

## An MCM Paper Made by Team 2510625

### Summary

Here is the abstract of your paper.

对于问题1，我们仔细分析了旅客人数，税收的变化，财政在基建方面的投入比例对于政府最后的收入，环境质量以及社会满意度所产生的影响后进行了线性规划，建立了混合优化模型并用种群迭代机制从局部最优解找到了全局的最优解。基于往年朱诺的居民满意度调查数据和相对应年的游客数量对社会满意度和游客人数进行了一个非线性的拟合，其可靠度为0.7423。我们将社会满意度和环境质量通过乘以一个合适的系数进行了无量纲处理，方便衡量对目标函数的影响。根据我们的模型生成的结果显示在游客人数为1552632，游客税率为8%，废物管理投入占比为0.128，水资源管理投入占比为0.113，环境保护投入占比为0.159的时候，总收入为295000000000美元，CO<sub>2</sub>的排放量为285684.21吨，居民满意度为65.84(100为最大)，环境指数为0.5014(1为最大，越小越好)。敏感性分析上，我们分析了变量的局部敏感性和全局敏感性，具体结果如图x所示并得出人数是关键变量。

Secondly, that is ...

Finally, that is ...

# 目录

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
1.1	Problem Background . . . . .	3
1.2	Problem Restatement and Analysis . . . . .	4
1.3	Our work . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Preparation of the Models</b>	<b>5</b>
2.1	Assumptions . . . . .	5
2.2	Notations . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Solution to Problem1</b>	<b>6</b>
3.1	建立一个可持续旅游发展的模型 . . . . .	6
3.1.1	找到状态变量之间的关系 . . . . .	6
3.1.2	找到约束条件 . . . . .	9
3.1.3	多起点的混合优化策略 . . . . .	9
3.1.4	计算结果 . . . . .	11
3.2	敏感度分析 . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Solution to Problem2</b>	<b>12</b>
4.1	建立分流模型 . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Solution to Problem3</b>	<b>12</b>
	<b>Memorandum</b>	<b>14</b>
	<b>References</b>	<b>15</b>
	<b>Appendix A: 关于AI工具的使用说明</b>	<b>16</b>

# 1 Introduction

## 1.1 Problem Background

Here is the problem background. Three major problems are discussed in this paper, which are:

- **地理位置：**朱诺市是美国阿拉斯加州的首府，位于阿拉斯加东南部，拥有约30,000名居民。这座城市以其丰富的自然资源、独特的地理位置和迷人的自然景观而闻名，是许多游客前往阿拉斯加的首选目的地之一。朱诺市不仅是阿拉斯加的政治中心，也是一个重要的旅游枢纽，以其冰川、雨林和丰富的野生动物资源吸引着来自世界各地的游客。
- **旅游现状：**近年来，朱诺市的旅游业经历了迅猛的发展，尤其是在邮轮旅游方面。2023年，朱诺市创下了接待160万邮轮游客的纪录，单日最多接待7艘大型邮轮，游客数量高达20,000人。[1]这些游客为城市带来了可观的经济收益，约3.75亿美元。[2]然而，这种快速发展的旅游业也带来了一系列问题，尤其是与过度旅游相关的挑战。
- **环境影响：**朱诺市的门登霍尔冰川是该市的主要旅游景点之一，但近年来由于气温上升，冰川正在快速消退。自2007年以来，冰川已经后退了相当于八个足球场的距离。这种环境变化不仅对自然景观造成了破坏，也引发了当地居民对旅游业可持续性的担忧。[3]

