



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

باسمه تعالی

## فرم پیشنهاد پروژه کارشناسی



دانشکده مهندسی کامپیوتر

تحويل پیشنهاد پروژه به دانشکده و ثبت نهایی آن در پورتال: (این قسمت توسط کارشناسان آموزش دانشکده تکمیل می شود).

تاریخ تحويل پیشنهاد پروژه به آموزش دانشکده:

تاریخ ثبت نهایی در پورتال آموزشی دانشگاه:

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: مهدی رحمانی

شماره دانشجویی: ۹۷۳۱۷۰۱

رایانامه (ایمیل) دانشجو: mah.rah@aut.ac.ir

نیمسال و سال تحصیلی ثبت نام پروژه: نیمسال اول از سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۱

**توضیح ۱:** دانشجو موظف است حداکثر دو ماه پس از ثبت نام پروژه فرم تکمیل شده پیشنهاد پروژه را، که به امضای استاد راهنمای او رسیده است، به آموزش دانشکده تحويل دهد. انجام سر وقت این مرحله نشان دهنده بخشی از رعایت زمانبندی انجام پروژه توسط دانشجو است.

**توضیح ۲:** آموزش دانشکده پیشنهاد پروژه دریافتی را جهت تعیین داور و انجام داوری در اختیار گروه آموزشی استاد راهنمای دانشجو قرار می دهد. گروه های آموزشی حداکثر طی دو ماه داوری را انجام داده و در صورت تصویب در گروه، پیشنهاد پروژه را جهت تصویب در دانشکده و ثبت در پورتال آموزشی دانشگاه در اختیار آموزش دانشکده قرار می دهند. دانشجویان موظفند با داور(ان) پیشنهاد پروژه خود در ارتباط بوده و نظرات آنان را، با راهنمایی استاد راهنمای خود و در مهلت مقرر گروه برای تصویب پیشنهاد پروژه، بر روی پیشنهاد پروژه خود اعمال نمایند.

**توضیح ۳:** مهلت درج نمره پروژه دانشجویانی که در نیمسال اول یا در تابستان سال تحصیلی پروژه را اخذ نموده اند، سی ام مهر سال تحصیلی بعد و برای دانشجویانی که در نیمسال دوم پروژه را اخذ نموده اند، سی و یکم ام فروردین سال تحصیلی بعد است.

**توضیح ۴:** فاصله زمانی بین ثبت نهایی پیشنهاد پروژه (تصویب شده) در پورتال آموزشی دانشگاه و دفاع از پروژه حداقل سه ماه است و امکان دفاع قبل از سپری شدن این فاصله زمانی وجود ندارد. همچنین، دفاع از پروژه کارشناسی با اعلان عمومی و با حضور مخاطبان در حضور داوران انجام خواهد شد. لازم است دانشجویان حداقل سه هفته قبل از فرارسیدن مهلت درج نمره پروژه (توضیح ۳)، پایان نامه تایپ شده خود را، که به تأیید استاد راهنما رسیده است، در اختیار آموزش دانشکده و داور(ان) پروژه قرار داده و مقدمات برگزاری جلسه دفاع را، با هماهنگی آموزش دانشکده، فراهم آورند.

**توضیح ۵:** لازم است دانشجویان رویه دانشگاه صنعتی امیرکبیر با عنوان «چگونگی ثبت نام، تصویب، و دفاع از پایان نامه در مقطع کارشناسی» را که با شماره AUT-PR-3210 بر روی سایت معاونت آموزشی دانشگاه قرار گرفته است مطالعه کنند.

امضای دانشجو:

تاریخ: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶

استاد راهنمای پروژه:

نام و نام خانوادگی:

امضا:

تاریخ:

عنوان پروژه:

عنوان فارسی:

مکان‌یابی مبتنی بر لایدار در خودروهای خودران

عنوان انگلیسی:

## Lidar based self localization in autonomous vehicles

داور(ان) پیشنهاد پروژه:

داور اول:

نام و نام خانوادگی:

امضا:

تاریخ:

داور دوم:

نام و نام خانوادگی:

امضا:

تاریخ:

توضیح: با امضای این قسمت داور(ان) محترم تأیید می‌کنند که

۱- دانشجو، با راهنمایی استاد راهنمای خود، اصلاحات مورد نظر داور(ان) را انجام داده و عنوان و محتوای پیشنهاد پروژه از نظر ایشان قابل قبول است.

۲- دانشجو با مفاهیم پیش‌نیاز و مهارت‌های ضروری و پایه انجام این پروژه آشنایی داشته یا کسب آن برای دانشجو در طول انجام پروژه امکان‌پذیر است.

۳- موارد زیر در پیشنهاد پروژه مورد توجه قرار گرفته است:

- عنوان پروژه به طور کامل و دقیق موضوع پروژه را نشان می‌دهد و محتوای پروژه با عنوان پروژه کاملاً مطابقت دارد.
- پیشنهاد پروژه شامل بخش‌های مقدمه، مرور پیشینه پژوهش، رویکرد پیشنهادی، روش ارزیابی، مراحل و زمان‌بندی انجام پروژه، امکانات لازم و لیست مراجع و منابع است.
- اجزای سامانه مورد نظر پروژه در یک نمودار بلوکی نشان داده شده و ورودی‌ها و خروجی‌های آن مشخص شده‌اند.
- تأکید پروژه بر روی مسائل عملی و علمی و مهارت‌های مهندسی کامپیوتر است و پروژه منجر به توسعه نرم‌افزار، سخت‌افزار یا ترکیبی از آن دو و با درجه سختی و حجم مناسب یک پروژه سه واحدی است.
- پروژه بر مبنای استفاده از دروس کارشناسی تعریف شده است.
- چنانچه قرار است در پروژه از ابزارها، نرم‌افزارها، یا محیط‌های آماده استفاده شود، این موارد با صراحت بیان شده و مشخص شده است چه بخش‌هایی و با چه مقداری تلاش سهم دانشجو است.
- پروژه علاوه بر بخش مطالعاتی-نظری، حدود ۱۵۰ ساعت کار عملی لازم داشته و انجام آن حداقل ۳ ماه زمان نیاز دارد.

