

综述与评论

仿真系统及其与大系统的关系

文 传 源

(北京航空学院)

摘 要

本文讨论了仿真系统与大系统的关系,目的在于如何对大系统进行有效的仿真。本文首先简要描绘了大系统的特点;然后讨论了适合于大系统的仿真特点以及仿真计算机系统的组成、工作方式等。

一、前 言

应用数学模型、相应的实用模型和装置(如风洞实验的飞机模型、飞行仿真器视景系统的地景模型等)、计算机系统(包括硬件和软件)、部分实物所组成的仿真系统,可对某一系统进行数字仿真、半物理仿真(半实物仿真)、物理仿真(实物仿真)试验,以便分析、设计、研究这种系统;或利用这种仿真系统训练给定系统的乘务人员或工作人员。这就是近代仿真系统的功能。

如果全部采用实物进行试验,太浪费、太危险,周期太长,甚至有时不可能。例如:无人驾驶飞机、宇宙飞行器、宇航员进入太空前的试验等。试飞和故障处理的试验,不在地面进行仿真训练太冒险。宇航员进入太空前不做仿真试验,显然是不可想像的。应用仿真系统进行分析、设计、研究和训练等经济效果尤为显著,如用波音707飞机训练飞行员每小时估计约需6000元,而用波音707飞行仿真器训练飞行员,每小时约需250元。特别值得指出的是:用仿真系统训练飞机、舰艇、坦克、汽车等的驾驶员或专业性乘务员,可大大节约燃油消耗、减少环境污染。如用F-15飞机仿真系统或波音747飞机仿真系统训练飞行员,每天工作20小时,每年可分别节约燃油约10万吨或30多万吨。英法用飞行仿真系统设计“协和”号,缩短了研制周期 $\frac{1}{6} - \frac{1}{8}$,节省费用15—25%。至于用仿真系统进行训练,不受气候、场地、时间的限制,自不待言。

仿真技术是建立在控制理论、计算技术、相似原理基础上的一门新技术学科。结构复杂、规模庞大及影响因素多的大系统(或系统工程)的分析、研究、设计和试验,没有仿真系统是不可能奏效的。而模拟大系统的仿真系统,无疑本身也是大系统,同时仿真技术和计

算技术,在某种意义上说是孪生兄弟,仿真系统的核心部分又是计算机控制系统;而且仿真技术如计算机辅助设计(数字仿真)也是设计新的计算机系统的有效工具.仿真技术过去较广泛地用于一般工程系统,近来,在经济管理、社会、生态学、医学方面的应用也日益广泛.仿真系统不但早已用于人们所熟知的连续系统,目前也已广泛用于模拟离散事件系统(如电话交换系统,城市交通管理系统等).

总之,由于仿真技术卓著成效,得到迅速发展,已崛起成为一门很有生命力的新学科,国际仿真中的数学与计算机联合会(International Association for Mathematics and Computers in Simulation——IMACS)的建立,并与国际自动控制联合会(IFAC)、国际信息处理联合会(IFIP)、国际运筹学联合会(IMEKO)成为五个有关联的国际学会之一,是符合发展需要的.

目前,仿真技术对我国航空、宇航已起着很重要的作用.对原子能工程、各种大型工程、大型企业的分析、研究、设计、训练、管理;以及社会,经济管理,生态学,医学等方面也将发挥重要而有效的作用.随着四个现代化的进展,其效应将越来越显著.

由于仿真技术牵涉的面很广,此处仅就仿真技术与大系统的关系作必要的阐明.

二、大系统的特点

由于大系统需要仿真系统作为手段,以便进行分析、研究、设计、制造、试验、评价,管理和维护;而模拟大系统又是仿真系统的主要任务.为了有效地对大系统进行仿真,拟首先简要地归纳一下大系统的特点,以便在仿真时有的放矢.

