

一种提高目标检测概率的有效方法

刘 凤

(南京电子技术研究所,江苏 南京 210039)

[摘要] 检测概率是雷达效能评估的重要指标之一.通过对单滤波器组间的跨越损失分析,可知当目标落在滤波器组交叠处会明显降低检测概率.本文设计增加一组滤波器,覆盖单组滤波器交叠区域,降低单滤波器组间的跨越损失,从而在整个频率范围内都具有较好的检测性能,并给出仿真过程和工程试验数据,具有良好的工程实现效果.

[关键词] 跨越损失,检测概率,动目标检测

[中图分类号] TN953 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2016)03-0088-05

An Effective Method to Improve Target Detecting Probability

Liu Feng

(Nanjing Institute of Electronic Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract: Detection probability is one of the important indices of effectiveness evaluation of radar. The analysis of spanning loss between filters shows that when the target falls in the overlapping part of filter groups, the detection probability will be significantly reduced. In this paper, the design of another filter group, covering the single filter banks overlapping area, reduces the spanning loss between the single filter groups, so as to have better detection performance in whole frequency range. The simulation process and engineering test data are given, which have a good engineering effect.

Key words: spanning loss, detecting probability, moving target detector

检测与跟踪是现代雷达最基本的两大功能.随着隐身技术的发展与广泛应用,典型军事项目如战斗机、轰炸导弹、坦克和巡洋舰的雷达散射截面(radar cross section, RCS)锐减,使其回波信号微弱,而且经常淹没在强杂波和各种支援干扰中,给雷达目标的检测和跟踪带来了严峻的挑战^[1].

为提高雷达系统目标检测和跟踪稳定性,可采用增加发射功率,提高接收机灵敏度,改善目标检测方法等手段来实现.实际雷达系统设计中要兼顾各方面可行性,是综合折中的过程.当雷达系统硬件条件确定的情况下,采用改善目标检测方法提高系统跟踪性能的研究成为必须,而动目标检测(MTD)的方法已在现代雷达中获得广泛的应用.本文研究如何在虚警概率不变的情形下提高动目标检测性能,给出了基于MTD的一种改进方法——交叠滤波器检测方法.

1 基本原理

理想的滤波器应是准确“截获”目标回波频谱的窄带滤波器.然而,目标的多普勒频率不可预知.所以要设计一组窄带滤波器,覆盖整个频率范围,这样才可以达到动目标检测的目的,核心是相当于对各个通道实施相参积累^[2-3].

相参积累可表示为

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i x(n - iT_r) \quad (1)$$

式中, T_r 为雷达重复周期, N 为积累的脉冲数, w_i 是加权系数.如果对每次回波,加权系数都是按如下

规律变换:以 e 为底且以 $-j2\pi ik/N$ 为幂的指数形式,其中 i 表示第 i 个系数输出. 每一个 k 值对应不同的加权值,这就是 MTD 处理.

脉冲响应函数为

$$h_k(t) = \sum_{i=0}^{N-1} \delta(t - T_r) \exp(-j2\pi ik/N). \quad (2)$$

频率响应函数为

$$H_k(f) = \exp(-j2\pi ft) \sum_{i=0}^{N-1} \exp(-j2\pi i(fT - k/N)). \quad (3)$$

当目标匀速运动时,回波与发射信号之间有固定相位差,它是电磁波在雷达与目标之间传播产生的滞后相位. 每一个 k 值决定一个独立的滤波器响应,全部的滤波器响应覆盖了从零到重复频率的范围,由于信号的取样性质,其余的频带按同样的响应周期覆盖,因而在频率上产生模糊. 每个滤波器的取样相同,只滤波器的中心频率偏移了 $1/NT$.

为了能获得整个频率范围的检测性能,提高目标落在滤波器组交叠区间的检测概率,增加一组滤波器覆盖单滤波器组间交叠区域,其原理为对同一脉冲组数据,采用不同匹配函数进行两次(硬件条件允许可以更多次)滤波处理,完成两次独立检测.