تصویب پیشنهاد پروژه:

تصویب در گروه آموزشی:

نام و نام خانوادگی مدیر گروه:

امضا:

تاریخ:

تصویب در شورای آموزشی-پژوهشی دانشکده:

نام و نام خانوادگی معاون آموزشی:

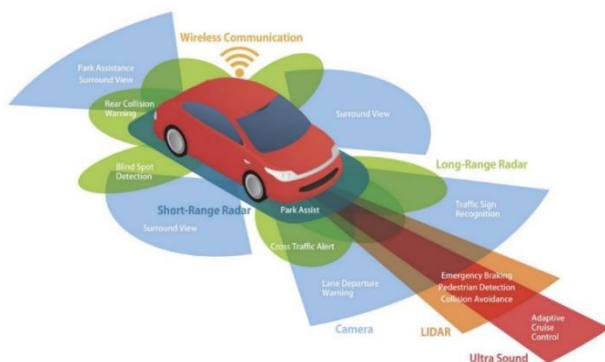
امضا:

تاریخ:

**تعریف پروژه:** (دانشجو می‌تواند با اضافه کردن فاصله لازم بر روی فایل قابل ویرایش این سند، توضیحات خود را در هر یک از قسمت‌های زیر تایپ کند).

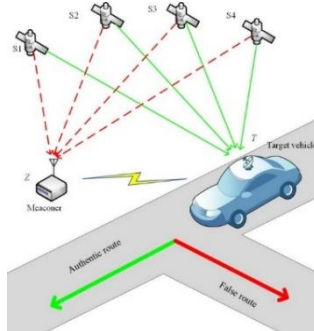
#### ۱- مقدمه (بیان مسئله کاربردی، ضرورت، انگیزه، اهداف، و چالش‌های انجام این پروژه):

امروزه به تکنولوژی خودروهای خودران، به عنوان یک راه امیدوارکننده و در عین حال چالش برانگیز برای کاهش تصادفات جاده‌ای و همچنین بهبود شرایط ترافیکی نگاه می‌شود [۱]. تکنولوژی مذکور، امکاناتی نظیر حسگرهای مختلف و دوربین‌ها و همچنین روش‌های هوش مصنوعی را به کار می‌گیرد تا بتواند تردد خودروی بدون راننده را امکان‌پذیر سازد و این امر موجب می‌شود تا خطاهای انسانی در رانندگی کاهش یابد. برای آنکه وسیله نقلیه خودران به صورت ایمن در محیط‌های شهری رانندگی کند، لازم است تا موقعیت دقیق خود را بداند. مکان‌یابی نقشی اساسی در بسیاری از کاربردها مانند مسیریابی ربات‌ها یا تخمین مکان خودروهای خودران دارد. امروزه با پیشرفت حسگرها و ظهور انواع جدیدی از آن‌ها و همچنین ابداع الگوریتم‌های پیشرفته‌تر تخمین دقیق‌تر مکان خودرو امکان‌پذیر شده است [۲].



شکل ۱- شماتیکی از انواع حسگرهای نصب شده بر روی خودروی خودران

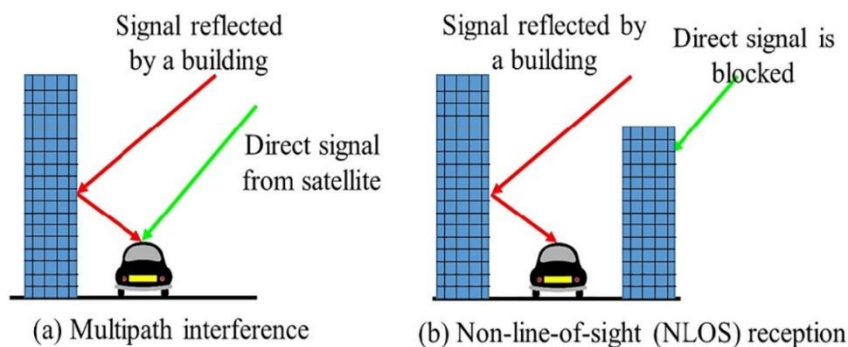
سیستم ناوبری ماهواره‌ای جهانی<sup>۱</sup>، شبکه‌ای متشکل از ماهواره‌ها می‌باشد که اطلاعات زمانی و مکانی را به زمین ارسال می‌کنند. برای مکان‌یابی در این سیستم، به اطلاعات دریافت شده از حداقل چهار ماهواره لازم است و این اطلاعات توسط گیرنده‌های مربوطه ثبت می‌شوند و برای تعیین موقعیت اجسام دارای این گیرنده‌ها مانند خودروها، مورد استفاده قرار می‌گیرند. گیرنده شامل آنتن و واحد پردازش می‌باشد که واحد پردازش از طریق محاسبات پیچیده بر روی سیگنال‌های دریافت شده از ماهواره‌ها، موقعیت خودرو را به دست می‌آورد. با این حال، ممکن است حتی با یک سیستم پیشرفته مبتنی بر GNSS، مکان دقیق یک وسیله نقلیه با مکان تخمین زده شده توسط آن، تا چند متر تفاوت داشته باشد؛ زیرا ممکن است که ماهواره‌های مربوطه از میدان دید گیرنده خارج شوند و یا در محیط‌های شهری به علت وجود ساختمان‌های بلند یا تونل‌ها، خط دید گیرنده مسدود شود و یا پدیده چند مسیری<sup>۲</sup> رخ دهد که درواقع ترکیبی از خط دید و غیر خط دید می‌باشد که یک یا چند بار قبل از رسیدن به آنتن گیرنده از موانع نزدیک بازتاب می‌شوند [۳ و ۱۱].



