# VNO与电商业务联合设计

目录

[VNO与电商业务联合设计 1](#_Toc47541648)

[背景 2](#_Toc47541649)

[5G+电子商务 2](#_Toc47541650)

[虚拟运营商业务 2](#_Toc47541651)

[相关工作 3](#_Toc47541652)

[虚拟运营商业务 3](#_Toc47541653)

[赞助数据与移动市场 4](#_Toc47541654)

[广告业务与激励机制 4](#_Toc47541655)

[系统模型 5](#_Toc47541656)

[模型图 5](#_Toc47541657)

[运营商 5](#_Toc47541658)

[商家 5](#_Toc47541659)

[阿里（兼具虚拟运营商和电商业务） 6](#_Toc47541660)

[用户 7](#_Toc47541661)

[四阶段斯塔克伯格博弈 7](#_Toc47541662)

[博弈过程分析（逆向归纳） 7](#_Toc47541663)

[第四阶段:用户决策 7](#_Toc47541664)

[第三阶段 12](#_Toc47541665)

[第二阶段 13](#_Toc47541666)

[第一阶段 14](#_Toc47541667)

[仿真与分析 15](#_Toc47541668)

[结论 15](#_Toc47541669)

[参考文献 15](#_Toc47541670)

## 背景

### 5G+电子商务

随着**5G 网络**的加速部署和**5G 终端**的市场化趋势，淘宝、京东等大型电子商务平台的用户正在从固定的电脑用户快速转变为移动终端用户。另一方面，如图1 所示，电子零售业的营销模式已经逐渐从传统的图片营销往视频、（互动）直播以及VR/AR等营销模式转变。考虑到5G 网络通信技术的成熟演进，虽然移动无线网络的不可靠传输特性始终会给手淘用户的上网体验带来挑战，但上述具备**大带宽**、低延时和计算密集型需求的异构新型业务使用量的激增给移动终端电子商务用户的使用体验带来更大的挑战。可以想象，未来“双十一”前后因为大量手淘用户的淘宝行为很可能使网络出现难以承受的通信峰值拥塞和计算峰值拥塞。因此，从用户的角度来看，未来一段时间内尽管流量资费会呈现下降趋势，但是发生于电商业务传媒模式上的改变使得其仍然存在一定的紧缺问题。



### 虚拟运营商业务

如图2（a）所示，目前解决上述问题的方法主要是电商平台短期租用电信运营商的大带宽专线以缓解通信拥塞和增加云平台的计算能力以缓解计算拥塞。然而，值得注意的是工信部于2018 年4 月已经正式发布通告，允许移动通信转售业务正式商用。而阿里、京东等电商都已获得国家的移动通信转售业务经营许。而像小米、腾讯和字节跳动等互联网公司也都和运营商达成合作，推出了各种类型的流量套餐或者月卡/年卡，极大地丰富了用户的选择。如图2（b）所示，在该许可下，阿里、京东等电商可以作为虚拟运营商为用户提供因特网接入服务，包括为因特网信息服务业务经营者（如手淘）等利用因特网从事信息内容提供、网上交易、在线应用等提供接入因特网的服务，以及为普通上网用户（如手淘用户）等需要上网获得相关服务的用户提供接入因特网的服务。所以，如何利用**电商的双重身份**来设计它的商业模式及其适配的组**/**用网模式，从而达到减轻网络通信**/**计算负载、提高用户满意度、并同时提高传统运营商和虚拟运营商的网络收益等目标，成为当前值得研究的新课题。



## 相关工作

### 虚拟运营商业务

目前在传统虚拟运营商场景下考虑的主要问题是无线移动用户的接入问题/资源分配问题，而资源主要以频谱为主，采用OFDMA技术。所涉及的主体主要有运营商、虚拟运营商和用户。对于运营商，目前主要有垄断运营商和寡头运营商两种，因为很明显可以看到市场上的运营商都是寡头式企业，这其中以垄断运营商场景为主。对于虚拟运营商，主要以寡头或者垄断竞争或者完全竞争为主，因为考虑到这个市场一开始引入虚拟运营商时自由度还相对较高，可以进行有差异的竞争。从使用方法的角度来看，主要有古诺博弈，斯塔克伯格博弈和贝叶斯联盟形成博弈等，其中被应用最多的是斯塔克伯格博弈，适用于不同主体之间，或者同一主体但是不同优先级的群体之间的博弈。

