

遥感信号星上预处理

翁垂骏 李正常 周言木

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要——描述了对 FY-1 气象卫星扫描辐射计所探测的五通道地球信号进行星上实时数字预处理的方法。最终输出数字量高分辨率图像传输资料 HRPT 和经图像几何畸变校正的自动图象传输资料 APT。

关键词——图象传输资料, 数据速率变换, 几何畸变校正。

1. 引 言

我国风云一号气象卫星上的 360 rpm 甚高分辨率扫描辐射计 (VHRSR), 具有可见、红外五个探测波段, 可以昼夜获取云的分布、地表、海面景象及温度等信息。本工作的目的就是把把这些信息在星上作实时图像数字处理, 并加入数据反演所需的参考黑体信号、温度和校正参数。按照规定的格式帧要求输出高分辨率数字图像传输资料 (HRPT) 和经几何畸变校正的自动图像传输资料 (APT)。

处理机必须满足传输型业务卫星所提出的三个要求; 即实时处理, 每扫描帧不积累地连续发送资料; 资料全球共享, 按国内外地面站均可兼容接收的格式编排信号; 低功耗和高可靠性。

2. 接收信号

辐射计的 45° 反射镜圆周扫描, 把目标辐射引入光学成像系统, 会聚于探测器, 经光电转换输出电信号。系统的空间分辨率为 1.2×10^{-3} rad, 当它以恒定速率 360 rpm 扫描时, 其瞬时视场对应的目标驻留时间为

$$\tau_d = \frac{1.2 \times 10^{-3} \text{ rad}}{2\pi} \cdot \frac{1}{6} = 31.83 \mu\text{s},$$

通道放大器信息宽带取

$$f_H = \frac{1}{2\tau_d} = 15.7 \text{ kHz},$$

同时有五个探测通道的信号输出. 通道采用交流耦合放大, 以消除辐射计自身辐射和电路直流漂移的影响. 辐射计从背阳光面扫入地球, 把观察地球前冷空间作为恒定辐射(反射)基准, 在冷空间位置产生 3 ms 直流恢复指令, 对信号同步箝位至零电平, 在箝位电容 C 上建立起对应冷空间的 $-V_0$ 电压, 并在远大于扫描周期的时间内加以保持, 则观察地球期间的信号便和箝位 $-V_0$ 电压模拟信号相减得到目标绝对辐射(反射)信号. 箝位电压精度为 99.7%, 地球信号精度保持 99.47%. 为保证箝位的功能, 在考虑到卫星高度和姿态偏差后, 直流恢复指令位于零相位点后 $1.31 \sim 7.80^\circ$ 位置, 确保在观察地球前 2.4° 结束.

图 1 为辐射计扫描几何关系和全景信号. 卫星高度 $H=900$ km, 辐射计对地球的张角为 122.4° .

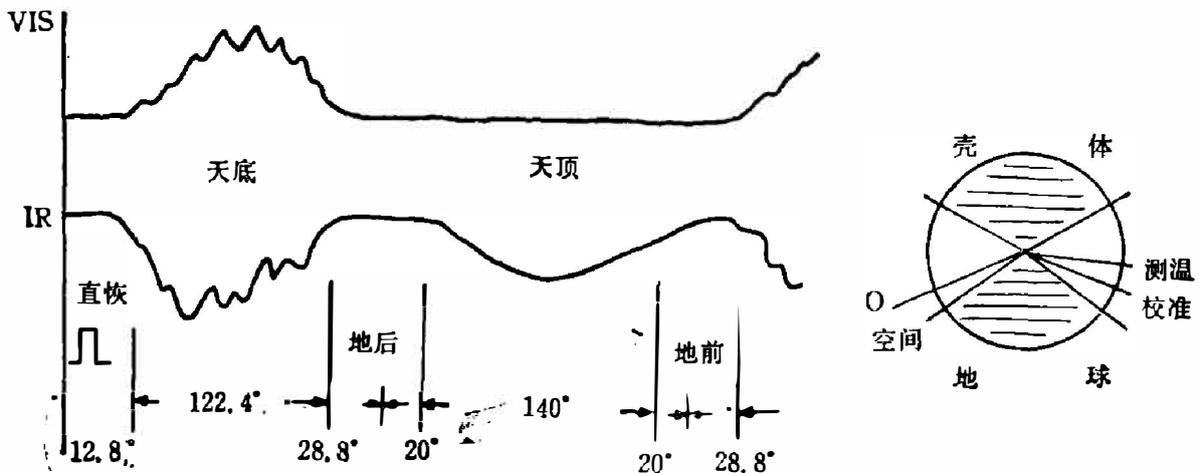


图 1 辐射计扫描几何关系和全景信号

Fig. 1 Radiometer scanning geometry and all-scenery signals.

