

# 交通冲突判别模型

郭伟伟<sup>1</sup>, 曲昭伟<sup>1</sup>, 王殿海<sup>1,2</sup>

(1. 吉林大学 交通学院, 长春 130022; 2. 浙江大学 建筑工程学院, 杭州 310058)

**摘要:**为了提高交通冲突判别的精度,综合运用交通冲突理论、相对运动理论和费歇判别原理,建立了以速度、距离和角度等变量为核心的综合交通冲突判别模型。将交通冲突判别划分为交通冲突发生判别和交通冲突严重程度判别两个阶段。对交通冲突进行了定性及定量的描述,分析了冲突的成因及冲突对象的运行规律,建立了临界冲突区域模型。运用费歇判别原理建立了交通冲突严重程度判别模型,形成了完整的交通冲突判别模型。该模型可用于预测及判别任意交通实体间的冲突,为交通冲突自动识别技术提供了理论基础。

**关键词:**交通运输安全工程; 交通冲突判别; 向量几何原理; 临界冲突区域; 费歇判别原理

**中图分类号:**U491    **文献标志码:**A    **文章编号:**1671-5497(2011)01-0035-06

## Traffic conflict discrimination model

GUO Wei-wei<sup>1</sup>, QU Zhao-wei<sup>1</sup>, WAND Dian-hai<sup>1,2</sup>

(1. College of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. College of Construction, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** To improve the precision of traffic conflict discrimination, a comprehensive traffic conflict discrimination model was established using the traffic conflict theory, the relative movement theory and Fisher discrimination principle and taking the speed, distance and angle as key variables. The traffic conflict discrimination was devided into two phases: the occurring phase of traffic conflict and the discriminating phase of traffic conflict severity. The traffic conflicts were analyzed qualitatively and quantitatively, the causes of the traffic conflict and the movement patterns of the conflicting objects were studied to build a critical conflict region. A model to discriminate the severity of traffic conflict was built using the Fisher discrimination principle. Thus a complete traffic conflict discrimination model was achieved. This model can be applied to predict and judge the conflict between any two of motor vehicles, non-motor vehicles, and pedestrians, providing a theoretical basis for automatic recognition technique of traffic conflicts.

**Key words:** engineering of communication and transportation safety; traffic conflict discrimination; vector geometry principle; critical conflict region; Fisher discrimination principle

---

收稿日期: 2010-01-13.

基金项目:“863”国家高技术研究发展计划项目(2009AA11Z210);国家科技支撑计划重点项目(2006BAJ18B07).

作者简介: 郭伟伟(1983-),女,博士研究生. 研究方向: 交通控制, 交通规划. E-mail: guoww2002@163.com

通信作者: 王殿海(1962-),男,教授,博士生导师. 研究方向: 交通控制, 交通流理论, 交通规划.

E-mail: wangdianhai@sohu.com

交通冲突技术的基本内容包括两方面:①通过交通观测判断交通冲突的严重程度;②根据冲突与事故的潜在关系预测事故发生的可能性及严重程度<sup>[1]</sup>。国内外对交通冲突及其判别方法进行了大量的研究<sup>[2-4]</sup>。1977 年第一届国际 TCT(Traffic conflict technology)会议统一了交通冲突的定义<sup>[5]</sup>。20 世纪 80 年代后期至今,国外的 TCT 已由理论研究阶段发展到实际应用阶段<sup>[6-7]</sup>,主要研究方向已经转入冲突的自动记录及判别技术和冲突技术应用范围的推广等综合性研究领域。国内自 1988 年开始对交通冲突技术进行研究,在充分借鉴国外成熟理论的基础上,提出了适合国内交通特点的非完全制动时间概念<sup>[8]</sup>。国内对冲突与事故的关系研究较多<sup>[9]</sup>,对冲突判别问题研究较少,在实际应用中仍采用简单的距离判别法、时间判别法,甚至是粗略的目测法<sup>[10]</sup>。这些方法均选取单一的时间或距离为判别指标,不能全面反应冲突的动态时空特性。所以,本文以速度、距离和角度 3 个变量为核心建立交通冲突判别指标,以充分体现冲突特性,提高判别精度。

