

智能信息处理 混沌动力学 CSCW 信息处理

22

85-88

计算机科学1998 Vol. 25 No. 3

混沌动力学在智能信息处理中应用研究现状

The Present Research Situation of Chaotic Dynamics in Intelligent Information Processing

陈德钊 董军 胡上序

TP391

(浙江大学 CAD & CG 国家重点实验室 杭州310027)

摘要 In this paper, the concepts and characteristics of chaotic dynamics are simply described, chaotic neural networks, chaotic time series and control, chaotic multi-agent systems and chaotic synchronization and communication are mainly discussed, the prospects that chaos being used in intelligent information processing are pointed out, the thought above being applied in computer-supported cooperative work is introduced finally.

关键词 Chaotic dynamics, Time series, Control, Neural network, Multi-Agent systems, Synchronization, Communication, Computer-supported cooperative work

混沌是“无序中的有序”，有序是指其确定性，而无序则是其最终结果的不可预测性。非线性、非平衡性、确定性、动态性、内乘随机型、初值敏感性、时间序列的不规则性和有奇异吸引子是混沌的必要条件，然而，严格说来，对于混沌性质的判别，从数学上讲至今没有统一的定义，比较常用的有 Li-Yorke、Devaney、Marotto 意义下的混沌三种。实际上为了刻画混沌动力学性质往往用到 Lyapunov 指数和熵^[4,5]。

设离散动力系统 (X, f) ，初值为 x_0 ，生成轨道为 $\{x_n\}$ ， $n \in Z$ ，考虑沿 x_0 的某个切线方向上的无穷小扰动 y_0 ，则 y_0 随时间的演化服从于：

$$y_{n+1} = Df(x_n)y_n \quad (1)$$

显然 $y_0/|y_0|$ 给出了在 x_0 处所引起扰动方向，而 $|y_n|/|y_0|$ 表示扰动是放大或缩小。由 (1) 得

$$y_n = Df^n(x_0)y_0 \quad (2)$$

其中 $Df^n(x_0) = Df(x_{n-1})Df(x_{n-2}) \dots Df(x_0)$ 。这样就可定义在初值 x_0 下，沿着 $y_0/|y_0|$ 方向的 Lyapunov 指数为：

$$LE(x_0, u_0) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \ln(|y_n|/|y_0|) \\ = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \ln(Df^n(x_0)u_0) \quad (3)$$

其中 $u_0 = |y_0|/|y_0|$ 。正的 Lyapunov 指数表征存在混沌行为。

在耗散系统中，全局能量将单调减少并渐近稳

定，有序和组织可以通过一个“自组织”的过程从无序和混沌中“自发地”产生出来^[6]。并非所有复杂数都是自组织的，但自组织系统都是复杂的。混沌介于严格的规则性和随机性之间^[7]。一个混沌系统的行为是许多有序行为的集合，但每一个有序行为在正常情况下都不占主导地位。如果以某种方式来扰乱一个混沌系统，就能使该系统以它许多有序行为中的一个来起作用。由于混沌系统能在许多不同的行为方式之间进行转换，它们就特别灵活^[8]。历史上混沌的研究始于数学和物理学，然后扩充到工程领域，近来又进入信息和社会科学。

从物理、化学、生物，到社会、经济系统，混沌是普遍存在的。人们已逐渐将混沌理论应用到工程中，确定性混沌的概念已影响到计算理论、信息论、预测理论和控制论等等，如混沌并行分布处理、确定性非线性预测、动态存储和搜索、动态信息压缩-编码和通信、混沌控制，等等。混沌应用可区分为稳定性、综合和分析几方面，稳定性是利用初值敏感性，给系统加入微小扰动，使之进入某一所希望的状态，如混沌控制。综合是利用人为生成的混沌以获取混沌动力学的可能的功能，如避免局部最小，分析是分析从自然和人为复杂系统中观察得到的混沌信号以寻找隐藏其中的规律，如时间序列的非线性确定性预测。混沌应用包括短期预测（如财政、天气）、医学中的心律分析、通信（如信息压缩与存储、保密通信）、计算机网络（包交换）和家电控制，等等。本文拟就混沌在智

