



مقایسه و بررسی انواع مدل‌های تعقیب خودرو

سید صابر ناصرعلوی^۱، نوید ندیمی، مهدی شفیعی^۲

دو نویسنده اول: استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان

نویسنده سوم: دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری

چکیده

مدل‌های شبیه‌سازی، ابزارهای بسیار مفیدی در مطالعه ترافیک در یک شبکه حمل‌ونقلی می‌باشند. این مدل‌ها بر اساس سطح جزئیاتی که ارائه می‌کنند، به سه گروه شامل: مدل‌های کلان، خرد و مزوسکوپیک طبقه‌بندی شوند. مدل‌های خرد خود شامل زیر مدل‌های مختلفی هستند که هر یک عملیات به‌خصوصی در زمینه شبیه‌سازی ترافیک انجام می‌دهد. یکی از این زیر مدل‌ها، مدل‌های تعقیب خودرو بوده که به بررسی اندرکنش میان یک خودرو، با وسیله‌نقلیه جلویی در یک خط مشابه می‌پردازد. تاکنون مدل‌های تعقیب خودرو مختلفی توسعه یافته و در مدل‌های شبیه‌سازی ترافیک بکار گرفته شده است. در این مقاله ابتدا مرور کاملی بر انواع مدل‌های تعقیب خودرو، انجام و نیز نرم‌افزارهای شبیه‌سازی توسعه یافته بر مبنای این مدل‌ها، معرفی می‌گردد. سپس چالش‌ها و کمبودهای مدل‌های تعقیب خودرو موجود، ذکر و در نهایت جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از مباحث ارائه می‌گردد.

کلید واژه: شبیه‌سازی، مدل تعقیب خودرو، جریان ترافیک، مدل خرد

¹ ssna60@yahoo.com or saber_naseralavi@uk.ac.ir



۱- مقدمه

شبیه‌سازی ارائه دینامیکی سیستم دنیای واقعی با استفاده از مدل‌های کامپیوتری می‌باشد. تاریخچه شبیه‌سازی به کمی بعد از معرفی اولین کامپیوتر دیجیتالی در دهه ۱۹۳۰ برمی‌گردد. کاربرد شبیه‌سازی جهت مطالعات جریان ترافیک و فرمولاسیون‌های مدل‌های شبیه‌سازی ترافیکی پس از توسعه تئوری جریان ترافیک در دهه ۱۹۵۰ شروع شد [۱]. مدل‌های شبیه‌سازی ترافیک دارای توانایی بررسی و ارزیابی پروژه‌های حمل‌ونقلی تحت شرایط مختلف (شامل شرایطی که به‌سختی بتوان در میدان مشاهده کرد) می‌باشند. از این‌رو مدل‌های شبیه‌سازی ابزارهای ارزیابی ترافیک بسیار مفیدی محسوب می‌شوند. کاربرد شبیه‌سازی به‌منظور مدل‌سازی جریان ترافیک، به‌دلیل پیشرفت‌های جاری در فن‌آوری‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری کامپیوتر، افزایش پیدا کرده است. یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی که متخصصین حمل‌ونقل با آن روبه‌رو هستند، دقت مدل‌های کامپیوتری است که برای برنامه‌ریزی و تحلیل‌های عملیاتی بزرگراه‌ها مورد استفاده قرار می‌دهند.

مدل‌های شبیه‌سازی ترافیکی بر اساس سطح جزئیاتی که ارائه می‌کنند، می‌توانند به سه رده به اسامی مدل‌های کلان، خرد و مزوسکوپی طبقه‌بندی شوند. مدل‌های شبیه‌سازی خرد، رفتار تک‌تک خودروها را در یک سیستم ترافیک با استفاده از زیر مدل‌های تعقیب خودرو^۱، تغییر خط^۲، پذیرش گپ^۳ و انتخاب مسیر^۴، شبیه‌سازی می‌کند. زیر مدل‌های تعقیب خودرو، افزایش سرعت خودروها را از تعامل آنها با سایر کاربرهای جاده و همچنین با اشیای جاده مشخص می‌کنند. زیرمدل‌های تغییرخط به راننده جهت حرکت از یک خط عبور به بقیه خطوط عبور بر اساس شرایط ترافیکی حاکم و اهداف راننده کمک می‌کنند. زیر مدل‌های پذیرش گپ جهت توصیف پیوند خودروها به جریان ترافیک یک مسیر، به‌کارمی‌روند. تشخیص انتخاب مسیرهای راننده با استفاده از زیرمدل‌های انتخاب مسیر انجام می‌شود. به مدل‌های شبیه‌سازی خرد^۵، مدل‌های شبیه‌سازی میکرو^۶ نیز گفته می‌شود. پارامترهای این مدل‌ها شامل: سرفاصله مکانی، سرفاصله زمانی، سرعت خودروها، افزایش سرعت‌ها و پارامترهای رفتاری راننده و غیره می‌باشند. میانگین این پارامترها برای استنباط پارامترهای کلان به‌کار می‌روند [۲ و ۳].

مدل‌های تعقیب خودرو یکی از مهمترین زیر مدل‌های، مدل‌های شبیه‌سازی خرد ترافیک می‌باشند. تاکنون مدل‌های تعقیب خودروی متفاوتی، بر مبنای منطق‌های مشخص توسعه یافته و در مدل‌های شبیه‌سازی جریان ترافیک مورد استفاده قرار گرفته است. با این حال بررسی این مدل‌ها نشان می‌دهد، که همچنان مدل تعقیب خودروی کاملی که بتواند همه رفتارهای رانندگی در شرایط تعقیب را بطور کامل مدل کند، با توجه به محدودیت‌های موجود توسعه پیدا نکرده است.

¹ - Car-following

² - Lane-changing

³ - Gap acceptance

⁴ - Route-choice

⁵ - Microscopic simulation models

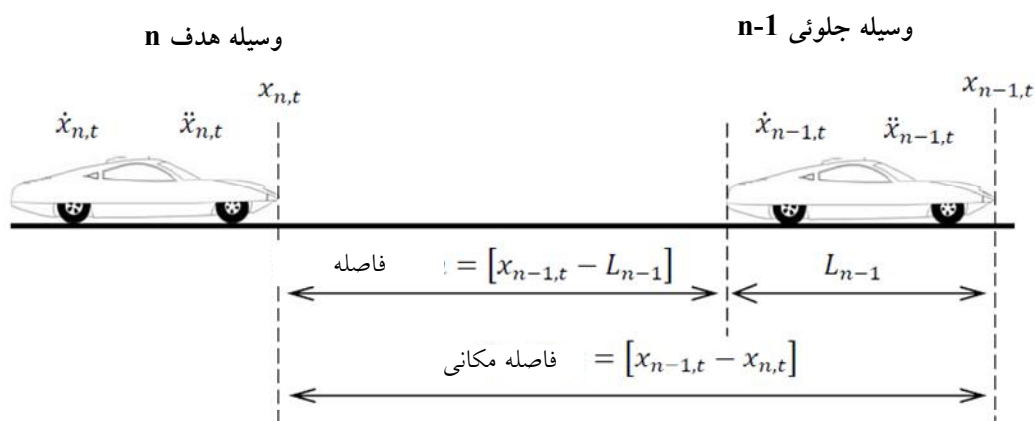
⁶ - Micro simulation models



ساختار این مقاله بدین ترتیب خواهد بود که بعد از این مقدمه، در بخش بعدی ابتدا مرور کاملی بر انواع مدل‌های تعقیب خودرو انجام می‌گیرد. همچنین در این بخش، مدل‌های تعقیب خودرو بکار گرفته شده در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی معروف، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سپس در بخش سوم، محدودیت‌ها و نواقص مطرح در زمینه انواع مدل‌های تعقیب خودرو مطرح گردیده و در نهایت در بخش چهارم، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از کل مباحث می‌آید.