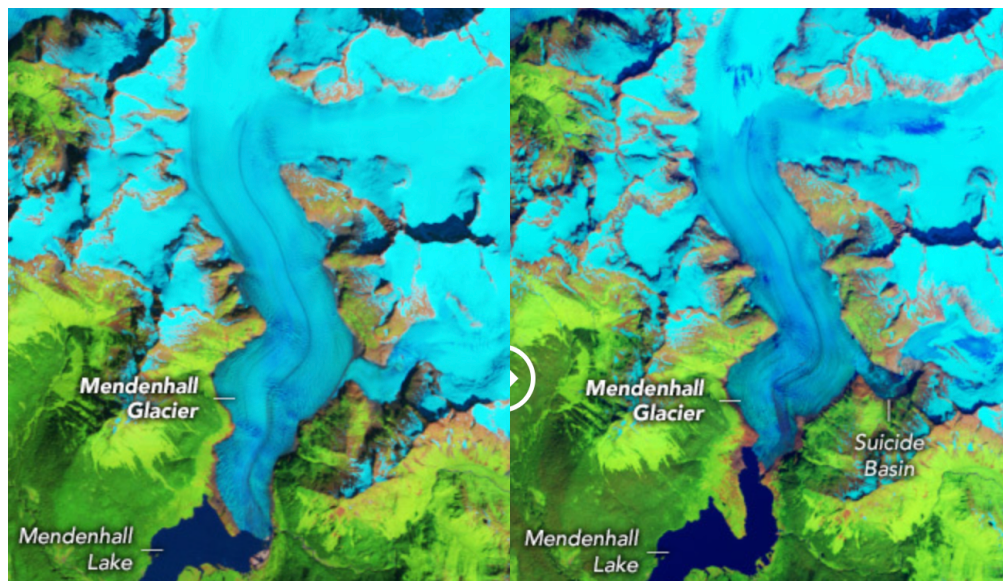


Figure 1: glacier

## 1.2 Problem Restatement and Analysis

- **Problem1:** 建立一个可持续旅游产业的模型，它应当满足最大化收入，最大化环境质量且最大化社会满意度并对其进行敏感性分析。
- **Problem2:** 建立一个模型去解决游客分流到其他客流量比较小的景点，这也是增加收入减少区域压力的措施。
- **Problem3:** 展示模型如何可以适应另一个受过度旅游影响的旅游目的地，应当去获取另一个城市的相关信息并用模型进行预测。
- **Problem4:** 展示模型随着具体措施会发生的变化以此来为决策者提供更好的建议，比如加酒店税、游客费用、每日游客数量上限以及限制酒精销售和消费等。
- **An article:** 为朱诺市旅游局写一封一页的备忘录，概述结果的预测、各种措施的影响以及对如何优化结果的建议。

## 1.3 Our work

To avoid complicated description , intuitively reflect our work process, the flow chart is show as the following figure:

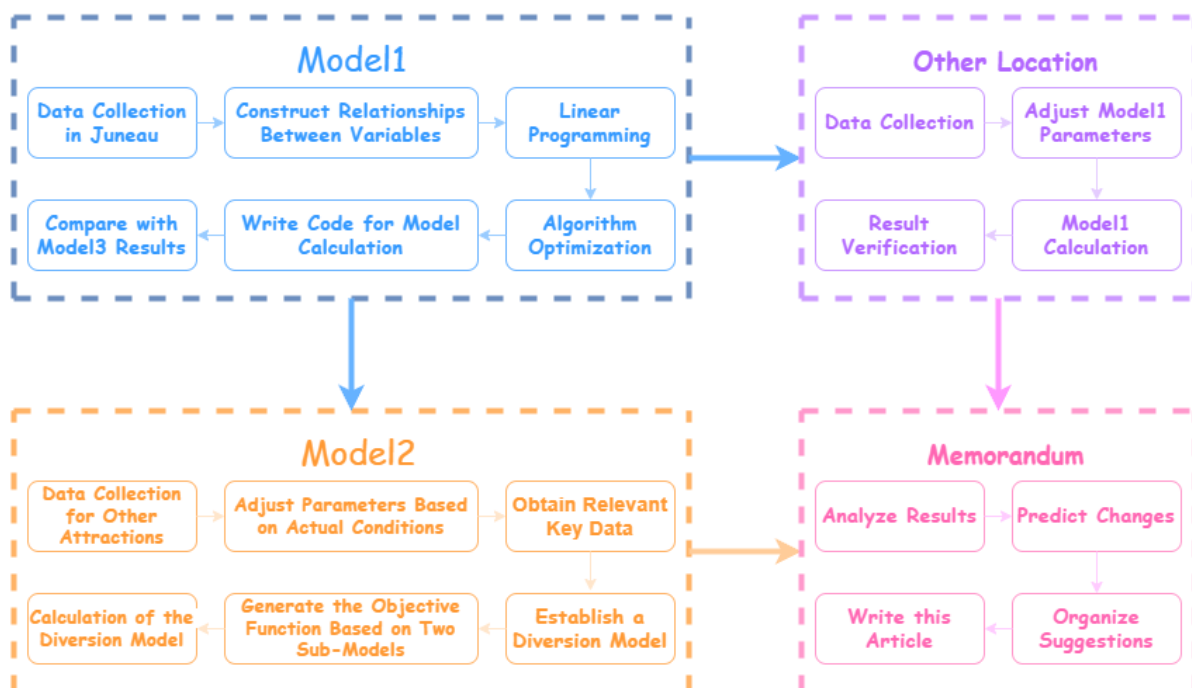


Figure 2: Pprocess map

## 2 Preparation of the Models

### 2.1 Assumptions

### 2.2 Notations

The primary notations used in this paper are listed in Table 1.

Table 1: Notations

Symbol	Definition
$R$	经济发展指数
$R_e$	Total tourism income
$N_t$	Number of tourists
$N_{tmax}$	Maximum number of tourists allowed per year
$\tau_t$	Tax rate
$P_t$	Average spending per tourist
$E$	环境污染指数
$CO_{2max}$	所允许的最大年 $CO_2$ 排放量
$CO_{2p}$	Carbon emissions per person
$C_{waste}$	城市的废物处理系统能够承载的年游客人数
$C_{water}$	城市的饮用水供应系统与水污染处理系统能够承载的年游客人数
$S_{residents}$	Residential satisfaction
$S$	Social satisfaction
$P_{waste}$	Cities' investment in waste management
$P_{water}$	Cities' investment in water management
$P_e$	Cities' investment in environment management
$Z$	Representation of target equation

### 3 Solution to Problem1

#### 3.1 建立一个可持续旅游发展的模型

##### 3.1.1 找到状态变量之间的关系

考虑到可持续旅游发展的需要，我们从环境、经济与社会三个角度对朱诺市的旅游业综合收益进行评估。并设置环境污染指数E、经济指数R、与社会满意度指数S来进行评估。

我们的目标函数应受收入，社会满意度和环境质量三者影响，我们希望经济效应最大化，社会满意度最大化以及环境污染最小化。故而，经济指数R与社会满意度指数S对目标函数起到正向的影响作用，而环境污染指数对目标函数有负向的抑制作用。最终我们得到：

$$\text{Target equation : } Z = R + S - E \quad (1)$$

我们主要通过游客在旅游时的总消费来衡量旅游收入。旅游总收入主要受到人均消费金额与游客总人数的影响。为了简化模型，我们认为在短期内人均消费不会发生很大波动，是定值。故而旅游的总收入应当和旅客的人数成简单的线性关系，因此我们可以很简单的得到公式2

$$R_e(N_t, P_t) = P_t N_t \quad (2)$$

需要注意的是，由于旅游的大部分税收，如酒店税与酒精税均是隐形税收，直接在消费中体现，故而我们认为政府从旅游业中获取的税收是包含在计算出的收入之中的，按照总税收的比例从收入中进行折算获得。

同时，为了实现在目标函数中与环境和社会指数进行数学运算获得目标函数进行收益评估，我们对人均收入进行了归一化处理，消除量纲的差异以便于获得目标函数。

$$R = R_e / R_{\text{standard}} \quad (3)$$

其中， $R_{\text{standard}}$ 是设置的收入的理论最大值。我们认为，由于对环境保护等的需要，较短期内经济不会过大增长，选取略高于最近一年的年收入最高值的常数，作为收入最大值进行归一化处理获得经济指数。

环境质量方面，我们主要考虑三个因素的影响：二氧化碳排放量，水的消耗量以及废物的产生量，而这三个因素都与游客人数密切相关。对于碳排放因素，我们主要考虑朱诺市由于过度旅游造成的冰川融化问题。根据NASA的数据，门登霍尔冰川在1984-2023年40年间融化了约16公里，平均每年融化40m，需要控制其融化的速度。我们可以使用度日因子

