

合成孔径雷达 (SAR) 图像编码压缩系统

黄廉卿 白雨虹 胡存举 徐忠海 丛 卉
(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

摘要 论述了合成孔径雷达 (SAR) 图像准实时编码压缩的原理以及在工程上实现的方法。文章依据信息理论, 根据 SAR 图像特点, 阐述了三种编码压缩的设计方法, 并从中选出采用数字信号处理器的硬-软件相结合的最佳编码压缩方案, 实践表明, 该方法可在 80 秒时间内对一幅 2048×2048 的 SAR 图像进行编码压缩, 压缩比大于 10, 系统信噪比大于 35db, 很好地满足了工程任务需要。

关键词: 数据压缩, 预测编码, 图像传输, 编码压缩

1 引言

十几年来, 我国航空遥感技术发展迅速, 在洪水监测、森林防火、数据传输和处理、土地资源调查等方面, 发挥了很大作用。

SAR 图像处理技术, 集光学-电子学-计算机技术于一体, 取得了可喜的进步, 为国家科技攻关任务的完成, 做出了一定的贡献。本文仅就高分辨率的 SAR 图像传输系统作一简单介绍, 并就其中的关键技术: 图像编码压缩系统作较详细论述。

2 SAR 图像传输系统

2.1 系统组成框图

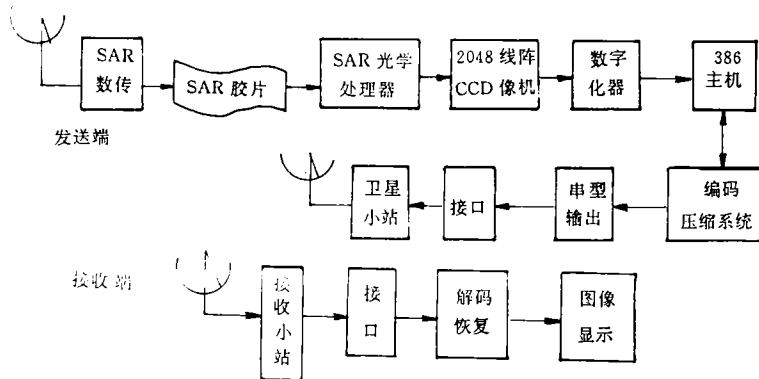


图 1 SAR 图像传输系统框图

2.2 工作原理

SAR 数传机将甲地接收到的 SAR 图像变换成相干图胶片，经光学处理器转变为可见图像，然后经高分辨率的 2048 线阵 CCD 摄像机光—电转换为视频模拟信号，该信号经数字化器转换为数字信号，该数字信号进入主机内存，当主机扩展内存存满一幅 2048×2048 的数据后（高达 4MB），再送给编码压缩系统，进行压缩比大于 10 的编码压缩，将压缩后的数据经串型口以 64kB/s 的速率经接口送给卫星小站，卫星小站再将此数据发射到空中卫星上，卫星在一固定的地面站（乙地）上空将数据传送给该地面站，（如北京地区卫星地面站），乙地地面站接收后，再经解码恢复，经接口送给显示器显示出甲地发回的地面图像，给有关人员进行分析判读用。

此方法对于洪水、火灾等监测、指挥、有关部门下达防洪、抢险、扑火命令，起到了很好作用。

在该系统中，“数字化器”“编码压缩”两大系统，是其关键，限于篇幅，本文仅就“编码压缩”系统，作详细论述。

3 SAR 图像编码压缩系统

3.1 编码压缩系统的基本原理

SAR 是高分辨率的、细节丰富的灰阶图像，其相邻像素间存在有相关性，而相距较远的像素相关性较小，所以，可将一幅大的 SAR 图像分成若干小的像块，对每一像块进行二维余弦变换，去掉相邻像素的行、列相关性。例如，在发送端，对一幅 SAR 图像 2048×2048 ，将其分成若干 8×8 的像块，且对每个 8×8 像块进行二维 DCT 变换，除去像块内行、列的相关性。

其次，像块与像块之间，也存在有一定的相关性，再用预测法去掉像块间的相关性。

像块经二维 DCT 变换后，其能量向低频分量方面转移，且大部分能量集中在直流分量中，所以直流分量成了整个像块能量的代表。像块间的相关性，主要反映在直流分量的相关性上，这样，像块间的预测编码，仅对其直流分量进行即可。

