

苏格兰生态和渔业经济预测

鲱鱼和鲭鱼

作为苏格兰人喜爱的食物，鲱鱼和鲭鱼给渔业公司带来了丰厚的利润。由于海洋温度升高，更多的鱼迁徙到北方寻找更好的栖息地，这对捕鱼业造成了负面影响。本报告的目的是建立一个洄游预测模型，评估对渔业公司收入的影响。期望我们为能够在各种客观条件的约束下适应鱼类洄游，并尽可能避免自身破产的渔业公司提供一些策略。建立了三种模型:模型一:海水温度预测模型;模型II:鱼类洄游预测模型;模型三:渔业公司盈利评价模型。

对于模型 I，首先收集了 1960 - 2019 年每月的全球海洋温度数据。然后，基于对数据内在趋势的分析和平稳性的验证，证明了使用 ARIMA 模型预测温度的有效性。接下来，利用历史数据拟合 ARIMA 的参数，引入 k 折交叉验证，识别最终的预测模型为 ARIMA(1,1,0)。最后，根据 ARIMA(1,1,0)，采用 bootstrap 方法模拟 10000 种可能的预测案例，为预测鱼类洄游奠定了很大的基础。

对于模型 II，首先根据迁移速度和海洋温度的数据，确定温度梯度是影响迁移速度和方向的主要因素;并建立相应的经验方程，确定温度对鱼类洄游的影响。然后基于模型 I 中 bootstrap 方法生成的 10000 个温度变化样本，模拟每个样本的迁移情况，以识别鱼类最有可能的位置。最终显示 50 年后鱼类主要分布在冰岛和法罗群岛之间的区域，结果如图 9 所示。

对于模型 III，根据经济学原理确定渔业公司的利润评价方程，通过引入实际管理数据估计涉及的参数，结果如表 4 所示;然后基于模型 II 中的 10000 个鱼类洄游样本，模拟每个样本的渔业公司利润变化，利润随时间的变化趋势如图 10 所示。最后可以看到，最坏的情况是在 2030 年，渔业公司将因鱼类迁移而破产，概率为 0.02%，最好的情况是 50 年内不会破产，概率为 5.27%，最可能的情况是在 2039 年，渔业公司将因鱼类迁移而破产，概率为 8.25%。

此外，本报告还讨论了小型渔业公司对鱼类洄游的有效应对，以及有效的应对策略。在不考虑领海带来的政策和法律问题的情况下，小渔业公司应该将港口转移到距离鱼类更近的冰岛。最后，基于这一策略的效果模拟，100.00% 的公司可以避免破产。至于考虑到政策和法律问题，小渔业公司应该升级渔船，延长鱼类的货架期。经过模拟，62.68% 的公司可以避免破产。

最后对模型的鲁棒性和敏感性分析进行了检验。当从均匀随机分布中随机生成鱼的初始分布时，模型的最终收敛分布差异不大。至于影响模型的因素，社会利润率和渔船航行半径，发现这两个因素的增加会显著降低渔业公司的破产概率。

关键词:ARIMA;鱼迁移;业绩评价;计算机模拟



关注数学模型
获取更多资讯

内容

1 介绍1

1.1 问题的背景1

1.2 问题的重述1

1.3 我们的方法1

2 一般假设和模型概述.2

3 模型制备3.

3.1 符号3.

3.2 的数据3.

3.2.1 数据收集4

3.2.2 数据清理4

3.3 地理坐标系统4

4 模型一:海水温度预测模型.5

4.1 温度场的描述5

4.2 自回归预测模型5

4.3 结果7

4.3.1 参数估计7

4.3.2 Calaculation 结果7

5 模型二:鱼类洄游预测模型.8

5.1 运动学的迁移8

5.2 迁移动力学9

5.3 结果9

5.3.1 估计 ∇u 9

5.3.2 估计 $f(\nabla u, v)$ 9

5.3.3 迁移模拟算法.10

5.3.4 Calaculation 结果10

6 模型三:渔业公司盈利评价模型.11

6.1 渔业公司经营模式.11

但是钓鱼的评估成本11

6.1.2 渔业收入的评估11

6.1.3 评估捕鱼的利润11

6.2 结果11

6.2.1 参数估计11

6.2.2 迁移模拟算法.12

6.2.3 Calaculation 结果13

6.3 讨论14

6.3.1 不考虑领海的管理策略.14

6.3.2 考虑领海的管理策略.15

7 测试模型16

7.1 灵敏度分析16



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

7.2 鲁棒性分析	17
8 的结论	17
8.1 总结的结果	17
8.1.1 问题 1 的结果	17
8.1.2 问题 2 的结果	18
8.1.3 问题 3 的结果	19
8.1.4 问题 4 的结果	19
8.2 强度	20
8.3 可能的改进	20
参考文献	20
附录	22
附录 A 工具和软件.	22
附录 B 的代码	22
B.1 ARIMA 模型参数估计和排序代码···	22
B.2 Bootstrap 仿真代 码.	24

有道文档翻译
pdf.youdao.com



关注数学模型
获取更多资讯

1 介绍

1.1 问题背景

全球海洋温度影响某些海洋生物的栖息地质量。当温度变化太大，无法继续繁荣时，这些物种就会迁移到其他更适合它们现在和未来生活和繁殖成功的栖息地。当全球海洋温度升高时，该联盟希望更好地了解与苏格兰鲱鱼和鲭鱼从目前苏格兰附近的栖息地潜在迁移相关的问题。这两种鱼类代表着对苏格兰渔业的重大经济贡献。鲱鱼和鲭鱼种群位置的变化可能会使苏格兰的小型渔业公司在经济上不切实际，这些公司使用船上没有冷藏的渔船来收获新鲜的鱼，并将其运送到苏格兰渔港的市场。



(一) 鲱鱼



(b) 鲭鱼

图 1:目标鱼:(a)苏格兰鲱鱼:大西洋鲱鱼广泛分布于整个大西洋东北部，北至北冰洋，南至英吉利海峡;(b)苏格兰鲭鱼:每年，海中鲭鱼的数量取决于产卵后存活下来作为新兵进入成鱼渔场的幼鱼数量。

1.2 重述问题

- 建立数学模型，确定未来 50 年这两种鱼类最有可能出现的位置。
- 根据海水温度变化的速度，使用你的模型来预测最好的情况，最坏的情况，以及最可能经过的时间(s)，如果小渔业公司继续在当前位置以外经营，那么这些鱼群将变得太远，小渔业公司无法收获。
- 根据你的预测分析，这些小型渔业公司是否应该改变他们的经营方式?
- 使用你的模型来解决你的提案如何受到影响，如果一部分渔业进入另一个国家的领海(海)。

1.3 我们的方法

课题要求我们预测未来 50 年两种鱼类的迁移情况，并根据鱼类的迁移情况讨论渔业公司的经营策略和前景。我们的工作主要包括以下几个方面：



关注数学模型
获取更多资讯

- 基于历史海洋温度数据，建立海洋温度预测模型;
- 给出了鱼类洄游的概率分布，考虑了随机性对模型的影响;
- 基于捕鱼公司的经济效益模型，对鱼类洄游背景下的各种捕鱼策略的效益进行评估，并给出合理的改进建议。

2 一般假设和模型概述

为了简化问题，我们做了以下基本假设，每一个假设都是合理的。

- 假设 1:人口迁移方向是可预测的。
，→理由:虽然每个个体的游动方向不一定遵循迁徙规律，但根据大数定律，群体的行为会排除不可预测的偶然因素的存在，因此我们可以通过预测海洋温度的变化来预测鱼类的迁徙方向。
- 假设 2:在相同的深度下进行鱼类的洄游。
，→理由:我们假设在鱼类洄游过程中忽略海洋深度的变化，因为在相对较长的时间跨度内，鱼类的洄游范围远大于其深度变化范围，因此可以忽略洄游过程中的深度变化。
- 假设 3:研究时间内没有宏观经济指标、贸易环境和技术突破。
，→理由:因为模型考虑了海洋温度变化对鱼类洄游方向的影响，然后对比分析了鱼类洄游前后渔业公司采取的捕捞策略。只有在外部条件一致的情况下，这样的比较才有意义。
- 假设 4:假设研究数据是准确的。
，→理由:我们假设渔业公司的历史海洋表面温度数据、渔业数据和财务数据没有表现出明显的测量偏差，认为是假的，因此可以基于它建立更合理的量化模型。

首先，建立海水温度预测模型;我们利用海水温度的历史数据预测目标海域未来 50 年的海水温度变化。其次，设置鱼类洄游预测模型。我们描述海水温度变化与鱼类洄游方向的相关性，然后基于目标海域未来 50 年的海水温度变化模拟鱼类洄游方向。最后，设定渔业公司盈利评价模型。我们基于未来 50 年鱼类的洄游来评估渔业公司盈利能力的变化，并在一定客观条件下讨论应对这种变化的策略。



