

## 空地双基地系统的探测范围分析\*

刘 琪 孙仲康

(国防科技大学电子工程学院 长沙 410073)

**摘 要** 空地双基地系统是将发射机部署在空中,接收机部署在地面的一种新的双基地雷达体制。本文研究了空地双基地系统分别在无干扰和有干扰条件下的探测范围,并得到了一些有意义的结论。

**关键词** 探测,空地双基地系统

**分类号** TN974, TN959

## Analysis of Detection Range in Airborne-Ground Bistatic System

Liu Qi Sun Zhongkang

(Institute of Electronic Engineering, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** The bistatic system, which the transmitter is loaded at the aircraft, the receiver is located at the ground, is a new radar system. In this paper, the detection range is discussed in the system with the presence of jammer or not, some significant conclusions are drawn respectively.

**Key words** Detection, Airborne-ground bistatic system

在电子对抗(ECM)条件下如何提高雷达的生存能力和探测能力是电子反对抗(EC-CM)的重要研究课题。空地双基地系统的优势在于地面接收站系统无源工作,因而可以部署在战区前沿;发射机可以是预警机或高空机载雷达,可做机动飞行,这样一方面提高了“四抗”能力,另一方面提高了对目标的探测定位能力,因此从理论上研究这种体制的特性对实际应用具有指导意义。本文针对该体制在无干扰和有干扰条件下对目标的探测范围进行了具体的探讨。

### 1 无干扰条件下的探测范围

在最小可观测信噪比(S/N) min 条件下可得最大作用距离为<sup>[1]</sup>:

\* 1997年4月2日收稿  
国防预研基金项目资助

$$(R_T R_R)_{\max}^2 = \frac{P_i G_T G_R \sigma_B \lambda^2 F_i^2 F_r^2}{(4\pi)^3 K T_s (S/N)_{\min} B L_i L_r} \quad (1)$$

$$\text{或} \quad (R_T R_R)_{\max} = k \quad (2)$$

其中,  $R_T$  为目标与发射机的距离,  $R_R$  为目标与接收机的距离,  $P_i$  为雷达发射机脉冲功率,  $G_T$  为发射天线功率增益,  $G_R$  为接收天线的功率增益,  $\lambda$  为雷达工作波长,  $F_i$  为发射机至目标路径的方向图传播因子,  $F_r$  为目标至接收机路径的方向图传播因子,  $\sigma_B$  为双基地雷达的目标等效反射面积,  $L_i$  为发射损耗因子,  $L_r$  为接收损耗因子,  $K$  为 Boltzman 常数,  $B$  为接收机的等效带宽,  $T_s$  为天线的绝对温度。可见, 双基地系统与单基地雷达有着完全不同的作用范围。对于相距  $L$  的某一发射站和接收站以及恒定的双基地最大距离积  $k$ , 式(2)是分别以两站为中心的 Cassini 卵形线, 其形状取决于基线长度和雷达参数。当目标在该信噪比条件下的 Cassini 线以内时目标可以探测(其他条件不变), 否则认为目标不可探测。由(2)式可以得出: 当  $L^2 > 4k$  时, Cassini 卵形线分裂成两部分;  $L^2 = 4k$  时为双扭线; 只有在  $L^2 < 4k$  的情况下, 系统才工作在合理状态。Cassini 线内的面积表明了探测范围的大小, 其近似面积为:

$$A = \pi k [1 - (1/64)(L^4/k^2) - (3/16384)(L^8/k^4)] \quad (3)$$

由此可见, 拉长基线长度可以提高在接收机附近对目标的探测范围, 但是整个探测范围减小。发射站在空中飞行使发射站站址发生变化, 卵形线也将随之变化, 因此利用在不同时刻发射站站址的不同位置可扩大探测范围。在电子战环境下, 干扰总是存在的。下面就干扰条件下的空地双基地雷达的探测范围进行分析和研究。

