

基于BP神经网络的上市医疗器械企业价值评估

陈欣瑶, 刘媛华

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年4月7日; 录用日期: 2024年6月20日; 发布日期: 2024年6月28日

摘要

针对医疗器械行业的非会计因素影响大、成长性较高等特点, 本文提出了基于BP神经网络的A股上市医疗器械公司价值评估, 提高企业价值评估的准确度。本文从WIND数据库选取我国A股上市的125家医疗器械公司, 并从财务、非财务两个维度权衡企业价值, 通过BP神经网络模型对企业进行实证分析, 结果证明了BP神经网络模型在医疗器械企业价值评估中的有效性。

关键词

相关性分析, BP神经网络, 医疗器械企业, 企业价值评估

Value Assessment of Listed Medical Device Enterprises Based on BP Neural Network

Xinyao Chen, Yuanhua Liu

Business School of University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Apr. 7th, 2024; accepted: Jun. 20th, 2024; published: Jun. 28th, 2024

Abstract

Given the significant impacts of non-financial factors and high growth potential in the medical device industry, this paper proposes a value evaluation framework for A-share listed medical device companies based on BP neural networks, aiming to enhance the accuracy of enterprise value assessment. A sample of 125 A-share listed medical device companies in China was selected from the WIND database, and the value of these companies was evaluated from both financial and non-financial perspectives. The empirical analysis was conducted using a BP neural network model, and the results substantiated the effectiveness of the BP neural network model in the evaluation of medical device enterprise value.

Keywords

Correlation Analysis, BP Neural Network, Medical Device Enterprise, Evaluation of Enterprise Value

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

伴随着经济水平的不断提升, 中国的医疗器械行业蓬勃发展。据统计资料表明, 我国已成为全球第二大医疗器械市场, 市场规模预计在 2022 年将达到 12,529 亿元, 未来五年依然将保持超过全球市场 2.5 倍的速度继续高涨[1]。随着人口老龄化程度不断加深, 对高质量医疗资源的需求也随之不断增加。与此同时, 政府出台和实施了一系列与医疗器械行业相关的政策, 鼓励和推动医疗器械企业提升技术创新能力。因此, 医疗器械行业成为我国吸引资本关注的热门行业, 市场对医疗器械企业的价值评估需求迫切。精准合理的企业价值评估不仅能够为投资者提供决策依据, 还有助于确保收购或兼并交易的公正和合理。

生物医药企业作为新兴企业, 与传统企业价值构成存在一定差异, 传统的企业价值评估方法用于评估生物医药企业价值时存在一定的局限性。因此, 采用传统方法对生物医药企业进行价值评估时需要适当修正。此外, 技术创新等非财务因素对于知识密集型的生物医药企业的价值评估具有重要影响。敖诗文, 高雅(2014)为提高对生物医药企业价值评估的准确性, 对 RIM 模型进行了改进, 加入期末市净率指标[2]。汪冬梅等(2018)以明德生物企业为例, 通过与收益法的对比, 体现出实物期权模型对高新技术企业的价值评估具有可操作性[3]。温素彬等(2018)为减少人为因素对企业利润的影响, 以云南白药企业为例, 在运用 EVA 模型过程中调整部分项目以求得真实的会计利润, 从而提高对未来企业利润预测结果的合理性[4]。

