

【 【 控制混沌 】 】

陈立群

(鞍山钢铁学院)

有些确定性动力学系统,由于对初值的变化极为敏感,失之毫厘,差之千里,因而出现类似随机运动的动力学行为,这类现象一般称之为混沌.在80年代初期,混沌的研究受到学术界广泛重视,其影响已超出数理学科而旁及化学、生物学甚至社会科学.这段历史在《纽约时报》科技部主任 J.Gleick 所写的长篇科学报告文学《混沌:开创新科学》中已有生动的描述,虽然该书在一些技术性细节和优先权之类问题上不可尽信.大量的研究已经揭示混沌是种广泛存在的自然现象,并非如《白虎通·天地》所云“混沌相连,视之不见”,只是长期以来被人们忽视罢了.但另一方面,混沌虽视之可见,却仍难以驾驭,这无疑给混沌的应用带来了困难.近年来,混沌看得见摸不着的局面已有所改变,在物理、数学、控制工程等专业研究人员的努力下,可以控制混沌并发现一些应用可能.例如,可稳定激光以提高其能量,控制混沌非线性电路以传递通讯信号,将紊动流体层流化,控制化学反应中的混沌振荡,将动物不规则心脏跳动规则化.控制混沌是混沌理论走向应用的第一步,随着研究的深入和普及,将会有更广泛的应用前景.除具体应用外,控制混沌的研究可能还有助于人们认识大脑的工作机制,认知心理学家 W.J.Freeman 曾指出“生物脑功能基于控制混沌性脑波的能力.”再广泛些,由于复杂性产生于混沌和有序的边缘,探讨从混沌到有序的控制混沌研究也将有助于人们探索复杂性.所以,控制混沌也有理论上的意义.

所谓控制混沌,就是要把某个动态系统的混沌性态转化为事先确定的平衡状态或周期性态.这里的动态系统可以由微分方程控制的连续系统,也可以是由映射描述的离散系统.值得注意的是,控制混沌并非仅要消除混沌运动,

还要达到事先确定的非混沌运动,这便需要一些专门的方法和技巧.在过去六年多时间里,研究工作者做了大量有益的尝试.

最早出现的控制方案是由 Munich 工业大学的 A. Hübler 和 E. Lüscher 在 1989 年提出的一种开环控制,他们称之为共振控制,后来被 Illinois 大学 Urbana 分校的 E.A.Jackson 发展完善,现在一般称这类控制方案为输送控制或迁移控制.这种控制方案的基本思想非常简单,若给定一个周期性函数为控制目标,便可构造一个外激励施加于要控制的系统,使受此外激励驱动的系统以给定的周期函数为特解.为保证这个特解是稳定的(这意味着物理上是可以实现的),要求原系统存在收敛域,使得附近的轨道沿着每个特征方向收敛于该区域,这样对于适当的初值集合(称为输送盆),施加了控制的系统的渐近动力学行为便可以是目标周期函数,从而实现了控制.输送控制的关键是根据目标动力学行为构造外激励型控制,将动力学轨道输送到目标轨道上.这种控制方案有两方面的局限性,其一是系统必须是耗散的具有吸引性,其二是原系统控制方程的特解不能为控制目标(此时无法定义外激励).这种控制方案还基于收敛域和输送盆存在的假设.对于一般的动力学系统,收敛域和输送盆的存在性并无证明,只是对一类 1 维映射才有些严格的数学论证.输送控制实现的机制是非线性共振,在适当条件下施加周期性外激励可得到同周期的系统响应.这一方案已成功地应用于数值实验,但尚没见到应用于实验室实验的报道.