شکل ۲- استفاده از حسگر GNSS برای مکان‌یابی

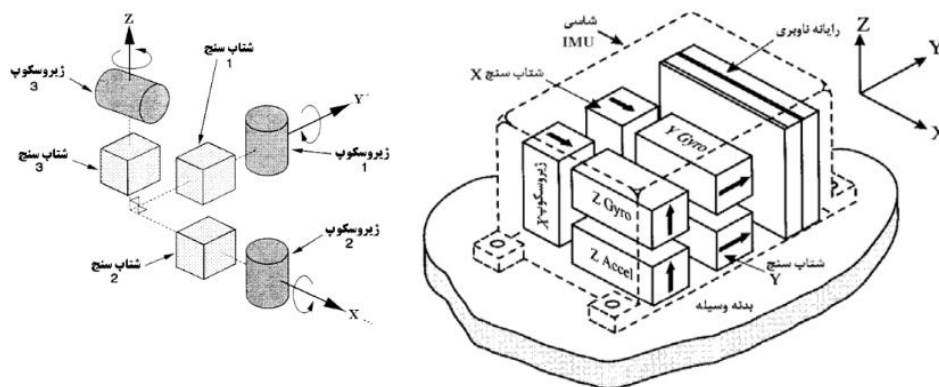
<sup>1</sup> Global Navigation Satellite System (GNSS)

<sup>2</sup> Multipath



شکل ۳- پدیده‌های چند مسیری و NLOS از معایب استفاده از GNSS

ناوبری اینرسی از انواع روش‌های محاسبه مسیر می‌باشد، که بر اساس اندازه‌گیری شتاب حرکت جسم و انتگرال‌گیری از شتاب برای تعیین سرعت و انتگرال‌گیری مجدد برای تعیین موقعیت جسم عمل می‌کند. با توجه به اینکه در ساختار سیستم ناوبری اینرسی<sup>۳</sup> از ژيروسکوپ نیز استفاده می‌شود، در کنار تعیین متغیرهای حرکتی جسم میتوان وضعیت (سمت‌گیری) جسم را نیز تعیین کرد. لذا یکی از مزیت‌های روش ناوبری اینرسی توانایی آن در تعیین توام موقعیت و وضعیت جسم می‌باشد. برتری دیگر روش ناوبری اینرسی، قابلیت تعیین متغیرهای حرکتی هم در دستگاه مختصات اینرسی و هم دستگاه جغرافیایی می‌باشد. اگر مجموعه سنسورهای اینرسی (شامل ژيروسکوپ‌ها و شتاب‌سنج‌ها) به صورت صلب بر روی بدنه وسیله نقلیه نصب شوند، به آن واحد اندازه‌گیری اینرسی<sup>۴</sup> گفته می‌شود و سیستم ناوبری را در این صورت سیستم ناوبری اینرسی بدون صفحه پایدار گویند. به کمک حسگر IMU میتوان میزان جابه‌جایی نسبی را با توجه به مدل حرکتی محاسبه کرد و با دانستن مکان اولیه خودرو و جمع کردن جابه‌جایی‌های نسبی با آن، موقعیت خودرو را در هر لحظه محاسبه کرد. یکی از نقایص مهم سیستم‌های ناوبری اینرسی نامحدود بودن خطای آن‌ها با زمان و انباشت خطا می‌باشد که باعث شده است معمولاً در کنار آن‌ها از سیستم‌های ناوبری کمکی غیر اینرسی استفاده شود. این نامحدود بودن خطا در سیستم‌های ناوبری اینرسی به گونه‌ای است که با گذشت کمتر از چند دقیقه میزان خطا بیش از دو برابر می‌شود و رشد خطا بصورت نمایی است. همچنین افزایش دقت این حسگر، افزایش هزینه، وزن و حجم آن را در پی خواهد داشت [۳].



شکل ۴- نمایی از حسگر INS و حسگرهای داخلی آن

با توجه به اهمیت موارد بیان شده در این پروژه به بررسی و حل مشکل گفته شده پرداخته خواهد شد. میدانیم که دوربین‌های معمولی تصاویری دو بعدی از محیط تهیه می‌کنند و نمی‌توان به کمک آن‌ها درک مناسبی از بعد سوم (ارتفاع یا عمق) پیدا کرد. برای رفع مشکلاتی که دوربین‌های دو بعدی ایجاد می‌کنند، ربات‌های اتوماتیک یا خودروهای خودران از حسگر لایدار استفاده کرده و اطراف خود را بر این مبنا تشخیص می‌دهند. لایدار یک حسگر نوری فعال است که می‌تواند اندازه‌گیری بسیار دقیقی را از فاصله ارائه دهد که در آن خطاها معمولاً بدون توجه به فاصله ثابت هستند. لایدار با سرعت خیلی زیادی، می‌تواند تمامی سطوح اطراف خود را اسکن کرده و پستی و بلندی‌های جسم را با دقت خیلی خوبی نشان دهد. همچنین

<sup>3</sup> Inertial Navigation System (INS)

<sup>4</sup> Inertial Measurement Unit (IMU)

