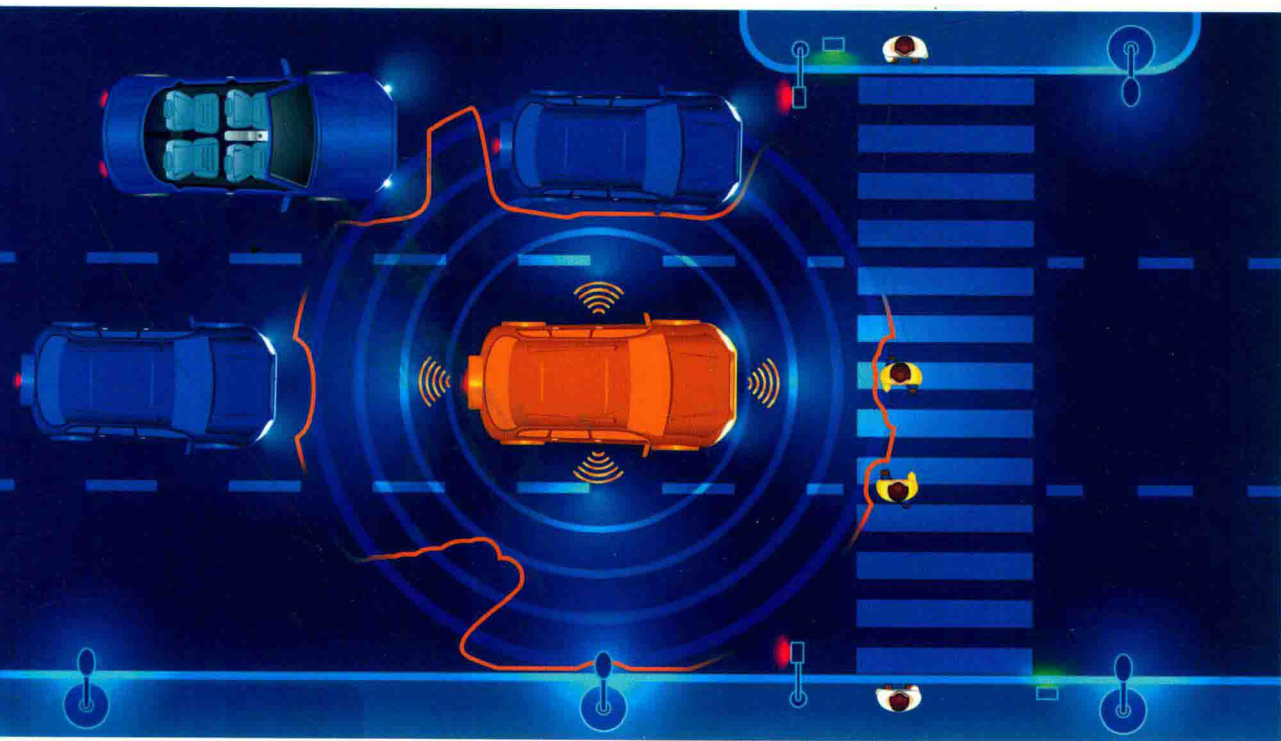


LTE-V2X Testing and Simulation
From Initiation to Mastery

LTE-V2X 测试与仿真 从入门到精通

许瑞琛 王俊峰 张 莎
刘晓勇 彭 潇 孙晓芳 编著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

LTE-V2X Testing and Simulation
From Initiation to Mastery

LTE-V2X 测试与仿真 从入门到精通

许瑞琛 王俊峰 张 莎
刘晓勇 彭 潇 孙晓芳 ◎ 编著



人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

LTE-V2X测试与仿真从入门到精通 / 许瑞琛等编著

— 北京 : 人民邮电出版社, 2018. 10

ISBN 978-7-115-49133-6

I. ①L… II. ①许… III. ①无线电通信—移动通信—通信技术—研究 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第186954号

内 容 提 要

这是一本帮助车联网研究人员、工程师和相关人员快速掌握 LTE-V2X 系统射频、性能和抗干扰测试技术以及 LTE-V2X 系统级动态仿真技术的专著。本书按照概述、测试和仿真的框架结构循序渐进。在概述篇, 首先论述自动驾驶将掀起一场波澜壮阔的技术革命; 随后介绍车联网的概念和体系架构; 接着阐述 LTE-V2X 技术和典型应用场景。在测试篇, 首先介绍无线电设备测试基础知识; 随后阐述 LTE-V2X 系统测试所需设备和环境的使用知识; 最后给出 LTE-V2X 系统实验室测试和外场测试的测试项说明、技术要求和测试方法。在仿真篇, 首先介绍通信网络系统级仿真的基本知识, 进而阐述 LTE-V2X 系统级动态仿真的具体流程、各模块建立的方法论和相关仿真注意事项及技巧; 最后给出两个 LTE-V2X 动态仿真的实施案例和相关模块代码解析。本书可指导车联网研究人员、测试人员快速入门并逐步精通, 成为 LTE-V2X 系统测试和仿真的行家里手, 还可帮助从业人员进一步提高测试和仿真技能。

