

中文引用格式:邓恺龙,徐婷,陈亦新,等. 博弈视角下交通监管伪装策略优化及纳什均衡求解[J]. 中国安全科学学报,2026,36(3): 212-220.

英文引用格式:DENG Kailong, XU Ting, CHEN Yixin, et al. Optimization of camouflage strategies and Nash equilibrium solution in traffic supervision based on game theory [J]. China Safety Science Journal, 2026, 36(3): 212-220.

博弈视角下交通监管伪装策略优化 及纳什均衡求解^{*}

邓恺龙, 徐婷 教授, 陈亦新^{**} 副教授, 刘文字, 赖心荷, 张志顺
(长安大学 运输工程学院, 陕西 西安 710064)

中图分类号:X951;U491.4

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2026.03.1452

资助项目:陕西省自然科学基金研究计划项目(2025JC-YBMS-538);长安大学中央高校基本业务经费专项资金资助(300102344201, 300102343205)。

【摘要】 为提升交通管理反侦察效能,基于不完全信息动态博弈理论,构建管理者(政府/企业)与违法者在侦察阶段的序贯决策模型,通过信号失真机制,量化4类伪装策略(诚实表现、伪装政府风格、伪装企业风格、随机干扰)对违法者贝叶斯信念更新的干扰效应,并采用精炼贝叶斯纳什均衡方法求解最优策略组合,并依托西安市高新区路网开展实证研究。结果表明:4类典型场景存在差异化均衡条件,政府核心区策略提升深度侦察后守规概率82.3%,企业园区策略诱导表面侦察行为增加40.3%,城郊结合部组合策略降低违法率41.7%,交通枢纽区维持动态合规指数 0.87 ± 0.03 ;时空演化显示,伪装策略延迟违法者信念收敛周期42%,驱动30天内违法率指数衰减73.7%,投入产出比达194%。在警示明示等法律框架内,动态伪装策略通过干扰违法者认知决策可逆转信息劣势,构建“认知-空间-经济”协同治理范式,推动交通监管向主动干预转型。

【关键词】 博弈; 交通监管; 伪装策略; 纳什均衡; 交通违法行为

Optimization of camouflage strategies and Nash equilibrium solution in traffic supervision based on game theory

DENG Kailong, XU Ting, CHEN Yixin, LIU Wenyu, LAI Xinhe, ZHANG Zhishun

(College of Transportation Engineering, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China)

Abstract: Aiming at the problem of traffic offenders evading law enforcement by prejudging regulatory measures, this study explored the interference mechanism of compliance camouflage strategies on the reconnaissance behavior of traffic offenders, to improve the anti-reconnaissance efficiency of traffic management. Based on the dynamic game theory of incomplete information, a sequential decision-making model between managers (government/enterprise) and offenders during the reconnaissance stage was constructed. The signal distortion mechanism was used to quantify the interference effects of four camouflage strategies (honest performance, camouflage government style, camouflage enterprise style, random interference) on the Bayesian belief updating of offenders, and the optimal strategy combination

^{*} 文章编号:1003-3033(2026)03-0212-09; 收稿日期:2025-10-14; 修稿日期:2026-01-10

^{**} 通信作者:陈亦新(1987—),男,河北石家庄人,工学博士,副教授,主要从事交通安全、交通规划、交通管理与组织等方面的研究。
E-mail: cheniyixin13@163.com。

was solved using the refined Bayesian Nash equilibrium. An empirical study was conducted based on the road network of Xi'an High-tech Zone. The results show that differentiated equilibrium conditions exist in four typical scenarios. The government core area strategy increases the post-reconnaissance compliance probability by 82.3%. The enterprise park strategy induces a 40.3% rise in surface reconnaissance behavior. The suburban combination strategy reduces the violation rate by 41.7%. And the transportation hub area maintains a dynamic compliance index of 0.87 ± 0.03 . The spatio-temporal evolution demonstrates that the camouflage strategy delayed the convergence period of offenders' beliefs by 42%, drove an exponential decay of the violation rate by 73.7% within 30 days, and achieved an input-output ratio of 194%. This study indicates that, within legal frameworks such as warnings and indications, dynamic camouflage strategies can reverse information disadvantage by interfering with offenders' cognitive decision-making, thereby constructing a "cognitive-spatial-economic" collaborative governance paradigm and promoting the transformation of traffic supervision toward active intervention.

Keywords: game; traffic supervision; camouflage strategy; nash equilibrium; traffic violation behaviors

0 引言

现代交通监管长期面临“猫鼠游戏”式的治理困境,其本质是监管方与违法者之间的信息不对称与行为模式冲突。管理者需保障路网全局安全,而违法者仅需利用局部时空漏洞(如监控盲区、执法差异)即可实现规避。由于传统监管信息(如固定监控点、常规路障模式)具有静态化特征,违法者可通过低成本侦察精准预判执法逻辑,导致管理陷入被动应对的困境。为扭转这一局面,主动防御型监管理念逐渐兴起,其核心在于引入动态伪装技术。管理者通过部署虚拟监控设备、随机化路障等手段,主动干扰违法者的信息获取与决策,显著提升其侦察成本与行为不确定性。该策略旨在重构博弈格局,重塑管理者的信息优势与行动主动权。

