

文章编号: 1672-2892(2010)03-0261-04

一种实现密集假信号的方法

周庆辉, 靳学明

(中国电子科技集团 第38研究所, 安徽 合肥 230088)

摘要: 密集假目标干扰可以对雷达实施有效压制, 使雷达无暇顾及真目标, 甚至使雷达信号处理饱和。延时叠加法或卷积技术可以产生密集假信号, 但它们会占用较多的资源。本文提出了一种新的密集假信号产生方法——分段重构法, 该方法没有费时的乘法运算, 占用的存储资源少, 只与脉冲宽度有关, 与假目标个数无关。仿真和试验验证了该方法的有效性。

关键词: 数字射频存储; 密集假信号; 欺骗干扰; 分段重构

中图分类号: TN972⁺.31

文献标识码: A

A method for producing dense false-signal

ZHOU Qing-hui, JIN Xue-ming

(The 38th Research Institute of CETC, Hefei Anhui 230088, China)

Abstract: Dense false-target jamming can implement effective blanket jamming on radar. This kind of jamming can make radar too busy to process true target, even bring on the saturation of radar signal processing. Time-delay and overlap-add techniques or convolution technique can produce dense false-signal, nevertheless they consume more resource. A new method for producing dense false-signal—compartmentalization and regroupment is proposed in the paper. This method does not include multiplication operation that needs more time and storage. It is related only to pulse width and has nothing to do with the number of false targets. Simulation and experiment results have proved the validity of this method.

Key words: Digital Radio Frequency Memory(DRFM); dense false-signal; deception jamming; Compartmentalization and Regroupment(C. and R.)

在战争和科技的双重促进下, 雷达对抗技术与反对抗技术交替前进。当前新体制雷达的出现与应用大大提高了雷达的抗干扰性能, 噪声干扰已经难以有效对付雷达的各种抗干扰措施, 比如雷达可以使用副瓣对消去除从副瓣进入的噪声干扰, 可以使用自适应波束形成技术对噪声干扰方向自适应置零, 可以应用脉冲压缩体制来获得目标回波的处理增益, 可以使用多普勒滤波消除固定杂波干扰等。欺骗假目标信号具有与真实目标回波非常相似的特性, 只是某些参数不同, 雷达很难将其当作噪声剔除, 而且它们几乎能够获得与目标回波相同的得益, 大大降低了干扰机的功率, 有利于干扰设备的小型化和轻型化, 因而越来越受到人们的重视。数字射频存储(DRFM)技术是实现欺骗干扰的关键技术, 基于 DRFM 的干扰设备可产生诸如距离欺骗假目标、速度欺骗假目标、距离速度同步欺骗假目标等多种干扰信号, 因而得到广泛应用。

在自卫式干扰中, 当被保护目标即将受到武器攻击时, 干扰机产生几个甚至一个假目标就能够取得比较好的效果, 但在随队干扰或是远距离支援干扰中, 假目标个数太少, 干扰机将很难完成保护目标的任务, 因为当前雷达通常可以同时搜索并跟踪多批目标, 即使雷达把假目标也误认为是真目标进行跟踪, 雷达仍然有足够的跟踪真实目标, 而且雷达可以使用副瓣匿影技术去掉从副瓣进入的为数不多的假目标, 因而干扰机需要产生密集的假目标, 这样即使雷达使用副瓣匿影技术, 对密集的假目标也是无能为力, 而且密集的假信号可以使得雷达无暇顾及其他目标, 甚至使得雷达信号处理饱和, 从而无法发现真目标, 这正是干扰机想要的效果。密集假信号的产生在工程上会遇到很多问题, 其中存储空间和运算速度就是 2 个典型的问题。限于雷达对抗这个问题的敏感性, 关于如何实现密集假信号的相关文献并不多见, 本文基于 DRFM 的体系结构, 提出了一种密集假信号产生方法。

