

文章编号:1007-5321(2023)04-0040-06

DOI:10.13190/j.jbupt.2022-139

面向道路实况的车联网共享消息可信评估模型

张佳敏, 帅莉莎, 董高雅, 阳小龙

(北京科技大学 计算机与通信工程学院, 北京 100083)

摘要: 车联网环境下车辆间共享路况消息的可信性是事关交通出行效率和司乘人员安全的关键决策依据。为此,本着“察其言,观其行,重事实”的理念,提出一个面向道路实况的共享消息多维协同信任评估模型。在实体维度,依据车辆作为发送者和评估者的信任值计算实体信任值,解决因忽略实体的评估者角色而造成其信任值不准确的局限。在行为维度,为了对消息记录条数和真实提供频次不同的车辆实现公平评估,根据车辆对事件的共享率和诚实转发率计算车辆的行为信任值。在事实维度,定义以事实为中心的信任纠偏,以修正对诚实车辆的非主观恶意行为的误判。仿真结果表明,所提模型可以准确、公平地评估消息的可信性,有助于抑制虚假消息的散播。

关键词: 车联网; 消息可信性; 信任评估模型

中图分类号: TP309.2

文献标志码: A

A Truth-Oriented Trust Evaluation Model of Shared Messages about Road Events in Internet of Vehicles

ZHANG Jiamin, SHUAI Lisha, DONG Gaoya, YANG Xiaolong

(School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: In the Internet of vehicles, the reliability of road condition message shared between vehicles is the key decision-making basis for the efficiency of transportation and the safety of drivers and passengers. To this end, a multi-dimensional collaborative trust evaluation model for shared message based on road facts is proposed, which is based on the concept of “understanding what they say, observing what they do, and emphasizing facts”. In the entity dimension, the entity trust value is calculated according to the trust value of the vehicles acted as sender and evaluator, which overcomes the limitation of inaccurate trust value caused by ignoring the evaluator role of the entity. In the behavior dimension, to achieve a fair evaluation of vehicles with different message records and frequency of real provision, the behavior trust value of the vehicles is calculated according to the sharing rate and honest forwarding rate to the event. In the fact dimension, the fact-centered trust correction is defined to correct misjudgment of the non-subjective malicious behavior of honest vehicles. The simulation results show that the proposed model can accurately and fairly evaluate the credibility of messages, which contributes to suppress the spread of false messages.

Key words: Internet of vehicles; credibility of the message; trust evaluation model

收稿日期: 2022-06-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(61971033); 工信部 2020 年工业互联网创新发展工程项目(TC200H01V)

