

文章编号:1000-582X(2003)09-0115-04

# 机-星-地遥感图像传输系统的设计\*

马大玮<sup>1,2</sup>, 杨士中<sup>1</sup>, 余平<sup>1</sup>

(1. 重庆大学通信工程学院, 重庆 400044; 2. 重庆通信学院, 重庆 400035)

**摘要:**机-星-地系统在遥感图像的传输中十分重要。该系统设计的关键是系统各组成部分的功率分配, 决定系统实现的制约因素是遥感图像压缩电路的性能。文章根据遥感图像传输的要求, 首先计算了系统各级所应具备的发送功率, 然后根据飞行器的有效发送功率决定的传输带宽上限设计了基于小波方法的遥感图像压缩处理系统, 详细分析了系统的小波基选择、系统总体框图及视频图像压缩电路的具体技术路线。实验结果表明, 该系统设计方案可行, 性能满足机-星-地遥感图像传输的需求。

**关键词:**遥感传输; 图像压缩; 卫星通信; 小波

**中图分类号:**TN919.81; TN943.2

**文献标识码:**A

在遥感系统应用的许多场合, 遥感飞机与地面处理站之间相距十分遥远, 二者之间的通信和控制必须采取中继方式才能实现。卫星通信由于其覆盖范围的广域性, 从而成为这种中继方式的首选, 利用同步卫星进行中继, 对远距离的遥感图像进行中继传输, 便构成了“机-星-地”的遥感图像传输系统。本文就讨论这种系统的一种设计方案。

## 1 系统总体方案

机-星-地系统传输示意图如图1所示<sup>[1]</sup>, 卫星转发器采用类似 Inter. Sat. IV 的同步卫星。在该系统中, 各要素的性能及其指标为表1所示。

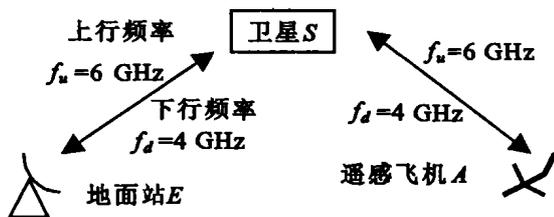


图1 机-星-地图像传输系统示意图

## 2 系统的功率计算

图像的传输速率决定了系统所需功率, 因此系统的功率计算必须首先确定图像数据的速率。

表1 机-星-地图像传输系统的性能指标

性能	指标
遥感飞机的飞行速度 $V/m \cdot s^{-1}$	200
观测地带宽度 $W/km$	18
观测分辨力 $\rho/m^2$	$10 \times 10$
遥感图像码率/ $bits \cdot pixel^{-1}$	2
飞机上抛物面天线直径 $D_a/cm$	30
飞机上抛物面天线效率 $\eta_a$	0.85
机载接收机噪声温度/K	40
传输体制	PSK-FDM
地面站抛物面天线直径 $D_g/m$	10
地面站抛物面天线效率 $\eta_g$	0.85
地面站接收系统噪声温度/K	40
上行频率 $f_u/GHz$	6
下行频率 $f_d/GHz$	6
卫星天线对 4 GHz 频率增益/dB	25
星-地、机-星斜距 $R/km$	37 000
误码率 $P_e$	$\leq 10^{-6}$

### 2.1 图像传输数据率

图像传输的速率由原始数据速率的大小、图像压缩比的大小, 以及信道编码冗余的大小三者决定。遥感飞机观测地带示意图如图2。在遥感图像序列的刷新率为1帧每秒的情况下, 象素率为  $\frac{wv}{\rho x \rho y} = 36 \text{ kpixels/s}$ , 经过压缩编码后, 图像按 2 bit/pixel 输出压缩图像, 则

\* 收稿日期:2003-04-01

基金项目:重庆市应用基础研究基金资助项目(7257)

