

95-SERVBMC-8

第七届全国信号处理学组 委员会联合学术会议

论文集

中国 电子学会
仪器仪表学会

信号处理分会

系统设备学组
雷达声纳学组
振动噪声学组
生物医学学组
多媒体学组

1995. 8. 14—18 日威海

中国电子学会 信号处理分会
仪器仪表学会

2664/29 14

第七届全国信号处理学组委员会联合学术会议

主办单位：系统设备专业学组委员会

雷达声纳专业学组委员会

振动噪声专业学组委员会

生物医学专业学组委员会

多媒体专业学组委员会

协办单位：北京自动化技术研究院

北京星戈科技开发公司

威海中韩信息咨询有限公司



代办单位：北京星戈科技开发公司

1996.11.7

会议主席:张彦仲	信号处理分会主任委员 中国航空工业总公司副总经理	教 授
执行主席:韩毓先	信号处理分会副主任委员 北京自动化技术研究院院长	高 工
副 主 席:曾义方	信号处理分会系统设备学组委员会主任委员 总 参 第 五 十 五 研 究 所	高 工
毛二可	信号处理分会雷达声纳学组委员会主任委员 北京理工大学	教 授
黄世霖	信号处理分会振动噪声学组委员会主任委员 清华大学	教 授
王开西	信号处理分会生物医学学组委员会主任委员 北京工业大学	教 授
蔡德孚	信号处理分会多媒体学组委员会主任委员 中国科学院电子所	研究员
程序委员会主任:毛二可		
委员:邢开明 朱兆达		
应怀樵 吴芝芳 阮秋琦(各学组副主任委员)		
论文评审委员会主任:赵荣椿	信号处理分会副主任委员 西北工业大学	教 授
委员:诸维明 孟宪元 曾义方		
会务委员会主任:曾义方(兼大会秘书长)		
委员:程永瑞 诸维明 邹文革		

第七届全国信号处理学组委员会联合学术会议论文集

目 录

A 单片 DSP 的开发和应用

- A1 新一代数字信号处理器——TMS320C80 张延平(1)
- A2 用 TMS320C30 实现的自适应 CFAP 动目标检测器 杨辉、陈元亨(5)
- A3 DSP 最新发展动向及模糊逻辑工具 张志元、孟宪元(9)
- A4 基于 Windows 的 DSP 应用软件环境 杜晓松、关燕林、辛丘林、周海涛(13)
- A5 用 TMS320C31 实现的短波自适应选频控制器 朱晓明、许柯(18)
- A6 TMS320 C25 在话带信号分析解调中的应用 田毓祥(21)
- A7 自适应均衡器的实现 周辉(24)
- A8 利用 TMS320C50 实现高速实时信号处理系统 颜劲、张陆勇(29)
- A9 Bruun FFT 的研究及其在数字信号处理器上的实现
..... 陈建平、Henrik V. Sorensen(33)
- A10 DADisp 数字信号处理软件及其应用 白玉海、裴力伟(40)
- A11 TMS320C25 在图象报警系统中的应用 徐朝伦、柯有安(43)
- A12 30 路回波消除系统的算法与实现 胡春风、赵振纲、王德隽(47)
- A13 引信数字信号处理器的研制 吕锐、高梅国(52)
- A14 TMS320C40 并行处理器开发及应用 俞高峰(57)
- A15 DM9880 四路双音多频收码(DTMF DECODER)专用芯片 刘世长(60)

B 雷达和声纳信号处理

- B1 声纳信号并行处理系统的实现 张经纶、沈文苗(62)
- B2 测速雷达中 FFT 运算加速板的设计与实现

.....	万伟建、李刚、周良柱、皇甫堪(68)
B3 改进的汉明网络	张永军、叶伟(72)
B4 单一阻尼指数信号参数估计的人工神经网络	姜文利、张火炬、柯有安(75)
B5 毫米波脉冲雷达高速数据采集和存储的实现	夏原、李鸿彬、冯建雄(79)
B6 IMS A100 在雷达多普勒补偿匹配滤波技术中的应用研究	阎冬梅、袁嗣杰(84)
B7 检测单频回波信号的极性相关特征提取方法	王昭、黄耀宗(90)
B8 用谱矩进行不变特征识别	叶伟、张永军、王元钦(94)
B9 两种被动式跟踪算法的仿真与比较	丁振、潘良、吴锦涛、张洪才(97)
C 振动和噪声分析、故障诊断、模态分析	
C1 CS-2A 双通道卡式动态信号分析仪	张春宁、高正(102)
C2 柔性结构振动主动控制中的压电功能材料	姜弘彦、靳世久、张家鼎(110)
C3 时变信号的优化谱及其在振动信号分析中的应用	刘琚、彭丽芬(114)
C4 主动消声的声场抵消过程理论分析	赵扬、虞和济、佟杰新(120)
C5 除尘设备的智能控制系统	周传玉(125)
C6 小波分析在钢丝绳无损检测中的应用	宋大雷、徐殿国、王卫、王炎(129)
C7 一种应用于主动噪声抵消系统中辨识初级传感器到次级声源之间 系统函数的算法	黄杰、王宏禹(137)
C8 原油泄漏检测中腰轮流量计精度补偿	唐秀家、王立宁、靳世久、李健、于明祥、王安富(141)
C9 激光在诊断技术中的应用	邢开明、萧宁华(144)
C10 振动分析技术在设备故障诊断中的应用	严志伟(151)
C11 在汽车被动安全性研究中应用冲击响应谱分析撞击信号的探讨	王春雨、黄世霖(157)
C12 数字信号模型曲线处理理论评述	陈中林、王岚(161)

