

太湖渔业资源系统的仿真研究

倪汝凤 黄能耿

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 无锡 214081)

摘 要 介绍了应用灰色理论,对太湖渔业经济系统和生态系统进行灰色动态和灰色关联分析的思路和方法,还介绍了应用人工智能的神经网络技术对太湖生态系统中能流、物流的发展变化态势进行网络模拟的设计思路和实现方法。灰色动态分析的结果表明:太湖渔业经济要持续稳定地发展,其渔业资源繁殖保护及劳力等投资不能低于渔业产值的 15%。灰色关联分析结果表明:影响该湖渔业经济的主要环境因子为苦草生物量、轮叶黑藻生物量和水生植物总生物量。人工智能模拟结果表明:要充分利用水草资源,提高太湖草食性鱼类的经济和生态效益,就要增加团头鲂的放流量,优化放流鱼类的品种结构。最后讨论了应用神经网络模拟与灰色理论相结合的技术进行社会、经济和生态等复杂系统的动态仿真与智能控制的可能性。

关键词 太湖,渔业资源,人工智能,神经网络模拟,灰色系统动态模拟

太湖位于江苏省常州市西南,地跨武进县、宜兴市,为江苏第六大淡水湖,是太湖流域湖泊群中的重要组成部分,其水面为 137.8 平方公里,平均水深 1.19 米。该地区气候温和,适合鱼类生长。随着科技的发展和渔政管理的逐步完善,太湖渔业生产取得了显著成效,但其生态环境却并不令人满意,未能合理开发水体资源,充分发挥太湖在饮水、航运、渔业等多方面的功效。为此,我们对该湖泊系统中能流、物流和信息流的发展变化规律进行了系统的定性定量分析,以便摸清湖泊生态系统的发展规律,实现对湖泊中有关因子的控制和利用,使湖泊系统朝着预定的方向发展。

1 研究理论与方法的选择

湖泊系统是一个庞大的开放系统,也是一个多变量、多目标、多层次、非线性的复杂系统。这样的系统,既具有信息的不完全性或不确定性,即系统的“灰色性”;又具有混沌现象,这是复杂动力学系统中存在的客观现象。而混沌与人工神经网络的研究有着密切的联系,人工神经网络具有反馈意义下的控制作用,人们可以通过设计神经网络达到对系统进行有效控制的目的。为此,在研究太湖渔业经济和生态系统的关键因子时采用了灰色关联和灰色动态分析。而在定量地研究湖泊生态系统中主要的能流、物流输入输出关系时,则采用了人工智能的多层感知器神经网络。

2 太湖渔业经济系统的动态分析

2.1 灰色动态分析

语言模型:在稳定发展太湖渔业生产的基础上,积极发展湖区的工副业经济,并合理安排

捕捞、养殖及工副业等各业的合理投资, 优化产业结构, 确保湖区经济稳步、高效、健康地发展。

网络模型: 以湖区经济总产值作为整个系统的总输出, 其有两个部分组成, 即渔业总产值与非渔业(工副业)总产值组成。养殖子系统中, 养殖业产值为该子系统的输出, 养殖劳动力和养殖面积为该子系统输入, 由于养殖业投资无具体统计数据, 只能用灰色量来表示, 记为 \otimes , 作为该子系统反馈控制量, 用于扩大再生产的投资, 这样就构成了环节 1。同样, 捕捞子系统中捕捞总产值作为子系统输出, 而捕捞努力量和捕捞劳力作为子系统输入, 资源增殖费及其它投资也无原始数据, 也定义其为子系统反馈控制量 \otimes , 这样就构成了环节 2。上述各环节网络模型见图 1。

