

文章编号:1002-2082(2019)06-1015-07

# 多光电侦察设备综合网络体系方案研究

赵俊成,刘建平

(西安应用光学研究所,陕西 西安 710065)

**摘要:**针对单台光电侦察设备存在侦察范围小和跟踪目标单一等不足,使用阵列式光电侦察技术组成整体系统,提出布站组网方案,采用 $5 \times 6$ 阵列方阵布站并组网,前伸了警戒线,扩大了侦察区域,从前沿地带到中心保卫目标通过有序、接力探测,形成复合跟踪。研究了布站间距的方案设计,得出了最合理的布站区间。由综合光电组网覆盖区域内各单元的航迹可得到目标完整、连续的航迹,采用信息融合技术可获得精确的目标状态和属性估计,提高了目标的检测概率。最后完成了覆盖密度分析和目标发现概率的计算,计算结果显示,在单个光电侦察设备发现目标概率为90%的情况下,通过合理布站可使整个系统网络覆盖区域内目标综合发现概率提升至97.472%。实验结果表明:提出的光电组网技术能够大幅度增强目标的探测和跟踪能力。

**关键词:**光电侦察;阵列式方阵;组网技术;发现概率

中图分类号:TN202

文献标志码:A

DOI:10.5768/JAO201940.0601014

## Integrated network system of multi-photoelectric reconnaissance equipment

ZHAO Juncheng, LIU Jianping

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** In view of the shortcomings on single photoelectric reconnaissance equipment, such as small reconnaissance range and single tracking target, an integrated system using array photoelectric reconnaissance technology was designed, and the scheme of station distribution networking was proposed. The  $5 \times 6$  array was used to arrange stations and networking, the warning line was extended forward and the reconnaissance area was enlarged. From the front zone to the central defense target, an orderly and relay detection was carried out and the combined tracking was formed. At the same time, the scheme design of station spacing was studied, and the most reasonable station spacing was got. By using the track of each unit in the coverage area of integrated photoelectric networking, the complete and continuous track of target could be obtained, and the accurate target state as well as the attribute estimation could be obtained by using the information fusion technology, which improved the detection probability of target. Finally, the calculation of coverage density analysis and target detection probability was completed. When the probability of target detection by a single photoelectric reconnaissance device is 90%, the comprehensive target detection probability in the coverage area of the whole system network can be increased to 97.472% by reasonable station distribution. The results show that the photoelectric networking technology can greatly enhance the target detection and tracking ability.

**Key words:** photoelectric reconnaissance; array type; networking technology; detection probability

收稿日期:2019-03-26; 修回日期:2019-04-20

基金项目:国防技术基础项目(JSJL2017208A001)

作者简介:赵俊成(1989—),男,工程师,主要从事光电控制技术方面的研究。E-mail:hippokkk@163.com

## 引言

未来战争将是以信息进攻和信息防御为主导而展开的斗争,并且会愈加尖锐和激烈。光电侦察系统布站组网可作为重要的情报信息源,是指挥、控制、通信、计算机、情报、监视与侦察(C<sup>4</sup>ISR)系统的支撑部分<sup>[1]</sup>。在目前高技术条件下的局部战争中,攻击无人机和巡航导弹已经成为一种重要的精确攻击武器,在历次战争的空袭中都发挥了卓越功效。无人机和巡航导弹作为一种低空突防的隐身目标,对其防御的关键就是探测与跟踪<sup>[2-6]</sup>。由于其具有低空性能和隐身性能特点,用单一的探测手段很难发现目标,且单台光电侦察设备很难实现对多目标的探测处理,同时由于光电侦察系统多采用凝视跟踪手段来实现对低空快速小目标的侦察与跟踪,很难实现全空域搜索,并且由于光的物理特性和地球曲率等因素影响,光电设备对快速小目标作用距离不远,尤其是激光探测距离很小,一般不大于 50 km<sup>[7-8]</sup>。

