

中国软件产业效率的测度及时空动态演进

焦云霞

(中国社会科学院数量经济与技术经济研究所,北京100732)

摘要:本文基于Global超效率DEA模型全面测度2009—2018年我国软件产业效率,并采用条件Kernel密度从静态和动态双重视角揭示中国软件产业效率的时空动态演进特征。研究发现,我国软件产业效率整体较低,东部、中部、西部地区间存在较大差距,并且该差距逐步扩大;东部、中部、西部三大地区内部省份间软件产业效率差距呈现不同程度的缩小;整体上我国省份间软件产业效率不存在空间集聚;东部地区内部省份间存在负向空间溢出效应,而中部、西部地区内部省份间不存在明显的空间溢出效应。为实现我国软件产业的高质量发展,本文建议进一步增强软件企业技术创新能力,各地区继续挖掘优势并着力补齐短板,构建软件产业协同发展格局。

关键词:软件产业效率;时空动态演进;Global超效率DEA模型;条件Kernel密度

中图分类号:F062.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2021)05—0027—12

一、引言

软件作为信息技术的灵魂,加速了数字中国、智慧社会的到来,成为新旧动能加速转换和我国经济由高速增长阶段转向高质量发展阶段的核心动力和重要抓手。软件产业作为信息产业发展的核心和新生力量,越来越受到世界各国的重视。2020年8月,国务院印发的《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》指出集成电路产业和软件产业将成为引领新一轮科技革命和产业变革的关键力量。据国家统计局发布的数据显示,2000—2019年,我国软件产业规模从560亿元增长至71768亿元,19年间增长127倍,是我国增长速度最快的产业之一,为实现经济社会高质量发展提供了重要支撑。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》提出建设“网络强国、数字中国”,加快新一代信息技术等产业发展,“推动互联网、大数据、人工智能等同各产业深度融合”。这对我国软件产业发展提出了更高的要求。虽然在国家各项优惠政策的支持下,我国软件产业规模快速增长,技术创新和应用能力大幅提升,但仍然存在许多问题。在此背景下,系统科学测度中国软件产业效率,并揭示其时空动态演进特征,不仅能够为促进软件产业高质量发展提供理论基础,更能为新一代信息技术助力数字经济发展提供决策参考。

从软件产业效率的视角出发,能够科学评估地区软件产业高质量发展水平,进一步为中国软件产业发展提供决策参考。在软件产业效率的测度方面,随机前沿分析(stochastic frontier analysis, SFA)和数据包络分析(data envelope analysis, DEA)是目前两种比较常用的测度方法,例如,沙德春和荆晶(2020)、白文(2015)、冯梅和王成静(2015)等采用DEA方法测度软件产业效率;冯鑫明和陈进(2015)、焦云霞(2016)、陈关聚(2015)采用SFA方法测度软件产业效率。与SFA方法相比,DEA方法作为一种非参数估计方法,由于无须设定具体函数形式,且可以同时考虑多个投入产出指标,在中国软件产业效率测度中得到了更为广泛的应用。通过对既有文献的分析可以发现,首先,在DEA分析框架下,已有研究多采用传统的CCR模型^①和BCC^②模型测度中国软件产业效率,难以对相对有效决策单元的效率进行比较;同时由于较多采用当期参比方法构建生产前沿面,导致效率测度结果无法跨期可比。而Global超效率DEA模型利用所有时期的投入产出数据确定一个共同生产前沿面,能够对效率测算值进行跨期比较,还能够对相对有效单元进行效率排序,但目前

收稿日期:2021—01—11

作者简介:焦云霞,博士,中国社会科学院数量经济与技术经济研究所,研究方向:技术创新、产业经济。

^① 该模型于1978年由A.Charnes、W.W.Cooper和E.Rhodes三位学者提出,所以取三位学者名字首字母,简称为CCR模型。

^② 该模型于1984年由R.D.Banker、A.Charnes和W.W.Cooper三位学者提出,所以取三位学者名字首字母,简称为BCC模型。

还很少有人将其应用到对中国软件产业效率的测度中,这为本文提供了一种新的解决思路。其次,全球软件产业具有集聚发展特征,而软件产业基地是各国软件产业集聚发展的重要载体,在我国也不例外,因此,目前对我国软件产业效率的分析很多以软件产业基地为研究对象(沙德春和荆晶,2020;石磊等,2019;吴文清和赵黎明,2012;朱方洲,2013);除此之外,软件产业发展较好的地区也成为众多学者的关注对象,因此有很多文献研究某些重点地区的软件产业效率(陈燕,2015;朱宗尧和乐嘉锦,2011),上述研究都对中国软件产业整体效率的考察有所忽视,因此,缺乏对中国软件产业整体效率的准确把握,这就更加凸显了全面系统测度中国软件产业效率的必要性。

在对软件产业效率的时空动态演进分析方面,通过对现有文献的梳理发现,目前涉及这方面的研究还比较少。而软件产业是信息产业的子行业。因此可以在对信息产业效率的时空演进分析中对软件产业的情况窥得一斑。在信息产业效率的时空特征研究方面,李文亮等(2015)研究发现我国信息产业具有从东部沿海地区向内陆地区递减的趋势,且整体效率水平有所提升,但不同地区之间的上升幅度存在明显差异;李威(2014)、沈能(2010)研究认为我国信息产业在空间上存在着地理集聚性和空间依赖性,且空间差异呈现不断缩小趋势,并随着时间的推移,这种趋势正在不断地加强;同时扩散效应在逐步增强,而极化效应逐步减弱。在现有较少的关于软件产业效率的时空特征的研究中,多采用简单的统计性分析比较(焦云霞,2016;贺力,2008)得出相关研究结论,而鲜有文章系统考察中国软件产业效率的空间集聚、收敛特征等,更没能从动态的视角揭示中国软件产业效率的动态演进。

既有文献为本文提供了有益借鉴,但在研究方法和研究内容上仍有待进一步完善,有鉴于此,本文利用 Global 超效率 DEA 模型测度 2009—2018 年中国 29 个省份^③的软件产业效率,并采用条件 Kernel 密度揭示中国软件产业效率的时空动态演进。与已有研究相比,本文的边际学术贡献在于:第一,在研究方法上,Global 超效率 DEA 模型可以对效率测算值进行跨期比较,还可以进一步评价效率相对有效单元。因此能够实现对软件产业效率的全面科学测度;第二,在研究内容上,利用空间条件 Kernel 密度方法,从静态和动态双重视角揭示软件产业效率的时空动态演进;第三,在应用价值上,通过对中国 29 个省份的软件产业效率进行全方位、多角度的考察,对软件产业的高质量发展提供理论依据。

二、研究方法与变量说明

(一)研究方法

1. Global 超效率 DEA 模型

DEA 方法一种非参数效率评价方法,用以评价一组具有多个投入产出的决策单元间的相对效率。该方法发端于 Farrell(1957)提出的理论基础,后来 Charnes et al(1979)进行完善,发展得到 CCR 模型和 BCC 模型两种传统 DEA 模型。传统 DEA 模型生产前沿面的构造运用当期数据,由于不同期的最佳生产前沿并不相同,因此,测得的效率值不能进行跨期比较;而且测得结果可能会出现若干个决策单元的效率值同时为 1 的情况,这样就不能继续对这些决策单元进行评价。为了解决上述问题,Pastor 和 Lovell(2005)、Andersen 和 Petersen(1993)分别提出了基于全局基准技术(global benchmark technology, GBT)的前沿面构造方法和超效率模型。