2 设计仿真

(1)窄带多普勒滤波器组实现的方法有两种:一种是在时域采用 FTR 滤波器组实现,一种是利用 DFT 或者 FFT 在频域实现滤波器组^[4].

(2)一般雷达的窄带滤波器数目只需几个或十几个. 在 MTD 中,直接采用相乘累加运算即可.

具有 N 个输出的横向滤波器,经过 N 个重复周期的不同加权并求和后,即可实现 N 个相邻的窄带滤波器组. 由于 DFT 是一种特殊的横向滤波器,加权因子按 DFT 定义,并采用 DFT 的快速算法 FFT,即可实现基于 FFT 的 MTD 滤波. 采用 FFT 滤波可提高算法效率,且从降低各个多普勒滤波副瓣的角度考虑,在进行 FFT 运算前先加权处理.

利用前面提出的算法思想,采用 FFT 法进行 MTD 处理. 采用 FFT 方法实现窄带滤波器的频率响应为

$$S_x(n) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) \exp(-j2\pi n/N). \quad (4)$$

其中, $X(n)$ 为当前帧的回波信号, $S_x(n)$ 为 FFT 变换的频域结果, N 为 FFT 的点数. 图 1(a)中虚线表示单滤波器组,实线表示覆盖交叠区域的滤波器组,图 1(b)表示两组滤波器交叠处理后的总效果.

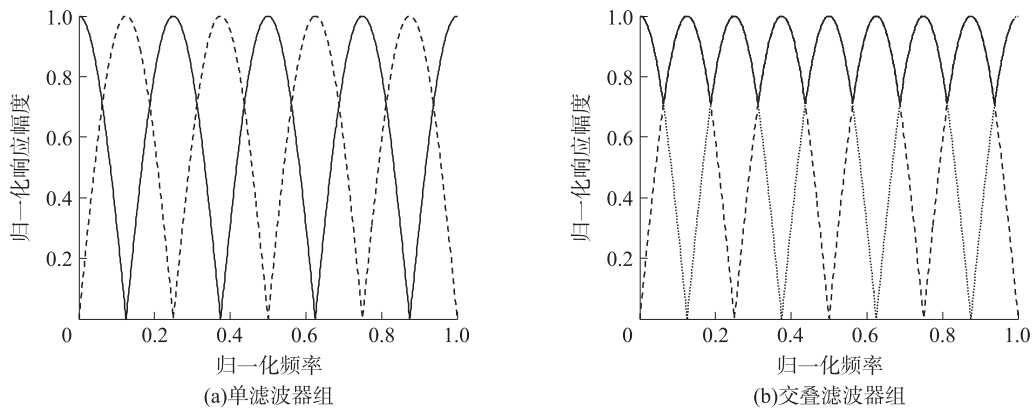


图1 单个滤波器示意图

Fig.1 Diagram of overlapping filters

图 2 给出了使用交叠滤波器组对回波信号进行 MTD 处理的原理框图. 其中 $W_1(n)$ 和 $W_2(n)$ 分别为输入 $X(n)$ 的两组窗系数.

为抑制 FFT 滤波器的旁瓣电平,采用加窗的方式,本文采用为海明窗^[5].

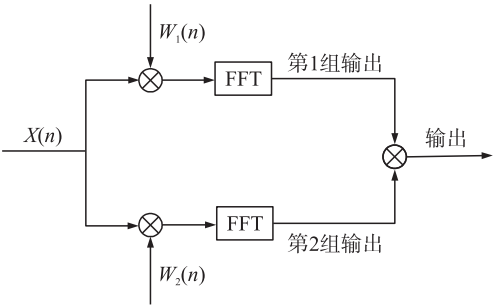


图 2 交叠滤波器组原理框图

Fig.2 Principle diagram of overlapping filters

由图 3 可以看到,单滤波器组间的跨越损失最大为-1.625 dB.