- C13 疲劳载荷谱实时采集处理系统的研究 孟金全、马连川、冯明琴(168)
- C14 DM-1 分布式振动监测和安全保护系统 赵力行(174)
- C15 子波变换与非线性系统辨识 杜小军、黄绣坤、张树京(177)
- C16 信号数字化仪的研究 连小珉、仪重杰、蒋孝煜、谢华、吴敌(181)
- C17 微机智能自动化动静态测试分析技术的研究 应怀樵、刘进明(188)
- C18 INV 型四十路并行实时频谱分析系统的研究
..... 应怀樵、刘进明、应明、杜峰、闻强(192)

- C19 移动窗式积分算法在汽车安全袋中的应用 张金换、李一兵、黄世霖(194)

D 生物医学的进展、诊断、监护和测试设备

- D1 脉搏压力信号的参数模型及其在心血管功能评定中的应用
..... 张冬梅、罗志昌、张松、杨益民(200)
- D2 生理信息主从采集系统 李刚、林凌、马建英(208)
- D3 细胞图像分割的一种方法 王春平、刘锡安(215)
- D4 多功能呼吸监护系统的研制及应用 杜明辉、陈荣昌(219)
- D5 固态 Holter 记录器的低功耗设计 李刚、林凌、郭文力(222)
- D6 实验动物步态参数的测试方法 陈天炜、崔志奎(226)

E 多媒体技术及其应用

- E1 JPEG 图象压缩方法的实现 梁良、赵荣椿(232)
- E2 多媒体数据库管理系统初探 王春平、魏震生(239)
- E3 基于子波变换的图象增强与恢复 李立霞、王文博、王德隽(242)
- E4 平行多视点算法求取深度信息 王新成、朱维乐、顾德仁(246)
- E5 多媒体计算机序列图象运动分析系统的研究
..... 张金换、李一兵、黄世霖、朱西产、黄存军(252)
- E6 61830 在 LED 显示中的应用 朴燕、刘键、罗锦、金圣经(259)
- E7 多媒体图象 LSI 芯片的技术动向 姚威、蔡德孚(262)

- E8 基于区域的二叉树图象编码新方法 郭峻、赵荣椿(266)
- E9 一种布尔变换及解变换方法在数据处理中的应用
..... 陈宇、王遵立、王瑞光、王哲明(276)
- E10 小波变换理论在图象编码中的应用 梁良、赵茶椿(282)
- E11 GCB710 高级图形控制板在模拟航空综合显示系统中的应用
..... 张少军、刘泽乾、佟惠军(288)
- E12 声/视交互信息通信探析关于标准多媒体描述语言(SMSL) 陈教芳(290)
- E13 多媒体技术在通信领域中的应用 曾义方(294)
- F 现代通信与信息高速公路**
- F1 一种利用三阶统计量的信道参数估计新方法 赵成林、刘泽民、周正(299)
- F2 ATM 网中突发性业务流的统计复用分析 靳浩、丁炜、金惠文、胡建栋(303)
- F3 ATM 交换结构开窗输入排队的神经网络调度算法 南华、刘泽民(309)
- F4 一种利用四阶统计量的判决反馈型盲均衡结构与算法
..... 赵成林、刘泽民、周正(313)
- G 单片微型计算机的工程应用**
- G1 新一代单片机的发展与前景 唐荣娣(318)
- G2 在微机控制车床加工系统中微机信号对步进电机运行的控制 赵圣元(324)
- G3 小功率自适应 UPS 电源的单片机实现 徐朝伦、史文学、何有安(330)
- G4 单片机实现的信号相关器 沈小艳、周传玉(334)
- G5 I²C 总线在多参数控制系统中的应用 姜本清(338)
- G6 单片机控制的单/多路轴有信息采集技术及实现
..... 毕大平、翟进武、李小波、陈立明(343)
- G7 红外光幕报靶系统 何福友、何强、王长龙(346)
- G8 无线寻呼编码系统的一种单片机实现方案 唐白玉、柯有安(352)
- G9 火炮复进机气液量检测系统中的语音报值器 王长龙、赵圣元、何福友(356)

G10 8098 单片机在汽车碰撞试验中的应用 王建群、张金换、黄世霖(361)

H 语音与通信信号处理

H1 模糊模式识别法实现话音与话带数据识别的研究
..... 王会敏、赵振纲、王德隽(366)

H2 增强干扰对消系统功率容量的方法 姚中兴(373)

