



我国信息通信技术创新扩散效应及预测实证研究

胡文玉^{1,2}, 王文举^{1,3}

(1. 首都经济贸易大学, 北京 100070;
2. 北京中智博咨询有限公司, 北京 102200; 3. 北京物资学院, 北京 101100)

摘要: 结合我国信息通信技术 (ICT) 的特点, 应用 Bass 扩展模型对 ICT 创新扩散效应进行了实证研究。结果表明遗传算法曲线拟合估计效果更好。此外, 应用非累计采用者 Bass 模型从技术演进、业务类型、区域分布及省市等维度对 ICT 创新扩散效果进行实证分析, 得出创新扩散随着 ICT 的演进创新效应驱动显著, 对 3G/4G、宽带互联网、数字电视及其融合业务更为明显的结论。最后, 采用非累计 Bass 模型运用遗传算法对固话、移动、宽带和广播电视未来 5 年的用户规模进行了预测。

关键词: 信息通信技术; 创新扩散; 非累计采用者 Bass 模型; 遗传算法; 预测

中图分类号: F623

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020015

Empirical research on the diffusion effect of ICT innovation diffusion and prediction in China

HU Wenyu^{1,2}, WANG Wenju^{1,3}

1. Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China
2. Sciresearch Consulting Co., Ltd., Beijing 102200, China
3. Beijing Wuzi University, Beijing 101100, China

Abstract: Based on the characteristics of information and communication technology (ICT) in China, an empirical study was made on the diffusion effect of ICT innovation using Bass extension model. The results show that the curve fitting estimation effect of genetic algorithm was remarkable. In addition, non-cumulative adopter model was used to empirically analyze the diffusion effect of ICT innovation from the aspects of technology evolution, business, region and provinces. It was concluded that innovation diffusion was significantly driven by innovation effect along with the evolution of ICT, especially 3G/4G, broadband Internet, digital TV and their convergent business. Finally, the non-cumulative Bass model using genetic algorithm were used to predict the user size of fixed-line, mobile, broadband, radio and television in the next five years.

Key words: ICT, innovation diffusion, non-cumulative adopter Bass model, genetic algorithm, prediction

收稿日期: 2019-06-25; 修回日期: 2020-01-08

基金项目: 国家社会科学基金重大项目 (No.14ZDA072)

Foundation Item: Major Program of The National Social Science Fund of China (No.14ZDA072)

1 引言

纵观我国信息通信技术的发展历程,经历20世纪90年代的固定电话和广播电视并行发展阶段,进入2000年移动和宽带并行快速发展阶段,2009年随着3G在我国正式商用,我国正式步入移动、宽带、电视融合发展“快车道”。从模拟电话、2G、3G、4G到即将商用的5G,从拨号上网到宽带上网,从传统电视到数字电视,从三网分离到三网融合,逐步向基于移动互联网的信息通信技术大融合演进,最终进入以“互联网+”为标志的信息通信技术时代,即ICT时代。随着通信技术、信息技术和终端硬件技术快速迭代,产业间深度融合,ICT创新扩散为全行业发展释放新动能,充分发挥其对全行业发展的先导性、战略性、倍增性和辐射性作用,ICT对国民经济发展的的重要性日益凸显,进一步推进国民经济转型升级^[1]。本文从技术演进、业务类型、区域分布及省市等维度对ICT创新扩散效果,为政府和行业监管机构制定宏观政策和信息通信行业运营企业的业务发展提供参考,同时为未来5G创新扩散研究及用户预测提供借鉴。因此,研究ICT创新扩散效应具有重要的现实意义。

根据2017年第4次修订《国民经济行业分类》标准将ICT服务界定为电信、广播电视和卫星传输服务。本文将信息通信技术(ICT)采用者界定为固定电话用户、寻呼用户、移动电话用户、宽带互联网接入用户和广播电视用户。在创新扩散模型选择上,纵观国内外学者对信息通信技术(ICT)创新扩散的研究成果,技术创新扩散多采用Bass^[2]在1969年提出的基于内部创新扩散因子和外部的扩散模仿因子的技术创新扩散模型,简称Bass模型,该模型被国内外学者广泛应用于信息通信技术创新扩散研究,能够描述复杂的技术创新扩散过程并能有效地预测创新扩散的最大值和到达最大值的时间,而成为拟合技术创新扩

散的经典模型。2008年,Michalakelis & Varoutas^[3]通过使用Bass模型、Gomperz模型、Logistic模型对希腊移动电话扩散效应进行研究;2012年,Liu等^[4]应用Gomper模型、Logistic模型和Bass模型对中国移动电话技术扩散驱动和预测进行研究;2017年,Lee等^[5]以韩国、美国和日本为例对移动通信和移动产品技术创新扩散影响采用累计采用者Bass模型进行对比研究,结果表现移动通信业务随着1G、2G、3G、4G的演进创新驱动显著增强;2012年,Turk等^[6]应用Bass模型对欧盟主要成员国宽带创新扩散进行对比研究。2014年,Lee等^[7]应用Bass扩散模型对韩国移动通信市场ICT产品(移动用户和移动终端)扩散战略进行研究。2006年,徐明慧等^[8]应用Bass模型对移动电话用户扩散进行研究;2009年,邹超等^[9]应用Bass模型对我国宽带业务市场的扩散进行分析;2017年,王文举等^[10]提出非耐用新消费品层次扩散Bass模型,并对非耐用新消费品(移动网游)进行实证研究。综上,诸多学者应用Bass模型对ICT领域实证研究中,多采用累计采用者Bass模型,本文指出累计采用者Bass模型在ICT领域研究应用的不足,创新地提出了非累计采用者Bass模型研究信息通信技术创新扩散效应,进一步完善创新扩散理论并拓宽了创新扩散理论的应用范围,具有重要的理论意义。

