



中国乒乓球队奥运攻关研究报告——基于人工神经网络的乒乓球比赛诊断模型研究

肖 毅, 张 辉

摘 要: 以世界优秀男子乒乓球运动员的比赛数据为训练样本, 利用人工神经网络强大的自学习功能建立了乒乓球比赛获胜的诊断模型。根据乒乓球比赛的主要技战术指标数据, 利用该模型能较好地诊断比赛的获胜概率, 诊断精度较高。同时运用该模型计算了影响乒乓球比赛获胜的主要技战术指标的权重值, 为有针对性的指导运动员训练提供了科学参考。

关键词: 神经网络; 乒乓球; 技战术; 诊断模型

中图分类号: G846

文献标识码: A

文章编号: 1006-1207(2008)06-0019-04

Research Report on the Preparations of Chinese Table Tennis Team for the Olympics

-----On the Diagnostic Model of Table Tennis Competition Based on Artificial Neural Network

XIAO Yi, ZHANG Hui

(Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China)

Abstract: Taking the competition data of the world elite men's table tennis players as the training sample, the authors used the strong self-learning function of artificial neural network to establish a diagnostic model of table tennis competition. By using the main technical and tactical data in competition, the model may give the probability of winning and the precision of the diagnosis is quite high. The paper uses the model to calculate the weight values of the main indicators that affects the winning of the table tennis games so as to provide scientific reference for coaching the training of the players.

Key words: neural network; table tennis; technique and tactics; diagnostic model

1 前言

人工神经网络(简称ANN)是通过模拟人的脑神经处理信息的方式, 进行信息并行处理和非线性转换的复杂网络系统, 与传统的多元回归和灰色模型相比, 它具有高度的非线性动态处理能力, 对一些复杂系统的输入与输出关系过于复杂而难于用一般的式子表达时, 神经网络却很容易实现他们高度的非线性映射关系。从20世纪80年代以来神经网络的理论研究已逐步走向成熟, 并在模式识别、自动控制、经济诊断等应用领域取得了丰硕的成果。对此本文以世界优秀男子乒乓球运动员的比赛为例, 利用人工神经网络强大的自学习功能建立了乒乓球比赛诊断模型, 结果表明该模型较好地反应了乒乓球比赛过程中一些主要技战术指标与乒乓球比赛的获胜概率之间的映射关系, 显示出很高的精度。同时运用该诊断模型对柳承敏、波尔、萨姆索洛夫、吴尚垠等世界优秀运动员的比赛进行分析。

2 研究对象和方法

2.1 研究对象

选取80场世界优秀男子运动员的乒乓球国际比赛, 对其中的15项技战术指标和获胜概率进行统计分析, 并将其分成两组, 其中70场比赛用于建立乒乓球比赛获胜诊断模型, 其余10场比赛用于模型的有效性检验。

2.2 研究方法

2.2.1 文献资料法

查阅了乒乓球比赛技战术分析和人工神经网络技术的书籍和《中国体育科技》、《体育科学》、《上海体育学院学报》、《乒乓世界》、《国家体委科学研究所学报》等刊物中的文献, 共计21篇。

2.2.2 神经网络技术

人工神经网络是为模仿人脑的工作方式而设计的一种机器, 是一种具有分布式存储、并行处理和自适应学习特性的信息处理系统。多层前馈神经网络可以逼近任何一个连续函数, 也就是说采用多层前馈网络来建立乒乓球比赛诊断模型可以拟合比赛结果与比赛指标之间的任何一种函数关系, 从而克服了多元回归模型和灰色模型的不足。以多层前馈网络的结构为例, 如图1所示。

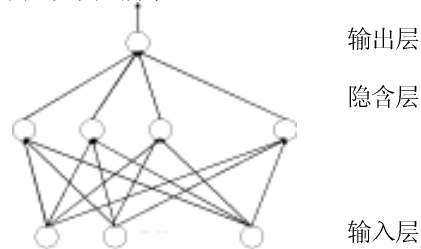


图1 3层BP网络模型

Figure 1 3-layer BP Network Model

收稿日期: 2008-10-18

基金项目: 2008 国家体育总局奥运科研攻关与科技服务项目 (07052)