作者简介:马大玮(1972-),男,四川盐亭人,重庆大学博士研究生,主要研究方向为无线图像通信。

压缩图像数据率为:

$$R_c = 2 \times 36 = 72 \text{ kb/s} \quad (1)$$

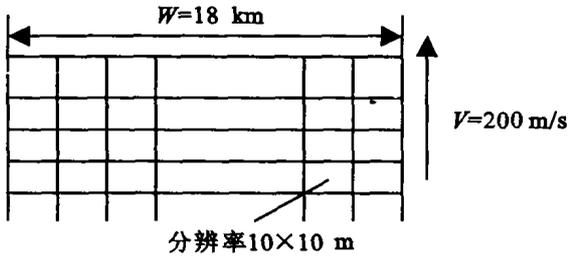


图2 遥感飞机观测地带示意图

为对抗信道误码所带来的影响和数据码流同步的需要,采用8 kb/s的容量用于同步和校验,则

$$R_c = 80 \text{ kb/s} \quad (2)$$

### 2.2 BPSK 解调 $[C/T]_{\text{BPSK}}$ 计算

对于BPSK,当误码率  $\rho_e \leq 10^{-6}$  时,要求:

$$[E/N_0] = 12 \text{ dB} \quad (3)$$

设计贮备容量  $[E] = 4 \text{ dB}$ , 则(3)式变为:

$$[E/N_0] = 12 + 4 = 16 \text{ dB} \quad (4)$$

接收机带宽为:

$$B = 2R_c = 2 \times 80 = 160 \text{ kHz} \quad (5)$$

则BPSK接收系统的  $[C/T]$  为:

$$[C/T]_{\text{BPSK}} = [E/N_0] + 10\lg R_c + 10\lg k = 16 + 10\lg 80000 - 228.6 = -163.6 \text{ dBW/K} \quad (6)$$

### 2.3 卫星下行转发功率计算

当考虑到上行噪声和转发器内交调噪声,下行  $[C/T]_D$  应按下式计算:

$$[C/T]_D = [C/T]_{\text{BPSK}} + 10\lg(1 + \gamma) \quad (7)$$

$\gamma$  取决于卫星通信线路的噪声分配,对于FDMA系统,

$$\gamma = (N_u + N_{is})/N_D \quad (8)$$

其中,  $N_u$  为上行热噪声,  $N_D$  为下行热噪声,  $N_{is}$  为卫星内交调噪声。

根据IS-IV卫星系统的性能指标,其噪声分配如表2,则:

$$\left[\frac{C}{T}\right]_D = -163.6 + 10\lg\left(\frac{4210 + 1130 + 2160}{4210}\right) = -161.1 \text{ dBW/K} \quad (9)$$

表2 IS-IV系统的噪声分配表

性能	指标/PW
上行热噪声	1 130
下行热噪声	4 210
星内交调噪声	2 160
地面设备内部噪声	1 500
其它系统干扰	1 000
总和	10 000

下行路损:

$$[L_D] = 20\lg\left(\frac{4\pi f_D R}{C}\right) = 195.8 \text{ dB} \quad (10)$$

地球站接收天线增益为  $G_E = \eta_E \left(\frac{\pi D_E}{\lambda_D}\right)^2$ , 所以

$$[G_E] = 10\lg\left[0.85\left(\frac{\pi \times 10 \times 4 \times 10^9}{3 \times 10^8}\right)^2\right] = 51.7 \text{ dB} \quad (11)$$

$$[TE] = 10\lg(40K) = 16 \text{ dB} \quad (12)$$

推出:

$$\left[\frac{G}{T_E}\right] = [G_E] - [T_E] = 35.7 \text{ dB} \quad (13)$$

卫星转发器:

$$EIRP_s = \left[\frac{C}{T}\right]_D + [L_D] - \left[\frac{G}{T}\right]_E \quad (14)$$

将式(9),(10),(13)代入(14)得:

$$EIRP_s = -1.5 \text{ dBW} \quad (15)$$

在160 kHz带宽内卫星转发器功率为:

$$P_u = EIRP_s - [G_{\text{dGHZ}}] = -1.5 - 25 = -26.5 \text{ dBW} = 2.2 \text{ mW} \quad (16)$$