本文借鉴杨骞等(2017)的做法,将基于全局基准技术的前沿面构造方法和超效率模型相结合,构建 Global 超效率 DEA 模型对中国软件产业效率进行测算。基于所有时期的投入产出数据来确定一个共同前沿面,表示为

$$PT^{global} = (PT^1 \cup PT^2 \cup \dots, \cup PT^T) \quad (1)$$

其中: PT^{global} 表示基于全局基准的生产技术; $PT^t(t=1, 2, \dots, T)$ 表示不同时期的生产技术。

Global 超效率 DEA 模型可以表达为

^③ 由于西藏、青海和港澳台地区的数据缺失严重,因此本文选取 29 个省份进行实证研究。

$$\begin{aligned}
& \min_{\theta, z} \theta \\
& \text{s.t.} \begin{cases} \sum_{t=1}^T \sum_{n=1, n \neq k}^N z_n^t x_{nm}^t \leq \theta \bar{x}_{nm}^t, m = 1, 2, \dots, M \\ \sum_{t=1}^T \sum_{n=1, n \neq k}^N z_n^t y_{ns}^t \geq \theta \bar{y}_{ns}^t, s = 1, 2, \dots, S \\ z_n^t \geq 0, n = 1, 2, \dots, N, n \neq k, t = 1, 2, \dots, T \\ \bar{x}_m \geq x_{mk}, m = 1, 1, \dots, M \\ \bar{y}_s \geq 0, \bar{y}_s \leq y_{sk}, s = 1, 2, \dots, S \end{cases} \quad (2)
\end{aligned}$$

式(2)将每一个省份视为一个决策单元(decision making unit, DMU), 假设有 N 个 DMU, 在每个时期 $t(t=1, 2, \dots, T)$, 每个 DMU 使用 M 种投入($x \in R_+^M$), 联合生产 S 种产出($y \in R_+^S$)。 k 表示当前测算决策单元; θ 表示决策单元效率值; z 表示系数。在测算中需要通过 Charners-Cooper 转换方法将式(2)转化为等价的线性规划模型求解。

2. Kernel 密度估计

Kernel 密度估计基于非参估计方法研究不均衡分布问题, 由 Rosenblatt(1956)和 Parzen(1962)提出, 目前已在诸多领域得到广泛应用(陈明华等, 2020; 程开明和庄燕杰, 2012)。

Kernel 密度估计是利用估计得到的概率密度曲线来描述随机变量的分布形态。本文中设随机变量 X 的密度函数为 $f(x)$, 函数在点 x 的概率密度可以表示为

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{X_i - x}{h}\right) \quad (3)$$

其中: N 表示样本省份的个数; $K(\cdot)$ 表示 Kernel 函数; X_i 表示独立同分布的观测值; x 表示均值; h 表示带宽, 带宽值越大, 估计的密度函数曲线越光滑, 估计精度越低。

本文选择高斯核来估计中国软件产业效率的分布动态演进。高斯核函数可以表示为

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (4)$$

本文在 Kernel 密度估计中加入时间或空间因素, 得到条件 Kernel 密度估计表达式为

$$g(y|x) = \frac{f(x, y)}{f(x)} \quad (5)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{nh_x h_y} \sum_{i=1}^n K_x\left(\frac{X_i - x}{h_x}\right) K_y\left(\frac{Y_i - y}{h_y}\right) \quad (6)$$

其中: $f(x, y)$ 表示 x 和 y 的联合 Kernel 密度函数; $g(y|x)$ 表示在 x 的条件下 y 的分布状态。

(二) 指标与数据

1. 投入产出指标选取

“软件产业”的概念虽然被美国、欧盟、经济合作与发展组织(organization for economic co-operation and development, OECD)等国家和国际机构广泛使用, 但是其产业范围并没有得到明确界定, 通常的做法是将与软件产业相关的内容放到更大的产业类别(如信息与通信产业或信息业)中进行统计(方慧, 2008)。在不同机构和地区的分类体系中, 对软件产业的业务类型也有不同的界定。在北美产业分类体系中, 软件产业包括计算机编程服务、预装软件、计算机集成系统设计、计算机数据处理及备份、信息检索服务、计算机设施管理服务(Parzen, 1962)。在欧盟对软件产业的分类中, 软件产业包括硬件咨询, 软件出版、咨询和供给, 数据处理, 数据库活动, 维护和修护办公、会计的应用软件, 其他计算机相关服务等(Rosenblatt, 1956)。这与联合国统计委员会公布的“国际标准产业分类”第四版修订中的界定基本一致。在我国, 依据工业和信息化部所发布的数据、有关政策和信息来看, 软件产业包括软件产品和以软件为基础的相关服务, 具体来说包括软件产品、系统集成与支持服务、信息技术咨询服务、数据处理和存储服务、嵌入式系统软件和集成电路等业务。

本文将软件业务收入作为衡量软件产业产出的指标; 选用软件产业的固定资本存量作为衡量资本投入的指标; 选用就业人数和人力资本存量作为劳动投入指标, 这主要是考虑到软件产业的知识密集型特征, 同时从业人员的教育水平对软件产业发展具有重要影响。以上指标数据主要来源于历年《中国电子信息产业

统计年鉴(软件篇)》《中国统计年鉴》等。

2. 数据处理方法及结果

首先,对软件产业业务收入的处理。本文利用我国各省份第三产业增加值指数对各省份软件产业的业务收入进行平减,得到以 2009 年为基期的软件产业业务收入数值。其次,对软件产业固定资本存量的处理。本文在估计得到各省份初始资本存量后,接着基于永续盘存法(Goldsmith, 1951)按软件产业固定资产投资额的不变价格来计算各省份的软件产业的固定资本存量。具体方法为:首先用固定资产投资价格指数对软件产业固定资产投资进行平减,得到 2009 年不变价固定资产投资,然后根据 $K_0 = I_0 / (g + \delta)$ 计算各省份初始资本存量,其中, I_0 表示初始固定资产投资, g 表示研究范围内固定资产投资的几何平均增长率, δ 表示折旧率取 9.6%(张军等, 2004), K_0 表示初始资本存量,则第 t 年的资本存量 $K_t = I_t + K_{t-1}(1 - \delta)$ 。因为个别省份个别年份的软件产业固定资产投资额数据缺失,本文利用《中国统计年鉴》中有信息传输、软件和信息技术服务业的全社会固定资产投资额数据进行估算,首先计算已有的 2009—2018 年各省份的软件产业固定资产投资额占当年信息传输、软件和信息技术服务业全社会固定资产投资额的平均比例,再按该比例得出数据缺失省份软件产业固定资产投资额。此外,对软件产业就业人数的处理。各省份软件产业就业人数是利用本年年末就业人数和上一年年末就业人数的平均数求得。最后,对人力资本存量的处理。本文用各省份软件产业就业人员的平均受教育年数来表征软件产业人力资本存量,具体方法为:以各省份软件产业各受教育阶段的就业人数占总就业人数的百分比为权重,对各阶段的受教育年数^④进行加权平均求得最终数值。

利用上述方法处理后的变量描述性统计结果见表 1。由表 1 可以看出,软件产业业务收入最大值为 4926.79 亿元,该值为 2018 年北京的业务收入;而最小值为 1.76 亿元,该值为 2009 年宁夏的业务收入。从软件产业平均业务收入的角度来分析,2009—2018 年中国 29 个省份的软件产业平均业务收入排名前 5 位的分别是广东(3527.58 亿元)、北京(3209.72 亿元)、江苏(3209.33 亿元)、上海(1970.33 亿元)和山东(1533.72 亿元),这 5 个省份均属东部地区,由此可见我国东部地区的软件产业发展水平较高;而软件产业平均业务收入排名后 5 位的分别是海南(23.62 亿元)、甘肃(17.89 亿元)、山西(16 亿元)、内蒙古(14.96 亿元)和宁夏(5.83 亿元),除了海南属于东部地区,陕西属于中部地区外,其余 3 个省份均属西部地区,相对来说我国西部地区的软件产业发展比较落后。由上述分析可以对我国的软件产业发展现状有了基本的了解,下面将对我国软件产业效率的情况进行深入分析。

表 1 变量描述性统计

指标类型	指标	样本量	平均值	标准差	最大值	最小值
投入指标	固定资本存量(亿元)	290	167.27	286.97	2430	0.01
	年均从业人数(人)	290	153128.9	231648	1145786	882.5
	平均受教育年数(年)	290	15.9857	0.1956	16.4657	15.3773
产出指标	软件业务收入(亿元)	290	699.73	1080	4926.79	1.76