关注数学模型
获取更多资讯

综上所述，整个建模过程可以如下图所示

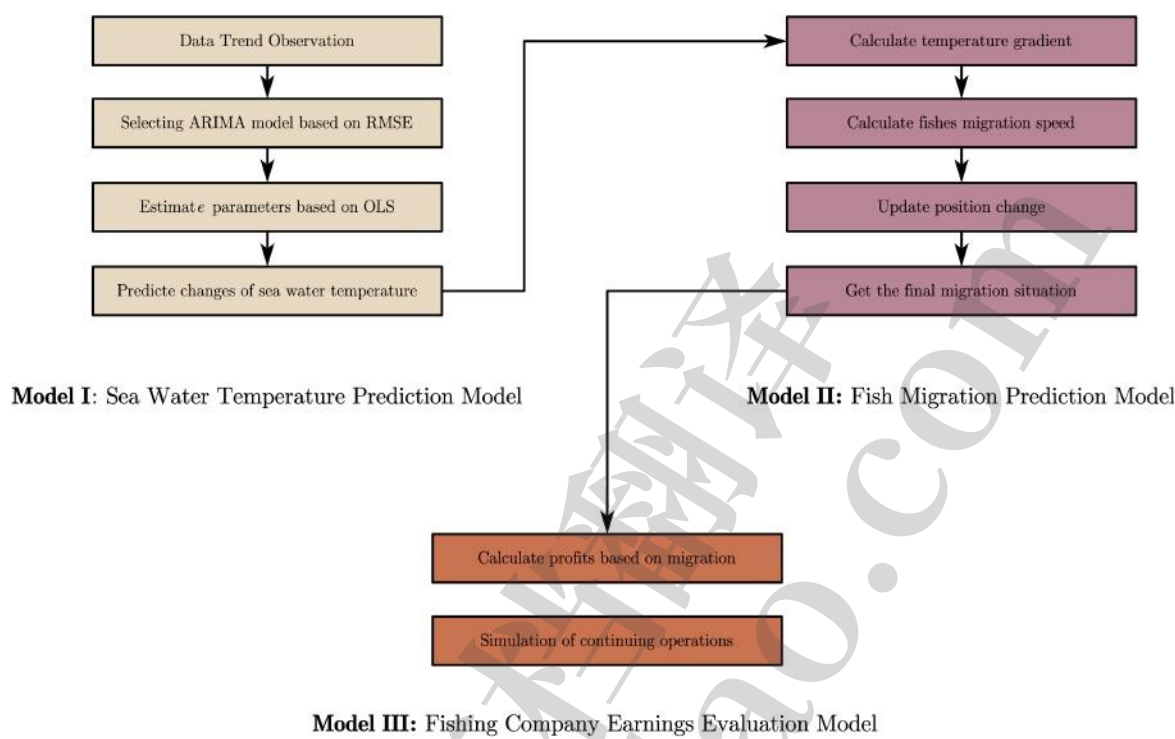


图 2:模型概述

3 模型准备

3.1 符号

本文使用的重要符号列于表 1，

表 1:符号

象征	描述	单位
x	经度	$^{\circ}$
y	纬度	$^{\circ}$
t	从现在开始	一年
$U(x, y, t)$	坐标(x, y)位置 t 年后的温度	$^{\circ}C$
$V(x, y, t)$	在坐标为(x, y)的位置，t 年后的速度	公里/年
$C(t)$	t 年后的捕鱼成本	美元
$P(t)$	t 年后的捕鱼收入	美元
$\pi(t)$	t 年后捕鱼的利润	美元

3.2 数据

由于数据量大 a 不直观，我们直接将一些数据可视化以供展示。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

3.2.1 数据收集

我们使用的数据主要包括历史海水温度数据、渔业捕捞数据、鱼类分布数据以及一些渔业公司的财务指标。数据来源汇总在表 2 中。

表 2:数据来源整理

数据库名称	数据库的网站	数据类型
APDRC	http://apdrc.soest.hawaii.edu/	地理位置
美国国家海洋和大气管理局	https://www.noaa.gov/	地理位置
我们周围的海洋	http://www.seaaroundus.org/	地理位置
粮农组织	http://www.fao.org/home/en/	行业报告
谷歌学者	https://scholar.google.com/	学术论文

3.2.2 数据清洗

数据按年分组，计算每组 4 - 7 月关键数据的平均值。对于数据中的缺失值，我们尝试跳过它，只求有效平均值。对于从 4 月到 7 月的完整缺失组，这些值被记录为缺失值。然后，将缺失值沿时间轴进行线性插值。如果一列中有 4 个或更多的缺失值，则认为这一列中的数据是无效的。最后，将无效数据列的位置设置为不可达，在模型计算中忽略。

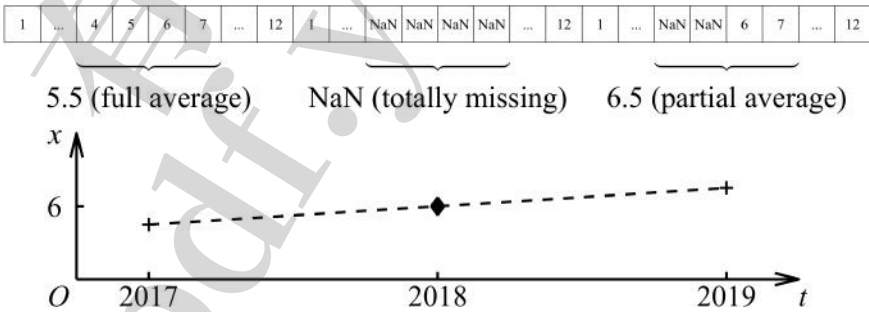


图 3:数据清洗

3.3 地理坐标系

球坐标应用于数据集来表示点。为了获得地图中的真实距离关系，我们将观测到的地图区域近似地视为一个平面四边形。在使用测地方程(GRS80 球体)求解四边形长度后，我们拟合一个投影变换，得到球坐标与平面坐标的对应关系。这样，点与点之间的欧氏距离近似为球面上的测地距离。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

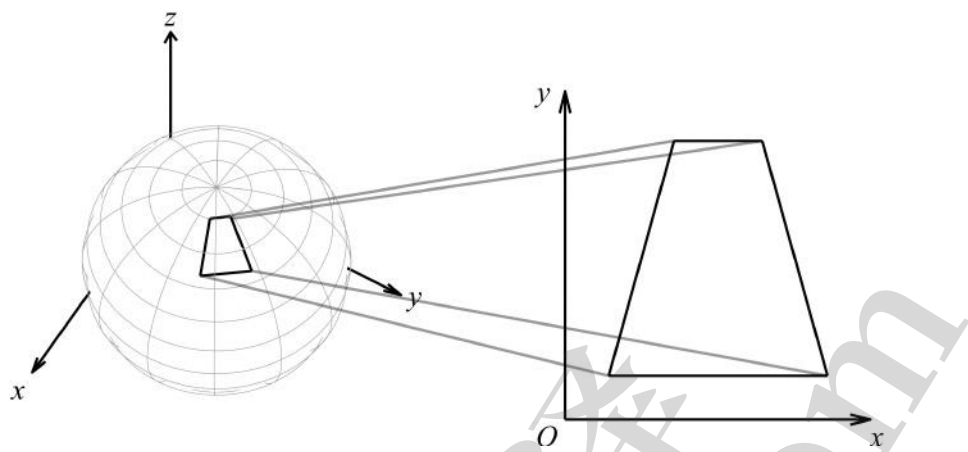


图 4:球坐标变换

4 模型一:海水温度预测模型

海洋的温度变化是由各种因素决定的，即太阳辐射、海洋生物的热损失和热交换，它们可以引起海洋温度的显著变化。因此，对于这样一个复杂的动态系统，采用多时间序列向量自回归的方法来求解。形式上，向量自回归算法可以同时考虑每个变量的时空相关性，在不引入外生因素的情况下，最大限度地挖掘数据信息。因此，基于自回归整合移动平均模型(ARIMA)的预测是对温度场的一个很好的逼近。

4.1 温度场的描述

根据假设 2，不考虑海洋温度在垂直平面上的变化。因此，对于目标海洋区域，以经纬度为基础，建立坐标系来描述每个点的位置。因此，任意一点 $A \in \Omega$ 在时间 t 时的温度 u 可以表示为

$$u(x,y,t)$$

(1)

其中(x, y)为 A 点的坐标，横坐标表示经度，纵坐标表示纬度。

4.2 自回归预测模型

目标海域 i 第 i 个($i = 1,2, \cdots, 690$)标记渔点的温度序列数据编号为 $\{u_{i,t}\}_{t=1}^{60}$ 。首先，绘制各系列近 60 年的温度变化如图 5 所示，



关注数学模型
获取更多资讯

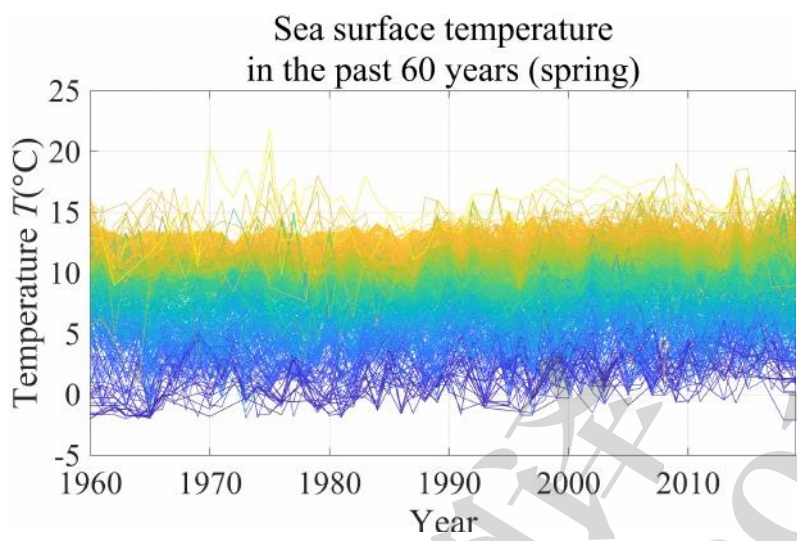


图 5:近 60 年海表温度(春季)

可以看出，整体温度变化没有明显的趋势。因此，对 ARIMA(p, d, 0)应用模型对温度序列数据进行建模。对于第 i 个温度序列，模型的一般情况如下

$$\Delta^{(d)}u_{i,t} = \sum_{j=1}^p \alpha_{i,j} \Delta^{(d)}u_{i,t-j} + \epsilon_{i,t}, \tag{2}$$

