بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی مکانیک

طراحی سیستم کنترل پیش‌بین برای فرآیند تعقیب خودرو در جریان ترافیک

نگارش

سعید صالحی‌نیا

استاد راهنما اول : دکتر مهرداد نوری خاجوی

استاد راهنما دوم : دکتر محمدرضا ارباب تفتی

استاد مشاور : دکتر علیرضا خدایاری

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

آذرماه ۱۳۹۱

Shahid Rajaee Teacher Training University

Faculty of Mechanical Engineering

Predictive Control System Design for Car Following Behavior in Traffic Flow

By: Saeed Salehinia

Under Supervisor of Dr. Mehrdad Nouri Khajavi
&
Co-Supervisor of Dr. MohammadReza Arbab Tafti
&
Advisor of Dr. Alireza Khodayari

A Thesis submitted to the Graduate Office in partial fulfillment of the requirements for the degree of M.Sc. in

Mechanical Engineering

December 2012

اعتراف می‌کنم که نه زبان شکر تو را دارم و و نه توان تشکر از بندگان تو، و اما بر حسب وظیفه از کلیه اساتید ارجمندم در طول سال‌های به یاد ماندنی شاگردیشان، تشکر می‌نمایم. از استادان گرامی، آقای دکتر مهرداد نوری خاجوی و محمدرضا ارباب تفتی برای راهنمایی و هدایت من در این پایان‌نامه متشکرم. همچنین از استاد ارجمند آقای دکتر علیرضا خدایاری که در تمام مراحل تحصیل، پدرانه و دلسوزانه مرا راهنمایی کرده و می‌کنند کمال تشکر دارم.

از همکار گرامی‌ام ،خانم مهندس فاطمه علیمردانی که با همکاری بسیار خوب، صرف وقت و دقت در مراحل این پایان‌نامه، زحمات زیادی را متقبل شده‌اند تشکر می‌نمایم.

و در پایان ازپدر و مادر عزیزم و مخصوصاً برادرم و همه فرشتگانی که بال‌های محبت خود را گسترانیدند و با تحمل دشواری‌ها، سبب شدند تا در کمال آسودگی خیال و فراغت بال، شوق آموختن در من زنده بماند صمیمانه سپاسگزارم، و این نیست جز جلوه‌ای از لطف و رحمت پروردگاری که از ادای شکر حتی یک نعمت او ناتوانم.

سعید صالحی‌نیا

آذرماه ۱۳۹۱

چکیده

باتوجه به افزایش روز افزون تردد وسایل نقلیه، معیار ایمنی و کنترل حجم ترافیکی از سوی مجامع علمی و تحقیقاتی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از اینرو برای کاهش تصادفات، خطاهای رانندگی و همچنین بهبود جریان ترافیکی فن‌آوری وسایل نقلیه رو به هوشمند شدن پیش می‌رود. برای رسیدن به این اهداف دو رویکرد کلی در نظر گرفته شده است. در رویکرد طولانی مدت در نظر است تا وسایل نقلیه خودوند شوند و کنترل‌کننده انسانی از میان برداشته شود. اما به دلیل محیا نبودن زیرساختارهای لازم و نبود فن‌آوری‌های مورد نیاز، از رویکرد کوتاه مدت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در رویکرد کوتاه مدت؛ با استفاده از شبیه‌سازی رفتارهای ترافیکی سعی در شناخت و بهبود آنها می‌شود. همچنین با استفاده از تئوری‌های کنترلی سعی در طراحی سیستم‌های کنترل‌کننده برای کمک به راننده در وسایل نقلیه می‌شود. نتیجه استفاده از این رویکرد، کاهش خطاهای انسانی در رانندگی، افزایش ایمنی و بهبود جریان ترافیکی می‌باشد.

در این پژوهش برای کنترل کردن حرکت طولی خودرو، ابتدا به مدل‌سازی فرآیند تعقیب خودرو بر مبنای مدل فضای‌حالت پرداخته می‌شود. سپس با استفاده از تئوری کنترل پیش‌بین مدل اقدام به طراحی کنترل‌کننده پیش‌بین برای مدل ارائه شده می‌شود. این سیستم کنترلی علاوه بر حفظ فاصله ایمن سعی در فرآهم کردن لذت رانندگی را نیز دارد. در قسمت بعدی با استفاده از مدل‌سازی بر مبنای مدل ARMAX سعی در رفع کمبودهای مدل قبلی شده است. سپس اقدام به طراحی کنترل‌کننده پیش‌بین برای مدل ارائه شده می‌شود. مقایسه نتایج شبیه‌سازی سیستم کنترلی طراحی شده با مقادیر واقعی دقت و عملکرد خوب سیستم کنترلی را نشان می‌دهد که رسیدن به اهداف مورد نظر یعنی حفظ فاصله ایمن، کاهش خطا و بهبود جریان ترافیکی را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: کنترل پیش‌بین مدل، فرآیند تعقیب خودرو، جریان ترافیک، شناسایی مدل

فهرست مطالب

چکیده الف
فهرست مطالب ب
فهرست شکل‌ها د
فهرست جدول‌ها و
فصل اول: مقدمه، تعاریف و پیشینه تحقیق ۱
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ سیستم‌های حمل و نقل هوشمند ۵
۱-۳ فرآیند تعقیب خودرو ۹
۱-۴ سیستم‌های کنترل و ایمنی در خودرو ۱۲
۱-۵ پیشینه تحقیق ۱۷
۱-۶ نتیجه‌گیری ۲۰

فصل دوم: مدل‌سازی و شبیه‌سازی رفتار تعقیب خودرو ۲۲
۲-۱ مقدمه ۲۳
۲-۲ معرفی مدل فضای‌حالت ۲۳
۲-۳ اعتبارسنجی مدل فضای حالت ۲۵
۲-۴ معرفی مدل ARMAX ۳۰
۲-۵ شناسایی مدل ARMAX ۳۳
۲-۶ اعتبارسنجی مدل ARMAX ۳۳
۲-۷ نتیجه‌گیری ۳۵

