

Mobility and Congestion in Urban India

印度城市的出行与交通拥堵

Prottoy Akbar Victor Couture Gilles Duranton Adam Storeygard
(American Economic Review, 2023)

陈秋锦 陈泽宇

中国经济转型讨论班 (CETW)

2024-10-08

城市的交通系统

- 随着数据的日益细化与识别技术的发展，当前越来越多的城市经济学研究开始讨论城市内部的具体运作机制。
- 交通系统是城市的重要组成部分，但即使在今天，我们对它的认识依然远远不够：
 1. 不准确或空缺的出行数据：以往研究通常只能借助一些调查数据来研究居民的出行，既不够准确，又难以在发展中国家广泛推行。
 2. 什么决定了城市间的出行速度差异？大城市的交通一定就慢吗？
 - 我们对不同城市的出行速度本就了解不多。
 - 大城市虽然人多易堵，但交通基础设施也更好，因此大城市的通勤未必就很慢。但我们很难分离出这两种相反的因素。
 3. 如何提高一个城市的出行速度？发展中国家如果要改善城市交通系统，可能需要从什么方面入手？

- 本文尝试为解决这三个问题寻找突破口：

1. 作者不再使用调查数据，而是借助 Google Maps 在每个城市内大量查询不同的出行路线的耗时。这一做法可以以低廉的成本获得巨量的出行数据，只要能确保：(1)Google Maps 对出行时间的估计是准确的；(2) 查询的路线具有代表性。
2. Google Maps 能够模拟不存在交通拥堵时的出行耗时，于是作者借此提出了一种方法，将一个城市的出行速度分解为“无拥堵速度”与一个“拥堵因子”。
3. 由于能够准确估计各城市的出行速度，作者探究了出行速度、“无拥堵速度”以及拥堵程度与各种人口、地理、基础设施和经济发展变量之间的相关性。

目录

1. 数据

- 界定城市范围
- 模拟行程
- Google Maps 能准确模拟行程耗时吗？

2. 衡量出行速度的方法

- 衡量出行速度
- 分解出行速度：无拥堵速度和拥堵程度
- 衡量出行时间的不确定性

3. 各城市的出行速度

4. 速度的分解：无拥堵速度与拥堵程度

- 方差分解：何者起主导作用？
- 提高无拥堵速度或减少拥堵的福利含义

5. 什么因素会影响一个城市的出行速度？

6. 拓展：步行、公共交通以及与美国的比较

- 步行与公交
- 和美国的比较

7. 总结与讨论

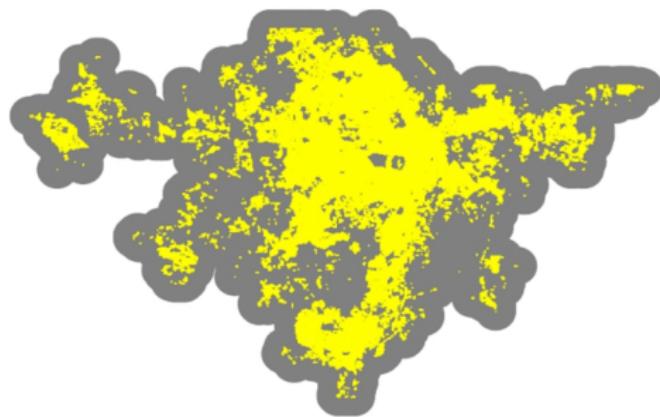
界定城市范围

1. 确定城市名单: 联合国 2018 年的“世界城市化展望 (World Urbanization Prospects, WUP)”报告提供了印度 181 个超过 300,000 人口的城市。
2. 合并两种划分方式以确定城市的边界:

- Global Human Settlement Layer 的 Settlement Model: 根据 2014–15 年的居住模型对 1 km 的土地网格进行分类, 将其中一部分界定为城市土地网格。
- Global Human Settlement Layer 的 build-up pixel: 地图中部分像素点被界定为“建成区 (build-up)”像素点。每个“建成区”像素点周围构建一个 500-meter buffer, 将完全落入这一范围的网格也算作城市网格。

界定城市范围

- Jamnagar 的城市范围 (黄色为“建成区”像素点):



Panel A: Built-up and overall area

Figure A.1: Illustrations for the city of Jamnagar

城市层面的数据

- 2011 年普查数据：各城市的人口、拥有交通工具（车或摩托）的家庭比例、路灯与道路存量、非农工人的平均通勤距离；
- 2011-2012 全国抽样调查数据：家庭收入；
- GeoFabrik 的 OpenStreetMap：用于计算各城市的道路网络形状、河流与海岸线的长度；
- Meteostat：天气数据；
- Google Maps 和卫星数据：用于计算道路的坡度（海拔变化）。

行程数据

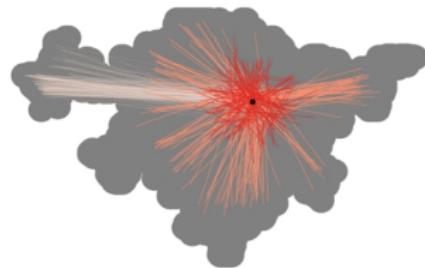
- 两个重要概念：
 - *trip*: an ordered pair of points (origin and destination) within the same city.
 - *trip instance*: a trip taken at a specific time.(每一个工作日中，每 30 min 界定为一个时段)
- 每一个 *trip* 的起点和终点至少距离 1 km 以上，以确保 Google Maps 能够更好地预测出行时间。
- 对于每个城市 c ，作者一共模拟了 $15\sqrt{Pop_c}$ 个 trips，其中 Pop_c 代表城市 c 的 2018 年的预测人口规模。对于每一个 *trip*，作者又计算了 21 个 *trip instances*。

四种行程类型

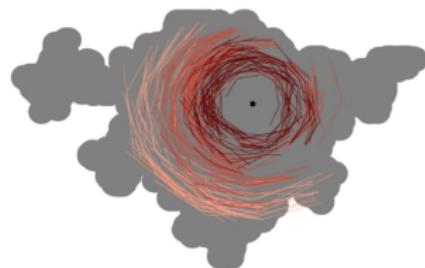
- 径向行程 (radial trips): 将城市中心 1.5 km 范围内的一个随机点与距离城市中心 2/5/10/15 km 范围的另一个随机点相连接。
- 圆周行程 (circumferential trips): 与径向行程垂直的行程，首先确定一个随机起点，然后寻找另一个到市中心距离类似的点作为终点，且要求起点与终点在极坐标上大约相差 30° 。
- 引力行程 (gravity trips): 先随机确定一个起点及行程方向，然后从形状参数 (shape parameter) 为 1 的 Pareto 分布中抽取一个实现值作为距离，从而得到终点。
- 前往公共场所的行程 (amenity trips): 随机选择起点，然后将该城市中的一些公共场所 (比如学校、娱乐场所、宗教场所等) 作为终点。

四种行程类型

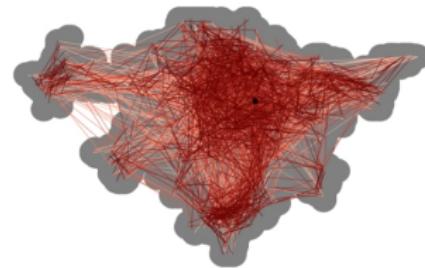
Figure A.1: Illustrations for the city of Jamnagar



