

防空反导一体化指控系统多武器混编 模拟验证技术研究

刘明阳、陈善松、武思军

(航天科工集团二院二部, 北京, 100854)

摘要: 防空反导一体化指控系统多武器混编模拟验证技术立足于混编作战模式本身, 一方面考虑了外部多信息源的信息融合管理, 另一方面更考虑了多武器混编作战下系统内的信息共享、信息支援和作战协同。通过计算机仿真, 对多武器系统混编作战过程中的信息融合、信息共享、协同作战以及作战结果统计等过程进行模拟, 为防空反导一体化作战提供了仿真实验基础和效能评估依据。

关键词: 防空反导一体化作战 指控系统 混编作战 建模仿真

0 引言

当前战争已经日益向信息化方向发展, 多兵种、多武器系统协同作战已经是大势所趋。战场空情威胁日趋多样化和复杂化, 在这种情况下, 防守方的多武器混编协同作战技术日益发展, 通过各防空导弹武器系统的组网, 通过网络无中心节点的动态重组以及网络化各通信节点间的信息共享和信息支援, 最大限度的利用当前战场的资源, 丰富了对敌方空情的打击手段, 达到提高对战区目标的搜索范围和搜索能力以及最大化作战能力的目的。

传统的基于火力单元的防空作战武器在现代复杂战场环境下表现出生存能力低、互联互通能力弱和作战能力被严重压制等弱点, 已经不能适应现代攻防对抗的需要, 而以信息共享和资源重组为特征的多武器混编作战模式, 可高度共享态势感知, 增强辅助决策能力, 提高指挥和行动速度, 增强杀伤、生存和自同步能力, 最大程度发挥武器系统的作战潜力, 从而获得决定性作战优势。

1 发展现状

作为混编组网作战的高级形式, 网络中心战正是美军实现新军事战略的关键推动力, 通过实施联合作战, 提高全球范围内的美军战斗效能。已经建立由探测网、作战网和信息网组成的网络, 可实现防空反导联合作战。美国基于对信息战为目标的军队建设, 美国三军每个军种都提出了各自的发展战略, 如海军部队网、陆军陆战网、空军指挥控制星座网。这些网络体系结构将具有完全互操作性, 可实现网络中心战。俄罗斯以近程 M100、中程 C-400(9M96E2)、C-400(远程导弹)构成的第四代国土防空导弹系统。俄罗斯新一代防空指挥自动化系统命名为“系涅尔-改 13”, 共有 24 个通信方向, 所有信息处理均由计算机完成, 能根据目标威胁程度、导弹营战术性能等因素给出目标分配方案, 处理目标数量 120 批, 最多可控制 17 个导弹营共 77 个目标通道, 可完成指挥 12 个多通道武器系统 C-300 和 5 个单通道防空武器系统 C-125、C-75, C-200 的作战任务。

目前欧洲以法国、德国、意大利为首的欧盟国家正在从事基于“紫苑”(ASTER)系列的导弹系统研制, 计划“霍克”导弹与 Amraam 相结合, 纳入当前具备联合作战能力的“紫苑”系统中。美国在多火力群作战方面一直处于领先地位, 先后不仅实现了路基、海基“霍克”系列导弹系统和“爱国者”系列导弹系统的混编作战, 并且实行了不同兵种的协同作战。

2 多武器混编的模拟验证设计

2.1 多武器混编模拟系统组成

该系统由空情模拟器、上级模拟器、目标指示雷达模拟器、火力单元模拟器(近程防空武器、中程防空武器、远程防空武器)、以及中心机组成。该模拟验证技术主要设计对象为中心机。

空情模拟器用于在计算机模拟环境下产生空情；

目标指示雷达模拟器以空情模拟器空情为输入，根据自身的参数和搜索能力，为中心处理器提供目标指示数据；

上级模拟器模拟上级指挥所，对中心处理器下达上级空情以及指令；

火力单元模拟器接 3 路，分别模拟近程防空武器、中程防空武器以及远程防空武器；

中心机进行上级、友邻、以及本级信息源的融合，根据融合的信息，对多武器系统进行作战任务管理，实现多武器系统的信息共享及混编协同。其工作模式分为两种：主模式和备份模式。

