

文章编号:1005-0523(2017)02-0066-06

基于二步检测的高等级道路动态车头间距检测模型研究

覃 鹏¹,赵祖菊²,王 正¹

(1. 上海海事大学交通运输学院,上海 201306; 2. 贵州财经大学工商管理学院,贵州 贵阳 550025)

摘要:动态车头间距不足是导致交通追尾事故的一大原因,而驾驶员对动态车头间距的错误估计是导致动态车头间距不足的源头。降低道路交通追尾事故的根本途径就是要增强驾驶员对动态车头间距的估计能力。提出基于二步检测的动态车头间距检测理论,构建动态车头间距预警系统。通过二步发射与接收频波,可以检测出前车的实时行驶速度以及两车之间的动态车头间距,同时根据两车的速度计算出所需的理论安全车头间距,将两车之间的动态车头间距与所需的理论安全车头间距进行比较,如果两车之间的动态车头间距小于所需的理论安全车头间距进行比较,则通过警报系统发出警告。通过对驾驶员警告,避免不足的动态车头间距,能够有效地解决交通追尾事故。

关键词:动态车头间距;二步检测;预警系统;追尾

中图分类号:U471 文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.02.009

高速公路上由于动态车头间距不足而导致的交通追尾事故在交通事故总数中所占比例高达 1/3^[1],因此减少追尾事故有助于提高道路车流的安全水平。2016年4月2日,在沪宁高速上发生的严重交通追尾事故(事故参与车辆大约40辆)正是由于动态间距不足而无法安全避让所导致。追尾事故不仅会导致多车连环相撞,事故后果严重,因此降低道路追尾事故数势在必行,以提高高等级公路车辆行驶安全水平。

减少道路追尾事故大都是由于车头间距不足而无法安全减速或者换道避让造成,不少研究文献对理论安全间距的组成及其与速度的关系进行了研究^[2-4],指出跟驰车辆的安全车头间距与两车的速度、驾驶员反应时间以及环境有关。安全车头间距的组成及与速度等关系并不能直接帮助驾驶员有效地估计动态车头间距。因此不少文献提出了基于单目检测和双目检测原理的动态车头间距检测方法^[5-6],这些方法是基于摄像机内部参数以及透视投影的几何关系,通过程序对摄像机取得的数据进行处理得到两车之间的车头间距。这一类方法对摄像头的精度要求很高,受制于气候环境,如不适用于雾天等^[7]。文献[8]提出的基于智能手机的检测方法实际上就是一种视频检测方法。为了克服视频监测方法这一缺点,有文献提出了基于多普勒原理的超声波动态车头间距检测方法^[9],该类方法的缺点在于超声波的传播速度受到空气温度变化影响^[7]。此外也有文献提出了基于激光雷达、脉冲雷达的检测方法^[10-11],然而车载雷达应用中过高的发射功率对人体会产生较大负面影响^[6]。

由于导致交通追尾事故的原因在于没有使得检测到的距离发挥作用,以往提出的检测方法在一定程度上都具有较大理论研究意义,实际应用价值不明显。本文在使用脉冲微波二步检测的基础上,从运动学(综合数学、物理学)的角度研究如何使用微波对高等级公路上行驶过程中同一条车道前后两车之间的动态车头间距进行测定。

1 理论安全间距组成及计算

1.1 相关假设

由于安全车头间距包括多个组成部分,且受到多个因素影响。在计算车头间距时通常需要进行一些可

收稿日期:2016-10-06

作者简介:覃鹏(1992—),男,硕士研究生,主要研究方向为交通系统规划设计。

通讯作者:王正(1969—),男,副教授,博士,主要研究方向为城市综合交通规划。

接受的假设,根据相关文献,本文进行以下假设:

一是不考虑环境因素对制动距离的影响,因为如下雨、结冰等环境因素导致的地面附着系数的变化检测较难;

二是不考虑车辆差异因素对制动距离的影响,即不考虑因为不同的车辆类型在惯性势能、制动性能以及轮胎磨损等方面的差异;