1. 大系统分析方法的特点

1) 分解与协调

为了简化分析,逐步深入,先局部,后总体,大系统的分析方法或设计思路,一般第一步采用分解方法(Decomposition),即在设计过程中,先暂时完全“切断”各子系统间的状态关联,或者将关联变量暂时设置为某定值或某函数,将高阶大系统分解为若干孤立的低阶子系统,以使用通常的方法解决子系统的设计问题,然后考虑实际存在着的状态关联,并据以进行修正,作为大系统设计的第一步.大系统分析方法或设计思路的第二步为“协调”,在对各孤立的子系统进行设计、修正后,为了实现大系统的总目标,必须对各子系统进行协调,为此必须设计协调器.较为具体地说,第一步采用分解方法将大系统分解为若干个孤立的子系统,用通常的最优化方法设计各子系统的局部控制器,组成大系统的第一级(初级控制器).第二步,从关联平衡或关联预估原则出发,设计第二级(高级)控制器,也就是所谓协调器,选取适当的协调变量,使各子系统协调配合,实现整个大系统最优化.

2) 大系统模型简化法——集结法

集结法的直观概念为:假定 S_1 是一已知的变量集合,并用它来对物理系统进行数学描述;而 S_2 是一较小的变量集合,可用它对同一系统进行数学描述;则 S_2 是 S_1 的集结模型, S_2 的变量叫作集结变量.

设一线性定常大系统的动态方程组为:

$$\dot{X}(t) = AX(t) + BU(t) \quad (1)$$

$$Y(t) = HX(t) \quad (2)$$

其中 $X \in k^n$; $U \in k^r$; $Y \in k^m$; 求其低阶的集结模型 $Z(t)$:

$$\dot{Z}(t) = FZ(t) + GU(t) \quad (3)$$

其中 $Z \in k^l$ ($r \leq l < n$).

对一给定类型的输入, 状态向量 $Z(t)$ 保留 $X(t)$ 中具有物理意义的 l 个分量, 而且必须保证足够近似.

为使式(3)是式(1)的集结模型, 要求对所有的 t 存在关系式:

$$Z(t) = CX(t) \quad (4)$$

式中, C 是 $l \times n$ 矩阵, 称为集结矩阵. 席勒 (Siret) 等人研究了线性动态系统的集结模型, 并提出了集结矩阵的一个普遍表示式:

$$C = L[I_l \ ; \ 0]T^{-1} \quad (5)$$

式中, T 是把矩阵 A 化为 Jordan 型阵的 $n \times n$ 变换矩阵, I_l 是 $l \times l$ 单位矩阵, 0 是 $l \times (l - n)$ 零阵, 而 L 是任意的 $l \times l$ 满秩矩阵.

2. 大系统的稳定性

在分析大系统的稳定性时, 也采用分解技术, 即在分析各孤立的(切断关联)子系统稳定性的基础上, 分析大系统的稳定性. 例如, 假设所研究的大系统为:

$$\frac{dX}{dt} = f(X, t); \quad (6)$$

$$f(0, t) = 0$$

$$X \in k^n, \quad t \in R$$

所分解的子系统为

$$\frac{dx_1}{dt} = f_1(x_1, t) + g_1(X, t) \quad (7)$$

$$\vdots$$

$$\frac{dx_n}{dt} = f_n(x_n, t) + g_n(X, t)$$

$$\text{设} \quad f_i(0, t) = 0; \quad (8)$$

$$g_i(0, t) = 0;$$

$$i = 1, \dots, n$$

式中 $g_i(X, t)$ 表示其它子系统对第 i 个子系统的关联.

令 $v_i(x_i, t)$ 为第 i 个分解出来的独立子系统的李亚普诺夫函数, 此时设 $g_i(X, t) = 0$. 今定义大系统的李亚普诺夫函数以及各子系统的李亚普诺夫函数与加权的的关系式为:

$$V(X, t) = d_1 v_1(x_1, t) + \dots + d_n v_n(x_n, t) \quad (9)$$

式中 d_1, \dots, d_n 均为正常数.

如果满足下列三个条件, 则由上述各个孤立的子系统集成的大系统是渐近稳定的.

