

单脉冲雷达主波束内多目标的检测方法

李朝伟¹, 周希元¹, 陈卫东¹, 周一宇²

(1. 中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北石家庄 050081; 2. 国防科学技术大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘要: 基于单脉冲雷达跟踪目标过程中受到多目标干扰这一背景, 根据主波束内多目标都会持续一段时间这一特点, 提出了一种新的检测方法, 即广义似然比检验 (GLRT) 与序列寄存器相结合的检测方法. 依据经典概率论知识对新检测方法的检测性能进行了理论分析. 分析结果和实验仿真结果表明, 与 GLRT 方法相比, 新方法对多目标具有更高的检测概率.

关键词: 单脉冲雷达; 多目标; 广义似然比检测; 序列寄存器

中图分类号: TN 958.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 06 1026-05

A Method of Detecting Multiple Targets in a Monopulse Radar's Mainbeam

LI Chaowei¹, ZHOU Xiyuan¹, CHEN Weidong¹, ZHOU Yiyu²

(1. The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang, Hebei 050081, China;

2. National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: Based the background of multiple targets in a tracking monopulse radar's mainbeam and the durative for targets staying in the mainbeam, a new detecting method is put forward, which combine the Generalized Likelihood Ratio Test (GLRT) with sequential register. The analysis in theory is executed by using the classical probability knowledge. The results of analysis and the simulation show that the new method can provide higher detecting probability for multiple targets than GLRT method does.

Key words: monopulse radar; multiple targets; Generalized Likelihood Ratio Test (GLRT); sequential register

1 引言

在日益复杂的电子干扰环境下, 提高武器制导系统的抗干扰能力一直是一个研究重点. 单脉冲雷达在跟踪目标过程中, 若主波束内存在多个在距离、方向及多卜勒等参数方面都不能分辨的目标, 则会影响雷达的角跟踪系统, 使其跟踪几个目标的功率重心, 严重时会导致原目标丢失. 对于单脉冲雷达主波束内多目标检测问题, 一些研究已公开报道^[1-9].

文献[2]采取和信号的幅值和或差比值虚部与门限比较的方法. 当和信号的幅值未能超过门限值或和差比值虚部超过门限值时, 则认为对目标所做的 DOA 估计是不可靠的, 不能用于跟踪. 文献[3]采用最大似然比检测方法, 针对回波幅值为固定的目标, 检测多目标是否存在. 文献[4]提出在单脉冲和差比值的虚部与门限比较过程中, 如果 n 次量测中有 m 次通过检测, 则认为存在多目标. 徐

松涛、王军宁等^[7,8], 提出了一种复数指示角判断法, 即单脉冲比值虚部的大小同门限相比较的方法. Blair 等^[1]则提出了一种采用和信号幅值的条件概率密度函数 (pdf) 并基于奈曼皮尔逊准则的 GLRT 方法 (后面简称 Blair 检测方法), 来检测不能分辨的两个瑞利目标的方法. 该检测方法的优点是不需知道目标的信噪比及其 DOA. T L Ogle^[9] 在研究目标跟踪时, 提出了对测量值进行两次 GLRT 检测的方法, 即若两次检测都通过, 则确定回波来自多个目标. 不过, 作者没有比较两方法的性能.

基于文献[1]、[9], 本文提出了一种新的检测方法, 通过理论分析与实验仿真, 证明该方法相比原有的方法不仅有更低的虚警概率, 而且还具有更高的检测概率.

文章安排如下: 第二部分介绍 GLRT 检测方法; 第三部分介绍了 Ogle 检测方法, 并提出一种新检测方法, 即 GLRT+ 序列寄存器检测方法; 第四部分进行实验仿真; 第五部分对全文进行总结.

