

基于复杂电磁环境雷达信息实时可视化系统

高颖¹, 葛飞¹, 周士军², 郭淑霞²

(1.西北工业大学 航海学院, 陕西 西安 710072; 2.西北工业大学 无人机重点实验室, 陕西 西安 710065)

摘要:雷达信息实时可视化是战场可视化的重要组成部分,对作战推演、评估有重要影响,建立了一套雷达信息实时仿真系统。该系统以实时变化的电磁环境为基础,考虑自然环境和动态电磁干扰,能够直观高效地展示雷达三维信息。首先通过扩展经典雷达方程,建立了基于雷达方向图函数和探测距离为参量的数学模型,以非均匀采样法绘制出了雷达三维威力范围。然后利用基于多种自然因素对雷达方程中的路径损耗的电磁传播衰减数学模型,实现了自然环境影响下的雷达信息可视化;运用雷达干扰方程,实现了单/多电子干扰情况下雷达信息可视化。根据基于参数的雷达绘制阈值变化的方法,提高绘制速度;最终利用基于网状数据的逻辑结构方法,实现了多部参战平台处于复杂电磁环境下相互干扰的雷达信息实时可视化系统。结果表明,该系统不仅观察效果真实直观,而且能动态、实时的可视化雷达信息系统。

关键词:雷达系统;电磁环境;非均匀采样;实时可视化

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-2758(2015)03-0413-07

雷达电子信息可视化系统则是针对原本看不见,摸不着的雷达信号进行可视化。首先将雷达电磁环境以三维的形式展现出来,更重要的是能够根据实时数据运用在战场仿真,是一个很有意义并且极具挑战的课题。文献[1]仅针对地形进行了讨论,而没有考虑其他因素对雷达的影响,绘制采用的是三角形颜色填充的方法不仅加大了计算机绘图负担而且三维效果并不理想。文献[2]对于干扰影响下的雷达探测范围边界处理明显不够细致,与真实数据偏差过大,并且没有考虑到环境对雷达探测的影响。文献[3]采用的地形为地球表面,制作场景很大,但忽略了地形、自然环境对雷达的影响。没有考虑到不同类型雷达的三维效果。文献[4]是基于 Marching Cub 的绘制方法绘制,但是三维效果与文献[1]近似,并不理想。文献[5]用 Matlab 实现了雷达探测范围的实时仿真,但是很难将绘制结果灵活的运用到其他系统。文献[6]是国内最早的雷达探测范围可视化技术的体现,通过早期 Matlab 仿真,显示效果有待提高,没有反映自然环境对雷达的影响。本文在利用已有的数学模型和虚拟战场环境的

前提下,根据实时传入的雷达信息和干扰信息,从网状数据的逻辑结构的角度研究了多雷达在多干扰动态影响下的雷达探测范围的实时显示,在虚拟战场环境中直观、动态、实时的表现受到不同干扰的雷达三维探测范围,获得良好的效果。

1 基于方向图函数和探测距离的雷达探测范围

雷达探测范围是雷达对目标进行连续观察的区域,由雷达在各方位角和俯仰角方向上的最大作用距离决定, $R_{\max}(\theta, \varphi)$ 是关于 θ 和 φ 的函数。将得到在系统仿真中,经常会使用二维方向图。按照天线相关理论,二维方向图 $F(\theta, \varphi)$ 可以利用一维函数合成,即按照下式产生:

$$F(\theta, \varphi) = k \cdot F(\theta) \cdot F(\varphi) \quad (1)$$

$F(\theta)$ 和 $F(\varphi)$ 分别是方位和俯仰方向的方向图函数, k 是天线的最大增益。

1.1 雷达方向图函数

典型的方向图形式包括以下几种:

1) 全向波束: 全方向方向图用于仿真通信设备, 其方向图函数表达式如公式(2)所示:

$$F(\theta) = \left| \frac{\cos(\sin(\theta)\pi) + 1}{\cos(\theta)} \right| \quad (2)$$

