

专题资料增刊78-06

混合模拟计算机

二机部科学技术情报研究所
技术交流简讯编辑部

一九七八年七月

目 录

M-6 混合模拟计算机概述.....	(1)
近代的混合机 简述.....	(8)

M-6 混合模拟计算机概述

七〇六所 王玉聪

一、前言

M-6大型通用全晶体管化混合模拟计算机(以下简称M-6)是七机部706所与天津有关六个厂以及使用单位实行三结合研制成功的产品。它包括通用模拟运算机组、自动寻优、座标转换、模 $\Rightarrow$ 数转换等四个部分。它可以单独使用,也可以用来和数字机结合组成更完善的数模混合计算系统。关于它的主要功能和特征将在后面作概要的叙述。

为了便于大家对混合模拟计算机有进一步了解,我们还将对国外混合模拟机的应用和发展情况作简略的介绍。

二、混合模拟计算机及其应用

1. 什么是混合模拟计算机

大家都知道,由于模拟计算机具有运算速度快、解答直观、价格低廉而且可尽量发挥操作者的能力(即:人和机器联系)等优点,所以,认为数字计算机完全可以取代模拟机的看法是不正确的,也是不符合客观实际的。当然,数字计算机具有精度高、逻辑能力强等优点也是不可忽视的。

目前模拟计算机的发展趋势,是在保留模拟机原有优点的基础上,吸取数字机的两大优点(即:精度高和逻辑控制能力强),从而构成成为一种新型的混合模拟(数字)计算系统。

混合模拟计算机,通常指的是:以模拟运算为主实现数字逻辑控制的系统,而数字逻辑控制的繁简程度可以差异较大。一般的说,这类机器都是以模拟机为基础而发展起来的。

混合模拟机+混合界面+数字机联合构成的混合计算系统是一种具有更大意义的系统。在这种系统中,混合模拟机完成快速、低精度要求的任务;而数字机完成慢速、高精度要求的任务。它们相互之间的信息交换和联合控制由混合界面来实现。

2. 混合模拟机的主要用途

模拟计算机从它出现的那天起,主要的应用就是作为仿真工具,特别是在航空工程中,它可能是最有效和最经济的手段,因为它能建立快速、经济而又逼真的模型。模拟机也可以用来解决一些特殊问题而当作计算工具用,或者作为控制系统的一个组成部分。

所谓仿真就是用模型作试验。计算机仿真则是将某一系统的动态过程所遵循的数学方程用计算机来实现,在这种用计算机建立起来的数学模型上,对系统进行综合、分析、鉴定和外推。这对评价一些特别昂贵和危险的系统尤其有用。

模拟机发展成混合模拟计算机后,由于它适应了仿真试验提出的各种新的要求,从而

它的应用就更加广泛了。在飞机、导弹、宇宙航行、原子能、石油化工、电力系统、电子设备、医学、气象、环境生态学等等部门都得到了应用。

3. 飞行仿真的特点

为了便于我们了解混合模拟机的发展和如何设计出较实用的混合模拟机，我们有必要对飞行仿真的特点作简要的分析。归纳起来有以下几个方面：

(1) 规模大：飞行仿真的数学模型是一个较复杂的非线性方程组，规模很大。就统计而言，一个较完善的数学模型对设备的要求如下：

运算放大器数量：700~1000个

阶数：80~120阶

解析函数：30个

任意函数：70个

双变量函数：5个

乘常数：180个

变量乘：240个

(2) 频带宽，运算时间长：飞行仿真的对象有很宽的频率响应，飞行器的偏航、俯仰、滚动等角运动方程有5~10赫的高频；飞行器的弹性振动可达50~70赫；自动驾驶仪回路的小时间常数在1毫秒以上的都应加考虑。而飞行器的轨道运动大部分在0.01赫以下。运动时间，即便是分段仿真，也可能长达一个半小时。

(3) 要求能实时和超实时仿真：飞行仿真中常常要求接入实物，如：蛇螺、加速度表、舵机、飞行平台等，或者还要求飞行器的驾驶员也加入。因为这些部件或人的特性不易用数学方程准确的表示，或根本不能表达。另外，当某些部件生产出来后要要进行鉴定，就需要把它接入仿真回路。有了人或实物接入仿真回路，就必须进行实时仿真。

所谓超实时仿真，就是十倍、百倍、千倍或更高的速度作快于实时的仿真，这在要求解的次数很多的应用场合特别重要。

(4) 有不同的精度要求：飞行器的轨道计算精度要求 10^{-4} ~ 10^{-7} ；而角运动的计算精度要求低。甚至有些空气动力参数数据本身的准确度要达10%都是很难的。

(5) 模型由小到大，不断修改，最后得到正确的模型、在各阶段上都要求大量求解。

上述这些特点，单纯的模拟机和数字机都难以满足要求。即便勉强能达到，在经济上和时间上也是极其浪费的。

三、混合模拟机发展概况

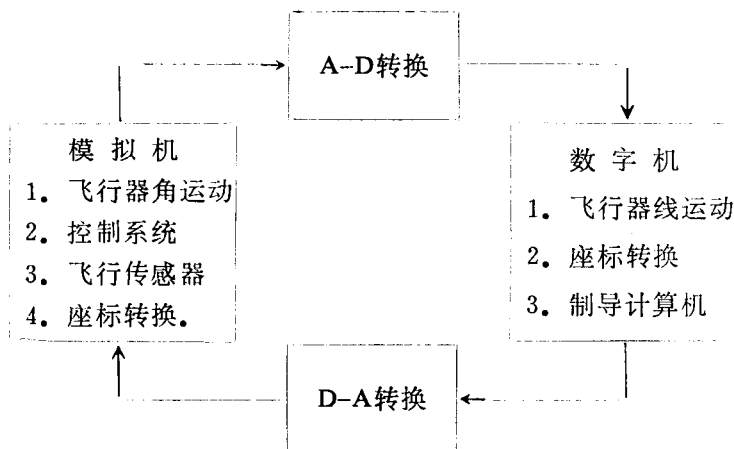
早在第二次世界大战期间，美国麻省理工学院伺服机械实验室就研制了电子——机电混合型飞行仿真器，用来设计飞航式导弹控制系统。1948年美国贝尔实验室研制成以运算放大器为中心的电子微分分析器，在“奈基I”型防空导弹的设计和鉴定中发挥了作用，这是早期情况。

