“数字人脑”模型与信息处理机制研究

韩力群[1]，涂序彦[2]

（1.北京工商大学信息工程学院，北京　100037；2.北京科技大学信息工程学院）

[摘　要]　本文阐述了数字人脑与数字人体的关系及国内外研究概况，讨论了数字人脑的主要研究内容和关键科学问题，提出数字人脑的研究目标，并给出数字人脑研究的总体方案。

[关键词]　数字人脑；高级中枢神经系统；协调机制；信息模式；模型

[中图分类号]　TP391.9　[文献标识码]　A　[文章编号]　1003-3289(2003)12-1610-03

Study on Model and Information Processing Mechanism of Digital Brain

HAN Li-qun, TU Xu-yan

(*Information Engineering School of Beijing Technology & Business University, Beijing* 100037, *China*)

[**Abstract**]　In this paper, the connection between digital brain study and digital body study is expounded. The main investigation aspects and key points of digital brain are discussed. Goals of digital brain study are put forward, and a general study scheme is given.

[**Key words**]　Digital brain; High-level central neural system; Coordination mechanism; Information pattern; Model

1　引言

人体神经系统是由高级中枢神经系统、低级中枢神经系统和外周神经系统组成的多级生物控制与信息处理系统。“数字人脑”以人脑高级中枢神经系统为主要研究对象，在神经生理学、脑科学和经络学等学科已取得的关于人体（特别是人脑）生物神经系统研究领域研究成果的基础上，从生物科学与信息科学、控制论与系统工程、人工智能与人工生命等多种学科领域综合交叉的视角，研究人脑神经系统的体系结构、功能特性、信息模式、控制原理及技术模型，并通过对人脑神经系统的结构模拟、机制模拟和功能模拟，研究开发基于人脑神经系统信息学技术模型的工程应用系统的方法。

“数字人脑”与“数字人体”研究密切相关。例如：“数字经络”以“数字人脑”为“元神之府”、“百脉之宗”的控制中心；“数字脏腑”靠“数字人脑”中的脏腑中枢通过低级中枢神经系统和外周神经系统对其进行调控，以保持数字人体内的环境稳定和正常生理状态；“数字感官”传出的各种感觉信号以“数字人脑”中的感觉中枢为信息处理中心；而“数字肢骸”的动作和姿态需靠“数字人脑”的行为中枢通过低级中枢神经系统及外围神经系统进行协调。因此，“数字人脑”研究课题是“数字人体”研究项目的重要课题之一，是“数字人体”的基础研究。

[作者简介]　韩力群（1953－），女，在读博士。研究方向：人工神经网络、图像处理与模式识别、人工生命。

[收稿日期]　2003-10-10

2　国内外研究现状和发展趋势

关于人脑神经系统及其功能，国内外生物科学、脑科学、神经解剖学、神经生理学、人工智能和人工生命等领域的许多学者们作了大量的研究工作，取得了丰硕的成果。对人脑神经系统的研究主要集中在两个层次上：一种是在细胞和分子水平上对人脑神经系统结构和功能进行微观层次的研究，另一种则是对人脑神经系统信息处理规律进行系统层次的探索。显然，对人脑进行系统层次的研究更有利于对脑内的信息处理形成总体性的概念，更易于详尽研究包含各种相互作用的复杂非线性神经系统，通过仿真和实验结果对比有可能发现新现象并设计新实验，因此对阐明人脑的工作原理是一种具有深远意义的研究途径，近年来正逐渐展现出其强大的生命力。例如：① “计算神经科学（computational neuroscience）”：计算神经科学用计算方法对神经系统信息处理规律进行探索，其理论框架分为3个层次：抽象问题分析的计算层次、算法层次和计算在物理上的实现层次。计算神经科学的代表作是“人工神经网络”，这是一种旨在模仿人脑结构及其功能的信息处理系统。在对感觉信息的处理方面，人工神经网络的进展迅速，成果显著。② “基于符号系统的人工智能”（artificial intelligent）：基于符号系统的人工智能是一门研究知识表示与获取及推理过程的学科。作为其代表作的“知识工程”，侧重研究知识信息处理的方法和技术，用以模仿、延伸和扩展人脑的智能。③ “生物控制论”和“大系统控制论”的人脑结构观：生物控制论的研究结果认为，人体控制系统是结构优越、功能完美的大系统，具有多种协调控制作用和多级递阶结构。④“人工生命”（artificial life）：1987年问世的人工生命学科研究具有类似于自然生命系统行为特点的仿真系统，是形成新的信息处理体系的有利工具。人工生命的研究可能将信息科学和生命科学结合起来，成为人脑神经系统研究的新途径。

