

# 雷达天线基础

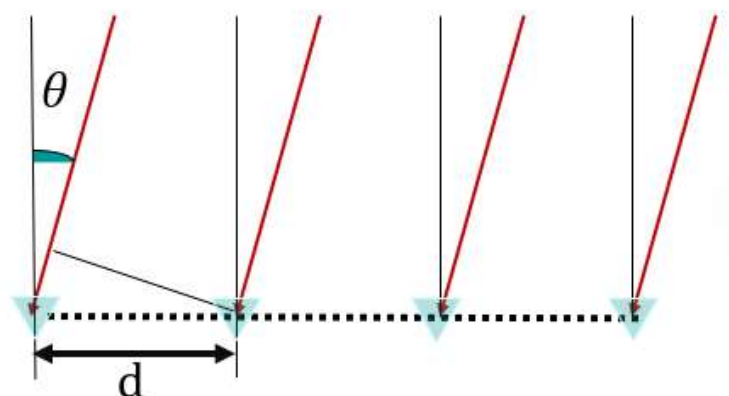
## 实验内容：

- 1 推导线阵天线方向图公式
- 2 电子扫面阵列天线方向图仿真
  - 不同参数情况下的栅瓣现象及其分析
  - 主瓣宽度和功率增益随扫描角变化情况

## 实验原理

### 1 线阵天线的推导

假设目标均位于天线的远场，则回波可视为平面波，即相位差均来自阵元空间位置不同而导致的波程差，即 $k d \sin \theta$ 。则经过相干叠加，在某些角度处为相长叠加，而某些位置处为相消叠加。



$$E(\theta) = \sum_{n=1}^N e^{j(i-1)(k d \sin \theta)}$$

$$E(\theta) = 1 + e^{jkd \sin \theta} + \dots + e^{j(N-1)(kd \sin \theta)}$$

$$E(\theta) = \frac{1 - e^{jNkd \sin \theta}}{1 - e^{jkd \sin \theta}} = \frac{1 - \cos(Nkd \sin \theta) - j \sin(Nkd \sin \theta)}{1 - \cos(kd \sin \theta) - j \sin(kd \sin \theta)}$$

$$|E(\theta)| = \sqrt{\frac{[1 - \cos(Nkd \sin \theta)]^2 + [\sin(Nkd \sin \theta)]^2}{[1 - \cos(kd \sin \theta)]^2 + \sin(kd \sin \theta)^2}}$$

$$|E(\theta)| = \sqrt{\frac{1 - \cos(Nkd \cdot \sin \theta)}{1 - \cos(kd \cdot \sin \theta)}}$$

$$|E(\theta)| = \left| \frac{\sin(Nkd \sin \theta / 2)}{\sin(kd \sin \theta / 2)} \right|$$

## 2 电子扫描阵列天线方向图公式

$$G_a(\theta) = \frac{\sin^2 \left[ N\pi \left( \frac{d}{\lambda} \right) (\sin \theta - \sin \theta_0) \right]}{N^2 \sin^2 \left[ \pi \left( \frac{d}{\lambda} \right) (\sin \theta - \sin \theta_0) \right]}$$

对每个振源进行相位补偿后，天线阵列的中心指向将会发生变化，若满足

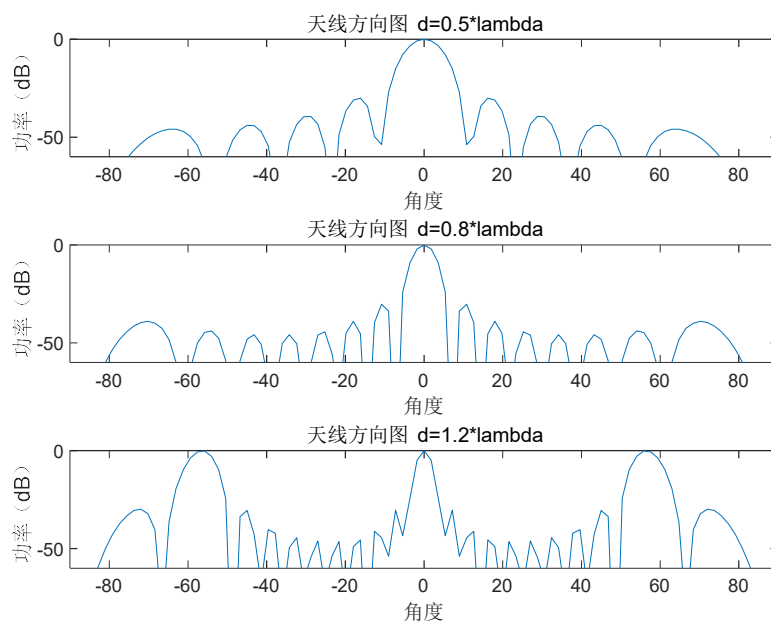
$$\left( \frac{d}{\lambda} \right) (\sin \theta - \sin \theta_0) = \pm n$$

方向图将呈现最大值。 $N = 0$ 时即 $\theta = \theta_0$ ，此时的最大值为天线的主瓣； $n \neq 0$ 时，最大值为天线的栅瓣，这是我们不想要的，为此我们令 $d < \frac{\lambda}{2}$ ，此时没有栅瓣产生。

