

# 面向环境多重约束的雷达部署位置优选方法

崔国楠, 粟嘉, 陶明亮, 范一飞, 王伶

(西北工业大学 电子信息学院, 陕西 西安 710072)

**摘要:** 雷达部署阵地区域范围内的复杂地理环境和电磁干扰环境将严重影响雷达装备探测性能。聚焦复杂地理和电磁环境下雷达优化部署的迫切需求,提出了一种面向环境多重约束的雷达阵地部署位置优选方法。根据雷达阵地的地形地貌和电磁干扰环境,建立地理和电磁环境双约束条件下的雷达阵地选址模型;结合雷达方程,计算复杂传播地形下的传播损耗,并将目标高度层探测威力和重点区域覆盖威力作为雷达选址位置优劣的评估指标;将雷达在环境多重约束下的探测范围进行可视化展示。针对实际系统中雷达作战场景复杂、传统雷达装备部署方法考虑约束单一的问题,通过计算环境和电磁多重约束下的传播损耗、地形损耗、电磁损耗,并加入实际高程地形数据作为参考,更真实客观地分析阵地周围环境对雷达装备性能的影响。所提出的评估指标与优选方法及可视化呈现,可为多重约束下雷达装备作战效能提升提供准确、可靠、直观的阵地优化部署策略。

**关键词:** 地形遮蔽;电磁干扰;雷达探测;雷达部署

**中图分类号:** TN955

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-2758(2023)04-0757-07

随着现代战争的不断发展,军用雷达作战场景日益复杂,雷达生存和使用环境日趋紧张激烈<sup>[1-3]</sup>。雷达阵地是雷达作战发挥效能的基础,阵地周围的自然环境和电磁干扰环境会影响雷达装备性能发挥。为了使雷达尽可能多地发现作战区域范围内的目标,部署雷达架设位置时需结合实际预部署区域,考虑阵地周围的自然环境及电磁环境两大约束<sup>[4]</sup>。

自然环境约束主要包括不同地形地貌下的复杂电磁波传播模型及地形高程引起的地形遮蔽,电磁环境约束主要考虑阵地范围内可能出现的电磁干扰。目前,现有的阵地优选方法主要围绕着地形遮蔽盲区的计算展开<sup>[4-10]</sup>,主要是根据数字高程模型数据,绘制雷达装备探测范围<sup>[7-9]</sup>。针对电磁环境对雷达装备探测性能的影响,文献[9-10]基于STK仿真平台绘制雷达三维探测范围。文献[11]利用图形开发工具,实现多架雷达实时更新的三维探测范围绘制功能。文献[12]利用ArcGlob平台和CsGI图形开发库进行雷达三维探测场景绘制。对于电磁

干扰的研究主要是构建干扰约束下的雷达模型,计算雷达探测距离,进行干扰环境下的探测范围可视化<sup>[13-14]</sup>。上述2种方法均只考虑了单一约束下的情况,且仅着重于解决雷达站部署位置已知的情况,即计算雷达在某一固定点处时的探测范围,并未考虑该位置处雷达的探测性是否最优,即缺乏在阵地范围内选择最优雷达站部署位置的优选策略。针对现有部署策略的不足,文献[15]通过分析雷达装备在两处部署位置的探测性能,结合文中的评价指标,在2个位置中选取了性能最优的一处作为最终雷达站位置,该方法为后续的雷达部署策略提供了研究基础。上述研究均是对于单站雷达的探测范围计算方法,而对于多部雷达同时工作的组网模式下的部署策略,由于排列组合数目过多、计算量过大、工作雷达数量未知等问题,目前研究大多基于粒子群算法、遗传算法等优化算法进行优选来确定复杂环境下组网雷达站的数目与位置<sup>[16-18]</sup>。本文研究是针对单站雷达在已知阵地环境中的部署策略,即通过

