基于贝叶斯网络的上市公司财务风险预警模型

赵文平(教授)，王园园，张一楠，周达培

(西安电子科技大学经济与管理学院，西安 710071)

【摘要】本文参照杜邦分析法,同时选取财务指标和非财务指标,构建了基于贝叶斯网络的工业上市公司财务困境预警模型。利用训练样本进行参数学习,采用最大后验估计法(MAP),求解条件概率表。通过预测样本,对模型的准确性进行检验。最后得出结论,贝叶斯网络可以较好地用于公司财务风险的预测。

【关键词】财务风险；贝叶斯网络；参数学习；条件概率

美国次贷危机的全面爆发,引发了全球经济危机,许多企业破产清算。这让我们意识到:国际经济一体化程度日益加深的今天,某个行业或企业出现危机时,其波及面广,危害性大。所以,为保证宏观经济的稳定以及企业健康有效地运行,创新与构建财务管理理论,建立财务风险预警机制，准确地识别危机信号以预测企业财务风险,具有十分重要的现实意义。

一、文献综述

从20世纪30年代起到近两年,公司财务危机预测一直是学者们关注与研究的热点问题。国内外学者先后提出了单变量分析法、多变量判别模型、Logistic回归模型、神经网络等方法预测公司财务风险。但是这些方法要么判别准确率不高、预测期短,要么对样本分布有严格要求或在模型构建的可操作性方面有缺陷。

近几年来,学者们不断探索新的方法来构建财务风险预警模型。李季(2010)基于系统动力学建立了财务预警模型;邓敏、韩玉启(2012)建立了基于支持向量机(SVM)的财务预警模型;丁德臣(2011)建立了混合HOGA-SVM财务风险预警模型;朱慧明、吴昊(2011)提出了基于贝叶斯网络的财务风险预测模型,但其仅以公司被ST前的两年财务指标建立了朴素贝叶斯网络模型,未确定各财务指标间的依存关系,便直接分析了各根节点对子节点的

三、研究结论

在对各收入等级客户为公司带来的利润进行分析后,就能够根据不同等级客户实施不同的战略。从表3可知,中等收入客户的经济价值的高峰期已过,它只是在第1年给公司带来利润,1年后该类客户将使公司面临亏损,故中等收入客户仅作为短期关注,而不宜成为中期及长期的市场目标;低收入客户是公司利润的增长点,是公司利润的主要来源,但该等级客户的利润只能维持5年左右,从第6年开始,中等收入客户业务将使公司处于不利地位;高收入客户虽然近期将使公司亏损,不能作为公司目前的市场重点,但从长期看具有市场价值,并且能给公司带来持久的利润,故高收入客户应该作为未来市场的战略重点。具体的决策结果如表4所示。

表4　公司决策表

年份	1	2	3	4	5	6	7	∞
低收入客户	生产						不生产	
中等收入客户	生产	不生产						
高收入客户	不生产				生产			

主要参考文献

迈克尔·波特著.陈小悦译.竞争优势(第1版)[M].北京:华夏出版社,1997.

林元烈.应用随机过程[M].北京:清华大学出版社,2002.

安东尼·桑德斯著.刘宇飞译.信用风险度量:风险估值的新方法与其他范式(第1版)[M].北京:机械工业出版社,2001.

罗海青,柳志宏.客户价值评价实证研究[J].经济管理,2003(24).

徐旭初,汪祖杰.客户关系管理是保险公司价值创新之源[J].金融研究,2003(7).

吴春波.从华为的管理实践看中国企业的全球竞争力[J].中国人力资源开发,2014(3).

黄章树,李宝玉,陈翠萍.基于云计算的客户知识共享资源库平台构建[J].现代情报,2015(4).

张先敏,王竹泉.供应商关系、客户关系与经营性营运资金管理绩效[J].会计论坛,2014(1).