针对单台光电设备存在的缺陷,为了扩大防御范围,需要研究将多台光电侦察设备适当布站组网,前伸警戒线,力争尽早预警,实施监控。

## 1 光电组网优势及必要性

光电侦察系统组网技术是通过将多部不同光谱探测、不同体制的光电侦察设备适当布站,借助通信手段链接成网,通过中心站统一调配而形成一个有机整体,使光电侦察、跟踪系统阵列化、网络化,形成区域侦察系统,实现防空要地大区域内截获目标,并可对目标进行多点接力跟踪、测量、定位,实现对目标全程跟踪,也能够通过多单元交会测量获取目标位置数据。由于单一传感器的视野范围是有限的,利用方位连续扫描或多传感器视场拼接可解决单传感器视角不足这一问题<sup>[9-10]</sup>,但是其作用距离仍然有限。通过采用阵列布站组网可以扩大光电侦察系统的侦察覆盖范围和探测距离。这种将多个光电侦察站联系起来构建的远程预警网,采用阵列式、栅格化布局,由中心站统一协调,实现多个侦察站协同工作,联合探测目标,进行顺序接力探测、跟踪,扩大了侦察范围,能够缩短预警时间,拓展防空空间,从而实现远距离大范围光电侦察。

### 1.1 国内外研究现状

国外较早地对侦察设备组网进行了一系列的

研究,得到了大量研究成果。在 20 世纪 90 年代美国国防高级研究计划院和美国陆军一起对侦察设备组网开始了研究,主要通过分布在战场的侦察设备对陆军战场进行警戒、目标跟踪以及截获<sup>[11]</sup>。国内对侦察设备组网问题也进行了一系列的研究,但主要集中在类似对雷达等侦察设备的组网研究。

这些研究使单个侦察设备的性能得以改善,目前已经多个国家已经使用组网技术进行公共气象服务以及进行空中交通管制。因为组网中增加一部现有侦察设备成本较低,并且能够使侦察准确度得到提升。但是多部侦察设备消耗更多资源,如何使侦察设备组网通过合理布局以及资源分配来达到最优的侦察性能是组网技术的关键。

### 1.2 光电组网优势

光电侦察系统布站组网后有其独特的优势:可以在所辖作战空域内实行接力跟踪,多层次警戒,探测各种来袭目标,并对目标进行多重定位、补盲,做到不漏情报和减少虚警;同时在中心站对各站上报的来袭目标数据进行融合处理和综合判断,及时列出各目标的威胁等级,并对各种威胁目标提出相应的对抗措施,实现对防区内重点目标的有效保护,提高了己方的生存能力。整套系统很容易进行网内数据共享,提高了系统的搜索效率,节省了系统的反应时间。通过网络实现信息共享并为其他光电侦察站提供目标指示信息,快速发现并捕获跟踪目标。相邻光电侦察站通过中心站协调实现对目标的接力跟踪,进一步实现对目标的远距离、多波次火力打击,也可实现全空域探测跟踪目标,提高防空系统的可靠性。

本文着眼于远距离大范围光电侦察技术,提出了侦察站的布置和组网方法,重点研究了阵列式光电侦察系统布站方法,组网单元间距的设置、组网侦察区域布置和覆盖密度分析和目标发现概率分析计算等。

## 2 布站组网方案

### 2.1 布站方案设计

把分散的单个光电侦察单元进行组网,通过将资源合理配置和优化,就能从技术和战术两个方面充分挖掘和利用阵列式网站的综合效能。系统布站采用行列矩阵结构,由  $m \times n$  个光电侦察阵

列组成, 每个光电侦察站均具有独立远距离探测和跟踪目标的能力, 通过网络通信实现信息共享。

通过单站侦察能力、网络传输能力、中心站处理能力、资源优化配置等多方面综合考虑, 本系统组网规模预设为 30 个侦察站和一个中心站, 每个侦察站的侦察范围为不小于 20 km。同时, 整套系统目标要求侦察范围覆盖不小于 100 km × 100 km。

根据方案设计目标, 需在保卫目标的四周各来袭击方向对称布站, 采取等间距四边形配置方案, 30 个光电侦察站矩形布站, 形成 5 × 6 阵列, 还需要保证阵列内相邻单元之间有一定的侦察覆盖区域, 无侦察盲区。因为侦察站的侦察范围为 20 km, 所以各单元间隔应不小于 15 km, 可保证达到预定侦察覆盖面积。在布站间距为 15 km 时, 具体布站分布如图 1 所示。整个网络的部署区域为 60 km × 75 km, 系统侦察范围将能达到 100 km × 115 km。

