

新冠疫情下中国与“一带一路”沿线国家的贸易潜力分析

韩宝宇, 王晓萌, 李新民*

青岛大学数学与统计学院, 山东 青岛

收稿日期: 2022年11月21日; 录用日期: 2022年12月15日; 发布日期: 2022年12月26日

摘要

新冠肺炎疫情导致了全球健康危机和深刻的经济衰退, 本文在新冠肺炎疫情的背景下, 分析研究中国与“一带一路”沿线国家贸易的贸易潜力。在沿线国家GDP、人口、贸易关税和贸易便利化等指标的基础上, 添加卫生保健指数、医疗质量和可及性、防控指数一共10个指标, 利用上述10个指标构造基于Linear kernel, Polynomial kernel, Radial Basis kernel和Laplacian kernel的高斯过程模型。根据RMSE评估指标得出, 基于多项式核函数高斯过程回归效果最佳, 进而用其对2020年出口值进行预测, 分析中国与沿线国家间的出口潜力。

关键词

模型拟合与预测, 高斯过程回归, 核函数

Analysis of Trade Potential between China and Countries along the “The Belt and Road” under the COVID-19

Baoyu Han, Xiaomeng Wang, Xinmin Li*

School of Mathematics and Statistics, Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: Nov. 21st, 2022; accepted: Dec. 15th, 2022; published: Dec. 26th, 2022

Abstract

The COVID-19 has led to the global health crisis and profound economic recession. In the context

*通讯作者。

of the COVID-19, we analyze the trade potential of China's trade with countries along the "the Belt and Road". In addition to these variables of GDP, population, trade tariff, trade facilitation and other indicators of countries along the line, we add 10 indicators, including health care index, medical quality and accessibility, and prevention and control index. Then above 10 indicators are used to construct a Gaussian process model based on the Linear kernel, the Polynomial kernel, the Radial Basis kernel, and the Laplacian kernel. According to the computation results, the regression effect of Gaussian process based on polynomial kernel function is the best, and then it is used to forecast the export value in 2020 and analyze the export potential between China and countries along the line.

Keywords

Model Fitting and Prediction, Gaussian Process Regression, Kernel Function

Copyright © 2022 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. 研究背景与国内外研究现状

1.1. 疫情对中国及“一带一路”沿线国家外贸的宏观影响

新冠病毒在世界的迅速蔓延,不仅增加了“一带一路”倡议建设的不确定性,使其面临严峻的挑战,同时也增加了国际市场环境的波动性。

新冠肺炎对中国及沿线国家贸易的影响,可以从下面几个方面分别进行讨论。对于沿线国家,新冠疫情对“一带一路”项目的实施主要有以下两点影响:一是当地项目的劳动力不足。由于项目劳动力一部分来源于当地,另一部分来源于中国,出于防控需要,不得限制人员流动,使得无法向当地提供充足的劳动力。二是境外供应链断裂,由于部分原材料和一些机械设备来自中国,工厂停工,港口关闭,航班取消,道路阻塞导致补给品和设备无法到达现场。由于各级政府加强了预防和控制措施,给“一带一路”项目带来一定影响,原料和设备送不出去,对外供应跟不上。这些干扰可能造成项目延误,增加成本,严重可能导致当地承包商破产。

对于中国内部,承受与 COVID-19 作战的压力,其背后所要承担的财政预算也是巨大的。为了应对 COVID-19 带来的经济影响以及支撑中国医疗基础设施并恢复受损的中小企业部门所需的巨额投资,部分“一带一路”项目资源转移国内。此外中美经贸摩擦不断加剧和国内严格的防疫隔离措施,使部分企业生产侧受到严重影响,将生产从中国外迁。最后,全球生产和消费的放缓和医疗物资生产本土化,使中国丢失一批海外订单,给处于全球供应链的中国企业带来了冲击。

1.2. 贸易潜力研究综述

目前有关贸易潜力的研究方法主要有基于引力模型,CGE 模型,GTAP 模型,差分 GMM 模型和系统 GMM 模型。最早是 Tinbergen 和 Pouthonen 将引力模型应用到国际贸易领域[1] [2],随后 Nilsson 和 Egger 将传统引力模型回归估计值作为贸易潜力,真实贸易值与贸易潜力的比值作为贸易效率[3] [4]。Huang 等基于贸易引力模型,选择中国的 GDP、贸易伙伴的 GDP、双边距离、国界、铁路货运量、人口增长率和 WTO 作为解释变量,构建了中国对五个中亚国家出口的计量方程,预测中国未来的出口增长潜力[5]。Akaev 等使用回归方程式和引力模型描述了欧盟以及俄罗斯与中国的进出口,建立了对中国与欧盟和俄