在创新扩散模型估计方法上,Bass^[11]采用最小二乘法(OLS)对耐用电子消费品创新扩散模型进行参数估计。1986年,Mahajan等^[11]指出应用OLS估计Bass模型存在不足,主要表现为自变量 N_{t-1} 和 N_t^2 之间存在共线性而导致估计误差,不能直接提供参数估计的标准差,不能评价模型估计的统计显著性。为了克服最小二乘法存在的缺陷和不足,1982年,Schmittlein等^[12]提出使用极大似然法对模型微分式进行参数估计并能有效估计参数的标准差。Gujarati指出极大似然估计法仅考虑抽样误差而忽视其他方面误差,往往会低估参数



估计的标准差,导致参数统计显著性的错误推论^[13]。Srinivasan 等^[14]为了避免最大似然估计 (MLE) 可能产生的问题,提出采用非线性最小二乘法来估计 Bass 模型参数,但非线性最小二乘法对初始值的选取非常重要(建议使用 OLS 估计结果作为初始值)。为了有效克服上述估计方法存在的不足,2017 年,杨敬辉等^[15]基于遗传算法的附随扩散 Bass 模型的构建及实证研究。2015 年,朱兆杰等^[16]基于改进的粒子群算法应用 Bass 模型进行移动互联网扩散预测。2010 年,杨积云等^[17]基于蚁群算法对 Bass 扩展模型及其应用进行研究。上述 3 种现代智能迭代算法(遗传算法、粒子群算法和蚁群算法)估计 Bass 模型均取得较好的效果。本文采用拟牛顿法、粒子群算法和遗传算法 3 种估计方法对非累计采用者 Bass 模型进行拟合和估计,通过对输出参数结果的对比分析选择最优的模型估计方法。因此,现代智能迭代算法对非线性模型估计有一定的借鉴意义。

2 模型与估计方法选择

2.1 Bass 模型及其描述

Bass 运用概率论和微积分理论设置并推导出耐用电子产品创新扩散模型,即经典 Bass 模型,模型假设创新扩散在考虑大众传媒和口碑传播的影响,认为采用创新的条件概率是已采用者比例的线性函数。经典 Bass 模型微分的表达式为:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = p[m - N(t)] + \frac{q}{m} N(t)[m - N(t)] \quad (1)$$

Bass 模型创新地提出了创新系数 ($p > 0$)、模仿系数 ($q > 0$) 和全生命周期累计采用者的最大值 (m)。第 t 时刻累计采用者模型(以下简称“累计采用者 Bass 模型”)为:

$$N(t) = m \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \quad (2)$$

第 t 时刻新采用者或非累计采用者模型(以下简称“非累计采用者 Bass 模型”)为:

$$n(t) = m \frac{(p+q)^2}{p} \frac{e^{-(p+q)t}}{\left(\frac{q}{p} e^{-(p+q)t} + 1\right)^2} \quad (3)$$

对式 (3) 求导得到在 $(0, T)$ 期间的最大值 ($S(T^*)$) 及达到最大值的时间 (T^*), 其表达式分别为:

$$S(T^*) = m \frac{(p+q)^2}{4q}, \quad T^* = -\frac{1}{p+q} \ln\left(\frac{p}{q}\right) \quad (4)$$

Bass 累计采用者模型是一条单调递增“S 形”曲线,而非累计采用者模型是一条“钟形”曲线^[18]。Bass 扩散模型—累计采用者与非累计采用者曲线如图 1 所示。

2.2 Bass 模型选择

从国内外学者研究 ICT 创新扩散模型(包括通信领域)的诸多文献中可以发现,研究人员多采用累计采用者 Bass 模型研究创新扩散效应。结合 ICT 业务特征,本文认为研究 ICT 创新扩散更适合使用非累计采用者 Bass 模型,原因如下。

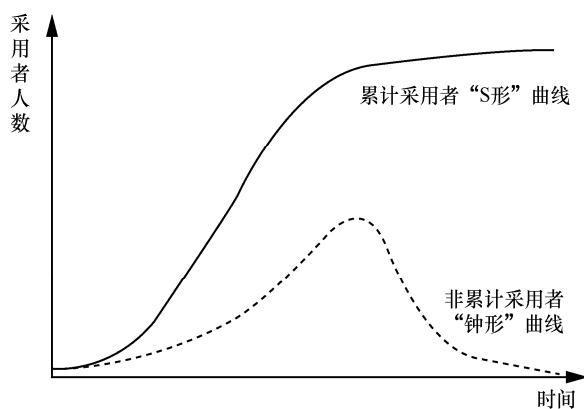


图1 Bass 扩散模型—累计采用者与非累计采用者曲线

(1)从 Bass 模型实证应用角度来看,年末 ICT 采用者到达数应为年度“新采用者”,即新用户。ICT 业务与传统新产品(指电冰箱、黑白电视机、家用空调、干衣机等电子产品)具有明显区别,主要表现为 ICT 业务具有可续费性、可续约性、