第一作者简介: 肖毅(1973-), 男, 讲师, 博士, 主要研究方向: 神经网络及体育信息化管理系统的研究与开发. E-mail: cutexxx@163.com

Tel: 021-51253278

作者单位: 上海体育学院 经济管理学院, 上海 200438



3 比赛诊断的神经网络诊断模型

3.1 比赛分析指标的确定

本文利用世界优秀男子运动员的80场乒乓球国际比赛数据进行技战术统计分析,并依据专家对乒乓球运动员长期技战术分析诊断的经验,从中选取了与比赛获胜关系较为密切的15项技战术指标,分别是: x_1 :发球使用率; x_2 :发球得分率; x_3 :发球失误率; x_4 :接发球使用率; x_5 :接发球得分率; x_6 :接发球失误率; x_7 :第三拍使用率; x_8 :第三拍得分率; x_9 :第三拍失误率; x_{10} :第四拍使用率; x_{11} :第四拍得分率; x_{12} :第四拍失误率; x_{13} :相持球使用率; x_{14} :相持球得分率; x_{15} :相持球失误率。

3.2 神经网络结构的确定

网络模型结构的选择是一个十分重要的工作,选择的好可以减少网络训练次数,提高网络学习精度;反之,可能导致网络学习的失败。3层BP网络模型,其结构的建立主要涉及到以下几个量:输入层、输出层、隐含层、传递函数、训练函数。因此,输入层神经元个数的确定、隐含层数目的确定、隐含层神经元个数的确定、传递函数的确定以及训练函数的选择成为建立模型的关键。

为了建立起乒乓球比赛获胜的神经网络诊断模型,首先必须确定神经网络的结构。根据乒乓球比赛技战术分析的方法,选取前述15个乒乓球技术指标作为输入数据。

输出层1个神经元,输出数据是乒乓球比赛的获胜概率。根据神经网络理论选取一层隐含层。大量试验表明,隐含层神经元数目取为31,输入层神经元与隐含层神经元之间的传递函数取非线性的 σ 函数 $\text{tansig}(n)$,输入层神经元与隐含层神经元之间的传递函数取线性函数 $\text{purelin}(n)$ (也即 $f(x)=x$),其结构如图2所示。

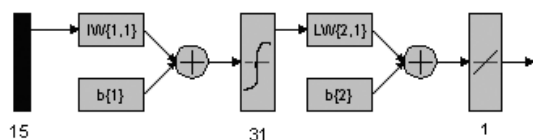


图2 神经网络模型结构图
Figure 2 Neural Network Model Frame

3.3 神经网络的学习

将70场世界优秀男子运动员的乒乓球国际比赛的历史数据,作为神经网络的训练样本。采用BP学习算法对训练样本进行学习,学习之后的神经网络即可反映出技战术指标和比赛获胜概率之间的函数关系,即获得乒乓球比赛获胜概率的诊断模型。为了使诊断模型具有较快的收敛速度和较高的稳定性,本文采用Levenberg-Marquardt训练函数。

Levenberg-Marquardt规则训练向前神经网络具有运算速度快,精度高的特点。Levenberg-Marquardt算法推导如下:

第一步:选取初始权值 w ;

第二步:对所有输入样本指标(x_1, x_2, \dots, x_{15})

计算隐含节点的输出: $h_i = f(\sum w_{ij} x_j - \theta_i)$ ($j=1, 2, \dots, 31$), θ_i 为第 i 个节点的阈值。

计算输出节点输出: $y = f(\sum w_i h_i - \theta)$

计算所有样本实际输出与期望输出之误差和: $e = \sum (t -$

$y)^2/2$;

