

一种多无人机协同方法及其性能分析

徐胜红,曹文静,李文强

(海军航空工程学院 控制工程系,山东 烟台 264001)

摘要:多无人机协同执行任务能够提升无人机的作战效能和生存性,而协同方法是协同的基础。针对现有无人机协同方法在实际应用中的缺陷,将工作流理论引入多无人机协同,提出了基于工作流的多无人机协同方法。基于工作流的多无人机协同方法通过预先设定无人机的工作流,将无人机的自主行为限定在一定的范围内,通过同步所有参与协同的无人机执行任务的步调和战场态势,保证了协同决策和决策结果的一致性,从而达到无需协商决策结果,而实现协同的目的。与现有多无人机协同方法的性能进行了分析比较,结果表明,基于工作流的多无人机协同方法的协同时间更稳定。

关键词:无人机;协同方法;工作流

本文引用格式:徐胜红,曹文静,李文强.一种多无人机协同方法及其性能分析[J].四川兵工学报,2015(8):100-103.

Citation format:XU Sheng-hong,CAO Wen-jing,LI Wen-qiang. Multi-UAV Cooperation Method and its Performance Analysis[J]. Journal of Sichuan Ordnance,2015(8):100-103.

中图分类号:TP393.4; TJ8

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2015)08-0100-04

Multi-UAV Cooperation Method and its Performance Analysis

XU Sheng-hong,CAO Wen-jing,LI Wen-qiang

(Department of Control Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Cooperation of multi-UAV could improve the combat effectiveness and survivability. Cooperation method is the base of cooperation. To overcome the practical weakness of the existing multi-UAV cooperation methods, work flow theory was applied to multi-UAV cooperation, and a workflow-based multi-UAV cooperation method was proposed. With the workflow-based multi-UAV cooperation method, specific work flow was preset for each UAV, which specified the activities and execution processes of UAV. By synchronizing all the UAVs' activities and the battlefield situations stored in each UAV, the decision results of all the UAVs were the same. As a result, it is not necessary to negotiate decision results of UAVs further. Performance of the workflow-based multi-UAV cooperation method was analyzed. Results show that, compared with the existing multi-UAV methods, cooperation time of workflow-based multi-UAV cooperation method is more stable.

Key words: UAV; cooperation method; work flow

在复杂多变的信息化战场环境下,单个无人机执行侦察或攻击等任务时面临侦察角度和范围、杀伤半径和摧毁能力等诸多方面的限制,制约了作战效能的发挥。多无人机协同作

战是根据作战目的,组织多无人机协同实施作战行动,对敌目标进行协同搜索、跟踪、攻击和防御,其中,多无人机间的有效协同是提升整体作战效能的关键,而协同方法是协同的

收稿日期:2015-01-20

基金项目:国家自然科学基金(61203168);中国博士后科学基金(2011M500156;2013T60922)

作者简介:徐胜红(1974—),男,博士,副教授,主要从事无人飞行器组网技术研究。

基础。因此,协同方法是研究多无人机协同执行任务的最重要的内容。

目前,多无人机协同执行任务过程中所采用的协同方法主要有:基于地面控制站的协同方法^[1,2]、基于中心节点的协同方法^[3]、基于多无人机间协商的协同方法^[4-8]。

1 现有多无人机协同方法的局限性

基于地面控制站的协同方法,由地面控制站进行协同决策和控制,其过程是无人机将感知到的战场态势实时传回地面控制站,地面控制站根据战场态势,决策各无人机的行动,并遥控和指挥各无人机完成各自的任务,因此,这种由地面控制站决策和控制的协同行为,并不是无人机间直接的协同。当无人机需要远离地面控制站协同执行任务时,这种基于地面控制站的协同方法不再适用;另外,这种方法需要无人机传递战场态势信息给地面控制站,由地面控制站决策后,才将决策和控制信息传回给各无人机,这往往会导致无人机的决策和行动延迟,难以跟上战场态势的迅速发展,从而限制了整体作战效能的提升。

基于中心节点的协同方法,选择参与协同的无人机中的一个无人机作为中心节点,所有无人机感知到的战场态势都传递给中心节点,由中心节点决策,并指挥与控制所有其他无人机的行为。这种方法不需要地面控制站,但在战场环境下,可能会频繁发生中心节点失效或被击落的情况,导致增加大量重新选择中心节点的时间,从而严重延迟了决策时机以及无人机的反应时间,难以实现有效的协同。