## 2 干扰条件下的探测范围

### 2.1 压制式积极干扰条件下的探测范围

积极干扰的作用是把接收机的背景噪声的总功率谱密度由  $N_0$  升高到  $N_0 + J_0$ , 其中  $J_0$  为雷达接收的干扰功率谱密度。雷达接收到的干扰功率谱密度为:

$$J_0 = \frac{P_j G_j F_j^2 \lambda^2}{(4\pi)^2 R_j^2 L_j B_j} \quad (4)$$

式中:  $P_j G_j$  为干扰源发射的有效辐射功率,  $F_j$  为干扰源方向图传播因子,  $R_j$  为干扰源与雷达接收机之间的距离,  $L_j$  为干扰源系统损耗, 包括大气衰减、带宽失配 ( $B_j < B_n$ ,  $B_n$  为雷达接收机检波前滤波器的噪声带宽)、噪声质量因子(非高斯噪声)和极化失配。如果利用接收机系统噪声温度的概念, 则干扰条件下的等效噪声温度为:

$$T'_s = T_s + J_0/K \quad (5)$$

用(4)式和(5)式代入式(1)中, 并假定  $J_0$  远大于  $K T_s$ , 这一典型情况, 得

$$(R_T R_R)_J = \left( \frac{P_i G_T L_j F_i^2 F_r^2 \sigma_B R_j^2 B_j}{4\pi P_j G_j F_j^2 B (S/N)_{\min} L_i L_r} \right)^{1/2} = k_J \quad (6)$$

$k_J = (R_T R_R)_J$  为干扰条件下的双基地最大距离积。当  $R_T R_R < (R_T R_R)_J$  时, 可探测目标, 否则认为目标被干扰遮蔽。引入式(2)的热噪声限制双基地最大距离积  $k$ , 式(6)可写成如下更简单的形式:

$$(R_T R_R)_J = k_J = k \sqrt{\frac{K T_s}{K T_s + J_0}} \quad (7)$$

为便于讨论, 可把  $J_0$  的项分成与几何结构有关的  $J_D$  和与几何结构无关的  $J_I$ 。

$$J_0 = J_D J_I \quad (8)$$

$$J_D = F_j^2 / R_j^2 L_j \quad (9)$$

$$J_I = P_j G_j A_R / (4\pi B_j) \quad (10)$$

$A_R$  为双基地接收天线的有效孔径。

以下分别推导自卫式和支援式干扰条件下的雷达作用距离方程。

(1) 自卫式干扰条件下的探测性能

自卫式干扰是指目标和干扰在同一位置, 因此目标和干扰机到接收机的距离相等 ( $R_T = R_R$ ), 且干扰机发射的干扰将通过双基地接收天线的主瓣接收, 假定  $F_j = 1$ , 得到双基地自遮蔽距离为:

$$(R_T)_{J_1} = k \sqrt{KT_s L_j / J_I} \quad (11)$$

在雷达检测单个信号所需最小的信干比条件下雷达与目标之间的距离称为最大自卫距离。当目标距离大于最大自卫距离时, 雷达不能检测目标。

(2) 支援式干扰条件下的探测性能

干扰源在某一固定位置干扰雷达, 干扰从雷达接收天线副瓣进入, 假定  $F_j^2 = -30\text{dB}$ , 结合 (7)、(8) 和 (9) 式就得到支援式干扰的双基地距离方程。

## 2.2 欺骗式积极干扰条件下的探测性能

欺骗式干扰或称欺骗式电子对抗 (DECM) 在接收机处的功率  $J$  为

$$J = \frac{P_j G_j G_R \lambda^2 F_j^2}{(4\pi)^2 R_j^2 L_j} \quad (12)$$

其中  $L_j$  中包含了 DECM 带宽的任何失配 ( $B_j > B$ )。当接收的信号干扰比大于门限信干比  $(S/J)_{\min}$  时, 双基地系统才能正常工作, 可得最大距离积为

$$(R_T R_R)_{\max} = \left( \frac{P_i G_T L_j F_i^2 F_r^2 \sigma_B R_j^2}{4\pi P_j G_j F_j^2 (S/J)_{\min} L_r L_i} \right)^{1/2} \quad (13)$$