三是不考虑驾驶员个人差异等因素对制动距离的影响,即不考虑不同的驾驶员在行驶过程中在感知反应时间和操作习惯等方面差异;

四是两车最大减速度相同,这表明两车制动距离只受两车行驶速度影响;

五是在本文的二步检测过程中两车行驶速度均不发生改变。

这些假设都是可接受的假设,有助于计算理论安全间距。其中假设三内在地包括了不同驾驶员在感知、反应和操作 3 个过程所需时间相同的假设。

1.2 距离组成

不少文献指出^[2,4,13],车辆理论安全间距应该包括基本安全距离(D_0),感知反应距离(D_1)以及制动距离(D_2)。基本安全距离是车辆停下来以后与前车(或物体)之间必须保证的一个空间距离。感知反应距离实际上又由三部分组成,即感知距离(D_{11}),反应距离(D_{12})和操作距离(D_{13})。感知距离是驾驶员感知到前方车辆行驶速度发生变化所需时间里所走过的距离,因为驾驶员需要一定时间才能感知前车的速度变化;反应距离是驾驶员对这种变化进行操作决策(指制动)所需时间里行驶过的距离,因为驾驶员需要一定时间对前车的速度变化这一现象进行操作决策;操作距离为驾驶员开始制动到制动有效所需时间里行驶过的距离,从操作开始到操作发生作用需要一定时间。制动距离即驾驶员制动操作生效时到车辆停下来这一段时间所行驶的距离。因此理论安全间距(T_{ss})可以使用下式计算

$$T_{ss}=D_0+D_1+D_2 \quad (1)$$

式中: D_0 通常取为 0.5 m ^[13]; D_1 视为匀速行驶距离; D_2 视为匀减速行驶距离。因此 D_1 可以使用下式计算

$$D_1=(t_{11}+t_{12}+t_{13})v \quad (2)$$

式中: t_{11}, t_{12}, t_{13} 分别对应 3 个过程所需时间,通常取三者之和为 1.5 s ^[13-14]; v 为车辆的行驶速度。 D_2 则使用下式计算

$$D_2=\frac{1}{2}at^2 \quad (3)$$

式中: a 为最大减速度; t 为制动时间,由车辆行驶速度决定,即 $t=v/a$ 。

2 动态车头间距检测

2.1 第一步检测初始间距

本文将跟驰车辆称为自车(Self-Vehicle),被跟驰车辆称为前车(Front-Vehicle)。则自车速度为 v_s , 前车速度为 v_f , 其余符号角标与速度的角标相对应。

通过车载频波发射接收装置(可以是微波),第一次发射和接收频波,记从发射到接收到的这段时间为 t_1 , 发射和接收整个过程中自车前车的行驶过程如图 1 所示。

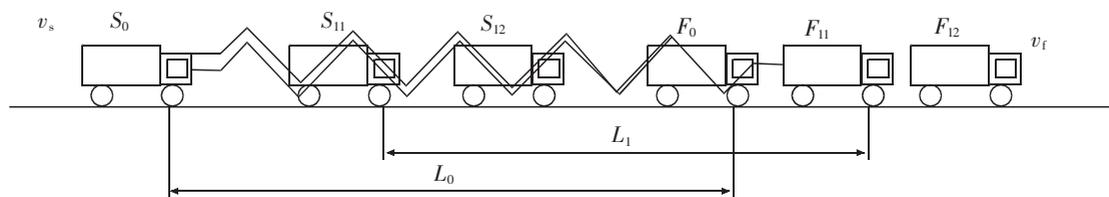


图 1 第一步检测

Fig.1 First-step detection

图1中, S_0 (或 F_0)表示第一次发射频波时(即初始时刻)自车(或前车)的位置状态; S_{11} (或 F_{11})为频波第一次接触到前车时刻自车(或前车)的位置状态; S_{12} (或 F_{12})为自车第一次接收到频波时刻自车(或前车)的位置状态。