基于多无人机间协商的协同方法,每个无人机都有一定的自主能力和决策能力,各无人机根据自身掌握的局部战场态势,进行决策,然后,多无人机间就决策结果进行协商,协商一致后才实施行动,完成协同。在这种方法中,由于各无人机掌握的局部战场态势存在差异,且存在着利益差别,因此,为维护各自的利益,不同决策者作出的决策结果可能不一致甚至冲突,这时还需要多无人机间进行决策结果的协商,以消除矛盾和冲突。这种协同方法主要存在协商时间过长,有时甚至难以达成一致目标的问题,影响到决策和协同的及时性。

2 基于工作流的多无人机协同方法的基本思想

为了克服现有多无人机协同方法的不足,需要既保证无人机具有一定的自主性,又避免对决策结果的进一步协商。考虑到无人机上信息处理和分发不受能源限制的特点,本研究提出如下的决策方法,即:设任意无人机都能决策,对于同一个事件的决策,只要采用的决策方法相同,以及决策输入的处理数据相同,则产生的决策结果也相同。也就是

$$Y = F(X)$$

其中: X 为决策的输入数据; F 代表决策方法; Y 为决策结果。若对于任意参与协同的无人机, F 相同, X 相同,则 Y 也是相同的,且不需在无人机间协商和共享 Y 。

无人机执行任务过程中,一般都会包括多次不同的决策,为了保证所有参与协同的无人机的 F 及 X 相同,需要以下3个条件:

- 1) 所有参与协同的无人机执行任务的过程和步调相同,从而保证决策事件是相同的;
- 2) 针对同一决策事件,采用的决策方法 F 相同;
- 3) 针对同一决策事件,进行协同决策前,所有参与协同的无人机的决策输入数据是相同的。

为了满足以上3个条件,本研究将工作流理论引入多无人机协同方法中。

工作流,就是为实现某一特定目标而必须完成的一些任务的序列及执行过程,它包括一组活动及其相互间的顺序关系,包括活动的启动和终止条件,以及对每个活动的描述。

工作流管理就是将现实世界中的业务过程转化为某种形式,并在此形式表示的驱动下完成工作流的执行和管理。

基于工作流的多无人机协同方法需要采取以下措施来满足以上3个条件:

- 1) 为了保证所有参与协同的无人机执行任务的过程和步调相同,需要在开始协同前,设置相同的工作流;
- 2) 为了保证针对同一决策事件,采用的决策方法 F 相同,需要在开始协同前,针对特定的决策活动,设置相同的决策方法;
- 3) 为了保证针对同一决策事件,进行协同决策前,所有参与协同的无人机决策输入的数据是相同的,需要在开始协同前,设置相同的无人机决策输入数据,并在协同决策前,同步无人机决策输入数据,使其保持一致。

在基于工作流的多无人机协同方法中,主要包括2个数据结构的设计:工作流和决策输入数据。

1) 工作流的设计。将工作流包括的活动分为2类,一类是协同决策,另一类是单机任务执行。在执行协同决策类活动时,首先通过无人机之间的直接通信和信息交换,来同步所有参与协同的无人机的决策输入数据,确保决策输入数据一致后,才能进行决策;在执行协同决策类活动时,与本无人机相关的任何决策输入数据不再改变。

2) 决策输入数据的设计。设计无人机决策输入数据为战场态势,包括如下信息:本无人机的编号、飞行状态、作战能力状态、当前活动状态、以及相应状态产生的时刻;所有其他参与协同的无人机的编号、飞行状态、作战能力状态、当前活动状态、以及相应状态产生的时刻;所有敌方目标的状态、以及检测到该状态的时刻和无人机编号。由于在执行协同决策活动时,与本无人机相关的任何决策输入数据不再改变,因此,当所有无人机的当前活动状态均为相同的协同决策活动,说明战场态势中的其他信息达到了一致。

3 基于工作流的多无人机协同方法的工作流程

基于工作流的多无人机协同方法的协同步骤设计如下:

步骤1 所有参与协同的无人机在起飞或发射前,即开始协同之前,设置相同的工作流、决策方法和战场态势;

步骤2 开始协同后,工作流管理设备执行活动的迁移,并判断当前活动的类型;

步骤2.1 如果当前活动是协同决策类型,则通过接收器接收信号;

步骤2.1.1 如果没有接收到信号,进入步骤2.1.4;

步骤2.1.2 如果接收到信号,且接收到的信号至少部分反映了较新的战场态势,则将其中的较新信息融合至本无人机存储的战场态势中,进入步骤2.1.4;

