

基于熵权-云模型的车规级激光雷达企业正负创新网络评价研究

伊辉勇, 王旭

(重庆交通大学 经济与管理学院, 重庆 400074)

摘要: 高新技术企业作为知识密集型企业, 是我国创新驱动发展的重要抓手, 分析、评价高新技术企业创新网络的竞争力水平, 对我国产业发展方式转型升级具有重要意义。在综合考虑创新网络节点对中心企业的影响因素基础上, 构建基于熵权-云模型的正负创新网络评价方法, 有效地解决了以往创新网络评价中的模糊性与随机性问题。通过 Matlab 编程, 运用云模型计算评价指标相应的隶属度, 对企业正负创新网络进行划分, 对综合创新网络进行评价。以车规级激光雷达企业为例, 验证方法的科学性和可行性, 并为企业提升创新能力提供了决策参考。

关键词: 创新网络; 高新企业; 云模型; 网络评价

中图分类号: C939 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2023.02.15

Research on Positive and Negative Innovation Network Evaluation of High-Tech Enterprises Based on Entropy-Cloud Model

YI Huiyong, WANG Xu

(School of Economics and Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: As knowledge-intensive enterprises, high-tech companies play an important role in China's innovation-driven development. Analyzing and evaluating the competitiveness of high-tech enterprises' innovation networks is of great significance for promoting the transformation and upgrading of China's industrial development mode. Comprehensively considering the influence of innovation network nodes on central enterprises, the paper proposes a positive and negative evaluation method for innovation networks based on entropy weight-cloud model, which effectively addresses the uncertainties and stochasticity in the previous evaluation methods. By using Matlab programming, the cloud model is employed to calculate the membership degree of each evaluation index, classify the positive and negative innovation network of the enterprise, and evaluate the comprehensive innovation network. Finally, taking the LIDAR enterprise as an example, the effectiveness and feasibility of the proposed method are verified, which provides a useful reference for enterprises to improve their innovation ability.

Keywords: innovation network; high-tech enterprises; cloud model; network evaluation

收稿日期: 2021-11-24 改稿日期: 2021-12-27

基金项目: 重庆市自然科学基金面上项目(cstc2020jcyj-msxmX0501): 支持复合渠道客户定制化定制模式的制造商产品族规模和结构优化研究; 重庆市社会科学规划项目(2019YBJJ043): 重庆智能网联汽车产业生态位评价和演化研究; 重庆市社会科学规划项目(20SKGH083): 重庆新能源汽车产业生态位测度与演化机制研究

参考文献引用格式:

伊辉勇, 王旭. 基于熵权-云模型的车规级激光雷达企业正负创新网络评价研究[J]. 汽车工程学报, 2023, 13(2): 262-272.

YI Huiyong, WANG Xu. Research on Positive and Negative Innovation Network Evaluation of High-Tech Enterprises Based on Entropy-Cloud Model[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2023, 13(2): 262-272. (in Chinese)



高新技术企业是深入推行创新驱动战略,推进高质量发展的重要载体,是攻克产业发展关键技术的尖兵和前沿^[1]。因此,对其创新能力进行研究对我国产业发展具有重要意义。对高新技术企业创新能力进行评价研究,能客观地反映高新技术企业的成长情况,识别并培育高新技术企业成长的重要影响因素^[2],对企业进一步探究其创新经验,加强企业创新管理,完善创新机制,采取合理的创新策略,保持和提升竞争力等方面具有重要意义^[3]。但是,经济全球化发展增加了高新技术企业的技术复杂度和技术创新的不确定性,企业依靠自身资源很难完成有效创新^[4],所以已由相对独立的内部创新模式,逐步发展成为现在的多方合作、资源共享的协同创新网络模式^[5]。因此,创新网络作为高新技术企业创新的载体和主要驱动力,成为企业营造其核心竞争力的重要支撑,对其生存发展起到关键性作用。

FREEMAN^[6]首次提出了创新网络的概念,并指出,创新网络架构的主要联结机制是创新成员之间的创新合作关系^[7]。此后,国内外学者从企业创新网络的动力机制^[8]、内部结构^[9]、网络特征^[10]等多个方面进行了研究,但是针对企业创新能力的评价探讨较少。通过对文献的整理发现,创新能力评价研究主要集中在指标体系和评价方法两个方面。在评价指标方面,多数学者是从创新投入产出、环境因素等要素出发进行选择的^[11-12],但鲜有探讨影响因素的正负,以及是如何变化从而影响创新网络中企业节点创新能力的,更没有从创新网络的“正网络/负网络”这一角度出发探究合作网络对企业创新能力的影响。

在评价方法方面,学者们常对现有方法进行改进。CHEN Gong等^[13]基于熵值法和变异级数法的评价模型,对我国高技术产业区域自主创新能力进行了评价。邵云飞等^[14]运用因子分析法和聚类分析法对我国各省战略性新兴产业创新能力进行了评价。此外,也有学者采用“三阶段DEA”分析法^[15]、TOPSIS法^[16]等对企业创新能力评价模型进行了构建,虽然目前评价方法的选择变得更多

元,但在对各个评价指标的赋权中,大多数人只会选择主观赋权,评价结果的主观随意度太强^[17]。而云模型理论以传统的概率统计和模糊集理论为基础,可以实现定性概念与定量值的相互转换^[18],有效解决模糊概念的定量处理问题。因此,将云模型应用于数据处理可以提高结果的准确性^[19],国内外学者对云模型进行的大量研究,多用于竞争力评价^[20-21]、风险评价^[22-23]等,在企业创新网络方面运用较少。