本书内容深入浅出, 通俗易懂, 图文并茂, 覆盖面广, 具有较强的实用性和可操作性, 适合广大车联网研究人员、工程师阅读和参考。

◆ 编 著 许瑞琛 王俊峰 张 莎 刘晓勇 彭 潇 孙晓芳

责任编辑 杨 凌

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 14.5

字数: 341 千字

2018 年 10 月第 1 版

2018 年 10 月河北第 1 次印刷

定价: 79.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

前言

自动驾驶将在未来 30 年掀起波澜壮阔的技术革命，颠覆传统汽车行业的价值链和产业链，具有不可估量的应用前景。自动驾驶的两个重要组成部分为智能化和网联化，其中，网联化是打破车内车外信息孤岛效应、达到信息“1+1>>2”效果的有效途径。

网联化研究将随着自动驾驶的技术革命浪潮进一步深化。网联化的典型代表为车联网，车联网分为“端”“管”“云”。“端”指车端、路端和行人端，“云”指服务器端，“管”指的是 V2X。V2X 包括车辆到车辆通信、车辆到行人通信、车辆到路侧单元通信，以及端到云的通信。因此，V2X 是自动驾驶的通信管道，负责信息的传递，是车辆智能决策单元的输入，是自动驾驶的核心部分之一。LTE-V2X 是我国主推的 V2X 技术，在 3GPP 于 2017 年 3 月完成底层标准。

国家发展改革委《智能汽车创新发展战略》指出，智能汽车已成为汽车产业、通信产业、IT 产业发展的战略方向，国家将出台政策保障：至 2020 年智能网联化汽车新车占比达到 50%；大城市、高速公路的无线通信网络（LTE-V2X）覆盖率达到 90%。结合智能汽车产业链和延伸范围，车联网技术将在未来 15~30 年内取得重大的发展和推进。各大汽车厂商、芯片厂商、IT 厂商、通信厂商开始集中资源布局智能驾驶。因此，LTE-V2X 技术的商业落地将加速，其应用前景十分广泛。

然而，目前 3GPP 的 LTE-V2X 测试标准还处于初级阶段，市面上暂时还没有关于 LTE-V2X 测试和仿真技术的指导书籍，一方面无法指导 LTE-V2X 的研究人员和测试人员实现 LTE-V2X 的射频、性能和抗干扰测试，进而完成设备研发；另一方面现有的 LTE-V2X 相关研究报告仅有理论和仿真结论，并无具体仿真方法、实现技巧和具体实施案例指导。

本书分为概述篇、测试篇和仿真篇，测试篇和仿真篇又按照循序渐进的原则分别分为入门篇和精通篇。

概述篇——主要介绍自动驾驶的发展趋势、车联网的概念和体系架构、LTE-V2X 技术中和本书相关的内容，帮助读者了解相关技术的基本情况。

测试入门篇——主要介绍无线电设备测试基础知识，LTE-V2X 实验室测试所需设备和测试环境的介绍及使用方法。掌握本篇内容即可了解 LTE-V2X 系统测试所需的基础知识，为今后的测试工作打下坚实的基础。

测试精通篇——主要介绍 LTE-V2X 系统在实验室环境下，其射频测试、通信性能测试和抗干扰测试的测试项说明、测试技术要求和测试方法；LTE-V2X 在外场城区环境和高速环境下，其通信性能测试的测试项说明、测试技术要求和测试方法。只要掌握本篇内容，

读者就可以在 LTE-V2X 系统测试中对号入座，迅速掌握测试方法论，并可进一步提高测试理论水平和测试能力，快速成为 LTE-V2X 系统的测试高手。

仿真入门篇——主要介绍通信系统系统级仿真的方法论、基本架构、基本模块知识，包括系统及仿真概述、网络拓扑结构、传播模型和系统级仿真流程。只要掌握本篇内容，即可了解系统级仿真的基础知识，为今后的系统级仿真工作打下坚实的基础。

仿真精通篇——分为理论部分和实践部分。理论部分主要介绍 LTE-V2X 系统级仿真的仿真目标、周期通信机制、拓扑架构、仿真流程、上下层接口、传播模型、撒点模型、运动模型、调度方法和 Wrap-around 技术。实践部分通过两个具体的 LTE-V2X 系统级仿真实施案例阐述所述仿真中各模块的实现方法。只要掌握本篇内容，就可以快速掌握 LTE-V2X 系统级仿真方法论和实现技巧，并可进一步通过实现相关仿真提高系统级动态仿真和编码能力。

