# When VNO Meets E-commerce: Advertising via Data Reward

目录

[When VNO Meets E-commerce: Advertising via Data Reward 1](#_Toc54962057)

[背景 2](#_Toc54962058)

[5G+电子商务 2](#_Toc54962059)

[虚拟运营商业务 2](#_Toc54962060)

[场景及贡献 3](#_Toc54962061)

[相关工作 4](#_Toc54962062)

[虚拟运营商业务 4](#_Toc54962063)

[赞助数据与移动市场 4](#_Toc54962064)

[广告业务与激励机制 5](#_Toc54962065)

[系统模型 5](#_Toc54962066)

[模型图 5](#_Toc54962067)

[运营商 5](#_Toc54962068)

[阿里（兼具虚拟运营商和广告业务） 6](#_Toc54962069)

[用户 6](#_Toc54962070)

[商家 7](#_Toc54962071)

[三阶段斯塔克伯格博弈 8](#_Toc54962072)

[博弈过程分析（逆向归纳）[11] 9](#_Toc54962073)

[第三阶段:用户和商家的决策 9](#_Toc54962074)

[第二阶段：电商平台的决策 11](#_Toc54962075)

[第一阶段：运营商的决策 12](#_Toc54962076)

[仿真与分析 12](#_Toc54962077)

[结论 12](#_Toc54962078)

[参考文献 12](#_Toc54962079)

[附录 13](#_Toc54962080)

[附录A用户决策 13](#_Toc54962081)

## 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。



### 场景及贡献

我们旨在研究这样一个场景：阿里等企业作为电商平台为用户和商家提供交易平台，同时为商家也就是广告商提供广告服务以提升其销量。传统广告业务一般以图片、短视频为主，但是现在及未来的广告将以高清直播和VR等流媒体形式为主，将会极大地提升蜂窝网用户的流量需求。在这种情况下，我们考虑在阿里等企业作为虚拟运营商为用户提供通信服务，同时作为电商的广告平台的场景下，如何设计广告观看-流量激励机制，同时考虑到传统的运营商-虚拟运营商业务的存在，以达到运营商、虚拟运营商、商家、用户的四嬴结果。

## 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 [1-3]。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 [3] 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 [5] 和数据奖励 [6] 。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 [4] 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 [5] 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 [6] 等。根据目前来看，我们的工作是较先考虑将虚拟运营商和广告业务进行联合设计，并考虑通过数据奖励的方式来投放广告进行建模分析的工作。

### 广告业务与激励机制

一些工作已经考虑到通过一定的激励机制设计来进行广告的投放。工作 [7] 通过公共场所的WiFi部署为用户提供付费使用和观看广告以获得使用权两种模式给特定用户投放广告；工作[12]通过线上APP与线下商店之间的合作以促进双方的收入，达到较好的激励效果；工作[9]通过内容提供商向因特网服务提供商支付资金以补贴用户的数据流量来达到增加自己利润的目的。

## 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。

### 阿里（兼具虚拟运营商和广告业务）

#### 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。

这里注意到流量套餐的两个参数*Q*和*F*是常数，因为用户需要在运营商和虚拟运营商之间进行选择，那么他们的套餐必然是不相同的，或者说有差异的。例如现在市场上的流量，运营商的是通用流量，可以用于任何一款APP或者浏览器或者VoLTE等服务，而虚拟运营商的专属流量一般适用于自己的特定APP或者服务，例如腾讯王卡只能用于QQ，Wechat等APP，而不能用于支付宝等。但是专属流量有另一个特点是套餐的流量一般比较多。考虑到如果运营商的套餐比虚拟运营商的套餐物美价廉，即且，那么所有用户将选择运营商；或者反之，大家都会虚拟运营商，这都是不合理的。因此，在我们的场景里，我们假定 且，即运营商套餐流量小于虚拟运营商的套餐流量，但是价格也相应的便宜一些。

#### 广告业务

阿里提供了电商平台和广告平台的功能，在此模式下，阿里向商家出售广告服务，单位广告的价格为*p*，同时不论是否使用其虚拟运营商套餐的用户每在自己的电商平台上观看一个广告都能得到*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流量需求来同时选择套餐和观看广告数量。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连续随机变量 [6, 7]，其概率密度函数为，且。

这样用户最终得到的流量资源为

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：

 [8]

 [9]

 [10]

每个用户的效用来自流量的效用，与流量呈正相关关系，每个用户需要决策需要观看广告的数量且假设是一个连续变量 [7, 15]。因为我们考虑广告可能对用户的购买商品的决策有一定影响而非一定会造成用户购买商品的行为，所以不把商品的效用考虑进来。因此类型的用户的效用可写为



其中*h*表示用户观看单位广告带来的负效用[13, 14]。即用户的优化问题为



为了表达用户的广告总需求我们需要考虑如下问题：

用户在最优决策状态下可以观看的广告总数表示为

其中将有比例的用户会选择观看广告，比例的用户不管看广告，即

 ，

。

### 商家

本质上应该考虑多个商家多种广告，但是这里我们简化为多个商家，每个商家只有一种广告，他们竟争的是广告位，或者是投放广告的一些资源参数，比如说数量、时长、频率。假设有个商家，其中商家购买的广告数量是。

