

# 混沌的同步与保密通信

刘建东

(张家口师专 075028)

刘建猷

(天津大学 300072)

混沌现象的最本质特征在于它对初始条件的灵敏依赖性.它是可确定的,但又是不可预测的.因为这个原因,过去人们对混沌现象总是采取回避的态度,提起混沌就有一种神秘感.现在人们已经发现混沌是易于操纵的,可以开发利用的,甚至是无价的.混沌已被用来增强激光器的功率;调整电子电路的输出,使之同步;控制化学反应的波动;稳定动物有病的心脏;编码电子信息以保证通讯安全等.可以预期,在混沌理论深入研究的同时,混沌应用研究将会有广阔前景.

近年来,人们在考虑如何利用混沌这一问题时,最感兴趣的当属混沌的同步化.混沌同步化问题的提法,其涵义是由一个自治的混沌系统出发,如何构造新的混沌系统,使它们具有共同的同步的混沌轨道.我们知道,使两个相互独立的混沌系统实现同步是不可能的,若使两个混沌系统级联,用一个系统去激励另一个

度为 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ . 80年代国外研制出的利用紧贴膜片的叶片或光栏的运动来调制光信号的光纤压力传感器和靠膜片挤压光纤使其输出特性发生变化的光纤压力传感器的精度可达3.0%,线性度可达 $\pm 1.5\%$ .

相比之下,我国的光纤传感器研究工作起步较晚.1983年国家科委新技术局在杭州召开了第一次关于光纤传感器的全国性会议,光纤传感器的研究也只在一些高等院校及研究所里进行.目前,对全国近400家从事传感器开发和生产的单位的调查表明,从事光纤传感器的有16家.其中起步较早的单位有电子工业部、航天工业总公司、中科院等一些研究所和清华大学、浙江大学、国防科大、上海科大、华中理工大学等高等院校.燕山大学自动化系研制的、

系统,或者反过来说,从一个“复合”的混沌系统着手,将其划分成若干个子系统,则在一定条件下,某些子系统可能出现相同的混沌行为.其中一种特殊的情况就是在一个混沌系统中选取一个“稳定”的子系统,所谓稳定是指不受初始扰动影响,或者“条件”李雅普诺夫指数全部小于零,将这个子系统复制得到一个响应系统,原混沌系统作为驱动系统,这样就能达到获得混沌同步的轨道的目的.

混沌同步这一问题在非线形电路中已取得非常好的实验结果.非线性电路实验是认识混沌现象的极好途径,在过去的研究中,人们通过电路实验观测到一个稳定的系统如何随着参数的变化通过周期分岔、阵发混沌、周期递增或魔鬼阶梯等道路进行混沌状态;观测到混沌岛域、周期窗口等混沌行为的精细结构.应该说,迄今关于混沌研究的最好的实验结果是在非线性电路中得到的.在开始混沌应用研究的今天,

已通过机械电子工业部专家鉴定的光纤温度传感器可在 $800\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 的范围内进行精确测量.其它功能的光纤传感器也在积极的研究当中.

从光纤传感器的发展现状及文献报道情况来看,它具有广阔的应用前景,其进一步的研究方向应是:①解决光纤传感器的实用化问题,主要是长时间的漂移问题.②开展对采用多路复用技术的光纤传感器系统的研究,特别是将其与微机相结合组成光纤遥测系统以进行多参数测量与控制.③开展基础技术及元器件的进一步研究.光纤传感器的性能与其中的有源及无源器件的稳定性和可靠性密切相关,随着基础技术的进步、元器件性能的更加完善,光纤传感器将得到更广泛的应用.