3　主要研究内容和拟解决的关键科学问题

“数字人脑”的主要研究内容可分为

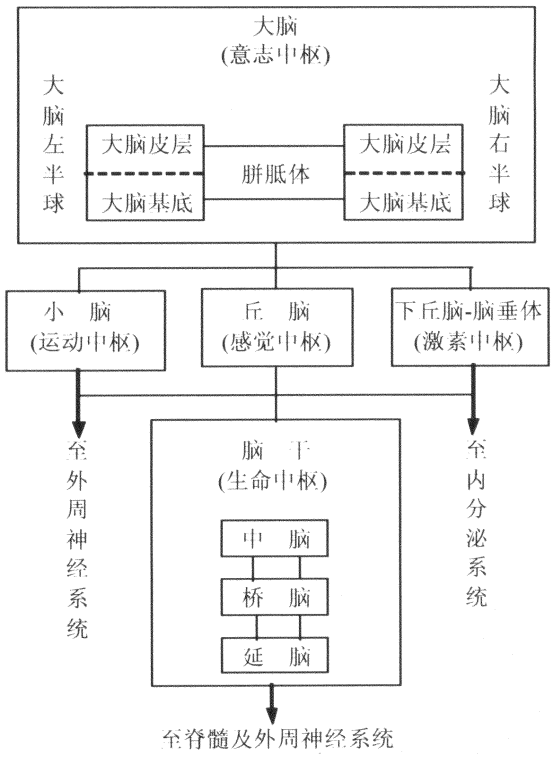

图 1 人脑神经系统体系结构

以下 5 个方面：

（1）“数字人脑”高级中枢神经系统的体系结构研究：从控制系统与信息系统的观点看来，人脑是各种生物脑中智能水平最高、系统功能最全、体系结构最复杂的生物控制与信息大系统。因此，应首先研究如何根据现代脑科学与神经生理学的研究结果，从生物控制论和大系统控制论的观点出发，应用大系统控制论的结构分析方法对人脑高级神经中枢进行体系结构分析，从而建立“数字人脑”神经系统的体系结构。这是“数字人脑”要解决的关键科学问题之一。图 1 为人脑高级神经系统体系结构模型。

（2）“数字人脑”高级中枢神经系统的功能特性研究：图 1 所示“数字人脑”神经系统体系结构中共有 6 个中枢，分别为：意志中枢（thinking center，TC）、感觉中枢（perception center，PC）、行为中枢（behavior center，BC），生命中枢（life center，LC）、激素中枢（hormone center，HC）和脏腑中枢（viscera center，VC）。从主要功能来分，前三个中枢为智能中枢，分别主管人脑的思维智能、感知智能和行为智能；后三个中枢为调控中枢，分别对生命系统的生理参数、内分泌参数的正常状态和脏腑器官的正常工作进行自动调节与控制。

（3）“数字人脑”高级中枢神经系统的自协调机制研究：“数字人脑”研究人脑高级神经系统的“自协调”运行机制，内容包括：①大脑的全局协调机制；②丘脑的感觉协调机制；③小脑的行为协调机制；④脑干对人体生命活动和生理状态的协调；⑤下丘脑-脑垂体对内分泌激素和体液的协调机制；⑥延脑的脏腑调节机制。

（4）“数字人脑”高级中枢神经系统的信息模式研究：“数字人脑”研究基于“集散”体系结构的人脑神经系统的信息获取、传递和处理过程所具有的多重模式，包括：①“集中-分散”相结合的信息模式；②多中心“串行-并行”兼容的信息模式；③“数字-模拟”混合的信息模式。

（5）“数字人脑”高级中枢神经系统的技术模型研究：在完成上述研究内容的基础上需开展“数字人脑”高级中枢神经系统中各子中枢的技术模型研究，提出能够实现各子中枢的信息处理机制或功能的技术方案。

上述研究内容中，人脑高级中枢神经系统的体系结构研究将是“数字人脑”的研究基础，而自协调机制研究以及技术模型研究将是“数字人脑”研究的关键问题。由于人脑是高度复杂的巨系统，而人类对脑的全部奥秘远未了解透彻，因此如何将基于生物神经学的离子通道、突触、神经元的兴奋与抑制等概念与具有透彻的数理分析的人脑高级功能模型进行沟通，以对人脑的认识产生重大突破，将是“数字人脑”研究的主要难点。