این کار را با ارسال پرتوهای لیزری به جسم و ضبط بازتاب و پراش‌های پرتو ارسالی انجام می‌دهد و در نتیجه اطلاعات کاملی در خصوص سطح و عمق و همچنین فاصله جسم تا منبع را از طریق محاسبه زمان رفت و برگشت پرتو نور به دست می‌آورد. به خروجی حاصل از یک دور چرخش کامل لایدار به دور خود یک اسکن می‌گوییم که نمونه‌ای از آن در زیر آمده است. در مرحله‌ی بعد به کمک الگوریتم‌های ثبت ابر نقاط<sup>۵</sup> میتوان ماتریس تبدیل بین هر دو اسکن متوالی را یافت و سپس به کمک ماتریس مذکور بردار جابه‌جایی بین هر دو اسکن متوالی را پیدا کرد. در نهایت با دانستن موقعیت اولیه‌ی خودرو و جمع کردن مجموع جابه‌جایی‌های به دست آمده با آن، میتوان موقعیت خودرو را در هر زمان با دقت نسبتاً بالایی به دست آورد[۴].



شکل ۵- نمونه‌ای از اسکن ثبت شده توسط حسگر لایدار

یکی از نیازمندی‌های اولیه و اصلی در این پروژه‌ی پیش رو، داشتن مجموعه داده‌های با کیفیت میباشد. چنانچه جمع آوری داده‌ها به کمک یک حسگر لایدار و در محیط واقعی مدنظر باشد، نیازمند صرف هزینه و زمان بالایی جهت انجام این کار می‌باشیم. علاوه بر آن، وارد شدن خطای انسانی و نویز محیط در داده‌ها میتواند چالش برانگیز باشد. بنابراین در ابتدای کار سعی شده است تا از یک شبیه‌ساز به نام کارلا<sup>۶</sup> جهت جمع آوری داده‌ها و کار بر روی آن‌ها استفاده شود. در بخش مربوطه به توضیحات بیشتری پیرامون این شبیه‌ساز پرداخته‌ایم. استفاده از شبیه‌ساز و همچنین تخمین موقعیت خودرو به صورت بلادرنگ<sup>۷</sup> با کمک الگوریتم‌های ثبت ابر نقاط نیازمند سخت افزار قدرتمندی می‌باشد. بنابراین مکان‌یابی به صورت بلادرنگ با وجود حجم زیاد پردازش‌هایی که باید صورت بگیرد از چالش‌های اساسی میباشد. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، برای تطابق ابر نقاط مربوط به هر دو اسکن متوالی و به دست آوردن ماتریس تبدیل میان آن دو، از الگوریتم‌های ثبت ابر نقاط مانند ICP کمک می‌گیریم. وابسته بودن عملکرد این الگوریتم به ماتریس تبدیل اولیه، از چالش‌های دیگر می‌باشد. برای تخمین این ماتریس اولیه از فرض‌های ساده‌کننده مانند فرض سرعت ثابت استفاده می‌شود که این خود موجب خطایی ناچیز می‌شود اما به علت انباشت خطاها در طول زمان، ممکن است بعد از گذشت چندین مرحله دقت مکان‌یابی به شدت کاهش یابد.

<sup>۵</sup> Point cloud registration

<sup>۶</sup> Carla

<sup>۷</sup> Real time

## ۲- مروری بر پروژه‌ها و سامانه‌های مشابه و بیان نقاط قوتی که با انجام این پروژه حاصل می‌شود:

مکان‌یابی یکی از توانایی‌های اساسی و مهم در اکثر وسیله‌های هوشمند به حساب می‌آید. با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی در حوزه‌ی حسگرها، زمینه‌های تحقیقاتی مختلفی مهیا شد و روش‌های جدیدی برای مکان‌یابی دقیق‌تر ابداع شد. می‌دانیم که در یک ربات یا خودروی خودران حسگرهای متفاوتی برای درک هرچه بهتر محیط استفاده می‌شود. به مرور برای بهبود توانایی مکان‌یابی سعی بر آن شد تا از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط این حسگرها نیز در کنار حسگرهایی از قبیل سیستم موقعیت‌یاب جهانی<sup>۸</sup>، استفاده کنند.

در سال‌های گذشته الگوریتم‌های مکان‌یابی بسیاری برای حسگرهای بصری مختلف توسعه یافته است. چندین الگوریتم مانند LIMO, DEMO و ... مکان را به کمک یک دوربین تک چشمی یا استریو تخمین می‌زنند و همچنین از ابرنقاط به دست آمده توسط لایدار، برای پشتیبانی و بهبود دقت استفاده می‌کنند [۵، ۶].

استفاده از لایدار به تنهایی دشوار است و مکان‌یابی را با خطا مواجه می‌سازد؛ زیرا لایدار به طور مداوم در حال حرکت است و اعوجاج حرکتی در ابرهای نقطه‌ای وجود دارد که در سرعت‌های بالای خودرو به میزان بیشتری قابل مشاهده است. یکی از راه‌های کم کردن این خطای ایجاد شده ترکیب اطلاعات به دست آمده از سنسورهای مختلف با آن می‌باشد. به عنوان مثال، سیستم ناوبری Scherer و همکاران [۷] از فاصله سنجی بصری استریو ادغام شده با IMU به همراه ابرنقاط به دست آمده از لایدار برای تخمین مکان وسیله نقلیه‌ی مورد نظرشان استفاده می‌کند.