()

在那里, $\Delta^{(d)}$ 表示阶差运算符。 $u_{i,t} \sim N(0, \sigma^2)$, $\epsilon_{i,t}$ 为模型的残差值。因此，可以得到未来 t 年之后第 i 个序列的一阶差分预测值为

$$E(\Delta^{(d)}u_{i,t}) = \sum_{j=1}^p \hat{\alpha}_{i,j} E(\Delta^{(d)}u_{i,t-j}) \tag{3}$$

进一步，根据 ARIMA 模型的假设和实际经验，预测值满足正态分布，如 $u_{i,t} / u_{i,t-1} \sim N(\mu_{i,t}, \sigma_i^2)$ 。因此，考虑到随机性，可以将时间 t 的初始温度预测公式(4)修改为

$$\hat{u}_{i,t} = E(\Delta u_{i,t}) + \hat{u}_{i,t-1} + \epsilon_{i,t} \tag{4}$$

基于渐进预测过程中随机性的积累，可以得到不同的预测。这些与海洋温度变化有关的相关结果可以导致鱼类洄游的变化。因此，50 年后鱼类的位置可能会在不同的区域，这对渔业公司有很大的影响。



关注数学模型
获取更多资讯

4.3 结果

4.3.1 参数估计

参考线性回归模型中的 OLS 方法，写出式(2)对应的线性方程组如下

$$\begin{matrix} \Delta u_{i,p} & \Delta u_{i,p-1} & \cdots & \Delta u_{i,1} & \alpha_{i,1} \\ \Delta u_{i,p+1} & \Delta u_{i,p} & \cdots & \Delta u_{i,2} & \alpha_{i,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \Delta u_{i,59} & \Delta u_{i,58} & \cdots & \Delta u_{i,60-n} & \alpha_{i,p} \end{matrix} = \begin{matrix} \Delta u_{i,p+2} \\ \vdots \\ \Delta u_{i,p+60} \end{matrix}$$

(5)

0

是 $X^T X a = X^T Y$ ，那么对应参数 a 的闭式解为

$$\hat{\alpha} = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

(6)

因此，可以用 OLS 方法估计公式的参数。需要注意的是，模型中存在滞后阶次和差分阶次，因此我们需要对模型的估计结果进行 k 折交叉验证，并在给定的备选模型中找到预测效果最好的模型。求解结果如图 6 所示，

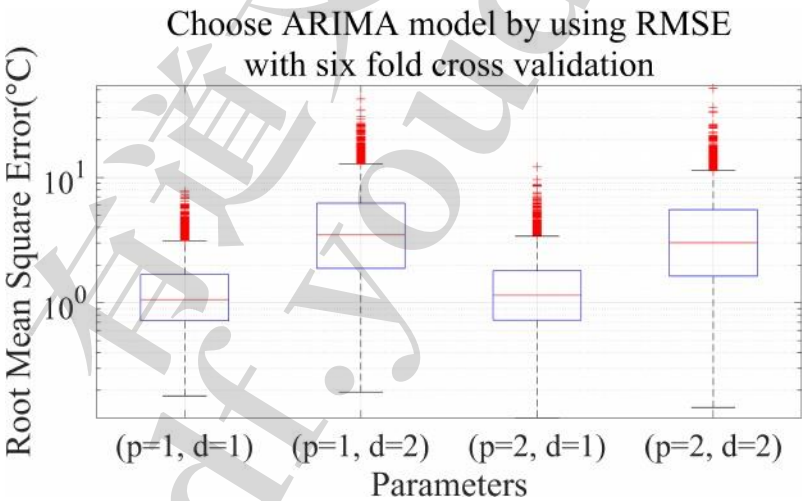


图 6:使用 6 折交叉验证的 RMSE 选择 ARIMA 模型

从图中可以看出，当滞后阶数和差阶数均为 1 时，模型的预测能力最好。所以，我们选择了整体性能最优的 ARIMA(1,1,0)模型。

4.3.2 计算结果

根据上述参数估计和预测公式，我们可以得到目标海域 Ω 50 年后的预测温度分布，如图 7 所示，



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

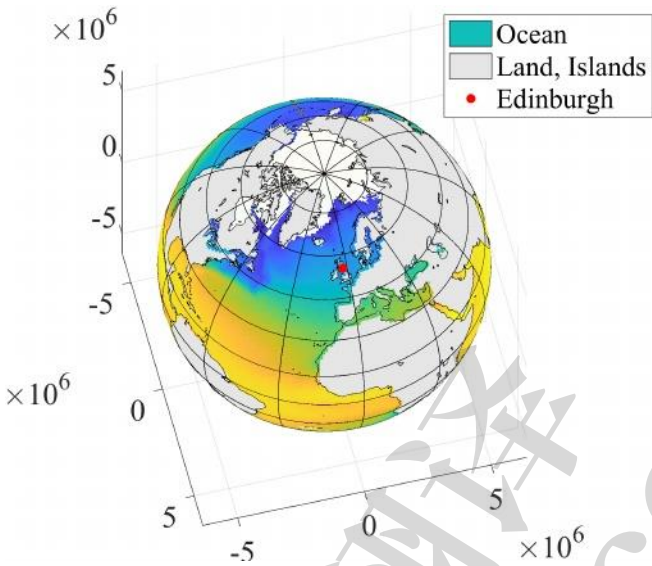


图 7:50 年后的气温预测

5 模型二:鱼类洄游预测模型

鱼类的迁移效果需要从两个方面考虑:一是基于动力学探索鱼类迁移的动机和速度;二是基于运动学探索鱼类洄游的位置变化与洄游速度之间的关系。将这两方面结合起来,就可以得到一个动态的鱼类洄游模型。这两部分将在下文单独描述。

5.1 迁移的运动学

对于每个点,对应的鱼的情况如图 8 所示,

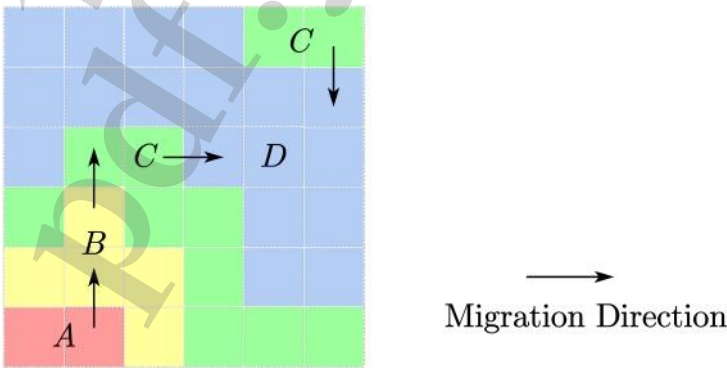


图 8:鱼类洄游机制

可以看出,对于图 8 所示的区域,由于 u 的存在,鱼类的迁移方向为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ 。从运动学角度看,确定鱼的移动速度后,就可以计算出位置更新条件。因此,



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

基于位置计算的相应移动速度表达式为

$$(dx, dy) = vdt \tag{7}$$

此处，位置(x, y)的更新公式为

$$(x_t, y_t) = (x_{t-1}, y_{t-1}) + (dx, dy) \tag{8}$$

5.2 迁移动力学

在对鱼类洄游进行运动学描述之后，有必要从动力学的角度对鱼类洄游进行描述和建模。根据第 1 节中两种鱼类的生活习性描述，鱼类倾向于向温度较低的区域转移，因此我们认为，洄游速度与温度场的关系为

$$v(x, y, t) = f(\nabla u(x, y, t)) \tag{9}$$

其中 $f(\cdot)$ 为待定关系方程。我们将参考 5.3.2 节的实际数据来确定 f 的具体形式。

5.3 结果

5.3.1 估算 ∇u

对于式(9)，首先要确定 ∇u 的计算方法。根据定义， ∇u 的表达式应为

$$\nabla u(x, y, t) = \left(\frac{\partial u(x, y, t)}{\partial x}, \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial y} \right). \tag{10}$$

我们对 ∇u 做了如下近似，

$$\begin{aligned} \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial x} &= \frac{u(x + dx, y, t + dt) - u(x, y, t)}{dx} \\ \frac{\partial u(x, y, t)}{\partial y} &= \frac{u(x, y + dy, t + dt) - u(x, y, t)}{dy} \end{aligned} \tag{11}$$

因此，各位置的温度梯度可由式(11)计算。

5.3.2 f 的估算($\nabla u, v$)

根据鲱鱼、鲭鱼的迁徙速度和温度变化，为 $\lim_{\Delta u \rightarrow \infty} V \rightarrow V_{\max}$ 和 $\lim_{\Delta u \rightarrow 0} V \rightarrow 0$ 。因此，为了简化模型，基于函数逻辑回归的结构形式，在对式(9)的严格近似下，可以得到新的公式如下

$$v(x, y, t) = \text{sign}(\Delta u) \frac{\nabla u(x, y, t)}{\|\nabla u\| + \beta} v_{\max} \tag{12}$$

其中符号 (\cdot) 为功能符号; v_{\max} 为鱼的最大洄游速度; β 为温度结垢系数。根据数据，估计结果可以表示为表 3。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

表 3:参数估计结果

参数	价值	单位
β	1.0499 e-5	-- -- --
$vmax$	188.5671	公里/年
$umin$	2	$^{\circ}C$
$umax$	6	$^{\circ}C$

5.3.3 迁移模拟算法

在估算 ∇u 和 f 的基础上，可以得到鱼的位置重识别过程如下:

算法 1:鱼的位置变化过程

输入 : $\rho(x,y,0)$, β , $vmax$, $umin$, $umax$

输出 : $\rho(x,y,50)$

对于 $t=1$ 到 50 做

 随机干扰项 ϵ_t 可以在方差识别的过程中得到分散的 $u(x,y,t)$ 可以基于 ARIMA(1,1,0) 模型预测和

$u(x,y,t-1)$

 基于离散 $u(x,y,t)$ 值的线性插值可以得到连续的 $u(x,y,t)$

 连续的 ∇u 可以根据公式(11)来确定

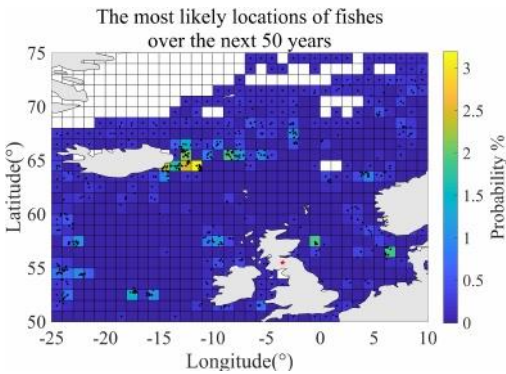
 连续的 $v(x,y,t)$ 可以根据式(12)计算

 每条鱼的位置变化可以根据公式(7) ρ 计算出来, 根据公式(8)可以刷新每条鱼的 (x,y)

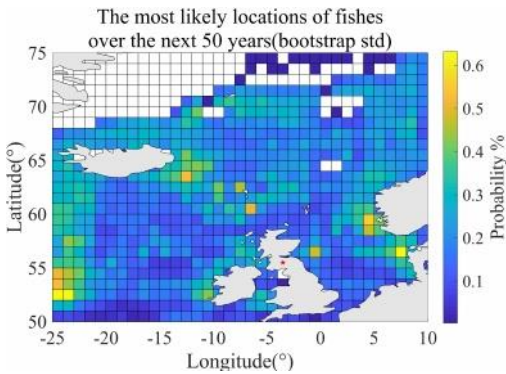
结束

5.3.4 计算结果

根据搬迁的过程，可以得到鱼的初始分布和 50 年后的分布，如图 9 所示



(a)鱼类最可能的分布位置



(b)鱼类的位置(std)

图 9:未来 50 年鱼类的预测位置



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

6 模型三:渔业公司盈利评价模型

对于不考虑政策因素的渔业公司来说,捕捞活动能否给公司带来正利润,是决定是否出海的决定性因素。因此,为了确定捕捞战略,需要对捕捞活动的成本和效益进行有效的评估。

6.1 渔业公司经营模式

6.1.1 捕捞成本评估

捕捞成本主要分为固定成本和可变成本两部分。固定成本是指每次捕捞作业中必须使用的设备和工人的固定工资;变动成本是指捕捞过程中随着航行距离的增加而消耗的材料。所以,捕捞成本 $C(x, y)$ 表示为

$$C(x, y) = C_0 + ad(x, y), \tag{13}$$

其中 C_0 为固定捕捞成本; A 为捕捞的可变成本; $D(x, y)$ 是渔场到港口的距离。

6.1.2 捕捞收入评估

收入主要来自捕捞,其中捕捞的鱼的数量与 $I(x, y) \propto \rho(x, y)$ 时目标捕捞点的鱼的密度正相关,考虑到渔船上没有冷藏,随着捕捞作业时间的增加,捕捞的鱼的价格会随着 $I(x, y) \propto e^{-\lambda d(x, y)}$ 沿负指数下降。因此,渔捞所得 $I(x, y)$ 表示为

$$I(x, y) = \rho(x, y) \cdot \theta e^{-\lambda d(x, y)}. \tag{14}$$

其中 λ 为价格衰减系数。**6.1.3 捕捞利润评估**

由于利润的定义,渔船的捕捞利润 $P(x, y)$ 为

$$I(x, y) = \rho(x, y) \cdot \theta e^{-\lambda d(x, y)} - ad(x, y) - C_0 \tag{15}$$

6.2 结果

6.2.1 参数估计

注意,式(15)中需要估计 4 个参数,其取值范围讨论如下。

对于衰减系数 λ , 根据渔船的航行记录,可以得到一般渔船的最大航行半径,因此最大航行范围可以表示为

$$\hat{L} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_{\max,i} \tag{16}$$



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

此外，根据(15)式对应的负指数衰减，我们可以得到 $e^{-\lambda \hat{L}}=0.5$ ，可以将其转化为 λ 的估计方程

$$\hat{\lambda} = \frac{\ln 2}{\hat{L}}$$

(17)

对于变动成本系数 a 和固定成本系数 C_0 ，根据联合国粮农组织对渔船油耗和渔业公司财务数据的调查，得出 \hat{a} 和 \hat{C} 的值估计。对于捕鱼系数 θ ，初始假设 $\forall (x, y) \in \Omega$ 可以满足 $\rho(x, y) = 1$ ，则

$$\hat{\theta} = \frac{C_{\text{mean}}}{P_{\text{mean}}} (1 + r_{\text{mean}})$$

(18)

其中 $C_{\text{mean}} = \sum_{(x,y) \in \Omega} [C_0 + a d(x, \Sigma y)]$ 为单位捕捞平均成本; r_{mean} 为单位捕捞的平均利润， $P_{\text{mean}} = \sum_{(x,y) \in \Omega} e^{-\lambda d(x,y)}$ 为单位捕捞的平均收入。

根据联合国粮农组织调查的渔业公司财务状况数据，将式(18)代入即可得到估计的捕捞系数。综上所述，各参数的估计结果如表 4 所示，

表 4:参数估计结果

参数	价值	单位
l	1000	公里
r_{mean}	0.03	---
C_{mean}	4040000	美元
θ	9440.73	---
λ	6.93 的 军医	年/公里
C_0	1616	美元
一个	3.01	元/公里

6.2.2 迁移模拟算法

结合上一节中鱼类的动态迁移过程，在鱼类迁移模拟过程中加入实时收益模拟，并进行模拟

有道文档翻译
pdf.youdao.com



关注数学模型
获取更多资讯

流程如下，

算法 2:考虑随机性的鱼类洄游过程

输入: $\rho(x, y, 0), \beta, v_{max}, u_{min}, u_{max}, \theta, \lambda, C0$, 输出: $\rho(x, y, 50), P(x, y, t)$

for $n = 1$ to 10000 do

for $t = 1$ to 50 do

随机干扰项 ϵ 可以在方差识别的过程中得到分散的 $u(x, y, t)$ 可以基于 ARIMA(1,1,0) 模型预测和

$u(x, y, t - 1)$

基于离散 $u(x, y, t)$ 值的线性插值可以得到连续的 $u(x, y, t)$

连续的 ∇u 可以根据公式(11)来确定

连续的 $v(x, y, t)$ 可以根据式(12)计算

根据式(7)可以计算出每条鱼的位置变化

的 ρ , 根据公式(8)可以刷新每条鱼的 (x, y) 根据公式(15)确定每条单鱼的利润

结束

结束

6.2.3 计算结果

借助 matlab，可以实现上述建模过程，得到渔业公司年利润与时间的关系

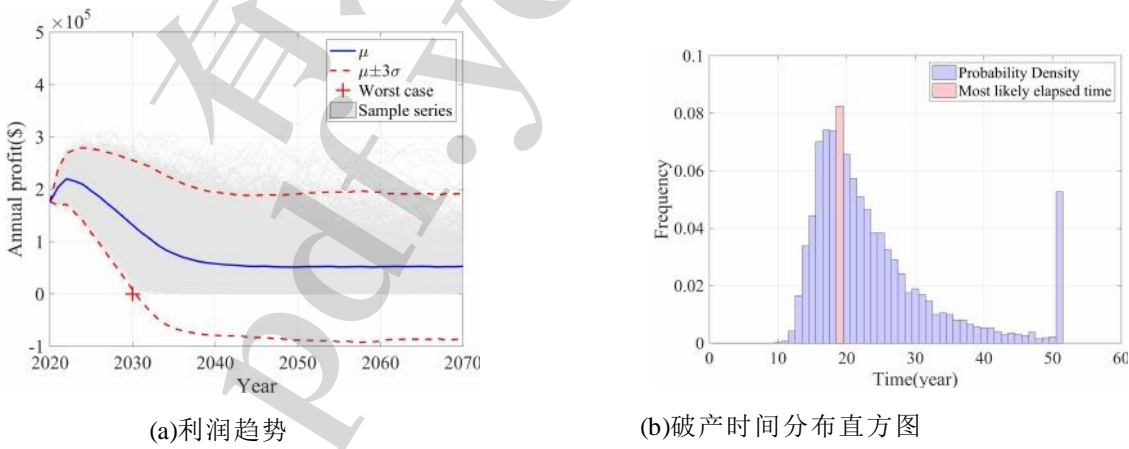


图 10:未来 50 年渔业公司经营模拟结果

可以看出，在鱼的初始分布设定为均匀分布的条件下，随着对鱼的模拟逐渐丰富，这种富集效应为渔业公司带来了越来越大的利润。但随着时间的推移，鱼类逐渐离开沿海地区，向北游去，导致渔业公司的利润逐渐下降。在最坏的情况下，2030 年将没有渔业公司继续捕捞;最好的情况是，渔业公司的捕捞活动可以持续到 2070 年。通过 bootstrap 方法得到的无法持续捕鱼时间点的捕鱼公司经验分布如图 10 所示。可以看出，连续作业概率最大的时间点为 2039。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