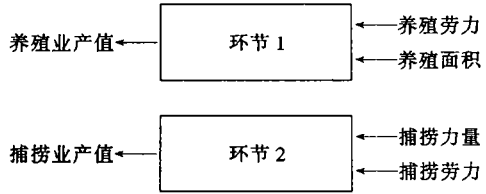


图 1 网络模型图

Fig.1 Network models schema

输出部分: 设渔业总产值为 X_1 , 养殖业产值为 X_2 , 捕捞业产值为 X_3 。

输入部分: 设养殖业劳动力为 X_4 , 捕捞劳力为 X_5 ; 养殖面积为 X_6 , 捕捞努力量为 X_7 。

动态模型: 对于湖区经济, 必须通过建立系统动态模型群, 方能作深入的分析。根据系统中各因素的时间序列统计数据为基础, 建立各环节的状态方程如下:

环节 1: 建立 X_2 与 X_4 和 X_6 之间的 GM(1, 3) 模型: $dX_2/dt = a_{2,2}X_2 + a_{2,4}X_4 + a_{2,6}X_6$ 。求解结果为 $a_{2,2} = 1.5158$, $a_{2,4} = 3.094$, $a_{2,6} = 5.997$ 。其中下标相同者为发展系数, 下标不同者为协调系数, 下同。

环节 2: 建立 X_3 与 X_7 和 X_5 的 GM(1, 3) 模型: $dX_3/dt = a_{3,3}X_3 + a_{3,7}X_7 + a_{3,5}X_5$, 计算结果为 $a_{3,3} = 0.538$, $a_{3,7} = -2.907$, $a_{3,5} = 2.200$ 。

对上述模型进行拉普拉斯变换, 即得各环节的传递函数, 并将传递函数进行连接运算, 即得溇湖地区渔业经济系统的总动态框图(图 2)。

动态模型的优化与控制: 动态模型虽然在各因子定性分析和统计数据较正确的前提下, 可以较全面地反映一个系统发展变化的过程和特征。系统动态性能可用特征多项式表示。通过对特征多项式的分析, 就可看出系统主要动态品质。下面用代数判别法对系统的稳定性进行动态分析。因为传递函数分母为系统特征多项式, 故通过对分母 $S_{1,2} = [- (2.52 -$

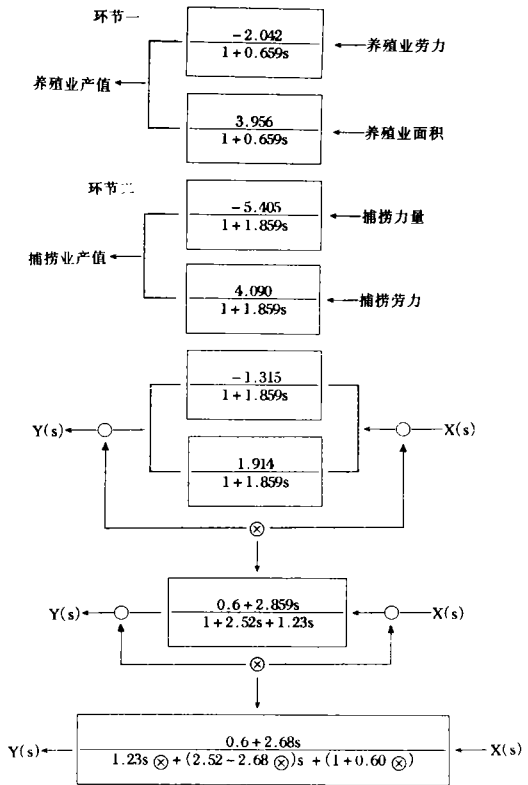


图 2 灰色系统动态模型构架

Fig.2 Framework of gray system dynamic modle

\otimes 为反馈项, 表示该子系统的再生产各种投资

$2.68 \otimes \pm \sqrt{\Delta}]/(2 \times 1.23)$ 进行分析获得。式中： $\Delta = (2.52 - 2.86 \otimes)^2 - (4 \times 1.23 \times (1 - 0.6 \otimes))$ 。当 $\Delta < 0$ 得复数解，则系统会发生振荡，故令 $\Delta = 0$ 得： $7.2 \otimes^2 - 10.6 \otimes + 1.5 = 0$ ，解得 $\otimes_1 = 0.15$ ， $\otimes_2 = 1.3$ 因不符合实际经济系统的要求，投资不可能超过实际产值，故舍去。