或者 $F(\theta) = 1 - \cos\theta$

2) 高斯波束: 常见的高斯型方向图函数为

$$F(\theta) = e^{-k\theta^2} \quad (3)$$

式中, $k = 4\ln\sqrt{2}\theta_b$, θ_b 为波束宽度。

3) 余割平方波束: 余割平方函数是一种特殊的扇形波束。其方位方向为窄波束, 俯仰方向为扇形波束, 扇形波束用余割平方函数实现。其方向图函数表达式如公式(4)所示:

$$F(\theta) = F(\theta_1) \left(\frac{\csc\theta}{\csc\theta_1} \right)^2, \theta_1 \leq \theta \leq \theta_2 \quad (4)$$

式中: θ_1 是主波束的半功率波束宽度, θ_2 是余割平方部分的截止点。

4) $\sin X/X$ 波束: $\sin X/X$ 平方函数可以模拟椭圆截面的窄波束和宽波束。其一维方向图函数如下:

$$F(\theta) = e^{\xi \left(\frac{\sin(2.78\theta/\theta_{0.5})}{2.78\theta/\theta_{0.5}} \right)^2} \quad (5)$$

$$\xi = (\theta/\theta_{0.5}/r_b)^2 (13.62 - L_1)/11.33$$

式中, θ_1 是波束宽度, r_b 是旁瓣衰减因子, L_1 为平均旁瓣电平/dB。

5) 相控阵天线波束: 相控阵天线有多种形式, 如线阵、平面阵、圆阵、圆柱形阵列、球形阵和共形阵等。本文对线阵型相控阵雷达进行了波束仿真, 从而较为清楚地解释相控阵雷达的特性, 也可方便地推广到平面阵。

其简化方向图如下:

$$|F(\theta)| = N \frac{\sin \frac{N}{2} X}{\frac{N}{2} X} = N \frac{\sin \frac{N\pi}{\lambda} d(\sin\theta - \sin\theta_B)}{\frac{N\pi}{\lambda} d(\sin\theta - \sin\theta_B)} \quad (6)$$

1.2 雷达探测距离

在自由空间中, 当不考虑任何环境影响时, 雷达最大作用距离由雷达方程决定, 表达式如公式(7)所示:

$$R_{\max}(\theta, \varphi) = \left[\frac{P_t \tau G_t G_r \sigma \lambda^2 F_i^2(\theta, \varphi) F_r^2(\theta, \varphi)}{k T_0 B_n F_0 D_0 (4\pi)^3} \right] \quad (7)$$

式中, P_t 为天线端发射功率; τ 为脉冲带宽; G_t 为接

天线功率增益; G_r 为发射天线功率增益; σ 为雷达目标截面积; λ 为波长; F_i 为发射天线到目标的方向图传播因子; F_r 为目标到接收天线的方向图传播因子; k 为玻尔兹曼常数; T_0 为标准室温; B_n 是雷达接收机噪声带宽; F_0 为接收机的噪声系数; D_0 是雷达检测因子。 F_t 和 F_r 说明目标不在波束最大值方向上时 (G_t 和 G_r 是最大值方向上的增益), 以及在非自由空间传播时的多径传播的影响。

根据雷达方向图函数和雷达探测范围方程可得到球坐标下的雷达边界采样点的坐标。坐标为经度、纬度、半径值, 然后根据球坐标系-直角坐标系转换公式可得到直角坐标下的雷达边界采样点的坐标, 通过 OpenGL 语言将相邻采样点连接, 便得到三维雷达探测范围如图 1 所示。

