

附录3.4 安全评价模型

TTC 一般可以定义为：如果车辆不改变当前的运动特性，则控制车辆与前方跟随车辆相撞所需要的时间。也可以理解为采取某种对策以避免碰撞的时间衡量标准。如果后车没有采取相应的对策来响应前车的突然减速，则会发生追尾冲突。TTC 值越小，意味着发生碰撞的可能性越高，即此种场景越危险。

$$TTC = \frac{S}{\Delta V}$$

由于 TTC 评价中未考虑加速度对跟车模型的影响，因此采用 MTTC 的安全评价标准更符合现实情况。MTTC 的计算方式如下，在确定采取加速度动作 $a_{act}=a_2$ 后，每一个当前状态下均有一个 MTTC 的值， $MTTC=f(v_1, v_2, a_{act}, s)$ ，对一段时间序列的 MTTC 求平均值。作为该状态下的 MTTC 值，与 MTTC 的标准阈值 s_4 比较，高于该阈值时认为该状态下较安全，低于时认为处于危险状态。

V	$V_F > V_L$			$V_F \leq V_L$		
a	$a_L > 0$	$a_L < 0$	$a_L = 0$	$a_L > 0$	$a_L < 0$	$a_L = 0$
$a_F > 0$	P	C	C	P	C	P
$a_F < 0$	P	P	P	I	P	I
$a_F = 0$	P	C	C	I	C	I

C：冲突发生；P：可能冲突；I：不可能发生冲突

判断是否可能发生冲突完全是基于两车的轨迹参数，包括相对距离、相对速度和相对加速度的计算方法如下：

$$V_F t + \frac{1}{2} a_F t^2 \geq D + V_L t + \frac{1}{2} a_L t^2$$

$$\frac{1}{2} \Delta a t^2 + \Delta V t - D \geq 0$$

MTTC: modified time to collision

$$t_1 = \frac{-\Delta V - \sqrt{\Delta V^2 + 2\Delta a D}}{\Delta a}$$

$$t_2 = \frac{-\Delta V + \sqrt{\Delta V^2 + 2\Delta a D}}{\Delta a}$$

$$TTC = \begin{cases} t_2, & t_1 \geq t_2 > 0 \\ t_1, & t_2 > t_1 > 0 \\ t_1, & t_1 > 0 \text{ and } t_2 \leq 0 \\ t_2, & t_1 \leq 0 \text{ and } t_2 > 0 \\ \frac{S}{\Delta V}, & \Delta a = 0 \text{ and } \Delta V > 0 \end{cases}$$

$$\overline{MTTC} = (\sum_{t=0}^{t=t_k} MTTC_{t_a}) / k$$

一般来说，如果 TTC 较小，则会发生碰撞，因自车没有足够的时间做出响应并采取措施来避免碰撞。然而，很难确定 TTC 值实际上有多短，因不同的驾驶车辆具备不同的响应能力，并且车辆的性能、交通状况也会影响 TTC。以往的研究也对 TTC 阈值的选择提出了不同的建议。例如，Van der Horst (1991) 和 Farber (1991) 建议 TTC 值为 4 秒，以区分道路上的安全和不舒适情况。Hogema 和 Janssen (1996) 建议，对于没有自动巡航控制系统的驾驶员，TTC 最小值为 3.5 秒，对于配备车辆的驾驶员，TTC 最小值为 2.6 秒。

目前没有广泛认同的一个标准，但是设定一个合理的阈值仍然必要。在本研究中，设计的仿真环境中为无事故环境，同时模拟驾驶员也工作在理想情况，因此选择一个相对较长的 TTC 是合理的。

在跟驰和换道场景中，通过计算平均 MTTC 值表征该场景下的安全性，越高的 MTTC 代表当前的安全性越高。在无保护左转中，使用通过路口的时间差评价左转的安全性

$$\Delta T = \frac{d_1}{v_1} - \frac{\theta_3}{w_3}$$

ΔT 值越大，表明直行车离冲突点就越远，即此时采取左转策略越安全，当 ΔT 较小时，则左转车减速停车等待直行车通过。