## 1 基本定义

交通冲突:在道路上,两个及两个以上交通实体在运行或静止过程中,如果双方感知到危险的存在,若不采取任何措施则会有事故产生,而一旦采取措施即能避免事故发生,这个从交通实体感知到危险存在持续到事故被有效制止的过程称为交通冲突。实际上,每个运动状态确定的交通实体周围都存在一个临界冲突区域,若其他交通实体进入了该临界冲突区域,导致双方采取了避险措施并有效制止了事故的发生,这便是一个交通冲突。

为了便于后文描述,引入临界冲突区域半径的概念。假定临界冲突区域形状如图 1 所示,它是一个随着交通实体运动状态变化而变化的区域。以交通实体 O 为中心,以行驶方向为 y 轴建立直角坐标系, A 为干扰交通实体,连接中心 O 与交通实体 A, OA 与 x 轴正向的夹角为  $\varphi$ , 定义线段 OA 为临界冲突区域半径  $R(\varphi)$ ,  $\varphi$  即为临界冲突区域半径的夹角,任意  $\varphi$  都对应一个临界冲突区域半径。由此可见,  $R(\varphi)$  为关于  $\varphi$  的函数。临界冲突区域实质上为无限个临界冲突区域半径的集合,若能确定临界冲突区域半径与夹角的函

数关系,即可精确地描述临界冲突区域。

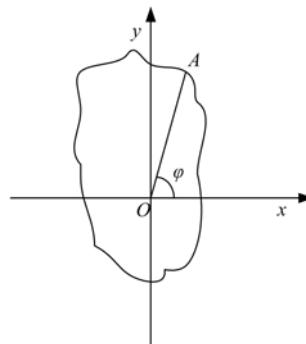


图 1 临界冲突区域半径示意图

Fig. 1 Radius schematic diagram of critical conflict regions

## 2 临界冲突区域确定

临界冲突区域的大小和形状一方面随着交通实体本身的运动状态的变化而变化,另一方面受外部干扰对交通实体的运动方向及速度大小的影响而变化。所以,若外界环境中所有物体均相对静止,交通实体在运动过程中只需与静止物体保持一定的安全距离即可;若周围交通实体以一定的速度运动,则可依其运动方向及速度大小分析临界冲突区域的变化规律。下面以两个交通实体为例分析说明,其中 I 为运动中心交通实体, II 为干扰交通实体,忽略交通实体本身的大小。

### 2.1 运动方向对临界冲突区域的影响

如图 2 所示,以交通实体 I(简称 I)为坐标原点,建立直角坐标系,交通实体 I 的速度为  $v_1$ ,交通实体(简称 II)的速度为  $v_2$ 。 $v_2$  相对 I 的相对速度为  $v_{21}$ ,  $v_{21}$  的方向变化时, I 所需要的安全距离也随之变化。从安全角度出发,在两交通实体相对位置关系确定的情况下, I 的临界冲突区域半径应该满足 II 的速度方向任意变化的安全需

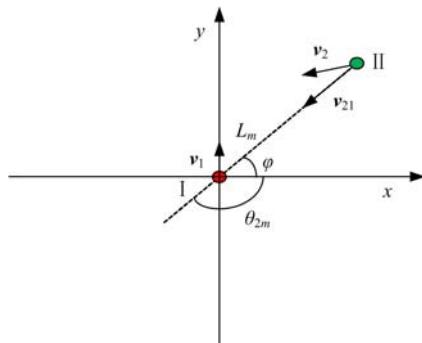


图 2 临界冲突区域分析

Fig. 2 Analysis of critical conflict regions

要,为了确定临界冲突区域半径,需要获取最大安全距离,并将其确定为临界冲突区域半径  $R$ 。显然,如图 2 所示,II 的相对速度  $v_{21}$  的方向沿 I、II 间连线  $L_m$  并指向 I 时, I 所需要的安全距离最大。