收稿日期:2022-09-30

基金项目:国家自然科学基金(62171379)与陕西省创新能力支撑计划(2021KJXX-99)资助

作者简介:崔国楠(1998—),西北工业大学博士研究生,主要从事雷达信号处理研究。

通信作者:粟嘉(1985—),西北工业大学副教授,主要从事雷达系统设计、雷达信号处理及多维信号处理研究。

e-mail:jiasu1011@nwpu.edu.cn

评估指标,对比选择出最优的一处雷达站位置。目前,文献[15]的工作已为部署策略提供了研究基础,本文在其基础上,考虑地理环境和电磁环境等多重约束,给出雷达站在预部署阵地内的探测性能计算结果、评估指标对比、优选策略和最终优选结果。

因此,为了构建复杂自然环境和电磁环境影响下的雷达探测威力计算方法和多约束条件下雷达装备位置部署优选策略,本文综合考虑了地形高程、地球曲面、大气折射、对流层大气散射、大气吸收和电磁干扰等多种因素,提出了一种面向自然环境和电磁环境多重约束的雷达部署位置优选方法,通过合理选择雷达系统架设位置,更准确直观地分析真实阵地部署环境对雷达探测性能的影响,更精准地发挥雷达阵地“侦查、预警、作战”的整体威力,为雷达系统有效执行任务提供有力保障。

## 1 雷达阵地部署影响因素

雷达探测威力可以通过计算雷达覆盖范围进行可视化表示。雷达方程是计算雷达最大探测距离的基础,通过考虑复杂地貌传播模型和地形遮蔽约束下的传播损耗衰减,来获取更符合真实传播情况的最大探测距离计算值,从而为阵地部署策略提供评估指标基础。

### 1.1 理想条件下雷达三维探测范围

根据雷达方程可得,自由空间中,雷达探测目标的距离计算公式为<sup>[19]</sup>

$$R_r(\theta, \phi) = \sqrt[4]{\frac{P_t G_t G_r F_r^2(\theta, \phi) F_t^2(\theta, \phi) \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 (S_N)_{\min} L_s L}} \quad (1)$$

式中: $\theta$ 为方位角; $\phi$ 为俯仰角; $P_t$ 为雷达发射功率; $G_t$ 为雷达天线发射增益; $G_r$ 为雷达接收天线增益; $F_t$ 为雷达发射端的天线方向图因子; $F_r$ 为雷达接收端的天线方向图因子; $\lambda$ 为雷达波长; $\sigma$ 为目标发射截面积; $(S_N)_{\min}$ 为最小检测信噪比; $L_s$ 为雷达系统损耗因子; $L$ 为雷达传播衰减;  $R_r$ 为雷达到目标距离。

雷达三维探测距离由雷达接收天线方向图和雷达发射天线方向图共同决定。当  $F_r(\theta, \phi) = F_t(\theta, \phi) = 1$  时,计算出来的探测距离即为雷达最大探测距离

$$R_{r\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 (S_N)_{\min} L_s L}} \quad (2)$$

因为  $F_r$  和  $F_t$  都是  $\theta$  和  $\phi$  的函数,公式(1)可以简化为

$$R_r(\theta, \phi) = R_{r\max} |F(\theta, \phi)| \quad (3)$$

式中,  $F(\theta, \phi)$  为接收和发射天线方向图的归一化函数,(3)式描述了雷达在自由空间中方位角  $\theta$ 、仰角  $\phi$  方向上的理论最大探测距离。

### 1.2 自然环境下雷达探测距离

雷达系统实际作战场景下,阵地区域范围内的地貌地形、地形高程所产生的地形遮蔽是影响雷达探测性能的关键因素之一。一方面,自然环境中的地形遮蔽会阻隔雷达电磁波的传输,形成遮蔽盲区;另一方面复杂特殊的地形还会产生强大的地杂波,严重情况下可能会淹没回波信号,影响雷达对目标的检测性能<sup>[14-15, 19]</sup>。

