

综合孔径射电望远镜的实时数据采集系统和二维傅里叶变换硬件*

邝振焜

(澳大利亚悉尼大学电机系)

任芳斌 郑怡嘉 邱育海 庞雷 王新民 葆鸿启 张纯璐

(中国科学院 北京天文台)

李国华

(中国科学院 电子学研究所)

提 要

本文描述了为密云米波综合孔径射电望远镜研制的两项专用设备：数据采集系统和二维傅里叶变换硬件以及用它们与联机计算机（NOVA-3/D）一起进行的射电望远镜的实时数据采集和处理。此两设备已于1980年初研制成功，实际运行证明，工作正常，能满足需要。

一、引 言

当前，地球旋转综合孔径射电望远镜^[1]是射电天文观测的最强有力的工具，它在一轮观测中可获得一组在空间频率平面（ uv 平面）上的可见度函数的采样值，由此作适当变换可推出所需的观测天区的射电亮度分布。但此项技术带来的问题是大量观测数据的采集与处理。例如，对我们正在研制的密云米波综合孔径系统**观测的一套 uv 点有近百万个。由于我们拟用的联机计算机为小型机（NOVA-3/D），它的性能不足以负担全部数据的实时采集和处理工作。为此我们研制了以AM 2901位片型微处理机为核心的实时数据采集系统和以硬件乘法器（MPY-12AJ）为核心的二维傅里叶变换硬件（以下简称DFT）来分担联机计算机的工作。

澳大利亚悉尼大学为他们的Fleurs综合孔径系统研制了类似系统（文献[2]，文献[3]），我们在此基础上作了改进和发展以满足自己的要求。

二、实时数据采集系统

望远镜视场中射电天区投到天线阵元上的信息以192个通道的“相关”信号的方式收

* 1980年6月16日收到，1981年5月4日修改定稿。

** 此系统为东—西直线天线阵，由A阵（16面），B阵（12面）组成，各天线均为9m口径的抛物面天线，工作频率232 MHz。A阵与B阵相关，每10s输出 $16 \times 12 = 192$ 个相关点，天线阵全长约1km。

录下来。每一通道的输出包含实部 $R(\equiv W \cos \theta)$ 和虚部 $I(\equiv W \sin \theta)$ 两个分量。 θ 为相关信号的相位差。对于天区中任一点的信息,由于地球的自转,相应的 θ 随时间作准正弦变化,即:

$$\theta = \frac{2\pi d}{\lambda} \cos \delta \sin HA$$

式中: d ——相关天线的基线长度, λ ——接收信号的波长, δ ——赤纬角, HA ——时角,变化周期为 24 小时。

在实测中必须使采样间隔足够地短于这个准正弦周期。一般说来,这样的采样率很高。对于北京天文台系统,最高的相位 θ 的变化率可达 $70^\circ/\text{S}$ 。为了保证信噪比损失不超过 10%,在一次采样间隔内信号相位的变化不应大于 90° ,所以采样时间不超过 1.3 S,而综合孔径的一轮观测需持续采样 12 小时,这对于 192 个通道将给出 1,300 万个数据。为压低数据量,通常采用所谓“条纹相位跟踪(Fringe Stopping)法”^[4],即事先算出视场中心点所对应的瞬时相位 φ_k (每通道一个数),实时将每一通道的 θ_k 扣去相应的 φ_k ,这样所得之 θ' 的变化较原 θ 的变化可大为降低。在北京天文台系统,变化小到 $7.3^\circ/\text{S}$,约降低了一个数量级。这样采样间隔就可取为 10S。扣除 φ_k 的具体运算是:

$$R'_k = R_k \cos \varphi_k + I_k \sin \varphi_k;$$

$$I'_k = I_k \cos \varphi_k - R_k \sin \varphi_k.$$

为精确起见,对 R_k 、 I_k 每 10ms 采集一次,这期间 φ_k 的变化最大不超过 2° ,然后将每 10S 间隔内所得之 R'_k 、 I'_k 累加,总和 $\sum_{(10\text{S})} R'_k$ 、 $\sum_{(10\text{S})} I'_k$ 即为经过预处理之数据,供计算机记录。

总之,本系统实质上是一个包含以下三个功能的数字器件:

- (1) 每 10 ms 产生一个 φ_0 , $\varphi_0 = A \sin HA$, A ——选定的常数, HA ——实时时角。
- (2) 在同一 10 ms 中产生 192 个 φ_k , $\varphi_k = k\varphi_0$ ($k = 3, 4, \dots, 194$), φ_k 的精度达 2° 。
- (3) 将 192 个通道的射电天文信息(每通道包含一个瞬时幅度和一个瞬时相位)的相位值扣去相应的 φ_k , 给出新的输出信号,累积 10 S, 送计算机。

整个系统的工作分述如下:

(一) 各通道相位函数 φ_k ($k = 3, 4, \dots, 194$) 的产生

我们的综合孔径系统采用均匀间距的相关天线阵,各相关单元的基线长度为

$$d_k = kd_0 (k = 3, 4, \dots, 194)$$

所以只需根据单位基线长 d_0 计算基本相位函数 $\varphi_0(t)$, 而 $\varphi_k(t)$ 利用下面的迭代求得

$$\varphi_k(t) = \varphi_{k-1}(t) + \varphi_0(t) \quad (k = 3, 4, \dots, 194)$$

因为 $\varphi_0(t) = A \sin HA$ 于是问题归结为产生高精度正弦函数。通常方法是计算修正过的台劳级数,但为得到所需精度,这样做必须采用浮点数,并包含大量运算。更有效的是利用数字微分分析器 (DDA)^[4] 进行迭代。因为它只含有整数算术运算,很适于用微处理器进行。

由于正弦函数 $\sin \omega t$ 是简谐运动方程 $y = -\omega^2 y$ 的一个解,而该方程又与

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = \omega y_2 \\ \dot{y}_2 = -\omega y_1 \end{cases}$$

同解,解此方程组可通过联接两个积分器来完成,如图 1. 其解为

$$\begin{cases} y_1 = k_1 \sin \omega t \\ y_2 = k_2 \cos \omega t. \end{cases}$$

若使 $\omega = 1$, 则系统更为简化. 因此时间单位定为 $\frac{24 \times 3600}{2\pi}$ S.

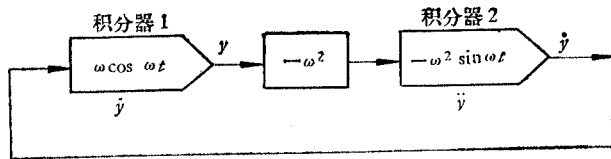


图 1 联接积分器来求解简谐方程

Fig. 1 Interconnection of integrators to solve the harmonic equation

其一个数值积分器(见图 2)的操作内容是:

$$(1) \dot{y} = \dot{y} + \Delta \dot{y}$$

$$(2) \Delta y = \dot{y} \Delta t + \frac{1}{2} \Delta \dot{y} \Delta t$$

式中 $\frac{1}{2} \Delta \dot{y} \Delta t$ 是亚当姆斯修正值, Δt 是积分步长, 取作 2^{-m} (m 为正整数) 的形式. 于是一个数与 Δt 相乘就简化为右移 m 位. 本系统中, $m = 24$, 又因为 $\omega = 1$, 所以 $\Delta t = \frac{24 \times 3600}{2\pi} \times 2^{-m} = 0.8196227 \times 10^{-3}$ S.

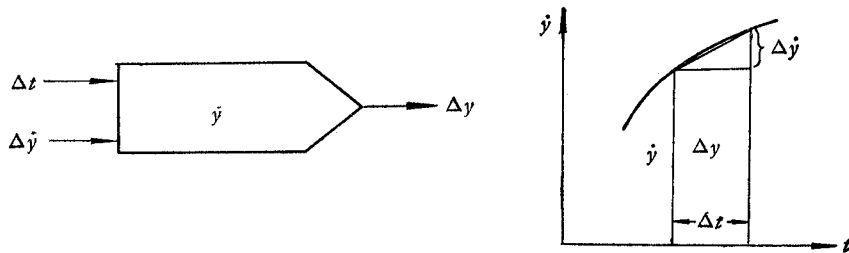


图 2 一个数值积分器

Fig. 2 A digital integrator

在一个积分器中(如图 3 所示),用两个寄存器分别存 ΔY 、 R 和 \dot{Y} . 其中 ΔY 代表 Y 的增量部分, R 代表 ΔY 的余数部分, 字长取为 m 位. 注意图中小数点的位置安排, 这样当两个寄存器作对位相加时, 相当于 \dot{Y} 右移了 m 位然后和 R 相加, 实现了 $(\dot{Y} \Delta t + R)$.

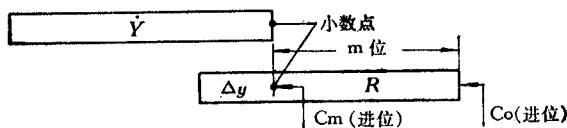


图 3 “DDA”寄存器的结构

Fig. 3 The structure of DDA registers

对于图 1 之积分器 1 和 2, 有 $\Delta \dot{Y}_1 = \Delta Y_2$, $\Delta \dot{Y}_2 = -\Delta Y_1$, 积分步长 Δt . 设置初值, 连续迭代, 所得之 Y_1 即为所求之正弦函数, 其精度取决于 Δt 的大小和 Y 的字长.

(二) 微处理器系统

整个数据采集系统如图 4 所示. 其中 AM 2901 担任中心处理单元, 用来产生相位函数和对数据作预处理. 它的 16 个内存, 其中几个用作“DDA”的积分寄存器, 其余的用来存储数据处理的中间数据. 它每片字长 4 位, 可以很方便地拼接成多倍字长进行工作. 本系统由于相位函数精度的要求, 采用 8 片拼接而成, 字长 32 位.