### 赞助数据与移动市场

赞助数据是指免费向特定用户提供一定数量的数据或导航功能到移动应用程序/网站。顾名思义，这些数据是由公司赞助的。为了获得利益，消费者通常会被要求对提供网络访问的品牌所要求的事情采取行动，包括下载和使用他们的应用程序，观看视频短片，填写表格或调查，或购买产品。有两种主要的赞助数据模型:零评级和数据奖励。第三种解决方案叫做免费数据促销，被一些发展中市场的运营商使用。目前在赞助数据领域已经有很多商业模式被提出并实践，包括以下一些例子：



一些工作从虚拟运营商的角度来对增值业务的影响进行建模，但是模型相对简单，只是在原虚拟运营商的场景下对效用函数进行了改变，是一个general的模型。一些工作对zero-rating业务进行建模、分析其对运营商和用户的效用影响，但是大多数并没有考虑将虚拟运营商加入到该模式中，且其并不适合电商直播这种大带宽业务。大量的工作已经对数据奖励的场景进行分析，包括广告业务和数据激励的联合设计等。根据目前来看，我们的工作是较先考虑将虚拟运营商和电商业务进行联合设计，并考虑通过数据奖励的方式来增加销量进行建模分析的工作。

### 广告业务与激励机制

## 系统模型

### 模型图



### 运营商

拥有流量*B*,将其分为两份，一份为*B*0,一份为*B*1,然后自己通信业务占用资源*B*0，以一定价格售给阿里*B*1资源以让其经营虚拟运营商业务，设单位价格为*c*元/GByte。



自身的通信业务需要指定一个套餐价格(*F*0, *Q*0)，*F*0表示套餐订阅费用，单位元/月。*Q* 0表示流量数量，单位GByte。

### 商家

本质上应该考虑多个商家多种商品，但是考虑到多个商品本身之间应该是相互独立的，因此主要应该考虑某一种商品。这样就有了两种研究思路，一种是将市场上的所有商家视为一个整体，根据价格-需求函数进行价格的调整；另一种是将不同的商家分开考虑，但是商家之间存在成本（利润）的不同以及商品存量的限制与竞争关系。

**多个商家一种商品存量竞争：**

共有*S*个商家，每个商家在每月开始会进货，因为数量有限，因此只能进一定数量的商品用来进行让利促销，设每个商家最多签订*m*s件商品的协议，同时成本各不相同，设为*a*s。

每个商品因为在没有引入该模式时已经通过市场调节达到了价格均衡状态，即每个商家的商品单价分别为*e*元/个。

现引入该模式之后，每个商家愿意让利*ps*元/个销售，这部分利润给了电商平台（阿里），作为反馈，阿里需要给使用其套餐且在该平台购物的用户一定流量资源作为激励以增加商品的销量，提高商家的利润。

理想情况下，商品的价格会随着市场总需求变化，最终达到动态平衡，使得所有商家的产品数量与所有用户的决策的购买量近似相等。但是本场景只考虑在一个周期内，例如一个月内各方的博弈与决策问题，因此为了更好的抓住问题本质而假设市场已经达到价格均衡状态。因此，我们假设商家做决策时已经知道所有用户的需求情况，因此能够根据这一信息来制定自己签订合同的商品数量。

商家的效用来自于商品的利润，假设现在是一个促销的场景，也就是说用户的选择哪家商品购买很大程度上依赖于平台对于商品的广告效应与推荐系统的推荐。而驱使平台改变商家之间搜索排名和广告频率的因素就是商家愿意让利的多少*ps*。我们假设由用户的商品数量到每个商家的销售数量之间的函数关系为，其中*p-s*表示除了商家s以外的其他商家的让利组成的集合。显然，商家愿意让利越多，平台对于其推送的频率越高，用户就更可能被吸引而买这家的商品，虽然各个商家的售价可能相同。即有固定其它商家的策略*p-s*,有。一种可能的形式为。

