

混合仿真计算机HAP2/DJS的研制及应用

王正中 吴连伟 刘志俊

(北京信息控制研究所) (北京控制工程所)

摘 要

混合计算机目前在仿真应用中仍然占有重要的地位。本文介绍了我国自行发展的HAP2/DJS集成化小型混合计算机系统。文中给出系统组成、系统控制、界面操作、界面处理软件及典型的应用结果。

一、系统组成

HAP2是一台小型集成化的混合处理机，它可以和DJS系列的小型计算机组成混合计算机系统。系统框图见图1。

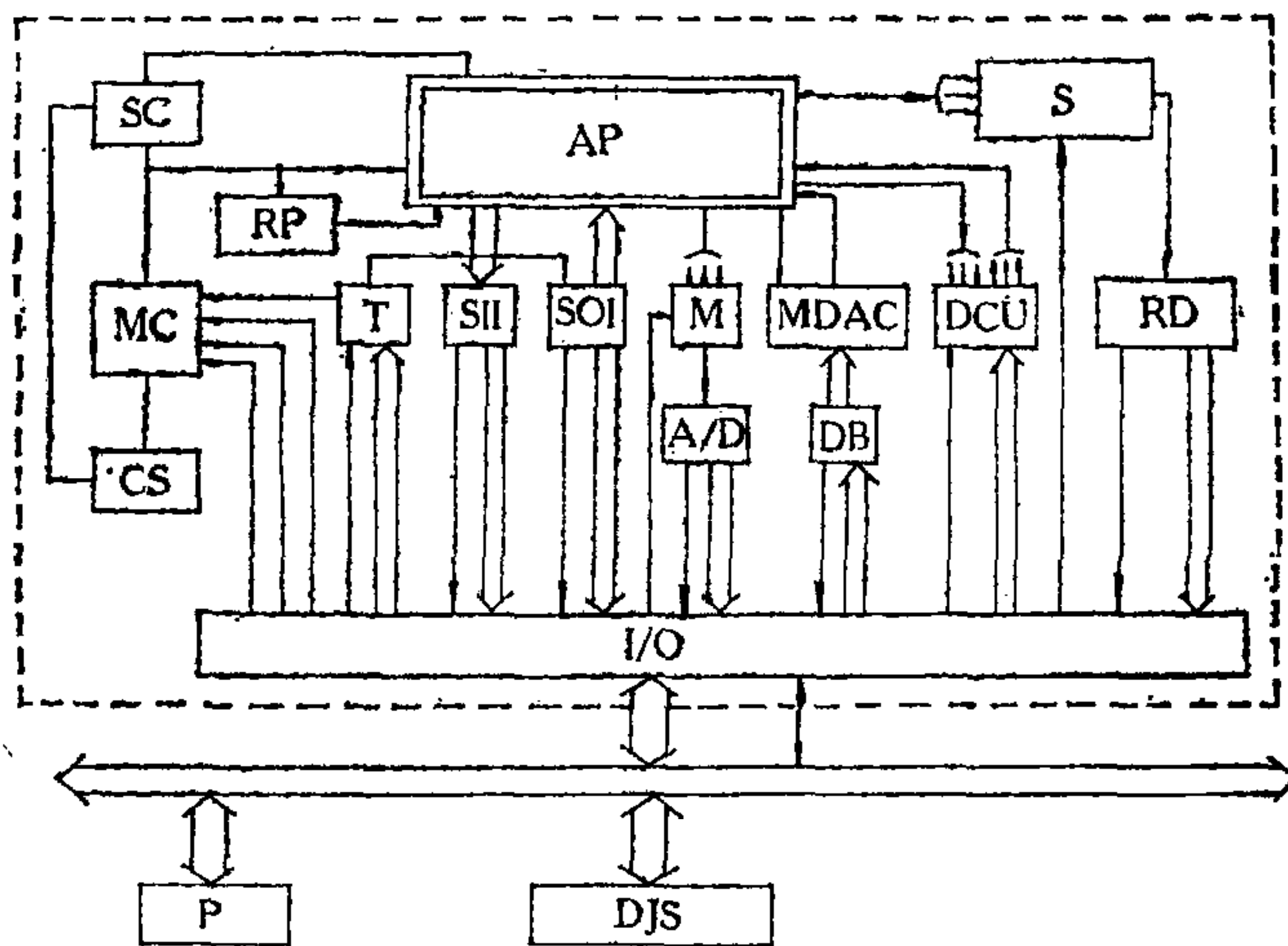


图1 HAP2/DJS混合计算机系统框图

AP为模拟处理机；A/D为模数转换器；CS为控制方式；DB为缓冲寄存器；DCU为数字系数器；DJS为小型计算机（DJS130、605等）；I/O为输入输出接口；M为多路扫描器；MC为状态控制；MDAC为数模乘法器；P为外部设备；RD为读出显示；RP为基准电源；S为选址；SC为信号控制；SII为输入开关量；SOI为输出开关量；T为时钟。

HAP2/DJS 的应用范围为：1) 实时和非实时的模拟/混合仿真；2) 高速重复运算及数控模拟迭代运算。

HAP2/DJS 系统包括混合仿真及数控模拟迭代运算两种基本操作程序。在第一种情况下，系统数学模型被配置在模拟处理机和数字计算机两个部分中，它们在运算过程中同步求解。由于模拟部分是并行的连续运算，而数字部分是串行的数值采样运算，故需准确定时。在HAP2/DJS系统中，同步操作依靠一个硬件优先中断系统，在每一帧开始时，实时时钟采样模拟变量并修正数/模转换器的输出，同时发出一个中断请求信号至数字机。系统是面向模拟处理机的，数字计算机如同模拟处理机的一个外部部件，仅在中断请求的瞬间响应并转入仿真程序。

在第二种情况下，系统主要用于最优化及随机统计等。这时的系统是面向数字机的，模拟处理机如同数字机的一个外部设备，在数字机程序的管理下工作。对于混合程序的设计，最好是具有一个可交互性应用的高级语言。这里采用的方法是在现有的程序设计语言BASIC系统上进行扩展。扩展后的语言称之为HYBASIC。