法估计冰川的融化速度：

$$M = DDF * DDT \quad (4)$$

其中，DDF是度日因子，变化小接近常量，而DDT是正积温，受到温度的直接影响。想要控制冰川融化的速度，关键在于控制温度的升高，而碳排放是影响温度升高的主要因素。根据《巴黎协定》的规定，1850-2100年间年平均气温升高尽量控制在1.5度-2.0度，我们以1.5度为温度升高的最大限度计算最大碳排放量。

$$\Delta T = \text{numda} * \ln(CO_2 / CO_{2pre-industrial}) \quad (5)$$

根据该公式计算出全球平均二氧化碳浓度增量，乘上大气质量得到全球250年间的二氧化碳排放总量，通过朱诺市的人口占比，估算出朱诺市的年平均排放量。旅游业是朱诺市占比最大的产业，按照总量的百分之60计算排放总量。同时我们根据朱诺市的森林湿地面积与平均碳吸收量，将两者相加得到最大碳排放量。而对于游客的人均碳足迹，我们考虑到游客主要以邮轮方式出行，有较高的碳排放量，结合邮轮出行平均碳排放量和游客岸上行动的平均碳排放量对人均碳排放量进行了估计。通过朱诺市对后两个因素的处理能力和游客与居民的人均消耗/产生量，可以计算出朱诺市供水系统和废物处理系统可以每年承载的游客数 $C_{waste}$ ,  $C_{water}$ ，我们将实际的人数和承载人数相比进行归一化处理来衡量基建体系压力。最后结合各因子的重要性因素得到了公式3：

$$E = k_1 \frac{CO_{2p} N_t}{CO_{2max}} + k_2 \frac{N_t}{C_{waste}} + k_3 \frac{N_t}{C_{water}} \quad (6)$$

具体的，我们认为朱诺市目前面临较为严重的冰川融化问题，需要控制碳排放量，同时，其废物处理系统的承载量相比供水系统更小，人数的增长对其的压力更大，故而我们认为 $k_1 > k_2 > k_3$ 。

社会满意度方面，由于游客满意度在较长时间跨度的统计数据中均无明显变化，总体满意度停留在百分之99左右，我们认为游客满意度在税收等合理的情况下不会发生明显变化，故而主要考虑居民满意度。我们主要收集了朱诺市1998，2002，2006，2022，2023五年的社会满意度调查结果[4]，摒除其无影响和不知道的无效评价，剩下的评价依据李斯特量表分成了五级，我们按照100分制对数据的评分进行了扩大处理。同时我们查找了这五年的游客人数[?]来和社会满意度进行了数据拟合并得到了如下结果：