由求解上述特征多项式及稳定性分析可以判断，要使湖渔业经济系统保持正常稳定地发展，不致发生大的振荡，对漏湖渔业经济系统的投入（包括劳力、水面资源等）不能少于其渔业产值的15%。

2.2 灰色关联分析

从漏湖生态系统天然饵料生物和鱼类种群结构的角度进行分析，漏湖是草型湖泊，发展草食性鱼类是振兴漏渔业经济、充分利用天然资源改良生态环境的关键。本研究以湖中主要草食性鱼类——草鱼、团头鲂的历年产量为母数据列，以湖中水草资源的优势种群——黄丝草、轮藻、聚草、轮叶黑藻、马来眼子草、苦草、金鱼藻、水生植物总生物量为子数据列作关联度分析。关联模型计算结果表明（表1）：草鱼、团头鲂的产量与总生物量关联度最大，其次分别是苦草和轮叶黑藻（这与生物定性分析结果完全一致），说明影响漏湖草食性鱼类产量的主要生态因子是苦草、轮叶黑藻和水生植物总生物量。

表1 草食性鱼类产量与优势种群水草的关联度矩阵

Table 1 Correlation matrix between herbivorous fish yields and dominant species biomass of water weed

	黄丝草	轮藻	聚草	轮叶黑藻	马来眼子草	苦草	金鱼藻	水生植物总生物量
草鱼	0.640 9(5)	0.623 4(7)	0.658 7(4)	0.709 8(3)	0.560 6(8)	0.729 3(2)	0.637 5(6)	0.809 4(1)
团头鲂	0.701 1(6)	0.714 6(4)	0.712 1(5)	0.752 8(2)	0.592 8(8)	0.721 6(3)	0.641 2(7)	0.782 4(1)

注：(1)~(8)为关联度从大到小的排列顺序

3 漏湖生态系统的神经网络模拟

根据关联和定性分析的结果，进一步以轮叶黑藻、苦草、总生物量、草鱼和团头鲂放流量五项指标的历年统计数据作为漏湖渔业系统的主要输入，以相应的草鱼和团头鲂历年的产量数据列作为漏湖渔业系统的主要输出，进行神经网络动态模拟。

本研究采用目前使用最为广泛的多层感知神经网络，漏湖的三层前馈网络模型结构见图3。

基本BP算法的学习过程由正向传播和反向传播组成，在正向传播过程中，输入信息从输入层经隐单元逐层处理，并传向输出层，每一层神经元的状态只影响下一层神经元的状态。如果在输出层得不到期望的输出，则转入反向传播，将误差信号沿原来的连接通路返回，通过修改各层的神经元权值，使误差信号最小。