HAP2的外形如图2所示。

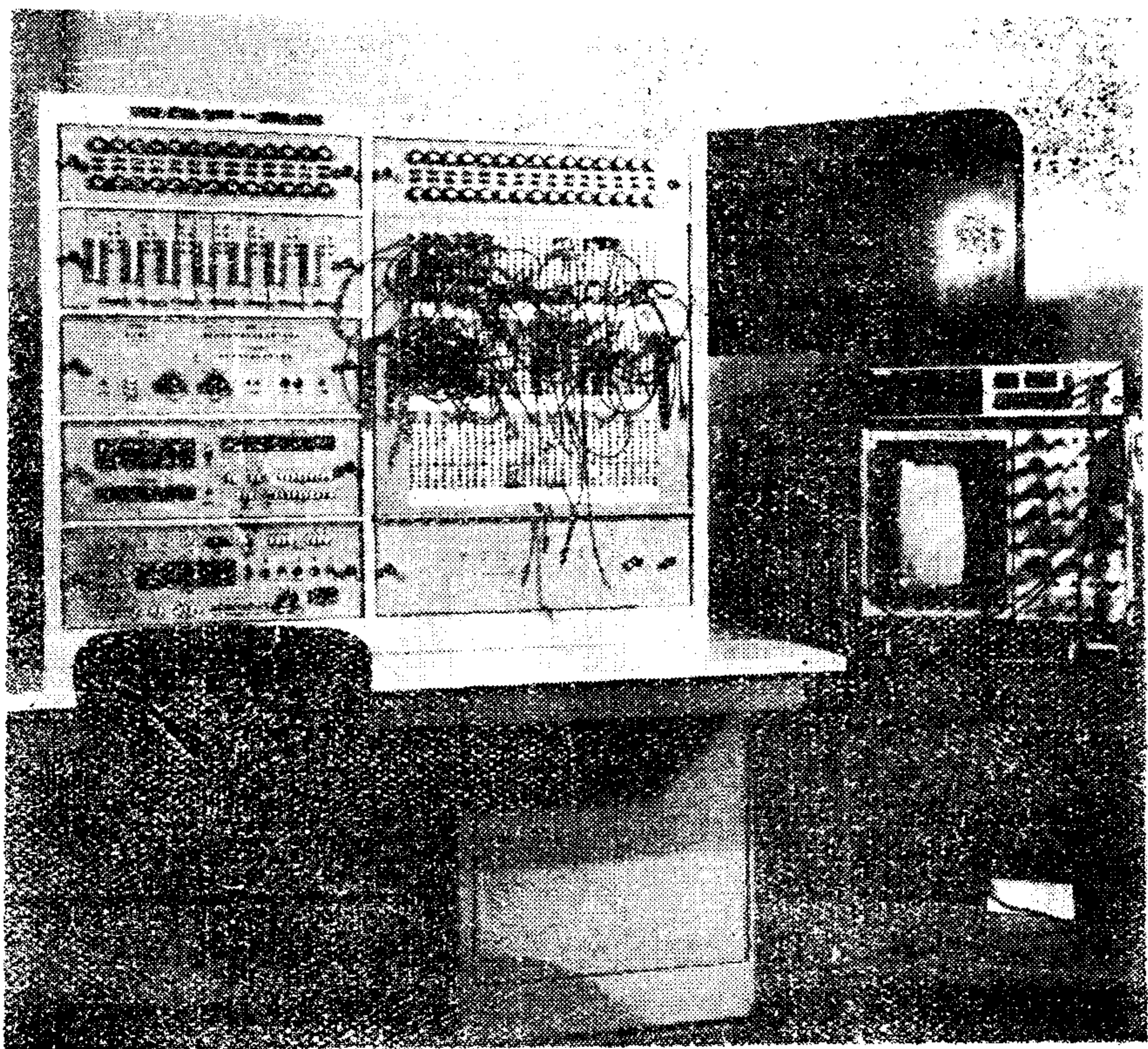


图2 HAP2外形图

二、状态控制

1. 状态控制

HAP2 的状态可以分为复位及工作状态两类，工作状态又可以分为设置初始值、静态校验、计算和保持四种状态。除了积分器需要五种控制状态外，其它的运算部件只有复位和工作两种状态。

对于 HAP2 状态的控制有五种方式。

1) 手动控制 (HC) (包括定时控制)：手动控制用于状态控制的手动操作。定时控制用于记录时间历程中变量的特征值。

2) 重复控制 (RC)：重复控制的选择将使得积分器按照事先设定的时钟周期执行“设置-计算”重复操作。

3) 单拍控制 (SC)：在选择单拍控制时，处理机即按事先设定的时钟周期完成一个“设置-计算”步，单拍控制用于检查迭代运算过程中的“步”过程。

4) 数字计算机控制 (DC)：在选择数字机控制时，状态控制接受来自数字计算机总线的控制字的控制。

5) 联机控制 (AC)：用于多台混合/模拟处理机的联机操作。

除了以上五种基本控制方式外，积分器 (包括模拟存贮器) 均可独立控制。积分器在并行控制时的控制方式有 HC、RC 和 SC 三种，模拟存贮器则只有 RC 和 SC 两种。当选择 HC 控制时，模拟存贮器仍然按 TR 重复操作。

2. 时钟控制信号

时钟控制信号是重复运算、迭代运算和混合仿真同步控制的时间基准。时钟的基频为 1 兆周，由晶体稳频振荡器产生，经过变频并通过逻辑控制得到时间周期 T 为 1 秒、0.1 秒、0.01 秒、0.001 秒的主控制信号 R (用于设置-计算) 和采样控制信号 S_1 、 S_2 (用于跟踪-保持)。