3. 相位基准和采样指令

由位于扫描镜转轴上的磁感应脉冲发生器产生的脉冲基准, 经比较器鉴幅和脉冲计数鉴宽处理, 消除外感应干扰. 时序设计确定, 在天底前 74.02° 时产生脉宽 $5 \mu\text{s}$ 的高精度零相位基准 pip^* . $CP=199.62$ kHz 的五级同步计数器组成扫描时序电路, 由 pip^* 同步决定时序长度; 当原始磁脉冲晃动超过标称扫描周期 $5 \mu\text{s}$ 时, 计数机自行复位, pip^* 不再起同步作用, 以保持指令的时间稳定性. 各项采样指令均有译码产生.

4. VHRSR/HRPT 处理

4.1 并联运行的 A/D 技术

本系统获取的地球信息去除边缘畸变较大区域后, 取星下点两侧 $\pm 55.4^\circ$ 范围, 共有 1612 个像元, 采样频率为 40 kHz, 每个通道采样 2048 样元. 若按多路时分传输采样, 每通道 A/D 转换时间仅 $5 \mu\text{s}$, 这就要求编码速率要高达 2 MHz 以上, 而且万一单片 A/D 损坏, 将使五通道全部失效. 为此, 采用五路并联运行 A/D 转换(见图 2). CP 用外同步 500 kHz 时钟, 转换时间为 $15 \mu\text{s}$, 因此编码速率可降低 4 倍, 从而提高了可靠性. 转换后 8 bit 数据

并行输出,在锁存令作用下存入锁存寄存器,此时输出呈 z 态. 在写入启动令控制下使送数发生器工作,产生五个送数脉冲分时,依次作用五路锁存器输出控制端. 把第 N 次采样周期的数据在 $N+1$ 次采样时分 5 次依次把通道 1~通道 5 数据打入静态 RAM(M_1),送数脉冲兼作 RAM 地址计数器的 CP ,同时,继续第 $N+1$ 次的 A/D 转换,此数据再在第 $N+2$ 次采样周期内依次送往 M_1 . 对应地球区五通道的 10 K 存储量由 5 片 $2K \times 8$ ($M_{1.1} \sim M_{1.5}$) 分时间串联写入数据.