通过误差反传调整各层神经元的权系统。反复输入所有训练模式样本序列，重复以上步骤，直到权系数不再改变，输出误差限在规定范围之内。漏湖神经网络的输入数据如表2。

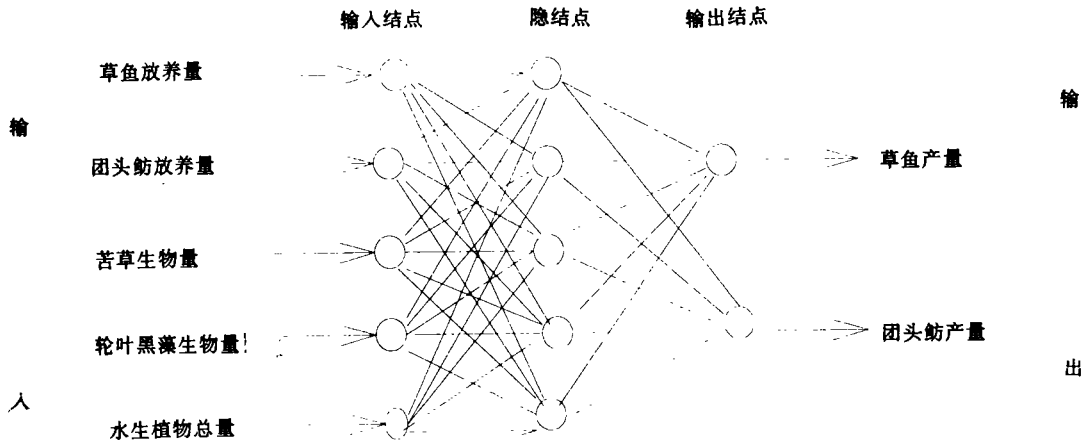


图3 神经网络结构图

Fig.3 Neural network structure

表2 溧湖输入项目数据表

Table 2 Data list of input factors in Gehu lake (吨)

项目名称	水生植物总生物量	黑藻生物量	苦草生物量	草鱼放流量	团头鲂放流量
1986年实际数据	238 300	19 204	15 767	4	3
1987年实际数据	243 700	4 548	3 018	5.2	11.6
1988年实际数据	262 200	19 729	16 233	4.9	10.1
1989年实际数据	649 400	15 112	513 374.7	5.6	10.5
草鱼放流量增加1吨	649 400	15 112	513 374.7	6.6	10.5
团头鲂放流量增加1吨	649 400	15 112	513 374.7	5.61	11.5

设计网络的运算精度为 0.005 00, 迭代运算步长为 0.005 00。

当溧湖神经网络的输入与输出变量允许的取值范围如下时:

输入变量(1): 水生植物总生物量	214 461.000 000 00 ~ 714 340.000 000 00
输入变量(2): 轮叶黑藻生物量	4 093.200 000 00 ~ 21 701.900 000 00
输入变量(3): 苦草生物量	2 716.200 000 00 ~ 564 712.170 000 00
输入变量(4): 草鱼放流量	3.600 000 00 ~ 6.680 000 00
输入变量(5): 团头鲂放流量	2.700 000 00 ~ 12.760 000 00
输出变量(1): 草鱼产量	114.210 000 00 ~ 218.680 000 00
输出变量(2): 团头鲂产量	25.515 000 00 ~ 117.095 000 00

在网络训练次数达到 150 万次时, 其最大求解误差为 0.580%, 平均求解误差为 0.266%。

由上可见, 对溧湖而言, 当各类输入因子在该网络其因子的取值范围以内时, 则输出误差最大不会超过 0.58%。例如: 当其它因子与 1989 年相同时, 则同样增加一吨总放流量, 团头鲂的产出效益远高于草鱼。这样通过该网络模拟结果(表 3), 可进行湖泊放流时的种群结构优化控制。

表 3 溧湖神经网络模型预测结果表

Table 3 The results of neural network simulation for Gehu lake

输出项目名称	草鱼产量(吨)		团头鲂产量(吨)	
	实际产量	模型计算值	实际产量	模型计算值
1986 年	126.9	126.534 2±0.336 6	28.4	28.514 3±0.075 8
1987 年	181.9	181.484 3±0.482 7	106.5	106.718 3±0.283 9
1988 年	145.1	145.696 0±0.387 6	72.6	72.463 8±0.192 8
1989 年	198.8	199.030 3±0.529 4	83.5	83.442 8±0.222 0
增发 1 吨草鱼的预测值		199.704 3±0.531 2		83.821 8±0.223 0
增发 1 吨团头鲂预测值		199.821 9±0.531 5		87.843 6±0.233 7