**多个商家存在着产品差异进行价格调整：**

根据微观经济学的分类，完全自由的竞争市场和寡头市场之间存在着垄断市场。



也就是说我们可以考虑这样一个场景，对同一种商品，多个商家之间是有一定差异度的，这反映在每个商家拥有相对固定的用户目标群体。换言之，可以用消费者对不同商家的偏好来考虑这一参数的影响。例如对于一个拥有*S*个商家的市场，我们设用户对商家的消费偏好向量为，且满足。假设现在市场竞争达到价格均衡时各个商家的价格仍然是相对一致的，那么对某个商家而言，其利润主要取决于用户的需求以及单个商品的利润值。同时，这个模型方便以后再将广告业务给用户偏好带来的影响加入进去，可以将这个模式做得更复杂一些。下面的逆向分析主要还是根据第一种场景表达的，我认为现在需要尽快决定一下到底用哪个场景，要使这个模型尽可能与实际问题一致且合理，同时不能过于复杂导致纳什均衡的解不太好求。

### 阿里（兼具虚拟运营商和电商业务）

#### 虚拟运营商业务

通过交易得到*B*1资源，制定相应的基本套餐(*F*1,*Q*1)，*F*1表示套餐订阅费用，单位元/月。*Q* 1表示流量数量，单位GByte。

#### 电商业务

阿里提供了电商平台的功能，在此模式下，使用其虚拟运营商套餐的用户每在自己的电商平台上购买一件商品，都能从商家那里得到*ps*元/个的额外利润。同时作为反馈，需要给相应用户*w* GByte/个的流量激励（rewarded data）。

### 用户

用户总数为*N*，每个用户可以根据自己的通信和电商业务需求来同时选择套餐和购买商品数量。设套餐的决策变量为*r*，

用户拥有一定的类别属性，决定了其效用函数等一些量，我们假定用户的类型参数为，其概率密度函数为，且。

这样用户最终得到的流量资源为

### 四阶段斯塔克伯格博弈

|  |  |
| --- | --- |
| 阶段 | 决策变量 |
| 第一阶段 | 流量单价*c* |
| 第二阶段 | 阿里决策购买流量的数量*B*1、单位商品的激励*w* |
| 第三阶段 | 让利*ps*或售价*e* |
| 第四阶段 | 用户决策套餐选择*r*和购买商品的数量x |



