

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.02.001

电磁环境下雷达作战能力仿真复杂

杨娟¹, 池建军², 王伟中²

(1. 装备指挥技术学院科研部, 北京 101416; 2. 装备指挥技术学院研究生管理大队, 北京 101416)

摘要: 复杂电磁环境是雷达作战考量的重要因素, 通过构建复杂电磁环境下某型对空警戒雷达作战能力指标体系, 提出一种雷达电磁环境复杂性的描述方法。建立基于遗传神经网络的雷达作战能力评估模型, 并以实例对复杂电磁环境下雷达作战能力的影响进行仿真分析。结果表明: 战场电磁环境对雷达作战能力的影响是各种因素综合作用和动态涌现的结果, 随着战场电磁环境干扰强度的增加, 雷达各阶段作战能力和整体作战能力呈逐渐下降的趋势。

关键词: 复杂电磁环境; 雷达; 作战能力; 遗传神经网络; 仿真

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Simulation of Radar Operational Capability in Complex Electromagnetic Environment

Yang Juan¹, Chi Jianjun², Wang Weizhong²

(1. Dept. of Scientific & Research, Institute of Command & Technology of Equipment, Beijing 101416, China;
2. Administrant Brigade of Postgraduate, Institute of Command & Technology of Equipment, Beijing 101416, China)

Abstract: As an important factor, complex electromagnetic environment has been considered in radar operational capability evaluation. This paper constitute the radar operational capability index system about an antiaircraft alert radar, description method of radar electromagnetic environmental complexity has been put forward, and the radar operational capability evaluation model, which based on genetic neural network has been modeled. At last, as an example, the impact of radar operational capability in complex electromagnetic environment has been analyzed. The result shows that the radar operational capability which has been influenced by the battlefield complex electromagnetic environment is effect and welled up by several factors. With the battlefield complex electromagnetic environment jam intensity increase, the radar's phase and whole operational capability decline gradually.

Key words: complex electromagnetic environment; radar; operational capability; genetic neural network; simulation

0 引言

复杂电磁环境 (complex electromagnetic environment, CEME) 是信息化战场的重要特征, 是信息化条件下交战双方新的博弈空间, 对战争进程和结局具有重要的、甚至是决定性的影响^[1]。雷达是利用电磁波对障碍物(目标)的反射特性来发现目标的一种电子装备, 其主要功能是探测、目标定位和目标引导^[2]。很显然, 在不同作战任务和不同战场使用环境下, 雷达具有不同的作战能力。围绕雷达侦察与反侦察、干扰与反干扰、摧毁与反摧毁的雷达对抗已成为电子对抗行动的重要内容。复杂电磁环境是雷达作战能力评估中必须考量的重要因素。因此, 笔者从实战、实际、实效出发, 研究复杂电磁环境对雷达作战能力的影响, 以解决雷达发展论证和作战运用的难题。

1 复杂电磁环境下雷达作战能力指标体系

复杂电磁环境是指在一定的空域、时域、频域和功率域上, 对武器装备运用和作战行动产生一定

影响的电磁环境^[3]。这个定义强调, 只有在特定的战场空间内, 在时间使用、频谱利用、功率变化等方面, 形成了信号密集、种类繁多、对抗激烈、动态多变, 对战场感知、指挥控制、武器装备作战效能发挥以及战场生存等产生严重影响和制约作用的电磁环境, 才被称为复杂电磁环境^[4]。

