

文章编号 :1001 - 2486(2005)06 - 0057 - 04

基于 ABA 处理和幅度加权的频率捷变单脉冲 雷达角闪烁抑制技术

李保国¹,肖怀铁¹,付强¹,刘义和²

(1. 国防科技大学 ATR 实验室,湖南长沙 410073; 2. 63880 部队,河南洛阳 471003)

摘要 :针对频率捷变幅度加权角闪烁抑制方法进行改进,提出了一种基于 ABA(amplitude-based angle)处理的幅度加权角闪烁抑制方法。首先将单个脉冲测角的结果限制在一定范围内,然后对多个脉冲测角的结果进行幅度加权,仿真表明这种方法在各种信噪比条件下的角闪烁抑制性能都要大大优于常规的幅度加权方法。

关键词 :雷达;角闪烁;频率捷变;幅度加权;ABA;单脉冲

中图分类号 :TN47 文献标识码 :A

The Frequency-agility Monopulse Radar Angular Glint Suppressing Technology Based on ABA Processing and Amplitude Weighting Method

LI Bao-guo¹,XIAO Huai-tie¹,FU Qiang¹,LIU Yi-he²

(1. The ATR Lab, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China; 2. 63880 Unit, Luoyang 471003, China)

Abstract :Frequency-agility amplitude weighting method is a common one to suppress the angular glint. The amplitude weighting method based on ABA (amplitude-based angle) processing is developed to suppress the angular glint. Firstly, the single pulse angle measuring result is restricted to certain extent. Then the amplitude weighting method is applied to each pulse's result. Computer simulation proves that this new method is much better to the common amplitude weighting method in suppressing the angular glint under all kinds of SNR conditions.

Key words :radar;glint;frequency-agility;amplitude weighting;ABA;monopulse

角闪烁是光学区制导雷达在近距离上面临的主要误差源,其产生机理与扩展目标的散射中心理论密切联系。在光学区,目标可以看作由许多散射中心组成,目标回波可以看作由这些散射中心的回波反射合成的,合成结果等效为一个视在中心,这个中心的位置也就是实际测得的位置。随着弹目间的相对运动,散射中心的反射也在不断变化,导致视在中心发生变化,从而产生测角误差,这种现象称为角闪烁,严重时角闪烁可以导致制导雷达的跟踪点偏离到目标之外^[1]。

脉间频率捷变加上幅度加权是一种常用的角闪烁抑制方法,本文首先分析了这种方法抑制角闪烁的原理,指出了它存在的不足,然后针对这种方法进行改进,提出了一种基于 ABA 处理的幅度加权方法,仿真表明这种方法在各种信噪比条件下的角闪烁抑制性能都优于常规的频率捷变幅度加权方法。

1 频率捷变幅度加权方法

文献 [1] 指出,角闪烁线偏差与 RCS 之间是不存在相关性的,但是角闪烁线偏差绝对值与 RCS 之间存在较弱的负相关性。利用这种负相关性,对多个载频捷变的脉冲测角的结果进行幅度加权,使得结果更加接近目标的真实位置,从而达到提高跟踪精度的目的。

* 收稿日期 :2005 - 10 - 08

基金项目 :十五武器装备重点项目(413010701)

作者简介 :李保国(1977—),男,博士生。

常规幅度加权的思想可以描述如下^[1]:假设在某雷达伺服系统响应时间内,共取得 N 个角误差信号序列,每个角误差信号对应一个目标视在角度,以 θ_i 表示第 i 个脉冲测角的结果, A_i 表示第 i 个脉冲回波的幅度, A_{\max} 为 N 个脉冲回波的最大幅度, $W(A_i)$ 为幅度加权因子。以 θ_r 表示加权后的结果,则加权后的结果可以表示为:

$$\theta_r = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_i W(A_i)}{\sum_{i=1}^N W(A_i)} \quad (1)$$

式中的权函数 $W(A_i)$ 可以归一化,通常是以最大回波幅度 A_{\max} 为归一因子,使得 $W(A_{\max})=1$ 。权函数的选择是多种多样的,加权方法相应也数目繁多,各种加权方法的性能比较在文献[2]中有详细论述。

