

# 相控阵天线方向图的建模与实时仿真方法

陈志杰<sup>1</sup>,李永桢<sup>2</sup>,戴幻尧<sup>2</sup>,代大海<sup>2</sup>

(1. 国防科技大学训练部信息中心,湖南 长沙 410073;2. 国防科技大学电子科学与工程学院,湖南 长沙 410073)

**摘要:**在雷达系统的优化设计的研究中,根据天线波束在扫描过程中增益、波束形状和副瓣电平等参量的特性及其变化规律,研究了相控阵雷达天线方向图的建模与实时仿真问题。为了提高相阵天线的性能,提出了一种相控阵天线方向图的实时仿真方法。并以矩形/圆形平面相控阵天线为例,采用辛格函数的变形组合给出了一种实用的相控阵天线方向图实时仿真模型。仿真结果表明方法极大地降低了仿真计算量,在保证仿真系统可信度的前提下,能够满足系统实时性的要求,模型已在某半实物相控阵雷达仿真系统得以验证。

**关键词:**相控阵;天线方向图;仿真

中图分类号:TN957 文献标识码:A

## Modeling and Real-time Simulating of Phased-array Antenna's Directional Pattern

CHEN Zhi-jie<sup>1</sup>, LI Yong-zhen<sup>2</sup>, DAI Huan-yao<sup>2</sup>, DAI Da-hai<sup>2</sup>

(1. Information Center of Excitation Department, NUDT, Changsha Hunan 410073, China;

2. School of Electronic Science and Engineering, NUDT, Changsha Hunan 410073, China)

**ABSTRACT:** The problem of modeling and real-time simulation of phased-array's directivity patterns is studied in this paper. Based on the varied regularity of antenna gain, beam shape in the course of beam scanning, the real time simulation model of phased-array antenna's directivity pattern is presented. Take the rectangular/circular planar phased array antenna as an example, a practical combination of phased array antenna pattern real-time simulation model based on the deformation of the Singer function is given through controlling theoretical model parameters of antenna directivity pattern. Simulation results prove that the computation time is greatly reduced and the real-time requirement is suited. At the same time, reliable precision is guaranteed. The model has been verified in a semi-physical simulation of phased array radar system.

**KEYWORDS:** Phased-array antenna; Directivity pattern; Simulation

## 1 引言

相控阵天线具有波束快速扫描、波束形状快速变化、空间定向与空域滤波以及天线与平台共形能力等诸多优点<sup>[1-3]</sup>,因而现代防空反导雷达多采用相控阵体制,诸如美国地基防御雷达系统GBR、“宙斯盾”武器系统的AN/SPY-1D(V)雷达和“爱国者”武器系统的AN/MPQ-53雷达等<sup>[1-5]</sup>。相控阵雷达系统的建模与仿真无疑对雷达系统的优化设计、导弹攻防对抗的战术设计和作战效能评估等诸多领域具有重要意义,与其它体制雷达系统仿真相比,相控阵天线的仿真是一个重要而复杂的过程,尤其是寻找一种适合于雷达电

子战仿真系统应用的天线模型,是非常有意义,也是迫在眉睫的<sup>[4-6]</sup>。

相控阵天线阵面由几千个阵元组成,加之因天线波束灵活的电扫描,使得相控阵雷达天线增益的求解复杂且计算量巨大<sup>[6]</sup>。目前,针对相控阵天线方向图的仿真主要有三种思路:①根据相控阵天线阵面的形状、阵元的个数和排列方式、阵元间距以及阵元幅度加权方式等相关参数来计算模拟相控阵天线方向图特性。这种仿真思路在求解任一波束指向下的增益时整个过程必须重新计算一遍,计算量相当大,在现有的条件下难以满足半实物仿真系统的实时性要求,况且一般情况下也难以获得相控阵雷达天线的全部电尺寸参数,尤其是对于敌方的相控阵雷达;②事先建立天线方向图数据库,仿真时以数据文件的方式进行预先装载,然后查表调用数据库内所对应的数值。但由于事先计算量非常大,同时每

基金项目:国家自然科学基金重点项目(60736006),国家自然科学基金青年科学基金项目(60802078)

