可见自主等级随着任务紧急和依赖性而变化。另外当用户关注某个任务时，负责该任务的Agent的自主等级会降低；反之，如果用户将注意力转移到其他任务，原来被关注的任务自主等级就会升高。也就是说，用户可以改变该任务的自主等级。

以上介绍了目前研究比较多的5种可变自主的研究方法，并从5个方面对上述各种方法进行了对比，具体对比情况如表5-2所示。

表5-2 可变自主研究方法的对比

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 可变自主研究方法 | 评估结果 | 裁决者 | 基础理论 | 适用情况 | 缺陷 |
| 自主等级刻度盘的方法 | 划分自主等级，结果为离散的标量 | Agent | 不同的自主等级，对应不同的规划方法 | 系统任务简单，面对情况不是非常多 | 不充分灵活 |
| 分层的方法 | 不分等级，自主性的变化在于规划算法的状态 | 用户 | 增加、减少、挂起负责规划的 Agent | 系统多任务，多种规划算法 | 操作者工作压力没有得到减轻 |
| 基于原则的方法 | 不分等级，自主性的变化在于原则中的规定 | Agent, 用户 | 利用原则限定自主性的变化 | 系统的实时性要求不是很高 | 只对极端意外情况予以自主性改变，没有考虑协作优化 |
| 决策权转移方法 | 不分等级，自主性评估结果为连续值 | Agent | 效用函数，信息价值 | 不确定性高 | 控制权转移方式较少(全部转移、部分转移) |
| 面向多任务方法 | 分等级，一般分3～4个等级 | 用户 | 以用户的关注为自主等级转移的依据 | 多个被管理的任务，和多个智能实体 | 智能实体较被动 |

### 水面无人艇可变自主系统体系结构

1.基于混合主动交互推理的水面无人艇可变自主体系结构

混合主动交互推理模块负责对水面无人艇(USV)的自主能力进行评估，决定是否需要调整自主等级，并将评估的结果传递给规划和执行系统和控制规划模块。

混合主动交互是指一种灵活的交互策略。在该交互策略下，每个Agent能够为要完成的任务尽自己最大的努力。而且，在多数情况下，Agents的角色不是提前决定的，而是当有问题需要解决时由Agents彼此之间进行洽谈确定的。有时候可能一个Agent进行主动控制交互，而其他Agent起辅助作用，只需按照要求进行交互；还有时候可能恰恰相反，它只需要独立工作，当其他Agent有需要时才给予帮助。Agents动态改变它们的交互类型，以求最好解决当前的问题。

USV无人系统实现可变自主的系统需求如下：

(1)感知外部环境变化。

(2)通过现存的任务，识别用户计划、意图和进展。

(3)计算高层次的态势因素。

(4)根据计算的态势因素来决定自主程度。

(5)为自主过程更新控制指令。

从上述需求中可以看出，环境因素、用户因素和任务因素，是决定自主等级的关键；要实现混合主动，用户的识别就不能缺少；还有就是自主等级的实施。

因此，在基于混合主动交互推理的USV可变自主系统中，可变自主模块应位于智能规划之前，如图5-4中灰色的部分所示。



图5-4 USV可变自主模块的加入

从图5-4可以看出，可变自主部分在任务规划之前，需要根据环境信息、监控系统反馈、用户布置的任务(经过识别和推理后正确的任务)、USV运动和状态信息来进行综合推理，并把推理后所得自主等级实施于对任务规划的控制。

基于上述需求和定位，可以对USV系统可变自主性实现的体系结构进行详细设计，得到系统的数据流程图，如图5-5所示。图中的USV可变自主系统由两部分组成，以通信管理模块为边界，从用户接口到通信管理模块为第一部分，是控制平台部分需要实现的框架结构；从通信管理模块到USV为第二部分，是安装在USV上的智能决策部分。

2.控制平台各主要模块说明

1)用户建模模块

主要输入为用户事件(用户的键盘和鼠标事件)和态势信息，对用户事件进行识别和判断，输出为识别出的、正确的用户指令，并将其按照内容传递给态势信息管理或者任务管理模块，修改公共自主模型，流程如图5-6所示。