为了统计重复运算次数和混合仿真时给定一个连续运算的时间基准，还给出第四个控制信号 R_L ，它累计 R 的次数 N ，并通过对 N 的预先设定去控制处理机转入复位。

3. 输入/输出 (I/O) 接口和控制

HAP2/DJS 的混合操作有两种基本方式，即 DJS 通过 I/O 指令对 HAP2 进行管理和控制；HAP2 通过时钟及中断系统向 DJS 请求中断。在后一种情况下，DJS 将按照事先规定的中断优先级安排和中断服务程序，响应中断请求，保护现场，转入混合执行程序与 HAP2 同步操作。

在执行上述混合操作时，HAP2 与 DJS 之间的信息交换都是通过对母线和接口的管理及控制实现的。

三、HAP2/DJS 系统的界面操作及界面处理软件

1. HAP2/DJS 系统的界面操作

1) DJS 输入和输出的操作

DJS输入和输出的操作通过标准输出接口SOI及标准输入接口SII两个基本单元。SOI和SII接受DJS输入/输出(I/O)指令的控制。

a. 标准输出接口SOI

SOI的输入接至DJS的输出母线 $M_{XC0}-M_{XC15}$ 。输出则分别接到界面部件：数控时钟、状态控制器、控制寄存器（用于积分器和模拟存贮器的独立控制）、数/模转换器(DAC)或数/模乘法器(MDAC)的输出寄存器（即第二缓冲寄存器）、模/数转换器(ADC)控制器（路数选择及控制）、矩阵选址装置。