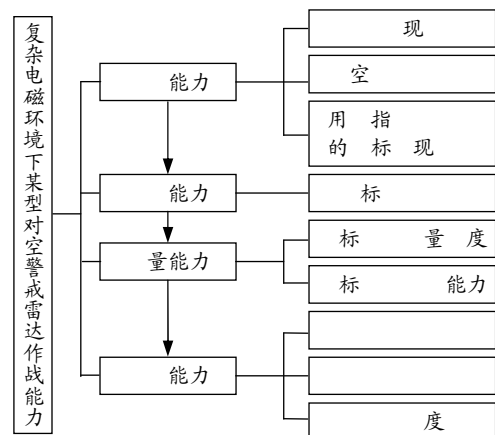


图1 复杂电磁环境下某型对空警戒雷达作战能力指标体系结构

收稿日期: 2011-09-01; 修回日期: 2011-10-19

基金项目: 部委级资助项目

作者简介: 杨娟(1966—), 女, 湖南人, 学士, 副教授, 从事装备管理与发展研究。

复杂电磁环境下雷达作战能力指标是对雷达进行作战能力评估的基础，主要由与其设计功能直接相关的最大作用距离、发现概率、精度、分辨力等指标所构成。笔者以某型对空警戒雷达为例，基于该型雷达对空中目标的搜索、截获、测量和跟踪流程，构建复杂电磁环境下雷达作战能力指标体系，如图 1 所示。图 1 中的箭头表示基于工作进程的各阶段作战能力的前后级联性。

2 雷达电磁环境的定性描述与度量

雷达电磁环境是指在雷达工作环境中，由各种辐射源形成的，对雷达工作产生影响的信号总和^[3]。现代战场上，雷达电磁环境的构成主要有^[5]：无意干扰信号环境、有意干扰信号环境、战场背景信号环境、回波信号环境以及高功率微波武器形成的强电磁脉冲。笔者从定性的角度，将雷达电磁环境分成 5 个等级来描述其对雷达作战能力的影响(如表 1)，并频率复杂度、功率复杂度、干扰时机复杂度、干扰样式复杂度、电磁环境信号复杂度来衡量雷达电磁环境的复杂性^[6]。

表 1 雷达电磁环境干扰强度等级

描述	
A	雷达的电磁环境干扰强度，对雷达的作战用影响影响
B	雷达的电磁环境干扰强度度，对雷达的作战用一的影响
C	雷达的电磁环境干扰强度中度，对雷达的作战用影响
D	雷达的电磁环境干扰强度重度，对雷达的作战用影响
E	雷达的电磁环境干扰强度度，对雷达的作战用影响，能

2.1 频率复杂度

用雷达电磁环境中的频率覆盖隶属函数 E_f 来描述频率复杂度。定性地说，雷达电磁环境的带宽和雷达带宽重合的越大，进入雷达接收机的干扰能量就越多，对雷达作战能力的影响就越大，反之越小。假设外界干扰环境的带宽范围为 $f_{j1} \sim f_{j2}$ ，雷达带宽为 $f_{r1} \sim f_{r2}$ ，则有

$$E_f = \begin{cases} 0, & f_{j1} > f_{r2} \text{ 或 } f_{j2} < f_{r1} \\ \frac{\max(f_{j1}, f_{r1}) - \min(f_{j1}, f_{r2})}{f_{r1} - f_{r2}}, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

显然， E_f 介于 0、1 之间。

2.2 功率复杂度

用功率压制效益系数评价雷达电磁环境的功率复杂度 E_p 。定义如下

$$E_p = \begin{cases} 1, & P_j/P_s \geq 2K_j \\ \frac{2}{3} \left(\frac{P_j/P_s}{K_j} - 0.5 \right), & 0.5K_j < P_j/P_s < 2K_j \\ 0, & P_j/P_s \leq 0.5K_j \end{cases} \quad (2)$$

式中： P_j 为雷达能接收到的干扰信号功率； P_s 为目标回波功率； K_j 为雷达正常工作所需的干信比界限。

2.3 干扰时机复杂度

干扰时机复杂度 E_t 主要是指对手有意干扰的时机。在实施干扰的过程中，合适的干扰时机很重要。可以认为，对手干扰的时机越合适，对于雷达而言电磁环境越复杂。假设雷达的有效工作时间为 $t_1 \sim t_2$ ，在此时间段内干扰最合适，在 $t_1 \sim t_2$ 内，各时段的有效程度也不一样。一般情况下，越靠近 t_2 工作越有效，干扰的时机也越好，可以用一个非线性函数 $E_{(t)}$ 来拟合它，整个时间段内的干扰时机复杂度为

$$E_t = \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) E_{(t)} dt \quad (3)$$