50年代：在这期间模拟机已非常广泛的用来飞行仿真，主要用于设计和鉴定导弹系统及各种高性能的飞机。世界各国都纷纷建立了各种类型的飞行仿真器，效果都很好，得到

完全肯定的结论。

英国在1955年建立了TRIDAC飞行仿真器，对导弹及飞机进行仿真试验。后来，又于1957年在澳大利亚的亚萨尼斯白勒武器研究中心，在原来的GEPUS通用模拟机的基础上，扩建成AGWAC计算机，对“警犬”导弹进行了仿真。由于使用了数学模型，“警犬I”仅发射不到100发，由此而获得的数据与通过发射数千发所获得的数据相当。而用模型法进行仿真试验的总经费仅占试射试验经费的5%。此外，还有个好处就是可用这个模型来提供关于未来武器研制中某些特殊问题的答案。英国人认为这是个成功的经验。

1955年美国开始了洲际导弹的研制，感到模拟机的精度已不适应全部要求，人们设想采用图（1）的仿真结构来实现模拟机与数字机组成的混合仿真。康维尔公司于1957~1958年用这种混合仿真器对“阿特拉斯”洲际导弹进行了仿真试验，宣布了混合计算系统的诞生。



图（1）混合计算机系统

60年代：由于飞行仿真的要求进一步提高，使模拟机再也难以单独承担全部仿真任务，主要有这样一些原因：

1. 导弹系统的制导计算机采用数字机，飞机的导航也采用了机载数字机。因此系统本身就是一个混合系统，混合仿真更逼真；
2. 洲际导弹的作用距离更长，精度更高，姿态控制回路对轨道控制精度有影响。而轨道计算精度要求更高（宇宙航行则更高），单独的模拟计算机完成不了这个任务；
3. 飞机一般都是超音速，活动范围（高度）从一百公尺到三万公尺左右，空气动力特性的非线性已不能再用单变量表示，随之而来的战术导弹的性能也发生相类似的变化，这两个变量以上的任意函数用模拟机已很难实现；
4. 系统性能的提高要求进行最佳化设计，要考虑到各种随机干扰下系统性能最佳。这就要求运算次数达到惊人的地步，单用高速数字机求解所用的时间和化费的价值是无法接受的。

因此，飞行仿真转向混合仿真。人们曾设想过各种混合方法。实践证明唯有组合式混合计算系统和具有数字单元的模拟计算机得到广泛的应用。所谓组合式混合计算系统指的是：模拟机+混合界面+数字机。而这里所说的模拟机通常用的是具有数字单元的模拟机。

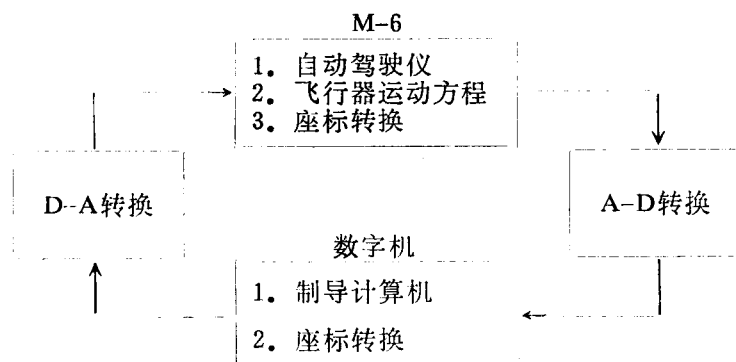
四、M-6混合模拟计算机概述

1. M-6在飞行仿真实验室中的主要用途

M-6包括组合式混合计算系统中的混合模拟机和界面两大部分。它可用来和数字机结合，组成一个完整的混合计算系统。

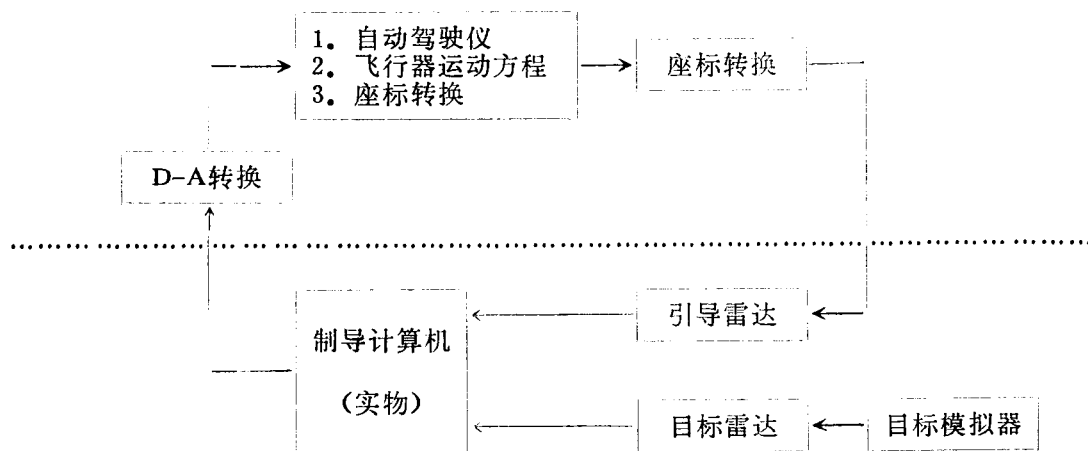
M-6在飞行仿真实验室里的主要任务是：

(1) 与数字机联用组成一个完整的飞行仿真的数学模型，供数学模拟用。信息联结原理框图，如图(2)所示。



图(2)数学模拟信息联结原理框图

(2) 用于组成飞行器控制系统某些局部的数学模型，和另一些局部的实物对接，形成一个完整的飞行器控制系统的闭合回路，供实物模拟用。例如：当系统接入制导计算机、引导雷达和目标雷达实物时，信息联结原理框图，如图(3)所示。



