

从第三届国际控制论和系统大会看 生物控制论的研究动向

郭 爱 克

(中国科学院生物物理研究所)

近年来,国际上控制论研究发展较快。最近,在罗马尼亚的布加勒斯特召开了第三届国际控制论和系统大会。大会有三个学术报告会:经济控制论和管理;系统理论;生物医学计算。大会还有七个分组讨论会:经济控制论系统和管理;系统与模型;工业控制论;控制论与环境;通讯、教育和信息处理;人工智能;神经和生物控制论。会上宣读了318篇论文,其中涉及生物系统的82篇。本文想透过这次会议,从某些侧面谈谈生物控制论的研究动向。

一、控制论及其方法学

数学家维纳在1948年给“研究动物与机器的控制与通讯的科学”起了个名字,叫做控制论。这样算起,控制论已有27年了。当然,控制论的产生对于实践的依赖关系,对于其他科学发展的依赖关系,可以追溯到相当久远的历史。今天,控制论还处于幼年时期。但是它的内容大大地丰富了,范围大大地扩大了,所研究的系统大大地复杂了。有人曾这样描述控制论:控制论是一门多学科的边缘科学,它有许多脚,一支脚在大脑,一支脚在计算机,一支脚在生态学,一支脚在经济学……。也有人说:控制论,借助通讯与控制理论来描述生物系统与其他系统。所谓系统是指由一些相互关联着的部分组成的一个整体的总称。一个系统 S 可以这样定义,它包括全部输入集合($X = \{x_i\}$);

全部输出集合($Y = \{y_i\}$);及全部状态($A = \{a_k\}$);并由转换函数(λ)、输出函数(ρ)来构成: $S \triangleq (X, Y, A, \lambda, \rho)$ 譬如说,对于神经系统, X 表示全部兴奋的集合——从客观外部世界输入的信号; Y 表示运动及分泌的可能反应的集合; A 表示全部内部状态的集合——不同程度的兴奋与抑制各种分布的集合;函数 λ 和 ρ 具有矩阵概率结构,可以随着系统的进化而演变。这样似乎可以说,一个系统可以是神经、生物、医学方面的系统;也可以是工程、通讯、技术方面的系统。对于这些系统的具体内容,我们必须坚持马列主义、毛泽东思想的科学的批判态度。正是在这些问题上,一些资产阶级的控制论学者妄图把控制论引向维护资本主义制度的斜路上去,这是值得我们注意的。系统可以是大规模、特大系统、微系统。

控制论就是研究这些系统中的信息的传播、加工、存贮、处理及控制的科学。从控制论的角度对控制系统感兴趣的是环节之间的信息传递,而且也只有以信息的概念才能理解发生在各种各样控制系统中的过程。控制论是用模型来描述系统的。从实验提取模型,又用实验检验模型。从实验提出模型的方法称为综合方法,用实验检验模型的方法称为解析方法。综合与解析过程的循环往复,就会使模型一步步提高。这可以表示如图1。

通过模型来描述事实,是认识从感性到理

性的一个飞跃。正如列宁说的：“物质的抽象，自然规律的抽象，价值的抽象以及其他等等，一句话，一切科学的（正确的、郑重的、非瞎说的）抽象，都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”

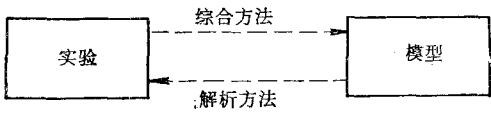


图 1 实验与模型

控制论的实验目的是确定系统变量之间的定量关系，按照对于输入与输出变量处理的不同，实验也不同。生物控制论的实验，可分为三种：行为实验，观察被实验系统的行为特点；心理-物理实验，了解被实验系统如何回答向它提出的问题；生理实验，进行系统的变量测量。这三种实验可见示意图 2。

实验的过程，就是认识的第一个过程，毛主席说：“只有感觉的材料十分丰富（不是零碎不全）和合于实际（不是错觉），才能根据这样的材料造出正确的概念和论理来。”