当前研究围绕违法行为的交通监管策略与反侦察技术,逐步形成“博弈理论分析-技术手段开发-策略效果验证”的研究脉络。在博弈理论层面,学者多聚焦于演化博弈与成本-收益模型,以解析多方主体的策略互动特征,如 LAN Lian 等^[1]通过三方演化博弈模型(公众、执法者与道路使用者)证明,提升惩罚力度与公众激励可显著增强交通合规性,而降低监管成本能促进严格执法;TANG Tian^[2]、LI Wei^[3]等进一步针对特定群体(骑车人、行人)发现,动态惩罚机制相较于静态策略更能稳定抑制交通违法行为,其效果受惩罚金额、执行效力等因素调节;XU Rui 等^[4]从组织规范视角提出空中交通管制团队的积极协作可加速系统向合规状态演化,反之则

引发不稳定,凸显群体行为对个体策略的调节作用。在成本-收益驱动分析中,YANG Jun 等^[5]发现提高驾驶人违规风险成本可促使其主动遵守交规;JIANG Xinyue 等^[6]针对出租车司机的实证研究表明:罚款点扣除与执法概率的协同设计能以较低成本抑制交通违法行为,验证了“低成本高效执法”的可能性;王伟等^[8]进一步构建危险品运输企业与监管部门的三方博弈模型,证明高查处成功率下合理罚款可有效抑制企业违法运输。在技术应用层面,反侦察策略的探索逐渐兴起,JIANG Xinyue 等^[7]证实电子执法通过增强法规威慑力可压缩交通违法行为的时空边界;SUN Bo 等^[9]开发的 GLNET 网络显著提升了复杂场景中伪装物体(如与背景颜色相似的违规车辆)的检测精度;VIRVILIS-KOLLITIRIS^[10]提出的诱饵装置和 ULLAH 等^[11]设计的虚拟监控标志,从实践层面验证了伪装技术干扰违法者侦察路径的可行性。综上,存在2项不足:①上述研究多基于完全信息或静态博弈框架,侧重事后惩罚机制设计,而对违法者事前侦察行为与管理者反侦察策略的动态交互缺乏建模,难以支撑主动防御型监管体系构建。②现有技术研究多侧重软硬件实现,缺乏对“伪装-侦察”博弈中成本收益均衡的量化分析,导致策略优化缺乏理论支撑。

鉴于此,笔者拟聚焦于破解违法者“预判规避”这一核心痛点,通过构建不完全信息动态博弈模型,探索在公开、合规框架下如何优化动态伪装策略以最大化干扰效能,推动交通监管模式由“事后查处”向“事前预防-威慑”体系转型,以期提升路网系统安全与运行效率。

1 博弈视角下反侦察理论框架

1.1 博弈主体分异与策略预判机制

现代交通监管体系的结构性分异构成了不完全信息博弈的类型空间基础,政府主体(类型 T_G)通过行政处罚权实施全域刚性监管,但受限于资源有限性,易出现静态勤务漏洞;企业主体(类型 T_E)依托契约化手段行使局部管理权,却面临威慑力衰减问题。这一分异格局催生了违法者的三级预判机制,即通过空间扫描发现监控盲区、时间监测分析执法特征、主体识别判断制服与设备特征,进而构建“类型-漏洞”映射库(如识别企业管辖区域并实施遮挡号牌规避监管)。

违法者形成“政府漏洞→午间超速”“企业盲区→遮挡号牌逃费”等定向规避策略,见表1。

表1 违法者的自适应规避策略

Table 1 Adaptive avoidance strategies of violators		
预判维度	具体行为模式	监管漏洞利用
空间侦察	踩点识别监控盲区、记录巡逻车路线	选择企业管辖区域违规停车
时间侦察	观察高峰/平峰期执法强度差异	在警力薄弱时段超速
主体识别	辨别制服/设备标识归属(政府 vs 企业)	针对企业区域实施高风险超载运输

1.2 交通监管伪装策略的合规边界与操作空间界定

动态伪装策略的合法性边界由双重法律框架锚定,《中华人民共和国道路交通安全法》^[12]第114条要求监控设备明示警示信息,《交通技术监控设备设置规范》^[13]禁止隐蔽拍摄。在此约束下,构建

“公开警示+策略干扰”技术谱系,即虚拟监控设备通过发光二极管(Light-Emitting Diode,LED)屏周期性切换提示语并同步红光闪烁,在满足明示要求的同时阻断运行特征建模;路障系统采用政府制式可移动护栏进行随机组合部署,通过标准化模块重组制造空间认知噪声,伪装技术的合规实现路径与干扰机制,见表2。

表2 交通伪装技术的合规实现路径与干扰机制

Table 2 Compliance implementation path and interference mechanism of traffic spoofing technology

伪装类型	合规实现方式	干扰目标
虚拟监控	LED 警示屏周期性切换警示语	破坏设备有效性预判
	仿真摄像头随机启停(同步红光闪烁提示)	阻断设备运行规律建模
路障混淆	企业管辖区部署政府制式可移动护栏	模糊管理权属边界
	标准化路障模块的随机组合部署	增加空间配置复杂性
标识干扰	双模式电子标牌(显示“警企联合执法区”)	制造主体识别认知冲突

