

空间电磁环境计算机仿真

王国玉 陆伟宁* 王战鹰

(国防科技大学电子技术系 长沙 410073)

摘要 本文在建立了地面雷达数据库的基础上,对空间平台所处的雷达信号环境进行了仿真研究。文中给出了部分仿真数学模型和仿真软件模块结构,并利用仿真软件对空间平台位置处的雷达信号功率流密度和各种分布特性等进行了仿真试验研究,给出了有意义的仿真试验结果。

关键词 电磁环境, 雷达数据库, 仿真

分类号 YN 955.3

Computer Simulating of Space EM Environment

Wang gouyu Lu Weining Wang Zhanying

(Department of Electronic Technology, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract The radar signal environment near the space plate is simulated and counted by computer through the establishment of ground radar database in this paper. The thesis describes the radar record fields, computer models and simulating software block structure. Some simulating results are delivered, including the radar signal stream density and various kinds of distribution.

Key words EM environment, radar database, simulation

空间电磁环境计算机仿真研究的目的是利用数字计算机仿真实空平台所处的信号环境,给出接收平台位置处信号功率图谱和信号流密度等一系列数据,作为有关课题研究研制的参考依据。

1 地面雷达数据库的建立

建立雷达数据库时采用标准数据库记录格式,即将一个雷达系统的主要性能参数视

* 1996年3月15日收稿 * 南京8511所 210016.

为一个记录，一个记录中包含若干个“域”，每个“域”反映雷达某一项主要性能参数。

经过分析研究，考虑到既要能全面地反映某个雷达主要性能指标，又要避免过分的复杂性，将本地面雷达数据库的“域”定义为如下若干项：

- (1) TYPE (雷达型号) (2) FUCL (功能分类) (3) SYSTEM (雷达体制)
- (4) FRL (低工作频率) (5) FRH (高工作频率) (6) PRIL (低重复频率)
- (7) PRLH (高重复频率) (8) PWL (低脉冲宽度) (9) PWH (高脉冲宽度)
- (10) PP (峰值功率) (11) AP (平均功率) (12) GMB (主瓣增益)
- (13) GSB (旁瓣增益) (14) NATION (国别)

具体的数据库格式如表1所示。按照表1所示的数据库格式将有关资料中的雷达数据“抽取”或“提炼”出来，形成记录，并使用FOXPRO2.5数据库管理系统输入数据，建立数据库文件F1.DEF，该数据库有近1000个记录，亦即录入了约1000部地面雷达的主要性能数据。

在数据库F1.DEF建立的基础上，根据雷达销售、装备情况的简述，将一些雷达的数据记录进行了“加权”重复。也就是说，有些雷达装备了世界各地的许多国家，对这样的雷达不能只用一个雷达数据记录，要追加若干个同样记录，追加同样记录的个数与该雷达的装备和使用情况有关。“加权”后的雷达数据库存为F2.DBF，该数据库约有2000个雷达数据记录。

表1 地面雷达数据库数据格式

记录序号	TYPE	PUCL	SYSTEM	FKL	FRH	PRIL	PRIH	PWL	LEWH	PP	AP	CMB	CSB	NATION
...
61	LP23	KJ CZ	PU	1215	1370	250	375	3	4	2200	2.5	30	- 23	France
...
717	ANMPS376	DDCL	2DPA	5400	5900	80	160	0.5	10	1000	5	46	- 27	USA
...
803	HR3000	YCFK	3D	3000	3000	100	1000	1	10	2000	2	36	- 24	USA

雷达的功能分类和雷达体制的内容均用字符代码表示，这些字符代码及其代表的内容分别是：

FUCL (功能类别)

SYSTEM (体制)

- | | | | |
|-----------------|----------------|-------------------|---------------|
| ZLYJ (战略预警) | PDCS (炮弹测速) | BSEV (后向散射超视) | PUCP (脉冲压缩) |
| ZCJS (战场监视) | KGZ (空交警制) | PU (脉冲/单脉冲) | PUDP (脉冲多卜勒) |
| HPKZ (火炮控制) | QXT C (气象控制) | PU CPFH (脉冲压缩捷变频) | DP (多卜勒) |
| HAJJ (海岸警戒) | DDCL (弹道测量) | CW (连续波) | CWDP (连续波多卜勒) |
| SSGZ (搜索跟踪) | CLGZ (测量跟踪) | 2D (二坐标) | 3D (三坐标) |
| SSGZZD (搜索跟踪制导) | GZZD (跟踪制导) | FH (捷变频) | CS (圆锥扫描) |
| GZDH (跟踪导航) | JCFK (中/远距离防空) | PA (多功能相控阵) | MTI (动目标显示) |
| YCFK (远程防空) | ECLD (二次雷达) | DMTI (数字动目标显示) | FC (频率分集) |
| SSJS (搜索监视) | | RFU (重频参差) | |

