

文章编号：1001-2486 (2002) 03-0060-04

## 雷达自动目标识别系统中目标检测模块的 DSP 实现\*

王书宏, 姜卫东, 邱兆坤, 陈曾平

(国防科技大学 ATR 重点实验室, 湖南长沙 410073)

**摘要**：研究了基于数字信号处理器 (DSP) 雷达目标检测系统的硬件结构和基于该平台的雷达目标检测方法在 DSP 上的实现。外场实验表明，该系统能与多种类型雷达对接，实现雷达目标自动检测。

**关键词**：DSP；雷达；检测

中图分类号：TN957 文献标识码：A

## The Implementation of Radar Target Detecting Using DSP in ATR System

WANG Shu-hong, JIANG Wei-dong, QIU Zhao-kun, CHEN Zeng-ping

(ATR National Lab, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** : First, based on DSP, the hardware structure of radar target detecting system is studied. Then, the methods of radar target detecting based on DSP are presented. The experiments demonstrate that this system can work well with a variety of radar system and can implement radar target detecting automatically.

**Key words** : DSP ; radar ; detecting

一般来说，雷达目标识别系统<sup>[1]</sup>可由以下几部分组成：目标检测模块、边扫描边跟踪模块 (TWS)、目标数据采集、目标特征提取和识别，如图 1 所示。其中，目标检测是雷达目标数据精确采集的前提，是雷达目标识别技术中重要的组成部分，目标检测能力直接影响到目标识别系统的性能。传统的目标检测通常采用纯硬件实现的方法，如采用模拟电路、数字电路或可编程逻辑电路等，采用硬件检测的好处是结构简单，处理速度快，但它算法固定，一旦系统确定，它只能适用于某种雷达，算法对背景的适应性以及系统的灵活性都较差，不能满足雷达目标识别系统适应多种类型雷达的要求。

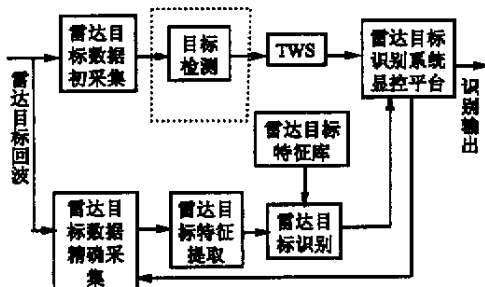


图 1 雷达自动目标识别系统原理框图

Fig.1 Principle frame of ATR

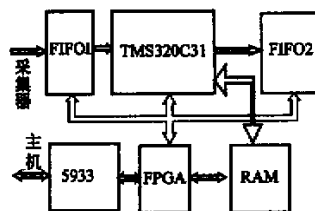


图 2 雷达目标检测模块总体结构图

Fig.2 Frame of radar target detecting module

本文研究了基于通用 DSP 目标检测平台和算法的实现途径和方法，力图实现针对不同类型雷达具有广泛适应性的目标检测系统（即对不同类型的雷达或同种雷达不同区域选择不同的检测算法），

\* 收稿日期：2002-03-12

基金项目：国家 863 计划资助项目 (863-703-2-9)

作者简介：王书宏 (1972-)，男，硕士生。

实现目标检测的优化。这种方法具有纯硬件检测不可比拟的灵活性，它的优点在于通用的硬件结构和灵活的软件算法相结合，能够适应多种类、多体制的雷达系统以及不同的工作环境。由于硬件上采用高速的 DSP 器件，算法采用纯软件来实现，因此它的运算速度快且开发周期短。