三、中国软件产业效率的测度结果

(一)中国软件产业效率全样本测度结果分析

本文基于 Global 超效率 DEA 模型利用 MATLAB 软件测算 2009—2018 年中国软件产业效率,所得结果见表 2。由表 2 可知,从总体来看我国软件产业效率较低,年均值为 0.5166,而且省份间的软件产业效率差距很大,存在两极分化现象。具体从各省份的软件产业效率年均值来看^⑤,排名前 5 位的省份依次为北京(1.0056)、广东(0.9243)、天津(0.8588)、江苏(0.8128)、上海(0.8012),这 5 个省份中,只有北京的软件产业效率年均值高于 1;而排名后 5 位的省份分别为甘肃(0.2801)、新疆(0.2800)、湖南(0.2744)、山西(0.2410)、宁夏(0.2297),这 5 个省份的软件产业效率年均值均低于 0.3;另外,软件产业效率年均值最高省份北京是最低省份宁夏的 4.38 倍。上述结果均表明我国省份间软件产业效率水平存在明显的差距。

从处在软件产业效率生产前沿面上的省份情况来看,在整个样本期内,仅有 1.17% 的样本点位于生产前

④ 考虑到软件产业是高新技术产业,对就业人员的受教育程度要求较高,因此本文划分为 3 个受教育阶段,分别是研究生及以上、本科、大专及以下,受教育年限分别为 20 年、16 年、15 年。

⑤ 中国软件产业效率年均值由高到低排名依次为北京、广东、天津、江苏、上海、福建、山东、浙江、四川、辽宁、吉林、陕西、重庆、贵州、内蒙古、河南、广西、河北、湖北、江西、云南、安徽、海南、黑龙江、甘肃、新疆、湖南、山西、宁夏。

沿面。具体来说,在整个样本考察期内,没有一个省份一直处在生产前沿面上;北京有5年在生产前沿面上,分别是2009—2012年和2018年;天津、上海、广东、福建、山东和贵州分别各有一年处于生产前沿面。除上述7个省份外,其余省份从未处于生产前沿面上,表明这些省份在软件产业发展过程中投入产出效率较低,存在效率提升的空间,有必要对其投入产出进行改进,应该充分、合理利用投入的有限生产要素,避免盲目投入而导致生产要素的浪费和闲置。

表2 2009—2018年中国各省份软件产业效率的测算结果

地区	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	年均值
北京	1.1178	1.0173	1.0166	1.0392	0.9939	0.9702	0.9043	0.9140	0.9720	1.1104	1.0056
天津	0.9306	0.8251	0.8276	0.7998	0.7544	0.7989	0.7322	0.7636	0.8484	1.3079	0.8588
河北	0.2767	0.6676	0.4700	0.3996	0.3622	0.3410	0.3197	0.2941	0.2873	0.2995	0.3718
山西	0.2771	0.3161	0.3228	0.3366	0.2578	0.1784	0.1788	0.1730	0.2005	0.1689	0.2410
内蒙古	0.6208	0.7047	0.5026	0.5488	0.5245	0.4788	0.4292	0.3714	0.2006	0.1654	0.4547
辽宁	0.7798	0.6608	0.7141	0.6950	0.6918	0.6522	0.6184	0.4606	0.5190	0.4118	0.6203
吉林	0.6108	0.5864	0.5221	0.4733	0.5073	0.5628	0.6149	0.6560	0.6635	0.6548	0.5852
黑龙江	0.3037	0.2785	0.2979	0.3488	0.3530	0.3240	0.3083	0.3068	0.2853	0.0957	0.2902
上海	0.6139	0.6684	0.8149	0.8501	0.8218	0.8066	0.7878	0.8118	0.9090	0.9277	0.8012
江苏	0.9124	0.8053	0.7656	0.7841	0.7837	0.7711	0.8128	0.8526	0.8552	0.7854	0.8128
浙江	0.6292	0.5777	0.5971	0.6887	0.7724	0.8119	0.8427	0.9044	0.8772	0.8968	0.7598
安徽	0.3507	0.3060	0.2797	0.2769	0.2688	0.2866	0.3067	0.3084	0.3199	0.3299	0.3034
福建	2.1137	0.7627	0.6759	0.6724	0.5493	0.6658	0.6281	0.5996	0.5746	0.5571	0.7799
江西	0.5432	0.4337	0.4001	0.3245	0.3086	0.3115	0.3089	0.2838	0.2508	0.2783	0.3444
山东	0.8530	1.0581	0.7511	0.7536	0.7374	0.7761	0.7554	0.7279	0.6461	0.6202	0.7679
河南	0.7352	0.5098	0.4228	0.4180	0.4302	0.4240	0.3875	0.3649	0.3731	0.3814	0.4447
湖北	0.4187	0.3584	0.3119	0.3877	0.4373	0.3271	0.2935	0.3348	0.3235	0.2802	0.3473
湖南	0.2575	0.2815	0.2742	0.2613	0.2900	0.2824	0.2609	0.2762	0.2902	0.2699	0.2744
广东	0.8330	0.7724	0.8683	0.9250	0.9272	1.0234	0.9609	0.9723	0.9727	0.9879	0.9243
广西	0.9473	0.4658	0.7005	0.4492	0.3256	0.2736	0.2235	0.1869	0.1872	0.3334	0.4093
海南	0.1777	0.2415	0.2295	0.4073	0.2940	0.2541	0.3430	0.2979	0.2581	0.5206	0.3024
重庆	0.4142	0.4316	0.4313	0.4901	0.5258	0.5657	0.5158	0.7870	0.3279	0.4234	0.4913
四川	0.5575	0.6001	0.7625	0.7971	0.7839	0.7564	0.7014	0.0577	1.0376	0.6259	0.6680
贵州	0.5063	1.0090	0.7908	0.4467	0.4445	0.4465	0.3418	0.1535	0.2699	0.2432	0.4652
云南	0.5187	0.5581	0.4871	0.4713	0.3622	0.2852	0.2429	0.0418	0.0569	0.2001	0.3224
陕西	0.5041	0.4798	0.4659	0.4885	0.5281	0.5711	0.6335	0.5888	0.6011	0.6010	0.5462
甘肃	0.4109	0.3912	0.3423	0.2869	0.2746	0.2325	0.2399	0.2290	0.2026	0.1907	0.2801
宁夏	0.2426	0.3560	0.2689	0.2309	0.2126	0.2158	0.2186	0.2053	0.1751	0.1713	0.2297
新疆	0.2735	0.2948	0.3327	0.3129	0.3317	0.2592	0.2064	0.2856	0.2090	0.2945	0.2800
全国	0.6114	0.5662	0.5396	0.5298	0.5122	0.5053	0.4868	0.4555	0.4722	0.4874	0.5166

(二)中国软件产业效率分地区测度结果分析

根据全样本的中国软件产业效率值,本文计算得出2009—2018年全国和东部、中部、西部地区^⑥软件产业效率的平均值和标准差(表3),以明晰我国不同地区、不同时段软件产业效率的总体分布和变化趋势。

表3 2009—2018年中国各地区软件产业效率平均值和标准差

年份	全国		东部地区		中部地区		西部地区	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
2009	0.6114	0.3815	0.8398	0.5068	0.4371	0.1747	0.4996	0.1976
2010	0.5662	0.2349	0.7324	0.2195	0.3838	0.1148	0.5291	0.2073
2011	0.5395	0.2226	0.7028	0.2123	0.3539	0.0869	0.5085	0.1842
2012	0.5298	0.2222	0.7286	0.1939	0.3534	0.0709	0.4522	0.1589
2013	0.5122	0.2254	0.6989	0.2171	0.3566	0.0917	0.4314	0.1666
2014	0.5053	0.2500	0.7156	0.2346	0.3371	0.1135	0.4085	0.1833
2015	0.4868	0.2449	0.7005	0.2094	0.3324	0.1281	0.3753	0.1852
2016	0.4555	0.2817	0.6908	0.244	0.338	0.1402	0.2907	0.2354
2017	0.4722	0.2991	0.7018	0.2620	0.3384	0.1411	0.3268	0.2876
2018	0.4874	0.3168	0.7659	0.3120	0.3074	0.1663	0.3249	0.1722