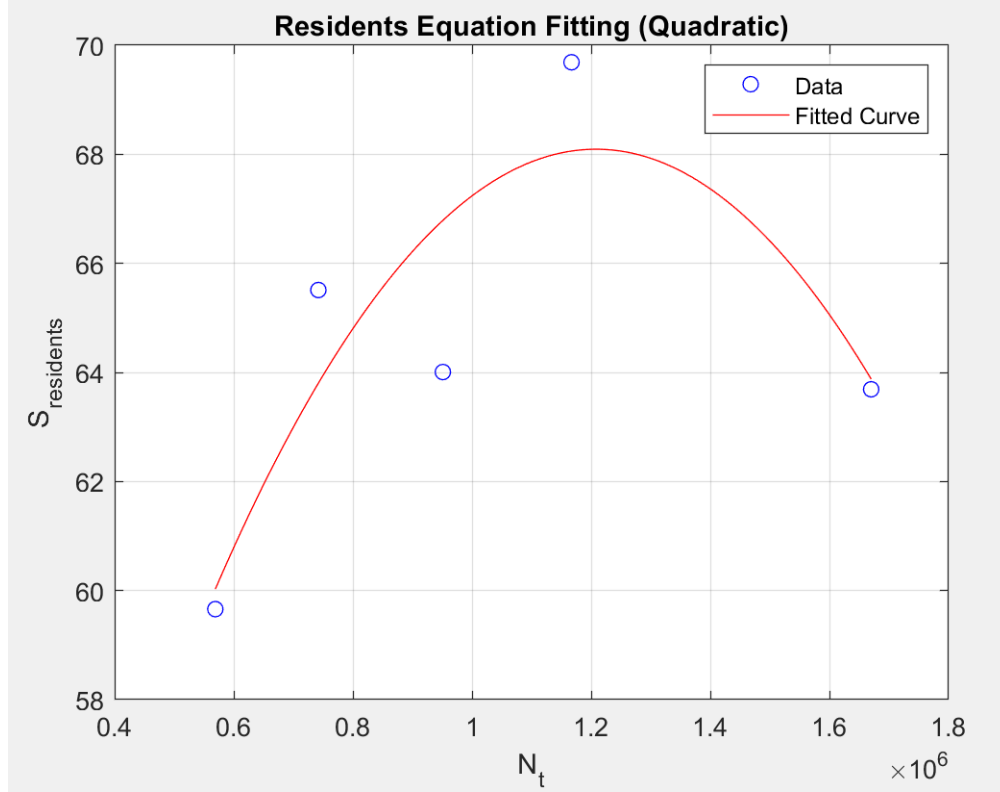


Figure 3: satisfaction

其中,  $a_1 = -1.9753e-11$ ,  $a_2 = 4.772e-5$ ,  $b = 39.2660$ ,  $R^2 = 0.7423$ 。最后, 为了消除量纲带来的影响, 我们给满意度除以了满意度的最大值100分。得到的公式4如下:

$$\begin{cases} S_{residents} = a_1 N_t^2 + a_2 N_t + b_1 \\ S = S_{residents} / 100 \end{cases} \quad (7)$$

额外投入方面, 我们考虑到了政府对于额外税收的分配计划对系统的反馈作用, 政府可以向供水系统、废物处理系统以及环境保护方面进行投入, 如进行基建建设或者增强植树造林等, 以提高基建的最大承载量和最大的碳排放量, 进而获取更高的收益。我们认为政府可以调整投入在政府实际分配中的比值, 以获取最大的收益。得到公式5如下:

$$\begin{cases} P_{waste} = k_5 \tau_t R_e \\ P_{water} = k_6 \tau_t R_e \\ P_e = k_7 \tau_t R_e \\ k_5 + k_6 + k_7 \leq 0.4 \end{cases} \quad (8)$$

为了简化模型, 我们认为投入能够直接带来回报, 并且支出以一定比例直接增加基建承载



量或者最大碳排放量，以便于模型做出决策。

$$\begin{cases} C_{waste}+ = \alpha_1 P_{waste} \\ C_{water}+ = \alpha_2 P_{water} \\ CO_{2max}+ = \alpha_3 P_e \end{cases} \quad (9)$$

### 3.1.2 找到约束条件

在经济方面，为了限制税率的值以保证假设准确，我们设置了一个限制，认为总体税率应小于等于8%。因此有公式7：

$$Financial : \tau_t \leq 8\% \quad (10)$$

游客人数方面，我们依据朱诺市的政策[?]得出了每天的游客的人数限制。公式8如下：

$$Tourism : 0 \leq N_t \leq N_{tmax} \quad (11)$$

环境方面，首先，我们限定了二氧化碳的最大排放量，而在水资源最大承载量和废物处理最大承载量上面，我们考虑到游客人数的季节性波动会导致旺季基建压力的上升，根据数据获得旺季每天最多游客人数占全年总游客人数的比例，考虑到基建能力一年内的的承载弹性，升大设置1.2倍日平均承载量作为上限来限制最大的日游客人数。公式9如下：

$$Environmental : \begin{cases} N_t \cdot CO_{2p} \leq CO_{2max} \\ 0.012N_t \leq \frac{1.2}{365} C_{waste} \\ 0.012N_t \leq \frac{1.2}{365} C_{water} \end{cases} \quad (12)$$