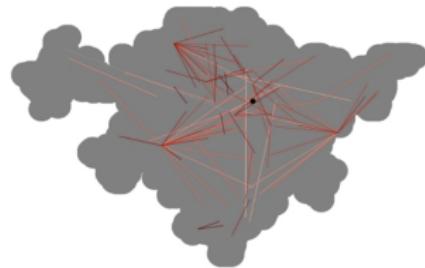
Panel b: Radial trips of absolute lengths
2 km, 5 km, 10 km, and 15 km from the center



Panel d: Circumferential trips around the center



Panel e: Gravity trips



Panel f: School trips

使用模拟的行程数据的优势与弊端

- 优势:

- 调查数据依赖于受访者自我汇报，并不够准确。
- 调查数据的数据量可能不足以支撑城市层面的细致研究 (esp. 发展中国家)。而模拟行程可以以低廉成本获得大量数据。
- 调查数据中，出行条件好 (fast) 的地方的居民倾向于出行更远，存在选择性。而模拟行程是外生的。

- 弊端:

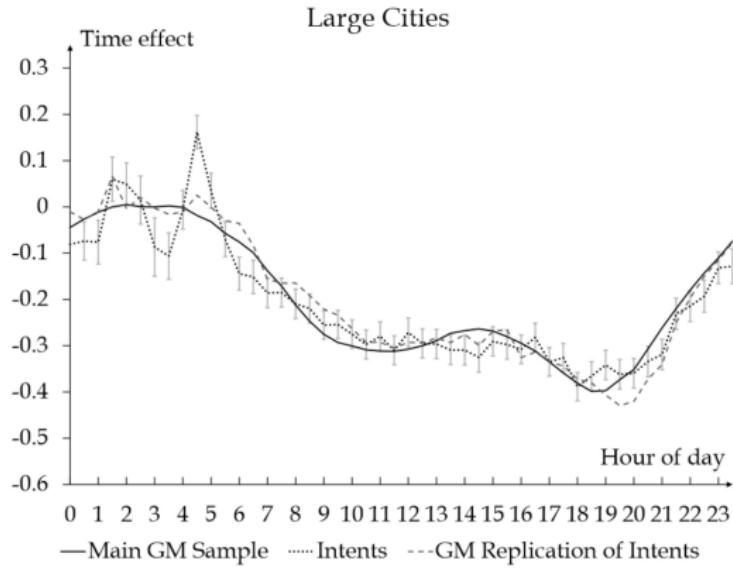
- Google Maps 预测的行程耗时可能是: (1) 非实时更新的; (2) 不准的。
- 由研究者设计的行程可能不具有代表性。

Google Maps 能实时更新数据吗？

- Google Maps 数据来源: 安装了安卓系统或使用 Google 软件的手机上报的位置和速度信息。
 - 截至 2017 年, 印度 63% 的城市居民拥有手机。
 - 估计小范围的车流数据并不需要太多人拥有手机。
- 实时更新吗?
 - 在晚高峰使用 Google Maps 模拟行程耗时, 每隔 5 分钟模拟一次, 作者他们观察到 Google Maps 估计的耗时是会波动的。
 - 大多数公共节假日期间, Google Maps 估计的出行速度要比工作日更快, 与周末的速度接近。
 - 在 Anant Chaturdashi 假期间, Google Maps 估计的速度与工作日很接近, 因为这个节日只有公务员放假。
 - 在 Ganesh Chaturthi festival 期间通常有大型的庆祝游行, Google Maps 估计的出行速度较平时更慢。
 - 罢工期间, Google Maps 估计的出行速度也较平时更慢。

Google Maps 准确吗?

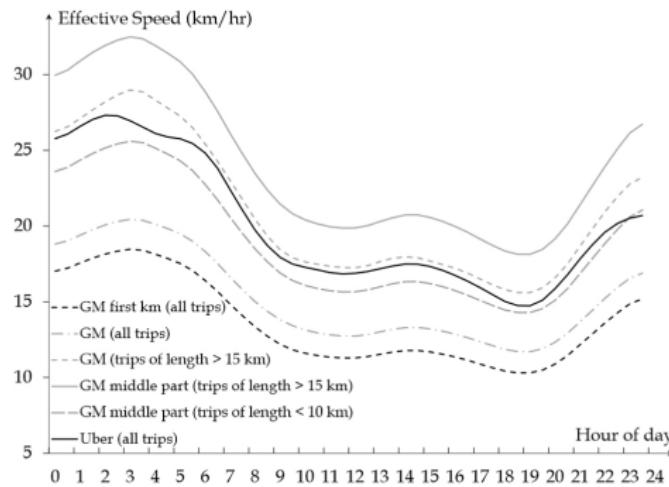
- 对比 Intents Mobi 记录的现实出行数据 (包含行程的路线和耗时)。
- 在 Google Maps 上复制这些行程，并估计耗时。
- 加总得出一天中不同时间段的平均速度：现实中的速度和 Google Maps 估计的速度很接近。



Google Maps 准确吗？

- 对比 Uber 记录的现实出行数据，但 Uber 提供的数据主要是行程中段的速度，高于全程平均速度。
- 如果用 Google Maps 模拟时进行一些调整 (e.g., 只取行程中间段)，那么模拟得到的速度和 Uber 是比较接近的。

Figure E.1: Comparing Uber Movement with different parts of Google Maps trips



目录

1. 数据

- 界定城市范围
- 模拟行程
- Google Maps 能准确模拟行程耗时吗？

2. 衡量出行速度的方法

- 衡量出行速度
- 分解出行速度：无拥堵速度和拥堵程度
- 衡量出行时间的不确定性

3. 各城市的出行速度

4. 速度的分解：无拥堵速度与拥堵程度

- 方差分解：何者起主导作用？
- 提高无拥堵速度或减少拥堵的福利含义

5. 什么因素会影响一个城市的出行速度？

6. 拓展：步行、公共交通以及与美国的比较

- 步行与公交
- 和美国的比较

7. 总结与讨论

衡量出行速度

- 用 Structural model 来刻画居民的通勤决策?
 - 涉及城市内复杂的通勤问题时, 会对理论和数据提出巨大挑战。
 - 居民的“居住地-工作地”决策、交通工具的消费决策、通勤时段的选择……
- 本文: 由研究者设计行程, 然后用 Google Maps 模拟行程耗时。
- 存在代表性问题; 或者说, 在加总求取平均速度时存在权重不明的问题。
 - 后面会尝试不同的权重, 但发现不太影响结果。如果一个城市相对慢, 那么这个城市各种路线、各个时段基本上都是慢的。
- 忽略了其他成本: 油费、交通工具的折旧……
 - 其他成本与通勤耗时通常是强正相关的。
 - 后面构造的速度指标是城市间的相对速度(固定效应), 除非其他成本与通勤耗时的相关性具有很强的城市间异质性, 否则在相对指标下不会有太大影响。

衡量出行速度：难点何在？

- 一种简单的平均速度衡量方式：

$$S_c^m = \frac{\sum_{i \in c} D_i}{\sum_{i \in c} T_i} \quad (1)$$

下标 c : 城市

下标 i : trip instance

D_i : trip instance i 的行程距离

T_i : trip instance i 的耗时

- 困难在于，不同城市的 S_c^m 是不可比的，因为不同城市模拟出来的 trips 会存在系统性的差异。比如说：

- 城市 A: 总面积广阔、市中心相对较小，模拟路线很多落在非市中心地区。
- 城市 B: 总面积较小、市中心范围很大，模拟路线大多落在市中心。
- 如果两个城市的通勤均主要在市中心，则 S_A^m 很可能高估城市 A 的平均速度。