فصل سوم: طراحی سیستم کنترلی پیش‌بین مبتنی بر مدل فضای‌حالت ۳۶
۳-۱ مقدمه ۳۷
۳-۲ معرفی کنترل پیش‌بین مدل ۳۷
۳-۲-۱ معادلات مدل ۴۰
۳-۳ طراحی کنترل‌کننده پیش‌بین مبتنی بر مدل فضای‌حالت ۴۰
۳-۴ تعیین پارامترهای طراحی ۴۳
۳-۵ بررسی پایداری سیستم حلقه بسته ۴۶
۳-۶ نتایج شبیه‌سازی ۵۱
۳-۷ نتیجه‌گیری ۵۷

فهرست مطالب

فصل چهارم: طراحی سیستم کنترلی مبتنی بر مدل ARMAX ۵۹

۴-۱ مقدمه ۶۰

۴-۲ طراحی کنترل‌کننده پیش‌بین مبتنی بر مدل ARMAX ۶۰

۴-۳ نتایج شبیه‌سازی ۶۱

۴-۴ نتیجه‌گیری ۶۷

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۸

۵-۱ بررسی نتایج ۶۹

۵-۲ پیشنهادات ۷۲

پیوست

۱ طبقه‌بندی مدل‌های تعقیب خودرو ۷۳

۲ کنترل پیش‌بین مدل ۸۴

لیست مقالات ارائه شده ۱۰۲

مراجع ۱۰۳

چکیده انگلیسی ۱۱۰

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱)	سیستم حمل و نقل هوشمند ITS	۳
شکل (۱-۲)	سیستم‌های بزرگ‌راهی خودکار AHS	۳
شکل (۱-۳)	الگوی PATH	۴
شکل (۱-۴)	الگوی Dolphin	۴
شکل (۱-۵)	الگوی مدیریت ترافیک مبتنی بر خودرو هوشمند	۵
شکل (۱-۶)	چند نمونه از زیر سیستم‌ها ITS، الف) سیستمهای مدیریت ترافیک پیشرفته، ب) سیستمهای اطلاعات مسافران پیشرفته، ج) سیستمهای حمل و نقل عمومی پیشرفته، د) عملیات خودروی تجاری.	۶
شکل (۱-۷)	سیستم تخمین و پیش‌بینی ترافیک TREPS	۷
شکل (۱-۸)	مدل شبیه‌سازی ترافیکی ماکروسکوپیک	۸
شکل (۱-۹)	ساختار مدل یک دستگاه راننده و خودرو	۱۰
شکل (۱-۱۰)	فرآیند تعقیب خودرو	۱۱
شکل (۱-۱۱)	مهمترین خطاهای انسانی در تصادفات جاده‌ای	۱۲
شکل (۱-۱۲)	سیستم‌های ایمنی غیرفعال در یک خودرو	۱۳
شکل (۱-۱۳)	دسته بندی سیستم‌های ایمنی درخودرو	۱۴
شکل (۱-۱۴)	سیستم‌های کنترلی حرکت طولی: الف) سیستم کنترل توان موتور تطبیقی، ب) سیستم انطباق سرعت هوشمند، ج) سیستم برنامه‌ریزی و هدایت مسیر دینامیکی	۱۶-۱۵
شکل (۲-۱)	بلوک دیاگرام مدل رفتار تعقیب خودرو	۲۴
شکل (۲-۲)	مدل FV به عنوان سیستم اصلی	۲۵
شکل (۲-۳)	بخشی از بزرگراه بین ایالتی ۱۰۱ در امیرویل، سانفرانسیسکو، کالیفورنیا	۲۶
شکل (۲-۴)	مقایسه بین داده فیلتر شده و فیلتر نشده	۲۶
شکل (۲-۵)	مقایسه بین اطلاعات واقعی و خروجی برای مدل FV ، (الف) سرعت، (ب) موقعیت	۲۷
شکل (۲-۶)	خطا بین اطلاعات واقعی و خروجی مدل، (الف) سرعت، (ب) موقعیت	۲۸
شکل (۲-۷)	نمودار سیگنال جریانی ARMAX	۳۲
شکل (۲-۸)	مقایسه بین اطلاعات واقعی و خروجی مدل ARMAX برای موقعیت	۳۴
شکل (۲-۹)	خطا بین اطلاعات واقعی و خروجی مدل برای موقعیت	۳۴
شکل (۳-۱)	عملکرد کلی کنترل پیش‌بین مدل	۳۸
شکل (۳-۲)	طرح شماتیک کنترل پیش‌بین مدل	۳۹
شکل (۳-۳)	سیستم با تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های ممکن	۴۲
شکل (۳-۴)	شماتیک کنترل‌کننده و سیستم اصلی به همراه ورودی‌ها و خروجی‌های آن	۴۲
شکل (۳-۵)	شماتیک سیستم کنترل‌کننده و مدل تعقیب خودرو به همراه ورودی‌ها و خروجی‌های آن	۴۳
شکل (۳-۶)	تغییرات شتاب بهینه خودرو تعقیب‌گر تولید شده توسط کنترل‌کننده SS-MPC	۵۱
شکل (۳-۷)	سرعت خودرو تعقیب‌گر در طول مسیر حرکت	۵۲

فهرست شکل‌ها

شکل (۳-۸) مسافت پیموده شده توسط راننده و کنترل‌کننده SS-MPC ۵۳

شکل (۳-۹) عملکرد سیستم کنترلی در مقایسه با راننده انسانی: (الف) فاصله نسبی بین خودرو راهنما و تعقیب‌گر، (ب) خطا در حفظ فاصله ایمن توسط کنترل‌کننده SS-MPC و راننده ۵۳

