

Research on Automatic Driving Technology Route Selection and Management Decision-making Based on Investment Performance Evaluation

Rao Fu Haoyue Wang Jingyan Zhu Jiawei Li Xiyuan Tan Weiwei Guo

Central University of Finance And Economics , BeiJing, China, 100098

Abstract

From the perspective of management science and engineering, this paper constructs an investment performance evaluation framework for autonomous driving technology, and comprehensively uses the analytic hierarchy process (AHP) and system dynamics to compare the advantages and disadvantages of the two technical routes of bicycle intelligence and vehicle infrastructure coordination. It is found that in the short term, bicycle intelligence should be given priority to develop, taking advantage of its high technology maturity and fast commercialization ; in the long run, we should focus on the development of vehicle infrastructure coordination, which is better in system efficiency, safety and environmental benefits. The research fills the gap between technology application and investment performance evaluation in the existing research, and provides scientific basis and management enlightenment for the selection of automatic driving technology route, investment decision-making and project management.

Keywords

investment performance evaluation; management science and engineering; technology route selection; vehicle intelligence; vehicle-road coordination; Analytic Hierarchy Process (AHP)

基于投资绩效评估的自动驾驶技术路线选择与管理决策研究

付娆 王浩玥 朱婧艳 李嘉伟 谭璽元 郭伟伟

中央财经大学, 中国·北京 100098

摘要

本文从管理科学与工程视角出发, 构建自动驾驶技术投资绩效评估框架, 综合运用层次分析法 (AHP) 与系统动力学, 比较单车智能与车路协同两种技术路线的优劣势。研究发现: 短期应优先发展单车智能, 利用其技术成熟度高、商业化快的优势; 长期应重点发展车路协同, 其在系统效率、安全与环境效益上综合更优。研究填补了现有研究中技术应用与投资绩效评估脱节的空白, 为自动驾驶技术路线选择、投资决策与项目管理提供了科学依据与管理启示。

关键词

投资绩效评估; 管理科学与工程; 技术路线选择; 单车智能; 车路协同; 层次分析法

1 引言

在新一轮科技所带来的革命中, 自动驾驶技术成为全球所关注的焦点, AI 和大数据带动其向高级别发展, 该技术能够增加安全性和效率、削减能源消耗、促进智慧交通往前发展, 现有的研究多着重于技术应用, 缺少以投资绩效评估和项目管理视角所做的系统分析, 本研究自管理工程学切入, 形成投资决策绩效评估框架, 填补技术经济分析跟项目可行性评价的空白, 给资源配置提供材料。

【作者简介】付娆 (2005-) , 女, 中国河北石家庄人, 在读本科生, 从事项目投资决策研究。

2 国内外研究现状

基于德温特与 CiteSpace 分析, 近 10 年自动驾驶快速发展, 路径规划与定位专利占比高^[1]。华为^[2]、特斯拉^[3]等专利持续突破; Waymo 验证可靠性^[4], 宝马、奔驰引入部分功能。首钢基金投资理想与毫末, 强调技术与商业结合: 理想实现正现金流, 毫末“风车战略”推动落地^[5]。

3 自动驾驶技术概述与技术路线分析

3.1 单车智能技术路线

1) 架构演进: 从模块化进入到端到端, 模块化架构对任务分解, 得到感知、定位等子模块, 但模块间较易出现信息损失以及误差累积, 端到端架构依靠深度学习把传感器数据直接变成行车的决策, 所有的模块都采用神经网络, 去掉中间的环节, 让效率与鲁棒性提高 [6], 有感知 - 控制和感

知 - 规划这两种分类。

2) 感知技术演进: 从单个传感器进化到多传感器融合, 逐渐结合激光雷达等, 增进准确性及鲁棒性, 未来会进一步达成车路云一体化的融合, 利用路侧感知同云端进行数据的交互, 做到更广泛范围的环境感知。

3.2 车路协同技术路线

1) 多传感器综合技术, 合并激光雷达、视觉等数据, 弥补单一数据所存在的缺陷, 就像激光雷达和视觉融合可降低恶劣天气造成的干扰程度, 路侧要布置上更多高精度传感器, 使车辆硬件的要求降低。