假设此时 II 的位置角度为  $\varphi$ (即两交通实体连线与  $x$  轴之间的夹角), II 的速度方向为  $\theta_{2m}$ (即  $v_2$  的方向与  $x$  轴之间的夹角),那么  $R$  为关于  $|v_1|$ 、 $|v_2|$ 、 $\varphi$ 、 $\theta_{2m}$  的函数,如式(1)所示,其详细解析见式(12)~式(14)。

$$R(\varphi) = f_1(|v_1|, |v_2|, \theta_{2m}, \varphi) \quad (1)$$

## 2.2 速度大小对临界冲突区域的影响

II 的速度大小直接影响临界冲突区域的变化。假设 I 的速度不为 0, 分别讨论 II 的速度位于不同范围时对临界冲突区域的影响规律。

### 2.2.1 II 静止状态

I 只需保证与 II 的安全间距即可,只有 II 位于 I 的正前方时,需要考虑 I 自身的安全制动距离。

### 2.2.2 II 运动状态

(1) II 以小于 I 的速度运行,即  $|v_2| < |v_1|$ 。

若交通实体 II 的速度小于 I 的速度,且  $\varphi$  在一定区间内时,临界冲突区域存在。例如 II 位于 I 的后方,不可能发生冲突,说明  $\varphi \notin [\pi, 2\pi]$ 。 $|v_2|$  相对越小,  $\varphi$  的取值范围就越小,可能发生冲突的区域也越小。借助向量几何原理分析  $\varphi$  的取值范围与速度大小的关系。

如图 3 所示,在坐标系  $y-x$  中,  $\varphi \in [0, \pi/2]$ , I 的速度为向量  $v_1$ , II 的速度为  $v_2$ 。在  $v_1$  一定的情况下,若 I 和 II 发生冲突,  $v_2$  的取值存在若干种选择。为便于描述,此处仅以  $v_{2a}$ 、 $v_{2b}$ 、 $v_{2c}$  为例进行说明,其相对速度分别为  $v_{2a1}$ 、 $v_{2b1}$ 、 $v_{2c1}$ 。II 的相对速度  $v_{21}$  如式(2)所示。

$$v_{21} = v_2 - v_1 \quad (2)$$

则  $v_2 = v_{21} + v_1 \quad (3)$

由向量几何原理及图 3 可以看出,若要保证相对速度  $v_{21}$  的速度方向沿 I、II 连线  $L_m$  并指向 I 时,向量  $v_2$  的终点均要落在上方虚线  $L_n$  上,这里虚线  $L_n$  与  $L_m$  平行。又因为向量  $v_{2c}$  与  $L_n$  垂直,则  $|v_{2c}|$  是 II 所有可能速度中的最小值,结合前文所述,  $\varphi$  值一定的情况下,  $|v_2|$  需不小于图 3 中  $v_{2c}$  所示速度的大小,即

$$|v_2| \geqslant |v_1| \times \cos \varphi \quad (4)$$

另一方面,若  $|v_2|$  变小,要保证相对速度  $v_{21}$

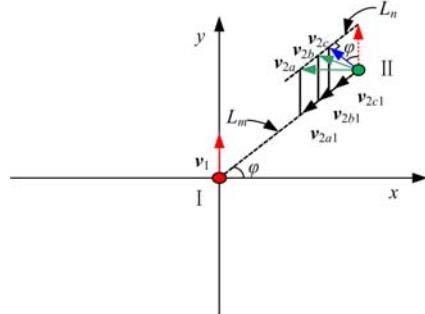


图 3  $|v_2| < |v_1|, \varphi \in [0, \pi/2]$  时冲突范围分析

Fig. 3 Analysis of conflict regions when

$$|v_2| < |v_1|, \varphi \in [0, \pi/2]$$

的方向沿 I、II 间连线  $L_m$  并指向 I 时,则  $\varphi$  值需相应地变大,反之则变小。总之,对于每个给定的  $v_2$ ,都存在一个相应的最小  $\varphi$  值,限定了可能发生冲突的临界范围,如式(5)所示。