2 GLRT 方法

当两个服从瑞利分布(Swerling II)的目标存在雷达主波束内时,单脉冲雷达系统中和、差通道相应的同相及正交信号输出为^[1]:

$$S_1 = \alpha_1 \cos \phi_1 + \alpha_2 \cos \phi_2 + n_{s1}; \tag{1}$$

$$S_0 = \alpha_1 \sin \phi_1 + \alpha_2 \sin \phi_2 + n_{s0}$$

$$D_1 = \alpha_1 \eta_1 \cos \phi_1 + \alpha_2 \eta_2 \cos \phi_2 + n_{D1}; \tag{2}$$

$$D_0 = \alpha_1 \eta_1 \sin \phi_1 + \alpha_2 \eta_2 \sin \phi_2 + n_{D0}$$

这里 α_i 为来自第 i 个目标回波信号的幅度,服从瑞利分布; $i = 1, 2$

η_i 代表第 i 个目标的 DOA; ϕ_i 代表来自第 i 个目标回波信号的相位;

$n_{s1} \sim N(0, \delta_s^2)$ $n_{s0} \sim N(0, \delta_s^2)$ 式中 n_{s1}, n_{s0} 为和通道中的噪声;

$n_{D1} \sim N(0, \delta_d^2)$ $n_{D0} \sim N(0, \delta_d^2)$ 式中 n_{D1}, n_{D0} 为差通道中的噪声;

$$\text{令 } S_1 = A \cos \varphi, S_0 = A \sin \varphi \tag{3}$$

式中 A, φ 代表和通道输出信号的幅度及相位,其中 $\varphi \in [-p, p]$.

$$\text{定义观测信噪比为 } R_0 = \frac{\Lambda^2}{2\delta_s^2} \tag{4}$$

因为 α_1, α_2 服从瑞利分布,相位 ϕ_i 在 $(-p, p)$ 之间均匀分布,故 S_1, S_0 是独立的高斯随机变量.由式(3),应用随机变量转换由 S_1, S_0 的联合 pdf 得到 R_0 的 pdf

$$f(R_0 | R) = \frac{1}{(R+1)} \exp\left[-\frac{R_0}{R+1}\right] \tag{5}$$

这里 R 为输出信号的信噪比,且

$$R = \frac{E[\alpha_1^2]}{2\delta_s^2} + \frac{E[\alpha_2^2]}{2\delta_s^2} = R_1 + R_2 \tag{6}$$

式中 $E[\cdot]$ 表示求均值, R_1, R_2 分别代表两个目标的信噪比.对于 m 个独立采样而言, R 的最大似然估计为

$$R = Y_m - 1, Y_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_{0i}, R_{0i} \text{ 代表第 } i \text{ 个采样的观测信噪比} \tag{7}$$

令 $S = S_1 + jS_0, D = D_1 + jD_0$, 则单脉冲和差比值的实部和虚部表达式为

$$y_1 = \text{Re}(D/S) = (D_1 S_1 + D_0 S_0) / (S_1^2 + S_0^2); \tag{8}$$

$$y_0 = \text{Im}(D/S) = (D_0 S_1 - D_1 S_0) / (S_1^2 + S_0^2) \tag{9}$$

其中 $\text{Re}(\bullet)$ 表示求实部, $\text{Im}(\bullet)$ 表示求虚部.

y_1 常被用作目标 DOA (η) 估计. DOA 定义为目标相对天线电轴的到达方向,为无量纲参数.在典型单脉冲雷达系统中,目标的到达角 θ 与 η 有以下近似关系

$$\theta \approx \frac{\theta_{BW}}{k_m} \eta \approx \frac{\theta_{BW}}{k_m} y_1 \tag{10}$$

式中 θ_{BW} 为天线 3dB 波束宽度, k_m 为单脉冲的误差斜率 ($1 \leq k_m \leq 2$), 一般取为 $1.6^{[1]}$.

令 H_0 表示只有单个目标存在; H_1 表示波束内存在多个

目标.经推导^[1],可得两种假设下,和差比值的实部和虚部都服从条件高斯分布.