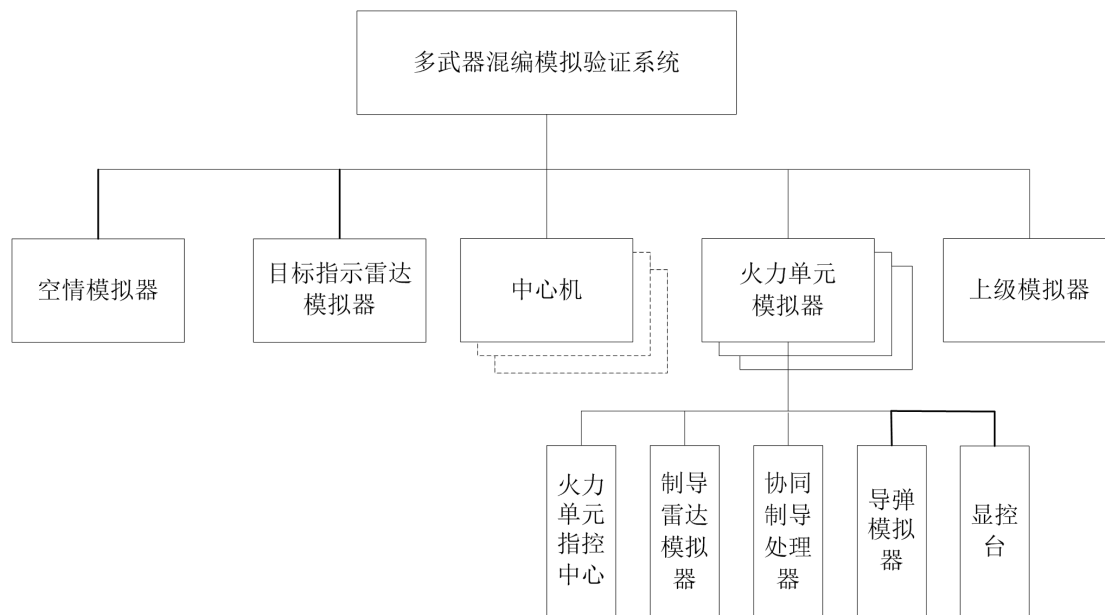


图 1 混编组网模拟验证平台体系结构

2.2 中心机功能模块设计

2.2.1 网络模块

网络模块主要完成各中心机对信息源和被控对象数据的网络收发功能。针对模拟验证系统各组成采用以太网通信的设计，中心机与模拟系统各组成单元也采用 TCP/IP 协议进行通信。为了实现中心机与多外部信息源和被控多项之间的异步通信，网络模块采用 WSAEventSelect 异步 I/O 模型进行设计。该模型以事件的形式对网络数据的接收和发送进行处理，不仅可以实现网络消息的处理，更可以实现中心及对系统内各单元的动态接入和管理。网络模块将接收的信息分为三种：空情信息、命令信息以及其它信息，并将接收到的数据进行压栈处理。

2.2.2 消息处理模块

消息处理模块主要完成网络接收的原始数据的解包功能。从网络压栈数据中弹栈，根据数据的类型，对数据进行异步解包处理：对于空情信息，分发给空情处理模块；对于命令信息，直接响应；对于其它信息，处理功能预留。

2.2.3 空情处理模块

空情处理模块主要完成航迹融合与航迹管理功能。该模块为各个信息源送来的目标建立分别单一航迹，实时记录各航迹的更新周期，并以数据驱动的方式，通过同一性识别，更新综合航迹，为混编目标分配提供算法输入。

2.2.4 目标分配模块

目标分配是指控系统混编作战中的关键环节，目标分配的优劣直接关系到防空导弹火力群的作战效果；同时，在实际作战过程中，目标分配模型的实时性和可靠性问题也直接对作战过程产生影响。因此在系统