$$\varphi \geqslant \arccos \frac{|v_2|}{|v_1|} \quad (5)$$

如图 4 所示,在坐标系  $y-x$  中,  $\varphi \in (\pi/2, \pi]$  时同理,可得到

$$|v_2| \geqslant |v_1| \times \cos(\pi - \varphi) \quad (6)$$

则  $\varphi \leqslant \pi - \arccos \frac{|v_2|}{|v_1|} \quad (7)$

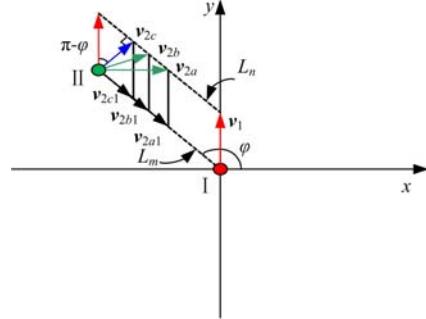


图 4  $|v_2| < |v_1|, \varphi \in (\pi/2, \pi]$  时冲突范围分析

Fig. 4 Analysis of conflict regions when

$$|v_2| < |v_1|, \varphi \in (\pi/2, \pi]$$

综合式(5)(7)可得到  $\varphi$  的取值范围如下:

$$\varphi \in \left[ \arccos \frac{|v_2|}{|v_1|}, \pi - \arccos \frac{|v_2|}{|v_1|} \right] \quad (8)$$

式中:  $\arccos \frac{|v_2|}{|v_1|} \in (0, \pi/2)$ 。

(2) II 以等于 I 的速度运行,  $|v_2| = |v_1|$ 。

如图 5 所示,采用同(1)的分析方法,得到  $\varphi$  的取值范围如式(9)所示,其中  $\varphi = 0, \varphi = \pi$  为边界值。

$$\varphi \in (0, \pi) \quad (9)$$

如图 6 所示,若  $\varphi = 0$ ,由三角形原理可知

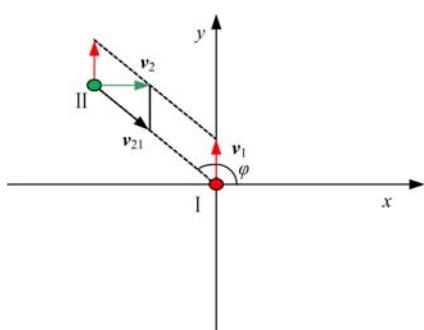
图 5  $|v_2| = |v_1|, \varphi \in (0, \pi)$  时冲突范围分析

Fig. 5 Analysis of conflict regions when

$$\begin{aligned} &|v_2| = |v_1|, \varphi \in (0, \pi) \\ &|v_2| > |v_1| \end{aligned} \quad (10)$$

与前提  $|v_2| = |v_1|$  矛盾, 所以这里将  $\varphi = 0$  舍去, 同理将  $\varphi = \pi$  舍去。

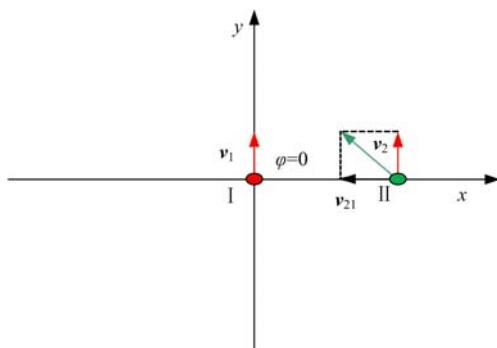
图 6  $|v_2| = |v_1|, \varphi = 0$  时冲突范围分析