## 1 系统的硬件结构

检测系统硬件结构如图 2。FIFO1 与雷达视频回波高速数据采集器连接，获得雷达回波全程采样数据（包括方位信息）。当 FIFO1 中写入一帧完整的目标回波数据后，由采集器向检测系统发送数据有效标志。在 DSP 检测到数据有效标志后，将 FIFO1 中的目标回波数据读入缓存区中，为提高信噪比，通常需要对连续采集多个回波进行缓存、非相参或相参积累，因此需要大的 RAM 空间。当检测到目标后，由 DSP 将目标的检测结果发送到 FIFO2 并通知主控计算机可读取检测结果（主控计算机与检测系统通过 PCI 总线连接）。该检测板的核心是 TMS320C31 数字信号处理器，主要完成目标回波信号的传输与检测算法的实现。其逻辑控制由 FPGA 来完成，FIFO1 用于目标全程采样数据缓存，FIFO2 用于存放目标检测结果。

## 2 系统的软件结构

软件可分为两大部分：系统初始化和目标检测。实现流程图如图 3 所示，编程采用 C 语言和汇编语言混合编程方式<sup>[2]</sup>。

### 2.1 系统初始化

DSP 内部的一些外围控制寄存器、总线控制寄存器和 DSP 要用到的外部 RAM 进行初始化操作，同时指定堆栈所在位置，以保证 DSP 正常运行。在实现 DSP 和 RAM 初始化过程中，需要作大量分配内存的工作，便于调试和数据查找。

### 2.2 目标检测

#### 2.2.1 目标采集数据的格式

系统采用两块 FIFO 与采集器和主机进行通讯。由采集器传输的数据格式为：1~4 字节为数据同步头（0x55、0xAA、0x55、0xAA），第 5、6 字节为回波的方位信息，从第 7 个字节开始为雷达回波幅度全程采样数据。检测结果由 FIFO2 通过 PCI 总线传送至显控平台，数据格式为：1~4 字节为数据同步头，第 5 个字节为输出数据格式标志，用于标志数据传送类型和状态。第 6、7 个字节为目标的距离信息，第 8、第 9 个为目标的方位信息，第 10、第 11 个为当前雷达波束方位指向。如图 4 所示。

#### 2.2.2 雷达回波数据输入和目标结果输出

雷达回波数据输入：目标检测处理数据量大，且要求实时完成，留给 DSP 处理时间很短，以重频为 300Hz 警戒雷达为例，要求在 3ms 内实现大数据量的传输、检测和结果输出等，因此要求数据传输在尽可能短的时间内完成。利用 C31 的并行指令 LDI 及 STI 来实现回波数据的输入，可极大地提高数据传输效率。优化后的数据传输程序如图 5 所示。

实验表明，利用并行指令比用单条指令节省 60% 传输时间。

目标结果输出：可输出目标的检测结果和目标的全程采样数据，包括天线的方位信息等。输出有三种可选方式。第一种输出全程采样原始数据与检测结果，第二种输出处理后的数据与检测结果；第三种输出检测结果和粗采方位。多种输出方式便于显控平台利用信息。

在软件开发时，采用汇编语言与 C 语言嵌套的编程方法，以满足软件开发周期和代码执行效率的要求，在语言嵌套时要特别注意汇编语言的寄存器使用规则和参数调用规则，否则系统极易崩溃。

