

多弹编队飞行控制技术研究

张 奇

(北京机电工程研究所, 北京 100074)

摘要: 针对未来复杂战场环境下反舰导弹编队协同攻击的技术需求, 提出了一种多弹编队飞行控制的技术方案。采用基于分层递阶控制思想的多智能体系统结构, 把多枚功能相同或者不同的导弹按照一定的原则组合成弹群, 弹群中各导弹之间进行编队飞行、协同搜索、信息融合和协同攻击等方面的作战配合, 实现对单个目标或多个目标的精确打击。该方案可以实现多发导弹的编队飞行控制, 能够提高导弹编队的体系对抗能力。

关键词: 反舰导弹; 编队飞行; 制导控制; 协同搜索; 协同攻击

中图分类号: TJ765. 3 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095 - 8110 (2014) 02 - 0031 - 04

Research on Flight Control Technology for Missiles Formation

ZHANG Qi

(Beijing Institute of Electromechanical Engineering, Beijing 100074, China)

Abstract: A missiles formation flight control scheme is put forward to regarding the requirement of anti - ship missile cooperate attack in future complex war field. It used multi agent system structure based on the idea of delamination deliver, form a missile group by multi missiles in same function or different function according to some rule, multi missiles in the foamation cooperated in formate flight, cooperate search, information amalgamate and cooperate attack, in order to accurate attack single target or multi target. The scheme can realize flight control for missiles formation, provide the formate ability of system countermeasure.

Key words: Anti - ship missile; Formate flight; Guidance and control; Cooperate search; Cooperate attack

0 引言

从导弹攻击能力看, 反舰导弹大多都还没有不同弹种之间的多发导弹协同作战能力, 也没有同一弹种内多发导弹之间的协同作战能力, 其突防手段单一、孤立不成体系, 这样的导弹即使发射再多也不能适应未来复杂战场环境下攻击敌方舰船编队的突防作战需求, 其不具备对敌方航母战斗群或驱护编队等大中型编队实施精确识别和动态选择分配目标的能力, 难以攻击海面上混杂在众多目标中指定的高价值目标。

针对以上问题, 必须研究多弹协同制导控制技术, 以弹群自主协同的反舰作战体系来攻击敌方舰船编队的协同反导体系, 以实现复杂战场环境下基于弹间链信息系统和不同功能导弹组合攻击的体系对抗。要实现多弹协同制导控制, 首先要解决的一个关键问题是多发导弹之间的编队飞

行控制, 即各发导弹从不同地点和不同平台发射后的编队集结以及集结后的编队整体飞行控制, 涉及到顶层的制导策略和应用层的具体技术实现等问题。

本文提出一种“领弹 + 从弹”的编队成员架构形式, 以“协同规划 + 相对导航”的方式来实现编队飞行, 研究了编队队形保持和编队机动过程中的飞行控制方法, 并尽量通过协同规划、相对导航和四维控制等技术将对多弹的编队飞控转化为对单弹的飞行控制, 降低多弹协同控制的耦合性, 尽可能地降低了编队飞行对弹间通信保持的依赖程度。

1 编队飞行流程

如图 1 所示, 多弹编队飞行可以分为编队集结、编队飞控和编队应用三个阶段, 本文主要讨

收稿日期: 2014 - 04 - 07; 修订日期: 2014 - 09 - 15。

作者简介: 张奇 (1978 -), 男, 硕士, 高工, 主要从事飞行器制导控制方面的研究。E - mail: zhangqicasic@aliyun.com

论编队集结和编队飞控策略。

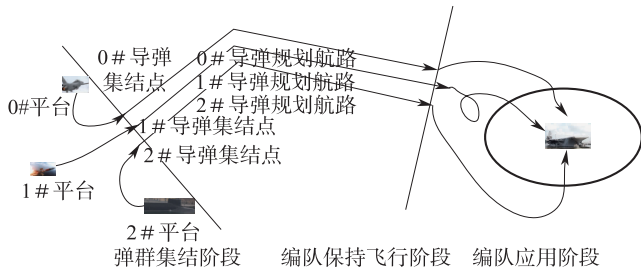


图1 编队飞行过程示意图

Fig. 1 The scheme of formate process

1) 编队集结段: 战区指控中心通过射前任务规划系统, 发射前规划好各枚导弹的发射平台、发射时序、时间间隔、航路, 编队集结区域和集结时间等, 然后通过战术数据链通知各发射平台按照规划好的发射时序发射导弹, 导弹发射后按照规划的航路在指定时刻飞至集结区域, 初步形成编队队形, 然后通过弹间数据链完成信息交换和相对导航解算, 启动编队保持控制策略进一步精调编队队形。