本书力求做到深入浅出，点面结合，图文并茂，通俗易懂，好学实用。

参加本书编写的还有吕玉崎、王筠婷、房骥和杜昊等同志，在此向他们表示衷心的感谢。

作者

2018 年 6 月于北京

目录

第1章 概述篇	1
1.1 自动驾驶是一场技术革命	1
1.1.1 大趋势	1
1.1.2 大变革	3
1.1.3 大影响	7
1.1.4 大市场	8
1.1.5 小结	9
1.2 车联网的概念和体系架构	10
1.2.1 车联网的概念	10
1.2.2 车联网的架构	11
1.2.3 小结	13
1.3 LTE-V2X 技术	13
1.3.1 LTE-V2X 技术的发展历程	14
1.3.2 LTE-V2X 通信模式	14
1.3.3 LTE-V2X 工作频段和应用分类	17
1.3.4 LTE-V2X 典型应用场景	18
1.3.5 小结	25
参考文献	25
第2章 测试入门篇	26
2.1 无线通信概述和频率规划	26
2.1.1 无线通信的组成	26
2.1.2 无线频率规划	27
2.2 射频基础知识	28
2.2.1 传输线理论和阻抗匹配	28
2.2.2 主要射频和接收机指标	32
2.3 常用计量单位换算	33
2.3.1 分贝	33

2.3.2	电平	36
2.3.3	常见问题	39
2.3.4	典型关系和换算	41
2.4	LTE-V2X 测试设备介绍	43
2.4.1	射频同轴电缆	44
2.4.2	射频同轴连接器	45
2.4.3	衰减器	46
2.4.4	负载	48
2.4.5	功率分配器和合成器	48
2.4.6	隔离器	49
2.4.7	频谱仪	49
2.5	LTE-V2X 设备测试实验室场地和外场场景	54
2.5.1	实验室场地	54
2.5.2	外场场景	57
	参考文献	58
第 3 章	测试精通篇	59
3.1	实验室射频测试	59
3.1.1	射频测试的意义	59
3.1.2	射频测试项说明	59
3.1.3	技术指标	60
3.1.4	测试方法	61
3.2	实验室通信性能测试	63
3.2.1	通信性能测试的意义	63
3.2.2	通信性能测试项	63
3.2.3	实验室测试条件要求	63
3.2.4	技术指标	64
3.2.5	测试方法	65
3.3	外场通信性能测试	66
3.3.1	外场通信性能测试的意义	66
3.3.2	外场性能测试条件要求	67
3.3.3	通信性能测试项和测试指标	68
3.3.4	外场测试场景	69
3.3.5	通信性能测试方法	74
3.4	实验室抗干扰性能测试	76
3.4.1	抗干扰测试的意义	76
3.4.2	抗干扰测试项	76
3.4.3	干扰源系统参数	77
3.4.4	测试指标	78
3.4.5	测试方法	80

参考文献	82
第4章 仿真入门篇	83
4.1 系统级仿真概述	83
4.1.1 仿真场景	83
4.1.2 关键要素	85
4.1.3 系统级仿真方法	85
4.2 网络拓扑结构	86
4.2.1 IMT 系统拓扑结构	86
4.2.2 干扰场景网络拓扑结构	86
4.2.3 移动自组织网络拓扑结构	88
4.3 传播模型	88
4.3.1 宏蜂窝环境传播模型	89
4.3.2 微蜂窝模型	95
4.3.3 室外至室内传播模型	98
4.3.4 移动台和移动台之间的传播模型	98
4.3.5 阴影衰落	99
4.4 仿真流程	99
4.4.1 静态仿真流程	99
4.4.2 半动态仿真流程	102
4.4.3 动态仿真流程	104
4.4.4 集总干扰因素	105
参考文献	106
第5章 仿真精通篇——理论部分	107
5.1 LTE-V2X 系统级仿真目标	107
5.1.1 分组接收率和覆盖范围	107
5.1.2 频谱需求	108
5.1.3 和干扰系统间的安全隔离	109
5.2 LTE-V2X 周期广播通信机制	110
5.3 拓扑	110
5.3.1 普适性 LTE-V2X 直联通信拓扑结构	110
5.3.2 LTE-V2X 干扰共存拓扑结构	113
5.4 LTE-V2X 链路层仿真和系统级仿真之间的接口	117
5.5 LTE-V2X 直联通信系统级仿真资源调度方法	120
5.5.1 资源池	120
5.5.2 基于基站或车辆的自组织调度	121
5.5.3 时域分割调度和频域分割调度	122
5.5.4 随机调度	122
5.5.5 基于感知和干扰程度的调度	123