H_0 情况下,和差比值实部和虚部的条件 pdf 为

$$f(y_1 | H_0, \dots, \Phi) = N\left(\frac{R_1}{R_1 + 1}, \delta_0^2\right),$$

$$f(y_0 | H_1, \dots, \Phi) = N(0, \delta_0^2) \tag{11}$$

式中, $\Phi = \{\alpha_1, \eta_1, \phi_1, \alpha_2, \eta_2, \phi_2, \delta_s^2, \delta_d^2\}$

$$\delta_0^2 = \frac{p}{2R_0}, p = \left[\frac{\delta_d^2}{\delta_s^2} + \frac{R_1}{R_1 + 1} \eta_1^2\right] \tag{12}$$

在假设 H_0 或 H_1 下,因为 y_1 是一个条件高斯变量,所以基于 m 个独立采样,可得均值 y_1 的最大似然估计 \hat{y}_1

$$\hat{y}_1 = \left[\sum_{i=1}^m R_{0i}\right]^{-1} \sum_{i=1}^m R_{0i} y_{1i} \tag{13}$$

定义 GLRT 的检测统计量

$$T_m = \mathbf{X}_m^T \mathbf{R}_m \mathbf{X}_m \tag{14}$$

这里 $m > 1$,

$$\mathbf{X}_m = [y_{11} - \hat{y}_1, \dots, y_{1k} - \hat{y}_1, \dots, y_{1m} - \hat{y}_1, y_{01}, \dots, y_{0k}, \dots, y_{0m}]^T$$

$$\mathbf{R}_m = 2 \text{diag}[R_{01}, \dots, R_{0k}, \dots, R_{0m}, R_{01}, \dots, R_{0k}, \dots, R_{0m}] \tag{15}$$

其中 y_{1k}, y_{0k}, R_{0k} 分别是第 k 次采样时单脉冲比值的实部、虚部及观测信噪比.

在 H_0 下, $T_m p^{-1}$ 是服从 χ^2 分布的随机变量,具有 $2m - 1$ 个自由度(求取均值失去了一个自由度);若给定 P_{FDMT} , 可得到检测门限 1

$$P_{FDMT} = P\{T_m p^{-1} > 1 | H_0, R_{01}, \dots, R_{0m}, \Phi\} = \frac{1}{2^{m-0.5} \Gamma(m-0.5)} \int_{\lambda}^{\infty} t^{m-1.5} e^{-t/2} dt \tag{16}$$

根据检测统计量及检测门限,可作如下判决

$$\begin{aligned} \text{若 } T_m \leq \hat{p}1, & \text{ 则 } H_0 \text{ 成立;} \\ \text{若 } T_m > \hat{p}1, & \text{ 则 } H_1 \text{ 成立;} \end{aligned} \tag{17}$$

其中

$$\hat{p} = \frac{\delta_0^2}{\delta_s^2} + \left[1 + \frac{1}{R_1}\right] \hat{y}_1^2 = \frac{\delta_0^2}{\delta_s^2} + \left[1 + \frac{1}{Y_m - 1}\right] \left[\frac{1}{m Y_m} \sum_{i=1}^m R_{0i} y_{1i}\right]^2 \tag{18}$$

从式(16)~(18)可看出,这种检测不需要知道目标的信噪比及 DOA,唯一需要的是对 p 进行估计.

3 GLRT+ 序列寄存器检测方法

首先对 Ogle 所提检测方法(简称为 Ogle 检测方法)进行介绍,而后根据单脉冲主波束内多目标都会持续一段时间这一特点,提出了一种新的检测方法,即 GLRT+ 序列寄存器检测方法.

3.1 Ogle 检测方法

Ogle 所提检测方法的方框图参见图 1.工作过程为:对输入的量测 $z_m(k)$,采用式(13)中的检测统计量值进行 GLRT 检测.若检测到多目标存在,接着进行第二次 GLRT.不过,第二次检测所采用的统计量为由缓冲区保存的最近连续 $L-1$ 次判断过的 $T_m \hat{p}^{-1}$ 值(图 1 中以 $T(r)$ 表示)与当前判断值相加形成的新检测统计量 T_m' .