社会满意度方面，经过合适的量化后，我们将60作为及格线。故公式10如下：

$$Societal : S_{residents} \geq 60 \quad (13)$$

### 3.1.3 多起点的混合优化策略

由于我们的模型共有五个决策变量，分别是 $N_t$ ,  $\tau_t$ ,  $k_5$ ,  $k_6$ ,  $k_7$ ，他们之间相互影响且对目标函数不同程度的影响。为了在每个决策变量在局部达到相对较优的条件下，尽可能使全局目标达到最佳，包括旅游收入最高，环境影响最小和居民满意度最高等等，我们使用多起点的混合优化策略来对目标函数的各个影响因子进行优化，其伪代码如下：

模型的解决方案和输出：模型通过对多个影响因素进行多起点优化，最终得到最佳优化情况。

---

**Algorithm 1** Multi-start Optimization Algorithm
 

---

```

1: Input:  $n\_starts$ ,  $Nmax$ ,  $objective\_function$ 
2: Output:  $best\_result$ 

3: /* Initialize variables */
4:  $best\_result \leftarrow null$ 
5:  $best\_objective \leftarrow \infty$ 
6: /* Generate starting points for each parameter */
7:  $Nt\_starts \leftarrow linspace(100000, 0.8 \times Nmax, n\_starts)$ 
8:  $\tau\_starts \leftarrow linspace(0.02, 0.07, n\_starts)$ 
9:  $k\_starts \leftarrow linspace(0.05, 0.15, n\_starts)$ 

10: Define optimization bounds

11: /* Perform optimization from multiple starting points */
12: for  $i \leftarrow 0$  to  $n\_starts - 1$  do
13:   /* Construct initial point */
14:    $x0 \leftarrow [Nt\_starts[i], \tau\_starts[i], k\_starts[i], k\_starts[i]]$ 
15:   /* Minimize objective function */
16:    $result \leftarrow minimize\_function$ 
17:   /* Update best result if better solution found */
18:   if  $result.success$  and  $result.objective < best\_objective$  then
19:      $best\_objective \leftarrow result.objective$ 
20:      $best\_result \leftarrow deepcopy(result)$ 
21:   end if
22: end for

23: return  $best\_result$ 

```

---

### 3.1.4 计算结果

旅游总收入上，根据以往的数据，我们给旅客平均消费值赋值为 $x$ 。经过我们的计算可以得到游客每年人数应为 $x$ 人， $P_e$ 为 $x$ ，结合以往的数据来看，这个数据是相对合理的。

居民满意度上，将旅客人数带进拟合方程后可以得到居民满意度为 $x$ ，符合我们的预期范围。

环境质量上，经过我们的ATP法得出 $k1 = X, k2 = X, k3 = X$ ，将旅游人数和 $CO_{2max}, C_{waste}, C_{water}, N_t$ 带入方程后得出结果为 $x$ ，符合我们的预期范围。

## 3.2 敏感度分析

因为我们使用了混合优化策略，故我们同时分析了输入变量 $N_t, \tau_t, k5, k6, k7$ 的局部敏感度和全局敏感性，代码如下：

---

### Algorithm 2 *Sensitive Analysis*

---

```

1: Initialize variables
2: for each element in the list do
3:   if condition is met then
4:     Perform action
5:   else
6:     Perform another action
7:   end if
8: end for
9: Return result

```

---

结果如下图所示:

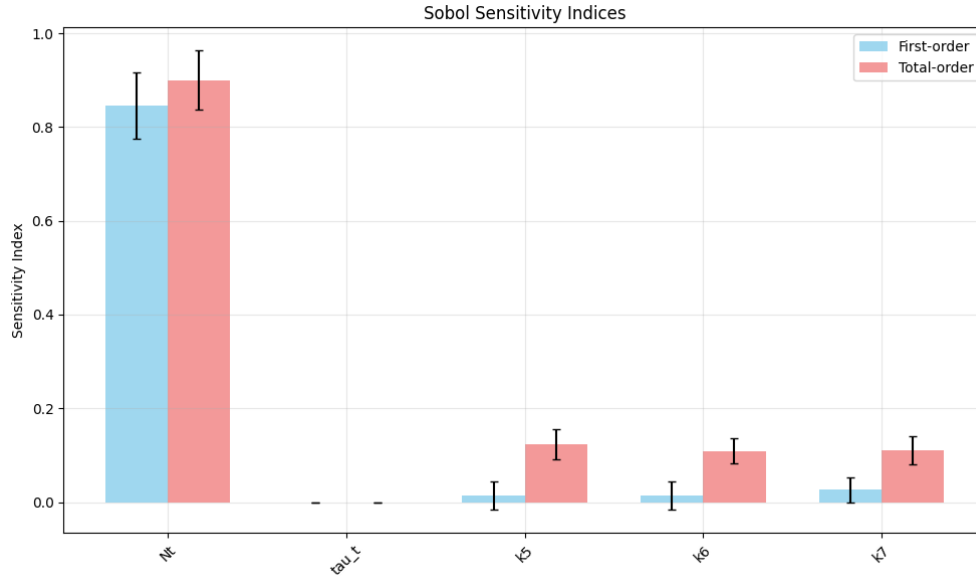


Figure 4: Sensitive Analysis

通过图片我们不难看出，旅客人数为关键的变量，其在局部和全局中的敏感性分别达到了 $x_1$ 和 $x_1$ ，远大于其他的输入变量，而这也符合朱诺市作为一个旅游城市收入受旅客人数影响较大的客观事实。

## 4 Solution to Problem2

### 4.1 建立分流模型

## 5 Solution to Problem3

为了展示模型是如何适应另一个受过度旅游影响的，我们经过数据的查找和收集决定选择位于中国四川省的九寨沟风景区来进行分析。

因为每个地方的基础设施压力，人均消费等都大不相同，我们需要经过数据调研修改相应的参数后才能使用当前的模型进行预测。

通过对官网数据的收集[6]，我们可以得出九寨沟县每年的收入和九寨沟风景区之间的关系。但是由于官方网站缺乏相应的满意度调查等信息，我们根据社会上的普遍评价对这些值进行了简单的估计，通过修改相应的限制条件，如水资源的人均消耗量，废物的人均产生量，水资源和废物处理的承载能力，游客人均消费水平，我们可以将模型适用于九寨沟的情况。根据我们模型跑出来的结果显示，xxx。这些数据和往年相比具有合理性，符合实际的基本预期。