امروزه به علت بالا بودن هزینه‌ی استفاده از دوربین‌ها و همچنین عدم وجود دقت کافی در مکان‌یابی به علت وابستگی به میزان روشنایی و سایر عوامل محیطی، تمایل به استفاده از حسگر لایدار در این زمینه بیشتر شده است. خروجی حسگر لایدار در هر فریم یک اسکن از ابر نقاط می‌باشد که برای تطابق دو اسکن متوالی و به دست آوردن ماتریس تبدیل میان آن دو لازم از الگوریتم‌های ثبت ابر نقاط استفاده کنیم. از جمله مهم‌ترین روش‌ها میتوان به ICP و NDT اشاره کرد.

پیر دلنباخ و همکاران [۸]، با استفاده از لایدار به تنهایی و با به کارگیری روش CT-ICP توانستند تا به صورت بلادرنگ بر روی دیتاست‌های موجود، مکان‌یابی را با دقت قابل قبولی انجام دهند. هنگامی که نرخ اسکن لایدار در مقایسه با جابه‌جایی آن در محیط بالا باشد، اعوجاج و اختلاف حرکت در اسکن‌ها اغلب نادیده گرفته می‌شود. به این ترتیب در این مقاله با به کارگیری روش مبتنی بر ICP توانستند به دقت مطلوب برسند. بوجو و همکاران [۹]، از تطابق اسکن‌ها به کمک روش NDT به دقت مطلوبی رسیدند. آن‌ها از INS با فرکانس بالا برای تخمین مکان اولیه استفاده می‌کردند و از مکان‌یابی مبتنی بر لایدار با فرکانس پایین‌تر برای جلوگیری از انباشت خطا در طول حرکت ربات، بهره می‌بردند.

لازم به ذکر است که همیشه در پی تطابق دو اسکن متوالی نیستیم. می‌توان از تطبیق یک اسکن با نقشه نیز بهره برد که در بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده شده است که دقت به مراتب بالاتری را دریافت خواهیم کرد و با نام مکان‌یابی و نقشه برداری به صورت همزمان<sup>۹</sup> یا SLAM شناخته می‌شود. برای این منظور میتوان دو رویکرد کلی را مدنظر قرار داد. در حالت اول یک نقشه‌ی ژئورفرنس شده که مکان تمامی نقاط آن نقشه در مختصات جهانی مشخص می‌باشد را داریم و با تطبیق اسکن با نقشه می‌توان به صورت نسبتاً دقیقی به مکان خودرو دست یافت. در حالت دوم برای مثال می‌توان هر ده اسکن متوالی را ذخیره کرد و به دستگاه مختصات جهانی انتقال داد و سپس اسکن یازدهم را با ده اسکن قبلی تطبیق داد و مکان فعلی خودرو را به دست آورد. این امر به دلیل متراکم‌تر بودن ابرنقاط نتیجه‌ی بهتری را برمیگرداند. شوبین چن و همکاران [۱۰]، با به کارگیری تکنیک SLAM و همچنین استفاده از روش wNDT برای ثبت ابر نقاط، توانستند به صورت بلادرنگ و با دقت بالایی، مکان‌یابی مبتنی بر لایدار را انجام دهند.

یک رویکرد پیشرفته‌ی اخیر در فاصله سنجی با استفاده از حسگرهای لایدار، مکان‌یابی و نقشه سازی به صورت بلادرنگ مبتنی بر لایدار<sup>۱۰</sup> [۱۱] است که ویژگی‌هایی را که روی لبه‌های تیز و صفحات مسطح هستند با استفاده از اطلاعات جابجایی اسکن استخراج می‌کند. همچنین، داده‌های واحدهای IMU را برای بهبود دقت تخمین ادغام می‌کند.

<sup>8</sup> Global Positioning System (GPS)

<sup>9</sup> Simultaneous Localization And Mapping (SLAM)

<sup>10</sup> Lidar Odometry And Mapping (LOAM)

همانطور که پیش تر نیز اشاره شد، در خیلی از موارد ناچاریم که از ترکیب اطلاعات حسگرهای مختلف برای مکان یابی استفاده کنیم و این امر موجب افزایش دقت نیز می شود. برای ترکیب اطلاعات حسگرها، روش های مختلفی وجود دارد. از معروف ترین آن ها می توان به فیلتر کالمن اشاره کرد که در پروژه ی آپولوی ناسا نیز برای تخمین مکان و یافتن مسیر به کار گرفته شد. مونتمرلو و همکاران [۱۲]، از روش فیلتر کالمن توسعه یافته برای تخمین مکان یک ربات استفاده کردند. به کمک این روش میتوان از ترکیب اطلاعات سنسورهای مختلف مانند GNSS، IMU و ... به خطای کمتری در تخمین موقعیت دست یافت.

باتوجه به توضیحات داده شده در نهایت الگوریتمی خواهیم داشت که با دقت قابل قبولی مکان خودرو را به ما می دهد. لذا می توان آن را به عنوان گامی مهم در راستای پیاده سازی به صورت تجربی در یک ربات یا خودروی کوچک دانست که قادر خواهد بود به کمک حسگر لایدار و سایر حسگرهای موردنیاز و با داده برداری در محیط دانشگاه، مکان خود را مشخص نماید.