1) 每个孤立的子系统有一正定、渐小、径向无界函数 $v_i(x_i, t)$ 存在连续的偏导数, 使其沿轨线 $\dot{x}_i = f_i(x_i, t)$ 满足:

$$\frac{dv_i}{dt} \leq -\alpha_i \{u_i(x_i)\}^2 \tag{10}$$

$$|\text{grad}^i V_i| \leq u_i(x_i) \tag{11}$$

式中 $|\text{grad}^i v_i|$ 为 v_i 对 x_i 的梯度的欧几里得范数, α_i 为一正常数, $u_i(x_i)$ 为 x_i 的正定函数.

2) 有非负常数 β_{ik} 使

$$|g_i(X, t)| \leq \sum_{k=1}^n \beta_{ik} u_k(x_k) \tag{12}$$

$|g_i(X, t)|$ 为 $g_i(X, t)$ 的欧几里得范数.

3) 有一矩阵 $A = (a_{ik})$, 给定为

$$a_{ik} = \alpha_i - \beta_{ik}, \tag{13}$$

$$a_{ik} = -\beta_{ik} \quad (i \neq k) \tag{14}$$

为一 M 矩阵 (Metzler 矩阵), 是一方阵, 有正的对角元素和非正的非对角元素, 其前主子式都是正的^[7].