6.3 讨论

6.3.1 不考虑领海的管理策略

对于问题 2 的解决结果，标有迁移方向的结果如图 11 所示，可以看出，在未来 50 年内，海水温度将逐渐升高，导致鱼类向北迁移，近海区域鱼类密度将逐渐降低，导致小型渔业公司利润逐渐下降。因此，为了应对这种情况，需要改变渔业公司的捕捞战略。



图 11:渔业公司港口转移

参考鱼的迁移方向，将港口的初始位置转移到冰岛，在其他条件不变的情况下，重复 6.2.2 节的模拟过程。渔业公司年利润随时间的变化趋势如图 12 所示，

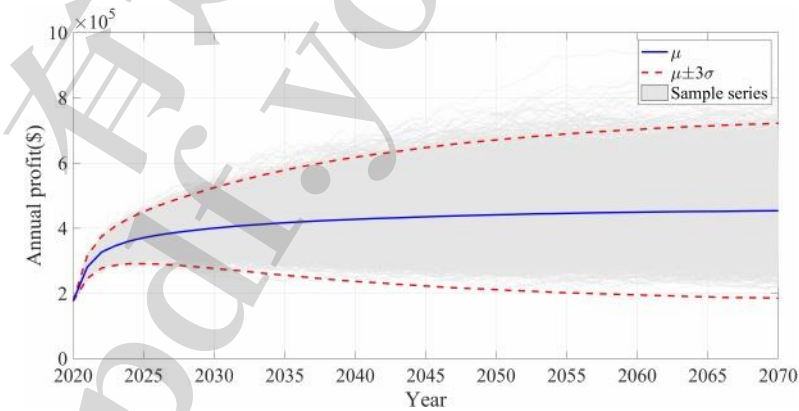


图 12:渔业公司未来 50 年经营模拟结果

随着未来新港口的位置越来越接近鱼类的迁移方向，渔业公司的利润会随着鱼类的迁移逐渐增加并最终趋于稳定。因此，对于小型渔业公司来说，要想有效提高存活率和利润率，就需要灵活选择离鱼分布更近的区域作为出发港。



关注数学模型
获取更多资讯

6.3.2 考虑领海的管理战略

重新考虑上一节的策略，因为鱼类的迁移范围在英国领海之外，大量鱼类进入冰岛领海，考虑到苏格兰的渔业公司不能进入这一区域进行捕捞活动的相关政策和法律。

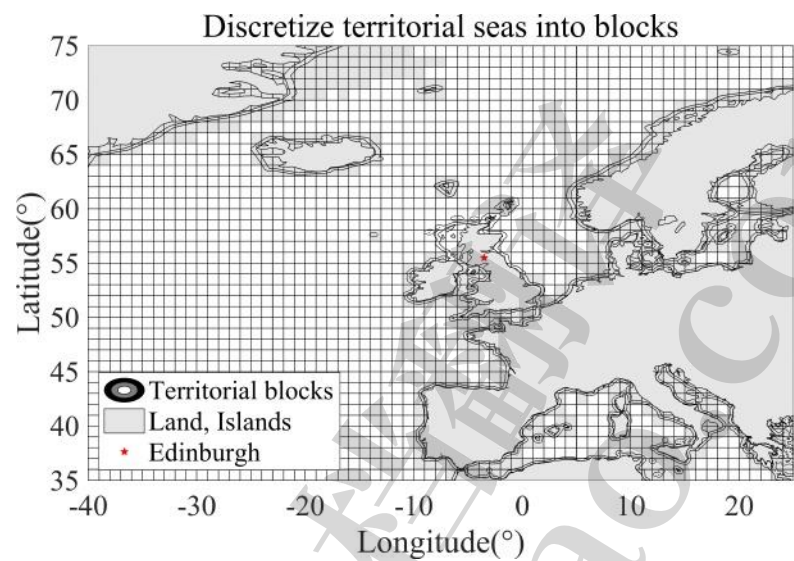


图 13:将领海离散成块

因此，针对这种情况，我们将在排除冰岛和挪威领海后，重新考虑具有随机性的渔业公司的捕捞情况。可以为渔船提供船上冷藏设备，可以大大改善鱼类的保鲜情况，从而提高捕捞收入。利用这样的策略来模拟，最后，渔捞公司的年度利润随时间的变化趋势如图 14 所示，

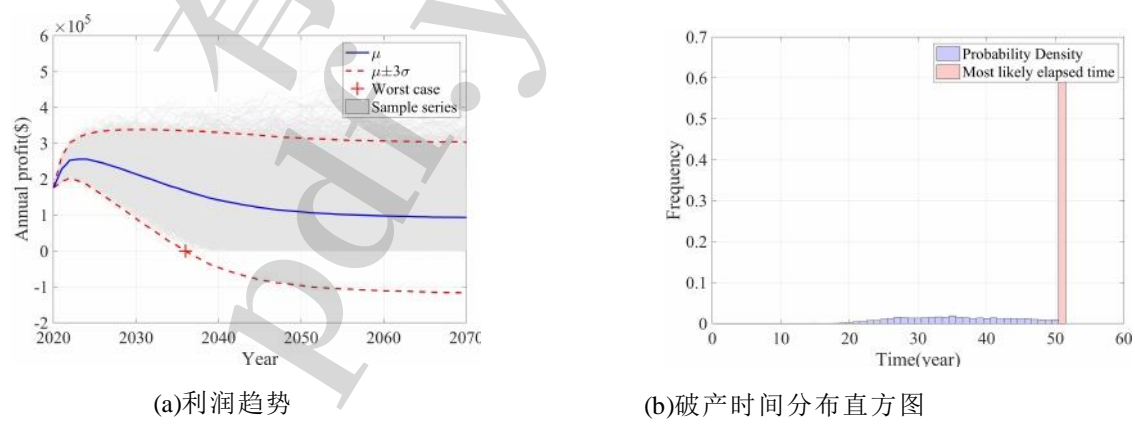


图 14:未来 50 年渔业公司经营模拟结果

可以看出，在安装制冷设备后，渔业公司利润下降的趋势得到了很好的遏制。最坏的情况是，2036 年，



关注数学模型
获取更多资讯

渔业公司无法继续捕捞;最好的情况下，钓鱼公司的捕鱼活动可以持续到 2070 年。利用 bootstrap 方法，可以适应鱼类洄游的渔业公司的经验分布见图 14。大多数渔业公司能够坚持到底，说明我们的改进策略是有效的。

7 检验模型

7.1 敏感性分析

在 5.3.2 节中，我们引入了两个外生因素来估计渔业公司利润评价模型的参数:社会利润率和平均航行距离。因此，渔业公司的最终存活率与这两个因素的关系用一阶差分近似，

$$\begin{aligned}\frac{\partial \eta}{\partial r} &\approx \frac{\eta(r + \Delta r) - \eta(r)}{\Delta r} \\ \frac{\partial \eta}{\partial L} &\approx \frac{\eta(r + \Delta L) - \eta(L)}{\Delta L}\end{aligned}$$

(19)

因此，计算结果如图 15 所示

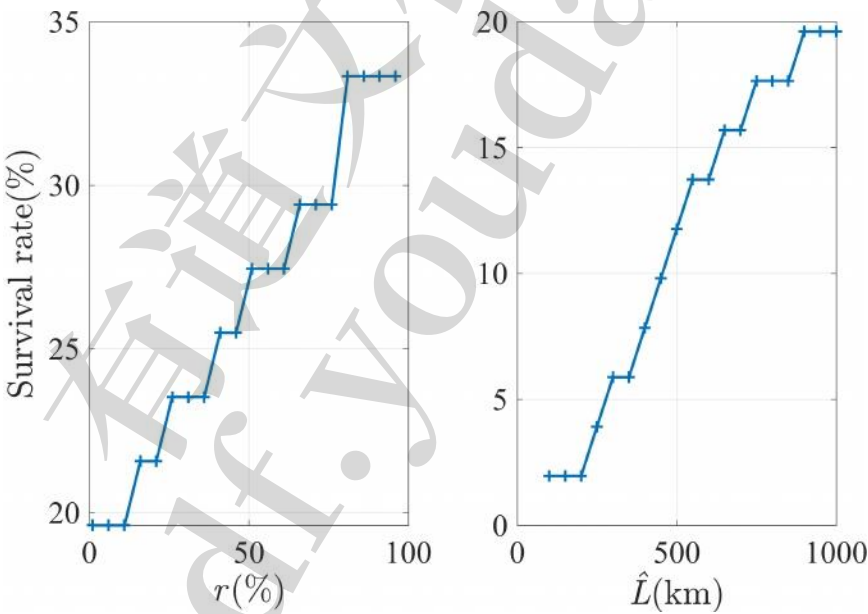


图 15r 和 L 的灵敏度分析

结果表明，渔业公司的最终存活率随着社会利润率的增加而增加，这反映了社会发展对渔业公司的反馈效应;相应的，渔业公司的最终存活率也随着平均导航距离的增加而增加，可见远距离导航能力对促进渔业公司盈利能力的重要性。敏感性检验得到的模型趋势与实际情况一致，也证明了渔业公司盈利评价模型的合理性和稳健性。



7.2 稳健性分析

对于模型 2 来说，考虑在不同的初始分布样本下最终迁移状态是否能够稳定是有意义的。因此，对基于模型 2 的鱼类在不同初始分布条件下的迁移进行模拟，并将 i th 的最终分布表示为 $\Phi_i(x, y|x, y \in \Omega)$ 。然后任意两个最终分布之间的拟合程度 $RMSE_{ij}$ 计算为

$$RMSE_{ij} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in \Omega} [\Phi_i(x, y) - \Phi_j(x, y)]^2} \tag{20}$$