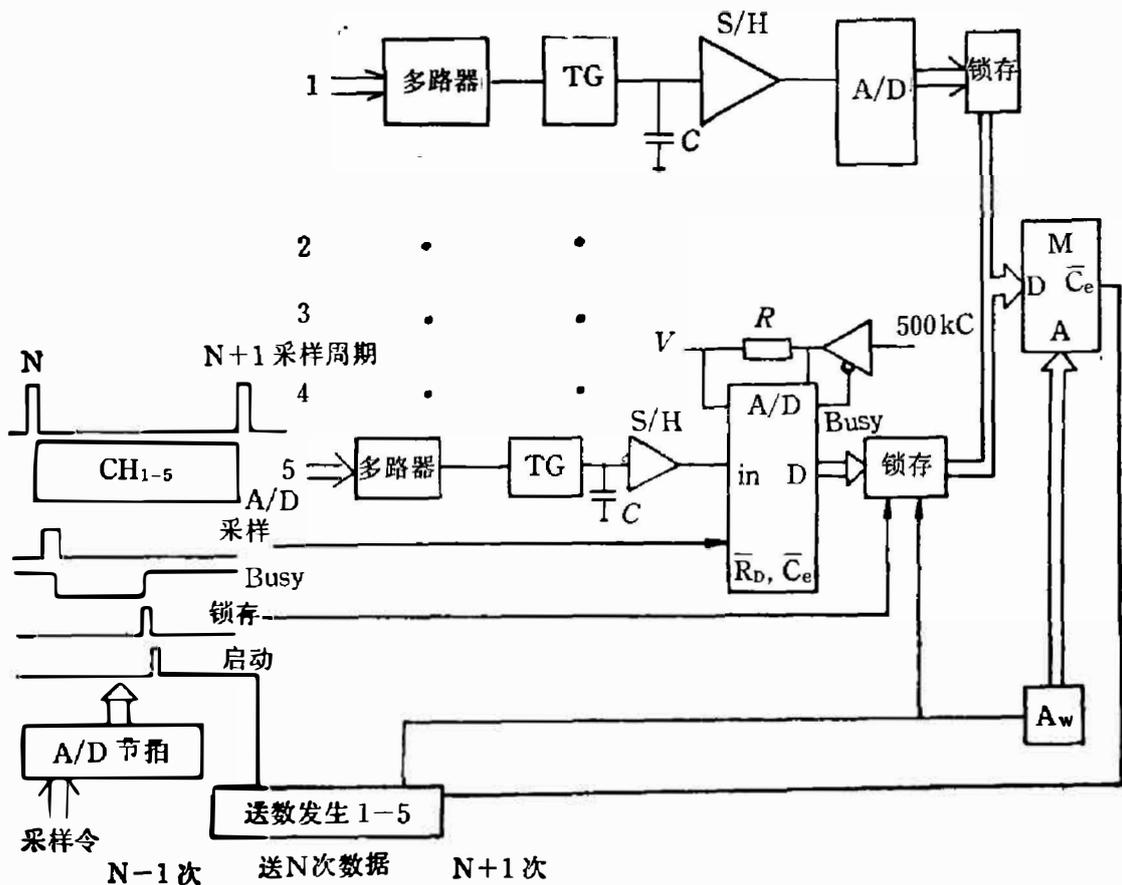


图 2 HRPT-A/D 工作节拍和框图

Fig. 2 HRPT-A/D operation and block diagram.

4.2 数据速率变换, 图象展宽和实时边写边读技术

由于辐射计扫描地球仅占扫描周期的 $1/3$, 发送时利用 RAM 作数据速率变换, 使每一 HRPT 格式帧长度等于扫描周期, 从而减小对传输码速率和载频通带的要求, 并实现图象展宽.

传输码速率为帧长 (11090 字) \times 字长 (10bit) \times 扫描速率 (6/s) = 665.4 kb/s

为实现 HRPT 输出格式, 首先建立正确的 RAM 读写相对时间关系. 系统从零相位 pip^* 算起, 在 $t_1 = 8.62$ ms 开始采集地球数据, A/D 后数据在写 \bar{W}_n 控制下存入 RAM, 原则上存满第一片 ($M_{1.1}$) 2 K 字后 (占 $t_2 = 10.24$ ms) 便可把管理权移交给读控制 \bar{R}_n , 而 HRPT 编排读地球输出是在第 751 字, 即 $t_3 = 11.27$ ms. 因此, 用 pip^* 脉冲经数字延时 τ 后产生读启动脉冲去引导和同步读控制电路; 它决定了 HRPT 格式的起始点. 延时时间是 $\tau = (t_1 + t_2) - t_3 = 7.95$ ms (实取 9.5 ms), 读操作速率为 66.54 k字/s, 比写操作速率降低三倍,

在作 $M_{1.1}$ 读操作时,第 $M_{1.2}$ ~第 $M_{1.4}$ 继续在写入地球数据,读完 $M_{1.1}$ 后连续读 $M_{1.2}$,此时在写 $M_{1.5}$,再读 $M_{1.3}$ ……,选中哪一片由 $\bar{c}_n = R_n + W_n$ 决定, RAM 作何动作由 R_n/W_n 决定 ($n=1\sim 5$), W_n/R_n 分别由地址计数器高位译码产生. 存取操作采用双向数据出入口控制,由 W/R 决定数据流动方向. 又因读写速率不同,配备两组地址计数器,用 R/W 信号管理 RAM 地址总线上写或读的地址数. 对每一片 RAM, W/R 时间是不重叠的,从而达到边写边读目的,读完全部地球数据的时间为 153.888 ms, 占 332.4° , 实现了数据速率的变换和

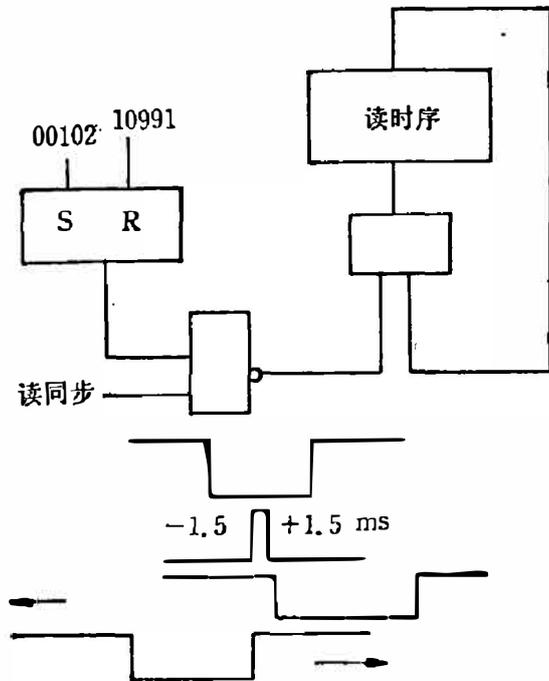


图3 读时序判别和调整

Fig. 3 Differentiation and adjust of read sequence.