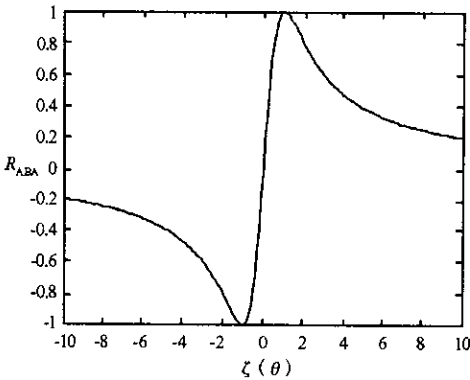


图1 R_{ABA} 与 $\zeta(\theta)$ 关系图
Fig.1 Relation of R_{ABA} and $\zeta(\theta)$

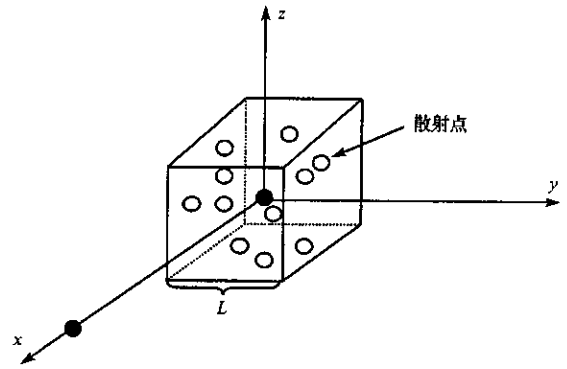


图2 简化的目标模型
Fig.2 Target Geometry

2 ABA 处理方法

ABA 处理器是一种非相干处理器,最早是在文献[4]中提出的。首先和通道与差通道信号在射频上分别相加和相减,得到:

$$V_1(t) = \frac{\Sigma(t) + \Delta(t)}{2} = \frac{E_m e^{j\omega t} [S(\theta) + D(\theta)]}{2} \quad (2)$$

$$V_2(t) = \frac{\Sigma(t) - \Delta(t)}{2} = \frac{E_m e^{j\omega t} [S(\theta) - D(\theta)]}{2} \quad (3)$$

其中, E_m 为目标回波的幅度, $S(\theta) = F(\theta_w - \theta) + F(\theta_w + \theta)$, $D(\theta) = F(\theta_w - \theta) - F(\theta_w + \theta)$ 分别为和通道与差通道的天线增益。单脉冲雷达的天线方向图为 $F(\theta)$, θ_w 为波束偏置角。然后这两个信号在中频上进行平方律包络检波,得到:

$$U_1(t) = |V_1(t)|^2 = |S(\theta) + D(\theta)|^2 \frac{E_m^2}{4} \quad (4)$$

$$U_2(t) = |V_2(t)|^2 = |S(\theta) - D(\theta)|^2 \frac{E_m^2}{4} \quad (5)$$

这样 ABA 处理器的输出可以表示为:

$$R_{ABA} = \left[\frac{U_1(t) - U_2(t)}{U_1(t) + U_2(t)} \right] \quad (6)$$

代入(4),(5)两式,可以得到:

$$R_{ABA} = \frac{2\zeta(\theta)}{1 + \zeta^2(\theta)} \quad (7)$$

其中, $\zeta(\theta) = \frac{D(\theta)}{S(\theta)}$ 。根据 R_{ABA} 可以解出 $\zeta(\theta)$ 的值:

$$\zeta(\theta) = (1 \pm \sqrt{1 - R_{ABA}^2}) / R_{ABA} \quad (8)$$

常规的单脉冲雷达利用和差通道信号的幅度和相位来提取出目标相对于天线视线轴的角度,处理方法为提取差通道与和通道信号之比的实部。而 ABA 处理方法只用到了信号的幅度,因此是一种非相干的单脉冲雷达角度提取方法。根据式(7)和式(8)绘出 R_{ABA} 与 $\zeta(\theta)$ 的关系,如图 1 所示。从图中可以看出, $|R_{ABA}| < 1$, $\zeta(\theta)$ 的两个根与 R_{ABA} 符号相同,且互为倒数。当 $\zeta(\theta) \in [-1, 1]$ 时, $R_{ABA} \in [-1, 1]$, 且随 $\zeta(\theta)$ 增大而单调增大,因此必然有一个根满足 $|\zeta(\theta)| < 1$ 。对于一般的单脉冲雷达来说,当 θ 在一定范围内变化时, $\zeta(\theta)$ 与 θ 呈线性关系,设 $\zeta(\theta) = \mu\theta$, 当目标为扩展目标时, $\zeta(\theta)$ 对应于目标视在中心,对于常规单脉冲处理,由于视在中心可能偏离到目标之外,按照 $R_{ex} = \zeta(\theta)$ 计算出的角度有可能偏差极大;而 ABA 处理时,如果始终选择满足 $|\zeta(\theta)| < 1$ 的根来计算最后的结果,则测角结果将被限制在 $(-1/\mu, 1/\mu)$ 区间内,设测得的角度为 θ_1 , 视在中心的真实角度为 θ_2 , 如果 θ_2 满足 $|\zeta(\theta_2)| \leq 1$, 则 $\theta_1 = \theta_2$; 如果视在中心偏离目标中心很大,以至于 $|\zeta(\theta_2)| > 1$, 则以 $\theta_1 = 1/(\mu^2\theta_2)$ 作为测角结果,此时的 θ_1 仍在 $(-1/\mu, 1/\mu)$ 区间内,相当于采用了一个“限幅器”,这就是 ABA 处理方法抑制角闪烁的原理。