۲- انواع مدل‌های تعقیب خودرو

در این مقاله، از تعاریف و علامت‌گذاری‌های زیر در رابطه با تعقیب خودرو استفاده می‌شود. دو وسیله‌نقلیه پشت سر هم نظیر شکل ۱، در نظر گرفته شود. وسیله‌نقلیه $n-1$ وسیله جلوئی با طول L_{n-1} بوده و وسیله n ، مورد عقبی (وسیله‌نقلیه هدف) می‌باشد. اندیس t زمان مشاهده موقعیت، سرعت و شتاب وسیله‌نقلیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تعاریف و علامت‌گذاری‌های مورد استفاده در مدل تعقیب خودرو

تعاریف متغیرهای شکل ۱، بدین شرح است که:

$x_{n-1,t}$ ، موقعیت وسیله‌نقلیه جلوئی $n-1$ ، در زمان t ،

$x_{n,t}$ ، موقعیت وسیله‌نقلیه هدف n ، در زمان t ،

$\dot{x}_{n-1,t}$ ، سرعت وسیله‌نقلیه جلوئی $n-1$ ، در زمان t ،

$\dot{x}_{n,t}$ ، سرعت وسیله هدف n ، در زمان t ،

L_{n-1} ، طول وسیله‌نقلیه جلوئی،

$[x_{n-1,t} - x_{n,t}]$ ، فاصله مکانی بین دو وسیله‌نقلیه در زمان t ،

$[x_{n-1,t} - x_{n,t} - L_{n-1}]$ ، فاصله بین دو وسیله‌نقلیه در زمان t ،

s_{n-1} ، طول موثر (L_{n-1} به علاوه حداقل گپ بین وسایل نقلیه در حالت سکون)



T و Δt ، زمان تأخیر عکس‌العمل وسیله‌نقلیه عقبی.

در حالت تعقیب خودرو، وسیله‌نقلیه جلوئی بر رفتار رانندگی وسیله هدف تأثیر می‌گذارد. بنابراین، راننده وسیله هدف، به محرک درک شده ناشی از رفتار وسیله‌نقلیه جلوئی واکنش نشان می‌دهد. علاوه بر این، راننده وسیله هدف بعد از یک تأخیر زمانی معین واکنش نشان می‌دهد. این تأخیر، بازه زمانی میان رخداد محرک تا شروع واکنش می‌باشد.

در مجموع مدل‌های تعقیب خودرو قابل تقسیم‌بندی به ۴ دسته کلی زیر می‌باشند [۳، ۴، ۵، ۶ و ۷]:

- مدل‌های تعقیب خودرو فاصله ایمن،
- مدل‌های تعقیب خودرو محرک-عکس‌العمل،
- مدل‌های تعقیب خودرو روانی-جسمانی و
- مدل‌های تعقیب خودرو مبتنی بر منطق فازی.

۲-۱- مدل‌های تعقیب خودرو فاصله ایمن

Reuschel در سال ۱۹۵۰ و Pipes در سال ۱۹۵۳، نخستین افرادی بودند که مدل‌های حداقل فاصله ایمن را توسعه دادند. هر دو نفر بطور مستقل تحت تأثیر قانون وسایل نقلیه کالیفرنیا، در رابطه با فاصله بین وسایل نقلیه قرار داشتند. این قانون بیان می‌کند که: منطق ایمن برای وسایل نقلیه، جهت تعقیب یکدیگر این است که به‌ازای هر ۱۰ مایل بر ساعت سرعت، به اندازه طول یک وسیله‌نقلیه (در حدود ۱۵ فوت)، فاصله طولی وجود داشته باشد. بر این اساس، آنها مدل‌های ترافیکی توسعه دادند که این نوع رفتار رانندگی را نشان می‌داد. این مدل‌ها حداقل فاصله ایمن حفظ شده توسط یک وسیله هدف پشت سر وسیله‌نقلیه جلوئی را به عنوان یک تابع خطی از سرعت بیان می‌نمود. این مدل‌ها فرض می‌کنند که رانندگان وسایل نقلیه در همه زمان‌ها از این قانون تبعیت می‌نمایند. مدل‌های توسعه یافته، فرض می‌کنند که رانندگان بطور آنی به عمل وسیله‌نقلیه جلوئی عکس‌العمل نشان می‌دهند [۳ و ۴].

مدل Pipes دارای فرم زیر می‌باشد:

$$x_{n-1} = x_n + [b + T\dot{x}_n] + L_{n-1} \quad (1)$$

در اینجا:

b فاصله قانونی توصیه شده در زمانی است که وسایل نقلیه ساکن هستند (به فوت) و T یک ثابت زمانی بوده، نظیر آنچه که توسط مقررات رانندگی کالیفرنیا توصیه شده است (به ثانیه)، یعنی:

$$(T = \frac{15 \text{ ft}}{1.47 * 10 \text{ mph}} = 1.023 \text{ sec})$$

این نکته منجر به یک حداقل فاصله ایمن معادل با زیر می‌شود:

$$d_{\min} = [x_{n-1} - x_n] = c + T\dot{x}_n \quad (2)$$

در اینجا $c = b + L_{n-1}$ ثابت است.



اما معروفترین مدل تعقیب خودرو مبتنی بر فاصله ایمن، مربوط به Gipps می‌باشد، که در نرم‌افزار شبیه‌سازی AIMSUN نیز، جهت مدل نمودن رفتار تعقیب خودرو رانندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مدل تعقیب خودروی Gipps، هر خودرو در هر لحظه به دو نوع خودروی آزاد یا خودروی مقید شده توسط خودروی جلویی تقسیم‌بندی می‌شود. خودروی مقید شده توسط خودروی جلویی، سعی می‌کند سرعتش را به‌منظور به‌دست آوردن سرفاصله‌مکانی ایمن تنظیم کند. یک سرفاصله‌مکانی مشخص، در صورت امکان پاسخ ایمن (بدون تصادف) خودروی تعقیب‌کننده به هرگونه عمل معقول خودروی جلویی ایمن در نظر گرفته می‌شود. سرعت خودروی آزاد، براساس سرعت مطلوب و حداکثر شتاب مثبت محدود می‌شود. نشان‌گذاری ذیل در توصیف مدل شتاب Gipps به‌کار می‌رود [۸ و ۹]:

\ddot{x}_n^{\max} : حداکثر شتاب مثبت ممکن خودروی n (متر بر مجذور ثانیه)،

d_n^{\max} : حداکثر شتاب منفی ممکن خودروی n (متر بر مجذور ثانیه)،

\hat{d}_{n-1} : تخمین حداکثر شتاب منفی ممکن خودروی $n-1$ (متر بر مجذور ثانیه) و

s_{n-1} : طول موثر خودرو، برابر با طول خودرو به‌اضافه پارامتر حداقل فاصله بین خودروهای ثابت است.