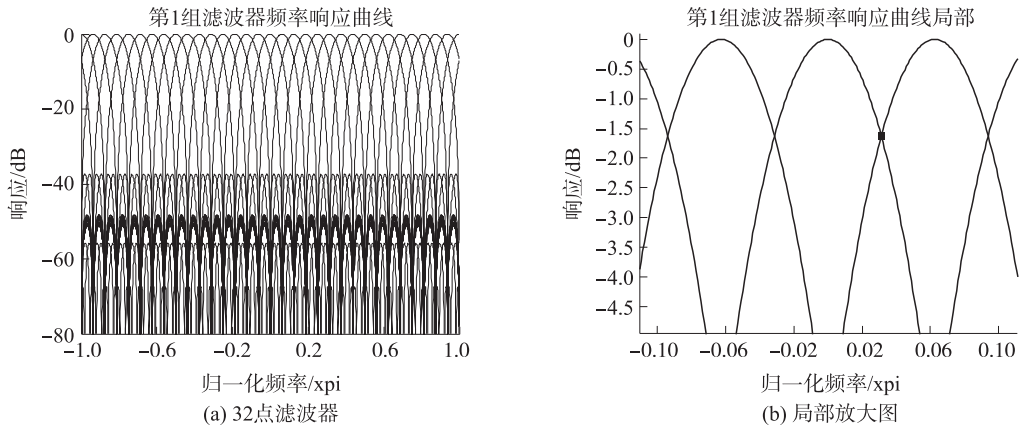


图 3 单组滤波器频率响应曲线

Fig.3 Response curve of single filters

图 4(a)给出了两组滤波器频率响应曲线,分别以红色和蓝色曲线表示.图 4(b)可以看到,通过在 第一组滤波器凹口处再增补一组滤波器,在 32 脉冲相参积累的情况下,双滤波器组间的跨越损失降低 为-0.401 5,可使滤波器组间的跨越损失减少 1.223 5 dB.

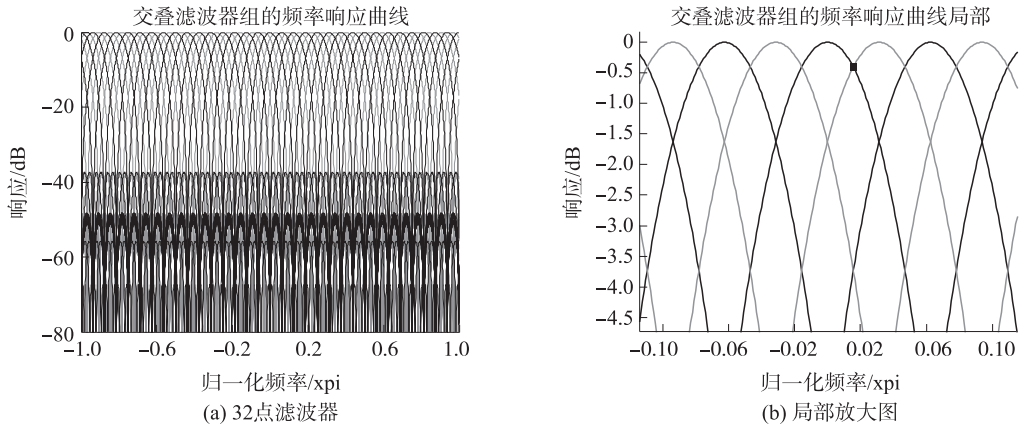


图 4 交叠滤波器频率响应曲线

Fig.4 Response curve of overlapping filters

3 工程实现

某要地防空雷达工程改造中,为将作用距离从 36 km 提高到 40 km,在不修改前端发射、天线、接收机等硬件的条件下,提出单次检测虚警概率不变,改善检测方法,在信号处理中增加交叠滤波器检测方法,工程实现步骤如下:

- (1)获取各个脉冲的数据

$$\begin{aligned} x_1 &= \{x(1, 1), x(1, 2), \dots, x(1, N)\}, \\ &\vdots \\ x_p &= \{x(p, 1), x(p, 2), \dots, x(p, N)\}. \end{aligned} \quad (5)$$

其中, $x(p, n)$ 为第 p 个脉冲第 n 个距离采样点的 IQ 采样数据, p 为当前帧内的脉冲数, N 为当前帧的距离采样点数.