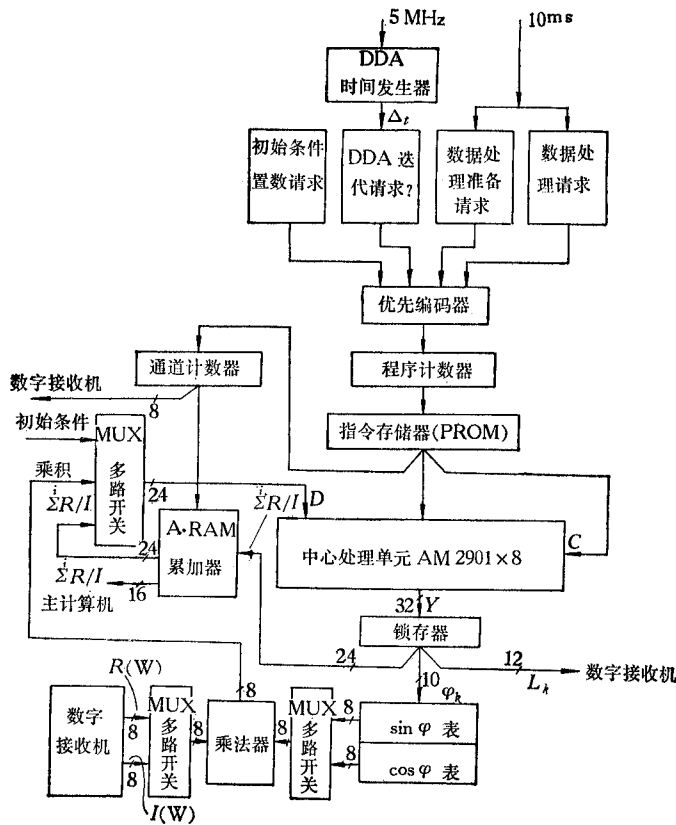


图 4 数据采集系统框图

Fig. 4 The block diagram showing the data collection and processing system

AM 2901 的输入数据由多路转换开关 MUX 选择, 输出的是各通道的相位函数 φ_k 、延迟控制信号 L_k 和经过预处理的数据 $\sum R'_k, \sum I'_k$.

AM2901 内存单元的选择和算术、逻辑运算功能的规定均由外部微指令码控制.

微指令码事先写入“只读存储器”, 即图 4 中的“指令存储器 (PROM)”. 它由 5 片“2708”拼接而成, 字长 40 位, 可形成多种控制信号, 控制 AM2901 的运算和发布各种逻辑信号, 以协调整个系统的工作, 指令地址由程序计数器指定, 加上优先编码器可对系统进行向量化的中断管理.

为减少数据处理时间, 本系统采用了硬件乘法器 MPY-8AJ 和一组正余弦表。后者也事先存入“只读存储器”。

“累加存储器 A. RAM”由 6 片静态随机存储器 2114 拼成, 字长 24 位, 存放各通道预处理数据, 每通道 2 个数 (R 、 I), 存储地址由通道计数器指定。

(三) 微程序

微程序以微指令码形式存于指令存储器。流程图示于图 5。可分为四部分:

- (1) 初始条件置入 在每次观测前完成。
- (2) DDA 迭代运算 每 0.8196 ms 进行一次, 产生基本相位函数 φ_0 和基本延迟信号 L_0 。
- (3) 数据处理准备 取出 φ_0 、 L_0 , 将通道计数器置零等。
- (4) 数据预处理 每 10ms 运算一次, 包括全部 192 通道, 各通道分别累加 10 S 后输出。具体操作是:

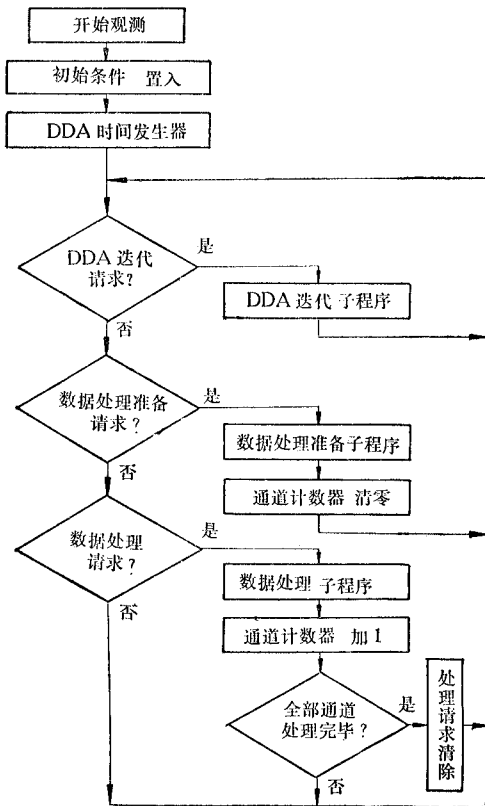


图 5 微程序流程图

Fig. 5 The flow chart of the microprogram

$$\begin{aligned} \varphi_k &= \varphi_{k-1} + \varphi_0, \\ L_k &= L_{k-1} + L_0, \\ \sum^i R'_k &= \left(\sum^{i-1} R'_k \right) \\ &+ (R_k \cos \varphi_k + I_k \sin \varphi_k), \\ \sum^i I'_k &= \left(\sum^{i-1} I'_k \right) \\ &+ (I_k \cos \varphi_k - R_k \sin \varphi_k). \end{aligned}$$