为量化合规性,定义合规性指数 $\dot{\kappa}$ 作为约束:

$$\dot{\kappa} = \frac{\sum_i v_i}{\sum_j v_j} \geq \tau^* \tag{1}$$

式中: v_i 为第 i 个可视警示要素的量化值; v_j 为第 j 个可视警示要素的量化值; τ^* 为地方法规阈值。

因此,合规伪装策略通过要素动态重组、信息过载和模式随机化制造认知噪声,旨在提高违法者决策成本。其核心在于保障警示透明与公众知

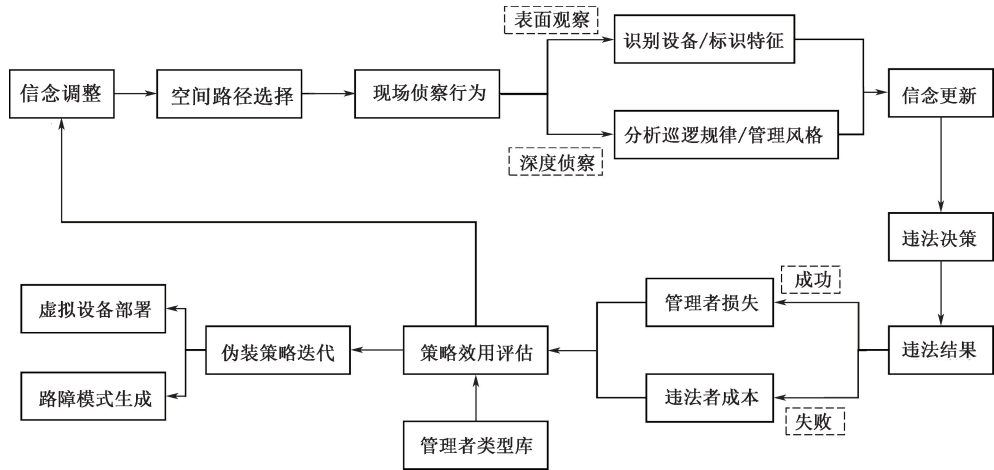


图1 “物理-认知”双环反馈模型结构

Fig. 1 Physical-cognitive double-loop feedback model structure

情权,同时,以复杂信息结构干扰交通违法行为逻辑,从认知层面增加预判难度,为后续建模提供理论基础。

1.3 博弈视角下“侦察-反制”动态交互概念模型

提出“物理-认知”双环反馈模型,如图1所示。违法者决策环依据侦察强度获取信号,经贝叶斯信念更新后作出违法决策;管理者决策环根据历史数据优化伪装策略,生成虚拟部署与路障混淆模式。两环通过违法结果耦合,违法成功致管理者损失,违法失败产生违法者成本,共同驱动策略迭代与信念修正。

由图1可知:①该模型建立空间配置博弈层,将违法者路径优化(最小监控暴露概率)与管理者设备部署(最大盲区覆盖)纳入纳什均衡框架。②设计信号失真机制,将伪装动作作为噪声源,使观测信号的条件概率分布失真,使得违法者难以得到准确的侦察结果。③实现双环协同演化,短期违法结果调整战术策略(周粒度路障更新),长期累计效用重构信念系统(季度性侦察转型)。该模型将传统静态监管转化为“空间扰动-认知混淆-行为矫

正”的闭环控制系统,为动态博弈建模提供可计算框架。

2 路网监管下序贯决策博弈建模

2.1 博弈多主体策略空间与参数设计

在构建交通路网序贯博弈框架中,管理者(政府或企业)与违法者分别作为博弈双方,其策略空间与决策要素具有明显的异质性。管理者可选择诚实表现 S_1 、伪装政府风格 S_2 、伪装企业风格 S_3 以及随机化干扰 S_4 这4类伪装行动。在构建4类伪装活动之后,需明确虚拟监控设备密度约束条件:

$\rho \leq \rho_{\max}$,其中, ρ 为虚拟监控设备实际密度,台/ km^2 ; $\rho_{\max}$ 为虚拟监控设备最大允许密度,台/ km^2 ,该约束用于限定管理者的资源投入上限。

相对应地,违法者的决策过程分为3层:首先,在路网中选择规避路径;其次,根据自身成本与信息可获得性投入低成本表面观察或高成本深度解析;最后,基于风险偏好决定弃权、针对政府漏洞或针对企业弱点实施违法,如图2所示。