Fig. 6 Analysis of conflict regions when

$$|v_2| = |v_1|, \varphi = 0$$

(3) II 以大于 I 的速度运行,  $|v_2| > |v_1|$ 。

如图 7 所示, 与(1)、(2)中的分析方法相同, 此处不再赘述, II 处于任何方位, 都有可能发生冲突, 所以  $\varphi$  的取值范围如式(11)所示:

$$\varphi \in (0, 2\pi] \quad (11)$$

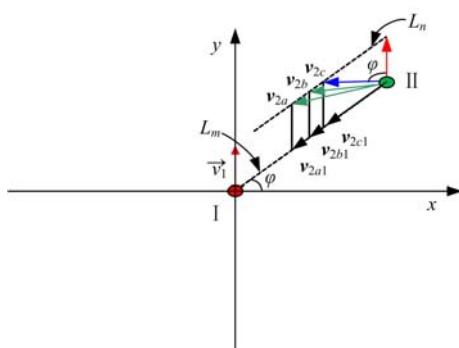
图 7  $|v_2| > |v_1|, \varphi = (0, 2\pi]$  时冲突范围分析

Fig. 7 Analysis of conflict regions when

$$|v_2| > |v_1|, \varphi = (0, 2\pi]$$

### 2.3 模型建立

根据以上 2.1、2.2 节的理论分析, 建立临界冲突区域模型如式(12)~式(14)所示。

$$v_2 = 0 \text{ 时}$$

$$R(\varphi) = l_0, \varphi \neq \pi/2 \quad (12)$$

$$R(\varphi) = \frac{|v_1|^2}{2a_2} + l_0, \varphi = \frac{\pi}{2} \quad (13)$$

式中:  $a_2$  为 II 的减速度。

此时外部交通实体均相对静止, I 的临界冲突区域体现了其与静止状态交通实体的安全空间。仅当正前方存在干扰交通实体时, 临界冲突区域半径增大。临界冲突区域的形状近似圆形。

$$v_2 \neq 0 \text{ 时}$$

$$R(\varphi) = \left| \frac{|v_2| \cdot \cos \left[ \varphi - \arcsin \left( \frac{|v_1|}{|v_2|} \cos \varphi \right) \right]}{\cos \varphi} \right|^2 / 2a_2 + l_0 \quad (14)$$

此时临界冲突区域受外部干扰对交通实体的位置、速度大小、运动方向等影响, 当然其自身的运动也是必然的影响因素。式(14)所示模型给出了任意方向的保障交通安全的最小距离, 该距离随冲突双方的运动速度及相对位置关系的变化而变化, 能够同时体现速度、距离和角度对交通冲突的影响。当  $\varphi$  为自变量, 取遍所有范围内数值, 便构成了临界冲突区域。这里  $\varphi$  的取值范围由双方相对速度大小决定, 具体如下式(15)~式(20)所示。

$$|v_2| < |v_1| \text{ 时}$$

$$\varphi \in \left[ \arccos \frac{|v_2|}{|v_1|}, \pi - \arccos \frac{|v_2|}{|v_1|} \right] \quad (15)$$

$$\text{否则 } R(\varphi) = l_0 \quad (16)$$

$$|v_2| = |v_1| \text{ 时}$$

$$\varphi \in (0, \pi) \quad (17)$$

$$\text{否则 } R(\varphi) = l_0 \quad (18)$$

$$|v_2| > |v_1| \text{ 时}$$

$$\varphi \in [0, 2\pi], \text{ 且 } \varphi \neq \pm \pi/2 \quad (19)$$

$$\text{若 } \varphi = \pm \pi/2$$

$$R(\varphi) = \frac{(|v_2| \pm |v_1|)^2}{2a_2} + l_0 \quad (20)$$

### 2.4 应用说明

前述式(12)(13)为各种情况下的临界冲突区域模型, 在判断两个相对运动的交通实体之间是否发生冲突时, 以任意一方为中心, 采集双方的相对位置关系及速度等变量, 由模型获得临界冲突区域, 若另一方位于临界冲突区域范围之内说明