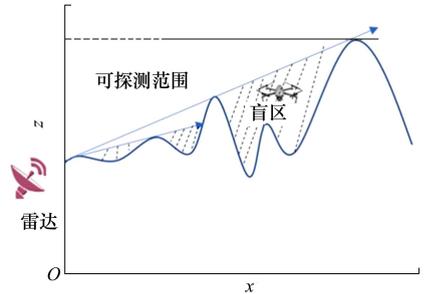


图1 雷达地形遮蔽盲区示意图

复杂地理环境下地形地貌对电磁波传输的影响,可通过计算雷达的传播衰减值来刻画,其具体计算方式为:

建立雷达波传播的二维空间直角坐标,  $x$  表示雷达波传播距离方向,  $z$  表示地形高程值,  $E(x, z)$  表示利用抛物方程法得到的雷达波传播到各个方向的电场值。

传播因子  $K$  包含了大气折射和地面反射等因素对雷达传播的影响,其计算公式为

$$K = |E(x, z)| \sqrt{x} \quad (4)$$

将其转换为分贝形式可表示为

$$20\lg K = 10\lg[(e_r^2 + e_i^2)x] \quad (5)$$

式中,  $e_r, e_i$  分别表示电场  $E(x, z)$  的实部和虚部。

雷达传播衰减值  $L$  由大气折射衰减  $L_r$ 、对流层大气散射衰减  $L_{\text{ms}}$ 、大气吸收衰减  $L_\alpha$  共同作用决定。其中,大气折射衰减  $L_r$  的计算公式为

$$L_r = 20\lg\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right) - 20\lg K \quad (6)$$

式中,  $r$  为电磁波传播距离。

雷达传播衰减值  $L$  的计算公式为

$$L = \begin{cases} L_{\text{trs}} + L_{\alpha}, & L_d \geq 18 \text{ dB} \\ L_r - 10\lg(1 + 10^{0.1L_d}) + L_{\alpha}, & -18 \text{ dB} < L_d < 18 \text{ dB} \\ L_r + L_{\alpha}, & L_d \leq -18 \text{ dB} \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $L_d = L_r - L_{\text{trs}}$ 。

通过(7)式得到三维空间中雷达波传播垂直面方向所有空间网格的电磁波传播衰减,并且该衰减综合考虑了大气折射、对流层大气散射、大气吸收和地形高程等多方面因素对雷达波传播过程的影响,能比较准确地描述出雷达波在真实环境中的传播情况。

根据修正传播衰减后的雷达方程可得,在复杂地形地貌传播模型下雷达探测目标的距离公式为

$$R_e(\theta, \phi) = \sqrt[4]{\frac{P_t G_t G_r F_r^2(\theta, \phi) F_t^2(\theta, \phi) \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 (S_N)_{\min} L_s \cdot L(L_r, L_{\text{trs}}, L_{\alpha})}} \quad (8)$$

在自然地理环境约束下,雷达在三维空间中任意一点的探测威力可表示为

$$R_e(\theta, \phi) = R_{\text{emax}} |F(\theta, \phi)| \quad (9)$$

式中,  $R_{\text{emax}}$  为复杂地形地貌传播模型下,天线方向图因子  $F_r(\theta, \phi) = F_t(\theta, \phi) = 1$  时计算出的雷达最大探测距离。

### 1.3 干扰条件下雷达探测距离

假设有多部干扰机的干扰主瓣同时对准雷达进行干扰,此时雷达探测目标的距离计算公式为<sup>[19]</sup>

$$R_{\text{jmax}} = \sqrt[4]{\frac{P_t G_t G_r k_j \sigma \lambda^2}{4\pi \left( \sum_{i=1}^M \frac{P_{ji} G_{ji} G_r (\theta - \zeta_i) B_n \gamma_{ji}}{R_{ji}^2 B_{ji} L_{ji} L_j} \right)}} \quad (10)$$

式中:  $k_j$  为干扰压制系数;  $P_{ji}$  为第  $i$  部干扰机的发射功率;  $G_{ji}$  为第  $i$  部干扰机天线在雷达方向的增益;  $\zeta_i$  是指干扰机的方位角;  $\gamma_{ji}$  为干扰信号对雷达天线造成的极化损失;  $R_{ji}$  为第  $i$  部干扰机到雷达接收机的距离;  $L_{ji}$  为第  $i$  部干扰机的系统损耗因子;  $L_j$  为干扰机的传播路径损耗;  $B_n$  为雷达带宽,  $B_{ji}$  为干扰带宽。