地址	存储单元
00 _H	装数
1F _H	
20 _H	
7F _H	DDA 迭代
80 _H	
89 _H	数据处理准备
A0 _H	数据预处理
AF _H	

图 6 PROM 的 4 个工作区域

Fig. 6 The four working area of PROM

执行以上工作的 4 个子程序段存于 PROM 的 4 个工作区域, 如图 6 所示。它们由各自的标志触发器发出中断请求, 由优先编码器判定优先等级 (“装数” 为最高优先级, 往下依次为 “DDA 迭代”、“数据处理准备”、“数据预处理”), 然后控制程序计数器指向当时

最高级的子程序段的入口地址。DDA 迭代和数据处理经常交替进行。

每条指令执行时间为 $2\mu\text{s}$ ，由双相时钟控制。

(四) 结构

为提高可靠性,本系统采用“大板”结构,绕接法组装。前面板有操作控制、显示和检测等功能,后面板为电源、时钟、数据和控制信号传送的通路。

三、二维傅里叶变换硬件

综合孔径系统实测所得的是在 uv 平面上的复天线温度 $T_a(u, v)$ 的采样点,它与要求的天区射电亮度温度 $T(l, m)$ 构成一傅里叶变换对^[1]。对我们的东—西天线阵系统,由地球自转可获得的 $T_a(u, v)$ 是径向分布的,采样点随地球自转扫描出同心椭圆。在 t_i 时刻得到的全部 uv 点在一直线上,此直线与 u 轴夹角为 $h(t_i)$ (在天文中恰为对应时角),见图 7(a)。所有的 uv 点通过傅里叶变换则得所求的 $T(l, m)$ 的分布,即天图,一般希望它有着均匀标度,见图 7(b)。

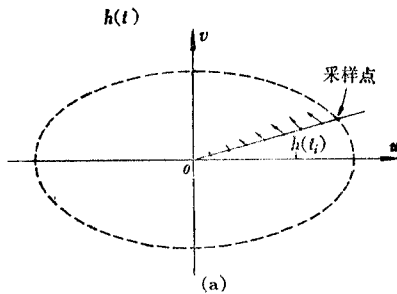


图 7(a) uv 平面上的采样点
Fig. 7(a) The sample points
on uv plane

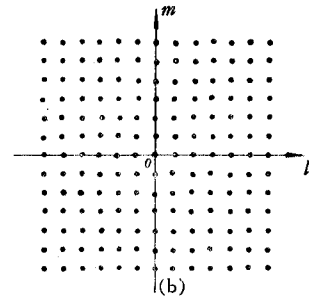


图 7(b) 射电天图上的 $T(l, m)$ 的分布
Fig. 7(b) The $T(l, m)$ distribution on
the radio sky map

在利用软件作上述的直接傅里叶变换 (DFT) 时,运算时间大致正比于 P^4 (P 为输出结果矩阵每边点数)。这样,在采集的 uv 点较多时将耗费太多计算时间*。因此一般采用快速傅里叶变换 (FFT) 算法^[1,5]。但 FFT 要求数据是矩形网格排列,于是须将径向分布的原始数据先期网格化。这样,不仅有相当的计算量,而且会导致人为的虚假图象^[6]。

基于上述,Frater^[3] 提出用专用二维 DFT 硬件来实现此变换。基本想法是对每一时刻所采样的列于一直线的 uv 点作一维 DFT,然后求出它对最终天图上的每一点的贡献,而此天图即为所有时刻的这些贡献之和。他为 Fleurs 系统发展的原型机能在几秒钟内完成 64×64 点天图。由于运算是按径向进行的,故不引起虚假图象。

在 Frater 工作的基础上,我们发展的 DFT 硬件能在 6 分钟内完成对 192×2160 个 uv 点的处理,得到 256×256 点的天图。由于大规模集成电路的发展,我们采用硬件乘

* 例如荷兰的 Westerbork 系统,处理 80×1440 个 uv 点时,用 IBM360/65 通用机作 DFT 约需 140 小时。

法器 (MPY-12AJ) 代替 Frater 采用的查对数表法(用 PROM 编成)来实现乘法运算,使系统更为简单与直接. 同时增加一内插部分以提高精度. 此外计算线路也作部分改动. 现介绍如下:

(一) 基本原理

二维 DFT 基本公式^[7]为:

$$T_D(l, m) = \sum_u \sum_v T_a(u, v) \cdot g_s(u, v) \exp(-j\Phi) dudv \quad (1)$$