H3 INTBJ128 型多路语音合成系统 侯晓兵、林碧琴、傅秋良(377)

H4 基于自组织谐振神经网络的 HMM 的语音识别 朱建政、苏广川(382)

H5 分形噪声中的谐波恢复问题研究 肖创柏、李衍达(385)

H6 BISS0001 传感信号处理器 文胜利、姜作琛(389)

H7 应用宽带自适应阵的 CDMA 系统性能分析 郑朝晖、胡健栋(393)

H8 带微处理器的语音处理系统设计中特征噪声的消除 林嘉宇、易波(399)

H9 时频编码调制信号的多相网络解调方法 孙少凡(401)

H10 程控直线数字合成波形发生器 陶建锋、孙东延(406)

H11 声回波对消器分析 赵知劲、钱惠生(410)

H12 U 参考点输出口信号波形参数的测试 胡春风、赵振纲(414)

H13 基于自然语言的智能化人机交互系统的设计与应用
..... 陈巍巍、林碧琴、陈芳、袁保宗(418)

I 门阵列芯片及开发应用

I1 频率与数字转换逻辑的 FPGA 实现 傅永杰(424)

I2 PUZZY/PID 控制在稳定真空规管发射电流中的应用 罗强、李真富(430)

J 全球卫星定位系统(GPS)应用技术

J1 GPS 在无人机定位中的应用研究 张禹田、樊邦奎(437)

J2 GPS 应用系统中 WGS-84 系坐标转换为 BJ-54 系坐标的研究
..... 樊邦奎、张禹田、陶化成(441)

K 并行运算与并行处理技术

- K1 基于神经网络的机器人控制 佟惠军、张少军、刘泽乾(445)
- K2 用并行处理技术实现涡轮增压柴油机的实时模拟 朱辉、程昌折(448)
- K3 基于神经网络的机器翻译系统 傅国康、施勤、赵荣椿(452)

L 公司及单位产品介绍

- L1 中科实业集团公司多媒体技术分公司 (455)
- L2 北京市中软计算机研究所 (456)
- L3 美国并行计算机亚洲公司(北京办事处) (458)
- L4 东方振动噪声技术研究所 (460)
- L5 北京瑞赤领新科技电子有限公司 (462)
- L6 北京旋极科技公司 (463)
- L7 北京合众达电子技术有限公司 (464)
- L8 香港亚洲联合自动化有限公司 (465)

新一代数字信号处理器—TMS320C80

张延平

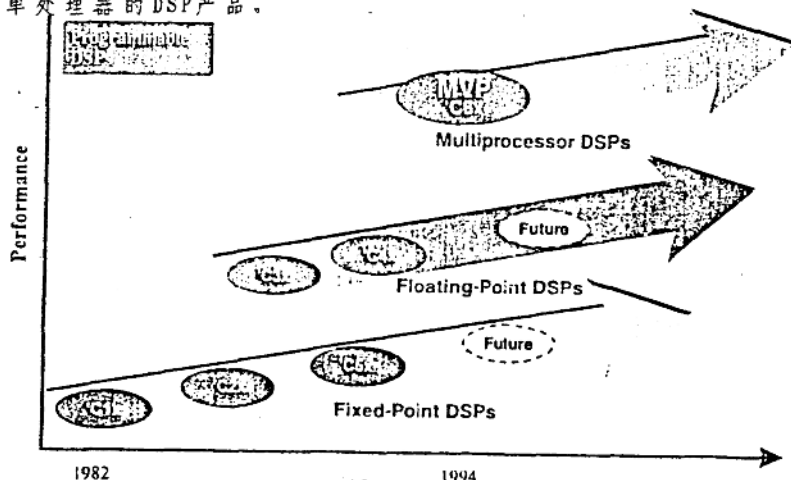
北京邮电大学电信工程系

【摘要】

本文简要介绍美国TI公司DSP家族的新一代产品—TMS320C80,着重介绍它的硬件体系结构、功能特点、使用模式、软件开发工具及应用等方面的问题,并结合C80的特点谈当今单片数字信号处理器的发展趋势。

一. TI DSP系列的发展

美国德州仪器公司是著名的半导体厂商,是单片数字信号处理器的先驱,自1982年成功推出DSP系列的第一个产品—TMS32010以来,已陆续推出一系列升级换代产品,其发展过程如图一。大体说来,94年前的DSP产品主要沿两个方向发展:定点系列和浮点系列,并可划分为五代。定点产品如TMS320C1X、TMS320C2X、TMS320C5X;浮点系列,如TMS320C3X、TMS320C4X,每一代的产品依资源配置的不同有不同的型号,如C3X包括C30、C31和C32。从C1X到C5X同一系列的产品在保持软件向上兼容的前提下性能在不断提升,表现在:运算速度增快;存储器容量增大;资源更丰富;软、硬件开发手段不断完善。但有一点是共同的:这些产品都是单处理器的DSP产品。



图一

TI公司94年8月份公布了新一代DSP产品—TMS320C80,单片内集成了多个处理器,她更侧重于多媒体信息处理,尤其是视频处理,所以TI公司也称之为MVP (Multimedia Video Processor),即多媒体视频处理器。TI称C80在数字信号处理方面具有真正突破性的进展。本文拟对TMS320C80作扼要介绍。