收稿日期:2010-02-03

装载、解算一组增益数据需要相当长的时间,亦不能满足仿真系统的要求;③在没有考虑波束扫描展宽效应的前提下采用一些简单的函数来替代相控阵天线方向图,如余弦、辛格函数等,这类经典天线方向图模型虽然可以满足实时计算要求,但对整个系统仿真带来了较大的误差,难以满足系统可信度的要求。

本文根据相控阵天线的增益和波束形状等特性随着扫描角的变化规律,构建了一种能够满足实时仿真需要的方法,并结合电磁计算软件验证了该方法的正确性。首先以阵元激励幅度相同,阵元间距相等的平面相控阵天线为例,讨论了相控阵天线方向图的特性;在此基础上,提出了一种相控阵天线方向图的实时仿真方法;最后给出了部分仿真实例。

## 2 相控阵雷达天线的特性分析

### 2.1 相控阵天线的方向图模型

由天线方向图的乘积原理可知,相控阵天线的电压方向图可描述为<sup>[7]</sup>

$$G(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{4\pi A}{\lambda^2} \cdot \eta \cdot \cos\theta (1 - |\Gamma(\theta, \varphi)|^2 - R_{loss})} \cdot |E(\theta, \varphi)| \cdot |e(\theta, \varphi)| \quad (1)$$

其中,  $A$  为天线孔径面积,  $\lambda$  为工作波长,  $\eta$  为幅度加权孔径效率,  $|\Gamma(\theta, \varphi)|$  为在扫描角  $(\theta, \varphi)$  处阵元失配时反射系数的振幅,  $R_{loss}$  为波束形成网络的综合欧姆损耗,  $\theta, \varphi$  分别为阵面球坐标系下的俯仰角和方位角;  $e(\theta, \varphi)$  为阵元因子;  $E(\theta, \varphi)$  为阵因子。

一般情况下,阵元因子  $e(\theta, \varphi)$  可以看作是一个近似全向阵元的辐射图,  $|e(\theta, \varphi)| \approx 1$ , 而失配及欧姆损耗总和  $1 - |\Gamma(\theta, \varphi)|^2 - R_{loss}$  通常在  $0.4 \sim 0.7$  之间取值, 加权效率  $\eta$  在  $0.6 \sim 0.8$  之间取值。因此, 波束形状完全由阵因子  $E(\theta, \varphi)$  确定, 一个由  $(2N_x + 1) \times (2N_y + 1)$  个阵元组成的平面阵(如图 1 所示), 阵因子  $E(\theta, \varphi)$  可表示为:

$$E(\theta, \varphi) = \sum_{m=-N_x}^{N_x} \sum_{n=-N_y}^{N_y} I_{mn} \exp(jk(md_x \tau_x + nd_y \tau_y)) \quad (2)$$

其中,  $d_x, d_y$  为  $x, y$  方向上相邻阵元的间隔,  $k$  为波数,  $I_{mn}$  为加权系数,  $\tau_x = \sin\theta \cos\varphi - \sin\theta_0 \cos\varphi_0$ ,  $\tau_y = \sin\theta \sin\varphi - \sin\theta_0 \sin\varphi_0$ ,  $(\theta_0, \varphi_0)$  为天线波束指向。

式(2)表明,  $E(\theta, \varphi)$  不仅与  $(\theta, \varphi)$  有关, 还与波束指向  $(\theta_0, \varphi_0)$  有关。

### 2.2 相控阵天线扫描特性分析

令  $(T_x, T_y)$  为正弦空间坐标系, 根据正弦空间坐标系和阵面球坐标系之间的变换关系, 易得,

$$dT_x = \sin\theta \cos\varphi, dT_y = \sin\theta \sin\varphi \quad (3)$$

将式(3)代入式(2)得,

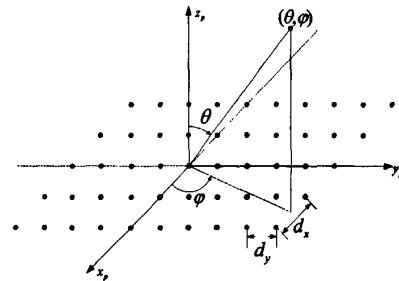


图 1 平面相控阵天线阵元图

$$E(\theta, \varphi) = \sum_{m=-N_x}^{N_x} \sum_{n=-N_y}^{N_y} I_{mn} \exp\left(jk(md_x(T_x - T_{x0}) + nd_y(T_y - T_{y0}))\right) \quad (4)$$