可迭代性、产品使用寿命远高于传统新产品的特点。ICT 业务通常是按年、月来进行付费的,同时签约过程中具有可选择性,因此年末采用者到达数量是重新续约或续费和新签约的采用者总数,应视为新采用者(即新用户),ICT 扩散研究更适合使用非累计采用者 Bass 模型。

(2) 从产品生命周期研究的视角来看,ICT 创新扩散更适用非累计采用者 Bass 模型。从国内外学者研究来看,Bass 模型多用于新产品引入期、成长期和成熟期之前的创新扩散研究,但不适合衰退期,例如累计采用者 Bass 模型无法拟合已经进入衰退期的固定电话、寻呼、移动电话(2G/3G)创新扩散曲线。因此,从全生命周期的视角来看,ICT 创新扩散更适合使用非累计采用者 Bass 模型。

综上,本文克服了累计采用者 Bass 模型在应用研究中的不足,创新地提出了修正后的非累计采用者 Bass 模型更适合于全生命周期创新扩散研究,实用性和普适性更强,模型解释力更强。

2.3 估计方法选择

结合国内外学者 Bass 模型估计成果,本文运用拟牛顿法、粒子群算法和遗传算法对非累计采用者 Bass 模型进行拟合和估计,这 3 种估计方法在迭代过程中具有渐近寻优、并行搜索快速收敛的特点,同时搜索过程中具有突跳性,能够有效避免搜索陷入局部极小解^[19]。由于拟牛顿法受初始值选择影响较大,选择“多起点”(150 个初始值)进行迭代优化,保证迭代优化效果。运用粒子群算法进行迭代优化时,为了有效解决初始化种群随机搜索的局限性,而不能保证找到最优解的问题,在迭代优化时选择种群“变异法”,从而避免陷入在局部而非全局搜索最优解。遗传算法采用混合策略进化算法,个体通过变异和选择进行进化博弈,通过调整进化策略来获得最优解;选择方法在“单次父本最优、绝对父本最优、截断选择、轮盘选择、排序选择”中进行随机选择,

策略调整与选择在“均匀交叉、一点交叉、两点交叉、居中交叉和线性交叉”中随机选择,这样不受选择方法和选择策略的限制,保证在全局范围搜索最优解。

3 实证研究与分析

3.1 ICT 创新扩散数据来源及假设

(1) ICT 创新扩散数据来源

ICT 用户为固定电话用户、移动电话用户、寻呼用户、互联网宽带接入用户(简称宽带用户)和广播电视用户之和,因此地区 i 第 t 年末的 $n(t)_i$ 计算口径为:

$$n(t)_i = FP_{i,t} + BP_{i,t} + MP_{i,t} + BB_{i,t} + RT_{i,t} \quad (5)$$

其中, $n(t)_i$ 为地区 i 第 t 年末 ICT 用户总数, $FP_{i,t}$ 、 $BP_{i,t}$ 、 $MP_{i,t}$ 、 $BB_{i,t}$ 、 $RT_{i,t}$ 分别为地区 i 第 t 年末的固话、寻呼、移动、宽带和广播电视用户数。

选取 1985—2018 年全国 31 个省市的固话、寻呼、移动、宽带和广播电视用户数据,数据主要来自《中国统计年鉴》《中国通信业 60 周年》《中国广播电视年鉴》。数据描述见表 1。

(2) 创新扩散研究对象及假设

假设 1: ICT 创新扩散研究对象为个人用户和家庭用户,不包括行业用户。

假设 2: 将固定、移动、寻呼、宽带、广播电视业务采用者(或使用用户/用户)作为信息通信技术(ICT)采用者。

3.2 非累计采用者 Bass 模型估计效果及分析

(1) ICT 创新扩散全国总体参数估计结果分析

利用 1985—2018 年我国 ICT 年末用户到达数,采用非累计采用者 Bass 模型对技术创新扩散“钟形”曲线进行拟合。拓展后的非累计采用者 Bass 模型表达式为:

$$n(t) = k + m \frac{(p+q)^2}{p} \frac{e^{-(p+q)t}}{\left[\frac{q}{p} e^{-(p+q)t} + 1 \right]^2} \quad (6)$$

重点对式(6)中的模型参数 p 、 q 、 m 、 k



表 1 ICT 创新扩散数据统计描述（单位：万户）

描述类型	ICT	固话	寻呼	移动	互联网宽带	广播电视
时间长度	34	34	19	29	21	34
时期	1985—2018 年	1985—2018 年	1987—2005 年	1990—2018 年	1998—2018 年	1985—2018 年
均值	79 119.1	16 097.7	2 661.9	51 532.6	11 958.3	9 723.8
标准差	79 504.9	12 750.5	2 215.6	48 809.4	9 573.3	8 850.3
最小值	411.7	296.3	3.1	1.8	0.5	115.4
最大值	237 748.6	36 345.2	4 871.4	156 609.8	40 738.0	23 476.5