### ۳- روش انجام پروژه (روش، نمودار بلوکی اجزای سامانه‌ی مورد نظر پروژه، ورودی‌ها و خروجی‌ها):

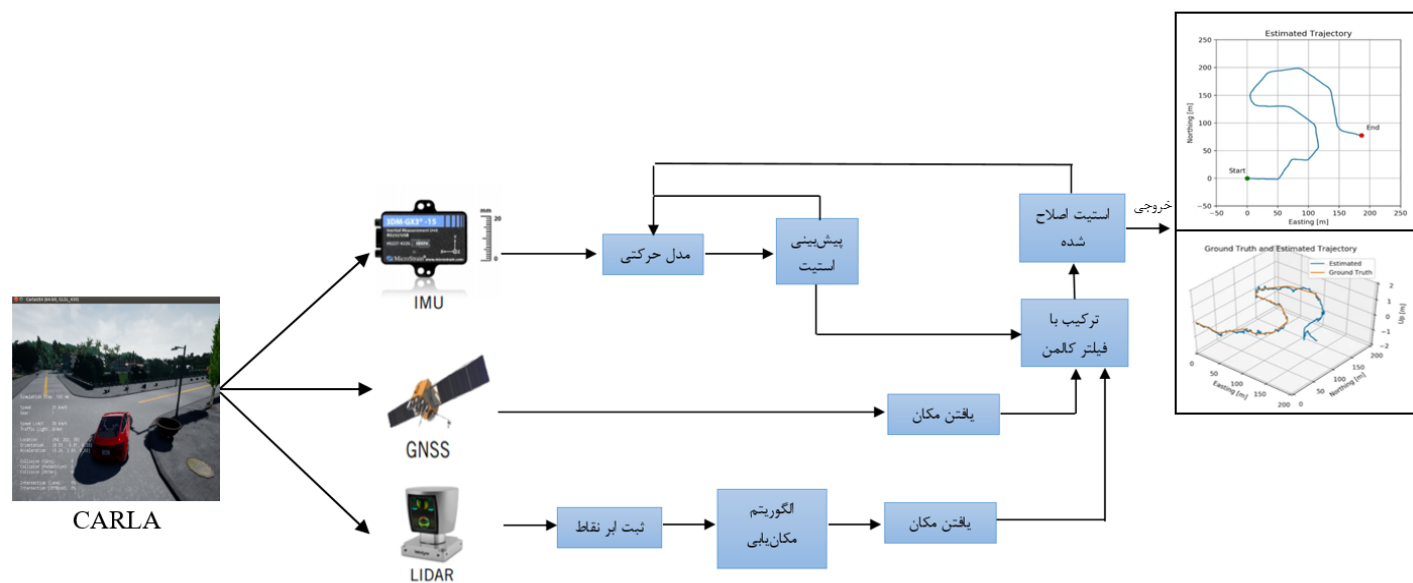
در ابتدای پروژه، بر پژوهش‌های پیشین در این حوزه مطالعه‌های مفصل انجام خواهد شد تا به طور جزئی با روش‌ها و الگوریتم‌های پیشنهاد شده آشنایی کافی حاصل شود، با این هدف که پس از بررسی نقاط قوت و ضعف و تناسب آن‌ها با پروژه فعلی، تعدادی از آن‌ها بعنوان روش‌های مورد استفاده در این پروژه انتخاب گردند.

باتوجه به ماهیت پروژه لازم است تا مجموعه داده‌ای جمع آوری شود، که الگوریتم‌ها و روش‌های موردنظر را براساس آن پیاده‌سازی کنیم. دراین باره، از شبیه‌ساز کارلا که به منظور توسعه و پیاده‌سازی در حوزه‌ی خودروهای خودران، ایجاد شده است؛ استفاده می‌نماییم. در رابطه با این شبیه‌ساز در بخش آخر به تفصیل پرداخته شده است. بنابراین می‌توان گفت که داده‌های مربوط به حسگرهای لایدار، IMU، GNSS و ... با استفاده از این ابزار به دست می‌آیند و به عنوان داده‌های ورودی شناخته می‌شوند.

درگام بعد لازم است تا داده‌های دریافت شده از حسگرها را پردازش کنیم تا اطلاعات مکانی خودرو را از آن استخراج نماییم. همانطور که در عنوان پروژه یاد شد، داده‌های به دست آمده از حسگر لایدار، اصلی‌ترین و در عین حال، پردازش آن‌ها چالش برانگیزترین بخش می‌باشد. آشنایی با الگوریتم‌های ثبت ابر نقاط از ملزومات می‌باشد که بتوان با به کارگیری آن‌ها، میزان جابه‌جایی نسبی بین هردو اسکن متوالی را یافت. درنهایت با به کارگیری روابط جبری و دینامیکی و همچنین کمک گرفتن از الگوریتم مکان‌یابی مناسب می‌توان به مکان خودرو در هر لحظه دست یافت.

چنانچه موقعیت به دست آمده از خودرو به کمک لایدار که در مرحله‌ی قبل انجام شد، دقت کافی را نداشت؛ می‌توان با روش‌های متنوعی مثل ترکیب با داده‌های حسگرهای مختلف همانند IMU و GNSS و با استفاده از فیلترهایی نظیر فیلتر کالمن توسعه یافته، این مهم را انجام داد.

در پایان نیز خروجی موردنظر، موقعیت خودرو در هر لحظه می‌باشد که می‌توان آن را با ابزارهای مناسب پلات کرد و نمایش داد. نمودار بلوکی زیر اجزای سامانه و ورودی‌ها و خروجی آن را به درستی نشان میدهد.