图像的展宽,其余 12.779 ms 即 27.6° 传输同步、遥测,时间码和姿态码参数,共 11090 字,实现了数据不积累的实时发送.

读控制电路在进入正常相位后脱离读启动脉冲. 用时钟同步的字速率脉冲计 11090 字时稳定工作,可消除扫描器基准脉冲抖动对输出码速率的影响. 若遇到某种严重干扰造成读写时间混乱时,读时序电路具有自判别调整功能,时序可在 00102~10991 字间产生负脉冲和读启动脉冲经与门电路相与,再次输出启动脉冲重新快速对相,使进入正确的相位位置如图 3 所示,上述两个脉冲时差调整范围为 ± 1.5 ms.

4.3 目标反演数据副存储器 M_2 的设置

根据定标原理,目标辐射量的反演需要采集空间、内部参考黑体信号和温度、探测器温度等要素,并插入 256 级阶梯校准电压以检验处理机的线性度,把这些内容从多路器输入, A/D 转换后

存入副存储器 M_2 中. 然后插入图像信息流中一起发送.

上述采集的内容在 M_1 、 M_2 中的读写时间关系和存储单元如图 4 和表 1 所示. 把第 N 次扫描的空间字写入 41~90 单元,然后读控制产生 M_2R 指令,把上述内容重新编排读出第 $N-1$ 次扫描的校准字、测温、参考黑体信号,接着读第 $N-1$ 次空间数据,再继续写第 N 次校准、测温和黑体……,依次循环; M_2 设计数值为 90 的循环地址计数器,它在写校准令前沿归

表 1 M_2 写读时序

Table 1 M_2 write-read sequence.

扫描帧	内容	地址	R/M	时间(ms)
N	空间	41~90	W	3.36~3.61
$N-1$	校准	1~5	R	9.698~9.774
$N-1$	测温	6~10	R	9.774~9.849
$N-1$	黑体	11~40	R	9.849~10.299
$N-1$	空间	41~90	R	10.299~11.051
N	校准	1~5	W	64.60~64.625 ms
N	测温	6~10	W	65.80~65.825
N	黑体	11~40	W	117.82~117.970

零. M_1 、 M_2 相互独立工作, 利用加宽一个采样周期的地球采样令脉冲去隔离 A/D 转换后数据的送数方向, 在地球区不让 M_2 变址和选中, M_2 的 R/W 控制令时间保证了它和 M_1 的写读操作时间协调性; 当 M_1 为写操作时 M_2 为读操作; 反之亦然, 共享数据总线. 其中校准信号由扫描基准脉冲驱动的 8 级二进计数器输出经 D/A 转换得到, 每扫一帧校准电平加 1 级, 共 256 级.