设计时, 对该模块进行了重点设计。

针对混编武器系统作战武器性能和参数的不同时目标分配算法不能做通用计算的问题, 在目标分配模块的设计中进行以下通用化设计。

混编火力单元通用杀伤区设计

为了实现中心机在对不同型火力单元的诸元计算时的通用化, 对火力单元杀伤区采用通用化建模。

采用直角参数坐标系用于各火力单元确定杀伤区。直角参数坐标系原点 O 在火力单元的导弹发射点(对于网指来说, 可近似选取 O 点为火力单元雷达基准点), OL 轴位于过 O 点的地球切平面上, 指向某瞬时目标速度在地球表面的投影的逆方向且与速度投影平行; OP 轴位于过 O 点的地球切平面上, 与 OL 轴垂直; OH 轴由 O 点指向天顶, 同时该坐标系 ($OLPH$) 构成右手系。

用平行于目标航向且航路捷径为 P 的垂直于 LOP 平面的平面垂直切割杀伤区, 得到杀伤区的垂直切面, 其中 $P=0$ 时得到典型零航路捷径的杀伤区上、下及远, 近边界的高度和距离, 零航路捷径杀伤区与防空导弹的具体杀伤特性有关。考虑到网指对杀伤区精度的要求比火力单元要低, 为了简化计算, 在满足精度要求的情况下, 在该指挥级层次上, 杀伤区垂直截面的边界轮廓可用闭合多边形来逼近, 如图 2。

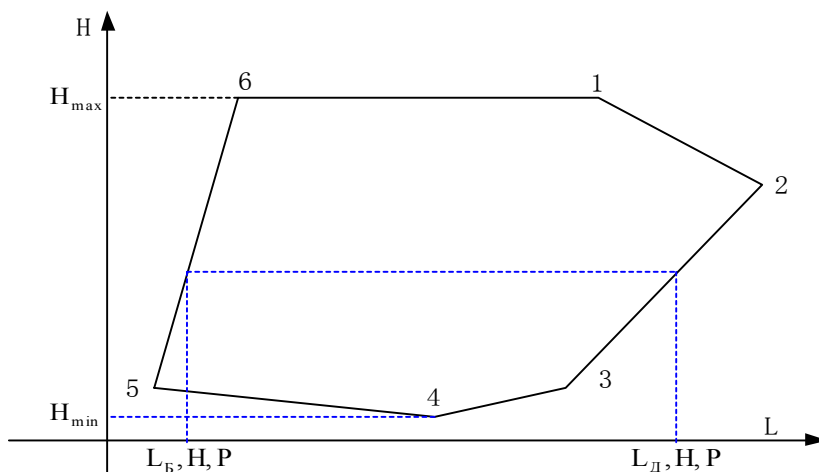


图 2 杀伤区的垂直截面示意图 (6 个特征点)

用步长 1km 、平行于 L 轴、各种航路捷径的平面建立杀伤区平面集合。得到的图形平行于 H 轴, 对应于确定航路捷径、航向角限值的直线切割。这样就得到了所有的杀伤区截面集合。

对于非零航路捷径杀伤区的计算, 以零航路捷径杀伤区为基准, 以 1km 为步长, 用平行于 L 轴的各种航路捷径的平面切割杀伤区得到杀伤区垂直截面集合, 并通过用零航路捷径杀伤区特征参数利用相应的插值算法计算非零航路捷径杀伤区特征参数实现杀伤区集合的建立。

通用分配诸元计算

计算目标当前航路捷径和所有杀伤区集合对应的航路捷径的差, 取使插值绝对值达到最小值的 P 对应的杀伤区截面来计算, 假设该杀伤区截面为第 a 个杀伤区域截面。

首先判断目标航迹是否通过该杀伤区的基准点 i 与基准点 $i+1$ 对应的连线, 若经过基准点 i 与基准点 $i+1$ 对应的连线, 则进一步计算目标进入杀伤区时间和目标飞出杀伤区时间, 最后用上述计算得到的目标进入和飞出杀伤区的时刻值, 由坐标外推确定目标轨迹与杀伤区边界交叉点的坐标。

发射剩时为从当前时刻到目标与导弹在杀伤区远界遭遇的时间减去导弹发射不可逆时间和导弹飞行时间后的剩余时间, 它可以表征我方该类型火力单元在发射导弹拦截该目标前还有多少时间可以用来做准备工作。

