مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان 1395، دوره 16، شماره 8، ص‌ص 29-36

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

الگوریتم شناسایی موانع متحرک جاده به روش تقسیم بندی سلولی

بهروز مشهدی[1]*، محمد امین وصال[2]

1- دانشیار، مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
2- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
*تهران، صندوق پستی 13114-16846، b_mashhadi@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 29 فروردین 1395
پذیرش: 14 تیر 1395
ارائه در سایت: 24 مرداد 1395

کلید واژگان:
الگوریتم
تقسیم بندی سلولی
ماتریس جاده
تغییر خط

چکیده

در این مقاله به بررسی الگوریتم شناسایی موانع پیرامون خودرو هوشمند و چگونگی هدایت آن روی جاده پرداخته می‌شود. برای این منظور جاده در طول و عرض به تعدادی سلول تقسیم بندی می‌شود. فرض بر این است که نقاط اشغال شده سلول‌ها توسط وسایل خاصی مشخص می‌شود و یک ماتریس متناظر خانه های پر و خالی جاده تولید می‌شود. در این ماتریس، سلول های پر با عدد یک و سلول های خالی با عدد صفر نشان داده شده اند. در مرحله ی بعد با تحلیل ماتریس به دست آمده در نرم افزار متلب خودرو هدایت می‌شود. در این تحلیل ابتدا موقعیت خودرو و موانع مشخص می‌شود. سپس با توجه به شرایط جاده و موقعیت موانع، دستورات لازم برای هدایت خودرو تعیین می‌شود. در صورت نیاز به تغییر خط، با توجه به انحنای جاده و فاصله‌ی خودرو تا مانع، مسیر مناسب برای حرکت خودرو انتخاب می‌شود. در این مقاله برای اولین بار در راه هدایت خودرو هوشمند، جاده به عنوان یک ماتریس صفر و یک در نظر گرفته شده است. در این روش ماتریس جاده با گذشت زمان به روز رسانی می‌شود و امکان تحلیل نوع حرکت خودرو از میان موانع را فراهم می‌سازد. همچنین الگوریتم استفاده شده در حل مساله بسیار ساده می-باشد.

Moving obstacle detection algorithm using cell decomposition method

Behrooz Mashhadi*, Mohammad Amin Vesal

Department of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
*P.O.B. 13114-16846, Tehran, Iran, b_mashhadi@iust.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 17 April 2016
Accepted 04 July 2016
Available Online 14 August 2016

Keywords:
Algorithms
Cell Decomposition
Road Matrix
Lane Change

ABSTRACT

In this paper, an algorithm to detect obstacles surrounding an autonomous vehicle and the method used to navigate this vehicle on the road were studied. For this purpose, road was divided into cells in lateral and longitudinal directions. The assumption was that some special tools specify the cells positions and then full and empty-cell corresponding matrix was generated. In this matrix, full cells were displayed with digit 1 and empty cells are displayed with digit 0. In the next step, by analyzing the matrix in MATLAB®, the vehicle was navigated. In this analysis, first, the position of the vehicle and the obstacles were identified. Then, based on the road conditions and the obstacles positions, required orders to move the vehicle were determined. If a lane change is needed, according to the road's curvature and the distance between the vehicle and the obstacle, appropriate path for the vehicle will be chosen. In this paper, for the first time in autonomous vehicle navigations, the road was considered as a 1 and 0 matrix. In this method, the road matrix was updated over time and provides the possibility of analyzing the vehicle's movement. In addition, the algorithm used to solve the problem is very simple.

1- مقدمه

تصادفات جاده‌ای عامل بزرگی در مرگ و میر انسان‌ها هستند. بر طبق آمار، سالانه 27000 نفر در تصادفات جاده ای کشته می‌شوند [1]. در کشور ما در هر ساعت 2.7 نفر در اثر تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند. این در حالیست که اکثر تصادفات جاده‌ای به خاطر اشتباه رانندگان اتفاق می‌افتد. برای کاهش مشکلات ناشی از خطای انسانی، هوشمند سازی خودروها، بسیار مفید است. منظور از خودرو هوشمند خودروایست که بتواند مسیر خود از میان موانع را بدون دخالت راننده طی کند. این مساله در گذشته به طور گسترده در علم روباتیک مورد بررسی قرار گرفته است. مسیر یابی خودکار خودرو در سال‌های اخیر توجه خودرو سازان را به خود جلب کرده است. برای جلوگیری از برخورد خودرو با موانع، ابتدا باید وضعیت مانع (ثابت یا متحرک)، سرعت و چگونگی حرکت آن مشخص شود، سپس با توجه به سرعت خورو و شرایط مانع، با استفاده از الگوریتم های خاص، مسیر مناسب برای حرکت خودرو انتخاب شود.

