

天基信息支持导弹对海打击应用优化仿真分析

杨德运¹, 马永春², 高 轶³, 马红梅¹, 于 薇¹, 罗 啸¹

(1. 中国空间技术研究院 卫星应用总体部, 北京 100094; 2. 航天恒星科技有限公司, 北京 100086;
3. 海军装备部装备项目管理中心, 北京 100071)

摘要: 目前, 海上远程精确打击主要依靠舰载预警机、无人机和微波超视距雷达等舰上自有手段为反舰导弹提供目标指示信息, 存在探测距离有限、留空时间短、信息要素不完整等问题, 在远海作战中不能为导弹提供持续、远距离目标指示信息, 制约了导弹武器的作战效能; 近年来, 随着卫星遥感技术的快速发展, 天基信息凭借其“站得高、看得远”的特点在支持导弹对海精确打击应用方面的能力逐步提升; 通过分析构建影响天基信息支持导弹对海精确打击的关键影响因素模型, 开展目标定位精度、时延等影响因素对导弹捕获概率仿真分析, 仿真结果表明提高目标定位精度、缩短目标指示信息时延可有效提升天基信息支持导弹武器捕获目标概率, 据此提出了天基信息支撑导弹对海远程精确打击在工程设计和应用方面的优化思路和建议, 为天基信息支持导弹对海远程精确打击研究提供借鉴。

关键词: 天基信息; 远程精确打击; 信息时延; 位置偏差; 巡航导弹

Optimization Simulation Analysis of Space-Based Information Supporting Missiles for Sea Strike

YANG Deyun¹, MA Yongchun², GAO Yi³, MA Hongmei¹, YU Wei¹, LUO Xiao¹

(1. China Academy of Space Technology, Satellite Application Department, Beijing 100094, China;
2. Space Star Technology Co., Ltd., Beijing 100086, China;
3. Naval Equipment Department Equipment Project Management Center, Beijing 100071, China)

Abstract: At present, maritime long-range precision strike mainly depends on shipborne early warning aircraft, unmanned aerial vehicles, and microwave over-the-horizon radars to provide the target indication information for anti-ship missiles, and there are the problems of limited detection distance, short blank time, and incomplete information elements, The continuous and long-distance target indication information for missiles cannot be provided in the long-sea operations, which restricts the combat effectiveness of missile weapons. In recent years, with the rapid development of satellite remote sensing technology, the space-based information has gradually improved its ability to support the application of missiles in the precision strike against the sea by virtue of its “stand high and see far” characteristics. By analyzing and constructing the key influencing factor model that affects the space-based information and supports the precision strike of the missile on the sea, the simulation analysis of missile capture probability is carried out by the influencing factors such as target positioning accuracy and time delay. The simulation results show that improving the accuracy of target positioning and shortening the target indication information delay can effectively improve the probability of space-based information supporting missile weapons to capture the target. then the optimization ideas and suggestions on the engineering design and application of the space-based information supporting missiles is put forward for the long-range precision strikes against the sea, and the reference on space-based information is provided to support the long-range precision strike of missiles against the sea.

Keywords: space-based information; long-range precision; information delay; position deviation; cruise missile

0 引言

近年来, 随着卫星遥感技术的快速发展, 世界各国对于天基信息支持远程精确打击的应用能力研究不断深入, 持续加强构建海上远程精确打击体系。2016年, 美军在提出的“第三次抵消战略”中强调, 要强化分布式杀伤和海

上远程精确打击能力, 抵消对手反介入/区域拒止难度^[1]。俄军也在其新版的《军事学说》中强调, 要综合运用远程精确打击力量, 对敌方重点目标实施精确打击, 形成摧毁^[2]。可见远程精确打击能力对于改变战场局势具有至关重要的作用, 世界各国对于精确打击能力的研究也在不断加深。

收稿日期: 2022-01-17; 修回日期: 2022-04-25。

作者简介: 杨德运(1993-), 男, 安徽宿州人, 硕士, 工程师, 主要从事卫星地面应用系统设计、遥感数据分析与处理方向的研究。

引用格式: 杨德运, 马永春, 高 轶, 等. 天基信息支持导弹对海打击应用优化仿真分析[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(8): 129-133, 141.