作者简介: 张佳敏(1992—), 女, 博士生。

通信作者: 阳小龙(1970—), 男, 教授, 博士生导师, 邮箱: yangxl@ustb.edu.cn。

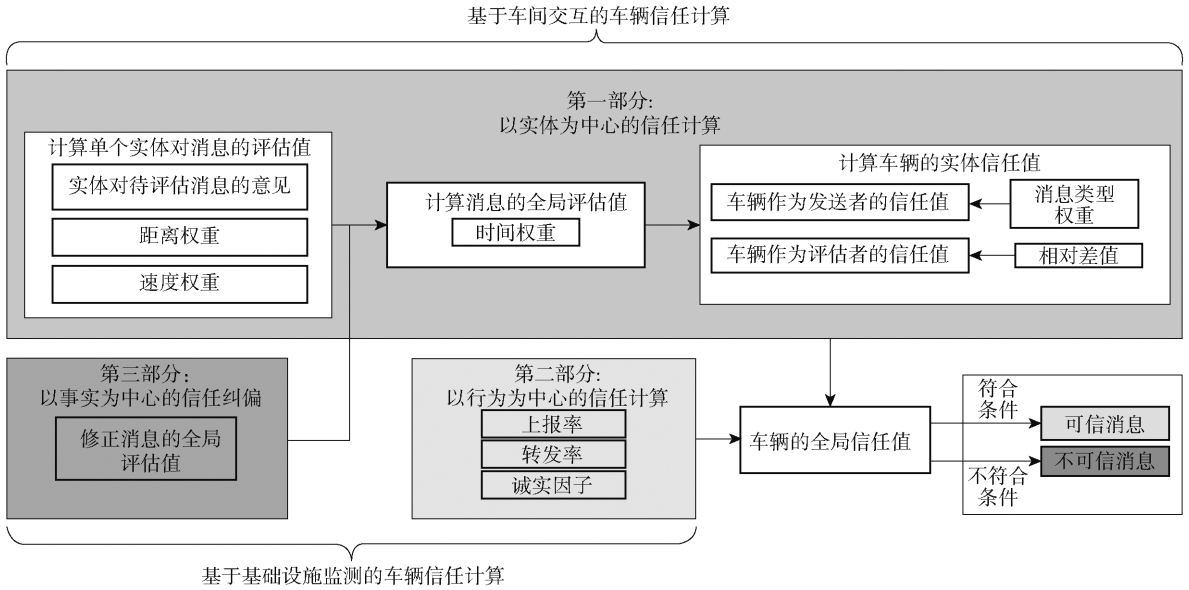


图2 面向道路实况的共享消息多维协同信任评估模型框架

2.1 以实体为中心的信任计算

车辆间共享消息时,每辆车都有可能成为消息的发送者和接收者,且车辆作为消息接收者时还会对收到的消息内容进行评估,即扮演评估者的角色。

2.1.1 单个实体对消息的评估值

车辆 V_h 在收到车辆 V_i 的消息 M_j 后,先计算消息中所报告事件的位置与自身所处位置之间的距离,若距离大于车辆 V_h 所能观测的范围,车辆无法有效判断消息的可信性,因此给予消息中性评价 0.5;否则,车辆根据自身传感器对消息中所报告事件的观察,按照是否同意,给出 1 或 -1 的评价:

$$O_{h,j} = \begin{cases} 1, & \Delta D_h^{\text{id}} \leq D_h \text{ 且评价为正} \\ 0.5, & \Delta D_h^{\text{id}} > D_h \\ -1, & \Delta D_h^{\text{id}} \leq D_h \text{ 且评价为负} \end{cases} \quad (1)$$

其中: ΔD_h^{id} 为消息 M_j 中所报告事件发生时,事件发生的位置与车辆 V_h 所处位置的距离; D_h 为车辆 V_h 的最大观测距离。

考虑到消息接收方车辆所处位置与事件位置的距离与其所给出的评价的权重成反比,将距离权重定义为一个关于距离的指数衰减函数:

$$\omega_{h,j}^{\text{d}} = e^{-\frac{\Delta D_j^{\text{id}}}{\lambda^{\text{d}}}} \quad (2)$$

其中 λ^{d} 为控制距离衰减速度的常量。

考虑到车辆的行驶速度与其所给出的评价的权重成反比,速度权重定义为

$$\omega_{h,j}^{\text{v}} = (\lambda^{\text{v}})^{S_h} \quad (3)$$

其中: λ^{v} 为控制速度影响程度的常量, S_h 为车辆 V_h

评估消息 M_j 时的行驶速度。

综上,评估者车辆 V_h 对消息 M_j 的个体评估值为

$$\psi_{h,j} = \begin{cases} O_{h,j} \omega_{h,j}^{\text{d}} \omega_{h,j}^{\text{v}}, & \Delta D_h^{\text{id}} \leq D_h \\ 0.5, & \Delta D_h^{\text{id}} > D_h \end{cases} \quad (4)$$

2.1.2 消息的全局评估值

路侧单元 U_k 汇聚所有其覆盖范围内对消息 M_j 产生个体评估值的车辆,并形成集合 Q 。考虑到事件的状态是动态变化的,报告事件的时间和事件发生时间相隔越近,消息的可信度越高。因此,引入了时间权重,对于消息 M_j ,其时间权重为

$$\omega_j^{\text{t}} = \begin{cases} 0, & t_j^{\text{rep}} - t_j^{\text{id}} > \phi \\ e^{-\frac{(t_j^{\text{rep}} - t_j^{\text{id}})}{\lambda^{\text{t}}}}, & t_j^{\text{rep}} - t_j^{\text{id}} \leq \phi \end{cases} \quad (5)$$

其中: t_j^{rep} 为车辆 V_i 针对事件报告消息 M_j 的时间, t_j^{id} 为所报告事件的发生时间, λ^{t} 为控制时间衰减速度的时间单元, ϕ 为时间窗。

消息 M_j 的全局评估值为

$$\varphi_j = \frac{\sum_{h \in Q} \psi_{h,j} \omega_j^{\text{t}}}{q} \quad (6)$$

其中 q 为 U_k 覆盖范围内对消息 M_j 给出个体评估值的车辆数量。

2.1.3 车辆的实体信任值

计算车辆的实体信任值时,需同时考虑车辆在消息发送者和评估者两个身份下的信任值。

1) 车辆作为发送者的信任值

为了避免恶意车辆通过前期发布真实但不重要

消息、后期发布重要但不真实消息的方式迷惑其他车辆,考虑消息类型的影响并定义了消息类型权重为

$$\omega_j^p = \begin{cases} 1, & \text{路况消息} \\ \beta, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