考虑该类型火力单元导弹发射不可逆时间和导弹平均速度以及目标当前位置和速度参数来分别计算该目标的当前杀伤区远界发射剩时间和杀伤区近界发射剩时间, 并进一步计算导弹与目标预测命中点参数。

当已知火力单元弹动时刻时, 在导弹发射前, 网指可以近似的计算导弹与目标的预测命中点。假设导

弹和目标作匀速直线运动。为近似导弹的制导过程，采用比例导航法。假设在任一时刻导弹与目标接近的速度矢量与导弹—目标连线重合，也就是导弹速度矢量应当指向预测命中点。通过时间相等条件计算导弹与目标的预测命中点。

最优拦截火力单元选定

考虑到在实际作战过程中，目标分配模型的实时性和可靠性问题，在选择最优拦截火力单元时，采用让步台阶法。算法在从列表集合中选择最优拦截的火力单元时，依次考虑如下因素：

(1). 目标飞到预测命中点的时间

考虑到对一个目标应该尽可能的在防御区的远界进行拦截以降低防御预计损失，所以在目标分配时应该尽量对目标在战术单位防御区的远界实施尽早拦截。通过计算目标飞到尽早拦截的预测命中点时间，可以得到目标是否可以尽早被拦截的指标，目标飞到预测命中点的时间越短，则认为该火力单元该项有利度越高。

考虑到计算误差和算法的稳定性，在本因素判定中，当计算得到的结果差值在门限值内时，认为该项因素的有利度一样，进而考虑下一个让步因素。

(2). 目标处于杀伤区的时间

目标处于杀伤区的时间也是一个目标分配的重要考虑因素，目标在该火力单元杀伤区停留的时间越长，则该项因素的有利度越高。

计算目标进入该火力单元杀伤区时间和目标退出杀伤区时间，进而得到目标在杀伤区停留时间，目标在杀伤区停留时间越大，则认为该火力单元该因素的有利度越高。同样考虑给定的门限值来进行让步判定。

(3) 目标相对于火力单元责任扇区位置

目标相对于该火力单元责任扇区中心角的偏角也是目标分配考虑的因素之一，如果该偏角的相对值越小，则该因素的有利度也就越高，考虑给定的门限值来进行让步判定。

(4) 可用通道和可用导弹数量：

对于网指的目标分配来说，均衡火力从而保证战术单位的可持续作战能力也是很重要的，所以在目标分配的时候还需要考虑可用通道和可用导弹数量的因素以保证均衡火力。

统计该火力单元总计剩余的空闲通道数量和当前可用的可射击该目标的导弹类型的数量，综合考虑这两项指标来得到该因素的有利度指标，考虑给定的门限值来进行让步判定。

最优支援火力单元选定

指定主支援的火力单元，应该根据目标指示模块的结果，从支援火力单元列表中选择最佳的主支援火力单元。在从列表集合中选择主支援的火力单元时，考虑如下因素：

(1) 航迹质量指标

考虑该火力单元单独跟踪该目标时得到的航迹质量指标，该指标参数由信息场融合模块根据信息源的先验误差参数实时计算得到并上报给主网指。

如果该指标值越高，则该因素对应的支援优先度越高。

(2) 雷达的站址测量误差和目标测量误差

考虑该火力单元的制导雷达的站址测量先验误差，在考虑该误差时，同时要考虑作战前该雷达是否进行过标校，如果进行过标校则该先验误差可以大幅降低。该误差会对雷达的实时测量产生影响。进一步考虑该火力单元的制导雷达对目标测量的先验测距误差和测角误差，先验误差决定了雷达对目标测量的随机误差值的大小。

如果综合考虑后的该误差越小，则该因素对应的支援优先度越高。

(3) 该火力单元和最优拦截火力单元以及支援目标之间的几何位置关系

考虑该火力单元和最优拦截火力单元以及支援目标之间的相对位置，相对关系包括两火力单元之间的基线、目标距支援火力单元基准点的斜距、目标偏离支援火力单元责任扇区中心角的偏角等。考虑上述因素进行几何位置关系的综合判定，并给出归一化的量化指标，如果综合考虑后的量化指标越大，则该因素