图(3)实物模拟信息联结原理框图

(3) 作为控制系统最佳设计及模型校验工具使用。自动寻找最佳参数原理框图，如图(4)所示。自动校验模型原理框图，如图(5)和图(6)所示。图中Q、H为限制条件。

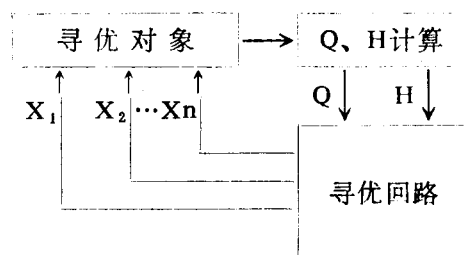


图 (4) 自动寻优原理框图

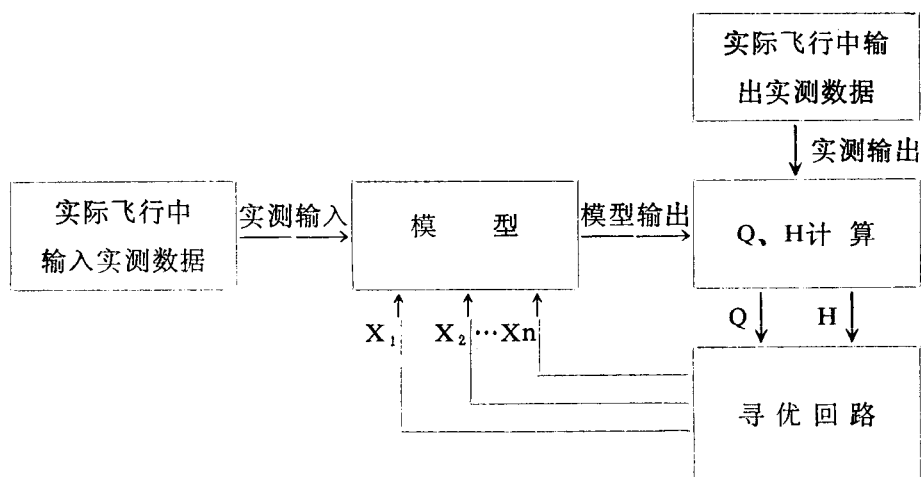


图 (5) 利用实测数据进行模型校验原理框图

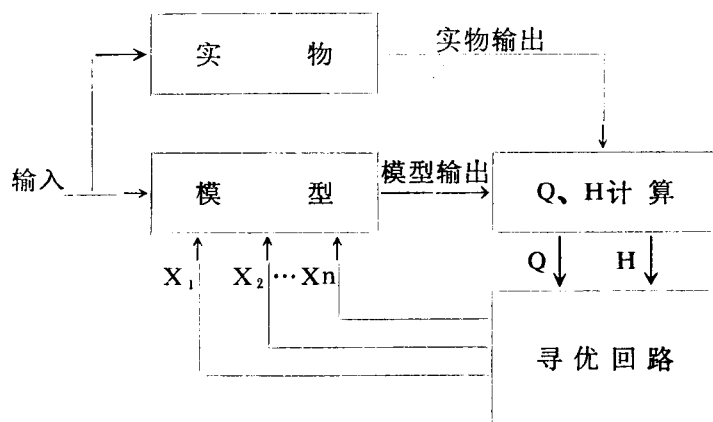


图 (6) 利用实物进行模型校验原理框图

2. M-6 的组成及各组成部分的特点

M-6 包括：混合模拟机和混合界面两大部分。而混合模拟机部分包括：通用模拟运算机组三个，专用坐标转换器一个，自动寻优器一个。混合界面部分包括：A-D 转换器二个，D-A 转换器一个，中央控制台一个（由于设计要求未明确，暂缺）。

现将 M-6 各组成部分的主要特点简介如下：

(1) 通用模拟运算机组，是一部大型、100伏制、晶体管化，配有少量数字逻辑部件的模拟计算机。它可以进行多机组联用，最大联用机组数为3~5个。它的主要特点是通用性较强，适合于飞机、导弹、宇宙飞船等飞行仿真试验室使用。

每个机组可解微分方程的最高阶数为40阶，运算放大器总数是318个。它的主要功能是：①建立研究对象的数学模型；②迭代运算。它的主要指标是：①解题频率 ≤ 100 赫时，精度为1~5%；②解题时间 ≤ 1000 秒；③运算速度：可以实时；比实时快10倍；比实时快100倍。

(2) 专用座标转换器，是一部专用的、某些部件采用了数字技术的、数-模混合型的晶体管化计算机。它的任务是，将飞行器运动方程送来的线速度分量和角速度分量，通过固定的数学公式，计算出雷达测量参数送给引导雷达，或制导计算机（实物）。它的特点是运算精度比一般通用模拟计算机高，参数变化范围大。它的主要功能：借助欧拉角变换，将运动直角座标 $\rightarrow$ 地面直角座标 $\rightarrow$ 地面球面座标 $\rightarrow$ 四个雷达参数。它的主要指标：①解题频率 ≤ 30 赫时，精度3~5%；②解题时间 ≤ 500 秒；③运算速度：可以实时；比实时快10倍。

(3) 自动寻优器，是一部中型、100伏制、晶体管化、具有一定寻优、迭代功能的混合模拟计算机。它可以独立工作，也可以和通用模拟运算机组联用，完成自动寻找最佳参数（参数、曲线）、自动校验模型等任务。它的特点是通用性较强，寻优方法可灵活编排，简单的被寻对象的数学模型可以在自动寻优器上实现，复杂的被寻对象的数学模型可以由通用模拟运算机组来实现。它的功能是：①11个常参数寻优；②2条曲线寻优；③统计寻优。限制条件是：①用数学方程表示的限制条件；②用简单逻辑关系表示的限制条件；③以振荡次数、过渡时间、上升时间及超调量为特征的限制条件。它的主要指标是：①解题频率 ≤ 100 赫时，解题精度1~5%；②解题时间 ≤ 1000 秒；③解题速度：可实时；比实时快10倍；比实时快100倍。

(4) 模-数转换器，它的基本转换部分采用的是“反馈式逐位编码电压-数码转换器”，这种转换器具有精度较高的特点。每个模-数转换器，可对10个模拟量同时进行采样保持，将各模拟量顺次变换成二进制码，最后将数码串行或并行输出。M-6系统中，共配有模-数转换器二个，可以同时进行20路模-数转换，如果需要增加路数，只要增配模-数转换器个数即可。