4 “数字人脑”的研究目标

“数字人脑”研究的总目标是：研究数字人脑高级中枢神经系统的体系结构、功能特性、信息模式、控制原理及技术模型。并通过对人脑高级中枢神经系统的结构模拟、机制模拟和功能模拟，研究开发基于数字人脑高级中枢神经系统信息学技术模型的工程应用系统的方法。

4.1 高级中枢神经系统体系结构的研究目标 ①建立从体系结构上模拟人脑的数字人脑高级中枢神经系统体系结构的简化模型。②建立高级中枢神经系统通过低级中枢神经系统和外周神经系统对“数字脏腑”和“数字肢骸”进行调控的多级递阶结构和调控机制。

4.2 高级中枢神经系统智能中枢功能特性的研究目标 ①建立意志中枢简化模型。意志中枢模型模拟人类的大脑，分为“左脑”和“右脑”。左、右脑由“胼胝体”相互连接，构成“意志中枢”，是最高级的中枢神经系统。TC 的主要功能是进行思维、产生意志、控制行为以及协调人体的生命活动。其中，左脑主管逻辑思维，右脑主管形象思维，左脑和右脑协同工作，并联运行。TC 模型应具有联想、记忆、学习、分析、判断、推理、决策等“思维智能”（thinking intelligence）。②建立感觉中枢简化模型。感觉中枢简化模型模拟人类的丘脑，丘脑是视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等各种感觉信号的信息处理中心，负责对外周神经系统传入的各种多媒体、多模式的感觉信号进行时空整合与信息融合。PC 模型应具有感知、认知、识别和理解等“感知智能”（perception intelligence）。③建立行为中枢简化模型。行为中枢简化模型模拟人类的小脑，小脑的主要功能是协调人体的运动和行为，控制人体的动作和姿态，保持运动的稳定和平衡，通过低级中枢神经系统及外围神经系统，对人体全身的运动和姿态进行协调控制。因此，所研究的 BC 模型应具有对应用系统的运动和行为进行协调、计划、优选、调度和管理等“行为智能”（behavior intelligence）。

4.3 高级中枢神经系统调控中枢功能特性的研究目标 ①建立生命中枢简化模型。生命中枢模拟人脑“脑干网状结构”。其主要功能是调节和控制心率、脉搏、呼吸、血压、体温等重要生理参数，保持数字人体内环境的稳定和正常生理状态，控制数字人体的正常生命活动，具有对数字人体的生命活动和生理状态进行调节和控制的功能，并对激素中枢 HC 和脏腑中枢 VC 进行协调控制。②建立激素中枢简化模型。该模型模拟数字人

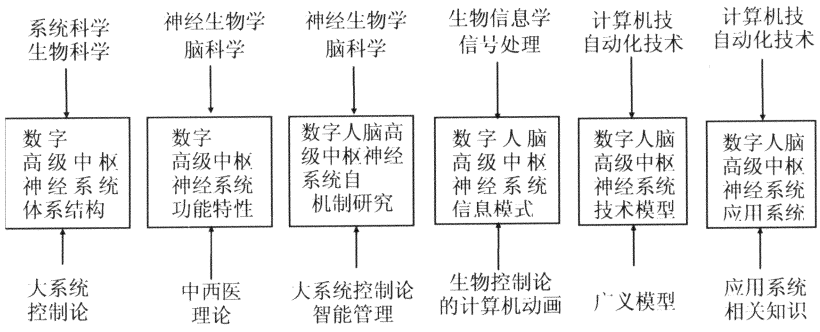

图 2 “数字人脑”课题总体研究方案

脑的下丘脑-脑垂体，其主要功能是发放激素，控制内分泌系统，调节各种内分泌激素的分泌水平，通过体液循环作用于相应的激素受体，对数字人体的生理机制状态进行调节和控制。③建立脏腑中枢简化模型，实现人脑中的延脑功能。延脑通过低级中枢神经系统和外周神经系统，对人体内部的各种脏腑进行分区分工式调节与控制，保持数字人体内环境稳定和正常生理状态，控制数字人体的生命活动。

