

城市人群移动模式预测模型

闫小勇

yanxy@mail.bnu.edu.cn

合作者：赵琛，樊瑛，狄增如，王文旭

北京师范大学，系统科学学院

2013.4.25



1. 研究背景

报告提纲

闫小勇

2

1. 研究背景

2. 传导模型

3. 主要结果

3.1. 出行距离分布

3.2. 目的地出行限制

3.3. 点对点移动量

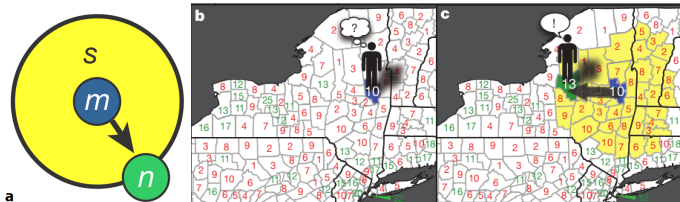
3.4. 整体预测精度

4. 总结与讨论

- ▶ 预测人群在不同地点之间的移动是地理学、空间经济学、交通工程学等领域长期研究的科学问题，在疾病传播防控、交通网络规划与设计、基于位置的商业服务等领域也具有重要的应用价值。
- ▶ 引力模型（Gravity model）是预测地点间人群移动模式的一类经典方法，但引力模型必须依赖具体的参数才能实施预测，估计这些参数需要进行系统的交通流数据调查。
- ▶ 介入机会模型、随机效用模型等有参数的模型也存在类似的问题，这限制了这类模型的使用。

1. 研究背景

- ▶ 最近提出的辐射模型 (Radiation model, Simini, F. *et al. Nature* **484**, 96 2012) 是一个无参数的模型, 它不需要大规模的交通调查数据就可以准确地预测城市间的人群移动模式。
- ▶ 但是, 辐射模型在预测城市内人群在地点间的移动模式时精度很低。



$$T_{ij} = T_i \frac{m_i m_j}{(m_i + s_{ij})(m_i + m_j + s_{ij})}$$

报告提纲

闫小勇

1. 研究背景

2. 传导模型

3. 主要结果

- 3.1. 出行距离分布
- 3.2. 目的地出行限制
- 3.3. 点对点移动量
- 3.4. 整体预测精度

4. 总结与讨论



2. 传导模型

报告提纲

闫小勇

1. 研究背景

4 2. 传导模型

3. 主要结果

- 3.1. 出行距离分布
- 3.2. 目的地出行限制
- 3.3. 点对点移动量
- 3.4. 整体预测精度

4. 总结与讨论

► 模型基本假设.

- 1. 个体选择出行的目的地点时，会权衡各地点的（就业、购物、娱乐等）机会可能给他带来的“效益”；
- 2. 每个地点的机会数正比于该地点的人口数；
- 3. 个体可以选择城市中所有的地点出行（这不同于辐射模型中个体只选择最近的地点出行），但某个地点的可用机会数（或吸引力）会随距离的增加**自然地**下降。



2. 传导模型

报告提纲

闫小勇

1. 研究背景

5 2. 传导模型

3. 主要结果

- 3.1. 出行距离分布
- 3.2. 目的地出行限制
- 3.3. 点对点移动量
- 3.4. 整体预测精度

4. 总结与讨论

▶ 导出传导模型.

- ▶ 假设某地点 j 对于地点 i 的可用机会数会随着两地之间人口数的增加而下降，这一下降的过程类似于热量在物质之间的传导过程，我们可以计算出可用机会数 $o'_j = o_j(\frac{1}{S_{ji}} - \frac{1}{M})$ ，其中 S_{ji} 是两地之间的人口总数， M 是城市人口总量。
- ▶ 由于某地点的实际机会数和人口总数成正比，假设个体按照正比于各地点的可用机会数的概率选择地点出行，可以得到地点 i 到 j 的出行量为：