شکل (۳-۱۰) مقایسه عملکرد راننده انسانی و کنترل‌کننده SS-MPC برای شرایط اولیه متفاوت، (الف) فاصله نسبی، (ب) خطا ۵۴

شکل (۳-۱۱) خطای پیش‌بینی در سیستم کنترلی SS-MPC ۵۵

شکل (۳-۱۲) خروجی سیستم در شرایط وجود نویز سفید و اغتشاشات ناگهانی؛ (الف) پالس، (ب) پله، (ج) شیب ۵۶

شکل (۳-۱۳) نتیجه آزمایش مقاوم بودن ۵۷

شکل (۴-۱) شماتیک کنترل‌کننده و سیستم به همراه ورودی‌ها و خروجی‌های آن ۶۱

شکل (۴-۲) تغییرات شتاب بهینه خودرو تعقیب‌گر تولید شده توسط کنترل‌کننده ARMAX-MPC ۶۲

شکل (۴-۳) سرعت خودرو تعقیب‌گر در طول مسیر حرکت ۶۲

شکل (۴-۴) مسافت پیموده شده توسط راننده و کنترل‌کننده ARMAX-MPC ۶۳

شکل (۴-۵) عملکرد سیستم کنترلی در مقایسه با راننده انسانی: (الف) فاصله نسبی بین خودرو راهنما و تعقیب‌گر، (ب) خطا در حفظ فاصله ایمن توسط کنترل‌کننده ARMAX-MPC و راننده ۶۳

شکل (۴-۶) مقایسه عملکرد راننده انسانی و کنترل‌کننده ARMAX-MPC برای شرایط اولیه متفاوت، (الف) فاصله نسبی، (ب) خطا ۶۴

شکل (۴-۷) خطای پیش‌بینی در سیستم کنترلی ARMAX-MPC ۶۵

شکل (۴-۸) خروجی سیستم در شرایط وجود نویز سفید و اغتشاشات ناگهانی؛ (الف) پالس، (ب) پله، (ج) شیب ۶۵

شکل (۴-۹) نتیجه آزمایش مقاوم بودن سیستم ARMAX-MPC ۶۶

شکل (۵-۱) مقایسه عملکرد کنترل‌کننده ARMAX-MPC با SS-MPC، (الف) فاصله نسبی، (ب) خطا در حفظ فاصله ایمن ۶۹

شکل (۵-۲) مقایسه خطای پیش‌بینی، (الف) کنترل‌کننده SS-MPC، (ب) کنترل‌کننده ARMAX-MPC ۷۰

فهرست جدول‌ها

جدول (۲-۱) نتیجه خطا برای مدل تعقیب خودرو مبتنی بر فضای‌حالت: سرعت ۲۹
جدول (۲-۲) نتیجه خطا برای مدل تعقیب خودرو مبتنی بر فضای‌حالت: موقعیت ۲۹
جدول (۲-۳) مدل‌های چندجمله‌ای ۳۱
جدول (۲-۴) نتیجه خطا برای مدل تعقیب خودرو مبتنی بر ARMAX: موقعیت ۳۳
جدول (۵-۱) مقایسه معیار خطا برای دو مدل ARMAX و فضای‌حالت ۷۱

فصل اول

مقدمه، تعاریف و پیشینه
تحقیق

۱-۱ مقدمه

امروزه بشر حدود ۱۰ میلیون سال از وقت خود را هر ساله صرف رانندگی در خودرو می‌کند. رانندگی موجب تولید قابلیت حرکتی می‌شود که نسبت به گونه‌های دیگر حمل و نقل قابل مقایسه نیست. با این وجود، حتی با افزایش تحقیقات ترافیکی، محققان از عوامل و پارامترهای دخیل در امر رانندگی اطلاعات خیلی کمی دارند. از طرفی با افزایش تردد وسایل نقلیه و به دنبال آن افزایش تراکم ترافیک و به تبع آن اتلاف سوخت، زمان و منابع مالی، پژوهشگران را واداشته تا به دنبال یک جایگزین مناسب باشند. سیستم حمل و نقل هوشمند[1] (ITS) الگو و جایگزینی می‌باشد که پژوهشگران با توجه به پیشرفتهای زیاد در زمینه تکنولوژی و سیستمهای ارتباطی به آن دست‌یافته‌اند. همانطور که در شکل(۱-۱) مشاهده می‌شود، ITS دو موضوع جاده و خودرو را با هدف بهتر کردن جریان ترافیک، به صورت هوشمندانه با هم ترکیب می‌کند. این سیستمها از فن‌آوری‌های ارتباطی موجود برای نظارت، اداره و کنترل سیستمهای حمل و نقل استفاده می‌کنند[۱]. اقدامات عملکردی ممکن دراین زمینه عبارت است از حداکثر ظرفیت، زمان سفر، ایمنی، مصرف سوخت، قابلیت اطمینان در زمان‌های سفر، مقاومت و . . .