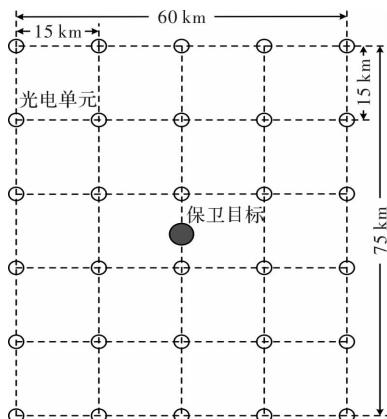


图 1 布站方案设计

Fig. 1 Design of station distribution scheme

在布阵方案的选择上, 本文兼顾了纵深或者浅近纵深地区, 使前沿部署与纵深部署在规定的最低侦察覆盖上有机结合, 从而提高侦察系统组网的能力。在保卫目标或保卫区域的周围, 根据此布站方法进行设计, 采用方阵布站模式, 很容易实现布站间距和排列方式均匀、对等, 而其他布站模式如圆形就很难做到, 因此本文采用方阵的布站方法。

## 2.2 组网方案设计

在完成各光电侦察设备布站后, 还需要借助通信(无线或有线)手段将其链接成网<sup>[12]</sup>, 从而通过中心站统一管理, 形成一个有机整体, 建立“信

息共享, 各自为战”的对等系统网络。中心站收集网内各光电侦察设备获取的数据信息, 综合处理后形成组网覆盖范围内的情报信息, 同时指示系统内其他设备对不同威胁等级的目标采取不同措施。

阵列式光电系统组网是典型的分布式军事信息系统。由于各站分布在不同的地域独立工作, 与融合中心之间通过网络通信进行数据传输, 所以我们采用分布交互式体系结构, 建立在互联网基础上, 把分散在不同地点的设备联系起来, 形成一个在时间和空间上相互耦合的综合作战环境体系。

本光电侦察系统组网采用层次型分布式双冗余 10/100 MB 自适应以太网, 网络的逻辑结构见图 2 所示。

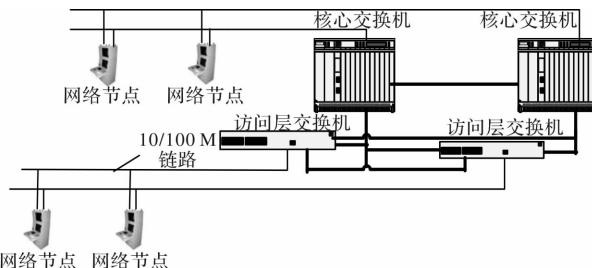


图 2 光电侦察系统网络体系结构图

Fig. 2 Structure diagram of photoelectric reconnaissance system network

光电侦察系统网络的物理连接方式采用 10BASE-T/100BASE-TX 星型拓扑结构。核心层交换机是访问层交换机互连的高速主干, 采用双冗余堆叠式结构, 并配置高速以太网接口。对于交换机的配置, 由系统统一组织进行配置, 访问层交换机与核心层交换机连接, 使用访问层交换机的各个分系统, 选取同种型号的访问层交换机, 并将交换机上序号顺序最后的 4 个百兆端口进行相互级联, 用于访问层交换机之间的冗余连接。

## 3 布站间距分析

为了在较远的距离上提供空情, 防止敌方实施突然袭击, 光电布站通常在作战地域靠近前沿的地带部署一定的侦察单元, 尽量前伸警戒线, 力争尽早预警, 实施监控。但考虑到单站侦察能力有限, 增大布站间距有可能导致侦察盲区, 因此还需要分析计算出一个最优的布站间距。

本文所述的阵列式光电侦察系统根据保卫对

象的不同,可以采用不同的阵列结构,其布站的方法相近。为了便于分析,以上文方案中的  $5 \times 6$  光电侦察阵列进行分析。本系统组网规模为 30 个侦察站和一个中心站,按照  $5 \times 6$  阵列布置,各个侦察单元的作用距离不小于 20 km。若各单元间距为 20 km,即整个网络的部署区域为 80 km  $\times$  100 km,则系统侦察范围将达到 120 km  $\times$  140 km。

在单个光电侦察站侦察距离固定的情况下,为了选出最优的布站间距,我们分别采取 10 km, 15 km, 18 km, 20 km 等多种不同间距进行组网布站分析。图 3 为采取  $5 \times 6$  阵列布站,在 4 种不同间距下的布站分布图。