第三步:反向传播计算权值修正向量: $\Delta w = [J^T J + uI]^{-1} J^T e$;修正网络各权值 $w_{k+1} = w_k + \Delta w$ 。其中 k 为训练步数; J 是误差对权值微分的雅可比矩阵; e 是网络误差向量; u 是递增系数为一个标量,当误差未达到期望值,向减少的方向,则 u 减小;若误差未达到期望值,且向增大的方向,则 u 增大。

第四步:重复第二第三步直至满足一下条件之一:误差达到要求;训练步数超过给定值。

3.4 程序设计

神经网络的学习过程实质上是优化神经网络权值的过程,计算量相当大。我们运用Matlab 7.1软件中的神经网络开发工具,十分方便和简单地实现了乒乓球比赛诊断的神经网络诊断模型的开发,其Matlab程序如下:

输入训练样本的输入数据矩阵 p 和训练样本的输出数据矩阵 t 。

```
net=newff(minmax(pn), [31, 1], {'tansig', 'purelin'}, 'trainlm');
```

%建立神经网络结构

```
net.trainParam.show = 5;
```

```
net.trainParam.epoch = 300;
```

```
net.trainParam.goal = 1e-5;
```

%设置训练参数

```
[net,tr] = train(net,p,t);
```

%训练神经网络

注:(1)神经网络的结构如上图2;参数 $show$ 表示每训练几次显示出结果; $epoch$ 表示设置的训练次数; $goal=1e-5$ 表示模型输出值与真值之间的误差范围。

3.5 训练次数与误差

乒乓球比赛诊断模型的训练次数与误差精度图如图3,图的横轴是训练次数(Epoch),纵轴是训练的误差值,这里我们设定预期误差精度是 10^{-5} 。由图3可见,在训练到第六次时,就达到并超过了系统的精度要求,为 $8.52e-7$,说明建立的模型精度高。

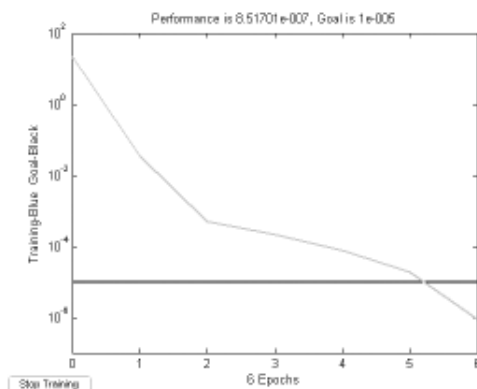


图3 训练次数与误差曲线图
Figure 3 Curves of Training Times and Inaccuracies

3.6 训练结果分析

当网络训练结束后,可以用SIM函数来仿真网络的输出,从而与目标输出进行比较,来检验诊断模型的性能(见图4)。

图中“○”表示网络输出,理想回归直线(网络输出等于目标输出时的直线)由实线表示(红色),最优回归直线由虚线(蓝色)表示。从图4可以看出,虚线和直线几乎重合,而且网络输出的数据点都紧靠理想回归直线,说明网络具有非常好的性能,具有较高的拟合精度。

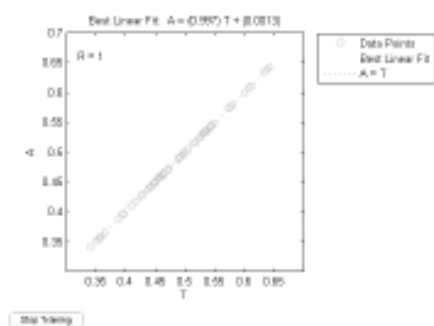


图4 网络训练结果分析图

Figure 4 Analysis of Network Training Results

表1 实际值与仿真值的误差表

Table 1 Error Table of Actual Values and Simulation Values

	场次1	场次2	场次3	场次4	场次5	场次6	场次7	场次8	场次9	场次10
实际值	0.6296	0.5238	0.6053	0.5918	0.5429	0.5392	0.5673	0.5000	0.6125	0.4824
仿真值	0.6287	0.5207	0.6050	0.5904	0.5424	0.5380	0.5694	0.4979	0.6123	0.4782
误差	-0.0009	-0.0031	-0.0002	-0.0014	-0.0005	-0.0012	0.0021	-0.0021	-0.0002	-0.0041