根据概率论相关知识, 此时的 T'_n 也服从 χ^2 分布, 其自由度为构成 T'_n 的 L 个 χ^2 变量的自由度之和. 通过查表或式 (15), 可求得检测门限. 如果两次 GLRT 检测都通过, 则认为该回波是来自多个目标, 否则来自单目标.

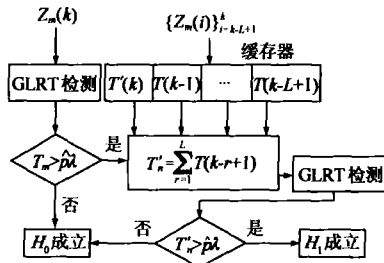


图 1 Ogle 检测方法方框图

文献 [9] 并没有对两种检测方法的性能进行比较, 为此本文在后面的仿真中进行了比较 (文献中 L 选取为 5).

3.2 GLRT+ 序列寄存器检测方法

借鉴文献 [9], 尽量多利用已有的信息是提高检测概率, 降低虚警概率的一条有效途径. 本文根据单脉冲主波束内多目标都会持续一段时间这一特点, 利用已有的检测信息, 提出了 GLRT+ 序列寄存器检测方法 (简称新检测方法).

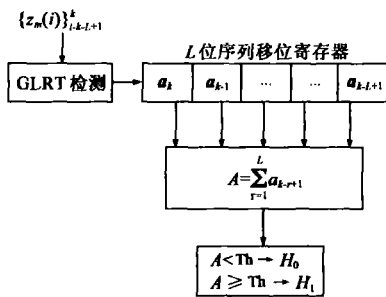


图 2 新检测方法方框图

见图 2. 其工作过程: 首先对输入的量测 $z_m(k)$, 进行 GLRT 检验. 若检测到多目标存在, 则输出状态 1, 否则输出为状态 0, 并将结果输入到一个 L 位移位寄存器中, 其中寄存器中各寄存位初始状态为 0. 工作时将每次检测的结果寄存起来, 并同前 $L-1$ 个检验结果共同决定当前是否存在多个目标.

设 a_k, \dots, a_{k-L+1} 为各寄存位当前状态, 定义判变量

$$A = \sum_{r=1}^L a_{k-r+1} / L \quad (19)$$

则判决规则为

$$\begin{aligned} & \text{若 } A < Th, \text{ 则 } H_0 \text{ 成立;} \\ & \text{若 } A \geq Th, \text{ 则 } H_1 \text{ 成立;} \end{aligned} \quad (20)$$

其中 Th 为检测门限. 根据式 (19), 很容易看出该检测量所代表的数学意义. 设 L 为 5, 若 $Th = 0.4$, 则表示连续五次检测中至少要二次检测到多目标, 才判决多目标存在; 若 $Th = 0.6$ 则表示连续五次检测中至少要三次检测到多目标, 才判决多目标存在; $Th = 0.8$ 表示连续五次检测中至少四次检测到多目标, 才判决多目标存在. 因此, 可以采用经典概率论知识来进行理论分析.

下面从理论上对新检测方法的性能进行分析. 假设进行 GLRT 检测时, 虚警概率 $p_f = 0.01$ (注: 这里虚警概率定义为当只有单目标时判为存在多目标的概率; 检测概率定义为在多目标存在时检测到多目标的概率); 序列寄

存器的位数 L 为 5 (当然也可选取 3, 4 等, 这里只是为了便于与文献 [9] 进行比较). 下面通过两个例子来从理论上证明所提检测方法具有更好的性能.

首先证明该方法在只有单目标存在时能降低虚警概率. 设 $Th = 0.4$, 则根据该门限值所代表的数学意义及经典概率论中相关知识, 可获得只有单目标存在时, 新检测方法获得的虚警概率 p'_f 的计算表达式为

$$p'_f = 1 - [(1 - p_f)^5 + C_5^1 p_f (1 - p_f)^4] \quad (21)$$

代入 $p_f = 0.01$, 便可得 $p'_f = 9.8015e-004$;

同样 $Th = 0.6$ 时, 可得 p'_f 计算表达式如下

$$\begin{aligned} p'_f &= 1 - [(1 - p_f)^5 + C_5^1 p_f (1 - p_f)^4 + C_5^2 p_f^2 (1 - p_f)^3] \\ &= 9.8506e-006 \end{aligned} \quad (22)$$

通过上面两个例子的计算可看出, 采用新检测方法可大大降低设定的虚警概率, 即减少第一类错误, 而且 $Th = 0.6$ 时的虚警概率远小于 $Th = 0.4$ 时 (相差两个数量级).