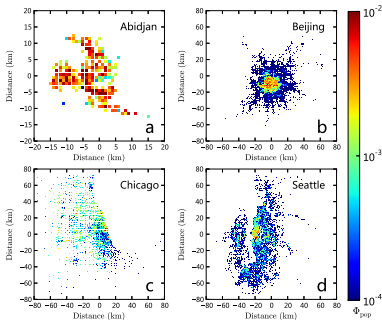
$$T_{ij} = T_i \frac{m_j(\frac{1}{S_{ji}} - \frac{1}{M})}{\sum_{k \neq i}^N m_k(\frac{1}{S_{ki}} - \frac{1}{M})}.$$

3. 主要结果

我们用四个城市的人群移动数据来验证传导模型的预测效果，同时和辐射模型、引力模型的预测效果进行对比。

- 数据来源: 手机用户移动数据 (阿比让), 出租车 GPS 记录 (北京), 交通调查数据 (芝加哥, 西雅图)。
- 引力模型规则:

$$T_{ij} = T_i \frac{m_j r_{ij}^{-\beta}}{\sum_{k \neq i}^N m_k r_{ik}^{-\beta}}$$



报告提纲

闫小勇

1. 研究背景

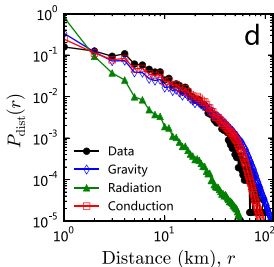
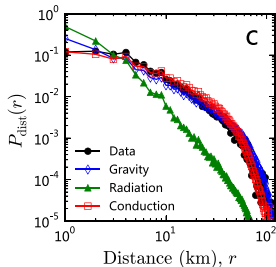
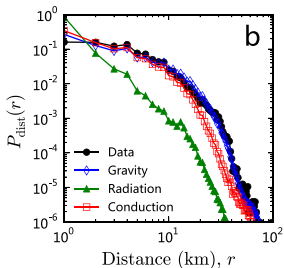
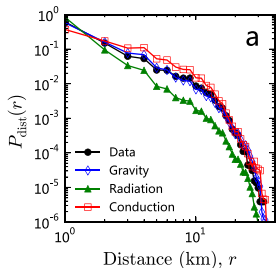
2. 传导模型

3. 主要结果

- 3.1. 出行距离分布
- 3.2. 目的地出行限制
- 3.3. 点对点移动量
- 3.4. 整体预测精度

4. 总结与讨论

3.1. 出行距离分布



报告提纲

闫小勇

1. 研究背景

2. 传导模型

3. 主要结果

3.1. 出行距离分布

3.2. 目的地出行限制

3.3. 点对点移动量

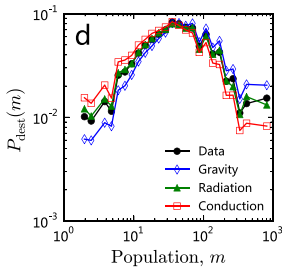
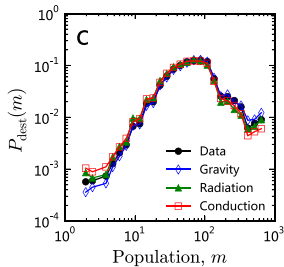
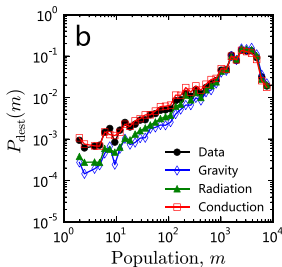
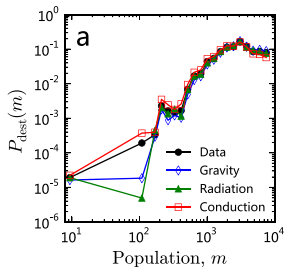
3.4. 整体预测精度