其中 T_D 为经综合瓣平滑的天区亮温度; T_a 为实测的复天线温度; g_s 为综合孔径的权函数; $\Phi = 2\pi(ul + vm)$, l, m 为方向余弦. 经条纹跟踪^[4]并将公式化为实型后, (1) 式成为:

$$T_D(\Delta l, \Delta m) = \sum_u \sum_v g_s(u, v)(R_i \cos \varphi_i + I_i \sin \varphi_i) \delta u \delta v \quad (2)$$

其中 $\Delta l, \Delta m$ 和 φ_i 为相对于视场中心点 (l_0, m_0) 的坐标和相位差, R_i, I_i 为经条纹跟踪后实测量的实部和虚部.

注意到式(2)中一套 R_i, I_i 对所有 φ_i 相同点的贡献均一样, 因此我们可对一个时角 h_0 下得到的位于一直线的一套 R_i, I_i 点先作一维 DFT, 然后按等相线将此结果投影到二维天图上的每点. 重复此过程直到所有时角下的一维投影均迭加到二维天图上便完成了要求的二维 DFT (详见文献[6]).

(二) 硬件的实现

图 8 为实现上述运算的二维 DFT 硬件框图. 上部为一维变换部分, 中部为内插部分, 下部为二维投影部分. 所有待运算数均通过左边的接口从计算机送入此硬件. 开始运算前先送入第一组数据 $R_0, I_0, \phi_1^0, \phi_2^0$, 前两个为实测结果, ϕ_1^0, ϕ_2^0 为根据实时的 h_0 计算得的相位初值和单位增量, 它们分别送到锁存器 $T_R, T_I, T_{\phi_1}, T_{\phi_2}$ 暂存. ϕ_1^0 和 ϕ_2^0 通过左上方的相位计算单元顺序算出相位值 $\phi_Y^0 = \phi_1^0 + Y\phi_2^0$ ($Y = 0, 1, 2, \dots, 1023$). 并使经过每一时钟周期 ϕ_Y^0 增加一 ϕ_2^0 , 此 ϕ_Y^0 作为地址送到由 EPROM 预编的三角函数表查出相应的 $\cos \phi_Y^0$ 及 $\sin \phi_Y^0$ 值. 此值送到乘法器的相应端, 它们与已从 T_R, T_I 送至乘法器另一端的 R_0, I_0 分别相乘并将结果相加. 这样在每一时钟周期得到一个 $R_i \cos \phi_Y^0 + I_i \sin \phi_Y^0$ 值. 此值与在时钟周期前半拍时从一维内存中读出的结果相加后再送回原处(第一次运算时利用 L_1 使读出值置零). 于是经过 1024 个时钟周期, 便可完成一个时角下一种基线间距(即一种 R, I)的计算. 重复上述过程直至完成所有间距(对我们共有 192 种)的计算, 即完成一维 DFT:

$$F_Y = \sum_{i=0}^{191} R_i \cos(\phi_1^i + Y\phi_2^i) + I_i \sin(\phi_1^i + Y\phi_2^i); \quad Y = 0, 1, 2, \dots, 1023$$

内插部分是将一维 DFT 所得的 1K 点线性内插至 4K 点. 首先依次将一维内存中相邻二单元 F_Y 和 F_{Y+1} 取出送至 L_2 和 L_3 的 c 端, 通过算术逻辑运算单元 (ALU) 执行减法并右移 2 位送回 L_3 的 D 端, 即得到 $\Delta = \frac{1}{4}(F_Y - F_{Y+1})$. 以下继续执行 F_Y 和 Δ