所以本文基于创新网络理论,首先从创新能力影响因素出发,进一步完善指标评价体系的构建,并讨论其创新网络的正负网络,同时为解决以往创新网络评价中的模糊性与随机性问题,引入云模型,以车规级激光雷达企业为研究对象,以云模型为理论基础建立高新技术企业正负创新网络评价模型,利用熵权法计算各指标的权重,为创新网络评价提供新的思路。

1 云模型

1.1 云模型的概念

云模型是李德毅等^[24]基于模糊集理论定义的一种新型认知模型,它主要用来描述转换定性概念和变量值的一种不确定性。云模型评价法能更准确地表达概念性评价指标,因而适用于不同指标的科学评价和分析^[19]。云模型的基本概念如下所述。

设 X 是一个由数值表示的定量集合, $X = \{x\}$,称为论域。 T 为论域 X 中的模糊子集,对于任意元素 x 都存在一个有稳定倾向的随机数 $\mu_T(x) \in [0, 1]$,称作元素 x 属于 T 的隶属度,且有稳定趋势,即: $X \rightarrow [0, 1], \forall x \in X, x \rightarrow \mu_T(x)$, x 在论域上 T 的分布被称为云^[25]。

1.2 云的数字特征

正态云由多个云滴构成,而云滴由期望 E_x 、熵 E_n 和超熵 H_e 生成。 E_x 代表相应模糊定性知识的中心值,反映云滴在论域中最能代表定性概念的点, E_n 用于评价指标等级的模糊度及其确定的随机性度量,反映集合中可被模糊概念所接受的数值范围;

H_e 是熵的不确定性度量,由熵的模糊性和随机性共同作用,反映了云滴离散度和隶属函数的不确定性^[26]。一般云可以用 $y=(E_x, E_n, H_e)$ 表示。

1.3 云模型的运算

云模型的运算由云发生器执行,有正向和逆向两种云发生器。正向云发生器是定性知识和定量表示之间的转换,通过3个给定的云数字特征值生成云滴,用CG表示,如图1所示,其中 x_i 为云滴, m_i 为每个云滴所代表的定性概念的确定度。

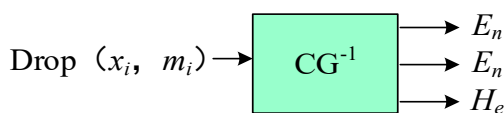


图1 正向云发生器

而逆向云发生器则是一个推导过程,从云滴中推导出 E_x 、 E_n 和 H_e ,实现定量表达的数据转换为数值特征,其过程如图2所示。

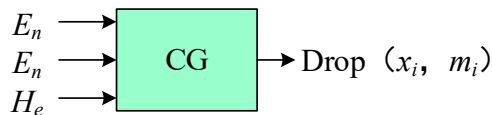


图2 逆向云发生器

2 网络刻画

2.1 创新网络结构

为了准确地刻画不同性质的企业对核心节点的影响,可以将企业节点分解为客户、高校、研究机构、竞争企业、政府等类别。

企业创新网络为 $G(V, E)$, $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$, 表示关关节点的分类。

令 $n = \max \{ \text{集合 } V_1, V_2, \dots, V_m \text{ 含总节点数} \}$, 引入虚拟变量 V_{ij} , 虚拟变量的权重为0, 使其每个类别企业个数都为 n , 构造矩阵

$$V_{m \times n} = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & \cdots & V_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ V_{m1} & V_{m2} & \cdots & V_{mn} \end{pmatrix}。$$

2.2 正负创新静态网络模型

用 w_{ij} 表示网络的边属性,即边上的权值,令 Y

表示创新网络的邻接矩阵, ε 表示不同边影响因素的正负,则:

$$A(G) = \begin{cases} V_i \text{ 和 } V_j \text{ 相连为 } w_{ij} \\ V_i \text{ 和 } V_j \text{ 不相连为 } 0 \end{cases},$$

$$\varepsilon = \begin{cases} 1, \text{ 影响为正} \\ -1, \text{ 影响为负} \end{cases},$$

$$E = Y\varepsilon,$$

$$G^+ = (V_{m \times n}, E_{m \times n} | \varepsilon > 0),$$

$G^- = (V_{m \times n}, E_{m \times n} | \varepsilon < 0)$, 其中 w_{ijn} 表示网络的边上各个影响因素的权值。令 Y 表示创新网络的邻接矩阵, $\varepsilon_n = \begin{cases} 1, \text{ 影响为正} \\ -1, \text{ 影响为负} \end{cases}$ 表示不同边各因素正负, 则:

$$A(G) = \begin{cases} V_i \text{ 和 } V_j \text{ 相连为 } \sum_{n=1}^n w_{ijn} \\ V_i \text{ 和 } V_j \text{ 不相连为 } 0 \end{cases},$$

$$A(G)^+ = \begin{cases} V_i \text{ 和 } V_j \text{ 相连为 } \sum_{n=1}^n w_{ijn} | \varepsilon_n > 0 \\ V_i \text{ 和 } V_j \text{ 不相连为 } 0 \end{cases},$$

$$A(G)^- = \begin{cases} V_i \text{ 和 } V_j \text{ 相连为 } \sum_{n=1}^n w_{ijn} | \varepsilon_n < 0 \\ V_i \text{ 和 } V_j \text{ 不相连为 } 0 \end{cases}。 \quad (1)$$