席说：“只有感觉的材料十分丰富（不是零碎不全）和合于实际（不是错觉），才能根据这样的材料造出正确的概念和论理来。”

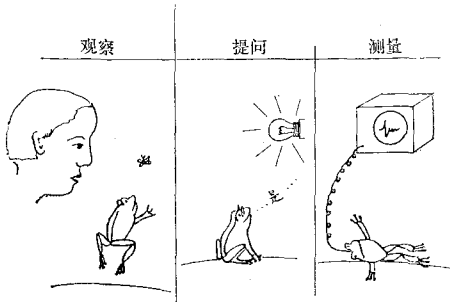
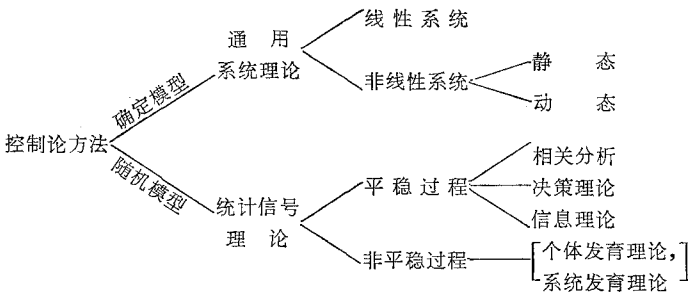


图 2 生物控制论实验

控制论采用数学方法来描述系统模型。近年来利用电子计算机技术进行分析，计算。并且用计算机对模型进行模拟研究。当前广泛地采用了确定模型方法及随机模型方法，请参照下表：



确定模型方法包括网络理论、系统理论、开关理论、自动理论等。借用的数学理论如微分方程、积分方程、特别是傅立叶变换和拉氏变换，状态空间和状态变量，矢量代数及矩阵运算等。非线性系统可分为静态与动态系统。

随机模型方法包括平稳过程（如果对一个随机过程 E 作任何一个时间上的平移，使得 E 的形式改变而保持原样的概率，则称这个随机过程是平稳的）和非平稳过程。相关分析和信息理论适用于平稳过程。看来，生物的基本过程如系统发育理论，特别是个体发生理论多半是属于随机的非平稳过程。以上我们简单地叙述了控制论及其方法学。当然，它们永远不会

停止在一个水平上，而是“有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”近年来，采用“模糊集”（“Fuzzy Sets”）的数学理论来提取系统模型，这对于研究特别复杂的“模糊系统”提供了新的途径。

二、生物控制论及当前研究的某些特点

毛主席说：“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性。因此，对于某一现象的领域所特有的某一种矛盾的研究，就构成某一门科学的对象。”生物控制论是控制论的一个分支，神经控制论在某种意义上又是生

物控制论的一个分支,主要研究中枢神经系统——人类智能及动物行为的主要控制与通讯的中心。控制论与生物科学的结合,标志着数学进入了生物学,这是生物学的一个革命。

生物控制论就是应用控制论原理和理论于生物系统,以便了解、解释和模拟生物系统。它主要研究生物调节系统的过渡过程,模式结构及反馈控制;研究某些系统的频率特性、传递函数及数学模型;制作生物控制论的机器,模拟机、伺服机、自动机。生物控制论研究可以是分子水平的、细胞水平的、整个有机体的。在五十年代,控制论初步地解释了动物及人的体内稳定,生物的自我调节系统的控制问题。而后,控制论在许多方面使生物学工作者对生命现象有了更深刻的了解。近年来,随着计算机科学的发展和计算机的广泛应用,大大地推动了生物控制论科学的发展。加深了人们对于神经系统的认识:神经系统是接收、传输、加工和存贮信息的非常复杂的结构,可以比拟为非线性的能学习的信息处理机;神经系统具有特殊的时间与空间编码,有自己的逻辑和程序语言;神经系统作为有序地决策系统来工作,作为问题求解探索结构来工作,它拒绝穷举算法,可能在“Fuzzy Sets”的基础上编制程序;从理论的角度看,可以说神经系统具有三级结构,一级是形态-生化力能水平;一级是微神经生理,微程序水平;还有一级是生理与心理程序水平;神经系统具有高度的可靠性,在某种情况下,应当考虑到神经网络的全息类型的功能结构;神经系统这个“宝库”的结构与功能不是“从天上掉下来的”,而是在有机体与环境的对立统一中,内因与外因的对立统一中发生发展和变化着。