进行估计， k 为截距项。选择拟牛顿法、粒子群算法和遗传算法 3 种现代智能算法对非累计采用者 Bass 模型及其参数进行估计。模型拟合效果及参数估计结果见表 2。

从表 2 可以看出，拟牛顿法、粒子群算法和遗传算法对非累计采用者 Bass 模型的总体拟合效果均较好，调整后的 R^2 、 F 统计量均较高，模型总体估计效果均比较显著。但从 3 种估计方法输出的均方差（RMSE）比较来看，遗传算法优于拟牛顿法和粒子群法。此外，从实证研究的角度来看，拟牛顿法、粒子群算法在进行迭代优化时受初始值选择影响较大，对拟合结果有一定波动，而遗传算法拟合结果比较稳定。因此，本文采用遗传算法对 ICT 创新扩散参数进行估计。

从表 2 遗传算法模型参数估计结果来看，ICT

创新扩散的创新系数（ p ）为 0.000 52，模仿系数（ q ）为 0.174 7，模仿系数远高于创新系数，因此 ICT 创新扩散主要以模仿为主，创新系数和模仿系数 $p+q=0.000\ 52+0.174\ 7=0.175\ 22<1$ ，因此 ICT 创新扩散具有较强的收敛性。由式（4）可以计算 ICT 非累计采用者的用户数量达到最大值的时间和用户数量， $T^*=33.2$ ，即在 2018 年 ICT 非累计采用者数量达到最大值，最大值为 $S^*=21.93$ 亿。

（2）ICT 创新扩散分阶段参数估计结果分析

从 ICT 发展历程及分阶段创新扩散效果来看（见表 3），从“固话+广播电视”并行发展时代、“移动+宽带”并行发展时代到信息通信技术（ICT）融合时代，即“移动、宽带、电视”融合发展，其创新系数（ p ）不断增大，由 0.000 13、0.000 20 增加到 0.000 52，创新扩散的创新驱动显著，尤其

表 2 ICT 创新扩散非累计采用者 Bass 模型拟合效果及参数估计结果对比

算法比较	p	q	k	m	均方差	调整后 R^2	F 统计量
拟牛顿法	0.000 52	0.174 7	2.34×10^{-4}	4 990 881	7 755.704 4	0.991	986.3
粒子群算法	0.000 52	0.174 7	7.32×10^{-1}	4 990 860	7 755.704 3	0.991	986.3
遗传算法	0.000 52	0.174 7	1.74×10^{-6}	4 990 858	7 755.701 2	0.991	986.3

表 3 ICT 创新扩散非累计采用者 Bass 模型参数估计结果—分阶段

ICT 分阶段	时期	p	q	均方差	调整后 R^2	F 统计量
固话+广电时代	1985—1997 年	0.000 13	0.598	71.7	1.000	11 001.5
移动+宽带时代	1985—2008 年	0.000 20	0.300	1 788.8	0.998	3 391.9
ICT 时代	1985—2018 年	0.000 52	0.175	7 755.7	0.991	986.4

是 3G 时代（2009 年以后）更为明显。而模仿系数（ q ）由 0.598、0.300 减少到 0.175，创新扩散模仿驱动逐渐减弱。

（3）ICT 创新扩散分业务参数估计结果分析

从分业务创新扩散效果来看（见表 4），固话创新系数最高，其次是宽带，再者是广播电视，移动业务次之，寻呼最低。模仿系数寻呼最高，宽带、固话和移动差距不显著，广播电视最低。从移动业务技术演进来看，从模拟时代、2G 时代、3G 时代、4G 时代创新系数不断增大，创新扩散能力不断增强，而模仿系数不断走低。该结论与 Lee 对移动通信创新系数和模仿系数结论一致；从广播电视技术演进来看，数字电视的创新系数高于传统广播电视，模仿系数相反。进入 2000 年以后，3G/4G 业务和数字电视的创新系数显著高于其他业务，对 ICT 创新扩散具有显著的拉动和促进作用。

通过式（4）计算出各项业务的非累计采用者最大值及到达最大值的时间，固定电话在 2009 年用户达到最大值， $S(t^*)$ 为 3.50 亿；移动用户 2018 年用户达到最大值， $S(t^*)$ 为 14.46 亿；互联网宽带在 2024 年达到最大值， $S(t^*)$ 为 5.42 亿；广播电视在 2015 年用户达到最大值， $S(t^*)$ 为 2.33 亿；

寻呼在 2000 年达到最大值， $S(t^*)$ 为 0.49 亿。

（4）ICT 创新扩散分区域参数估计结果分析

ICT 创新扩散非累计采用者 Bass 模型参数估计结果一分区域见表 5。东北地区、东部沿海和南部沿海 ICT 创新扩散的创新系数（ p ）整体较高，西北地区、黄河中游、西南地区创新系数较低。模仿系数（ q ）黄河中游和西北地区较高，西南地区 and 东北地区模仿系数较低。其中东北地区、东部沿海、南部沿海在 2016 年 ICT 非累计采用者数量达到最大值， $S(t^*)$ 分别为 1.68 亿、3.23 亿、3.05 亿；北部沿海、黄河中游、长江中游、西北地区在 2017 年达到最大值， $S(t^*)$ 分别为 3.31 亿、2.66 亿、2.83 亿、0.89 亿；西南地区在 2018 年达到最大值， $S(t^*)$ 为 3.29 亿。