图5-5水面无人艇系统可变自主系统结构



图5-6 用户建模块的数据流程

图中用户通过图形用户接口对系统进行控制，控制指令通过鼠标和键盘事件传递进入系统。首先，需要判断用户事件的类型，应依据目前已知的态势信息和USV控制规则；其次，将本次用户的行为采用用户模型进行描述并做出判断；最后将正确的用户指令分类后传递给对应的模块(任务管理模块或态势信息管理模块)。

2)态势信息管理模块

负责管理USV传回的态势信息，并且接受用户对态势信息的识别和查看。输入为来自通信日程的态势信息和用户对态势识别结果，输出为态势信息和报警提示，显示在图形用户界面，流程如图5-7所示。



图5-7态势信息管理模块的数据流程

如果用户建模识别用户指令为正确的态势识别信息，那么就将其传入态势信息管理模块。态势识别信息分为两种：用户对态势信息查看的请求和用户对态势进行识别的结果。

3)任务管理模块

负责对用户与任务相关的指令做出响应。输入为经过用户建模识别、形式化后的任务相关指令，输出为经用户对任务的干预，写入通信日程和任务信息文档中,流程如图5-8所示。



图5-8 任务管理模块的数据流程

任务管理模块主要有两个作用:

(1)全局任务规划(高层任务规划),规划结果保存到任务信息文件中。

(2)用户对任务的干预,包括任务规划结果的修改和对水面无人艇行为的控制。

3．水面无人艇上主要模块说明

1)可变自主模块在系统中的作用

水面无人艇(USV)可变自主的实现,需要在规划模块之前增加可变自主模块,负责进行USV自主能力评估,再利用评估结果控制USV的智能规划过程。经过前面的描述,知道USV有负责与控制平台通信的接口,管理来自控制平台的任何信息,同时又需要不断感知环境的变化和任务的进展,周期性地对USV的自主能力做出评估,根据评估结果对自主性做出调整,并且按照调整后的自主等级由操作者和USV协作完成任务的规划。

USV可变自主系统控制流程如图5-9所示,重点描述了可变自主模块(adjustable autonomy model，AAM)内部的数据流程。AAM中包括的主要模块为任务建模、态势推理和混合主动交互推理,另外一个辅助但是不可或缺的部分是通信管理。



5-9 USV可变自主系统的控制流程图

(1)通信管理模块。该模块负责USV与控制平台的通信,是实现混合主动交互的可变自主的关键辅助构件,因为通信管理模块(communications process model，CPM)要根据自主等级的不同管理不同的通信内容。其输人为规划和执行系统反馈的系统监督信息和任务规划的结果,以及其他模块产生的待通信信息,由CPM负责将这些信息写入通信日程文件,准备传输。

(2)可变自主模块。模块AAM负责自主等级的评估和调整,将评估的结果写入可变自主向量,并将其传递给规划和执行系统。输入信息由用户信息向量、态势矩阵以及活动任务集合组成,根据混合主动交互模型进行推理产生当前任务的自主能力向量。

(3）规划和执行系统。该模块负责详细的任务规划和执行,需要按照自主能力向量对规划过程进行管理。输入为活动任务集、自主能力向量和控制系统反馈的控制情况,任务规划的结果用于任务控制和监督系统。规划和执行系统(planning and execution system，PES)的输出主要是对USV控制系统的控制指令。

(4)控制系统。USV底层控制系统,负责将经过解析和形式化后的规划结果予以实施。

2)通信管理模块的功能描述

控制平台和USV两部分上的通信过程管理模块的功能和结构基本相似,都是负责创建和接收通信信息,并且维护通信信息与本地各个模型信息的一致性,即如果各模型描述的信息发生变化,需要将该变化添加到通信日程中;反之,如果接到了新的通信信息,则需要将通信信息发布到各模型描述的信息中。因此,消息的订阅与发布模式很适合解决该问题,如图5-10所示。



图5-10 消息的订阅与发布模式

上述模型基于订阅与发布模式,但是根据通信的双向性,将其改为双向的信息发布。通信模型中包含用户信息、态势信息、任务信息、自主信息和监控信息，但不是每次通信都含有以上全部信息。