2 部分仿真模型

2.1 空间平台视场角内雷达(辐射源)个数的确定

已知空间平台的高度为 H ；视角为 2α ；雷达(辐射源)密度为 m_d 。空间平台与地球的几何位置如图1所示,空间平台视角内雷达(辐射源)个数为: $M = S m_d$ 。其中, S 为球冠 AGB 的侧面积,即球冠的球面积部分面积, R 为地球半径;赤道半径为: 6378km, 极半径为: 6357 km; 平均地球半径为: 6371km; 一般取 $R = 6371\text{km}$, 若 R, H 的单位为 km; α 的单位为度(或弧度); m_d 的单位为部/万平方千米, 则有:

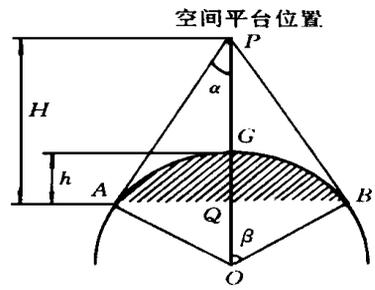


图1 空间平台与地球几何位置

$$S = 2\pi R^2 \left[1 - \cos \left\{ \sin^{-1} \left[\left(1 + \frac{H}{R} \right) \sin \alpha \right] - \alpha \right\} \right] \frac{m_d}{10000} \quad (1)$$

2.2 (a, b) 区间上均匀分布随机数的产生

仿真中要反复应用到 (a, b) 区间上均匀分布随机数 RADM, 这个随机数的产生可以由计算机提供的得到一个0到1之间的随机数的 RND (1) 函数获得:

$$\text{RADM} = a + (b - a) \times \text{RND}(1) \quad (2)$$

需要指出的是, 为了获得随机特性较为理想的随机数, 在应用 RND (1) 函数之前需进行随机数生成器的初始化设置。

2.3 空间平台处功率密度的确定

记地面雷达与空间平台的距离为 D_{rs} (m), 雷达发射脉冲信号的峰值功率为 P_p (w), 雷达天线波束在平台方向上的增益为 G_{sb} , 则在空间平台天线口径处接收到的雷达辐射脉冲信号的功率密度 (单位平方米内的功率 P_d (W/m^2)) 为:

$$P_d = P_p \times G_{sb} / 4\pi(D_{rs})^2 \quad (3)$$

仿真中天线增益 G_{sb} 为副瓣增益, 取高副瓣增益 G_{slh} 和低副瓣增益 G_{sll} 之间的随机值:

$$G_{sb} = G_{sll} + (G_{slh} - G_{sll}) \times \text{RND}(1) \quad (4)$$

距离 D_{rs} 为雷达与平台之间斜距, 仿真中取最大值 H_x 和最小值 H 之间的随机值, 即:

$$D_{rs} = H + (H_x - H) \times \text{RND}(1) \quad (5)$$

H_x 如图所示值为: $H_x = (H + h) / \cos \alpha$

$$H_x = \{H + R(1 - \cos \beta)\} / \cos \alpha \quad (6)$$

式中: $\beta = \sin^{-1} \left[(1 + H/R) \sin \alpha \right] - \alpha$ R 为地球半径。

3 仿真软件模块结构及模块功能说明

空间电磁环境计算机仿真软件主要由雷达数据库建立专用模块、雷达数据库文件预处理专用模块、读取数据文件并输出处理模块、参数输入模块、处理结果数据文件生成模块、综合处理模块、综合信息输出模块以及主控模块等8个主要模块组成。

地面雷达数据库建立专用模块是在 Foxpro 2.5 数据库管理系统环境下建立的, 主要用来输入世界地面雷达主要参数记录, 建立地面雷达数据库文件, 并对其进行修改、删除和追加。

世界地面雷达数据库文件预处理专用模块也是在 Foxpro 2.5 数据库管理系统环境

下建立的，主要用来将已建立的数据库文件按规定的格式转换成数据库文本文件，供其它编译环境下的数据调用。

仿真主控模块是整个仿真软件的核心。它是根据仿真流程，控制和调用其它各个模块的总控模块。

综合参数输入模块主要用来对仿真过程中所需的参数进行初始输入设置，如轨道高度、视场角以及雷达分布密度等参数。输入方式采用人机对话的方式。

综合处理模块包括随机数的产生、综合计算、数据处理和统计处理等部分。该模块用来确定给定输入条件下空间平台视场角内辐射源（雷达）个数 M ，并由此在雷达数据库中随机抽取 M 个雷达记录数据，还要进一步计算出空间平台处雷达辐射信号的功率密度。然后，进行综合的统计处理和数据处理，得出各种期望的结果数据，如：脉冲信号流密度参数；脉冲数-脉冲宽度分布特性数据；脉冲数-功率密度分布特性数据；脉冲数-工作频率分布特性数据等等。这些数据结果将输出给数据文件生成模块或综合信息输出模块。