由图1知,时间 t_1 由两部分构成,第一部分为自车从 S_0 处发射的频波从 S_0 处到达 F_{11} 处所需的时间,记为 t_{11} ,第二部分为频波从 F_{11} 处返回到 S_{12} 处所需的时间,记为 t_{12} 则有

$$t_1 = t_{11} + t_{12} \quad (\text{其中 } t_{11} = t_{1a} + t_{1b}) \quad (4)$$

式中: t_{1a} 为图1中检测波从 S_0 处到达 F_0 处所需的时间, t_{1b} 为图1中检测波从 F_0 处到达 F_{11} 处所需的时间。在图1中,根据运动的数学关系知, t_{1a} , t_{1b} , v_f , v_d 和 L_0 之间存在如下数学关系

$$t_{1a} = \frac{L_0}{v_d} \quad (5)$$

$$t_{1b} = \frac{L_0}{v_d} \quad v_f = \frac{L_0 v_f}{v_d^2} \quad (6)$$

式中: L_0 为发射频波初始时刻自车与前车之间的车头间距; v_d 为检测波的空间传播速度; v_f 为前车的行驶速度; v_s 为自车的行驶速度。

于是有:

$$t_{11} = \frac{L_0 (v_d + v_f)}{v_d^2} \quad (7)$$

根据式(5)和式(6),以及 t_{12} 与 t_{11} 的关系,有

$$t_{12} = \frac{L_0 + t_{11} (v_f - t_1 v_s)}{v_d} \quad (8)$$

根据式(4)~式(8),将 t_1 转化为关于 v_f 和 L_0 的函数,于是有

$$t_{12} = \frac{L_0 (2 v_d + v_f) + v_d v_f t_{11}}{v_d^2 + v_d v_s} \quad (9)$$

2.2 第二步检测速度和动态车头间距

在第一步检测的基础上,进行第二步检测。第二步发射频波的时刻为接收到第一步频波的时刻,记 t_2 为第二步从发射到接收到频波的时间段。在此过程中,自车和前车的行驶过程如图2所示。

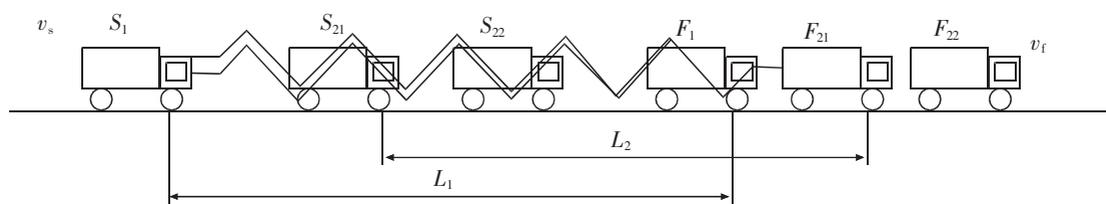


图2 第二步检测

Fig.2 Second-step detection

图2中, S_1 (或 F_1)表示前车第一次接收到返回频波的时刻(即 S_1 对应图1中的 S_{12} , F_1 则对应图1中的 F_{12})自车(或前车)的位置状态,此时也是自车第二次发射频波的时刻;第二次 S_{21} (或 F_{21})为频波第二次接触到前车时刻自车(或前车)的位置状态; S_{22} (或 F_{22})为自车第二次接收到频波时刻自车(或前车)的位置状态。