2) 编队飞控段: 导弹发射后集结成编队, 通过对编队的保持与控制以提高弹群的导航精度、实现多发导弹同时到达目标区域。编队飞行过程中要完成侧向纠偏、航路转弯、高度调整等飞行过程, 在此过程中要保持编队队形或进行队形变换, 甚至加入新的编队成员或分解脱离成几个小编队。

3) 编队应用段: 编队到达目标区域之后, 其中负责侦察的几发弹控制导引头开机搜索目标, 搜索到目标群之后进行火力分配和协同攻击。

2 编队飞控思想

多弹编队飞行控制的基本思想是: 将编队飞行转化为单弹的独立飞行, 即根据编队队形对各导弹的飞行航路进行协同规划, 导弹通过四维制导的方式, 即通过三维空间位置控制和时间控制来调节飞行速度, 使各导弹按照各自规划的航路在规定的时刻飞抵规定的位置, 飞行过程中通过相对定位系统来测量并消除领弹与从弹之间的相对导航误差, 以解决实时飞行过程中各弹产生的各种偏差问题, 从而实现编队飞行。

1) “领弹 + 从弹”的编队成员架构: 为弹群

指定一枚领弹, 领弹作为弹群的核心, 为整个弹群提供航路基准, 从弹的航路根据领弹的航路进行规划。此外, 领弹为整个弹群提供坐标系基准, 从弹利用相对导航系统统一到以领弹为中心的相对导航坐标系中。除此之外, 领弹还为整个弹群提供时间同步基准。

2) 以“协同规划 + 相对导航”的方式来实现编队飞行: 主要依靠射前规划的方式, 辅以相对导航和四维制导为手段来实现编队飞行。通过射前规划, 为每一枚导弹协同规划一条航路, 并且对各个导弹进行协同时间规划和高度规划。协同时间规划为各个导弹规划好何时到达何地, 协同高度规划为各个导弹规划不同的飞行高度。通过航路的协同规划和时间的协同规划, 使得在不考虑导航误差情况下, 导弹只要按照规划的航路和时间飞行, 就会自然形成预期的编队。考虑到导航误差不可避免, 在飞行过程中需要通过相对导航系统对各个导弹的导航误差和控制误差进行修正, 使得各个导弹的位置误差始终同领弹保持一致, 这样就保证了以领弹为中心的编队飞行。

3) 导弹独立飞行的控制策略: 进行了协同规划的导弹, 在发射后的飞行过程中是独立飞行的。导弹发射后, 无论是领弹还是从弹都以四维制导的控制方式, 沿着规划的航路在规定的时间内向规定的地点飞行。当相对导航系统能够利用的时候, 从弹利用相对导航系统来修正一下自身的位置误差, 当从弹发现自身偏离规划的位置时, 通过侧偏控制和时间控制来调整自身的位置到规划的位置。

3 协同规划方案

协同规划是实现本编队飞行控制的基础, 它包括航路协同规划、时间协同规划、高度协同规划等几部分内容。其中航路协同规划是基础, 时间协同规划是重点, 高度协同规划是安全保障措施。

3.1 航路协同规划

航路协同规划由指挥中心来完成, 负责为领弹和从弹各自规划一条在水平面内从集结点到末制导段的航路, 这些航路需要依据编队飞行的队形要求而协同规划。

作战指挥中心会根据任务需要首先为整个弹群规划一条航路，该航路起于集结点，终止于最后一个航路点。集结点为各导弹规划航路上的一个特殊航路点，在该航路点之前，各导弹航路是独立规划的，在该航路点之后，各导弹的航路是协同规划的。所以航路协同规划的首要任务便是确定各导弹的集结点。