罗斯经济发展的长期预测模型[6]。Lee 运用引力模型揭示了“一带一路”倡议对中国与中亚国家之间贸易的影响,实证结果表明贸易的增长归因于“一带一路”倡议下修建的石油和天然气管道以及中国制造业产品出口的增长[7]。传统贸易引力模型本身存在很多改进之处,例如贸易无摩擦的苛刻假设和引入少量客观阻力因素而忽略人为阻力因素,导致模型的估计误差偏高。为了解决这些问题,随机前沿技术被引入到引力模型中,称为随机前沿引力模型,将不可观测的因素作为限制贸易因素单独被处理而不是归于传统引力模型中的随机扰动项[8]。陈敏等使用随机前沿引力模型实证检验贸易非效率对中国及沿线国家贸易的影响。分析得出,中国与“一带一路”沿线国家的贸易效率整体水平偏低,贸易潜力有待进一步提升[9]。佟家栋使用 CGE 模型研究减少腐败,提高透明度来降低贸易成本对经济产生的影响,结果表明透明度的提供和腐败程度的降低使全球各国获得显著的贸易增长[10]。陈虹等运用 CGE 模型发现自由贸易区的建立使沿线国家的 GDP、贸易总值均有不同程度的提高[11]。杨军等运用 GTAP 模型发现通关时间的缩短显著促进贸易便利化的提升和经济的增长[12]。刘宇等利用 GTAP 模型分析了关税减少和贸易便利化程度提升对经济的影响,且贸易便利化对经济的促进作用要大于关税减少[13]。周岩等运用 GTAP 模型模拟了贸易便利化和贸易自由度对沿线国家外贸的影响,并发现随着中国贸易规模的显著提升,贸易顺差总额也随之增大[14]。孙林运用差分 GMM 模型,实证分析了中国与东盟国家贸易便利化程度对谷物进口流量的影响。并发现港口、铁路等基础设施质量的提升和海关程序负担的减弱,对区域谷物进口额有显著的正向作用[15]。

1.3. 研究内容及方法

本文研究了中国与沿线国家贸易的影响因素及出口值预测。引入沿线国家的 GDP、人口、贸易关税、贸易便利化得分、双边距离、卫生保健、医疗质量和可及性、防控指数、是否上合组织成员国、是否与中国地理毗邻共 10 个指标作为预测变量,构造基于核函数的高斯过程模型,对 2020 年中国与沿线国家出口金额进行预测,得到各沿线国家的贸易潜力。

2. 贸易影响因素

2.1. 自变量的设定

新冠肺炎疫情的爆发使全世界意识到医疗体系质量的重要性。通过对先前学者关于贸易潜力影响因素研究的总结,在此基础上加入卫生保健、医疗质量和可及性、防控指数这三个指标,因此结合沿线国家的国民生产总值、与中国的双边距离、人口、贸易关税、卫生保健指数、医疗质量和可及性、贸易便利化、防控指数、是否为上合组织成员国和地理位置是否与中国毗邻共 10 个因素作为自变量,构造贸易影响因素体系,研究其对因变量出口贸易的影响是否显著。本文将对贸易潜力的影响因素分析做一个新的尝试,本文所研究的具体影响因素见表 1。

Table 1. Influencing factors of trade potential

表 1. 贸易潜力影响因素

变量	变量含义	变量说明
Export	出口额	因变量
GDP	国民生产总值	代表一个国家经济规模总量,反映了潜在的贸易需求
Dist	两国之间距离	两国之间距离越远,贸易成本越高
Pop	人口	人口因素体现一国的市场规模及消费水平
Tar	贸易关税	贸易关税越高,越限制双边贸易往来,阻碍双边进出口贸易进一步扩大