سرعت در طی بازه $[t, t+T]$ به‌صورت رابطه ۳ انتخاب می‌شود:

$$\dot{x}_n(t+T) = \min \{ \dot{x}_n^a(t+T), \dot{x}_n^b(t+T) \} \quad (3)$$

در رابطه اخیر زمان عکس‌العمل T برابر با گام زمانی شبیه‌سازی است. حداکثر سرعتی که یک خودرو در طی یک گام شبیه‌سازی با شتاب مثبت از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$\dot{x}_n^a(t+T) = \dot{x}_n(t) + 2.5 \cdot \dot{x}_n^{\max} \cdot T \cdot \left(1 - \frac{\dot{x}_n(t)}{\dot{x}_n^{\text{desired}}} \right) \cdot \sqrt{0.025 + \frac{\dot{x}_n(t)}{\dot{x}_n^{\text{desired}}}} \quad (4)$$

حداکثر سرعت ایمن خودروی n در زمان t ، با توجه به حضور خودروی جلویی، به‌صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$\dot{x}_n^b(t+T) = d_n^{\max} \cdot T + \sqrt{(d_n^{\max} \cdot T)^2 - d_n^{\max} \cdot \left[2\{\dot{x}_{n-1}(t) - s_{n-1} - \dot{x}_n(t)\} - \dot{x}_n(t) \cdot T - \frac{\dot{x}_{n-1}^2(t)}{\hat{d}_{n-1}} \right]} \quad (3)$$

بر اساس راهنمای کاربر نرم‌افزار AIMSUN، برای تخمین شتاب منفی ممکن خودروی جلویی توسط خودروی تعقیب‌کننده، دو راه وجود دارد [۳ و ۱۰]. در اولین راه، برای سادگی، فرض می‌شود راننده قادر به تخمین دقیق شتاب منفی خودروی جلویی است و بنابراین رابطه ۴ برقرار است:

$$\hat{d}_{n-1} = d_{n-1} \quad (4)$$

راه دیگر، تخمین شتاب منفی مطلوب خودروی جلویی به‌عنوان متوسط شتاب‌های منفی مطلوب خودروی جلویی و خودروی تعقیب‌کننده (رابطه ۵) است:

$$\hat{d}_{n-1} = \frac{d_n + d_{n-1}}{2} \quad (5)$$



۲-۲- مدل‌های تعقیب خودروی محرک - عکس‌العمل

محققین جنرال موتورز (GM)، ۵ سری مدل برای توصیف رفتار عکس‌العملی افزایش و کاهش سرعت یک وسیله-نقلیه مشخص بواسطه عملیات رانندگی یک وسیله‌نقلیه در جلو توسعه دادند. مدل‌های توسعه یافته، فرض می‌کند که واکنش یک راننده به عنوان تابعی از حساسیت راننده و محرک است. در مدل‌های GM، محرک به عنوان سرعت نسبی ما بین دو وسیله‌نقلیه پشت سر هم می‌باشد. میزان افزایش (یا کاهش) سرعت بستگی به عبارت محرک دارد که شامل سرعت و فاصله مکانی است. مدل‌های GM، دارای فرم کلی زیر است [۳ و ۴]:

$$\text{واکنش خودروی تعقیب کننده در زمان } (t+\Delta t) =$$

حساسیت راننده خودروی تعقیب کننده * محرک از سوی خودروی جلویی در زمان (t)

ساختار بالا در هر ۵ نسل مدل‌های تعقیب خودروی توسعه یافته توسط GM، برقرار بوده با این تفاوت که عبارت حساسیت بتدریج و در طی زمان توسعه یافته و تغییراتی مطابق با جدول ۱، در زیر پیدا کرده است. فرم نهایی مدل تعقیب خودروی GM، که با نام مدل تعقیب خودروی GHR نیز معروف است، در رابطه ۶، در زیر نشان داده شده است.

جدول ۱- انواع نسل‌های مدل‌های تعقیب خودرو GM [۵ و ۷]

| توضیحات | ساختار مدل | نسل |
|---|---|-------|
| α پارامتر حساسیت مدل | $\ddot{x}_{n,t} = \alpha [\dot{x}_{n-1,t-\Delta t} - \dot{x}_{n,t-\Delta t}]$ | اول |
| $\alpha_1 =$ پارامتر حساسیت در فواصل مکانی کوتاه و $\alpha_2 =$ پارامتر حساسیت در فواصل مکانی بلندتر | $\ddot{x}_{n,t} = \alpha_1 \text{ or } \alpha_2 [\dot{x}_{n-1,t-\Delta t} - \dot{x}_{n,t-\Delta t}]$ | دوم |
| عبارت حساسیت مدل، $\frac{\alpha_0}{[x_{n-1,t-\Delta t} - x_{n,t-\Delta t}]}$ | $\ddot{x}_{n,t} = \frac{\alpha_0}{[x_{n-1,t-\Delta t} - x_{n,t-\Delta t}]} [\dot{x}_{n-1,t-\Delta t} - \dot{x}_{n,t-\Delta t}]$ | سوم |
| عبارت حساسیت مدل، $\dot{x}_{n,t} = \alpha \frac{\dot{x}_{n,t-\Delta t}}{[x_{n-1,t-\Delta t} - x_{n,t-\Delta t}]}$ | $\ddot{x}_{n,t} = \alpha \frac{\dot{x}_{n,t-\Delta t}}{[x_{n-1,t-\Delta t} - x_{n,t-\Delta t}]} [\dot{x}_{n-1,t-\Delta t} - \dot{x}_{n,t-\Delta t}]$ | چهارم |
| عبارت حساسیت مدل، $\alpha \frac{[\dot{x}_{n,t-\Delta t}]^\beta}{[x_{n-1,t-\Delta t} - x_{n,t-\Delta t}]^\gamma}$ | $\ddot{x}_{n,t} = \alpha \frac{[\dot{x}_{n,t-\Delta t}]^\beta}{[x_{n-1,t-\Delta t} - x_{n,t-\Delta t}]^\gamma} [\dot{x}_{n-1,t-\Delta t} - \dot{x}_{n,t-\Delta t}]$ | پنجم |

$$\ddot{x}_{n,t} = \alpha \frac{[\dot{x}_{n,t-\Delta t}]^\beta}{[x_{n-1,t-\Delta t} - x_{n,t-\Delta t}]^\gamma} [\dot{x}_{n-1,t-\Delta t} - \dot{x}_{n,t-\Delta t}] \quad (۶)$$

در اینجا α ، پارامتر حساسیت مدل،
 β ، پارامتر سرعت و
 γ پارامتر فاصله مکانی می‌باشند.