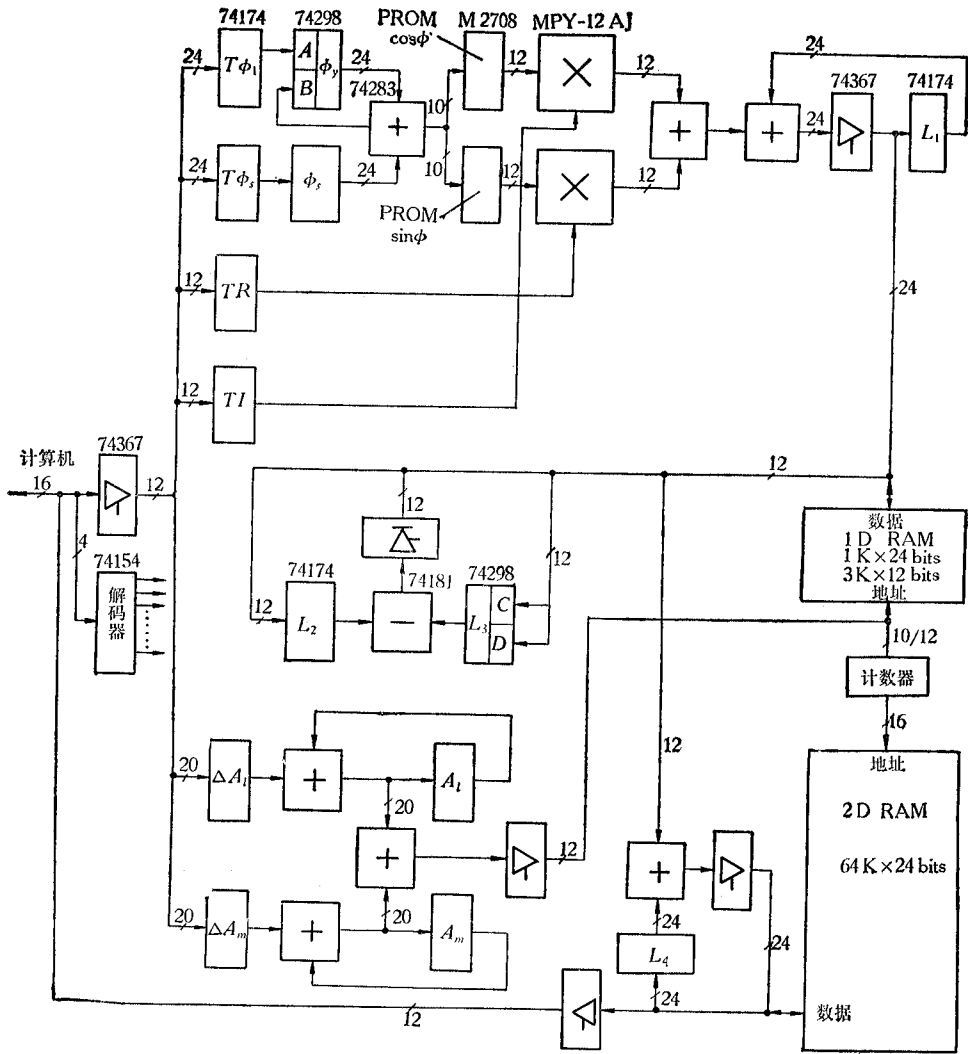


图 8 二维傅里叶变换硬件框图

Fig. 8 The block diagram of the two-dimension DFT hardware

的减法,依法产生 $F_Y - \Delta$, $F_Y - 2\Delta$ 和 $F_Y - 3\Delta$, 并顺序写入一维内存的扩展部分(3K)相应单元,直至对全部 Y 执行完毕,便完成内插。

执行二维投影前先由联机计算机送入按实时时角 h_i 算出的 ΔA_m , ΔA_i 和 A_m 的值。按对应二维地址某一单元的行和列通过左下方的地址计算单元算出它所对应的一维地址。按此地址从一维内存中取出算好的并经内插扩展的一维 DFT 结果。此结果与在时钟前半拍中已从二维内存中取出的相应单元的内容相加(第一次投影时此内容通过 L_4 置零)后送回二维内存原处。到所有二维内存均被迭加上新内容就完成一个时角下的二维投影。然后重复执行下一时角下的一维 DFT 的扩展和二维投影直至所有时角(对于我们, 12 小时的观测共有 2160 个时角)执行完毕即完成(2)式运算(二维 DFT), 此时二维内存中的内容即所需的 $T_D(\Delta l, \Delta m)$ 。

(三) 计算机接口

由于当时条件所限,联机计算机用微处理机(M6800D2,单板机,内存4K),用它代替Frater所用的小型机(PDP11/40)。DFT硬件与此微处理机间有21条连线,16条为数据线,其中4条作地址码,通过解码器将另12条线传输的数据送至所需地方。其它几条作“中断请求”等控制线用,为数据输入和结果读出发展了相应软件。