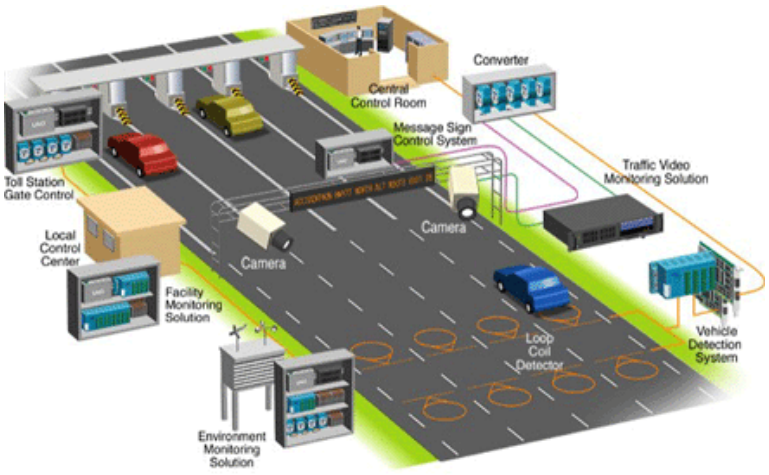
برای دست‌یابی به یک سیستم جامع هوشمند که ایمنی وسیله و جاده را فراهم کند احتیاج به اتوماسیون و روشهای کنترل هوشمند در زیرساخت‌های کنار جاده و خودروها می‌باشد که این امر موجب دست‌یابی به سیستم‌های بزرگ‌راهی خودکار[2] (AHS) شده است. با توجه به شکل (۱-۲)، این سیستم‌ها ارتباط هوشمندی را بین خودروها و زیرساختهای کنار جاده برای هماهنگی بهتر فعالیت‌های شبکه ترافیک ایجاد می‌کند. بسیاری معتقدند که AHS به عنوان یک فن‌آوری برای آینده بسیار دور است و دستیابی به آن در حال حاضر ممکن نیست. با این وجود پژوهشهای بسیاری بر روی فن‌آوری‌های زیر ساختی تمرکز کرده‌اند و اقدامات زیادی را تنها برای هوشمندسازی و افزایش ایمنی خودرو انجام می‌دهند.

[1] intelligent transportation system
[2] automated highway system

شکل (۱-۱) سیستم حمل و نقل هوشمند ITS

البته در سالهای اخیر معماری‌ها و ساختارهای کنترلی مختلف برای اتصال و الحاق زیر ساختارهای جاده و خودروهای خودوند[1] گسترش یافته‌اند. اصلی‌ترین و معروفترین چهارچوب کنترلی ارائه شده برای این موضوع، که به عنوان PATH[2] نامیده می شود، به وسیله دانشگاه برکلی در کالیفرنیا ارائه شده است[۲]. این الگو به عنوان راهنما و مرجع برای معماری‌های زیادی از ITS به کار برده می‌شود.

معماری ارائه شده برای PATH اساسا برروی کنترل خودروهای اتوماتیک، هماهنگ کردن جاده و خودرو و فعالیتهای درون خودرو تمرکز دارد. این الگو فرض می‌کند که ترافیک در دسته‌هایی[3] از خودروها سازمان یافته است؛ بطوریکه جریان ترافیک بهبود یابد و ایمنی افزایش یابد. الگوی PATH فرض می‌کند که یک شبکه[4] ترافیک متشکل از تعداد زیادی بزرگ‌راه‌های متصل به هم است. از طرف دیگر بزرگ‌راه‌ها



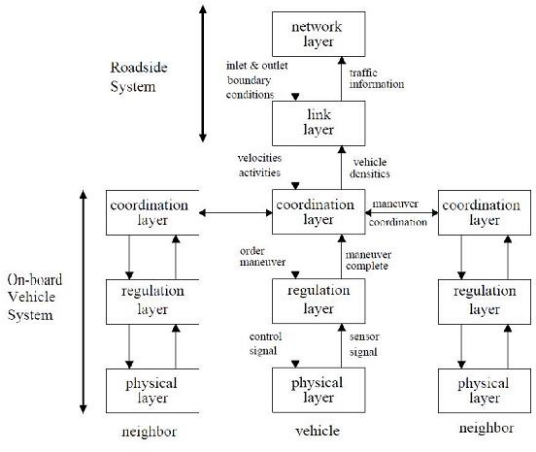
شکل (۱-۲) سیستم‌های بزرگ‌راهی خودکار AHS

[1] autonomous vehicles
[2] partners for advanced transit and highways
[3] platoon
[4] network

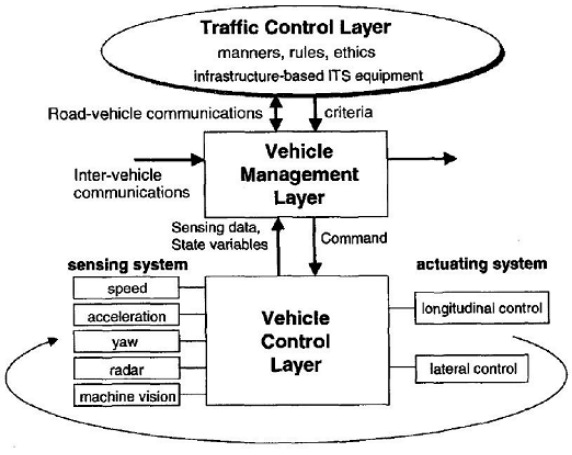
می‌توانند به اتصالات[1] (با طول حدود ۵ کیلومتر) تقسیم شوند. این اتصالات به بخش ها[2] (با طول حدود ۱ کیلومتر) تقسیم می‌شوند و این بخش‌ها به خطوط[3] تقسیم می‌شوند. چهارچوب طراحی شده یه صورت یک ساختار مرتبه‌ای با کنترل سیستم بزرگ‌راهی اتوماتیک است. این الگو در پنج لایه اساسی خود سازمان یافته توزیع شده است. این لایه‌ها عبارت از لایه شبکه، لایه اتصال، لایه هماهنگی، لایه تنظیم و لایه فیزیکی که اینها چهارچوب هستند. در لایه شبکه، کنترل‌کننده‌ها اقدامات کنترلی را برای بهینه سازی یکپارچه شبکه محاسبه و اجرا می‌کنند. کنترل‌کننده‌های مربوط به هر اتصال با دریافت فرمان هایی از کنترل‌کننده شبکه، حداکثر اندازه دسته، سرعت بهینه دسته و تنظیم مسیر برای هر خودرو برای دسترسی سریع به مقصد را محاسبه و برآورده می‌کند. کنترل‌کننده هماهنگ کننده که درون هر خودرو است، از لایه اتصال توصیه هایی را دریافت می‌کند و سایر دسته‌ها و با درنظر گرفتن سایر دسته‌ها در اطراف خودرو، بررسی می‌کند که چه حرکتی با توجه به سرعت، اندازه خودرو و جریان ترافیک قابل انجام است.