二. TMS320C80体系结构及性能特点

C80功能框图如图二。从图中可见,C80主要包括:四个先进的数字信号处理

器—ADSP和一个RISC主处理器，因此它是DSP/RISC结构。除此之外，片内还有可共享的存储器、传输控制器、视频控制器和I/O等。各部分的组成及特点如下：

1. 并行的ADSPs

C80的四个ADSPs可同时执行程序指令，也可在MIMD(多指令多数据结构)设置时彼此独立操作。ADSPs具有64-Bit宽的指令字，一个周期可进行几个并行操作。每个ADSP都内含2-KB指令CACHE和8-KB数据RAM。

另外，每个ADSP内含四个单元：程序流控制器FPC、一个数据单元、二个地址单元。FPC控制指令的执行，包括程序计数器的计数、程序分支和中断。三组零额外开销的循环控制器能记忆循环进行的次数和循环的起始/终止地址，并支持三层循环嵌套。

ADSPs的数据单元支持并行的单周期乘法和算术逻辑单元(ALU)操作。32-Bit的ALU可根据需要划分为2个16-Bit ALUs或4个8-Bit ALUs，有利于在数据精度要求不高时完成更多的并行操作。

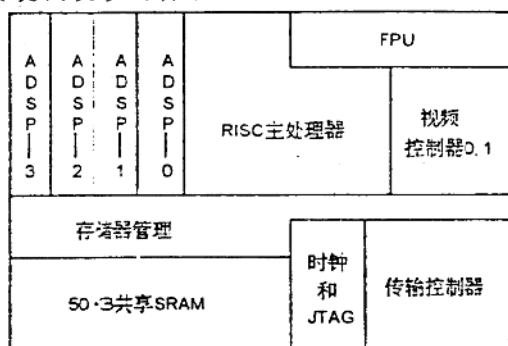


图 二

2. RISC主处理器

RISC主处理器(MP)负责管理在C80上运行的任务，并协调与其它的处理器的通信。此MP是个32-Bit的RISC处理器，带有运行速度为100-MFLOPs的IEEE 754浮点运算单元，同时配备4-KB指令CACHE和4-KB数据CACHE。MP可在单周期内完成一个64-Bit的数据存取和一个32-Bit的指令存取。与一般RISC处理器不同，这个MP除支持完整的浮点指令外，还支持一些与图像处理和3-D图形处理直接相关的矢量浮点指令。

3. 存储器切换结构

C80片内有50-KB的SRAM，切换结构使之可分成几个小块的SRAM以支持多并行存储器的存取。存储器切换机制方便了包括CACHE在内的片内RAM的并行处理器共享。硬件优先级结构使得只有一个处理器在单周期内能对指定RAM进行存取。所有这些都有效地提高了系统的高速并行处理能力，减少片外存储器访问的开销。

4. 传输控制器

C80的传输控制器可与存储器的切换机制配合操作，与DMA控制器一样，在中断处理器时可存取片外存储器。传输控制器支持一维的线性寻址、用于2-D图形处理的X、Y寻址和用于3-D图形的3维寻址。

传输控制器可与DRAM/VRAM/SRAM直接接口方便了多处理器的操作，而且智能化任务优先判决机制、动态数据宽度使系统可实现从8-bit到64-bit的数据传输，传输速率可达400-MB/s，这个特性特别适合电视会议这类宽带应用。

5. 视频控制器

二个片内视频控制器能同时捕捉和显示水平和垂直方向的视频信号。捕捉和显示支持同步或异步方式，可使用不同的速率。

C80的其它特点包括：

- 四百万个晶体管，采用EPIC CMOS工艺，305脚阵列封装。
- 运算速度为2 BOPS(每秒20亿次运算)。
- 可编程多指令多数据结构，即MIMD结构。
- 50-KB片内RAM
- 4-GB寻址空间
- 25ns指令周期
- 3.3V电压供电
- 具有JTAG / IEEE 1149.1测试端口

三. TMS320C80多处理器的优势

1. 强大的多媒体信息处理能力

TI公司的第一片DSP芯片主要是针对军方的需要设计的，十余年来TI的DSP设计一直没有脱离这一点。进入九十年代以来，多媒体计算机的发展异常活跃，多媒体技术要求处理器对音频、视频信号具备很强的处理能力。从TMS320C80的体系结构、性能指标及指令系统的特点不难看出，C80的设计已充分考虑了多媒体的需要，也说明TI的DSP策略已转向了民用。TI因此称C80为多媒体视频处理器(MVP)。C80的2 BOPS处理能力，能同时处理音频、视频信号压缩的标准，如音频标准G.728、视频标准—JPEG、MPEG等，以前用多板或多片实现的方案现可由C80独立完成。

2. 灵活的并行编程、处理模式

C80内的处理器包括一个RISC主处理器和四个先进的DSP处理器，具有四种典型的并行应用模式：全共享并行模式、流水线执行模式、主机/并行服务器模式和混合分散任务方式，如图三所示。