对应的支援优先度越高。

(4) 该火力单元对目标的跟踪状态指标

考虑该火力单元对该目标的跟踪状态，是否能持续连续跟踪，包括遮蔽角带来的影响以及目标可能飞出雷达责任扇区边界等。如果目标可以被连续跟踪的总时长越大，则该因素对应的支援优先度越高。

综合考虑以上因素并通过分配合理的权值进行加权平均，可以得到该火力单元的支援优先度的综合量化值，对支援火力单元列表中的每个火力单元计算支援优先度，取其中支援优先度最大的火力单元为主支援的火力单元。

2.3 模块调用关系及信息处理逻辑

中心机各模块调用关系如下图：

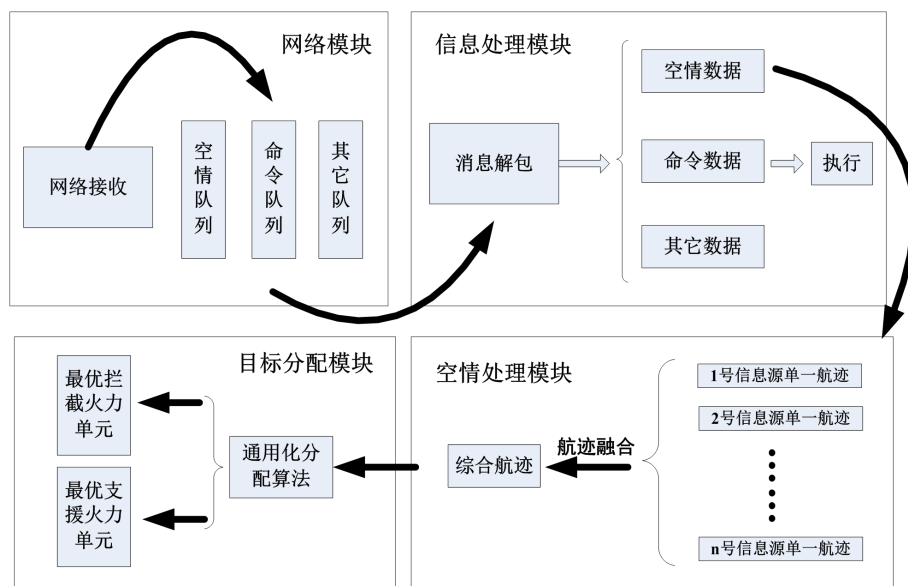


图3 混编组网模拟验证平台算法模块调用关系

网络模块将接收的信息分为三种：空情信息、命令信息以及其它信息，并将接到的数据进行压栈处理；消息处理模块从网络压栈数据中弹栈，根据数据的类型，对数据进行异步解包处理：对于空情信息，分发给空情处理模块；对于命令信息，直接响应；对于其它信息，处理功能预留；空情处理模块为各个信息源送来的目标建立分别单一航迹，实时记录各航迹的更新周期，并以数据驱动的方式，通过同一性识别，更新综合航迹，为混编目标分配提供算法输入；目标分配模块考虑了多武器混编作战的特点，利用通用化目标分配算法，确定最优拦截火力单元和最优支援火力单元。

3 结束语

随着通信技术的高速发展，多武器混编作战已经是大势所趋。日益复杂的战场环境，更是需要多信息源、多武器的组网作战，最大限度的利用战场环境，不断丰富对敌方空情的打击手段，以提高我方单位的生存能力。

指控系统多武器混编的模拟，不仅可以提供多武器混编作战的仿真平台，更是为武器混编作战模式的实际应用提供了实验基础，

参考文献

- [1]网络中心战下指挥控制决策系统研究[D]. 唐立军. 中北大学,2008.08
- [2]防空导弹网络化作战 C2 系统结构研究[D]. 王磊.长沙: 国防科学技术大学, 2007.
- [3]李旭东.导弹指挥信息系统一体化集成设计.信息化研究,2009,35(4):1-4.