

# 基于北斗车载终端的主动交通安全预警机制的研究

熊 芳

深圳聚瑞云控科技有限公司 广东深圳 518000

**摘要：**本文对主动式交通安全预警机制进行设计并试验验证，依托于北斗导航系统。在一线城市重要道路及繁忙区域内进行实地测试，在高速公路突发拥堵状况发生的情况下，以及城市道路高峰期复杂交叉路口等多样化交通情景下，试验结果发现该预警机制具有较高的成功率和明显的事故减少效果，通过整合多源信息数据和应用深度学习算法实现对潜在风险的实时识别和应对。试验表明，北斗系统在提高交通安全性和降低事故发生率上发挥了重要作用，为今后智能交通系统的发展打下坚实基础。

**关键词：**北斗车载终端；交通安全；预警机制；智能交通

## 引言

运输业迅猛扩展，车祸频发，有效预防方案的需求剧增。预警系统提前检测和应对潜在威胁，显得尤为关键。该系统整合多种数据来源，实现了风险早期识别与动态管理，确保信息及时传达并高效响应。北斗导航系统是中国自主开发的全球卫星定位系统，以其高精度定向和广泛覆盖，在主动行车安全领域具有巨大潜能。本研究探讨基于北斗车辆终端的主动交通安全预警体系，提高驾驶安全性。

## 一、北斗车载终端技术基础

### 1. 北斗卫星导航系统概述

北斗卫星导航系统由空间段、地面段和用户段组成。空间段包括30多颗卫星，具备全球覆盖能力。最新的BDS-3系统在定位精度上进一步提升，全球范围内定位精度达到2.5米，亚太地区则能达到更高的精度。地面段通过全球监测站网，实现了对卫星运行状态的精确管理和实时控制<sup>[1]</sup>。

### 2. 北斗系统在主动交通安全中的应用

北斗系统利用精准导航定位和实时通讯技术，在主动交通安全领域提升了交通安全保障水平。该系统设计为城市道路和高速公路，以V2V、V2I的方式向其他车辆和交管中心通过北斗车载终端获取车辆位置、车速等信息。结合Carlman滤波器、BayesNetwork等算法，多传感器融合确保精确的数据处理，并对降低误报的报警阈值进行动态调整。与云平台即时沟通，动态管理大流量<sup>[2]</sup>。该系统可有效预测和预警潜在风险，降低事故发生率，促进智能交通在高速公路紧急制动或城市道路堵塞情况

下的发展。

在基于北斗系统的主动交通安全预警机制的实际应用实验中，以某城市的主要交通干道和高速公路为试点，选取了1000辆不同类型的车辆作为实验对象，涵盖了公交车、出租车、私家车及货运车辆。这些车辆均配备了北斗车载终端，并通过V2V和V2I通信技术与交通管理中心和其他车辆实时互联。实验数据收集周期为30天，全天候监控车辆的运行状态。表1是本次实验中不同交通场景下的预警成功率、响应时间以及事故减少率的实验结果：

表1 不同交通场景下基于北斗系统的主动交通安全预警机制性能分析

场景类型	预警成功率 (%)	平均响应时间 (ms)	事故减少率 (%)
高速公路紧急刹车	97.5	240	35
城市道路变道	94.2	310	28
高速公路拥堵	96.8	260	32
城市道路紧急避让	92.6	350	26
城市繁忙交叉口	89.7	380	22

研究结果表明，在各种运输场景中，北斗系统的表现都是可圈可点的。在高速公路紧急刹车情况下，预警成功率为97.5%，反应时间为240微秒，事故降低了35%。在市区道路变更车道的情况下，预警成功率为94.2%，响应速度为310毫秒，事故降低了28%。城市环境复杂，这一制度仍可以有效降低事故的偶然性。在高速公路拥堵、城市紧急避险的情况下，它的预警准确率分别为96.8%和92.6%，响应时间分别为260毫秒和350毫秒，安全性提高了32%和26%。该系统在市区繁华路

口使用时，提醒精准度为89.7%，反馈时细腻度为380，撞车几率下降22%。这在纷繁复杂的环境中，体现了它的优越性。

## 二、主动交通安全预警机制设计

### 1. 多层次预警系统模型设计

为增强交通安全预警的精确性和有效性，这一研究创建了一个多层次预警系统模型，将风险分成低中高三个等级，并结合北斗导航系统车辆传感器数据及外部交通信息，对潜在危险进行全面检测与响应，从而保证对不同风险等级的准确发送预警信号，使交通安全得到进一步保障<sup>[3]</sup>。