步骤2.1.3 如果接收到信号,且接收到的信号完全不能反映较新的战场态势,则进入步骤2.1.4;

步骤2.1.4 分析本无人机存储的战场态势,判断是否所有参与协同的无人机均处于相同的协同决策活动状态;

步骤2.1.4.1 如果所有参与协同的无人机的当前活动状态均为相同的协同决策活动,说明战场态势是相同的,则进入步骤2.1.5;

步骤2.1.4.2 如果所有参与协同的无人机的当前活动状态不是相同的协同决策活动,则发送本无人机存储的战场态势,返回步骤2.1;

步骤2.1.5 依据本无人机存储的战场态势进行决策,决策过程可以描述为

$$Y = F(X)$$

其中: F 为决策方法; X 为战场态势; Y 为决策结果。由于此刻决策方法 F 相同,所有参与协同的无人机存储的战场态势 X 相同,因此,对于所有参与协同的无人机而言,决策产生的决策结果 Y 是相同的;决策完毕,返回步骤2继续活动迁移;

步骤2.2 如果当前活动是单机任务执行类型,则依据决策结果和本无人机存储的战场态势对本无人机的任务进行规划,并控制本无人机相关设备执行任务,任务执行完毕,修改和维护本无人机存储的战场态势中由于执行任务而相应变化的状态,之后,返回步骤2继续活动迁移。

在以上工作流程中,判断接收到的信号是否反映较新战场态势的步骤为:

步骤1 分析接收到的信号所代表的一系列对象信息,包括:参与协同的无人机的编号、飞行状态、作战能力状态、当前活动状态、以及相应状态产生的时刻;敌方目标的状态、以及检测到该状态的时刻和无人机编号;

步骤2 提取本无人机存储的战场态势中的相应对象信息,并逐条对比接收到的对象信息和战场态势中相应的对象信息,哪个信息产生的时刻离目前更近,说明相应的信息能代表较新的战场态势。

基于工作流的多无人机协同方法,其协同过程如图1所示。

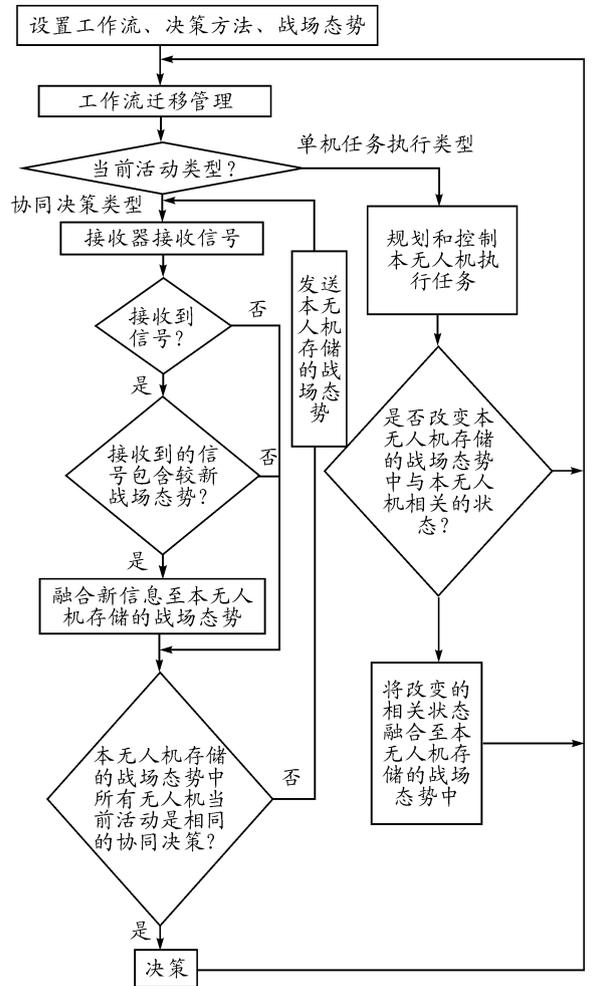


图1 基于工作流的多无人机协同方法工作流程

4 性能分析

协同执行任务的过程包括了2类活动:协同决策活动,单机执行任务活动。其中,协同决策活动的耗时是衡量协同方法性能的主要指标。

设一次协同决策时间记为 T ,则

$$T = T_s + T_{DC} + T_{DS}$$

其中: T_s 代表感知信息传送时间,即各无人机将感知到信息传送给决策个体所需的时间; T_{DC} 代表决策时间,即基于接收到的感知信息,决策个体进行决策所需的时间; T_{DS} 代表决策结果分发时间,即将决策结果分发和共享给各执行个体的时间。