4 种不同间距情况下的部署区域、侦察范围和最大覆盖密度比较见表 1 所示。

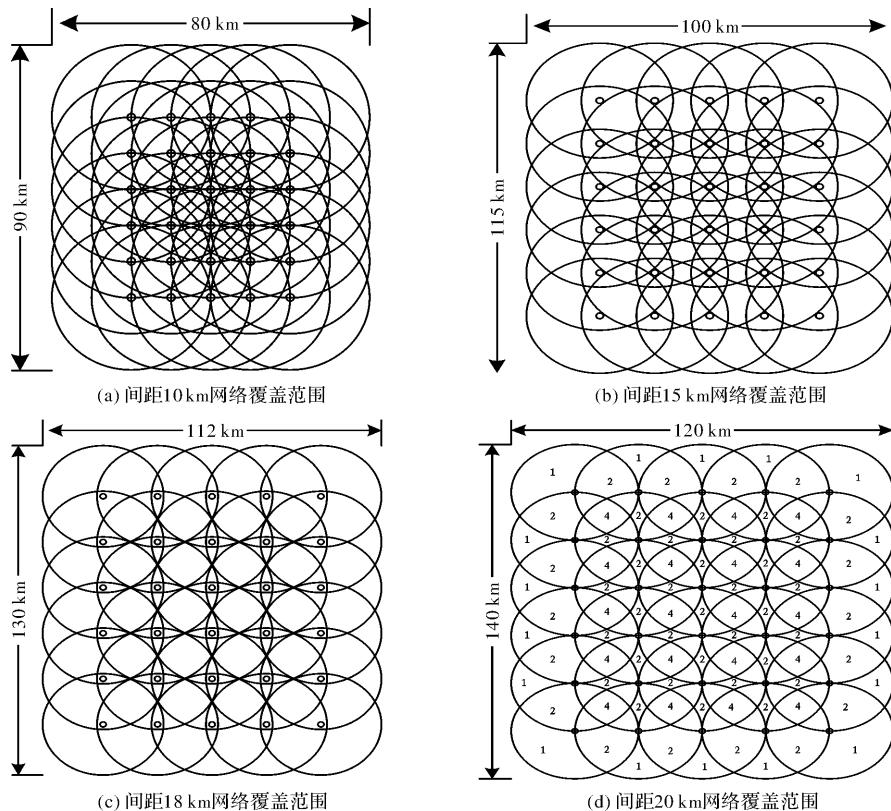


图 3 不同间距下的网络覆盖范围示意图

Fig. 3 Schematic diagram of network coverage area at different spacings

表 1 相同单元不同布站间距比较

Table 1 Comparison of the same unit at different spacings

	布站间距/km			
	10	15	18	20
单元数	$5 \times 6$	$5 \times 6$	$5 \times 6$	$5 \times 6$
部署区域/km	$40 \times 50$	$60 \times 75$	$72 \times 90$	$80 \times 100$
侦察范围/km	$80 \times 90$	$100 \times 115$	$100 \times 115$	$120 \times 140$
最大覆盖密度	8	6	5	4

从图 3 和表 1 可以看出,布站间距的选择和单站的作用距离有关。布站间距越小,阵列内覆盖密度越高,在单站的作用距离一定,侦察总范围相同的情况下,使用的单元数越多,成本就越高,资源利用率比较低,处理的数据量也比较大,不过其数据的可信度却比较高。通过对几种阵列化布站研究和分析,在单站作用距离不小于 20 km 时,合

理的布站间距在 15 km  $\sim$  20 km 之间,按照 15 km 间距布站,系统联合作战效能最优。为了减少阵列单元的数量,降低成本,在单站作用距离不小于 20 km 时,可以将布站间距提高到 20 km。

#### 4 作战效能分析

作战效能分析从两方面入手,即整体性和协

同性。从整体出发而不是从分系统或部件出发, 对侦察系统组网作战能力的分析应该遵循整体性的原则, 真正的理解侦察系统组网所具有的单站无法比拟的优势。协同性方面, 任何系统均由多个分系统和多个要素组成, 它们之间并不是简单的拼凑, 而是密切关联, 具有因果关系、协同关系和总体均衡性, 不只是需要优化某一方面。因此我们分析系统的问题就以这种因果关系、协同关系为条件, 研究系统中要素与要素、要素与系统、系统与环境间的关系, 把握这种关系。

为了客观地量化分析阵列式光电侦察系统相对于单站作战效能的指标提升, 我们建立如下数学模型:

- 1) 系统组网规模为  $5 \times 6$  个单元, 各单元间距选择上文中分析得出的最优间距  $R=15 \text{ km}$ ;
- 2) 计算出单站侦察范围, 每个光电侦察单元对巡航导弹的探测距离  $r \geq 20 \text{ km}$ , 则单站全向扫描覆盖的区域为:  $\pi r^2 = 3.14 \times 20^2 = 1256 \text{ km}^2$ ;
- 3) 计算网络覆盖范围, 整个侦察网络覆盖范围为  $100 \text{ km} \times 115 \text{ km}$ ;
- 4) 定位网络保护目标, 被保护目标在指定侦察覆盖范围中心。

在上述模型基础上, 可以量化分析系统网络作战效能。按照图 1 所示布站, 网络部署区域  $S_S$  可表示为

$$S_S = ((m-1) \times R) \times (n-1) \times R \quad (1)$$

式中  $R$  为布站间距。那么  $5 \times 6$  阵列网络部署区域为  $60 \text{ km} \times 75 \text{ km}$ 。

网络覆盖范围  $S_T$  可近似表示为

$$S_T = ((m-1) \times R + 2r) \times ((n-1) \times R + 2r) \quad (2)$$

式中  $r$  为单站作用距离。 $5 \times 6$  阵列网络覆盖范围约为  $100 \text{ km} \times 115 \text{ km}$ 。

#### 4.1 覆盖密度分析

对使用 30 个光电侦察单元在最优布站方式下的威力覆盖密度进行分析。 $5 \times 6$  阵列式光电侦察系统在间距  $15 \text{ km}$  时网络覆盖比例的简化图如图 4 所示。

威力区覆盖密度  $C_{ad}$  定义为网内所有光电侦察威力区面积之和与侦察网威力区面积之比, 即:

$$C_{ad} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{A_{net}} \quad (3)$$

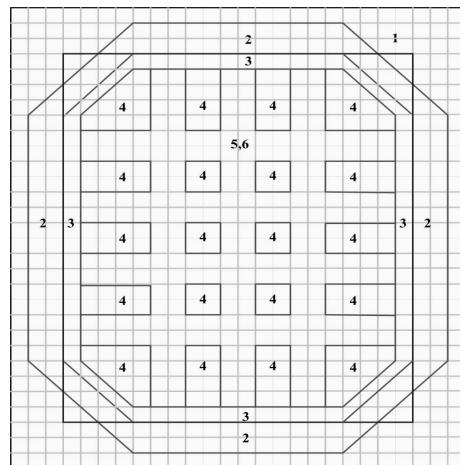


图 4 网络覆盖比例简化图

Fig. 4 Simplified diagram of network coverage scale

式中:  $A_i$  为  $i$  类区域的面积;  $A_{net}$  为侦察网威力区面积。

威力区覆盖密度最小为 1, 对应于阵列内各光电侦察威力区互不重叠, 若有部分威力区互相重叠, 威力区覆盖密度则大于 1。在侦察网威力区面积固定的情况下, 覆盖密度越大, 说明阵列式光电网的探测空间越严密, 也就需要以多部署侦察站为代价。

图 4 中整个系统光电侦察网络覆盖区域根据系统覆盖密度可分为下列 6 类区域。根据图 3(b) 可以计算各类区域大约所占比例, 即:

$$K_i = \frac{A_i}{A_{net}} \quad (4)$$

式中  $K_i$  为  $i$  类区域所占侦察网威力区的百分比。

只有 1 部光电侦察单元能够覆盖的区域(简称 I 类区域), 如图 4 中标注 1 的区域, 覆盖密度等于 1,  $A_1$  约占整个覆盖区域 23.3%。

有 2 部光电侦察单元能够覆盖的区域(简称 II 类区域), 如图 4 中标注 2 的区域, 覆盖密度等于 2,  $A_2$  约占整个覆盖区域 18.7%。

有 3 部光电侦察单元能够覆盖的区域(简称 III 类区域), 如图 4 中标注 3 的区域, 覆盖密度等于 3,  $A_3$  约占整个覆盖区域 8.9%。

有 4 部光电侦察单元能够覆盖的区域(简称 IV 类区域), 如图 4 中标注 4 的区域, 覆盖密度等于 4,  $A_4$  约占整个覆盖区域 19.7%。

有 5 部光电侦察单元能够覆盖的区域(简称 V 类区域), 如图 4 中标注 5 的区域, 覆盖密度等于 5,  $A_5$  约占整个覆盖区域 19.7%。

有 6 部光电侦察单元能够覆盖的区域(简称 VI 类区域),如图 4 中标注 6 的区域,覆盖密度等于 6,  $A_6$  约占整个覆盖区域 9.7%。

从图 4 中可以看出,整个覆盖范围呈现出由边缘到中心,覆盖密度由低到高的态势,同时各个方面覆盖密度分布均匀,可以从容应对来自四面八方的威胁。整套系统能够实现对中心区域的最优保护。