如图 2 所示，将领弹集结点选在弹群集结点上，设该点经纬度坐标为 $(\lambda_{0_jijie}, \varphi_{0_jijie})$ ，若精确编队时某从弹与领弹期望间距分别为 (d_{sx}, d_{sz}) ，其中， d_{sx} 和 d_{sz} 分别为集结点航路系下与领弹的前向间距和侧向间距，换算为当地经纬度偏差量 $(\Delta\lambda_i, \Delta\varphi_i)$ ，则该发从弹的集结点位置应设定为 $(\lambda_{0_jijie} + \Delta\lambda_i, \varphi_{0_jijie} + \Delta\varphi_i)$ 。

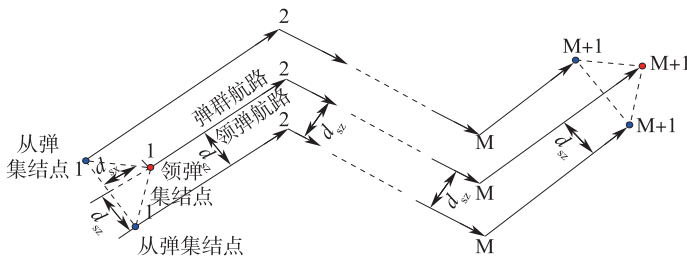


图 2 航路协同规划示意图

Fig. 2 The scheme of cooperate route plan

同理，航路点也按上述方法一一确定。领弹航路（弹群航路）和各导弹的起、止协同航路点确定以后，就可以确定各从弹的航路点。若某从弹与领弹在正常编队飞行时的期望间距为 (d_{sx}, d_{sz}) ，从集结点开始，将领弹各子航路分别前后平移 d_{sx} 和左右平移 d_{sz} ，平移后的直线各折点即为该从弹的航路点。

3.2 时间协同规划

除了要进行航路协同规划外，还需要进行时间协同规划，即规划导弹到达（集结点到最后一个航路点之间）航路上任意一点的时间。参照前面的方法，首先确定领弹飞临每个航路点的时间，然后在此基础上要结合从弹的飞行速度和间距，尤其是要注意转弯机动过程中的编队队形保持，分别计算出每发从弹飞临航路点的各自时间。

3.3 高度协同规划

在编队正常飞行过程中为避免导弹相互碰撞，尽量把每一枚导弹的飞行高度设置为不同或者把

相邻两发导弹的飞行高度设置为不同，并且要保持不小于某一高度间距以避免相互之间的气流流动影响。另外，领弹尽量高飞，保持与其它从弹之间的视距通视。

4 编队飞行控制方案

采用类似三通道独立设计的思想，将编队中每发导弹的运动分解为四种运动：滚动运动，纵向运动（即高度方向上的爬升或降高运动），侧向运动（即水平面内与航线垂直方向的运动）和前向运动（即沿规划航线方向的运动）。相应的编队飞行控制方案就有了滚动控制、高度控制、侧向质心控制和时间控制（前向质心控制），合称四维制导。运用四维制导来进行编队队形保持和队形变换控制。

4.1 编队队形保持控制

编队的导弹因任务要求往往要保持其在队列中的相对位置基本不变。一般的保持策略是编队中的每枚导弹保持与队列中约定点的相对位置不变，而当这个约定点是领弹的时候，这个保持策略就称为跟随保持。在阵形保持过程中，可能会因一些干扰因素引起扰动，防止冲突策略就是要避免在扰动下可能发生的碰撞和信息交互中的阻塞。弹群要保持一定的队列形状，弹与弹之间必须有信息的交互，按照信息交互的方式划分，控制策略一般有集中式控制、分布式控制和分散式控制，每一种方式都有其独特的定义和优势。

(1) 集中式控制

每枚导弹要将自己的位置、速度、姿态和运动目标等信息和队列中所有导弹进行交互。在集中式控制策略中，每一枚导弹都要知道整个队列的信息，控制效果最好，但是需要大量的信息交互，在交互中容易产生冲突，计算量大，对机载计算机的性能要求较高，系统和控制算法复杂。

(2) 分布式控制

每枚导弹要将自己的位置、速度、姿态和运动目标等信息和队列中与之相邻的导弹进行交互。在分布式控制策略中，每一枚导弹需知道与之相邻导弹的信息，虽然控制效果相对较差，但信息交互较少，大大减少了计算量，系统实现相对简单。