هر چند فناوری های هوشمند سازی خودرو پس از سال 1960 مطرح شده‌اند ولی در سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفتند. یک خودرو هوشمند باید قادر باشد بدون هدایت راننده به حرکت خود روی جاده ادامه دهد. این امر مستلزم حصول اطمینان از ایمنی سرنشین و سایر خودروهای در حرکت است. از اینرو طرح‌های زیادی توسط خودروسازان و مراکز تحقیقاتی در حال انجام است که همگی در مراحل نمونه سازی و رفع مشکلات موجود هستند.

در عوض در زمینه رباتیک کارهای وسیعی صورت گرفته و پیشرفت‌های

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Please cite this article using:
B. Mashhadi, M. A. Vesal, Moving obstacle detection algorithm using cell decomposition method, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 8, pp. 29-36, 2016 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.8.5.2]

زیادی حاصل شده است. اینکه آیا از نتایج تحقیق روی ربات‌ها تا چه حد می‌توان در بحث هدایت و کنترل خودرو استفاده کرد، جای سوال دارد. لذا در این بخش ابتدا مروری بر کارهای انجام شده در زمینه مسیر یابی در علم روباتیک و سپس در صنعت خودرو پرداخته خواهد شد. همچنین مواردی که در آنها از روش تقسیم بندی سلولی استفاده شده است، به طور ویژه بررسی خواهد شد.

سیلویا فراری و چنگهوی، در سال 2009، برنامه ریزی حرکت روبات را با استفاده از خواندن اطلاعات توسط سنسور و تقسیم بندی سلولی تقریبی انجام دادند [2]. این برنامه ریزی برای حرکت روبات به سمت هدف‌های ثابت، در محیطی شامل موانع متعدد، انجام شده است. در این روش یک گراف اتصال با توجه به سلول ها ساخته می‌شوند که با استفاده از آنها تصمیم گیری و انتخاب استراتژی انجام می‌شود. محاسبات عددی نشان می‌دهد که این روش از نظر بازده، بهتر از روش‌های دیگر است.

در سال 2010، سباستین گلیزر و همکارانش، الگوریتم برنامه ریزی مسیر یک خودرو کاملا هوشمند را شبیه سازی و طراحی کردند [3]. این خودرو خود را با ترافیک در جاده‌هایی که چند خط حرکت دارند، مانند بزرگراه‌ها، تطبیق می‌دهد. الگوریتم پیشنهادی آنها یک سیستم با توان محاسباتی کم را بیان می‌کرد که در صورت بروز مشکل خودرو را متوقف می‌کرد. این الگوریتم برنامه ریزی مسیر شامل دو مرحله بود. در مرحله‌ی اول مانورهای مسیر برای خودرو، با توجه به محیط و حداقل کردن احتمال تصادف تعریف می‌شوند. خروجی این مرحله مجموعه‌ای از اعمال خودرو برای حرکت های طولی شتابگیری یا ترمز گیری، حرکت های عرضی (تغییر خط) و یا ترکیبی از هر دوی آنها می‌باشند. مرحله دوم ارزیابی جزئیات مسیرهای ممکن از بین این مانورها می‌باشد. مسیرهای ممکن با توجه به زمان حرکت در مسیر، قوانین ترافیک، مصرف سوخت و راحتی آنها، بهینه سازی می‌شوند. خروجی این مرحله، حالت پیشنهادی خودرو را برای چند لحظه‌ی بعدی بیان می‌کنند.

مارکوس کونراد و همکارانش، در سال های 2010 تا 2012، روی تقسیم بندی جاده های بین شهری، تعیین موقعیت خودرو در آنها و تضمین حرکت خودرو در آنها، کار کردند [4-5] و پس از شبیه سازی جاده، مسیر مناسب حرکت خودرو را انتخاب کردند.

در سال 2011، شورر و زیمرمن، روش برای مسیریابی یک روبات با 6 محور حرکت ارائه دادند [6]. با در نظر گرفتن محیط سه بعدی، تقسیم بندی حاصله به دنبال سلول هایی می‌گردد که در آنها خطر برخورد با موانع وجود ندارد. پس از شناسایی این سلول ها، یک مسیر از مبدا به مقصد انتخاب و به کنترلر روبات داده می‌شود.