5.5.6	基于地理位置和行车方向的调度	124
5.6	车辆撒点方式、运动模型	127
5.7	路径损耗模型	129
5.7.1	LOS 场景 V2V/V2I 路径损耗模型	130
5.7.2	NLOS 场景 V2V/V2I 路径损耗模型	130
5.7.3	V2N 路径损耗模型	131
5.8	Wrap-around 技术	132
5.8.1	城区场景 Wrap-around 机制	132
5.8.2	高速场景 Wrap-around 机制	133
	参考文献	133
第 6 章	仿真精通篇——实践部分	135
6.1	城区场景基于随机调度的 LTE-V2X 直联通信评估系统	135
6.1.1	概述	135
6.1.2	文件结构和类结构	137
6.1.3	基本参数设置模块	138
6.1.4	随机数生成模块	141
6.1.5	Vehicle 类	143
6.1.6	BBLock 类	146
6.1.7	空口连接模块	147
6.1.8	OBU/RSU 生成模块和街区生成模块	147
6.1.9	位置更新和判断模块	150
6.1.10	路径损耗模块	162
6.1.11	接收能量计算模块	168
6.1.12	CQI 计算模块	168
6.1.13	资源调度模块	171
6.1.14	接收数据计算模块	172
6.1.15	数据存储模块	173
6.1.16	main 文件	174
6.1.17	小结	185
6.2	高速场景基于感知结果、行车方向和基站频域分割调度方法的 LTE-V2X 直联通信评估系统	186
6.2.1	概述	186
6.2.2	文件结构和类结构	187
6.2.3	基本参数设置模块	189
6.2.4	随机数生成模块	192
6.2.5	Node 类	193
6.2.6	eNode B 类	196
6.2.7	OBU/RSU 和 eNode B 生成模块	196
6.2.8	位置更新和判断模块	199

6.2.9 路径损耗和接收能量计算模块	201
6.2.10 CQI 计算模块	205
6.2.11 感知模块	207
6.2.12 eNode B 频域分割调度模块	207
6.2.13 接收数据计算模块	209
6.2.14 连接模块和并行计算实现	210
6.2.15 main 文件	220
6.2.16 小结	221

第1章

概 述 篇

自动驾驶将在未来 30 年掀起一场新技术革命，将是人工智能最有可能大规模部署并产生正面效应的应用领域，主要体现在“电动化”“共享化”“智能化”“网联化”4 个方面。本章首先从时势角度出发论述自动驾驶是一场技术革命的原因，随后简要介绍车联网的概念和体系架构，最后介绍 LTE-V2X 技术。

1.1 自动驾驶是一场技术革命

从 20 世纪 70 年代以来，电子通信领域经历了 3 次技术革命，分别是 20 世纪 80 年代的 PC 技术革命、20 世纪末和 21 世纪初的互联网技术革命以及 2015 年至今的人工智能技术革命。从历史经验来看，任何一次技术革命的来临，都是时和势的完美结合，其业务效能不会仅为 2 倍或 3 倍的改良，而是会带来 10 倍甚至数十倍的革命式跃进。钱穆老先生曾说：“认识你的时代，带领你的时代。”然而，作者认为这句话仅适用于伟人。一般从业者或者创业者应该遵循“认知这个时代，紧随时势风口”的原则，把握时和势，乘着趋势的帆船，到达理想的彼岸。

为什么说自动驾驶是一场技术革命并将影响未来 30 年的科技走向呢？因为自动驾驶符合一个时代到来的 4 个典型特征，分别为：大趋势、大变革、大影响和大市场。下面分别介绍这 4 个方面。

1.1.1 大趋势

改革开放以来，我国城市化进程加速，大型城市先后涌现。根据第六次全国人口普查的结果，我国 500 万以上人口城市已经超过 88 个，800 万以上人口城市有 30 个，1000 万以上人口城市有 13 个。和已经城市化高度发达的国家一样，我国城市发展都遇到了一个瓶颈——交通技术发展缓慢限制了城市发展的规模。

交通技术是如何限制城市发展的呢？是不是到了当前阶段，交通技术才成为城市发展

的制约呢？城市从诞生之日起，其发展速度都是和交通技术的发展相辅相成的。如图 1-1 所示，从交通维度看，城市的发展可以分为几个时代，分别为步行时代、火车时代、有轨电车时代和汽车时代。

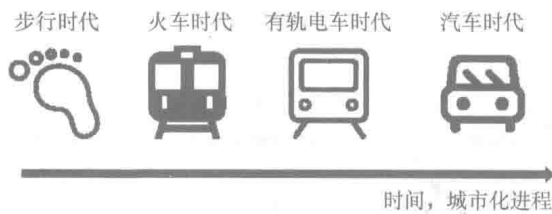


图 1-1 交通技术发展和城市发展相辅相成

(1) 步行时代，城市繁华区域的规模一般不超过步行 1 小时的范围，也就是城市的繁华区域在以市中心为圆心、半径为 5km 的圆内。市民通过步行的方式穿梭于城市内部生活。