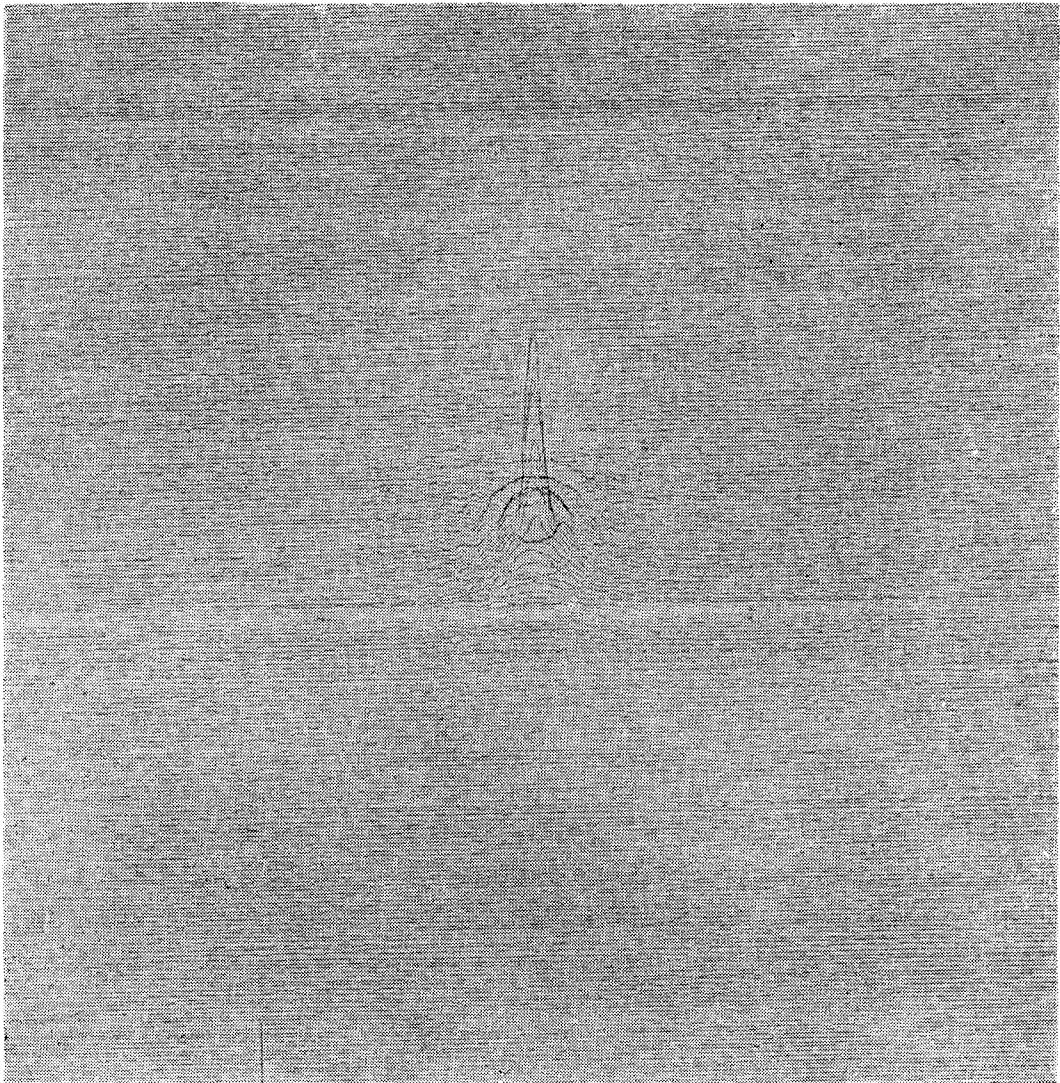


图9 对于中心点源的响应(二维DFT计算结果)

Fig. 9 The response of the synthesis radiotelescope with a point source at the field center. This is the result of the 2D-DFT performance.

(四) 结构

整个 DFT 硬件安装在一个 $44 \times 27 \times 19 \text{ cm}^3$ 的机架上 (电源除外)。内包括 9 块 $25 \times 17 \text{ cm}^2$ 插板, 其中 6 块为现成的二维内存板 ($32\text{K} \times 8 \text{ bits} \times 6$), 2 块为一维和二维运算部件, 1 块为硬指令和控制板。这 3 块均用线绕接法 (wire-wrap) 组装。显示和检测部分安装在面板上。器件大部采用 54/74 系列。

四、结 果

对实时数据采集系统, 将“DDA”产生的基本相位函数 φ_0 , 经 D/A 变换输出给记录仪, 绘出一条周期为 24 小时的精确的正弦函数曲线; 令各通道输入的“相关”信号为固定常数, 经数据处理, D/A 变换, 可在示波器上显示出一对相位相差 90° 的准三角函数曲线 (横坐标代表通道号, 纵坐标分别代表各通道的 R_K 、 I_K), 曲线形式随实时的 φ_0 不同而变化。

对二维傅里叶变换硬件, 为检验性能, 输入一组相应于对视场中心理想点源响应的数据 (即 $R \equiv 1$, $I \equiv 0$, 对视场中心相位为零)。由此作出的天图即为此系统的综合瓣图形。图 9 即结果。实际所用的时角共 128 种, 并采用 $g_i(u, v) \equiv 1$ (等权)。其主瓣形状、旁瓣水平和对称性均与理论预想一致。此 DFT 硬件用双相时钟, 基本周期为 600 ns , 各运算步骤计算一轮数据所需时间为:

$$\begin{aligned} \text{一维 DFT: } & 2160 \times 1024 \times 192 \times 0.6 \times 10^{-6} = 255 \text{ s} \\ \text{内 插: } & 2160 \times 1024 \times 4 \times 0.6 \times 10^{-6} = 5.3 \text{ s} \\ \text{二维投影: } & 2160 \times 1024 \times 64 \times 0.6 \times 10^{-6} = 85 \text{ s} \\ \text{总 计: } & 345.3 \text{ s} \end{aligned}$$