⑥ 本文对中国29个省份的区域划分参照《中国统计年鉴2019》,具体为:东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南11个省份;中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北和湖南8个省份;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏和新疆10个省份。

由表3可知,第一,2009—2018年软件产业效率年均值最高的地区是东部,该值为0.7277,其次是西部(0.4147)和中部地区(0.3538),由于东部地区软件产业效率较高,因此,拉动全国整体效率值超过中、西部地区,这也意味着东部地区是我国软件产业发展的主战场;由进一步计算可知,东部地区软件产业效率年均值是中部的2.06倍,是西部地区的1.75倍,这说明我国三大地区间软件产业效率水平也存在较大差距。第二,2009年和2018年东部地区与中部地区软件产业效率的平均值之比分别为1.92和2.49,而2009年和2018年东部地区与西部地区软件产业效率的平均值之比分别为1.68和2.36,从时间维度上看,中部、西部地区与东部地区在软件产业效率上的差距在逐渐扩大,且东-西部地区间差距扩大的幅度超过东-中部地区。第三,全国、东部、中部和西部地区软件产业效率标准差的年变化率分别为 -0.02% 、 -0.05% 、 -0.01% 和 -0.02% ,表明全国及东中西部地区内省份间软件产业效率差距都逐年缩小,且东部地区内省份间差距的降幅最大,中部地区内省份间差距的降幅最小。基于上述分析可以获知,有必要对全国和东部、中部、西部地区软件产业效率的整体分布分别进行刻画,结合地区内各省份软件产业效率,对不同地区软件产业效率内部差距的时空变化趋势及造成差距的源头省份做细致分析。

四、中国软件产业效率的时空演变特征

(一)中国软件产业效率的时变趋势

为从全局层面把握我国软件产业效率的时变趋势,此处使用无条件Kernel密度估计对2009年和2018年软件产业效率联合分布状态进行刻画。图1展示了我国软件产业效率的联合Kernel密度和密度等高线。其中, X 轴是2009年软件产业效率, Y 轴是2018年软件产业效率, Z 轴是 X - Y 轴平面内每一点的联合Kernel密度,平行于 Y 轴向 X 轴上的点作切面,此切面表示由2009年向2018年软件产业效率分布变动情况。图1(b)中,密度等高线表示不同的密度值,位置越靠近中心的等高线密度值越高;等高线越密集,说明密度变化越大,对应的核密度图形越陡峭。从图1可以看出,概率主体大部分都沿正45度对角线分布,表明2018年与2009年大多数省份的软件产业效率没有发生明显改变。接下来分析不同软件产业效率水平区间的具体情况,以软件产业效率值“0.6”为分界点,“0.6”以左(以下)表示低效率水平区间,“0.6”以右(以上)表示高效率水平区间。由图1(b)中可以看出,位于低效率水平区间的省份,其内部的等密度线位于对角线下方,说明这些省份的效率水平到2018年具有明显的向下转移趋势,即2009年软件产业效率较低的省份到2018年效率没有上升,反而下降了;位于高效率水平区间的省份,其内部的等密度线大部分沿正45度对角线分布,说明这些省份的效率水平到2018年稳定性加强,即2009年软件产业效率较高的省份到2018年效率值不存在明显变化。这种高、低效率水平省份的不同转移趋势可能会对全国和三大地区间软件产业效率的差距带来一定的时变影响,对此,我们以全国和东部、中部、西部地区为研究对象,分别讨论各地区软件产业效率的动态变化特征。

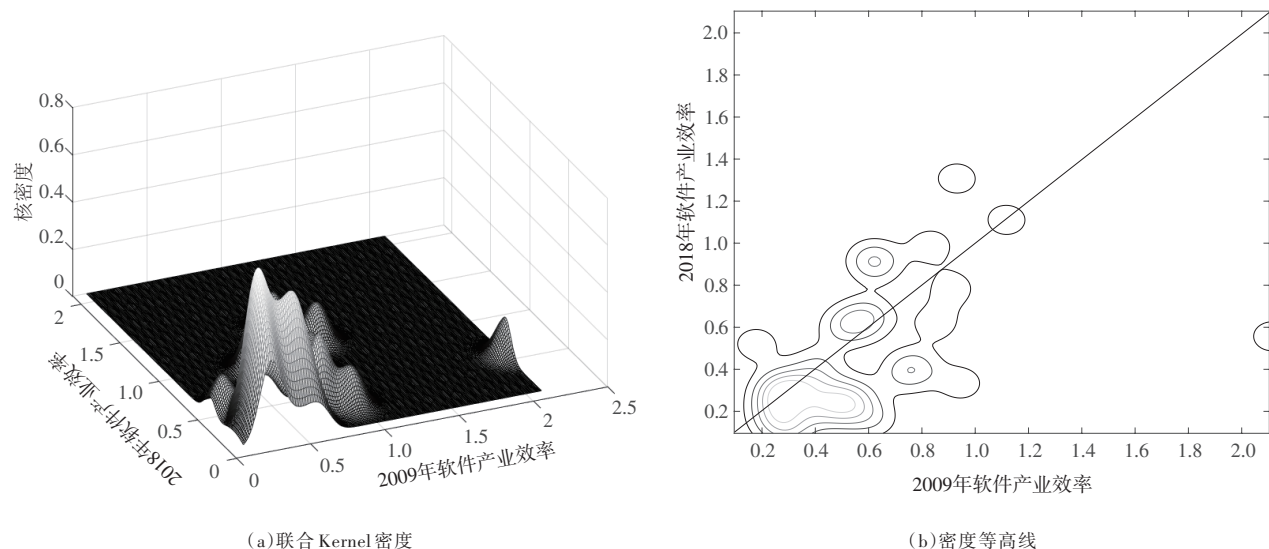


图1 中国软件产业效率联合Kernel密度分布曲线及密度等高线

为了明晰我国不同地区、不同时段下软件产业效率的总体分布和变化趋势,根据表2各省份软件产业效率结果,本文绘制了2009—2018年全国和东部、中部、西部地区软件产业效率整体分布的传统Kernel密度估计图(图2)。其中,图2(a)展示的是全国软件产业效率分布的Kernel密度估计,Kernel密度曲线在样本观察期内经历了由“双峰”到“单峰”的变化过程,且主峰高度变化经历了先变高再变矮的过程,说明中国软件产业效率经历了由两极分化到收敛的发展趋势;峰宽先变小再变大,同时右侧拖尾现象明显减弱,说明全国省份间软件产业效率的差距总体上具有缩小的趋势,但是2018年开始出现扩大的苗头。