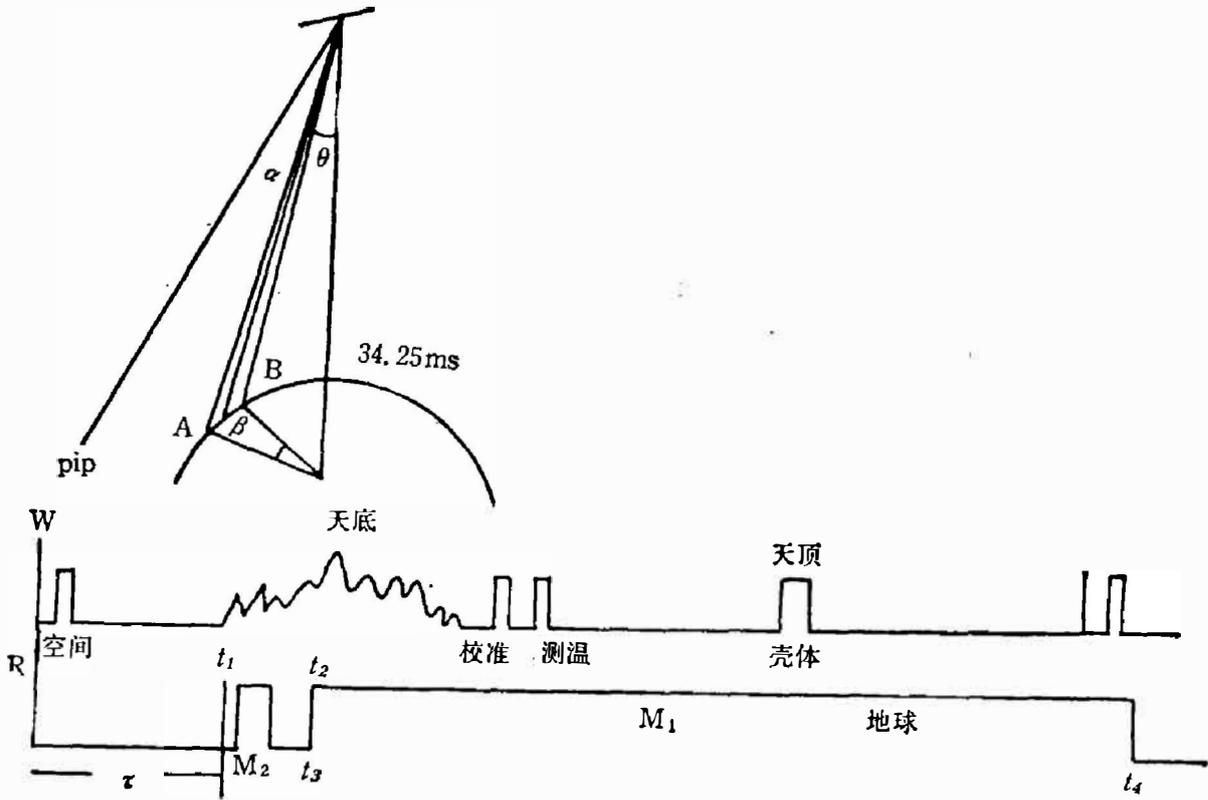


图 4 M_1 、 M_2 写读时间关系图

Fig. 4 M_1 、 M_2 write-read relative relation in time.

4.4 HRPT 格式形成

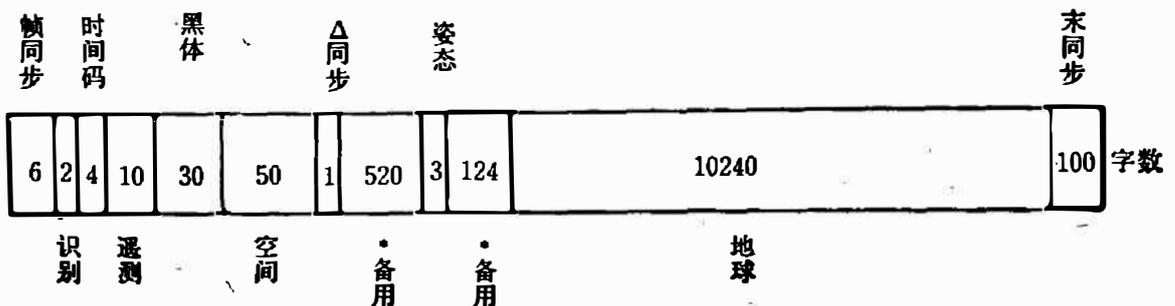
HRPT 输出格式参数如表 2 所示.

表 2 HRPT 格式参数

Table 2 HRPT format parameters.

帧速率	6 副帧/s	每字 bit 数	10, bit1=MSB, bit10=LSB
每帧字数	11090	位速率	665.4 kb/s
字速率	66.54 k字/s	码型	分相码 11, 10

其中副帧格式编排为



HRPT 格式中各项信号连接如图 5 所示。用多路/选择器 54LS153 进行编辑, 由读控制器产生 SAB 逻辑进行选择。

入口 0 帧同步, 由 6 级移位寄存器和串行反馈半加器构成, 在帧同步令作用下先置发生器全 1, 然后按多项式 $x^6+x^5+x^3+x+1$ 产生 $z^{n-1}(n=6)$ 循环伪随机码序列, 取前 60 bit 作为每帧 HRPT 数据的同步信号。

入口 1 传输并/串转换移位寄存器输出信号, 地球、遥测、时间、识别、黑体、空间、 Δ 同步数据均挂在数据总线上, 由读控制器产生指令选通移位输出。在读 M_1 、 M_2 时, 把数据总线上的 bit 9, 10 接地而补足 10 位, 其它期间呈 z 态。