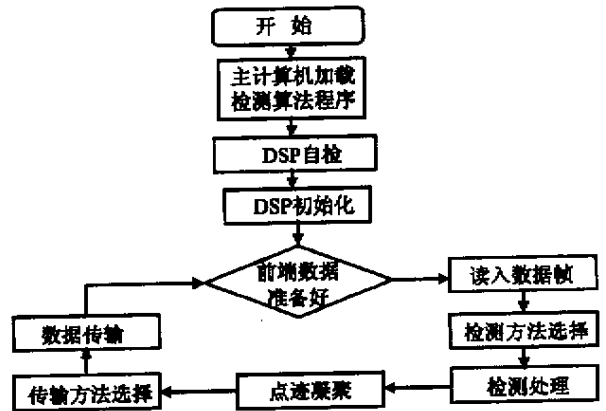


图 3 软件实现流程图

Fig.3 Flow chart of software implement

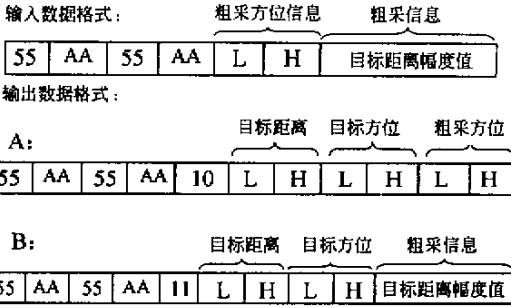


图 4 数据格式  
Fig. 4 Data format

```

_GetData :
    PUSH    ARO
    PUSH    AR1
    PUSH    R1
    LDI     @_FIFO1, ARO    /* FIFO1 为源地址 */
    LDI     @_DataBuf, AR1  /* DataBuf 为目的地址 */
    LDI     *ARO, R1
    RPTS    RepeatTimes
    LDI     *ARO, R1
    STI    R1, *AR1++      /* 并行传输 */
    STI    R1, *AR1++
    POP    R1
    POP    AR1
    POP    ARO
    
```

图 5 数据传输程序  
Fig. 5 Data transform program

2.2.3 目标检测方法

目标检测方法可分为两大类，当采集器低速率采样（目标回波采样点数很少）时，系统采用多回波非相参积累门限检测方法；当采集器高速率采样（采样分辨率远远高于雷达分辨率）时，系统采用基于位置相关的目标检测算法。非相参积累门限检测的回波积累数量、检测门限可由显控平台设置。

基于位置相关的目标检测算法采用了两个门限<sup>31</sup>。第一个门限直接利用样本序列的相对幅度值来进行选择，假设一个雷达重频周期内  $N$  个距离单元的回波幅度序列分别为  $X_1, X_2, \dots, X_N$ ，从中选择最大值： $X_{\max} = \max_{i=1}^N \{X_i\}$ 。那么，第一门限可定为： $Th1 = \eta X_{\max}$ ，其中  $\eta$  为置信系数，可根据信噪比来定，研究表明：其值应在 0.3~0.7 之间选择。将回波幅度序列  $X_1, X_2, \dots, X_N$  与门限  $Th1$  进行比较，并记录超过门限的样本位置序号： $I_i = \arg \{X_i \geq Th1\}$ ， $i = 1, 2, \dots, N$ ，其中  $\arg \{\cdot\}$  表示取变元运算， $I_i$  代表  $X_i$  的位置信息，显然：

$$I_i = \begin{cases} i, & X_i \geq Th1 \\ 0, & X_i < Th1 \end{cases} \quad (1)$$

则经过第一门限检测的输出为超过门限的位置信息。如果将  $I_i = 0$  的位置序号去除，则剩下的集合： $I = \{I_1, I_2, \dots, I_K\} \subset \{1, 2, \dots, N\}$ ，即有  $K$  个可能“点目标”超过第一门限，而且它们分别分布在  $I_1, I_2, \dots, I_K$  个距离单元上。以  $K$  个可能的“点目标”中的第一个散射点为基准，第 2、第 3、……，第  $K$  个散射点依次与前一个散射点进行不重复的比较，得到距离信息，则散射点位置信息集合  $I$  可转换成距离信息集合：

$$\begin{cases} IR_1 = \{r(1,2), r(1,3), \dots, r(1,K)\} \\ IR_2 = \{r(2,3), r(2,4), \dots, r(2,K)\} \\ \dots \\ IR_{K-1} = \{r(K-1,K)\} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $r(j,k) = (I_k - I_j) \times \Delta R$ ； $k > j$ ； $j = 1, 2, \dots, K-1$ ； $k = j+1, j+2, \dots, K$ ； $\Delta R$  为雷达分辨率。第二门限检测方法的基本原理是：不断将集合  $\{IR_1, IR_2, \dots, IR_{K-1}\}$  中的元素与目标的最大径向距离  $LR$  比较，并设置计数器  $IUC$ （ $c$  为目标批次），计数在  $LR$  的长度内属于第  $c$  批目标的回波采样点数。为了避免错检或漏检，假设在  $LR$  距离内，有一个散射点  $I_K$  与前  $I_{K-1}$ ，后  $I_{K+1}$  两个散射点的距离都在  $LR$  内，但  $I_{K-1}$  与  $I_{K+1}$  不在  $LR$  内，这时我们判断  $I_K$  属于下列目标组：