سرعت نسبی منفی (زمانی که وسیله جلوئی با سرعتی کمتر از وسیله جلوئی حرکت می‌کند) منجر به عکس‌العملی بصورت کاهش سرعت خواهد شد. بر عکس، یک سرعت نسبی مثبت (زمانی که وسیله جلوئی با سرعتی بیشتر از وسیله عقبی حرکت می‌کند) منجر به عکس‌العمل، بصورت افزایش سرعت می‌گردد. میزان افزایش (یا کاهش) سرعت بستگی به عبارت حساسیت دارد که شامل سرعت وسیله‌نقلیه عقبی و فاصله مکانی است.

نرم‌افزار شبیه‌سازی MITSIM بنوعی از مدل تعقیب خودرو GHR استفاده می‌کند. مدل تعقیب خودروی به‌کار رفته در نرم‌افزار MITSIM از سه رژیم با رفتارهای متفاوت خودروی تعقیب‌کننده در هر رژیم تشکیل می‌شود: رژیم رانندگی آزاد، رژیم تعقیب و رژیم شتاب‌منفی اضطراری [۳ و ۱۱].

نوع رژیم خودروی تعقیب‌کننده با سرفاصله‌زمانی خودروی تعقیب‌کننده تا خودروی جلوئی مشخص می‌شود. اگر سرفاصله‌زمانی بیش از آستانه h_{upper} باشد، فرض می‌شود خودروی مورد نظر به وسیله خودروی جلوئی محدود نشده است و در رژیم رانندگی آزاد قرار دارد و بنابراین، تا رسیدن به سرعت مطلوب، دارای شتاب مثبت می‌باشد. اگر سرفاصله‌زمانی بین h_{upper} و آستانه دیگر h_{lower} باشد، خودرو در حالت تعقیب خودرو است و نرخ شتاب به وسیله تفاوت سرعت و فاصله بینابینی خودروها تعیین می‌شود. اگر سرفاصله‌زمانی از h_{lower} کمتر باشد، سپس، خودروی تعقیب‌کننده جهت زیاد شدن سرفاصله‌زمانی شتاب‌منفی اضطراری به‌کار می‌گیرد [۳].

رفتار خودرو در رژیم‌های مختلف به‌صورت زیر است.

رژیم رانندگی آزاد: در این رژیم هدف خودروها به‌دست آوردن سرعت مطلوب است. اگر سرعت جاری آنها بیش از سرعت مطلوب باشد، خودرو جهت کاهش سرعت، از نرخ شتاب‌منفی عادی تا رسیدن به سرعت مطلوب استفاده می‌کند. از طرف دیگر، اگر سرعت خودروها کمتر از سرعت مطلوب باشد، بیشترین نرخ شتاب مثبت را تا رسیدن به سرعت مطلوب به‌کار می‌گیرد. پارامترهای شتاب‌منفی عادی و حداکثر شتاب مثبت تابعی از نوع خودرو و سرعت جاری می‌باشند. نرخ شتاب خودروی n به‌شکل رابطه ۷ بیان می‌شود:

$$\ddot{x}_n = \begin{cases} \ddot{x}_n^+ & \dot{x}_n < \dot{x}_n^{desired} \\ 0 & \dot{x}_n = \dot{x}_n^{desired} \\ \ddot{x}_n^- & \dot{x}_n > \dot{x}_n^{desired} \end{cases} \quad (7)$$

که در آن a_n^+ حداکثر شتاب مثبت و a_n^- شتاب‌منفی عادی، هر دو با واحد m/s^2 ، است.

رژیم تعقیب خودرو: نرخ شتاب خودروی n در رژیم تعقیب خودرو، \ddot{x}_n بر اساس مدل GHR غیرمتقارن (رابطه ۸) به‌دست می‌آید:

$$\ddot{x}_n = \ddot{x}^\pm \frac{\dot{x}_n^{\beta^\pm}}{(x_{n-1} - l_{n-1} - x_n)^{\gamma^\pm}} \cdot (\dot{x}_{n-1} - \dot{x}_n) \quad (8)$$

که در آن α^\pm ، β^\pm و γ^\pm پارامترهای مدل می‌باشند. پارامترهای α^+ ، β^+ و γ^+ در حالت $v_n \leq v_{n-1}$ و پارامترهای α^- ، β^- و γ^- در حالت $v_n > v_{n-1}$ به‌کار می‌روند.



رژیم شتاب منفی اضطراری: در این رژیم، خودروها از نرخ شتاب منفی جهت جلوگیری از تصادف و ازدیاد سرفاصله- زمانی استفاده می‌کنند. این نرخ شتاب منفی به صورت رابطه ۹ است:

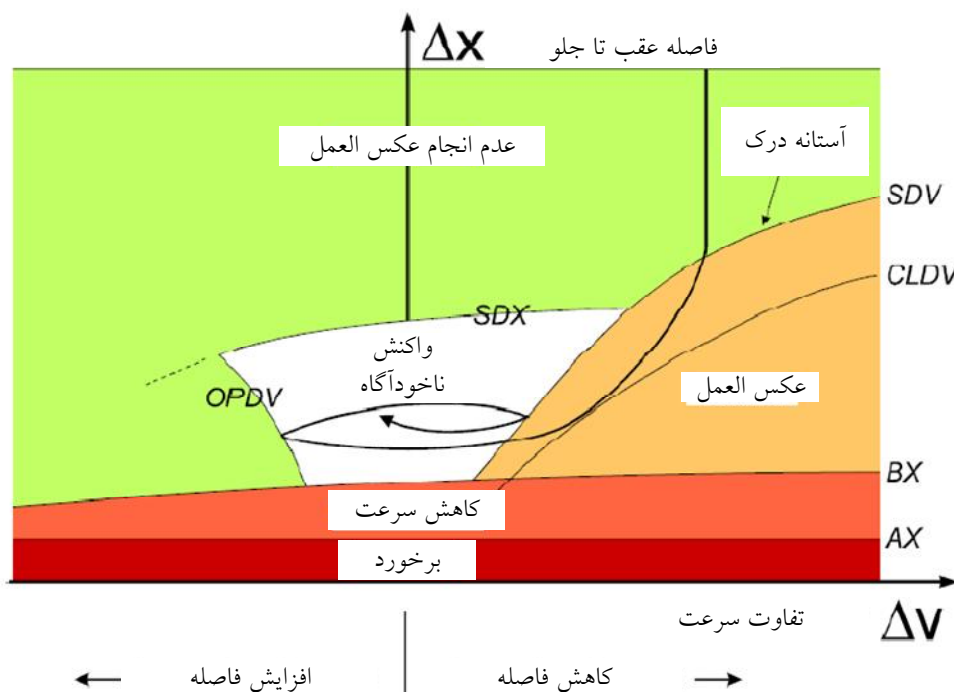
$$\ddot{x}_n = \begin{cases} \min\{\ddot{x}_n^-, \ddot{x}_{n-1}^- - 0.5(\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1})^2 / (x_{n-1} - L_{n-1} - x_n)\} & \dot{x}_n > \dot{x}_{n-1} \\ \min\{\ddot{x}_n^-, \ddot{x}_{n-1}^- + 0.25\dot{x}_n^-\} & \dot{x}_n \leq \dot{x}_{n-1} \end{cases} \quad (9)$$

۲-۳- مدل‌های تعقیب خودرو روانی - جسمانی

مفهوم مدل‌های تعقیب خودروی روانی - جسمانی مشابه با مدل‌های واکنش - محرک است. بدین ترتیب که، وسیله - نقلیه جلوئی بر حرکت طولی وسیله عقبی در یک خط مشابه اثر می‌گذارد. Wiedemann در سال ۱۹۷۴، بیان داشت که رانندگان تغییرات در فواصل طولی را تنها زمانی که محرک از یک مقدار حداقل معین بیشتر رود، درک می‌کنند.