گرگ فودرارو و همکارانش با استفاده از تقسیم بندی سلولی، مسیرهایی را برای بازی های ویدئویی پکمن انجام دادند [7]. این مسیر یابی که در سال 2012 انجام شد به صورت لحظه به لحظه و برای حالت تعقیب و گریز انجام شد. با محاسبه‌ی لحظه‌ای مسیر، این الگوریتم می‌تواند به سرعت با رفتار غیر مترقبه‌ی موانع و محیط پویا تطبیق پیدا کند.

مسیر یابی روبات متحرک با استفاده از روش پایه زاویه‌ای و تقسیم بندی سلولی دقیق در سال 2012، توسط بیونگ چول و جین وو، انجام شد [8]. روش های تقسیم بندی سلولی دقیق مانند تقسیم بندی سلولی عمودی، روش‌های پایه‌ای و شناخته شده‌ای هستند. این روش‌ها، مسیر یابی کامل و دقیق را ممکن‌می‌کنند اما تضمینی برای بهینه بودن این روش‌ها ندارند. تعداد سلول‌های تقسیم‌بندی شده در این روش‌ها بسیار زیاد است و جستجوی مسیر بین این سلول‌ها به زمان زیادی نیاز دارد. در این کار برای حل این مشکل روش جدیدی ابداع شد. به گونه ای که با توسعه دادن خطوط مربوط به موانع، ناحیه آزاد اطراف آن به سلول محدب تقسیم شد. این الگوریتم با استفاده از خطوط زاویه‌دار به جای سلول‌های عمودی و سلول‌های کوچک، تعداد سلول‌ها و در نتیجه زمان محاسبه را کاهش می‌دهد. جدید و موجود بودن این روش با استفاده از محاسبات ریاضی و تجربی تایید گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که این روش تقریبا در تمام حالت‌ها بهتر از تقسیم بندی سلولی عمودی است.

در سال 2013، هیونگ کیم و همکارانش، مسیر یابی را در محیط ناشناخته با استفاده از تقسیم بندی سلولی انجام دادند [9]. آنها الگوریتمی ارائه دادند که برای یک فضای کاری ناشناخته، پوشش کامل فضا را تضمین می‌کند. الگوریتم پیشنهاد شده فضای کاری بر اساس نمونه‌ها را به تعدادی سلول تقسیم بندی می‌کند. این الگوریتم که در دسته‌ی تقسیم بندی سلولی دقیق قرار می‌گیرد، برای تضمین پوشش کامل فضای کاری، یک نقشه‌ی بسته از لبه‌های بحرانی فضا ارائه می‌کند. در این الگوریتم، مرز سلول‌ها با استفاده از لبه‌های بحرانی توسعه یافته، مشخص می‌شود . روبات برای پیدا کردن لبه‌های بحرانی از پویشگر لیزری استفاده می‌کند. این الگوریتم با استفاده از آزمایش تجربی در محیط آزمایشگاهی تایید شده است.

در این مقاله ابتدا نیازهای طراحی یک سیستم ناوبری به روش ماتریسی بررسی می‌شود. الگوریتم لازم برای تشخیص موانع متحرک پیرامون خودرو ارائه می‌شود. پس از انجام بررسی‌های لازم، حالت‌های مختلف خودرو در جاده ارائه شده و مسیر مناسب برای حرکت خودرو انتخاب می‌شود. در این روش پس از تقسیم بندی جاده و تولید ماتریس متناظر آن، حجم اطلاعات مورد نیاز برای هدایت خودرو به شدت کاهش می‌یابد. در نتیجه، سرعت محاسبات مورد نیاز افزایش می یابد. همچنین در این روش، به جای تحلیل داده های پیچیده، با تعدادی صفر و یک سر و کار داریم که تحلیل آن را کاملا ساده می کند.

2- روش ناوبری ماتریسی جاده

ناوبری به روش ماتریس جاده یک روش پیشنهادی است و این بخش به تعریف و تشریح کلیات آن اختصاص دارد. هدف این بخش، توضیح مبانی و روش‌های لازم جهت ناوبری خودرو روی جاده به روش ناوبری ماتریسی می‌باشد.