$$\begin{cases} r(k-1,k) < r(k,k+1), \text{ 则 } I_K \text{ 与 } I_{K-1} \text{ 属于同一目标组} \\ r(k-1,k) > r(k,k+1), \text{ 则 } I_K \text{ 与 } I_{K+1} \text{ 属于同一目标组} \end{cases} \quad (3)$$

根据上面的原理，一直比较、判断、计数到第  $K$  个采样点，即得到  $c$  个可能的目标组，然后设置第二门限  $Th2$  为目标沿径向分布的采样点数，也就是说采样点数超过  $Th2$  以上的就认为是目标。

系统中，目标检测方式有如下选择：

- (1) 全程检测——对雷达作用距离内全方位范围的数据进行处理，实现全程目标检测。
  - (2) 开窗检测——对所关心的雷达作用距离和方位区域的数据进行处理，实现区域目标检测。
- 两种检测方式可实时切换，每种检测方式可选择检测算法。

### 2.3 参数和命令传输

用中断方式实现参数和命令传输。中断方式采用定时器 0 中断。中断服务程序主要功能是：实现检测方法的选择、数据输出方式的切换、重要的全局参数的修改等。程序流程图如图 6 所示。通讯字 CW (Communication Word) 格式如表 1 所示，一个字由 32 位组成。第一个字为命令同步字，第二个字为命令字，第 3~16 个字为具体参数值。

表 1 通讯字格式  
Tab.1 The format of CW

第 1 字	第 2 字	第 3 字.....第 16 字
55AA55AA	命令字	参数

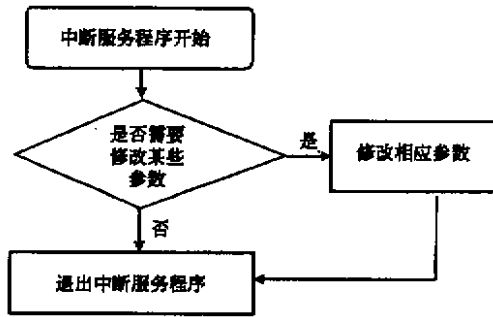


图 6 中断服务程序流程图  
Fig.6 Flow chart of ISR

部分命令字的具体含义如表 2 所示。

表 2 命令字具体含义  
Tab.2 The definition of command word

编号	命令字	参数 1	参数 2	参数 3	参数 4	参数 5	参数 6	.....	说 明
1	0x10	P1	P2	P3	P4	P5	P6	.....	所有需修改参数
2	0x11	P1							检测门限
3	0x21	P2							C31 中断周期
4	0x23	P3							检测方法
5	0x24	P4	P5	P6	P7				开窗检测控制参数
6	0x25	P8							距离抽取标志
7	0x26	P9							数据传输方法参数
.....	.....	.....							.....

## 3 结论

本检测系统是现役雷达目标识别系统的一部分，系统在多个雷达站的多种类型现役警戒雷达上进行试验，很好地实现了目标检测，且针对不同雷达和环境，系统有良好的适应性，表明基于 DSP 的雷达目标检测是合理可行的。但由于受 C31 处理速度的限制，在高分辨率、大数据量情况下，复杂的检测算法难以实现。

## 参考文献：

[1] 陈曾平. 雷达目标结构特征识别的理论与应用 [D]. 1994.  
 [2] 张雄伟, 曹铁勇. DSP 芯片的原理与开发应用 (第 2 版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.  
 [3] 黄德双, 韩月秋. 基于位置相关的高分辨雷达目标检测方法 [J]. 电子科学学刊, 1997.