由于需要总覆盖范围和重点探测范围 2 个参数,由分析结果可以看出,2 个指标是矛盾的,当总覆盖范围较大时,此时光电单元位置确定后,重点探测范围就会变小;而重点探测范围变大时,由于覆盖范围重叠的光电单元也变多,那么总覆盖区域的范围就变小了。因此需根据实际情况来确定侧重哪一个指标,以此优化模型参数,进行位置优化来满足实际需求。

#### 4.2 目标发现概率分析

对于目标的发现概率,根据概率论原理进行分析<sup>[13-15]</sup>。若单部光电侦察站的目标发现概率为  $P_s \geq 90\%$ ,那么当侦察目标在覆盖范围内,且 30 个光电侦察站全部投入工作的情况下,由于 I 类区域只有一个光电侦察单元能够覆盖,所以 I 类区域的目标发现概率  $P_I \geq 90.0\%$ 。

在 II 类区域内,由于网内各单元信息共享,第一个单元发现目标概率为 90%,则第二个单元共享此数据,而对于第一个单元未发现的 10%,第二个单元又有 90% 的发现概率,则 II 类区域内目标的发现概率  $P_{II}$  为  $90\% + 10\% \times 90\% = 99\%$ 。根据概率论原理计算<sup>[16-17]</sup>,目标的发现概率可以用下式表示:

$$P_i = 1 - (1 - P_s)^i \quad (5)$$

式中:  $i$  为区域类别或覆盖密度;  $P_i$  为  $i$  类区域的目标发现概率。

以此类推可以计算出:

III 类区域的目标发现概率  $P_{III} \geq 99.9\%$ ; IV 类区域的目标发现概率  $P_{IV} \geq 99.99\%$ ; V 类区域的目标发现概率  $P_V \geq 99.999\%$ ; VI 类区域的目标发现概率  $P_{VI} \geq 99.9999\%$ 。这说明威力范围内具有一定重叠系数的阵列式光电侦察系统可以提高目标的发现概率。

除此之外,无论哪个区域发现目标,通过中心站信息共享,对其他区域内的光电单元均具有预警作用,也可以提高目标的发现概率,但这类概率

提高无法准确量化。

在 II 类以上区域,系统也可通过 2 台以上交会测量(2 台以上同时测量同一目标)获取有效目标定位数据,即有效获取目标定位数据概率  $\geq 99.0\%$ 。

整个系统网络的目标发现概率  $P_{net}$  为

$$P_{net} = \sum_{i=1}^6 (P_i \cdot K_i) = 97.472\% \quad (6)$$

在整个系统网络覆盖的 100 km × 115 km 区域内,目标综合发现概率为 97.472%。由此可知,阵列式光电侦察系统通过合理布站部署,可实现大范围防护,并有效提高发现目标的概率。

## 5 结论

本文把分散的光电侦察单元进行组网,进行了合理配置和优化,通过理论研究和实际计算,从技术和战术两个方面充分挖掘和利用阵列式网络的综合效能。本系统布站由 5×6 光电侦察阵列组成,每个光电侦察站均具有远距离探测和跟踪目标的能力,通过网络通信实现信息共享并为其他光电侦察站提供目标指示信息。相邻光电侦察站通过中心站协调实现对目标接力跟踪,进一步实现对目标的远距离、多波次火力打击,也可实现全空域探测跟踪目标,提高防空系统的可靠性。针对复杂电磁环境下低空突防的快速小目标,实现了远距离、大范围搜索、发现、跟踪,阵列式组网技术对巡航导弹、无人机等目标的预警侦察,目标指示及火力控制等新思路。

## 参考文献:

- [1] LI Xiangping, ZHANG Liqiang, YING Tao, et al. Research on the track correlation algorithm based on the multisensor [J]. Guidance & Fuze, 2010, 31(4): 12-15.  
李湘平, 章力强, 应涛, 等. 多传感器航迹关联算法研究[J]. 制导与引信, 2010, 31(4): 12-15.
- [2] LI Xiangjun. Approach to optimal disposition of EO netting based on genetic algorithm [J]. Journal of Applied Optics, 2016, 37(1): 6-11.  
李向军. 基于遗传算法的光电组网优化布站[J]. 应用光学, 2016, 37(1): 6-11.
- [3] ZHU Yu, LUO Jingqing, TIAN Wei. Research on multi-false-target jamming against netted radar [J]. Electronics Optics & Control, 2013, 20(9): 93-98.