与 t_1 类似, t_2 同样由从自车第二次发射频波开始到频波第二次与前车接触的时间 t_{21} 和从频波第二次与前车接触后返回直到自车第二次接收到频波的时间 t_{22} 两部分组成,记

$$t_2 = t_{21} + t_{22} \quad (\text{其中 } t_{21} = t_{2a} + t_{2b}) \quad (10)$$

式中: t_{2a} 为图1中检测波从 S_1 处到达 F_1 处所需的时间; t_{2b} 为图1中检测波从 F_1 处到达 F_{21} 处所需的时间。

在图 2 中,同样根据运动的数学关系知, t_{2a}, t_{2b}, v_f, v_d 和 L_1 之间存在如下数学关系

$$t_{2a} = \frac{L_1}{v_d} \quad (11)$$

$$t_{2b} = \frac{L_1 v_f}{v_d^2} \quad (12)$$

式中: L_1 为发射频波初始时刻自车与前车之间的车头间距;其余同上。

$$t_{21} = \frac{L_1 (v_d + v_f)}{v_d^2} \quad (13)$$

同样,根据式(10)和式(11),以及 t_{22} 与 t_{21} 的关系,有

$$t_{22} = \frac{L_1 + t_{21} (v_f - t_2 v_s)}{v_d} \quad (14)$$

同样,根据式(10)~式(14),将 t_2 转化为关于 v_f 和 L_1 的函数,于是有

$$t_2 = \frac{L_1 (2 v_d + v_f) + v_d v_f t_{21}}{v_d^2 + v_d v_s} \quad (15)$$

根据图 1 和图 2,由机械运动的规律知 L_1 与 L_0 存在如下关系

$$L_1 = L_0 + L_1 \frac{2 v_d^2 + 2 v_d v_f + v_f^2 - v_s (v_d + v_f)}{v_d^3} (v_f - v_s) \quad (16)$$

结合式(9)、式(15)和式(16),可以得到一个由三个等式构成的 3 元方程组,则可以解得前车的速度 v_f 和 L_0, L_1 。同时由图 2,知 L_2 与 L_1 存在如下的数学关系

$$L_2 = L_1 + L_1 \frac{(v_d + v_f)}{v_d^2} (v_f - v_s) \quad (17)$$

在求得 L_1 和 v_f 的基础上,根据式(17)即可解得 L_2 。

由于两车同时在运动的,根据式(1)~式(3),则自车的理论安全间距 T_{ss} 为

$$T_{ss} = 0.5 + 1.5 v_s + \frac{v_s}{2} t_s \quad \text{其中}(t_s = \frac{v_s}{a}) \quad (18)$$

则动态车头间距 D_{vs} 为

$$D_{vs} = L_2 + \frac{v_f}{2} t_f \quad \text{其中}(t_f = \frac{v_f}{a}) \quad (19)$$

欲使式(18)大于式(19),则 v_s 需满足以下关系

$$v_s \leq \frac{2 D_{vs} - 1}{3 + t_s} \quad (20)$$

当自车和前车之间的 D_{vs} 小于 T_{ss} 时,预警系统将会提醒自车的驾驶员采取减速措施,式(20)所表示的意思就是驾驶员调整以后的行驶速度所满足的不等式关系。

3 预警系统构建及预警原理描述

3.1 预警系统构建

整个动态车头间距预警系统就是通过二步检测,得到实时的 D_{vs} 和 T_{ss} 。通过对 D_{vs} 和 T_{ss} 进行比较,判断 D_{vs} 是否是在安全值域内,以决定是否发出警告。概略结构设计如图 3。

通过两步发射和接收频波,可以得到高等级道路上同一车道前后两车之间的实时车头间距 D_{vs} ,同时根据自车的行驶速度以及最大减速度值得到自车所需的实时理论安全间距 T_{ss} ,两个实时的距离值作为预警系统决策的基础。

预警系统概略系统最终是通过比较 T_{ss} 与 D_{vs} 的大小关系,实时判断比较动态车头间距与理论安全车头间距的大小关系。根据对 D_{vs} 和 T_{ss} 的实时判断比较结果,决定预警系统是否发出警告,同时提醒驾驶员将速度调整到一定的范围以内。