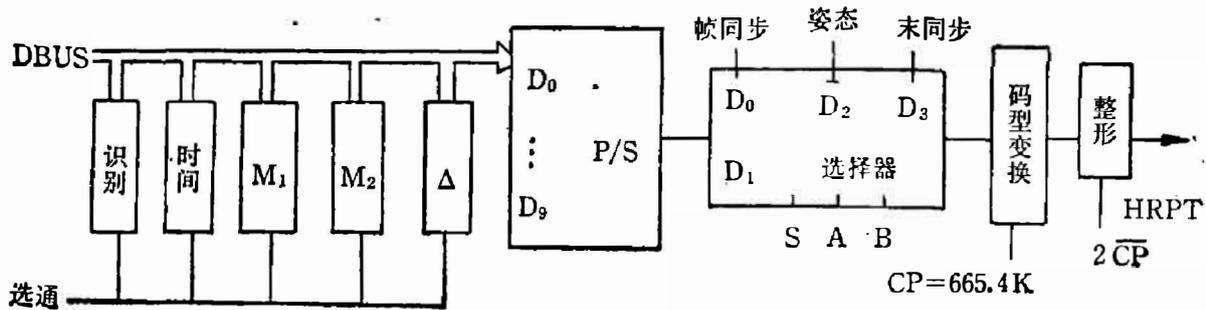


图 5 HRPT 格式形成连接框图

Fig. 5 HRPT frame format shape-taking and connecting diagram.

入口 2 传输姿态码。通过辐射计向卫星信号变换器发出请求, 实时传输串行 30 bit 姿态码。

入口 3 传末同步码。它由 10 级移位寄存器和串行反馈半加器构成, 在发生控制令作用下先置全 1, 然后按多项式 $x^{10}+x^5+x^2+x+1$ 产生长度为 $2^n-1(n=10)$ 的伪随机码循环序列, 取其前 1000 bit 作为地面站对传输误码率的检测和允许接收数据进计算机的判别。

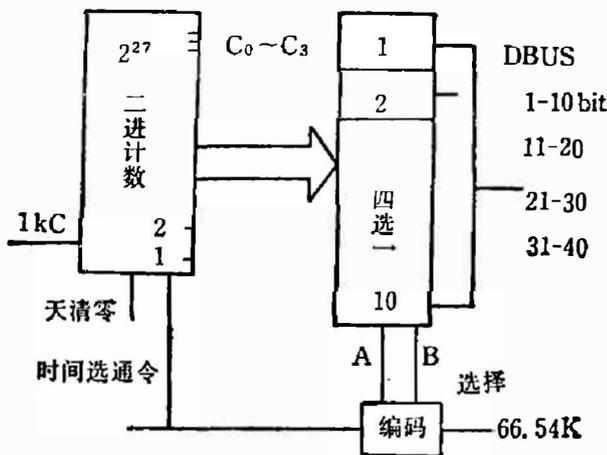


图 6 时间编排框图

Fig. 6 Time code editing diagram.

根据信息地理定位的需要 加入计时精度 1ms. 天计时 2^{27} 位的时间码. 时间选通发生 A、B 信号, 控制 10 片“四选一”器件入口 $C_0 \sim C_3$, 分时(字)传递 10 bit 计时值在 DBS 上, 如图 6 所示. 在 GMT 零时按需要由地面指令进行天清零, HRPT 中的发送时间要比该帧中地球数据星下点信号的时间提前 24.56 ms.

从多路选择器输出的是 NRZ-L 电平码 A, 通过异或非门 $y = A \oplus B$ 变为 $B\phi$ -L 分相码 ($B=665.4 \text{ kC}$). 再用和 B 相位相差

90° 的 1.3308 MC 作为 CP, 把分相码经 D 触发器整形后再用驱动器输出。

5. VHRSR/APT 处理

5.1 120 rpm 信息的实现

对扫描基准脉冲作三分频计数, 产生三状态副帧脉冲去控制时分开关。对原始景象信

指令 1, 2, 3

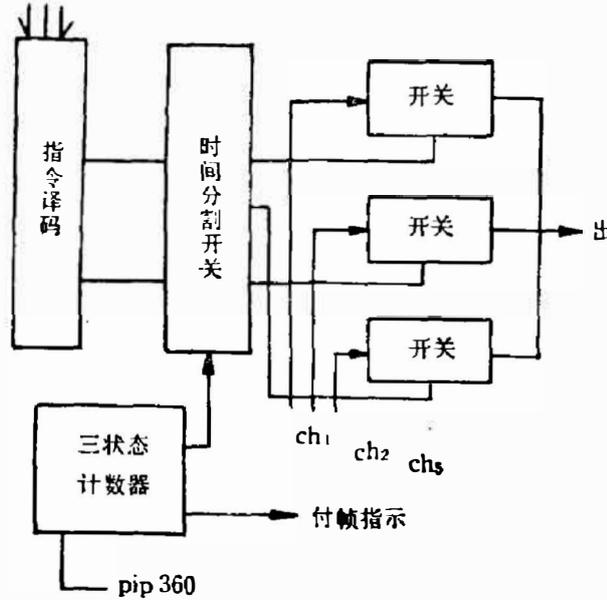


图 7 通道组态选择框图

Fig. 7 APT channel configuration selecting method.