陈德钊 高级工程师，研究智能信息处理，董军 博士生，主要从事面向对象方法，计算机支持协同工作，混沌应用，胡上序 教授，博士生导师，主要研究计算机仿真，人工神经网络。

能信息处理中的研究和应用作一回顾和展望,并给出在计算机支持协同工作中的应用。

1 时间序列预测和控制

混沌吸引子有无数嵌入其中的不稳定周期轨道,通过扰动系统的某些参数使之稳定在其中的一个轨道上来控制混沌,系统就成为周期性的,从而系统也就变得更加可预测和控制。Otc等^[9]和 Ditto等^[10]分别提出了理论和进行实验,这种控制方法是灵活的。有关研究包括心律和化学反映的控制等,前者能帮助调整心跳频率,后者能提高产量。

混沌控制往往与时间序列有关。时间序列为控制不希望的扰动产生的影响提供了可能性,混沌的初值敏感性使得对于未来的测量不存在精确的办法,长期预测成为不可能,但只要有足够的模型和对初始条件的精确观察,它的确定性却使之在预测能力消失以前可以进行短期预测,且可能比通常的统计方法好,这就是利用其内部确定的规律性的混沌时间序列预测^[11],有关方法包括全局技术、局部技术和径基函数等,但混沌是非线性动力学行为,这种性质不易为解析法所描述,找出一个非线性的表达并非易事。而这正适于用神经网络处理^[12],且已有若干研究^[13-15]。由实际值和预测值的相关系数可知,混沌时间序列的神经网络方法的预测效果比统计方法要好^[11]。

2 神经网络

由于目前人类对真实神经系统只了解非常有限的一部分,对于自身脑结构及其活动机理的认识还十分肤浅,当今的神经网络的模型实际上是极为简略和粗糙,并且是带有某种“先验”的。譬如,Boltzmann机引入随机扰动来避免局部最小,有其卓越之处,然而缺乏必要的脑生理学基础。毫无疑问,人工神经元网络的完善与发展有待于神经生理学、神经解剖学的研究给出更加详细的信息和证据。

近年来,人们发现,脑中存在着混沌现象^[17,18],混沌理论可用来理解脑中某些不规则的活动^[19],从而,混沌动力学为人们研究神经网络和利用神经网络进行信息处理^[20]提供了新的契机,用混沌动力学启发神经网络的研究或用神经网络产生混沌成为摆在人们面前的一个新课题,因为从生理本质角度出发(这里并不是单纯提倡纯粹意义上的生理模拟,因为人类认识自然和社会的规律并非是一种“照抄照搬”的过程,只是应该有客观的依据和明确的目的)是研究神经网络的根本手段。

混沌耗散动力学范型能用作人对外部世界建模的工具,可用来描述人脑的信息处理过程^[21]。混沌与智能是相关的。神经网络理论研究中引入混沌学思

想有助于揭示人类形象思维等方面的奥秘,进而为合理利用神经网络的混沌行为指明方向^[22]。神经网络是高度非线性动力学系统,神经网络研究的关键是吸引域^[23]。

1990年,Aihara等^[24]在前人推导和实验的基础上,给出了一个混沌神经元模型,该模型已成为一种经典的混沌神经网络模型,为众多研究者参考^[25]。该模型用于联想记忆。有如下特点:

- 具有梯度动作电位的连续刺激-反应曲线;
- 激活后相应的不应性的连续指数衰减和源于先前动作电位的不应效果的叠加;
- 通过许多突触的输入的时空累加。

1991年 Inoue 等提出用耦合的混沌振荡子作为单个神经元,构造混沌神经网络模型的方法^[26]。耦合的混沌振荡子的同步和异步分别对应神经元的激活和抑制两个状态。虽然混沌是由简单的确定性规则产生的,但它包含规则性和不规则性两个方面。耦合的混沌振荡子的同步来自规则性,而不规则性可产生随机搜索能力。接着,又用一个混沌振荡子实现上述功能^[27]。进而,将上述情况推广到模拟态^[28]。在以上模型的基础上,后来又进一步分析了脑的动力学特性,用波动谱理论研究了解 TSP 时 Hopfield 能量的时间序列,认为时间序列与脑波有关,如果选择合适的参数,模型可有效地找到解,还观察到了这时的间隙“脑波”^[29]。也已有对上述两类模型的结合进行的研究^[30]。混沌神经网络在智能信息处理中有着广阔的应用前景,我们认为,可在下列几个方面进行深一步的研究并谋求应用:

- 1)选择更加合适的奇异吸引子构成混沌神经网络;
- 2)决策对象(如控制系统)往往是一个复杂的动力学系统,且结构化与半结构化交织,所以用混沌神经网络进行决策可能有较好效果,也易获全局最优;
- 3)利用混沌系统对初始条件的敏感依赖性,有可能对仅有微小区别的模式进行识别;
- 4)对以前认为不规则的运动,若是混沌现象,就可能进行短期的、但较精确的预测;
- 5)在优化方面,由于混沌的特性,不再必需用模拟退火、遗传算法等来避免局部最小。

3 多 Agent 系统

分布式人工智能^[31]中的多 Agent 系统(MA)^[12]是互相耦合的强非线性系统,其本质是动力学演变过程。它的动力学行为,包括最后的决策过程有时是混沌的。一个进入混沌区的系统,有其潜在的价值,某些情况下,也许它能提供更大的问题搜索空间,也许在混沌区外有有益行为^[32]。用混沌动力学观点分

析 MA 的行为在本质上是合理的,并有了一些相应的工作:

Solè 等通过对于流体(fluid)神经网络(由具有随机活动性的可移动的单元构成的神经网络)中的元胞(cellular)和它们构成的集体的混沌的研究,得到了用于描述象昆虫社会、机器人集体、免疫系统等一系列系统的理论框架^[34],这对于用混沌动力学分析 MA 甚至更复杂的社会系统都会有所启发。Kiss 等利用动力学系统范型为 Agent 的目标、喜好等基本概念给出的一个模型理论框架,为形式化描述 MA 提供了基础^[35]。Kephart 提出的计算生态系统的动力学^[36]分析了分布式系统、MA 中诸如分布式控制、异步、资源竞争、协作和不完全知识及延迟信息所带来的许多问题,而生态系统、生物系统、社会系统、经济系统等固有的复杂性、并行性、分布性及其相互作用又为分析 MA 提供了十分有益的借鉴。同时研究还发现,具有多个资源的系统的行为会趋向混沌;增强个别 Agent 的决策能力会减弱整个系统的行为,导致混沌,并使系统长时间滞留在非优稳定态。由于 MA 中各 Agent 对问题认识的局限性和知识的不确定、不完整性等原因,会出现冲突以致进入混沌, Hong 等认为对分布式系统的混沌的控制^[37]同样是 MA 中动力学特性研究的重要方面,Agent 不仅要能与其它 Agent 合作,还要能适应各 Agent 共同活动的结果。对多资源前提下某 Agent 使用某一资源的比率的定性描述获得了系统行为的间歇混沌图,进而可调节参数,控制混沌。Agent 通过外推法或复杂的预测技术作选择,并付出代价,以获得尽可能大的收益^[38]。Nicolis 指出 Agent 与 Agent 间的相互作用必然会导致冲突,由于各 Agent 的合作倾向、让步程度等因素的不同使解决过程表现出丰富的混沌特性^[20,39]。MA 的聚集的动力学行为也得以讨论^[40]。