目前为与此微处理机匹配, 时钟周期由 600 ns 加长至 $1.8 \mu\text{s}$ 。

五、讨 论

几个月的运行证明, 这两台设备工作可靠, 抗干扰能力强, 能满足密云综合孔径系统的要求。加上适当接口后这两台设备均可视为联机计算机的用户设备, 以联机或脱机方式工作。可预见此系统, 特别是以乘法器为核心的一维 DFT 部分可在其它领域中获得广泛的应用。此外, 对 $\sum_i (A_i x_i + B_i Y_i)$ 型数字处理系统亦有参考价值。对于类似我们的旋转扫描系统, 则此整个处理思想亦可作借鉴。目前乘法器 (160 ns 乘法周期) 的潜力尚未充分发挥, 若采用高速 RAM 和 PROM, 速度还可提高两、三倍, 这样, 在一些实时处理领域应能发挥作用。

本项工作为中澳两国科学工作者的合作项目, 工作中得到 W. H. Christianser 教授和 R. H. Frater 教授的有力支持, 吴乃龙、王德隆同志参加了部分工作, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] E. B. Fomalont and M. C. H. Wright, in "Galactic and Extra-Galactic Radio Astronomy". *Cha* 10(1974), pp. 256—290.
- [2] C. K. Kwong, in "Conference on Microprocessor System", Sydney, November 1978, pp. 52—56.
- [3] R. H. Frazer and D. J. Skellern, *Astron. Astrophys.*, 68(1978), 391.
- [4] R. B. Meghee and R. N. Nilsen, *IEEE Trans. on Computers*, C-19(1970), pp. 1—9.
- [5] M. A. Gordon, "Methods of Experimental Physics", Vol. 12, part C, Cha. 6, *Academic Press*, (1976).
- [6] A. R. Thompson and R. N. Bracewell, *Astro. J.* 79(1974), 11.
- [7] W. N. Christiansen and J. A. Hogbom 著, 陈建生译, 射电望远镜, 科学出版社, 1977 年, 第 173 页.

REAL TIME DATA COLLECTION SYSTEM AND TWO-DIMENSIONAL FOURIER TRANSFORM HARDWARE FOR MI-YUN METER-WAVE APERTURE SYNTHESIS RADIOTELESCOPE

C. K. Kwong

(School of Electrical Engineering, Sydney University)

Ren Fang-bin, Zheng Yi-jia, Qiu Yu-hai, Pang Lei, Wang Xin-min,
Bao Hong-qi, Zhang Chun-lu

(Beijing Astronomical Observatory, Academia Sinica)

Li Guo-hua

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

In this paper two equipments for Mi-Yun meter-wave aperture synthesis radiotelescope are described. These two equipments are used for data acquisition and handling with on-line computer, NOVA-3/D.

The Mi-Yun aperture synthesis system consists of an E-W array, giving 192 simultaneous signal pairs of the form $R = W \cos\theta$, $I = W \sin\theta$ per 10 seconds. Where W is the fringe amplitude and $\theta = (2\pi d/\lambda) \cos\delta \sin HA$, the phase. (d —the interferometer spacing, λ — the wave length, δ — the declination and HA — the hour angle of field center.)

The first equipment is the data collection system which performs the following functions:

1. In every 10 msec generates a value, $\varphi_0 = A \sin HA$, where A is the carefully chosen constant, HA is the hour angle of the field center.
2. In the same 10 msec generates φ_k , where $\varphi_k = k\varphi_0$ ($k = 3, 4, \dots, 194$), accurate to 2° .
3. Converts each of the 192 signal pairs into parameters W_k and θ_k ; perform the "fringe stopping" by subtracting φ_k from each θ_k , giving a new signal set of the form

$W_k \cos(\theta_k - \varphi_k)$ and $W_k \sin(\theta_k - \varphi_k)$; accumulate for 10 seconds and send the output data to the on-line computer.

The function $\varphi_0(t) = A \sin HA$ is generated by the digital differential analyser (DDA) developed by one of the authors (C. K. Kwong)^[2].

AM-2901 has been used for the CPU of our system. Block diagram of the whole system is shown in Fig. 4. Fig. 5 is the flow chart of the microprogram. The system can work either with mean time or sidereal time.

The other equipment is the two-dimensional direct fourier transform (DFT) hardware based on the previous work of R. H. Frater^[3], adapted for the data handling of the Mi-Yun system.

The observation will be carried out in 12 hours, filling up 2160 equally spaced hour angles with 192 spacings each, thus 2160×192 grid values in $u-v$ plane (as defined in Fig. 7(a)). Fourier transform of this $u-v$ distribution is to be performed by the DFT hardware to give a radio sky map on a 256×256 grids (Fig. 7(b)). The performance can be completed in less than 6 minutes.

In the construction, the principle and scheme developed by Frater has been used with some minor modifications, such as using the hardware multiplier (MPY-12 AJ) in place of Log. table, increasing the accuracy with interpolations, etc.

Fig. 8 is the block diagram of the DFT hardware.

As a laboratory test, a set of signals simulating a point source located at the field center was sent to the DFT hardware. The result of the fourier transform is shown in Fig. 9 they agree well with the estimation.

The two equipments have been completed now and have worked normally for several months.