(2) 火车时代，城市的规模变化不大，但数量显著上升。沿着火车线路，各站点形成了以步行 1 小时范围为繁华地带的城市群。

(3) 有轨电车时代，城市规模变大，逐步形成了以有轨电车站点为圆心、以步行 1 小时距离为半径的点状繁华区域。在火车时代和有轨电车时代，城市繁华区域的规模还是受步行范围的限制。

(4) 汽车时代，城市的发展突破了人类步行的限制，城市形态越发多样化。人们可以乘车穿越整座城市通勤，甚至可以居住在郊区而工作在市区。

但是，随着汽车保有量的上升，城市发展遇到了瓶颈，需要新的交通技术把城市的发展带向新的层次，使城市变得更宜居，出行更高效。如何理解城市发展的瓶颈呢？从表现层面来看，瓶颈主要表现为交通拥堵、停车困难、交通不安全和交通污染严重 4 个方面：一方面是因为汽车保有量上升和城市资源有限之间的矛盾，另一方面是因为交通效率不能有效提升。

自 2000 年后，交通行业和信息行业加速融合，先后诞生了绿波带、智能交通灯、自行车低速车共享车道、公共交通专用车道等多种解决交通拥堵的方法，出现了计时收费和公共停车位等解决停车难的方法，出现了用于拍摄违反交规行为的摄像头或雷达捕捉等解决交通安全问题的方法，还出现了限号、限行、限排等用以解决交通污染问题的方法。但是，这些方法的实际效果和预期效果相差较远。为什么呢？因为这些方法都是通过规则来迫使驾驶人员合理、高效地驾驶以提高交通效率。规则是固定的，但人类具有高度的不可控性，因而导致规则的适用性大大降低，不能解决上述 4 个方面的问题。例如，摄像头和测速雷达只能在固定区域监控，无法承担全路段监控的成本，违规事件仍然频发，交通效率和交通安全性降低；绿波带技术需要车辆以合适的车速行驶，配合智能交通灯的“绿波控制”和“红波控制”来实现交通流快速运转，已经由于驾驶人员的高度不可控性收效甚微。

从生态城市的发展角度来看，4 种不利表现使城市高效率流转系统遇到了障碍。如图 1-2 所示，流转系统包括交通运输系统、快速有序的信息传输系统和保障有力的能源系统。只有通过信息传输系统利用全局安排或计划经济的方式实现对能源流和交通流的统一调度，才能保障流转系统的高效，解决城市发展的瓶颈问题。如何才能实现信息调度交通和能源呢？只有“拿掉”驾驶员，迫使车辆按照信息流的调度以特定的行驶方案行驶。自动驾驶恰好能够跨越城市流转系统的最大障碍，解决城市发展的瓶颈问题。



图 1-2 城市发展的瓶颈

因此，自动驾驶技术符合城市发展的时代要求。

1.1.2 大变革

1886 年 1 月 29 日，梅赛德斯和奔驰两位德国人获得了世界上第一辆汽车的专利权，标志着汽车的诞生。从基因的角度看，汽车行业是技术密集型和资金密集型行业。

在汽车行业起步期，成立汽车公司进入汽车生态圈的成本并不高。如图 1-3 所示，20 世纪三四十年代，美国汽车行业发展迅速。20 世纪 30 年代美国国内汽车年销量约为 220 万辆，到了 40 年代，这一数字增长至 460 余万辆。这一时期，美国国内的汽车公司数量有近 300 家。