衡量出行速度: 控制 trip instance 的特征

- 可以在回归中控制 trip instance 的特征, 以 partial out 它们的影响:

$$\log S_i = \alpha \mathbf{X}'_i + s_{c(i)}^{fe} + \epsilon_i \quad (2)$$

$S_i \equiv D_i/T_i$: trip instance i 的速度

\mathbf{X}_i : trip instance i 的一系列特征

$s_{c(i)}^{fe}$: trip instance i 所在城市的固定效应

- 因此, 固定效应 $s_{c(i)}^{fe}$ 就反映了城市 c 在排除行程抽样导致的系统性差异后的平均出行速度。

分解出行速度：无拥堵速度和拥堵程度

- 在 Google Maps 中，作者可以模拟没有交通拥堵的时候的行程耗时，基于此，可以将一个城市的平均速度分解为两个组成部分——“无拥堵速度 (uncongested speed)”和“拥堵因子 (congestion factor)”:

1. 模拟各 trip instance 的耗时，根据 Eq. (2) 估计各城市平均速度 $s_{c(i)}^{fe}$ 。
2. 模拟各 trip instance 在无交通拥堵时的用时 T_i^{nt} ，从而得到无交通拥堵时的速度 $S_i^{nt} = D_i/T_i^{nt}$ ，将无拥堵速度作为 Eq. (2) 中的被解释变量，估计各城市的无拥堵速度 $\hat{n}t_c^{fe}$ 。
3. 将每个 trip instance 的耗时与无拥堵耗时相减 $\log T_i - \log T_i^{nt}$ ，得出由于拥堵而导致的延迟，将这一延迟作为 Eq. (2) 中的被解释变量，估计各城市的拥堵因子 \hat{f}_c^{fe} 。

- 可以证明：

$$\hat{f}_c^{fe} = \hat{n}t_c^{fe} - \hat{s}_c^{fe} \quad (3)$$

衡量出行时间的不确定性

- 行程在时间上的不确定性也是一种成本 (e.g., 通勤时间波动导致上班迟到)。
- 对于每一个 trip instance, 每个 5 min 模拟一次行程用时, 将不同工作日的同一时段的这些用时汇总成一个分布, 取其 90% 分位数和 50% 分位数之比衡量出行时间的不确定性。
- 将这些不确定性作为 Eq. (2) 中的被解释变量, 估计各城市的不确定性指数。

目录

1. 数据

- 界定城市范围
- 模拟行程
- Google Maps 能准确模拟行程耗时吗？

2. 衡量出行速度的方法

- 衡量出行速度
- 分解出行速度：无拥堵速度和拥堵程度
- 衡量出行时间的不确定性

3. 各城市的出行速度

4. 速度的分解：无拥堵速度与拥堵程度

- 方差分解：何者起主导作用？
- 提高无拥堵速度或减少拥堵的福利含义

5. 什么因素会影响一个城市的出行速度？

6. 拓展：步行、公共交通以及与美国的比较

- 步行与公交
- 和美国的比较

7. 总结与讨论

估计各城市的速度

- 估计 Eq. (2) 首先需要确定控制哪些 trip instance 层面的特征 X_i 。
- 一组 benchmark controls:
 - 路程长度 (*log trip length*): 更远的路程会更快, 因为会行驶在更高速的公路上。
 - 与市中心的距离 (*log distance to center*): 更接近市中心的路程会更慢, 因为有更多的拥堵, 而且有更短的街区、更多的交叉路口和更窄的街道。
 - 出发时间与日期: Time 和 Day 固定效应。
 - 行程类型: 径向行程 (作为基准)、圆周行程 (*Type: circumferential*)、引力行程 (*Type: gravity*)、前往公共场所的行程 (*Type: amenity*)。
 - 天气: Weather 固定效应。
- benchmark controls 控制的都是抽样时可操纵的路线层面因素: 路途长度、与市中心距离、出发日期、出发类型、天气等等, 是研究者在设计特定 trip 的起点、终点或者 trip instance 的时间时能操纵的。
- benchmark controls \Rightarrow 排除了抽样偏差后估计出的城市出行速度指数 ("board" fixed effects)

估计各城市的速度

- 另一组 extended controls：
 - 上行的总坡度和下行的总坡度。
 - 路程中行驶在高速公路（作为基准）、一级公路、二级公路、三级公路、居民区道路和其他道路的长度占比。
 - 交叉路口的数量、转弯的数量和途径的各类建筑的数量。
- extended controls 是一些路线沿途的城市层面（外生于 trip 的抽取）的因素，本身是决定该城市出行速度的部分原因。
- extended controls ⇒ 进一步排除部分影响出行速度的城市特征后的城市出行速度指数（“narrow” fixed effects）

估计各城市的速度

- 出行速度对行程长度的弹性为 0.22；出行速度对市中心距离的弹性为 0.08。
- 不同出行类型的差异很大，但是一旦控制了到市中心的距离，差异就会大大缩小（因此行程是人为设计的应该不是什么大问题）。

TABLE 2—DETERMINANTS OF LOG TRIP SPEED

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
<i>log trip length</i>	0.22 (0.0046)	0.22 (0.0045)	0.20 (0.0042)	0.19 (0.0042)	0.17 (0.0037)	0.24 (0.0047)	0.24 (0.0042)
<i>log distance to center</i>			0.078 (0.0047)	0.082 (0.0049)	0.082 (0.0050)	0.056 (0.0049)	0.043 (0.0044)
						⋮	⋮
<i>Type: circumferential</i>	0.047 (0.0060)	0.051 (0.0060)	-0.0050 (0.0050)	-0.0021 (0.0050)	0.011 (0.0046)	0.016 (0.0044)	-0.0012 (0.0046)
<i>Type: gravity</i>	0.060 (0.0051)	0.064 (0.0053)	0.0059 (0.0035)	0.0078 (0.0035)	0.014 (0.0034)	0.016 (0.0032)	0.0054 (0.0031)
<i>Type: amenity</i>	0.070 (0.0053)	0.072 (0.0054)	0.023 (0.0037)	0.022 (0.0037)	0.024 (0.0035)	0.020 (0.0032)	0.026 (0.0032)
City effect	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Day effect	Y	weekday	weekday	weekday	weekday	weekday	weekday
Time effect	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Weight	N	N	N	Intents	Intents	Intents	Intents
Weather	N	N	Y	Y	Y	Y	Y
Observations	57,103,181	41,991,655	-	-	-	41,249,209	-
R ²	0.55	0.55	0.57	0.57	0.60	0.64	0.67

出行速度在时段上的差异

- 由于 Eq. (2) 中控制了 Time effect，所以可以估计出各时段的平均速度，还可以分城市估计。固定效应反映了不同时段的相对速度，以 30min 为一个时段，凌晨 1:30–2:00 作为参照。