شکل ۶- نمودار بلوکی پروژه



#### ۴- روش ارزیابی:

همانطور که در بخش‌های قبلی ذکر شد، در این پروژه از شبیه ساز کارلا برای داده برداری استفاده می‌شود. در این شبیه ساز همانگونه که می‌توان به خودروی موردنظر حسگرهایی را جهت داده برداری متصل کرد، می‌توان به اطلاعات دقیق موقعیت و میزان چرخش خودرو در هر لحظه دست یافت که آن‌ها را با عنوان داده‌های Ground Truth می‌شناسیم. براین اساس در نظر داریم تا برای ارزیابی، نمودارهایی از تخمین مسیر پیموده شده توسط خودرو با استفاده از روش‌های مختلف را در کنار مسیر به دست آمده از داده‌های Ground Truth رسم کرد و میزان خطا را مشاهده کرد. همچنین از جمله راه‌های دیگری که جهت ارزیابی وجود دارد، تعیین یک میزان مسافت مشخص و محاسبه‌ی عددی خطای میانگین بین مسیر اصلی و مسیر تخمین زده شده برای آن مسافت پیموده شده، می‌باشد.

#### ۵- مراحل انجام و زمان‌بندی پروژه:

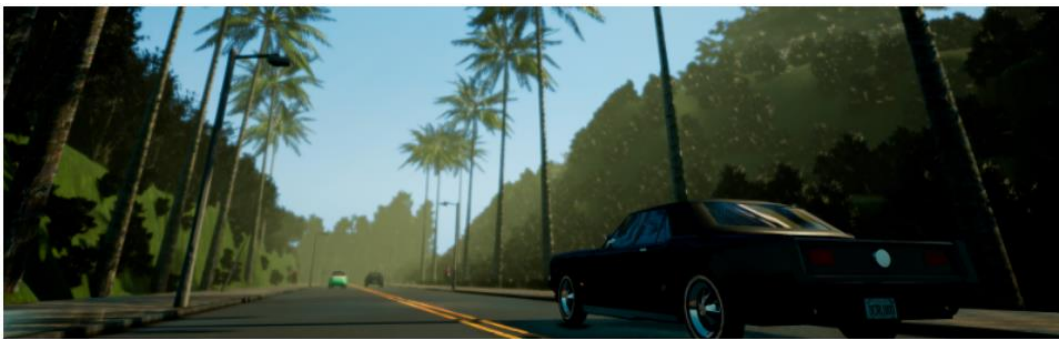
- ۱- مروری بر کارهای پیشین انجام گرفته
  - از اوایل مهر تا اواخر آذر ۱۴۰۱
  - ۲- آشنایی با شبیه ساز کارلا و چگونگی کار با آن
  - از اوایل آبان تا اواخر دی ۱۴۰۱
  - ۳- انجام مکان‌یابی با لایدار<sup>۱۱</sup>
  - از اوایل دی تا اواخر فروردین ۱۴۰۱
  - ۴- انجام سنسور فیوژن و یا بالابردن دقت تخمین مکان
  - از اوایل اردیبهشت تا اواخر خرداد ۱۴۰۱
  - ۵- تهیه گزارش نهایی پروژه
  - از اوایل تیر تا اواخر مرداد ۱۴۰۱
- زمان‌بندی پروژه در جدول زیر نیز قابل مشاهده است:

جدول ۱ - زمان‌بندی پروژه

ماه											مرحله	هدف
مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد		
											۱	شناسایی و مطالعه منابع
											۲	آشنایی با کارلا
											۳	مکان‌یابی با لایدار
											۴	افزایش دقت تعیین موقعیت
											۵	گزارش نهایی

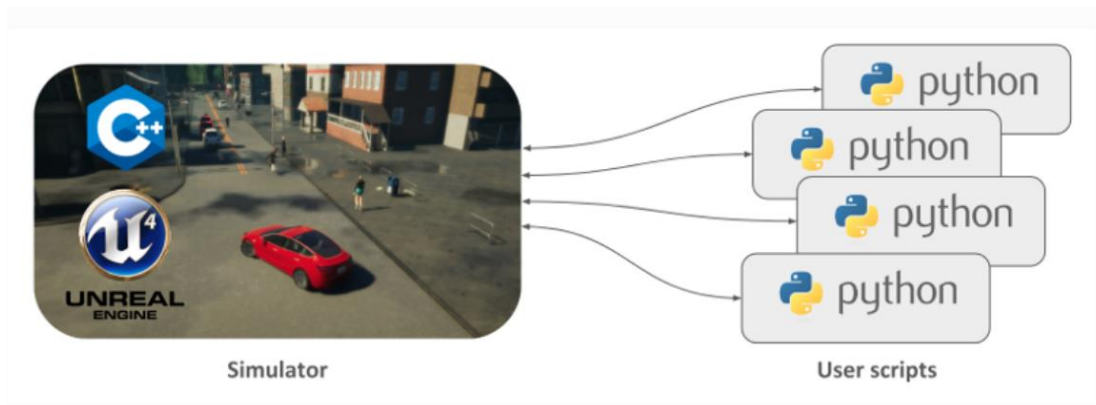
## ۶- امکانات لازم (ابزارها، محیطها، و نرم افزارهای مورد استفاده):

همانطور که در بخش‌های مختلف اشاره شد، ابزار اصلی مورد استفاده، شبیه‌ساز کارلا می‌باشد. کارلا یک شبیه‌ساز متن‌باز<sup>۱۲</sup> می‌باشد که از ابتدا به صورت ماژولار ساخته شد و دارای API‌های متنوعی به منظور رسیدگی به طیف وسیعی از مشکلات موجود در رانندگی خودروهای خودران می‌باشد. بنابراین یکی از اهداف اصلی کارلا، بهبود تحقیق و توسعه در زمینه‌ی خودروهای خودران است تا به عنوان ابزاری عمل کند که امکان دسترسی و سفارشی سازی آن را توسط کاربران فراهم می‌سازد. باتوجه به اینکه پیاده‌سازی ایده‌های مختلف در حوزه‌ی خودروهای خودران به صورت واقعی ممکن است هزینه‌بر باشد و همچنین در صورت عدم عملکرد مناسب باعث بروز خطا و حادثه شود، در این حوزه تا حد ممکن از شبیه‌ساز استفاده می‌شود. در این راستا، شبیه‌ساز مورد استفاده باید نیازمندی‌هایی از جمله توانایی یادگیری قوانین راهنمایی و رانندگی توسط خودرو، امکان اجرای الگوریتم‌های درک محیط و ... را برآورده سازد. کارلا بر روی Unreal Engine پیاده‌سازی شده است تا بتواند شبیه‌ساز را اجرا کند و همچنین از استاندارد OpenDRIVE برای تعریف جاده‌ها و تنظیمات شهری استفاده می‌کند. کاربر از طریق API‌هایی که به کمک زبان‌های برنامه نویسی پایتون و C++ پیاده‌سازی شده‌اند، بر روی شبیه‌ساز کنترل دارد.