在变换域中，采样量化后，图像的高频分量趋于零，这就使得用零游程编码，使相关的像素进一步减少。

综上所述。无论是直流分量的预测值，还是交流分量的零游程码，均进行统计编码，以达到最小的码率，为此，采用变长的哈夫曼编码，输出经 FIFO 缓冲器输出，送给传送系统。

在接收端，先经过哈夫曼译码，产生直流分量预测值和交流分量的游程码。再进行交流分量的零游程译码，恢复出量化后的样本，对样本反量化，恢复出 DCT 的交流分量。而直流预测值经反预测，产生出 DCT 的直流分量。再经逆 DCT 变换，恢复出 8×8 像块。这样连续不断地进行下去，就得到了一幅 2048×2048 的压缩的图像。

其原理框图如下所示：

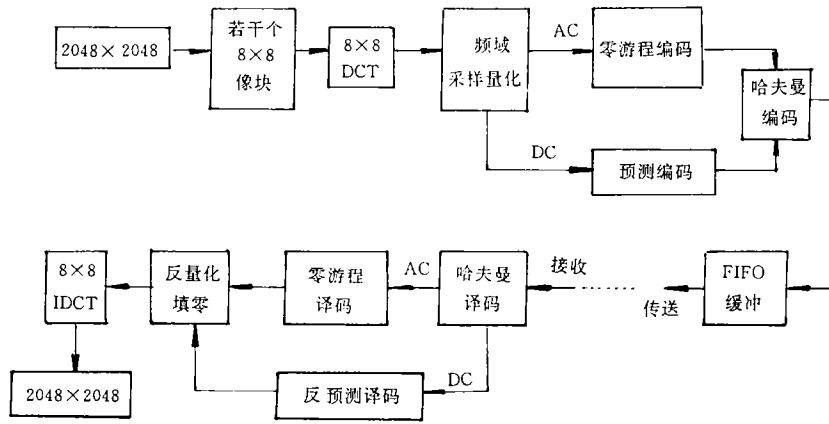


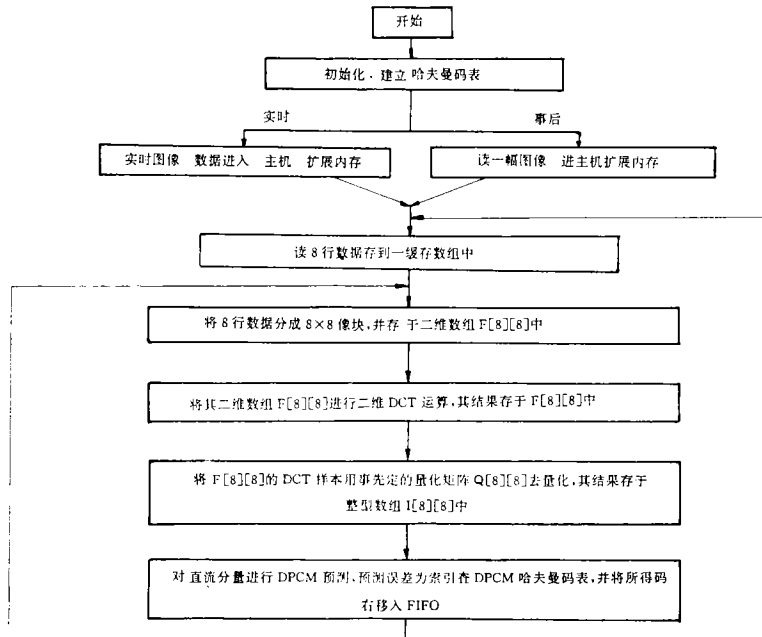
图 2 SAR 图像数据编码压缩原理图

4 三种编码压缩方法的设计

我们在实际工作中，进行了三种编码压缩方法的研究，即计算机进行的纯软件法；采用数字信号处理器的硬-软件相结合法；使用专用芯片的硬件为主方法。分述如下。

4.1 计算机软件法实现 SAR 图像数据的编码压缩

该方法，使用一般的 486 微机，经过大量的软件编程，实现了图像数据的编码压缩，其流程如下：



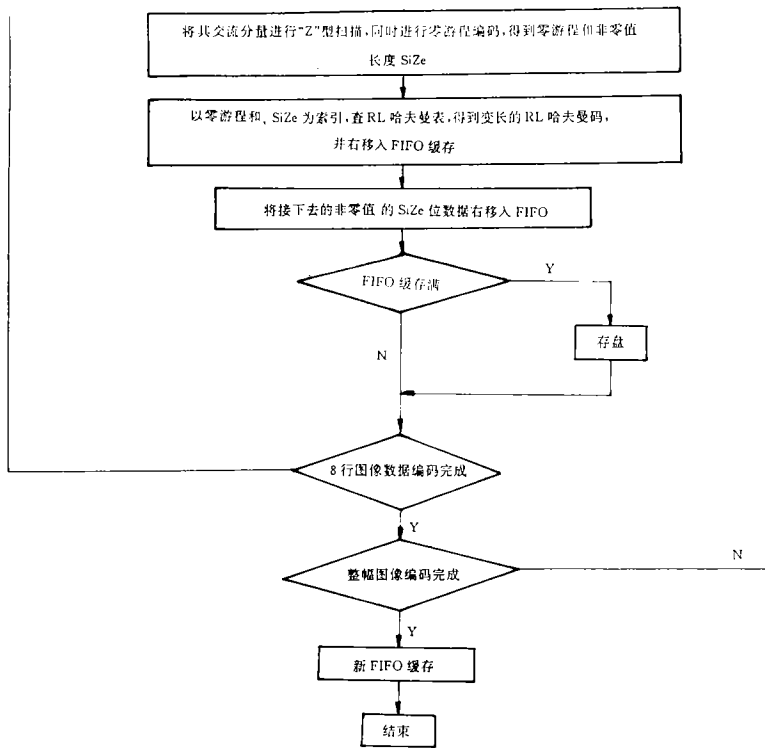


图 3 软件编码压缩流程图

将图像数据，一幅一个文件存在磁盘里，一次压缩一幅图像。将图像经数字化器采集系统以中断方式与主机通信，采集完成产生中断，主机响应中断，将数据进入主机扩展内存。无中断时，主机对扩展内存中的数据进行编码压缩，并把压缩后的数据也存于扩展内存中，压缩完成后存盘，再进行新的一幅图像数据，进行新的压缩，再存盘…进行下去，一直到全部完成结束。