مدل روانی - جسمانی رفتارها و عکس‌العمل‌های راننده را با استفاده از یک مجموعه از آستانه‌ها و فواصل مطلوب نشان می‌داد. این آستانه‌ها، مدهای متفاوتی در رابطه با اندرکنش میان وسیله جلوئی و عقبی را تعریف می‌کند. این مدها شامل رانندگی آزاد، نزدیک شدن، تعقیب و ترمزگیری اضطراری است. فرآیندهای متفاوت رانندگی به مدهای مختلف نسبت داده شده تا رفتار رانندگی تحت موقعیت‌های مشخص را نشان دهد [۳ و ۱۲].

شکل ۲، آستانه‌های متفاوت توسعه یافته توسط Wiedemann، جهت تعیین فاصله بین دو وسیله برای مدهای مختلف رانندگی در حالت تعقیب را نشان می‌دهد. در این شکل، محور افقی تفاوت بین سرعت‌ها و محور عمودی فاصله بین دو وسیله نقلیه را نشان می‌دهد. اختلاف سرعت مثبت، فرآیند نزدیک شدن را توصیف می‌نماید که در آن سرعت وسیله جلوئی کمتر از وسیله عقبی بوده و اختلاف سرعت منفی، فرآیند دور شدن را نشان می‌دهد [۳].



شکل ۲- منطق تعقیب خودرو [۳]

موارد زیر تعاریف آستانه‌های نشان داده شده در شکل بالا می‌باشد [۳]:
 AX: فاصله مطلوب برای وسایل نقلیه متوقف، که در واقع فاصله از جلو تا جلو بوده و با رابطه زیر بدست می‌آید:

$$AX = L + AX_{add} + RND1(I) \cdot AX_{mult}$$

در اینجا AX_{add} و AX_{mult} محدوده حداقل فاصله مطلوب را تعریف می‌کند.

ABX: حداقل فاصله تعقیب مطلوب در اختلاف سرعت‌های پائین بوده و با رابطه زیر بدست می‌آید:

$$ABX = AX + BX$$

$$BX = (BX_{add} + BX_{mult} \cdot RND1(I)) \sqrt{V}$$

در اینجا BX_{add} و BX_{mult} محدوده تغییرات را تعریف می‌کند

SDV: آستانه درک اختلاف رعت در فواصل طولانی بوده و بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$SDV = \frac{DX - AX^2}{CX}$$

$$CX = CX_{const} (CX_{add} + CX_{mult} (RND1(I) + RND2(I)))$$

در اینجا CX_{const} ، CX_{add} و CX_{mult} محدوده آستانه‌ها را تعریف می‌کند.

SDX: درک فاصله در حال افزایش در فرآیند تعقیب بوده و بدین ترتیب محاسبه می‌شود:

$$SDX = AX + EX \cdot BX$$



$$EX = EX_{add} + EX_{mult}(NRND - RND2(I))$$

CLDV: آستانه درک، برای تشخیص تفاوت سرعت‌های کم در فواصل کوتاه در حال کاهش است و بدین ترتیب تعریف می‌شود:

$$CLDV = SDV \cdot EX^2$$

OPDV: آستانه درک تشخیص تفاوت سرعت‌های کوچک در فواصل کوتاه، اما در حال افزایش بوده و بدین ترتیب تعریف می‌شود:

$$OPDV = CLDV(-OPDV_{add} - OPDV_{mult} \cdot NRND)$$

در اینجا $OPDV_{add}$ و $OPDV_{mult}$ محدوده پارامترها را تعریف می‌کند. همانطور که قبلاً گفته شد، آستانه‌های تعریف شده در بالا رفتار رانندگی را به ۴ مد تقسیم می‌کنند: رانندگی در حالت آزاد، فرآیند نزدیک شدن، فرآیند تعقیب و ترمزگیری اضطراری. یکی دیگر از مدل‌های تعیب خودروی روانی-جسمانی معروف، مدل Fritzsche است. برای تعریف رژیم‌های مدل Fritzsche از درک انسان استفاده می‌شود. برای مثال، اختلاف سرعت باید بزرگی مشخصی داشته باشد که توسط راننده درک شود. مدل Fritzsche از آستانه‌های ذیل برای تعریف رژیم ساخته شده است [۳]. آستانه‌هایی برای درک اختلاف سرعت منفی (PTN) و اختلاف سرعت مثبت (PTP) که به صورت رابطه ۱۰ تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} PTN &= -k_{PTN} (\Delta x - s_{n-1})^2 - f_x \\ PTP &= -k_{PTP} (\Delta x - s_{n-1})^2 + f_x \end{aligned} \quad (10)$$

که در آن k_{PTP} ، k_{PTN} و f_x پارامترهای مدل می‌باشند. خودروی تعقیب‌کننده اختلاف سرعت زیر مقادیر آستانه PTN و PTP را درک نمی‌کند. همچنین، فرض می‌شود رانندگان اختلاف سرعت منفی کوچکتری نسبت به اختلاف سرعت مثبت تخمین می‌زنند و بنابراین PTN کوچکتر از PTP است. در مدل Fritzsche علاوه بر آستانه‌های درک اختلاف سرعت، از ۴ آستانه برای سرفاصله‌مکانی جفت خودروی تعقیب‌کننده تا خودروی جلویی استفاده می‌شود [۳]. فاصله مطلوب، AD : فاصله مطلوب بیان‌کننده گپی است که راننده تمایل به حفظ آن دارد (رابطه ۱۱).

$$AD = s_{n-1} + T_D \cdot \dot{x}_n \quad (11)$$

که در آن، پارامتر T_D نمایانگر گپ زمانی مطلوب می‌باشد.

فاصله ریسک، AR : به صورت رابطه ۱۲ تعریف می‌شود:

$$AR = s_{n-1} + T_r \cdot \dot{x}_{n-1} \quad (12)$$

که در آن، T_r گپ زمانی ریسک است. برای گپ‌های کوچکتر مساوی فاصله ریسک، رانندگان جهت اجتناب از تصادف به شدت شتاب منفی به کار می‌برند.