$$G^+ = (V_{m \times n}, E_{m \times n} | \varepsilon_n > 0),$$

$$G^- = (V_{m \times n}, E_{m \times n} | \varepsilon_n < 0)。 \quad (2)$$

那么可以得到正网络边权值为:

$$w_{ij} = \sum_{n=1}^n w_{ijn} | \varepsilon_n > 0。 \quad (3)$$

负网络边权值为:

$$w_{ij} = \sum_{n=1}^n w_{ijn} | \varepsilon_n < 0。 \quad (4)$$

3 基于云模型的企业正负创新网络评价

3.1 指标体系构建

以往的文献,根据学者的侧重点不同,选取的指标体系略有不同,本研究对现有企业创新能力评价指标进行了深入分析。在考虑高新技术企业特点的基础上,初步设计了评价指标体系,见表1,其中与以往按照创新网络结构和创新网络环境等分类

不同,本文评价指标维度采用创新网络中节点类型进行划分,便于对企业与节点中的正负创新效应进行识别,从正负创新网络视角对企业的创新能力进行一个综合的评价。

表1 企业创新能力评价指标体系

一级指标	二级指标
V ₁ 企业与供应商协同创新能力	V ₁₁ 供应商的创新能力
	V ₁₂ 与供应商的合作稳定程度
	V ₁₃ 与供应商的整合程度
V ₂ 企业与客户协同创新能力	V ₂₁ 与合作客户的合作稳定性
	V ₂₂ 与合作客户的合作满意度
	V ₂₃ 与合作客户的信赖程度
V ₃ 企业与科研机构协同创新能力	V ₃₁ 合作关系稳定程度
	V ₃₂ 合作满意度
	V ₃₃ 合作信赖程度
V ₄ 企业与政府协同创新能力	V ₄₁ 项目资金支持情况
	V ₄₂ 人才政策
	V ₄₃ 信息平台构建情况
	V ₄₄ 税收减免政策
	V ₄₅ 科技金融支持程度
V ₅ 企业与高校协同创新能力	V ₅₁ 与高校合作稳定程度
	V ₅₂ 与高校合作满意度
	V ₅₃ 与高校信息交流程度
V ₆ 企业与其他企业协同创新能力	V ₆₁ 遭受恶意竞争程度
	V ₆₂ 自身的竞争能力
	V ₆₃ 企业间信息交流程度
V ₇ 企业与中介机构协同创新能力	V ₇₁ 与中介机构合作密切度
	V ₇₂ 与中介机构合作稳定程度
	V ₇₃ 与中介机构合作满意度
	V ₇₄ 与中介机构信息交流程度

3.2 确定指标权重

考虑到不同指标的重要程度不同,需要对指标赋予一个权重。熵权法能很好地将定性与定量分析相结合,兼顾了赋权时的主观性和客观性,所以本文采用熵权法对创新能力的评价指标进行权重确定,其算法步骤如下:

令 $\mathbf{X} = (x_{ij})_{n \times m}$ 为评价对象集的初始矩阵,其中 n 为待评对象, m 为评价指标的个数,令 Y_{ij} 为各个

指标数据标准化值, $Y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}$ 。然

后通过式(5)计算出各指标的信息熵,利用信息熵通过式(6)计算并确定各指标权重。

$$\begin{cases} p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \\ e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \end{cases} \quad (5)$$

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \quad (6)$$

式中: i 为待评对象编号, $i = 1, 2, 3, \dots, m$; j 为评价指标个数编号, $j = 1, 2, 3, \dots, n$; r_{ij} 为评价价值; p_{ij} 为权重值; e_j 为信息熵; w_j 为权重。

3.3 云模型综合评价

为客观合理地评价创新网络中节点对中心企业的创新能力影响,在采用熵权法确定了创新能力的评价指标权重后,运用云模型评估方法对高新技术企业的正负创新网络进行综合性评价,其评价步骤参考以往学者^[27]的方法主要分为以下5个步骤:

步骤1:根据表1确定准则层的因素集为 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$,对每一个因素集分别依据指标进行评价,得到指标层论域 $V_1 = \{V_{11}, \dots, V_{1m}\} \dots V_n = \{V_{n1}, \dots, V_{nr}\}$,再根据专家指导意见和相关资料查询,将各指标评价等级论域划分为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_p\}$ 。

步骤2:根据等级划分和各评价指标对应等级计算特征值。设有数据 x_{ij} 表示创新网络评价指标 V_i 对应的评价等级 U_j 的隶属度,取值范围为 $[x_{ij}^1, x_{ij}^2]$,由于每个等级云的中心值是最能代表其定性概念的点,所以每个等级云的特征值参数是由各评价指标对应其等级的上下边界值确定的,即 $E_{x_{ij}} = (x_{ij}^1 + x_{ij}^2)/2$ 。由于评价标准边界存在模糊性,对于分属相邻等级的指标隶属度相同,所以有 $\exp[-(x_{ij}^1 - x_{ij}^2)^2/8(E_n)^2] = 0.5$,最终可得到熵 $E_{n_{ij}} = (x_{ij}^2 - x_{ij}^1)/2.355$ 。