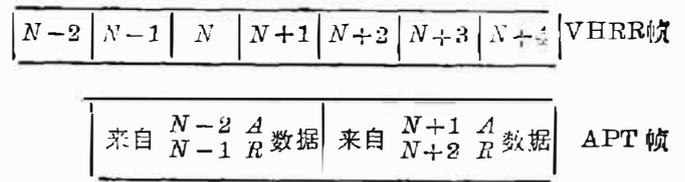


图 8 处理机输出/输入相对相位图

Fig. 8 The APT processor output/input frame relative phase.

息用时间分割多路传输“三取一”方式汇成 120 rpm 信息流。由遥控指令译码电路输出电平状态，结合时分副帧状态电平去控制传输开关，实现 APT 通道组态，从五通道中任选两个，目前只选编 1、2、5 通道，如图 7 所示。

VHRSR 帧变换成 APT 帧相对相位如图 8 所示，APT 处理操作时序如图 9 所示。

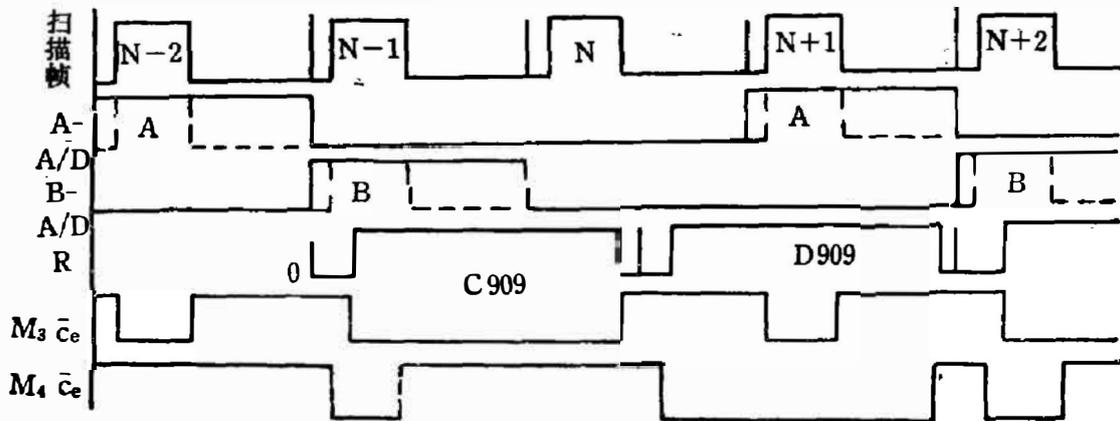


图 9 通道 A/D-RAM 操作时序

Fig. 9 APT operating sequence about channel A/D-RAM.

操作时先对 $N-2$ 次扫描取出 A 通道地球信息，经 A/D 存入被选中的 RAM3 中 对第 $N-1$ 次扫描取出 B 通道地球信息，经 A/D 存入被选中的 RAM4 中；与 $N-1$ 次扫描同步启动 APT 读控制电路，按格式编排第 87 字起对 M_3 作读操作计 909 字，经 1126 字后继续对 M_4 读操作 909 字，此时正值第 $N+1$ 次扫描对 A 信息又作 A/D 转换……依次循环，其中，第 N 次信息被舍去。存储器各自配地址计数器，在读写期间工作。计址速率入口由采集令(写 W)和读出时间 R 管，写入时用 A/D 送数脉冲，读出时用 4160 Hz 字速率。读出数据经 D/A 发送模拟量云图资料，读电路产生格式形成总和令(见图 10)，使状态计数器输出 $A、B、C$ 权函数控制 8 路交换子 1，分时传输 $A、B$ 预告、空间、地球和遥测内容，由每