Continued

TFI	贸易便利化	贸易便利化的提高有利于促进国家之间的贸易往来
Med	医疗质量和可及性	高水平的医疗服务体系，使一国在面临如新冠肺炎疫情等重大国际卫生安全问题时得以快速应对，加快经济的复苏
HCI	卫生保健指数	围绕临床业务、医学科研和卫生服务等方面，指数越高，医疗服务整体能力越强
PC	防控指数	及时的防控措施有助于遏制疫情的进一步扩散，促进经济的快速恢复
SCO	上合组织国家	SCO的物质基础是经贸合作，树立了互利共赢的新兴区域经济合作典范。在各成员国的共同努力下，其在双边贸易等方面成效显著
Adj	地理毗邻	中国与周边国家和地区的边境经贸发展势头较快，其优惠政策大大减少了贸易成本

2.2. 数据预处理

由于国民生产总值、双边距离、人口、贸易关税、卫生保健指数、医疗质量和可及性、贸易便利化、防控指数及 2020 年贸易出口值数据取值较大，在数据的整个值域中有巨大差异，因此将上述变量的原始数据做对数变换，缩小了数据的取值范围，且不会改变数据的性质和相关关系。

在回归类模型时，当自变量相关时，会发生多重共线性。如果变量之间的相关程度足够高，则在拟合模型并解释结果时可能会引起一系列的问题。多重共线性的诊断有多种方法，本文利用方差膨胀因子来检验自变量多重共线性，计算每个自变量的 VIF 值，VIF 值大于 10，表示存在多重共线性；否则不存在。下面对贸易潜力的影响因素进行检验，从表 2 中可以看出，所有变量的 VIF 值均小于 10，不存在多重共线性。

Table 2. Variance expansion factor of each variable

表 2. 各变量方差膨胀因子

变量	VIF
GDP	5.637820
人口	8.696795
双边距离	2.540209
贸易关税	2.003446
贸易便利化	2.353193
医疗质量和可及性	6.321296
卫生保健指数	1.444677
防控指数	1.162542
上合组织成员国	2.013812
地理毗邻	2.557524

3. 贸易潜力预测与分析

3.1. 高斯过程回归理论基本介绍

高斯过程回归对高维数据和小样本数据有良好的适应性。假设训练 $D = (X, y) = \{(x_i, y_i) | i = 1, 2, \dots, n\}$ 。其中 $x_i \in R^d$ 为输入变量， $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 是 $n \times d$ 维矩阵， y 为输出变量。高斯过程回归的两个核

心问题就是均值和协方差函数，即

$$\begin{cases} m(x) = E(f(x)) \\ k(x, z) = E((f(x) - m(x))(f(z) - m(z))) \end{cases}$$

其中 $x, z \in \mathbf{R}^d$ 为任意随机变量， $m(x)$ 表示各个维度的均值， $k(x, z)$ 表示各维度之间的协方差矩阵。则高斯过程被定义为

$$f(x) \sim GP(m(x), k(x, z))$$

为了计算方便，通常将数据进行转换，使其均值为 0。在回归问题中 y 受到噪声污染，因此进一步假设噪声服从正态分布，即

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

则因变量 y 的分布为

$$y = f(x) + \varepsilon \sim N(0, K(X, X) + \sigma^2 I)$$

以及 y 与其预测值 f^* 的联合先验分布为

$$\begin{bmatrix} y \\ f^* \end{bmatrix} \sim N \left(0, \begin{bmatrix} K(X, X) + \sigma^2 I & K(X, x^*) \\ K(x^*, X) & k(x^*, x^*) \end{bmatrix} \right)$$

其中 $k_{ij} = k(x_i, x_j)$ 表示 x_i 和 x_j 之间的相关性， K 表示协方差矩阵。则 f^* 的条件分布为

$$f^* | X, y, x^* \sim N(\bar{f}^*, \text{cov}(f^*))$$

\bar{f}^* 和 $\text{cov}(f^*)$ 分别为预测点 x^* 的均值和方差

$$\bar{f}^* = K(x^*, X) [K(X, X) + \sigma^2 I]^{-1} y$$

$$\text{cov}(f^*) = k(x^*, x^*) - K(x^*, X) \times [K(X, X) + \sigma^2 I]^{-1} K(X, x^*)$$