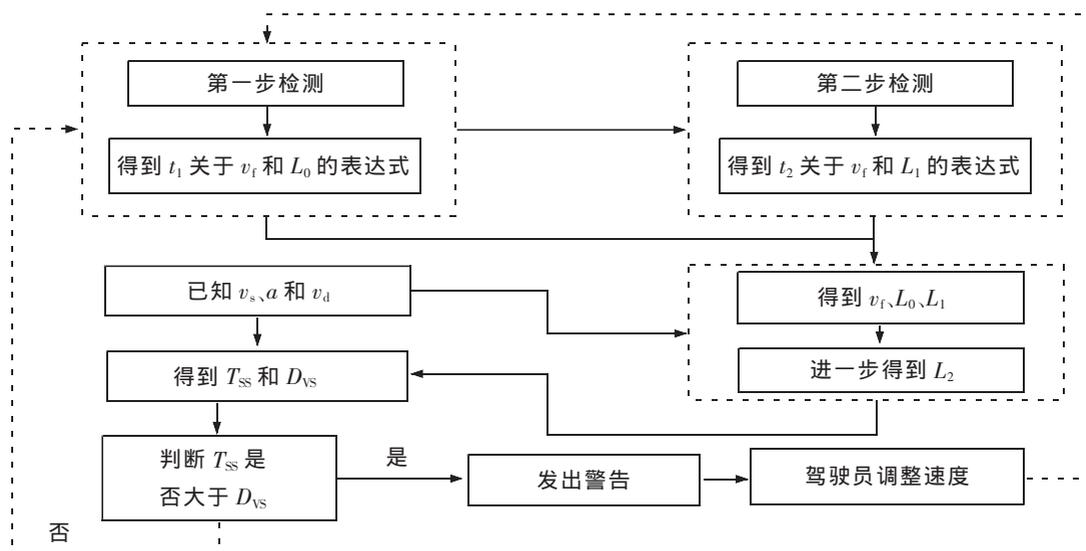


图3 预警系统概略设计

Fig.3 Pre-warning system outline design

3.2 预警原理描述

预警系统在于根据实时实际检测到的前车速度值、两车车之间的动态车头间距值和采集到的自车实时行驶速度值、两步检测波从发射到接收的时间 t_1 和 t_2 , 结合已知的加速度, 计算出 D_{VS} 和 T_{SS} , 从而确定是否两车的车头间距是否安全。

由式(18)知, T_{SS} 是由自车的行驶速度和减速度决定, 因此可知 T_{SS} 总是随着自车行驶速度改变而改变的。

由式(19)知, D_{VS} 由前车的行驶速度以及两车之间的车头间距决定, 因此当检测到某一时刻前车行驶速度和两车之间间距时, 即可得到 D_{VS} 。

为了保证 T_{SS} 小于 D_{VS} , 需要从两方面出发, 一是自车降低速度, 二是前车增加速度。作为预警系统, 主要是提醒自车驾驶员减速行驶, 保证安全车头间距。

通过两步检测, 得到的是的前车行驶速度和两车头间距, 并根据减速度和自车的行驶速度, 得到 T_{SS} 和 D_{VS} 。通过比较 T_{SS} 与 D_{VS} 的大小关系, 实时判断的动态车头间距是否处于危险值域内, 如果处于危险值域内 (即 D_{VS} 小于 T_{SS}), 则预警系统启动预警装置发出警告, 提醒驾驶员减速行驶 (安全速度通过式(19)计算), 然后进入下一个周期的二步检测。若处于安全值域内 (即 T_{SS} 不大于 D_{VS}), 则直接进入下一个周期的二步检测。如此不断重复二步检测, 每个周期都会得到更新的 $L_0, L_1, L_2, t_1, t_2, t_s, t_f$ 和 v_f , 并根据自车速度系统提供的实时 v_s , 计算得到实时的 D_{VS} 和 T_{SS} 。本质上, 二步检测其实就是一步检测, 因为每一步都可以得到一个 T_{SS} 和 D_{VS} , 每检测一次都会进行否发出警告的决策。通过反复比较 D_{VS} 和 T_{SS} 并判断是否发出警告, 以增加驾驶员随时调整行驶速度的能力, 保证了足够的动态车头间距, 从而可以从源头上避免追尾事故发生。