综合考虑地理环境和电磁干扰环境的双重约束下,雷达的最大探测距离可以表示为  $R_{\text{rmax}}$

$$R_{\text{rmax}} = \min\{R_{\text{lmax}}, R_{\text{emax}}, R_{\text{jmax}}\} \quad (11)$$

综上所述,在自然地理环境和电磁干扰双约束下雷达在三维空间中任意一点的探测威力可表示为

$$R(\theta, \phi) = R_{\text{rmax}} |F(\theta, \phi)| \quad (12)$$

## 2 雷达部署位置优选方法

本节对雷达部署位置优选方法进行介绍,本方法主要给出了雷达站部署策略,核心思想基于雷达探测方程,在考虑自然地理环境与电磁干扰双约束对电磁波传播的影响下,计算雷达装备在不同传播路径处的传播损耗,进一步计算不同雷达站位置处的探测覆盖范围,最后根据评估指标选出给定阵地范围内的最优雷达站架设位置。

第1节中介绍了不同情形下的雷达探测距离计算公式,为了使模拟计算出的雷达探测覆盖范围更加贴合实际作战场景,在计算最大探测距离时必须考虑复杂地形和电磁干扰双重约束。具体来说,即需要考虑地形高程对电磁波传播过程的损耗,以及地形高程所引起地形遮蔽情况,通过计算不同角度不同高度所对应的最大探测距离,进而绘制雷达装备的三维探测覆盖图。

本文所提出的雷达站位置优选策略具体流程如图2所示。具体步骤可表示为:

步骤1 雷达位置初始化,方位角  $\beta$  初始化  $\beta = 0$ ,并给定雷达部署空域高度  $H_{\text{start}}$ 。

步骤2 调用DEM数据,计算在给定天线架设高度模型下,求解自由空间内垂直波束与部署阵地范围内所有  $H$  高度等高线的交集。

步骤3 调用DEM数据估计  $\beta$  方位上可能的遮蔽角  $e$ 。

步骤4 雷达遮蔽情况判断。若观测俯仰角  $e \geq$  雷达最小俯仰角  $e_{\min}$ ,则雷达探测在此点受到遮蔽;若  $e <$  雷达最小俯仰角  $e_{\min}$ ,则雷达在此点没有遮蔽。

步骤5 电磁干扰下最大探测距离计算。利用(11)式计算出存在电磁干扰和大气环境影响因素下的最大探测距离。

步骤6 遍历方位角  $\beta$ ,将计算所有方位角度上的实际最大探测距离。

步骤7 三维探测威力图绘制。计算完  $H_{\text{start}}$  高度上的所有盲区后,将遮蔽点与所有角度上的最大探测距离进行比对,剔除计算得到的所有盲区点,即可给出雷达在某地理点受地形遮蔽影响的三维探测威力范围。

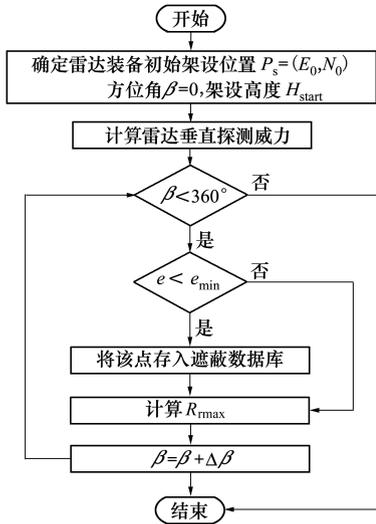


图 2 固定位置雷达站三维探测威力图

在计算完某固定位置处雷达装备的三维探测威力覆盖图后,利用给定的预部署阵地环境信息,通过划分网格的形式,遍历计算所有网格节点处的雷达三维覆盖威力图,结合所提的评估指标,选出探测性能最好的网格节点。计算流程如图 3 所示,具体步骤可表示为:

步骤 1 获取预部署阵地区域的 DEM 数据。

步骤 2 对预部署区域进行均匀的网格划分,搜索步长为  $\Delta P$ , 网格总数为  $P_s$ 。

步骤 3 确认雷达架设初始位置  $P_0=(E_0, N_0)$ 。

步骤 4 绘制  $P_0$  位置处的雷达探测三维威力图,并存入覆盖威力数据库中。

步骤 5 遍历所有网格。

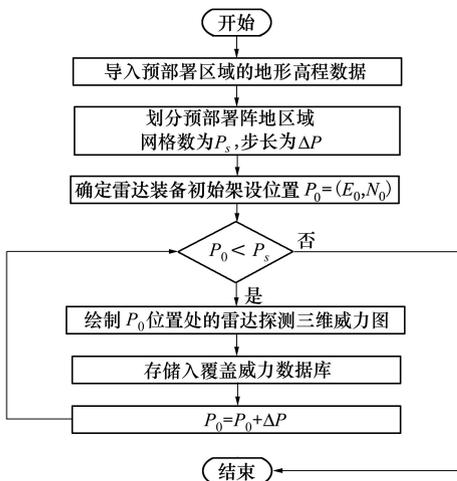


图 3 部署位置优选流程

步骤 6 对比雷达探测覆盖威力数据库中数据,选出覆盖范围最大的部署位置  $P_{max}=(E_{max}, N_{max})$ 。

对预部署阵地范围内所有位置进行遍历后得到雷达站覆盖威力数据库,其中包含  $P_s$  个节点的雷达站探测数据,最后利用本文所提评估指标进行最终优选。本文方法所采用的评估指标为目标高度层探测威力和重点区域覆盖威力。

1) 目标高度层探测威力:雷达装备对于不同海拔高度的目标在三维空间中各个角度上的最大探测距离和探测覆盖范围。雷达部署位置与阵地区域内的地形高程会影响到不同海拔高度处目标的探测威力,优选出的雷达部署位置必须对多个高度层的目标同时保持良好的探测性能,因此选择目标高度层探测威力作为评估指标之一。

2) 重点区域覆盖威力:根据先验信息确定目标的重点活动范围,将其定义为重点区域,雷达装备的探测覆盖范围与重点区域覆盖范围的比值定义为重点区域覆盖率。通过该评估指标可以较为明显地看出雷达装备在某一区域内的覆盖情况。

### 3 实验验证与分析

本文采用了 EarthData 官网上下载的公开实测 DEM 数据(advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer global digital elevation model),基于星载热发射和反射辐射仪全球数字高程模型,数据的全球空间分辨率为 30 m(垂直精度 20 m,水平精度 30 m)。雷达装备为对海探测雷达,工作于 X 波段,雷达部署区域范围和雷达探测重点区域示意图如图 4 所示。本实验中考虑的电磁干扰为同频干扰,2 个电磁干扰分别位于陆地和海面,雷达工作参数和干扰参数如表 1 所示。

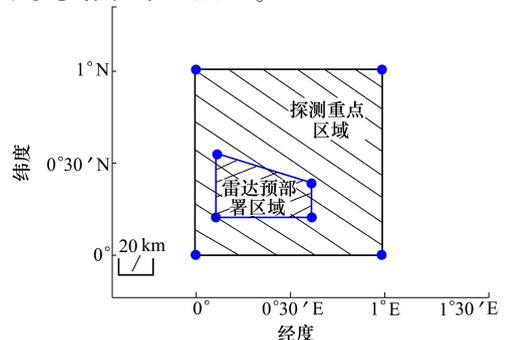


图 4 雷达部署示意图

表 1 仿真参数

类型	参数	数值
雷达	探测概率	0.9
	虚警率	$10^{-6}$
	最大探测距离/km	50
	距离分辨率/m	5
	目标 RCS/ $m^2$	0.3
	相参积累脉冲数	10
	载频/GHz	10
干扰 1	接收天线增益/dB	38
	天线频率/GHz	10
干扰 2	干扰功率/kW	10
	天线频率/GHz	10
	干扰功率/kW	15