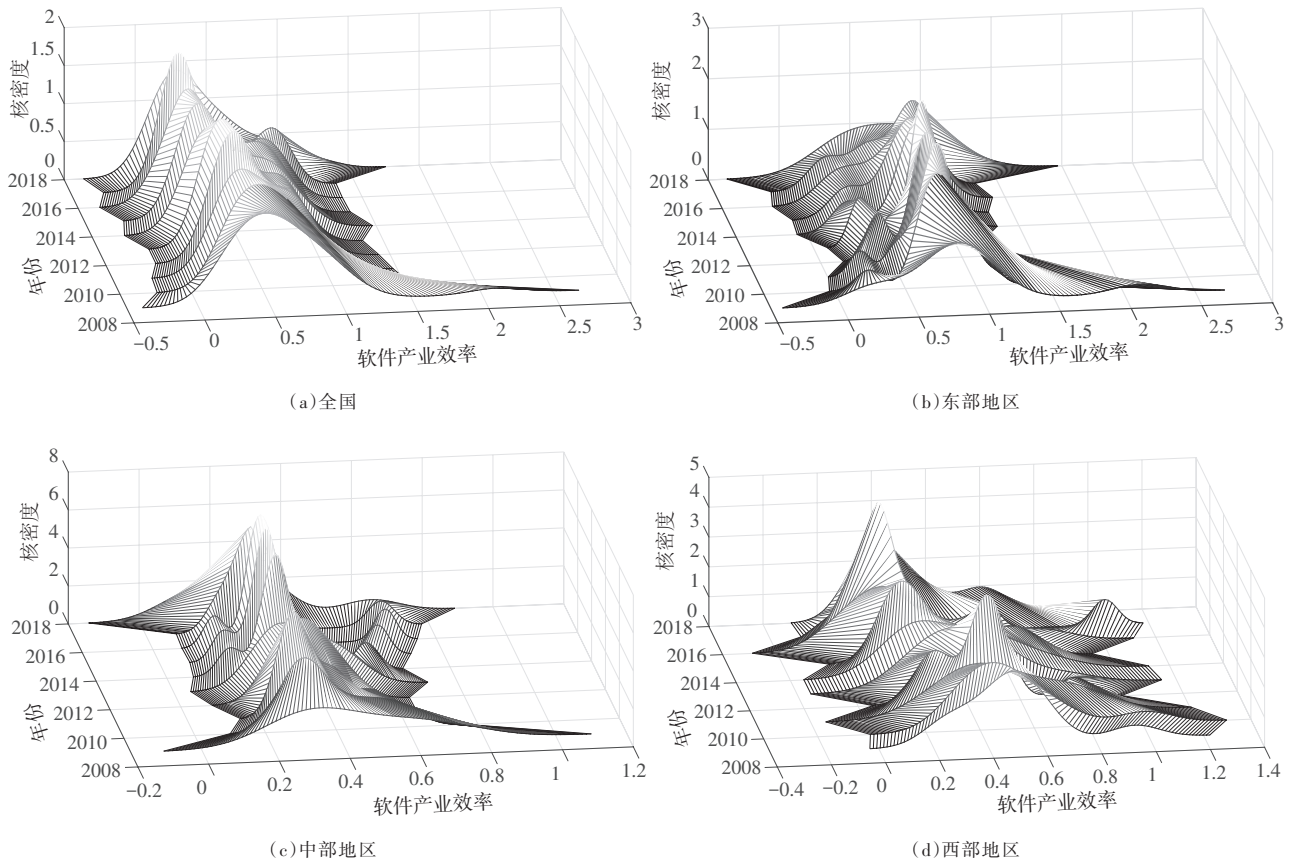


图2 全国和东中西部地区软件产业效率Kernel密度估计

图2(b)展示的是东部地区软件产业效率分布的Kernel密度估计,Kernel密度曲线在样本观察期内经历了由“单峰”到“多峰”的变化过程,且主峰高度由矮变高再变矮,这表明东部地区软件产业效率存在明显的多极分化和空间不均衡现象;峰宽由大变小再变大,右侧拖尾现象稍微减弱,说明东部地区各省份软件产业效率的差距在逐渐缩小。具体从东部地区内部各省份的软件产业效率来分析出现上述现象的根源,北京、广东、天津、江苏、上海和福建位居东部地区上游,其中江苏、北京和福建的年均增长率为负,下降速度最快的是福建,该省份的年均增长率为-13.77%;而山东、浙江、海南、辽宁和河北位居东部地区下游,其中浙江、海南和河北年均增长率为正,其中上升速度最快的是海南,该省份的年均增长率为12.69%,这说明东部地区的高水平和低水平省份中都存在一定的软件产业效率上升和下降的现象,但是相对来说高水平省份的下降幅度更大、上升幅度更小,而低水平省份的上升幅度更大、下降幅度更小,这就使得东部地区内省份间软件产业效率的差距逐年缩小。

图2(c)展示的是中部地区软件产业效率分布的Kernel密度估计,Kernel密度曲线在样本观察期内经历了由“单峰”到“多峰”再到“双峰”的变化过程,且波峰中心稍有左移,说明中部地区软件产业效率水平在逐渐下降且存在一定的多极分化趋势;波峰宽度明显变小,右侧拖尾现象有减弱趋势,表明中部地区各省份软件产业效率的差距在逐渐减小。具体从中部地区内部各省份的软件产业效率来分析出现上述现象的根源,吉林、江西、湖北和河南处于中部地区上游位置,其中效率水平最高省份吉林的效率值稍有增大,年均增长率

为0.78%,而效率水平较低省份江西、湖北和河南的年均增长率为负,下降速度最快的是江西,该省的年均增长率为-7.16%。黑龙江、山西、湖南和安徽处于中部地区的下游位置,除了湖南外其余3个省份的年均增长率均为负,其中下降速度最快的是黑龙江,该省的年均增长率为-12.04%,这说明中部地区绝大部分省份的软件产业效率值都有所下降,只有吉林和湖南软件产业效率值稍有上升。整体来看,中部地区内部省份间软件产业效率差距呈轻微的缩小趋势。

图2(d)展示的是西部地区软件产业效率分布的Kernel密度估计,Kernel密度曲线在样本观察期内右拖尾现象一直存在,并呈减弱趋势,表明西部地区各省份软件产业效率的差距逐渐变小。具体从西部地区内部各省份的软件产业效率来分析,四川、重庆、陕西、内蒙古和贵州位于西部地区的上游位置,其中内蒙古和贵州年均增长率为负,这两个省份的年均增长率绝对值很大,分别为-13.67%和-11.04%。新疆、宁夏、甘肃、广西和云南位于西部地区的下游位置,其中宁夏、甘肃、广西和云南的年均增长率均为负,但年均增长率绝对值相对较小,由此可知,西部地区内部软件产业高效率水平省份的效率值降低幅度大于低效率水平省份的降低幅度,进而使得西部地区内部省份间软件产业效率的差距减小。

(二)中国软件产业效率的空间分布演进

由表3可以看出,2009—2018年,中国软件产业效率的空间差异比较明显,表现出东部地区高于中、西部地区的特征,进一步比较2018年和2009年各省份软件产业效率可发现,东部地区的北京、广东、天津、江苏和上海始终位于第一梯队,而中部地区的吉林及西部地区的陕西和四川效率有所提升,这势必会影响全国和东、中、西部地区软件产业效率的空间分布。接下来本文将采用空间条件静态和动态Kernel密度估计来对我国软件产业效率的空间分布演进趋势做详细分析。

1. 中国软件产业效率的空间集聚模式

空间条件静态Kernel密度估计可用于分析空间滞后条件下省份之间软件产业效率的分布趋势,得到全国软件产业效率的空间集聚模式类型。图3(a)和图3(b)分别展示的是全国本省份及相邻省份软件产业效率空间条件静态Kernel密度估计和密度等高线。其中,X轴是相邻省份的软件产业效率;Y轴是本省份的软件产业效率;垂直于X-Y平面的Z轴为条件Kernel密度;从X轴上的点做平行于Y轴的垂面,所得切面上的曲线表示从X轴上的点到Y轴上任一点的条件概率密度,描述了从相邻省份到本省份软件产业效率水平的转移概率分布。参考沈丽等(2019)相关研究,若密度等高线集中在正45度对角线两侧,则认为本省份与相邻省份间存在高-高(低-低)型空间集聚模式;若密度等高线集中在负45度对角线两侧,则表示本省份与相邻省份间存在高-低型空间集聚模式;若密度等高线集中在平行于X轴的某条直线附近,则表示本省份与相邻省份间不存在空间集聚。从图3(b)可以看出,全国密度等高线中概率主体分布呈现平行于X轴的趋势,说明相邻省份与本省份的效率水平不具有明显相关性,也就是说本省份与相邻省份间不存在显著的空间集聚。