这次大会有关神经与生物控制论专题共发表了 52 篇论文,其中关于神经元网络的模拟 9 篇;关于系统模型 20 篇;关于计算机数据处理、诊断及自动化系统 11 篇;关于“黑箱”问题、反馈机制、生物通信等 12 篇。看起来似乎反映出下面几个特点:

1. 向研究更大的生物系统发展

有的作者把生物与环境的关系作为一个大

系统,研究生态学与环境保护的关系;也有的把海洋生物界作为一个大系统,研究海洋生物平衡与海洋污染的关系。

2. 研究更复杂的生物系统

会上有一些报告涉及到人类大脑的学习、记忆、意识、逻辑、概念编码及“大脑的程序语言”。有的作者在解剖学与生理研究结果的基础上,提出了小脑皮层神经元的模型。用来描述小脑皮层对于一些刺激的皮层反应的时间分布与空间分布。在模型中考虑到皮层细胞的四种基本类型:颗粒细胞,高尔基细胞,抑制细胞和 Purkinje 细胞。有的作者对脑电波进行了模拟,根据神经生理学证实的在皮层与网状结构之间的联接,建立了一种模型,当神经系统的输入刺激分别为正常、强与弱时,则对应产生“ α ”、“ γ ”与“ δ ”脑电波。并可以在 IBM-360/40 计算机上画出来。

3. 研究更综合的生物系统

有的作者从控制论角度探讨了生命的衰老系统,认为生命过程意味着某些参数与算子的连续的变化。这些变化的出现不是随机的,而是受一定概率规律控制,如“生物钟”及“生物自动机”的控制。并提出在生命过程中有二种因素:一类叫做熵因子,一类叫做反熵因子,这两种因素矛盾着斗争着。生命的发生与衰老决定于有机体内部过程与外部过程的对抗。也有的作者探讨了癌病起因的控制论理论。认为是由于在信息流程中循环信息的误差所致,在中枢神经系统形成了所谓“疾病控制中枢”。

4. 研究生物大分子系统

有的作者采用差分微分系统来模拟具有时间延迟的酶系统,在 M 个化学反应中,有 N 个化学化合物,其浓度是时间 t 的函数写作 $x_n(t)$,则该系统可以表达为:

$$\sum_L^{(m)} [X_L] \xrightarrow{(K^m)(T^m)} \sum_k^{(m)} [X_k]$$

K^m 和 T^m 为二个实常数,分别对应于第 m^{th} 次化学反应速率和时间延迟,其中 $m=1 \cdots M$ 。作者提出了一套计算程序,从这个系统给定的

2M参数中,即 $K^{(1)}, \dots, K^{(m)}; T^{(1)}, \dots, T^{(m)}$ 来计算 $X_n(t)$ 浓度。这是具有不同阶跃幅度的单位阶跃方法并采用 Taylor 级数展开式和 Lagrange 插入公式来逼近。在真实的酶系统演变过程中,某些化合物的浓度应该能够在不同的时间进行测量的。如果用 $x_i(t_j)$ 表示被测的化合物 x_i 在时间 t_j 的浓度, W_{ij} 表示测量相关联的权重函数。则模型拟合条件应是下式为最小值:

$$\sum_i \sum_j W_{ij} [x_i(t_j) - \bar{x}_i(t_j)]^2$$

$x_i(t_j)$ 是计算浓度。利用有限元逼近法,可将该系统的表达式用二次函数近似表示。采用迭代法,从任选的初始点开始,在 2M 维次空间产生一个点的序列,它收敛于表达式为平稳的那一点上。