4 基于神经网络的比赛诊断模型的实际运用

基于人工神经网络的比赛诊断模型具备了较高的精确度,因此,可以运用诊断模型来替代实际的比赛过程。另外,由于诊断模型的高度抽象性,克服了球类比赛不可重复的特点,能够很容易地改变各项技战术指标值,重新计算比赛的获胜概率,从而得到这些技战术指标对比赛获胜影响的权重值。

4.1 技战术指标的权重值

本文中各项技战术指标对比赛获胜影响的权重值计算方法如下:

(1) 依据公式(1.1)提高或降低某一技战术指标值,同时保持其它指标值不变;

(2) 将其输入神经网络训练模型中,重新计算比赛获胜概率的仿真值;

(3) 权重值 = 改变后重新计算的比赛获胜概率仿真值 - 原始比赛获胜概率仿真值。其绝对值越大,表明该项技战术指标对比赛获胜概率的影响就越大。

4.2 技战术指标增量的计算方法

依据公式 $Y = 0.238 \cdot \cos(-1.32 \cdot x + 0.66) - 0.178$ (1.1)

来计算提高或减少某一项技战术指标值的幅度,其中 x 是指标值, y 是增幅。当指标值小于 0.5, 则增量值 $z = x + y$; 当指标值大于 0.5, 则增量值 $z = x - y$ 。

4.3 权重计算应用实例与分析

随机选取世界优秀运动员的比赛数据(其数据格式与上文相同),根据上文介绍的增量计算方法,可以计算出技战术指标的权重。具体过程如下:

p 是训练样本的输入数据矩阵, t 是训练样本所对应的实际获胜概率。首先分别计算这四位运动员的训练样本数据矩阵 p 中 10 项技战术指标 ($x_2, x_3, x_5, x_6, x_8, x_9, x_{11}, x_{12}, x_{14}, x_{15}$, 其它 5 项指标由于对比赛获胜影响很小,不计算其权重值)的增量 q , 将它们分别输入已经

3.7 模型的诊断精度

将另外 10 场比赛的 15 项指标的数据,输入已经建立好的神经网络诊断模型中,获得对应 10 场球的得胜概率的仿真值,再次检测模型的精度,其结果如表 1 所示。

从表 1 可以看到,10 场比赛的最大误差绝对值为 0.0041,最小为 0.0002。计算其平均误差是 0.0016,模型精度达到 99.84%。表 1 的结果表明,用以上方法建立起来的乒乓球比赛诊断的神经网络诊断模型,所得到的仿真获胜概率与比赛实际的获胜概率非常接近,说明了用 BP 网络建立的比赛诊断模型已达到了较高的精确程度。

建立好的神经网络诊断模型中,获得与每个新训练样本 q 对应的比赛获胜概率的仿真值 r , 分别计算仿真值 r 与原始训练样本 p 所对应的获胜概率的仿真值 w 之间的绝对误差 s , 然后对 10 项技战术指标分别求出其绝对误差的平均值,从而得到 10 项指标的权重。以下是根据随机选取柳承敏、波尔、萨姆索洛夫、吴尚垠 10 场比赛数据计算出的技战术指标权重。

4.3.1 柳承敏的技战术指标权重及分析

图 5 是柳承敏各项技战术指标对比赛获胜影响的权重值,可以看出,第 14 项指标(相持得分率)、第 14 项指标(相持失分率)和第 5 项指标(接发球得分率)对比赛获胜的影响要远远大于其它 7 项技战术指标,其中提高相持中的得分率对比赛获胜的影响最为明显。