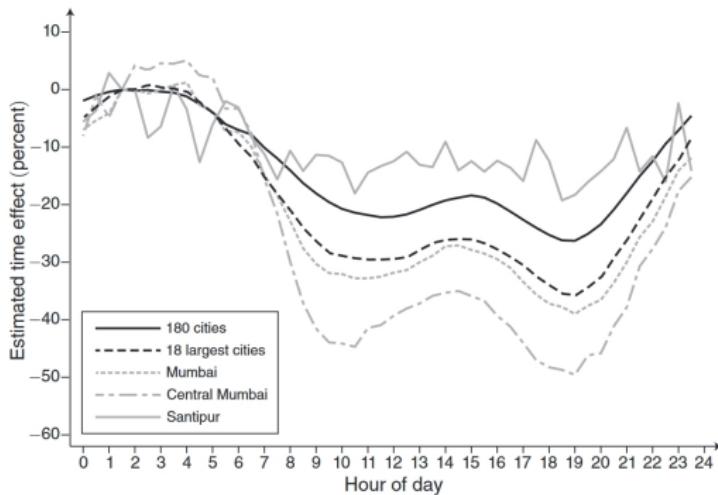


FIGURE 3. ESTIMATED TIME EFFECTS FOR WEEKDAY TRAVEL

出行速度在时段上的差异

- 一天有两个通勤的高峰：早高峰和晚高峰，晚高峰会更慢一些。
- 印度的第一大城市 Mumbai 各时段的速度差异更明显，尤其是其市中心；而相对欠发达的城市 Santipur 的时段差异不那么明显。

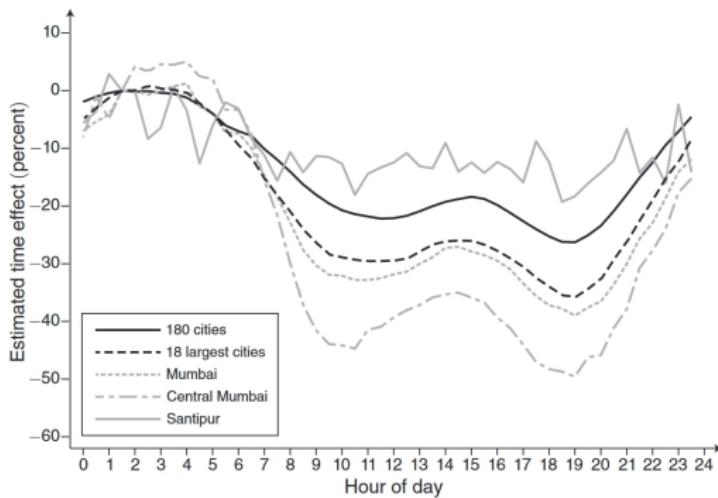


FIGURE 3. ESTIMATED TIME EFFECTS FOR WEEKDAY TRAVEL

出行速度在城市间的差异

- 印度城市间出行速度差异很大：城市固定效应的标准差是 0.116。
- 速度最慢的城市比平均值慢 29%，而速度最快的城市比平均值快 30%。
- 因此，最快的城市大约要比最慢的城市快 83%。

出行速度在城市间的差异

- 最慢的 10 个城市：印度的前四大城市中有三个在其中，但同时，印度最贫穷的州 Bihar 也有三个城市在其中。
- 最快的 10 个城市：基本上都是相对小的城市。
- 最拥堵的 10 个城市：印度前十大城市中有七个在其中。

TABLE 3—RANKING OF THE TEN SLOWEST, MOST CONGESTED, AND FASTEST CITIES

Rank	Slowest speed index			Highest congestion factor			Fastest speed index		
	City	State	Index	City	State	Index	City	State	Index
1	Bhiwandi	Maharashtra	-0.34	Bangalore	Karnataka	0.18	Ranipet	Tamil Nadu	0.26
2	Kolkata	West Bengal	-0.31	Mumbai	Maharashtra	0.16	Cherthala	Kerala	0.21
3	Santipur	West Bengal	-0.28	Delhi	Delhi	0.15	Malappuram	Kerala	0.20
4	Arrah	Bihar	-0.28	Chennai	Tamil Nadu	0.13	Karur	Tamil Nadu	0.20
5	Bihar Sharif	Bihar	-0.27	Guwahati	Assam	0.12	Karnal	Haryana	0.19
6	Mumbai	Maharashtra	-0.26	Bhiwandi	Maharashtra	0.11	Kayamkulam	Kerala	0.19
7	Bangalore	Karnataka	-0.24	Pune	Maharashtra	0.11	Palakkad	Kerala	0.18
8	Patna	Bihar	-0.24	Hyderabad	Telangana	0.11	Kanhagad	Kerala	0.18
9	Shillong	Meghalaya	-0.24	Kolkata	West Bengal	0.10	Bhilwara	Rajasthan	0.17
10	English Bazar	West Bengal	-0.24	Shillong	Meghalaya	0.09	Shimoga	Karnataka	0.17

Notes: The speed index is measured by the city effect estimated in column 4 of Table 2 and is centered around its mean. The congestion factor is measured from a similar regression using log trip duration minus log trip duration in absence of traffic as dependent variable, and centered around its mean.

出行时间的不确定性在城市间的差异

- 平均来说，晚高峰时（傍晚 18:00–20:00）不确定指数为 6%。
- 人口最多的前 10% 的城市的不确定指数更高，大约为 8%。
- 拥堵指数和不确定性指数的相关性为 0.89，表明通勤时间的不确定性主要是由拥堵造成的。

目录

1. 数据

- 界定城市范围
- 模拟行程
- Google Maps 能准确模拟行程耗时吗?

2. 衡量出行速度的方法

- 衡量出行速度
- 分解出行速度: 无拥堵速度和拥堵程度
- 衡量出行时间的不确定性

3. 各城市的出行速度

4. 速度的分解: 无拥堵速度与拥堵程度

- 方差分解: 何者起主导作用?
- 提高无拥堵速度或减少拥堵的福利含义

5. 什么因素会影响一个城市的出行速度?

6. 拓展: 步行、公共交通以及与美国的比较

- 步行与公交
- 和美国的比较

7. 总结与讨论

方差分解: 何者起主导作用?

- 每个城市的出行速度有三个指标: 平均速度 (\hat{s}_c^{fe})、无拥堵速度 ($\hat{n}t_c^{fe}$) 以及 拥堵指数 (\hat{f}_c^{fe})。由于可以证明:

$$\hat{f}_c^{fe} = \hat{n}t_c^{fe} - \hat{s}_c^{fe}$$

于是有:

$$\text{Var}\left[\hat{s}_c^{fe}\right] = \text{Var}\left[\hat{n}t_c^{fe}\right] + \text{Var}\left[\hat{f}_c^{fe}\right] - 2 \cdot \text{Cov}\left(\hat{n}t_c^{fe}, \hat{f}_c^{fe}\right)$$

- 因此, 不同城市出行速度的差异可以被三个部分所解释: 城市间无拥堵速度的差异、城市间拥堵指数的差异以及无拥堵速度与拥堵指数的相关性。

方差分解: 何者起主导作用?