2-1- ماتریس جاده

ماتریس جاده نتیجه تقسیم‌بندی سلولی آن است. چگونگی انجام این تقسیم بندی و ابعاد سلول‌ها می‌تواند با توجه به شرایط و ویژگی های جاده، تغییر کند. در اینجا فعلا فرض بر آن است که کلیه سلول‌ها دارای ابعاد یکسان هستند. همانطور که شکل 1 یک نمونه از این تقسیم بندی سلولی را نشان می‌دهد، بخشی از جاده به طول L در سه مسیر A، B و C (که در اینجا دارای عرض مساوی هستند) به سلول‌های یکسان C_{ij} با عرض w و طول l تقسیم شده‌اند. اگر اشغال بودن منطقه سلول C_{ij} با عدد "1" و خالی بودن آن با عدد "0" مشخص شود آنگاه به این ترتیب یک ماتریس را می‌توان تصور کرد که دارای عناصر 0 و 1 است. در واقع جاده به صورت یک ماتریس در خواهد آمد که هر درایه از آن، متناظر با بخشی از جاده است. یک خودرو یا یک مانع می‌تواند چندین خانه را اشغال کند و در این صورت مقدار متناظر درایه ها در مساحت اشغال شده همگی برابر با یک خواهند بود. نکته‌ی قابل توجه این

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.8.5.2]

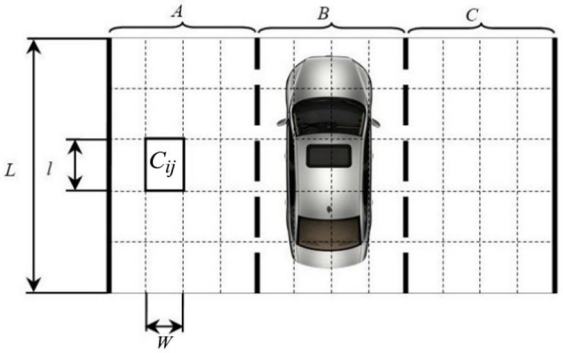

Fig. 1 Cell decomposition concept and road matrix

شکل 1 مفهوم تقسیم بندی سلولی و ماتریس جاده

است که درایه‌ی متناظر هر سلولی که بخشی از آن اشغال شده باشد نیز برابر با یک قرار می‌گیرد.

2-2- اجزاء ناوبری ماتریسی جاده

در سیستم ناوبری به روش ماتریس به طور کلی سه جزء اصلی وجود دارد (شکل 2):

جزء اول: سیستم جمع آوری دادها از سطح جاده

جزء دوم: مراکز مخابراتی

جزء سوم: خودرو هوشمند

2-2-1- سیستم جمع آوری داده ها از سطح جاده

برای جمع آوری اطلاعات از سطح جاده، جاده به تعدادی سلول تقسیم بندی می‌شود. پس از تقسیم بندی جاده، باید اطلاعات و داده‌های مربوطه از سطح جاده جمع آوری شود. برای این کار راه های زیر متصور است:

- استفاده از سنسور: در این روش فرض بر این است که سطح سلول روی جاده دارای حسگر باشد بگونه‌ای که با اشغال تمامی یا بخشی از آن بتواند یک خروجی داشته باشد. سنسور دو وظیفه بر عهده دارد : اول این که کدی مرتبط با مختصات سلول را برای مرکز مخابراتی ارسال کند، و دوم اینکه اطلاعات مربوط به پر و خالی بودن سلول را که از سطح جاده جمع آوری کرده برای مرکز مخابراتی بفرستد. اگر در سلول مربوط به هر سنسور، مانع وجود داشته باشد، عدد یک و اگر سلول خالی باشد عدد صفر توسط سنسور ارسال می‌شود. این سنسورها باید همراه با احداث جاده، نصب و راه اندازی شوند. یکی از بزرگترین مشکلات استفاده از سنسور، هزینه‌ی بالای نصب و نگهداری آنها در شرایط محیطی مختلف است.
- تصویر برداری مرکز مخابراتی: این راه حل برای جمع آوری داده‌ها استفاده از تکنولوژی پردازش تصویر می‌باشد. این روش نیازمند نصب دوربین‌های هوایی در طول جاده می‌باشد. تصویرهای گرفته شده توسط این دوربین‌ها، به وسیله ی مرکز مخابراتی پردازش شده و ماتریس مورد نیاز تولید می‌شود. در این روش ارتفاع دوربین‌های نصب شده از سطح جاده بسیار مهم است. زیرا اگر ارتفاع دوربین‌ها کم باشد، زاویه‌ی عکس برداری کوچک شده و ممکن است پر یا خالی بودن بعضی از سلول‌ها در تصاویر گرفته شده مشخص نباشد. همچنین فاصله‌ی طولی بین محل قرارگیری دو دوربین باید کوچک باشد. هر چه این فاصله بیشتر باشد، زاویه‌ی عکس برداری کوچک می‌شود و دقت محاسبه‌ی ماتریس جاده پایین می‌آید.