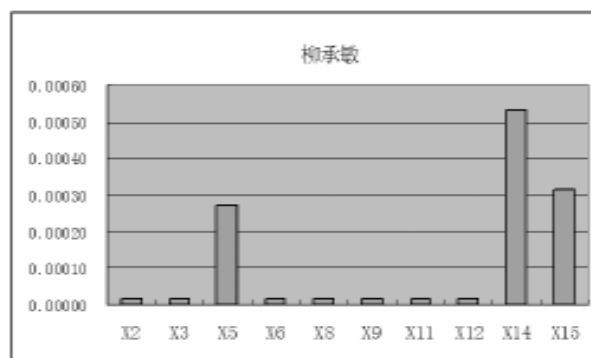


图5 柳承敏各项技战术指标的权重值

Figure 5 Weight Values of the Different Technical and Tactical Indicators of Rye Seung-min

4.3.2 波尔的技战术指标权重及分析

图 6 是波尔各项技战术指标对比赛获胜影响的权重值,其中,第 15 项指标权重值最大,说明波尔在比赛中减少相持的失误率对比赛获胜影响很大。第 14 项指标(相持得分率)权重值也明显大于其它各项技术指标。通过研究还发现,第四拍的得分率(第 11 项指标)的波尔比赛的获胜影响度较小。

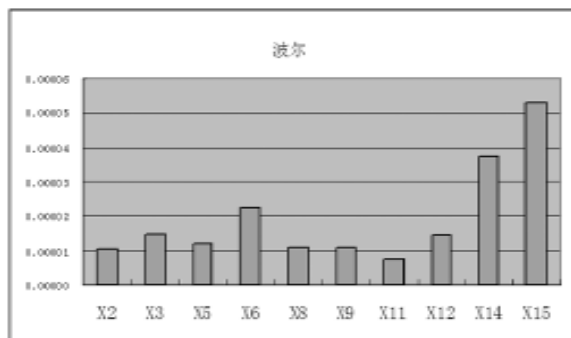


图6 波尔各项技战术指标的权重值

Figure 6 Weight Values of the Different Technical and Tactical Indicators of Boll Timo

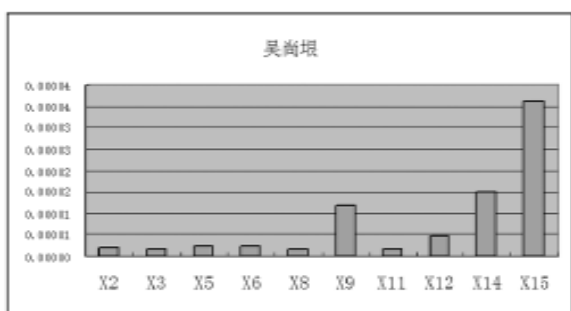


图8 吴尚垠各项技战术指标的权重值

Figure 8 Weight Values of the Different Technical and Tactical Indicators of OH Sang Eun

4.3.3 萨姆索洛夫的技战术指标权重及分析

对萨姆索洛夫说,第5项指标(接发球得分)、第15项指标(相持失误率)、第14项指标(相持失误率)和第9项指标(第三拍失误率)对比赛获胜的影响较大。因此,比赛中萨姆索洛夫提高接发球和相持中得分率,同时减少第三拍和相持失误率将会大幅度地提高比赛获胜概率。

4.3.4 吴尚垠的技战术指标权重及分析

根据图8分析,第15项指标对吴尚垠比赛获胜的影响度最大,即吴尚垠应该减少相持中的失误率。另外,第14项指标第9项指标对吴尚垠比赛获胜的影响也较大,即提高相持得分率与减少接发球失误率对吴尚垠都有较大的影响。