影响，没有充分利用到贝叶斯网络可以对相互作用的复杂变量关系进行建模，也没有通过自身参数学习与更新以保证模型同步反映与预测公司财务状况等优点。

基于此，本文结合财务指标和非财务指标，参考杜邦分析法和专家知识进行贝叶斯网络结构学习，构建了复杂贝叶斯网络拓扑图，确定了各指标间的相互影响关系，即各节点间的依存关系，并收集了公司被ST前三年的数据，进行贝叶斯网络参数学习，以动态地反映和预测公司的财务状况。

二、贝叶斯网络的基本原理

贝叶斯网络是由有向无环图（DAG）所表示的各随机变量间的概率关系，由有向无环图和条件概率表两部分构成。有向无环图即为贝叶斯网络拓扑图，图中的各节点表示相应的随机变量，有向弧表示各节点之间的依赖关系，箭头指向的方向为子节点，其另一端为父节点，没有父节点的称为根节点。条件概率表示各子节点对其父节点依赖关系的强弱。贝叶斯原理可表示为下面的公式：

$$P(A|B)=\frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}=\frac{P(A\cap B)}{P(B)} \quad (1)$$

将式（1）应用于本文的财务风险预测时，我们假定公司处于财务困境为事件A，则P（A）表示公司正面临财务风险的概率，P（B）是作为预测变量的财务指标B处于某个等级的概率，P（B|A）表示在公司处于财务困境条件下，预测变量B处于某个等级的可能性。P（A）、P（B）、P（B|A）均可根据上市公司的经验值得到，通过贝叶斯网络参数学习后，我们可以得到P（A|B），即预测出在变量B处于某个等级的条件下，公司陷入财务困境的概率。

当我们所建立的贝叶斯网络中存在着i个变量时，由式（1）可以得到联合概率分布为：

$$P(X_1,X_2,\cdots,X_i)=P(X_1|X_2,X_3\cdots,X_i)P(X_2|X_3,X_4,\cdots,X_i)\cdots P(X_{i-1}|X_i)P(X_i) \quad (2)$$

三、财务预警模型构建及模型预测准确率检验

（一）模型构建

1. 样本选择。本文研究中，我们按照国内的研究习惯，把上市公司中的ST公司（包括ST和*ST公司）界定为“财务困境”公司，其他则为非财务困境公司。从国泰安数据库中获得从2006～2014年上市时间超过3年且首次被ST的工业上市公司共182家，以及非ST工业企业1 325家，作为研究总样本。以4:1的比例，分别从182家ST样本公司中随机抽取145家公司、从1 325家非ST样本公司中随机抽取1 060家公司，共1 105家公司作为训练样本，用于构建预测模型；剩余的37家ST公司和265家非ST公司作为测试样本组，用于检验预测模型的有效性。所有数据采用ST公司被ST前三年的数据及对应年份的非ST公司的数据，通过不同年份的数据学习模型参数，更新贝叶斯网络模型，动态地预测公司财务状况，并对模型的准确性进行检验。

2. 预测指标的选取。本文选取的预测指标包括财务指标和非财务指标两大类。在借鉴与归纳以往学者分析公司财务状况的方法基础上，本文主要从公司的偿债能力、营运能力、盈利能力、成长能力四大方面来选择财务指标。在国内外采用非财务指标对企业绩效评价的研究中，主要包括公司的股权结构和治理结构两大方面。

西方产权理论认为，只要产权是明确的，无论谁拥有产权，市场均衡的最终结果都是有效率的，资源能够得到最优配置。但在国有控股的条件下，产权不明晰，这将导致资源利用效率低下，影响企业经营绩效乃至财务状况，所以本文将公司股权性质（是否为国有控股）作为预测变量之一。

董事会作为掌管公司事务、对管理层进行监督与约束的机构，其规模越大，处理问题的资源越多，监督越广泛。相对于内部董事，独立董事则决策更公正、监督更独立，从而有助于公司业绩的提高。董事长与总经理两职分离，可以通过权力的制约而使高管做出更科学的决策。所以，本文将董事会规模、独立董事人数和董事长与总经理是否两职分离三个因素也作为建立财务预警模型的预测变量。综上所述，初步的指标选取如表1所示：

