

# TMS320C25 构成的多波束形成器的软件设计

张燕武 马远良

(西北工业大学 声学工程研究所)

1991年6月10日收到

波束形成器是声呐信号处理机的重要组成部分。作者用多片 TMS320C25 构成了一个多波束形成器。在硬件设计的基础上,提出了实现多路 FIR 滤波求和的一种算法,比直接方法省时一半以上;对多波束输出存储地址指针的设计提出了一个简捷方法,大大节省了 C25 的辅助寄存器。这些技巧对减少多波束形成总的耗时、满足实时要求、节省硬件资源起到重要作用。本文是上述工作的简要总结。

## 一、波束形成原理和工程实现方法

在一个声呐阵列中共有十六个阵元,要求在高频段主动工作方式下实时地形成 16 个波束,这 16 个波束在水平面内覆盖  $360^\circ$  全方位。采用“优化权波束形成方法”<sup>[1]</sup>,它的原理是:为了形成某一个波束,要对 16 个阵元接收到的信号分别施以各自的窄带相移和幅度加权。原理框图见图 1。

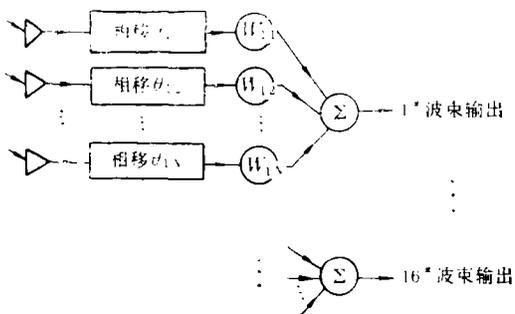


图1 多波束形成原理框图

在工程实现中,用自适应建模技术设计出 4 节 FIR 滤波器实现任意角度的窄带相移。由于图 1 中各阵元信号经过相移后,各自与一个幅度加权常数相乘,所以这个常数完全可以归入各自的 4 节相移滤波器,即原来的滤波器系数都再乘上一个常数。

## 二、波束形成器硬件结构简述

多波束形成器由 4 片并行工作的 TMS320C25 构成,每片完成 4 个波束的形成,共 16 个波束。由一台 IBM-PC/AT 机向各 C25 加载程序,并显示处理结果;由一块 I/O 板接收声呐预处理口传来的数据,从中抽出阵元信号,通过内部通讯总线以“广播”方式传送给各 C25 的片外 DRAM。每片 C25 通过 AT 总线与 AT 机交联,通过内部通讯总线与 I/O 板交联,通讯方式都是双端口存储器耦合。每片 C25 的外围结构相同,见图 2。

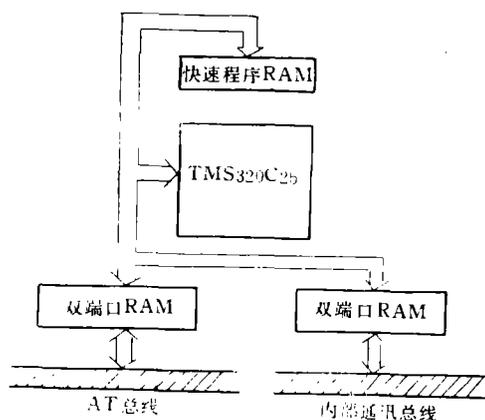


图2 波束形成器硬件结构框图

其中双端口 RAM 选用 IDT 公司的 IDT 7132 和 IDT7142 各一片(皆为  $2K \times 8\text{-bit}$ ),

还使用了4片 INMOS 公司的 IMS1620 (16 K × 4-bit) 作为 C25 的片外快速程序 RAM。在硬件设计中作者提出了双端口存储器的“双重身份”设计技巧,由于篇幅所限,硬件设计的许多细节不再赘述。

### 三、波束形成软件

#### 1. 多路 FIR 滤波求和的巧妙算法

波束形成的关键在于各阵元信号进入各自的4节 FIR 滤波器,然后输出求和,程序的耗时间也主要决定于此。以下以一个波束为例说明问题。

一个波束的形成所需要的运算就是16个 FIR 滤波输出求和。做 FIR 滤波,利用 TMS 320C25 的 MACD 指令<sup>[2]</sup>最合适,MACD 指令将由 dma 指定的一个数据存储器值与由 pma 指定的一个程序存储器值相乘,还将前次乘积按 PM 状态位移位后加到累加器中,然后,由 dma 寻址的数据存储器值复制到下一个较高的 DRAM 单元中。当 MACD 指令重复执行时, PFC 中的程序存储器地址加1,这样就允许取出程序存储器中的一序列操作数用于相乘,更重要的是,当 MACD 与 RPT 或 RPTK 一起使用时,一旦流水线操作开始,MACD 就变成单周期指令,也就是说,若 C25 外加 40MHz 晶振,则 MACD 就变成了一个 100ns 的指令。