可见数学模型、计算机是怎样逐步渗透到分子生物学,生物化学中去的。

5. 生物控制系统的研究更深入了

会上报告了不少有关这方面的工作。如关于循环系统体内稳定机制,提出的数学模型可以计算正常与病理状态下不同腔室的弹性参数,工作能力,流体力学阻力,肌肉壁的灌注与主动收缩;有的作者对缺氧时人的呼吸系统进行了研究;有的提出了血糖控制系统的模型,研究了激素控制系统的模型。还有的进行了肌肉控制系统适应性模型的分析。认为肌肉控制是通过两个主环 (major loops) 的反馈系统来实现的,一者称为局部环(或叫反射环),另者为总体环 (global loop)。前者以肌肉及其负荷作为向前成分,肌梭为反馈成分。后者的反馈框图中包括所有的感受器(眼、皮肤感受器、前庭系统等)及脊椎、脑机制。总体控制 (global control) 可按生理与功能分作两组。 α 与 γ 传出神经构成生理部分,而功能上决定于信号是用于参数修正,还是作为反射子系统 (reflex sub-system) 的驱动。作者指出,总体反射环的作用既是最佳信号发生器,也是对反射环中参数进行调整的参照适应系统。

6. 生物医学计算有很大进展

生物医学系统需要计算的数据种类繁多,

极其复杂。随着计算机的广泛应用,这方面正在取得进展。在会上报告了不少这方面的工作。有的讨论了如何运用计算机进行运动心电图的分析,作者在研究缺血性心脏疾病运动实验中,心电图 ECG 参数细微变化的意义,要求计算机准确识别 ECG 参数。该作者提出了去掉伪迹识别非典型 ECG 图形的一些方法,根据图像辨认理论来确定 J-点降低和 S-T 斜率以及 ECG 的其他参数。有的作者采用计算机对呼吸数据进行辅助研究。还有的作者讨论了应用计算机检查病理学标本问题,介绍了大白鼠肝脏标本的图片分析。有的报告介绍了癌病诊断用的自动化系统。

此外,如神经元模拟的工作和医学控制论,在国外也得到了重视,并有了进一步发展。总之,随着计算机科学的蓬勃发展,正在推动着生物控制论的广泛深入研究。

三、生物控制论研究中引起注意的几个课题

随着生物控制论与仿生学的紧密结合,随着计算机科学与大脑科学的彼此渗透,下面的研究课题是值得一提的。

1. “模糊集”的数学概念及在生物复杂系统中的应用

我们知道,计算机以及所处理的程序,主要是根据二值逻辑。这对于通常所说的精确的科学领域进行数据处理是适宜的。例如,判断一个事物是真的还是假的,一个元素属于或者不属于一个子集,一个属性成立或不成立。把一种状态叫做0,另一种状态叫做1。但是,存在许多客观事物,却不能用绝对肯定或绝对否定来回答的。譬如讲天气,人们经常说:天气不冷(不热);天气不太冷(不太热);天气比较冷(比较热);天气很冷(很热);天气非常冷(非常热);天气特别冷(特别热);天气极冷(极热);……。这些语汇都具有某些模糊性,乏晰性,不分明性。譬如还有如下一些语汇:“很”“一点儿”“比较多”“非常多”“非常少”“多多少少”“几乎”“大约”“近于”……等都是自然语言中的模糊

语汇。所以二值逻辑是很不适宜描述这些事物的。在二值逻辑中,一个命题是真还是假,取决于相应的元素是否属于某一基准的子集。而对于复杂的生物系统,则要求较为复杂的逻辑,也要求未必是非此即彼的推论。