(3) 分散式控制

每枚导弹只要保持自己和队列中约定点的相对关系,不和其他导弹进行交互。其控制效果最差,基本没有信息的交互,计算量也最少,但结构最为简单。

分布式控制的效果虽然不及集中式控制,但其控制构造简单可靠、信息量小,比较容易避免信息冲突。从工程角度看,这样的结构便于实现和维护。除此之外,分布式控制策略适应性强,并具有较好的扩充性和容错性,如执行任务的途中任务突然变更,需要新的导弹加入编队或者某导弹由于故障不能继续完成任务需要脱离编队并补充新的导弹的情况。由于分布式控制能够将突发的影响限制在局部范围内,因此目前对队列控制策略的研究热点也逐渐由集中式控制转向分布式控制。

4.2 编队队形变换控制

导弹编队飞行时会根据战场态势和任务的需要,改变原有队形,进行队形的变换。队形变换是指改变当前时刻导弹彼此间的相对位置、速度和姿态等状态,构成一个新的队形的过程,即从一种编队变换到另一种编队。它不仅需要导弹进行相应的移动,而且还要求编队中的每一枚导弹要协同运动,彼此“照应”,队形变换是导弹编队飞行控制研究的关键技术之一。

结合导弹编队队形变换的要求,可以把导弹编队队形变换看成一个控制问题,将采用控制的方法来实现队形的变换,并将防碰撞控制系统以限制器的形式加在队形变换控制系统中。从基本思想、主要优缺点等方面综合考虑,可以采用基于跟随领航者(Leader-Follower)法,通过线性化反馈方法的D-A和D-D两种控制算法和相应的编队跟踪规则,用于导弹编队队形变形方法。该方法的特点是可以简单的分散控制器切换来实现编队队形的变换。

4.3 相对导航修正

为减小相对导航误差,弹群中的导弹需要每隔一定时间进行一次相对导航修正。设导弹相对速度漂移误差为 L_{wu} m/s,且要求编队保持的位置

精度门限为 L_{jie} ,则需要每隔 $T_{xii} = L_{jie}/L_{wu}$ 在弹群内进行一次相对导航来修正各导弹的位置。

编队飞行的导弹除了要周期性的进行相对导航来修正误差外,还需要进行事件性的相对导航来修正误差。例如在编队集结的时候,各导弹位置误差不统一,如果此时不进行相对导航就直接进入各自的集结战位,调整方向就有可能和实际需要的方向相反,给后续的调整造成困难。所以在对导弹之间的相对位置精度有要求的机动动作之前,都要对弹群内的导弹进行至少一次相对导航。

5 结论

本文主要阐述了导弹编队飞控的基本思想、流程和飞控方案,基本思想是通过协同规划、相对导航和四维控制等技术将对多弹的编队飞控转化为对单弹的飞行控制,尽可能的降低多弹协同控制的耦合性,并尽可能的降低编队飞行对弹间通信保持的依赖。基于编队飞控思想的技术方案具有通用化的特点,后续需要结合作战场景,深入研究多个弹群的合并和分解问题。

参考文献

- [1] Liu Xing, Wu Sentang. Autonomous Formation and Cooperative Guidance of Multi-UAV: Concept, Design and Simulation [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20 (19): 5075-5085.
- [2] Zhao Shiyu, Zhou Rui. Cooperative Guidance for Multi-missile Salvo Attack [J]. Journal of Aeronautics, 2008 (21): 533-539.
- [3] Zhang Yougen, Yu Dehai, Wu Yingsheng. An Impact-Time-Control Guidance Law for Multi-Missiles [C] //IEEE 2009: 430-434.
- [4] 邹丽,周锐,赵世钰,等.多导弹编队齐射攻击分散化协同制导方法[J].航空学报,2011,32(2):281-290.
- [5] 肖增博,雷虎民.多导弹协同攻击对策制导规律研究[J].弹箭与制导学报,2010,30(5):32-34.
- [6] 赵世钰,周锐.基于协调变量的多导弹协同制导[J].航空学报,2008,29(6):1605-1611.
- [7] 刘秉瀚,王伟智,方秀端.协同模式识别方法综述[J].系统工程与电子技术,2003,25(6):758-762.