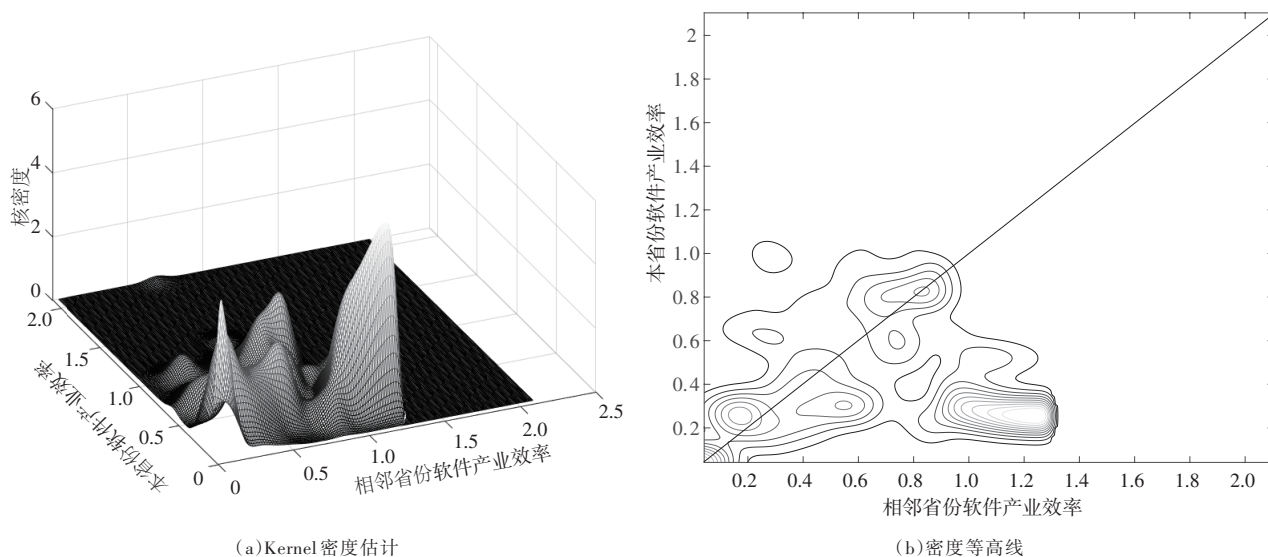


图3 全国软件产业效率空间条件静态Kernel密度估计及密度等高线

2. 中国软件产业效率的空间溢出效应

为进一步揭示不同省份软件产业效率在空间滞后条件下是否对本省份软件产业效率产生不同的长期影响,本文分别分析了东部、中部和西部3个地区空间滞后条件下相邻省份软件产业效率在 $t+3$ 年对本省份软件产业效率的影响^⑦,结果如图4~图6所示。图4~图6中(a)和(b)分别表示存在空间滞后时东部、中部和西部3个地区的软件产业效率的空间条件动态 Kernel 密度估计和密度等高线,其中, X 轴是相邻省份 t 年的软件产业效率, Y 轴是本省份 $t+3$ 年的软件产业效率。

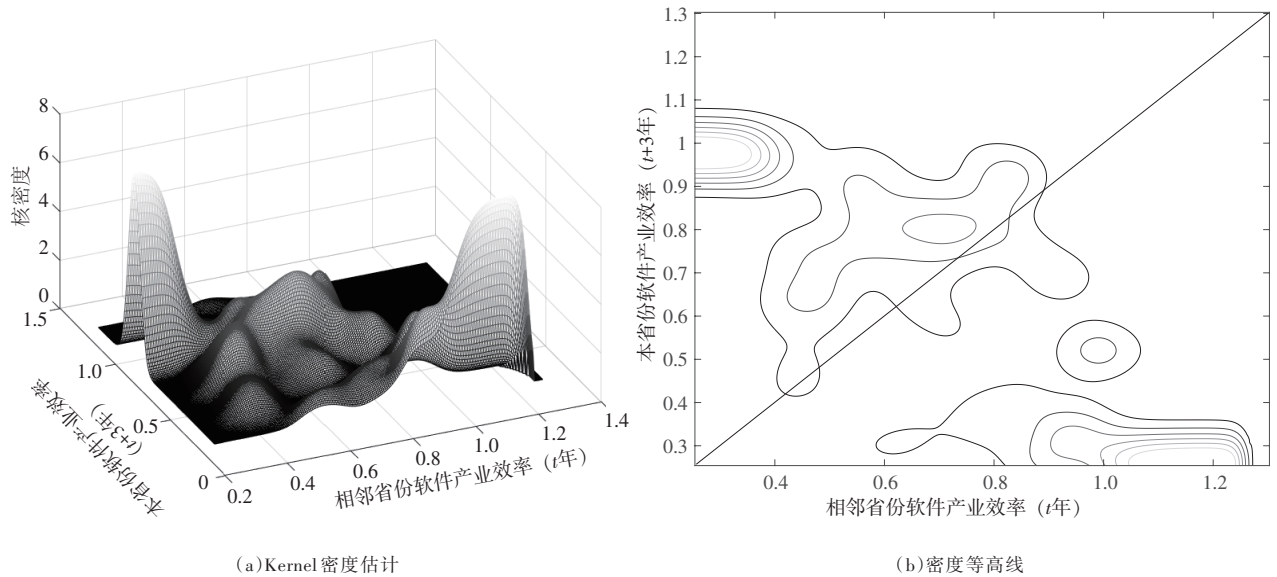


图4 东部地区软件产业效率空间条件动态 Kernel 密度估计及密度等高线

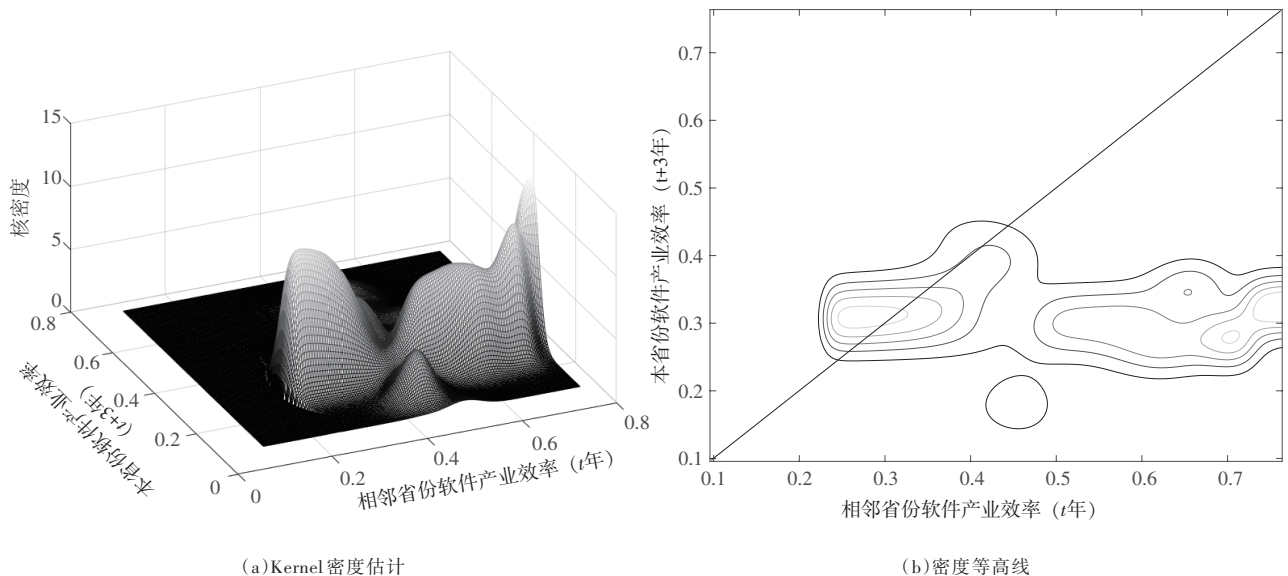


图5 中部地区软件产业效率空间条件动态 Kernel 密度估计及密度等高线

第一,在图4(a)和图4(b)中,东部地区密度等高线大致分布于负45度对角线附近,表明东部地区内部相邻省份对本省份的软件产业效率呈现一定的负向空间溢出效应。具体分析与不同效率水平区间的省份相邻的情况,当相邻省份 t 年的软件产业效率值低于0.4时,概率主体的分布呈现平行于 X 轴的趋势,即低水平的相邻省份在3年滞后期条件下对本省份的软件产业效率水平没有影响,不存在溢出效应;当相邻省份软件 t