## 实验结果

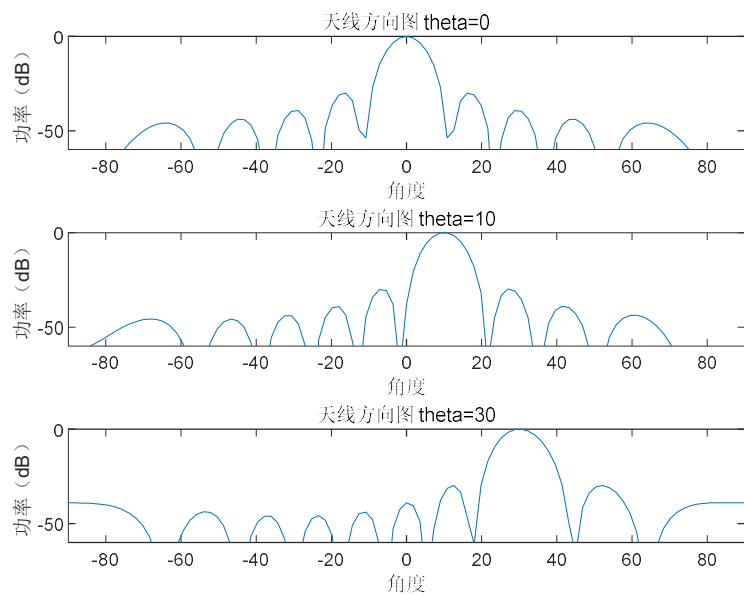
### 1 线阵天线仿真

$N=10$   $\lambda=1$  可以观察到在  $d$  分别等于  $0.5$ ,  $0.8$ ,  $1.2$  时的天线方向图，在  $d=1.2*\lambda$  的情况下，天线的方向图出现了栅瓣，栅瓣使得环境杂波严重影响成像。应当尽力避免，为此要求 $d < \lambda$ 。



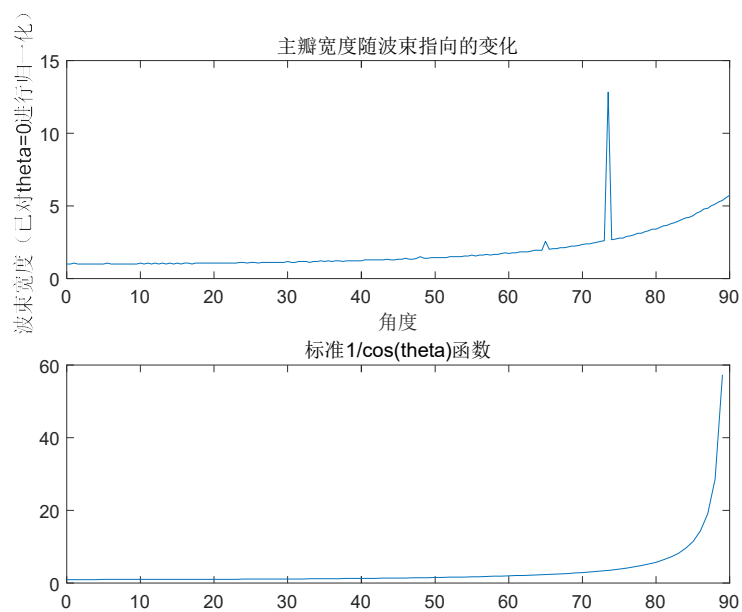
### 2 相控阵

阵列天线的本质在于通过同向叠加使得对某些方向上的回波更加敏感。如果主动改变馈电相位，人为的引入波程差改变同向叠加的角度，就可以改变天线阵列的指向。为此在每个阵元位置上进行相位的改变，在数学上即乘上一个固定相位，该相位与我们的目标指向有关。



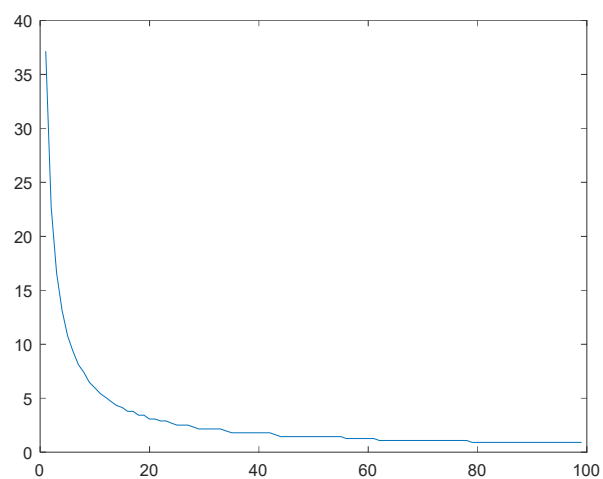
## 数据分析

### 1 波束指向与主瓣宽度



在进行波束扫描过程中，主动改变可馈电相位，可以等效为雷达旋转到了对应的角度，但是其天线口径长度变为与波束指向垂直方向的投影长度，因此雷达的波束宽度也就相应的展宽了  $1/\cos\theta_0$  倍。

## 2 天线数量与波束宽度



在天线数量小于 20 时随着波束宽度随着天线数量的增加急剧改善，但随着天线数量大于 20 之后，提升不再明显，其与天线方向图是空间傅里叶变换的结论相吻合即矩形信号的时宽带宽积为一，所以天线数量与天线的波束宽度近乎呈现反比关系。