数-模转换器，它的基本部分是数码-电压转换器（包括：转换数码寄存器、转换开关-电阻网络两部分）。考虑到联合使用时控制的方便，按被动式设计，控制信号完全由系统中的现有设备（如：数传机、中央控制台）提供，这样较方便地保证了数-模转换器与系统中的其他设备协调一致的工作。每一个数-模转换器依次对10个输入量进行转换。它的输入方式可以是串行输入，也可以是并行输入。输出可以是顺序的，也可以是可时的。M-6系统中，配有数-模转换器1个，如果需要增加路数，只要增配数-模转换器个数即可。

它们的 功能 是：模拟信号与数字信号间相互转换。它们的指标是：10路数-模转换器（每个），10路模-数转换器（每个）。精度：0.4%。字长：13位二进制（其中：1位符号位，12位有效位）。速度：字/29微秒，信号采样时间200微秒。

3. 小结

M-6主要用来和数字机结合，组成完善的混合计算系统，供飞行仿真试验用。归纳起

来它具有如下几个特点:

(1) 由于M-6配置有大量数字逻辑部件、模拟混合部件以及可控时序部件等。因而它具备有一定的存贮功能、逻辑运算功能及高速迭代运算功能。这就使得它除了能完成普通模拟机所能完成的数学仿真, 物理仿真外, 还可完成最优化系统、随机系统、分布参数系统以及采样系统的仿真、运算速度和精度比普通模拟机高。

(2) 由于M-6配有大量变系数、非线性部件及座标转换机组, 因而适用于大型飞行仿真。由于配有函数插值器、过渡过程测试器及一套可编寻优程序, 因而它能解决参数、曲线、统计寻优问题。

(3) 加入适当的控制联系, M-6模拟机可与数字机联合成混合计算系统。其中模拟机承担高速、低精度运算, 数字机完成低速、高精度运算, 并对整个系统监控、处理结果。这种系统还将配有软件, 以提高系统职能, 代替或简单化部分人工操作, 加强人/机联系。由于这种系统组合了模拟机高速运算及数字机高精度、存贮量大、逻辑能力强的优点, 因而使仿真的精度、复杂程度、实现方便大大前进了一步。

五、结 束 语

M-6是在我们原来技术基础上, 从实际需要出发, 为尽快设计出对使用单位较实用的大型混合系统的一次尝试。不足之处一定很多, 希望同志们批评指教。

近代的混合机简述

七〇六所 李伯虎

近年来,为了适应系统仿真应用的发展,基于集成电路工艺及混合硬、软件技术研究的进展,混合机已发生了很大的变化。国外的情况是:七十年代初定型生产第三代商品;1978—1979年由美国陆军投资研究的第四代机器将正式投入运行;第五代机器的予研工作正在进行之中。

以下我们将以第四代混合机的资料为主,简述近代的混合机。

一、概 述

近代的混合机是由一台或一台以上的混合模拟机与数台数字机协调组成的一个完整的混合计算系统。统系中包括硬件和软件。它们设计得使系统能充分发挥模拟部分的并行高速运算的优点及数字部分的高精度、大存储量、强逻辑能力的优点。

系统在硬件方面的主要特征是:组件集成化;数控全自动高速设置的高精度宽频带混合模拟机;多路高速、高精度模/数接口;面向实时中断的多道程序数字机;混合图象显示/硬拷贝;远距离混合终端;多重数字机的系统结构。

系统在软件方面的主要特征是:面向方程、面向框图的高级仿真语言;混合编译程序;改进的Fortran编译程序;具有前台/后台、分时、实时、成批工作方式的操作系统;有效的图象显示程序库;混合应用程序库;全部程序文件化。

上述硬、软件特征,使混合机具备下述性能指标:相当于数字机1~5亿次/秒的运算速度;题目更换时间以毫秒计;作业周转时间1~2分;全数字式存储题目;用高级的面向方程、框图的仿真语言作程序设计;模拟子系统自动选比例尺;免去人工干预;多用户远距离分时使用。

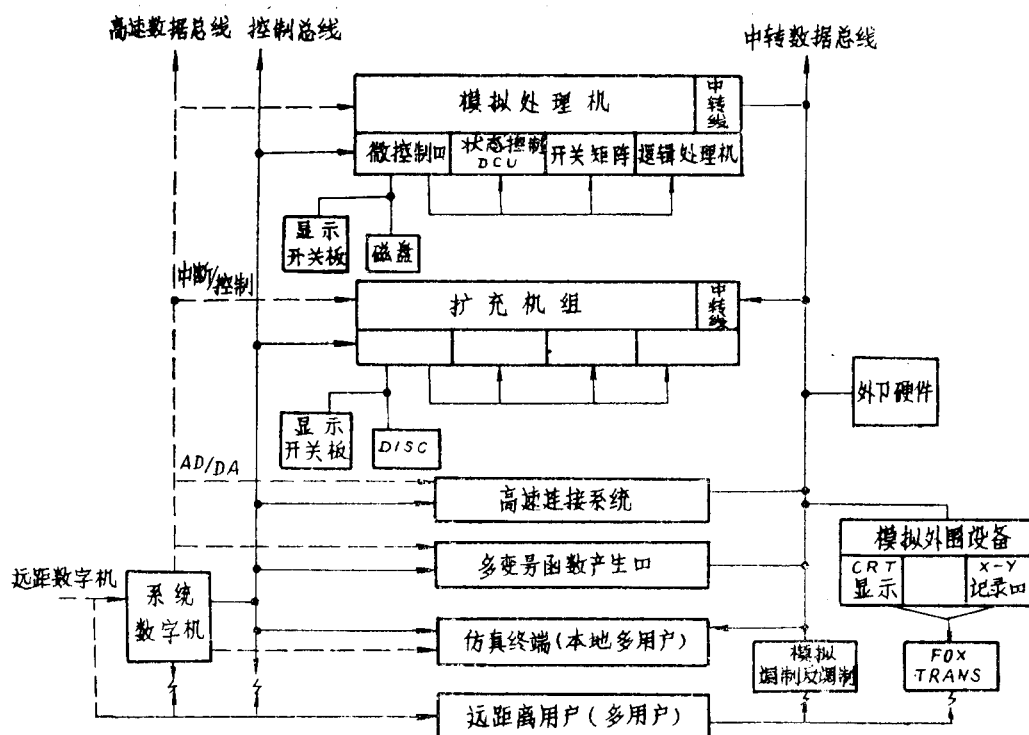
对系统仿真应用来讲,今天的混合机与数字机相比,其优点是:速度/成本优越5~100倍;便于人/机联系及对接实物;而其使用方便性已接近于数字机。