3）任务建模的功能描述

(1)用户模型的作用。用户模型是可变自主框架的关键组件之一,可变自主框架是由控制平台和USV两部分组成,因此从某种意义上来说,USV与控制平台是相互协作来完成各任务的,而控制平台是用户干预USV决策过程的桥梁,体现用户对USV自主决策过程的监督﹑协助和干预。USV的可变自主性主要体现在不同态势下其完成任务的自主能力的变化,即同样的任务在不同的态势下,USV的自主决策能力是不同的。当遇到复杂态势USV无法处理时，USV需要利用操作者的认知能力,去辅助完成任务。

用户模型作为可变自主框架中的一个重要组成部分,其作用主要是能够正确理解和评价用户的意图,帮助提供有意义的信息给用户,进而协作完成复杂的任务。另外,我们最终的目的是要提高USV的自主能力,尽可能地减少人工干预的次数,因此当USV自主运行时,操作者只是监控USV运行的状态。只有当USV无法完成某种任务或者完成此任务消耗的能量和时间远远大于预期时，USV的可变自主模块才会降低USV的自主等级,进而向操作者求助,即当操作者拥有对USV的控制权的时候,用户模型才会启动。在启动的过程中,操作者为了完成某项任务,通过观察USV所面临的环境做出一系列的行为序列。为了更好地和用户协作,用户模型会通过操作者所做出的行为序列推断出用户的意图,一方面可以及时反馈给操作者有意义的关键态势要素,帮助操作者更好地做出决策;另一方面可以通过感知用户的意图,了解操作者当前的注意力和操作者所遗漏的威胁,进而向操作者发出警告,以提醒操作者尽快转移注意力去处理所存在的威胁。

(2)用户模型的难点。要对操作者进行完整建模是很困难的:①很多相关的用户情感操作信息如语言和手势等是很难被系统处理的;②需要完成的任务可能有很多种不同的方法,这也是难以对任务进行合理分析的原因;③从感知数据和存储数据集合中提取相关操作员的属性,这些属性包括认知工作量、当前任务、情绪状态和疲劳程度等,而这些属性在医学上又是很难定义和测量的。综上所述,根据用户的操作行为来推断用户的意图需要解决如下几个关键问题:

a,操作意图与操作行为之间的关系。操作者的行为序列和用户意图有可能是一种多对多的映射关系,同一种行为序列有可能会产生不同的用户意图;如何尽量准确地评测用户意图是一个关键问题。在这种情况下,利用概率知识进行意图推断是一个很好的方法。

b.操作行为与操作效果之间的关系。操作者针对某一状态下所做出的操作行为可以帮助USV完成某一个它自己无法自主完成的任务。然而由于环境的不确定性,当操作者的注意力全放在这个任务的时候,也许会遗漏态势推理模块已经观测到的威胁。这在某种程度上使操作者的操作效果有可能大打折扣。在这种情况下,用户模型必须推断出用户的意图或者注意力,然后态势推理模块根据用户的意图在威胁来临之前通知操作者,避免意外事件的发生。

c，操作行为与操作者能力导致的误操作之间的关系。操作者在执行任务的过程中,在不同的环境下,本身的操作能力、分析能力和反应能力有可能会下降,而这又可能会产生某些误操作而导致重大失误。因此用户建模模块中评价用户操作组件将会对用户的行为进行判断,使之只有在合理的情况下才允许执行。

d.态势建模的功能描述。在可变自主系统中,USV执行远程任务时可能面临复杂的环境和任务﹑信息的不完备和不确定性,尤其是新情况及突发事件出现的概率和频率都很高,因此可变自主模块中的态势推理应能及时准确地预测危险态势,计算出态势的紧急程度,为自主等级评价子模块提供其确定系统自主等级所需的数据,使系统能够合理分配人机任务﹐提高系统的自主性和效率,并且将操作者没有注意的紧急态势显示在用户接口界面上,并发出警报。