直接的多路 FIR 滤波求和的算法为:各个 FIR 滤波器利用 MACD 指令单独运算,然后将输出求和。但是具体到 C25 汇编语言,便会发现这种方法比较繁琐。直接算法的示意图见图3,每个阵元的新输入值依次放入 C25 片内 DRAM 的 >0200, >0205, ..., >024B, 图中 1, 2, ..., 16 表示阵元序号。这种方法的最大的缺点是:MACD 指令不能连续使用,每进行一个滤波器处理,就要重新调整地址指针(对于间接寻址,也就是重新给辅助寄存器赋值),这样便不能充分发挥 MACD 在 RPT 或 RPTK) 流水线操作中的单周期优越性。图3中的右图

显示出 AR(由 ARP 指定)多次赋值的情形。

\* 表示 AR 值,即指示的 DRAM 地址,在每个滤波器内的 ← 表示地址用 \* 一来自动减1,但当这个滤波器处理完毕后,就必须重新给 AR 赋值,使其指示的 DRAM 地址跳变到下一个 FIR 滤波器的末地址,以开始下一个滤波器的处理。(每个4节 FIR 滤波的运算,必须从该滤波器的末地址开始,这样在向较高地址转移数据时不致于冲掉有用数据)。其次的缺点是:如果成批地将同一时刻的16个阵元的新数据放入 >0200, >0205, ..., >024B, 然后开始各滤波器处理,则每两个 FIR 滤波器之间必须留出一个缓冲单元,即 >0204, >0209, ..., >024A (如图3中右图的·表示),这是因为 MACD 指令在完成乘加后,要将当前地址中的数据转移到下一个较高的地址单元中,设置缓冲单元才可以避免下一个阵元的新数据被冲掉。这样一来,就要多占用15个 DRAM 单元,而我们知道,片内 DRAM 空间是很宝贵的(MACD 的数据转移功能只有在片内 DRAM 才能实现)。

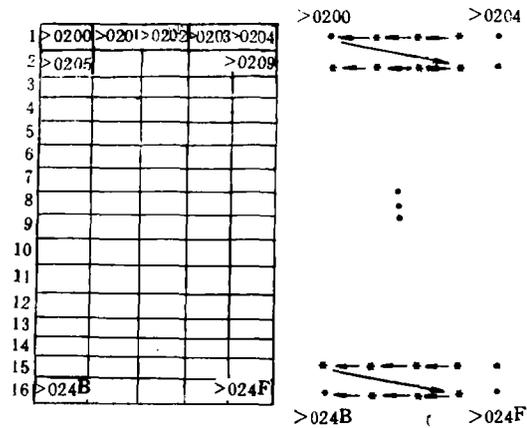


图3 直接算法示意图

作者提出了一种方法,重新安排运算次序,使 MACD 指令能够连续使用,16个4节 FIR 滤波器滤波求和等效为1个64节 FIR 滤波器的运算。AR 置初值后,自动连续递减,不需打断进程重新赋值,而且不需设置缓冲单元。新方法与直接方法相比,既大大减少耗时又节省

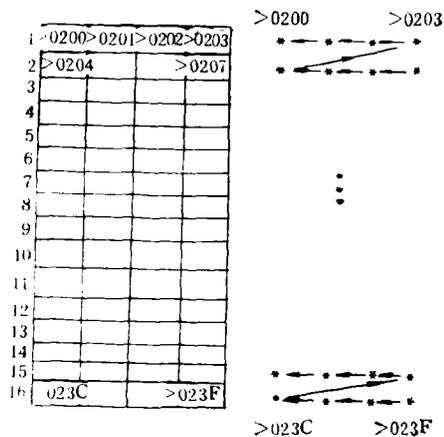


图4 新算法示意图

内存。示意图见图4。

首先,16个阵元同一时刻的新数据成批地依次放入 >0200, >0204, ..., >023C, 然后从第16号阵元的4节滤波器开始处理, AR初值指向 >023F, 即16号阵元滤波器的末地址, 该滤波器处理完毕后, 紧接着进行15号阵元信号的滤波, 依次类推, 直至1号阵元信号的滤波结束, 这时就已求出了16个滤波输出之和, 即一个时刻的一个波束的输出。下一个时刻的16个阵元新数据仍依次放入 >0200, >0204, ..., >023C, 然后处理。这种算法的核心程序如下

```

LRLK AR4, >023F; 置 AR4 初值, 此时 ARP → AR4
MPYK 0           ; 对 P 寄存器清零
ZAC              ; 对累加器清零
RPTK 63         ; 以下进行64-TAP
                 滤波处理, 即16个4-TAP 滤波求和
MACD >6000, *-; 64次 MACD 运算, 滤波器系数置于片外
                 快速 PRAM 的 >6000
                 - >603F
APAC            ; 将最后一次乘积加入累加器
    
```