表 2 不同部署方案雷达探测威力范围

部署方案	重点区域覆盖率/%	最大探测距离/km
1	21.4	36.37
2	27.33	36.42

当同时考虑自然环境和电磁干扰约束时,对 500 m 目标高度层进行探测仿真时,不同部署位置所对应的重点区域覆盖率如表 2 所示,相应的覆盖范围示意图如图 5 所示。

可以看出部署方案 2 对应的雷达装备对重点区域的探测覆盖率为 27.33%,比方案 1 高 5.93%。因此在考虑自然地理环境和电磁干扰环境的双重约束下,利用本文所提方法,可以计算出电磁波传播路径的损耗,并最终得到各个角度位置处的信干噪比,得到雷达的重点区域覆盖率和最大探测距离指标。

通过上述仿真实验可见,本文所提的评估指标与部署流程,在充分考虑自然环境和电磁干扰环境多约束条件下,可实现较好的可视化效果,同时可以较为明显地对比出不同部署位置处的探测范围优劣,可为实际雷达阵地部署提供充分的策略保障。

## 4 结 论

雷达阵地部署是雷达装备实现探测性能的基础,在部署雷达位置时,阵地周围的自然地理环境和电磁干扰环境会对装备性能产生较大影响,通过考虑多重约束条件下的雷达装备位置优选方法,可最大程度地提升雷达作战性能,同时提供更可靠的部署策略。本文详细分析了自然地理环境和电磁环境约束对雷达探测性能的影响,并利用所提方法,基于真实 DEM 数据进行实验分析,给出了优选流程和优选策略。与传统的阵地选址方法相比,本文提出的方法不仅综合考虑了自然环境和电磁环境双重约束,同时给出了整套的评估优选流程和评估策略,为雷达装备架设点遴选提供重要可靠的决策依据,为雷达探测性能可视化与保障雷达效能提供了有力保障。

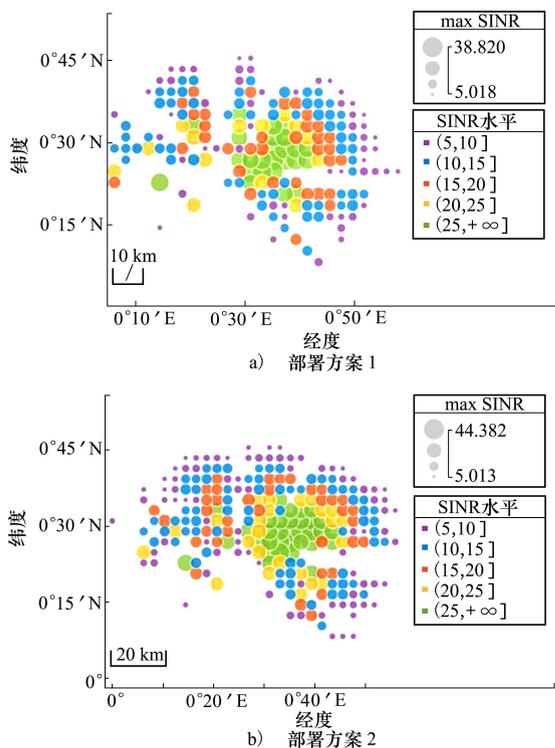


图 5 复杂电磁干扰环境下最大探测范围示意图

## 参考文献:

[1] 朱俊洁. 面向 ISR 的三维战场态势可视化技术[D]. 成都:四川大学, 2021  
 Zhu Junjie. ISR-oriented 3D battlefield situation visualization technology[D]. Chengdu: Sichuan University, 2021 (in Chinese)