- 所有城市: 城市间无拥堵速度的差异能够解释城市间平均速度差异的 70% 左右, 而拥堵程度的差异仅能解释 13%。
- 仅用晚高峰时段: 城市间无拥堵速度的差异依然解释了 56.7% 的平均速度差异, 拥堵程度的差异能够解释 25.9%。
- 小城市 (Smallest 50%): 城市间无拥堵速度的差异解释了超过 80%。
- 大城市 (Largest 10%): 城市间无拥堵速度的差异所能解释的份额仍然较大。

TABLE 4—VARIANCE DECOMPOSITIONS OF OUR BASELINE SPEED INDEX

Sample	Cities	All trips			High peak trips		
		Uncongested speed	Congestion factor	Covariance	Uncongested speed	Congestion factor	Covariance
All	180	0.701	0.126	-0.086	0.567	0.259	-0.087
Smallest 50%	90	0.813	0.062	-0.063	0.842	0.115	-0.022
Largest 50%	90	0.632	0.179	-0.095	0.464	0.324	-0.106
Largest 25%	45	0.528	0.224	-0.124	0.390	0.349	-0.130
Largest 10%	18	0.477	0.238	-0.143	0.370	0.340	-0.145

Note: Full trip sample. High peak hours are 6–8 PM.

提高无拥堵速度或减少拥堵的福利含义

- 提高无拥堵速度是否会以加剧拥堵为代价?
 - 应该不会! 两者相关性是负的。
- 城市固定效应的标准差是 0.116, 因此如果能将某城市的无拥堵速度提升一个标准差, 则能节省 10% 左右的通勤时间。
- 提高无拥堵速度所带来的福利改善是明显大于减少拥堵的典型政策的:
 - Akbar and Duranton (2018)、Kreindler (2024): 引入最优拥堵费 (congestion pricing) 得到的福利改善不及通勤成本的 1%。
 - Yang et al. (2020, *AEJ: EP*): 引入最优拥堵费能够使得北京市中心的交通速度提高 11%。也就是说, 即使在这种非典型案例中, 其收益也仅仅与提高无拥堵速度的一个标准差相当。

目录

1. 数据

- 界定城市范围
- 模拟行程
- Google Maps 能准确模拟行程耗时吗？

2. 衡量出行速度的方法

- 衡量出行速度
- 分解出行速度：无拥堵速度和拥堵程度
- 衡量出行时间的不确定性

3. 各城市的出行速度

4. 速度的分解：无拥堵速度与拥堵程度

- 方差分解：何者起主导作用？
- 提高无拥堵速度或减少拥堵的福利含义

5. 什么因素会影响一个城市的出行速度？

6. 拓展：步行、公共交通以及与美国的比较

- 步行与公交
- 和美国的比较

7. 总结与讨论

城市速度的影响因素

- 人口因素：密度更大、更紧凑的城市可能更慢。
- 地理因素：不平坦或迂回的道路、更多的水体会限制出行速度。
- 交通基础设施因素：更多的主干道和更宽敞的公路、更好的照明条件、规划更好的交通网络能提高出行速度。
- 经济发展因素：富裕的城市还能通过基础设施以外的其他方式改善交通；但同时也可能有更多人拥有车辆，会加剧拥堵。

城市速度的影响因素: 人口因素

- 速度对于人口规模的弹性为 -0.15, 对于城市面积的弹性为 0.17, 几乎抵消, 因此关键在于人口密度 (= 人口规模/面积)。
- 人口密度主要是通过影响无拥堵速度来影响总体速度的。也就是说, 人口密度增加减慢通勤速度并非主要是由于人多导致拥堵, 可能是因为人多则需要更短的街区、较窄的道路、更普遍的交通信号等等。

TABLE 5—CORRELATES OF CITY INDICES

Dependent variable	Speed index			Uncongested speed			Congestion factor		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
<i>log population</i>	-0.15 (0.016)	-0.19 (0.015)	-0.18 (0.016)	-0.12 (0.014)	-0.16 (0.013)	-0.15 (0.013)	0.037 (0.0066)	0.038 (0.0068)	0.035 (0.0071)
<i>log area</i>	0.17 (0.017)	0.10 (0.019)	0.096 (0.019)	0.14 (0.016)	0.074 (0.019)	0.070 (0.019)	-0.025 (0.0067)	-0.030 (0.0079)	-0.026 (0.0079)
<i>Elevation variance</i>	-0.033 (0.0043)	-0.034 (0.0045)	-0.036 (0.0047)	-0.022 (0.0038)	-0.024 (0.0029)	-0.027 (0.0030)	0.011 (0.0035)	0.0097 (0.0033)	0.0089 (0.0033)
<i>Water length</i>	-0.22 (0.046)	-0.14 (0.041)	-0.14 (0.040)	-0.16 (0.047)	-0.079 (0.039)	-0.082 (0.035)	0.059 (0.024)	0.058 (0.023)	0.053 (0.022)
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<i>R</i> ²	0.47	0.62	0.64	0.38	0.59	0.60	0.41	0.44	0.51

城市速度的影响因素：交通基础设施因素

- 更好的道路条件通过提高城市的无拥堵速度来提高平均速度，但并没有减少拥堵，可能因为更多的道路同时也会吸引更多的出行。
- 路灯数量越多、道路系统越接近网格状，则城市的通勤速度会更快，这说明改善城市规划可能是提升出行速度的一种途径。

TABLE 5—CORRELATES OF CITY INDICES

Dependent variable	Speed index			Uncongested speed			Congestion factor		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	⋮	⋮		⋮	⋮		⋮	⋮	
<i>log major roads</i>	0.069 (0.016)	0.069 (0.016)		0.077 (0.016)	0.073 (0.017)		0.0074 (0.0056)	0.0038 (0.0051)	
<i>log street lights</i>	0.014 (0.0051)	0.010 (0.0051)		0.010 (0.0042)	0.0088 (0.0048)		-0.0041 (0.0025)	-0.0015 (0.0018)	
<i>Network</i>	0.29 (0.091)	0.29 (0.087)		0.24 (0.084)	0.25 (0.081)		-0.054 (0.037)	-0.041 (0.035)	
	⋮	⋮		⋮	⋮		⋮	⋮	
<i>R</i> ²	0.47	0.62	0.64	0.38	0.59	0.60	0.41	0.44	0.51

城市速度的影响因素：经济发展因素

- 收入对通勤速度的影响呈现出非线性的“倒 U 型”关系。
- 无拥堵速度与收入是“倒 U 型”关系，但二次函数的转折点较大，两者主要是正向关系。也即，城市的经济发展能提高无拥堵速度。
- 无拥堵速度与收入是“U 型”关系，当收入较高时，经济发展会加剧拥堵，可能是因为人们更多购买了汽车。

TABLE 5—CORRELATES OF CITY INDICES

Dependent variable	Speed index			Uncongested speed			Congestion factor		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
			⋮			⋮			⋮
<i>Earnings</i>			0.028 (0.0088)			0.016 (0.0079)			-0.013 (0.0039)
<i>Earnings</i> ²			-0.0021 (0.00053)			-0.00086 (0.00048)			0.0013 (0.00023)
<i>R</i> ²	0.47	0.62	0.64	0.38	0.59	0.60	0.41	0.44	0.51

城市速度的影响因素：其他因素

- 过往的人口增长会提高无拥堵速度，但同时也加剧拥堵，因此对通勤速度的总体影响很小。
- 居民如果有更多的汽车，那么会加剧拥堵；但在控制汽车数量的情况下，增加摩托车的数量反而能减少拥堵，这个负相关性是有些难以解释的。
- 人口分布更加集中，则无拥堵速度会减慢，但拥挤也会减少，从而对平均速度影响较小。