随着人工智能的发展和数据的积累, 近年来基于反向传播神经网络(Back-Propagation Neural Network, 简称神经网络)进行企业价值评估的研究不断增加。据文献报道, 基于神经网络模型评估企业价值的预测结果通常比传统方法更为准确。此外, 神经网络是数据驱动模型, 随着企业数据的积累, 神经网络模型可不断进化, 其预测能力也会相应提高。Monica (2004)在评估企业价值时, 以神经网络为基础, 引入财务报表变量和宏观经济变量, 为企业的评估体系提供准确性的指标选择, 表明了神经网络训练的优势[5]。付扬扬、仇晓洁(2019)以 49 家创业板公司为样本, 建立神经网络对创业板上市公司进行价值评估, 并与 B-S 方法、EVA 方法和现金流量法测算的评估值进行比较, 证明神经网络模型的预测结果更加准确[6]。赵航、李朝红(2022)以 57 家生物医药企业的数据信息为样本, 运用神经网络模型对若干生物医药企业进行价值评估, 并在模型指标体系的构建中引入 ESG 评级指数, 结果表明神经网络模型能有效处理企业价值评估中的非线性映射问题[7]。赵甜利(2022)选取 A 股 175 家医药制造公司为样本, 训练神经网络模型并对其中五家公司进行价值评估, 并与 FCFF 折现法、EVA 法、添加红利收益率 y 的 B-S 期权定价法以及市盈率法进行对比, 证明了神经网络模型的优越性[8]。刘玉薇等(2023)选取 2009~2021 年创业板企业年度数据, 运用 SVM、GBRT 和神经网络等机器学习方法对随机选取的其中 30% 的企业进行价值评估, 结果表明机器学习模型都比 EVA 方法更准确[9]。

尽管针对生物医药行业的企业价值评估体系已经相对成熟, 但仍存在一些不足之处。首先, 在数据

选择方面, 主要以整体行业为研究对象。实际上, 根据申万行业分类 2021 版标准, 医药生物板块可分为生物制品、医疗器械、医疗服务等 6 大类, 将所有细分类别放在一起评估会影响结果的准确性。其次, 在模型的选用方面, 主要为 RIM 模型、EVA 模型等传统企业价值评估模型。考虑到医疗器械企业具有研发费用高、非会计因素影响大、成长性较高等特点, 采用传统价值评估模型, 不足以反应企业的真正价值。

因此, 本文运用 BP 神经网络模型, 根据企业现有披露指标, 对 A 股上市的医疗器械公司进行价值评估, 以期对投资者和企业管理者提供一定的参考价值。

2. 理论基础

2.1. 斯皮尔曼相关分析

斯皮尔曼相关系数(Spearman's rank correlation coefficient)是一项非参数统计量, 其用途在于评估两个变量之间的相关性。计算过程是将每个变量的观测值转换为等级, 然后计算等级之间的皮尔逊相关系数。这种转换可以消除数据的分布偏离和异常值的影响, 因此斯皮尔曼相关系数对于非正态分布的数据更为适用。其表达式如下:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

斯皮尔曼相关系数(ρ)的取值为 $[-1, 1]$ 。当 ρ 为正值时, 表明两组变量之间呈正相关关系; 当 ρ 为负值时, 则表明两组变量之间呈负相关关系; 当 ρ 等于 0 时, 则表明两个变量之间不存在单调关系。

2.2. BP 神经网络模型

BP 神经网络(Back-Propagation Neural Network)是一种人工神经网络模型, 可用于模式识别、预测和分类等任务。梯度下降法是 BP 神经网络中的基本思想, 它使网络能够通过反复调整权重, 逐渐优化模型, 使得网络的输出与期望输出之间的误差最小化。

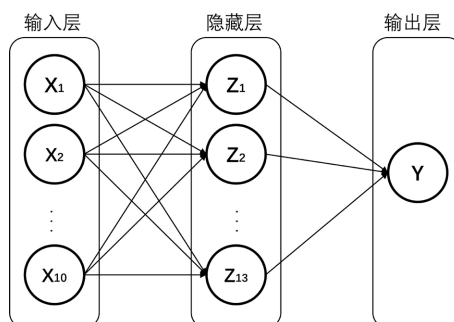


Figure 1. BP neural network structure
图 1. BP 神经网络结构

BP 神经网络的构造包含输入层、输出层和多个隐含层, 见图 1。每一层都含有多个节点(神经元), 节点之间的连接状态通过权重来表示。输入层节点个数与输入维度相等, 而输出层节点个数与输出维度相等。隐含层的节点个数可以根据实际情况自由设定。BP 神经网络的每个节点都包含一个感知器, 该感知器包括输入项、权重、偏置、激活函数和输出。在正向传播阶段, 输入数据经过感知器节点的计算, 并通过激活函数的作用生成输出结果。在反向传播阶段, 通过多次迭代, 实际结果与期望结果进行比较,