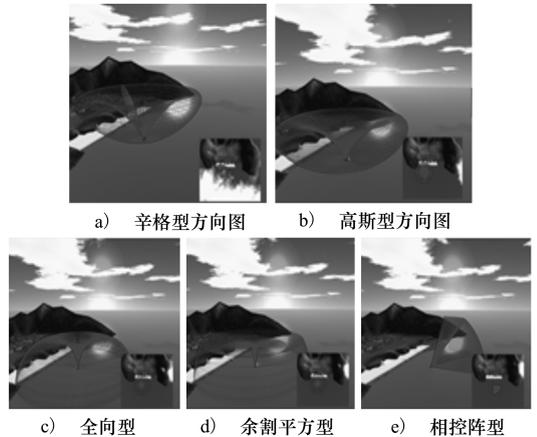


图 1 基于方向图函数和探测距离的雷达信息

2 自然环境影响下的雷达信息实时仿真系统

自由空间下的雷达信息系统, 是理想情况下的雷达探测范围的表现, 而在实际运用雷达的时候首先要考虑的就是自然环境对雷达的影响, 因此雷达受到自然环境影响下的探测范围的研究是很有必要的。基于路径的电磁波衰减模型如下:

1) 对流层吸收模型

对流层对电磁波的吸收作用主要是由于氧气和水蒸气吸收引起的, 根据分子吸收理论, 与吸收有关的大气参数是压力 p 和温度 T , 对于水蒸气吸收还有水蒸气的密度函数 ρ 。给定这些参数就可以计算指定频率的吸收系数 ζ , 进而计算出电磁波在大气中从位置 $R1$ 传输到位置 $R2$ 的吸收损耗。表达式如公

式(8)所示:

$$L_a = c_5 \cdot R^5 + c_4 \cdot R^4 + c_3 \cdot R^3 + c_2 \cdot R^2 + c_1 \cdot R + c_0 \quad (8)$$

上述讨论的大气损耗是在晴朗天空情况下的,是由于气体分子引起的。若大气中的水分呈现液体状态,则会出现更大电磁波的损耗。下面分别讨论云、雨、雪、雾中电磁波损耗情况。

表1 云中电磁波单程损耗系数

类型	温度	不同电磁波长/cm 下的损耗系数			
		0.9	1.24	1.8	2.2
水云	20	0.647	0.311	0.128	0.048 3
	10	0.681	0.406	0.179	0.063 0
	0	0.99	0.532	0.267	0.085 8
	-8	1.25	0.684	0.340	0.112 0
冰云	0	8.74×10^{-3}	6.35×10^{-3}	4.36×10^{-3}	2.46×10^{-3}
	-10	2.93×10^{-3}	2.11×10^{-3}	1.46×10^{-3}	8.19×10^{-3}
	-20	2.0×10^{-3}	1.45×10^{-3}	1.0×10^{-3}	5.63×10^{-3}

2) 云损耗模型

云中电磁波损耗是由于云中的水和冰造成的,数学模型表达式如公式(9)所示:

$$K = K_1 M \quad (9)$$

式中, K_1 为电磁波损耗系数($\text{dB}/(\text{km} \cdot \text{g} \cdot \text{m}^{-3})$), M 为水或者冰的常数($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), 对于水云 $M = 1 \sim 2.5 \text{ g}/\text{m}^3$, 对于冰云 $M < 0.1 \text{ g}/\text{m}^3$ 。

3) 雨损耗模型

雨中电磁波损耗通常应用如表达式(10)所

示,即:

$$A = ar^b \quad (10)$$

式中, A 为雨中电磁波损耗率/ $(\text{dB} \cdot \text{km}^{-1})$; γ 为降雨率/ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$; a 和 b 为频率的函数,即

$$a = \frac{kf^2(1 + f^2/f_1^2)^{0.5}}{(1 + f^2/f_2^2)^{0.5} + (1 + f^2/f_3^2)^{0.5} + (1 + f^2/f_4^2)^{0.5}}$$

$$b = 1.30 + 0.037 2(1 - (1 + x^2)^{0.5})$$

$$x = \frac{\lg f - 1}{0.06}$$

式中: f 为频率/ GHz ; 各常数: 几个频率点上的系数 $k = 3.1 \times 10^{-5}$, $f_1 = 3$, $f_2 = 35$, $f_3 = 50$, $f_4 = 110$, a 、 b 及损耗 A 如表3所示。

