بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی مهندسی مکانیک

پایاننامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

گرایش سیستم محرکه خودرو

عنوان

پژوهشی بر تولید مسیر عاری از برخورد برای خودروهای بدون سرنشین در محیط های دینامیکی

استاد راهنما

دکتر احمد قنبری

استاد مشاور

دکتر علی رستمی

پژوهشگر

ولی الله جمال نیا

دی ماه 1388

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و در سایه وجودشان در راه کسب علم ودانش تلاش نمایم . والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

نگارنده بر خود لازم می‌داند کـه از زحمـات بـی‌دریـغ، تـلاش‌هـای بـی‌وقفـه و راهنمایی های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر قنبری در راستای انجام این پروژه در طول یک سال گذشته تشکر و قدردانی نماید.

نام خانوادگی دانشجو: جمال نیا	**نام:** ولی الله
عنوان پایان نامه : پژوهشی بر تولید مسیر عاری از برخورد برای خودروهای بدون سرنشین در محیط های دینامیکی	
استاد راهنما: دکتر احمد قنبری	
استاد مشاور: دکتر علی رستمی	

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:** مهندسی مکانیک	**گرایش:** سیستم محرکه خودرو

دانشگاه: تبریز	**دانشکده:** فنی مهندسی مکانیک	**تاریخ فارغ التحصیلی:** دی ماه ۱۳۸۸	**تعداد صفحات: ۱۵۹**

کلید واژه ها: محیط دینامیک، محیط استاتیک، تولید مسیر، خودرو بدون سرنشین

چکیده:

ابتدا مروری بر انواع خودروهای بدون سرنشین(UVs) صورت خواهد گرفت. سپس الگوهای تولید مسیر(trajectory planning) ومشخصات آنها در محیطهای استاتیك ودینامیك مورد بحث قرار خواهند گرفت. محیط استاتیك به این معناست که اشیاء (که می-توانند مانعی برای UVs باشند) ساکن هستند ودر محیط دینامیك موانع می‌توانند متحرك باشند. یکی از چالشهای مربوط به انجام ماموریت یك خودروی بدون سرنشین درهرمحیطی اعم از استاتیك یا دینامیك،مسیریابی از بین موانع(ساکن یا متحرك) است، برای محیطهای استاتیك چندروش والگوریتم که دارای نتایج بسیارخوبی می‌باشند ارائه شده است اما درمورد فضای دینامیك گرچه طرحهایی با نتیجه جالب ارائه شده است ولی هنوز به تحقیقات بیشتری نیاز است. هدف این تحقیق بررسی وتولید مسیر حرکتی(trajectory planning) ترجیحا با استفاده از نرم‌افزارهای مهندسی است که UGV راقادرسازد درصورت ظاهرشدن ناگهانی یك مانع در مسیرحرکت، یا از طرفین مانع مسیری را با لحاظ کردن زمان بهینه به سمت هدف در پیش بگیرد ویا اینکه در صورت غیرممکن بودن این مورد ،UGV رامتوقف کند تا با مانع برخورد ننماید. در نهایت نتایج بدست آمده مورد بحث و بررسی قرار گرفته و پیشنهاداتی برای کارهای آینده ارائه خواهد شد.

« فهرست مطالب »