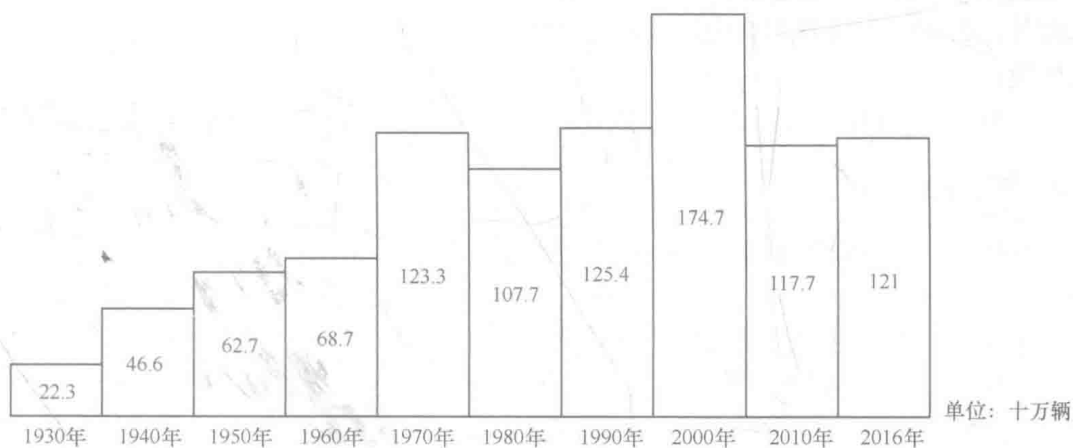


图 1-3 美国历年汽车销量

随着汽车行业的快速发展，汽车公司大量兼并、重组和倒闭后，汽车厂家数量逐渐减少。以美国举例，1950—2010 年间，美国逐渐形成了以福特、通用和克莱斯勒为首的汽车集团，汽车产量峰值从 600 万辆/年增长至接近 1700 万辆/年，后来陆陆续续有 100 多家新汽车公司诞生，但是存活并发展起来的只有一家——特斯拉。

如图 1-4 所示，汽车行业和很多行业相似，产量和进入汽车行业的成本在逐年递增后会进入一个波动的平稳期。然而，任何行业都有成长期、平稳期、衰退期和重生期，周而复始，不断循环。2010—2015 年，汽车行业出现了两个新势力，分别为电动化和共享化。电动化和共享化打破了汽车行业的发展平稳期，行业后入者的成本开始降低。

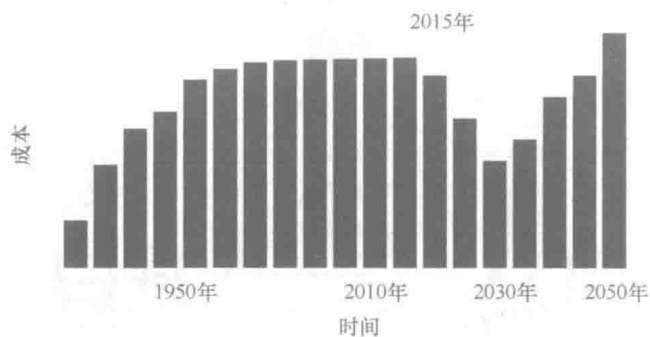


图 1-4 2050 年之前进入汽车行业的成本趋势

注：图 1-4 中的纵坐标并无实际数字意义，仅表示趋势。

1. 电动化的影响

传统汽车的基本性能主要由底盘、变速箱、发动机和系统调教决定，一般需要由 3 万多个零件才能组装成一台传统的车辆。国外传统车厂巨头和主要零部件供应厂商在三大件的技术储备和调教经验方面远超我国自主车厂。

纯电动汽车是由电动机驱动的车辆，其性能主要由驱动电机、动力电池、底盘和系统调教决定，仅需 1 万多个零件就可以组装成一台纯电动车。电动汽车的驱动电机原理简单、技术成熟，动力电池也不是传统车厂的强项。后进入者在纯电动车领域发力，能够有效避开传统巨头车厂的技术储备优势，有换道超车的可能性。

此外，为促进我国整车企业加速发展，保护大气环境，国家出台了相应的纯电动汽车激励政策。

综上所述，电动化为后入者提供了一次换道超车的机会，降低了进入汽车领域的成本。

2. 共享化的影响

共享化对汽车行业的影响大于电动化对汽车行业的影响，主要是因为它改变了汽车的消费方式。一方面，用户从必须拥有一辆汽车向使用和租用汽车转变；另一方面，出租车和部分车辆从路上无目的行驶拉客和闲置向有目的拉客转变，极大地提高了运营车辆的效率比。此外，共享化也改变了汽车行业相关公司的估值方式。截至 2017 年 7 月，年产量达到 1000 万辆汽车的福特公司估值为 465 亿美元，而一辆车都不卖的 Uber 公司估值约为 600 亿美元，滴滴出行估值约为 500 亿美元。

从上述数据可知，一辆车都不卖的共享出行公司的估值已经超过了年产量 1000 万辆的汽车厂商。共享化已经打破了原有汽车行业的估值体系。新的估值理论是以传统汽车厂商的已有估值、共享出行厂商的年盈利额和传统汽车厂商的年盈利额为基础计算得到的。表 1-1 给出了传统汽车公司的估值和共享出行公司的估值计算方法和举例。

表 1-1 中，福特公司每卖出一辆汽车获盈利 1400 美元，年产 1000 万辆车，共盈利 140 亿美元。而 Uber 公司有 300 万辆车为其服务，每辆车年共享出行服务里程约为 2 万英里，Uber 公司从每英里车费中扣除 0.3 美元的服务费，这样，Uber 公司的年盈利额为 180 亿美元。由于福特公司的估值是确定的，那么 Uber 公司的估值为 $180/140 \times 465$ 亿美元 ≈ 600 亿美元。