作者对两种算法用 C25 仿真软件做了比较, 结果是: 为了完成16个滤波器的滤波求

和, 直接算法耗费163个指令周期, 而新算法仅耗费73个指令周期, 减少了一半以上。可见新算法的优越性。

## 2. 多波束输出存储地址指针的设计

一块 SP 板要形成4个波束。因为每个波束输出的存储地址空间不同, 所以需要4个不同的指针, 如果用不同的辅助寄存器 (AR), 当然可以, 但是4个波束就要占用4个 AR, 与其他需要 AR 的地方发生冲突, 因此最好能少用 AR。作者设计了一个简便方法, 只用一个 AR, 再增加3条加法指令和4条减法指令 (都是单周期指令, 这7条指令在总的运算量中占的比例非常小), 就能完成任务。

注意到每片 C25 与 IBM-PC/AT 机共享的双端口 RAM 只有 2k 字 (由一片 IDT7132 和一片 IDT7142 构成), 而要求4个波束输出结果皆存于此, 以供 AT 机显示, 因此每个波束只能存储有限时刻的结果。设计每个波束最多存储256个点, 就必须申请 AT 机中断, 显示处理数据, 所以令不同波束输出存储区起始地址的间隔为256个字。有了这个规律, 则 AR1 通过 \*+ 为1号波束输出做了地址指针后, 加255, 就为2号波束做指针, 再加255, 为3号波束做指针, 再加255, 为4号波束做指针, 然后减去768。又为下一时刻的1号波束输出做指针, 依时刻类推 (减768要分4次, 因为对 AR 做立即数减法, 最多 >FF, 即255), 这样就节省了3个 AR。

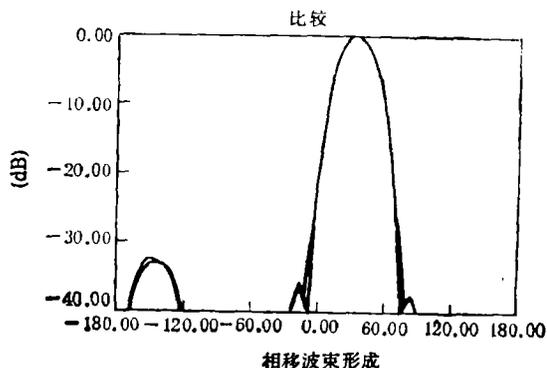


图5 仿真实例

### 3. 仿真实例

在考虑到有限字长、防止溢出等问题后,用 TMS320C25 汇编语言仿真出的一个波束与相应的理想波束的比较如图 6 示。两条曲线差异很小,工程实现的效果令人满意。

的波束形成器,着重讨论了设计中的一些软件技巧。这个波束形成系统已经通过原理调试。在研制过程中,我们切实体会到,硬件的合理设计、软件的巧妙构思对于系统的良好性能都至关重要。

## 四、结 语

本文介绍了一个以 TMS320C25 为 CPU

## 参 考 文 献

- [1] 马远良,中国造船,4(1984).
- [2] TMS320C25 User's Guide, Texas Instruments Inc., 1986.

# 完全金属薄膜吸声结构的声学特性

盛 胜 我

(同济大学声学研究所)

1991年6月19日收到

本文研究一种完全由金属薄膜制成的共振吸声结构。着重分析了单层穿孔薄膜的吸声机理,并实验研究了单层与双层金属薄膜共振结构的吸声特性以及结构参数对其性能的影响。

## 一、引 言

在噪声控制工程中,当遇到多尘烟,强腐蚀,高风速等恶劣环境时,采用多孔性吸声材料的声学设计往往已经失效,而普通穿孔板共振结构的吸声频带又比较狭窄,因此近年来出现一种完全金属薄膜结构组成的吸声单元<sup>[1]</sup>。这种结构主要是利用在金属薄膜(铝膜或不锈钢膜)上加以一定间隔的穿孔,组成共振吸声结构,在中、低频能获得较好的吸声效果。由于薄

膜的厚度很小,薄膜自身振动也会引起声学效果,所以它的有效吸声频带将比普通穿孔板共振结构更为宽广。如在穿孔薄膜上再加一层覆盖金属膜,形成全封闭的结构,这样既能防止尘粒渗入结构以致影响性能,又能使气流通过时阻力损失大大降低。特别是在需要高质量卫生要求的医院、宾馆等处,这种结构作为吸声壁面或消声通道,有着更大的优越性。国外已有一些成功的实例证明了它具有推广应用的价值<sup>[1-2]</sup>。这种结构的典型单元如图 1。

为了深入研究与掌握这种吸声结构的声学

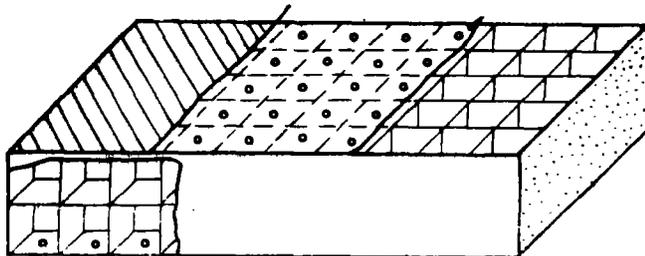


图 1 典型的金属薄膜吸声结构示意图