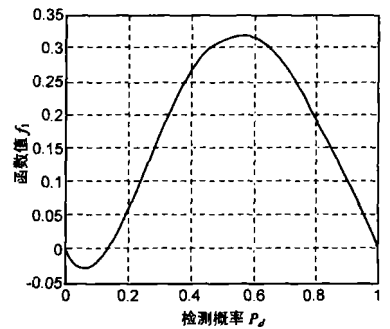


图 3 函数 f_1 随 P_d 变化的曲线图

其次, 来证明新检测方法在多目标存在时能够提高检测概率. 假设多目标存在时, GLRT 方法的检测概率为 P_d , 且假定相邻 5 次检测中检测概率不变, 则对门限取 $Th = 0.4$ 时, 根据经典概率论相关知识, 可得新检测方法的检测概率 P_D

$$P_D = 1 - [(1 - P_d)^5 + C_5^1 P_d (1 - P_d)^4] \quad (23)$$

为便于与 P_d 比较, 设定概率比较函数 $f_1: f_1 = P_D - P_d$.

同样, $Th = 0.6$ 时, 可得 P_D , 并设定此时的概率比较函数为 f_2

$$\begin{aligned} P_D &= 1 - [(1 - P_d)^5 + C_5^1 P_d (1 - P_d)^4 + C_5^2 P_d^2 (1 - P_d)^3]; \\ f_2 &= P_D - P_d \end{aligned} \quad (24)$$

图 3、图 4 分别为 f_1, f_2 两函数的曲线图. 通过两曲线图可看出, 当 P_d 满足一定条件时, 新检测方法具有更高的检测概率. 要使多目标存在时新方法的检测概率高, 便存在一个寄存器位数 L 及门限 Th 选择问题. 作者对不同的 L 值 (3~7) 及门限

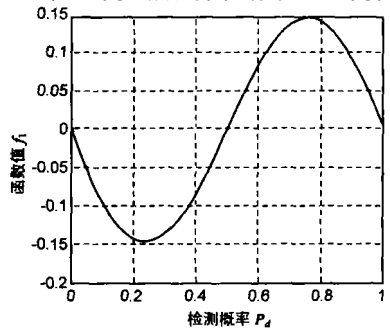


图 4 函数 f_2 随 P_d 变化的曲线图

值按上述方法进行理论计算, 发现对于不同的 L , 选择 $Th = 0.4$ 为佳。

为验证理论分析的正确性及所提检测方法的有效性, 下面进行了仿真实验。

4 实验仿真

比较 Blair 检测方法(单次 GLRT)、Ogle 检测方法(两次 GLRT)及新检测方法等三种方法的检测效果, 其中新检测方法中序列寄存器位数 L 取为 5, 检测门限分别取 0.4 与 0.6。

下面仿真中目标回波服从瑞利分布(Swerling II 型), Monte Carlo 方法仿真 1000 次。

4.1 只有单个目标存在时的虚警概率

例 1 单目标的 DOA 固定, 取 $\eta_1 = 0.3$, 其信噪比变化, 比较三种方法虚警概率, 仿真结果见图 5。

例 2 单目标的信噪比固定, 取 $SNR = 16\text{dB}$, 其 DOA 不断变化($\eta_1 = 0 \sim 0.9$), 比较三种方法的虚警概率, 仿真结果见图 6。

由图 5、图 6 可看出, 新检测方法比 Blair 及 Ogle 检测方法具有更低的虚警概率: 对于 $Th = 0.4$ 情况, 其均值为 $9.6506e-004$, 同文中理论计算很相符; 对于 $Th = 0.6$ 情况, 其均值为 $3.6506e-006$, 准确讲与理论