混沌电路更是大有用武之地. 1989年, 美国海军研究实验室的 Pecora 等人指出, 在共同的驱动信号作用下, 两个相同的非线性系统尽管处于混沌状态, 但仍然有可能同步. 同年, Pecora 和他的同事 Carroll 就利用混沌电路演示了混沌电路的同步行为. 他们还通过计算机模拟, 研究了 Lorenz 混沌动力学系统, 研究发现选择合适的状态变量作为驱动变量, 并复制其稳定的子系统做为响应子系统, 则可以实现混沌运动的同步. 在近几年的研究中, 蔡少棠等人利用蔡氏电路也实现了混沌同步. 著名学者 Oppenheim 通过变换 Lorenz 系统参数, 进而完成了 Lorenz 系统的电路实现, 并用它进行混沌同步的研究, 得到了一个鲁棒性好的在驱动信号作用下子系统能够恢复全部状态量的混沌同步系统. 混沌同步化的电路实现, 使混沌同步走向应用成为可能. 其中最主要的就是将同步混沌电路应用到保密通信当中.

混沌对初始条件极为敏感, 即初始条件的微小差别会随时间的演化呈指数增长. 换言之, 如果初始条件只有有限的精度, 则随时间的增长, 其状态的精度将变得越来越差, 最终不可接受, 其长期行为表现出很明显的随机性. 这种确定性系统的内在随机性便是混沌可应用于保密通信的本质所在. 对于一个混沌系统, 如果能保证其长期稳定同步, 则可以把信息隐蔽在混沌信号中, 敌方用普通无源对抗不易发现和识别, 而接收端由于恢复了与发端同步的混沌信号, 则可以解调出信息, 这样便实现了对信息的加密传输. 混沌信号具有很宽的连续频谱, 如果把基带信号(即信息)的频谱先扩展至混沌频谱上, 则可以实现真正意义上的扩展频谱通信.

用同步混沌电路进行保密通信的一个最简单的办法是把信息  $M(t)$  叠加在混沌信号  $X(t)$  中, 得到加密信息  $E(t)$ , 即  $E(t) = M(t) + X(t)$ , 接收端再减去已恢复的混沌信号  $X'(t)$ , 从而解调出信息, 如果信息功率密度远远小于混沌信号功率密度, 则窃听者只能收到类随机噪声, 无法识别出信息, 更难以反推其网络

结构及具体参数. 这可通过一个简单例子说明: 设想小王想发电报给小李. 小王有一个产生混沌驱动信号的装置, 他还有一个能以稳定方式响应该信号的子系统. 小李有一个该子系统的复制品. 小王把他的秘密电报译成电子信号并把电子信号叠加在他的子系统输出的混沌信号中, 然后小王把编码了的电报与驱动信号一起发送出去. 任何一个截获这些信号的人只能探听到一些混乱的噪音, 从中提取不到任何信息. 当小李收到了驱动信号后, 他把它输过他的子系统, 该子系统再次产生小王的子系统的混沌输出, 随后, 小李就能从编码的信息信号中减去这一混沌输出, 恢复秘密电报.

调制混沌电路参数也是用同步混沌电路进行保密通信的有效办法, 通过实验, 可以确知电路处于混沌态的参数域. 参数在其混沌参数域内变化时, 电路均处于混沌状态, 但参数的变化势必引起混沌行为的变化. 若用二进制信息调制驱动电路参数, 使其低电平时, 驱动子系统与响应子系统参数一致, 因而产生同步混沌行为; 高电平时, 驱动子系统参数发生变化, 虽然驱动子系统仍处于混沌状态, 但却因参数的差异而与响应子系统不再同步, 这样响应子系统与驱动子系统相比较所得误差信号即表征二进制信息, 通过低通滤波, 整形处理, 就恢复出原来的二进制波形, 因而实现了二进制信息的保密传输.

同步混沌电路还可以应用到扩频通信系统. 一种可行的方法是, 在发端把基带信号的频谱直接扩展至一混沌频谱上. 接收端由于恢复了解扩混沌信号, 因而通过相关运算, 所需要的信号就可恢复到未扩频前的原始带宽, 而其他任何不匹配的干扰信号被混沌信号扩散到更宽的频带, 从而使落入到信息带宽范围的干扰信号强度被大大降低了, 当通过窄带滤波器时, 就全部抑制了滤波器的带外干扰信号. 由于对信息进行了频谱扩展, 其频谱分量的能量被扩散, 使信号功率密度降低, 从而加强了信息的隐蔽性.