3. DSP与RISC技术的融和

C80是第一个商用的DSP/RISC超大规模集成电路，是完全并行的处理器，所提供的MIMD体系结构使处理器获得最大限度的并行处理能力。RISC处理器和四个先进的DSP处理器结合在一起，比起传统的、单一的CISC、RISC处理器先进许多。这一点在图四所示的各类微处理器性能/时间曲线说明了这一点。

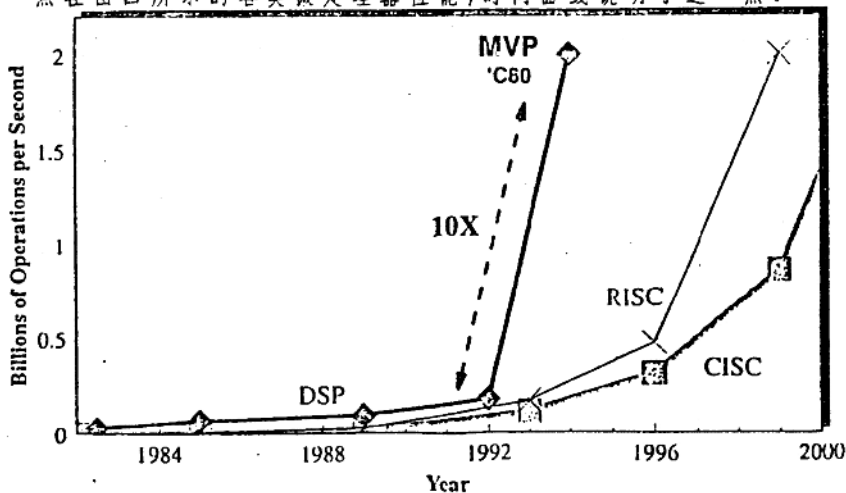
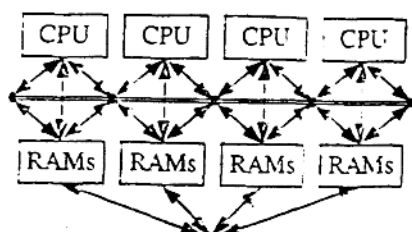
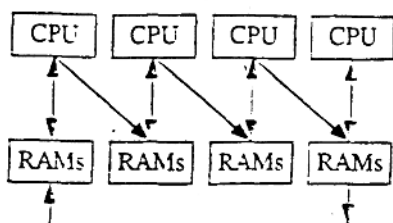


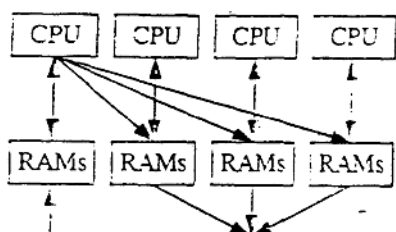
图 四 - 3-



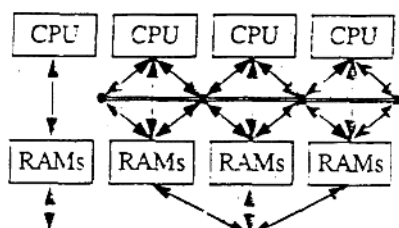
Fully Shared Parallel



Pipelined



Master with Parallel Servers



Mixed Separate Tasks

图 三

四. C80开发工具

TI为方便用户开发使用C80 MVP,提供了一系列的软、硬件开发工具,它的开发工具与已往的DSP也不同:

- 基于Windows的高级语言调试器,在一个界面可同时调试RISC主处理器和四个DSP处理器。调视图像时有专们的图像显示窗。

- 基于C++语言的系统仿真器
- 优化的C语言编译器,附合ANSI C语言标准
- 实时在线仿真器
- 汇编器和链接器
- 完整的库函数等等

TI的工具软件与以往的TMS320 DSP开发工具都具有相似的用户界面和命令,使用方便,可减少设计周期,加速进入市场的进程。

五. C80的应用

图像处理、保密通信、模式识别、多媒体终端、虚拟现实系统、电视会议系统、蜂窝基站系统、ATM网络等等。

用TMS320C30实现的自适应CFAR动目标检测器

杨辉 陈元亨

(四川大学无线电系 成都 四川 610064)