并不断调整网络上节点间的权重。

3. 医疗器械企业价值评估模型构建

3.1. 数据来源

本文使用的数据来自于 WIND 数据库, 根据申银万国行业分类 2021 版的标准, 选取截至 2022 年的 A 股上市 125 家的医疗器械公司, 从财务指标和非财务指标中选取 15 项。删除数据缺失的公司, 最终确定 2022 年 60 家上市医疗器械公司作为研究对象。

3.2. 医疗器械企业价值评估模型构成

本文从财务、非财务两个维度构建上市医疗器械公司的价值评估指标体系, 共选取 15 个指标。

3.2.1. 财务指标

本文以偿债能力、发展能力、运营能力以及盈利能力四个方面代表财务角度对企业的价值进行衡量。

- 偿债能力, 是指企业在特定时间内用自身资产偿还债务的能力。它是评估企业是否能够按时偿还债务, 并维持正常经营运作的重要指标之一。本文选取净资产负债率反映企业的偿债能力。
- 发展能力, 是指企业的成长性。医疗器械企业在起步时往往处于研发阶段, 此时虽未盈利, 但具有较强的发展潜能, 受到投资者的追捧。本文选取利润增长率、总资产增长率和可持续增长率反映企业的发展能力。
- 运营能力, 是指企业有效管理和运营其日常业务活动的的能力。它涵盖了企业在生产、销售、供应链管理、成本控制和效率等方面的能力。本文选取总资产周转率反映企业的运营能力。
- 盈利能力, 是指企业在经营活动中获取利润的能力。好的盈利能力可以为企业吸引投资者, 从而提供资金来源, 支持企业的发展和扩张。本文选取息税前利润(EBIT)、净资产收益率 ROE 和总资产报酬率 ROA 反映企业的盈利能力。

3.2.2. 非财务指标

本文以企业规模、创新能力以及一致预期三个方面代表非财务角度对企业的价值进行衡量。

- 企业规模, 是指企业在生产和市场中的相对大小和影响力。企业规模的增长通常意味着企业的扩张和发展。大规模企业通常具有更多的资源和市场份额, 能够享受规模经济效益和卓越的市场竞争力。本文选取总资产规模、总负债规模和无形资产反映企业规模。
- 创新能力, 是指企业不断推出新产品、新技术、新服务或改进现有产品和流程的能力, 能够激励企业在竞争激烈的市场中凸显自身优势, 从而实现持续增长。本文选取研发费用反映企业的创新能力。
- 一致预测, 是基于各券商分析师的调查的上市公司盈利预期数据平均值, 影响市场价格的形成和有效性。一致预期的改变也可能导致市场情绪的变化和市场波动的增加, 当市场参与者对于未来走势存在一致的预期时, 市场情绪可能会变得积极或消极, 从而引发市场的波动。本文选取一致预测 ROE、预测营业收入平均值、一致预测净利润反映市场对企业的表现预期。

3.3. 相关性分析

本文采用 SPSS 软件对 15 个财务、非财务指标与企业市值进行相关性分析。鉴于样本数据的非正态性, 选用斯皮尔曼相关系数作为衡量相关性的指标。通过计算斯皮尔曼相关系数, 60 家医疗器械企业 15 个指标与市值之间的相关性程度, 结果如表 1 所示:

Table 1. Spearman correlation coefficient**表 1.** 斯皮尔曼相关系数

目标层	指标	相关系数	显著性(双侧)
市值	净资产负债率	0.078	0.554
	利润增长率	0.267	0.039
	总资产增长率	0.098	0.457
	可持续增长率	0.402	0.001
	总资产周转率	0.028	0.832
	净资产收益率 ROE	0.418	<0.001
	总资产报酬率 ROA	0.340	0.008
	息税前利润(EBIT)	0.651	<0.001
	无形资产	0.344	0.007
	总资产规模	0.576	<0.001
	总负债规模	0.430	<0.001
	研发费用	0.542	<0.001
	一致预测 ROE	0.331	0.010
	预测营业收入平均值	0.492	<0.001
	一致预测净利润	0.635	<0.001