由上我们可以得到结论:混沌理论可用到 MA 的研究中,可以借鉴更复杂的社会系统理论来研究 MA。混沌是智能的一种本质特性。

4 同步和通信

智能信息处理,尤其是分布式人工智能与通信是不可分割的,混沌通信^[41]是混沌的又一应用。混沌系统的整体是确定的,如果两个几乎相同的具有适当形态的混沌系统受到一种信号激励,它也会产生相同的输出。Pecora 和 Carroll 考虑如何使上述的两个混沌系统得以同步^[42]。他们采用一个混沌系统,并通过复制该系统的部分而生成一个子系统,然后由原系统提供一个信号给子系统,驱动该子系统,并且前者不知道后者的存在,在某些条件下子系统的行为表现出混沌特性,但与原系统的对应的部件完全

同步。整个行为是混沌的,而子系统是稳定的,其稳定性保证噪音和干扰将衰减,它本身却跟踪原信号。Carroll 于 1989 年首次构造了混沌同步电路。他采用已经显示混沌行为的电路,并构造一个稳定在来自上述电路的混沌信号上的子电路。

由于混沌同步的子系统可以位于任何地方,这就可以用混沌通信来传递隐藏的消息。从原系统取得一个混沌电压信号,加上要传递的信息,接收者可以去掉混沌部分而获得有用信息,其它要识别这样的信号的人看到的只是带噪音的混沌信号^[43]。基于上述原理的电路实现也已完成^[43,44]。当然,真正的保密通信要复杂得多。还有用锁相环和反馈机制进行试验的。信号处理和混沌动力学的结合可产生新的通信方式。锁相环与频率有关。动力系统中,频率是一种参数,因而 Pecora 提出了锁参环的概念,它允许传递宽带信号上参数变量形式的信息,对噪音和干扰有很强的抑制作用。

Hayes 等^[45-47]实验了一个能产生大幅混沌信号的非线性电子振荡器。该系统产生了有正负峰谷的看似随机的序列,将正负峰分别赋以 1 和 0,信号就产生了一个二进制序列。他们用混沌控制方式使信号跟随其二进制序列表达其想要编码的信息的轨迹。被传递的信号然后被检测和解码。他们甚至假设这样的系统也许是生物系统传递信息的一种可能机制。由于有用信息与系统动力学的耦合很紧密,Short^[48]讨论了用多步截取(extraction)技术恢复有用信号问题。Torikai 等^[49]介绍了用于连续时间混沌电路的三种同步过程,并提出了能实现三种主从混沌同步态(相中、相前、相后)的偶发线性连接(occasional linear connection, OLC)方法。这是一种新的非线性方法,可用以实现上述三种混沌同步态,OLC 的操作表明,记忆功能(采样和保持)、偶发连接和各态历经性足以实现混沌同步态。不同的混沌同步态的组合和它们的控制可能发展成为信息处理的有效的人工神经网络。混沌动力学为通信的深入研究和应用提供了新的工具和机会,如保密通信、同步通信等等。

小结 在计算机支持协同工作(CSCW)、群体决策支持系统(GDSS)这类把人作为一种 Agent 的 MA,使 Agent 内部过程及其同环境的相互作用更为复杂。在交互中,由于资源不足、目标有别、结果矛盾等,不可避免地会出现冲突。因而,对 MA 间的关系和行为的了解与掌握也就成了解决问题的一个重要方面。由于其复杂性,要求我们用新的思维和方法来解决问题。在我们完成的集团军指挥决策 CSCW 中,我们根据混沌动力学理论,形式化描述了

数字语音信号

信号包络提取

研究

语音信号处理

23

88-90

数字语音信号包络提取算法研究

On the Envelops Extracting Algorithms for Speech Signals

袁晓* 刘光远* 邱玉辉** 虞厥邦*

(电子科技大学光电子技术系 成都610054)*

(西南师范大学计算机科学系 重庆400715)**

TN912.3

摘要 Based on the properties of envelop filters and the characteristics of speech digital signals, two fast envelop extracting algorithms for speech signals are proposed in this paper. The complexity of computation and the error performances of these novel algorithms proposed are discussed. The simulation results show that the algorithms are efficient for extracting the envelop of speech signals.

