Scientific Journal of Information Engineering
November 2017, Volume 7, Issue 2, PP. 90-94

The Hardware Architecture and Method of Radar Target Echo Modulation Based on Wideband DRFM

Min Zhang

Jiangsu Jinling machinery Manufacturing Plant, Nanjing 211106, China

Abstract

Radar target echo simulator is widely used in radar development and maintenance. Radar target echo modulation is the core of radar target echo simulator. This paper introduces the method of radar target echo modulation based on wideband digital radio-frequency memory, and introduces the hardware architecture of wideband digital radio-frequency memory.

Keywords: Digital Radio-frequency Memory(DRFM); Wideband; Hardware Architecture; The Method of Target Echo Modulation

基于宽带 DRFM 雷达目标回波调制的硬件架构和方法

张敏

江苏金陵机械制造总厂，江苏 南京 211106

摘　要：雷达目标回波模拟器广泛用于雷达开发调试和使用维护中。雷达目标回波调制是雷达目标回波模拟器的核心所在。本文介绍基于宽带数字射频存储器的目标回波调制硬件架构和基于数字射频存储器的目标回波调制方法。

关键词：数字射频存储器；宽带；硬件架构；目标回波调制方法

前言

雷达目标回波模拟器主要用于雷达研制过程中工作模式验证和雷达使用过程中雷达性能验证，是我国雷达研制和雷达使用维护的重要设备。目前，我国在用的雷达回波模拟器都是针对具体雷达定制，通用性比较差。而且雷达回波模拟器工作带宽窄，在使用过程中需要先设置好工作频点，难以验证雷达捷变频工作模式下的雷达性能。针对这些问题，本文将数字射频存储器推广到雷达目标回波调制，利用宽带数字射频存储器获得高精度和实时的雷达目标回波信号。

1　数字射频存储器应用现状

数字射频存储器(DRFM)已广泛应用于电子对抗的干扰信号调制，其主要功能是对雷达信号进行 AD 采集，获得样本并存储；对样本进行调制形成数字干扰信号，并对数字干扰信号进行数模(DA)转化。

国内在 21 世纪初期已开始开展数字射频存储器的研究。2004 年，王跃鹏、黄建冲等人提出利用数字射频存储器进行雷达欺骗干扰信号产生，但是硬件的瞬时工作带宽小，动态范围小。2004 年，曹鹏、戴国宪等人提出一种采用数字射频存储器的干扰机设计方案，可实现欺骗干扰信号的实时产生。2006 年，邱伟林结合数字射频存储器开展多种干扰样式产生研究，可实现对多种干扰样式信号的实时调制。经过十几年的研究和

应用，综合数字射频存储器技术已成熟，具备样本采样精度高、响应实时、大瞬时带宽、大工作动态范围等优点，在雷达干扰信号调制具有明显的优势，已广泛应用于雷达电子对抗领域的装备研制中。

2 宽带数字射频存储器硬件架构及功能

用于目标回波信号调制的宽带数字射频存储器硬件架构如图 1 所示：主要硬件包括 FPGA 芯片、AD 芯片、DA 芯片、RAM、低通滤波器、DDS 多普勒调制模块、混频器等。信号输入有雷达零中频 I、Q，AD 时钟，DA 时钟，基准时钟；信号输出有雷达目标回波零中频 I、Q。通过选择高速 AD 芯片、高速 DA 芯片可实现大瞬时带宽，及宽带数字射频存储及转发。