目前,海上远程精确打击主要依靠舰载预警机、无人机和微波超视距雷达等舰上自有手段为反舰导弹提供目标指示信息,存在探测距离有限、留空时间短、信息要素不完整等问题,在远海作战中不能为导弹提供持续目标指示信息^[3]。随着天基系统的快速发展,天基手段已经成为探测、跟踪、监视海上机动目标的重要手段^[4]。天基系统具有战场绝对高位优势、不受区域限制和不依赖制空海权的显著特点,是解决远程精确打击目标信息保障的关键。将天基信息和导弹武器深度较链,能够起到战场力量倍增,作战效能提升的作用^[5]。

对海远程精确打击作战中,反舰导弹攻击水面舰艇的一般作战流程主要包括技术准备、装载出航待机、导弹发射准备、导弹发射、导弹飞行和制导命中几个阶段^[6]。其中在导弹发射、导弹飞行和末制导命中阶段,受制于被打目标攻击距离远、机动策略不明确、导弹掠空飞行时间长等影响因素,对于基于天基信息的目标指示信息的时延、定位误差等因素提出了较高的要求。当前已有研究人员针对天基信息支撑海上远程反舰作战能力进行了研究:洪俊、彭耿等学者通过构建基于天基信息提供的目标指示信息精度的导弹捕获概率模型,分析了基于天基信息的目标指示信息精度对导弹命中概率的影响^[7-8];沈培志、汪新刚等通过构建反舰导弹末制导阶段雷达搜索范围,分析研究了反舰导弹末制导阶段自控终点散布误差对导弹捕获概率的影响^[9-11]。

由于受限于天基手段的筹划运用方式、载荷工作模式、地面平台接收、处理、分发能力、指挥员指挥决策效率等因素的影响,天基信息在支撑对海远程精确打击过程中,基于天基信息的目标指示信息时延、目标位置偏差、目标航速、航向等因素将直接影响导弹作战效能。因此本文首先梳理了美军可用于支撑海上反舰作战的天基信息支援系统及研究天基信息支持导弹对海打击关键影响因素的必要性,然后针对天基信息支撑导弹对海打击作战过程中的主要影响因素构建了导弹捕获概率模型,并基于不同导弹作战参数分析研究天基信息支撑远程精确打击过程中的目标指示信息时延和定位误差对导弹命中概率的影响,并据此提出天基信息支撑海上作战应用的优化建议。

1 美国天基信息支援对海远程精确打击保障系统

现代战争的主要特点是信息化联合作战,制天权和制信息权对战争进程、最终胜负和冲突解决都发挥着至关重要的作用。天基侦察信息是海上作战信息保障的重要手段,通过与海上侦察预警体系的深度融合,可在远程精确制导武器信息保障中发挥重要作用,能够为远程反舰作战用天模式转变提供有效支撑。

美国自 20 世纪 70 年代起就开始建设海洋监视卫星系统,主要用于探测和监视海上舰船和潜艇活动,目前已发展至第三代,包括高分辨率成像侦察卫星和电子侦察卫星。这些卫星在美国近 30 年间发动、主导或参与的海湾战争、

科索沃战争、伊拉克战争或叙利亚战争等海外战争或局部冲突中发挥了重要作用,为美军在作战行动中提供了大量的侦察监视情报。

1.1 成像侦察卫星

目前美国成像侦察卫星主要包括“锁眼”光学成像卫星和“长曲棍球”合成孔径雷达成像卫星。

“锁眼”卫星是美国现役的传输型光学成像侦察卫星,目前在轨 4 颗,成像系统不仅配备了 3 m 的大口径光学镜头,而且采用目前最先进的自适应光学成像技术,可以通过改变光学镜片的表面曲率补偿因大气环境改变导致的影像畸变,同时结合复杂的卫星姿态轨道稳控技术和长焦距等高新技术,使得卫星的全色成像分辨率达到了 0.1 m、红外成像分辨率 0.6~1 m,瞬时观测幅宽可达 40~50 km,通过星座组网的方式,可进一步提升“锁眼”卫星的时间分辨率和空间分辨率。

“长曲棍球”卫星是当前美国最先进的合成孔径雷达成像侦察卫星,又称为“黑宝石”卫星(Onyx),具备全天候、全天候成像侦察能力,主要为美国提供战略侦察情报,具有 4 种工作模式,包括标准模式、宽幅模式、精扫模式和试验模式等,标准模式下成像分辨率 1 m,精扫模式下成像分辨率可达到 0.3 m。