فاصله ایمن، AS : این فاصله به‌عنوان کوچکترین سرفاصله‌مکانی که در صورت ازدیاد فاصله بین جفت خودروی تعقیب‌کننده و جلویی، شتاب مثبت قابل قبول است، تعریف می‌شود (رابطه ۱۳).

$$AS = s_{n-1} + T_s \cdot \dot{x}_n \quad (13)$$

که در آن، T_s پارامتر مدل است

فاصله ترمزگیری، AB : از آنجا که حداکثر شتاب منفی خودرو محدود است؛ بنابراین، امکان رخداد تصادف در صورت اختلاف سرعت ابتدایی زیاد بین دو خودرو وجود دارد. جهت جلوگیری از این تصادف، فاصله ترمز به‌صورت رابطه ۱۴ تعریف می‌شود:

$$AB = AR + \frac{\Delta v^2}{\Delta b_m} \quad (14)$$

که در آن، Δb_m به‌صورت رابطه ۱۵ فرض می‌شود:

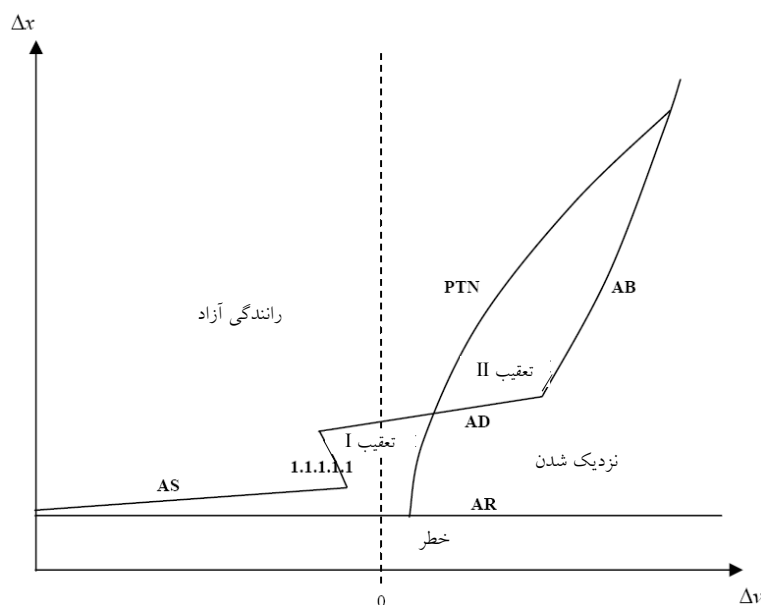
$$\Delta b_m = |b_{\min}| + \ddot{x}_{n-1}^- \quad (15)$$

در رابطه اخیر، پارامترهای مدل، b_{\min} و \ddot{x}_{n-1}^- حداکثر شتاب منفی را کنترل می‌کنند.

در آخر، پارامترهای زمان گپ T_D ، T_r و T_s باید در نامساوی ۱۶ صدق کنند:

$$T_D > T_s > T_r \quad (16)$$

رژیم‌های تعقیب خودروی دیاگرام سرعت نسبی و مکان نسبی بر اساس آستانه‌های ذکر شده در بالا تعریف می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳- آستانه‌ها و رژیم‌های مختلف در مدل تعقیب خودروی Fritzsche [۳]



نرم‌افزار شبیه‌سازی PARAMICS از مدل تعقیب خودرو Fritzsche و نرم‌افزار VISSIM از مدل تعقیب خودرو Wiedemann جهت شبیه‌سازی وضعیت تعقیب خودرو استفاده می‌کنند [۳ و ۱۴].

۲-۴- مدل‌های تعقیب خودرو مبتنی بر منطق فازی

مدل‌های مبتنی بر منطق فازی و مدل‌های مبتنی بر منطق عصبی- فازی اخیراً برای مدل نمودن رفتار رانندگی در مدل‌های تعقیب خودرو پیشنهاد شده‌اند. مفهوم اساسی مدل مبتنی بر منطق فازی، این است که فاکتورهای ورودی را به به فرم زبانی با استفاده از توابع عضویت معین تبدیل می‌کند. به عبارت دیگر، این مدل‌ها از قوانین معمول رانندگی مبتنی بر زبان، استفاده می‌کنند. از طرف دیگر، رویکرد شبکه عصبی مشابه با منطق فازی بوده اما رفتار رانندگی در گذشته را از طریق فرآیند یادگیری و تعلیم درگیر می‌کند. بطور مثال، Kikuchi و Chakroborty در سال ۱۹۹۲، تعقیب خودرو را براساس سیستم استنباط فازی، پیشنهاد دادند. واکنش‌های رانندگان براساس مجموعه قوانین رانندگی تبدیل یافته به عبارت‌های زبانی می‌بود [۶]. بطور مثال، یک قانون نمونه برای واکنش راننده می‌تواند دارای فرم زیر باشد:

- اگر فاصله بین دو وسیله کافی باشد
- سرعت نسبی نزدیک به صفر است
- واکنش افزایش سرعت وسیله جلویی ملایم است
- آنگاه وسیله هدف بایستی به آرامی سرعت خود را افزایش دهد.

۳- محدودیت‌های انواع مدل‌های تعقیب خودرو

در این بخش ابتدا محدودیت‌های هر یک از ۴ نوع مدل تعقیب خودرو مرور شده در بخش قبلی ذکر و سپس محدودیت‌های کلی مدل‌های تعقیب خودرو ذکر می‌شود.

۳-۱- محدودیت‌های مدل‌های تعقیب خودرو فاصله ایمن

ساختار مدل‌های توسعه یافته توسط Reuschel, Pipes, Forbes, Kometani و Sasaki و Gipps منطقی است. اما با این وجود دارای محدودیت‌های مهم زیر هستند [۴]:

۱- این مدل‌ها شامل متغیرهای مهمی نظیر سرعت متوسط که ممکن است بر چگونگی حفظ فاصله ایمن توسط رانندگان اثرگذار باشد، نمی‌باشند. این مسأله ممکن است منجر به مدل نمودن غیر دقیق رفتار عکس‌العملی کاهش و افزایش سرعت رانندگان می‌گردد.



۲- این مدل‌ها بطور کلی، یک مقدار زمان تأخیر عکس‌العمل ثابت را فرض و تفاوت‌های میان رانندگان انواع وسایل نقلیه را نادیده می‌گیرند.

۳- این مدل‌ها، بطور کلی میزان افزایش و کاهش سرعت را ثابت فرض می‌کنند، که یک فرض غیرواقعی است. چرا که رفتار رانندگان برای عکس‌العمل افزایش و کاهش سرعت، ممکن است متفاوت باشد.

۲-۲- محدودیت‌های مدل‌های تعقیب خودرو و واکنش - محرک

مدل‌های واکنش - محرک، دارای چند محدودیت مهم در نشان دادن رفتار تعقیب خودرو رانندگان می‌باشند. اگر چه، مطالعات متعددی تلاش داشتند تا محدودیت‌های مدل GM را مورد بررسی قرار دهند، اما همچنان ۳ محدودیت مهم در این رابطه وجود دارد [۵]:

۱- این مدل‌ها فرض می‌کنند که زمان عکس‌العمل برای همه رانندگان مشابه بوده و تفاوت‌های میان رانندگان انواع وسایل نقلیه را نادیده می‌گیرند.