二、混合计算系统中的硬件部分

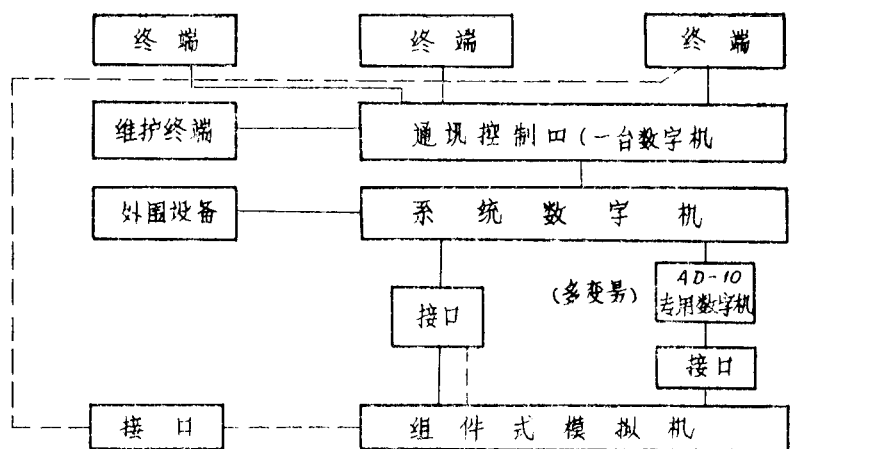
1. 硬件系统概貌

图(2—1)(a)(b)为美国EAI公司及AD公司设计的第四代混合机硬件系统框图。

系统包括一台或一台以上的混合模拟机,它承担快速运算的任务。多重数字机(系统数字机、微控制器、通讯控制器等组成分级系统)负责对混合计算系统设置、检验、运行的管理和监控;处理各种结果和文件;执行某些不适于模拟机运行的运算(诸如阵列处理、复杂的代数运算;Stiff系统的低频数值积分等)。必须指出,过去占系统数字机40%—



(a) EAI-AHCS



(b) AD-AHCS

—— 数字信号 --- 模拟信号

图 (2-1) 最新混合机系统

60%工作时间的多变量函数运算, 已由专用的高速、高精度多变量函数产生器(混合式或数字式)代替了。高速连接系统(接口)将模拟部分与数字部分的数据和控制讯息连接。本地用户通过仿真终端与计算系统直接联系, 而远地用户可在远距终端上, 借助调制反调制的机理, 通过电话线与计算机系统联系。各用户终端都可配有丰富的模拟/数字外部设备, 以便人/机联系。如果需要的话, 外部硬件可通过中转线与系统相连; 外部数字机可通

过系统数字机与系统相连。

2. 数控全自动快速设置的高精度宽频带混合模拟机

首先,要谈谈模拟集成电路的进展。集成运算放大器有单片宽带放大器(单位增益带宽100MC,满刻度频宽2MC,摆率100V/ μ s);直流耦合型斩波放大器(快速过载恢复)作辅助通道的自稳零放大器(失调电压漂移0.3 μ V/ $^{\circ}$ C,失调电流漂移1PA/ $^{\circ}$ C);有上述两者组合的直馈多通道型高精度宽带放大器组件;有单片上集成3~4个低廉的一般指标的放大器组件。有单片电压比较器(失调漂移1~5 μ V/ $^{\circ}$ C,响应时间7.5ns—50ns)。有单片集成数模转换器(12—16bit,静态精度0.02%,设置时间0.1 μ s~0.5 μ s)。有各种快速电子开关(开关时间0.2 μ s~2 μ s;漏电0.01PA~0.1PA;通导电阻10 Ω ~500 Ω)。有单片CMOS型16 $\times$ 16LSI矩阵开关(带数字逻辑电路)。基于模拟集成电路与数字集成电路,使得混合模拟机发生了很大的变化:

(1) 数控混合部件

有数控积分器,数控多路比例器,采样—保持器。它们的状态转换时间小于 μ s级。用14bit数模转换器组成的数字式系数单元(DCU)及数模乘法器(静态精度0.02%,0.2%/1KC,设置时间 μ s级)替换了随动系统设置(1秒设置时间)的电位计。多通道组合型(组合数/模转换器和互导型集成乘法器)高精度宽频带乘法器指标为静态精度0.02%,1%/10KC。数控函数产生器(静态精度0.05%,1%/1KC,斜率200V/V,设置时间100 μ s)替换了人工设置,低斜率、低精度的二极管函数产生器。不难看出,这些变化的结果:一是突破了非线性部件指标低的难题,使整个模拟运算部件达到1kc运算频率;二是从人工设置进展到程序数控自动设置,这不仅使全机设置时间从小时级缩短到秒级,而且能全数字式存储参数;它也提供了高速运算中改变参数及程序的可能性,从而大大扩展了机器的运算功能。

(2) 混合式多变量函数产生器

混合式多变量函数产生器是近两年来的重大革新。众所周知,在宇航、原子能反应堆、喷气发动机、电离层射线及水下声音等仿真中皆有多变量函数产生的问题。此外,诸如六自由度的飞机和导弹仿真中有多至30~50个多变量函数。通常,根据分段逼近原理取出在数字机中存储的段点和相应的函数点(多达10,000—100,000个点),再用模拟机插值得到结果。这样不仅占用系统数字机40—60%的内存及40%—60%中央处理机的有效时间,而且大大增加了数字机的帧时,从而大大降低了混合机的运算频率,以致不能进行实时仿真。基于今天的集成电路,已实现下述专用混合式多变量函数产生器。以双变量函数为例:

$$\text{插值公式} \quad f_{ij}(x, y) = f(x_i, y_j)(1 - \Delta y - \Delta x - \Delta y \Delta x) + f(x_i, y_{j+1})(\Delta y - \Delta x \Delta y) \\ + f(x_{i+1}, y_j)(\Delta x - \Delta x \Delta y) + f(x_{i+1}, y_{j+1})(\Delta x \Delta y)$$

$$\begin{aligned} \text{式中} \quad & x_i \leq x < x_{i+1} & y_j \leq y < y_{j+1} \\ & \Delta x = x - x_i & \Delta y = y - y_j \\ & \Delta x_i = x_{i+1} - x_i & \Delta y_j = y_{j+1} - y_j \end{aligned}$$