步骤3:根据获取的云特征值,利用正向云发

生器计算各个指标对应等级的云模型隶属度矩阵, 如式 (7) 所示。

$$\mu = \exp \left\{ \frac{(x_0 - E_n)^2}{2(E_n')^2} \right\}. \quad (7)$$

式中: E_n' 是以 E_n 为期望值, H_e^2 为方差的正太随机数, $E_n' \sim N(E_n, H_e^2)$ 。为了提高评价精确度, 采用重复 N 次条件云发生器下不同隶属度的平均值^[26]。

步骤 4: 根据隶属度 μ 对创新网络进行拆分,

$$G^+ = (V_{m \times n'}, E_{m \times n'} | \varepsilon > 0),$$

$$G^- = (V_{m \times n'}, E_{m \times n'} | \varepsilon < 0),$$

令 $\mu \subset (S_1, S_2, S_3, S_4, S_5)$, 如式 (8) 所示。

$$\begin{cases} \mu \subset (S_1, S_2), \varepsilon < 0 \\ \mu \subset (S_4, S_5), \varepsilon > 0 \\ \mu = S_3 \text{ 时, } \begin{cases} S_1 + S_2 + S_3 > S_3 + S_4 + S_5, \text{ 则 } \varepsilon < 0 \\ S_1 + S_2 + S_3 < S_3 + S_4 + S_5, \text{ 则 } \varepsilon > 0 \end{cases} \end{cases} \quad (8)$$

步骤 5: 利用各指标的权重值, 分别求得拆分后的正负创新网络创新能力指标的综合确定度, 如式 (9)~(10) 所示。

$$C^- = \sum_{k=1}^n \mu(x) w_j, \varepsilon < 0 \text{ 时}. \quad (9)$$

$$C^+ = \sum_{k=1}^n \mu(x) w_j, \varepsilon > 0 \text{ 时}. \quad (10)$$

式中: μ 为隶属度; w_j 为指标权重。根据最大确定度原则, 选出最终的创新网络综合评价等级。

4 案例分析

4.1 确定评价指标等级

车规级激光雷达产业处于联结激光器、模拟芯片、光学部件等上游产业与污染驾驶、服务机器人、车联网等下游产业的高价值环节, 其蓬勃发展的趋势将持续驱动我国高新技术产业的发展。同时, 在汽车智能化渗透率快速提升和新冠疫情的背景下, 车规级激光雷达迎来大幅增长, 为应对企业创新发展需要以及产业发展新格局, 分析、评价车规级激光雷达企业的创新网络具有重要意义。

因此, 本文以车规级激光雷达企业为例进行实证分析, 向车规级激光雷达产业的主要核心企业进

行问卷调查, 获得相关信息及其创新网络节点间联系强度, 并通过参阅相关资料和专家意见, 同时结合我国车规级激光雷达产业的发展现状, 将指标划为 5 个等级, 用于企业创新网络发展程度的评价, 即 {差, 较差, 一般, 良, 优}, 具体评价指标等级划分见表 2。

表 2 评价指标等级划分

等级	差	较差	一般	良	优
V ₁₁	(0 0.2)	(0.2 0.4)	(0.4 0.6)	(0.6 0.8)	(0.8 1)
V ₁₂	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₁₃	(0 2)	(2 4)	(4 6)	(6 8)	(8 10)
V ₂₁	(0 0.2)	(0.2 0.4)	(0.4 0.6)	(0.6 0.8)	(0.8 1)
V ₂₂	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₂₃	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₃₁	(0 0.2)	(0.2 0.4)	(0.4 0.6)	(0.6 0.8)	(0.8 1)
V ₃₂	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₃₃	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₄₁	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₄₂	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₄₃	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₄₄	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₄₅	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₅₁	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₅₂	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₅₃	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₆₁	(0 1)	(2 4)	(4 6)	(6 8)	(8 10)
V ₆₂	(0 2)	(2 6)	(6 10)	(10 14)	(14 28)
V ₆₃	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₇₁	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₇₂	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₇₃	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)
V ₇₄	(0 1)	(1 2)	(2 3)	(3 4)	(4 5)

4.2 确定评价指标云模型

首先由高新技术产业研究领域专家和车规级激光雷达产业核心企业成员对车规级激光雷达企业创新发展中, 企业与不同类别节点协同创新的重要程度做出评价, 并对各二级指标进行一个赋值打分, 从而构造判断矩阵。根据结果, 采用熵权法进行计

算,指标的权重值结果为 $w = \{0.054\ 1, 0.049\ 6, 0.044\ 8, 0.047\ 1, 0.042\ 3, 0.048\ 9, 0.049\ 7, 0.050\ 8, 0.036\ 0, 0.029\ 6, 0.029\ 7, 0.029\ 7, 0.026\ 6, 0.029\ 8, 0.045\ 7, 0.046\ 4, 0.045\ 6, 0.048\ 7, 0.048\ 4, 0.048\ 7, 0.036\ 4, 0.036\ 6, 0.037\ 3, 0.037\ 3\}$ 。

通过向车规级激光雷达企业管理人员发出问卷

调查,对企业与各类机构组织具有长久合作关系(3年以上)占比、信赖程度、共同承担项目数、合作满意度以及在各方面得到政府的支持程度等情况进行调查统计,根据调查问卷结果,按照等级划分,对不同创新评价等级所对应的云特征值 E_x 、 E_n 和 H_e 进行计算,计算得出表3中的云模型数字特征值。