（5）ICT 创新扩散分省参数估计结果分析

从全国 31 省 ICT 创新系数和模仿系数的矩阵图（如图 2 所示）看出，整体看模仿系数和创新系数之间高度负相关。上海、天津、黑龙江 ICT 创新系数远高于全国总体水平，且模仿系数相对较低，属于 ICT 创新驱动型。西藏自治区、内蒙古自治区、青海 ICT 模仿系数远高于全国总体水平，且创新系数相对较低，属于模仿驱动型。其他省份属于混合

表 4 ICT 创新扩散非累计采用者 Bass 模型参数估计结果一分业务

ICT 分业务	时期	p	q	调整后 R^2	F 统计量	$S(t^*)$	T^*	最大值时间
ICT 总体	1985—2018 年	0.000 52	0.175	0.991	986.4	219 292.8	33.2	2018 年
固定电话	1985—2018 年	0.000 88	0.225	0.963	243.4	35 049.0	24.6	2009 年
移动电话	1990—2018 年	0.000 51	0.214	0.992	916.6	144 629.4	28.2	2018 年
模拟时代	1990—1998 年	0.000 158	0.735	0.999	5 158.8	4 938.7	11.5	2001 年
2G 时代	1990—2009 年	0.000 325	0.321	0.992	678.6	76 175.6	21.4	2011 年
3G 时代	1990—2014 年	0.000 379	0.245	0.996	1 624.6	131 145.4	26.3	2016 年
4G 时代	1990—2018 年	0.000 510	0.213	0.992	916.6	144 629.4	28.2	2018 年
寻呼业务	1987—2005 年	0.000 21	0.615	0.981	278.0	4 876.2	13.0	2000 年
宽带业务	1998—2018 年	0.000 72	0.217	0.990	520.8	54 215.5	26.3	2024 年
广电业务	1985—2018 年	0.000 63	0.186	0.995	1 568.2	23 268.0	30.5	2015 年
数字电视	2005—2018 年	0.007 07	0.302	0.994	603.8	20 700.4	12.1	2017 年

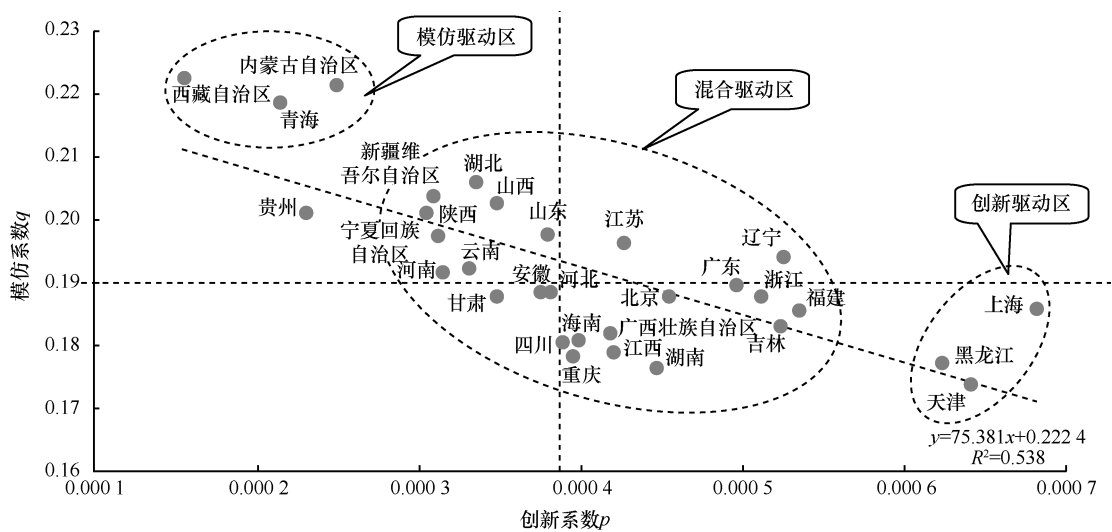


图2 全国31省ICT创新系数(p值)和模仿系数(q值)交叉分析

表5 ICT创新扩散非累计采用者Bass模型参数估计结果—分区域

ICT分业务	时期	p	q	调整后 R^2	F 统计量	$S(r^*)$	T^*	最大值时间
东北地区	1985—2017年	0.00056	0.186	0.995	1725.3	16828.8	31.1	2016年
北部沿海	1985—2017年	0.00041	0.191	0.995	1678.9	33063.8	32.1	2017年
东部沿海	1985—2017年	0.00050	0.191	0.995	1454.7	32296.4	31.1	2016年
南部沿海	1985—2017年	0.00050	0.188	0.993	1196.0	30542.9	31.4	2016年
黄河中游	1985—2017年	0.00031	0.200	0.996	1954.5	26569.3	32.3	2017年
长江中游	1985—2017年	0.00040	0.188	0.996	2042.9	28303.2	32.7	2017年
西南地区	1985—2017年	0.00036	0.185	0.994	1493.5	32884.8	33.7	2018年
西北地区	1985—2017年	0.00031	0.199	0.994	1470.9	8878.8	32.5	2017年