发生冲突,反之则未发生冲突。实际应用过程中,需要根据冲突对象间相对速度大小选定相应的计算模型。

### 3 交通冲突严重程度判别

#### 3.1 严重程度级别的确定

交通冲突严重程度判别的目的是预测事故的严重程度,进而评价道路交通安全。按照相关法规,事故级别通常分为特大事故、重大事故、一般事故和轻微事故。由此,本文暂将交通冲突严重程度划分为两个级别,即严重冲突和非严重冲突,根据不同的目的或需求也可以划分为更多的级别。

#### 3.2 严重程度判别函数

参数说明:A类表示严重冲突;B类表示非严重冲突。

影响判别结果的因子为交通状态参数,即冲突对象的速度大小 $|v_1|$ 、 $|v_2|$ ,冲突对象间的距离 $d$ 和冲突角 $\theta$ 。临界冲突区域的计算模型中,Ⅱ在最危险的 $\theta_{2m}$ 方向的速度分量大小 $|v_{\theta_{2m}}|$ 体现了冲突角的影响作用,所以将速度 $|v_2|$ 和冲突角 $\theta$ 综合为一个影响因子 $|v_{\theta_{2m}}|$ ,那么影响判别结果的因子为 $|v_1|$ 、 $|v_{\theta_{2m}}|$ 、 $d$ 。由此,需要判别的类别数 $m=2$ ,影响判别结果的因子数 $p=3$ ,影响判别结果的因子分别以 $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 表示,根据费歇判别原理建立如下判别函数:

$$u = c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 = \sum_{j=1}^3 x_j c_j \quad (21)$$

式中: $u$ 为判别函数; $c_j$ 为判别系数, $j=1,2,3$ 。

设A、B类样品的采集数分别为 $n_1$ 、 $n_2$ 个,则第*i*个样品的第*j*个判别因子为

$$x_{ij}^{(A)}, i = 1, 2, \dots, n_1; j = 1, 2, 3 \quad (22)$$

$$x_{ij}^{(B)}, i = 1, 2, \dots, n_2; j = 1, 2, 3 \quad (23)$$

判别分析的任务是确定系数 $c_1, c_2, \dots, c_p$ ,使综合因子 $u$ 的取值保障A、B两类的区别最大,即类间变差最大;而A、B两类本身的离散度应该最小,也即类内变差为最小。

A、B两类的类间变差平方和为

$$Q = \left[ \sum_{j=1}^p c_j (\bar{x}_j^{(A)} - \bar{x}_j^{(B)}) \right]^2 \quad (24)$$

A、B两类的类内变差平方和为

$$F = \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^p c_j c_k s_{jk} \quad (25)$$

式中:

$$\begin{aligned} s_{jk} = & \sum_{i=1}^{n_1} (x_{ij}^{(A)} - \bar{x}_j^{(A)}) (x_{ik}^{(A)} - \bar{x}_k^{(A)}) + \\ & \sum_{i=1}^{n_2} (x_{ij}^{(B)} - \bar{x}_j^{(B)}) (x_{ik}^{(B)} - \bar{x}_k^{(B)}) \end{aligned} \quad (26)$$

在确定了样本的类间变差和类内变差后,应检验样品的有效性质量,即两类样品所代表的两个总体是否有显著差异。

要使类间变差 $Q$ 达到最大,类内变差 $F$ 达到最小,可以 $F$ 为标准,使A、B两类的相对变差 $I$ 达到最大,相对变差为

$$I = Q/F \quad (27)$$

由极值原理,有

$$\frac{\partial I}{\partial c_j} = 0, j = 1, 2, 3 \quad (28)$$

解方程组即可确定待定系数。从而得到阈值 $\bar{u}_0$ 为

$$\bar{u}_0 = \frac{n_1 \bar{u}^{(A)} + n_2 \bar{u}^{(B)}}{n_1 + n_2} \quad (29)$$

$$\text{式中: } \bar{u}^{(A)} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^3 c_j x_{ij}^{(A)} \quad (30)$$

$$\bar{u}^{(B)} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} \sum_{j=1}^3 c_j x_{ij}^{(B)} \quad (31)$$