由上式可知, 在正弦空间坐标系中方向图的形状是不变的, 只是随着波束指向的变化而平移。而式(2)表明, 在阵面球坐标系中, 波束形状随着波束指向的变化而改变。

另外, 当波束指向阵面法向时, 设相控阵天线方向图主瓣在  $(d\theta, d\varphi)$  处恰好下降  $3dB$ , 则易得  $(dT_x, dT_y)$  满足椭圆方程<sup>[8]</sup>,

$$\frac{dT_x^2}{\left(\frac{1}{2}B_{x0}\right)^2} + \frac{dT_y^2}{\left(\frac{1}{2}B_{y0}\right)^2} = 1 \quad (5)$$

当波束指向  $(\theta_0, \varphi_0)$  时, 设  $T_{x0} = \sin\theta_0 \cos\varphi_0$ ,  $T_{y0} = \sin\theta_0 \sin\varphi_0$ , 可得,

$$\frac{(T_{x0} - dT_x)^2}{\left(\frac{1}{2}B_{x0}\right)^2} + \frac{(T_{y0} - dT_y)^2}{\left(\frac{1}{2}B_{y0}\right)^2} = 1 \quad (6)$$

当天线波束指向  $(\theta_0, \varphi_0)$  时, 其半功率点宽度  $B_\theta$  可表示为<sup>[8]</sup>

$$B_\theta = \frac{B_0}{\cos\theta_0}, (\theta_0 < 60^\circ) \quad (7)$$

也就是说, 相控阵天线波束的半功率点宽度与扫描角的余弦值成反比。当扫描角  $\theta_0 = 0$  时,  $B_\theta = B_0$ ; 当扫描角增大时, 则波束随之变宽。因此, 对于一般的相控阵天线而言, 波束的半功率点截面图近似为一椭圆形, 其长轴为

$$B_\theta = \frac{B_0}{\cos\theta_0}, \text{短轴为 } B_0.$$

### 3 相控阵天线方向图的实时仿真

对诸如 AN/MQ53、AN/SPY-1D(V) 和 GBR 等典型相控阵雷达天线进行仿真时, 首先由阵面结构, 尺寸、阵元数量、最大扫描角度、波束宽度等先验信息, 反向设计出相控阵天线的阵元间距, 排列和加权方式等以及主瓣增益、半功率宽度、第一副瓣增益等参数(与情报参数达到一致); 然后, 根据相控阵天线增益特性、波束形状等特性随着扫描角的变化规律, 通过经典天线方向图模拟模型(诸如辛格函数、余弦函

数等)控制相关参数的方法获得相控阵天线方向图的“最优估计”,实现任意波束指向向上天线的和/差波束的模拟;最后,结合电磁计算软件等手段进行验证和优化模型。

由于多数相控阵雷达采用单脉冲测角体制,下面首先说明波束指向阵面法线时子波束方向图的仿真方法,然后以振幅和差式波束形成的方向图为例进行说明其建模与仿真方法。

### 3.1 波束指向阵面法线时子波束方向图模拟

当波束指向阵面法向时,可以采用多个辛克函数(或余弦函数)主瓣的组合来分段模拟子波束的方向图。当目标与阵面法向之间的夹角 $\Delta$ 处于半功率宽度内时,用一段辛克函数来拟合此段方向图;当 $\Delta$ 处于半功率点时,令增益恰好下降为最大值时的0.707倍。对于辛克函数来说,函数值为最大值的0.707倍时横坐标为 $\sin x = 0.707x$ 的解。若 $B_0$ 是在波束指向阵面法向时的半功率点宽度,将 $[0, x_0]$ 区间的辛克函数通过坐标转换化为 $[0, B_0/2]$ 区间的辛克函数,则为该段的拟合函数,有