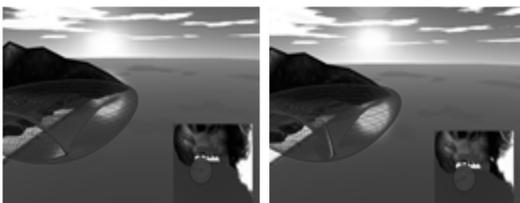
表2 雨滴大小描述参数

雨滴直径/cm	降雨率/ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$							
	0.25	1.25	2.5	12.5	25	50	100	150
0.05	8.0	10.9	7.3	2.6	1.7	1.2	1.0	1.0
0.10	50.1	37.1	27.8	11.5	7.6	5.4	4.6	4.1
0.15	18.2	31.3	32.8	24.5	18.4	12.5	8.8	7.6
0.20	3.0	13.5	19.0	15.4	23.9	19.9	13.9	11.7
0.25	0.7	4.9	7.9	17.3	19.9	20.9	17.1	13.9
0.30	-	1.5	2.3	10.1	12.8	15.6	18.4	17.7
0.35	-	0.6	1.1	4.3	8.2	10.9	15.0	16.1
0.40	-	0.2	0.6	2.3	3.5	6.7	9.0	11.9
0.45	-	-	0.2	1.2	2.1	2.3	5.8	7.7
0.50	-	-	-	0.6	1.1	1.8	3.0	3.6
0.55	-	-	-	0.2	0.5	1.1	1.7	2.2
0.60	-	-	-	-	0.2	0.5	1.0	1.2
0.65	-	-	-	-	-	0.2	0.7	1.0
0.70	-	-	-	-	-	-	-	0.3

表3 典型频率点上的系数 a 、 b 及损耗值

频率/ GHz	系数 a	系数 b	损耗率/ $(\text{dB} \cdot \text{km}^{-1})$			
			$r=0.25$	$r=4$	$r=16$	$r=64$
3	3.92×10^{-4}	1.010 9	9.66×10^{-5}	1.59×10^{-3}	6.46×10^{-3}	2.63×10^{-2}
5	1.48×10^{-3}	1.469	3.02×10^{-4}	7.26×10^{-3}	3.56×10^{-2}	1.74×10^{-1}
10	1.01×10^{-2}	1.300 0	1.67×10^{-3}	6.14×10^{-2}	3.72×10^{-1}	2.26
30	1.76×10^{-1}	1.0391	4.17×10^{-2}	7.43×10^{-1}	3.14	13.30
100	1.13	0.716 1	4.19×10^{-1}	3.05	8.2	22.20

如图2所示, a) 为雷达在自由空间中的的探测范围为 149.483 km, b) 为雷达受到大雨影响下即降雨率为 48 mm/h 后探测范围变为 149.472 km。



a) 自由空间探测范围 b) 自由环境下探测范围

图2 受自然干扰前后雷达探测范围情况

3 电子干扰影响下的雷达探测范围

3.1 单电子干扰影响下数学模型

通常情况下,雷达探测和跟踪目标时天线主瓣指向目标,而干扰机为了保护目标,混淆雷达接收机接收到的目标回波,则令干扰天线指向雷达,以起到压制雷达的作用。此时,雷达的接收机将接收到 2 个信号:目标的回波信号 P_{rs} 和干扰机的干扰信号 P_{rj} 。

根据雷达方程根据雷达方程,目标的回波信号功率 P_{rs} 为:

$$P_{rs} = \frac{P_t G_t^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R_t^4} \quad (11)$$