表3 创新能力云模型数字特征值

等级	差	较差	一般	良	优
V_{11}	(0.1 0.09 0.1)	(0.3 0.09 0.1)	(0.5 0.09 0.1)	(0.7 0.09 0.1)	(0.9 0.09 0.1)
V_{12}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{13}	(1.0 0.86 0.1)	(3.0 0.86 0.1)	(5.0 0.86 0.1)	(7.0 0.86 0.1)	(9.0 0.86 0.1)
V_{21}	(0.1 0.09 0.1)	(0.3 0.09 0.1)	(0.5 0.09 0.1)	(0.7 0.09 0.1)	(0.9 0.09 0.1)
V_{22}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{23}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{31}	(0.1 0.09 0.1)	(0.3 0.09 0.1)	(0.5 0.09 0.1)	(0.7 0.09 0.1)	(0.9 0.09 0.1)
V_{32}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{33}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{41}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{42}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{43}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{44}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{45}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{51}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{52}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{53}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{61}	(1.0 0.86 0.1)	(3.0 0.86 0.1)	(5.0 0.86 0.1)	(7.0 0.86 0.1)	(9.0 0.86 0.1)
V_{62}	(1.0 1.71 0.1)	(4.0 1.71 0.1)	(8.0 1.71 0.1)	(12.0 1.71 0.1)	(16.0 1.71 0.1)
V_{63}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{71}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{72}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{73}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)
V_{74}	(0.5 0.42 0.1)	(1.5 0.42 0.1)	(2.5 0.42 0.1)	(3.5 0.42 0.1)	(4.5 0.42 0.1)

4.3 隶属度计算

为了有效地对各二级指标进行分析比较,通过Matlab编程,利用云模型的 X 条件云发生器,取 $N=2\ 000$,得到该企业各评价指标所对应的不同等级的隶属度,结果见表4。

根据指标的隶属度可将影响因素拆分为正影响指标和负影响指标,建立正负创新网络评价指标体系,见表5~6。

4.4 创新网络综合云评价

利用正向云发生器,对不同创新评价等级所对

表 4 指标隶属度

等级	差	较差	一般	良	优	评价结果
V_{11}	0.036	0.169	0.751	0.324	0.069	一般
V_{12}	0	0.015	0.637	0.325	0.004	一般
V_{13}	0.015	0.797	0.252	0	0	较差
V_{21}	0.204	0.848	0.282	0.059	0.012	较差
V_{22}	0	0	0.026	0.783	0.224	良
V_{23}	0	0	0.013	0.616	0.338	良
V_{31}	0.273	0.910	0.213	0.047	0.008	较差
V_{32}	0	0	0.052	0.969	0.116	良
V_{33}	0	0	0.074	0.999	0.086	良
V_{41}	0	0	0.024	0.786	0.225	良
V_{42}	0	0	0.043	0.923	0.147	良
V_{43}	0	0	0.053	0.972	0.115	良
V_{44}	0	0.005	0.352	0.603	0.012	良
V_{45}	0.001	0.741	0.150	0.002	0.012	较差
V_{51}	0	0.240	0.915	0.150	0.001	一般
V_{52}	0.001	0.128	0.958	0.049 4	0	一般
V_{53}	0	0	0.096	0.994	0.067	良
V_{61}	0	0	0.042	0.915	0.152	良
V_{62}	0	0.053	0.972	0.114	0	一般
V_{63}	0.001	0.127	0.951	0.048	0	一般
V_{71}	0	0	0.051	0.959	0.126	良
V_{72}	0	0	0.050	0.951	0.129	良
V_{73}	0	0.002	0.168	0.883	0.035	良
V_{74}	0	0.001	0.001 1	0.951	0.046	良

表 5 创新正网络指标

指标	评价结果	指标	评价结果
V_{11}	一般	V_{44}	良
V_{12}	一般	V_{52}	一般
V_{22}	良	V_{53}	良
V_{23}	良	V_{61}	一般
V_{32}	良	V_{62}	一般
V_{33}	良	V_{71}	良
V_{41}	良	V_{72}	良
V_{42}	良	V_{73}	良
V_{43}	良	V_{74}	良

表 6 创新负网络指标

等级	评价结果
V_{13}	较差
V_{21}	较差
V_{31}	较差
V_{45}	较差
V_{51}	一般
V_{63}	一般

应的云特征值 E_x 、 E_n 和 H_e 进行计算,结果见表3,根据计算结果,运用基准服务质量云算法,采用Matlab编程,通过正向云发生器算法生成基准云,将基准服务量子云分为5个,如图3所示。即从左到右依次为创新能力差云、创新能力较差云、创新能力一般云、创新能力良云、创新能力优云。

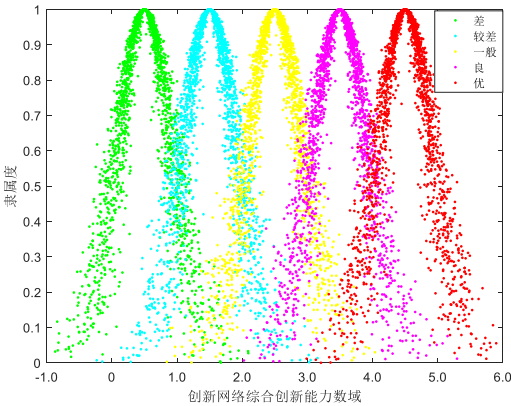


图 3 创新网络基准云

使用逆正态云发生器对各个二级评价指标均值反向计算得到各一级指标对应的云参数值。将评价价值云与本层次各指标的权重相结合,利用公式得到上一层指标的综合评价价值云,照此规律可以将评价指标从底层向高层递推,最终可得到对激光雷达正创新网络的总评价指标的评价结果。