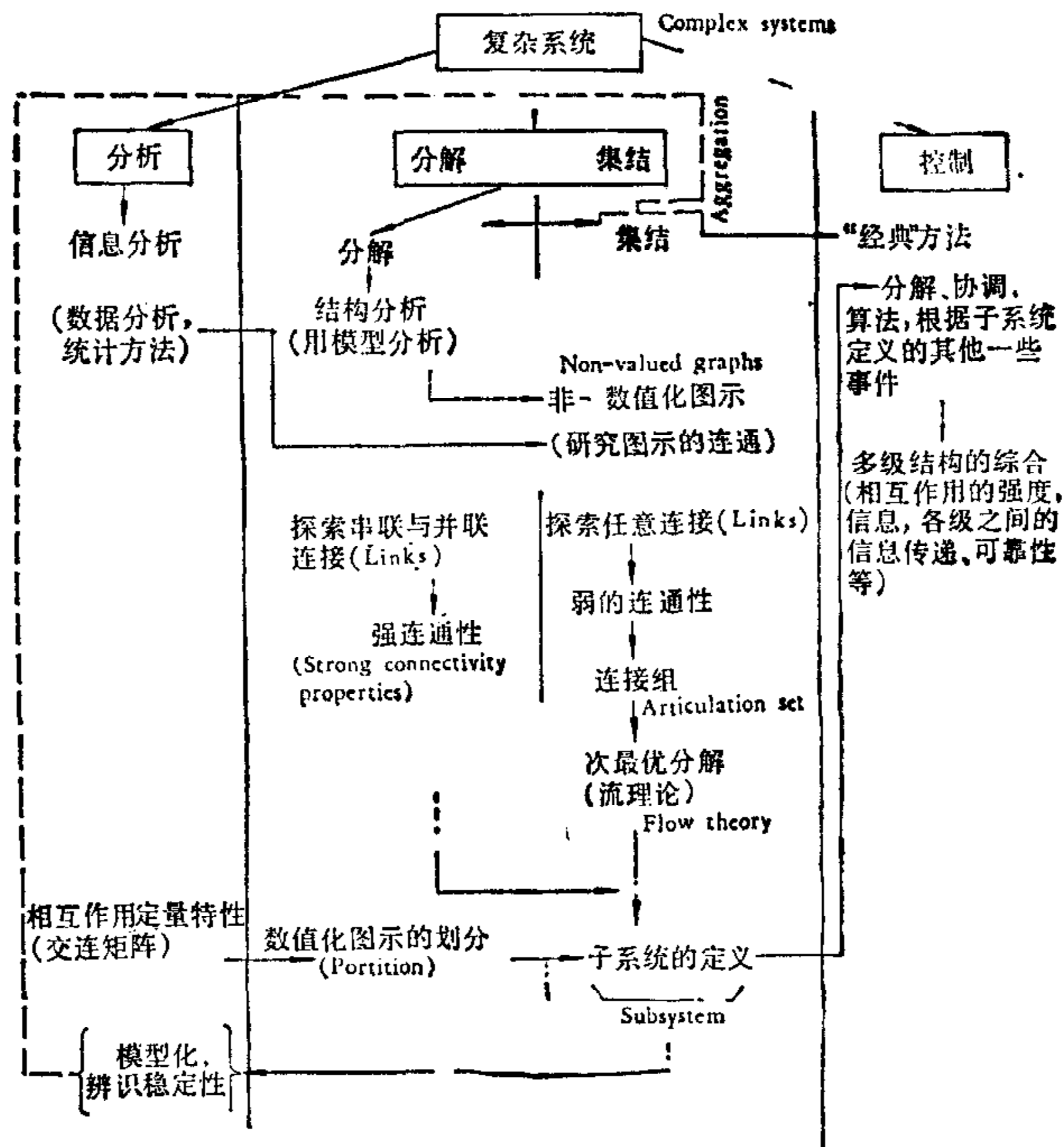


图1 大系统(复杂系统)的信息关联与处理.

3. 大系统结构上的特点

图1所示为大系统的信息关联与处理图示. 左侧表示对大系统的一般信息与数据分析, 作为进一步分析与研究的参考; 中间为具体分析方法, 即分解与集结法, 以及信息连通的强弱和子系统的定义与相应的下一步处理; 右侧为根据子系统的定义采取相应的控制措施和方案, 有助于提纲挈领地分析大系统的思路.

至于具体考虑大系统结构上的特点时, 结构不确定原则有重要意义, 在给定的控制任

务下,可选取不同的大系统结构方案,并与分解技术相对应。如按对象的结构形式分解为多级控制结构;按控制任务分解为多层控制结构;按控制过程时间分解为多段控制结构。

综上所述,大系统控制方案是按强弱连通性和分解与协调技术等因素来确定的。

1) 分级控制的大系统

如果大系统是由各个彼此独立的子系统组成,那么自然可采用彼此完全独立的分散控制系统。但组成大系统的各个子系统一般是彼此互相关联的,因而应考虑各个子系统间所存在的不同强度的连通性,这样,虽然每个子系统的分散式控制器有其一定的性能判据,但各个子系统分散式控制器之间存在一定矛盾,因此需要第二级控制(或多级控制)来协调各子系统间的相互作用,以及必要时修正任一控制器的对象;同时,根据将各具有强连通性的组件划分为一个子系统的原则,来分解子系统,换句话说,就是使被分解的各个子系统之间的相互作用尽可能小。

在这种结构中,控制系统分布于二级或多级之间,而且有些控制仅对所控制的过程有间接作用。这类控制器是从级数高于它们的控制器获取信息。

此处有些控制器对较低级的组合可起协调器作用,从而可解决子系统之间的矛盾,以达到整个系统的控制目标。

这类控制结构可大致归纳于下:

- a. 较低级的各控制器的所有对象彼此独立,而且对别的组合一般也不加考虑。
- b. 所有控制器各自的功能,可利用各自部分的软件在一个计算机或一组联机的计算机中统一管理和运行。
- c. 协调器可保证满足整个大系统的性能要求。

2) 分层控制的大系统

按任务将大系统分为分层结构,可根据横的划分和纵的划分两种方式进行。

横的划分,将整个问题分别列写为一组彼此独立的低阶子问题,对每个子问题的处理要简易一些。每个子问题由一个局部控制器解决(此控制器位于系统的最低级),但其动作由较高一级进行协调。

纵的划分:将控制任务划分为多级控制任务:

- a. 调节或直接控制;
- b. 最优化(确定调节器的设置点);
- c. 适应性(模型与控制规律的自适应);
- d. 自组织(选择随环境而变的模型与控制的结构)。