4. 总结与讨论

7

12

3.2. 目的地出行限制



报告提纲

闫小勇

1. 研究背景

2. 传导模型

3. 主要结果

3.1. 出行距离分布

3.2. 目的地出行限制

3.3. 点对点移动量

3.4. 整体预测精度

4. 总结与讨论

8

12

3.3. 点对点移动量



报告提纲

闫小勇

1. 研究背景

2. 传导模型

3. 主要结果

3.1. 出行距离分布

3.2. 目的地出行限制

3.3. 点对点移动量

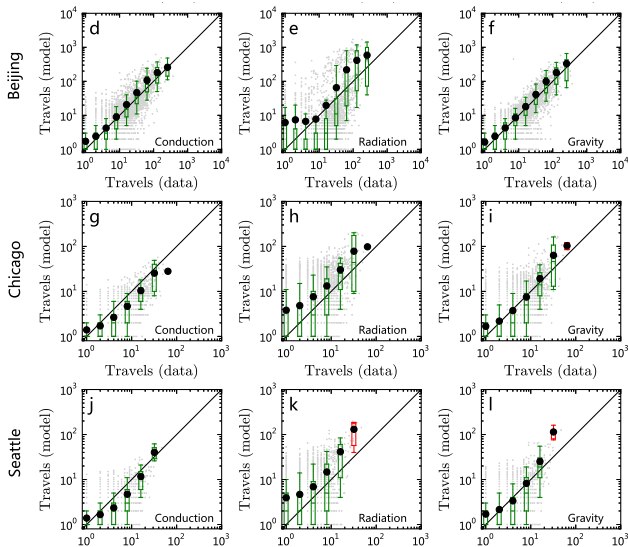
3.4. 整体预测精度

4. 总结与讨论

9

12

北京师范大学
系统科学学院



3.4. 整体预测精度

报告提纲

闫小勇

1. 研究背景

2. 传导模型

3. 主要结果

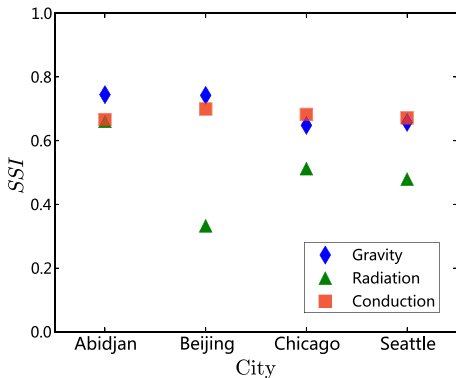
3.1. 出行距离分布

3.2. 目的地出行限制

3.3. 点对点移动量

3.4. 整体预测精度

4. 总结与讨论



** Sørensen 相似性指数: $SSI = \frac{1}{N} \sum_i \frac{2 \min(A_i, B_i)}{A_i + B_i}$.

10

12



4. 总结与讨论

- ▶ 我们提出了一个无参数的传导模型来预测城市内地点间的人群移动模式。预测结果和实际结果能够较好地符合。
- ▶ 尽管引力模型能够达到和传导模型接近的预测精度，但它是一个有参数的模型，当缺乏大规模交通调查数据时无法使用。
- ▶ 当仅有人口分布数据可用时，传导模型是一个可选的城市人群移动模式预测手段，而辐射模型对于城市间人群移动模式的预测仍是有效的。
- ▶ 尽管我们的模型已经达到了较高精度（70 %），但距离人类移动行为可预测性的上限（93 %）仍有差距。后续工作中我们将尝试建立更精细的人动预测模型。

报告提纲

闫小勇

1. 研究背景

2. 传导模型

3. 主要结果

- 3.1. 出行距离分布
- 3.2. 目的地出行限制
- 3.3. 点对点移动量
- 3.4. 整体预测精度

11

4. 总结与讨论

12

北京师范大学
系统科学学院

谢谢！欢迎提问！

感谢北京航空航天大学的可教授和梁霄博士提供北京出租车 GPS 数据。

感谢法国 Orange 公司允许我们使用阿比让的手机用户移动数据。

闫小勇

yanxy@mail.bnu.edu.cn