#### 3.3 应用说明

采集一组交通冲突数据,经过处理,得到相应的判别因子的值为 $v_1^*$ 、 $v_{\theta_{2m}}^*$ 、 $d^*$ ,可按下述原则判别交通冲突严重程度。

判别函数值为

$$u^* = c_1 v_1^* + c_2 v_{\theta_{2m}}^* + c_3 d^* \quad (32)$$

设 $\bar{u}^{(A)} \geq \bar{u}_0$ ,若 $u^* > \bar{u}_0$ ,则 $u^*$ 属于A类,否则属于B类。

设 $\bar{u}^{(A)} < \bar{u}_0$ ,若 $u^* < \bar{u}_0$ ,则 $u^*$ 属于A类,否则属于B类。

### 4 结束语

分别从定性及定量角度对交通冲突进行了描述,在此基础上建立了临界冲突区域模型,确定了交通冲突发生的判别指标;针对当前交通冲突判别指标单一的问题,建立了以速度、距离和角度为指标的交通冲突严重程度判别函数,最终形成了以交通冲突发生判别和交通冲突严重程度判别为核心的综合交通冲突判别模型。交通冲突发生判别模型可用于车辆辅助驾驶的冲突自动识别模块;完整的综合交通冲突判别模型则可用于交通

安全评价领域。由于验证过程需要获取交通实体的速度、角度、位置等精确数值,对检测设备要求较高,操作尚有一定困难,作者在下一阶段将通过大量实验逐步完善模型验证及应用工作。

#### 参考文献:

- [1] 张鑫. 交通冲突技术相关问题研究[D]. 北京交通大学, 2005.  
Zhang Xin. The research on the relative issue of traffic conflict technology[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2005.
- [2] 曲昭伟, 李志慧, 胡宏宇, 等. 基于视频处理的无信号交叉口交通冲突自动判别方法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2009, 39(2): 163-167.  
Qu Zhao-wei, Li Zhi-hui, Hu Hong-yu, et al. Traffic conflict automatic discrimination at non-signalized intersection based on video processing[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2009, 39(2): 163-167.
- [3] 唐阳山, 李江, 田育耕, 等. 交通冲突量的混沌预测[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2005, 35(6): 646-648.  
Tang Yang-shan, Li Jiang, Tian Yu-geng, et al. Chaos forecast for traffic flow[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2005, 35(6): 646-648.
- [4] Chin Hoong Chor, Quek Ser Tong. Measurement of traffic conflicts[J]. Safety Science, 1997, 26(3): 169-185.
- [5] 克列斯特 海顿, 交通冲突技术[M]. 张苏译. 成都: 西南交通大学出版社, 1994.
- [6] Tiwari G, Mohan D, Fazio J. Conflict analysis for prediction of fatal crash locations in mixed traffic streams[J]. Accident Analysis and Prevention, 1998, 30(2): 207-215.
- [7] Mohammed T Mallah. Development of a conflict rate prediction model at unsignalized intersections [D]. Los Angeles: University of South Florida, 2003.
- [8] 张苏. 中国交通冲突技术[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1998.
- [9] 管晓伟. 基于交通冲突技术的平面交叉口安全评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2006.  
Guan Xiao-wei. Intersection safety evaluation based on traffic conflict technique [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2006.
- [10] 张学亮, 邓卫, 郭唐仪. 基于冲突率的交叉口交通安全评价方法研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2007, 5(1): 85-90.  
Zhang Xue-liang, Deng Wei, Guo Tang-yi. Development of traffic safety evaluation method based on TCT at grade crossings[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2007, 5(1): 85-90.