由图4可知,我国车规级激光雷达企业创新网络正效应云基本上和创新能力良云重合,且云相似度接近1,这说明我国车规级激光雷达企业创新网络正效应总体水平为良好。同理,将隶属度低于中值的二级指标评估均值带入到逆向云发生器中,最终可以得到负创新网络总的综合评价价值云。

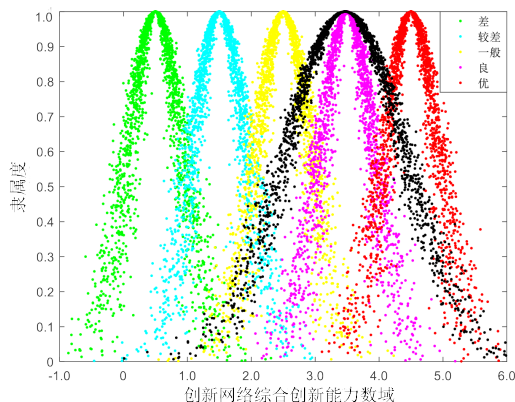


图4 创新正网络综合云

由图5可知,我国车规级激光雷达企业创新网络负效应云处于创新能力差云和创新能力较差云之间,整体水平较差。

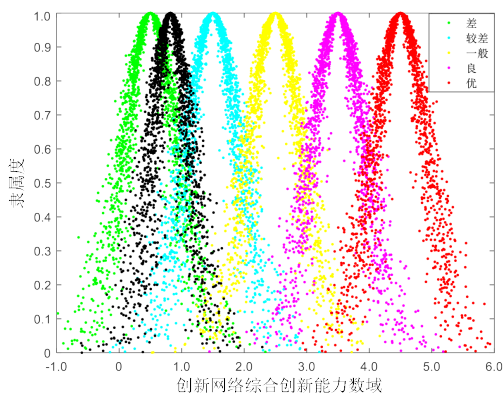


图5 创新负网络综合云

4.5 评价结果分析

根据评价结果可知,我国车规级激光雷达企业创新网络正效应处于良好水平。而企业与中介机构协同创新能力二级指标评价值都较好,说明车规级激光雷达企业与中介服务机构联系较为紧密,企业可以通过中介机构与外部各种资源形成有机的联系链条,促进企业多方面参与协调创新共享和互动,有利于企业吸收多样性资源。同时,车规级激光雷达企业与科研机构的合作信赖度和合作满意度都较高,表明企业能较好地利用可用资源进行充分利用。而政府与企业协同创新能力评价相对其他二级指标评价值较高,说明政府在政策、经费等方面有一定支持力度,但是车规级激光雷达目前还处于行业发展初期,没有形成完善的产业链,市场规模较小。

不过,随着自动驾驶领域的加速商业化,车规级激光雷达市场将快速扩张,所以政府应该根据激光雷达产业特点,针对性地加大扶持力度。例如,在金融政策(V_{45})方面,政府应积极引导,加大力度。而车规级激光雷达企业间的协同交流会对企业发展产生正效应,但总体水平较低。目前,企业一是应当加强与合作企业的信息技术交流,对科技变革的不确定性保持高度敏感,努力发掘外部信息中的行业发展趋势,抢占产业发展先机,提高自身的技术创新能力,同时根据政治环境、经济环境和社会环境变化,及时调整企业发展战略部署增强企业发展稳定性,从而提升与对手企业的竞争力水平(V_{72})。二是应当避免对手企业的不正当竞争(V_{71})。

创新网络负效应云的期望处于差与较差之间,主要问题在于企业与供应商的整合程度较差,说明激光雷达企业与供应商合作研发及技术转化能力一般,资源不能有效共享、合作创新。因此,企业应该更加开放创新,积极与核心供应商组建共同开发新产品联合团队,促进企业的突破式创新,增强企业核心竞争力。此外,企业与客户(V_{21})、研究机构(V_{31})以及高校(V_{51})的合作稳定性都较差,所以企业应当采取一定措施加强客户关系维护,并对客户需求变化进行调查了解,同时通过协同创新网络的组织结构调整,优化企业自身的产学研创新网络,从而增强与高校和研究机构的合作稳定性,促进企业的未来发展。

5 总结

本文建立了正负创新网络评价指标体系,探讨了企业关联节点的影响因素,在评价方法上首次应用云模型理论对我国高新技术企业创新能力进行了评价与实证分析,有效地解决了以往创新网络评价中的模糊性与随机性问题,为创新网络评价提供了新思路。以车规级激光雷达企业为例,探析了其创新网络的正负,并且进行了综合评价。明析了创新网络节点如何作用并影响车规级激光雷达企业的创新能力,对车规级激光雷达企业创新发展进行了深

入总结,对加强创新管理,完善创新机制,采取合理的创新策略,以及对车规级激光雷达企业的保持和提升竞争力都有一定作用,也为后来企业进行创新起到促进作用。

根据本文的分析计算,以正负创新网络视角来促进创新能力的提高,提出以下建议:

1) 更加开放创新,加强技术积累。车规级激光雷达企业需要从“内部化”转向“开放化”,与合作企业在生产技术与信息服务方面适当加强合作交流,实现信息共享、技术互学来加强自身技术积累,对创新环境保持高度敏感,发掘行业发展趋势,创造行业竞争力优势。

