

Coordinating Supply and Demand on an On-Demand Service Platform with Impatient Customers

即时服务平台的供需协调（非耐心客户）

Manufacturing & Service Operations Management, 2019

作者：

- Jiaru Bai, Binghamton University
- Kut C. So, University of California,
- Christopher S. Tang, University of California
- Xiqun (Michael) Chen, Zhejiang University
- Hai Wang, Singapore Management University

目 录

问题来源

研究内容

问题解决效果

启示

1 问题来源

on-demand service platforms：随时随地满足需求，强调及时性，如快递、外卖、共享交通。

为了满足顾客需求（随时随地尽快得到服务），平台雇佣独立服务提供者（如滴滴司机）。

- 影响顾客需求的关键因素：价格、等待时间
- 影响服务提供者收入的关键因素：工资率（wage rate）、利用率。

供需之间有相关性

平台希望分析出最优的价格和工资，以在不同的时间段协调供需。

研究问题：从供需有内生关系的视角出发，分析平台应该如何设置价格和工资，以最大化利润。

每个顾客的期望效用不同；每个司机的最低收入率期望不同；价格在不同时段不同，但会提前告知顾客。

2 研究内容 | 整体思路

关键定义：

price rate = 顾客平均每单位服务的价格； wage rate = 司机平均每单位服务获得的工资

payout ratio (工资占价格比) = 司机获得的工资 / 顾客支付的价格

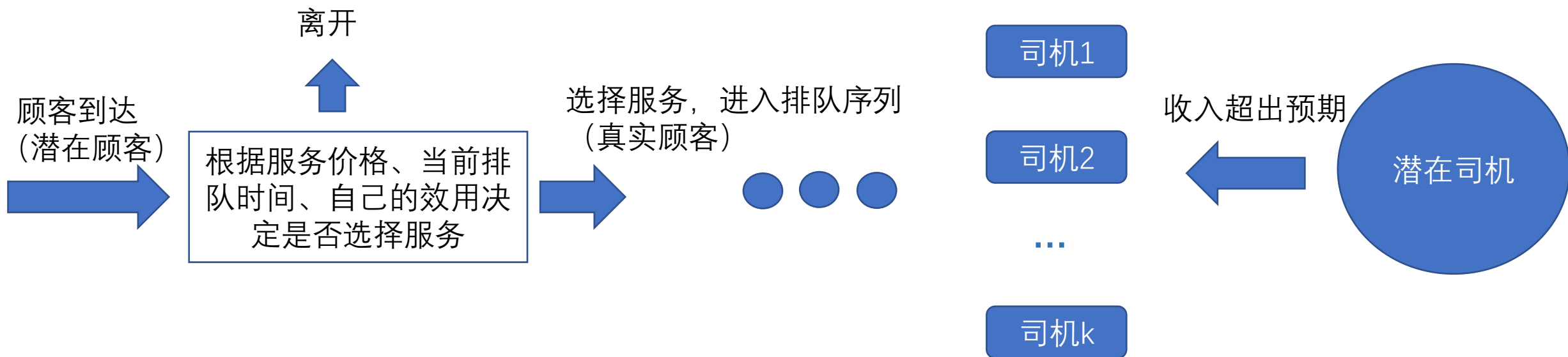
整体思路：

1. 根据问题建模
2. 求解基本模型：工资占价格比**固定**
3. 求解通用模型：工资占价格比**时变**（在不同时间段可以调整，但顾客会提前知道）
4. 使用滴滴数据作为案例，进行结论说明

求解方式：数值模拟+近似情况的解析分析

2.1 研究内容 | 问题建模

问题场景：顾客随机到达，在平台上请求一定单位的服务，顾客根据系统当前情况决定是否使用该服务，每个司机决定是否参与该服务竞争，平台从参与竞争的司机中分配一位给顾客。对每单位服务，平台向顾客收取固定的价格 p ，向提供服务的司机发放固定的工资 w 。