Table I.1: Further correlates of city indices

Dependent variable	(1)	(2) Speed index	(3)	(4)	(5) Uncongested speed	(6)	(7)	(8) Congestion factor	(9)
	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Pop. growth 90-18	0.026 (0.018)			0.042 ^b (0.016)			0.016 ^b (0.0072)		
Share w. car		-0.065 (0.15)			0.18 (0.14)			0.24 ^a (0.058)	
Share w. motorcycle		0.17 ^a (0.061)			0.065 (0.060)			-0.11 ^a (0.022)	
Spatial Gini pop.			-0.075 (0.073)			-0.15 ^b (0.064)			-0.078 ^a (0.023)
R^2	0.64	0.66	0.64	0.61	0.61	0.61	0.52	0.58	0.54
Observations	180	180	180	180	180	180	180	180	180

目录

1. 数据

- 界定城市范围
- 模拟行程
- Google Maps 能准确模拟行程耗时吗？

2. 衡量出行速度的方法

- 衡量出行速度
- 分解出行速度：无拥堵速度和拥堵程度
- 衡量出行时间的不确定性

3. 各城市的出行速度

4. 速度的分解：无拥堵速度与拥堵程度

- 方差分解：何者起主导作用？
- 提高无拥堵速度或减少拥堵的福利含义

5. 什么因素会影响一个城市的出行速度？

6. 拓展：步行、公共交通以及与美国的比较

- 步行与公交
- 和美国的比较

7. 总结与讨论

步行速度与公交速度的城市间差异

- 前面讨论的主要是私人交通工具的出行，但印度有许多人出行是依靠步行或公共交通的。
- 在 Google Maps 的模拟中，步行速度与公交速度不会因为星期几或具体时段而发生较大变化：
 - 步行很灵活，其速度本身不容易受到地形以外的因素约束。
 - Google Maps 估计公交出行耗时是按照官方时刻表来估计的，没有实时信息。

步行速度与公交速度的城市间差异

- 步行：步行条件下计算的城市固定效应的标准差只有 0.02，如果剔除掉一个山区地区，则标准差为 0.008(驾车出行条件下的城市固定效应的标准差约为 0.116)。坡度的差异能够解释城市间步行速度差异的 76%。
- 公交：公交的速度具有更强的城市间差异，其城市固定效应的标准差达到了驾车出行的标准差的大约 2 倍。
- 与私人驾车出行不同，公交的平均通勤速度还取决于公交的覆盖范围、频率与公交路线，甚至这些因素更重要。因此关于城市间公共交通速度差异的问题会更加复杂一些。

和美国的比较：方差分解

- 相比印度，美国不同城市间通勤速度的差异更小一些。
- 在美国，解释城市间通勤速度差异的主要因素依然是无拥堵速度的差异，而非拥堵程度的差异。

Table M.3: Variance decompositions of our baseline speed index for the US

Sample	Cities	All trips			High peak trips		
		Uncongested speed	Congestion factor	Covariance	Uncongested speed	Congestion factor	Covariance
All	139	0.529	0.097	-0.187	0.388	0.179	-0.216
Smallest 50%	69	0.661	0.072	-0.134	0.454	0.189	-0.179
Largest 50%	70	0.496	0.112	-0.196	0.382	0.190	-0.214
Largest 25%	35	0.457	0.125	-0.209	0.382	0.183	-0.217
Largest 10%	14	0.479	0.116	-0.203	0.381	0.176	-0.221

Note: High peak hours are 4-5:30 PM.

和美国的比较：城市速度的影响因素

- 影响美国城市通勤速度的因素与印度大致相当，除了三点稍有不同：
 - 美国城市的通勤速度对人口规模的弹性要小一些 (-0.11)，但是解释力更强。
 - 地理因素的解释力相对弱一些，可能是因为美国较为完善的交通网络缓解了地理因素对出行的限制。
 - 道路交通网络对美国通勤速度的影响程度也相对弱一些，可能在比较完善的城市交通系统下，进一步改善交通网络的边际效益有所减少。

Dependent variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	Speed index			Uncongested speed			Congestion factor		
log population	-0.11 ^a (0.025)	-0.13 ^a (0.025)	-0.11 ^a (0.024)	-0.074 ^a (0.020)	-0.093 ^a (0.020)	-0.078 ^a (0.019)	0.038 ^a (0.0070)	0.041 ^a (0.0068)	0.037 ^a (0.0065)
log area	0.072 ^a (0.026)	0.042 ^c (0.025)	0.028 (0.023)	0.045 ^b (0.021)	0.018 (0.021)	0.0091 (0.019)	-0.027 ^a (0.0072)	-0.024 ^a (0.0069)	-0.019 ^a (0.0065)
Elevation variance	0.0012 (0.0025)	0.00097 (0.0022)	0.00089 (0.0026)	0.00034 (0.0019)	0.00016 (0.0017)	0.000083 (0.0018)	-0.00086 (0.0011)	-0.00080 (0.0011)	-0.00080 (0.0012)
Water length	-0.045 ^a (0.011)	-0.038 ^a (0.014)	-0.042 ^a (0.013)	-0.028 ^a (0.0087)	-0.023 ^b (0.010)	-0.026 ^a (0.0095)	0.016 ^a (0.0034)	0.015 ^a (0.0042)	0.015 ^a (0.0041)
log major roads	0.049 ^b (0.021)	0.049 ^b (0.020)		0.043 ^b (0.018)	0.042 ^b (0.016)		-0.0060 (0.0062)	-0.0064 (0.0062)	
Network	0.13 ^a (0.027)	0.089 ^a (0.028)		0.084 ^a (0.021)	0.045 ^b (0.022)		-0.046 ^a (0.0078)	-0.043 ^a (0.0081)	
Earnings		0.058 (0.083)			0.0058 (0.067)			-0.052 ^b (0.021)	
Earnings ²		-0.016 (0.014)			-0.0070 (0.011)			0.0094 ^a (0.0035)	
Observations	139	139	139	139	139	139	139	139	139
R ²	0.59	0.66	0.69	0.53	0.59	0.63	0.59	0.68	0.69

目录

1. 数据

- 界定城市范围
- 模拟行程
- Google Maps 能准确模拟行程耗时吗？

2. 衡量出行速度的方法

- 衡量出行速度
- 分解出行速度：无拥堵速度和拥堵程度
- 衡量出行时间的不确定性

3. 各城市的出行速度

4. 速度的分解：无拥堵速度与拥堵程度

- 方差分解：何者起主导作用？
- 提高无拥堵速度或减少拥堵的福利含义

5. 什么因素会影响一个城市的出行速度？

6. 拓展：步行、公共交通以及与美国的比较

- 步行与公交
- 和美国的比较

7. 总结与讨论

总结

- 本文作者提供了一种比较城市间通勤速度的新方法，这种新方法能够将通勤速度分解为无拥堵速度与拥堵系数。
- 基于此作者发现，无论在印度还是美国，解释城市间通勤速度差异的关键因素在于无拥堵速度的差异，而非拥堵程度的差异。
- 人口密度是解释城市通勤速度的主要因素，人口密度越大，无拥堵速度更慢，而且拥堵程度也更高。
- 交通基础设施的建设很可能有助于提高通勤速度：交通基础设施一方面提高了无拥堵速度，另一方面没有明显加剧拥堵
- 城市的经济发展水平与出行速度呈现“倒 U 型”关系：收入较高的城市虽然会更拥堵一些，但是其道路条件等等也会更好。而非我们通常认为的“城市发展往往导致交通瘫痪”。
- 通过改善无拥堵速度，发展中国家的执政者可以更有效地提高居民福利。

城市化对于发展中国家的重要意义

- 迄今为止，我们已经深知城市和集聚经济对于经济发展的重要意义 (Duranton and Puga, Chapter 48 in *Handbook of Regional and Urban Economics*, 2004):
 - Sharing
 - Matching
 - Learning
- "Is there something that Malawi could do, some action that its government could take, that would allow the 75% of its workers who work in rural areas in agriculture to access the productivity levels of its nonagricultural, more urban workers, increasing their productivity above that of Great Britain?"