$$x = \frac{2x_0\Delta}{B_0} \quad (8)$$

且拟合函数为 $Sa(x) = Sa\left(\frac{2x_0\Delta}{B_0}\right)$ 。同样方法可求得当 $\Delta$ 处于半功率点到第一零点以及第一零点以后的拟合函数。若只关心天线方向图的主瓣和第一副瓣区域,那么有

$$\begin{aligned} G(\theta_T, \varphi_T) &= G(\Delta) \\ &= \begin{cases} A \cdot Sa\left(\frac{2x_0\Delta}{B_0}\right), & \Delta \in \left[0, \frac{B_0}{2}\right] \\ 0.707A \cdot Sa\left(\frac{2x_1}{2\alpha_1 - B_0}\left(\Delta - \frac{B_0}{2}\right)\right), & \Delta \in \left(\frac{B_0}{2}, \alpha_1\right] \\ B \cdot Sa\left(\frac{x_2}{\alpha_{1.5} - \alpha_1}(\Delta - \alpha_{1.5})\right), & \Delta \in (\alpha_1, +\infty) \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

其中, $A$ 为天线最大增益(相控阵天线波束指向阵面法线,其余参数相同), $B$ 为第一副瓣最大增益, $B_0$ 为半功率点宽度, $\alpha_1$ 为第一零点, $\alpha_{1.5}$ 为第一旁瓣的峰值所在角度,则 $x_0$ 为方程 $\sin x_0 = 0.707x_0$ 的解( $x_0 > 0$ ), $x_1$ 为方程 $\sin x_1 = \frac{C}{0.707A}x_1$ 的解, $C$ 为第一零点增益, $x_2$ 为 $\sin x_2 = \frac{C}{B}x_2$ 的解。

式(9)划分了三个区间来分段拟合子波束方向图函数,在仿真时区间的划分可以根据需要而定。如有需要,可以将 $\alpha_1$ 后的区间再详加划分,拟合函数的求取方法都是一样的。

### 3.2 阵面法线和差波束方向图

对于单脉冲测角体制的相控阵雷达而言,在一个角平面内形成四个部分重叠的子波束,四个子波束分别对回波信号进行调制,进而对这四路信号进行和差处理就可实现对目标的探测与跟踪。从波束截面图方向看,四个子波束的中心指向分别为 $O_1$ 、 $O_2$ 、 $O_3$ 和 $O_4$ ,原点 $O$ 为相控阵天线的中心指向,在这一方向上各子波束接收到的回波信号幅度相等,如图2

所示。四个子波束的中心指向分别为

$$\begin{aligned} O_1: & (-\Delta_1, \Delta_2), O_2: (\Delta_1, \Delta_2), \\ O_3: & (-\Delta_1, -\Delta_2), O_4: (\Delta_1, -\Delta_2) \end{aligned}$$

其中, $\Delta_1 = \eta \frac{B_0}{2}$ , $\Delta_2 = \xi \frac{B_0}{2}$ , $\eta, \xi$ 为比例系数,控制四个子波束重叠部分的大小,一般情况下有 $0 < \xi \leq \eta < 1$ 。

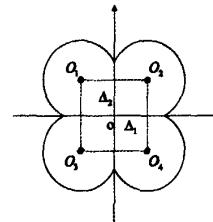


图2 波束截面示意图

由于 $\Delta_1, \Delta_2$ 取值很小,因此四个子波束的天线方向图与波束指向阵面法向时子波束方向图形状差别非常微小,在相控阵天线和差波束方向图仿真中四个子波束完全可以用波束指向阵面法向时的子波束方向图来替代,其差别仅仅是其四个子波束的指向不同而已,此时只需要算出此时波束指向与目标方向之间的夹角即可。当波束指向为阵面法向时,对于 $O_1$ 波束,设目标方向在正弦空间坐标系的坐标为 $(T_x, T_y)$ ,那么可推得 $O_1$ 波束与目标方向的夹角为

$$\theta_{o_1} = \cos^{-1} \left[ \frac{T_x \sin(-\Delta_1) \cos(\Delta_2) + T_y \cos(-\Delta_1) \sin(\Delta_2) + \cos(\sin^{-1}(\sqrt{T_x^2 + T_y^2})) \cos(-\Delta_1) \cos(\Delta_2)}{\sqrt{\cos^2(-\Delta_1) + \cos^2(\Delta_2) \sin^2(-\Delta_1)}} \right] \quad (10)$$