表 1-1 传统汽车公司和共享出行公司估值举例

类型	假设	年盈利额	估值
福特公司 (传统汽车公司)	1. 一辆外资汽车的利润为 1400 美元; 2. 每年汽车销量为 1000 万辆	0.14 万美元/辆×1000 万辆 =140 亿美元	465 亿美元
Uber 公司 (共享出行公司)	1. 拥有 300 万辆共享出行车辆; 2. 每车每年行驶 2 万英里; 3. 每英里盈利 0.3 美元	300 万辆×2 万英里/辆× 0.3 美元/英里=180 亿美元	180/140 × 465 ≈ 600 亿美元

但是，电动化和共享化仅是稍许降低了后入者进入汽车行业的成本，它们各自均有前行的瓶颈。例如，电动化受电池成本和性能的影响，纯电动汽车的普及率不高；由于人力问题，滴滴公司的共享出行量在快速增长后停留在 2100 万单/天。通过电动化和共享化途径进入汽车行业仍需要雄厚的资金成本，例如在补贴竞争和免费试用的前提下，Uber 中国市场在 2015 年亏损 67 亿元，滴滴出行在 2015 年亏损 100 亿元。更重要的是，电动化和共享化并未解决城市发展的瓶颈问题，不能使信息流畅通无阻地调度交通流和能源流，无法保障城市流转系统高速运转。

3. 智能化和网联化影响

从 2015 年开始，汽车行业出现了新的变革，出现了智能化和网联化。智能化和网联化是自动驾驶的核心组成部分，前者是自动驾驶系统根据传感信息做出正确的决策，实施于底层系统，控制车辆的油门、方向和刹车，完成安全、高效行驶；后者是打破各个传感器、车辆、路边基础设施、人员和云端之间的信息孤岛效应，实现信息量 1+1>>2 的有效方法，使得智能决策信息输入更大、冗余更高、边界更模糊、决策更正确。智能化和网联化情况下，自动驾驶系统和人类驾驶组成部分对比见表 1-2。

表 1-2 自动驾驶系统和人类驾驶对比

装置	连接器	传感器	控制器	执行器
有人驾驶	对讲机 TELEMATICS	眼睛、耳朵	大脑	手脚
自动驾驶	V2X	雷达、摄像头	智能决策系统/电脑	线控转向、油门和刹车
行为	多点连接	感知	决策	执行

智能化和网联化彻底降低了进入汽车行业的门槛。和之前必须拥有整车厂或者大量资金注入的电动车领域和共享出行领域相比，人工智能行业、通信行业、传感器行业、互联网行业均能够以更少的成本进入汽车行业。例如，有人工智能技术的企业可以通过智能决策系统进入汽车行业，传统的通信厂商可以通过 V2X 介入汽车行业，雷达厂商可以通过传感器进入汽车行业。最重要的是，智能化和网联化构成的自动驾驶系统能够去除人的高度不可控因素，令信息流可以全局调度交通流和能源流，使城市的整个流转系统高速运行，从而打破城市发展的瓶颈。

自动驾驶彻底颠覆了整个汽车生态圈，重构了原有价值链，同时也激活了整个汽车行业。不同的新角色、新力量用不同的方式重新定义了汽车行业。仅就汽车芯片和物联网汽车领域而言，传统巨头厂商有恩智浦、英飞凌、德州仪器、意法半导体、Mobileye、瑞萨和

哈曼国际等。如表 1-3 所示，2016—2017 年间，汽车芯片和物联网汽车领域发生了重大变化，IT 芯片厂商和通信厂商通过购买和联盟等方式强势进入汽车芯片领域。

表 1-3 2016—2017 年汽车芯片和物联网汽车领域的重构

汽车芯片和物联网汽车领域厂商	新进厂商	新进厂商进入和并购行为
恩智浦	高通	高通拟用 500 亿美元收购恩智浦
英飞凌	英伟达	通过人工智能芯片进入自动驾驶领域
德州仪器	联发科	通过人工智能芯片进入自动驾驶领域
意法半导体	华为	通过 LTE-V2X 进入自动驾驶领域
Mobileye	英特尔	英特尔用 150 亿美元收购 Mobileye
Altera		英特尔用 167 亿美元收购 Altera
瑞萨	大唐	通过 LTE-V2X 进入自动驾驶领域
哈曼国际	三星	三星用 80 亿美元收购哈曼国际

由于自动驾驶涉及 V2X、感知、地图、决策和控制等诸多层面，汽车领域产业链的一级供应商和众多后入公司采取联盟的方式增加竞争力并节省成本。现已形成两大阵营：一是英特尔阵营，包括宝马、Mobileye、德尔福、菲亚特特莱斯勒；二是英伟达阵营，包括博世、采埃孚、特斯拉、丰田、奥迪、百度和 Tomtom。