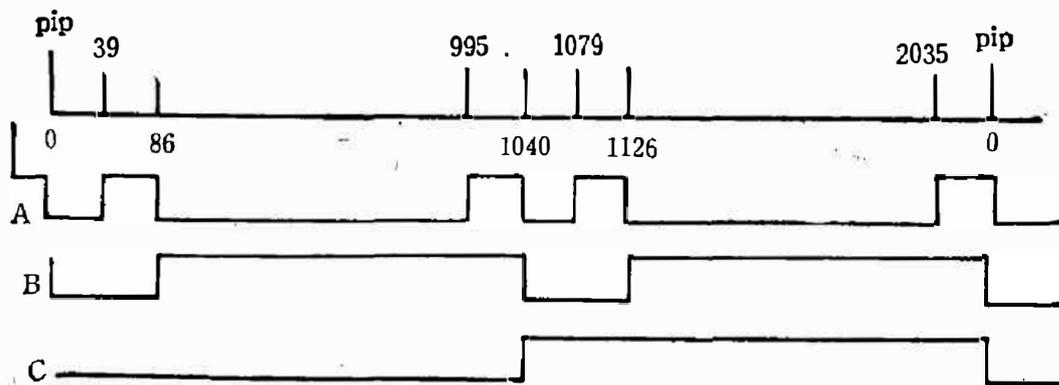


图 10 格式形成时序图

Fig. 10 APT format shape-taking sequence.

8 线进一的四状态信号控制 8 路交换子 2, 逐项递送 32 项遥测参数.

5.2 图象几何畸变校正

系统瞬时视场 α 在恒速扫过地球时, 由于地球表面弯曲引起天底和边缘位置地面分辨率 (\widehat{AB}) 随扫描角 θ 而变化

$$\widehat{AB} = R \cdot \frac{\pi}{180} \left\{ \arcsin \left[-\frac{H+R}{R} \sin \left(\theta + \frac{\alpha}{2} \right) \right] - \arcsin \left[-\frac{H+R}{R} \sin \left(\theta - \frac{\alpha}{2} \right) \right] - \alpha \right\};$$

于是 传真机在放回成像时, 就产生了图片几何畸变. 校正时, 取地球张角为 $\pm 55.4^\circ$, 依星下点两侧不同扫描角范围内地面分辨畸变系数分段校正, 采用非线性采样法, 逐个增大天底两侧各 5 个区域的采样速率, 其分区角度和区内采样频率用得到的地面分辨率曲线的起伏程度来平衡, 全区共 909 字.

取采样速度比值为 4:3:2:1.5:1, 最高采样频率为 40.0 kHz, A/D 为等待式工作, 转换时间为 $25 \mu s$, 数据存入 RAM 后, 以线性速率 4160 Hz 读出, 实现速率变换, 图象展宽, 并完成样元在时间轴上坐标变换而获得校正, 校正结果见本期第 88 页图 11. 视场平均分辨率为 4.5 km. 此方法有占用存储量小、使回放图片象点排列线密度相同、照片均匀、平均校正误差仅 $\pm 5\%$ 等优点.

5.3 APT 格式形成

APT 格式参数如表 3 所示.

表 3 APT 格式参数

Table 3 APT format parameters.

线速率	2 线/s	帧长	128 线
帧速率	64 s/帧	每线字数	2080 字
字速率	4160 Hz/s	遥测点数	A、B 各 16 个(8 线/点)

线格式编排为

39	47	通道 A 数据 909 字	45	39	47	通道 B 数据 909 字	45
同步 A	空间	分标	遥测 A	同步 B	空间	分标	遥测 B

6. 结果和应用

多层次的并联冗余设计提高了系统可靠性, 可靠性下限评估值 $R_L(\text{一年}) = 0.9537$. 处理机功耗为 6.5 W. 通过了各项环境试验, 在风云一号气象卫星上得到了成功的应用.

致谢——本工作得到了课题组内同志的大力协助. 曾参加过本工作的还有丁道生、李良新、杨武、刘松荷等同志, 在此一并致谢.

参 考 文 献

- [1] NASA-CR-160059.
- [2] The TIROS N/NOAAA-G satellite series, PB-283-859/AS.

PRE-PROCESSING OF REMOTE SENSING SIGNAL ON SATELLITE

WENG CHULJUN, LI ZHENGCHANG, ZHOU YANMU

(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, 200083, Shanghai, China)

ABSTRACT

This paper describes a method of on-satellite real-time digital pre-processing for the five-channel earth signal detected by FY-1 Meteorological Satellite Scanning Radiometer. Finally the digital high-resolution picture transmission data (HRPT) and the automatic picture transmission data (APT), in which image geometric distortion has been corrected, are outputted.