2) 车、路、云集成化, 着重车端、路端、云端的协同, 赶紧共享数据并一道决策, 2025年, 产业产值增量总规模有望达到7295亿元, 通过“车路云一体化”操作系统对硬件予以整合, 且使用AI算法模型保障数据的质量^[7]。

3.3 技术路线的比较与选择

表1 技术路线的比较与选择

	单车智能	车路协同
技术依赖	车载传感器与计算平台	车载设备 + 路侧基础设施 + 通信网络
应用场景	高速自动驾驶、城市复杂路况	智能交通管理、城市NOA、特定区域自动驾驶
成本	车端硬件成本高, 但不依赖基础设施	初期建设成本高, 长期效益显著
优势	独立性强、灵活性高	系统协同性高、交通效率提升
劣势	硬件成本高、技术复杂	基础设施建设周期长、依赖外部环境

4 投资绩效评估体系构建

4.1 输入特征选择

4.1.1 技术可行性评估

(1) 技术成熟度

根据华泰研究预测的数据, L2级自动驾驶的渗透率在逐年增长——2020年时, 其渗透率相对较低, 但从2021年开始显著上升, 并在未来预测中继续保持这一趋势, L2级自动驾驶技术预计将成为市场的主流, 占据绝大多数市场份额^[8]。

应用数据

·北京亦庄: 截至2023年末, 已完成329个智能网联标准化路口的建设部署。部署4400余个摄像头、1200余个雷达感知设备, 350余个RSU通信单元及480余个边缘计算节点, 并建设超高速无线通信技术专网, 覆盖750公里城市道路和10公里高速公路。^[9]

·广州黄埔: 在示范区一期建设中, 已完成133公里开放道路和102个路口的智能化升级改造, 共部署1318套AI感知设备和89个V2X路侧通信单元。二期新增437公里高精地图覆盖道路和230个智慧路口。^[10]

4.1.2 经济回报分析

单车智能技术通过车辆个体层面创造经济效益。前期

研发与传感器、软件、改装成本高昂, 初期盈利挑战较大。随着技术成熟与规模化生产, 边际成本递减、边际利润提升, 还可通过保险动态定价等数据服务拓展盈利空间。车路协同技术的经济价值主要体现在系统层面, 前期依赖政府大规模基础设施投入; 后期投入使用后, 可优化交通流量、减少拥堵与排放、降低事故率、提升应急效能, 从而减少经济损失与社会成本。其投资回报周期较长, 但长期系统经济效益潜力巨大。

4.1.3 社会效益评价

单车智能技术通过增强车辆自主性能, 有效降低人为失误引发的事故风险, 显著提升行车安全。车路协同技术则依托车际通信和智能路侧设备的信息交互, 实现精细化交通管控, 大幅提升路网通行效率。其社会效益体现在更广泛的交通网络优化和环境保护上。相比而言车路协同在实现全面交通系统优化方面具有更深远的影响。

4.1.4 风险与挑战

复杂环境里感知和决策所出现的局限: 自动驾驶技术处于复杂气象条件和特殊工作情况当中仍面临关键技术挑战, 水雾干扰造成激光雷达感知精度大幅下降, 对于动态目标轨迹预测误差还是比人类驾驶员水平高; 算法伦理与系统安全平衡要解决的难题: 自动驾驶在突发危险状况当中, 决策机制还没确立统一标准, 紧急避让策略有造成二次事故的可能性, 海量数据采集造成隐私泄露的隐患。

4.1.5 战略价值

自动驾驶技术所产生的溢出效应正重塑多产业技术生态, 依靠搭建自动驾驶国际标准的话语权体系, 中国正将技术研发所具备的优势转化为产业链主导力, 主导核心标准的编排, 拉动中国技术框架成为全球市场准入的基本标准, 这种标准输出让跨国企业调整技术方向适配中国方案, 变换全球智能汽车产业链的价值分配形式, 达成从技术跟随到规则规定的范式发展。