根据表 1 中斯皮尔曼相关系数的结果，我们可以对 15 个变量进行排序，从高到低，以确定与市值显著性最明显的变量。通过排序结果，选择与市值相关性较强的前 10 个变量进行进一步的分析，筛选后的指标如表 2 所示：

Table 2. Final indicator system**表 2.** 最终指标体系

指标类型	指标
财务类	
发展能力	X ₁ -可持续增长率
盈利能力	X ₂ -净资产收益率 ROE X ₃ -总资产报酬率 ROA X ₄ -息税前利润(EBIT)
非财务类	
创新能力	X ₅ -总资产规模 X ₆ -无形资产 X ₇ -总负债规模
企业规模	X ₈ -研发费用
一致预期	X ₉ -预测营业收入平均值 X ₁₀ -一致预测净利润

4. BP 神经网络模型的构建与训练

4.1. 网络层数的设计

BP 神经网络的组成主要包含三个部分，分别是输入层、隐含层和输出层，其中隐含层可以为多层。

考虑到数据量较少, 本文选择三层以及四层网络的简单建构, 即隐藏层有一层以及两层。

4.2. 神经元数量的设计

本文从财务指标、非财务指标两个方面衡量医疗器械企业的价值影响因素, 输入指标是表 2 中的 10 个具体指标, 因而输入层的神经元数量为 10。本文输出变量为医疗器械企业在 2022 年 12 月 31 日公布的市值, 因而输出层的神经元数量为 1。一般地, 隐含层的神经元个数可以根据经验公式来确定:

$$h = \sqrt{m + n} + a \quad (2)$$

其中, h 为隐含层神经元个数, m 和 n 分别是输入层和输出层的神经元数量, a 是调节参数, 其取值为[1, 10]。

4.3. 函数的设计

本文选取 tan-sig 函数作为激活函数, 其计算公式如下:

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1, -1 < f(x) < 1 \quad (3)$$

同时依据经验选取 1000 次作为迭代频率, 接着是设置误差范围, 误差范围越小, 模型结果就越精确, 但会损失模型效率, 因此选取 0.000001 作为误差范围, 选取 0.01 为学习效率。

使用 trainbfg 函数作为训练函数进行训练。trainbfg 函数仅要求先知道目标函数的梯度, 再利用测量梯度的变化进行迭代, 收敛速度大幅提高。运用 L1 正则化, 防止数据过拟合, 令 λ 为 0.1。

选用 RMSE 均方根误差作为损失函数。由于误差是平方和的平均值, 较大的误差会在计算中得到放大, 这使得 RMSE 对于异常值的影响相对较小。

5. 实验与分析

5.1. 模型的训练

本文运用 Matlab 软件对 60×10 的样本数据进行训练。首先, 为保证数据的随机性, 运用 randperm 函数, 根据 70:15:15 的比例划分为训练集、验证集和测试集。接着, 运用 mapmaxmin 函数将数据归一化, 避免因数据的大小和单位而造成的学习速度和准确度的降低。

之前研究在使用神经网络预测企业价值时常采用经典的三层全连接网络(如图 1), 但并无研究表明三层网络是最佳的。因此本文选取三种不同结构的 BP 神经网络模型, 并将训练集输入这些模型进行多次训练, 然后输出验证集的结果。三种模型的输入层和输出层的神经元数量都分别为 10 和 1, 其中, 第一种模型结构将隐藏层的数量调整为一层, 其神经元数量调整为 6 (下文简称模型 10-6-1); 第二种模型结构将隐藏层的数量调整为两层, 两层神经元数量都调整为 3 (下文简称模型 10-3-3-1); 第三种模型结构将隐藏层的数量调整为两层, 第一层神经元数量都调整为 6, 第二层神经元数量都调整为 8 (下文简称模型 10-6-8-1)。横向对比这三种结构的神经网络模型, 训练结果如表 3 所示:

Table 3. Training results of three kinds of structures
表 3. 三种结构的训练结果

验证集模型	10-6-1	10-3-3-1	10-6-8-1
RMSE/亿元	24	13	18
相对误差/%	15%	7%	12%
相关系数	0.87	0.92	0.90

从表 3 中可以看出, 三种不同结构的神经网络模型在验证集上都取得了一定的性能。我们可以观察到模型 10-3-3-1 表现最好, 其次是模型 10-6-8-1、模型 10-6-1。三个模型的 RMSE 值依次是 13 亿元、18 亿元和 24 亿元, 相对误差依次是 7%、12%和 15%, 相关系数依次是 0.92、0.90 和 0.87。

这表明模型 10-3-3-1 在验证集上的预测效果相对较好, 模型的拟合程度很高, 因此选取模型 10-3-3-1 进行后续的测试集训练。

5.2. 模型的仿真

为了更深入验证模型的可行性, 将 9 个测试样本的企业价值进行评估。将作为测试样本企业的数据导入, 进行数据随机性处理、归一化处理并仿真模拟, 最终得到平均预测数据: 市值平均相对误差为 8%, 相关系数为 0.91, 均方根误差 RMSE 为 15 亿元, 显示 BP 神经网络的预测性能良好, 见图 2 和图 3。

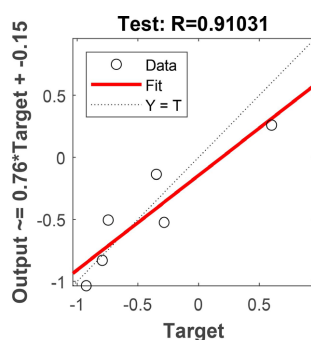


Figure 2. Regression curve of test sets

图 2. 测试集回归曲线

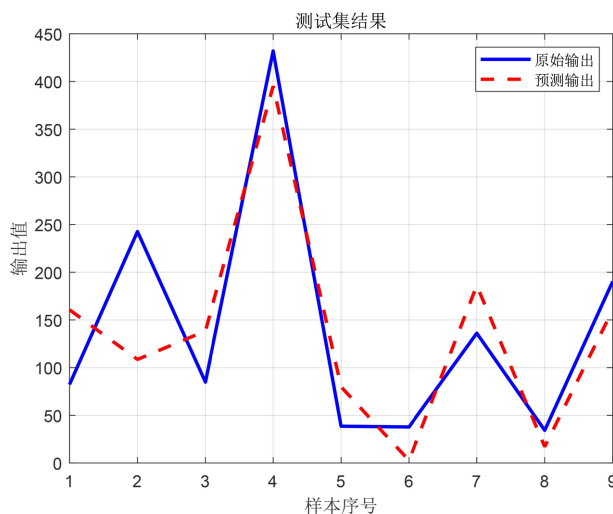


Figure 3. Fitting result of test sets

图 3. 测试集拟合结果

5.3. 与传统模型对比

将测试集中两家公司的数据导入已训练好的 BP 神经网络模型, 对两家公司的市值进行评估。同时, 运用了 EVA 模型和实物期权模型两个企业价值评估应用较多的模型分别评估了这两家公司的企业价值预测值, 预测结果如表 4 所示:

Table 4. Prediction results of each model
表 4. 各模型预测结果

股票代码	实际市值	BP 神经网络模型	EVA 模型	实物期权模型
301087	76.06	78.16	83.03	86.27
	相对误差/%	2.76%	9.16%	13.43%
688139	201.26	211.99	184.11	225.29
	相对误差/%	5.33%	-8.52%	11.94%