2) 加强关系维护,优化创新网络结构。做好客户资源管理,了解客户需求,培养客户忠诚度以增强保有率。同时,加强供应商开发,可以选择与少数供应商建立战略伙伴关系,在创新网络结构优化调整的同时加强合作伙伴关系,促进与供应商的

整合程度,避免资源冗余浪费,从而降低企业成本,促进企业技术进步。

3) 加强产学研合作,助力企业创新活动。通过产学研协同创新实现优势互补、资源共享,推动车规级激光雷达产业链和创新链的发展,加速成果的落地转化和应用。进行产业技术创新联盟的构建,尤其加强跨行业、跨领域企业间的交流合作,在技术创新上形成更大合力。

4) 坚持多元化政策支持,持续加强人才政策支持,稳步提升科技金融服务能力。高新技术企业属于高投资、高技术壁垒企业,科研资金与科技人才至关重要。政府在政策、经费等方面给予了一定的支持力度,但这远不能满足车规级激光雷达企业的技术研发、创新成果转化等需要。因此,需要整合利用资源,培育发展新兴科技金融模式,积极引导社会资本助力产业升级。

参考文献 (References)

- [1] 卫平,汤雅茜.高新技术企业创新能力提升及其驱动因素——来自7城市企业微观调查数据的证据[J].改革,2020(6):136-147.
WEI Ping, TANG Yaxi. The Promotion of Innovation Ability of High-Tech Enterprises and Its Driving Factors: Evidence from Micro Survey Data of Enterprises in Seven Cities[J].Reform,2020(6):136-147.(in Chinese)
- [2] 曾婧婧,龚启慧,王庆.中国高新技术企业认定政策绩效评估——基于双重差分模型的实证分析[J].科技进步与对策,2019,36(9):118-125.
ZENG Jingjing, GONG Qihui, WANG Qing. Performance Evaluation of New High-Tech Enterprise Certification Policy in China: Based on Difference-in-Difference Model Empirical Analysis [J]. Science & Technology Progress and Countermeasures, 2019, 36 (9) : 118-125. (in Chinese)
- [3] 牡丹丽,曾小春.速度特征视角的我国高新技术企业创新能力动态综合评价研究[J].科研管理,2017,38(7):44-53.
DU Danli, ZENG Xiaochun. Adynamic and Comprehensive Evaluation of the Innovation Capability of China's High-Tech Firms from the Perspective of Speed Characteristics [J].Science Research Management, 2017, 38(7):44-53.(in Chinese)
- [4] 解学梅,左蕾蕾.企业协同创新网络特征与创新绩效:基于知识吸收能力的中介效应研究[J].南开管理评论,2013,16(3):47-56.
XIE Xuemei, ZUO Leilei.Characteristics of Collaborative Innovation Networks and Innovation Performance of Firms: The Mediating Effect of Knowledge Absorptive Capacity [J].Nankai Management Review, 2013, 16(3) : 47-56.(in Chinese)
- [5] 和征,张志钊,李勃.企业创新网络研究述评与展望[J].商业经济研究,2020(3):117-119.
HE Zheng, ZHANG Zhizhao, LI Bo. Review and Prospect of Enterprise Innovation Network Research [J].Journal of Business Economics, 2020(3) : 117-119. (in Chinese)
- [6] FREEMAN C. Networks of Innovators: A synthesis of Research Issues [J].Research Policy, 1991, 20:499-514.
- [7] 鲁若愚,周阳,丁奕文,等.企业创新网络:溯源、演化与研究展望[J].管理世界,2021,37(1):217-233,14.
LU Ruoyu, ZHOU Yang, DING Yiwen, et al. Enterprise