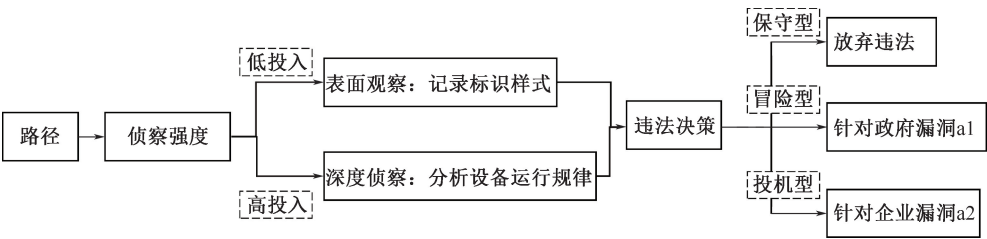


图2 违法者决策结构框架

Fig.2 Decision-making structure framework for offenders

2.2 博弈主体信念更新与贝叶斯推断

在交通监管的不完全信息博弈框架中,管理者通过伪装策略主动构建信息干扰渠道,旨在扭曲违法者对管理者(政府 T_G 或企业 T_E)的认知。该通道的核心在于设计信号失真机制——当管理者选择伪装行动 m_j 时,观测信号 x_z 的条件概率分布 $p(x_z | T_i, m_j)$ 将系统性偏离真实状态。具体4种策略对应下的条件概率矩阵为:

$$p(x_z | T_i, m_j) = \begin{bmatrix} p(x_G | T_G, S_1) & p(x_E | T_G, S_1) \\ p(x_G | T_G, S_3) & p(x_E | T_G, S_3) \end{bmatrix} \quad (2)$$

这种失真本质上是通过合规的物理干预改变信息载体,使违法者接受的信号 x_z 与其底层类型 T_i 的统计关联弱化,从而在路网空间中制造“类型-信号”的认知错位。违法者面对不确定的管理者类

型,需基于观测信号动态更新其信念。策略空间与观测失真模型 $p(x_z | T_i, m_j)$ 构成违法者信念更新的输入基础,其动态学习机算法包含三阶递推结构^[14]:①先验信念;②似然计算,结合当前观测信号及管理者行动计算似然值;③后验更新。

3 纳什均衡分析与阈值效应

3.1 伪装策略纳什均衡图谱构建

基于精炼贝叶斯纳什均衡求解框架,解析4类典型交通场景下管理者与违法者的策略互动均衡。各场景均衡策略的生成源于其空间属性、违法成本结构及信息不对称程度的差异,并生成4类交通场景的最优策略组合。

1) 政府核心区,强化威慑,引导深度侦察。
① 最优策略,伪装政府风格 S_2 。② 均衡机制该区

域违法失败成本(F_G)高。 S_2 策略的核心是提升违法者对被抓概率的信念。当违法者进行深度侦察后,其违法期望效用 Q_v 为:

$$Q_v = p_d \cdot (-F_G) + (1 - p_d) \cdot B - C_d \quad (3)$$

式中: p_d 为被查处概率(取决于管理者类型信念); F_G 为政府区违法失败成本; B 为违法成功收益; C_d 为深度侦察成本。

当 $Q_v < 0$ (守规效用)时,违法者将放弃违法。 S_2 策略通过信号失真,使后验信念 $p_d = p(T_G | x_G)$ 满足临界条件 $p_d > (B + C_d)/(F_G + B)$ 临查处概率,从而引导其守规。

2) 企业园区。制造不确定性,诱导低成本侦察。①最优策略,随机干扰 S_4 , S_4 策略使信号分布均匀化:

$$H(x_z) = \log_2 n \quad (n \text{ 种信号等概率}) \quad (4)$$

目标: $H(x_z) > H_{\min}$ (破坏违法者认知模型)(5)

②均衡机制,该策略通过最大化信号熵($H(x_z) = \log_2 n$),使违法者难以通过高成本的深度解析获得有效信息。由于深度侦察成本 C_d 远高于表面侦察成本 C_s ,而随机化使得2种侦察方式的预期收益差 $p_d - p_s$ 趋于0,即

$$Q_s - Q_d = -(C_d - C_s) < 0 \quad (6)$$

因此,违法者理性地选择表面侦察,使其决策基于不准确的先验信念,更容易出错。

3) 城郊结合部,模糊权属,提升违法误判率。①最优策略,伪装企业风格 S_3 ;②均衡机制,在此区

域,政府管理者采用 S_3 策略模仿企业风格,干扰违法者的类型识别。该策略旨在提升误判率 γ ,即违法者将政府误判为企业的概率。误判率提升公式为:

$$\gamma = \frac{p^{(1)}(T_E | x_E)}{p^{(0)}(T_E | x_E)} = \frac{p(x_E | T_G, S_3)^{-1} + \delta_G/\delta_E}{p(x_E | T_G)^{-1} + \delta_G/\delta_E} > 1 \quad (7)$$

当违法者基于误判选择针对“企业漏洞”违法时,将遭遇政府的刚性执法。

③关联投机行为。违法者选择投机 EU_1 (针对“企业漏洞”违法)当:

$$Q_1 = \theta B - (1 - \theta)F_E > 0 \\ \Rightarrow \theta > \frac{F_E}{F_E + B} \quad (8)$$