同理可得 $O_2$ 波束、 $O_3$ 波束和 $O_4$ 波束与目标方向的夹角为

$$\begin{aligned} \theta_{o_2} &= \cos^{-1} \left[ \frac{T_x \sin(\Delta_1) \cos(\Delta_2) + T_y \cos(\Delta_1) \sin(\Delta_2) + \cos(\sin^{-1}(\sqrt{T_x^2 + T_y^2})) \cos(\Delta_1) \cos(\Delta_2)}{\sqrt{\cos^2(\Delta_1) + \cos^2(\Delta_2) \sin^2(\Delta_1)}} \right] \\ \theta_{o_3} &= \cos^{-1} \left[ \frac{T_x \sin(-\Delta_1) \cos(-\Delta_2) + T_y \cos(-\Delta_1) \sin(-\Delta_2) + \cos(\sin^{-1}(\sqrt{T_x^2 + T_y^2})) \cos(-\Delta_1) \cos(-\Delta_2)}{\sqrt{\cos^2(-\Delta_1) + \cos^2(-\Delta_2) \sin^2(-\Delta_1)}} \right] \\ \theta_{o_4} &= \cos^{-1} \left[ \frac{T_x \sin(\Delta_1) \cos(-\Delta_2) + T_y \cos(\Delta_1) \sin(-\Delta_2) + \cos(\sin^{-1}(\sqrt{T_x^2 + T_y^2})) \cos(\Delta_1) \cos(-\Delta_2)}{\sqrt{\cos^2(\Delta_1) + \cos^2(-\Delta_2) \sin^2(\Delta_1)}} \right] \end{aligned} \quad (11)$$

将式(10)和式(11)代入式(9)得到四个波束增益为

$$S_{o_1} = G(\theta_{o_1}), S_{o_2} = G(\theta_{o_2}), S_{o_3} = G(\theta_{o_3}), S_{o_4} = G(\theta_{o_4})$$

则当波束指向为阵面法向时天线方向图的和、差增益为

$$\begin{aligned}
 S_{\Sigma}(T_x, T_y) &= S_{o_1} + S_{o_2} + S_{o_3} + S_{o_4} \\
 S_{\Delta}(T_x, T_y) &= S_{o_1} - S_{o_2} + S_{o_3} - S_{o_4} \\
 S_{\Delta E}(T_x, T_y) &= S_{o_1} + S_{o_2} - S_{o_3} - S_{o_4}
 \end{aligned} \quad (12)$$

在实际相控阵雷达系统中,为了使波束增益最大与差斜率最陡以及具有较低的副瓣电平时能够满足,一般对和差波束分别进行独立馈电。在仿真中,可以通过调节四个子波束重叠部分的控制参数  $\eta, \xi$  来逼近最佳和差波束方向图。

### 3.3 波束指向任意时和差波束方向图的模拟

设天线波束指向  $(\theta_0, \varphi_0)$ , 目标指向  $(\theta_T, \varphi_T)$ , 得到正弦空间的角偏移量为

$$\begin{aligned}
 \Delta T_x &= \sin \theta_T \cos \varphi_T - \sin \theta_0 \cos \varphi_0 \\
 \Delta T_y &= \sin \theta_T \sin \varphi_T - \sin \theta_0 \sin \varphi_0
 \end{aligned} \quad (13)$$

将  $(\Delta T_x, \Delta T_y)$  代入  $S_{\Sigma}(T_x, T_y)$ ,  $S_{\Delta}(T_x, T_y)$  和  $S_{\Delta E}(T_x, T_y)$  得到对应天线指向阵面法向时的和差增益  $S_{\Sigma}(\Delta T_x, \Delta T_y)$ ,  $S_{\Delta}(\Delta T_x, \Delta T_y)$  和  $S_{\Delta E}(\Delta T_x, \Delta T_y)$ 。