### 2.4 遥感飞机上行功率计算

遥感飞机上行发射功率的计算与卫星转发功率的计算类似,在此不再阐述,仅给出结论,详细推导过程参见文献[1]。

按照表1所示的飞机性能指标,飞机的机上天线增益为:

$$G_d = 10\lg\left[\eta_d\left(\frac{\pi D_d}{\lambda_u}\right)^2\right] = 24.8 \text{ dB} \quad (17)$$

则遥感飞机上行发射功率为

$$P_u = EIRP_d - G_d = 6.7 \text{ dBW} = 4.7 \text{ W} \quad (18)$$

## 3 遥感图像压缩电路的设计

根据式(1)的计算,如果用8 bit/pixel来表征图像的每一个像素点,要得到最大为2 bit/pixel的压缩码流,必须经过4:1无损压缩处理,如果图像序列刷新次数大于1帧每秒引起原始数据率增加,或者由于信道的特性劣化导致用于校验与同步的码字增加,由于系统各部分的功率受限,必须保持总码率为80 kbps不变,减少压缩码流的大小,即增加压缩比。这样就要求图像压缩系统必须:

1) 能够支持至少4:1的无损压缩;

2) 能够支持压缩比可变的有损压缩,同时图像重建质量较高。

与一般图像相比,遥感图像数据的相关性较弱,具有高熵值和低冗余度的特点,故进行高性能的编码是非常困难的。传统的编码方法主要有DPCM、矢量量化(VQ)和JPEG、MPEG等,但应用于遥感图像领域仍存在着一定的局限性,如DPCM的压缩倍率不高,VQ的码书设计与最优码矢匹配的计算复杂度随矢量维数上升而急剧增加,基于DCT变换的JPEG和MPEG方法

在量化误差较大时会存在明显的“块效应”,导致严重的视觉失真。因此,遥感图像的压缩需要兼顾高压缩比,高性能和低复杂度等要求。

与传统方法相比,小波变换具有压缩比大,有利于层次性传输的特点,尤其在用于无线信道传输时,接收方能够根据接收到的数据码流由粗到细重建图像,即使当出现误码时,只会影响图像重建的精度,而不会出现整幅图像的不可懂。因此,本系统采用小波方法进行图像的压缩。

### 3.1 小波基选择

在小波图像编码中,最优小波基的选取是一个很重要的问题,在许多准则中,正则性、对称性、消失矩的阶数、滤波器的长度以及有理数系统、精确重建特性,都成为面向不同实际问题的选取因素。由于其自身的特点,在遥感图像编码中,更侧重于保留原始图像中的点、线等小目标信息,因为它们往往是一幅遥感图像的重要价值所在,这就要求适合于该类图像的小波基满足两两正交、支集短、正则性好及保持线性相位等特性。对于图像小波基的选择,以往的研究表明:

- 1) 重建滤波器  $\tilde{\Psi}$  的正则性越好,得到图像的效果就越好,当图像质量要求较高时,要选择  $\tilde{\Psi}$  比  $\Psi(x)$  好的双正交小波<sup>[2]</sup>。
- 2) 对于相同阶的消失矩,正则性越好编码的效果越好;对于相差不大的正则性,则消失矩的阶数越高编码效果越好。正则性的重要性强于消失矩<sup>[4]</sup>。

在图像压缩研究中, Antonini(9,7) 双正交小波<sup>[4]</sup> 相对于其它小波基显示出恒定的优良性能<sup>[2,5-6]</sup>,它的尺度函数与小波函数如图 3,这个小波基的特点是:

- 1) 分解小波与重建小波具有相同的消失矩,皆为 4;
- 2) 重建小波的正则性较高,因而在解码时将拥有更高的重建图像质量。

因此本系统选取 Antonini(9,7) 双正交小波进行图像压缩。

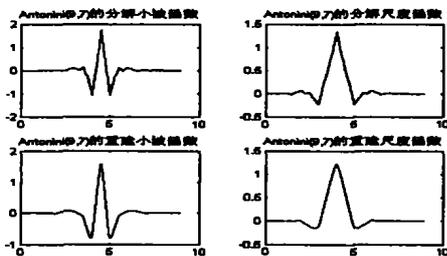


图 3 Antonini(9,7) 双正交小波的尺度函数和小波函数

### 3.2 图像压缩处理框图

遥感图像有多种,包括航空摄影、雷达成像、气象云图等,本系统以电视 CCD 图像为主要业务量,故主要进行视频图像的小波压缩,其电路框图如图 4 所示。

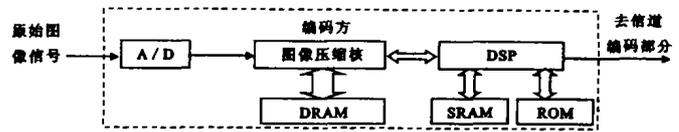


图 4 机载遥感视频图像压缩系统框图

其中的图像压缩核是压缩视频图像的关键,它对视频图像处理的方框图为图 5。

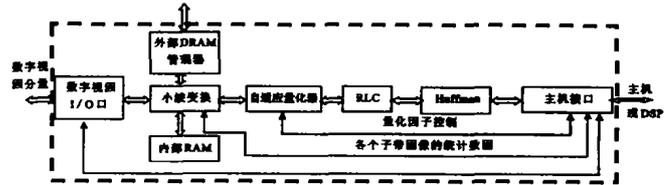


图 5 视频压缩系统中图像压缩核的框图

### 3.3 视频压缩电路的说明

- 1) 小波变换核:经小波核将图像由空间域转换到小波域之后,能够得到彩色遥感图像的 Y、Cr、Cb 三分量共 42 个子带数据。
- 2) 自适应量化器:用于对小波系数进行量化,量化是根据人眼的一个视觉特性进行的,即人眼对高频部分的敏感性不如低频部分,这样通过对图像滤波后的信息进行自适应量化,就能在视觉不受影响的情况下,实现压缩功能,自适应量化与小波变换及熵编码的关系如图 6 所示:

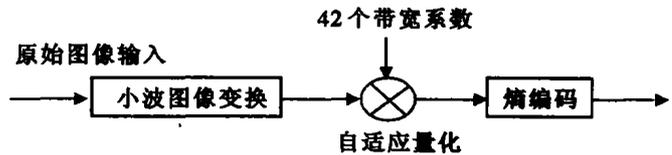


图 6 小波变换/量化/熵编码关系示意图

- 3) RLC 游程编码器:将量化器输出的信息进行游程编码,为 Huffman 编码做准备。
- 4) Huffman 编码器:其主要作用是对量化后并经过游程编码的系数值再进行 Huffman 编码,经过多次多幅典型图像的实验,选用 3 个固化好的 Huffman 编码表,以减少硬件计算量,提高实时处理的速度,对于经小波变换后的视频信号而言,使用该表后有较高的性能。

- 5) 带宽系数计算:从图 6 可见,自适应量化的过程就是将小波变换后所得的 42 个子带数据与相应子带的带宽因子相乘,从而得到量化的效果。量化是根据视觉对图像的敏感程度做出处理,人的视觉对低频信号比较敏感,对高频信号则不大敏感,因此小波核将图像的逼近子图不断划分,增加量化,确保图像框架信息的正确传输,对于图像的细节子图则可根据不同的业务要求选择传输,对分辨率要求较高的业务予以传输,而在分辨率要求较低时,则根据实际情况可传可不传,从而实现渐近传输的目的。按照带宽系数  $bw[j](1 \leq j \leq$

42) 计算的原理<sup>[2]</sup>, 得到其计算公式为:

$$bw[j] = scrunch \times \min[j] + (1 - scrunch) \times \max[j] \quad (19)$$

$$scrunch = loop - gain \times err + int - gain \times err - int + dir - gain \times err - dir \quad (20)$$

计算出 scrunch 后, 先归一化处理, 然后再用于 bw[j] 的计算。

带宽系数的计算由图像压缩核外接的主机或者 DSP 来完成, 自适应量化器将每个采样样本除以 BW, 考虑到硬件实现乘法比除法方便, 将每个样本乘以 1/BW (RBW) 以降低计算量, 实现编码; 解码所需的 BW 存储为压缩数据的一部分 (图 7)。