1 基于 DRFM 的系统结构

数字射频存储(DRFM)技术^[1-3]是电子对抗领域中的关键技术,其基本功能是高保真的复制输入信号,然后在数字域对信号进行各种调制,再在适当时刻输出,就可产生诸如距离欺骗、速度欺骗、速度距离同步欺骗等多种干扰信号,是对付 PD 和脉压雷达等新体制雷达的有效手段,本文正是基于 DRFM 的系统结构,提出了一种密集假信号产生方法。图 1 为基于 DRFM 的干扰设备系统组成框图。虚框内的功能都在射频存储板上进行,主要包括对接收的射频信号进行 A/D 变换、存储,对数字信号进行多普勒调制、密集假信号产生,对假信号进行适当的延时,再把数字干扰信号做 D/A 变换等。

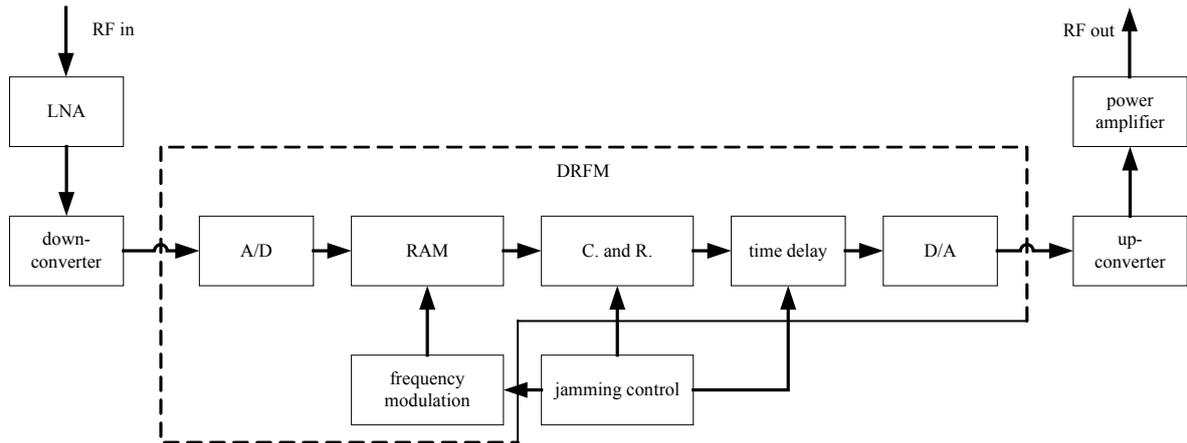


Fig.1 Block diagram of system architecture
图 1 系统组成框图

2 密集假信号产生

所谓密集信号是相对于雷达的分辨单元而言。常规的窄脉冲雷达由于其脉宽窄,重频内产生相邻间隔几百米的多个假目标容易实现,例如雷达发射信号的脉宽为 $1 \mu\text{s}$,那么干扰机只要在重频内循环读出接收的射频信号就可以产生相邻间隔为 150 m 的密集假目标。但是现代雷达为了解决探测距离与距离分辨率的矛盾常常采用脉冲压缩体制。脉冲压缩体制的使用,使得密集假信号的产生复杂了很多,比如假设雷达发射线性调频信号,脉宽为 $20 \mu\text{s}$,带宽为 2 MHz ,那么雷达理论上可以分辨间隔为 75 m 的两个目标,如果干扰机仍然是循环读出接收到的射频信号,那么产生的假目标相邻间隔至少为 3 km ,重频内干扰机最多只能产生几十个假目标。可见这样的产生方法,假目标之间的间隔大,而且个数非常有限,即使雷达把这些假目标都当作真目标跟踪,也有足够的精力继续跟踪其他真目标,更不要说让雷达信号处理饱和了。要产生相邻间隔更小的密集信号,干扰机就要在当前干扰信号发完之前有能力发射第 2 个、第 3 个甚至更多个干扰信号。可以用延时叠加法或是卷积法产生这样的密集假信号,文献[4]详细介绍了卷积法产生密集假信号的机理,并且理论、仿真和实验均验证了该方法能够对脉压雷达产生显著的干扰效果。但是当密集假目标的数目太多时,延时叠加法需要占用大量的存储资源,卷积法也需要大量的乘法运算,本文提出一种新的密集假信号产生方法——分段重构法。

