

一种提高冲激雷达信噪比的方法

付红卫, 向正义, 王斌科, 焦光龙, 戴国宪

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要: 提出一种基于取样平均器的提高冲激雷达信噪比的方法,采用了一种新型的高时间分辨率取样积分器,解决了采样和积累的矛盾,实现了信号的多次积累。分析和实验表明,在高距离分辨率下,不但使信噪比有很大程度的改善(可实现10000次积累),而且采样效率高,还可工作于高重复频率。

关键词: 冲激雷达;信噪比;取样积分器

中图分类号: TN957.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2000)02-0032-04

低信噪比条件下如何提高冲激雷达的信噪比,降低目标检测的虚警概率,是未来冲激雷达要解决的技术难题之一。根据雷达检测理论,要使雷达接收机输出的信噪比最大,就必须实现对雷达接收信号的匹配滤波。由于冲激雷达发射的脉冲窄,频谱宽,接收信号是发射信号与目标冲激响应卷积的结果,因而目标回波不再是发射信号按比例延时的重视,而是一种失真的形式。在目标先验未知的情况下很难设计出与单个目标回波匹配的接收机,但冲激雷达一般发射的是一个脉冲串,在这种情况下通过积累(梳齿滤波器或积分器)可实现同一距离波门内输出视频脉冲串的匹配滤波。而且这种积累方法对接收回波信号信噪比的改善比单个脉冲匹配滤波器对接收回波信号信噪比的改善要大得多。所以在目前的技术条件下,在基于采样示波器原理的冲激雷达中,对同一距离波门内输出的视频脉冲串进行匹配滤波,是提高目标回波信噪比的有效途径。

目前,冲激雷达接收机大多是采用采样示波器原理的等效时间采样接收机,它的基本原理是按一定的采样间隔在每一个目标回波上取出一个样本,由取出的样本重新组成一个信号,复现信号的形状与原来信号相似,并且在时间刻度上比原来的信号增长了若干倍。在等效时间采样接收机中对信号的积累平均目前主要有两种方法:

1) 数字方法

它的基本原理是把每一个从目标回波上取出样本进行量化,然后把同一个距离波门的回波信号进行平均。这种方法对回波信号信噪比的改善有很大的局限性,主要原因有以下几个方面:

① 采样效率低,采样电路的传递损失大,降低了接收机的灵敏度,影响了接收机对信噪比的改善。

② 对信号数字化时,干扰信号占用了高速A/D的有效位,即使能用数字方法将干扰全部消除,由于有用信号所占的有效位太少,输出的信噪比仍可能很低。

2) 取样平均器

取样平均器或称BOXCAR平均器,是一种采用取样平均技术将淹没在强噪声中可重复信号复现出来的仪器,这种方法是目前检测和处理微弱信号最有效的方法之一。它是利用很窄的并与信号同步的取样脉冲,对被淹没在噪声中的输入信号进行取样,再利用噪声与信号的非相关性,通过RC低通滤波器对取出的样品值(它正比于取样期间信号被取样部分瞬时幅度的平均值)进行积分,以达到抑制噪声提取信号的目的。一般的取样平均器的原理如图1所示。它对输入信号信噪比的改善为

$$SINR = \sqrt{N} = \sqrt{\frac{5RC}{T_g}}$$

其中 N 为信号的累加次数, T_g 为取样脉冲的宽度。 $N=2$ 时, 信噪比改善了 1.4 倍, 即为 3dB, $N=10000$ 时, 信噪比的改善为 100 倍, 即为 40dB。 显然取样脉冲越窄、 RC 越大, 信噪比改善的倍数越大。 在冲激雷达中为了实现高的距离分辨力, 发射脉冲很窄, 这时要求取样脉冲很窄, 为了使信噪比得到很大的改善, 就要加大 C 。 如 $T_g=100\text{ps}$, $N=1000$, $R=50\Omega$ (为了实现与天线、传输线的匹配, R 一般不大)

时要求 $C=400\text{pf}$ 。 而在实际的取样平均器中, 增大取样电容将严重影响门的开关速度, 也就是说在采样电路中存在着积累与取样的矛盾。 为了实现冲激雷达一定的带宽, 提高雷达的分辨力, 保证信号不失真, 要求波门(取样脉冲)很窄, 回路的 RC 时间常数要小。 而积累要求 RC 时间常数大, 所以就必须要分开取样与积累。 文献[5]提出采用两个取样门, 首先第一个门打开进行采样, 把输出的窄脉冲放大、展宽, 通过第二个门的控制, 进行积累。 这种方法的缺点是采样效率低, 同时由于放大器的漂移、门控制脉冲的抖动将严重影响信噪比的提高。