4.4 高级中枢神经系统自协调机制与信息模式的研究目标 ①大脑的全局协调。大脑作为高级中枢神经系统的意志中枢，具有全局协调控制功能。例如，大脑皮层的全身定位反射协调，左脑和右脑的交叉并行工作协调，神经、体液的双重体制运行协调，人体随意动作与目的行为的协调等等。②丘脑的感觉协调。感觉中枢模拟丘脑的感觉协调功能，对外周神经系统并行或串行传入的视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉、痛觉、温觉等多模式、多媒体感觉信息，进行时空整合、信息融合与内外协调。③小脑的行为协调。小脑作为 MCSCAB 的运动中枢，具有人体姿态与运动的协调控制功能。小脑根据大脑关于随意运动或目的行为的指令，以及丘脑关于人体本身和外界环境的感知信息，通过低级中枢神经系统（脊髓）及外周运动神经系统，对人体运动和姿态进行协调控制。行为协调可使人体（或系统）的运动平衡，姿态优美，行动和谐。④脑干的生理协调。生命中枢模拟脑干的生理状态协调功能，通过对脏腑中枢和激素中枢的协调控制，对人体的生理功能和生命活动进行协调。例如，血压的升压与降压双向调节的协调平衡；体温的产热与散热双向调节的协调平衡；呼吸的吸气与呼气双向调节的协调平衡；心率的增强与减缓等双向调节的协调平衡作用。⑤垂体的激素协调控制。由下丘脑-脑垂体组成的激素中枢也称为“体液中枢”，具有对体液循环系统中的各种内分泌激素的动态平衡进行协调和双向调控的功能。脑垂体接受下丘脑分泌的释放素与抑制素的双向调控作用，使脑垂体分泌的各种垂体激素保持动态平衡。通过分泌相应的垂体激素，脑垂体进而调控相应的内分泌腺体的分泌水平，以满足人体正常生理状态的需求。⑥延脑的脏腑协调。脏腑中枢模拟延脑的脏腑协调功能，通过内脏神经系统（植物神经系统）的交感与副交感神经的双向调节作用，对人体内部各种脏腑进行动态协调控制；同时，通过低级中枢神经系统（脊髓）的多节段分区协调控制作用，控制胸腔、腹肌等相应躯体的扩张与收缩运动。

4.5 高级中枢神经系统技术模型的研究目标 ①在人脑高级中枢神经系统的体系结构框架下分别建立各子系统的技术模型，在此基础上综合继承数字人工脑的信息学技术模型。②开发基于数字人脑信息学技术模型的应用示范系统。

5 总体研究方案

在对国内外关于人脑神经系统和脑模型已有研究成果进行综合分析的基础上，研究建立数字人脑神经系统体系结构、协调机制、信息模式及技术模型的理论方法，开发数字人脑的应用系统，并进行计算机仿真试验。其总体研究方案如图 2 所示。

[参考文献]

[1] Hugo de Garis, Michael Korkin. The CAM-Brain Machine (CBM): an FPGA-based hardware tool that evolves a 1000 neuron-net circuit module in seconds and updates a 75 million neuron artificial brain for real-time robot control[J]. Neurocomputing, 2002, 42: 35-68.

[2] Andrzej Buller. Artificial Brain, No Longer Fantasy[M]. Proszynski I S-ka, 1998.

[3] Hugo de Garis, Michael Korkin, Felix Gers, et al. Building an artificial brain using an FPGA based CAM-Brain Machine[J]. Applied Mathematics and Computation, 2000, 111: 163-192.

[4] Langton G. Artificial Life Ⅱ. Reading[M]. MA: Addison-Wesley, 1991.

[5] Masanori Sugisaka, Wang Xin, Lee Ju-Jung. Artificial brain for a mobile vehicle[J]. Applied Mathematics and Computation, 2000, 111: 137-145.

[6] Chen Jong-Chen, Chen Ruey-Dong. Toward an evolvable neuromolecular hardware: a hardware design for a multilevel artificial brain with digital circuits[J]. Neurocomputing, 2002, 42: 9-34.

[7] 涂序彦. 第一届“人工生命及应用”专题学术会议论文集[C]. 中国人工智能学会学术年会，2002.10.

[8] 钟义信. 人类智能-人工智能-机器知行学[C]. 中国人工智能学会第一届“人工生命及应用”专题学术会议特邀报告，2002.10.

[9] 张永光. “人工生命与进化机器人”研讨会论文集[C]，中科院系统所，1997.

[10] 杨雄里. 脑科学的现代进展[M]. 上海：上海科技教育出版社，1998.12.

[11] 韩力群. 多中枢自协调人工脑[C]. 中国人工智能学会“人工生命及应用”专题学术会议论文集，2002.10.

[12] 韩力群. 人工神经网络理论、设计及应用——人工神经细胞、人工神经网络和人工神经系统[M]. 北京：化学工业出版社，2002.1.