表6 31省ICT用户达到最大值时间及梯队分布

最大值时间	省份数量	省份名称	梯队分布
2015年	3	上海、辽宁、内蒙古自治区	第一梯队
2016年	11	湖北、江苏、广东、山西、浙江、福建、山东、青海、黑龙江、新疆维吾尔自治区、吉林	第二梯队
2017年	7	北京、天津、陕西、宁夏回族自治区、西藏自治区、河北、安徽	第三梯队
2018年	9	云南、广西壮族自治区、河南、甘肃、贵州、江西、海南、湖南、四川	第四梯队
2019年	1	重庆	第五梯队

驱动型。31省详细参数估计结果见附表1。

31省ICT用户达到最大值时间及梯队分布见表6。

(6) 非累计采用者Bass模型重点业务用户数预测

采用非累计采用者Bass模型运用遗传算法对

固话、宽带、移动(2G/3G/4G)及广播电视未来5年的用户规模进行预测,结果见表7。从分业务的预测结果来看,固话无论从实际到达用户数还是预测达到用户数,2007—2008年达到最大值,与实际偏差有1年的时间,未来5年固话用户

表7 分业务非累计采用者 Bass 模型未来5年用户数预测

年份	固话		移动		宽带		广播电视	
	实际值	预测值	实际值	预测值	实际值	预测值	实际值	预测值
1985年	296.3	680.4	-	-	-	-	115.4	374.1
1986年	355.9	850.7	-	-	-	-	135.2	450.3
1987年	394.9	1 063.0	-	-	-	-	149.8	541.8
1988年	480.1	1 327.1	-	-	-	-	182.3	651.6
1989年	576.5	1 655.4	-	-	-	-	218.8	783.4
1990年	695.2	2 062.3	1.8	1 700.3	-	-	263.2	941.1
1991年	858.5	2 565.3	5.2	2 103.5	-	-	324.0	1 129.9
1992年	1 166.5	3 185.1	17.7	2 601.4	-	-	439.0	1 355.4
1993年	1 764.5	3 945.4	63.8	3 215.8	-	-	660.1	1 624.2
1994年	2 774.5	4 873.2	156.8	3 973.4	-	-	1036.7	1 944.0
1995年	4 138.2	5 997.8	363.0	4 906.2	-	-	1 547.7	2 323.3
1996年	5 588.8	7 349.7	686.2	6 053.4	-	-	2 099.0	2 771.8
1997年	7 025.1	8 958.1	1 309.2	7 461.6	-	-	2 612.9	3 300.0
1998年	8 708.2	10 847.3	2 368.2	9 186.4	0.5	884.1	3 240.2	3 919.0
1999年	10 869.9	13 031.6	4 259.8	11 293.4	1.2	1 096.6	4 043.8	4 640.4
2000年	14 312.1	15 507.6	8 376.9	13 858.8	2.5	1 359.4	5 339.6	5 475.5
2001年	17 967.6	18 246.8	14 433.9	16 969.5	6.4	1 684.3	6 675.8	6 434.3
2002年	21 146.4	21 186.4	20 421.5	20 722.3	330.4	2 085.2	7 911.5	7 524.4
2003年	26 104.3	24 223.1	26 800.6	25 221.8	1 023.3	2 579.3	9 744.2	8 749.5
2004年	30 879.4	27 211.5	33 200.3	30 575.4	2 269.2	3 186.8	11 549.5	10 107.4
2005年	34 595.9	29 969.7	38 708.8	36 885.5	3 443.3	3 931.9	12 842.0	11 587.5
2006年	36 345.2	32 296.4	45 984.6	44 237.8	4 666.7	4 842.8	13 995.1	13 169.1
2007年	36 143.5	33 996.8	54 568.3	52 683.8	6 145.0	5 952.3	15 277.0	14 819.2
2008年	34 079.1	34 914.0	64 019.8	62 219.4	8 077.2	72 96.8	16 352.0	16 491.3
2009年	31 424.0	34 958.6	74 505.2	72 758.4	10 071.3	89 16.6	17 470.0	18 126.1
2010年	29 479.1	34 126.1	85 636.3	84 105.4	12 369.4	10 853.7	18 819.6	19 653.5
2011年	28 521.3	32 498.0	98 448.7	95 933.0	15 000.1	13 149.0	20 209.3	20 997.4
2012年	27 756.9	30 225.6	110 899.4	107 771.7	17 518.2	15 838.6	21 451.3	22 082.5
2013年	26 584.0	27 501.5	122 909.7	119 020.2	18 890.9	18 946.8	22 893.8	22 841.8
2014年	24 943.1	24 527.5	128 608.7	128 987.0	20 048.4	22 478.3	23 458.3	23 225.7
2015年	23 099.8	21 488.3	127 139.4	136 961.2	25 946.7	26 407.9	23 476.5	23 208.0
2016年	20 662.5	18 533.6	132 193.6	142 308.2	29 720.8	30 669.1	22 829.5	22 790.0
2017年	19 359.0	15 770.9	141 748.8	144 569.9	34 853.9	35 145.1	21 445.6	21 999.9
2018年	18 224.8	13 266.7	156 609.8	143 544.5	40 738.0	39 662.2	21 800.0	20 889.5
2019年	-	11 052.8	-	139 323.9	-	43 993.6	-	19 526.5
2020年	-	9 134.4	-	132 277.0	-	47 872.4	-	17 986.7
2021年	-	7 498.8	-	122 982.8	-	51 019.5	-	16 346.0
2022年	-	6 122.5	-	112 135.2	-	53 180.3	-	14 673.7
2023年	-	4 976.5	-	100 443.1	-	54 165.5	-	13 027.9