当天线偏离阵面法向扫描时,波束将展宽,波束增益将下降,且波束形状也略有变化。但在正弦空间坐标中,天线方向图波束形状不随扫描角而变,只是和差增益相应的有所下降。此时,得到波束任意指向时天线方向图的和差增益为

$$\begin{aligned}
 S_{\Sigma} &= S_{\Sigma}(\Delta T_x, \Delta T_y) \cdot \sqrt{\cos \theta_0} \\
 S_{\Delta} &= S_{\Delta}(\Delta T_x, \Delta T_y) \cdot \sqrt{\cos \theta_0} \\
 S_{\Delta E} &= S_{\Delta E}(\Delta T_x, \Delta T_y) \cdot \sqrt{\cos \theta_0}
 \end{aligned} \quad (14)$$

## 4 仿真实例

下面给出美国“宙斯盾”武器系统 AN/SPY-1D 雷达天线方向图的仿真结果。根据报道,AN/SPY-1D 雷达的天线性能参数如 1 所示。

表 1 AN/SPY-1D 雷达的天线性能参数表

波束宽度(波束指向阵面法向时)	1.8°
最大增益(波束指向阵面法向时)	42dB
第一副瓣电平	-29dB

由上述报道参数按照 3 节给出的仿真思路和流程进行仿真计算,得到波束指向阵面法向时子波束的仿真参数如表 2 所示。

表 2 AN/SPY-1D 雷达仿真时子波束参数表

子波束宽度	2.0°
子波束第一零点位置	1.5°
子波束第一旁瓣位置	2.5°
波束指向阵面法向时子波束最大增益	30.5dB
波束指向阵面法向时第一零深电平	-62.5dB
波束指向阵面法向时第一旁瓣电平	-28.5dB

图 3 为波束指向阵面法向时 AN/SPY-1D 雷达的天线方向图,图 4 为波束指向阵面球坐标系  $(30^\circ, 30^\circ)$  时 AN/SPY-1D 雷达的天线方向图,其中方位角、俯仰角均以弧度为单位。

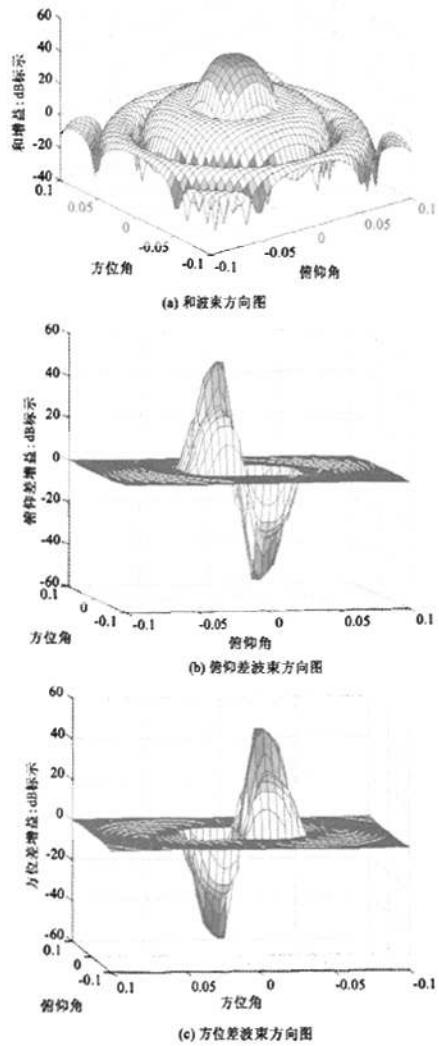


图 3 阵面法向时 AN/SPY-1D 雷达的天线方向图

结合丹麦 TICRA 公司的先进天线设计专业仿真软件 GRASP9.0 的计算结果,通过大量仿真结果分析表明,这种模拟的方法在保证了系统仿真可信度的前提下,大大降低了仿真的计算量,能够满足相关仿真系统的实时性要求。