(2) 加权处理

需要进行加权处理时, 须对步骤 1 的采样数据进行时域加权处理.

$$w = \{w(1), w(2), \dots, w(p)\}, \quad (6)$$

$$x(p, n) = x(p, n) \cdot w(p). \quad (7)$$

其中, w 为加权的窗函数.

(3) 补 0 处理

如果当前脉冲数 p 不足 2 的幂次, 需进行补 0 处理, 即添加全 0 脉冲.

$$\left. \begin{aligned} x_{p+1} &= \underbrace{\{0, 0, \dots, 0\}}_{N\uparrow}, \\ &\vdots \\ x_K &= \underbrace{\{0, 0, \dots, 0\}}_{N\uparrow}. \end{aligned} \right\} K-p\uparrow, \quad (8)$$

其中, K 为 FFT 的点数, p 为当前帧内的脉冲数.

(4) FFT 处理

完成步骤(1)–(3)的数据准备后, 当前帧的输入格式如下:

$$X_{K \times N} = \begin{bmatrix} x(1, 1), x(1, 2), \dots, x(1, N) \\ \vdots \\ x(p, 1), x(p, 2), \dots, x(p, N) \\ \underbrace{0}_{N\uparrow} \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

对于该矩阵中的每一列数据进行 FFT 处理则可以获得每一个距离单元在各个多普勒通道的输出结果

$$S_x(k, n) = \sum_{p=0}^{P-1} X(p, n) e^{-j \frac{2\pi}{N} pk}, \quad k = 0, 1, \dots, K, \quad n = 1, 2, \dots, N. \quad (10)$$

其中, $S_x(k, n)$ 为第 k 个滤波器通道第 n 个距离采样点的输出, K 为 FFT 点数, p 为脉冲数, N 为距离采样点数.

图 5、图 6 分别给出了对某雷达的靶试中实录数据用两组互补的交叠滤波器来处理的结果. 不同滤波器组的信杂化(signal untler ratio)如图所示.