附表 1 全国 31 省 ICT 创新扩散非累计采用者 Bass 模型参数估计结果

省份	时期	p	q	S^*	T	最大值时间	RMSE	修正 R 平方	F 统计量
上海	1985—2017 年	0.000 68	0.186	5 308.1	30.1	2015—2016 年	181.4	0.992	1 120.0
辽宁		0.000 52	0.194	7 472.4	30.4		177.5	0.996	2 325.6
内蒙古		0.000 25	0.221	3 718.8	30.7		109.0	0.994	1 531.7
湖北		0.000 34	0.206	7 786.3	31.2		166.8	0.997	2 801.5
江苏		0.000 43	0.196	14 757.5	31.2	2016—2017 年	380.3	0.996	1 924.7
广东		0.000 49	0.190	22 120.0	31.3		824.4	0.990	912.6
山西		0.000 35	0.203	5 065.2	31.4		165.2	0.993	1 194.4
浙江		0.000 51	0.188	12 290.6	31.4		425.9	0.992	1 049.6
福建		0.000 53	0.186	7 012.7	31.4		186.0	0.995	1 782.9
山东		0.000 38	0.198	14 587.4	31.6		421.2	0.995	1 502.7
青海		0.000 21	0.218	830.0	31.7		24.3	0.994	1 446.7
黑龙江		0.000 62	0.177	5 215.9	31.8		205.0	0.989	791.1
新疆		0.000 31	0.203	3 374.8	31.9	2017—2018 年	103.5	0.993	1 311.4
吉林		0.000 52	0.183	4 216.2	31.9		119.1	0.994	1 532.6
北京		0.000 45	0.188	5 717.1	32.1		235.0	0.987	719.1
天津		0.000 64	0.174	2 428.5	32.1		71.9	0.994	1 365.5
陕西		0.000 30	0.201	6 074.8	32.3		150.3	0.996	1 957.3
宁夏		0.000 31	0.197	1 019.8	32.6		26.5	0.995	1 730.2
西藏		0.000 15	0.222	400.4	32.7		10.6	0.994	1 608.2
河北		0.000 38	0.188	10 418.9	32.9		307.2	0.994	1 319.0
安徽		0.000 38	0.188	7 137.9	32.9	2018—2019 年	192.9	0.995	1 558.8
云南		0.000 33	0.192	5 513.3	33.1		108.3	0.997	2 918.8
广西		0.000 42	0.182	5 887.4	33.3		197.4	0.991	978.9
河南		0.000 31	0.192	11 994.8	33.4		305.1	0.995	1 683.9
甘肃		0.000 35	0.188	3 302.1	33.5		108.2	0.992	1 011.6
贵州		0.000 23	0.201	4 577.6	33.7		103.3	0.996	2 060.0
江西		0.000 42	0.179	5 340.3	33.8		147.7	0.994	1 384.4
海南		0.000 40	0.181	1 476.3	33.8		26.8	0.997	3 202.4
湖南		0.000 45	0.177	8 369.2	33.8		212.0	0.995	1 647.9
四川		0.000 39	0.181	12 102.2	33.9		334.6	0.994	1 362.0
重庆		0.000 39	0.179	4 810.4	34.2		200.2	0.985	588.2

规模持续减少。移动（2G/3G/4G）用户规模预测 2018 年达到最大值，未来 5 年开始下降。宽带未来 5 年用户规模保持持续增长势头，2024 年达到最大值（见表 4）。广播电视在 2015 年达到最大值，未来 5 年将持续下降。

4 结束语

本文采用非累计采用者 Bass 模型运用遗传算法对我国 ICT 创新扩散进行研究,得出 ICT 总体、分业务（固话、寻呼、移动、宽带和广播电视）、

分阶段、分区域和分省市创新扩散效应和模仿扩散效应,并预测 ICT 及分业务、分区域、分省市的饱和时的采用者最大值及达到最大值的时间。

主要结论及建议如下。

(1) 从 ICT 整体演进路径来看,从“固话+广播电视”并行发展时代、“移动+宽带”并行发展时代到信息通信技术 (ICT) 时代,其创新系数不增大。创新扩散随着技术融合、业务融合的深入,其创新效应驱动越加显著。因此,建议充分利用互联网+宏观产业政策,加快业务深度融合,尤其是智慧家庭、家庭物联网、家庭大数据应用和部署。从而通过 ICT 深度融合创新驱动产业转型升级。

(2) 从 ICT 技术演进路径来看,从模拟时代、2G、3G 到 4G,从拨号上网到宽带互联网,从传统电视到数字电视,其创新扩散驱动效果越来越显著。因此,一是建议加快 5G 部署和建设,尽早商用;二是建议尽快推广和普及家庭宽带千兆光纤接入;三是建议 ICT 运营企业加快 8K 电视高清终端设备和内容研发和部署。从而通过技术创新、产品迭代升级与丰富应用内容保持 ICT 创新活力和用户数持续增长。