基于取样平均器的提高冲激雷达信噪比的主要思想是把积累和采样分开, 在高距离分辨率下, 它不但使信噪比有很大程度的改善(可实现 10000 次积累), 而且, 采样效率高, 可以工作于高重复频率, 灵敏度高。 下面就对这种方法进行具体的分析。

1 基本工作原理

图 2 所示为新的采样积累方法的原理图。 C_1 为取样电容, 一般取值很小, C_2 为积累电容, R_1 为隔离电阻, 同时又是 C_2 的积分电阻, R_s 为采样回路的等效电阻。 当取样脉冲到来时, 取样门闭合, 由于 R_1 的取值较大(10k Ω 以上)所以此时图 2 的等效电路如图 3 所示, e_s 为等效到输入端的信号电压。

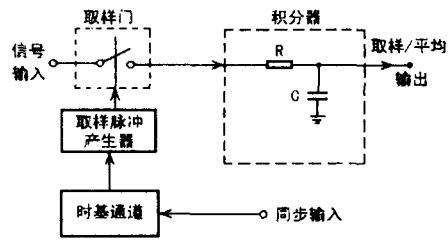


图 1 取样积分器的原理框图

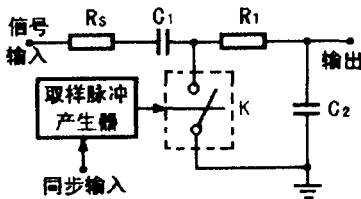


图 2 高时间分辨率取样积分器电路

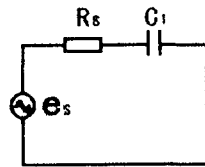


图 3 信号采样等效电路图

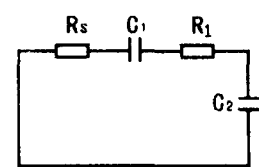


图 4 信号积累等效电路图

此时回路方程为

$$u_1 + C_1 \frac{du_1}{dt} R_s = e_s$$

u_1 为 C_1 上的电压, 在取样门打开的时间内, 按时间常数 $R_s C_1$ 给 C_1 充电, 电容 C_1 上的电压按指数规律上升。 当采样结束以后, K 断开, 其等效电路如图 4 所示。 这时 C_1 上的初始电压为取样期间建立的电压。 因为 $C_2 \gg C_1$ $R_1 \gg R_s$, 所以回路的时间常数为

$$\tau = (R_s + R_1) \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \approx R_1 C_1$$

由于回路的时间常数远远大于脉冲的重复频率 T , 所以此时电路是一个积分器。 因为

$$i = C_1 \frac{du_1}{dt} = C_2 \frac{du_2}{dt}$$

当下次取样之前, C_1 与 C_2 的电压变化量满足

$$\frac{\Delta u_1}{\Delta u_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

由于 C_1 的充电时间常数小, 而放电时间常数大, 所以在一个周期内对 C_2 的放电不可能彻底放完, 这样经过了几个周期以后 C_1 上的电压会达到最大值, 而后又放电、又充电, 把信号电压逐渐地传给了 C_2 , 其电压变