和 $RMSE_{ij}$ 组合成 pair series 来绘制 Q-Q 图 as

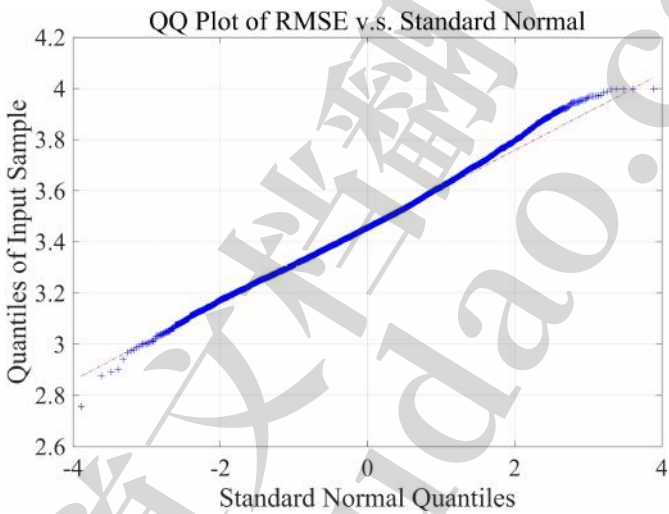


图 16:RMSE vs .标准正态的 QQ 图

可以看到，图中的散乱点分布在直线上，说明整体拟合情况稳定。意味着在不同初始鱼类分布的前提下，可以得到相似的最终鱼类分布，验证了温度变化对鱼类迁移的决定性作用，体现了模型的稳定性。

8 的结论

8.1 结果总结

8.1.1 问题 1 的结果

根据模型 I 和模型 II 的计算结果，可以确定 50 年后两种鱼类的分布情况如下:



关注数学模型
获取更多资讯

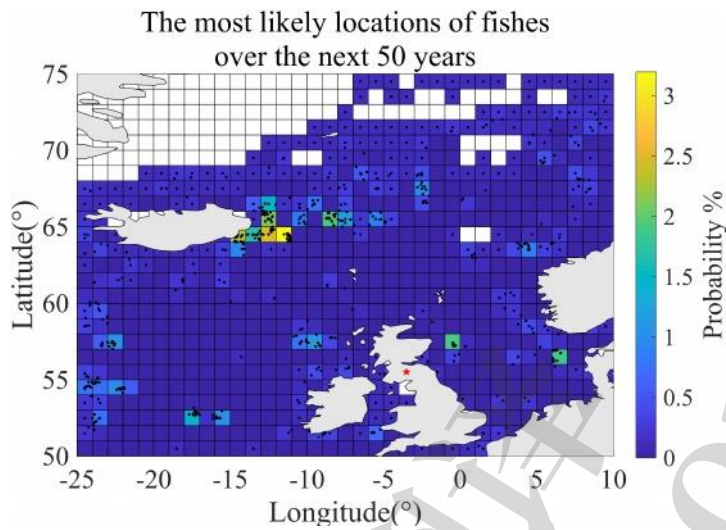


图 17:未来 50 年最有可能出现鱼类的位置

8.1.2 问题 2 的结果

根据对未来 50 年鱼类洄游的预测，利用模型 III 对公司的管理进行评估，实现直方图:

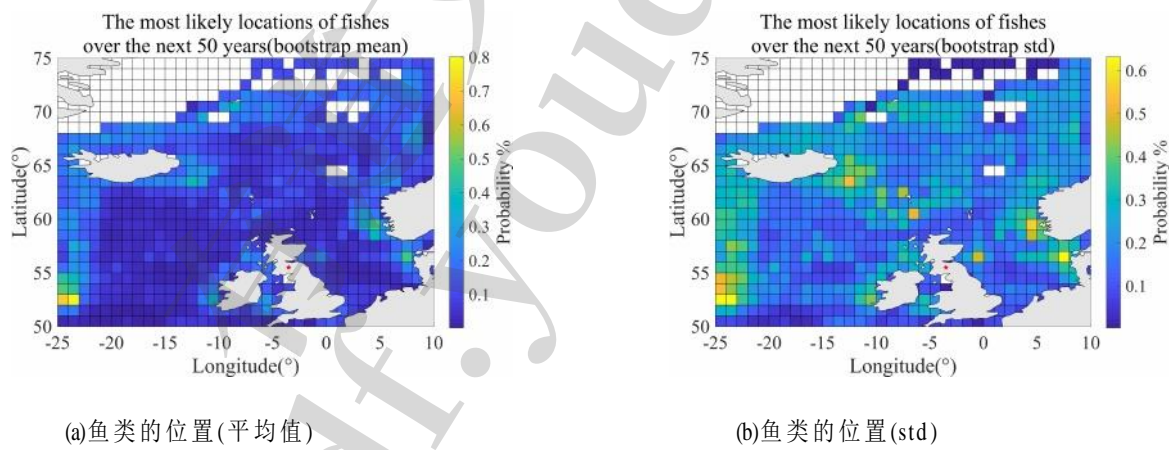


图 18:未来 50 年鱼类的预测位置

有道文档翻译
pdf.youdao.com



关注数学模型
获取更多资讯

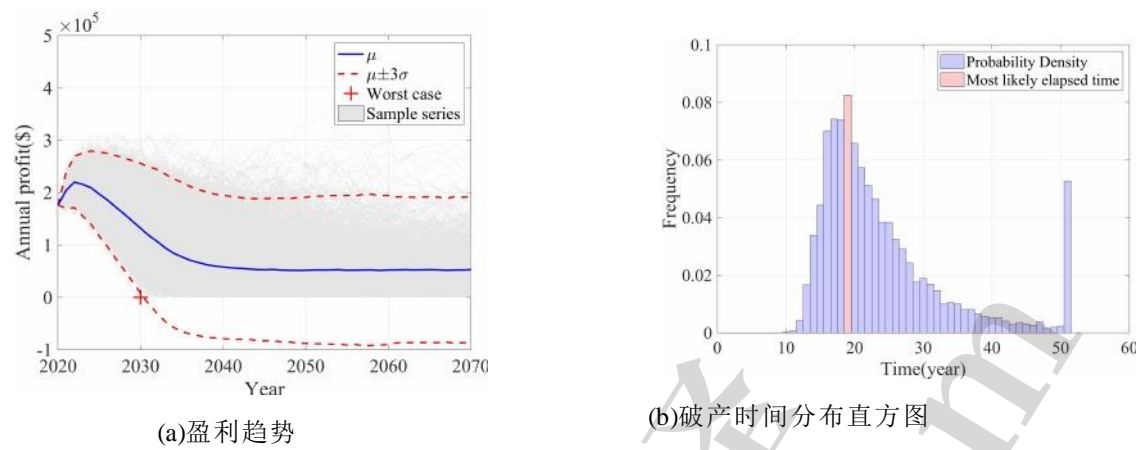


图 19:未来 50 年渔业公司经营模拟结果

最好的情况和最坏的情况将分别维持到 2070 年和 2030 年，而 2039 年是最可能无法维持捕捞的年份。

8.1.3 问题 3 的结果

考虑到鱼有向北移动的趋势，给出的策略是将渔港改为冰岛。后期的经营趋势曲线可以通过模型三得到：

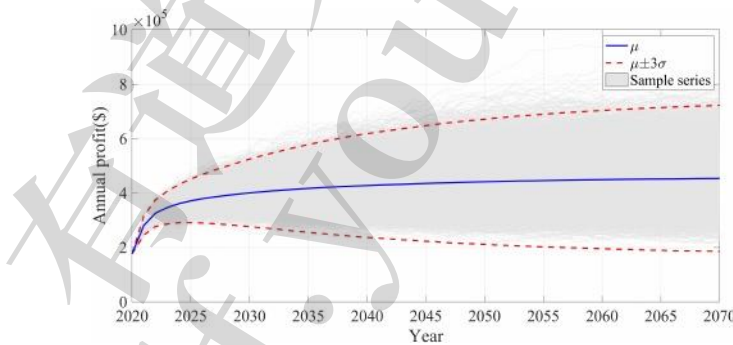


图 20:未来 50 年渔业公司经营的模拟结果

可以得出，在改变初始港口后，管理状况可以得到很大改善，到 2070 年，可以保持 100%的捕鱼作业。

8.1.4 问题 4 的结果

以领海相关政策和法律为例，渔业企业不能将出港港改为冰岛。我们给出的相应策略是提高船舶技术，可以以更高的成本来提高利润。对于这个策略，可以借助 Model III 来确定利润趋势曲线。在图 21 中可以看到，如果改变出发港口，62.68%的公司可以在 50 年后继续保持渔业业务，这得益于更好的经营状况。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

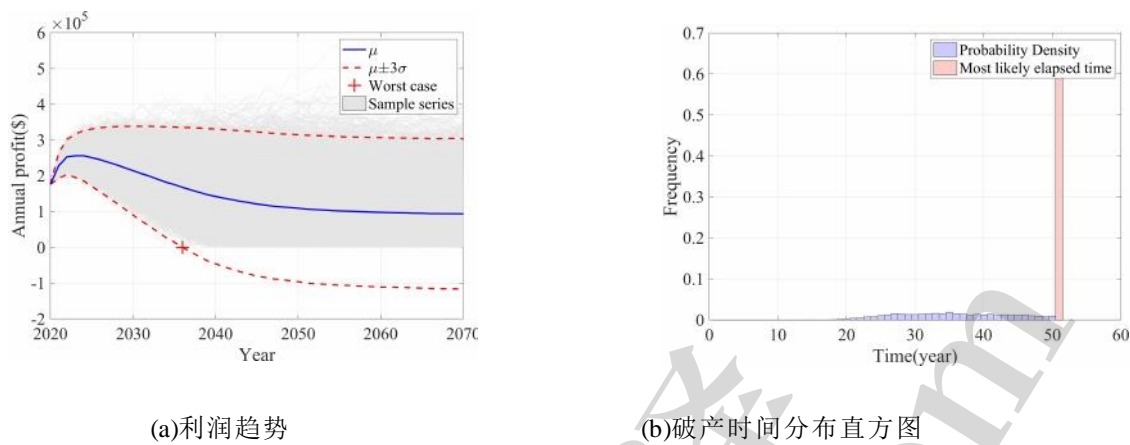


图 21:未来 50 年渔业公司经营模拟结果

8.2 强度

- 基于时间序列的海温预测模型科学合理，能通过各种统计检验。得到的预测具有可靠的统计描述；
- 模型的敏感性分析论证了模型在不同参数组合下的有效性，证明了模型的鲁棒性；
- 基于大样本数据对经营策略进行科学评估，便于企业管理者根据实际情况进行理性决策。