需指出的是, 实现混沌电路的同步并非是

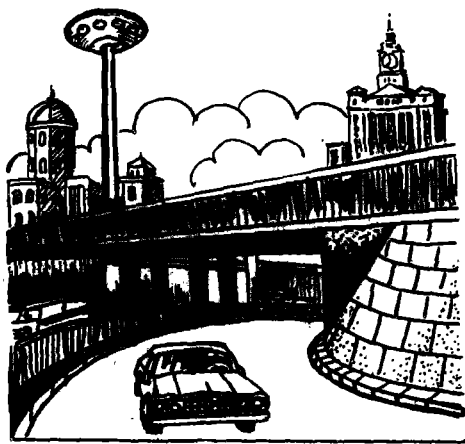
# 柏林交通与技术博物馆

宣 桂 鑫

(华东师范大学物理系 上海 200062)

在微波荡漾、风光旖旎的柏林运河畔矗立着一组风格相异而和谐的建筑物。主楼是 19 世纪的遗物，内部修葺装饰一新，外观仍维持原貌。五月林木蓊郁，苍翠宜人。柳丝随风轻拂；樱花缀满枝头，氤氲成一排绯红的轻云；花坛上一丛丛金黄的迎春盛开。轻轨铁路横在近旁，像一柄巨大的弯刃古兵器掠过长空。古典风情揉和进了现代意识，构成一幅和谐的图画。这就是柏林交通与技术博物馆。

博物馆创建于 1886 年，迄今已有一百多年的历史，原来是一天象馆。除博物馆一般陈列的图片、实物外，还配备有通光口径为 12 英寸的天文望远镜向公众开放展示。这一创举可以说开了现代开放实验室的先河，也决定了柏林交通与技术博物馆的模式。不久，添置了 50 架显微镜，每次可接待 20 人同时实验。新的实验品种不断推出。开馆仅六年，它就扩展成为包括天空巡礼、生物探秘、物理世界和科学戏剧等四个部分的当时世界上首屈一指的博物馆。1892 年开



放实验室共 88 个基本实验，其中物理实验 34 个，包括力学、声学、电学、磁学、光学和物理学的应用诸方面。例如物理学的应用有照相技  
.....  
将混沌运用到保密通信的唯一途径。一个混沌吸引子包含有无限个不稳定周期轨道，通过对不稳定周期轨道的幅度或相位进行调制可以实现对信息的保密传输，用这种方法可以在一混沌序列的每一个不稳定周期轨道中调制不同的信息流，因而用单一的时间序列就可以传输多

术，爱迪生的留声机、听歌剧用的专用电话等，当时它们是风靡世界的时髦玩意儿。

1978 年，天象馆扩建成为柏林交通与技术博物馆，形成一个熔科学、技术、自然和文化于一炉的大型综合性科技博物馆。主楼共四个楼面，十个展室，总面积约 1500 平方米，除展出展品外，还安排 150 个实验。实验室每天约接待 1000 人。

实验之前，先到展览大厅。从年深月久、漫漶的照片到彩虹全息再现和模压全息，从科学家手制的粗陋的实验器材到现代精密复杂的诸如核磁共振成像仪、磁悬浮实验仪和光通讯模拟实验装置，使人仿佛看到了科技列车的巨轮正辗过时空轨道风驰电掣般隆隆向前。这些图片、照片、模型、原件、复制品是交通和科技发展百年风云的见证。那些作出过杰出贡献的德国科学家永远彪炳史册，为后人瞻仰。这里是真正做到寓教于乐的科学乐园。物理实验共 53 个，实验项目从经典一直跨到现代。

步入实验大厅，首先映入眼帘的是摆长为 30 米的傅科摆，式样与北京天文馆内的傅科摆相仿。但见它悠悠地摆动，依次击倒地面上排  
.....  
道信息，这显然比传统的用周期信号运载信息有很多益处。另外，采用混沌序列的直序扩频多址系统的研究也成为目前比较重要的一个方向。我们相信，随着人们对混沌的深入认识，混沌在通信中的应用前景必将是绚烂多彩的。