۲- این مدل‌ها فرض می‌کنند که رانندگان حتی مقادیر کوچک محرک را می‌توانند تشخیص دهند، که یک فرض غیر واقعی است. چرا که انتظار می‌رود رانندگان به عملیات وسیله جلویی تنها زمانی که محرک درک شده از یک مقدار معین آستانه فراتر رود، واکنش نشان دهند.

۳- این مدل‌ها یک مقدار منفرد برای هر یک از سایر پارامترهای مدل، شامل: سرعت، سرعت نسبی و فاصله بین دو وسیله نقلیه فرض می‌کنند. تخمین یک مقدار منفرد برای هر یک از پارامترهای مدل، تفاوت‌های فردی میان رانندگان مختلف و انواع وسایل نقلیه را نشان نمی‌دهد. بطور مثال، رانندگان وسایل نقلیه ممکن است بطور متفاوتی در زمان حرکت در پشت کامیون‌های بزرگ رفتار کنند تا وقتی که پشت یک وسیله نقلیه شخصی حرکت می‌کنند.

۳-۲- محدودیت‌های مدل‌های تعقیب خودروی روانی - جسمانی

مدل‌های روانی - جسمانی، برای نشان دادن رفتار تعقیب خودرو رانندگان براساس محدودیت‌های درک انسان از جابجائی اجسام طراحی شده‌اند. به هر حال، این مدل‌ها نیز دارای ۴ محدودیت زیر می‌باشند [۴]:

۱- Wiedemann، ذکر کرد که هیچ اطلاع دقیقی از توزیع‌ها برای پارامترهای مختلف، در زمان توسعه مدل وجود نداشته است. بنابراین، پارامترهای رانندگی شامل $RND1(I)$ ، $NRND$ و $RND4(I)$ فرض می‌شود که بطور نرمال با مقدار میانگین 0.5 و انحراف استاندارد 0.15 توزیع شده باشند (یعنی $N(0.5, 0.15)$).



۲- در فرآیند تعقیب، فرض می‌شود که رانندگان بطور آگاهانه به جابجائی وسیله جلویی واکنش نشان نمی‌دهند اما سعی دارند تا یک شتاب مثبت پائین را حفظ کنند. این موضوع بر خلاف انتظار می‌باشد. بنظر می‌رسد که رانندگان در فرآیند تعقیب، با توجه به موارد مربوط به ایمنی بیشتر هوشیار باشند.

۳- این مدل‌ها زمان تأخیر عکس‌العمل، وسیله‌نقلیه عقبی را شامل نمی‌شوند. بعبارت دیگر، این مدل‌ها، فرض می‌کنند که رانندگان بطور آبی بعد از رسیدن به آستانه مطلوبشان واکنش نشان می‌دهند.

۴- آستانه‌های مدل برای رانندگان متفاوت مشابه بوده و تفاوت‌های میان انواع وسائل نقلیه نادیده گرفته می‌شود. بنابراین، این مدل‌ها تفاوت‌های در رفتار رانندگی، رانندگان مختلف بسته به نوع وسیله‌نقلیه مورد نظر را نادیده می‌گیرد.

۳-۴- محدودیت‌های مدل‌های تعقیب خودروی مبتنی بر منطق فازی

مدل‌های مبتنی بر منطق فازی دارای محدودیت‌های زیر هستند [۶]:

- ۱- این مدل‌ها زمان تأخیر عکس‌العمل ثابتی برای رانندگان فرض نموده و تفاوت‌های میان رانندگان انواع وسائل نقلیه را نادیده می‌گیرند.
- ۲- کالیبراسیون این مدل‌ها و انتخاب نوع تابع و مقادیر محدودکننده آنها مشکل است.
- ۳- در عمل، تعیین آستانه‌ها براساس قوانین رانندگی زبانی نظیر: فاصله بین دو وسیله کافی است، مشکل می‌باشد. بطور مثال، برای رانندگان مختلف کافی بودن فاصله بین دو وسیله‌نقلیه برای مقادیر مشابه محرک، ممکن است بطور متفاوتی تعریف شود.
- ۴- این مدل‌ها پارامترهای مهمی را در برگرداندن رفتار تعقیب خودروی رانندگان، نشان می‌دهند اما مشخص نمی‌کنند که چه پارامترهایی به لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند.

۳-۵- محدودیت‌های کلی مدل‌های تعقیب خودرو

موارد زیر به عنوان محدودیت‌های کلی انواع مدل‌های تعقیب خودرو قابل طرح می‌باشد [۱۵]:

فلسفه تحقیق اکثر مطالعات تعقیب خودرو قبلی، این بود که ابتدا مدلی براساس تئوری‌های ساده عکس‌العمل راننده توسعه داده شود و سپس این مدل‌ها با استفاده از داده‌های میدانی پرداخت و اعتبارسنجی گردد.

در اکثر مدل‌های تعقیب خودرو، واکنش مطلق رانندگان برای حالت افزایش و کاهش سرعت یکسان است، یعنی این مدل‌ها متقارن هستند.

اکثر مدل‌های تعقیب خودرو با این فرض مورد بررسی قرار می‌گیرند که همه رانندگان بطور مشابه رفتار کرده و یک رابطه قطعی میان عمل وسیله جلویی با عکس‌العمل وسیله عقبی وجود دارد. در واقع، ممکن است که عکس‌العمل‌های متفاوتی به یک محرک مشابه در حالت‌های مختلف برای یک راننده و یا در بین رانندگان مختلف وجود داشته



باشد. همچنین، تنها المان‌های سببی معینی نظیر سرعت نسبی و فاصله مکانی مورد مطالعه قرار گرفته است. در حالیکه فاکتورهای بسیار متعددی وجود دارند که می‌توانند بر این موضوع تأثیرگذار باشند. مواردی نظیر: مشخصات متفاوت انسان، مشخصات ترافیکی و جاده و مشخصات محیط اطراف.

همه مدل‌های تعقیب خودرو موجود، تنها از مجموعه‌ای از متغیرهای کینماتیک نظیر فاصله مکانی و سرعت و جهت تعیین رفتار رانندگان استفاده می‌کنند. در واقع، فاکتورهای متعدد دیگری در کنار موارد کینماتیک پایه وجود دارند که ممکن است بر رفتار تعقیب خودرو تأثیر بگذارند. فاکتورهائی نظیر: مشخصات افراد (جنسیت، شرایط محیطی مثل استفاده از تلفن یا تعداد سرنشینان (بحث حواسپرتی))، مشخصات ترافیک و جاده (نوع وسیله‌نقلیه، سطح تراکم، تعداد خطوط و موقعیت خط رانندگی) و مشخصات محیطی (زمان و شرایط آب و هوایی) در این رابطه قابل بررسی خواهد بود.