8.3 可能的改进

- 如果有更完整的数据，对鱼类洄游的分析就会更准确；
- 一些近似分析方法被应用于渔业管理的模型公司，这可能会导致与实际情况相反的极端情况。

参考文献

[1] Corten, A.(2001)。北海鲱鱼的北部分布，作为对高水温和/或低食物丰度的反应。《渔业研究》, 50(1-2), 189-204。

[2] Jansen, T., Campbell, A., Kelly, C., Hatun, H., & Payne, M. R.(2012)。东北大西洋鲭鱼(Scomber scombrus)秋冬季节的迁徙和渔业。《PLoS One》, 7(12)。

[3] no øttestad, L., Misund, o.a., Melle, W., Hoddevik Ulvestad, B. K., & Orvik, K. A.(2007)。北极前沿的鲱鱼:温度和猎物对其时空分布和迁徙的影响。《海洋生态》, 28,123-133。



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

[4] Misund, o.a ., Vilhjálms- son, H., Jákupsstovu, S. H. Í。 , Røttingen, I., Belikov, S., Asthors- son, O。 , ·····& Sveinbjórns- son, S.(1998)。1996 年春夏协调调查记录的挪威春季产卵鲱鱼的分布、迁移和丰度与挪威海温度和浮游动物生物量的关系。 *Sarsia*, 83(2), 117-127。

[5] Peer, a.c., & Miller, T. J.(2014)。气候变化、迁徙物候学和渔业管理相互作用，产生意想不到的后果。 *北美渔业管理*, 34(1), 94-110。

有道文档翻译
pdf.youdao.com



关注数学模型
获取更多资讯

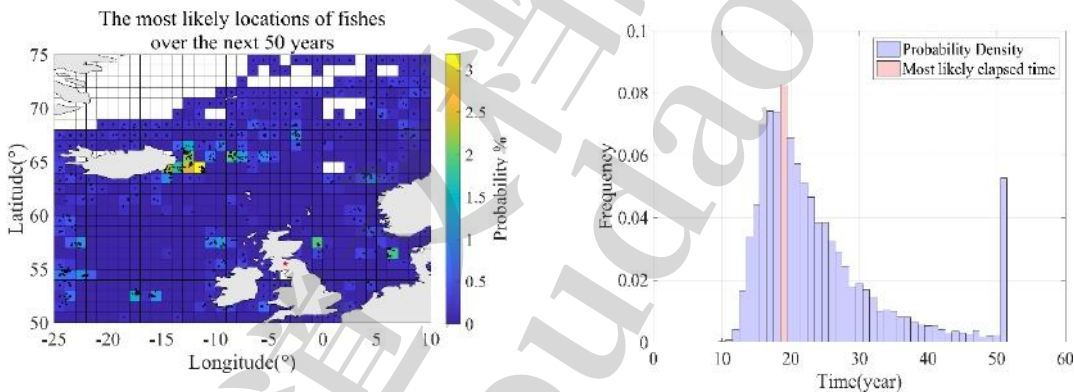


留意鱼类洄游

我是 MCM 的鱼类研究员。众所周知，鲱鱼和鲭鱼不仅是苏格兰人喜爱的食物，也为苏格兰渔民提供了丰厚的收入。

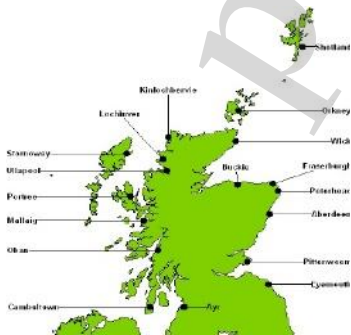
然而，政府间气候变化专门委员会关于全球变暖的第五次评估报告显示，自 1870 年以来，观测数据显示全球海洋温度持续并加速上升，上升幅度超过 1 度。由于海洋温度持续上升，鲱鱼和鲭鱼不得不离开现有的栖息地，向北方寻找更好的栖息地，这给苏格兰渔民带来了负担。因为远处的鱼增加了捕捞费用，同时捕捞量也会不可避免地减少。

根据我们的研究，在目前的技术水平和经营策略下，面对未来 50 年可能出现的鱼类大规模迁徙，作为大多数人谋生方式的小渔捞公司的生存概率令人担忧。下图是我们预估的存活率分布。



经过 10000 次模拟鱼的洄游和相应的小渔业公司的收入，最坏的情况是在 2030 年，渔业公司因鱼而破产的概率。迁移率为 0.02%;至于最可能的情况，2039 年的概率为 8.25%。最好的情况是 50 年没有破产，概率为 5.27%。

最后，我们对社会收益率与渔船最大航行半径关系的研究表明，社会收益率和最大航行半径的增加，都可以显著降低破产的概率。基于此，我们的建议是，积极参与整体发展较好的行业，提高渔船技术，扩大航行半径，始终实现低碳出行、节能环保，为减缓全球变暖做出贡献，让大家在保持应有收益的同时，在更长的时间内享受钓鱼带来的乐趣。



罗马
2020 年 2 月
17 日



关注数学模型
获取更多资讯

附录

附录 A 工具和软件

通过 L 编写和生成的论文 ^ATEX，免费分发。使用 MATLAB R2019a 生成图形并计算。

附录 B 代码

以下是我们在我们的模型中使用的模拟程序。

B.1 ARIMA 模型参数估计和排序代码

```
clc O;
clf O;
明确的
O;
进口(预处理。*);
% 的参数
dir = ' ~/Downloads/ ';%文件路径
Sstname = [dir, ' sst.mean.nc '];% 文件名
Moi = 4:7;% 利息月数
Latoi = [50,75];% 感兴趣纬度(N)
Lonoi = [-25,10];%感兴趣经度(E)
geodetic2 笛卡儿(0,0,latoi,lonoi,1);
Landthreshold = 1/16;% NaNs 在土地中的最小比例

SST = readnc(sstname);% 读取数据集
风场。Time = datetime(1800,1,1)+sst.time;% day, 从
1800.1.1 起
SST =
filtbymonth(SST,moi);
SST =
meanbyyear(SST);
SST = trimlongitude(SST);%用负 present W.lat 代替 180+
SST =
filtbylatlon(SST,latoi,lonoi);
风场。SST = permute(SST . SST, [2,1,3]);% permute 使 imshow()方便
[sst,landmask] = landclear(sst,round(landthreshold*numel(sst.time)));%过滤 landnans sst。
SST = (SST . SST, [], 60). ';
风场。SST = SST . SST (:,
any(SST . SST));
Y = sst.sst;

A = [
交叉验证(Y, [1:50, []], 51:60)交叉
验证(Y, [1:40,51:60], 41:50)交叉验
证(Y, [1:30,41:60], 31:40)交叉验证
(Y, [1:20,31:60], 21:30)交叉验证(Y,
[1:10,21:60], 11:20)交叉验证(Y,
```


[1:10,21:60], 11:20)交叉验证(Y, [[, 11:60], 1:10]);

A =排序(sqrt(A));

% 的阴谋(C:[1,3])

b =箱线图(A '标签'{'(p = 1, d = 1)' , '(p = 1, d = 2)' , '(p = 2, d = 1)' , '(p = 2, d = 2)}.....);

网格(上);



关注数学模型
获取更多资讯

有道文档翻译
pdf.youdao.com

```
集(gca, 'YScale', '日志');  
title([' Choose ARIMA model by using RMSE ', newline, ' with six fold cross validation ']) %  
legend 1_0 1_1 2_0 2_1  
包含(参数);  
ylabel('均方根误差(a)');
```

```
Set(gca, 'fontsize', 22, 'fontname', 'times new roman')  
% fastprint( "ARIMAfit" )
```

函数 eps=交叉验证(Y,ins,oos)

```
ins =  
Y(ins, :);  
oos =  
Y(oos, :);  
mdl = fitAR(ins,1,1);  
[~, eps1] =  
forecast(oos,mdl);  
mdl = fitAR(ins,1,2);  
[~, eps2] =  
forecast(oos,mdl);  
mdl = fitAR(ins,2,1);  
[~, eps3] =  
forecast(oos,mdl);  
mdl = fitAR(ins,2,2);  
[~, eps4] =  
forecast(oos,mdl);  
每股收益=(平均(eps1。 ^ 2);平均(eps2。 ^ 2),意味着(eps3。 ^ 2),意味着  
(eps4。 ^ 2)]。 ” ;
```

结束

函数 mdl=fitAR(Y,p,d)对于 i = 1:d

```
Y = diff(Y,1,1);
```

结束

```
n = size(Y,1);  
mdl。 P =  
P;  
mdl。 D =  
D;  
mdl。 β =零(0,p+1);  
v = zeros(n-p,0);  
对于 y=y  
A = ones(n-p,p+1);  
for i = 1:p  
A(:,i) = y(i:end-p-1+i);  
  
结束  
mdl.beta(end+1, :) =  
A\y(p+1:end);  
v(:, end+1) = A*mdl.beta(end, :). ';% #好<  
AGROW >
```

