

## 多雷达信号模拟器的软件设计

曹玉英<sup>1</sup>, 钱光弟<sup>1</sup>, 唐 华<sup>2</sup>

(1. 电子科技大学自动化学院 成都 610054; 2. 电子科技集团第29研究所 成都 610036)

**【摘要】**提出了一种用TMS320C6416实现多雷达信号模拟器的方法,建立了雷达脉冲参数描述模型,并通过将脉冲的前沿到达时间映射到存储地址来完成对脉冲的时域排序。给出数字信号处理控制单元的软件设计流程,对同时到达的脉冲信号按优先级别进行处理。根据该设计可生成逼真的密集雷达信号环境。

**关键词** 雷达信号; TMS320C6416; 脉冲描述字; 模拟器

**中图分类号** TP399; TN955 **文献标识码** A

## Software Design of Dense Radar Signal Simulator

CAO Yu-ying<sup>1</sup>, QIAN Guang-di<sup>1</sup>, TANG Hua<sup>2</sup>

(1. School of Automation Engineering, UEST of China Chengdu 610054;

2. China Electronics Technology Group Corporation No.29 Research Institute Chengdu 610036)

**Abstract** An approach to realize the multi-radar signal simulator by using TMS320C6416 is presented in this paper. In order to achieve arranging the pulse in time order, the time of pulse arriving is mapped to the address of memory, the RF pulse model of radar is also be described. The process of digital signal processing software designing is discussed in succession. If two pulses are arrived at same time, we select the pulse which priority level is high. With the design, the dense radar signal environment can be made vividly.

**Key words** radar signal; TMS320C6416; pulse describe word; simulator

现代电子战环境下,信号样式和密度越来越大,仿真逼真的雷达信号环境,能降低信号处理设备的研制成本,同时对研究特定的电磁环境也有重要的意义。数字信号处理芯片(Digital Signal Processors, DSPs)是面向数据密集型应用,CPU运算速度快,能获得很高的数据处理能力。用DSPs来实现仿真密集雷达信号环境的算法,能够完成高速实时运算,形成逼真的雷达信号环境。

### 1 TMS320C6416芯片特点

TMS320C6416是TI公司最新推出的高性能定点DSPs,时钟频率可达600 MHz,峰值性能可达4 800 MIPS。其片内集成外设显著增加,方便的外设接口,使数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)系统的硬件电路结构简单,同时软件资源也得到增强:(1)增强的通用寄存器组。C64有64个32 bit通用寄存器,除了支持打包的16/32/40位的数据类型,还支持打包的8位和64位数据。(2)数据通道得到扩展。每个D功能单元不仅可以用单个指令存取双字,而且可以使用交叉通路。(3)对打包的数据进行处理,减小了代码的尺寸。(4)4个32位读取通路和4个32位的存储通路,可同时支持4个32位数据的读取。这使DSP系统的编程更灵活,易于提高代码效率。

收稿日期:2003-06-24

作者简介:曹玉英(1971-),女,硕士,主要从事信号的获取变化与控制方面的研究。

## 2 多雷达信号模拟器工作原理

雷达电磁信号环境是指到达信号处理设备的所有雷达辐射信号的集合,而电子战设备接收到的则是这些雷达信号形成的脉冲流。该脉冲流是由许多某一时刻来自某一部雷达的射频脉冲组成的。

要形成逼真的雷达信号场景,必须采用多路复用的方式,即若干信号在同一信道中传送。多路复用分为频分复用(按频率分割信号)和时分复用(按时间分割信号)。时分复用利用不同的时隙来传送各路不同信号,采用数字电路,电路简单可靠,对非线性失真的要求可降低。该模拟器采用时分复用的方式同时模拟多部雷达信号的脉冲,形成交错的脉冲序列。整个系统由主控计算机、视频脉冲产生单元、射频单元等组成。其中视频脉冲产生单元包括: DSP单元、存储单元、时序控制电路。射频单元包括: 频率合成器、脉冲调制器、幅度控制器等。如根据用户要求形成特定的雷达信号环境,主控计算机就根据用户设置生成场景描述, DSP单元再根据场景数据在时域上对各雷达信号脉冲排序,并算出每个脉冲相关参数,即形成脉冲描述字(Pulse Describe Word, PDW),存入存储单元,供时序控制电路使用。时序电路根据存储单元当前脉冲的参数,产生视频脉冲。频率合成器则根据当前脉冲的频率码产生相应的射频连续波信号。将视频脉冲调制到对应的射频连续波上,并根据幅度衰减码进行幅度控制,形成射频脉冲信号。如根据现场采集的PDW序列把现场的信号环境复现出来,主控计算机读取相应的数据文件,并加载到DSPs, DSP控制软件将每个脉冲的脉宽(PW)、幅度(PA)、载频(RF)、脉冲到达角(AOA)信息分选出来,并根据该脉冲的脉冲前沿到达时间(TOA),存入对应的存储空间。