化曲线如图5所示。

设第 n 次充完电以后, C_1 上的电压为 $u_1(n)$, C_2 上的电压为 $u_2(n)$, 则

$$u_2(n) = u_2(n-1) + \frac{T}{R_1 C_1} [u_1(n) - u_2(n-1)]$$

当 C_1 上的电压达到取样电压 V_m 时上式变为

$$u_2(n) = u_2(n-1) + \frac{T}{R_1 C_1} V_m = \frac{T}{R_1 C_1} n V_m$$

即实现了固定距离上信号的积累。

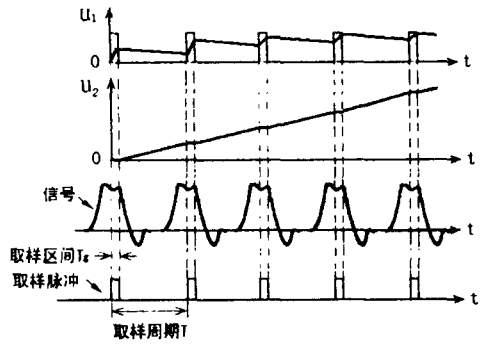


图5 高时间分辨率取样积分器波形图

2 信噪比的改善

由于 C_2 的有效充电时间为 $5R_1C_1$, 在此范围内每次电压的增量为

$$\Delta u_2 = \frac{V_m T}{R_1 C_2}$$

故这种工作于固定波门的取样平均器最多可充电的次数为

$$N = \frac{V_m}{R_1 C_1} 5R_1 C_1 / \Delta u_2 = \frac{5R_1 C_2}{T}$$

信噪比的改善为

$$SNIR = \sqrt{N} = \sqrt{\frac{5R_1 C_2}{T}}$$

显然这种取样平均器信噪比的改善主要取决于雷达的重复频率和隔离电阻以及滤波电容, 重复频率越高信噪比的改善越大。隔离电阻越大对信噪比的改善也越大, 但太大会影响整个接收机的灵敏度。一般为几十 $k\Omega$ 。

3 其它几个问题的讨论

3.1 取样效率

由于在采样电容 C_1 上的平均信号电压为取样时刻信号的电压, 因此它的取样效率几乎百分之百。而高的取样效率对弱信号信噪比的改善是有益的。

3.2 取样器的带宽

由于本文所提出的取样平均器采样回路的时间常数很小, 所以它的带宽很宽。

3.3 重复频率

利用常规的取样方法设计的冲激雷达重复频率一般为几十 kHz , 而本文所提出的方法则可以工作到 $10MHz$ 。这种特点更能充分利用发射机的平均功率, 降低发射机的峰值功率, 这对近距离冲激雷达尤其重要。

3.4 灵敏度

由于有高的取样效率, 低的信号传递损失, 对输出的低频信号可以进行高增益放大, 因而灵敏度很高。

3.5 选择性

由于可以对发射信号进行编码(伪随机码、高斯噪声调制、线性调频调制), 提高了选择性, 多个雷达能同时工作。

4 实验与结论

根据以上分析, 我们研制了近距离动目标检测实验系统, 重复频率在 $1.8-2.2MHz$ 之间随机的变化, 波门宽度 $300ps$, 可以实现 10000 次积累(由取样积分器的参数决定), 发射脉冲的宽度为 $300ps$, 发射脉冲的峰值电压为 2 伏, 在检测目标时未发现虚警, 同时从接收天线处人为地加入了一个干扰信号, 也没有虚警现

象。

本文简要地分析了基于取样平均器的提高冲激雷达信噪比的方法,该方法的优点是取样效率高,接收机的灵敏度可达到微伏,也可以工作在高重复频率,在高距离分辨率下,使信噪比有很大程度的改善。电路简单,容易集成。由于它是靠牺牲时间为代价来实现信噪比的提高,因此它主要应用在如探地,近距离动目标检测、报警等实时性要求不高的雷达。特别是为研制我国自己的微功率冲激雷达(MIR)和探测器芯片提供了一条路子。

参 考 文 献

- [1] E. M. Johansson, et al. Three-dimensional ground penetrating radar imaging using synthetic aperture time domain focusin[J]. Proceedings on Advanced Microwave and Millimeter Wave Detectors, SPIE Proceedings, 1994, Vol. 227(5):129~131.
- [2] J. E. Mast, et al. Three-dimensional ground penetrating radar imaging using multi-frequency diffraction tomography [J]. Processing on Advanced Microwave and Millimeter Wave Detectors, SPIE Proceedings, 1994, Vol. 229(5):87~90.
- [3] 廖春林. 无载波脉冲探地雷达系统及杂波消除技术研究[D]. 西安:西安交通大学,1993.
- [4] 王显德. 探地雷达收发技术的研究[D]. 西安:西安交通大学,1993.
- [5] 彭长青. 超宽带雷达接收机研究[D]. 长沙:国防科技大学,1991.

An Approach to Increasing the Impuse Radar Signal-to-Noise Ratio

FU Hong-wei, XIANG Zheng-yi, WANG Bing-ke, JIAO Guang-lun, DAI Guo-xian
(The Missile Institute, AFEU., Sangyuan 713800, China)

Abstract: This paper presents an approach based on sampling integrator to increase the signal-to-noise ratio. In order to solve the contradiction between sampling and accumulation and to realize multiple accumulation of signal, a new hall time resolution sampling integrator is applied. Through analysis and experiment it is shown that with hall range resolution, the approach not only promotes the signal-to-noise ratio, but also increasing the sampling efficiency.

Key words: impulse radar; signal-to-noise ratio; sampling integrator