4 讨论

研究结果表明,采用多层感知神经网络模型可以任意精确地实现任何给定的连续函数(映射),用其求解湖泊生态系统的动力学问题是不存在理论障碍的。只要网络结构及参数设计合理,样本数据完备,则进行一定时间的训练学习,能达到用户所要求的模拟精度。用神经网络研究系统控制问题还具有下列优点:(1)可以处理难于用数学模型和规则描述的过程式系统。(2)神经网络是本质的非线性系统,它给非线性控制系统的描述提供了统一的数学模型,且模型精度完全由人工控制。现有的多层感知神经网络,其(BP)训练算法使这种逼近“可望而又可及”。(3)神经网络具有很强的信息综合能力。它能同时处理大量不同类型的输入,能很好地解决输入信息之间的互补性和冗余性问题,能恰当地协调好互相矛盾的输入信息,即能作到“集思广益”。由于它的这种能力,使其在多变量与复杂大系统的控制方案设计上具有非常明显的优势。此外,神经网络的知识表示是隐式的,不论是什么知识均变为网络的权系数及阈值,分布存储于整个网络之中,神经网络知识的表示与它的知识获取是同时进行同时完成的。故用神经网络设计专家系统 ES(EXPERT SYSTEMS)比传统 ES 有更高的时间效率,并可解决传统 ES 在知识获取方面的瓶颈问题。

当然,人工神经网络研究时间不长,尚有诸多不足之处,其理论体系还不够成熟,它与传统的统计计算技术相比软件资源少,研究它与传统数值计算技术的接口,是促进神经网络的发展和拓宽其应用领域的最佳途径。

本研究为中国水产科学研究院科研基金项目,编号为 1-85003。

参 考 文 献

- 邓聚龙. 1988. 灰色控制系统. 武汉:华中理工大学出版社. 348~374.
- 朱清顺,余宁,陆全平等. 1993. 溧湖几种水草的生物学特性及渔业利用. 河海大学学报, 21: 104~109.
- 何明一. 1991. 神经计算—原理,语言,设计,应用. 西安:西安电子科技大学出版社. 121~133.
- 胡守仁,沈清,胡德文等. 1993. 神经网络应用技术. 长沙:国防科技大学出版社. 77~120.
- 钟义信,潘新安,杨义先等. 1992. 智能理论技术—人工智能与神经网络. 北京:人民邮电出版社. 489~537.
- 姜圣阶,曲格平,张顺江等. 1986. 决策学基础. 北京:中国社会科学出版社. 443~452.
- 焦李成. 1992. 神经网络系统理论. 西安:西安电子科技大学出版社. 67~85.
- Ni R F. 1994. Analysis of dominant factors in enhancing the fishery resources in Lake Tai, China. Fisheries Research, 19: 121~130.
- Grossberg S A. 1988. Neura networks and natual intelligence. MIT Press, Cambridge, MA: 98~112.

STUDIES ON DYNAMIC SIMULATION FOR FISHERY RESOURCES SYSTEM IN GEHU LAKE

NI Ru-Feng, HUANG Neng-Geng

(*Freshwater Fisheries Research Center, CAFS, Wuxi 214081*)

ABSTRACT This study analyzed the fishery economic system and ecosystem in Gehu Lake, Jiangsu Province, China by using grey dynamic modelling and grey correlative analysis techniques. The results of grey dynamic modelling showed that the investment on restocking and resources protection should be more than 15% of the fishery production value to keep sustainable development of the Gehu Lake fisheries. The results of grey correlative analysis showed that biomass of *Vallisneria spiralis* Linn, biomass of *Hydrilla verticillata royie* and total biomass of macrophyte are the three key factors which affect the fish production. This study also applied neural network technique to simulate the dynamics of energy, material in the Gehu Lake ecosystem. The results showed that restocking of bream (*Megalobrama amblycephala* Yih) will greatly effect the fish production in Gehu Lake. This paper also discussed the feasibility of dynamic simulation and intelligent control of complicate and huge dynamic system such as social, economic system and ecosystem by the methods based on grey theory and neural network techniques.

KEYWORDS Gehu Lake, Fishery resources, Artificial intelligence, Neural network simulation, Grey theory dynamic modelling