[2] 管宇锋, 王晓军, 阚飞, 等. 复杂地形下反低慢小作战效能仿真评估[J]. 系统仿真技术, 2021, 17(3): 175-179

- GUAN Yufeng, WANG Xiaojun, KAN fei, et al. Simulation evaluation of combat effectiveness of anti low slow small aircraft in complex terrain[J]. System Simulation Technology, 2021, 17(3): 175-179 (in Chinese)
- [3] 李光伟, 曹原, 才长帅. 雷达阵地三维数字化系统的设计与实现——基于国产三维激光扫描仪的雷达阵地快速勘测应用[J]. 电子测试, 2015(21): 24-27
- LI Guangwei, CAO Yuan, CAI Changshuai. Design and realization of three-dimensional digital system for radar position——an application of rapid survey for radar positions based on domestic three-dimensional laser scanners[J]. Electronic Test, 2015 (21): 24-27 (in Chinese)
- [4] 周宗伟, 熊家军, 江晶, 等. 一种基于 DEM 的雷达地形遮蔽盲区确定方法[J]. 空军预警学院学报, 2013, 27(5): 327-330
- ZHOU Zongwei, XIONG Jiajun, JIANG Jing, et al. Method for determination of radar terrain masking blind zone based on DEM [J]. Journal of Air Force Early Warning Academy, 2013, 27(5): 327-330 (in Chinese)
- [5] 刘香岚, 彭世蕤, 南昊, 等. 地形遮蔽条件下雷达网探测威力计算[J]. 空军预警学院学报, 2017, 31(4): 248-252
- LIU Xianglan, PENG Shirui, NAN Hao, et al. Calculation of radar network detection power under terrain masking[J]. Journal of Air Force Early Warning Academy, 2017, 31(4): 248-252 (in Chinese)
- [6] 潘新龙, 李侠, 万山虎, 等. 三坐标雷达实际垂直探测威力模型及算法研究[J]. 现代雷达, 2010, 32(4): 16-20
- PAN Xinlong, LI Xia, WAN ShanHu, et al. A study on models and algorithms for real vertical coverage of 3D radar[J]. Modern Radar, 2010, 32(4): 16-20 (in Chinese)
- [7] 徐云和, 陈红华, 程朋根, 等. DEM 数据的可视化[J]. 测绘工程, 2003(2): 38-40
- XU Yunhe, CHEN Honghua, CHENG Penggen, et al. The visualization of DEM data[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2003(2): 38-40 (in Chinese)
- [8] 王中杰, 李侠, 周启明, 等. 雷达实际平面探测威力模型与仿真算法研究[J]. 现代防御技术, 2007(3): 117-122
- WANG Zhongjie, LI Xia, ZHOU Qiming, et al. Research of models and simulation arithmetic of radar practical planar detection powe[J]. Modern Defence Technology, 2007(3): 117-122 (in Chinese)
- [9] 陈超凡, 江晶, 李佳炜. 一种用于雷达遮蔽分析的 DEM 数据处理方法[J]. 空军预警学院学报, 2020, 34(1): 21-26
- CHEN Chaofan, JIANG Jing, LI Jiawei. A DEM data processing method for radar masking analysis[J]. Journal of Air Force Early Warning Academy, 2020, 34(1): 21-26 (in Chinese)
- [10] 徐鹏, 王振华, 刘东青, 等. 基于 STK 的雷达威力三维可视化仿真方法[J]. 空军预警学院学报, 2018, 32(2): 114-117
- XU Peng, WANG Zhenhua, LIU Dongqing, et al. A 3D visualization simulation method of radar coverage based on STK[J]. Journal of Air Force Early Warning Academy, 2018, 32(2): 114-117 (in Chinese)
- [11] 任菲, 王家润, 李小娟, 等. 基于 OSG 的三维雷达探测范围构建与优化实现[J]. 计算机与现代化, 2018(4): 111-116
- REN Fei, WANG Jiarun, LI Xiaojuan, et al. Construction and optimization implementation of 3D radar detection range based on OSG[J]. Computer and Modernization, 2018(4): 111-116 (in Chinese)
- [12] 吴忠得, 罗晓芳, 侯增选, 等. 基于三维地球场景的干扰条件雷达探测范围可视化方法[J]. 计算机与现代化, 2020 (10): 90
- WU Zhongde, LUO Xiaofang, HOU Zengxuan, et al. Visualization of radar detection range based on 3D earth scene under interference condition[J]. Computer and Modernization, 2020(10): 90 (in Chinese)
- [13] MUR-ARTAL R, MONTIEL J M M, TARDOS J D. ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system[J]. IEEE Trans on Robotics, 2015, 31(5): 1147-1163
- [14] 邱航, 陈雷霆, 蔡洪斌. 复杂环境影响下雷达探测范围三维可视化[J]. 电子科技大学学报, 2010, 39(5): 731-736
- QIU Hang, CHEN Leiting, CAI Hongbin. 3D visualization of radar detection range in complicated environment[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2010, 39(5): 731-736 (in Chinese)
- [15] 汤国防, 高瑞明, 闫双平, 等. 机动雷达阵地堪选及实战对抗战术[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45(10): 111-116
- TANG Guofang, GAO Ruiming, YAN Shuangping, et al. Study on mobile radar position selection and countermeasure tactics in live combat[J]. Fire Control & Command Control, 2020, 45(10): 111-116 (in Chinese)
- [16] YANG Y, ZHANG T, YI W, et al. Deployment of multistatic radar system using multi-objective particle swarm optimisation[J]. IET Radar, Sonar & Navigation, 2018, 12(5): 485-493
- [17] SAHA B, RAO D V. A heuristic methodology for optimal deployment of radar systems in a constrained area of operation[J].