设 n 个无人机协同执行任务,感知信息长度记为 u_1 ,决策信息长度记为 u_2 ,对无线信道的访问采用TDMA协议,信道传输速率记为 v_{trans} ,下面分析各协同方法的一次协同决策时间。

1) 基于地面控制站的协同方法

$$T = T_s + T_{DC} + T_{DS} = \frac{nu_1}{v_{trans}} + T_{DC} + \frac{nu_2}{v_{trans}}$$

随着无人机与地面控制站距离 d 的变化,由于无法可靠接收可能导致信息的重复收发,从而引起无人机与地面控制站之间的信道有效传输速率 v_{trans} 降低,即

$$d \rightarrow \infty \Rightarrow v_{trans} \rightarrow 0 \Rightarrow T \rightarrow \infty$$

因此,当无人机协同执行任务的区域距离地面控制站太远,则基于地面控制站的协同方法不再适用。

2) 基于中心节点的协同方法

$$T = T_s + T_{DC} + T_{DS} = \frac{(n-1)u_1}{v_{trans}} + T_{DC} + \frac{(n-1)u_2}{v_{trans}}$$

随着中心节点被击落的概率 p 的变化,由于中心节点的变化导致无法可靠接收以及信息的重复收发,从而引起无人机与中心节点无人机之间的信道有效传输速率 v_{trans} 降低,即

$$p \rightarrow 1 \Rightarrow v_{trans} \rightarrow 0 \Rightarrow T \rightarrow \infty$$

因此,当战场环境恶劣,无人机被击落的概率较大时,基于中心节点的协同方法协同时间难以控制。

3) 基于多无人机间协商的协同方法

$$T = T_s + T_{DC} + T_{DS} = \frac{nu_1}{v_{trans}} + T_{DC} + \frac{nu_2}{v_{trans}} + m \times (T_{DC} + \frac{nu_2}{v_{trans}})$$

其中: m 代表了达到最终一致的决策结果所需的协商次数, m 是不确定的,即 T 是不确定的。

因此,在基于多无人机间协商的协同方法中,由于各无人机决策结果的不一致,可能导致 T 是不可预测的。

4) 基于工作流的多无人机协同方法

$$T = T_s + T_{DC} + T_{DS} = \frac{nu_1}{v_{trans}} + T_{DC}$$

在基于工作流的多无人机协同方法中,无人机之间的距离不会太远,因此,对 v_{trans} 的影响可忽略,且无需对决策结果进行分发,因此, T 是有限且确定的。

5 结束语

本研究针对现有多无人机协同方法的缺点,引入工作流

理论,提出了基于工作流的多无人机协同方法。该方法和现有的协同方法相比,具有以下优点:

1) 通过对所有参与协同的无人机预先设定相同的工作流,限制了无人机的活动,并通过同步各无人机的活动迁移,有效避免了由于无人机完全的自主性及多议题所带来的协商复杂度高的问题;

2) 通过在协同决策前,同步战场态势,利用决策方法以及战场态势的一致性,保证决策结果的一致性,有效避免了由于决策结果不一致所带来的问题。

参考文献:

- [1] 霍梦兰,彭辉.“全球鹰”无人机任务控制站的组成与功能分析[J].国防科技,2009,30(3):33-37.
- [2] 李建,符小卫,高晓光.通信约束下的多无人机协同航路规划[J].电光与控制,2013,20(6):29-33.
- [3] 郭铭,阎昊,韦有平.移动自组网络在无人机通信中的应用研究[J].舰船电子工程,2008,28(6):59-62.
- [4] 应贵.分布式多 Agent 系统的通信与协商策略研究[D].南京:南京邮电大学,2010.
- [5] 韩健.基于多 Agent 的无人机协作控制[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- [6] 欧建军,钟麟.基于多智能体的编队协同空战战术规划[J].电光与控制,2010,17(2):35-38.
- [7] Maza I, Kondak K, Bernard M, et al. Multi-UAV cooperation and control for load transportation and deployment[C]//the 2nd International Symposium on UAVs. Reno, Nevada, U. S. A, 2010:417-449.
- [8] 刘跃峰,张安.有人机/无人机编队协同任务分配方法[J].系统工程与电子技术,2010,32(3):584-588.

(责任编辑 杨继森)