4.2 输入特征分析

在自动驾驶技术投资决策当中, 技术成熟度、战略价值、经济回报、风险挑战和社会效益等关键变量彼此间有复杂的动态关系, 正负反馈机制的彼此作用, 造就了动态稳定的系统稳态, 投资者在争取技术发展和市场扩大的同时, 要留意市场的长期良好走向, 以避开市场饱和或技术瓶颈带来的投资方面的风险。

4.3 仿真和情景分析: 构建如下示例性实施例

1. 目的: 评价分析出两种技术路线当中更优的投资选择项。

2. 输入: 决策的目的、决策的标准、可供选择的方案、判断矩阵内容、一致性查验输出: 各准则层和方案层的相对权重大小、一致性比率(CR)、备选方案进行比较、做出决策

3. 处理过程: 借助系统动力学的办法, 造就一个包含自动驾驶技术发展、投资回报和市场接受境况等因素的动

态模型，该模型可对各类投资方案对长期效益的作用加以评估。

Step1. 建立层次结构模型

- (1) 目标层：选取出最佳的自动驾驶技术投资途径。
- (2) 准则层：技术成熟所达到的程度
- (3) 方案层：单车智能(方案1)、车路协同(方案2)。

Step2. 构建判断矩阵并赋值

- 1: 同等重要
- 3: 稍微重要
- 5: 明显重要
- 7: 强烈重要
- 9: 绝对重要

2、4、6、8: 上述相邻判断的中值

倒数: 如果准则*i*比*j*重要。则取正值，反之取倒数。

(1) 准则层判断矩阵(A-B)

表 2 准则层判断矩阵

	经济回报	风险与挑战	社会效益	战略价值	技术可行性
经济回报	1	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
风险与挑战	a_{21}	1	a_{23}	a_{24}	a_{25}
社会效益	a_{31}	a_{32}	1	a_{34}	a_{35}
战略价值	a_{41}	a_{42}	a_{43}	1	a_{45}
技术可行性	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	1

得出准则层判断的矩阵如下:

1	1/3	2	1	3
3	1	3	3	3
1/2	1/3	1	1	1
1	1/3	1	1	1
1/3	1/3	1	1	1

(2) 方案层判断矩阵(B-C)

对单车智能和车路协同分别进行成对比较，为了与准则层相区分，将方案层矩阵赋值为，同样表示在某一准则下，两种方案层比较时方案*i*相对于方案*j*的现有发展水平，取值同样使用1-9标度法:

表 3. 方案层判断矩阵

	单车智能	车路协同
单车智能	1	b_{ij}
车路协同	b_{ji}	1

得出方案层判断的矩阵如下:

Step3. 计算权重和一致性检验

准则层权重: 因为有五个准则层，则将准则层判断矩阵每行乘积开五次方求和，对每行乘积做归一化处理，得到各准则层权重向量。

经济回报(a_1)=0.20、风险与挑战(a_2)=0.42、战略价值(a_3)=0.12、社会效益(a_4)=0.14、技术可行性(a_5)=0.11。

方案层权重: 因为有两个方案层，则将准则层判断矩阵每行乘积开两次方求和，对每行乘积做归一化处理，得到各方案层权重向量。

表 4. 方案层判断矩阵结果

方案层	判断矩阵
经济回报	1 1/3 3 1
风险与挑战	1 1/3 3 1
战略价值	1 1 1 1
社会效益	1 1/3 3 1
技术可行性	1 3 1/3 1

经济回报: 单车智能(b_1, a_1)=0.25、车路协同(b_2, a_1)=0.75

风险与挑战: 单车智能(b_1, a_2)=0.25、车路协同(b_2, a_2)=0.75

战略价值: 单车智能(b_1, a_3)=0.50、车路协同(b_2, a_3)=0.50

社会效益: 单车智能(b_1, a_4)=0.25、车路协同(b_2, a_4)=0.75

技术可行性: 单车智能(b_1, a_5)=0.75、车路协同(b_2, a_5)=0.25

一致性检验得出CR均<0.1，可以接受判断矩阵的一致性。

step4. 综合得分

单车智能的综合得分:

$$\sum_{n=1}^5 (a_n * b_1, a_n) = 0.20 * 0.25 + 0.42 * 0.25 + 0.12 * 0.50 + 0.14 * 0.25 + 0.11 * 0.75 = 0.3325 \quad (1)$$