其中 β 为位于 $[0,1)$ 的常量。如果是与路况相关的消息,消息类型权重设置为 1;反之,为其赋值 β 。

车辆作为消息发送者的信任值为

$$T_i^s = \frac{\sum_{j=1}^m \omega_j^p \varphi_j}{m} \quad (8)$$

其中 m 为周期 c 内车辆 V_i 发送的消息数量。

2) 车辆作为评估者的信任值

为了衡量车辆给出的个体评估值与消息全局评估值之间的偏离程度,计算两者的相对差值:

$$\varepsilon_i = \frac{|\psi_{h,j} - \varphi_j|}{\varphi_j} \quad (9)$$

由于指数函数能较好地体现相对差值的差异对信任值的影响,通过以下公式计算车辆 V_i 在时间周期 c 内作为消息评估者的信任值为

$$T_i^r = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{e^{4(\varepsilon_j)^2}} \quad (10)$$

其中 n 为周期 c 内车辆 V_i 评估的消息数量。

3) 车辆的实体信任值

基于上述车辆作为发送者和评估者的信任值,计算车辆 V_i 在时间周期 c 内的实体信誉为

$$T_E = \omega_1 T_i^s + \omega_2 T_i^r \quad (11)$$

其中 ω_1 和 ω_2 分别为车辆作为发送者的信任值和车辆作为评估者的信任值的加权系数,且满足 $\omega_1 + \omega_2 = 1$,基于同一时间周期内车辆发出和评估的消息数量动态计算权值,两者计算方式为

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \frac{m}{m+n} \\ \omega_2 &= \frac{n}{m+n} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

2.2 以行为为中心的信任计算

为避免车辆在单位时间内仅靠提供个别真实消息就获得高信任值的投机行为得逞,计及车辆行为对其信任值的影响。

将车辆 V_i 在采集周期 c 内共享的事件数比率定义为车辆 V_i 的共享率:

$$R_{i,c}^y = \frac{N_b(V_i, c)}{N_a(V_i, c)} \quad (13)$$

其中 $N_a(V_i, c)$ 和 $N_b(V_i, c)$ 分别为采集周期 c 内车

辆 V_i 可观测范围内共发生的事件数和其共享的事件数。

将车辆 V_i 在采集周期 c 内转发的消息数比率定义为车辆的转发率:

$$R_{i,c}^f = \frac{N_z(V_i, c)}{N_u(V_i, c)} \quad (14)$$

其中 $N_z(V_i, c)$ 和 $N_u(V_i, c)$ 分别为采集周期 c 内车辆 V_i 实际转发的消息数和其共需转发的消息数。

将车辆 V_i 在采集周期 c 内诚实转发消息的比率定义为诚实因子:

$$F_{i,c} = \frac{N_g(V_i, c)}{N_z(V_i, c)} \quad (15)$$

其中 $N_g(V_i, c)$ 为车辆 V_i 诚实转发的消息数。

综上,车辆的行为信任值为

$$T_B = \frac{R_{i,c}^y R_{i,c}^f F_{i,c}}{R_{i,c}^y + R_{i,c}^f + F_{i,c}} \quad (16)$$

2.3 以事实为中心的信任纠偏

由于车载传感器性能及车辆所处视角的不同,车辆彼此观测到的情况存在差异。为了公正的计算车辆信任值,验证车辆 V_i 所报告的情况与其真实观测情况是否一致,形成以事实为基准的车辆实体信任值纠偏。

在计算消息的全局评估值时,若 U_k 检测到对于消息 M_j 全是相反的评价,则启动事实检测。即: U_k 核验车辆 V_i 上传到第三方的关于其当时所观测情况的证据,检查 V_i 对其所报告事件的描述与其真实观测到的现象是否一致。如果一致,则令 φ_j 为 1;否则,令 φ_j 为 0,判定实体故意扰乱交通秩序。将以事实为中心的信任值纠偏定义为

$$\varphi_j = \begin{cases} 1, & M_j = M_j^{\text{fac}} \\ 0, & M_j \neq M_j^{\text{fac}} \end{cases} \quad (17)$$