关键词 Envelop filters, Fast algorithm, Analytic wavelet transform, Speech signals

1 信号包络提取原理

在许多领域,比如通讯、自动测试与控制、机械故障检测与诊断,特别是在语音信号处理与识别等领域中,从原始信号中提取包络信息往往是十分重要的^[1-5]。对于包络信号的提取,经典方法是采用Hilbert变换(HT)将原始信号 $s(t)$ 转换成复解析信号 $\tilde{s}(t)$,取其模,即 $|\tilde{s}(t)|$ 作为 $s(t)$ 的幅度包络信号^{[1][2]}。这种包络提取法—HT方法对于提取窄带载波信号的包络是十分有效的,但对于宽带时变信号,比如语音信号的包络提取却存在许多固有的缺陷^[5]。

实信号 $s(t)$ 的复解析表示 $\tilde{s}(t)$ 形式为^{[2][3]}

$$\tilde{s}(t) = s(t) + j\hat{s}(t) = s(t) * h_H(t) \quad (1)$$

$$\hat{s}(t) = s(t) * \frac{1}{\pi t} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (2)$$

$$h_H(t) = \delta(t) + j \frac{1}{\pi t} \quad (3)$$

式中 $j = \sqrt{-1}$,对于窄带载波信号 $s(t) = a(t)\cos(\omega_0 t + \theta_0)$,模 $|\tilde{s}(t)|$ 就等于原信号 $s(t)$ 的包

络信号 $E_H(t)$,即 $E_H(t) = |\tilde{s}(t)| = |a(t)|^{[1-2]}$ 。因此式(3)定义的 $h_H(t)$ 通常称为HT包络滤波器,其Fourier变换为

$$H_H(\omega) = 1 + j[-j\text{sgn}(\omega)] = \begin{cases} 0 & \omega < 0 \\ 2 & \omega \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

这表明, $\tilde{s}(t)$ 实质上就是用 $H_H(\omega)$ 滤出 $s(t)$ 的所有非负频率成分,而其相位保持不变,即

$$\angle H(\omega) = 0 \quad (5)$$

因而用HT方法提取语音包络信号本身就存在许多固有的缺陷^[5]。为此,文[5]中提出采用复解析小波变换(Complex Analytic Wavelet Transform)提取语音信号包络的新方法(简称为CAWT方法)并给出了语音信号包络滤波器 $h(t)$ 的构造条件:

$$\overline{h(t)} = h_r(t) + j\hat{h}_r(t) = \overline{h_r(t)} * h_H(t) \quad (6)$$

式中 $h_r(t)$ 为实偶函数并满足小波允许性条件,即

$$h_r(t) = h_r(-t), \int_{-\infty}^{\infty} h_r(t) dt = 0 \quad (7)$$

取母函数 $\psi(t)$ 为:

$$\begin{cases} \psi(t) = h(t) = \psi_r(t) + j\hat{\psi}_r(t) \\ \hat{\psi}_r(t) = \hat{h}_r(t), \psi_r(t) = \hat{\hat{h}}_r(t) \end{cases} \quad (8)$$

CSCW中Agent的混沌特性,提出了基于对策论、混沌时间序列和混沌神经网络的预测-决策方法,刻画了相应的Agent的行为^[60],以消除资源冲突。

从人脑到社会系统,都具有混沌行为,这表明混沌是普遍的现象。人工智能研究人的思维和交互,其对象本身就是具有混沌特性的复杂系统,因而混沌动力学作为人工智能的研究工具是合适的^[61],并已有了若干进展。由于混沌动力学自身在不断发展和

成熟的过程中,与混沌研究密切相关的一维符号动力学已较完善,而二维符号动力学则正处在突破前夜,因而对于混沌本身的把握并不完善。我们并不认为混沌能解释所有我们希望解决的问题,但它完全可以作为一种新的技术用于智能信息处理中。智能问题的本质与机理尚不清晰,混沌与智能的相结合的研究必定是充满挑战,同时又富有吸引力的。

(参考文献共51篇略)