式中： $\omega(t)$ 为权重值，且有

$$\int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt = 1 \quad (4)$$

E_t 越大，干扰时机越复杂。

2.4 干扰样式复杂度

复杂电磁环境中对手的各种干扰样式与雷达的体制和抗干扰措施越匹配，则对雷达作战能力的影响就越大，电磁环境也越复杂。因此，干扰样式是衡量雷达电磁环境复杂度的一个重要因素，但其复杂度的计算必须和具体的干扰样式、雷达体制及抗干扰措施关联起来，在实际计算时，可根据干扰样式和雷达的抗干扰措施，列出干扰得益，利用模糊综合评估法得出干扰样式因素的复杂度隶属度。

2.5 电磁环境信号复杂度

雷达工作的电磁环境中除了对手的各种干扰、目标背景杂波外，一般还有其他雷达信号、通信信号、敌我识别信号、光电信号、导航信号等其他信号。虽然雷达仅关心能进入其工作频带内的信号环境(通常频带较窄，能量不大)，但这些进入雷达接

收端的信号也会对雷达造成一定影响。故用电磁环境信号流密度来衡量雷达面临的电磁环境的信号复杂度

$$E_h = \begin{cases} 0, & \rho \leq 1.5 \\ \lg(\rho/1.5), & 1.5 < \rho < 150 \\ \frac{2}{1}, & \rho \geq 150 \end{cases} \quad (5)$$

式中: ρ 为信号流密度(万个脉冲/s)。

对雷达电磁环境而言, 其对雷达作战能力的影响是这 5 个方面共同作用的结果, 干扰强度是这 5 个变量的函数, 它们具有如下的函数关系

$$CG = \sqrt[3]{E_f \times E_p \times E_t \times E_m \times E_h} \quad (6)$$

利用公式 (6) 可以计算出具体的雷达电磁环境干扰强度。

3 基于遗传神经网络的雷达作战能力评估模型

由于图 1 中雷达各阶段作战能力指标之间存在着关联关系和内在级联性, 不满足独立性原则, 因此无法给出确切的指标权重进行雷达整体作战能力的评估。笔者拟采用遗传神经网络方法来解决这个问题^[7-8], 即将遗传算法和神经网络结合起来, 利用遗传算法来优化网络权值的获取, 再在遗传算法全局寻优的基础上, 进行 BP 算法局部寻优, 以提高神经网络学习的效果和速度。

基于 Matlab R2008a 仿真平台, 笔者构建的遗传神经网络评估模型的层数为 3, 输入层节点数为 4(雷达 4 个阶段的作战能力值), 输出层节点数为 1(雷达整体作战能力值), 隐含层节点数设为 6 个, 即遗传神经网络评估模型的拓扑结构为 4-6-1, 如图 2 所示。其他相关参数依次为: 输入层到隐含层的传递函数为双曲正切 S 型传递函数, 隐含层到输出层为对数 S 型传递函数; 训练函数为动量及自适应的梯度递减训练函数 `traingdx`, 训练误差目标 0.001, 最大训练代数 3 000。在利用遗传算法对 BP 神经网络进行优化时, 设初始种群规模为 100, 最大遗传代数设定为 200。

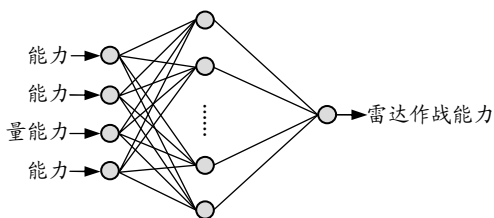


图 2 遗传神经网络拓扑结构模型

4 复杂电磁环境下雷达作战能力仿真分析

限于篇幅, 笔者以频率复杂度和战场电磁环境干扰强度为例, 对复杂电磁环境对雷达作战能力的影响进行仿真分析。

4.1 频率复杂度对雷达作战能力的影响

控制干扰机的综合干扰频率, 使其干扰频段从雷达工作的下限频率直到覆盖雷达整个工作频段为止。保持其他因素不变, 可以得出战场电磁环境干扰强度随频率复杂度的变化曲线(如图 3 所示)和雷达整体作战能力随着频率复杂度变化曲线(如图 4 所示)^[6]。