- Innovation Network: Tracing, Evolution and Research Prospect[J]. Management World, 2021, 37(1): 217-233, 14. (in Chinese)
- [8] HE Jiang, FALLAH M H. Is Inventor Network Structure a Predictor of Cluster Evolution? [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2008, 76(1): 91-106.
- [9] WANG Ge, LI Yang, ZUO Jian, et al. Who Drives Green Innovations? Characteristics and Policy Implications for Green Building Collaborative Innovation Networks in China [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021, 143: 110875.
- [10] MESCHI P X, WASSMER U. The Effect of Foreign Partner Network Embeddedness on International Joint Venture Failure: Evidence from European Firms' Investments in Emerging Economies [J]. International Business Review, 2013, 22(4): 713-724.
- [11] 王胜兰, 魏凤, 牟乾辉. 企业技术创新能力评价新方法的研究[J]. 运筹与管理, 2021, 183(6): 198-204.
- WANG Shenglan, WEI Feng, MOU Ganhui. Research on New Evaluation Method of Enterprise's Technology Innovation Ability [J]. Operations Research and Management Research, 2021, 183(6): 198-204. (in Chinese)
- [12] 肖叶黎, 刘纯阳. 农业上市企业创新能力评价及其区域差异研究——基于我国56家农业上市企业的面板数据[J]. 科技管理研究, 2021(21): 30-37.
- XIAO Yeli, LIU Chunyang. Evaluation of Innovation Ability of Listed Agricultural Enterprises and Study on Its Regional Difference Based on the Panel Data of 56 Listed Agricultural Enterprises in China [J]. Science and Technology Management Research, 2021(21): 30-37. (in Chinese)
- [13] CHEN Gong, BI Kexin, YANG Zaoli. An Improved Mutation Series Entropy-Based Algorithm for Evaluation of Innovation Ability of Enterprises [J]. International Journal of Performability Engineering, 2018, 14(4): 805-814.
- [14] 邵云飞, 穆荣平, 李刚磊. 我国战略性新兴产业创新能力评价及政策研究[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(2): 66-73.
- SHAO Yunfei, MU Rongping, LI Ganglei. China's Strategic Emerging Industry Innovation Capability Evaluation and Policy Research [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2020, 37(2): 66-73. (in Chinese)
- [15] 孟维站, 李春艳, 石晓冬. 中国高技术产业创新效率分阶段分析——基于三阶段DEA模型[J]. 宏观经济研究, 2019(2): 78-91.
- MENG Weizhan, LI Chunyan, SHI Xiaodong. A Phased Analysis of Innovation Efficiency in China's High-Tech Industries: Based on Three-Stage DEA Model [J]. Journal of Macroeconomic Research, 2019(2): 78-91. (in Chinese)
- [16] 王鸣涛, 叶春明, 赵灵玮. 基于CRITIC和TOPSIS的区域工业科技创新能力评价研究[J]. 上海理工大学学报, 2020, 42(3): 258-268.
- WANG Mingtao, YE Chunming, ZHAO Lingwei. Evaluation of Regional Industrial S&T Innovation Capability Based on CRITIC and TOPSIS [J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2020, 42(3): 258-268. (in Chinese)
- [17] 夏文飞, 苏屹, 支鹏飞. 基于组合赋权法的高新技术企业创新能力评价研究[J]. 东南学术, 2020(3): 153-161.
- XIA Wenfei, SU Yi, ZHI Pengfei. Research on Innovation Capability Evaluation of High-Tech Enterprises Based on Portfolio Weighting Method [J]. Southeast Academic Journal, 2020(3): 153-161. (in Chinese)
- [18] 董文莉, 赵懿. 基于云模型复杂信息系统仿真环境评估研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(12): 411-414, 427.
- DONG Wenli, ZHAO Yi. Research on Simulation Environment Evaluation of Complex Information System Based on Cloud Model [J]. Computer Simulation, 2016, 33(12): 411-414, 427. (in Chinese)
- [19] HASSEN O A, DARWISH S M, ABU N A, et al. Application of Cloud Model in Qualitative Forecasting for Stock Market Trends [J]. Entropy, 2020, 22(9): 991.
- [20] 吴慧, 王道平, 张茜, 等. 基于云模型的国际邮轮港口竞争力评价与比较研究[J]. 中国软科学, 2015(2): 166-174.
- WU Hui, WANG Daoping, ZHANG Qian, et al. Evaluation and Comparative Study of International Cruise Port Competitiveness Based on Cloud Model [J]. China Soft Science, 2015(2): 166-174. (in Chinese)

- [21] 邵一磊, 尤建新, 徐涛, 等. 基于云模型的证券公司竞争力评价方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2020, 48(10): 1515–1522.
- SHAO Yilei, YOU Jianxin, XU Tao, et al. An Approach for Evaluating Securities Companies Based on Cloud Model[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2020, 48(10): 1515–1522. (in Chinese)
- [22] 汤扬屹, 吴贤国, 陈虹宇, 等. 基于云模型与 D-S 证据理论的盾构施工隧道管片上浮风险评价[J]. 隧道建设, 2019, 39(12): 2011–2019.
- TANG Yangyi, WU Xianguo, CHEN Hongyu, et al. Evaluation of Floating Risk of Shield Tunnel Segments Based on Cloud Model and D-S Evidence Theory [J]. Tunnel Construction, 2019, 39 (12) : 2011–2019. (in Chinese)
- [23] LI Shuhao, SUN Qiang, LIU Shupe, et al. Risk Assessment for Supply Chain Based on Cloud Model[J]. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 2021, 41 (2) : 3523–3540.
- [24] 李德毅, 孟海军, 史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. 计算机研究与发展, 1995(6): 15–20.
- LI Deyi, MENG Haijun, SHI Xuemei. Membership Clouds and Membership Cloud Generators[J]. Journal of Computer Research and Development, 1995 (6) : 15–20. (in Chinese)
- [25] WANG Keqin, LIU Huchen, LIU Liping, et al. Green Supplier Evaluation and Selection Using Cloud Model Theory and the QUALIFLEX Method[J]. Sustainability, 2017, 9(5): 668–685.
- [26] 李存斌, 鲁平. 基于云模型的电力企业技术创新能力评价研究[J]. 科技管理研究, 2017, 37(2): 68–72.
- LI Cunbin, LU Ping. Research on Technological Innovation Capability of Electric Power Enterprise Based on Cloud Model [J]. Science and Technology Management Research, 2017, 37(2): 68–72. (in Chinese)
- [27] 闫军, 王杰, 徐旦. 基于云模型的区域物流指数综合评价[J]. 统计与决策, 2020, 36(4): 22–26.
- YAN Jun, WANG Jie, XU Dan. Comprehensive Evaluation of Regional Logistics Index Based on Cloud Model [J]. Statistics and Decision, 2020, 36(4): 22–26. (in Chinese)

作者简介



伊辉勇(1977–), 男, 辽宁盖州人, 博士, 教授, 主要研究方向为大规模定制和汽车产业。

E-mail: yihuiyong1977@126.com

通信作者



王旭(1997–), 女, 四川内江人, 硕士, 主要研究方向为高新技术产业。

Tel: 15093340393

E-mail: 1690499068@qq.com