^⑦ 本文分别对 $t+1$ 、 $t+2$ 和 $t+3$ 空间溢出效应进行了分析,发现滞后期为1年和2年时,本文的溢出效应结果依然稳健。限于篇幅,本文未对滞后期为1年和2年的分析结果做具体汇报。

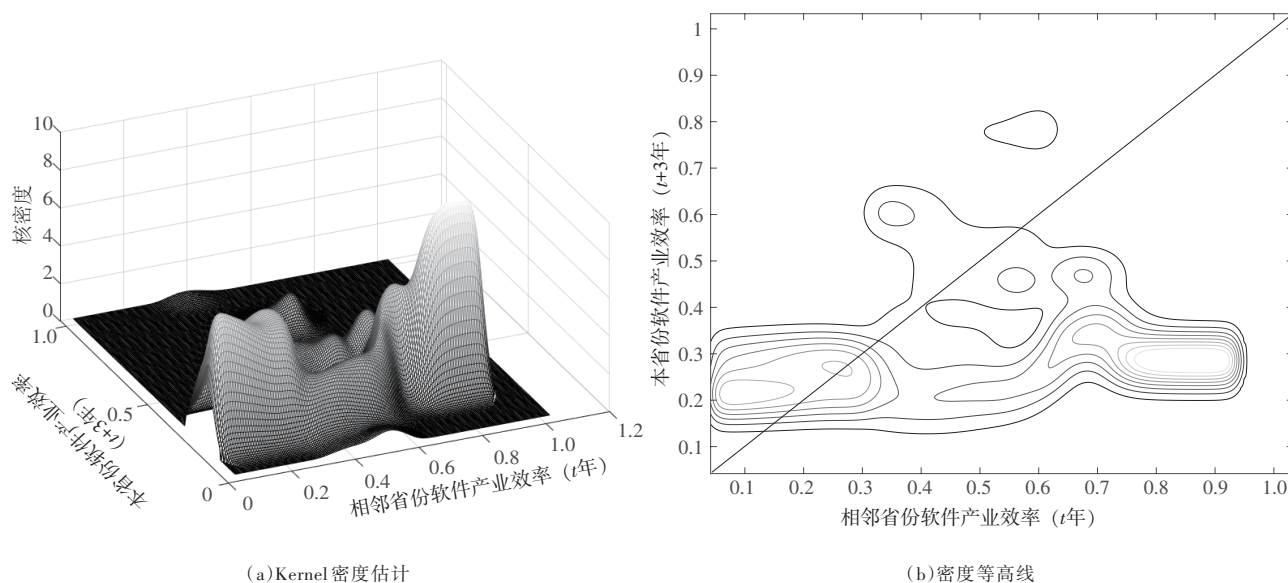


图6 西部地区软件产业效率空间条件动态Kernel密度估计及密度等高线

年的产业效率高于0.4且低于0.9时,概率主体开始分布在正45度对角线附近,相邻省份在3年滞后期条件下对本省份的软件产业效率呈现明显的正向相关性;当相邻省份 t 年的软件产业效率高于0.9时,概率主体的分布呈现平行于 X 轴的趋势,即高水平的相邻省份在3年滞后期条件下对本省份的软件产业效率水平没有影响,不存在溢出效应,这表明高水平的相邻省份并未能够推动本省份软件产业效率水平向上转移,因此不具有明显的空间溢出作用。

第二,在图5(a)和图5(b)中,中部地区密度等高线大体呈现平行于 X 轴的趋势,表明中部地区内部相邻省份在3年滞后期条件下对本省份的软件产业效率水平没有明显影响,不存在显著溢出效应。具体分析与不同效率水平区间的省份相邻的情况,当相邻省份 t 年的软件产业效率值低于0.4时,概率主体主要分布在正45度对角线附近,说明相邻省份在3年滞后期条件下对本省份的软件产业效率呈现明显的正向相关性;当相邻省份 t 年的软件产业效率高于0.4时,概率主体的分布呈现平行于 X 轴的趋势,随着相邻省份的软件产业效率的上升,概率主体向上偏移,尤其是高于0.5时与正45度对角线平行的部分明显增多,这表明高水平的相邻省份能够推动本省份软件产业效率水平向上转移,具有一定的正向空间溢出作用。

第三,在图6(a)和图6(b)中,西部地区密度等高线大体呈现平行于 X 轴的趋势,表明西部地区内部相邻省份在3年滞后期条件下对本省份的软件产业效率水平没有影响,不存在溢出效应。具体分析与不同效率水平区间的省份相邻的情况,当相邻省份 t 年的软件产业效率值低于0.3时,概率主体的分布呈现平行于 X 轴的趋势,即低水平的相邻省份在3年滞后期条件下对本省份的软件产业效率水平没有影响,不存在溢出效应;当相邻省份软件 t 年的产业效率高于0.3且低于0.7时,概率主体开始分布在正45度对角线附近,表明相邻省份在3年滞后期条件下对本省份的软件产业效率呈现一定的正向相关性;当相邻省份 t 年的软件产业效率值高于0.7时,概率主体的分布呈现平行于 X 轴的趋势,即高水平的相邻省份在3年滞后期条件下对本省份的软件产业效率水平没有影响,不存在溢出效应。

综上所述,无论东部、中部,还是西部地区,当相邻省份软件产业效率相对较低时,相邻省份对本省份几乎不存在溢出效应。当相邻省份软件产业效率相对中等时,东部、中部和西部三个地区都呈现明显的正向相关性,相邻省份都表现出正的空间溢出效应。当相邻省份软件产业效率相对较高时,情况就变得比较复杂,具体来说,东部地区内部省份软件产业效率已经发展到较高水平,此时即使相邻省份软件产业效率水平也很高,但对本省份几乎不产生溢出效应,这说明东部省份软件产业已经进入一个发展“瓶颈”期,应该充分利用各种内外部有利条件突破“瓶颈”,获得进一步发展;中部地区虽然效率处于低位,但受益于相邻高效率水平地区的正向空间溢出影响,因此呈现较为强劲的发展态势;而西部地区由于大部分省份软件产业基础、技术基础比较薄弱,所以即使与效率水平较高省份相邻,仍无力吸纳高水平地区的带动作用,因此溢出效应也不是很明显。

五、研究结论与政策建议

本文基于 Global 超效率 DEA 模型全面科学测度 2009—2018 年中国 29 个省份的软件产业效率,并采用空间条件 Kernel 密度从静态和动态双重视角揭示中国软件产业效率的时空动态演进特征。通过本文研究得到如下结论:首先,我国软件产业效率全样本测度结果表明,我国软件产业效率整体较低,但两极分化现象严重,仅有少数几个省份在样本考察期内处于生产前沿面;从地区角度来看,东部、中部、西部 3 个地区间软件产业效率水平也存在较大差距,其中东部地区软件产业效率最高,而且中西部与东部地区间的差距仍在扩大。其次,在时间维度上,东部、中部和西部地区内部省份间效率差距呈现缩小趋势。最后,在空间维度上,从空间集聚模式类型来看,我国软件产业效率省份间不存在空间集聚现象;从空间溢出效应来看,东部地区内部相邻省份在 3 年滞后期条件下对本省份的软件产业效率水平存在负向溢出效应,而中、西部地区内部相邻省份在 3 年滞后期条件下对本省份的软件产业效率不存在明显的空间溢出效应。

系统科学测度中国软件产业效率,并揭示其时空动态演进特征,不仅有助于促进软件产业高质量发展,更能推动新一代信息技术助力数字经济发展。因此基于本文的实证结论和现实背景,提供如下政策建议:

第一,增强软件企业技术创新能力,推动软件产业的高质量发展。我国软件产业整体效率较高,但两极分化现象严重,仍需进一步提升软件产业效率。而产业效率的提升依赖于企业技术创新能力的增强。国家应该通过税收优惠政策推动企业强化创新能力建设,鼓励软件企业加大在基础软件、应用软件、工业软件、高端芯片等关键技术领域的研发投入力度,并完善支持云计算、大数据、人工智能、区块链等新兴业态的优惠政策;应该通过完善知识产权保护政策,要同时扩大保护范围和加强保护力度,激励软件企业增加研发投入、增加专利产出,提升软件企业的原始创新能力,并增强软件创新成果的运用转化能力。

第二,立足本地区软件产业发展现状,继续挖掘优势并着力补齐短板。虽然软件产业效率较高的东部地区集聚了全国近三分之二的国家火炬软件基地,且资本和人力等要素供给充足,但是目前产业效率提升面临“瓶颈”,应该充分利用各种内外部有利条件突破“瓶颈”,在先进存储、先进计算、高端封装测试等领域寻求新的产业发展增长点,推动产业向特色化、高端化发展。效率处于低位的中部地区应该继续在软件产业基础设施投入和产业融合发展方面加大力度,进一步推进信息技术服务产业集群建设。而西部地区需要借助政府政策支持来促进产业发展,鼓励当地政府部门通过购买服务的方式,将适合通过市场化方式提供的电子政务建设和数据中心建设等工作交由符合条件的软件企业承担。

第三,构建软件产业协同发展格局,采取措施充分发挥空间溢出效应。本文的研究表明我国软件产业发展溢出效应不是很明显,各省份之间没有形成良好的联动,发展相对孤立。为此,各地政府在制定软件产业发展政策时,应该注重地区内外的交流合作,充分调动各种社会资源搭建跨地区的合作平台,建立地区间软件产业发展交流合作机制,地区内部加强沟通交流、地区之间开展双向合作;还要积极探讨构建市场一体化的软件产业体系,软件产业发展较好的省份要发挥辐射带动作用,促进要素合理配置、产业合理布局,增强各省份软件产业高质量发展水平,为构建新发展格局夯实基础。

参考文献

- [1] 白文, 2015. 基于 DEA 的我国省域软件产业效率研究[D]. 南昌: 江西财经大学.
- [2] 陈关聚, 2015. 基于人力资本视角的国家软件产业基地创新效率研究[J]. 中国科技论坛(9): 97-102.
- [3] 陈明华, 张晓萌, 刘玉鑫, 等, 2020. 绿色 TFP 增长的动态演进及趋势预测——基于中国五大城市群的实证研究[J]. 南开经济研究(1): 20-44.
- [4] 陈燕, 2015. 基于 DEA 的软件企业技术创新效率评价研究——以南京市为例[J]. 商(9): 11-12.
- [5] 程开明, 庄燕杰, 2012. 城市体系位序-规模特征的空间计量分析——以中部地区地级以上城市为例[J]. 地理科学, 32(8): 905-912.
- [6] 方慧, 2008. 经济全球化背景下中国软件产业发展模式研究[M]. 北京: 中国财政经济出版社.
- [7] 冯梅, 王成静, 2015. 我国各地区软件与信息技术服务业绩效评价研究[J]. 经济问题(8): 66-70.
- [8] 冯鑫明, 陈进, 2015. 软件和信息技术服务业创新效率研究[J]. 江苏科技大学学报(社会科学版), 15(1): 98-103.
- [9] 高素梅, 2006. 科学界定我国软件产业的概念及统计分类[J]. 中国信息化(20): 26-29.
- [10] 贺力, 2008. 我国软件产业全要素生产率研究[D]. 杭州: 浙江工商大学.
- [11] 焦云霞, 2015. 我国软件产业效率地区差异及影响因素研究[M]// 李平, 黄茂兴. 21 世纪数量经济学(第 16 卷). 北京: 经济管理出版社: 365-382.

- [12] 焦云霞, 2016. 中国软件产业效率研究[M]// 李平, 殷先军. 21 世纪数量经济学(第 17 卷). 北京: 经济管理出版社, 418-433.
- [13] 李德升, 2012. 我国软件产业发展的财税政策研究[D]. 北京: 财政部财政科学研究所.
- [14] 李威, 2014. 中国电子信息产业技术效率趋势与空间收敛性研究——基于随机前沿生产函数的探讨[J]. 电子制作(6): 135-154.
- [15] 李文亮, 于长钺, 许正中, 2015. 基于空间效应的我国信息产业效率演进的时空特征研究[J]. 情报科学, 33(4): 9-12.
- [16] 沙德春, 荆晶, 2020. 中国国家软件产业基地运行效率研究[J]. 科技管理研究, 40(20): 58-63.
- [17] 沈丽, 张好圆, 李文君, 2019. 中国普惠金融的区域差异及分布动态演进[J]. 数量经济技术经济研究, 36(7): 62-80.
- [18] 石磊, 王宁宁, 赵伟, 2019. 基于 DEA 方法对软件谷孵化基地运营效率的研究分析[J]. 科技经济市场(11): 87-90.
- [19] 吴文清, 赵黎明, 2012. 中国国家软件产业基地动态效率评价[J]. 工业工程, 15(6): 37-43.
- [20] 沈能, 2010. 中国电子信息产业技术效率趋势与空间收敛性研究——基于随机前沿生产函数的分析[J]. 科学学与科学技术管理, 31(7): 49-53.
- [21] 张军, 吴桂英, 张吉鹏, 2004. 中国省际物质资本存量估算: 1952-2000[J]. 经济研究(10): 35-44.
- [22] 朱方洲, 2013. 国家软件产业基地运营效率研究——基于三阶段 DEA 模型[J]. 华东经济管理, 27(12): 93-98.
- [23] 朱宗尧, 乐嘉锦, 2011. 上海软件产业全要素生产率评价——基于 Malmquist 指数的分析[J]. 上海经济研究(6): 100-106.
- [24] ANDERSEN P, PETERSEN N C, 1993. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Science, 39(10): 1261-1264.
- [25] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E, 1979. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 2(6): 429-444.
- [26] FARRELL M J, 1957. The measurement of productive efficiency[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 120(3): 253-290.
- [27] GOLDSMITH R W, 1951. A perpetual inventory of national wealth[M]. New York: NBER: 5-74.
- [28] PARZEN E, 1962. On estimation of a probability density function and model[J]. Annals of Mathematical Statistics, 33(3): 1065-1076.
- [29] PASTOR J T, LOVELL C, 2005. A global Malmquist productivity index[J]. Economics Letters, 88(2): 266-271.
- [30] ROSENBLATT M, 1956. Remarks on some nonparametric estimates of a density function[J]. Annals of Mathematical Statistics, 27(3): 832-837.

Measurement of the Efficiency of China's Software Industry from the Perspective of High-quality Development

Jiao Yunxia

(Institute of Quantitative & Technological Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: Based on Global Super DEA model, the efficiency of China's software industry from 2009 to 2018 is measured, and its spatial-temporal evolution characteristics by using conditional Kernel density is revealed. It is found that the efficiency of China's software industry is low, but there is a large gap between the eastern, central and western regions, and the gap is gradually widening. The gaps of software industry efficiency among provinces in the eastern region, the central region and western region are narrowing. On the whole, there is no spatial agglomeration in the efficiency of software industry among provinces. There is a negative spatial spillover effect in the eastern region, but there is no spatial spillover effect in the central and western regions. In order to realize the high-quality development of China's software industry, it is proposed to further enhance the technological innovation ability of China's software enterprises. All regions should continue to tap the advantages and make up for the shortcomings, and build a collaborative development pattern of software industry.

Keywords: efficiency of software industry; Global Super DEA model; spatial-temporal evolution; conditional Kernel density