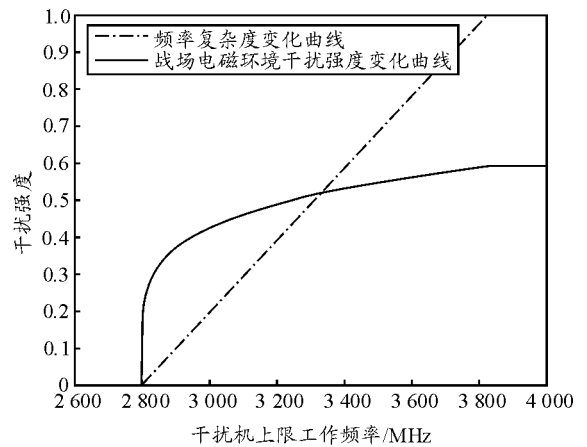


图 3 战场电磁环境干扰强度随频率复杂度变化曲线

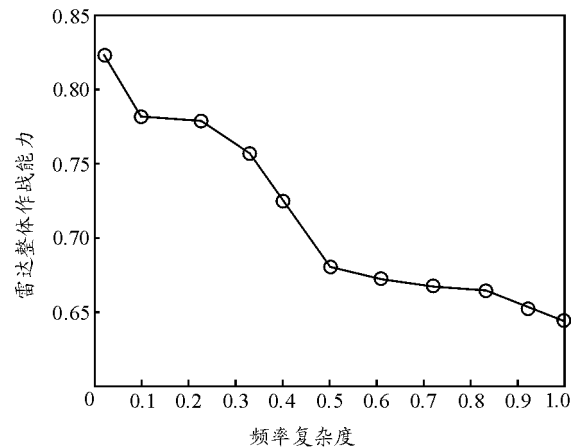


图 4 雷达整体作战能力随频率复杂度变化曲线

4.2 复杂电磁环境对雷达作战能力的综合影响

对雷达电磁环境的频率复杂度、功率复杂度、干扰时机复杂度、干扰样式复杂度、电磁环境信号复杂度对雷达作战能力的综合影响进行仿真计算(计算结果如表 2), 雷达整体作战能力在雷达电磁环境 5 个主要因素综合影响下的变化曲线如图 5^[6]。

表 2 复杂电磁环境对雷达作战能力综合影响仿真计算结果

复 杂度	复 杂度	干 扰 复 杂度	干 扰 复 杂度	电 磁 环 境 复 杂度	战 场 电 磁 环 境 干 扰 强 度	标 能 力	标 能 力	标 量 能 力	标 能 力	雷 达 整 体 作 战 能 力	性 评
0.021 5	0.066 7	0.067 1	0.930 0	0.051 3	0.085 6	0.912 8	0.925 0	0.915 3	0.917 8	0.918 5	强
0.100 5	0.111 1	0.133 1	0.171 2	0.110 9	0.123 1	0.878 7	0.892 7	0.882 2	0.886 1	0.885 5	强
0.400 0	0.066 7	0.821 4	0.701 4	0.051 3	0.239 5	0.863 7	0.843 5	0.828 2	0.864 0	0.843 2	强
0.328 8	0.311 1	0.351 7	0.312 5	0.301 0	0.320 5	0.812 4	0.813 2	0.817 9	0.813 6	0.812 9	强
0.610 7	0.200 0	0.633 1	0.240 8	0.620 3	0.409 7	0.780 4	0.794 9	0.787 4	0.798 3	0.789 2	强
0.501 5	0.511 1	0.525 2	0.500 0	0.500 0	0.507 5	0.703 1	0.731 6	0.704 6	0.722 3	0.715 0	强
0.922 9	0.822 2	0.067 1	0.930 0	0.800 3	0.519 7	0.693 7	0.703 7	0.708 8	0.688 5	0.695 0	强
0.328 8	0.422 2	0.821 4	0.885 7	0.902 0	0.619 3	0.627 1	0.610 0	0.631 7	0.620 2	0.616 0	中
0.720 0	0.711 1	0.725 5	0.701 4	0.710 3	0.713 6	0.489 1	0.485 5	0.479 2	0.471 1	0.486 8	
0.922 9	0.911 1	0.907 8	0.885 7	0.800 3	0.884 4	0.433 6	0.438 8	0.421 9	0.437 4	0.437 8	