传统的态势评估多用于自主系统中,对战场态势和面临的威胁进行完整与适时的评估,通过识别敌军的行为模式来推断敌军意图,并对邻近时刻的态势变化给予预测,依据一定的知识和规则,以数值的形式指示出态势中的威胁及威胁大小。传统态势评估一般分为3部分:态势觉察、态势理解和态势预测。根据具有可变自主系统的水面高速无人平台执行远程规避这一任务的情况，把水面无人艇可变自主框架中的态势推理分为事件检测、威胁评估和冲突预测3部分。

USV态势推理过程实际上是求解当前外部环境的威胁源对当前任务的影响程度。由于外部威胁源会对USV的航行能力、生存能力、通信能力和感知能力等产生影响,从而与USV完成任务的能力产生冲突,USV的态势推理最终求解的是这种冲突的紧急程度。如果冲突严重影响USV自主完成任务.那么紧急程度高时,系统就会将当前的态势以态势矩阵的方式传递给可变自主模块,由可变自主模块重新进行人机任务的分配,提高系统的效率。并日提醒被操作者忽略的紧急态势。在水面告诉无人艇执行任务时的复杂环境下,态势推理的对象是环境中随时间推移而不断运动并变化着的实体,实体包括USV本身及外部环境中的各种危险,例如船只,岛屿,礁石和危险区等。USV的态势推理事件检测就是对这一动态变化的实体进行感知并提取出对于态势有关的事件。然后根据所提取的事件触发威胁评估,计算各威胁源对USV的航行能力、生存能力,通信能力和感知能力的威胁程度。最后结合USV要执行的任务,对当前态势下影响USV完成任务的冲突进行检测,计算出冲突的紧急程度。

e．混合主动交互推理的功能描述。混合主动交互推理模块负责对USV的自主能力进行评估,决定是否需要调整自主等级,并将评估的结果传递给规划和执行系统(PES)以及控制规划模块。

混合主动推理模块的输入为来自态势推理模块的态势矩阵、用户信息向量以及当前活动任务集合,经过自主等级确定后,输出活动任务集合对应的自主向量到PES,控制任务规划的执行和实施。

混合主动推理模块,也称为协作控制子模块,该模块主要功能是根据态势推理结果的态势矩阵,针对活动任务集合对USV能力的需求做出判断,形成混合自主矩阵,传递给PES,控制任务规划决策权的变化。

基于上述思想,需要解决的关键问题就是考虑调整自主等级的条件:①由于威胁的出现,原任务规划不能正常实施;②当现在的任务规划预测其即使不影响现在当前规划,但是有新情况出现。

以上两种情况需要重新规划时,应评估USV的能力,调整自主等级。另外进行初始任务规划时也需要考虑,按能力进行子任务的分配,即为任务进行自主能力的配置。

只有当需要重新规划时,混合主动交互推理模块才被调用,来评估重新规划时的自主能力,控制流程如图5-11所示。



图5-11混合主动交互推理的详细控制流程图

从图5-11可知混合主动交互推理模块的控制流程较简单,但在实现过程中却是算法的集中部分,因为这里的任各分配是提前完成的(提前量为远程范围),只能概要地将控制权分配。当USV进人可视范围后,可根据看到的实际态势进行自主性的微调。

## 路径规划技术

### 全局路径规划技术

全局路径规划技术是指根据任务目标和环境信息，在整个任务区域内规划出一条最优路径，使得无人舰艇能够从起点到达终点，并尽量满足约束条件。这项技术考虑了环境的影响因素，如风、浪、流等，以及舰艇的动力性能和能耗等因素。全局路径规划的目标是实现高效、安全和稳定的航行。

### 局部路径重规划技术

局部路径重规划技术是指在航行过程中，根据实时获取的传感器数据和环境信息，对舰艇当前的路径进行实时调整和优化。这项技术可以使无人舰艇能够在遇到障碍物、变化的环境条件或突发事件时做出快速反应，并通过重新规划局部路径来保持航行的平滑度和安全性。

# 水面无人舰艇自主控制技术

本章介绍了无人舰艇的运动控制和载荷控制方面的关键技术，自主航行技术包括航速航向控制和跟踪控制，主要包括位置保持控制、路径跟踪控制和轨迹跟踪控制。航行与载荷一体化控制技术是针对任务要求，考虑环境动态变化和装备状态变化的动态控制技术，包括目标跟踪控制和自主避障控制方法。