کنترل‌کننده لایه تنظیم با استفاده از قوانین کنترلی پس‌خوراند، حرکات طولی و عرضی خودرو را اجرا می‌کند و اغلب درصورتیکه نتیجه غیرایمن یا معیوبی در حرکت خودرو ایجاد شود، به لایه هماهنگی اخطار می‌دهد. لایه فیزیکی اطلاعات را از لایه تنظیم دریافت می‌کند و اطلاعات مربوط به سرعت، شتاب و حالت موتور خودرو را به لایه تنظیم می‌فرستد. این الگو در شکل (۱-۳) نشان داده شده است.

درهمین راستا الگوی Dolphin که در دانشگاه توکیو در کشور ژاپن ارائه شده است، براساس عملکرد PATH با در نظر گرفتن ۳ لایه کنترل ترافیک، لایه مدیریت خودرو و لایه کنترل خودرو ارائه شده است[۳]. این الگو در شکل (۱-۴) نشان داده شده است. الگوی دیگری با عنوان مدیریت ترافیک مبتنی بر خودرو هوشمند بر اساس الگوی PATH در دانشگاه دلفت در کشور هلند ارائه شده است[۴]. این

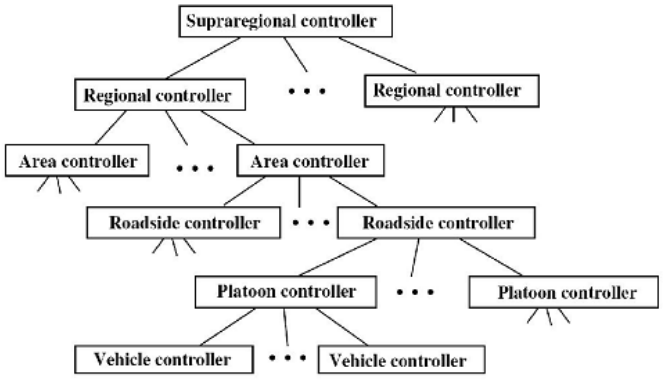


شکل (۱-۳) الگوی PATH.



شکل (۱-۴) الگوی Dolphin.

[1] link
[2] section
[3] lane



شکل (۱-۵) الگوی مدیریت ترافیک مبتنی بر خودرو هوشمند.

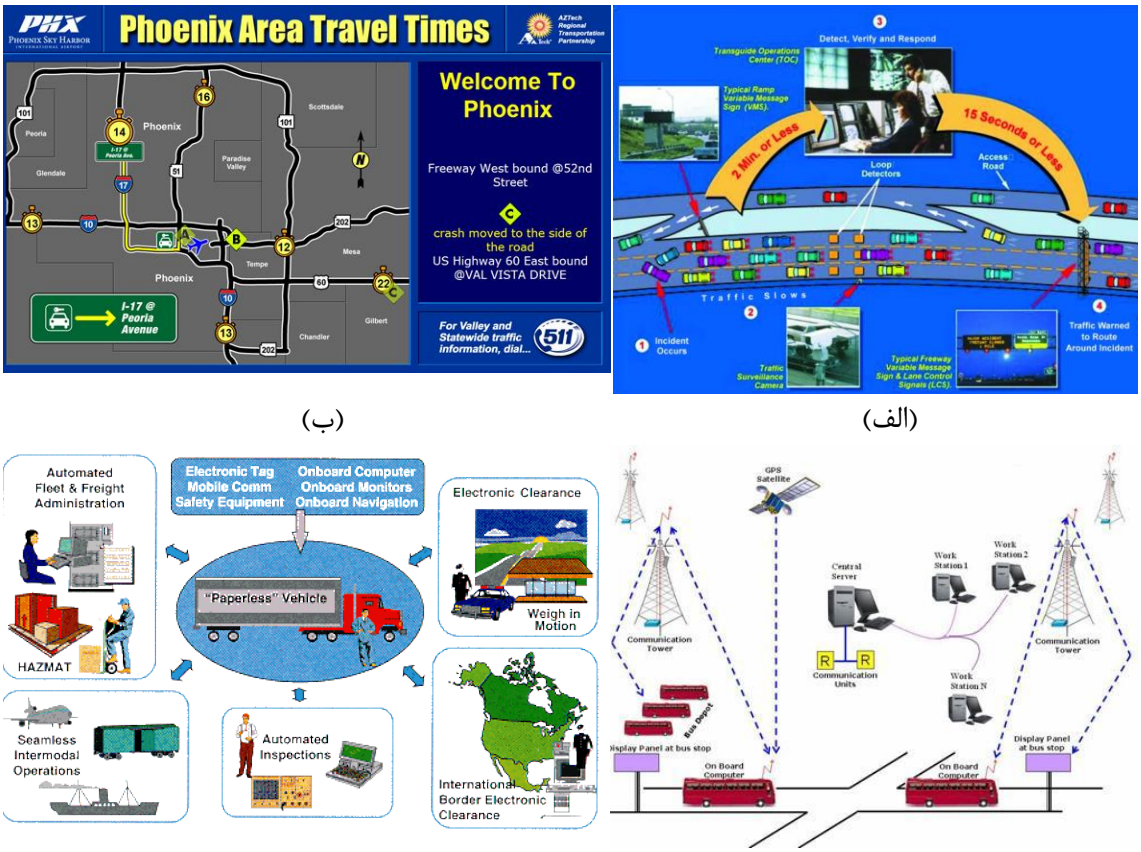
الگو شامل ۴ لایه کنترل‌کننده‌های سطوح بالا، کنترل‌کننده‌های جاده، کنترل‌کننده‌های دسته خودروها و کنترل‌کننده خودرو تقسیم بندی می‌شود. شکل (۱-۵) چهارچوب این الگو را نشان می‌دهد. همگی این الگوها با توجه به رشد دانش و فن آوری در حال تغییر و تکامل هستند.