其实现框图如图(2-2)

分段点及对应的函数值存放在数字式半导体存储器中。模拟混合电路如图(2-3),用比较电路敏感 Δx 、 Δy ,确定输入变量 x 、 y 所在区段 $[x_i, x_{i+1}]$ 及 $[y_j, y_{j+1}]$,通过图

(2-2) 中逻辑电路, 从存储器中选出相应的 $x_i, y_j, \Delta x, \Delta y, f(x_i, y_j), f(x_i, y_{j+1}), f(x_{i+1}, y_j), f(x_{i+1}, y_{j+1})$, 用混合电路插值求出结果。

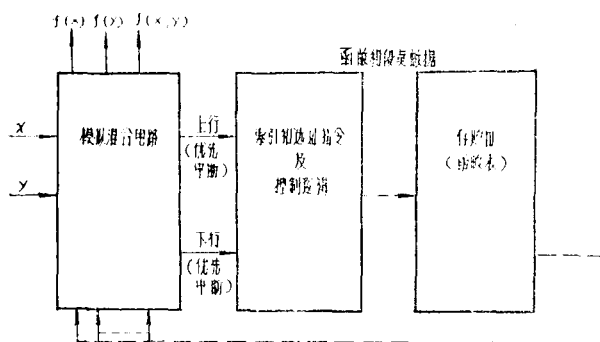


图 (2-2) 混合函数插值部件

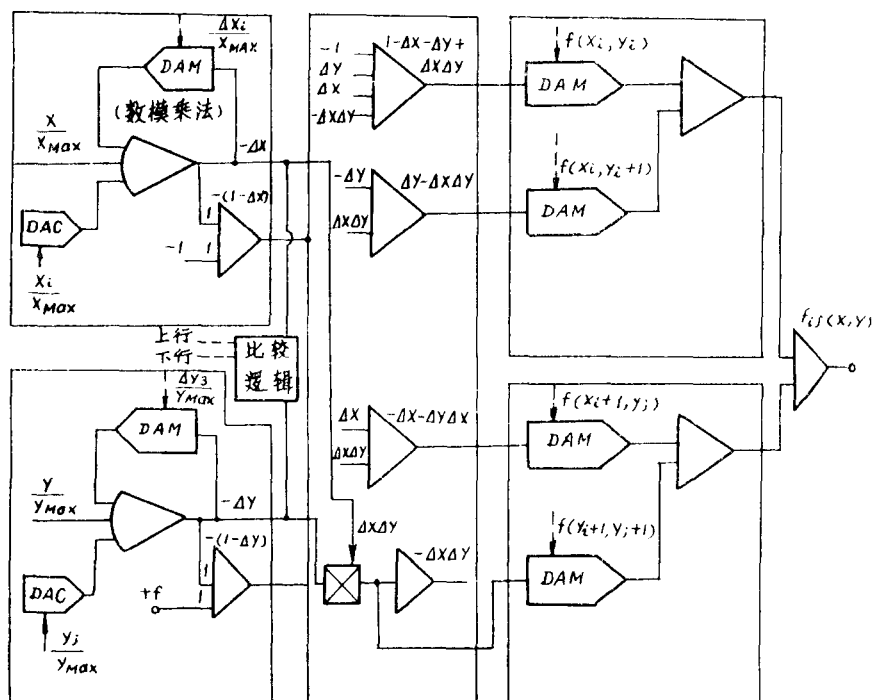


图 (2-3) 双变量函数插值模拟混合电路

上述装置可灵活编成 1~4 变量的函数, 主要指标: 静态精度 0.2%, 大信号动态精度 1%/1KC; 设置时间 5μs, 斜率任意, 256 段点/每变量, 段点间距离任意安排。

该装置不仅提供了以模拟速度产生多变量函数, 而且还带来下列好处:

- ① 提供了灵活可编的通用非线性部件, 如表 (2-1), 提高了子系统生产能力。
- ② 革新程序设计。

通常, 微分方程组可写成状态变量形式:

$$\dot{x}_1 = x_1(x_1, x_2, x_3, \dots) = f_{11}(3 \text{ 变量} \sim 4 \text{ 变量}) + f_{12}(3 \text{ 变量} \sim 4 \text{ 变量}) + \dots$$

$$\begin{aligned}\dot{x}'_2 &= \dot{x}'_2(x_1, x_2, x_3, \dots) \\ &= f_{21}(3 \sim 4 \text{ 变量}) + f_{22}(3 \sim 4 \text{ 变量}) \\ &\quad + \dots \\ &\vdots\end{aligned}$$

方程右端可化成一组多变量函数之和。

如图 (2-4), 可编排出三变量方程组的广义程序。

表 2-1

多变量函数产生器产生下列函数:	
任意非解析函数	$F = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$
解析函数	$F = xy, x^2, x^n,$
	$F = \sin x, \cos x$
	$F = e^x, \log x, A \log x$
	$F = \sum_{ijk} a_{ijk} x^i y^j k^k$