3) 分段控制

按时间进行分段控制的结构,可根据各段的结构形式与连通性的强度,以及各段之间的衔接,考虑集中、分散控制的方式。

至于复杂的大系统可能包括几种不同的结构形式。如多级和多段控制结构,同样,可按具体结构以及连通性程度考虑集中、分散控制的适当方式,以便收到简便、经济而又满足性能要求的效果。

三、大系统的仿真

在对大系统进行仿真时,自然应考虑前面列举的分析方法与结构特点,但对现代仿真技术来说,它正是解决这类问题的有力工具.从仿真技术角度看,模拟大系统时,主要应考虑是否有实时要求,数学模型的主要特征(是连续系统,还是离散系统?),以及计算机的组成形式.今分别简要论述如下.

1. 非实时和实时仿真

大系统仿真主要是人参与试验的人机系统,或者是有部分关键实物参与试验的系统,有严格的实时要求,必须进行实时仿真.

大系统的各个子系统和各个部分的状态变化,本来都是瞬时而且是严格并行的,要进行瞬时而且严格并行运算的仿真,只有模拟计算机才能作到.因为数字计算机只能作串行运算,为了适应模拟大系统各子系统和部件并行工作的要求,可选定适当的采样周期,在每一个采样周期内,将各子系统和各部分所需要计算的内容,全运算一遍,从而在某一采样周期结束时,可近似地看作达到并行运算的目的.当然在某一采样周期内的所有数字运算仍都是串行的,所以在数字计算机上的实时并行运算和模拟计算机上的真正实时并行运算有着本质的区别,这也是数字计算机运算所造成的实时采样误差的主要根源,只有采样周期足够小时,才能满足宽频带系统仿真的要求,目前一般飞行系统的采样周期为50ms左右,在同样计算内容的要求下,采样周期小,就要求计算机运算速度要快.因此对大系统进行数字仿真时,对数字计算机的内存容量、字长、定位(定点运算时)采样周期、运算速度都有严格要求,对飞行仿真系统而言,内存容量,一般32—64K字就可满足要求,任务复杂视情况增大内存容量.字长和定位直接影响舍入误差,字长一般16位就够用,当精度要求很高时,须用32位,甚至64位字长才能满足要求.定位须根据参数的最大值与最小值的范围确定,如果字长不够,还需用双字长,这是编写汇编程序时必须考虑的问题.在采样周期确定后,除了留出部分时间作在线修改参数和检测外,其余时间均用于大系统仿真程序的运行,根据大系统仿真程序指令的条数,就可确定计算机的运算速度要求.

目前实时仿真程序,一般仍用汇编语言编写成汇编程序,然后在数字计算机汇编成所要用的目的程序,但工作量大.如果用高级语言编写程序,则在数字计算机上由编译系统编译成所要用的目的程序,这种目的程序,比上述汇编出的目的程序耗机时多,所以一般仍不得不用汇编语言编写汇编程序.不过,现在用高级语言编的程序,经功能强的编译系统编译出的目的程序,有的比汇编出的目的程序仅多费10%左右的机时,但可大大减少编写程序的时间,这是一个值得研究的方向.

非实时仿真,实际上是对大系统进行科学解算、分析、综合,除了可用于不要求实时仿真的大系统外,也是为实时仿真作准备的重要环节.

2. 连续系统和离散系统的仿真

一般工程大系统大都是连续系统,而连续系统的仿真已为人所熟知,由于它的状态随时间连续变化,而且不同系统、不同参数变化的频带也不同,如果在数字计算上进行数字

仿真,为适应数字计算机串行运算的特点,须对其原始数学模型作离散化处理;然后根据仿真的要求和设备特点,进一步将离散化的数学模型作适应仿真要求的处理,成为各该系统的仿真用数学模型,当然这种仿真用数学模型,必须符合原来系统的特性并考虑仿真要求. 为了适应连续系统仿真的特点以及提高计算机编译的效率,科技工作者提供了不少连续系统仿真语言,如: PACTOLAS; MIDAS; MIMIC; CSMP; CSSL; DSL/90; DYNAMO; GASPIV (亦用于离散系统)等.