发展中国家的城市病

“Cities in the Developing World”
(Bryan et al., 2020, *Annual Review of Economics*)

“在发展中国家，城市化进程远远领先于制度的发展。因此，发展中国家的大城市必须凭借有限的财富与稀缺的公共能力来解决集聚导致的负面影响，如传染病、犯罪和交通拥堵。” (“In the developing world, urbanization has proceeded far more quickly than institutional development. Consequently, massive developing-world cities must address the downsides of density, such as contagious disease, crime, and traffic congestion, with limited wealth and scarce public capacity.”)

为什么需要专门讨论发展中国家的拥堵问题？

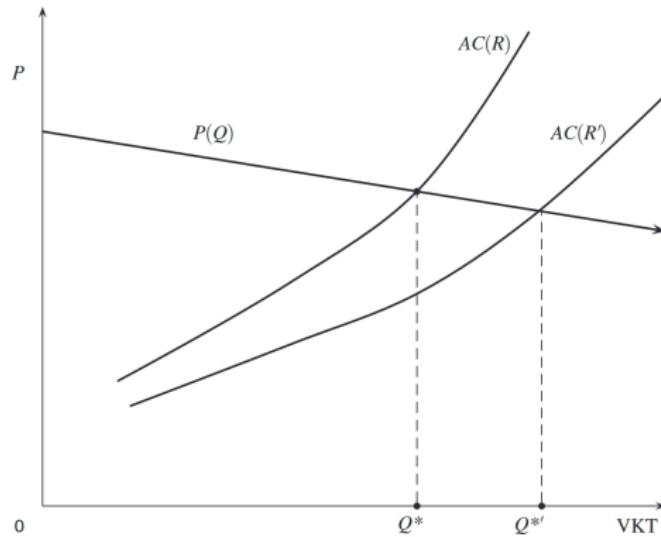
1. 导致不同城市交通速度慢的原因是不同的，因此没有“万灵药”，政策上必须对症下药。
2. 发展中国家的正式制度不完善、修缮交通的资金匮乏，必须把有限的政府能力与公共财政用在主要矛盾上。

如何减少拥堵？

- 常见措施：
 1. 修路
 2. 交通管制
 3. 拥堵费
- “Consequently, problems associated with density often need some combination of infrastructure[, policies,] and incentives.”(Bryan et al., 2020, ARE)

如何减少拥堵：修路

- “The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities” (Duranton and Turner, 2011, AER)
 - “[V]ehicle-kilometers traveled (VKT) increases one for one with major urban roads.”



如何减少拥堵：修路

- “The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities”
(Duranton and Turner, 2011, AER)
 - 出行里程 $\ln VKT$ 对州际公路长度 $\ln(\text{IH lane km})$ 的弹性约为 1。

TABLE 6—VKT AS A FUNCTION OF LANE KILOMETERS, IV

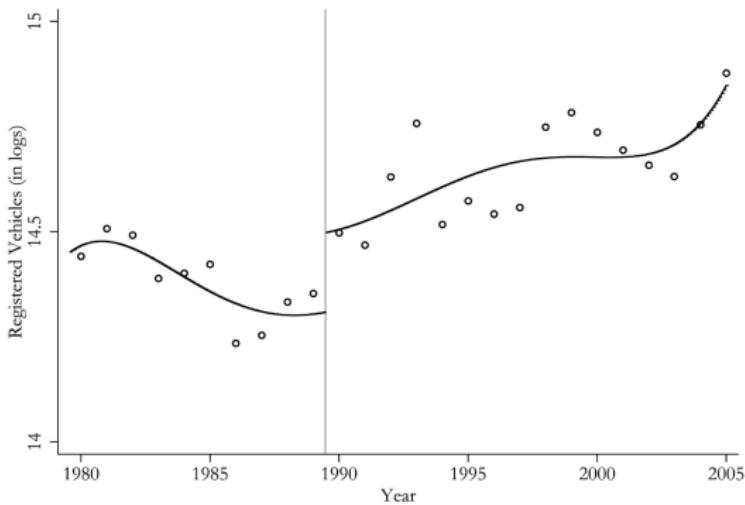
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Panel A (TSLS). Dependent variable: $\ln VKT$ for interstate highways, entire MSAs</i>					
<i>Instruments: $\ln 1835$ exploration routes, $\ln 1898$ railroads, and $\ln 1947$ planned interstates</i>					
ln (IH lane km)	1.32 *** (0.04)	0.92 *** (0.10)	1.03 *** (0.11)	1.01 *** (0.12)	1.04 *** (0.13)
ln (population)		0.40 *** (0.07)	0.30 *** (0.09)	0.34 *** (0.10)	0.23 * (0.12)
Geography			Y	Y	Y
Census divisions			Y	Y	Y
Socioeconomic characteristics				Y	Y
Past populations					Y
Overidentification p -value	0.60	0.11	0.26	0.24	0.29
First-stage statistic	42.8	16.5	11.8	11.5	8.84

如何减少拥堵：交通管制

- 关于交通管制的有效性，存在一些竞争性的证据。
- 早期的认识是：在减少污染和拥堵方面，交通管制可能不会很有效。这一认识基于两个递进的假说：
 1. 交通管制会引发车主的策略性反应，想方设法规避管制。比如，如果交通管制基于车牌号，车主可能会购买多个牌照（车）以确保能每天出行 (e.g., Davis, 2008, JPE)。
 2. 车主的策略性反应会导致政策失效。
- 对此的反驳：
 - 假说 1 未必成立。
 - 即使假说 1 成立，它也并不是假说 2 成立的充分条件。

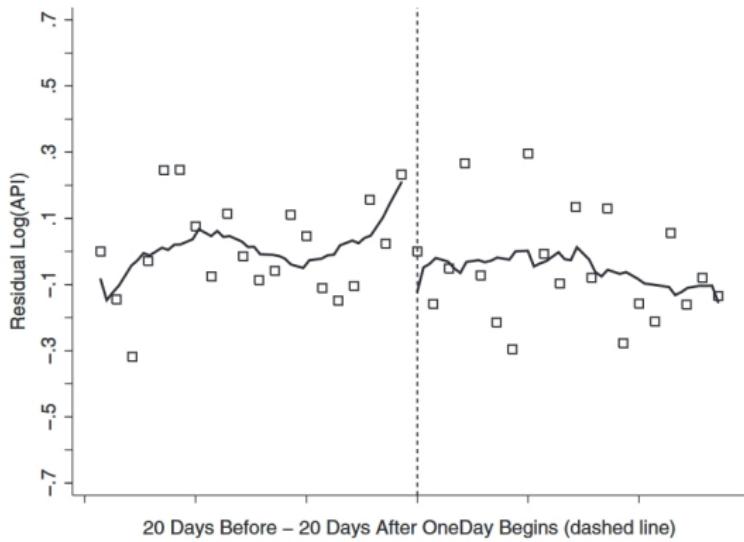
如何减少拥堵：交通管制

- "The Effect of Driving Restrictions on Air Quality in Mexico City" (Davis, 2008, JPE)
 - 1989 年, 墨西哥出台了一项政策 "*Hoy No Circula*"(根据车牌尾号每周禁行一天)。政策出台后, 登记车辆数量明显向上跳跃。



如何减少拥堵：交通管制

- 一些相对近期的研究发现交通管制还是有效的：“The effect of Beijing’s driving restrictions on pollution and economic activity” (Viard and Fu, 2015, *JPubE*)。相关证据还有：Mangrum and Molnar (2017)。
 - 北京的两个限行政策：单双号限行（2008年7月20日-9月20日）、尾号限行（2008年10月11日至今）。实施后，污染显著减少。



如何减少拥堵：拥堵费

- 即划定一个区域 (congestion/cordon area), 在特定时段驾车驶入该区域需要缴费。
- 但是：
 - 收费多少? 最优费用?
 - 估计时间对于消费者的价值 (Brownstone and Small, 2005; Goldszmidt et al., 2020)。
 - 按区域收费还是按照行程收费?