۱-۲ سیستم های حمل و نقل هوشمند

طبق آمار عدم توجه کافی راننده به عنوان مهمترین خطای انسانی در تصادفات جاده ای معرفی شده است[۵]. ITS با بکارگیری تکنولوژی اطلاعات[۱] و ارتباطات از راه دور[۲] تراکم ترافیک را نشان می‌دهد و می‌تواند آن را کاهش دهد. ITS این پتانسیل را در خود دارد که با تسهیل بهتر مدیریت‌ها و بکار بردن توانایی‌های در دسترس در زیرساخت‌های موجود، شرایط ترافیک را بهبود ببخشد و تاخیرات زمانی در سفرها را کاهش دهد. این سیستم‌ها سطوح مختلفی از اطلاعات مربوط به سفر را فراهم می‌نمایند و در اختیار کاربران سیستم قرار می‌دهند؛ و بدین ترتیب مسافران می‌توانند به موقع و با آگاهی، تصمیمات مربوط به زمان و چگونگی سفر را اتخاذ نمایند[۶]. شایان ذکر است که آینده مطلوب ITS دستیابی به پیشگویی و تخمین شرایط ترافیک لحظات بعد، در زمان حال است.

به دلیل عدم آگاهی و دانش از شرایط ترافیک در هر لحظه و لحظات پس از آن، داشتن ابتکار عمل در هدایت و کنترل خوروها امری دور از انتظار است [۷]. ITS به زیر سیستم های مختلفی طبقه بندی می‌شود. برخی از این زیر سیستم ها عبارت از سیستمهای مدیریت ترافیک پیشرفته[۳] (ATMS)، سیستمهای اطلاعات مسافران پیشرفته[۴] (ATIS)، سیستمهای حمل و نقل عمومی پیشرفته[۵] (APIS)،

[1] information technology
[2] telecommunication
[3] advanced traffic management system
[4] advanced traveler information system
[5] advanced public transportation system



(ب) (الف)

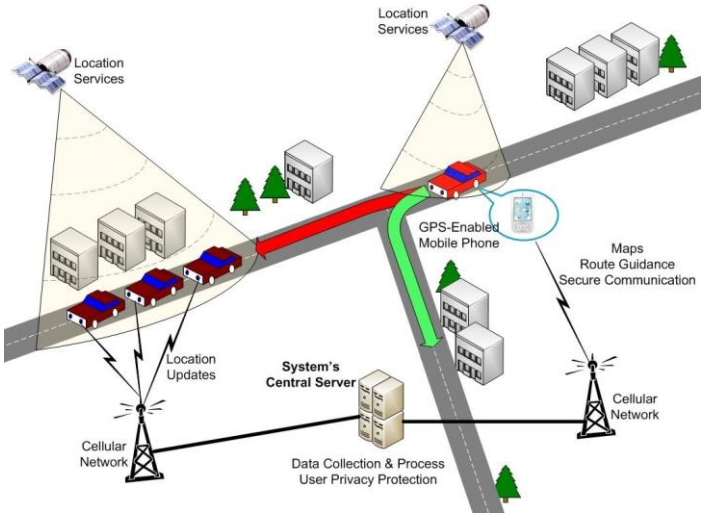
(د) (ج)

شکل (۱-۶) چند نمونه از زیر سیستم‌ها ITS، الف) سیستمهای مدیریت ترافیک پیشرفته، ب) سیستمهای اطلاعات مسافران پیشرفته، ج) سیستمهای حمل و نقل عمومی پیشرفته، د) عملیات خودروی تجاری.

عملیات خودروی تجاری[1] (CVO) و سیستمهای مدیریت فوریت[2] (EMS) می‌باشند. این سیستم‌ها در شکل (۱-۶) به ترتیب نشان داده شده‌اند. این زیر سیستم‌ها به شدت وابسته به دسترسی به اطلاعات مربوط به تخمین‌های زمانی و شرایط مکانی بدون تراکم ترافیک در هر لحظه و لحظات پس از آن در آینده هستند.

در سیستم‌های حمل و نقل، یک خواسته و ضرورت بسیار شدید برای یک سیستم تخمین و پیش‌بینی ترافیک[3] (TREPS) وجود دارد [۸]. با توجه به شکل(۱-۷)، TREPS شرایط ترافیک را تخمین می‌زند و پیش‌بینی می‌کند. در حقیقت TREPS بنیاد و مبنایی است که ITS بر اساس آن گسترش می‌یابد. تحقیقات دانشگاهی بر روی مسئله TREPS تمرکز بسیار زیادی بر تعیین ترافیک دینامیکی[4] (DTA) دارد.

[1] commercial vehicle operation
[2] emergency management system
[3] traffic estimation and prediction system
[4] dynamic traffic assignment



شکل (۱-۷) سیستم تخمین و پیش‌بینی ترافیک TREPS.

مدل‌های ترافیکی می‌باید دینامیک تحولات ترافیک را به درستی در نظر بگیرند و در خود جای دهند. مدل های DTA به طور گسترده، برحسب طبیعت دیدگاه‌های مختلف مدل‌سازی و حل مسایل، به دو بخش طبقه بندی می‌کنند [۹]. یکی از زیر بخش‌ها، روش تحلیلی است، که در این روش مسائل با در نظر گرفتن یک هدف مشخص، مانند تعادل کاربر یا حد مطلوب سیستم، به وسیله فرمول بندی ریاضی و قیود صریح تقریب زده می‌شوند. مدل‌های تحلیلی به سه زیربخش برنامه نویسی ریاضی[۱]، کنترل بهینه[۲] و تغییرات نامساوی‌ها[۳] تقسیم بندی می‌شوند [۱۰].