2.1 分段重构法

通过对密集假信号的分析发现,密集假信号具有特定的形式,当假目标间隔确定后,其形式也就固定。假设雷达发射信号的脉宽为 τ ,干扰机希望产生时间间隔为 d 的密集假信号,那么可将接收的信号分为 n 段,即

$$n = \left\lceil \frac{\tau}{d} \right\rceil \quad (1)$$

式中 $\lceil \bullet \rceil$ 表示向上取整。

把这 n 段数据按照一定规律重新组合成 n 段新的数据,然后再按一定的规律读出去,密集假信号就会源源不断地发出来,雷达将接收到间隔为 $c \cdot d/2$ 的无数个假目标,这里 c 为电磁波在自由空间的传播速度。如果要产生有限个密集假目标,那么就需要组合成 $(2n-1)$ 段新的数据,然后按相应规律读出。

分段重构法数据重排示意图如图 2 所示，图中每一段读出数据为圆点对应读入数据的和， τ_0 为设定的 1 号假目标与干扰机的初始距离。

产生 m 个密集假目标时，干扰机发射的干扰信号共有 $(n+m-1)$ 段数据，其持续时间为：

$$T_r = \tau + (m-1)d \tag{2}$$

式中从第 n 段到第 m 段为完全相同的数据。

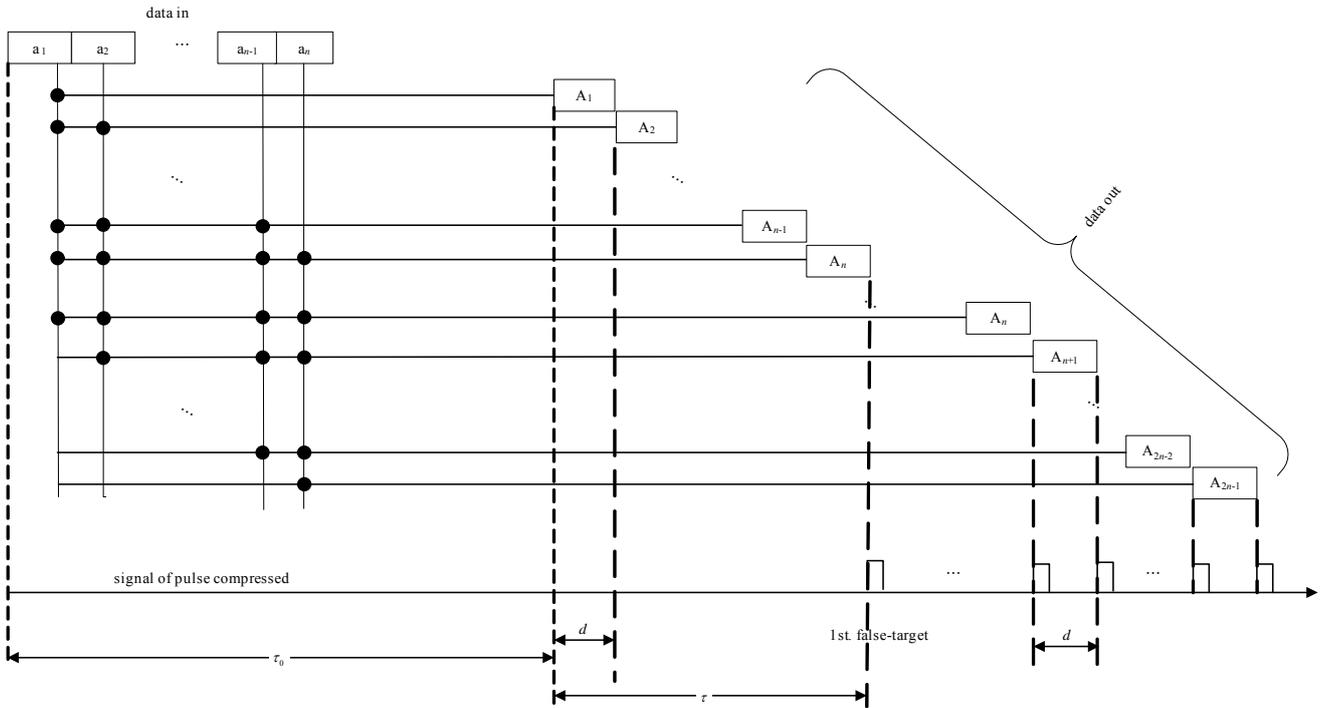


Fig.2 Flow chart of compartmentalization and regroupment
图 2 分段重构法示意图

2.2 产生密集假目标信号的仿真

按图 2，用分段重构法产生密集假目标信号，仿真参数如下：线性调频信号，脉宽 τ 为 $20 \mu\text{s}$ ，带宽 2 MHz ，要求生成 11 个间隔 d 为 $5 \mu\text{s}$ 的假目标。

按照 2.1 节，将干扰机收到的雷达信号分成 4 段，干扰机发射的干扰信号共有 14 段，持续时间 T_r 为 $70 \mu\text{s}$ ，其中从第 4 段到第 11 段为完全相同的数据。

用 MATLAB 对分段重构法实现密集假信号进行仿真，图 3 为雷达发射的线性调频信号。

图 4 为 D/A 输出未饱和时的密集假信号，图 4(a)为干扰合成波形图，图 4(b)为干扰信号经雷达脉冲压缩后输出的波形。可见，干扰信号在经过雷达匹配滤波后生成了 11 个间隔 $5 \mu\text{s}$ 的假目标。

图 5 是考虑多个分段信号叠加，干扰机的 D/A 发生饱和输出时，分段重构法产生的密集假信号，图 5(a)为饱和合成波形图，图 5(b)为饱和和干扰信号经过雷达匹配滤波后的结果。