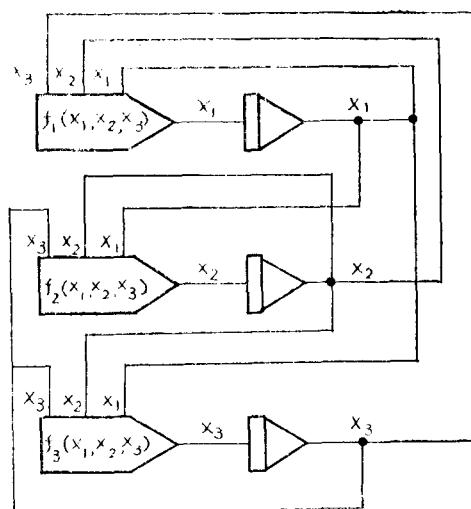


图 (2-4) 使用 MVFG 在模拟混合计算机上编排程序的状态变量方法

上述方程的右端项可用数字机先用脱机计算方式算出, 然后编入混合机作动态解。可以进一步设想, 这种编排可能引起模拟机结构的变更。

③ 可根据“直接法”曲线寻优原理, 实现多变量函数的寻优。

(3) 全自动排版系统

实现全自动排版系统是第四代混合机的重要标志之一。

最简单的电子开关矩阵如图 (2-5) (a)。通过某个开关, 使对应的部件输出端与输入端相连。其缺点是开关数目惊人。可采用图 (2-5) (b) 三级开关矩阵减少开关数目。采用三级开关矩阵, 一台大型混合模拟机 (积分 40, 求和放大 100, 函数 40, 比较 40, 数字逻辑 20) 需 20,000 个开关, 这相当于要 1250 片 16×16 LSI 矩阵开关片, 可装进 20 英寸见方的框架中。为了节省开关数量, 还可将模拟部件混合组成各种组件。例如 AD 公司第四代机器分有放大器组件 (积分 8, 数模乘法 32, 数字系数 12, 乘法 8, 限幅 2) 及逻辑组件 (比较 16, 逻辑功能 16, 计数 4, 组件式输出控制器 1)。全机有 26 个放大器组件及 4 个逻辑组件。然后, 再在各组件内部及组件之间分级用矩阵开关连接。

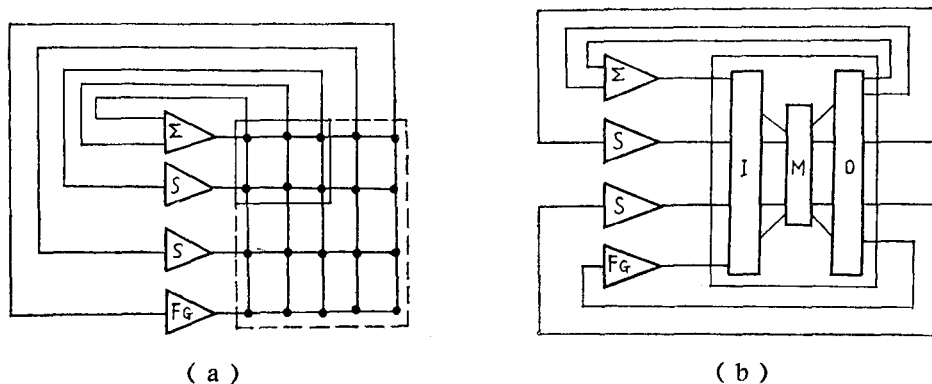


图 (2-5)

用户通过CRT显示终端,用面向方程或框图的仿真语言输入题目,通过混合编译程序自动产生模拟部分的部件连接码,进而控制开关矩阵实现部件间连接。

采用数控部件及自动排题系统,就可以用全数字方式存储参数和程序,题目更换以毫秒计,题目响应时间以秒计,从而提供了多用户分时操作的可能。当配有高级仿真语言及混合编译,便能实现程序设计全自动化,作业周转只需1~2分,这就大大减轻用户负担和要求,并大大提高混合机有效工作效率。利用维修子程序,还可在一部分部件解题的同时,对空闲的部件作检查,由于部件转接很快,因而可以交替使用部件,以实现高可靠性的连续保养性维护。最近的研究表明,带有自动排题系统的混合机有可能配上用户喜欢的“面向问题”的专用语言;还能基于最近计算数学的理论,高速串并行运算,以解决诸如天气预测,大型电力系统稳定性等特大规模的常(偏)微分方程问题;也有可能以模拟运算的高速度和数字机的高精度来解出诸如边值问题、积分方程、偏微分方程等问题。可以预见,随着具有全自动排题系统第四代机器的出现,混合机的应用将提高到一个更新的阶段。

(4) 微处理机组成的模拟监控系统——微控制器。模拟机的又一革新是采用微处理机组成的模拟监控系统——微控制器。它专管模拟子系统的设置诊断及运行的控制。它接受系统数字机编译出来的文件,存放在内存或外存中,然后根据运转执行程序,按需要调用。

在微控制器执行某任务的运行操作期间,还可按优先级同时处理后面任务的文件集。这种任务的重迭,不仅提高模拟子系统的运行效率,还使整个混合系统进行“成批”或“分时”操作成为可能。当子系统脱离全系统独立工作时,微控制器中还可装进交互性的混合操作解释程序,以便用户使用较低级的会话语言监控系统。

3. 高速高精度模/数接口

接口部分完成模拟子系统与系统数字机之间数据和控制的传递。通常,接口部分包括I/O通道,中断系统,模/数转换,数模乘法器,直接存取通道,逻辑控制电路等。如图(2-6)所示。

目前ADC/DAC64路~128路、精度0.02%、转换速度高于100KC已很普通。最近的研究表明,单片数模转换速度可达5MC,自适应式模数转换器的速度可达到 10^8 — 10^9 bit/S。当采用微处理机,便形成可编的多通道转换。

4. 多重分级数字机结构

研究表明,一台中型的现代混合模拟机(积分20~25)系数(100~150,乘法 $10\sim 20$,通用函数10,专用函数10,比较器 $10\sim 20$,逻辑10),若其部件以运算频率1KC、运算精度0.1%计,它等效数字机运算速度 250×10^6 次/秒。因此,如何充分挖掘模拟机在混合计算中高速运算的潜力就十分重要。

结论指出,一方面要把混合计算题目合理地分配给模拟和数字部分,以便数字计算速度与模拟计算速度相匹配;另一方面,更为重要的是,要节省混合计算系统中数字机完成数据交换和控制所占有的时间,其中,执行模拟机的运算状态设定、题目设置及系统调整的时间达到毫秒级,它相当于成千条数字指令!因而必须设法使这些控制的执行与混合题目中其它操作平行。显然,那种用一台数字机管理全系统的结构是低效的。而第四代混合机采用了高效的多重数字机分级结构,如图(2-7),还可参看图(2-1)。