1.2 电子侦察卫星

电子侦察卫星通过探测全球海洋中的水面舰艇和潜艇辐射的雷达、无线电和其他通信设备的电磁信号来获取情报信息,进而确定目标的性质、位置等。电子侦察卫星作为重要的信息获取手段,已成为美国海军海洋监视卫星系统的核心组成部分。美国电子侦察卫星主要包括水星电子侦察卫星、门特电子侦察卫星以及“白云”计划等。

水星系列卫星是美国空军主管的第四代静止轨道电子侦察卫星,目前在轨 3 颗,主要用于侦察通信类情报。由于该型卫星采用圆形军用特种天线,其口径超过 100 m,因此不但可以侦收功率较低的手机通信信号,而且还可以侦听导弹试验时的遥测信号和雷达信号等电子信号情报。

门特电子侦察卫星属于宽频卫星,可探测 100 MHz~50 GHz 频段范围内的所有电磁信号,据悉该型卫星的天线口径超过 150 m,能获得雷达及其他探测系统的关键频率信息,可侦收地面微弱通信信号和导弹遥测信号(UHF、L 频段)等,侦察范围可覆盖亚、非、欧等区域。

“白云”计划是美国电子型海洋监视卫星系统的典型代表,可基于星载电子探测设备截获海面和水下电磁设备发出的无线电通信和雷达信号,可用于测定目标的位置、航向和航速等信息,迄今为止已发展至三代,其中仍具备探测能力的是第二代和第三代。“白云”计划海洋监视卫星系统自在轨运行后即成为美国海军对海监视的主要侦察力量,在多次局部战争中发挥了关键作用。海湾战争期间,4 组“白云”海洋监视卫星为美军在海湾地区提供大量的陆上和海上目标情报信息,为“战斧”系列巡航导弹提供精确的

目标指示信息。科索沃战争期间,“白云”海洋监视卫星持续跟踪监视俄罗斯及南联盟的舰艇动向。伊拉克战争期间,通过与其他电子侦察卫星的协同配合,形成了长期值守平台,对整个战场进行了持续的侦察监视。叙利亚战争期间,“白云”计划海洋监视卫星对俄罗斯在集结在叙利亚近海的大量海军舰艇进行持续跟踪监视,为判断俄罗斯军事行动或军事意图提供了详细的情报依据。

美国的海洋监视卫星系统的建设和历次军事行动表明,其越来越重视天基信息在未来战争中的地位,尤其在中远海作战任务中,传统的陆基、舰载、机载等手段侦察能力相对受限时,对于天基信息系统的情报保障更加依赖,因此,美国已将天基信息支持海上远程精确打击能力作为提升美国海军远海作战能力的重要发展方向,从而保障其海上编队在保障自身安全的前提下,发挥远程导弹武器的最大作战效能。因此,有必要研究天基信息支持导弹对海打击作战效能的关键影响因素,并提出应用优化建议。

2 关键影响因素模型

2.1 基于天基手段的目标指示信息时延

目标指示信息延迟时间是指从目标侦测定位系统最后一次发现目标(或发送最迟一组目标指示信息)至导弹自导系统捕捉到目标的时间^[12]。对比上述定义,本文中基于天基手段的目标指示信息时延可定义为:卫星侦察目标位置的瞬间,到目标指示信息发送到海上编队作战平台形成目标指示信息,并装订到导弹武器平台、导弹发射为止的时间间隔。因此目标指示信息的时延越高,目标的机动散布区域就越大,导弹武器末制导阶段雷达搜索区域相较于目标散布区域的比例越小,捕获目标的概率越低。

天基信息支撑导弹武器打击一般过程为天基资源筹划、天基资源测控、遥感数据传输、遥感数据处理、目标指示信息分发、打击决策以及实施打击等阶段,天基信息支撑导弹武器攻击信息流程如图 1 所示。