表1　初步指标列示表

指标类别	指标名称	指标类别	指标名称
偿债能力	速动比率	营运能力	应收账款周转率
	现金流动负债比率		固定资产周转率
	利息保障倍数		总资产周转率
	资产负债率		存货周转率
	权益乘数		
成长能力	总资产增长率	盈利能力	销售净利率
	销售收入增长率		总资产净利率
	净利润增长率		净资产收益率
股权性质	是否为国有控股	公司治理结构	董事会规模
			独立董事人数
			总经理与董事长是否两职分离

将训练样本和预测样本中的ST和非ST公司分为两个组，利用软件SPSS18.0对两组中的全部财务指标进行独立样本的曼-惠特尼U检验，在设定5%的显著性水平下，将两组样本中具有显著性差异的指标作为预测公司是否陷入财务困境的财务特征指标，其检验结果为：除存货周转率外，其他变量都存在着显著性差异。因此，我们将速动比率、现金流动负债比率等18个指标作为预测变量，参照专家知识和杜邦分析体系构建贝叶斯网络图，如图1所示。

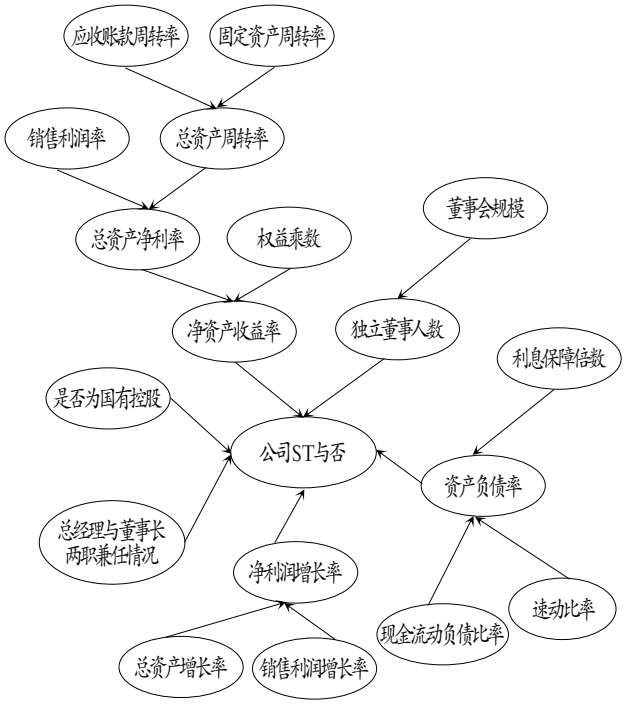

图 1 贝叶斯网络拓扑图

3. 学习网络参数。贝叶斯网络要求数据是离散的，上述18个预测变量中，除是否为国有控股、总经理和董事长是否两职分离是离散型变量外，其他指标都是连续的。所以，本文参照国务院国资委统计评价局所公布的《企业绩效评价标准值》及经验值将公司各财务指标分为五级，进行离散处理，如速动比率，0～36.7%为一级、36.7%～57.6%为二级、57.6%～75.0%为三级、75.0%～98.2%为四级、98.2%～134.9%为五级。

为了方便分析，我们将所构建的公司财务预警模型贝叶斯网络分解为若干个“子贝叶斯网络”，即朴素贝叶斯网络，并以其中某一个“子贝叶斯网络”为实例加以解释说明其参数学习过程。选取应收账款周转率、固定资产周转率为父节点、总资产周转率为子节点，该“子贝叶斯网络”如图2所示：

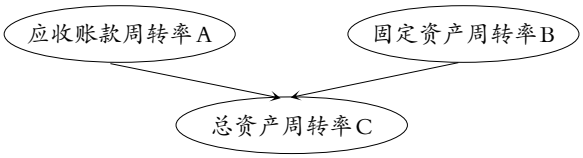

图 2 子贝叶斯网络

首先，统计出训练样本1 105家企业中应收账款周转率处于1～5级的样本数分别为n_1、n_2、n_3、n_4、n_5，则其处于1～5级的先验概率分别为n_1/1 105、n_2/1 105、n_3/1 105、n_4/1 105、n_5/1 105，经统计得到应收账款周转率、固定资产周转率的先验概率如表2、表3所示。