زیربخش دیگر روش مبتنی بر شبیه سازی است، که در حل مسایل برپایه این روش، تقاضای سفر، پشتیبانی شبکه و تعاملات این دو با یکدیگر مدل سازی می‌شوند. برای مدل‌های مختلف، این مؤلفه ها و تعاملاتشان به طریق مختلفی مدل سازی می‌شوند. اولین مدل شبیه‌سازی ترافیک در سال ۱۹۳۵ توسط Gerlough در رساله دکتری به عنوان « شبیه سازی ترافیک بزرگ راه به وسیله پردازشگر متغییر گسسته همه منظوره[۴]» ارائه شده است [۱۱].

مدل‌های شبیه‌سازی ترافیکی را می توان بر پایه میزان چکیدگی و تجردشان به سه زیربخش مدل ماکروسکوپیک[۵]، میکروسکوپیک[۶]، مزوسکوپیک[۷] طبقه بندی نمود. مدل‌های ماکروسکوپیک ترافیک را به عنوان یک جریان یکنواخت و همگن درنظر گرفته و مورد بحث قرار می‌دهند. شکل (۱-۸) یک نمونه

[1] mathematical programming
[2] optimal control
[3] variational inequalities
[4] Simulation of freeway traffic on a general-purpose discrete variable computer
[5] Macroscopic
[6] Microscopic
[7] Mesoscopic

شکل (۱-۸) مدل شبیه‌سازی ترافیک ماکروسکوپیک.

از تحلیل مدل ماکروسکوپیک شهری را نشان می‌شود. این مدل‌ها مفاهیم فیزیکی مانند دینامیک سیال را برای تقریب زدن انتشار و گسترش خودروها در شبکه بکار می‌برند. در این مدل‌ها جریان پیوسته، مشخصه‌های اصلی ترافیک مربوط به خودروها عبارت از جریان، چگالی و سرعت هستند. این مدل‌ها، با هزینه مدل‌سازی رفتار راننده به تنهایی، زمان کارکرد بسیار سریعی در شبکه‌های بسیار بزرگ دارند. اما فقدان جزئیات رفتاری مانند انتخاب مسیر در کاربردهایی که شامل اطلاعات و پاسخ‌های راننده، مانند اثر علامت پیغام متغیر و ارزشیابی راه حل‌های ATIS می‌باشد، به عنوان یک محدودیت است [۱۲و۱۳]. مدلی‌های میکروسکوپیک هر یک از رانندگان را به تنهایی، تصمیمات آنها و عکس العمل های آنها را با سطح بالایی از جزئیات بیان می‌کنند. در این مدل ها عکس العمل ممکن است شامل فرآیند تعقیب خودرو[۱]، تغییر خط[۲] و حرکت الحاقی و تسلیمی[۳] شود.

در مدل‌های میکروسکوپیک جریان ترافیک برای هر خودرو به تنهایی و عکس العمل های آن نسبت به سایر خودروها و در طول مسیر توصیف می‌شود. معمولاً این رفتارها در قالب مجموعه‌ای از قوانین درنظر گرفته می‌شوند. این قوانین رفتاری با سرعت‌گیری، ترمزگیری، و تغییر مسیر و مدل انتخاب مسیر[۴] تقسیم می‌شوند. علاوه بر این در کنترل ترافیک، خودروها نسبت به جزئیاتی نظیر تابلوها و علامات ترافیکی عکس العمل نشان می‌دهند. دراین مدل‌ها نحوه اعمال این علامات بدون درنظر گرفتن محل و عمل این مشخص کننده‌های ترافیک، توصیف می‌شود [۱۴-۱۸]. مدل‌های شبیه سازی مزوسکوپیک، مدلهای ترکیبی هستند که از ترکیب مشخصه‌های هر دو مدل‌های میکروسکوپیک و ماکروسکوپیک به دست آمده‌اند. مدل‌های مزوسکوپیک هر یک از رانندگان را به تنهایی و تصمیمات سفر آنها را بازنمایی می‌نماید؛ درحالی که عکس العمل های خودرو با ارتباطات ترافیک ماکروسکوپیک

[1] Car following
[2] Lane changing
[3] Merging-yielding maneuver
[4] Route choice

جایگزین می‌نماید. از آنجایی که هدف اساسی این مدل‌ها تخمین و پیش‌گویی شرایط ترافیک در زمان واقعی است، اینگونه مدل‌ها ترکیبی از مفاهیم مدل‌سازی ماکروسکوپیک و میکروسکوپیک هستند. این مدل‌ها رفتار رانندگان را با جزئیات کامل بصورت مدل‌های ماکروسکوپیک و انتخاب مسیر رانندگان را بصورت دینامیک ترافیک به یکدیگر متصل می‌کنند [۱۱و۱۹].

۱-۳ فرآیند تعقیب خودرو

روش‌های تئوری و توصیفات ریاضیاتی بسیار متنوعی برای مطالعه و بررسی جریان ترافیک در بزرگ‌راه‌ها وجود دارد. یکی از این تئوری‌ها، که بسیار پرکاربرد است، مدل فرآیند تعقیب خودرو نام دارد. ایده اصلی این روش بر پایه وابستگی حرکت هر خودرو دلخواه نسبت به خودروی پیش‌روی در صف ترافیک است. البته توجه به این نکته ضروری است که بررسی و تحلیل رفتار و اتفاقات یک خط مسیر بدون ترافیک را، می‌توان بعداً در توصیف و تحلیل مشخصه‌های حرکت خودروها به تنهایی به کار برد. با گذشت بیش از نیم قرن، هنوز هم تحقیقات و آزمایشات میدانی برای مطالعه رفتار فرآیند تعقیب خودرو در جاده‌ها و شاه‌راه‌های آزمایشی اجرا می‌شوند، و پس از آن با استفاده از اطلاعات بدست آمده از این آزمایشات، رفتار راننده و خودروها مدل‌سازی می‌شوند.