فصل اول

پایه های نظری وپیشینه پژوهش

مقدمه.....1

1-1) انواع خودروهای بدون سرنشین.....6

1-1-1) خودرو بدون سرنشین هوایی 6

1-1-2) خودرو بدون سرنشین زمینی 8

1-1-3) خودروهای بدون سر نشین دریایی.....10

1-2) سیستمهای هولونومیک و غیر هولونومیک.....12

1-3) تولید مسیر(Trajectory).....16

1-3-1) اصطلاحات.....17

1-4) پیشینه پژوهش در تولید مسیر برای خودروهای بدون سرنشین.....19

فصل دوم

مواد و روشها

مقدمه.....47

2-1 مدل ریاضی خودرو.....51

2-1-1) سینماتیک خودرو.....51

2-1-1-1) شرط آکرمن.....51

2-1-1-2) مدل دوچرخه ای خودرو.....53

2-1-1-3) استخراج معادلات حرکت خودرو.....55

2-1-2) محاسبه نیروهای قائم وارد بر تایر خودرو 60

2-1-3) ماکزیمم شتاب یک خودرو رانش عقب.....63

2-1-4) شتاب عرضی یا جانبی خودرو.....67

2-2) تولید مسیر(Trajectory) 72

2-2-1) محاسبات نرم.....72

2-2-2) منطق فازی و کنترل فازی.....74

2-2-2-1) مقایسه کنترلر فازی با کنترلر کلاسیک.....78

2-2-2-2) مروری بر مفاهیم و اصطلاحات مهم در منطق فازی.....80

2-2-2-3) سیستمهای فازی.....83

2-2-2-4) ماژول جستجوی هدف.....87

2-2-2-4-1) فازی سازی.....90

2-2-2-4-2) پایگاه قواعد فازی.....95

2-2-2-4-3) تنظیم پارامترهای سیستم فازی با استفاده.....99

از روش گرادیان نزولی

2-2-2-4-4) غیرفازی ساز میانگین مراکز.....106

2-2-2-4-5) الگوریتم گرادیان نزولی.....109

2-2-2-4-6) پارکینگ در مقصد.....112

2-2-2-5) ماژول اجتناب از برخورد با مانع.....116

2-2-2-5-1) پیش بینی رفتار آینده موانع متحرک.....127

فصل سوم

3-1) نتایج شبیه سازی 137

منابع مورد استفاده 156

فهرست متغیرها

مختصات تعمیم یافته	q
سرعتهای تعمیم یافته	$\dot{q}$
Configuration Space	Q
Tangent space	TS
زاویه خودرو با محور افقی	θ
عرض خودرو	w
طول خودرو	L
فاصله مرکز جرم از محور عقب	L_f
فاصله مرکز جرم از محور جلو	L_r
شعاع مسیر خودرو	R
Front Wheel Steering Angle	δ_f
Rear Wheel Steering Angle	δ_r
سرعت نقطه میانی محور عقب	V_B
سرعت مرکز جرم خودرو	V
Yaw Rate	$\dot{\theta}$
جرم خودرو	m
نیروی آیرودینامیک	F_{aero}
شتاب طولی خودرو	a_x

شتاب جانبی خودرو	a_y
نیروی عمودی تایر جلو	F_{zf}
نیروی عمودی تایر عقب	F_{zr}
ارتفاع مرکز جرم خودرو از زمین	h
ارتفاع نقطه اثر نیروی آیرودینامیک از زمین	h_a
ضریب اصطکاک بین تایر و زمین	μ
نیروی رانشی چرخ عقب	F_{xr}
نیروی رانشی چرخ جلو	F_{xf}
گشتاور موتور بر حسب نیوتن متر	Te
دور موتور متناظر با گشتاور Te بر حسب دور بر دقیقه	n
نسبت انتقال گیربکس و گرداننده نهایی	Ntf
بازده سیستم انتقال قدرت	ef
شعاع غلتش چرخ محرک	rr
شتاب کاهشی	a_{xb}
نیروهای جانبی تایر جلو و عقب	F_{yf} و F_{yr}
زاویه چرخ جلو با محور تقارن طولی خودرو	steer_angle
زاویه خودرو و خط واصل هدف و نقطه میانی محور عقب خودرو	d_teta

فاصله خودرو تا موقعیت پارکینگ نهایی	delta
زاویه فرمان خودرو	φ
کمترین شعاع مجاز مسیر	$R_{\min}$
درجه بحرانی بودن مانع	f
کمترین فاصله میان خودرو و مانع بحرانی	dd4
زاویه نزدیک ترین نقطه مانع بحرانی نسبت به خودرو	teta_o4
کمترین فاصله بین موانع جانبی و خودرو	dd7و dd1

فصل اول

پایه های نظری و

پیشینه پژوهش

مقدمه

خودروها در سالیان گذشته و امروزه نقش زیادی در سیستم حمل و نقل جهانی داشته اند و این استفاده از خودروها به طور پیوسته در حال افزایش است. این امر باعث احساس نیاز به توسعه خودروهایی شده است که:

- از منابع فسیلی به عنوان سوخت به طور بهینه استفاده کنند
- از سطح بزرگراهها به طور بهینه استفاده کنند
- حمل و نقل راحت وایمنی را فراهم کنند
- آلاینده های صوتی و شیمیایی ناچیزی داشته باشند

توسعه خودروهایی که بتوانند نیازهای بالا رو برآورده کنند، چالش بزرگی است. برای تامین شرایط فوق خودروها روز به روز بیشتر به سمت استفاده از قطعات الکترومکانیکی ای میروند که از سنسورها و محرکه ها(actuators) و کنترل فیدبک استفاده می کنند.