3 基于 ABA 处理的幅度加权方法

常规幅度加权方法将频率捷变雷达所有频点的测角结果都参与了加权运算,而由于角闪烁的影响,必然有一部分测角结果偏差较大,如果采用 ABA 处理则可以将这一部分偏差较大的结果限制在一定范围内。因此本文将 ABA 处理与频率捷变幅度加权方法结合,提出了一种基于 ABA 处理的频率捷变单脉冲雷达幅度加权角闪烁抑制方法,首先对于单个脉冲测角采用 ABA 处理代替常规的处理方法,将单个脉冲测角的结果限制在一定范围之内,使得大的角闪烁值得到有效抑制,然后再采用幅度加权的方法进一步抑制角闪烁,整个系统过程如图 3 所示。

只考虑方位差通道,仿真研究常规幅度加权方法和基于 ABA 的幅度加权方法的测角性能。假设目标为立方体,边长为 L , 由 M 个散射点组成,每个散射点的三个坐标在目标尺寸范围内均匀分布,各个散射点的 RCS 服从瑞利分布,目标以原点为中心,绕着 z 轴从 x 轴正方向向 y 轴正方向旋转 180° , 中间均匀选取 N 个观测点,雷达坐标为 $(500, 0, 0)$ (m)。取 $M = 20$, $N = 1000$, $L = 20$ m, 雷达中心频率为 17GHz, 频率捷变方式为简单频率步进,步进点数为 10, 跳频间隔为 18MHz。天线波束宽度为 $\theta_B = 2.4^\circ$, 波束偏置角为 $\theta_w = 1.2^\circ$ 。幅度加权函数选择线性加权。第一步仿真没有噪声,不同的目标长度时两种方法的性能比较结果如图 4 所示。根据图 4, 在目标长度为 40m 时,两种方法的测角误差均方根值分别为 0.0084 弧度 and 0.0046 弧度,此时目标张角为 $2 \times \arctan(20/500) = 0.08$ 弧度,可以看出在采用了幅度加权之后测角误差大大减小,而基于 ABA 处理的幅度加权方法性能更优,测角误差均方根值接近于常规幅度加权方法的一半,大大提高了雷达对目标的跟踪精度。第二步仿真高斯白噪声背景下两种方法的性能,固定目标长度为 20m,在和通道与方位差通道都加入零均值高斯白噪声,由于和通道信号是各波束接收信号相加,而差通道信号是各波束接收信号相减,因此和通道输入信噪比要比差通道高得多,为方便起见,假设和通道噪声方差与方位差通道噪声方差一样,定义信噪比时,信号功率采用各脉冲回波功率的平均。进行蒙特卡罗试验,比较两种方法的测角性能,结果如图 5 所示。可以看出随着信噪比的提高,两种方法的测角性能都有较大提高,在差通道信噪比达到 0dB 之后两种方法的测角误差均方根值趋于一个稳定的值,这同时也说明幅度加权方法具有较强的抗噪声能力。

4 结束语

本文提出了一种基于 ABA 处理的幅度加权方法用于单脉冲雷达的角闪烁抑制,取得了良好的效果。这种方法首先将单个脉冲测角的结果限制在一定范围内,然后再采用幅度加权处理。从第 2 节的分析可以看出,单个脉冲测角的结果被限制在 $(-1/\mu, 1/\mu)$ 区间内,理想的情况是目标在波束中的位置正好是这个区间,这样测角结果将不会超出目标范围。但是实际中很难保证这一点,一般适当地选择单