图 7 输出压缩码流结构

### 3.4 图像压缩系统性能

利用此图像压缩电路对视频信号压缩时, 同样一幅图像的最大压缩比可达到 350:1 (对不同的图像可以达到的最大压缩比不同), 而用 Radius 开发的 Cinepark 编码实现的压缩和用 Microsoft Video - 1 实现的最大压缩比分别可达到 35:1 和 24:1, 这说明本视频压缩系统对同样一幅图像可实现的压缩比的范围比其它方式大, 就所获得的压缩质量来看, 同样的压缩比, 经过本系统压缩处理的图像分辨率更高些。

该系统对于通过摄像机采集的视频图像, 具有可变速率、可变分辨率、可变刷新率等多种功能 (表 3), 码率最低可以达到 28.8 Kbps, 刷新率最低可以达到 1 帧 / 2 s, 分辨率最低可达到 QQCIF。这样系统在实际运用中, 就可以根据实际情况接收遥控指令, 改变相应参数配置, 达到运用要求。

表 3 视频压缩系统性能表

性能	指标
码率 / Mbps	45, 33.6, 19.7, 14.1, 9.7, 9.2, 8.7, 8.2, 7.7, 7.2, 6.7, 6.1, 4.1, 2.6, 2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 0.12, 0.08, 0.029
刷新率 / Field. s <sup>-1</sup>	60/50, 25/30, 15/12, 5, 12, 10, 5, 1, 0.5
分辨率	CCIR601, CIF, QCIF, QQCIF, QQCIF

## 4 结 论

机 - 星 - 地系统目前无论在军用或民用遥感中都得到了广泛的重视, 此系统设计的关键部分是功率分配, 而决定系统实现的制约因素是遥感图像压缩电路的性能。笔者对这两部分的分析以及所研制的视频电路的性能都表明, 这种机 - 星 - 地系统是可行的。

### 参考文献:

- [1] 杨士中, 张健, 唐朝伟, 等. 一种机星地遥感传输系统的设计 [A]. 全国第三届遥感遥测学术会议 [C]. 湖北十堰: 中国遥感遥测学会, 1998. 207 - 211.
- [2] 马大玮. 小波图像压缩编码算法及应用研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2002.
- [3] E. A. B. DA SILVA. On the Performance of Linear Phase Wavelet Transform in Low bit - rate Image Coding [J]. IEEE Trans. On IP, 1996, 5(5): 689 - 705.
- [4] ANTONINI M, BARLAUD M, MATHIEU P, et al. Image Coding Using Wavelet Transforms [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1992, 1(2): 205 - 220.
- [5] 李云松, 吴成柯, 张正阳, 等. 基于内嵌小波变换的遥感图像编码 [J]. 电子学报, 2000, 28(10): 27 - 30.
- [6] 李强, 王正志. 基于小波理论的遥感图像高保真压缩方法研究 [J]. 遥感学报, 1999, 3(1): 31 - 37.

## Design of Aircraft-satellite-earth Remote Sensing Image Transmission System

MA Da-wei<sup>1,2</sup>, YANG Shi-zhong<sup>1</sup>, YU Ping<sup>1</sup>

(1. Communication Engineering College of Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Chongqing Communication Institute, Chongqing 400035, China)

**Abstract:** Aircraft-satellite-earth system is very important in remote sensing image transmission. The key point for such system designing is the distribution of system power among sub-systems. The realization possibility of this system depends on the performance of remote sensing image compression circuit. According to the demands of remote sensing image transmission, this paper first computes the distribution of power among sub-systems. Secondly, a remote sensing image compression system based on wavelet is designed according to transmission power of aircraft, emphasized on the selection of wavelet basis, the function block diagram of system and the details of video compression circuits. The experiment results show that the system design scheme is realizable and its performance satisfies the demands of aircraft - satellite - earth remote sensing image transmission system.

**Key words:** remote sensing transmission; image compression; satellite communication; wavelet

(编辑 吕赛英)