## 博弈过程分析（逆向归纳）

### 第四阶段:用户决策

设效用函数为，根据边际递减效应， 应该是一个严格递增的凹函数，并且满足：二阶可微；；。

一些常用的简单的效用函数：







每个用户的效用来自两部分，一部分来自通信业务，与流量呈正相关关系，一部分来自商品购买，每个用户需要决策购买的商品数量x。因此可写为



即用户的优化问题为



为了表达用户的商品总需求我们需要考虑如下问题：

用户的总需求表示为

#### 方案一

对类型的用户来说：

若则

若则

为比较二者相对大小，做差：

，发现是关于x的单调增函数

因此分类讨论

若 且 ，即表示VNO比NO物美价廉，那么对任何，用户都会选择VNO。那么求解用户的极值点：



令导数为零得到，暂时无法给出解的形式， 除非带入某个特例函数

#### 方案二

想尝试能否化简一点点目标函数的形式，比方说把两个效用函数和 同时用一个函数代替：

对类型的用户来说：

若则

若则

为比较二者相对大小，做差：

，发现是关于x的单调增函数

因此分类讨论

若 且 ，即表示VNO比NO物美价廉，那么对任何，用户都会选择VNO。那么求解用户的极值点：



令导数为零得到，发现这种情况下依然无法给出通解形式

如果用特例来做的话，，



解得

即对 都有且

若 且，则 恒成立，则用户永远选择NO，那么求解相应极值点：

得

即对 都有且

若且，

#### 方案三

问题的难点出在了两部分效用函数是相加形式，因此无法解出。尝试一下将两部分效用用一个函数表示：

对类型的用户来说：

若则

若则

为比较二者相对大小，做差：

，发现单调性未知，先尝试求解极值点 ：





令导数为零得到

解得

 解得

因此极大值分别为





发现此时大小不太好比较

如果用特例来做的话，，









做差：

是关于的增函数，存在唯一零点 。

当  或时，对 都有且 。（1）

当  时，对 有且 ，对 有且 。（2）

下面讨论对 的影响：

从可以看到是单调连续减函数，且当时  ；当时 。

若 则 且单调递减，那么就符合情况（1）

若 则且当时，那么有唯一解。当 时，符合情况（1）；当时，符合情况（2）.

至此，用户决策讨论完毕

用户总需求讨论：

若或(且)，即符合情况（1），则。不妨假设满足上的均匀分布，即，则



若且，即符合情况（2），则

### 第三阶段

商家的效用可以表达为



因此商家的优化问题可以表述为



即转化为



目标函数是凹函数，约束是线性约束，因此属于凸优化，可以用拉格朗日乘子法或CVX工具箱求解。

求导得令  得

若  则时商家s取得最大利润；若则 时商家取得最大利润。

根据文献[1]和[12]可以证明其纳什均衡存在且唯一。

因此接下来便可以设计一个启发式算法来迭代计算出均衡时的最优解组合

### 第二阶段

对阿里而言，效用来自于两部分，一是通信业务，得到了用户订阅套餐的费用，失去了购买频谱的费用，因此这部分可以表达为



二是来自于商家销售的额外让利：



虚拟运营商部分的总流量为



因此阿里的优化问题为



若或且，即符合情况（1），即化简为

（3）

若且，即符合情况（2），则

（4）

很显然，当时，解决问题（3）即可

当时，需要同时解决问题（3）和（4），然后取其较大值对应的解。

### 第一阶段

运营商的效用由虚拟运营商和其他用户分别购买流量的费用组成，因此



优化问题为



## 博弈过程分析（逆向归纳）



### 第四阶段:用户决策

设效用函数为，根据边际递减效应， 应该是一个严格递增的凹函数，并且满足：二阶可微；；。

一些常用的简单的效用函数：







每个用户的效用来自两部分，一部分来自通信业务，与流量呈正相关关系，一部分来自商品购买，每个用户需要决策购买的商品数量x。因此可写为



即用户的优化问题为



为了表达用户的商品总需求我们需要考虑如下问题：

用户的总需求表示为

#### 方案一

对类型的用户来说：

若则

若则

为比较二者相对大小，做差：

，发现是关于x的单调增函数

因此分类讨论

若 且 ，即表示VNO比NO物美价廉，那么对任何，用户都会选择VNO。那么求解用户的极值点：



令导数为零得到，暂时无法给出解的形式， 除非带入某个特例函数

#### 方案二

想尝试能否化简一点点目标函数的形式，比方说把两个效用函数和 同时用一个函数代替：

对类型的用户来说：

若则

若则

为比较二者相对大小，做差：

，发现是关于x的单调增函数

因此分类讨论

若 且 ，即表示VNO比NO物美价廉，那么对任何，用户都会选择VNO。那么求解用户的极值点：



令导数为零得到，发现这种情况下依然无法给出通解形式

如果用特例来做的话，，



解得

即对 都有且

若 且，则 恒成立，则用户永远选择NO，那么求解相应极值点：

得

即对 都有且

若且，

#### 方案三

问题的难点出在了两部分效用函数是相加形式，因此无法解出。尝试一下将两部分效用用一个函数表示：

对类型的用户来说：

若则

若则

为比较二者相对大小，做差：

，发现单调性未知，先尝试求解极值点 ：





令导数为零得到

解得

 解得

因此极大值分别为





发现此时大小不太好比较

如果用特例来做的话，，









做差：

是关于的增函数，存在唯一零点 。

当  或时，对 都有且 。（1）

当  时，对 有且 ，对 有且 。（2）

下面讨论对 的影响：

从可以看到是单调连续减函数，且当时  ；当时 。

若 则 且单调递减，那么就符合情况（1）

若 则且当时，那么有唯一解。当 时，符合情况（1）；当时，符合情况（2）.