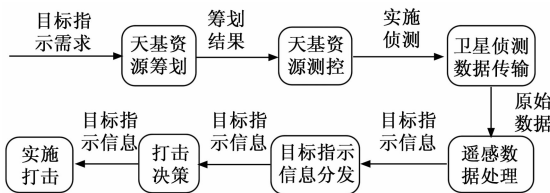


图 1 基于天基手段的目标指示信息获取流程

根据本文定义,基于天基手段的目标指示信息的延迟时间 T_{yc} 可以表示为:

$$T_{yc} = T_{es} + T_{cl} + T_{ff} + T_{jc} \quad (1)$$

式中, T_{es} 为侦照完成瞬间至向地面接收站完成侦照数据传输的时间; T_{cl} 为地面接收站接收到遥感数据后处理生成目标指示信息的时间,其主要由处理平台的处理性能决定; T_{ff} 为目标指示信息生成后向各级指挥所分发的时间,其主

要受信息传输链路的影响,一般为秒级; T_{jc} 为作战单元指挥员根据战场态势进行打击评估决策的时间,主要包括两部分内容,一部分是作战单元指挥员正常决策所消耗的时间 T_{zjc} ,另一部分是决策延迟时间 Δ_{jc} ,其主要是由于战场态势变化或作战单元指挥员因上级指挥员作战意图变化而产生的决策延迟^[13]。因此基于天基手段的目标指示信息延迟时间也可以表示为:

$$T_{yc} = T_{es} + T_{cl} + T_{ff} + T_{zjc} + \Delta_{jc} \quad (2)$$

2.2 基于天基手段的目标位置偏差

目标位置偏差是指目标指示信息提供的目标位置经纬度信息与目标实际位置经纬度之间的距离差值。目标的位置偏差是影响导弹捕获目标概率的重要影响因素,位置偏差越大,目标的散布区域越大,导弹武器末制导阶段雷达搜索区域相较于目标散布区域的比例越小,目标的捕获概率越低。

基于天基手段的目标位置偏差 ΔS (单位: km) 可表示为:

$$\Delta S = R \cdot \arccos[\sin(N) \cdot \sin(N_T) \cdot \cos(E - E_T) + \cos(N) \cdot \cos(N_T)] \cdot \pi / 180 \quad (3)$$

其中:基于天基手段的目标指示信息提供的目标位置经纬度是 (E, N) ,目标实际位置经纬度是 (E_T, N_T) , R 取地球的平均半径, π 为圆周率。

2.3 导弹武器目标指示信息时延需求计算模型

从卫星侦察目标至导弹武器按照航路规划结果飞行至预定开机点的过程中,目标舰船已经机动远离卫星侦察的初始位置,形成了以最大机动距离为半径的散布区域。设定舰船目标航向、航速固定,以目标机动引起的位置方位变化最不利于导弹末制导雷达开机搜索覆盖目标散布区,即目标散布航向垂直于导弹攻击方位进行分析,同时考虑目标位置偏差的影响,目标散布区域与末制导雷达搜索区域的关系如图 2 所示^[14-15]。本文中设定导弹末制导雷达搜索区域可覆盖目标即认为雷达捕获到目标。

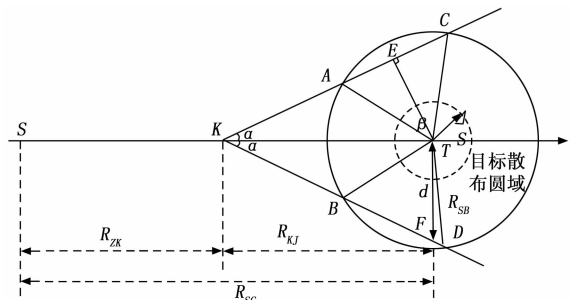


图 2 导弹末制导阶段目标散布区域示意图

图 2 中, ΔS 为目标位置偏差 (km), α 为导弹末制导阶段雷达搜索半扇面 ($^\circ$); d 为导弹末制导雷达开机搜索带半宽 (km); V_d 为导弹巡航飞行速度 (m/s); R_{sc} 为导弹射程 (km); R_{zk} 为导弹自控飞行距离 (km); R_{kj} 为导弹末制导雷达预定开机搜索距离 (km); R_{sb} 为目标散布区半径

(km); V_{target} 为目标舰船的航速 (kn) ($1 \text{ kn} = 1 \text{ n mile/h} \approx 0.5 \text{ m/s}$)。

导弹自控制飞行时间 T_{ZK} :

$$T_{\text{ZK}} = \frac{R_{\text{ZK}}}{V_{\text{d}}} = \frac{R_{\text{sc}} - R_{\text{KJ}}}{V_{\text{d}}} \quad (4)$$