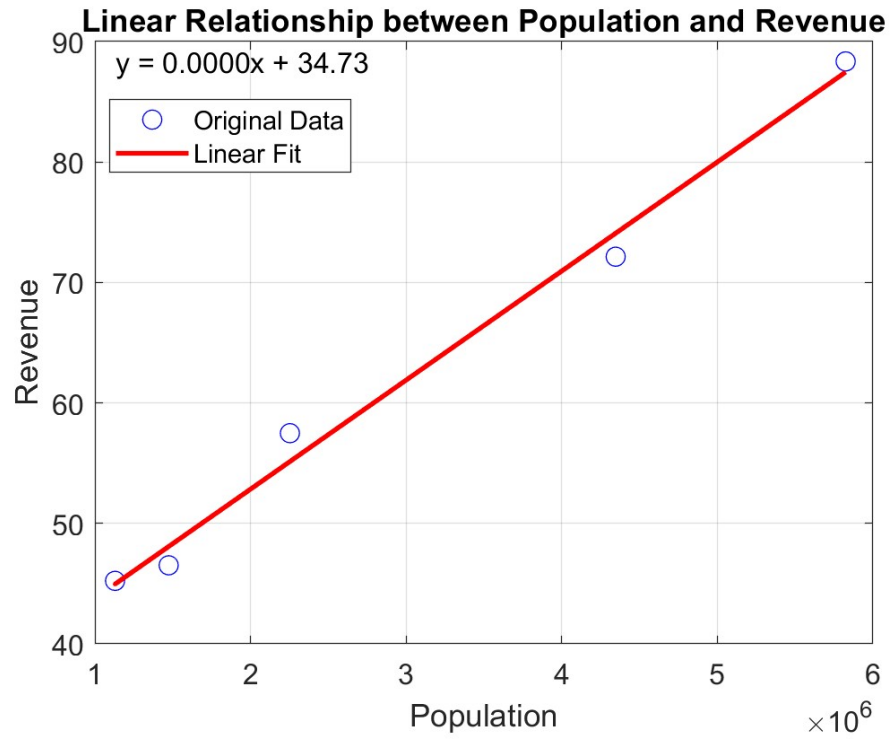


Figure 5: 九寨沟旅游收入与游客人数之间的关系

# Memorandum

**To:** 朱诺市政府

**From:** Team 2510625

**Date:** January 27th, 2025

**Subject:** 关于政府在旅游业上的一些建议

随着旅游市场的不断发展，朱诺市作为阿拉斯加的首府，拥有丰富的自然景观和独特的文化魅力，吸引了大量游客前来观光旅游。为了更好地了解旅游市场的发展趋势，评估各种措施对旅游市场的影响，并提出优化建议，我们进行了深入的市场调研和数据分析。

首先是关于旅游市场的预测，根据我们的市场调研和数据分析，预计未来几年朱诺市的旅游市场将呈现以下趋势：**游客数量增长**：随着全球经济的复苏和人们生活水平的提高，预计未来几年朱诺市的游客数量将呈现稳步增长的趋势。特别是来自亚洲和欧洲的游客数量将有较大幅度的增加。**旅游季节变化**：虽然夏季仍然是朱诺市的旅游旺季，但随着冬季旅游项目的不断丰富，如狗拉雪橇、冰钓等，冬季旅游市场也将逐渐升温。

二是各种措施的影响，为了促进朱诺市旅游市场的发展，我们分析了一系列措施，这些措施对旅游市场产生了以下影响：**适量提高税率**：适量提高税率短时间不会对旅游人数产生较大的影响，而税率的提高可以增加旅游业带来的收入，额外收入增加后可以对基建投入更多的金钱以来提高水资源和废物处理承载能力。**限制每日的游客人数**：限制每日的人数有助于缓解基础设施压力，提高居民满意度，同时如果限制的人数控制在一个比奥较好的值也能确保每日的收入保持在一个比较高的水平。

最后是一些优化的建议：**加强旅游基础设施建设**：继续加大对旅游基础设施的投入，进一步改善住宿、餐饮、交通等方面的条件。特别是要加大对偏远地区的旅游基础设施建设，提高旅游的可达性和便利性。有利于游客参观更多的景点，分散个别热门景点的压力。**提升旅游服务质量**：加强对旅游从业人员的培训，提高旅游服务的质量和水平。特别是要加强对导游、酒店服务人员等的培训，提高他们的专业素质和服务意识。这样可以提升朱诺市的旅游风评，增加游客前来的意愿。**加强市场营销推广**：继续在国内主要旅游市场进行市场营销推广，提高朱诺市的知名度和美誉度。可以通过举办旅游推介会、参加旅游展会等方式，向更多的游客宣传朱诺市的旅游资源和旅游产品以来吸引更多游客和刺激游客消费，提高游客平均消费水平。

## 参考文献

- [1] <https://abc7.com/post/juneau-alaska-cruise-ship-limits-overtourism/15048713/>
- [2] <https://juneau.org/wp-content/uploads/2024/01/CBJ-Cruise-Impacts-2023-Report-1.22.24.pdf>
- [3] <https://alaskapublic.org/2023/08/07/crammed-with-tourists-juneau-wonders-what-will-happen-as-mendenhall-glacier-recedes/>
- [4] *A simple, easy L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X template for MCM/ICM: EasyMCM.* (2018). Retrieved December 1, 2019, from <https://www.cnblogs.com/xjtu-blacksmith/p/easymcm.html>
- [5] <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151682/alaskas-mendenhall-glacier>
- [6] <https://www.jiuzhai.com/news/number-of-tourists/>

## Appendix A: 关于AI工具的使用说明

To clarify the importance of using  $\text{\LaTeX}$  in MCM or ICM, several points need to be covered, which are ...

To be more specific, ...

All in all, ...

Anyway, nobody **really** needs such appendix ...