50年前,出现了多值逻辑概念。这就是说,从属性上不再由具有0或1的特征函数来定义,而是由取有序群全序为值或为位置的特征函数来定义的,例如在 $[0, 1/2, 1]$ 群中的三值逻辑。十年前 Zaden 提出了“模糊集合”逻辑(“Fuzzy Sets”),判别“属于这个集”,还是“不属于这个集”,已经不再是排斥的了。对于每一个元素可以给定一个数 X ,使得 $0 \leq X \leq 1$ 。这个数 X 就用来确定这个元素的集类属程度。这就是说,在 Zaden 的“Fuzzy”逻辑中,其特征函数——类属函数,取值于 $[0, 1]$ 区间之内。这对于处理十分复杂的生物系统提供了新的手段。它可以帮助我们更好地了解大脑是如何将感觉到的东西加以分类的。在许多情况下,大脑要处理的信息相当复杂,非常多的指数、变量、函数、参数等。以致于大脑不能“及时”地找到最佳方案(考虑神经加工的速度比较低)。这就意味着,为提高大脑的工作效率只能检验全部方案中的一个部分。这种处理的缩减就表明拒绝穷举算法,而采用“Fuzzy Sets”的编码。对于医学诊断,生物的“Fuzzy”结构,图像辨认等方面也会有应用。

这次会上有的作者报告了“用 L -模糊自动机描述神经元模型”的工作。关于 L -模糊集的概念是 J. Goguen 提出的。模糊自动机行为的模糊特性不同于概率自动机行为的特性,它不是由于系统事件历史所确定,而是由自动机的内部结构和其介质-状态关系确定。举例来说,模糊自动机所接受的信号不是很有规律的连续性的基本信号的有限系列,而可能是相互之间多少有区别的信号系列。系统状态可由包括具有模糊的状态转移性质的客观准则区分出来。该作者用这样的模糊自动机理论构成了第八感觉神经——听觉前庭神经的行为模型。并提出新的 L -模糊拓扑结构的概念来讨论阈值现象。

还有的作者将模糊计算应用于图像辨认。用模糊集技术来辨认猫小脑的某些形态单元的神经细胞并将其分类。

尽管模糊理论还处于形成发展中,而且把它应用于生物系统仅仅是初步尝试,但对复杂的生物系统来讲,很可能是别开生面的。

2. 细胞自动机及某些自然系统

人类的心脏每时每刻都在不知疲倦的工作着,心脏的跳动停止了,生命也就停止了。心脏就是自然系统中的绝妙的自动机。心脏组织有二类:肌肉组织与特殊组织。肌肉组织是应激性的,由二种细胞构成:气门细胞和心室细胞。特殊组织也由二种组织构成:支撑组织和起搏组织,它提供有规律的电刺激,使心脏跳动。心脏正常地有节律地收缩是由起搏组织区域控制的:起搏点周期地发出电刺激,通过肌肉组织向外传播,当肌肉细胞接收这些电信号,收缩并将其传给相邻的细胞,然后张弛。这样每一个从起搏点来的连续的电刺激就象波浪的起伏一样,导致组织的有节律的收缩。心脏工作的逻辑对于细胞自动机逻辑是一个重要的启示。

细胞自动机并不是指生理意义上的细胞。可以把细胞自动机看作是自然系统与一般逻辑和运算系统的中间媒介物。细胞自动机是以细胞的有规律的离散的空间-时间结构和瞬时为基础的。它是由局部法则或转换函数来控制的,好象田径运动中的接力赛一样,细胞在某一瞬间的状态决定于自己的状态和相邻细胞的前一状态。举一简单例子,如果细胞在时间 $t+1$ 的状态只与相邻细胞在时间 t 的状态有关,那么在这样的细胞自动机产生的信号在一步一步地传播的时候,每一步都不能多于一个细胞。因转换作用是确定的,不是随机的,细胞自动机的每个开始状态就确定了该系统的唯一的未来的历史。因为转换作用是局部的而有限的,所以这个历史进程可在空间-时间范围内进行计算。细胞自动机经常模仿自然系统中的某种类型。可以用二维细胞自动机来表示心脏网络。为此要注意选择:相应的几何条件,相邻关系、时间单位,有限的状态集数,转换作用。这种选

择应当符合生理数据。一般地说,六角形细胞阵式比较好。如图3所示。每一个细胞与相邻的六个细胞发生通讯。细胞空间为六角形细胞,自动机的每个六角形细胞对应于心脏组织的小区域,粗略为 3×3 毫米,大约相当于10,000个心脏肌肉细胞。