[摘要] 本文研究了用TMS320C30实现的一种自适应恒虚警动目标检测器。文中给出了硬件仿真测试结果, 结果指出其性能是优良的。

[关键词] 自适应非线性、Gram-Charlier级数、TMS320C30、恒虚警率、动目标检测

Key words: adaptive nonlinear, Gram-Charlier series, TMS320C30, CFAR, MTD

一、引言

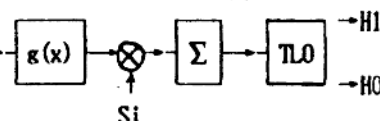
在当今, 高速单片数字信号处理器越来越广泛地应用于雷达、声纳、语音、图象、通信、生物医学电子学等领域。在雷达信号处理中, 为提高探测性能, 对信号处理器的速度、精度要求越来越高, 而且数字信号处理的一些新的算法, 如自适应非线性变换、自适应滤波、语音和图象矢量编码、二维和多维线性变换都要求极高的处理速度和精度。在众多的数字信号处理器中, TMS320C30 高速数字信号处理器^[1]具有60ns的单周期指令执行时间, 能进行40位浮点运算, 用硬件方法实现一些其它处理器用软件或微程序来实现的功能, 从而大大提高了自身速度。该处理器有很大的动态范围和很高的运算精度, 片内RAM块0和1各为1K×32位, 片内ROM块为4K×32位, 每一RAM和ROM块在单周期内能支持两次存取。内部分开的程序总线、数据总线、和DMA总线, 使得程序的提取、数据的读写及DMA操作可并行地进行, 所以该处理器特别适合高速度高精度的应用场合。鉴于此我们将其应用在雷达动目标信号的CFAR(恒虚警率)自适应局部最佳检测器中, 下面给出用TMS320C30 作自适应非线性变换的原理、方法和仿真结果。

二、原理分析

如图1所示的CFAR自适应局部最佳检测器^{[2][3]}是由一传输特性为噪波分布函数 $F(x)$ 所决定的零记忆非线性 $g(x)$ 和一个在高斯白噪声中检测信号的最佳检测器串联而成。其中

$$g(x) = F(x) - 0.5 \quad (1)$$

称为自适应局部最佳非线性, $S_i (i=0, 1, 2, \dots, N-1)$ 为目标回波信号, 在动目标检测情况下, 最佳检测器中的相 x_i 关器部分由对消器和FFT串联组成。



为实现 $g(x)$ 可根据Gram-Charlier级数^[4], 可将任意密度函数分解成高斯密度函数及其导数的和, 即有:

$$w(y) = \phi(y) + a_3 \phi^{(3)}(y) + a_4 \phi^{(4)}(y) + a_5 \phi^{(5)}(y) + \dots + a_n \phi^{(n)}(y) + \dots \quad (2)$$

$$\text{其中, } y = (x - u_1)/\sigma \quad (3)$$

为归一化变量, 其矩 $\mu_n = E[y^n]$ 是 x 的归一化中心矩,

特别有: $\mu_1 = 0, \mu_2 = 1$

$$\text{高斯函数的导数 } \phi^{(n)}(y) = (-1)^n \phi(y) H_n(y) \quad (4)$$

其中 $\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-x^2/2)$, $H_n(y)$ 为 n 阶 Hermit 多项式, 典型的有:

$$H_0(y) = 1$$

$$H_1(y) = y$$

$$H_2(y) = y^2 - 1$$

$$H_3(y) = y^3 - 3y$$

$$H_4(y) = y^4 - 6y^2 + 3$$

$$\text{系数 } a_n = \frac{(-1)^n}{n!} \int_{-\infty}^{+\infty} v(y) H_n(y) dy \quad (5)$$

代入不同的Hermit多项式, 可得系数:

$$\begin{aligned} a_0 &= 1 & a_3 &= -v/3! & a_6 &= (v^6 - 15v^4 + 30)/6! \\ a_1 &= 0 & a_4 &= (v^4 - 3)/4! & a_7 &= -(v^7 - 21v^5 + 105v^3)/7! \\ a_2 &= 0 & a_5 &= -(v^5 - 10v^3)/5! & a_8 &= (v^8 - 28v^6 + 210v^4 - 315)/8! \dots \end{aligned}$$

假设输入 x 满足零均值($u_1=0$)对称分布条件, 则 y 的奇数阶矩为0, 取(2)式的前5项得:

$$v(y) \approx \phi(y) + a_2 \phi^{(2)}(y) + a_4 \phi^{(4)}(y) + a_6 \phi^{(6)}(y) \quad (6)$$

$$\text{其中, } a_2 = -v/3! = 0 \quad a_5 = -(v^5 - 10v^3)/5! = 0$$

$$a_4 = (v^4 - 3)/4! = [E(y^4) - 3]/4! \quad \text{将(3)式代入, 得:}$$

$$\begin{aligned} a_4 &= (m_4/\sigma^4 - 3)/4! \\ &= (m_4 - 3\sigma^4)/(24\sigma^4)^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{所以: } v(y) \approx \phi(y) + (m_4 - 3\sigma^4)/(24\sigma^4)^{-1} \phi^{(4)}(y) \quad (7)$$

其中 m_4 为 x 的四阶矩, σ^2 为 x 的二阶矩, 上式两边对 y 积分, 得 y 的分布函数表达式:

$$\begin{aligned} F(y) &= \int_{-\infty}^y \phi(t) dt + (m_4 - 3\sigma^4)/(24\sigma^4)^{-1} \phi^{(3)}(y) \\ &= \int_{-\infty}^y \phi(t) dt + (m_4 - 3\sigma^4)/(24\sigma^4)^{-1} (-1)^3 H_3(y) \phi(y) \\ &= \int_{-\infty}^y \phi(t) dt + (m_4 - 3\sigma^4)/(24\sigma^4)^{-1} (-1) (y^3 - 3y) \phi(y) \end{aligned}$$

$$F(y) = \int_{-\infty}^y \phi(t) dt + (m_4 - 3\sigma^4)/(24\sqrt{2\pi}\sigma^4)^{-1} y(3 - y^2) \exp(-y^2/2) \quad (8)$$