(3) 从 ICT 创新扩散区域应用来看,上海、黑龙江等省市的 ICT 使用者更易于接受新事物、新产品和新观念,创新效应驱动显著;西藏、青海等省份创新效应较弱,更易于从众和跟随,模仿效应较强。新产品、新技术、新模式的试行推广可以率先以上海、黑龙江等省份作为先行试点,这些省市更易于接受新事物、新思想、新观念,如 5G、8K 高清电视、智慧家庭等新技术、新产品。

总之,对 ICT 运营企业而言,应用本文的研究方法及成果能够有效指导企业优化资源配置和决策;对政府和行业监管机构而言,通过信息通信技术创新与融合能够进一步推动和加快产业转型升级和升级,进而为其制定宏观政策,引导行业发展,推动产业深度融合,提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 周一青,李国杰.未来移动通信系统中的通信与计算融合[J].电信科学,2018,34(3): 1-7.
ZHOU Y Q, LI G J. Convergence of communication and computing in future mobile communication systems[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(3): 1-7.
- [2] BASS F M. A new product growth model for consumer durables[J]. Manage Science, 1969, 15(5): 215-227.
- [3] MICHALAKELIS C, VAROUTAS D, SPHICOPOLIS T. Diffusion models of mobile telephony in Greece[J]. Telecommunications Policy, 2008(32): 234-245.
- [4] LIU X L, WU F S, CHU W L. Diffusion of mobile telephony in China: drivers and forecasts[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2012, 59(2).
- [5] LEE S G, YANG C G, LEE E B. ICT product diffusion in US and Korean markets[J]. Industrial Management & Data Systems, 2017, 115(2): 270-283.
- [6] TURK T, TRKMAN P. Bass model estimates for broadband diffusion in European countries [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2012(79): 85-96.
- [7] LEE S G, LEE E B, YANG C G. Strategies for ICT product diffusion: the case of the Korean mobile communications market [J]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Serv Bus, 2014(8): 65-81.
- [8] 徐明慧,郑继明.基于 Bass 模型的移动电话用户数扩散研究[J].科技管理研究,2006.
XU H M, ZHENG J M. Study on the diffusion of mobile phone users based on Bass model[J]. Science and Technology Management Research, 2006.
- [9] 邹超,姜澄宇.我国宽带业务市场的扩散分析[J].兰州大学学报,2007(11).
ZOU C, JIANG C Y. Diffusion analysis of broadband service market in China[J]. Lanzhou University Fist Newspaper, 2007(11).
- [10] 王文举,韩国庆.非耐用新消费品营销层次扩散模型实证研究[J].社会科学战线,2017(3).
WANG W J, HAN G Q. An empirical study on the hierarchical diffusion model of non-durable new consumer goods marketing[J]. Social Science Front, 2017(3).
- [11] MAHAJAN V, SHARMA S. A simple algebraic estimation procedure for innovation diffusion models of new product acceptance[J]. Technological Forecasting and Social Change, 1986, 30(4): 331-345.
- [12] SCHMITTLEIN D C, MAHAJAN V. Maximum likelihood estimation for an innovation diffusion model of new product acceptance [J]. Marketing Science, 1982, 1(1): 57-58.
- [13] 古扎拉蒂.计量经济学基础(第五版)[M].北京:中国人民大学出版社,2011.



- GUJARATI. Fundamentals of econometrics (5th edition) [M]. Beijing: China Renmin University Press, 2011.
- [14] SRINIVASAN V, MASON C H. Non-linear least squares estimation of new product diffusion models [J]. Marketing Science, 1986, 5(2): 169-178.
- [15] 杨敬辉, 武春友. 基于遗传算法的附随扩散模型的构建及实证研究[J]. 数理统计与管理, 2017(2).
- YANG J H, WU C Y. The construction and demonstration research of the attached diffusion model based[J]. Application of Statistics and Management, 2017(2).
- [16] 朱兆杰, 贾振红, 覃锡忠, 等. 基于改进的粒子群算法的移动互联网扩散预测[J]. 计算机应用与软件, 2015(7).
- ZHU Z J, JIA Z H, QIN X Z, et al. Prediction of mobile internet diffusion based on improved particle swarm optimization[J]. Computer Application and Software, 2015(7).
- [17] 杨积云. 基于蚁群算法的扩展 Bass 模型及其应用研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2010.
- YANG J Y. Study on generalized Bass model based on ant colony algorithm[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2010.
- [18] MAHAJAN V, MULLER E, FRANK M. New product diffusion models in marketing: a review and directions for research[J].

Journal of Marketing, 1990(54): 1-26.

- [19] 李昕. MATLAB 数学建模[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- LI X. MATLAB mathematical modeling[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2017.

[作者简介]



胡文玉 (1977-), 男, 博士, 首都经济贸易大学/北京中智博咨询有限公司工程师、公司运营总监, 主要研究方向为信息通信技术 (ICT) 行业服务与消费洞察、数据分析与挖掘、数据建模。



王文举 (1965-), 男, 博士, 北京物资学院经济学院教授, 首都经济贸易大学数量经济学博士生导师, 主要研究方向为博弈论与计量经济分析。