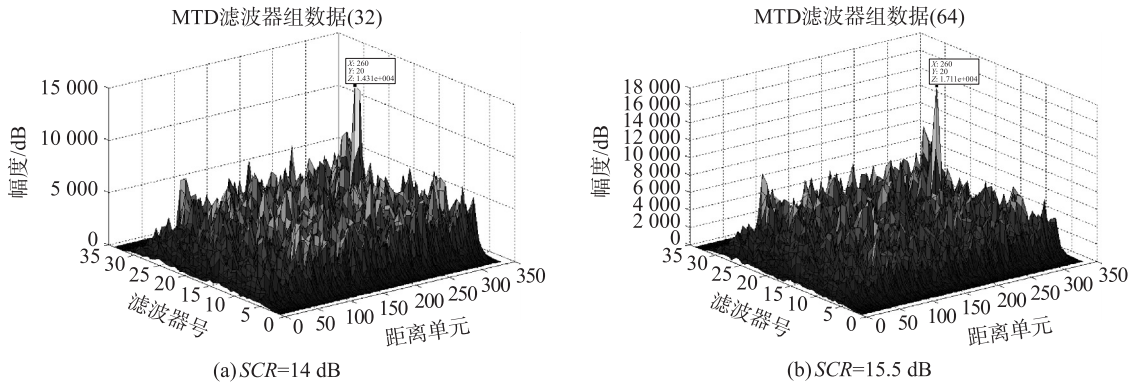


图 5 搜索模式滤波器组

Fig.5 Filters in searching mode

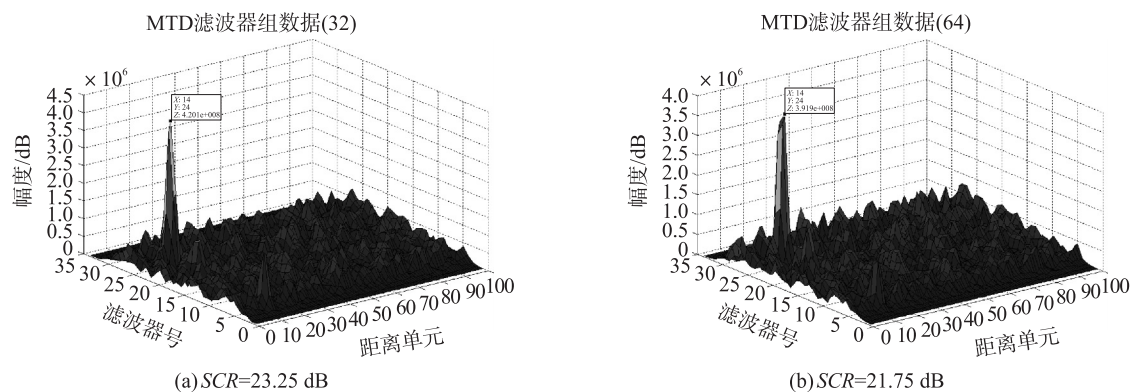


图6 跟踪模式滤波器组

Fig.6 Filters in tracking mode

从图5、图6可以看出,采用2组滤波器,其中图5(b)和图6(a)可获得较好的匹配效果,有效减少了单组滤波器的跨越损失.当系统给出15 dB检测门限,图5(a)的搜索模式下,单组滤波器1无法检测出目标,采用交叠的滤波器组2,则可以发现目标,有效提高雷达的检测概率.

4 结语

通过设计计算和工程试验验证,增加交叠滤波器组的雷达,有效提高了检测概率,从而提高了雷达的发现概率和跟踪稳定性.因此,在雷达信号处理硬件计算资源允许条件下,可以采取多组滤波器交叠处理,减少滤波组间的交叠损失,进一步提升雷达系统的目标检测和跟踪性能,该方法具有良好的工程实现效果.

[参考文献](References)

- [1] SKOLNIK M I. 雷达手册[M]. 3版. 北京:电子工业出版社,2010.
SKOLNIK M I. Radar handbook[M]. 3rd ed. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2010. (in Chinese)
- [2] 胡可欣,胡爱民.一种优化设计的动目标检测方法及其运用[J]. 火控雷达技术,2007,2:20-23.
HU K X, HU A M. A method of moving target detection based on optimum design and its application[J]. Fire control radar technology, 2007, 2: 20-23. (in Chinese)
- [3] 周亚飞,赵修斌,邹鲲.FFT-MTD滤波器组优化设计与仿真[J]. 现代防御技术,2011,2:160-163.
ZHOU Y F, ZHAO X N, ZOU K. Optimized design and simulation for FFT-MTD filter banks[J]. Modern defence technology, 2011, 2: 160-163. (in Chinese)
- [4] 尹成斌,陈希信.MTI级联MTD的信噪比增益[J]. 现代雷达,2012,5:23-25.
YIN C B, CHEN X X. SNR gain of radar signal by MTI&MTD[J]. Modern radar, 2012, 5: 23-25. (in Chinese)
- [5] 赵树杰. 雷达信号处理技术[M]. 北京:清华大学出版社,2010.
ZHAO S J. Radar signal processing technology[M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2010. (in Chinese)

[责任编辑:陈 庆]