高斯过程回归常采用的核函数为 Radial Basis kernel function。为了方便计算，将协方差函数和 σ^2 写成如下形式

$$k(x, z) = \exp(2\theta_2) \exp\left(-\frac{\|x - z\|^2}{2\exp(2\theta_1)}\right)$$

$$\sigma^2 = \exp(2\theta_3)$$

下面建立对数似然函数 $L(\theta) = \log p(y | X, \theta)$ ，并使用极大似然估计法求超参数，来训练样条条件概率，对 $L(\theta)$ 关于 θ 求偏导得：

$$\begin{aligned} L(\theta) &= -\frac{1}{2} \left(y' C^{-1} y + \frac{1}{2} \log |C| + n \log 2\pi \right), \\ \frac{\partial L(\theta)}{\partial \theta_i} &= -\frac{1}{2} \left(\text{tr} \left(C^{-1} \frac{\partial C}{\partial \theta_i} \right) - y' C^{-1} \frac{\partial C}{\partial \theta_i} C^{-1} y \right), i = 1, 2, 3 \\ C &= K(X, X) + \exp(2\theta_3) I \end{aligned}$$

对 C 求关于 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 的偏导得：

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial \theta_1} &= \exp(2\theta_2) K(X, X) \otimes A \\ \frac{\partial C}{\partial \theta_2} &= \exp(2\theta_2) K(X, X) \\ \frac{\partial C}{\partial \theta_3} &= \exp(2\theta_2) I \end{aligned}$$

其中 $A = \left(\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2 \exp(2\theta_1)} \right), i, j = 1, 2, \dots, n$, \otimes 表示相同结构矩阵对应元素相乘, 最后利用优化方法对偏导数进行最小化来得到超参数的最优解。下面使用梯度下降法求最优超参数, 迭代公式为:

$$\begin{aligned} \theta_1(k+1) &= \theta_1(k) + \eta \frac{\partial L(\theta)}{\partial \theta_1} \\ \theta_2(k+1) &= \theta_2(k) + \eta \frac{\partial L(\theta)}{\partial \theta_2} \\ \theta_3(k+1) &= \theta_3(k) + \eta \frac{\partial L(\theta)}{\partial \theta_3} \end{aligned}$$

根据上述公式, 直到算法收敛为止[16] [17]。

本文采用的核函数除 Radial Basis kernel function 外, 还有 Linear kernel function:

$$k_L(x, z) = x^T z + c,$$

Polynomial kernel function:

$$k_p(x, z) = (\alpha x^T z + c)^d,$$

Laplacian kernel function:

$$k_{la}(x, z) = \exp\left(-\frac{\|x - z\|}{\sigma}\right).$$

3.2. 高斯过程回归模型的建立与对比

GP 允许样本各特征之间存在相关关系, 并通过核函数模拟一个协方差矩阵来体现这种相关关系, 决定 GP 先验和后验的形状。下面分别利用 Linear kernel、Polynomial kernel、Radial Basis kernel 和 Laplacian kernel 对中国 2020 年与 43 个“一带一路”沿线国家贸易出口金额进行拟合, 选择最优超参数。带有 Linear kernel、Polynomial kernel、Radial Basis kernel 和 Laplacian kernel 的高斯过程分别如下图 1~3。其中, 图 1 中横坐标表示 Polynomial kernel 的特征长度尺度 scale 的对数, 图 2 中横坐标表示 Radial Basis kernel function 中的 sigma, 图 3 中横坐标表示 Laplacian kernel function 中的 sigma, 图 1~3 中的纵坐标均为均方根误差 RMSE。

训练模型过程种采用 10 折交叉验证来确定最优参数组合。对于多项式核函数高斯过程回归, 为了防止过拟合现象, 当 degree = 1, scale = 1e+06 时, RMSE 达到最小, 决定系数为 0.944; 对于径向基核函数高斯过程回归, sigma 取值为 0 到 2 之间的任意实数, 比较各模型的 RMSE, 当 sigma = 0.138 时, RMSE 达到最小, 此时决定系数为 0.901。

对于拉普拉斯核函数高斯过程回归, sigma 取值为 0 到 1 之间的任意实数, 比较各模型的 RMSE, 当 sigma = 0.388 时, RMSE 达到最小, 此时决定系数为 0.942。将基于不同核函数的高斯过程回归模型与广