表 2 父节点应收账款周转率A的先验概率

等级	一级	二级	三级	四级	五级
概率P	0.24	0.14	0.26	0.11	0.25

表 3 父节点固定资产周转率B的先验概率

等级	一级	二级	三级	四级	五级
概率P	0.31	0.27	0.32	0.07	0.03

贝叶斯网络参数学习是在已知贝叶斯网络结构下，利用训练样本集，结合先验知识，确定各个节点的条件概率。节点条件概率有多种估计方法，如极大似然估计（MLE）、矩阵估计等，但它们都要求数据完备，为解决这一问题，本文采用贝叶斯统计学里的最大后验分布估计法。

其基本原理为：给定一个含有位置参数θ的分布f(x|θ)，参数θ是一个随机变量，它的先验分布为g(θ)，则参数的条件概率f(θ|x)分布如下式所示：

$$f(\theta|x)=\frac{f(x|\theta)g(\theta)}{\int f(x|\theta')g(\theta')d\theta'} \quad (3)$$

则最大后验分布的目标函数为：

$$\hat{\theta}=\arg\max\frac{f(x|\theta)g(\theta)}{\int f(x|\theta')g(\theta')d\theta'}=\arg\max f(x|\theta)g(\theta) \quad (4)$$

根据式(4)，通过对训练样本的学习，得到总资产周转率与其父节点间的联合条件概率，如下页表4所示。

对于以总资产周转率为中心的子贝叶斯网络，根据式(2)，并借助于GeNIe软件计算后，可得节点C总资产周转率处于各等级的概率：

P(C1)=0.113；P(C2)=0.338；P(C3)=0.459；P(C4)=0.059；P(C5)=0.032

同理，对其他子贝叶斯网络进行参数学习，得到直接影响企业财务状况的节点资产负债率、独立董事人数、净资产收益率、净利润增长率、是否为国有控股、总经理与董事长两职兼任情况的概率如下页表5所示。

对于以公司ST与否、资产负债率、独立董事人数、净资产收益率、净利润增长率、是否为国有控股、总经理与董事长两职兼任情况为父节点的子贝叶斯网络，与求解图2中子贝叶斯网络中的总资产周转率条件概率步骤相同，可以求出X的联合条件概率分布，即公司在各自财务指标观测值下，出现财务危机的可能性（限于文章篇幅，此处不再列示计算过程）。至此，贝叶斯网络参数学习完成。

以上论述皆以公司被ST前三年(t-3)的数据为例，同理，我们可以通过公司被ST前两年(t-2)、前一年(t-1)的数据分别对所构建的贝叶斯网络进行参数学习，以更新贝叶斯网络模型，动态地反映与预测公司财务状态。

表 4　　总资产周转率与其父节点间的联合条件概率

	A1					A2				
	B1	B2	B3	B4	B5	B1	B2	B3	B4	B5
C1	0.759	0.006	0.005	0.066	0.207	0.433	0	0.072	0	0
C2	0.217	0.778	0.504	0.466	0.624	0.474	0.456	0.231	0.044	0.183
C3	0.024	0.216	0.491	0.445	0.166	0.093	0.542	0.693	0.789	0.272
C4	0	0	0	0	0.001	0	0.002	0.004	0.167	0.045
C5	0	0	0	0.023	0.002	0	0	0	0	0.500
	A3					A4				
	B1	B2	B3	B4	B5	B1	B2	B3	B4	B5
C1	0.067	0.111	0	0	0.071	0.217	0.005	0.125	0.001	0.056
C2	0.811	0.306	0.039	0.197	0.714	0.455	0.272	0.006	0	0.165
C3	0.121	0.582	0.921	0.439	0.141	0.328	0.719	0.483	0.466	0.389
C4	0	0.001	0.039	0.363	0.070	0	0.003	0.324	0.467	0.056
C5	0.001	0	0.001	0.001	0.004	0	0.001	0.062	0.066	0.334