车路协同的综合得分:

$$\sum_{n=1}^5 (a_n * b_2, a_n) = 0.20 * 0.75 + 0.42 * 0.75 + 0.12 * 0.50 + 0.14 * 0.75 + 0.11 * 0.25 = 0.6575 \quad (2)$$

step5. 分析结果

比较两个方案的综合得分，车路协同技术被认为是更优的投资选择。

5 结语

5.1 技术路线选择与推广策略

5.1.1 短期策略(0-3年)

根据技术成熟度所得到的分数，车路协同0.25分比不上单车智能0.75分，实施“单车智能先行，车路协同渐进”的发展路径，单车智能技术成熟度是比较高的，市场渗透的速度比较快，消费者接受的程度比较高，能够更迅速使商业化应用实现。

5.1.2 长期策略 (3-10 年)

根据综合得分分析：车路协同的 0.6575 在数值上大于单车智能 0.3325，长期要着重去发展车路协同技术，并且需完善有关的基础设施，带动自动驾驶技术大规模推广应用，车路协同技术对于提高交通系统的效率、安全性与环境效益效果良好，是未来智慧城市交通系统的主要构件。

5.2 面向管理科学与工程与实践

自动驾驶技术路线的抉择，从根本上说是多目标、多阶段、不确定条件下的投资决策问题，本文所构建的投资绩效评估框架把技术成熟度、经济回报、风险与挑战、社会效益、战略价值五个评估准则结合起来，当中风险与挑战的权重是最大的，反映出在自动驾驶领域投资决策当中，风险管理要在短期收益之前处理，这使管理者在项目组合管理当中明白，要加大对技术不确定性、法规滞后性和市场接受度波动的动态监控与对冲的人力投入。

短期 (0 - 3 年) 把单车智能作为主要方面、长期 (3 - 10 年) 往车路协同发展的分阶段策略，体现了实物期权思维与柔性决策所具有的价值，一开始投资单车智能，可较快拿到现金流与市场反馈，留存未来向车路协同发展领域转型的扩张权益，防止过早把大规模路侧基础设施的沉没成本锁定住，这种分阶段的资源配置做法有助于降低政策跟技术突变造成的下行风险。

系统动力学分析显示出情况是，技术进步跟市场推广建立正反馈的回路，但也会造成市场饱和、成本失控等负反

馈情况，管理者该构建系统动力学模型作为决策支持办法，动态模拟不同投资力度、补贴政策、标准发展下长期效益的发展路线，以此来使投资时机和资源分配更优。

参考文献

- [1] 陈雪瑶. 自动驾驶技术创新态势研究[J]. 海峡科技与产业, 2024, 37(12): 41-46.
- [2] 华为技术有限公司. 一种导航指引方法及相关装置: 中国, CN 119687943 AP. 2025-03-28
- [3] 特斯拉公司. 一种用于自动驾驶车辆的高精度定位系统: 中国, CN 123456789 AP. 2024-07-01.
- [4] Waymo. (2024). On the road to fully self-driving: Waymo safety report.
- [5] 首钢基金. 从智能汽车到自动驾驶: 首钢基金构建出行产业差异化投资方略[J]. 中国汽车, 2024(2): 108-111.
- [6] 李升波, 刘畅, 殷玉明, 等. 汽车端到端自动驾驶系统的关键技术与发展趋势[J]. 人工智能, 2023, (05): 1-16.
- [7] 何积丰. 推进“车路云一体化”助力智能交通发展[J]. 中国科技产业, 2024, (12): 4-5.
- [8] 华泰. 汽车深度研究. 车身域控空间广阔, 国产替代正当时[N] (2024-01-04).
- [9] 新浪财经. “路”将成“车路云”增长最快板块? 这些公司领跑路侧通信[N] (2024-06-20).
- [10] 亦城时报. 北京入选首批智能网联汽车“车路云一体化”应用试点城市 “亦庄经验”助力打造“北京样本”[N] (2024-07-08)