#### (1) 低风险预警

当系统侦测到有轻微威胁因素时，如车辆稍有偏离车道或略有超速，就会发出低风险的预警信号，主要通过车载屏幕的显示和语音提示对驾驶员进行提醒，以增加注意力，不会触发紧急刹车或其他主动干涉操作，即预警等级在计算车道偏离角度 ( $\theta$ ) 和超速量 ( $\Delta v$ ) 的基础上进行判断。当满足以下条件时，会激活低风险预警：

$$\theta > \theta_{\text{threshold-low}} \text{ 或 } \Delta v > \Delta v_{\text{threshold-low}}$$

$\theta_{\text{threshold-low}}$  和  $\Delta v_{\text{threshold-low}}$  分别为车道偏离角度和超速量的低风险预警阈值。

#### (2) 中风险预警

在中度风险情境下（如车辆接近交通拥堵区域、前方车辆突然减速），系统生成中风险预警信号。此时，系统不仅通过显示屏和语音发出警告，还会根据情况调节车辆的速度，提醒驾驶员采取必要的避险措施。中风险预警主要基于车辆与前车距离 ( $d_{\text{relative}}$ ) 和相对速度 ( $v_{\text{relative}}$ ) 的计算，当预测的碰撞时间 (TTC, Time to Collision) 小于中风险阈值时触发预警：

$$TTC = \frac{d_{\text{relative}}}{v_{\text{relative}}} < TTC_{\text{threshold-mid}}$$

$TTC_{\text{threshold-mid}}$  为中风险预警的阈值。当  $TTC$  低于此值时，系统将调节车辆速度以防止碰撞。

#### (3) 高风险预警

系统在面临高度危险的情况下产生高风险的报警信号（例如车辆与前方极短的车距几乎发生碰撞，或者突然出现障碍物）。这些信号通过车内终端机的音光警报器进行了显著提示，并在发生事故时激活主动安全措施，如自动紧急制动，降低车速等高风险预警同样基于  $TTC$  计算，但阈值更低：

$$TTC < TTC_{\text{threshold-high}}$$

高风险预警考虑加速度 ( $a$ ) 的变化，在紧急刹车场景中，当检测到急剧减速时 ( $|a| > a_{\text{threshold}}$ )，系统将立即介入，通过自动制动或减速来降低事故风险。

利用这些公式和界限的设定，系统能够根据实际情况对不同级别的风险进行准确的区分，并对警报响应进行调整，从而确保在各种交通状况下都能实现最佳的响应。

### 2. 风险识别与预警信号生成

这一报警系统依赖于能够产生预兆信号的即时风险识别装置。通过将北斗导航、激光雷达、摄像头等探测器的数据进行整合，利用深度学习和支持向量机等先进的机器学习技术，从多视角分析车辆运行状态、环境、交通参与者的行为等，实现高效识别潜在风险。

系统核心在于实时数据处理及危险辨认，使用卡尔曼滤波和动态贝叶斯模型。这些算法能过滤噪音与异常数据，并提高应对突发险情的反应速度。卡尔曼滤波的状态估计公式如下：

$$\hat{x}_{k|k-1} = A_k x_{k-1|k-1} + B_k u_k$$

$$P_{k|k-1} = A_k P_{k-1|k-1} A_k^T + Q_k$$

$\hat{x}_{k|k-1}$  为时间  $k$  时刻的状态预测， $A_k$  为状态转移矩阵， $B_k$  为控制输入矩阵， $u_k$  为控制量。对于风险识别，深度学习模型通过摄像头和激光雷达采集的数据，分析周围环境和交通参与者的行为，识别可能的危险情况。支持向量机 (SVM) 则用于分类车辆的动态行为，例如识别突然加速、减速或异常转向的情况。动态贝叶斯网络则进一步整合这些分析结果，评估整体的风险级别。

通过上述算法，系统能够实时预测车辆在未来几秒钟内的运动轨迹。预测公式基于当前车辆状态（位置、速度、加速度）并考虑外部环境影响。基本的运动轨迹预测公式如下：

$$x_{\text{future}} = x_{\text{current}} + v \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a \cdot \Delta t^2$$

$x_{\text{future}}$  为未来位置， $x_{\text{current}}$  为当前的位置， $v$  为车辆的速度， $a$  为加速度， $\Delta t$  为时间间隔。系统根据实时的交通密度、道路状况和预测的运动轨迹，动态调整预警阈值，以最大限度减少误报与漏报。当交通密度增加时，系统会自动降低  $TTC$ （碰撞时间）的预警阈值，以更早地发出警告：

$$TTC = \frac{d_{\text{relative}}}{v_{\text{relative}}} < TTC_{\text{adjusted}}$$