式中 θ 为违法率增幅。

4) 交通枢纽,维持稳定,优先通行效率。①最优策略,诚实表现 S_1 ;②均衡机制,枢纽区域对通行效率和社会成本敏感。伪装策略可能增加响应时间(Δt)和公众投诉率(R_c)。 S_1 策略的社会成本函数为:

$$\min_{m_j} \{ \alpha \lambda t_r(m_j) + \beta R_c(m_j) \} \quad (9)$$

当交通流量 λ 超过特定阈值时, S_1 策略因能维持最低的社会总成本而成为均衡选择。

这些策略选择说明,管理者的伪装行为需与场景属性精准匹配,不同区域的监控密度、交通违法行为特性及交通流量等因素决定了策略效能的差异化,策略选择逻辑框架如图3所示。

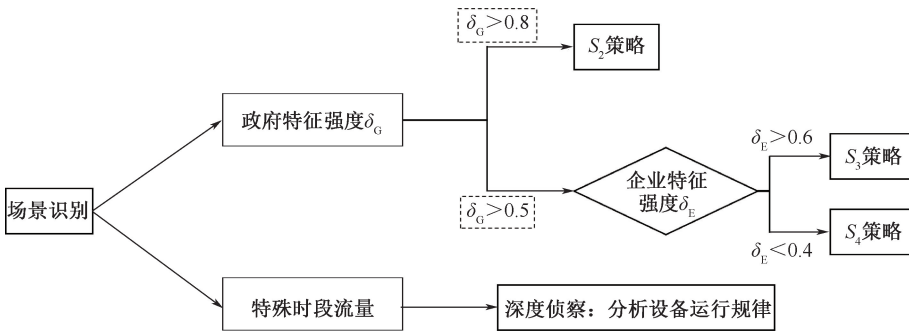


图3 策略选择流程

Fig. 3 Strategy selection process

3.2 纳什均衡下成本阈值与社会效益分析

伪装策略的经济效益评估是实施该策略的关键。管理者需在成本与收益之间寻找临界点,以确保资源投入的效率最大化。

1) 定义成本函数 C_w 。管理者采用伪装策略的总成本由固定成本与动态成本构成:

$$C_w = N \cdot \underbrace{(c_h + c_q)}_{\text{固定成本}} + \underbrace{\frac{\xi}{T} \sum_j \omega_j H(m_j)}_{\text{动态成本}} \quad (10)$$

式中: N 为设备数量; c_h 为单台硬件成本; c_q 为单台月维护成本; ξ 为路网变化率; T 为策略调整周期; ω_j 为策略 j 的权重; $H(m_j)$ 为策略 j 的信息熵。

2) 量化社会收益。社会收益 B_s 由事故损失减

少与威慑效能提升构成:

$$B_s = \underbrace{\eta \Delta R}_{\text{事故损失减少}} + \underbrace{\gamma \Delta D}_{\text{威慑效能提升}} \quad (11)$$

$$\Delta R = \theta \cdot p_l \cdot L_a \quad (12)$$

$$\Delta D = \exp(-\beta H(t_z))(V_c - V_l) \quad (13)$$

式中: P_l 为威慑成功率; L_a 为单次事故平均损失; β 为熵敏感系数; $H(t_z)$ 为信号熵; V_c 为守法交通流价值; V_l 为违法交通流价值。

3) 建立临界条件。经济可行性要求边际收益 $\geq$ 边际成本:

$$\frac{\partial B_s}{\partial N} \geq \frac{\partial C_w}{\partial N} \quad (14)$$

这意味着,每新增一单位(如1台监控设备)的投入,其所带来的社会效益增量必须至少能覆盖其带来的成本增量。

4) 引入生产函数。假设设备密度与威慑成功率服从柯布-道格拉斯形式:

$$p_l = \alpha N^\rho (0 < \rho < 1) \quad (15)$$

信号熵与设备密度的关系:

$$H = k \ln N (k > 0) \quad (16)$$

代入边际条件,求得解析解形式为:

$$N^* = \left[\frac{\eta \theta L_a \alpha \rho}{(c_h + c_m) + \frac{A}{N} \exp(-\beta k \ln N) + \frac{B}{N}} \right]^{\frac{1}{1-\rho}} \quad (17)$$

$$\text{其中, } A = \beta k \gamma V_\Delta, B = \frac{\lambda k}{T} \sum_j \omega_j.$$

该模型揭示出明显的阈值效应:在达到 N^* 之前,设备投入的效益递增,每单位投入都能有效提升路网安全水平,资源利用效率高。当超过 N^* 之后,由于路网覆盖趋于饱和及违法者适应性增强,新增设备的边际效益开始递减,出现投入过剩,可能导致资源浪费甚至公众反感。

参数敏感性分析进一步揭示了关键因素的影响方向。正向驱动:违法成功收益 B 越高,单次事故损失 L_a 越大,则最优投入规模 N^* 相应增大。负向制约:设备单价 c_h 、维护成本 c_m 越高,则 N^* 减小。

4 伪装策略纳什均衡优化

4.1 动态伪装资源配置优化路径

1) 状态空间形式化定义 S 。定义路网多维度状态向量:

$$S(t) = [\delta_c(t), \delta_e(t), \theta(t), \rho(t), \vartheta(t)]^T \quad (18)$$