## 3 主控软件

主控软件主要完成人机交互功能,用户通过参数设置界面,设定欲模拟的各种雷达信号及其相关参数,根据每部雷达的天线扫描参数计算出幅度衰减码,再将每部雷达信号的有用信息按一定的规律与顺序转换成本次仿真的场景描述数据文件,最后将工作模式字和场景描述数据文件或现场采集的PDW序列数据文件加载到DSP单元中。由于每一部雷达信号需要设置的参数较多,为快速方便地设置雷达信号参数,可建立常用雷达数据库,用户可从中直接选择要产生的信号,也可对所选信号进行修改,还可自己定义雷达信号并添加到数据库中,这样可方便地根据不同要求与场景进行设置与调整。

## 4 DSP控制单元的软件实现

### 4.1 雷达射频脉冲模型的建立

对于一般的雷达信号可用PDW来描述射频脉冲的基本特征,包括RF、PW、TOA、AOA、PA等,下面给出常见的雷达信号的各项参数的数学模型。

#### 4.1.1 载频RF的模型

用 $RF_k$ 代表某雷达信号的第 $K$ 个脉冲的载频, $RF_1$ 为该雷达信号的载频初始值。对固定载频雷达:

$$RF_k = RF_1 \quad (1)$$

对于频率捷变,若捷变范围为 $\Delta f$ :

$$RF_k = RF_1 + \Delta f \text{rand}(0,1) \quad (2)$$

对于频率跳变雷达信号,假设跳变频率为 $N$ 个: $RF_1, RF_2, \dots, RF_N$  :

$$RF_k = \text{rand}\{RF_1, RF_2, \dots, RF_N\} \quad (3)$$

对于脉组频率跳变,设跳变频率为 $N$ 个: $RF_1, RF_2, \dots, RF_N$ ,  $S$ 为脉组数:

$$RF = \begin{cases} \text{rand}\{RF_1, RF_2, \dots, RF_N\} & K \% S = 1 \\ RF_{K-1} & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

#### 4.1.2 脉冲重复间隔PRI的模型

设第 $K$ 个脉冲的重复间隔为 $PRI_k$ ,  $PRI_1$ 为脉冲重复间隔的初始值。对于重频固定的雷达:

$$PRI_k = PRI_1 \quad (5)$$

对于PRI参差的雷达信号, 设参差数为 $N$ , 重复间隔值为 $PRI_1, PRI_2, \dots, PRI_N$  :

$$PRI_K = PRI_i \quad (6)$$

式中  $i = k \% N$ 。对于PRI抖动的雷达信号, 设抖动范围为 $\Delta PRI$  :

$$PRI_K = PRI_1 + \Delta PRI \text{ rand}(0,1) \quad (7)$$

对于脉组重频参差雷达信号, 设参差数为 $N$ , 重复间隔值为 $PRI_1, PRI_2, \dots, PRI_N$ , 脉组数为 $S$  :

$$PRI_K = PRI_i \quad (8)$$

式中  $i = \text{int}((kNS)/S)$ 。对于PRI跳变的雷达信号, 设跳变重复间隔分别为 $PRI_1, PRI_2, \dots, PRI_N$

$$PRI_K = \text{rand}\{PRI_1, PRI_2, \dots, PRI_N\} \quad (9)$$

#### 4.1.3 脉冲前沿到达时间TOA的模型

当前脉冲的前沿到达时间主要与前一个脉冲的前沿到达时间和当前脉冲重复间隔有关, 设第 $K$ 个脉冲的前沿到达时间为 $TOA_K$ , 则有 :

$$TOA_K = TOA_{K-1} + PRI_K \quad (10)$$

$PRI_K$ 的计算参照式(5)~(9)。

#### 4.1.4 幅度衰减值的确定

为了提高实时运算的速度, 采用主机计算好幅度衰减码存入DSP内部存储器中, 通过对衰减表寻址确定当前脉冲的幅度衰减码。具体计算公式如下 :