义相加模型进行对比，具体模型评价指标得分见下表 3，可以看出多项式核函数高斯过程回归的拟合效果最佳。

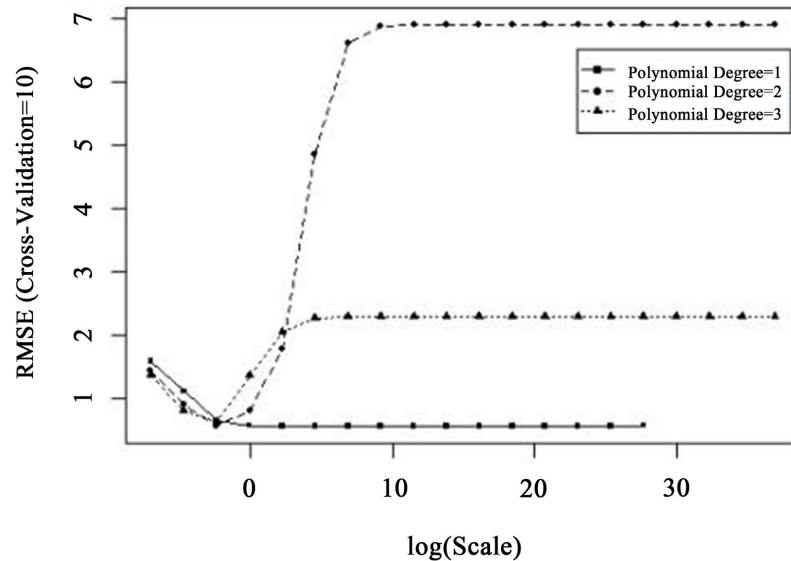


Figure 1. Gaussian process with Polynomial kernel

图 1. 带有 Polynomial kernel 的高斯过程

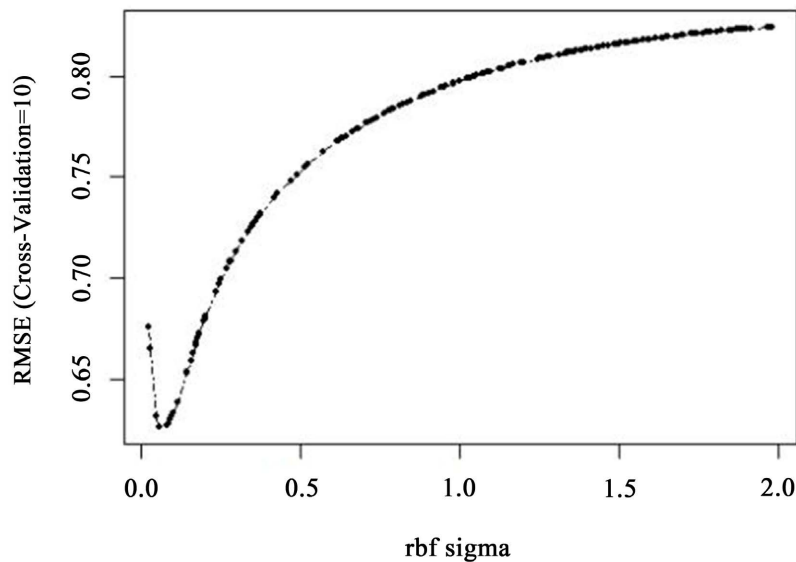


Figure 2. Gaussian process with RBF kernel

图 2. 带有 RBF kernel 的高斯过程

3.3. 出口潜力与贸易效率分析

利用构造的多项式核函数高斯过程回归对出口潜力进行估算，将外贸出口额的估计与其真实值进行对比，若出口真实值小于其估计值，说明贸易往来存在不足，具有进一步发展双方贸易的潜力；若出口真实值大于估计值，说明双方贸易出口金额超出预期，贸易潜力相对较小。对 43 个沿线国家计算结果如表 4。