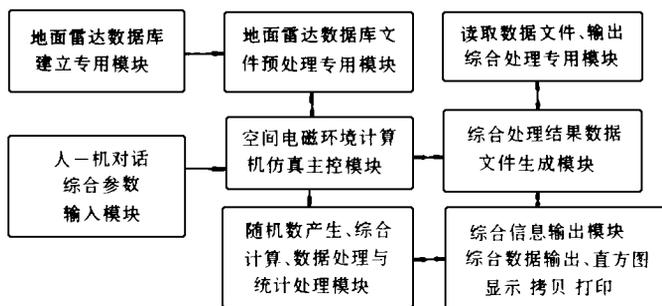


图2 仿真软件主要模块结构

数据文件生成模块用来对综合处理得到的各种数据结果，进行数据存盘，以形成数据文件作为长期保存的数据档案存贮，也可以随时用读取数据文件专用模块随时输出数据结果。

综合信息输出模块用来对综合处理得到的各种数据结果进行输出，如显示输出和打印输出。输出的内容有各输入初始参数，脉冲信号流密度，各种分布特性数据和直方图等等。

读取数据文件专用模块用来对已存贮在软/硬盘中的数据文件进行读取操作，并将读取的数据结果输出。输出方式和输出内容与综合信息输出模块相同。

4 部分仿真试验研究结果

利用已研制成功的仿真系统进行了空间电磁环境的仿真试验研究。

仿真初始条件选择如下：视场角45度，雷达分布密度16部/万平方千米，高副瓣增益18dB，低副瓣增益0dB，取200次仿真试验结果的统计平均值。

仿真结果：脉冲信号流密度为：394461个脉冲/秒，脉冲数-脉冲宽度分布特性^①；脉冲数-功率密度分布特性^④；脉冲数-工作频率分布特性^④；辐射源数-脉冲宽度分

布特性^{1/4}。

表 1

1			④		
脉宽区间 (us)	脉冲数	百分比	功率密度区间	脉冲数	百分比
0- 0.1	42918	10.9	0- 1e- 13	0	0.0
0.1- 0.5	170223	43.2	1e- 13- 1e- 12	0	0.0
0.5- 1	46695	11.8	1e- 12- 1e- 11	0	0.0
1- 2	20498	5.2	1e- 11- 1e- 10	278	0.1
2- 4	27530	7.0	1e- 10- 1e- 9	6537	1.7
4- 8	12745	3.2	1e- 9- 1e- 8	19585	5.0
8- 16	54867	13.9	1e- 8- 1e- 7	43715	11.1
16- 40	7268	1.8	1e- 7- 1e- 6	126772	32.1
40- 100	4354	1.1	1e- 6- 1e- 5	154847	39.3
100- 300	939	0.2	1e- 4- 1e- 4	41966	10.2
300- 900	6142	1.6	1e- 4- 1e- 3	760	0.2
900-	280	0.1	1e- 3- -	0	0.0

(四)			1/4		
频段区间(GHz)	脉冲数	百分比	脉宽区间(us)	辐射源数	百分比
0- 0.25	6351	1.6	0- 0.1	8	3.67
0.25- 0.5	123096	31.2	0.1- 0.5	49	22.48
0.5- 1	4795	1.2	0.5- 1	49	22.48
1- 2	30655	7.8	1- 2	35	16.06
2- 3	54592	13.8	2- 4	29	13.30
3- 4	4183	1.1	4- 8	18	8.26
4- 6	20009	5.1	8- 16	12	5.50
6- 8	2377	0.6	16- 40	7	3.21
8- 10	89840	22.8	40- 100	5	2.29
10- 20	27168	6.9	100- 300	2	0.92
20- 40	28094	7.1	300- 900	1	0.46
40-	3300	0.8	900-	3	1.38

参 考 文 献

- 1 方再根. 计算机模拟与蒙特卡罗方法. 北京: 工业学院出版社, 1988.
- 2 王正中. 现代计算机仿真技术及其应用, 北京: 国防工业出版社, 1991.
- 3 程 岗. F2.5程序设计及实例. 北京: 学苑出版社, 1994.

(责任编辑 潘生)