每个SOI包括一个16位缓冲寄存器及相应的控制逻辑。SOI由DJS的外设地址码 $D_{MS0}-D_{MS5}$ 选定，并由一个“打入寄存器”指令脉冲DRA操作，寄存来自DJS累加器的数据。

b. 标准输入接口SII

SII的输出接至DJS的输入母线 $M_{XR0}-M_{XR15}$ 。输入则分别接到界面部件：模/数转换器输出、数字电压表输出、题目编排板上逻辑总门。

每个SII包括一个16位缓冲寄存器和相应的控制逻辑，它们由外设地址码选定。模/数转换器和数字电压表的输出数据，由一个“转换完成”脉冲将它寄存在SII缓冲寄存器中。

“转换完成”脉冲由转换器和电压表给出，当指定的SII被选中，一个DJS的“取寄存器数”指令脉冲QAS将数据送至计算机累加器。对于逻辑总门，数据寄存操作是由计算机的“启动”指令脉冲CQD完成的。在取数操作完成后，SII缓冲寄存器通常被DJS的“清除”指令脉冲Z“0”RC清除。

2) 模拟量高速输入操作（用于混合运算）

来自模拟排题板上的模拟信号通过一个8路多路扫描器（可扩展至64路）送至模/数转换器ADC。多路扫描器在程序控制下，可以顺序扫描，也可以非顺序扫描。

3) 模拟量输出操作

模拟量输出通路为8路（允许扩展到64路），每一路包括有SOI缓冲寄存器、输出寄存器及数/模转换器DAC（或数/模乘法器MDAC）。采用双缓冲的方式是希望获得对输出模拟量的同步修正。输出寄存器的同步修正除由DJS控制外，也可以用模拟排题板上一个指定的逻辑变量进行控制。

4) 逻辑量输出操作（控制线）

逻辑量的输出是为了在混合应用中对模拟处理机的独立积分器、模拟存贮器和开关加法器等进行程序控制。这个功能用一个16位的控制字来完成。控制字从累加器到控制寄存器的传送是通过标准接口SOI完成的。采用双缓冲寄存的目的是为了进行时间控制。控制寄存器的16根输出线端点连结到模拟排题板上。由于各可控模拟部件和通用逻辑部件都放在排题板上，故可通过编排获得灵活的控制。

寄存器的16位输出，对于独立控制的积分器在两状态控制方式下（设置-计算），可以控制16个积分器；而在三状态控制方式下（设置-计算-保持），则可以控制8个积分器。

控制线编号 1—16

0	1	2														15
---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

逻辑量输出控制字形式

5) 逻辑量读入

数字系数装置 (DCU) 用于混合操作过程中对参数的快速修正, 与MDAC不同, 它对于参数值的修正是串行的。因此, 主要用于混合迭代运算及低速仿真中的变系数。

DCU可以接受来自数字机指令的控制。由一个16位的控制字完成DCU的选址和系数值给定。

地址码		系数值	
0	5	6	15

数字系数设置控制字

2. 混合操作软件 (HYBASIC)

混合操作软件是一个接口处理软件, 它是 BASIC 系统的一种扩展, 故也称为混合 BASIC (HYBASIC) 系统。采用扩展的目的是为了简化解释程序的设计, 获得与 BASIC 解释程序的兼容, 使全部的基本系统功能都能用于 HYBASIC。扩展的功能包括: 1) 设置 HAP2 至一个给定的状态; 2) 读出指定的运算部件的输出; 3) 进行时钟控制; 4) 设置控制线至给定的逻辑状态; 5) 读出全部逻辑的状态; 6) 读指定 ADC 输出; 7) 设置一个指定的 DAC (或 MDAC) 至给定值; 8) 同步修正 DAC (或 MDAC); 9) 设置 DCU 至给定值。