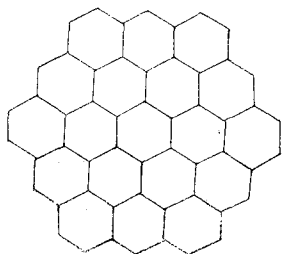


图 3

关于细胞自动机的研究工作还仅仅是开始,它是生物控制论与仿生学结合的精采的例子。这次会议仅有一篇是谈细胞自动机的,题为“一种可塑性的三维细胞空间”。作者认为,细胞自动机是这样的机器,它可以“繁殖”在适当的“土壤”叫做“细胞空间”。所谓细胞空间是指同一的、基本的自动机——细胞的均匀的各向同性的网络。作者展示了由六面体构成的三维细胞空间。如图4。

细胞空间是定时的,细胞状态的改变是同步的。作者认为,细胞自动机是第四代的,平行的,均一的计算结构。

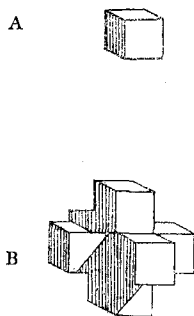


图 4

3. 关于图像辨认、物体识别及自然语言的研究

图像辨认,物体识别是为了解决计算机视觉问题。自然语言的研究主要目的是使计算机能直接理解人的语言,人一机直接进行对话。关于这方面的报告占较大比重。

有的作者利用问题求解研究中的树型搜索法来进行图像识别。将图像辨认问题表示为状

态空间问题。并形成图像分类的状态树和希望到达的目标状态,这样的状态变换就相应于图像的结构组合,树的通路则相当于图像的结构描述。一个图像则相应于一个树中从初始状态开始到目标状态的通路。参看图5。

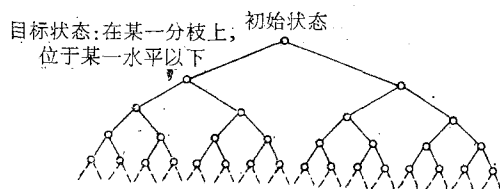


图 5 问题求解示意图

还有的作者介绍了一个基于结构语言学途径来描述输入图像的系统,该系统分为三级。第一级自动形成输入图像的结构语言学描述及其最佳化;第二级实行学习与识别过程;第三级根据外部或内部选定的最佳判据来分析、组织、控制和处理输入信息。

有的作者谈到了某些神经网络对图形及文字识别的模拟。有的作者谈到了能够对图形的角度大小进行编码的多层神经元组成的结构。还有的作者报告了图像辨认技术在病毒学中的应用,用来提取与病毒有关的来源于细胞及细胞培养物中的数字化图像的信息。这种方法的成功应用是由于病毒可以在细胞中引起大量的生化与形态变化,这些变化可以被测量和进行定量分析。细胞图像扫描在多用显微分光光度计 UMSP-1 上,将图像数字化并作为灰度图片存贮在 PDP-12 型计算机里。在 UNIVAC-1108 型计算机上用 Fortran 语言进行分析,初步的研究结果表明,有可能对病毒繁殖过程中在核酸分布中出现的形态差别进行统计分析和测量。这样,计算机的结果可以与在特定条件下的生物化学变化联系起来。相互作用的预加工特征提取可以确定那些被提取的参数是与生物相关的。采用电视方法或反射镜扫描的相互作用的像增强,在靶区存贮的黑白微分图片,以及在另外的波长预扫描所得到的细胞差分图谱,都大大改善了而后的特征提取。

在自然语言方面,有的报告叙述了一个基

于随机有限状态自动机的系统,它是用来学习在不同时间、不同内容、不同人的情况下,一个从句中抽出的说话音节怎样给出不同的特征,其目的是要设计一个语音理解系统。作者认为最困难的问题是从听觉数据中得到音节,作者提出的办法是将发音形式按时间展开。