脉冲天线的各个参数,将这个区间设计得有一定的余量,保证目标处于这个区间之内,这样单个脉冲测角的结果将不会有奇异值(当视在中心处于目标范围之内而测得的角度超出目标范围的值)。如果有关于目标尺寸的先验信息,可以更为精确地设计这个区间的范围,测角结果相应也会更为精确,即使是这样,测角的结果仍然可能存在角闪烁的影响,因此如果采用跟踪滤波器进行处理,效果将会更好。文献[3]给出了一种性能较好的跟踪滤波器,可以针对角闪烁的非高斯特性进行处理,这将是下一步工作的重点。

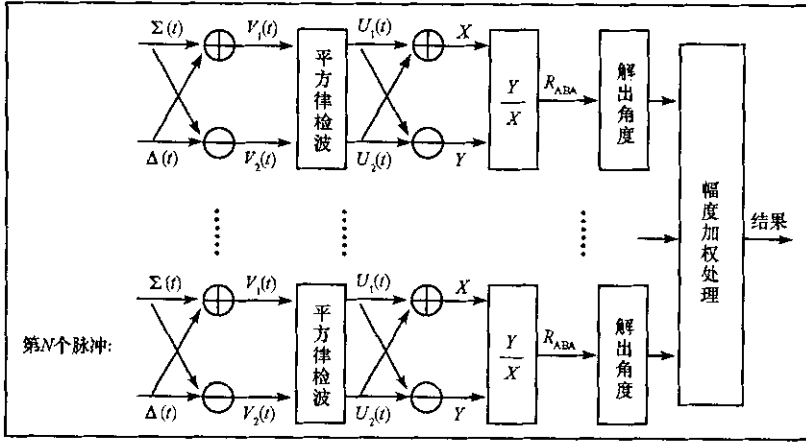


图3 基于 ABA 处理的幅度加权方法流程图

Fig.3 Flowchart of amplitude weighting method based on ABA processing

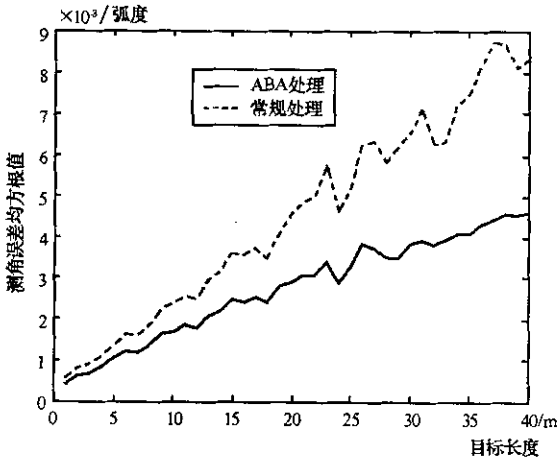


图4 无噪声时两种方法的性能比较

Fig.4 Performance of two methods without noise

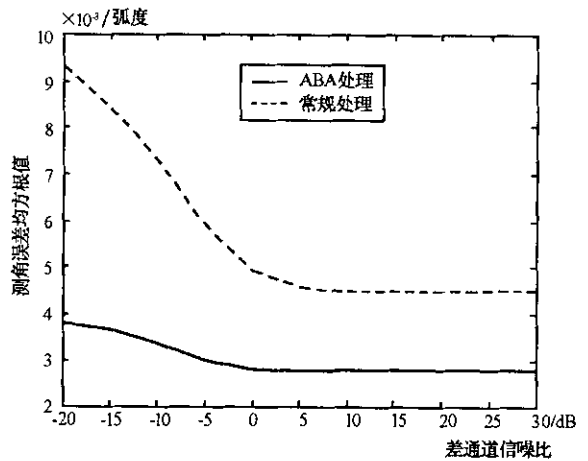


图5 各种信噪比下两种方法性能比较

Fig.5 Performance of two methods under various SNR conditions

参考文献:

[1] 黄培康. 雷达目标特征信号[M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
 [2] Loomis J M, Graf E R. Frequency Agility Processing to Reduce Radar Glint Pointing Error[J]. IEEE Trans., 1974, AES-10: 811-820.
 [3] 郭春, 罗鹏飞. 一种新的非线性/非高斯滤波方法[J]. 国防科技大学学报, 2002(2).
 [4] Yoganandam Y, Jitendra D R. Performance Analysis of a Noncoherent Monopulse Processor in the Presence of Target Glint and Receiver Imbalances[J]. IEEE Proceedings - F, 1991, 138(5).