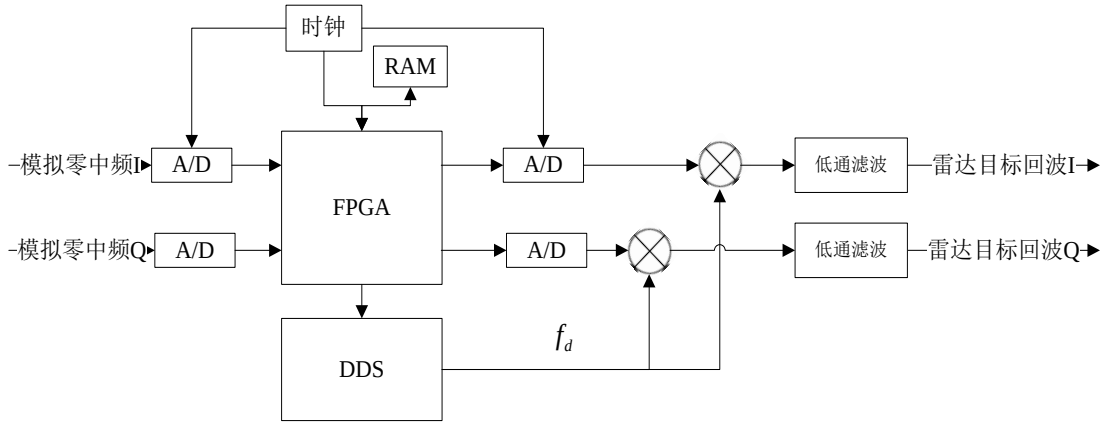


图 1 基于 DRFM 的目标回波调制硬件架构

按照宽带数字射频存储器硬件架构进行宽带数字射频存储器的功能描述，具体如下：AD 芯片的功能是对输入的雷达零中频 I、Q 进行采样，获得雷达零中频数字 I、Q 信号；FPGA 的功能是对 AD 给过来的零中频数字 I、Q 信号进行雷达参数测量、雷达样本提取和目标回波距离信息调制；RAM 芯片用于存储、转发 FPGA 所采集的雷达样本信号；DA 芯片是对从 FPGA 过来的目标回波距离信息调制信号进行 DA 转换获得模拟目标回波距离信息调制信号；DDS 多普勒调制模块用来进行目标回波速度信息调制，产生目标回波速度多普勒信号与模拟目标回波距离信息调制信号混频、低通滤波，获得目标回波调制零中频 I、Q 信号。

3 基于 DRFM 的目标回波调制方法及流程

3.1 雷达信号参数测量

AD 芯片对输入的雷达零中频 I、Q 进行采样，获得雷达零中频数字 I、Q，并送至 FPGA 芯片。FPGA 芯片对数字 I、Q 进行雷达参数测量，具体如下：

(1) I、Q 通道零漂和一致性校正

关闭接收通道，进行 I、Q 信号 AD 采样，通过对数字 I、Q 进行数字补偿，确保此时数字 I、Q 处于零值范围内，完成并对数字 I、Q 信号通道零漂校正。

开通接收通道，连接 8257D 信号源，进行 I、Q 信号 AD 采样，通过对数字 I、Q 幅值比较进行数字 I、Q 的一致性校正，确保后面采样样本的质量。

(2) 雷达信号自适应门限提取

完成 I、Q 通道零漂和一致性校正之后，采用 FPGA 对输入的数字 I、Q 信号进行波形包络提取和对波形包络的自适应检测门限提取。

波形包络提取如公式所示：$A(n)=\sqrt{I^2(n)+Q^2(n)}$

波形包络的自适应检测门限提取如图 X 所示，取宽度为W 的窗口对波形包络数据 A进行流水、滑窗自适应门限提取，当前滑窗的自适应门限取滑窗内的信号四倍方差和信号幅值一半之和，如下列公式所示：