$$PA_K = PA_{K-1} + PRI_K / \Delta T \quad (11)$$

式中  $PA_K$ 为第 $K$ 个脉冲的幅度衰减码在衰减表中的地址,  $\Delta T$ 为天线扫描间隔。而第一个脉冲的幅度衰减码在衰减表中的地址与天线扫描起始角和该脉冲的到达时间有关, 即 :

$$PA_1 = (\text{startangle} \text{ circle} / (2\pi) + TOA_1 \text{ circle} / \text{scantime}) \% \text{ circle} \quad (12)$$

式中  $\text{startangle}$ 为天线扫描起始角,  $\text{scantime}$ 为天线扫描周期,  $\text{circle}$ 为天线扫描一周内的取样点数。

### 4.2 脉冲时域排序的实现

因为每个雷达信号在一定时间段内出现的脉冲个数不确定, 且每次要模拟的雷达信号源个数也是随机变化的, 如果按常规方法对个数不确定的脉冲按TOA大小排序, 随着要模拟的信号密度增大, 不仅算法复杂, 且使用的变量增多, 整个DSP程序代码变得很长, 难以充分发挥DSP的优点和满足实时性的要求, 所以采用将每部雷达信号的每个脉冲按TOA映射到对应的存储地址空间。为保证时序电路在DSP运算时同时产生射频脉冲, 将各参数对应的存储单元分为两段, 当DSP计算该时间段的每个脉冲参数时, 时序电路取前一段的脉冲参数产生视频脉冲。设取样间隔为 $t$ , 存储单元长度为 $L$ , 则某部雷达的第 $K$ 个脉冲到达时间TOA与存储地址 $A$ 的映射关系为:  $A = \text{int}((TOA \% L) / (L/t))$ 。

### 4.3 软件具体工作流程

主程序流程图如图1所示。单个雷达信号 $L/2$ 时间段内每个脉冲参数的计算流程如图2所示。

### 4.4 同时到达脉冲的处理

由于雷达信号环境中脉冲密度较高, 同一时刻出现多个脉冲信号的可能性较大, 在计算和存储每部雷达各相关参数时, 先计算优先级低的信号, 这样当有两部或两部以上的雷达的脉冲同时出现时, 优先级高的信号参数覆盖优先级低的信号参数, 即只产生优先级高的信号。

### 4.5 软件仿真实验

考虑通用性和可移植性, DSP控制单元软件用C语言编写, 并在CCS2.1(forC6000)的软件仿真环境(Simulator)下进行了验证。

在仿真实验中, 选用主频为600 MHz的TMS320C6416, 取存储单元长度 $L = 64 \text{ K} * 16 \text{ bit}$ , 为满足实时性要求并保证波形不失真, 则 $L/2$ 时间段内多部雷达信号所有脉冲参数的总计算时间必须小于 $32 \text{ 768 } \mu\text{s}$ 。考虑脉冲丢失概率和占空比的要求, 该仿真实验对极限的情况进行了测试。即每部雷达信号均取PRI为 $200 \mu\text{s}$ , 且特殊体制雷达信号占百分之七十几的比例, 其中特殊体制雷达信号包括频域变化信号(如载频捷变、跳变等), 时域变化信号(如PRI参差、滑变、抖动等), 时频双变信号(如PRI参差, 脉组载频跳变)。用CCS的代码剖析功能测得 $L/2$ 时间段内计算48部上述雷达信号所有脉冲参数的时间为 $18 \text{ 978 946 cycles}$ , 即为 $31 \text{ 631 } \mu\text{s}$ , 满足实

时性要求。由此可知单个信道至少能同时模拟48部雷达信号,从而能够形成比较密集的复杂雷达信号环境。

由于C代码的优化效率不够高,如果用线性汇编改写关键算法,可同时模拟的雷达部数还可进一步提高,但通用性和可移植性要差些,且实际能同时模拟雷达信号的部数会受硬件电路的限制。