近来,仿真技术也广泛用于离散事件系统(简称离散系统),社会及经济领域的问题大都属这类系统. 组成离散系统的各对象称为实体 (Entities), 每个实体的特性称为属性 (Attributes), 实体与实体之间的作用称为动作 (Activities). 系统状态的变化是在离散时刻发生的,因此并不需要描述两个离散时刻之间所发生的动态过程. 这种在离散时刻发生的“事件”(EVENT)指系统状态发生变化,如改变实体属性的数值;产生或者取消一个实体;开始或停止一个动作. 以电话系统为例,电话(或电话线)与连接线是实体,它们的属性是闲着还是忙着,通话就是动作. 当在某一离散时刻(是随机的)某一电话发出呼叫,当所呼叫的另一电话正在闲着,而且电话交换台接线板至少有一根空着的连接线,于是电话接通. 也就是说,在此一离散时刻发生了某一电话(实体)与另一电话(实体)通话(动作)的事件,自然也就改变了某一电话和另一电话的属性,即由闲着的状态变为忙着的状态;开始了某一电话和另一电话通话(动作)的状态.

对离散系统进行仿真,首先是根据实体的属性和动作(或者离散事件的发生和状态变化)建立数学模型,但离散事件的发生及其过程一般都是随机的,如电话系统中呼叫的到达与通话时间的长短,都是随机的,这是这类离散事件仿真数学模型的主要特点. 同时,由于电话系统中可能有几个呼叫同时要求接通,故须考虑排队等候的问题. 而计时则可按单位增量,或者按上一次事件的发生与本次事件的发生之间的时间增量计算.

为了适应离散系统仿真的特点,科技工作者发展了不少离散系统专用仿真语言如: SIMULA67; GPSS (General Purpose Ssystem Simulator); SIMSCRIPT; MILITRAN; SIMPAC (SIMULATION PACKAGE); CSL (Control and Simulation Language); GASPIV (适应离散与连续系统的综合仿真语言,为基于 FORTRAN 的程序包形式); SOL (Simulation Oriented Language) 等.

3. 大系统仿真计算机系统的组成和工作方式

现在一般工程大系统都是采用计算机控制的系统,并分为集中控制、分散控制,或二者的组合三种形式. 所应用的计算机类型有: 纯数字计算机(对某些频带宽的子系统也有辅以模拟解算部件的), 数字计算机与混合模拟计算机的综合计算机系统. 但在仿真时,只要仿真结果能达到动态特性和精度要求,不必拘泥于复现大系统中计算机的组成方式和类型,特别是非实时数字仿真,更没有这种复现的要求. 所以在对大系统进行仿真时,可根据设备条件和要求,确定控制方式和计算机类型. 今按数字计算机和数字计算机多机联用系统,微处理机阵列系统,数字计算机与混合模拟计算机的综合计算机系统,分别简述如下:

1) 数字计算机和数字计算机多机联用系统

如果采用一个数字计算机按集中方式模拟大系统,并控制有关分系统时,可根据大系

统的结构特点和数字计算机集中处理的特点组织和编排各程序模块.如按分系统(如飞行仿真系统中的飞行系统、发动机系统等,每个分系统又包括若干个子系统.)划分为分系统及其各个子系统程序模块;按变化快慢划分为全速率、 $\frac{1}{2}$ 速率、 $\frac{1}{4}$ 速率、 $\frac{1}{8}$ 速率等模块;如果要求严格相位同步,则可从全速率模块划出一部分为同步速率模块,每次优先运行,保证必要的相位同步. 为了合理安排各个速率模块和各个分系统有条不紊地运行,以及合理安排各个外部设备与控制对象的工作和顺序,由管理程序加以控制. 同时为了安排好某速率块内某个分系统的各个子系统的运行顺序,则由本地管理程序予以控制. 至于为了控制连接器于某一定采样周期内(例如 50ms)依次进行模拟量输入、模拟量输出、开关量输入、开关量输出的信息传输,以便计算机进行解算和输出控制信息,在管理程序中可安排时钟中断程序、连接器中断程序,并经由计算机的直接数据通道(DMA)处理这些信息. 当然,如果有的分系统变化太快,则可采用局部模拟解算部件进行仿真,计算机可通过连接器与模拟解算部件交换信息.