当风险识别模块确定潜在危险后，系统生成预警信号。预警信号生成的逻辑流程如下：

(1) 风险等级评估：根据预测的风险级别（低、中、高），系统生成相应的预警信号。

(2) 信号传递：利用V2V和V2I通信技术，警报信号迅速发送到相关车辆与交通管理中心。

(3) 应急方案实施：在高危预警情形下，系统立即采取紧急措施，如自动刹车或降速。

系统采用5G技术，保证信号低延迟传递，确保警报信息在极短时间送达，防止危险状况恶化。

### 3. 预警信号的传输与反馈

预警信号的传输与反馈是预警机制的核心环节，决定了交通安全的实时保障。为确保信号的快速可靠传递，系统采用5G通信技术与北斗高精度定位，利用V2V和V2I技术构建动态信息网络，实现毫秒级的预警信号传输。信号传输延迟公式为：

$$Transmission\ Delay = \frac{d}{c} + \frac{1}{B} + Processing\ Time$$

$d$ 为距离， $c$ 为光速， $B$ 为带宽。通过增加带宽和优化处理时间，系统显著降低传输延迟。

此外，系统具备自学习功能，通过深度强化学习（DRL）算法优化预警机制。学习过程公式为：

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \alpha \left[ r_t + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a; \theta_t) - Q(s_t, a_t; \theta_t) \right] \nabla_{\theta_t} Q(s_t, a_t; \theta_t)$$

$\theta_t$ 为当前策略参数， $\alpha$ 为学习率。系统根据反馈数据调整预警策略，减少误报与漏报，不断提高在复杂交通环境中的适应性。通过这一设计，预警机制不仅能确保信号传输的实时性，还能通过自学习持续优化，提升整体智能化水平。

## 三、应用案例与实践验证

### 1. 应用案例分析

在本研究中，基于北斗系统的主动交通安全预警机制应用于国内某一线城市的智能交通管理系统进行实地验证。此次实验选择了该城市的主要高速公路、城市主干道和繁忙交叉口作为测试场景，实验对象为2000辆不同类型的车辆，包括公交车、出租车、私家车和货运车辆。每辆车均配备最新的北斗车载终端，能够实时接收卫星信号并通过V2V和V2I通信技术与其他车辆及交通管理中心进行信息交互。实验为期三个月，主要评估预警机制在复杂交通环境中的实际表现。实验设计中，重点测试了北斗系统在应对高速公路突发交通拥堵、城市道路高峰期车流密集、以及繁忙交叉口多方向车辆交汇等高风险场景下的预警效果。

### 2. 实践验证与效果评估

根据上述的案例，对北斗车载终端的主动交通安全预警机制进行了实地验证，并对其效果进行了全面评估，表2反映了不同交通场景下预警机制的实验结果。

表2 不同交通场景下预警机制的实验结果

场景类型	预警成功率 (%)	平均响应时间 (ms)	事故减少率 (%)
高速公路突发交通拥堵	98	210	40
城市道路高峰期车流密集	95	280	35
繁忙交叉口多方向交汇	92	300	30

实验数据显示，该系统在各种复杂交通环境下表现优异，是基于北斗系统进行的主动交通安全报警机制测试。在高速公路突然受阻的情况下，预警成功率达到98%，平均响应时间达到210毫秒，事故发生率降低40%。研究结果证明，北斗系统通过车间技术和基础设施间快速对突发拥堵情况进行探测和应对，能够将预警信号传递出去，有效减少二次事故发生的几率。高峰时段城市道路预警成功率95%，响应时间280毫秒，事故发生率降低35%。北斗系统利用多传感器融合和深度学习算法，在城市交通环境复杂多变的情况下，能预先对危险进行识别，并对驾驶员进行避险提醒。繁忙路口的预警成功率为92%，平均响应时间为300毫秒，事故发生率降低了30%。

### 结语

综上所述，该文通过提出并论述基于北斗体系的主动交通安全预警机制，以及对其应用于复杂交通环境中的高效性进行设计和现场测试。试验结果表明，北斗系统可在包括高速公路，城市道路以及繁忙交叉口在内的多种场合下实现风险识别与预警，从而有效减少车祸事件的发生。今后研究针对更复杂情境的预警需求，对系统进行进一步改进和优化，以在更多领域得到应用。

### 参考文献

- [1] 赵超杰, 邓涵月. 车辆运行风险预警系统中的车载终端的设计[J]. 青海交通科技, 2021, 33(05): 32-39.
- [2] 孙高炜, 彭道海, 邹晓. 基于北斗/GPS和GPRS的车载定位终端[J]. 南方农机, 2019, 50(13): 47.
- [3] 史顺玉. 基于北斗卫星导航系统的智能车载终端设计[D]. 中国海洋大学, 2014.