目标机动时间 T_{JD} :

$$T_{\text{JD}} = T_{\text{ZK}} + T_{\text{yc}} \quad (5)$$

目标散布圆域以目标机动距离 R_{JD} 与目标位置偏差 ΔS 的和为圆域半径 R_{SB} 形成的圆形区域, 如下:

$$R_{\text{SB}} = V_{\text{target}} \cdot T_{\text{JD}} + \Delta S \quad (6)$$

导弹末制导阶段雷达开机搜索区域半宽 d 可表示为:

$$d = R_{\text{KJ}} \cdot \tan\alpha \quad (7)$$

因此舰船目标机动摆脱导弹末制导雷达搜索区域 (其中 TF 为舰船摆脱导弹末制导雷达搜索区域的机动距离) 的时间 T_{JD} 为:

$$T_{\text{JD}} = \frac{TF}{V_{\text{target}}} \quad (8)$$

根据式 (2) ~ (8) 可知, 为保障导弹末制导雷达能够搜索到舰船目标, 目标指示信息时延需求 T_{XQ} 为:

$$T_{\text{yc}} \leq T_{\text{XQ}} = T_{\text{JD}} - T_{\text{ZK}} = \frac{R_{\text{KJ}} \cdot \tan\alpha}{V_{\text{target}}} - \frac{R_{\text{sc}} - R_{\text{KJ}}}{V_{\text{d}}} \quad (9)$$

2.4 导弹捕获概率模型

导弹捕获概率即指在导弹末制导阶段雷达开机后, 目标落入雷达搜索区域并被捕获的概率。如果设定舰船目标在雷达搜索范围内即认为能被捕获到, 那么反舰导弹的捕获概率即为末制导雷达搜索区域覆盖目标位置散布区的概率^[16]。根据图 2 所示, 导弹末制导阶段雷达的覆盖目标区域面积为 S_{ABDC} , 则:

$$S_{\text{ABDC}} = S_{\text{ATB}} + S_{\text{TCD}} + 2S_{\Delta\text{ATC}} = \pi R_{\text{SB}}^2 \times \frac{2\pi - 4\beta}{2\pi} + \overline{AC} \times \overline{TE} = R_{\text{SB}}^2 \times (\pi - 2\beta) + 2R_{\text{SB}}^2 \sin\beta \cos\beta \quad (10)$$

其中: $\beta = \cos^{-1}\left(\frac{R_{\text{KJ}} \cdot \sin\alpha}{R_{\text{SB}}}\right)$ 。

因此, 根据式 (2) ~ (10) 可以构建一个含目标指示信息时延、目标位置偏差、目标航速等影响因素的导弹捕获概率函数 $F(T_{\text{yc}}, \Delta S, V_{\text{target}})$, 即导弹捕获概率 P_{BH} 表示为:

$$P_{\text{BH}} = F(T_{\text{yc}}, \Delta S, V_{\text{target}}) = \frac{S_{\text{ABDC}}}{S_{\text{CIRCLE}}} = 1 - \frac{2\beta}{\pi} + \frac{2\sin\beta \cos\beta}{\pi} = 1 - \frac{2\arccos\left(\frac{R_{\text{KJ}} \cdot \sin\alpha}{R_{\text{SB}}}\right)}{\pi} + \frac{2\sin\left[\arccos\left(\frac{R_{\text{KJ}} \cdot \sin\alpha}{R_{\text{SB}}}\right)\right] \cdot R_{\text{KJ}} \sin\alpha}{\pi R_{\text{SB}}} \quad (11)$$

其中: $R_{\text{SB}} = \frac{V_{\text{target}}(R_{\text{sc}} - R_{\text{KJ}})}{V_{\text{d}}} + V_{\text{target}} \cdot T_{\text{yc}} + \Delta S, 0 \leq P_{\text{BH}} \leq 1$ 。

当 $P_{\text{BH}} = 1$ 时, 可认为导弹在末制导阶段雷达搜索区域

可以完全覆盖目标散布区域, 具备有效发挥导弹武器作战效能的条件, 当 $P_{\text{BH}} = 0$ 时, 弹道在末制导阶段雷达搜索区域无法覆盖目标散布区域, 不具备发挥导弹武器作战效能的条件。