式中: δ_c 为政府威慑信念强度; δ_e 为企业威慑信念

强度; ρ 为设备密度; ϑ 为交通流量负荷。该向量全面刻画了“认知-行为-空间”的交互状态。

2) 策略决策函数构建。系统基于当前状态,从策略集 $M = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$ 中选择最优策略。决策依据是计算各策略与当前状态的匹配度:

$$f(m_j, S) = \|V_j - S\|_2^2 + \beta C_s(m_{t-1}, m_j) \quad (19)$$

式中: V_j 为策略 j 的基准状态向量; C_s 为策略切换代价函数。最优策略 $m^*(t)$ 为匹配度最高的策略,这确保了策略选择与场景需求的高度契合。

3) 资源约束优化模型。建立资源约束下的多目标优化:

$$\begin{aligned} \min_{m_j, \rho_k} & \sum_{k=1}^K \alpha_k (1 - D_k(m_j)) \\ \text{s. t.} & \sum_{k=1}^K \rho_k(t) \leq \rho_{\max} \end{aligned} \quad (20)$$

式中: D_k 为威慑效能函数。通过求解该问题,可得到不同区域 k 的最优设备密度分配规则 ρ_k^* :

$$\rho_k^* = \left(\frac{\alpha_k}{\mu} \frac{\partial D_k}{\partial \rho_k} \right)^{1/(1-\gamma)} \quad (21)$$

式中 μ 为拉格朗日乘子,表征资源约束的边际价值。

4.2 博弈威慑效能提升与伪装策略协同机制

所有动态伪装策略必须在法律法规的框架内实施。通过定义合规性指数,将法律约束内化为策略优化的边界条件。

1) 合规性指数函数。为确保策略合法性,构建一个多维度合规性指数函数:

$$\kappa(m_j) = \prod_{i=1}^3 \phi_i(m_j) \quad (22)$$

该函数综合评估策略 m_j 在设备明示、程序正当、公众接受度等方面的合规程度。

2) 合规约束下的威慑效能模型。法律约束直接修正了策略的威慑效能。修正后的威慑函数为:

$$D = D_0 \cdot \exp[-\gamma H(t_z)] \cdot \min\left(1, \frac{\dot{\kappa}}{\dot{\kappa}_{\min}}\right) \quad (23)$$

式中: D_0 为基础威慑值; $\dot{\kappa}_{\min}$ 为法律允许的最低合规阈值。此模型意味着,一旦策略的合规性指数 $\dot{\kappa}$ 低于阈值 $\dot{\kappa}_{\min}$,其威慑效能将被打折扣。

3) 合规-效能的帕累托优化。在实践中,策略的威慑效能与合规性之间存在权衡关系。通过构建帕累托前沿来描绘这种关系:

$$P = \left\{ (\dot{\kappa}, D) \in R_+^2 \mid D = g(\dot{\kappa}), \frac{\partial g}{\partial \dot{\kappa}} < 0, \frac{\partial^2 g}{\partial \dot{\kappa}^2} < 0 \right\}$$

(24)

这种关系表明:在接近法律边界时,追求极高的威慑效能可能需要以牺牲一定的合规稳健性为代价。管理者的任务就是根据当前的社会容忍度和安全需求,选择一个最优的平衡点,从而实现法律效果与社会效果的统一。

5 纳什均衡数值模拟与案例验证

选取西安市科技二路与沣惠南路交叉口西侧片区作为实证区域。该区域具备典型的监管分异特征,东西向科技二路为交警管辖的主干道,属政府强监管区;南北向沣惠南路为企业园区入口,由企业安保辅助管理,威慑相对薄弱。违法者常利用此差异进行规避。

为验证动态伪装策略,在政府路段增设可切换提示的LED虚拟监控屏,在企业路段随机部署可移动政府制式路障,并通过每日重组制造空间不确定性。基于此试验设置,对违法成本、收益、侦察成本、认知干扰及合规约束等关键参数设定基准值与取值区间,见表3。

表3 试验参数设置

Table 3 Experimental parameter settings				
参数类别	参数符号	物理含义	基准值	取值范围
违法成本参数	F_G	政府区违法失败成本	15	[6,20]
	F_E	企业区违法失败成本	3	[2,8]
违法收益参数	B	违法成功收益	5	[2,10]
侦察成本参数	C_s	表面侦察成本	0.5	—
	C_d	深度侦察成本	2	[1,4]
认知干扰参数	α	信号混淆强度	0.7	[0.4,0.9]
	δ_G	政府威慑先验信念	0.6	[0.3,0.9]
合规约束参数	$\dot{\kappa}$	合规指数	1.0	[0.8,1.2]
	η_e	投诉影响系数	0.1	—