4 结语

本文主要是在理论安全间距的基础上, 通过反复的二次发射和接收频波完成实时的二步检测, 检测得到基于自车和前车速度实时理论安全间距 T_{SS} 和动态车头间距 D_{VS} , 通过比较 D_{VS} 和 T_{SS} 的大小关系, 判断当前的速度下的动态车头间距是否处于危险值域内以决定是否发出警告提醒驾驶员, 若当前的车头间距过小, 预警系统会提醒发出警告, 并提醒驾驶员应该把速度降到某个值以下, 有效地增强了驾驶员保持实时的安全车距能力, 从而有助于减少或者避免交通追尾事故的发生, 对提高等级道路交通安全水平具有重要理论指导意义。

参考文献:

- [1] 仇建华,王建勇. 基于 DSP 的车载测距安全预警系统研究[J]. 电子设计工程,2014(15):183-185.
- [2] 徐婷,曹世理,马壮林,等. 跟驰车流中的反应时间和车头间距研究[J]. 西南交通大学学报,2013(1):173-177.
- [3] 王丽,杜振财,荣建. 城市快速路期望车头间距模型的建立[J]. 北京工业大学学报,2005(6):599-603.
- [4] 陈光武,侯德藻,李晓霞,等. 高速公路实用安全车距计算模型[J]. 人类工效学,2001(1):41-44.
- [5] 王荣本,李文斌,储汇伟,等. 公路上基于车载单目机器视觉的前方车距测量方法的研究[J]. 公路交通科技,2001(6):94-98.
- [6] 张颖江,潘尧,吴聪. 基于车载系统双目 CCD 相机测距[J]. 实践方法,2016,7(1):57-62.
- [7] 谢宜生,沈国江,吴琦灿. 基于 MSP430 的车载雷达测速测距系统[J]. 计算机工程,2011,37(18):236-239.
- [8] 顾兆伦,邵雨辰,谢扬振. 多环境下的实时前车检测与车距测量[J]. 信号处理,2015(9):1188-1193.
- [9] 沈燕,高晓蓉,李金龙. 超声车距预警系统设计[J]. 现代电子技术,2012(13):191-194.
- [10] MILES UPTON. Techniques for distance measurement[J]. SAE Technical Paper 952085, 1995.
- [11] SHOIL CHI TANAKA. Scanning laser radar for on-the-road distance measuring[J]. Automotive Engineering, 1997(7):49-52.
- [12] 钟勇,姚剑峰. 行进中车辆临界安全车距的探讨[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2001,28(6):54-58.
- [13] 吴兵,李晔. 交通管理与控制[M]. 北京:人民交通出版社,2009.
- [14] 任福田,刘小明,荣建. 交通工程学[M]. 北京:人民交通出版社,2008.

Research on Detection Model for Dynamical Space Headway of High-level Road Based on Two-step Detection

Qin Peng¹, Zhao Zuju², Wang Zheng¹

(1. College of Transport and Communication, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

2. College of Business and Administration, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China)

Abstract: Relatively shorter dynamical vehicle space which results from the disability of driver on estimating is the main reason for traffic rear-end collision accidents. Therefore, the essential approach for reducing rear-end collision accidents is improving drivers' ability of estimating dynamical vehicle space. Based on the two-step detection, this paper proposes the detection theory to establish an alarming system for dynamical vehicle space. By transmitting and receiving Frequency-Wave with two step, the real-time speed of the front car and the dynamical vehicle space (short for DVS) between the two vehicles can be detected, and the theoretic safety space (short for TSS) can be calculated. By comparing the DVS and the TSS, the alarming system can remind the driver with warming. By improving drivers' ability of estimating dynamical vehicle space, this alarming system theory can effectively contribute to avoiding rear-end collision accidents.

Key words: dynamical vehicle space; two-step detection; alarming system; rear-end collision

(责任编辑 姜红贵)