3 仿真及结果分析

导弹末制导阶段捕获目标概率模型中的相关影响因子主要包括目标指示信息时延 T_{yc} 、导弹的实际航程 R_{sc} 、被打击舰船目标的航速 V_{target} 、导弹末制导阶段雷达的预设开机距离 R_{KJ} 、目标位置偏差 ΔS 、导弹巡航速度 V_{d} 以及导弹末制导阶段雷达搜索半扇面角度 α 。其中 R_{KJ} 、 V_{d} 、 α 为导弹武器的属性参数, R_{sc} 随战场环境和导弹武器的基础属性动态变化, V_{target} 主要取决于敌方指挥员决策。

因此, 本文首先天基信息支持导弹武器捕获目标概率算法构建软件仿真模型, 然后设定 6 组导弹的基础打击参数如表 1 所示, 分别计仿真计算不同目标指示信息延迟、不同位置偏差对于不同导弹基础打击参数的捕获概率影响, 仿真结果如图 3~图 4 所示。

表 1 导弹打击参数

序号	R_{sc}/km	$V_{\text{target}}/\text{kn}$	R_{KJ}/km	$V_{\text{d}}/(\text{km/h})$	$\alpha/(\text{°})$
1	150	20	40	300	20
2	200	20	40	300	20
3	150	20	40	300	10
4	150	30	40	300	20
5	150	20	35	300	20
6	150	20	40	280	20

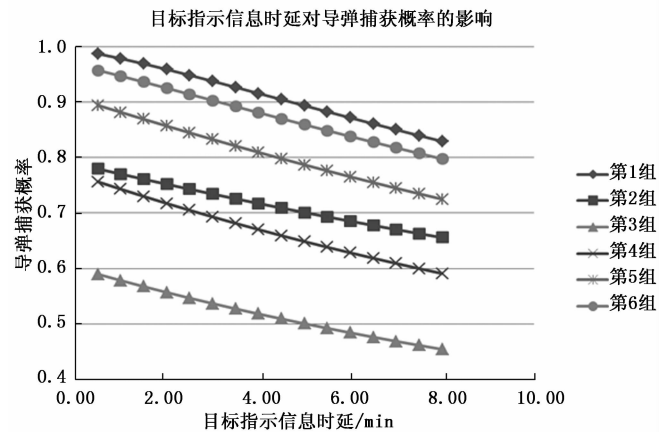


图 3 目标指示信息时延对导弹捕获概率的影响

根据图 3 可知, 随着目标指示信息时延的增加, 远程反舰导弹武器捕获目标的概率迅速下降; 根据图 4 可知, 随着目标定位误差的增加, 远程反舰导弹武器捕获目标的概率迅速下降。综合来看, 导弹武器是否能够捕获敌方目标的关键因素为目标指示信息时延和目标定位误差大小, 目标指示信息时延越低、目标定位误差越小, 导弹武器末制导阶段雷达捕获目标的概率就越高, 因此在不改变武器