因现在使用一般的微机，其总线均为 ISA 或 ESA 总线，速度较慢，所以不能实现高速实时压缩，我们用 C 语言编制的程序，在 486/66 微机上运行，一幅 1024×1024 的图像压缩完成需 1 分钟时间。

4.2 采用数字信号处理器的硬-软件相结合法实现 SAR 图像数据的编码压缩

该方法，即将软件中某些大量运算、变换等用硬件-数字信号处理器 (DSP) 来完成，则使 CPU 节省了大量的时间。这样，CPU 只负责数据的调度、控制。其简化框图如下：

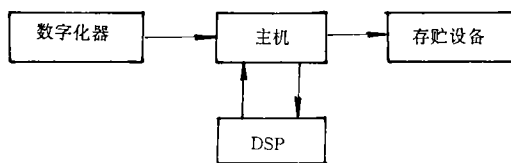


图 4 采用 DSP 的编码压缩原理框图

基本工作原理为：

数字化器采集一定量的数据后发中断，主机响应中断将数据进入缓存，然后，主机将该数据送给 DSP 组成的编码压缩子系统，按规定的形式进行编码压缩，完成后向主机发中断，通知主机取回压缩后的数据，存盘，再把要压缩

的数据再次送入 DSP 压缩子系统，完成，主机再取回，存盘……，一直到结束。主机要等待 2 个中断，如此循环下去。可见，主机所负责的工作大大减少。从而加快了速度。

在此方案中,所有的数据编码压缩运算都由 DSP 完成,所以其速度快慢,就成了整个系统的关键。我们在工作中,选用了由 TMS320C25 组成的 DSP 系统,一来价格便宜,二来其运行速度也可以满足要求,且大家也比较熟悉该器件的使用方法。320C25 为 32 位的内部哈佛结构,16 位外部接口能力,每秒能执行 1000 万条指令,指令周期为 100ns,乘、加、移位等运算都能在一个机器周期内完成,适合于正交变换的数据压缩系统。

由 320C25 及其外围器件组成的压缩编码子系统制成处理卡,插到主机插槽中,其简化框图如下:

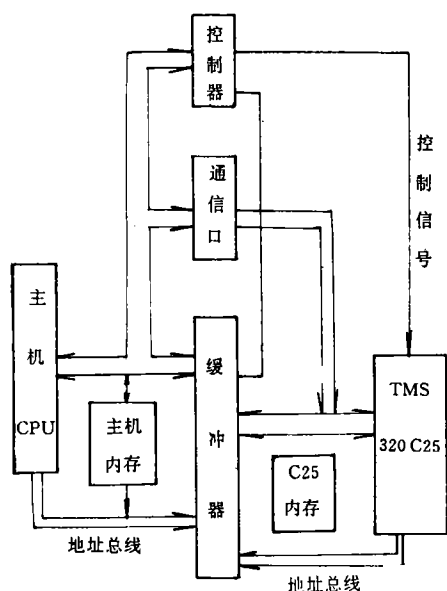


图 5 硬-软件结合的原理图

主机通过控制器发出控制字对 C25 进行控制, C25 存储器由主机与 C25 共享,通过地址映射,把 C25 的程序存储区、数据存储区都分段映射到主机内存空间中某段。开始,主机控制器发出控制字初始化 C25,且把数据编码压缩程序送入 C25 的程序空间,使 C25 处于复位保持状态。主机把要压缩的图像数据及必要的参数送入 C25 的数据空间,并通过控制器启动 C25,使其对数据进行编码压缩,完成后, C25 通过通信口向主机发出信号以示工作完成,则主机把数据区映射到自己的空间中,把压缩完的数据码取走,再次使 C25 回到复位保持状态,主机再送入新的要压缩的数据……如此循环,直到全部数据压缩完毕。C25 与主机通信采用中断方式,体现出并行处理的优越性,同样对一幅 1024

×1024 图像进行编码压缩处理,需 20 秒,比纯软件快得多。

4.3 使用专用芯片以硬件为主实现 SAR 图像数据编码压缩

要进一步提高编码压缩速度,实现 SAR 图像实时压缩处理,必须采用专用的高速浮点信号处理器,如 TMS320C30,它具有每秒 3300 万次浮点乘、加运算能力,60ns 的单周期指令执行时间,可直接寻址 16M 32 位内存,具有强功能指令集。此外,还要使用专门的图像处理芯片,如 DCT 处理器、量化处理器、可变长编码器、可变长译码器、可变长移位 FIFO 等。使用这些硬件,研制成的实时编码压缩处理卡,可在 25ms 内完成一幅高达 4MB 的 SAR 图像编码压缩处理,压缩比 10 以上,完全可达到实时压缩处理。

但是,以上专用芯片、DSP,造价昂贵,每片售价均在 3000 元人民币以上,这样,仅制成的一块处理卡,高达 5 万元以上人民币,此外,使用的微机要用 VL 总线(与 CPU 速度相同,高达 50M 速度),即 VL486DX/66 以上才可。这样,整个系统的造价,令人生畏。

5 结 束 语

通过对以上三种编码压缩处理的研究和探讨,基于我们实际的经济实力和可能,我们选定了第一、二种方法。

在时间要求不严的条件下，我们采用第一种全软件法，此方法外购件不多，软件完全自己编制，可灵活、方便地增加、修改方案，充分发挥软件编制者的水平和聪明才智，整套造价 5 万元人民币就可完成。

对于 SAR 图像编码压缩系统的国家“85”科技攻关任务，我们采用了第二种方案。因为我们是在得到 SAR 胶片后，先进行全部数字化处理，进行全部 SAR 图像的滚动显示。当选中某几幅感兴趣的图像后，再将这几幅图像进行编码压缩、传输、送给卫星小站，因此，属于事后准实时处理，所以，选择第二种方案是切实可行的。实践表明，使用该方法，获得了满意的结果，一幅 2048×2048 的 SAR 图像编码压缩需 80 秒时间，压缩比大于 10，失真率小于 5%，系统信噪比大于 35db，完全满足 85 科技攻关任务的要求。

Image Coding Compression System of Synthetic Aperture Radar

Huan Lianqing, Bai Yuhong, Hu Chunju, Xu Zhonghai and Cong Hui

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun130021)

Abstract

This paper discusses the principles of quasi-real time coding compression of SAR images and the realizing method in the project. According to the information theory and features of SAR images, three design methods of coding compression are given. The best one has been chosen, which uses a digital signal processor, hardwares and softwares. The practice shows that a 2048×2048 SAR image can be coded and compressed within 80 second by this method, the compressing ratio is greater than 10, SNR is greater than 35 db meeting the requirements of the project.

Key words: Data compression, Predictiue coding, Images transmission, Coding compression.