如何减少拥堵：拥堵费

- “The London Congestion Charge” (Leape, 2006, JEP)

- 2003年2月17日伦敦规定，工作日上午7:00至傍晚6:30之间，车辆驶入“拥堵收费区”需要每天缴纳£5。
- 对比2002年与2003年，收费区的车辆总行程减少了大约12%。
- 前后对比表明，收费区的速度大约提升了17% (Transport for London, 2003)。

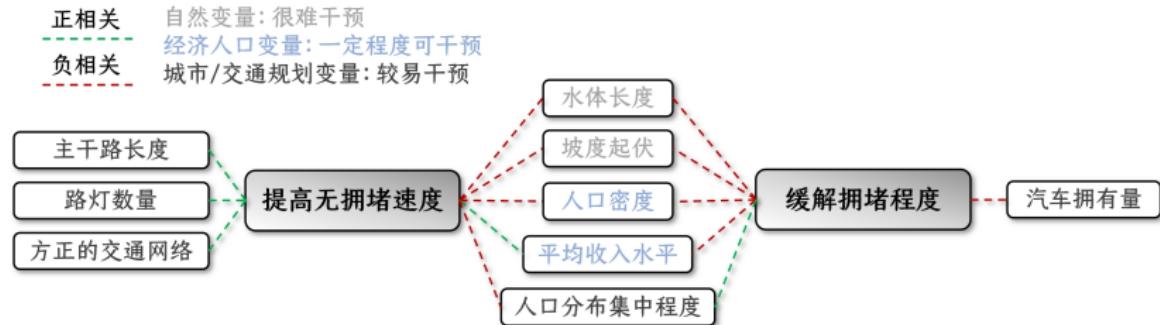
	2002		2003	Percentage change
Cars	771 (47%)		507 (35%)	-34%
Vans	287 (18%)		273 (19%)	-5%
Trucks	73 (4%)		68 (5%)	-7%
Taxis	256 (16%)		312 (21%)	22%
Buses	54 (3%)		65 (5%)	21%
Motorcycles	129 (8%)		137 (9%)	6%
Bicycles	69 (4%)		89 (6%)	28%
All vehicles	1,640 (100%)		1,451 (100%)	-12%

如何减少拥堵：拥堵费

- “The Marginal Cost of Traffic Congestion and Road Pricing: Evidence from a Natural Experiment in Beijing” (Yang et al., 2020, *AEJ: EP*)
 - 利用北京尾号限行作为准实验：车流密度每增加 1 单位，交通速度减少 1.098 单位。
 - 计算最优拥堵费：需要估计居民的需求函数、估计出行成本对公路总使用量的弹性……
 - 最优费用需要使用更加灵活的收费方式 (e.g., 按拥堵区内的行程收费，并在不同时间与区域收取不同费用)，大约能提高北京市中心 11% 的交通速度。

本文提供的新见解

- 提高交通速度 $\overset{?}{\leftrightarrow}$ 减少拥堵
- 除了大城市的市中心，其余地区的速度差异主要是由无拥堵速度所解释的。提高这些地区的速度，不应该从解决拥堵入手。
- 大城市间也存在异质性，部分大城市的“慢”也不是主要因拥堵所致。



本文提供的新见解

- “Unlocking Cities: The impact of ridesharing across India”
- 由 Boston Consulting Group 受 Uber 委托而撰写，论述在线打车服务对印度通勤条件的改善。

EXHIBIT 3 | Cost of Congestion Across Cities

Avoidable social cost of congestion (USD Billion)



Congestion
level

129%

135%

162%

171%

Sources: Centre for Urban Economic Studies, Department of Economics, University of Calcutta, Kolkata, India.

本文提供的新见解

- 但本文的估计表明, Kolkata 实际上是四个最大城市中最不拥堵的, 其之所以慢, 是因为无拥堵速度慢。
- 因此, 交通管制、拥堵费之类的意在缓解拥堵的政策实际上不适用于 Kolkata。

TABLE 3—RANKING OF THE TEN SLOWEST, MOST CONGESTED, AND FASTEST CITIES

Slowest speed index				Highest congestion factor			Fastest speed index		
Rank	City	State	Index	City	State	Index	City	State	Index
1	Bhiwandi	Maharashtra	-0.34	Bangalore	Karnataka	0.18	Ranipet	Tamil Nadu	0.26
2	Kolkata	West Bengal	-0.31	Mumbai	Maharashtra	0.16	Cherthala	Kerala	0.21
3	Santipur	West Bengal	-0.28	Delhi	Delhi	0.15	Malappuram	Kerala	0.20
4	Arrah	Bihar	-0.28	Chennai	Tamil Nadu	0.13	Karur	Tamil Nadu	0.20
5	Bihar Sharif	Bihar	-0.27	Guwahati	Assam	0.12	Karnal	Haryana	0.19
6	Mumbai	Maharashtra	-0.26	Bhiwandi	Maharashtra	0.11	Kayamkulam	Kerala	0.19
7	Bangalore	Karnataka	-0.24	Pune	Maharashtra	0.11	Palakkad	Kerala	0.18
8	Patna	Bihar	-0.24	Hyderabad	Telangana	0.11	Kanhangad	Kerala	0.18
9	Shillong	Meghalaya	-0.24	Kolkata	West Bengal	0.10	Bhilwara	Rajasthan	0.17
10	English Bazar	West Bengal	-0.24	Shillong	Meghalaya	0.09	Shimoga	Karnataka	0.17

研究上与政策上的启发

- 对拥堵问题的关注应集中在最大城市的中心，因为在其他地方，通勤速度的差异主要是由无拥堵速度的差异造成的。
- 不同城市慢的原因是不一样的，因此有必要制定针对具体国家的具体城市的政策。在中国复制本文的做法很可能会带来新的启发。
- 尽管本文发现交通基础设施无法明显减少拥堵，但是可以提高城市的无拥堵速度。未来的城市研究应该聚焦于研究提高无拥堵速度的政策和投资。比如说，网格状的交通网络貌似与更高的无拥堵速度相关联，因此改善城市规划可能是一个努力的方向。
 - 近年来，确实看到越来越多的研究在讨论城市规划（土地规划、公共交通）对城市内人口与机构分布的影响，在政策模拟方面，新发展起来的量化空间一般均衡模型具有独特优势。