电商平台对于所有的广告给*N*个用户进行投放时采取random的策略，也就是说用户每次观看广告时，看到的是商家s的概率是 [6, 7]。注意：电商平台会通过调节单位广告的价格*p*来影响商家的总购买量以此使得。如果那么用户总会随机看到一个商家的广告；如果那么用户有一定的概率不会看到任何一个商家的广告，这种情况下我们考虑用电商平台自己的广告代替，或者不给用户播放广告。

~~假定商家具有一定的流行度，反映了用户对于商家的偏好程度。定义流行度函数的参数为~~~~，服从上的均匀分布，且 ，其中是系统参数，反映了用户对于商家偏好的集中程度 [16]。能否包括一些特例？~~

因为电商平台对于广告是一种随机投放的策略，因此表示商家的效用函数为



其中代表用户总人数，表示将每个观看广告的用户带来的效用，二次函数的性质反映了用户观看广告的wear-out effect [17]。

### 三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、套餐价格*F*1，单位广告的价格*p* |
| 第三阶段 | 商家决策购买广告的数量*ms* |
| 用户决策套餐选择*r*和观看广告的数量*x* |



## 博弈过程分析（逆向归纳）[11]

### 第三阶段:用户和商家的决策

#### 用户决策

用户的优化问题为



考虑用比较简单的效用函数，例如；同时用户类型分布满足均匀分布，即 [8]

若用户选择运营商，即，则

若用户选择虚拟运营商，即，则

##### 经讨论，有(见附录A)

(1) 时：

若 则对，有， 。

若则对有，，对有，。

(2) 时：

若则对有，，对有，，对 有，。

当且时，存在唯一使。对 有，，对 有，；

当时，对 有，；

其中，，，。

Case(1)中虚拟运营商要不没有用户选择要不没有用户观看广告，不符合我们设计的广告与流量激励共存模式，因此接下来，我们不妨取case(2)进行研究。当时，总有，表示该模式无法推行下去，故不考虑这种情况。先考虑的情况。此时有







#### 商家决策

商家的优化问题为



解得

### 第二阶段：电商平台的决策

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，失去了购买流量的费用，因此这部分可以表达为



二是来自于商家的购买广告的收入：



虚拟运营商在网络中实际使用的总流量为

因此阿里的优化问题为：

(1)当时：



化简为



其中





是一个凸优化问题

(2)当且时：



其中





### 第一阶段：运营商的决策

运营商的效用由虚拟运营商付出的流量费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, Jun. 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] H. Yu, G. Iosifidis, B. Shou and J. Huang, "Pricing for Collaboration between Online Apps and Offline Venues," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 19, no. 6, pp. 1420-1433, 1 June 2020.

[13] H. Guo, X. Zhao, L. Hao, D. Liu, “Economic analysis of reward advertising”, *Production and Operations Management*, 28(10): pp. 2413-2430, Feb. 2019.

[14] S. P. Anderson and B. Jullien, “The advertising-financed business model in two-sided media markets,” in *Handbook of media economics*, 2015, vol. 1, pp. 41–90.

[15] D. Bergemann and A. Bonatti, “Targeting in advertising markets: implications for offline versus online media,” *The RAND Journal of Economics*, vol. 42, no. 3, pp. 417–443, 2011.

[16] Q. Ma, L. Gao, Y.-F. Liu, and J. Huang, “Economic analysis of crowdsourced wireless community networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, September 2016.

[17] B. N. Anand and R. Shachar, “Advertising, the matchmaker,” The *RAND Journal of Economics*, vol. 42, no. 2, pp. 205–245, 2011.

## 附录

### 附录A用户决策

若用户选择运营商，即，则

若用户选择虚拟运营商，即，则

若选择运营商则效用是固定的；若选择虚拟运营商则需要决策*x*。因此需要分情况讨论：

尝试求解极值点 ：



令导数为零得到



因为观看的广告数，因此

##### 情况1：

若，则对恒成立，而是一个凹函数，因此：



为比较两种方案的效用进行做差：



因为所以 ，故 ， 。

若 则对，有， 。

若则对有，，对有，。

##### 情况2：

若，

(1)当时，依然在处取得极大值，讨论和情况1类似：。

若则对，有， 。

若则对有，，对有，。

(2)当时，能够在处取得极大值，即。

做差： ,

求导得 ，

零点为

即在 上单减，在 上单增。而，所以 在上单增，故





当时，对 有，；

当且时，存在唯一使。对 有，，对 有，；

当时，对 有，；

##### 综上，当

(1) 时：

若 则对，有， 。

若则对有，，对有，。

(2) 时：

若则对有，，对有，，对 有，。

当且时，存在唯一使。对 有，，对 有，；

当时，对 有，；