结束

```
mdl。 sigma = cov(Y(p+1:end, :)-  
v);
```

结束

函数 [v,eps]=预测(Y,mdl)

```
assert(size(mdl.beta,1) ==
size(Y,2));assert(size(Y,1) >
mdl.p+mdl.d);
```

```
Y0 = Y;
```

```
头=零(mdl.d,size(Y,2));对于 I=
1:mdl.d
```

```
head(i, :) =
Y(1, :);Y =
diff(Y,1,1);
```

结束

```
n = size(Y,1);
```

```
V =零 (n-mdl.p,0);
```

```
for i = 1:size(Y,2)
```

```
v(:,结束+1)= conv (Y (1: end-1, i), mdl.beta(我 end-1: 1:1), “有效” )+mdl.beta(我,
结束);% #
```

结束

```
v = [Y(1:mdl.p, :);v];
```

```
For I = mdl.d:-1:1
```

```
V = cumsum([head(i, :); V],
1);
```

结束



关注数学模型
获取更多资讯

```
V = V (mdl.p+mdl.d+1:结束, :);eps =  
Y0(mdl.p+mdl.d+1:end, :)-v;
```

结束

B.2 Bootstrap 模拟代码

```
clc O;  
clf O;  
明确的  
O;  
rng( “ 违约 ” );  
Bs = false;  
% 的参数  
dir = ' ~/Downloads/ ';%文件路径  
Sstname = [dir, ' sst.mean.nc '];% 文件名  
Moi = 4:7;% 利息月数  
Latoi = [50,75];% 感兴趣纬度(N)  
Lonoi = [-25,10];% 兴趣经度(E)  
Landthreshold = 1/16;% NaNs 在土地中的最小比例  
[sst,landmask] =  
getsst(sstname,moi,latoi,lonoi,landthreshold);[lon,lat] =  
meshgrid(sst.lon,sst.lat);  
[y.x, ~, ~, tform] =  
geodetic2cartesian(lat,lon,latoi,lonoi,1);  
  
[dTdx,dTdy] = grad(sst.sst,x,y);dT  
=根号(dTdx.^2+dTdy.^2);  
logistic_b =中位数(dT(~isnan(dT)));  
  
D1 = sqrt(diff(x,1,1).^2+diff(y,1,1).^2);D2 =  
sqrt(diff(x,1,2).^2+diff(y,1,2).^2);Vmax =  
2.5*(nanmean(d1(:))+nanmean(d2(:)))/2;  
  
风场。SST = (SST . SST, [],  
60).';风场。SST = SST . SST (:,  
any(SST . SST));  
  
如果  
b  
bsN = 10000;% #好< * UNRCH >  
  
其他的  
bsN = 1;  
  
结束  
种子 = sst.sst(end-1:end, :);  
mdl = fitAR(sst.sst,1,1);  
rec = cell(2,bsN);  
  
抽  
搐 O  
对于 i = 1:bsN  
班 O;
```

```
持有(上);
值=模拟(种子， mdl,2070-2018+1,bs);map =
getMap(landmask,value);
[dTdx,dTdy] = grad(map,x,y);
Px =零(size(map));
Py =零(size(map));
Px (:, :, 1)
= x;
Py (:, :, 1)
= y;
Px (:, 1,1) = Px (:, 1,1)+1e-6;
Px (:, end,1) = Px (:, end,1)-
1e-6;
Py (1, :, 1)=Py (1, :, 1)-1e-
6;
PVX =零(size(x));
```



关注数学模型
获取更多资讯

```

Pvy =零 (size(y));
对于 t = 1:size(map,3)
    [pxidx, pyidx] = transformPointsInverse (tform px (:,:, t), py (:,:,
t));
    Pxdx_ = pxidx;pyidx_ = pyidx;
对于 j = 1:2
    % get gradT 或 NaN
    pxdT =轮 (pxidx)-lonoi(1);
    pydT = latoi(2)-round(pyidx);
    有效的大小 = 1 <= pxdT&pxdT <= (pxdT, 2) 1 & 1 <= pydT&pydT <=大小
    (pydT, 1) 1;
    idx = (t-1)*size(dT,1)*size(dT,2)+sub2ind(size(valid)-1,pydT(valid), pxdT(valid)
pdTdx = NaN(size(pxdT));
    pdTdy = NaN(size(pydT));
    pdTdx(有效)= dTdx(idx);
    pdTdy(有效)= dTdy(idx);
    % get T 或 NaN
    pxT =轮 (pxidx+0.5)-lonoi(1);
    pyT = latoi(2)-轮 (pyidx-0.5);
    有效的大小 = 1 <= pxT&pxT <= (pxT, 2) & 1 <= pyT&pyT <=大小
    (pyT, 1);
    idx = (t-1)*numel(有效)+sub2ind(size(有效), pyT(有效), pxT(有
效));
    pT = NaN(size(pxT));
    pT(有效)= map(idx);
    % calc 速度
    [pvx_, pvy_] =
odefun(pT,pdTdx,pdTdy,logistic_b,vmax);
    开关 j
        案例 1
            PVX = pvx_;pvy = pvy_;
            [pxidx, pyidx] = transformPointsInverse (tform, px (:,:, t) + pvx_ py
(:,:, t) +
        案例 2
            无效=isnan(pvx_) |
            isnan(pvy_);Pvx(无效)= 0;
            Pvy(无效)= 0;
结束
结束
% 更新位置
If t ~= size(map,3)
    Px (:, :, t+1) = Px (:, :,
t)+pvx;Py (:, :, t+1) = Py
(:, :, t)+pvy;
结束
结束
Rec {1,i} = px;
Rec {2,i} = py;
If i-floor(i/10)*10 == 1
    [pxidx, pyidx] = transformPointsInverse (tform px(:,,结束),py(:,,最
后));班 ();
    持有(上);

```

```
科幻小说=冲浪(经度、纬度、零(大小(landmask)),地图(:,,:结束),FaceColor,插  
值函数);qv = quiver(pxidx,pyidx,pvx,pvy, 'marker','.', 'AutoScaleFactor',  
2);  
qv.MarkerFaceColor = qv.Color;  
标题(num2str  
(i));  
drawnow ();
```

结束

结束

toc ()

```
函数[vx,vy]= odefun(T,dTdx,dTdy,beta,v_max)  
delta_u = zeros(size(T));  
delta_u(T > 6) = -1;  
delta_u(T < 2) = 1;  
dT =根号(dTdx.^2+dTdy.^2);
```



关注数学模型
获取更多资讯

```
    因子= delta_u./(dT+beta).*v_max;vx
    =因子。*dTdx;

    vy =因子。*dTdy;

结束

函数 [dTdx,dTdy]= grad(map,x,y)

    dTdx = diff(map,1,2)./diff(x,1,2);
    dTdy = diff(map,1,1)./diff(y,1,1);

    dTdx = (dTdx(1:end-
    1, :, :)+dTdx(2:end, :, :))./2;dTdy =
    (dTdy(:, 1:end-1, :)+dTdy(:, 2:end, :))./2;

结束

函数 图=getMap(landmask,v)

    map = NaN(size(v,1), numel(landmask));
    Map (:, ~landmask) =
    v;
    Map = (Map .', [size(landmask), size(v,1)]);

结束

函数 mdl=fitAR(Y,p,d)对于 i
    = 1:d

    Y = diff(Y,1,1);

    结束

    n = size(Y,1);

    mdl。 P =
    P;

    mdl。 D =
    D;

    mdl。 β =零 (0,p+1);V =
    zeros(n-p,0);对于 y = y

        A = 1 (n-p,p+1);

        for i = 1:p

            A(:,i) = y(i:end-p-1+i);

        结束

        mdl.beta(end+1, :) =
        A\y(p+1:end);

        v(:, end+1) = A*mdl.beta(end, :). ';% #好<
        AGROW >

    结束

    mdl。 sigma = cov(Y(p+1:end, :)-
    v);

结束

函数 Y= simulation (Y,mdl,totalTicks,bs)

    断言 (isequal(大小 (Y), [mdl.p + mdl.d 大小 (mdl.beta,
    1))));outerTicks = totalTicks-size(Y,1);

    head =零 (mdl.d,size(Y,2));

    对于 I=
    1:mdl.d

        head(i, :) =
        Y(I, :);

        Y = diff(Y,1,1);

    结束
```


结束

```
P = mdl.p;  
Y(totalTicks-mdl.d, :) =  
0;  
  
Beta = mdl.beta(:, end-1:-1:1).';  
Inception = mdl.beta(:, end).';  
rnd = mvnrand(zeros(1,size(Y,2)), mdl.sigma,outerTicks);  
  
for i = 1:outerTicks  
    Y (p +我,:) =总和(Y(我:p +张:)。 * β 1)+ 《盗梦空间》 + b。  
    * rnd(我:);  
  
结束
```

结束

```
对于 I = mdl.d:-1:1  
    Y = cumsum([head(i, :);Y],  
1);
```

结束

```
Y = Y(mdl.p+mdl.d+1:结  
束, :);
```

结束

```
函数 r = mvnrand(mu,sigma,cases)持续  
RND I  
  
If isempty(rnd) || I > 1000*例
```



关注数学模型
获取更多资讯

```
RND = mvnrnd(mu,sigma,1000*例);I
= 1;
```

结束

```
R = rnd(i:i+cases-
1, :);I = I +病例;
```

结束

有道文档翻译
pdf.youdao.com

有道文档翻译
pdf.youdao.com



关注数学模型
获取更多资讯