至此，用户决策讨论完毕

用户总需求讨论：

若或(且)，即符合情况（1），则。不妨假设满足上的均匀分布，即，则



若且，即符合情况（2），则

### 第三阶段

商家的效用可以表达为



因此商家的优化问题可以表述为



即转化为



目标函数是凹函数，约束是线性约束，因此属于凸优化，可以用拉格朗日乘子法或CVX工具箱求解。

求导得令  得

若  则时商家s取得最大利润；若则 时商家取得最大利润。

根据文献[1]和[12]可以证明其纳什均衡存在且唯一。

因此接下来便可以设计一个启发式算法来迭代计算出均衡时的最优解组合

### 第二阶段

对阿里而言，效用来自于两部分，一是通信业务，得到了用户订阅套餐的费用，失去了购买频谱的费用，因此这部分可以表达为



二是来自于商家销售的额外让利：



虚拟运营商部分的总流量为



因此阿里的优化问题为



若或且，即符合情况（1），即化简为

（3）

若且，即符合情况（2），则

（4）

很显然，当时，解决问题（3）即可

当时，需要同时解决问题（3）和（4），然后取其较大值对应的解。

### 第一阶段

运营商的效用由虚拟运营商和其他用户分别购买流量的费用组成，因此



优化问题为



## 仿真与分析

## 结论

## 参考文献

[1] F. Sun, F. Hou, H. Zhou, B. Liu, J. Chen and L. Gui, "Equilibriums in the Mobile-Virtual-Network-Operator-Oriented Data Offloading," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 2, pp. 1622-1634, Feb. 2018

[2] Y. Zhang, S. Bi and Y. A. Zhang, "Joint Spectrum Reservation and On-Demand Request for Mobile Virtual Network Operators," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 66, no. 7, pp. 2966-2977, July 2018

[3] C. Li, J. Li, Y. Li and Z. Han, "Pricing Game With Complete or Incomplete Information About Spectrum Inventories for Mobile Virtual Network Operators," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 11, pp. 11118-11131, Nov. 2019

[4] Y. Zhu, H. Yu, R. A. Berry and C. Liu, "Cross-Network Prioritized Sharing: An Added Value MVNO’s Perspective," *IEEE INFOCOM 2019 - IEEE Conference on Computer Communications*, Paris, France, 2019, pp. 1549-1557

[5] M. Asghari, S. Yousefi and D. Niyato, "An Analysis of Service Bundles of Mobile Network Operators with Free Services Included," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 19, no. 8, pp. 1789-1803, 1 Aug. 2020

[6] H. Yu, E. Wei and R. A. Berry, "Monetizing Mobile Data via Data Rewards," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 38, no. 4, pp. 782-792, April 2020

[7] H. Yu, M. H. Cheung, L. Gao and J. Huang, "Public Wi-Fi Monetization via Advertising," in *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 25, no. 4, pp. 2110-2121, Aug. 2017

[8] L. Duan, J. Huang and B. Shou, "Pricing for Local and Global Wi-Fi Markets," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 14, no. 5, pp. 1056-1070, 1 May 2015

[9] C. Joe-Wong, S. Sen and S. Ha, "Sponsoring Mobile Data: Analyzing the Impact on Internet Stakeholders," in *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 26, no. 3, pp. 1179-1192, June 2018

[10] C. Zhou, M. L. Honig and S. Jordan, "Utility-based power control for a two-cell CDMA data network," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 4, no. 6, pp. 2764-2776, Nov. 2005

[11] Z. Han, D. Niyato, W. Saad, T. Baar, and A. Hjrungnes. Game Theory in Wireless and Communication Networks: Theory, Models, and Applications (1st. ed.). Cambridge University Press, USA. .

[12] F. Szidarovszky and S. Yakowitz, “A new proof of the existence and uniqueness of the Cournot equilibrium,” Int. Econ. Rev., vol. 18, no. 3,pp. 787–89, 1977.