其中 M_j^{fac} 表示车辆 V_i 对于消息 M_j 中所报告事件真实观测到的现象。

2.4 车辆的全局信任计算

一个准确、公正的车辆信任值能让车辆高效、可信地利用其他车辆共享的信息,从而有效地提升交通效率和安全。因此,为了得到一个更全面、更准确的车辆全局信任值,在借助以事实为中心的信任纠偏的同时,融合车辆的实体信任值和以行为为中心的信任值。车辆全局信任值的计算公式为

$$T_G = \frac{T_E + T_B}{2} \quad (18)$$

在通过共享消息提高交通效率和安全的过程

中,车辆所报告消息的真伪和上报、转发消息的数量都会影响信息共享的作用效果且不分主次,因此,在计算车辆的全局信任时实体信任与行为信任同等重要。

3 仿真结果

3.1 仿真设置

选取一个双向四车道且每车道长 2 km 的高速公路作为实验场景。采用随机的方式,在路侧部署 10 个 RSU、在场景中生成安全和娱乐相关事件的发生位置、并散播车速在 0~100 km/h 的 100 辆车(包含恶意发布虚假消息和表现出非合作行为的恶意车辆)。此外,设置了两种场景以验证所提方案的有效性。典型场景 1 为虚假消息攻击场景,该场景不仅涵盖了车辆故意广播与事实不符的消息、篡改合法消息,甚至给出恶意评价的情况,还涵盖了车辆因视角不同而发出了与其他车辆所观察到的路况不一样但消息属实的情况。典型场景 2 为消息非友好延误攻击场景,该场景考虑了那些故意不共享事件消息、拒绝转发或者延迟转发安全消息的车辆。

3.2 仿真结果讨论

3.2.1 所提模型的准确率和召回率

选用 MARINE 模型^[10]作为对比模型。图 3 所示为所提模型和对比模型在 2 个典型场景下的准确率。由图 3 可知,2 种模型在 2 个场景下的准确率均随恶意车辆比例的增大而减小。这是由于恶意车辆的增多带来了更多的虚假消息,制约了 RSU 区分可信和恶意消息的能力。典型场景 1 下,所提模型的优良表现得益于其纠正了因车载传感器性能和所处位置不一样所造成观察到情况有所差异而被误会的车辆。典型场景 2 下,所提模型的优良表现得益于其考虑了车辆行为对车辆信任值的影响。

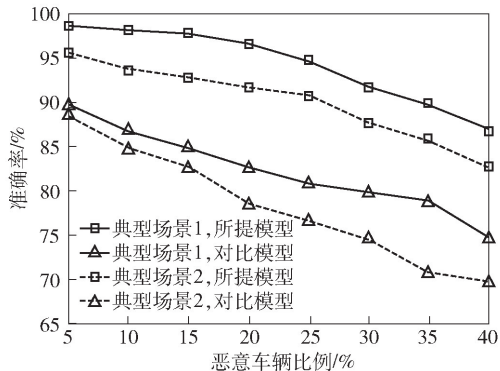


图3 2种模型在不同场景下的准确率

图4所示为所提模型和对比模型在2个典型场景下的召回率。由图4可知,2种模型在2个场景下的召回率均随恶意车辆比例的增大而减小,且所提模型的表现优于对比模型。所提模型不仅考虑了车辆所发消息的真实度,还考虑了车辆行为对其信任值的影响,减少了恶意车辆在对比模型中仅靠提供个别真实信息就获得高信任值的投机行为得逞的机会,进而减小了误将恶意车辆当作合法车辆的数量。

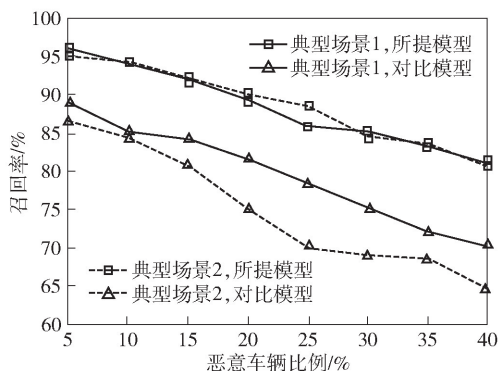


图4 2种模型在不同场景下的召回率

3.2.2 各因素对模型性能的影响

图5所示为在45%、60%和75%三种安全类消息比率下所提模型的召回率。由图5可知,在相同恶意车辆比例下,当安全类消息占比增加时,召回率也在增加。这是因为安全类消息占比的增加可通过消息类型权重提高合法车辆作为发送者的信任值,减少企图通过前期发布真实但不重要消息后期发布重要但不真实消息的方式成功迷惑其他车辆的概率,进而减少误将恶意消息归类为合法消息的数量。