值得注意的是，智能化和网联化重构了汽车领域的利益链。如图 1-5 所示，传统汽车领域的利益链是分层严格、利益匹配的，按照利益从大到小分为整车制造厂商、一级供应商、二级供应商和汽车材料供应商。自动驾驶介入后，新的汽车领域利益链按照利益从大到小分为出行提供商、三化商、整车制造厂商、一级供应商和其他供应商。

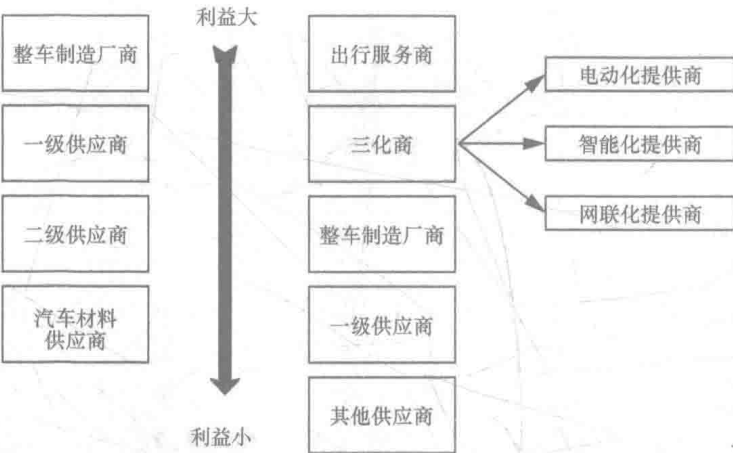


图 1-5 传统汽车行业利益链和新汽车行业利益链比较

在新的汽车行业利益链中，整车制造厂商的利益阶层从第一跌到第三，很可能成为一个代工厂阶层。因此，传统汽车厂商现在已投入相当的资源向利益链上下游扩展。

综上所述，自动驾驶已打破原有汽车行业的生态圈，引入了新的玩家和游戏规则，并重构利益链，其变革性是毋庸置疑的。

1.1.3 大影响

自动驾驶不断升级并渗透至社会生活的方方面面，将对城市建设和居民生活产生巨大的正面影响，这个正面影响可以分为3个方面：乘车感受、停车感受和城市建设。

1. 乘车感受

自动驾驶使车辆从驾驶工具或交通工具转变为一种移动空间。一方面，自动驾驶解放了司机的双手，使得乘车过程转变为休息、工作和娱乐过程，极大地提高了社会效率。例如，通勤过程中睡觉休息、通勤过程中的影音娱乐、通勤过程中和客户谈合作完成合同、出行过程中完成健身等。例如，丰田在2018年国际消费类电子产品展览会（CES2018）上展出的 e-Palette 模块化出行平台就是自动驾驶将车辆转变为一种移动空间的变现形式。如图1-6所示，e-Palette 可通过更换不同的模块，将车辆转换为不同的移动空间。

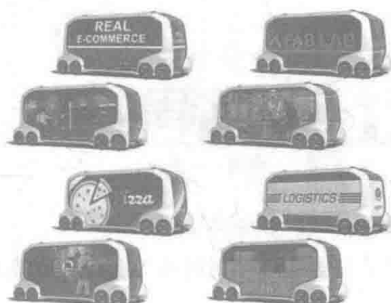


图 1-6 车辆从交通工具向移动空间转变示例

2. 停车感受

自动驾驶不仅能通过提升行车效率和减少在行车辆数，减少需要停车的车辆数，还能通过折叠车辆或折叠停车空间，提高停车效率。在无人驾驶高度渗透的社会中，车辆数显著减少，停车状态的车辆更少。车辆在自动驾驶技术的帮助下，可以做到车到人下、人下车走。此外，车辆的结构和停车位的架构会发生显著的改变。例如，MIT 设计的 swing 自动驾驶汽车，可以像超市购物车那样叠加起来，使得停车面积减小 1/3。如图1-7所示，广泛采用自动泊车，使得车辆自动停入折叠式停车位更为方便，也减少了停车场地需求。在相同的停车场地供应下，自动驾驶将使停车不再成为一个困扰车主的问题。

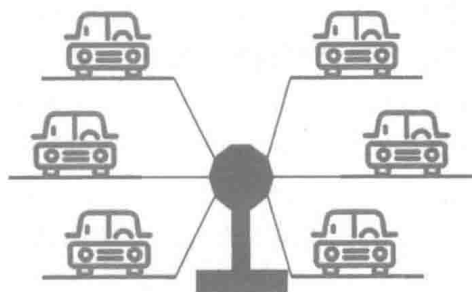


图 1-7 折叠停车装置