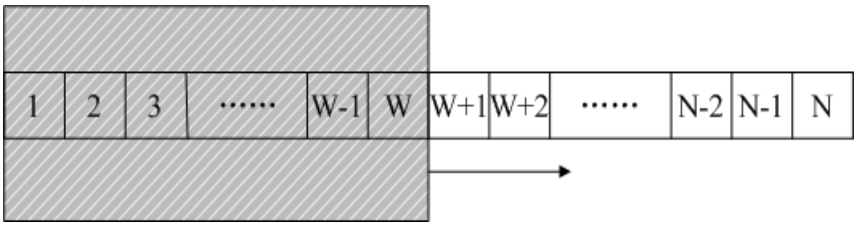


图 2 滑窗自适应门限提取

滑窗内信号幅值

$$\bar{A}(n)=\frac{\sum_{n}^{n+W-1}A(n)}{W} \tag{1}$$

滑窗内信号方差

$$\sigma(n)=\left(\frac{\sum_{m=n}^{n+W-1}(A(m)-\bar{A}(m))^2}{W}\right)^{0.5} \tag{2}$$

滑窗内信号自适应门限

$$A_{门限}(\mathrm{n})=4\sigma(n)+0.5\bar{A}(n) \tag{3}$$

(3) 包络提取和过自适应门限检测

利用上述的滑窗自适应门限 $A_{门限}$ 对信号延迟的波形包络进行过门限检测，获得脉冲信号的到达时间、脉冲结束时间、脉冲宽度和脉冲重复周期即雷达脉冲描述字(PDW)。

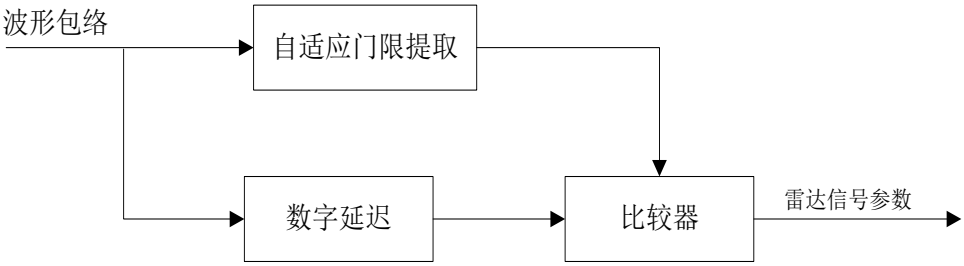


图 3 雷达参数测量

3.2 雷达信号样本提取

将参数测量形成的 PDW 与试验装定的雷达参数进行参数匹配，若满足匹配要求，则检测到测试雷达信号。并将该脉冲作为基准，按照雷达的脉冲宽度和脉冲重复周期推得下一个脉冲的采样波门，如图 4 所示。当脉冲采样波门上升沿到达时，FPGA 对 AD 送来的雷达脉冲采集数据进行保存，保存深度为一个脉冲宽度。对保存的采样样本同时进行雷达参数测量和参数匹配，如果参数测量结果与目标回波试验装定的雷达参数相匹配，则样本采样成功；如果参数测量结果与目标回波试验装定的雷达参数不匹配，则重新搜索基准脉冲，进行样本采集和样本判定，直到保存的采样样本的参数测量结果与目标回波试验装定的雷达参数相匹配，成功获得雷达样本信号并更新保存样本数据。最后将保存的雷达样本信号数据作为雷达目标回波调制样本。

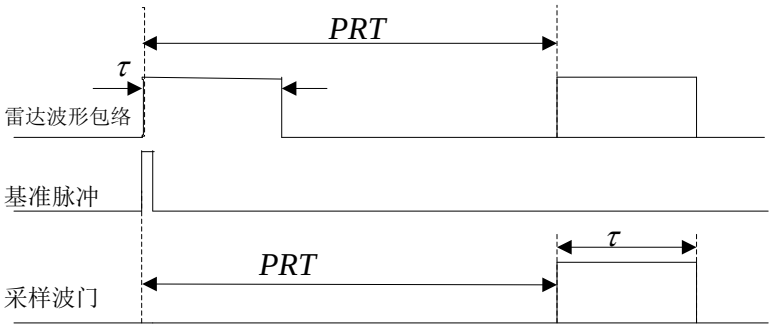


图 4 采样波门

所采样的雷达信号样本采用乒乓存储方法存储，以确保雷达信号样本的准确性。该乒乓存储采用两个RAM，信号样本在两个 RAM 中轮流存储，其存储的准则是当两个 RAM 存储的样本为正确时，新样本更新较早的样本；当两个样本一个正确一个错误时，新样本更新错误样本；在雷达信号样本读取时优先使用当前样本，当前样本错误时使用前一个样本。