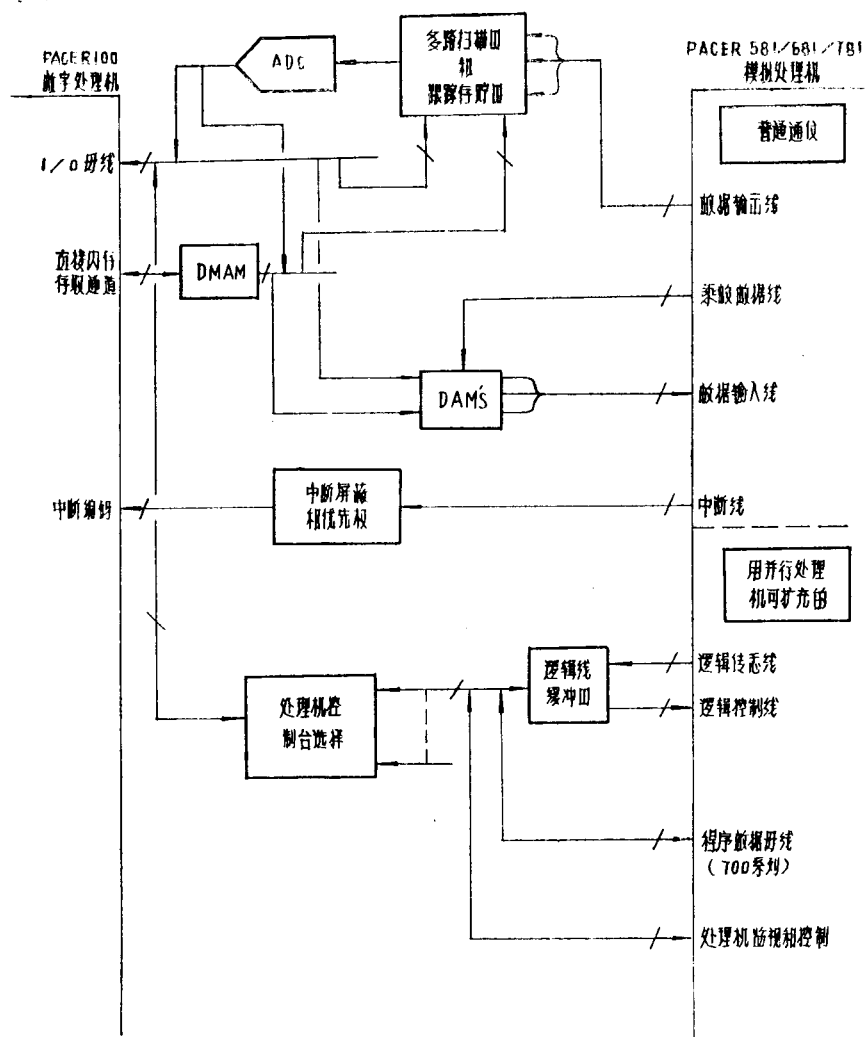


图 (2-6) 接口通信

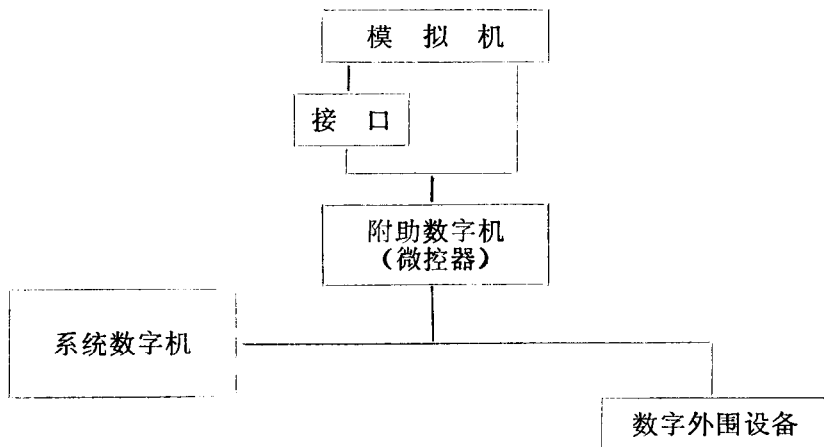


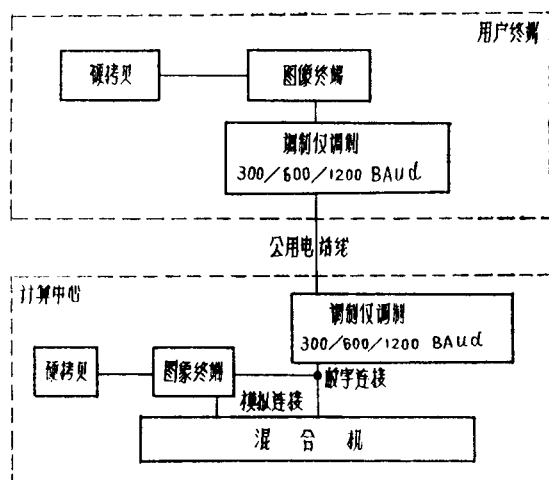
图 (2-7)

系统数字机编译源程序，形成设置，检查模拟子系统的程序和数字文件，并装进附加数字机（微控制器），后者又与模拟子系统中硬件的控制是平行直接联系的。这样就可使系统数字机执行主程序与辅助数字机执行控制和数据交换的操作平行进行。可以证明，这种分级结构比单级系统的效率高一倍以上。

图（2-1）中专管终端联系的通讯控制器也属这种原理。分级结构中的系统数字机只需采用面向实时中断、多道程序的中型通用数字机。

5. 混合远距存取终端

混合远距存取终端已成现实。如图（2-8）



图（2-8）

三、混合计算系统中的软件部分

与数字机一样，混合机有一套编好的程序——软件。其作用为：配合硬件环境，提高系统效能，简化或代替部分人工操作，加强人/机联系。其种类有：程序设计语言、编译程序、操作系统、检查诊断程序及专用程序等。

混合软件由于下列因素而与数字软件不同：

①主要用途是仿真；②系统中有模拟、数字、接口三大部分。

1. 混合仿真工作流程如图（3-1）

2. 混合运算主程序

（1）模数并行运算仿真程序如图（3-2）

（2）数控模拟迭代运算程序如图（3-3）

3. 高级仿真语言

采用高级仿真语言是第四代混合机的主要特点之一。人们要用混合机仿真，就必须有一种表达方式——语言，来表达仿真的题目及仿真研究中诸如输入/输出等交互性的控制功能等。在语言中规定了各种字符、语句及语法。语言要尽可能接近于用户陈述问题的习惯，便于人们掌握、阅读、检查、修改和交流。当然，它还应该满足仿真研究所需的各种