## 5 结束语

无论是防御方的雷达系统还是突防方的干扰和侦察系统,天线都是不可或缺的组成部分,其性能在很大程度上决定了该武器系统的整体性能。无疑在雷达电子战仿真系统中,雷达系统、干扰和侦察系统天线的建模与仿真是至关重

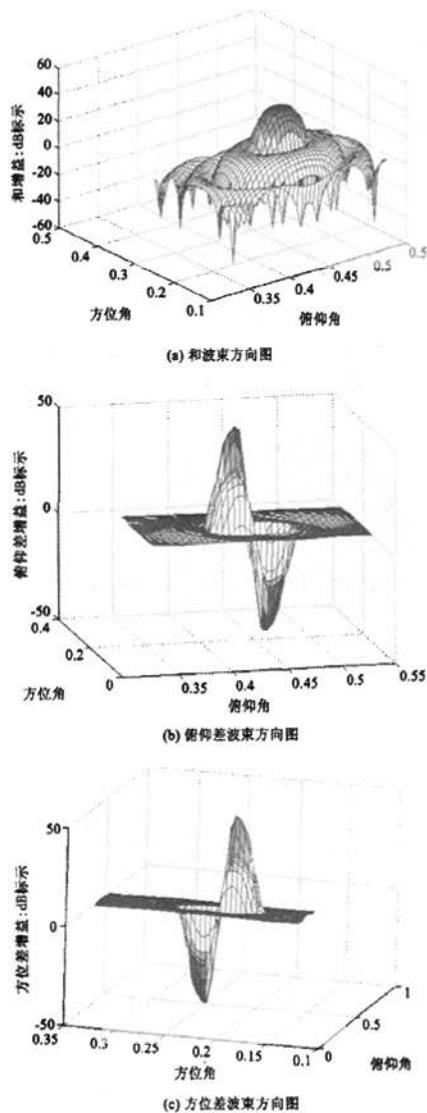


图4 AN/SPY-1D 雷达的天线方向图

要的,尤其是对于控制灵活、功能较强的相控阵天线而言更是如此。

本文以矩形/圆形平面相控阵天线为例,根据辛格函数

的变形组合给出了一种实用的相控阵天线方向图实时仿真模型,并进行了仿真。结果表明,在保证了系统仿真可信度的前提下,大大降低了仿真的计算量,能够满足仿真系统实时性的要求,这一点已经xxx半实物相控阵雷达仿真系统得以验证。

#### 参考文献:

- [1] 周颖. 电子战条件下导弹防御相控阵雷达仿真与评估研究 [D]. 国防科技大学研究生院, 2005-6.
- [2] Dale R Billetter. Multifunction Array Radar [M]. Norwood: Artech House, 1989. 71-77.
- [3] D DiFilippo, G Geling and G Gurrie. Simulator for advanced fighter radar EPM development [C]. IEE Proc. -Radar, Sonar and Navig., June 2001, 148 (3).
- [4] 孙志勇, 张剑云, 李小波. 现代雷达环境仿真技术研究现状及其发展趋势 [C]. 中国电子学会雷达分会雷达系统威胁专业委员会学术“现代雷达面临的电子对抗威胁”研讨会论文集, 2002-10.
- [5] William K McQuay, Kenneth R Allen. J-MASS in the EW test and Evaluation Progress [C]. Proceedings of the IEEE, NAECON 1995. 793-798.
- [6] 王国玉, 等. 雷达电子战系统数学仿真与评估 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [7] 郭燕昌, 等. 相控阵和频率扫描天线原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1978-3.
- [8] 刘克成, 宋学诚. 天线原理 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1989-5.

#### 作者简介:



陈志杰(1965-),女(汉族),辽宁绥中人,高工,主要研究领域为研究方向为仿真系统软件开发;

李永桢(1977-),男(汉族),内蒙古人,副教授,硕士研究生导师,主要研究领域为电子信息系统仿真与效能评估;

戴幻尧(1982-),男(汉族),吉林长春人,博士生,主要研究领域为电子信息系统仿真评估,雷达极化信息处理;

代大海(1982-),男(汉族),河南人,讲师,主要研究领域为极化SAR信息处理,综合电子信息系统。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>