在不同欺骗方式下门限信干比是不同的, 须加以区别对待。

## 2.3 分布式消极干扰下的探测性能

双基地系统的作用距离为:

$$R_j^2 R_R^2 = \frac{R_j^4 \sigma_B A_r G_t \lambda^2}{4\pi (P_r / P_{r_j}) \sigma_N A_{r_j}^2} \quad (14)$$

其中:  $A_{r_j}$  为接收天线在干扰方向的有效接收面积,  $\sigma_N$  为体杂波或面杂波的平均等效反射面积,  $P_{r_j}$  为雷达接收的消极干扰功率。

以上讨论为雷达用单个脉冲探测目标, 若相参积累  $n$  个脉冲信号, 则接收信号噪声功率比将增加  $n$  倍。

# 3 计算机仿真及结果分析

## 3.1 仿真条件

双基地雷达两站间距离 200km,  $k$  近似为 31506km<sup>2</sup>, 目标高度为 10km, 干扰源功率 500W, 带宽 1GHz, 增益 30dB, 支援干扰距发射站 100km。

### 3.2 仿真结果及结论

在最小可观测信噪比（或信干比）为 2dB 条件下，图 1 中由外至内分别代表在无干扰、支援式干扰和自卫式干扰条件下的探测范围等值线图，横纵坐标的单位均为 km。由图可得到以下结论：

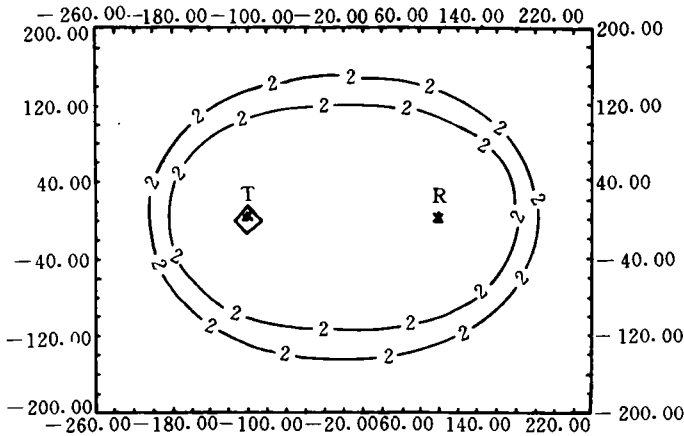


图 1

(1) 自卫式干扰条件下接收机受到主瓣干扰时双基地的探测范围很小，使系统无法工作，因此必须将接收机布置在不易受到主瓣干扰的区域。由于空地双基地系统的发射机部署在空中，而接收机在地面，因而接收机被干扰的可能性不大。

(2) 支援式干扰条件下受到主瓣干扰的双基地探测范围缩减不多，尽管干扰机可通过缩短干扰距离、减小干扰带宽以及增加有效辐射功率等方式来降低探测范围的大小，但是这也提高了干扰的难度和干扰机的易受攻击性。

对欺骗式积极干扰和分布式消极干扰的分析类似于以上分析，不再赘述。

### 4 结束语

以上研究表明，空地双基地系统具有不同于单基地雷达的探测能力。与单基地雷达相比，双基地雷达提高了在接收站附近区域的探测能力，特别是空地双基地系统将具有较好的 ECM 条件下的探测范围。但是需要特别指出以下两点：1. 若发射机在空中，基线在接收机方向的沿线区域，则由于视线的原因而不能探测目标；2. 以上分析是定性的，但它们都是有先决条件的，如假定双基地距离积  $k$  不随几何关系和目标的 RCS 而变化等，而实际情况并非如此，更精确的分析有待以后进一步研究。

### 参 考 文 献

- 1 N. J. Wills. 双基地雷达, 张祖稷, 吴曼青等译. 电子部 38 所, 1992
- 2 张锡熊, 陈方林. 雷达抗干扰原理. 北京: 科学出版社, 1981
- 3 林象平. 雷达对抗原理. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985

(责任编辑 潘 生)