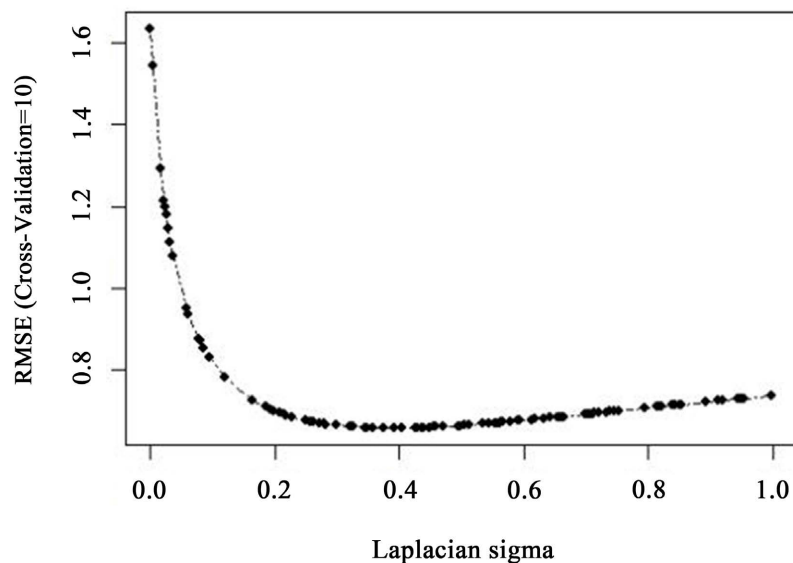


Figure 3. Gaussian process with Laplacian kernel

图 3. 带有 Laplacian kernel 的高斯过程

Table 3. Comparison of model fitting effects

表 3. 模型拟合效果对比

Model	RMSE	MAE	R^2 (adj)
Gaussian Process with Linear kernel	0.4003	0.3134	0.9247
Gaussian Process with Polynomial kernel	0.3941	0.3056	0.9267
Gaussian Process with RBF kernel	0.6253	0.4695	0.9014
Gaussian Process with Laplacian kernel	0.6551	0.5180	0.8926

Table 4. Estimated and true export values of each country

表 4. 各国家出口估计值与真实值

沿线国家	真实值(千美元)	估计值(千美元)	真实值/估计值	贸易潜力
新加坡	57,541,289	54,683,882	1.0523	+
马来西亚	56,428,014	48,736,332	1.1578	+
印度尼西亚	41,004,618	35,991,532	1.1393	+
泰国	50,526,571	50,284,247	1.0048	+
越南	113,814,112	75,534,112	1.5068	+
菲律宾	41,840,073	33,228,951	1.2591	+
伊朗	8,510,155	6,795,484	1.2523	+
土耳其	20,356,630	22,631,707	0.8995	-
约旦	3,181,649	4,216,376	0.7546	-

Continued

黎巴嫩	945,750	1575,233	0.6004	-
以色列	11,256,946	12,859,858	0.8754	-
沙特阿拉伯	28,098,938	21,942,193	1.2806	+
阿曼	3,091,186	4,035,049	0.7661	-
阿联酋	32,307,326	22987290	1.4054	+
卡塔尔	2,632,742	3879154	0.6787	-
科威特	3,578,522	3,832,949	0.9336	-
希腊	7,036,475	6,493,240	1.0837	+
塞浦路斯	893,088	695,538	1.2840	+
埃及	13,623,353	13,060,103	1.0431	+
印度	66,727,219	113,719,665	0.5868	-
巴基斯坦	15,366,789	16,755,008	0.9171	-
孟加拉国	15,060,078	13,098,731	1.1497	+
斯里兰卡	3842865	2,225,601	1.7267	+
尼泊尔	1,167,501	1,039,666	1.1230	+
哈萨克斯坦	11,707,318	10,684,423	1.0957	+
俄罗斯	50,584,583	50,471,575	1.0022	+
乌克兰	6,878,084	9,255,147	0.7432	-
阿塞拜疆	618,029	797,755	0.7747	-
波兰	26,735,874	27,326,976	0.9784	-
立陶宛	1,807,882	2,530,848	0.7143	-
爱沙尼亚	864,083	912,245	0.9472	-
拉脱维亚	1,052,228	1,000,939	1.0512	+
捷克	13,738,534	12,337,368	1.1136	+
斯洛伐克	3,033,101	3,773,164	0.8039	-
匈牙利	7,404,836	7,046,048	1.0509	+
斯洛文尼亚	3,452,439	1,767,157	1.9537	+
克罗地亚	1,566,705	1,477,548	1.0603	+
波黑	120,102	137,069	0.8762	-
塞尔维亚	1,624,512	1,750,751	0.9279	-
罗马尼亚	5,126,454	6,878,303	0.7453	-
保加利亚	1,547,380	1,775,055	0.8717	-
北马其顿	156,833	146,473	1.0707	+
阿尔巴尼亚	571,248	498,220	1.1466	+

由表 4 可以看出,中国对上述 43 个“一带一路”沿线国家的贸易出口中有近一半国家属于过度贸易状态,例如新加坡、马来西亚、越南、印度尼西亚等,但排名最高的是斯洛文尼亚,其次是斯里兰卡;

贸易不足的国家中排名最高的是印度、其次是黎巴嫩和卡塔尔，说明中国与贸易不足的国家还有巨大的贸易潜力。中国与泰国、俄罗斯、塞尔维亚等国家的出口潜力接近于 1，说明模拟较好，估计值与真实值较接近。