式中, P_t 为雷达发射功率, G_t 为雷达天线增益, σ 为目标雷达截面积, R_t 为目标与雷达的距离。

进入雷达接收机的干扰信号功率 P_{rj} 为:

$$P_{rj} = \frac{P_j G_j G'_i \lambda^2 \gamma_j}{(4\pi)^2 R_j^2} \quad (12)$$

式中, P_j 为干扰机发射功率, G_j 为干扰机天线增益, R_j 为干扰机与雷达间的距离, γ_j 是干扰信号对雷达天线的极化系数, G'_i 为雷达天线在干扰机方向上的有效增益。

功率准则定义参数 K_j 为雷达实施有效干扰(搜索状态下指雷达的发现概率 P_d 下降到 10% 以下)时,雷达接收机输入端或接收机线性输出端所需要的最小干扰信号与雷达回波信号比,称为压制系数。

$$K_j = \frac{P_j}{P_s} \mid P_d = 0.1$$

压制系数的大小由干扰信号的调制样式和雷达型式决定。压制系数越小说明干扰越容易,雷达的抗干扰能力越差。

对于特定的雷达和干扰源,其压制系数是固定的。将式 $P_{rs} = \frac{P_t G_t^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R_t^4}$ 和 $P_{rj} = \frac{P_j G_j G'_i \lambda^2 \gamma_j}{(4\pi)^2 R_j^2}$ 带入 $K_j = P_j/P_s \mid P_d = 0.1$ 可得干扰方程:

$$\frac{P_j}{P_s} = \frac{P_j G_j}{P_t G_t} \times \frac{4\pi \gamma_j}{\sigma} \times \frac{G'_i}{G_t} \times \frac{R_t^4}{R_j^2} \geq K_j$$

当功率比值大于压制系数时可以实现有效干扰,此时满足干扰方程的空间称为有效干扰区或压制区。为了计算雷达在受干扰情况下的有效探测距离,从而绘制出雷达有效探测边界,可令干扰信号功率与

目标回波信号功率之比 $\frac{P_{rj}}{P_{rs}}$ 等于压制系数。此时,干扰机恰能压制雷达,从而得到雷达的有效探测距离 R_o 为:

$$R_o = \left(\frac{K_j P_t G_t^2 \sigma R_j^2}{4\pi \gamma_j P_j G_j G'_i} \right)^{1/4} \quad (13)$$

计算过程中,除 G'_i 外均与空间坐标无关,可一次计算完毕。而 G'_i 为一个与干扰信号偏离雷达天线最大方向的角度 θ 有关的变量,可用 $G'_i(\theta)$ 来表示。由雷达天线增益的经验公式可得到 $G'_i(\theta)$ 的表达式为:

$$\begin{cases} G'_i(\theta) = G_t & 0 \leq \theta \leq \frac{\theta_{0.5}}{2} \\ G'_i(\theta) = k \left(\frac{\theta_{0.5}}{\theta} \right)^2 G_t & \frac{\theta_{0.5}}{2} < \theta < 90^\circ \\ G'_i(\theta) = k \left(\frac{\theta_{0.5}}{90} \right)^2 G_t & \theta \geq 90^\circ \end{cases} \quad (14)$$

根据不同的 θ 值,可以计算得到压制系数为 K_j 时的雷达探测范围曲线。如图 3 所示为雷达受到单干扰影响下的雷达探测范围效果。

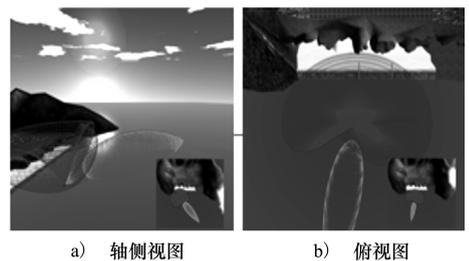


图 3 单干扰影响下雷达最大探测范围

3.2 多电子干扰数学模型

当同时存在多个干扰源时,每个方向上干扰机对雷达的压制相当于所有干扰机在该方向上压制的叠加,由单个干扰机的干扰方程可以得到多干扰源干扰方程:

$$\sum_{k=1}^n \frac{P_{r,k,j}}{P_{r,s}} = \sum_{k=1}^n \left(\frac{P_{k,j} G_{k,j}}{P_t G_t} \times \frac{4\pi \gamma_{i,j}}{\sigma} \times \frac{G'_{k,t}}{G_t} \times \frac{R_t^4}{R_{k,j}^2} \right) \geq K_j \quad (15)$$