目前研究和应用较广泛的是由 Maryland 大学的 E. Ott, C. Grebogi 和 J. A. Yorke 在 1990 年提出的一种控制混沌方案,通称为

OGY 方法. OGY 方法基于混沌的基本性质, 系统动力学行为对初值的敏感性. 既然混沌是失之毫厘差之千里, 那么在适当条件下也可以得之毫厘正之千里. OGY 方法也基于混沌吸引子的几何结构, 混沌吸引区是一些不稳定周期轨道的无穷集合, 若选定其中任一周期轨道为控制目标, 等待若干时间后, 系统的动力学行为将接近所预期的周期轨道, 这里调整系统的某个可控参数, 混沌对初值的敏感性使得系统可对所施加的任意小扰动作出迅速的响应, 使得系统达到并保持在这个目标周期轨道上. 这样 OGY 方法可以用任意小的参数摄动使构成混沌吸引子的任一不稳定周期轨道或不动点变得稳定, 从而实现控制. 这种控制方案有三方面的局限性, 其一是被控系统必须具有混沌吸引子, 其二是控制目标必须是构成混沌吸引子的稠密不稳定轨道之一, 其三是系统至少有一个可控参数. 此外, 虽然 OGY 方法在理论上是针对离散动力系统提出的, 但通过构造相应的 Poincaré 映射也可应用于控制连续动力系统的混沌.

OGY 方法不仅已应用于数值实验, 在实验室实验中的应用也取得了引人注目的成功. 最早的结果是个演示性实验, 铅垂放置底端固定的金属条在周期变化的磁场中的混沌振动可以控制成为周期-1、周期-2 和周期-4 运动. OGY 方法稍加改进, 用混沌行为的测量数据代替 Poincaré 映射, 可用于控制非线性电路中的混沌, 应用于二极管谐振器得到了 23 个周期的轨道而驱动频率高达每秒 5 万周, OGY 方法也应用于 Duffing 电路和蔡氏电路. 考虑到蔡氏电路可以通过调节参数而以分段线性逼近一般的非线性进而模拟多种奇怪吸引子, 蔡氏电路中混沌的控制有着特殊意义. 类似的技巧在激光动态控制中也有应用, 激光强度的混沌起伏得到了控制, 在高驱动频率下稳化了高周期的不稳定振荡. OGY 方法还应用于底部加热、上部冷却的环形热对流实验, 可将混沌运动层流化. 在化学中, 用改进的 OGY 方法可以稳化 Belousov-Zhabotinsky 反应中的不稳定轨

道, 还可稳化通过分层燃烧混沌区域的火焰前面. 在生物医学中的应用更是值得重视, 基于 OGY 方法可以用电信号控制不健康动物心脏跳动从而改变心律不齐症状, OGY 方法有可能用于治疗心房和心室纤维颤动, 甚至有可能采用控制混沌技术的心脏整律器和去纤维颤动器.

上述两种方案有个共同的局限, 都要求被控制的系统具有吸引性. 这使得控制保守系统中的混沌成为不可能, 因为保守系统没有耗散, 从而没有吸引性. 在这种情形下, 采用自动控制理论中的某些方法和技巧就成为必需. 事实上, 早在 1989 年 T.B.Fowler 就应用随机控制理论中的 Kalman 滤波等技巧解决控制混沌问题, 并成功地控制了一类保守系统中的混沌, 而且还注意到若采用确定性控制, 加控制器后控制信号会驱使系统进入发散区而结束寿命. 这正与《庄子·应帝王》中的寓言暗合, “中央之帝为混沌”, 南海之帝和北海之帝有意控制“日凿一窍”, 结果却很不妙, “七日而混沌死”. 对于耗散系统, 确定性自适应控制也有广泛的应用. 常规反馈控制也能解决一些控制混沌问题, 尤其是分段线性系统中的控制混沌问题, 蔡氏电路是个典型例子. 除具体的应用外, 自动控制理论为控制混沌问题的研究提供了理论框架. 在此理论框架内, 可以统一描述两类驾驭混沌问题: 控制混沌和混沌同步化, 前者的控制目标为周期性动力学行为, 后者的控制目标为混沌性动力学行为, 而受控过程都是混沌. 这些都表明自动控制理论在控制混沌中的应用是富有成果的一个研究领域.