2.1 研究内容 | 问题建模

1. 顾客→使用参数表示出价格p

顾客到达的需求率 λ ，每个顾客有自己的效用 v （ v 的累计分布为 F ），有自己需要的服务数量 D （与 v 无关，期望是 d ），一单位时间等待成本 c ，等待时间 W_q 。

顾客效用函数： $U = (\text{期望效用} - \text{价格}) * \text{数量} - \text{等待时间成本} * \text{等待时间}$

定义效用大于0 的概率为 s ，则有效需求率为 $s\lambda$ （有些顾客会离开）。

2. 司机→使用参数表示出工资w

有 K 个潜在的服务提供者，当作为司机的收入高于他们从事其他事情的收入 r （服从分布 G ）时，他们会选择参与服务竞争，定义这一事件的概率为 β ，则一共有 $k = \beta K$ 位司机竞争。

μ 是平均服务速度（每单位时间完成的单位服务）， μ/d 是服务率，相应的可以算出作为司机的收入率 = 需求率 / （竞争人数*服务率）。

2.1 研究内容 | 问题建模

3.平台

平台的目标是最大化利润=（价格p-工资w）*需求d，约束是系统平稳运行（司机数量足够支撑需求）

$$\begin{aligned} \max_{k, \lambda} \pi(k, \lambda) &\equiv \lambda d \left[F^{-1} \left(1 - \frac{\lambda}{\bar{\lambda}} \right) - \frac{c}{d} W_q - G^{-1} \left(\frac{k}{K} \right) \frac{k}{\lambda d} \right], \quad (8) \\ \text{subject to } \frac{\lambda d}{k \mu} &< 1, \end{aligned}$$

2.2 研究内容 | 求解基本模型

先考虑工资占价格比固定的情况, $w=\alpha p$, α 为常数。效用分布 F 和从事其他工作的收入分布 G 都假设为 $[0,1]$ 区间均匀分布。

$$\max_{k,\lambda} \pi(k,\lambda) \equiv \lambda d \left[F^{-1} \left(1 - \frac{\lambda}{\bar{\lambda}} \right) - \frac{c}{d} W_q - G^{-1} \left(\frac{k}{K} \right) \frac{k}{\lambda d} \right], \quad (8)$$

subject to $\frac{\lambda d}{k\mu} < 1,$

W_q 表示排队时间, 根据排队论可以写出表达式:

$$W_q = \frac{1}{1 + (k!(1-\rho)/(k^k \rho^k)) \sum_{i=0}^{k-1} (k^i \rho^i / i!)} \left[\frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \right], \quad (9)$$

变量在指数位置, 难以获得解析结果, 采用两种方法:
①数值模拟
②用近似公式进行分析

$$W_q = \frac{\rho \sqrt{2(k+1)}}{\lambda(1-\rho)},$$

2.2 研究内容 | 求解基本模型

Table 1. Comparisons of Results for the Base Model with Exact Formula (9) and Approximation (16)

$\bar{\lambda}$	W_q is given by exact formula (9)				W_q is given by (16) with $n = k^*$				
	k^*	λ^*	p^*	π^*	n^*	k^*	λ^*	p^*	π^*
10	7	2.71	0.72	0.98	7.48	7	2.76	0.73	0.98
20	10	5.79	0.69	2.00	10.02	10	6.22	0.64	2.00
30	11	6.20	0.78	2.42	11.57	11	6.34	0.76	2.42
40	12	7.14	0.81	2.88	12.64	12	7.29	0.79	2.88
50	13	8.32	0.81	3.38	13.41	13	8.53	0.79	3.38
60	14	9.80	0.80	3.92	13.99	13	8.05	0.84	3.38
70	14	9.29	0.84	3.92	14.45	14	9.50	0.83	3.92
80	15	11.16	0.81	4.50	14.82	14	9.18	0.85	3.92
90	15	10.62	0.85	4.50	15.13	15	10.97	0.82	4.50
100	15	10.36	0.87	4.50	15.39	15	10.60	0.85	4.50