从表 4 中可以看出，运用已训练好的 BP 神经网络模型进行预测后的市值具有较好的准确性。其中，公司股票代码为 301087 的预测值为 78.16 亿元，相对误差为 2.76%；公司股票代码为 688139 的预测值为 211.99 亿元，相对误差为 5.33%。此外，与 EVA 模型和实物期权模型的预测值相对误差进行对比，BP 神经网络模型所得预测值相对误差更低。由此可见，BP 神经网络模型能够学习并分析本文所选取的财务指标和非财务指标与市值之间复杂的关系，相对其它方法能够更准确地评估企业价值，运用 BP 神经网络来预测医疗器械公司的市值是具有一定的可行性。

6. 讨论

近年来，基于神经网络模型预测企业价值的研究较多，尽管相关研究报道了较高的预测相关性(或解释度)以及较低的预测误差，但这些研究主要存在如下问题。

一、数据选择方面，主要以整体行业为研究对象。例如，赵航、李朝红(2022)以 57 家生物医药企业的数据信息为样本，运用神经网络模型对生物医药企业进行价值评估[7]。陈羽(2023)在评估生物医药企业价值时选取 28 家企业为训练样本，2 家企业为测试样本[10]。之前的部分研究不仅以生物医药整体行业为研究对象，同时训练和测试样本数据较少，模型的泛化能力存疑。本文根据申万行业分类 2021 版标准，选取医疗器械行业中 60 家企业进行针对性的价值评估。

二、采用单一的神经网络模型来评估企业价值。由于神经网络模型具有较多的参数，很难确定唯一的最佳模型。本研究表明，具有不同隐藏层以及隐藏层神经元的网络模型可能会给出相近的预测结果，因此综合多个模型有望提升预测表现。本文对训练出的神经网络模型的预测结果进行对比，所得模型 10-3-3-1 能有效反映市值预测。

为克服上述问题，本文选取尽可能多的数据进行模型训练，并且提出对多个模型预测结果进行综合(对比)的方案。实验表明，本文训练出的神经网络模型的预测结果不仅客观可靠，其预测表现明显优于传统的 EVA 模型和实物期权模型，在测试集上的预测价值与真实市值有很高的线性相关性，说明模型泛化能力强。

7. 结论

本文基于 BP 神经网络模型采用企业的财务因素和非财务因素共 10 个二级指标对企业价值进行评估，并与传统的 EVA 模型和实物期权模型进行比较，结果表明神经网络模型预测的企业价值预测产生的相对误差明显更低，说明本文构建的神经网络模型预测医疗器械企业价值的可靠性高，可为投资者提供决策依据，也有助于收购、兼并等企业行为的合理公正。

参考文献

[1] 史长平. 迈瑞医疗企业价值链与绩效分析[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州财经大学, 2023.

-
- [2] 敖诗文, 高雅. 基于剩余收益模型的创新应用及估值有效性检验——以医药行业上市公司为例[J]. 财经问题研究, 2014(S1): 137-140.
- [3] 汪冬梅, 张志红, 高飞. 新三板企业价值评估研究案例分析——以明德生物为例[J]. 中国资产评估, 2018(1): 50-56.
- [4] 温素彬, 蒋天使, 刘义鹏. 企业 EVA 价值评估模型及应用[J]. 会计之友, 2018(2): 147-151.
- [5] Lam, M. (2004) Neural Network Techniques for Financial Performance Prediction: Integrating Fundamental and Technical Analysis. *Decision Support Systems*, **37**, 567-581. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(03\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(03)00088-5)
- [6] 付扬扬, 仇晓洁. 基于 BP 神经网络的创业板上市公司价值评估[J]. 中国资产评估, 2019(2): 35-40.
- [7] 赵航, 李朝红. 基于 BP 神经网络模型的生物医药企业价值评估研究[J]. 商业会计, 2022(21): 68-71.
- [8] 赵甜利. 基于 BP 神经网络的 A 股医药制造上市公司估值优化研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2022.
- [9] 刘玉薇, 陈勇明, 毅彭. 基于机器学习的企业价值影响因素分析[J]. 应用数学进展, 2023, 12(4): 1848-1854. <https://doi.org/10.12677/aam.2023.124191>
- [10] 陈羽. 基于 BP 神经网络的生物医药企业价值评估[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南财经大学, 2023.