در اغلب آزمایش‌های انجام شده، رانندگان وسیله عقبی می‌دانستند که رفتار آنها ثبت می‌شود و اکثراً در شرایط استفاده از ابزارهای مشخص عملیات تعقیب خودرو مورد نظر را انجام می‌دادند. همچنین، آنها از فرضیه‌های تحقیق آگاهی داشتند. این نوع طراحی، دارای ضعف‌های واضح بوده و نمی‌تواند نشان دهد که رانندگان نرمال، تحت شرایط نرمال رانندگی در یک مسیر چه عملی انجام می‌دهند. همچنین این فرآیند، یک فهم بسیار محدود از تغییرات رفتار تعقیب در بین رانندگان مختلف فراهم می‌کند. چرا که تنها یک (یا چند) عضو محدود از یک گروه جمعیتی بزرگ مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بطور کلی این تحقیق به مرور انواع مدل‌های تعقیب خودرو پرداخته و کاربردهای آنها را نیز مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در مجموع مدل‌های تعقیب خودرو به چهار دسته کلی تقسیم‌بندی شده که عبارتند از: ۱- مدل‌های فاصله ایمن، ۲- مدل‌های واکنش-محرك، ۳- مدل‌های روانی-جسمانی و ۴- مدل‌های مبتنی بر منطق فازی. کاربردهای اصلی این مدل‌ها در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی به عنوان یکی از زیرمدل‌های خرد جریان ترافیک جهت شبیه‌سازی رفتار رانندگان در شرایط تعقیب خودرو می‌باشد. کاربرد دیگر این مدل‌ها می‌تواند مربوط به توسعه سیستم‌های پیشرفته دستیار راننده باشد. در نتیجه فهم دقیق انواع مدل‌های تعقیب خودرو و مشخص نمودن نواقص و محدودیت‌های هر یک از مدل‌ها، جهت شبیه‌سازی رفتار تعقیب خودرو رانندگان ضروری بوده و حتی می‌تواند منجر به توسعه مدل‌های تعقیب خودرو جدیدی با محدودیت‌های کمتر شود.

به هر حال، هر یک از ۴ دسته مدل‌های تعقیب خودرو ذکر شده در بالا دارای محدودیت‌های مشخصی بوده که بایستی در هنگام استفاده از آنها مد نظر قرار گیرد، مهمترین این محدودیت‌ها عبارتند از:

۱- در نظر نگرفتن تفاوت‌های میان رانندگان مختلف در شرایط تعقیب خودروی متفاوت.

۲- نحوه برداشت اطلاعات جهت توسعه و کالیبراسیون مدل.



۳- انجام واکنش تنها بعد از چند ثانیه از انجام محرک و در نظر نگرفتن توالی زمانی در تعقیب.

۴- قطعی بودن برخی مدل‌های تعقیب خودرو.

۵- تقارن برخی مدل‌ها برای شرایط افزایش و کاهش سرعت.

۶- در نظر نگرفتن رفتار تغییر خط در مدل‌های تعقیب خودرو.

در مجموع می‌توان گفت، که در حال حاضر مطالعات مفصلی در رابطه با انواع مدل‌ای تعقیب خودرو انجام شده و در ادبیات تحقیق موجود است. اما همانطور که ذکر شد، با وجود همه پیشرفته‌های صورت گرفته همچنان محدودیت‌های به نسبت زیادی برای این مدل‌ها وجود داشته که می‌تواند بر مدلسازی صحیح رفتار رانندگان در شرایط تعقیب خودرو موثر باشد. بطور قطع اصلی‌ترین پیشنهاد جهت انجام تحقیقات آتی در این زمینه، ارائه مدل تعقیب خودرویی است که با استفاده از روش صحیح برداشت داده و در نظر گرفتن همه شرایط (نظیر تفاوت در رانندگان، تفاوت در شرایط، رفتار تغییر خط و ...) یک مدل واقعی از رفتار تعقیب خودرو رانندگان در ایران ارائه نماید.

مراجع

1. May, A. (1990). Advanced Traffic Flow Theory. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
2. Krauss, S. P. Wagner, and C. Gawron. (1997). Metastable states in a Microscopic Model of Traffic Flow. Physical Review E, Vol. 55 No. 304, pp. 5597–5602.
3. Ostam, J, Tapani, A., Comparison of car following models, Swedish national road and transport research institute, 2004.
4. Kim, T., Analysis of variability in car-following behavior over long-term driving maneuvers, Doctor of Philosophy Dissertation, University of Maryland, ۲۰۰۵.
5. Siuhi, S., Parametric study of stimulus-response behavior incorporating vehicle heterogeneity in car-following models, Doctor of Philosophy Dissertation, University of Nevada, Las Vegas, 2009.
6. Hatipkarasulu, Y., A variable response time lag module for car-following models using fuzzy set theory, Doctor of Philosophy Dissertation, Louisiana State University, 2002.
7. Brackstone, M., McDonald, M., Car-following: a historical review. Transportation Research Part F, 2, 181-196, 1999.
8. Gipps, P. G.(1981). A behavioral Car Following Model for Computer Simulation. Transportation Research B, volume 15(2):pages 105–111, 1981.
9. Gipps, P. G. (1986) A model for the structure of lane changing decisions. Transportation Research -B. Vol. 20 No.5, pp. 403-414.
10. TSS (2002). AIMSUN version 4.1 User Manual, Transport Simulation Systems. TSS, AIMSUN. <http://www.aimsun.com/sias/brochure.pdf>, accessed Jun. 16, 2003.
11. Wiedemann, R., and Reiter, U. (1992). Microscopic traffic simulation: the simulation system MISSION, background and actual state. Project ICARUS (V1052) Final Report. Brussels, CEC. 2: Appendix A.
12. Barcelo, J. (2001). Microscopic Traffic Simulation: A tool for the Analysis and Assessment of ITS Systems, Transport Simulation Systems Internal Report. Available at www.tss-bcn.com.
13. PTV VISSIM Traffic flow simulation – Technical Description, PTV Planung Transport Verkehr AG.
14. Ahmed K.I. (1999) Modeling Drivers' Acceleration and Lane-changing Behavior, PhD Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, MIT.



Comparison and Study of Car-following Models

Saber naseralavi^{1*}, Navid Nadimi², Mehdi Shafiee³

1- Assistant Professor of Civil engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, Email: saber_naseralavi@uk.ac.ir

*Corresponding author

2- Assistant Professor of Civil engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3- MSc. Student, Highway and transportation

Abstract

Simulation models are very useful tools in studying traffic in a transportation network. These models are classified into three groups, based on the level of detail they provide: macroscopic, microscopic and mesoscopic models. Microscopic models are consisting of different sub models, that each does different traffic simulating operations. Car-following models are one of these sub models, which describe the interaction between a vehicle and a leading vehicle in a similar lane. So far, various car following models are developed and used in traffic simulation models. In this paper, at first a complete overview on the car following models is carried out and simulation software which developed on the basis of these models will be introduced then the challenges and shortcomings of existing car-following models will be mentioned and finally summary and conclusions of the topics will be presented.

Keywords: *simulation, car-following model, traffic flow, microscopic model*