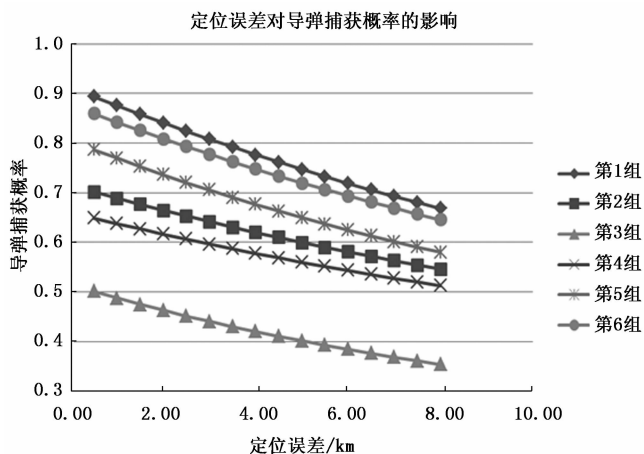


图 4 定位误差对导弹捕获概率的影响

装备自身能力的前提下, 能否提升目标指示信息时延和降低目标定位误差是决定是否能够发挥导弹武器最大作战效能的核心影响因子。

4 天基目标保障信息应用优化建议

4.1 目标指示信息时延优化建议

对于目标指示信息时延的优化可以从两个方面进行, 一方面优化信息流程和工作模式, 另一方面是提升地面处理系统的处理能力, 提高天基信息处理效率。

信息流程和工作方面, 需减少信息流经节点, 缩短信息决策时间, 通常的工作模式是首先需要将卫星侦察的天基信息通过通信链路将完整条带数据下载到地面接收站, 后推送给地面处理系统处理后, 经信息分发系统分发给各级指挥中心, 流程繁琐, 耗时间较长。因此, 第一, 可开展星上数据处理工作模式研究, 即卫星侦察目标信息后, 基于卫星平台预处理能力进行初步的处理, 筛选出重点关注的区域和重点目标, 然后下传给地面接收站, 减少卫星的数传时间, 同时提升地面处理系统的处理时间, 提高目标指示信息生成效率; 第二, 可构建地面移动卫星数据接收终端实时接收卫星下传数据, 现阶段卫星数据下传主要依靠地面固定接收站进行接收, 限制了卫星的数传区域和数传时间窗口, 无法保障卫星侦察的目标信息及时下传处理形成目标指示信息, 制约了天基信息支持导弹武器装备的作战效能, 因此通过构建地面移动卫星数据接收终端, 可实现卫星过顶即可下传目标信息, 保证了天基信息的及时性和有效性。

地面处理系统处理能力方面, 当前地面处理系统所使用的主流硬件处理平台主要是基于 x86、ARM 等架构的 CPU 搭建, 其计算能力较弱, 以 Intel 主流 CPU 型号为例, 其理论计算能力如表 2 所示。而近年来, 随着芯片技术的快速发展, 摩尔定律已经趋近失效, 单纯依靠通用处理器已经无法满足人工智能等新型数字化技术对于高性能计算的需求^[17]。当前主流的 GPU 的理论计算能力如表 3 所

示^[18]。因此可通过构建“CPU+GPU”的硬件处理架构平台, 同时引入深度学习算法, 提升地面处理系统的处理能力, 提高目标指示信息的生成效率。

表 2 Intel 主流 CPU 服务器算力

序号	型号	FP32
(1)	Intel © eon © Processor E7 Family	1.8 TFLOPS
(2)	Intel © Xeon © Processor E5 Family	1.5 TFLOPS
(3)	Intel © Xeon © D Processors	1.8 TFLOPS
(4)	Intel © Xeon © W Processors	2.4 TFLOPS
(5)	Intel © Xeon © Scalable Processors	3.2 TFLOPS

表 3 NVIDIA 主流 GPU 型号算力

序号	型号	FP64	FP32	FP16
(1)	NVIDIA Tesla P100 (PCIe)	4.7 TFLOPS	9.3 TFLOPS	18.7 TFLOPS
(2)	NVIDIA Tesla V100 (PCIe)	7 TFLOPS	14 TFLOPS	112 TFLOPS
(3)	NVIDIA Tesla A100 (NVLink)	9.7 TFLOPS	19.5 TFLOPS	312 TFLOPS

4.2 针对目标位置偏差应用建议

天基信息侦察目标的手段主要包括电子侦察卫星和成像侦察卫星, 不同的天基侦察手段其定位方式不同, 相应的定位误差也存在差别, 对于电子侦察卫星而言, 其主要采用基于干涉仪测向的单星定位体制^[19]或者三星时差频差无源定位体制^[20], 定位误差精度一般在公里级; 对于成像侦察卫星, 以美国和法国为代表的典型先进卫星如 WorldView-3/4、GeoEye-1、Pleiades-1 等无控制点定位精度甚至达到 5 m 和 3 m, 而我国典型的高分辨率光学遥感卫星定位精度一般设计都在 50 m 左右^[21]。为保障天基侦察手段获取的目标位置信息能够有效支撑导弹捕获目标, 根据式 (9) 所示, 在满足 $T_{yc} \leq T_{xq}$ 的条件下, 应以成像侦察卫星侦察的目标位置信息作为导弹武器的目标指示信息。

5 结束语

本文从理论研究出发, 提出了一种包含目标指示信息时延、目标位置偏差和目标航速等影响因素的导弹捕获目标概率模型, 并通过理论分析和仿真计算, 从提高天基目标指示信息和目标定位精度两个方面给出了工程应用优化的建议, 为提升天基手段支撑远程反舰导弹武器的作战效能提供借鉴和支撑。

参考文献:

[1] 宁国栋. 应对未来战争的精确打击武器发展趋势研 [J]. 战术导弹技术, 2019 (1): 1-9.

(下转第 141 页)