这是仅取Gram-Charlier级数前5项所得的分布函数的近似表达式。由于忽略6阶及其以上导数项引起的平均舍入误差 $<4\%$ 。因此在实际应用当中, 当输入噪声满足零均值、对称分布条件时, 只需测量出输入 x 的二阶矩和四阶矩, 按该式就能较好地构造出归一化变量 $y=x/\sigma$ 的分布函数。

$$\text{令 } g_1(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt - 0.5 \quad (9)$$

$$g_2(x) = x(3 - x^2) \exp(-x^2/2) \quad (10)$$

这是两条确定的函数曲线, 按式(8), 在实现式(1)的非线性时, 可将这两条曲线预先算好存入表格存储器。对每一个输入值 x 先按式(3)归一化为 y , 用它作为地址去查出对应的两个表格存储器中的值 $g_1(y)$ 和 $g_2(y)$ 。另外一路求矩电路求出 σ^2 和 m_4 并计算出系数 $(m_4 - 3\sigma^4)/(24\sqrt{2\pi}\sigma^4)^{-1}$; 再作乘加运算: $H(y) \approx g_1(y) + (m_4 - 3\sigma^4)/(24\sqrt{2\pi}\sigma^4)^{-1} g_2(y)$ (11)

其结果作为 $F(y)-0.5$ 的实时估计值。

三、非线性 $g(x)$ 的实现方案

根据以上原理分析, 实现 $g(x)$ 的数字式框图如图(2)所示:

图2中的归一化、求矩、求平方根、系数运算都有现成的电路可用, 本文着重讨论高速的查表求值、高速的乘加运算和高速的输入/出等数字运算。输入首先送高速A/D进行采样, 归一化和系数运算结果送入缓存, 用归一化结果作为地址去查出表格存储器1和表格存储器2对应单元的值, 并与另一路系数运算的结果作乘加运算, 得到 $F(y)-0.5$ 的实时估计值。

当满足零均值、对称分布条件的输入噪声统计特性发生变化时, 系统的求矩电路及系数运算电路能实时地求出当时的二阶矩和四阶矩及其系数, 根据雷达发射信号参数选择A/D变换器的采

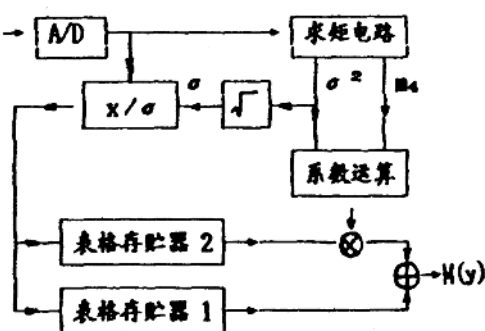


图2 实现方框图

样速度、表格存储器的取数时间,就能使这个零记忆非线性满足要求,从而实现 $F(y) \sim 0.5$ 的非线性特性。

我们在现有的条件下用编程灵活的高速数字信号处理器TMS320C30来实现自适应局部最佳非线性,采用10位高速A/D变换器作为前端处理,因此用表格存储器存一条曲线的值需要 $2^{10}=1K$ 的内存空间,两条曲线共需要占据2K的空间。

表格存储器中存16位二进制补码,其范围为000000h~00FFFFh,所有乘、加运算以及输出操作都使用32位二进制补码,而A/D变换器转换结果采用10位二进制偏移码,其范围为001000h~0013FFh。

四、机辅仿真及硬件仿真结果

首先用计算机产生测试信号和噪声样本^[6],转换为10位偏移码送入TMS320C30的数据存储器区作为输入数据,然后启动整个系统运行,将运算结果从相应的数据存储器区取出,用高级语言作分析处理,得到的结果如下:

1. 非线性信噪比损失及无关目标对信号检测的影响

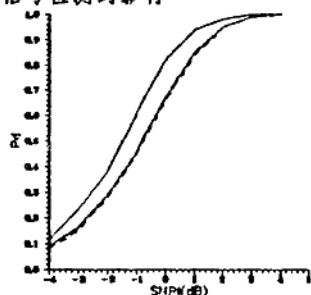


图3 Pd~SNRi曲线 ($P f=10^{-6}$)

图3是Pd~SNRi曲线(固定 $P f=10^{-6}$),最上面那条为高斯噪声环境中的最佳检测曲线,下面两条为加入非线性后高斯噪声环境中的检测曲线,其中虚线所示为32个参考单元中有两个无关目标的检测曲线。可见,加入非线性后的工作性能与参数型最佳检测器相比较,非线性变换的平均信噪比损失约为0.7db,并且参考单元中存在两个无关目标时对信号检测几乎不产生影响,这一性能是优于许多已有的CFAR检测器的。