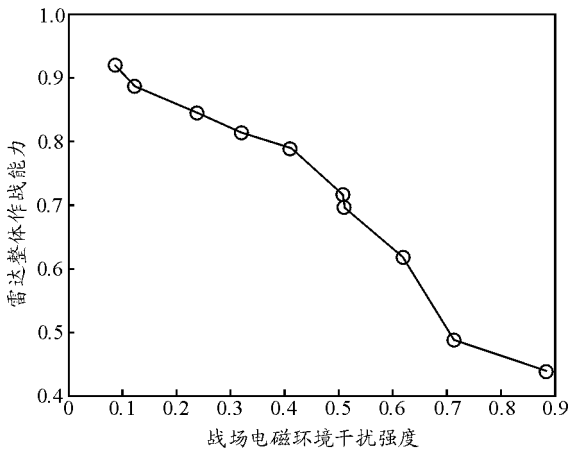


图 5 战场复杂电磁环境综合影响下雷达整体作战能力变化曲线

从表 2 和图 5 可以看出，干扰样式复杂度高达 0.930 0 时，由于其他几个因素的值都很低，因此，战场电磁环境干扰强度仅为 0.085 6，雷达整体作战能力“很强”，达到 0.918 5。同样，当干扰时机复杂度仅为 0.067 1 时，由于其他因素值都较高，战场电磁环境干扰强度还是达到了 0.519 7，此时雷达作战能力“稍强”，为 0.695 0。不同于单个因素对战场电磁环境及雷达作战能力的影响，在 5 种因素的共同影响下，战场电磁环境干扰强度在 0.085 6 的“谷底”到 0.884 4 的“顶峰”之间大范围变化，雷达作战能力由“很强”剧烈变化到“弱”。由此可见，战场电磁环境对雷达作战能力的影响是各种因素综合作用和动态涌现的结果。

5 结束语

仿真分析结果表明：随着战场电磁环境干扰强度的增加，雷达各阶段作战能力和整体作战能力呈逐渐下降的趋势，即战场复杂电磁环境的存在，总体上阻碍了雷达作战能力的发挥。因此，只有充分认知雷达工作面临的战场电磁环境，理清其对雷达作战能力的影响，采取相应的战术战法 and 对抗措施，设法消减复杂电磁环境造成的不利影响，才能最大限度地发挥雷达在复杂电磁环境下的作战能力。

参考文献：

[1] 王, . 复杂电磁环境 [J]. 军, 2007(1): 48-50.

[2] 电 基 . 电 战和 战 [M]. : 能出, 空 出, 出, 2003: 28-31.

[3] 杨, 一. 作战 电 [M]. : 出, 2011: 44.

[4] 王. 复杂电磁环境的基 [J]. 中 军, 2008(4): 62-70.

[5] 王伟中, 明, 王. 复杂电磁环境对雷达作战能力的影响 对 [J]. , 2011, 32(3): 154-156.

[6] 王伟中. 复杂电磁环境下雷达作战能力 评估 [D]. : 指, 2011.

[7] , 王 法, . 遗传 法 用[M]. : 电出, 1999: 241-284.

[8] , , . 复杂系 建模 方法 [M]. : 出, 2008: 155-158.