3.3 目标回波调制

雷达目标回波调制包括目标距离信息调制和目标速度信息调制。目标距离信息调制在 FPGA 芯片内完成，具体通过结合目标位置信息 $R(n)$，控制雷达样本信号的转发控制信号与基准脉冲的时间差 $\Delta t(n)$ 实现对目标距离信息 $R(n)$ 的调制，如图 5 所示。

$$\Delta t(n) = \frac{R(n)}{c} \tag{4}$$

其中 $R(n)$ 为目标距离信息，c 为光速。

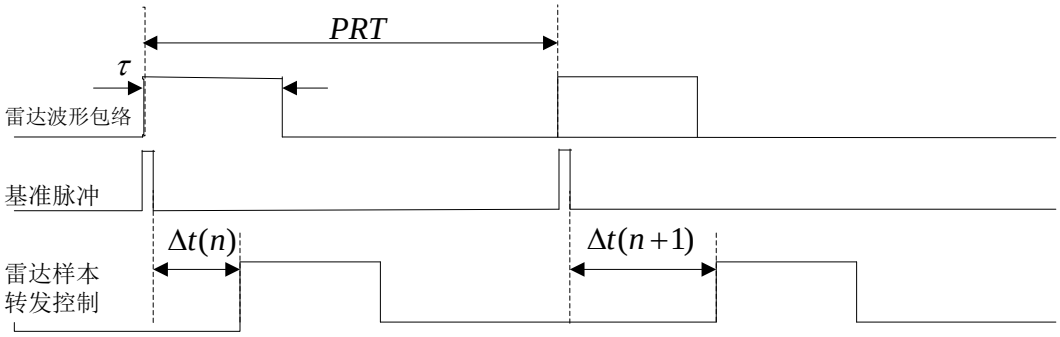


图 5 距离信息控制

目标速度信息通过 FPGA 和 DDS 共同完成，具体调制方法：首先，FPGA 结合目标速度信息计算生成对应多普勒信息 f_d 的调制数据，并将多普勒信息调制数据传至 DDS 模块。DDS 模块根据 FPGA 给过来的多普勒信息调制数据实时产生多普勒信号 f_d。其次，FPGA 按照上述的雷达样本发送控制时序将存储样本发送给 DA 芯片，形成目标回波距离信息调制信号。最后，目标回波距离信息调制信号与多普勒信号经过混频、低通滤波形成目标回波调制信息。

$$f_d = \frac{2v}{\lambda} \tag{5}$$

其中 v 为目标运动速度，λ 为雷达信号波长。

4 结论

本文提出一种用于产生雷达目标回波信号的数字射频存储器，描述了该数字射频存储器的硬件架构和目标回波调制方法。该数字射频存储器具有优于大瞬时带宽和大范围工作动态等优点，可实时实现雷达目标回波的产生，满足对雷达捷变频工作模式下目标回波调制。

5 参考文献

[1] 王跃鹏等，基于射频存储器的 PD 雷达同步欺骗干扰方法，飞航导弹，2004,（12）：57-60

[2] 曹鹏等，一种基于数字射频存储器的欺骗干扰机，航天电子对抗，2004（2）：33-35

[3] 邱伟林，数字射频存储器在雷达干扰中的应用，航天电子对抗，2006，22（1）：42-44

【作者简介】

张敏（1981-），福建省仙游县人，现为江苏金陵机械制造总厂高级工程师。主要研究方向：雷达和电抗系统设计。Email：zhangminhit01@163.com