2. CFAR自适应局部最佳检测器的恒虚警性能

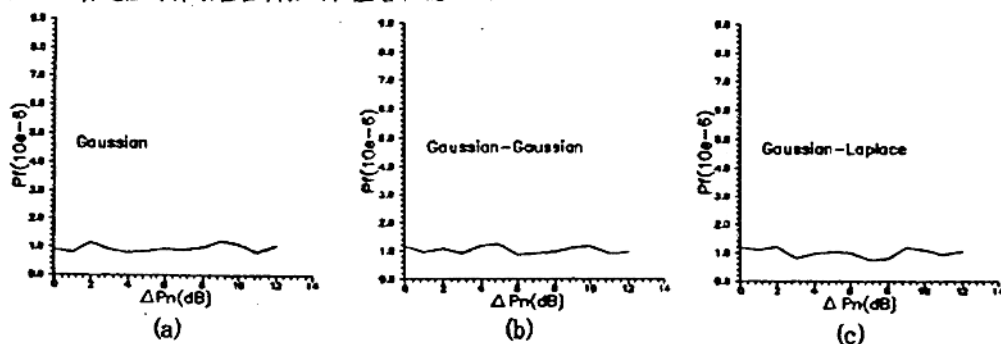


图4 Pf~ ΔP_n 曲线

图4为采用重要抽样定理得到的Pf~ ΔP_n 曲线,可见其恒虚警效果是很好的,模拟误差引起的平均波动(15%)。

3. 非线性变换对频谱的畸变

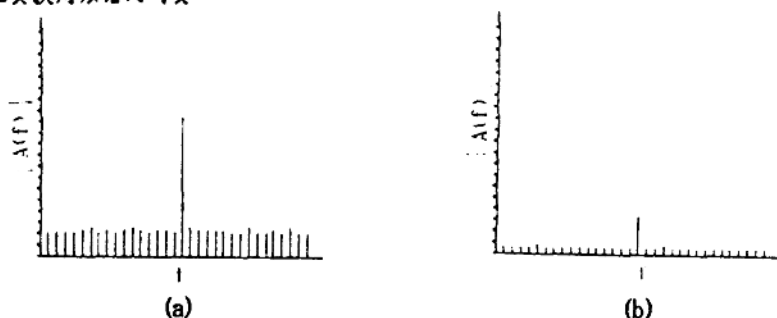


图5 非线性对频谱的畸变

图5是在 $SNR_i = -1$ ，且噪波为高斯白噪声时，信号与噪波混合波形，在经过非线性变换前后的频谱。图5(a)为通过非线性前的频谱，图5(b)为通过非线性后的频谱，可见，该非线性对频谱的畸变是很小的，这是由于该非线性以很大的概率工作于线性段的缘故。同时 $g(x)$ 还压缩了动态范围。

4. 加非线性后无关目标对频谱的影响

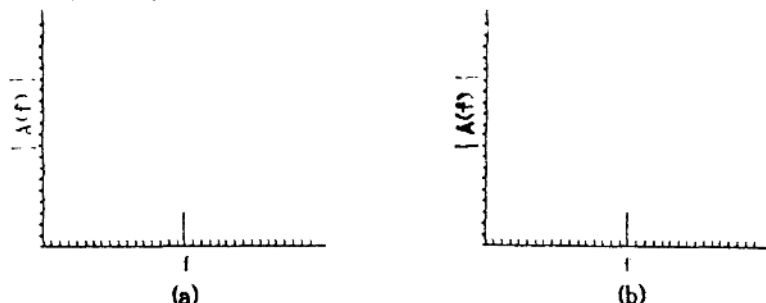


图6 无关目标对频谱的影响

图6(a)为参考单元中存在两个无关目标时，信号和噪声通过非线性后的频谱，图6(b)为参考单元中存在四个无关目标的结果。与图5(b)对照可知，参考单元中的多个无关目标对频谱几乎无影响。同时 $g(x)$ 还压缩了动态范围。

五、结论

以上模拟和测试表明，利用TMS320C30研制的自适应非线性 $g(x)$ 在CFAR 自适应局部最佳检测器中信噪比损失和对频谱的畸变都是极小的且多个无关目标对信号检测及频谱几乎无影响。仿真实验较好地验证了其多方面的优良性能，它确实是一种性能优越的检测器。相应的脱机硬件能全速运行，能实时处理距离单元为0.2 μ s以上的雷达信号。

参考文献

- [1] TMS320C3X User's Guide. TEXAS INSTRUMENTS, 1992.
- [2] Chen Yuan-heng, Hu jia-yi, Adaptive Detection of Weak Signals in Non-Gaussian Large Strength Time Varying Noise, ISTP, 19176.322.
- [3] 杨辉, "一种自适应非线性实现途径及其性能研究", 四川大学硕士论文, 1994年.
- [4] (美)A.D. 惠伦, 《噪声中信号的检测》, 科学出版社, 1977年.
- [5] 中科院计算中心概率统计组, 《概率统计计算》, 科学出版社, 1979年.