4. 结论

将医疗体系质量相关指标引入到贸易影响因素中，在 GDP、人口和贸易关税等指标的基础上，添加卫生保健、医疗质量和可及性、防控指数 3 个指标，总共 10 个指标。利用上述 10 个指标构造基于 Linear kernel、Polynomial kernel、Radial Basis kernel 和 Laplacian kernel 函数的高斯过程回归。根据 RMSE，基于多项式核函数的高斯过程回归效果最佳，用其对 2020 年出口值进行预测，对出口潜力进行分析，中国与新加坡、马来西亚、越南等国家属于出口过度；对印度出口不足，两国间的贸易存在较大发展空间。

参考文献

- [1] Tinbergen, J. (1962) *Shaping the World Economy: Suggestions for an International Economic Policy*. The Twentieth Century Fund, New York.
- [2] Poyhonen, P. (1963) A Tentative Model for the Flows of Trade between Countries. *Weltwirtschaftliches Archiv*, **90**, 93-100.
- [3] Nilsson, L. (2000) Trade Integration and the EU Economic Membership Criteria. *European Journal of Political Economy*, **16**, 807-827. [https://doi.org/10.1016/S0176-2680\(99\)00060-9](https://doi.org/10.1016/S0176-2680(99)00060-9)
- [4] Egger, P. (2002) An Econometric View on the Estimation of Gravity Models and the Calculation of Trade Potentials. *The World Economy*, **25**, 297-312. <https://doi.org/10.1111/1467-9701.00432>
- [5] Huang, Q., Zhu, X., Liu, C., Wu, W., Liu, F. and Zhang, X. (2020) Spatial-Temporal Evolution and Determinants of the Belt and Road Initiative: A Maximum Entropy Gravity Model Approach. *Chinese Geographical Science*, **30**, 839-854. <https://doi.org/10.1007/s11769-020-1144-x>
- [6] Lee, E. (2018) The Belt and Road Initiative: Impact on Trade Patterns between China and Central Asia. *East Asian Community Review*, **1**, 185-198. <https://doi.org/10.1057/s42215-019-00015-3>
- [7] Akaev, A.A. and Sadovnichii, V.A. (2018) The Mathematical Dimension of the One Belt One Road Megaproject. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, **88**, 243-253. <https://doi.org/10.1134/S1019331618040019>
- [8] 鲁晓东, 赵奇伟. 中国的出口潜力及其影响因素——基于随机前沿引力模型的估计[J]. 数量经济技术经济研究, 2010(10): 21-35.
- [9] 陈敏, 陈淑梅. “一带一路”倡议下互联互通对中国潜在贸易效应研究[J]. 现代经济探讨, 2019(12): 54-65.
- [10] 佟家栋, 李连庆. 贸易政策透明度与贸易便利化影响——基于可计算一般均衡模型的分析[J]. 南开经济研究, 2014(4): 3-16.
- [11] 陈虹, 杨成玉. “一带一路”国家战略的国际经济效应研究——基于 CGE 模型的分析[J]. 国际贸易问题, 2015(10): 4-13.
- [12] 杨军, 黄洁, 洪俊杰, 董婉璐. 贸易便利化对中国经济影响分析[J]. 国际贸易问题, 2015(9): 156-166.
- [13] 刘宇, 吕郢康, 全水萍. “一带一路”战略下贸易便利化的经济影响——以中哈贸易为例的 GTAP 模型研究[J]. 经济评论, 2016(6): 70-83.
- [14] 周岩, 陈淑梅. 21 世纪海上丝绸之路贸易自由化和便利化的经济效应分析[J]. 亚太经济, 2016(1): 50-56.
- [15] 孙林, 蓝旻, 钟钰. 贸易便利化对中国与东盟区域谷物可获得性的影响:进口贸易流量视角的考察[J]. 农业技术经济, 2015(1): 111-119.
- [16] 何志昆, 刘光斌, 赵曦晶, 王明昊. 高斯过程回归方法综述[J]. 控制与决策, 2013, 28(8): 1121-1129+1137.
- [17] Avendaño-Valencia, L.D., Abdallah, I. and Chatzi, E. (2021) Virtual Fatigue Diagnostics of Wake-Affected Wind Turbine via Gaussian Process Regression. *Renewable Energy*, **170**, 539-561. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.003>