## 自主航行控制技术

### 镇定控制

镇定控制是指无人舰艇在自主航行过程中保持稳定的控制技术。它主要关注舰艇的航速和航向控制，以确保舰艇能够稳定地行驶。镇定控制涉及到舰艇的控制算法和控制器设计，以及对传感器数据的实时处理和反馈控制。通过镇定控制技术，无人舰艇可以有效地抵抗外界环境的影响，保持航行的平稳性和稳定性。

### 路径跟踪控制技术

路径跟踪控制技术是指无人舰艇在自主航行中按照预定路径进行控制和导航的技术。它通过实时监测舰艇的位置和姿态信息，并与预定路径进行比较，然后采取合适的控制策略，使舰艇能够准确地跟踪预定路径。路径跟踪控制技术包括了舰艇的位置保持控制和舰艇的航向控制，确保舰艇能够按照预期的轨迹进行航行。

### 轨迹跟踪控制技术

轨迹跟踪控制技术是指无人舰艇在自主航行中按照预定轨迹进行控制和导航的技术。与路径跟踪不同，轨迹跟踪更加注重舰艇的动态性能和航行效果。通过轨迹跟踪控制技术，无人舰艇可以实现更加精确的航行轨迹，包括曲线航行、变速航行等，以满足不同任务要求和环境条件下的航行需求。

### 自主避障控制技术

自主避障控制技术是指无人舰艇在自主航行过程中避免障碍物和避免碰撞的控制技术。它通过利用传感器数据和环境感知技术，实时检测舰艇周围的障碍物，并采取相应的避障策略和控制动作，使舰艇能够安全地绕过障碍物。自主避障控制技术可包括避障路径规划、障碍物检测和避障决策等方面的内容。

## 航行与任务一体化控制技术

### 水面警戒巡逻任务一体化控制技术

水面警戒巡逻任务一体化控制技术是指将航行控制与警戒巡逻任务相结合的技术。无人舰艇在执行警戒巡逻任务时，需要根据任务要求和环境情况，实现航行和任务目标的一体化控制。这项技术要求舰艇能够根据巡逻区域的特点和任务要求，合理规划巡逻路径，同时保持警戒状态和及时响应潜在威胁。

### 水下目标探测任务一体化控制技术

水下目标探测任务一体化控制技术是指将航行控制与水下目标探测任务相结合的技术。无人舰艇在执行水下目标探测任务时，需要通过合理的航行控制和载荷控制，实现对目标的准确探测和定位。这项技术要求舰艇能够根据任务需求和水下环境的特点，选择合适的探测方案和路径规划，同时实时调整舰艇的航行和载荷控制，以提高目标探测的效率和精度。

### 水面目标跟踪任务一体化控制技术

无人艇在水面的目标跟踪主要任务是在视频流中仅给定位置信息的情况下定位目标。本小节主要介绍典型基于核卡尔曼滤波器进行目标跟踪的算法，讨论KCF算法的局限性，提出相应的解决方案：对目标分别提取HOG 纹理特征和颜色特征，然后根据两个特征的响应值进行加权融合，可以有效地区分目标和背景干扰物，以强调目标和干扰物之间的纹理特征差异，从而提升跟踪的精度和成功率。

### 水面应对威胁的规避决策技术

分析无人艇在主动威胁下自主航行的难点与约束。通过现有的威胁规避算法的分析比较确定了采用分层结构的思想，将慎思型实时威胁规避路径规划和基于反应型的危险规避方法相结合为无人艇提供实时威胁规避指导。并对双层威胁规避结构中采用的RRT算法和速度障碍法的原理进行介绍和分析。

# 无人舰艇集群协同感知与认知技术

# 无人舰艇集群协同决策与控制技术

# 有人无人协同技术

## 有人无人协同的态势感知与认知技术

通过有人无人协同的合作行为控制技术，可以实现有人和无人系统之间的协调和配合，提高整个系统的任务执行效率和安全性。各个部分的内容将深入探讨有人无人协同技术在态势感知与认知、任务分配与规划以及合作行为控制等方面的关键问题和方法。