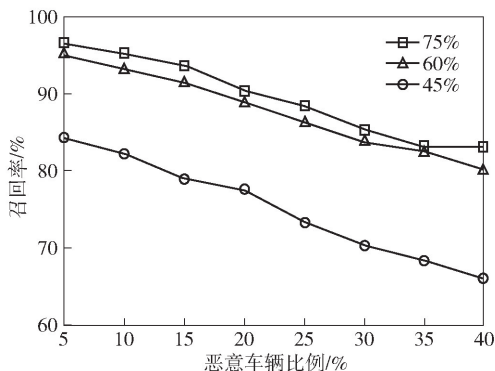


图5 所提模型在不同安全类消息比率下的召回率

图6所示为不同车辆密度下所提模型的准确率。由图6可知,准确率随车辆密度的增大而提升。车辆密度为 25 辆/km 时,所提模型准确率浮动在 60% 上下,最高为 67%;当车辆密度为 100 辆/km

时,即使在恶意车辆比例为40%的恶劣环境下,所提模型也可达80%的准确率。所提模型的优良性能得益于以下两方面:首先,关于消息的个体评估值的数量会随场景内车辆总数的增多而增加,为RSU提供更多对车辆实体和行为进行评估的机会,增大了公正判别的概率;其次,事实纠偏机制的引入,减少了误将合法消息判断为恶意消息的数量。

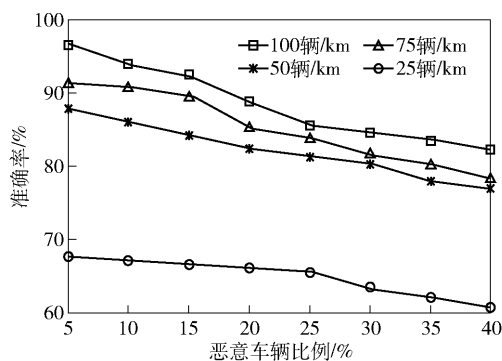


图6 所提模型在不同车辆密度下的准确率

4 结束语

针对车联网场景下准确评估共享消息可信性的问题,提出了一种面向道路实况的共享消息信任评估模型,形成了“实体-行为-事实”深度融合的多维信任评估模型。实体信任方面,参照多方邻居的意见并综合考虑节点位置、速度和上报时间的影响计算;行为信任方面,通过节点的共享率、转发率和诚实因子计算。此外,为了规避缺乏对事实情况考虑而导致评估结果有失公允的现象,融合了基于事实的信任纠偏,防止了“冤假错案”。仿真结果表明,典型场景的不同恶意车辆比例下,所提模型的准确率和召回率均优于对比模型,说明所提模型能准确衡量车辆的可信性,进而公正地评估共享数据的质量。

参考文献:

[1] FANG J C, XIANG Y, HUANG Y, et al. A vehicle control model to alleviate traffic instability [J]. IEEE

Transactions on Vehicular Technology, 2021, 70(10): 9863-9876.

- [2] YANG Y F, ZHANG L, ZHAO Y L, et al. Privacy-preserving aggregation-authentication scheme for safety warning system in fog-cloud based VANET[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2022, 17(6): 317-331.
- [3] GAO F K, YANG B, CHEN C L, et al. Distributed urban freeway traffic optimization considering congestion propagation[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2022, 9(14): 12155-12165.
- [4] LI F L, GUO Z B, ZHANG C S, et al. ATM: an active-detection trust mechanism for VANETs based on blockchain[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2021, 70(5): 4011-4021.
- [5] GURUNG S, LIN D, SQUICCIARINI A, et al. Information-oriented trustworthiness evaluation in vehicular ad-hoc networks[C]//Network and System Security 2013. Berlin: Springer, 2013: 94-108.
- [6] HUANG Z, RUJ S, CAVENAGHI M A, et al. A social network approach to trust management in VANETs[J]. Peer-to-Peer Networking and Applications, 2014, 7(3): 229-242.
- [7] RAWAT D B, YAN G J, BISTA B B, et al. Trust on the security of wireless vehicular ad-hoc networking[J]. Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, 2015, 24(3-4): 283-305.
- [8] LI Q, MALIP A, MARTIN K M, et al. A reputation-based announcement scheme for VANETs[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012, 61(9): 4095-4108.
- [9] MAHMOUD M, SHEN X M. An integrated stimulation and punishment mechanism for thwarting packet dropping attack in multihop wireless networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(8): 3947-3962.
- [10] AHMAD F, KURUGOLLU F, ADNANE A, et al. MARINE: man-in-the-middle attack resistant trust model in connected vehicles[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2020, 7(4): 3310-3322.