- 朱宇, 罗景青, 田玮. 对组网雷达的多假目标欺骗干扰技术[J]. 电光与控制, 2013, 20(9): 93-98.
- [4] MACDONALD M. WPF in C# 2010: Windows presentation foundation in .NET 4 [M]. Berkeley, CA: Apress Inc., 2010
- [5] ZHAO Qinglin, YU Yunqi, GUO Xinsheng, et al. Methods for sharing target information with different EO platforms and error analysis [J]. Journal of Applied Optics, 2018, 39(1): 76-82.
- 赵青林, 鱼云岐, 郭新胜, 等. 不同光电平台共享目标信息的方法及误差分析[J]. 应用光学, 2018, 39(1): 76-82.
- [6] LI Wei, KE Tao. Simulation analysis of anti-stealth feasibility of radar netting [J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2010, 33(5): 83-87.
- 李伟, 柯涛. 雷达组网反隐身可行性仿真分析[J]. 舰船电子对抗, 2010, 33(5): 83-87.
- [7] LEE I H, BANG H. Optimal phantom track generation for multiple electronic combat air vehicles [J]. International Conference on Control, Automation and Systems, 2008, 33(5): 29-33.
- [8] SUN S I. Multi-sensor optimal information fusion Kalman filter with application [J]. Aerospace Science and Technology, 2004, 8(1): 57-62.
- [9] BAI Zhimao, HUANG Gaoming, YANG Luxi. A radar anti-jamming technology based on canonical correlation analysis [C]// International Conference on Neural Networks and Brain. USA: IEEE, 2006.
- [10] BECERRA R L, COELLO C A. Culturizing differential evolution for constrained optimization [C]// ENC'04. USA: IEEE, 2004: 304-311.
- [11] CHEN Zhijie, RAO Bin, LI Yongzhen, et al. Simulation realization of netted radar data fusion systems [J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(1): 205-212.
- 陈志杰, 饶彬, 李永祯, 等. 雷达组网数据融合系统仿真实现[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(1): 205-212.
- [12] REYNOLDS R G, ZHU Shinin, Knowledge-based function optimization using Fuzzy cultural algorithms with evolutionary programming [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2001, 31(1): 1-18.
- [13] YU Zhou, ZUO Xiangang, HOU Zhisong. An improved joint probabilistic data association algorithm [J]. Fire Control & Command Control, 2010(4): 106-110.
- 余周, 左现刚, 侯志松. 一种改进的联合概率数据关联算法[J]. 火力与指挥控制, 2010(4): 106-110.
- [14] LU Guanghua, PENG Xueyu, ZHANG Linrang, et al. Random signal processing [M]. Xian: Xidian University Press, 2002.
- 卢光华, 彭学愚, 张林让, 等. 随机信号处理 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [15] PURVIS K B, CHANDLER P R, PACHTER M. Feasible flight paths for cooperative generation of a phantom radar track [J]. Journal of Guidance, Control and Dynamics, 2006, 29(3): 653-661.
- [16] MA Zhongxiao, GONG Quancheng, CHEN Ying, et al. Analysis and study on influence factors of target geo-locating accuracy for electro-optical reconnaissance system [J]. Journal of Applied Optics, 2018, 39(1): 1-6.
- 马忠孝, 巩全成, 陈颖, 等. 影响光电侦察系统目标定位精度因素分析[J]. 应用光学, 2018, 39(1): 1-6.
- [17] ZHANG Zhengchao, LI Wenchen, LI Hong. Probability of radar network detection [J]. Electronic Warfare Technology, 2013, 28(6): 29-34.
- 张政超, 李文臣, 李宏. 组网雷达检测概率研究 [J]. 电子信息对抗技术, 2013, 28(6): 29-34.