Defence Science Journal, 2020, 70(4): 412-418

- [18] ZHANG T, LIANG J, YANG Y, et al. Antenna deployment method for multistatic radar under the situation of multiple regions for interference[J]. Signal Processing, 2018, 143: 292-297
- [19] 李文锋, 陈荣. 干扰环境下雷达探测威力范围计算研究[J]. 现代雷达, 2013, 35(11): 49-51  
LI Wenfeng, CHEN Rong. A study on radar detection range calculation in jamming[J]. Modern Radar, 2013, 35(11): 49-51 (in Chinese)

## Environmental constraints-based location optimization method for radar station

CUI Guonan, SU Jia, TAO Mingliang, FAN Yifei, WANG Ling

(School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** The complex geographical environment and electromagnetic interference environment within the radar deployment position area will seriously degrade the radar detection performance. Focusing on the urgent requirement of optimizing radar deployment in complex geographic and electromagnetic environments, the environment-constrained radar position positioning optimization method is investigated. Firstly, based on the terrain and electromagnetic interference environment of radar positions, a radar position selection method under both geographic and electromagnetic environment constraints is established. Then the propagation loss under complex geographical terrain is calculated by combining the radar equations, and the detection power of target height layer and the coverage power of the focused area are used as the evaluation indicators for the superiority of radar sites. Finally, the detection range of the radar under multiple environmental constraints is visualized. The problem of complex radar operational scenarios in real systems and the single constraint considered in traditional radar equipment deployment methods is addressed. By calculating the propagation loss, terrain loss, electromagnetic loss under multiple environmental and electromagnetic constraints, and adding actual elevation and terrain data as reference, a more realistic and objective analysis of the impact of the environment around the position on the performance of radar equipment is provided, and finally the evaluation indexes and selection methods is proposed in this paper. The proposed evaluation indexes and selection methods and visualization can provide accurate, reliable and intuitive strategies for optimizing the deployment of radar equipment under multiple constraints.

**Keywords:** terrain shielding; electromagnetic interference; radar detection; radar station location

**引用格式:** 崔国楠, 粟嘉, 陶明亮, 等. 面向环境多重约束的雷达部署位置优选方法[J]. 西北工业大学学报, 2023, 41(4): 757-763

CUI Guonan, SU Jia, TAO Mingliang, et al. Environmental constraints-based location optimization method for radar station [J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2023, 41(4): 757-763 (in Chinese)