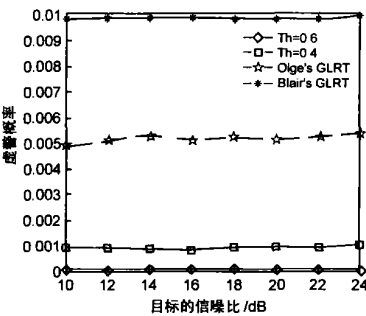


图 5 信噪比变化时三种方法的虚警概率

计算结果有些出入, 但考虑各种误差因素, 获得这样的值是符合的。尽管从图 5 中知道 Ogle 所提方法的虚警概率要低于 Blair 检测方法, 但从图 6 看出, 当目标的 DOA 变化时, Ogle 检测方法的虚警概率逐

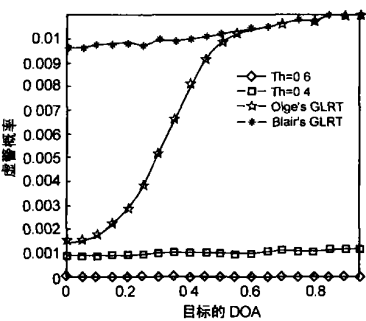


图 6 DOA 变化时三种方法的虚警概率

渐接近 Blair 检测方法的虚警概率, 当目标的 DOA 大于 0.6 时, 两者的虚警概率一致。另外, 也可看到 Blair 方法的实验仿真结果与设定虚警概率真值(0.01)有些出入, 这同样是由各种误差因素产生的。

4.2 两个目标存在时的检测概率

例 3 两个目标的 DOA 固定($\eta_1 = -\eta_2 = 0.3$), 信噪比($SNR_1 = SNR_2$)不断变化, 比较三种方法对多个目标的检测概率, 仿真结果见图 7。

例 4 两个目标的信噪比固定($SNR_1 = SNR_2 = 16\text{dB}$), 其 DOA 变化($\eta_1 = -\eta_2 = 0 \sim 0.5$), 比较三种方法对多个目标的检测概率, 仿真结果见图 8。

通过图 7 可看到, 新检测方法比另外两种方法检测概率高: 在信噪比为 10 时, 对于 $Th = 0.4$ 情况, 其检测概率为 0.871, 而 Blair 检测方法对应的检测概率为 0.54, 与前面理论计算曲线非常相符; 同样, 对于 $Th = 0.6$ 情况也可得到相同的结论。Ogle 检测方法的检测概率总是略低于 Blair 检测方法, 尽管非常相近(图上显示两者为重合)。由图 8 可进一步看出, Ogle 所提方法在检测概率约为 0.2 时才与 Blair 方法非常接近。