可见，当干扰机 D/A 发生饱和输出时，只是干扰能量损失了，只要到达雷达的干扰信号能量达到雷达的检测灵敏度就不会影响对雷达的干扰效果。

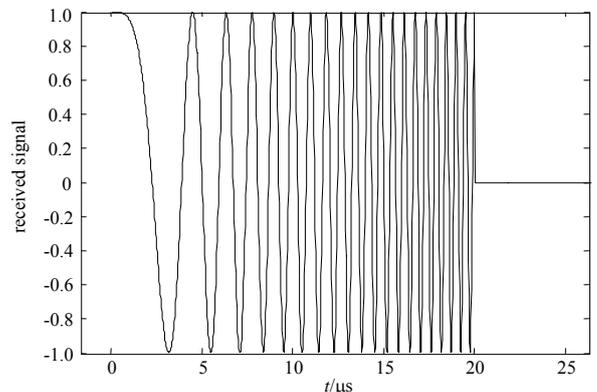


Fig.3 LFM received
图 3 接收的线性调频信号

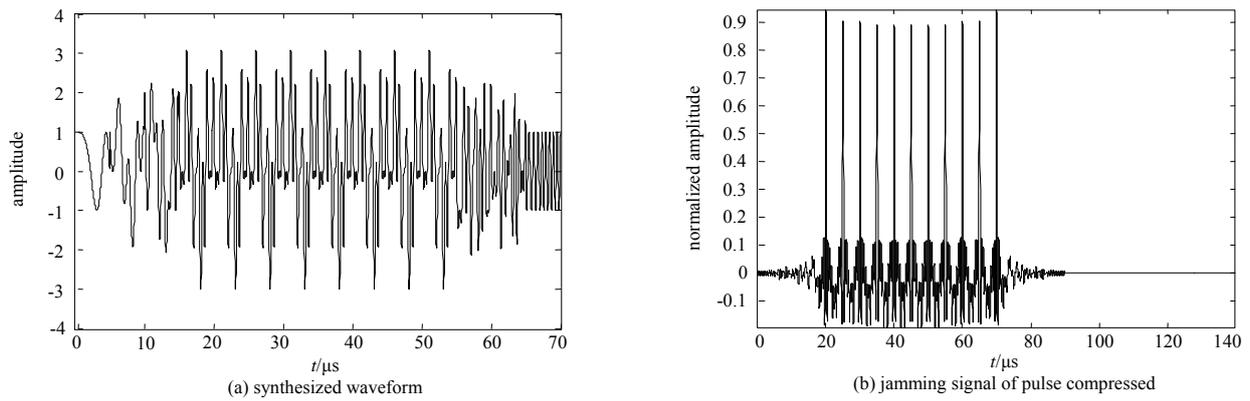


Fig.4.Dense false-signal of no saturation from D/A output
图4 D/A 输出未饱和时的密集假信号

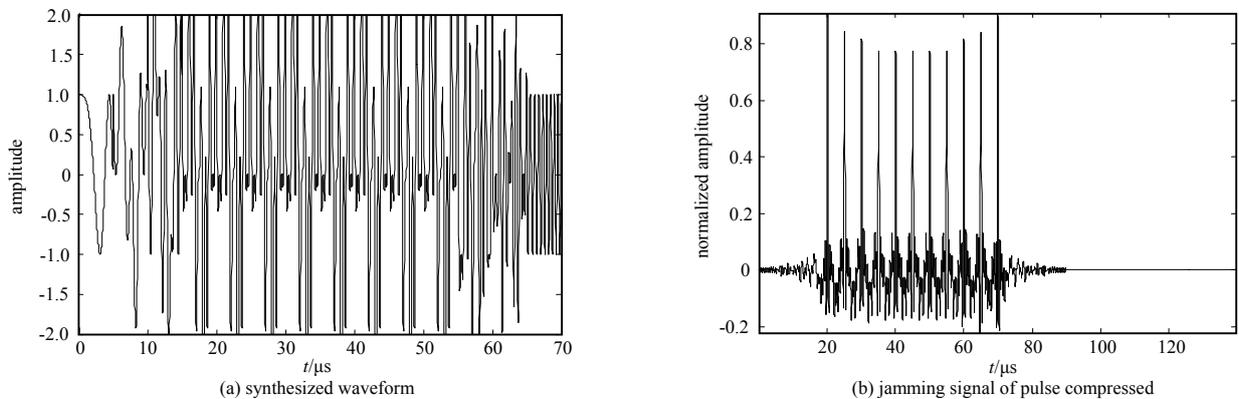


Fig.5 Dense false-signal of saturation from D/A output
图5 D/A 输出饱和时的密集假信号

3 结论

延时叠加法和卷积法实现密集假信号有一个共同的特点,即它们都是一种对密集假信号形成过程的模拟,当需要产生大量的假目标时,这个过程要么是占用大量的存储空间,要么需要做很多乘法运算,而本文提出的分段重构法是基于对密集假信号空间合成结果的模拟,它占用的存储空间只与雷达发射脉冲宽度有关,与假目标个数无关,而且整个合成过程只有加法运算,没有费时的乘法运算。该方法在某干扰机上对某型雷达的欺骗干扰试验中,也获得了比较满意的干扰效果。当然分段重构法也有其局限性,它只能产生等间隔排列的密集假目标,不过从干扰本质来看,只要能让雷达找不到真目标就可以了,所以假目标间隔是否等间距就无足轻重了。

参考文献:

- [1] 冯存前,张永顺,余洪涛. 基于多位置量化 DRFM 的运动假目标产生器[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2002,3(1):63-66.
- [2] 刘平,鲍庆龙,陈曾平. 一种对抗 PD 雷达的假目标欺骗干扰机设计[J]. 现代雷达, 2007,29(4):90-93.
- [3] 王铁,陈波. 基于 DRFM 的 PD 雷达速度欺骗干扰[J]. 电子对抗, 2006(6):19-22.
- [4] 张煜,杨绍全. 对线性调频雷达的卷积干扰技术[J]. 电子与信息学报, 2007,29(6):1408-1411.

作者简介:



周庆辉(1977-),男,江苏省泗洪县人,硕士,工程师,从事电子对抗领域的研究工作.email:jonfeiyu@163.com.

靳学明(1967-),男,安徽安庆人,研究员,主要研究领域为雷达超宽带信号产生、DDS 应用及电子对抗系统。