خودروهای امروزی به خاطر اعتماد و تکیه بر کنترل انسانی (Human Control)ذاتا خطرناک هستندو کوچکترین اشتباه در رانندگی با سرعت بالا می تواند به یک فاجعه منجر شود. به طور متوسط، در هر دقیقه یک انسان در نقطه ای از جهان به خاطر تصادف خودروها جان خود را از دست می دهد. متداولترین دلیل تصادفات حواس پرتی راننده می باشد که منجر به زمان نامناسب عکس العمل یا کنش رانندگی نامناسب می شود. درصد زیادی از رانندگان در موقعیت های غیرمنتظره کنش رانندگی نامناسبی

انجام داده و باعث وقوع تصادف می شوند در حالی که با وجود یک راننده ماهر و با دقت امکان اجتناب از تصادف وجود دارد. علاوه بر ضایعات احساسی و عاطفی ناشی از تصادف، هزینه وارده در تصادف برخودروها در سال 2000 یک تریلیون دلار برآورد شده است. اطلاعات منتشر شده توسط موسسه NHTSA نشان می دهد که 6/335 میلیون تصادف در سال 1998 در بزرگراههای ایالت های مختلف آمریکا اتفاق افتاده است. این اطلاعات همچنین نشان می دهد که در حالی که عوامل مختلف در تصادفات دخیل بوده اند اما عامل اشتباهات انسانی مسئول بیشتر از ٪90 این تصادفات بوده است . سیستم های کمک راننده(Driver Assistance) مختلفی به وسیله خودروسازان تولید شده است تا در بعضی شرایط مثل ترافیک(توقف و حرکت یا Stop and Going)، رانندگی به وسیله این سیستم ها به صورت خودکار انجام شود و خستگی راننده کاهش یابد و در نتیجه از تصادفات در بزرگراهها کاسته شود، به این ترتیب استفاده از این سیستم ها به کاهش ترافیک ناشی از تصادفات در بزرگراهها نیز کمک می کند و خود به خود منجر به کاهش مصرف سوخت و کاهش الاینده ها می شود[28].

به دلیل افزایش مستمر تقاضاها در زمینه حمل و نقل و برآورده شدن شرایطی که قبلا ذکر شد ، بهترین راه حل تغییر دادن کنترل خودرو از کنترل انسانی(راننده) به کنترل کاملا اتوماتیک(full driving automation) می باشد که راننده را از سیستم کنترل خودرو حذف می کند تا بازدهی خودرو(استفاده بهینه تر از سوخت و فضای جاده و بزرگراه، کاهش آلاینده ها،...) افزایش یابد و تعداد تصادفات کاهش یابد. در همین راستا، نوع جدیدی از خودرو ها که Cybercar نامیده می شوندو دارای قابلیت و توانایی کارکرد کاملا اتوماتیک و خودکار برای استفاده های عمومی در سیستم حمل و نقل می

باشند(سیستم حمل و نقل هوشمند) توسط محققین اروپایی طراحی شده و در بعضی شهرهای کشورهای اروپایی مورد استفاده قرار گرفته اند، شکل(1-1).

شکل(1-1) یک Cybercar برای حمل مسافر

موسسه مرکزی تولید Cybercar آن را به صورت زیر تعریف کرده است:

" Cybercars خودروهای جاده ای (Road Vehicle) با قابلیت رانندگی خودکار می باشند. هر ناوگان از این خودرو ها یک سیستم حمل و نقل مسافر یا کالا را تشکیل می دهند که بر روی شبکه ای از جاده ها(A Network of Roads) به صورت Door to Door یا On-Demand فعالیت می

کنند. این ناوگان ها تحت مدیریت یک سیستم مرکزی قرار دارند تا ماموریت خاصی را در محیط های مشخصی به انجام برسانند. فعلا این خودروها برای مسافت های کم و سرعت های پایین در محیط شهری یا مناطق خصوصی طراحی می شوند،ولی در دراز مدت و در آینده این خودرو قادر به فعالیت اتوماتیک با سرعت بالا خواهند شد."

همه Cybercar هایی که الان موجود هستند، از موتور الکتریکی و باتری استفاده می کنند. به این دلیل عملکرد آنها به دلیل ظرفیت کم ذخیره انرژی باتری های کنونی دچار محدودیت می شود. یک کاربرد جالب دیگر این خودروها، توانایی عملکرد آنها به صورت Platooning می باشد، شکل(2-1). به این معنا که مجموعه ای از خودروها به صورت جوخه ای، پشت سر هم و نزدیک به همدیگر حرکت می کنند. خودرویی که از همه جلوتر بوده ونقش رهبری مجموعه را دارد ، بسته به نوع کاربرد ممکن است به صورت اتوماتیک عمل کند و یا دارای راننده باشد. این حرکت جوخه ای دارای مزایای زیر می باشد[29]:

- استفاده بهینه از فضای بزرگراه: چون خودروها در این روش با رعایت فاصله ایمن نزدیک به همدیگر با حرکت می کنند، باعث کاهش فضای استفاده شده توسط این مجموعه از خودروها در اتوبان می شود، در نتیجه حجم ترافیک کاهش می یابد. به طوری که تخمین زده می شود که اگر فاصله بین خودروهای جوخه که با سرعت 65 مایل بر ساعت حرکت می کنند، 21 فوت باشد، ظرفیت بزرگراه از 2000 خودرو در lane بر ساعت به 5700 خودرو در lane بر ساعت افزایش می یابد(lane فاصله بین دو خط کشی در اتوبان).

- کاهش نیروی دراگ: Platooning باعث کاهش قابل توجه نیروی درگ وارد بر خودرو می شود. کاهش نیروی دراگ یعنی کاهش مصرف سوخت و در نتیجه بازدهی سوخت بالاتر و کاهش آلاینده ها. ثابت شده است که بیشترین کاهش نیروی دراگ وقتی اتفاق می افتد که فاصله بین خودرو ها ، نصف طول خودرو باشد، در این شرایط نیروی دراگ ٪50 کاهش یافته و مصرف سوخت نیز ٪25-20 درصد کاهش می یابد.

شکل(2-1) Vehicle Platooning مرجع[30]

به طور کلی استفاده از خودروهای اتوماتیک مانند Cybercar دارای مزایای زیر می باشد:

- استفاده بهینه از انرژی مصرفی خودرو
- ایمنی بیشتر(به دلیل حذف خطاهای انسانی)
- استفاده بیشتر از فضای جاده ها و اتوبان ها و کاهش ترافیک
- آلایندگی کمتر نسبت به خودروهای معمولی(چه از نظر صوتی و یا شیمیایی)

- عموما قابلیت کارکرد اتوماتیک و یا به کمک اپراتور انسانی را دارا می باشند(Dual mode Operation)
- تمام ناوگان به وسیله یک سیستم مدیریت مرکزی قابل کنترل می باشد.
- قابلیت عملکرد یک مجموعه از Cybercar ها به صورت Platooning

خودروهای بدون سرنشین که به اختصار UVs نامیده می شوند، به طور کلی چند دسته هستند که در ادامه معرفی می گردد.

1-1 انواع خودروهای بدون سرنشین(UVs or Unmanned Vehicles):

در کل به خودروهای کاملا خودکار متحرک UVs می گویند که به سه دسته کلی زیر تقسیم می شود:

1-1-1 خودرو بدون سرنشین هوایی (UAVs or Unmanned Aerial Vehicles)

معمولا در عملیات پلیسی یا نظامی که استفاده از خلبان انسانی دارای ریسک بالا باشد یا در عمل اصلا امکان پذیر نباشد، از این نوع خودرو استفاده می شود. موارد عمده کاربرد این خودروها را میتوان به شکل زیر دسته بندی کرد:

- **شناسایی هوایی** : اغلب برای گرفتن فیلم هوایی از مناطق دوردست به ویژه وقتی که استفاده از خلبان دارای ریسک بالایی است ، استفاده می شود. این خودروها معمولا به تجهیزاتی مانند دوربین های مادون قرمز و ... مجهز می شوند. عکس ها ، فیلم ها و اطلاعات به دست آمده می تواند به صورت همزمان با انجام عملیات شناسایی به مرکز کنترل ارسال شود.

- **تحقیقات علمی**: در بسیاری از موارد ، تحقیقات علمی مستلزم بـه دسـت آوردن اطلاعـات از نواحی خطرناک یا دوردست می باشد، یک مثال خوب در این زمینه تحقیقـات هواشناسـی و طوفان های دریایی می باشد که مستلزم فرستادن یک هواپیمای بزرگ دارای خلبـان بـه مرکـز طوفان برای گرفتن اطلاعات مربوط به هواسنجی می باشد. یک هواپیمای بدون سرنشین مـی تواند این عملیات را بدون هیچ خطری برای خلبان انسانی انجام دهد.

نیروی هوایی ایالات متحده مهمترین سازمان استفاده کننده از این خودروها مـی باشـد . یـک نوع از این خودروها که ساخت ایرباس می باشد در شکل(3-1) آورده شده است.

شکل(3-1) یک خودرو بدون سرنشین هوایی

1-1-2 خـودرو بـدون سرنشـین زمینـی (UGVs or Unmanned Ground Vehicles)