由 (15) 式可得有效干扰区域边界方程:

$$R_t = \left(K_j / \sum_{k=1}^n \left(\frac{P_{k,j} G_{k,j} \gamma_{k,j}}{P_t G_t \sigma} \times \frac{4\pi}{R_{k,j}^2} \times \frac{G'_{k,t}}{G_t} \right) \right)^{1/4} \quad (16)$$

式中, $G'_{k,t}$ 是一个与第 n 个干扰源干扰信号偏离雷达天线最大方向的角度 θ_n 有关的变量, $G'_n(\theta_n)$ 的表达式如公式(17)所示:

$$\begin{cases} G'_{n,t}(\theta) = G_t & 0 \leq \theta \leq \frac{\theta_{0.5}}{2} \\ G'_{n,t}(\theta) = k \left(\frac{\theta_{0.5}}{\theta} \right)^2 G_t & \frac{\theta_{0.5}}{2} < \theta < 90^\circ \\ G'_{n,t}(\theta) = k \left(\frac{\theta_{0.5}}{90} \right)^2 G_t & \theta \geq 90^\circ \end{cases} \quad (17)$$

当计算完所有干扰机在某一方向上的压制后, 可得雷达在该方向上的有效探测距离。

如图4所示为雷达受到多动态干扰影响下的雷达探测范围实时绘制效果图:

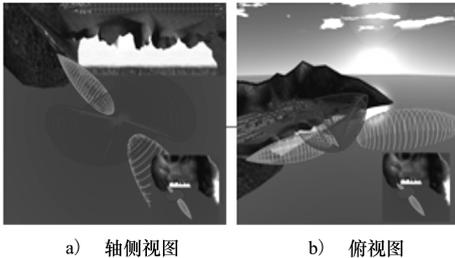


图4 多干扰影响下雷达探测范围实时绘制

4 参数控制下的雷达阈值变化

本系统提供两种雷达阈值调整方式:第1种自动调整雷达阈值,这种方式较为适合初次使用本系统的用户。系统会根据观察者和雷达间的距离自动调整雷达绘制阈值的大小。从而避免用户近距离观察雷达过于稀疏,以及远距离观察雷达过于稠密的问题。如图5所示为自动调整雷达阈值。

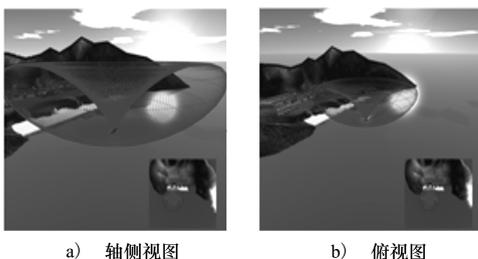


图5 绘制阈值自动调整

为适合多次使用本系统的用户。通过输入固定的雷达探测范围阈值,可自由控制雷达绘制阈值,并可得到精确的雷达阈值。如图6为输入雷达探测范围阈值。

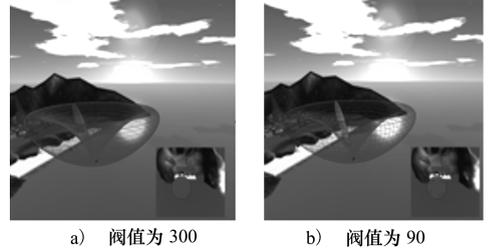


图6 参数调整雷达阈值

5 多平台雷达信息实时仿真系统

本系统数据来源既可以通过网络实时传输到本地,也可通过人工输入信息实现雷达信息与外界交互。由于数据种类复杂、数据量大以及数量批次多,多雷达多干扰信息实时仿真一直是一个较为困难的课题,本系统利用网状结构数据的原理,通过2种方式输入剧情信息并进行处理:第1种是自主运行方式,通过剧情设置对话框输入每个参战平台相应的雷达信息;第2种是协同运行方式,通过网络协议实时传输系统需要数据到本系统中从而实现实时绘制。如图7为网状结构数据驱动流程图。