变量分别为
潜在需求量;
竞争司机数;
真实需求量;
价格;
利润

主要结论1： 最优价格 p 随潜在需求量递增，相应的利润也增加（高价格使得更多司机愿意提供服务）。因此，在潜在需求量高的高峰期，平台应当收取更高费用。

2.2 研究内容 | 求解基本模型

主要结论2： 最优价格 p 不随服务容量（潜在司机数 K ）递增。

当潜在司机数增加时，平台就算减少工资率，也可以吸引到同样多的实际司机参与。

价格的降低会增加真实需求，但不一定会带来利润的增加。

因此，最优价格 p 不随潜在司机数单调变化，但取决于真实需求率和利润率的相对变化。

主要结论3： 最优价格 p 不随单位时间等待成本 c 单调变化。

当 c 增加时，直接的影响是真实需求量会下降，平台需要调整价格来减少高等待成本带来的影响。

如果平台通过增加工资率来吸引更多司机以减少等待时间，但由于价格/工资的比值固定，价格也会相应上升，进而再次降低了真实需求量。

如果平台通过降低价格来维持需求量，但工资的下降会减少司机数和利润率。

因此，单位时间等待成本 c 对最优价格的影响不一定是单调的，视实际参数情况不同。

2.2 研究内容 | 求解通用模型

考虑工资占价格比可变的情况， $w=\alpha p$ ， α 为在不同时段可以调整。**是否会显著提升收入？**

数值模拟：对给定的潜在需求量，计算不同 α 下的最优利润，从中选出最高的，并计算其他 α 的最优利润与其的比值。

Table 3. Ratio of Expected Profits between Using a Fixed Payout Ratio and Using the Optimal Time-Based Payout Ratio

$\bar{\lambda}$	α^*	α							
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	0.35	0.55	0.89	0.82	0.74	0.65	0.53	0.31	0.17
20	0.37	0.58	0.76	0.87	0.91	0.73	0.56	0.38	0.20
30	0.41	0.45	0.80	0.85	0.85	0.79	0.68	0.45	0.23
40	0.46	0.38	0.68	0.90	0.86	0.78	0.66	0.48	0.27
50	0.48	0.34	0.80	0.97	0.91	0.80	0.74	0.54	0.26
60	0.49	0.49	0.74	0.90	0.97	0.84	0.77	0.55	0.29
70	0.48	0.46	0.69	0.84	0.91	0.89	0.72	0.56	0.30
80	0.50	0.44	0.66	0.80	0.99	0.85	0.76	0.58	0.31
90	0.49	0.42	0.63	0.92	0.95	0.92	0.80	0.56	0.32
100	0.51	0.41	0.61	0.89	0.92	0.89	0.78	0.59	0.31

使用固定的工资占价格比，
会大幅影响利润。

2.2 研究内容 | 求解通用模型

主要结论1：当潜在司机数 K 增加时，平台应该降低工资率（可证明）。并且，最优利润随着 K 递增，说明平台招聘更多司机是有利的。但最优价格并不会随 K 单调变化，而是先增后减（数值模拟结果）。

主要结论2：当等待成本 c 提升时，平台应该提供更高的工资率。但最优价格 p 也不会随 c 单调变化。

主要结论3：当潜在需求量增加时，平台应该提升价格率和工资率，提升工资占价格比。当潜在需求量和司机数量以相同速率增加时，平台应该降低工资占价格比。

3 问题解决效果

使用了滴滴2015.9.7-9.13，以及11.1-11.30在杭州的数据进行参数的校准，以构建实际案例。区分了高峰时段（需求量高、拥堵水平高）和非高峰时段。

高峰时段的最优价格和工资，高于非高峰时段。

当实际市场环境与本站建模框架接近时，本文模型可以提供参考，并且本文说明了按时段的payout ratio策略相比于当前固定策略的优势。

4 启示

1. 问题复杂时需要进行适当简化，可以采用数值模拟获得直观结果，通过一定的解析分析辅助解释结果。
2. 动态价格策略。
3. 只考虑了平台提供一种服务的情况，可以拓展至多种。
4. 多平台竞争。