基于前述动态伪装参数的设定,本研究通过构建"认知行为-空间适配-综合效能"三维分析框架,系统阐释了动态伪装策略的作用机制。

图4展示了伪装策略对违法者信念演化的干扰效应,图5呈现了违法者侦察行为分布对比情况,图6揭示了衔接路段处违法率的变化趋势,图7显

示了违法率动态变化趋势,图8分析了伪装策略成本收益趋势。这些图表共同揭示了动态伪装策略如何通过信息噪声干扰违法者的认知过程,提升其决策成本,进而重构其行为模式。

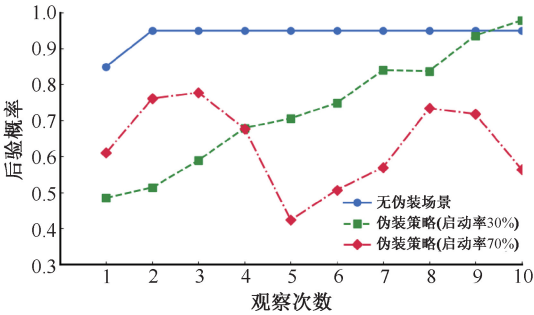


图4 伪装策略对违法者信念演化的干扰效应

Fig. 4 Interference effect of camouflage strategy

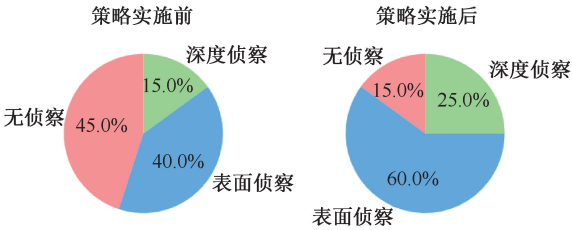


图5 违法者侦察行为分布对比

Fig. 5 Comparison of reconnaissance behavior of violators

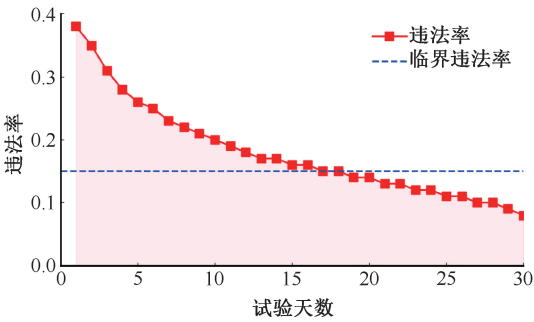


图6 衔接路段处违法率变化趋势

Fig. 6 Change trend of illegal rate

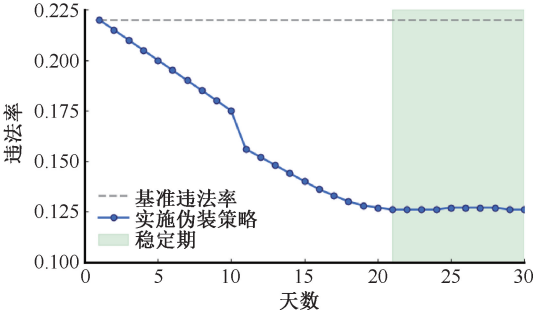


图7 违法率动态变化趋势

Fig. 7 Dynamic change trend of illegal rate

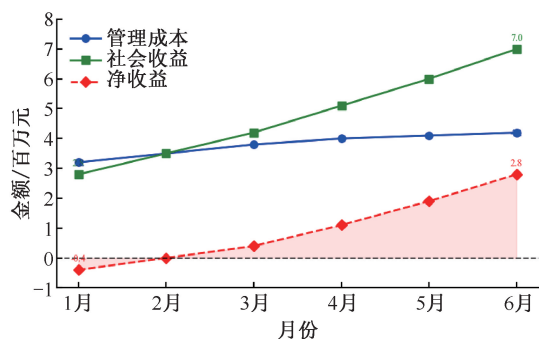


图 8 伪装策略成本收益趋势

Fig. 8 Cost-benefit trend of camouflage strategy

试验结果表明:动态伪装策略在 70%启动率下能显著扩大违法者后验概率的波动幅度并延迟其贝叶斯收敛周期,同时,诱导其决策模式从深度侦察向低成本的表面侦察转变,图 4 和图 5 实证了该策略通过信息噪声干扰认知、提升决策成本的核心机制。进一步地,图 6 揭示了策略干预通过重构驾驶者时空感知,触发了交通违法行为先缓降后断崖式下跌的双阶段相变,标志着群体行为模式的重构。从系统维度看,图 7 与图 8 证实策略通过认知干扰、空间适配与威慑增益的协同形成投入产出的乘数效应;构建了具有高比例再投资能力的自我迭代增强回路,最终形成低边际成本、高持续性的路网安全防控范式。

6 结 论

1) 理论上,将精炼贝叶斯纳什均衡引入交通管

理者与违法者在侦察阶段的策略互动,揭示了伪装策略的核心是一种“信号失真机制”,它通过有意识地制造不确定性,干扰违法者的信念更新过程,进而从其决策源头瓦解违法动机。这标志着治理逻辑从物理层面的“行为矫正”转向认知层面的“信念干预”,可为破解长期存在的“猫鼠游戏”困境提供全新的理论解释。

2) 在实践层面,实证并确立了“认知-空间-经济”三位一体的主动治理范式。该范式通过认知上的信念干预、空间上的动态随机部署以及经济上的成本优势逆转,系统性地整合心理威慑、资源调度与成本效益,证明在现行法规框架内,监管者能够以智能化策略而非单纯增加资源的方式,有助于实现从被动响应到主动塑造秩序的根本转型。

3) 文中模型基于个体理性决策假设,尚未考虑违法者之间的合谋行为以及跨管理部门的协同博弈,其结论在高速公路等异构环境中的普适性也有待验证。长期伪装策略的社会接受度与公信力影响也需进一步评估。

4) 未来可引入群体演化博弈模型,探究策略在社会网络中的传播特征。在技术上,应致力于开发基于 5G-V2X 车路协同环境的实时伪装决策系统。在制度层面,需构建跨区域的执法数据安全共享机制,为形成全域联动、全时主动的智慧治理网络奠定基础。

参 考 文 献

[1] LAN Lian, LU Feng. Evolutionary game analysis on supervision and governance for road traffic violations considering public participation[C]. CICTP 2019, 2019: 5 480-5 491.