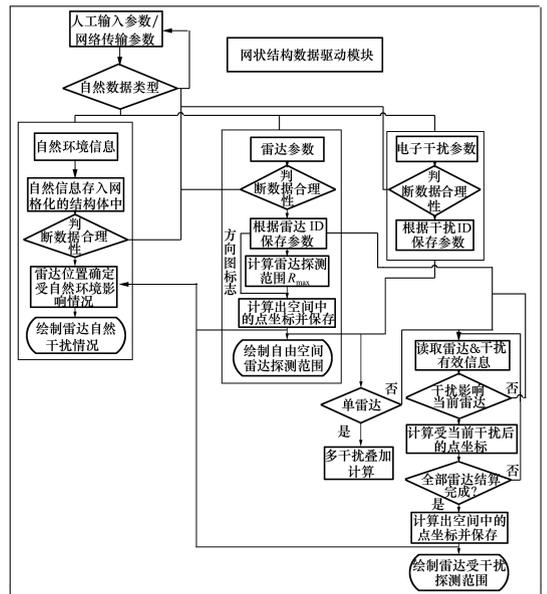


图7 网状结构数据流程

第2种是通过参数调整雷达阈值,这种方式较

如图 8 为自主运行方式下剧情信息输入对话框,通过剧情设置可人工设置系统自主运行方式下的剧情信息。



图 8 剧情设置对话框

6 结 论

复杂电磁环境下雷达电子信息可视化一直是科学可视化领域的热点。针对如何实时、高效和形象的表现雷达电子信息的问题。本系统实现了在虚拟三维场景中的雷达信息实时仿真系统,从自由空间

中雷达探测范围着手,首先研究了雷达受到自然环境影响下的雷达探测范围。然后研究了雷达受到单电子的干扰下的探测范围,以单电子干扰为基础研究了多电子干扰影响下的雷达探测范围,即所有干扰机在该方向上压制的叠加,由单个干扰机的干扰方程可以得到多干扰源干扰方程。但是如果想要将以上述功能为基础运用到实际工程中,就需要解决实时显示的关键问题。最后通过网状数据驱动解决了数据输入的问题和数据结算延迟的问题。本系统能够使用户形象、直观的观察雷达在探测范围,并且能够实时解算出雷达受到移动中干扰平台影响下的探测范围情况。在实际运行中,程序始终以大于 40 帧/秒的绘制速度来表现复杂电磁环境下雷达信息系统。在普通计算机就可以完成大量数据的计算,将计算结果实时输出、绘制接口实时接收并将其绘制到三维场景中。本系统使用户有种身临其境的效果,能够更直观的理解雷达原理和作用方式,并且对指挥作战有重要意义。

参考文献:

- [1] 陈鹏, 吴玲达, 杨超. 虚拟战场环境中地形影响下雷达作用范围表现[J]. 系统仿真, 2007, 19(7): 1500-1503
Chen P, Wu L D, Yang C. Research on Representation of Radar Coverage in Virtual Battlefield Environment Considering Terrain Effect[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(7): 1500-1503 (in Chinese)
- [2] 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 H, Chen L T, Cai H B. 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)
- [3] 韩晓宁, 陈希, 王娇艳. 三维海战场雷达探测可视化研究与实现[J]. 计算机科学, 2013, 40(3): 147-150
Han X N, Chen X, Wang J Y. Research and Realization Visualization of Radar Detection in 3D Sea Battle-Field[J]. Computer Science, 2013, 40(3): 147-150 (in Chinese)
- [4] 张敬卓, 袁修久, 赵学军, 孟慧军. 复杂环境下雷达三维探测范围[J]. 计算机应用, 2011, 31(10): 2738-2741
Zhang J Z, Yuan X J, Zhao X J, Meng H J. Three-Dimensional Detection Range of Radar in Complex Environment[J]. Journal of Computer Applications, 2011, 31(10): 2738-2741 (in Chinese)
- [5] 程柏林, 张尉. 用 Matlab 语言实现雷达探测范围图的绘制[J]. 空军雷达学院学报, 1999, 13(4): 62-64
Cheng B L, Zhang W. Plotting of Radar Detection Range by Matlab Language[J]. Journal of Air Force Radar Academy, 1999, 13(4): 62-64 (in Chinese)
- [6] 张尉, 程柏林, 金素华. 搜索雷达探测范围的可视化技术[J]. 现代雷达, 2006(3): 44-47
Zhang Wei, Cheng Bolin, Jin Suhua. The Visual Technology of Detection Range in Search Radar[J]. Modern Radar, 2006(3): 44-47 (in Chinese)
- [7] Antoine Alexandre Journeaux, Frédéric Bouillault, Jean Yves Roger. Reducing the Cost of Mesh-to-Mesh Data Transfer[J]. IEEE Trans on Magnetics, 2014, 50(2): 701-704
- [8] 高颖, 张政, 王凤华, 郭淑霞. 复杂电磁环境建模与可视化研究综述[J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(9): 1742-1749
Gao Y, Zhang Z, Wang F H, Guo S X. Survey on Complex Electromagnetic Environment Modeling and Visualization[J]. Com-

puter Engineering & Science, 2014, 36(9): 1742-174 (in Chinese)

[9] 丁鹭飞, 耿富录. 雷达原理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004

Ding Lufei, Geng Fulu. Principle of Radar[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2004

[10] Sebastian Grottel, Michael Krone, Christoph Muller, Guido Reina, Thomas Ertl. MegaMol-A Prototyping Framework for Particle-Based Visualization[J]. IEEE Trans on Visualization And Computer Graphics, 2015, 21(2): 201-214

[11] 高颖, 王风华, 胡占涛, 郭淑霞. 复杂电磁环境预测系统设计与实现[J]. 现代电子技术, 2013, 36(17): 146-150

Gao Y, Zhang Z, Hu Z T, Guo S X. Design and Implementation of Prediction System for Complex Electromagnetic Environment [J]. Modern Electronics Technique, 2013, 36(17): 146-150 (in Chinese)

Radar Information Real-Time Simulator Based On Complex Electromagnetic Environment

Gao Ying¹, Ge Fei¹, Zhou Shijun², Guo Shuxia²

(1.College of Marine Science and Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)
(2.Science and Technology on UAV Laboratory, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Radar information real-time visualization is an important component of battleground visualization, and it has a deep influence on battle deduction and estimate. This paper constructs a system of radar information real-time simulator. This system can directly and with high-efficiency display radar 3D information, based on real-time change of electromagnetic environment, with natural environment and dynamic electromagnetic interference considered. To begin with, paint 3D radar detecting range with Non-Uniform Sampling method and modeling mathematics based on radar directional pattern and detecting range through expanding classic radar equation. Furthermore, we achieve radar information visualization under the influence of natural environment, by using mathematics model built by considering the effects of various environment factors on radar equation. We realize radar information visualization under the influence of simple/multi electronic interference through using Radar-Interference Equation. We enhance the render refresh rate with utilizing LOD-control. Finally we achieve radar information real-time visualization system with multiple battle platforms, based on Network Data Logic method. The results and their analysis shows preliminarily that this system is not only lively but also can dynamically and timely visualize the radar information system.

Key words: Antenna phased arrays, beamforming, directional patterns(antenna), electromagnetic wave attenuation, flowcharting, mathematical models, radar, radar cross section, radar systems, real time control, sampling, signal interference, three dimensional, visualization, wavelepngh; electromagnetic environment, mesh data, real-time visualization