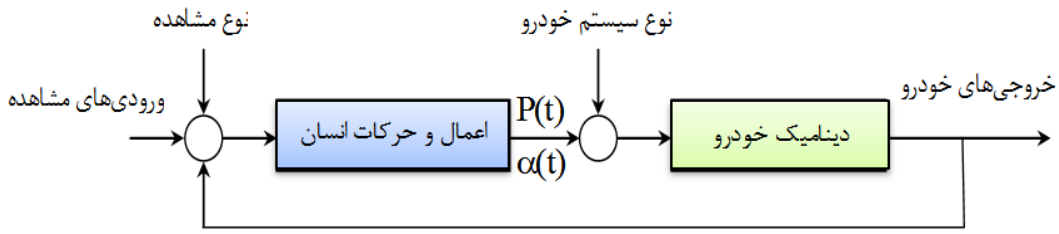
در سال‌های اخیر، اهمیت آگاهی از جزئیات بیشتر از رفتار راننده، بسیار اساسی و ضروری شده است. زیرا شرح و توصیف مناسب از این فرآیند، یک کاربرد پراهمیت و لحظه‌ای در موضوع طراحی و ارزیابی سیستم‌های کمک راننده پیشرفته[1] (ADAS) مانند کنترل سفر تطبیقی[2] (ACC) دارد. ACC راننده را قادر می‌سازد تا فاصله تعقیب مطلوب را به وسیله حس‌گرهای فاصله و عمل‌گرهای دینامیکی خودرو نگه دارد.

انسان‌ها در استفاده و کنترل سیستم‌های ماشین و انسان[3] مانند رانندگی خودرو، نقش اساسی را ایفا می‌کنند. مدل‌سازی رفتار راننده در رانندگی خودرو، مهارت‌های انسان را به سیستم‌های هوشمند، مانند سیستم کنترل سفر تطبیقی، سیستم تطبیق سرعت هوشمند[4] (ISA) و خودروهای هوشمند[5] (IV)، انتقال داده است. مدل‌های رانندگی انسان، همچنین برای ارزیابی کارآیی سیستم‌های حمل و نقل ضروری و لازم‌الاجرا هستند. با پیشرفت فن‌آوری‌های سیستم‌های حمل و نقل هوشمند خودرو محور، درک و فهمیدن واکنش رفتار اساسی قانونی رانندگان و تغییرات آن‌ها در برابر سیستم‌های جدید، بسیار مهم و پرارزش شده است.

[1] advanced driver assistance systems
[2] adaptive cruise control
[3] human-machine systems
[4] intelligent speed adaption
[5] autonomous vehicles

بر اساس مدل ماشین و انسان ارائه شده توسط Rasmussen، رفتار راننده را می‌توان در یک ساختار سلسله مراتبی به سه سطح تقسیم‌بندی کرد [۲۰]. این سه سطح عبارت از سطح استراتژیک[1]، سطح تاکتیک[2] و سطح عملیاتی[3] هستند. در بالاترین سطح یا همان سطح استراتژیک، اهداف کلی هر راننده مشخص می‌شود، و یک مسیر با توجه به این اهداف در نظر گرفته می‌شود. در پایین‌ترین سطح یا همان سطح عملیاتی، اعمال واقعی رانندگان، مانند چرخاندن فرمان، فشردن پدال‌ها، و تعویض دنده‌ها، نشان داده می‌شود. در سطح میانی یا همان سطح تاکتیکی، برخی مانورها و حرکات بر پایه دستیابی به اهداف کوتاه‌مدت، مانند تعاملات با سایر رانندگان و زیرسازه‌های مسیر، انتخاب و اجرا می‌شوند. رفتار در این سطح به وسیله آخرین و تازه‌ترین حالات و موقعیت‌های راننده مشخص می‌شود. اما همچنین از اهداف اساسی راننده در سطح بالاتر تأثیر می‌پذیرد. برای گسترش و ایجاد یک شبیه‌سازی میکروسکوپیک ترافیک با بالاترین صحت و درستی، اغلب اوقات پژوهشگران به تقلید و پیروی از رفتار رانندگی واقعی انسان در یک سطح تاکتیکی تمایل دارند. بدون شرح و توصیف جزئیات اعمال و اقدامات راننده، دستگاه‌های راننده و خودرو[4] (DVUs) در شبیه‌سازی، برای تکرار کردن حالات مختلف به درستی و واقعیت، یعنی خصوصیات موقعیت خودرو، سرعت، شتاب و زاویه فرمان، مدل‌سازی می‌شود. در شکل (۱-۹)، یک دستگاه راننده و خودرو (DVU) را که در آن جزئیات اعمال راننده به صورت درونی در آمده است، نمایش داده شده است. در این شکل $P(t)$ و $\alpha(t)$ خروجی‌های عمل راننده برای فشردن پدال گاز یا ترمز و زاویه فرمان هستند.

فرآیندهای تعقیب خودرو و تغییر خط، دو مدل اساسی در سطح تاکتیکی برای یک سیستم شبیه‌سازی میکروسکوپیک هستند. تعقیب خودرو حرکت طولی یک راننده را در زمانی‌که یک اتومبیل دیگر را دنبال می‌کند و تلاش می‌کند تا یک فاصله ایمن را با خودرو جلویی حفظ و نگه دارد، توصیف می‌کند. تغییر خط رفتار جانبی یک راننده بین دو خط مسیر در یک جاده با چند خط مسیر، زمانیکه راننده قصد دارد از تعارضات ممکن با سایر اتومبیل‌ها در همان خط مسیر بگریزد را توصیف می‌کند [۲۱]. شکل (۱-۱۰) فرآیند تعقیب خودرو شامل خودرو راهنما[5] و خودرو تعقیب‌گر[6] را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۹) ساختار مدل یک دستگاه راننده و خودرو.

[1] strategic level
[2] tactical level
[3] operational level
[4] driver-vehicle units
[5] leader vehicle
[6] follower vehicle