HYBASIC 的基本语句包括: 状态控制语句、输出语句、控制语句、读逻辑线语句、转换语句、系数设置语句和插入汇编段语句六种。

四、应用结果与讨论

为了验证 HAP2/DJS 混合仿真计算机的性能, 曾经对一些典型的基准题进行了验算。

1. 混合计算——求解范德堡方程

范德堡方程如下:

$$\frac{d^2 y}{dT^2} + P \frac{dy}{dT} (y^2 - 1) + y = 0.$$

这是一个病态方程, 在采用纯模拟计算求解时, 系统只有在 $0 < P \leq 2$ 的条件下, 才具有稳定解。当 $P > 2$ 时, 系统的仿真模型将是不稳定的。如果采用 HAP2/DJS 进行混合计算, HAP2 用以求解导数, DJS 用以求解函数:

$$F\left(\frac{dy}{dT}, y\right) = P \frac{dy}{dT} (y^2 - 1).$$

实验证明当 $P = 3.85$ 时, 解仍然是稳定的。由此可见, 混合计算较纯模拟计算是有更大的稳定边界。

2. 混合仿真研究——驾驶员弹射的基准问题

驾驶员弹射问题是用来检验仿真系统的常用基准题之一。仿真的目的是要明确飞机的速度和高度的组合, 这种组合将使被弹射的驾驶员安全脱离坐机的垂直安全面。在进行仿真研究时, 首先给定一个 V_A (飞行速度), 然后改变高度 H , 求出不同 H 情况下的运动轨迹, 并从而求得最小安全高度。改变 V_A , 就可以求得另一个相应的最小安全高度 H_s , 结果将是求得一个安全的 V_A-H_s 曲线。这一题目在 CDC-6400 大型数字计算机上求解的结果是: 求

解一条安全的 V_A-H_s 曲线是18.8秒，运行106次，因此求出每条运动轨迹的时间约为177毫秒。在 H A P2/DJS 混合仿真计算机上求解此问题时，系统的动力学方程由 H A P2 计算，仿真控制程序则由 DJS 完成。求解结果是：一条安全的 V_A-H_s 曲线所需时间为20秒，运行约¹60次，因此求出每条运动轨迹的时间约为125毫秒。由此可见，一台小型的混合计算系统，其仿真能力相当于一台大型数字计算机。

3. 参数寻优问题

H A P2/DJS 曾用于对一个两点边值问题进行参数寻优，在寻优方法上采用弛张法、基本随机法及模型随机法。在品质指标小于 10^{-3} 的条件下，求出参数终值的计算次数分别为16次、25次及19次。平均为20次。在混合寻优的情况下，系统模型的计算是由 H A P2 完成的（计算是瞬间完成的），寻优程序则由 DJS 完成。如果采用全数字寻优，则系统模型也是数字求解，求解一次所需的时间约10秒钟，完成一次寻优过程约需200秒。其速度约低于混合寻优5—10倍。

五、结 语

(1) 混合计算机在目前的仿真应用中仍然占有重要地位，特别是在实时仿真和超实时仿真方面仍具有一定的优势。

(2) H A P2 小型集成化混合模拟处理机配有完善的界面系统，并采用标准输入输出接口的设计方法，从而可以方便地与任何一种小型计算机相联结，组成混合计算机系统。

(3) H A P2 配有经过扩展的混合操作语言 HYBASIC，从而使仿真用户易于掌握和进行交互性操作。

(4) H A P2 已经批量生产，并在科研、设计及教育等方面得到应用。

参 考 文 献

- [1] Korn, G. A., *Electronic Analog and Hybrid Computer*, McGraw-Hill Book Company Inc., 1972.
- [2] 周炎勋、王正中、邱陶国，*模拟与混合计算技术*，国防工业出版社，1980.
- [3] 王正中，*混合仿真中系统误差对于采样频率的限制*，自动化学报，1980.

THE DEVELOPMENT AND APPLICATIONS
OF A HYBRID SIMULATION COMPUTER HAP2/DJS

Wang Zhengzhong Wu Lianwei
(Beijing Institute of Information and Control)

Liu Zhijun
(Beijing Institute of Control Engineering)

Abstract

Hybrid computer keeps playing an important role in the field of simulation until recently. In this paper, an integrated mini-hybrid computer system HAP2/DJS, which is developed in China, is introduced. Its system organization, system control, interface operation, interface manipulation software, as well as its typical application results are described.