	A5				
	B1	B2	B3	B4	B5
C1	0.078	0	0.002	0	0.042
C2	0.522	0.082	0.004	0.001	0.333
C3	0.399	0.836	0.581	0.193	0.021
C4	0	0.082	0.274	0.067	0.291
C5	0.001	0	0.139	0.733	0.313

注：A表示应收账款周转率；B表示固定资产周转率；C表示总资产周转率；后缀1、2、3、4、5分别表示该项指标所处的等级，如A1表示应收账款周转率处于一级。

表 5　　各节点概率

	R11	R12	R13	R14	R15	R21	R22	R23	R24	R25
P	0.109	0.073	0.271	0.084	0.463	0.053	0.636	0.298	0.013	0
	R31	R31	R33	R34	R35	R41	R42	R43	R44	R45
P	0.116	0.252	0.146	0.12	0.366	0.467	0.071	0.089	0.044	0.329

	R51	R52	R61	R62
P	0.798	0.202	0.13	0.87

注：资产负债率、独立董事人数、净资产收益率、净利润增长率、是否为国有控股、总经理与董事长两职兼任情况分别为R1、R2、R3、R4、R5；Rij表示直接影响公司财务状况的第i个的指标处于j级，比如R11表示资产负债率处于一级。

(二)模型准确率检验

将测试样本37家ST公司、265家正常公司各预测变量的观测值代入模型，验证模型的准确度。验证结果表明，越靠近公司陷入财务困境的时间，模型预测的准确率越高，其验证结果如表6所示。

五、结语

本文结合公司财务指标与非财务指标，参考杜邦分析体系，建立了基于贝叶斯网络的财务风险预测模型，借助公司被ST前一、二、三年的数据对模型进行参数学习，以更新贝叶斯网络模型，动态地反映与预测公司的财务状况。利用测试样本对模型预测准确率进行检验，发现该模型在公司被ST前三年的准确率分别为91.05%、95.03%、97.35%。

表 6　　验证结果

		正常公司	ST公司	总体
t−3	正常公司	250	15	265
	ST公司	12	25	37
	判别正确率(%)	94.34	77.57	91.05
t−2	正常公司	257	8	265
	ST公司	7	30	37
	判别正确率(%)	96.98	81.08	95.03
t−1	正常公司	261	4	265
	ST公司	4	33	37
	判别正确率(%)	98.49	89.19	97.35

验证结果证明，作为一种基于概率论的图论模型，贝叶斯网络除了在军事、航空等领域的风险评估中表现优异，亦可较好地应用于公司财务风险的预测。文中利用贝叶斯工具箱GeNIe2.0，简化概率计算过程，使得基于贝叶网络的财务风险预测模型在操作上更加简单易行，深化了财务风险预测研究的同时，也提供了方便的操作工具。

本文利用贝叶斯网络来预测工业上市公司财务风险，取得了较为满意的结果。但对在预测指标离散化并进行分级时，本文参考的是国务院针对国有工业企业所公布的《企业绩效评价标准值》，而本文的研究对象是所有工业上市公司，所以略有不足。选取更为恰当的分级方式，可作为本文深入研究的方向。

主要参考文献

Beaver, W. H.. Financial Ratios as Predictors of Failures, Empirical Research in Accounting Selected Study[J]. Journal of Accounting Research(Supplement),1996(9).

吴世农，卢俊义.我国上市财务困境的预测模型研究[J].经济研究，2001(6).

胡援成，田满文.上市公司财务困境预测模型的再比较[J].经济学，2005(S1).

李季.基于系统动力学的财务危机预警模型研究[D].长沙：中南大学，2010.

朱慧明，吴昊，郝立亚等.基于贝叶斯网络的上市公司财务困境预测研究[J].统计与决策，2011(20).