如果采用数字计算机多机联用系统对大系统进行仿真时,根据具体情况,既可按集中方式,也可按分散方式,或者按组合形式模拟大系统.

2) 微处理机阵列系统

此处微处理机阵列是指由若干单元处理机组成,各个单元处理机可并行工作,根据模拟计算机各组件并行工作的方式,各单元处理机分别具有加法器、积分器、乘法器功能,并以微程序形式存于单元处理机存储器中. 微处理机阵列系统有仿真语言处理机,可将用户数学模型进行分类、编译并输往有关职能单元处理机;然后由操作控制程序控制各单元处理机的操作、时间区间、步长、同步等.

由于目前微处理机只有 16 位,尚不易满足高精度仿真要求,目前尚未广泛采用,随着微处理机的不断改进和发展,如何有效地扩大应用微处理机值得注意.

3) 数字计算机与混合式模拟计算机组成的综合计算机系统

混合式模拟计算机具有充分实时运算能力和必要的逻辑功能,由混合式模拟计算机与数字计算机组成的综合计算机系统,对航空、宇航等的仿真,曾作出过重大贡献. 为提高混合式模拟计算机函数发生器的精度和快速性,AD-10 多变量函数发生器的速度比目前通用大型数字计算机快 100—500 倍,它产生一个双变量函数的平均速度为 400ns,产生一个三变量函数为 800ns,产生一个四变量函数为 1600ns. 为了同时编译出综合计算机系统中数字计算机的目的程序及模拟计算机的机器代码和目的程序(目的在于确定模拟计算机排题、系数设置、比例尺、静检等,或使排题与系数设置自动化),科技工作者创建了不少综合计算机系统仿真语言如: ASPACE (Analog Programming and Checking); HYTRAN (Hybrid Transister); HOI (HYTRAN Operation Interpreter); ACTRAN (Analog Compiler and Transister); APSE (Automatic Programming and Scaling of Equation); APSEIV/HYTRAN 程序生成系统; HELP (Hybrid Executive Language Package); ISL (Interactive Simulation Language) 等. 从而提高了综合计算机系统的仿真效率.

1978 年时,就有很多科技工作者认为,五年左右数字计算机将取代综合计算机系统,也有人认为:综合计算机系统在仿真领域的应用,确曾显著下降,但近来已有所回升,而且

50Hz 以上的系统的仿真, 仍多用综合计算机系统。总之, 对混合模拟计算机的前景问题, 可谓众说纷纭。不过模拟计算机的并行运算方式已渗透到数字计算机系统, 尽管线性集成电路加工困难, 但仍在大力研制, 模拟计算机在某些方面仍在应用, 不可偏废。当然, 由于数字计算机、微处理机功能迅速提高, 亦应大力发展, 以适应仿真的要求。

四、仿真技术的发展

由于大系统的出现, 如近代飞行器系统、原子电站系统、电力系统、交通系统、社会系统、经济系统等复杂大系统, 不利用仿真器进行研制, 设计工作几乎很难进行。所以研制仿真器的重要性已为人所公认, 如欧美一般已发展到没有新飞机不经过飞行仿真器设计的新阶段。由于经济、安全、不受场地气候限制、节约能源、避免污染等优点, 训练用仿真器, 特别是飞行仿真器、原子电站仿真器、汽车仿真器, 船舰仿真器等已得到广泛的应用, 因此有人指出, 欧美工业发达国家已进入没有不经过飞行仿真器训练的飞行员的新历程。