[2] TANG Tian, GUO Yan, ZHANG Guang, et al. Understanding the interaction between cyclists' traffic violations and enforcement strategies: an evolutionary game-theoretic analysis[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(22): DOI: 10.3390/ijerph17228457.

[3] LI Wei, LIU Jian. Analysis of the evolution of pedestrian crossing based on dynamic penalty mechanism[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2023, 623: DOI: 10.1016/j.physa.2023.128844.

[4] XU Rui, LUO Feng. Research on air traffic controllers' violation evolutionary and supervision under team norms[J]. Operations Research and Management Science, 2021, 30(10): 191-198.

[5] YANG Jun, SUN Zhen, WANG Jun, et al. Stability analysis of road traffic safety system under traffic rules[J]. China Journal of Highway and Transport, 2015, 28(1): 95-101.

[6] JIANG Xinyue, ZHOU Yue, XIA Lin, et al. Evolutionary game model of traffic violations among taxi drivers[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2019, 54(6): 1 121-1 128.

[7] JIANG Xinyue, HUANG Kai, WANG Bin, et al. Deterrent effect mechanism of traffic electronic enforcement[C]. Proceedings of the Fourth International Conference on Transportation Engineering, 2013: 1 603-1 609.

[8] 王伟, 王晓楠, 丁黎黎, 等. 多部门协作下危险品运输监管的演化博弈[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(10):

69–74.

WANG Wei, WANG Xiaonan, DING Lili, et al. Research on evolutionary game of hazardous materials transportation and supervision based on multi-sectoral collaboration[J]. China Safety Science Journal, 2020, 30(10): 69–74.

[9] SUN Bo, MA Ming, YUAN Ning, et al. Detecting the background-similar objects in complex transportation scenes[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2023, 25(3): 2 920–2 932.

[10] VIRVILIS-KOLLITIRIS N. Detecting advanced persistent threats through deception techniques[D]. Athens: Athens University of Economics & Business, 2015.

[11] ULLAH I, SHAH M A, KHAN A, et al. Virtual pseudonym-changing and dynamic grouping policy for privacy preservation in VANETs[J]. Sensors, 2021, 21(9): DOI:10. 3390/s21093077.

[12] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国道路交通安全法(2021 年修正)[Z]. 2021-04-29.

[13] GB/T 21255—2019, 道路交通技术监控设备设置规范[S].

GB/T 21255—2019, Specifications for setting of road traffic monitoring and controlling equipment[S].

[14] 吴健生, 晋雪茹, 王晗, 等. 中国碳排放及影响因素的市域尺度分析[J]. 环境科学, 2023, 44(5): 2 974–2 982.
WU Jiansheng, JIN Xueru, WANG Han, et al. Analysis of carbon emissions and influencing factors in China based on city scale[J]. Environmental Science, 2023, 44(5): 2 974–2 982.

作者简介： 邓恺龙 (2001—), 男, 山西大同人, 硕士研究生, 研究方向为交通运输规划与管理、电动汽车路径规划、交通基础设施优化。E-mail: dkfighting@ 163. com。



《中国学术期刊影响因子年报(2025 版)》发布

中国学术期刊影响因子年报

编号: CST-YF-2025-DNK

中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术·2025版)

期刊名称: 中国安全科学学报
主办单位: 中国安全生产协会
学术编辑: 王德明
刊名/缩写: 中 11-2600/X ISSN 1003-2005

创刊/复刊: 技术研究

计量指标统计表

一、影响力指数表		影响因子	5年影响因子	5年加权影响因子	5年加权影响因子
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	1.162509	1.162509	1.162509	1.162509
二、被引文献、可引文献表(前)		被引文献	可引文献	被引文献	可引文献
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
三、被引文献、可引文献表(后)		被引文献	可引文献	被引文献	可引文献
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	350	441	350	441
中国安全科学学报	自然科学与工程技术	35			

由《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社出版、中国科学文献计量评价研究中心编制的《中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术·2025 版)》(简称《年报 2025 版》)发布。

《年报(2025 版)》计量指标统计显示:

《中国安全科学学报》影响力指数(CI)为 1 162. 509, CI 学科排序为 1/24。

其他指标如下:

2024 年载文量为 441, 可被引文献量为 350, 可被引文献比为 0. 79。复合总被引频次为 14 026, 即年指标为 0. 229, 复合影响因子为 3. 085, 复合他引影响因子为 2. 539, 5 年影响因子为 3. 408, 他引 5 年影响因子为 3. 035。