上述研究结果还表明,男子乒乓球运动员提高相持得分率(第14项指标)和减少相持失误率(第15项指标)对比赛获胜的影响最大。

4.4 技战术诊断模型的修正

基于人工神经网络建立的乒乓球比赛获胜诊断模型的另一优点是,能够保留了指标与过去比赛成绩间的映射关系。随着时间的变化,运动员技战术水平便会发生改变,此时,只要在原有的基础上输入最新的数据,对现有神经网络模型进行重新训练,即可获得反映当前运动员技术水平的神经网络的连接权值,进而得到修正之后的诊断模型。该模型即体现出了最新的技术指标与比赛成绩间的函数关系,并对运动员过去的比赛情况仍然存有记忆。

5 结论

5.1 采用3层BP网络,建立的世界优秀男子乒乓球运动员比

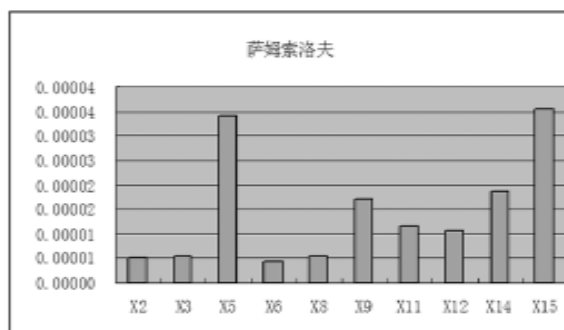


图7 萨姆索洛夫各项技战术指标的权重值

Figure 7 Weight Values of the Different Technical and Tactical Indicators of Vladimir Samsonov

赛获胜诊断模型具有较高的精确度和稳定性,模型的精度达到99.84%。

5.2 基于神经网络的乒乓球比赛获胜诊断模型在乒乓球比赛分析领域中有其研究的价值,成熟的训练模型能够用于计算运动员各项技战术指标的比赛获胜影响权重值,为有针对性的指导运动员训练和比赛提供了参考。该方法也可为今后其它球类项目的比赛分析与诊断提供了借鉴与参考。

5.3 提高相持球技术对世界优秀男子乒乓球运动员比赛获胜的影响最大,另外提高接发球质量对比赛的获胜也有较大的意义。

参考文献

- [1] Hohmann, Lames & Letzelter.(2002). Einführung in die Trainingswissenschaft [M]. Wiebelsheim: Limpert, 185-194.
- [2] 田麦久,武福全等.运动训练科学化探索[M].北京:人民体育出版社,1988.509.
- [3] 吴焕群,李振彪.乒乓球运动员技术诊断方法的研究[J].乒乓世界,1990,(2):38-42.
- [4] 张晓蓬,蔡振华,陆元盛等.对第27届奥运会(2000)中外乒乓球主力队员技战术特点的比较研究[C].乒乓长盛的训练学探索.北京:北京体育大学出版社,2002.219-235.
- [5] 李今亮.中、欧优秀男子进攻型选手技术实力的对比与分析[J].北京:北京体育大学硕士研究生论文,1995.
- [6] Lames,M.(1991).Leistungsdiagnostik durch Computersimulation [M]. Frankfurt/Main: Harri Deutsch, 92-97, 219-231.
- [7] Zhang, H.(2003). Leistungsdiagnostik im Tischtennis- Analyse der realen und der mathematisch- simulativen Spielstärke in der Herren-Weltklasse[D]. University Potsdam, Dissertation, 28-33.
- [8] 张辉,霍赫曼·安德烈亚斯.乒乓球比赛的数学模拟竞技诊断[J].上海体育学院学报,2004,28(2):68-72.
- [9] 朱大奇.人工神经网络研究现状及其展望[J].江南大学学报,2004,3(1).
- [10] 董军,胡上序.混沌神经网络研究进展和展望[J].信息与控制,1997,26(5):360-368.
- [11] 陈海英,郭巧,徐力.基于神经网络的人体100m跑运动能力综合评价[J].中国体育科技,2003,39(2).
- [12] 钟平,刘望.基于人工神经网络的运动员训练模型研究[J].体育科学,2002,22(5).

(责任编辑:何聪)