4. 关于记忆与学习原理及其模型的研究

这个问题可以说是神经控制论中一个十分难啃的问题。虽然已经积累了大量的知识,但还不能满意地解释生物信息存贮的细胞过程。近一、二十年来由于神经生理、神经化学、神经药理学及神经形态学研究,使得这个困难的领域出现了一线光明。看来,暂时记忆可以用电生理的机制加以解释。可能应考虑下面的一些情况:①突触的利用和废用;②强直痉挛性后电位;③神经后发放;④优势灶;⑤返回环(reverberation circuits)。看来,永久记忆很像是存贮于单个神经元,而不像是存贮于某种动态作用的反射神经网络里。长久记忆可用化学过程来解释,如核酸的作用;蛋白质合成阻断的可能性;基肽可以作为专用的编码词汇。但是,现在问题的焦点是:怎样找到明白不误,而不是暧昧不清的尺度来说明神经元的确学到了一点东西;接着的问题是单个神经元是怎样存贮信息。从这次会议看,这些问题尚无显著进展。有一篇报告谈到了具有简单记忆机制的神经元新模型。作者用一簇简单均一的微分方程来描述神经元的数学模型。其主要特点如下:①它可以在单个神经元的水平上模拟暂时记忆与永久记忆;(2)包含有上述的神经元的神经网络在总体上由化学底物来控制——如激素之类。

5. 关于外周听觉系统的研究及进展

近几年来,听觉系统功能基本原理的研究取得了显著进展。无论是在经典的感觉生理方面,还是在系统理论的研究方面,以及根据生理数据构成电子模型方面,都取得了成绩。这次会议上有的作者用数学模拟技术分析听觉系统的某些心理物理特性。作者将整个第八神经纤维束的活性与心理物理测量联系起来,并提出

了模型,可以部分地解释分析心理听觉实验,包括绝对阈值、掩模和刺激参数辨别。还有一篇报告了耳蜗颤噪效应及综合电位的模型。用一般的耳蜗电图可以检验与刺激有关的人听觉外周系统的电活动。所用的方法是仅有轻度损伤的非外科手术方法。根据听觉外周系统的研究提出了中耳与内耳的数学模型。这个模型的计算机模拟令人满意地预测了用平稳正弦波形输入刺激所记录的耳蜗电信波形的一些细节。前面,我们比较片面地谈了生物控制论研究的某些动向。但是,必须指出象别的自然科学一样,控制论科学的发展充满了两种世界观,两种路线的对立。毛主席说:“人们历来不是讲真善美吗?真善美的反面是假恶丑。没有假恶丑就没有真善美。”在控制论中,就充满了“好同坏,善同恶,美同丑这样的对立。”一些资产阶级学者总侈谈什么控制论的哲学基础,那是打上了深刻的资产阶级的烙印的;苏修的一些学者则鼓吹什么控制论发展了马列主义的认识论,这就暴露了他们背叛马列主义的丑恶嘴脸;还有一些资产阶级学者,把控制论奉做灵丹妙药,来挽救资本主义的经济危机,通货膨胀,能源危机,他们却不敢承认,资本主义的千疮百孔是不可抗拒的历史规律;也还有的鼓吹什么“计算机思想家会把人类驯养起来……也许人会成为计算机思想家的玩物与害虫。”这说明了资产阶级思想体系多么空虚,多么混乱和日暮途穷。无产阶级却深信,人类可以造出第四代计算机,第五代……它们是人类争取更大自由的一种武装,它们将在人类的控制下从事非创造性劳动,代替人类的一部分脑力劳动和体力劳动。

恩格斯指出:“不管自然科学家采取什么样的态度,他们还是得受哲学的支配。问题只在于:他们是愿意受某种坏的时髦哲学的支配,还是愿意受一种建立在通晓思维的历史和成就的基础上的理论思维的支配。”让我们自觉地运用毛主席的光辉的二论:“实践论”和“矛盾论”,批判控制论中的假恶丑,吸取其中的真善美。