### 有人无人协同态势研判

有人无人协同态势研判是指在有人和无人系统之间建立有效的信息交流和共享机制，以实现对环境态势的共同认知和理解。这项技术要求有人和无人系统能够将各自感知到的信息进行融合和处理，形成更全面、准确的态势认知结果。通过有人无人协同态势研判，可以实现对目标、障碍物、任务需求等重要信息的共享和协同分析，提高系统的决策能力和执行效果。

### 有人无人协同态势预测

有人无人协同态势预测是指利用历史数据和实时感知信息，对未来环境态势进行预测和推测的技术。通过有人无人协同态势预测，可以提前识别出可能出现的威胁、变化和机会，为协同系统的决策和行动提供准确的依据。这项技术要求有人和无人系统能够共同分析和识别环境中的模式和趋势，预测未来的态势发展，从而做出相应的协同决策和行动计划。

## 有人无人协同控制模式

### 无中心分布式控制模式

即编队内所有无人艇与有人艇共同受上级指挥控制站指挥，自主水平一致，属同级别的协同关系，可相互通信，即双向互补互动。有人艇和无人艇接到上级下发的任务序列指令后，依据战场态势和作战要求，生成行动方案。并将自身状态和获取的信息向上级汇报，整个过程受到上级的监督和控制，当战场出现未预料到的情况时，上级指挥站根据战场态势的改变，调整任务指令，下发至有人艇和无人艇，指挥有人艇和无人艇及时完成任务。该控制模式是最终发展的理想趋势，但对无人艇要求较高，需要无人艇具有很强的独立计算、分析和决策能力和自主控制能力。

### 完全集中式控制模式

即有人艇有指挥无人艇的绝对权力，无人艇之间不需要协同，只需服从有人艇的命令，且编队中的无人艇平台的之间的通信、信号的传输和控制均由有人艇来控制，有人艇可以与所有无人艇分别通信，无人艇之间不进行通信。有人艇制定基于导航点的任务计划，例如发射武器、侦察、干扰敌方等，无人艇完全遵守有人艇命令去执行，有人艇也可遥控无人艇上的载荷。概括来说完全集中式控制模式是对信号集中控制，有人艇做分析和决策，无人艇负责执行，即无人艇配合有人艇。完全集中式控制系统较为简单，求解速度和质量受到通信精度和信息接受率的限制，有人艇负责的控制负载较大，过于依赖中央节点，一旦出错对整个系统的影响较大，系统的鲁棒性和容错性不足。

### 有限集中分布式控制模式

有限集中分布式控制模式是介于无中心分布式控制模式和完全集中式控制模式之间的一种折中方案。在这种模式下，系统将一部分决策和控制功能下放到本地节点，同时保留中心控制节点对整体协同和调度的控制权。有限集中分布式控制模式能够兼顾系统的灵活性和效率，减轻中心节点的负担，同时保持对整体系统的整合和协调。

## 基于有限集中分布式控制模式的任务分配

### 问题描述

有人无人协同的任务分配与规划技术是指将任务分配和规划问题转化为数学模型，并通过优化算法求解最优的任务执行方案。在有人无人协同系统中，任务的分配和规划需要考虑到有人和无人系统的特点和能力，以及任务的约束和优化目标。问题描述阶段主要是明确任务的性质、约束条件和优化目标，为后续的任务分配和规划提供准确的问题定义。

### 目标函数

目标函数是有人无人协同任务分配与规划的核心，用于衡量任务执行方案的优劣。目标函数的设计要考虑到任务的关键指标和约束条件，如执行时间、资源利用率、任务完成率等。通过合理选择和设计目标函数，可以实现任务分配与规划的最优化，使协同系统能够在满足约束条件的前提下，以最优的方式完成任务。

### 约束条件

约束条件是指限制任务分配与规划过程的条件和限制。这些约束条件可以包括任务的时间窗口、资源限制、任务间的依赖关系等。在有人无人协同系统中，约束条件的考虑要综合有人和无人系统的特点和限制，确保任务的合理分配和规划。

### 任务分配问题求解

基于有限集中分布式控制模式，建立相应的数学模型之后，进行求解以及呈现任务分配结果。

# 无人舰艇智能培育技术

# 参考文献