增强计算机系统人机对话、分析综合的功能, 由计算机或仿真器辅助设计逐步增强设计自动化方面的功能, 值得注意。

仿真技术必须适应综合应用各种控制技术和各种不同控制系统的需要, 还须研究仿真技术本身的一些特殊问题。由此可见, 仿真技术的研究领域是非常广阔的, 因而已经成为一独立的和综合性很强的新学科。仿真技术是加速四个现代化的有效工具之一, 值得重视, 并应有所作为。

参 考 文 献

- [1] Granino A. Korn, John V. Wait. *Digital Continuous System Simulation*, 1978, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [2] Manesh, J. Shan, *Engineering Simulation Using Small Scientific Computers*, 1976, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- [3] Geoffrey Gordon, *System Simulation*, 1978, 1969, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [4] Aoki, M. *Control of Large-Scale Dynamic Systems by Aggregation*, *IEEE., Transactions on Automatic Control*, AC-13(1968), 246—255.
- [5] Penrose, R. *A Generalized Inverse for Matrices*, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 51, (1955), 406—413.
- [6] Davison, E. J., *A Method for Simplifying Linear Dynamic Systems*, *IEEE., Transactions on Automatic Control*, AC-11(1966), 93—101.
- [7] Araki, M., *Stability of Large-Scale Nonlinear Systems Quadratic-Order Theory of Composite System Method Using M-matrices*, *IEEE., Transactions on Automatic Control*, AC-23(1978), 2.
- [8] Sandell, N. R. et al., *Survey of Decentralized Control Methods for Large-Scale Systems*, *IEEE., Transactions on Automatic Control*, AC-23(1978), 108—128.
- [9] Araki, M., *Application of M-matrices to the Stability Problems of Composite Dynamic Systems*, *Journal of Mathematical Analysis and Application*, 52(1975), 309—321.
- [10] Araki, M., Kondo, B., *Stability and Transiant Behavior of Composite Nonlinear Systems*, *IEEE., Transactions on Automatic Control*, AC-17(1972), 537—541.
- [11] Michelir, A. N., Miller, R. K., *Qualitative Analysis of Large-Scale Dynamic Systems*, (1977), Academic, New York.
- [12] Medanic, J. V. et al., *A New Approach to Model Reduction Based on System Output Information, A Link Between Science and Applications of Automatic Control*, *Seventh Triennial World*

Congress (1978), 3, pp. 1869.

- [13] Karplus, W. J., The Spectrum of Mathematical Modeling and Systems Simulation, Simulation of Systems, 8th AICA Congress, Delft, 1976.
- [14] Kleijnen, J. P. C. Discrete Simulation Types and Problems, Simulation of Systems, 8th Congress, Delft, 1976.
- [15] 涂序彦, 关于大系统理论的几个问题, 自动化学报, 1979年5卷3期.

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE SIMULATION SYSTEM AND THE LARGE-SCALE SYSTEM

WEN CHUANYUAN

(Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics)

ABSTRACT

This paper describes the relationship between the simulation technique and the large-scale system. The aim is how to simulate the large-scale system effectively. Firstly, the characteristics of the large-scale system is simply illustrated. Secondly, the simulation feature, computer organization and simulation method which are suitable to simulate the large-scale system are discussed.

第 6 卷 第 3 期 更 正

页	式(行)	误	正
195	1.1	$E_A = IM_1(\sin N\theta + e_A(\theta))$ $E_B = IM_1(\sin N\theta + e_B(\theta))$	$E_A = IM_1(\sin N\theta + e_A(\theta))$ $E_B = IM_1(\cos N\theta + e_B(\theta))$
195	倒 7	$O = (\cos\varphi)E_A - (\sin\varphi)E_B$ $= IM_1[\sin N\theta + (\cos\varphi)e_A$ $- (\sin\varphi)e_B]$	$O = (\cos\varphi)E_A - (\sin\varphi)E_B$ $= IM_1[\sin(N\theta - \varphi)$ $+ (\cos\varphi)e_A - (\sin\varphi)e_B]$