شکل ۷- تصویری از محیط شبیه‌ساز کارلا

کارلا از معماری کلاینت-سرور و به صورت مقیاس پذیر تشکیل شده است. سرور مسئول تمامی امکانات مربوط به شبیه‌سازی می‌باشد، از جمله: رندر حسگرها، محاسبه‌ی فیزیک، آپدیت استیت‌ها و عملگرها و ... از آنجایی که در این شبیه‌ساز هدف آن است که نتایج به واقعیت نزدیک باشد، بنابراین اجرای سرور به کمک یک GPU اختصاصی به خصوص در زمانی که با الگوریتم‌های یادگیری ماشین سر و کار داریم، می‌باشد. سمت کلاینت، از مجموعه‌ای از ماژول‌ها برای کنترل منطق عملگرها و شرایط محیطی در شبیه‌ساز تشکیل شده است. همانطور که اشاره شد، این امر به کمک CARLA API انجام می‌گیرد که به عنوان لایه‌ای واسطه بین سرور و کلاینت قرار می‌گیرد.



شکل ۸- نحوه‌ی تعامل کد کاربر در قسمت کلاینت با شبیه‌ساز اجرا شده در سرور

از جمله ابزارهای دیگر موردنیاز برای انجام پروژه، زبان برنامه پایتون و برخی کتابخانه‌های آن می‌باشد. از جمله مهمترین کتابخانه‌هایی که در برنامه نویسی این پروژه به آن‌ها نیاز داریم، کتابخانه‌های نامپای<sup>۱۳</sup> و اوپن تریدی<sup>۱۴</sup> میباشد.

#### ۷- مراجع و منابع:

- [۱] M. Montemerlo et al., "Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge," *Journal of Field Robotics*, vol. 25, pp. 569-597, 09/01 2008, doi: 10.1002/rob.20258.
- [۲] T. Yoshida, O. Wasenmüller, and D. Stricker, "Time-of-flight sensor depth enhancement for automotive exhaust gas," in *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 17-20 Sept. 2017 2017, pp. 1955-1959, doi: 10.1109/ICIP.2017.8296623 .
- [۳] X. Meng, H. Wang, and B. Liu, "A Robust Vehicle Localization Approach Based on GNSS/IMU/DMI/LiDAR Sensor Fusion for Autonomous Vehicles," *Sensors*, vol. 17, no. 9, doi: 10.3390/s17092140.
- [۴] X. Zheng and J. Zhu, "Efficient LiDAR Odometry for Autonomous Driving," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 6, no. 4, pp. 8458-8465, 2021, doi: 10.1109/LRA.2021.3110372.
- [۵] J. Graeter, A. Wilczynski, and M. Lauer, "LIMO: Lidar-Monocular Visual Odometry," in *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1-5 Oct. 2018 2018, pp. 7872-7879, doi: 10.1109/IROS.2018.8594394 .
- [۶] J. Zhang, M. Kaess, and S. Singh, "Real-time depth enhanced monocular odometry," in *2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 14-18 Sept. 2014 2014, pp. 4973-4980, doi: 10.1109/IROS.2014.6943269 .
- [۷] S. Scherer et al., "River mapping from a flying robot: state estimation, river detection, and obstacle mapping," *Autonomous Robots*, vol. 33, no. 1, pp. 189-214, 2012/08/01 2012, doi: 10.1007/s10514-012-9293-0.
- [۸] Y. Liu, W. Zhang, F. Li, Z. Zuo, and Q. Huang, "Real-Time Lidar Odometry and Mapping with Loop Closure," *Sensors*, vol. 22, no. 12, doi: 10.3390/s22124373.
- [۹] B. Zhou, Z. Tang, K. Qian, F. Fang, and X. Ma, "A LiDAR Odometry for Outdoor Mobile Robots Using NDT Based Scan Matching in GPS-denied environments," in *2017 IEEE 7th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 31 July-4 Aug. 2017 2017, pp. 1230-1235, doi: 10.1109/CYBER.2017.8446588 .
- [۱۰] S. Chen et al., "NDT-LOAM: A Real-Time Lidar Odometry and Mapping With Weighted NDT and LFA," *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no. 4, pp. 3660-3671, 2022, doi: 10.1109/JSEN.2021.3135055.
- [۱۱] J. Zhang and S. Singh, "LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time," in *2014 Robotics: Science and Systems Conference*, Berkeley, 2014, doi: 10.15607/RSS.2014.X.007 .
- [۱۲] M. Montemerlo, S. Thrun, and D. Koller, "FastSLAM: A Factored Solution to the Simultaneous Localization and Mapping Problem," in *Eighteenth national conference on Artificial intelligence*, 2002 ,pp. 593–598 .

---

<sup>13</sup> Numpy

<sup>14</sup> Open3d