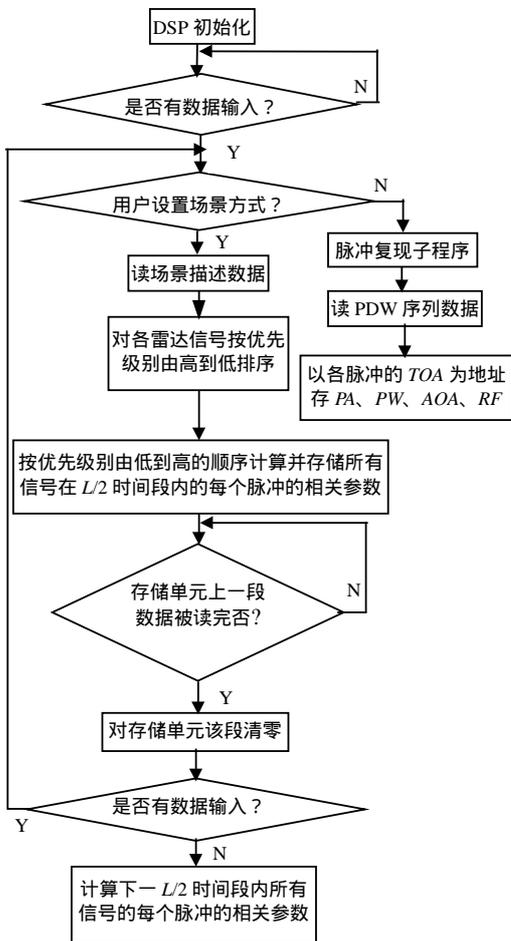


图1 主程序流程图

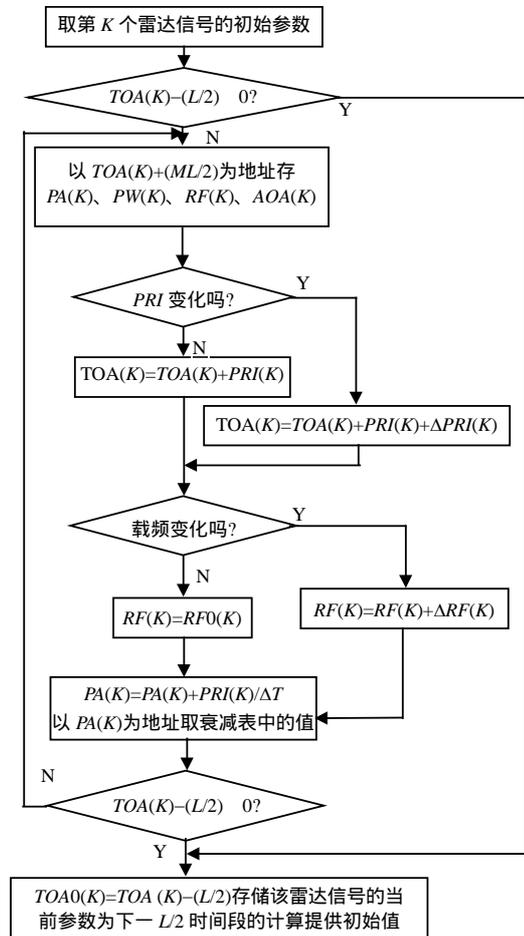


图2 单个雷达信号每个参数的计算

## 5 结束语

利用TMS320C6416的高速处理能力及其功能强大的开发工具,使该模拟器在工程上易于实现。由于波形产生硬件电路的限制,该设计仅适用于模拟脉间调制的雷达信号。如果要模拟复杂的脉内调制信号,也可用DSP芯片来实现,不过硬件电路需作调整,且模拟的雷达信号个数不能太多,可将两者结合实现对密集复杂雷达信号的模拟。

### 参 考 文 献

- [1] 赵国庆. 雷达对抗原理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999
- [2] C6000 Applications Tenam. How to begin development today with the TMS320C6414, TMS320C6415, TMS320C6416 DSPs[EB/OL]. www. ti. com, 2001-10-18
- [3] 王杰贵, 罗景青. 现代雷达对抗信号环境射频脉冲模型研究[J]. 电子对抗, 2003, 88(1): 40-43
- [4] 王柏杉, 杨连洪. 射频注入式雷达信号环境模拟器[J]. 舰船电子对抗, 2002, 25(6): 27-31
- [5] 王业坤, 盛骥松, 叶蕴瑶. 电磁环境模拟中雷达信号脉流形成算法的研究[J]. 舰船电子对抗, 2002, 25(6): 34-37

编辑 漆 蓉