以上我们简介的仅是控制混沌各种方案的基本思想. 在这迅速发展的研究领域中, 各种控制混沌方案都有所改进. 这里仅提及重要的两方面进展. 一个重要改进是不必要求动态系统完整的数学模型, 采用延迟坐标技巧可利用任一实验变量的时间序列而实现控制. 另一重要改进是在有随机噪音背景时实现控制. 此外, 所控制的混沌也不局限于时间混沌, 在时空混沌控制方面也取得一些进展.

银河系的晕不再巨大致密了吗

陈礼炘 霍明虹

我们银河系的晕变得越来越陌生了。

在 20 世纪 70 年代就有了确凿的证据,表明银河系的晕包含有大量暗物质.这个物质层延伸至银河系的边缘.这种看不见的物质肯定提供了维持整个银河系外部区域快速旋转的凝聚引力,而银河系仅靠看得见的星体和发光的气体的质量不足以保持它的完整。

现在,由于采用了有关引力的奇特性质的技术,科学家们得知:有 20% 的暗物质是由小黑洞和模糊的,质量上类似木星的类行星体组成的。

巨大致密的晕物体已为众所周知,这些暗物质物体被认为由重子即中子、质子、和其他构成普通物质的基本单元所组成.然而,新的研究指出,这个晕大部分是由完全不同于普通原子的奇特物质组成的。

美国加州劳伦斯·利弗莫尔国家实验室的肯·库克和他的同事们在美国物理学会的一次会议上宣布了这些发现和其他的发现,并且发表在 1995 年 4 月 10 日的物理评论通讯上。

库克说:“结合我们对暗晕和银河中心的研究结果,促使我们去重新评价我们银河系结构的标准模型,以及它的暗晕。”这个研究小组依靠引力透镜对暗物质进行研究.在这个现象中,一个巨大的物体不管是否能被看得见,它会从它后面的发光物体的光弯曲和加亮而显示

出来。

在靠近澳大利亚堪培拉的斯托罗山天文台,一个研究小组用望远镜扫描了我们银河的中心区和它近邻的大麦哲伦云的数百万个星体。

斯托罗山研究小组和其他小组观察我们银河系的中心,发现了比预期更多的透镜事件.科学家提出,因为暗物质不集中在银河中心,那些透镜事件是由看得见的星体引起的.库克说,现在的发现证实了我们银河系的中心区有一个棒状聚集的星群。

观察大麦哲伦云,望远镜的视线必须通过银河系的晕.迄今为止,斯托罗山小组发现了四个巨大致密的晕物质的印迹.库克特别提到:它们的质量大约仅相当于在晕的那个区域中期望用以解释全部暗物质的质量的 $1/5$ 。

库克的合作者,圣地亚哥加州大学的金·格里斯特说,如果研究者把大麦哲伦云中亮度确实增加的星体错误地当作了透镜事件,那么这些巨大致密的晕物体对质量的贡献就更少。

如果晕的暗物质大部分不是巨大致密的晕物体,那便会怎样呢?普林斯顿大学的戴维·斯伯格提出,银河系像宇宙的其余部分,它的边缘可能是在奇异的暗物质粒子中夹杂有“普通的”暗物质的混合物。

(译自《科学消息》第 147 期,作者:R·Cowen)

大体而言,确定性混沌的研究经历了 3 个阶段,先是从有序到混沌,研究混沌产生的机制和途径;再是混沌中的有序,研究混沌中的普适性及分形结构等;现在则是从混沌到有序,即这

里介绍的控制混沌.控制混沌在理论和应用方面都有重要意义.借用徐整《三五历记》中的话,尽管“天地混沌如鸡子”,掌握了控制方法便可使“天地开辟,阳清为天,阴浊为地”。