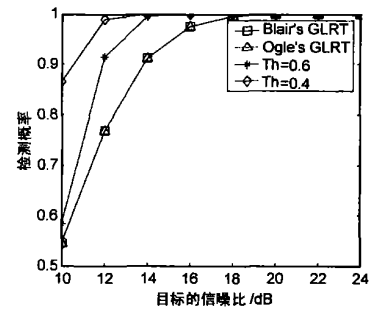


图 7 信噪比变化时三种方法的检测概率

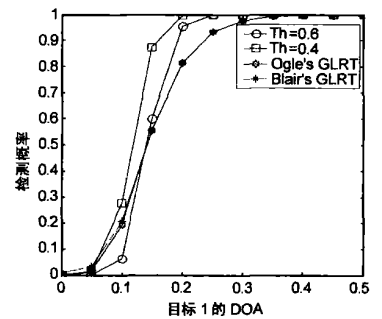


图 8 DOA 变化时三种方法的检测概率

通过仿真结果, 还可看到: 对于 $Th = 0.4$ 情况, Blair 检测方法的检测概率约为 0.08 (理论为 0.12), 新检测方法的检测概率开始大于 Blair 方法; 同样对于 $Th = 0.6$ 情况, Blair 检测方法的检测概率约为 0.48 (理论为 0.5), 新方法的检测概率开始大于 Blair 检测方法, 因此可知前面对新检测方法的检测性能的理论分析是正确的。另外, 从图 8 上也可看到, 若采用新方法, 且选择 $Th = 0.4$ 情况, 则目标 1 的 DOA 为 0.25, 即两目标间的角间距为 0.5 (由式(10)知为 $0.3125\theta_{BW}$), 已达到百分之百的检测; 而 Blair 检测方法在两目标间距为 0.9 (即为 $0.5625\theta_{BW}$) 时, 才能达到相同的检测效果。在不采取任何措施时, 单脉冲雷达对两目标的分辨角为 $(0.8 \sim 0.9)\theta_{BW}$ 。上面结果是在目标信噪比为 16dB 时得到的, 但当两目标信噪比大于 16dB 时, 检测概率会相应提高, 检测到两目标时的角间距会更小; 反之, 角间距会变大。

5 结论

根据文献 [1]、[9] 的研究结果, 本文提出了一种新检测方法, 即 GLRT+ 序列寄存器检测方法。仿真表明: (1) Ogle 检测方法相比 Blair 检测方法, 唯一的优势就是在只有单目标情况时能够降低虚警概率, 而在多目标存在情况下, 其检测概率要略低于 Blair 检测方法; (2) 相比之下, 新检测方法具有更低的虚警概率, 这不仅从理论上得到证明, 而且仿真结果也表明了这一点; (3) 在合理选择门限基

基础上,新检测方法具有更高的检测概率,能够更早地检测到多目标的存在,这在实际应用中十分有意义。

下一步工作就是在检测到多目标基础上,研究如何对目标进行角估计。

参考文献:

- [1] Blair W D, Brandt Pearce M. Unresolved Rayleigh detection using monopulse measurements[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1998, 34(2): 543- 552.
- [2] Asseo S J. Effect of monopulse signal thresholding on tracking multiple targets[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1974, AES 10(4): 504- 509.
- [3] McAulay R J, McGarty T P. Maximum-likelihood detection of unresolved radar targets and multipath[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1974, AES 10(6): 821- 829.
- [4] Asseo S J. Detection of target multiplicity using quadrature monopulse angle[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1981, AES 17(2): 271 - 280.
- [5] Bogle P L. Detecting the presence of target multiplicity [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1986, AES 22(2): 197- 203.
- [6] Costantino M. Average monopulse angle tracking response to two unresolved sources[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1987, AES 23(5): 634- 642.
- [7] 王军宁, 扬绍全. 单脉冲导引头对多干扰源的角分辨[J]. 现代雷达, 2002, 24(5): 53- 57.
WANG Jun-ning, YANG Shaoguan. Angle resolution of multiple jammers for monopulse seeker[J]. Modern Radar(Bimonthly), 2002, 24, (5): 53- 57. (in Chinese)
- [8] 徐松涛, 扬绍全. 被动单脉冲导引头干扰源角度分辨[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2004, 31(1): 102 - 105.
XU Songtao, YANG Shaoguan. Angular resolution of jammers of the passive monopulse seeker[J]. Journal of Xidian University(Nature Science), 2004, 31, (1): 102- 105. (in Chinese)
- [9] Ogle T L, Blair W D, Brown G C. Tracking separating targets with a monopulse radar: idealized resolution[A]. James Myers. Proceedings of the Sixth International Conference of Information Fusion[C]. Atlanta: Georgia Tech Research Institute, 2003. 1149- 1155.

作者简介:

李朝伟 男, 1970 年生于河北定州. 现在中国电子科技集团公司第五十四研究所作博士后研究工作, 主要从事雷达及通信方面的信号处理、数据融合及抗干扰等技术的研究。

E-mail: lichaowei1230@163.com

周希元 男, 1945 年生于河北衡水. 现为中国电子科技集团公司第五十四研究所研究员, 博士生导师, 主要从事通信、网络攻防及电子对抗方面的研究。