2-2-2- مراکز مخابراتی

در طول جاده تعدادی مراکز مخابراتی به فواصل معین قرارگرفته اند که نقش آنها کمک به خودروهای هوشمند و ارسال اطلاعات لحظه‌ای ترافیک برای آنها است. اما اطلاعات ارسالی بصورت تنها یک ماتریس حاوی عناصر صفر و یک است. هر مرکز مخابراتی اطلاعات فرستاده شده توسط سنسور و یا تصاویر گرفته شده توسط دوربین یا ماهواره را دریافت و آنها را پردازش می‌کند. مرکز مخابراتی ابتدا یک ماتریس تشکیل می‌دهد. سپس با استفاده از اطلاعات مربوط به موقعیت سنسور، داده‌ی مربوط به آن سلول را در ماتریس مشخص می‌کند. بعد از آن با توجه به یک یا صفر بودن اطلاعات ارسال شده، داده‌ی مربوط را در ماتریس قرار می‌دهد. اگر از روش پردازش تصویر استفاده شده باشد، مرکز مخابراتی، تصاویر را دریافت کرده و با تقسیم بندی آن محل پر یا خالی بودن هر سلول را مشخص می‌کند. پس از کامل شدن ماتریس، که موقعت لحظه‌ای خودروهای موجود و یا موانع را نشان می‌دهد، آن را مخابره می‌کند. خودروهایی که در منطقه مورد پوشش مرکز مخابراتی باشند، ماتریس را دریافت و از آن برای تصمیم گیری استفاده می‌کنند. مرکز مخابراتی اطلاعات دیگری شامل سرعت مجاز، تعداد خودروهای موجود در قلمرو خود و میانگین سرعت آنها و مواردی از این قبیل را هم می‌تواند محاسبه و احتمالا در بسته داده‌ها ارسال کند.

2-2-3- خودرو هوشمند

پس از تکمیل شدن ماتریس جاده در مرکز مخابراتی و ارسال آن به خودرو، خودرو هوشمند با دریافت ماتریس ارسال شده توسط مرکز مخابراتی و با توجه بر صفر و یک بودن درایه های آن، باید از آن برای تولید یک طرح کلی از موانع موجود در مسیر، استفاده کند. سپس پردازشگر خودرو موقعیت خود را روی نقشه پیدا می‌کند و با توجه به پروخالی بودن سلول‌ها و موقعیت خود تصمیم گیری می‌کند. به خاطر تغییر موقعیت موانع با گذشت زمان، خودرو به تناوبی که اطلاعات مرکز به روز می‌شود با دریافت ماتریس جدید، تصمیم گیری می‌کند. البته خودرو می‌تواند به جای مشخص کردن موقعیت تمام موانع، ابتدا موقعیت خود را مشخص کند. سپس با توجه به موقعیت خود، به جای بررسی تمام داده‌ها و موانع، داده‌های مجاور و موثر را بررسی کند و

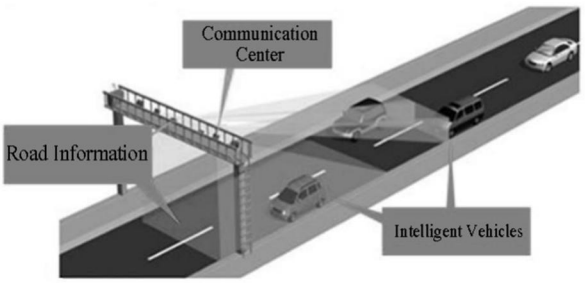

Fig. 2 Components of matrix navigation system

شکل 2 اجزای سیستم ناوبری ماتریسی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.8.5.2]

حجم محاسبات مورد نیاز را کاهش دهد.

3- تقسیم بندی جاده

چگونگی تقسیم بندی جاده و اندازه‌ی سلول‌ها نقش مهمی در مسیریابی صحیح خودروها دارد. از این رو در این بخش به توضیح این مساله پرداخته خواهد شد. علاوه بر توضیح چگونگی تقسیم بندی، مانورهای مختلف خودرو با توجه به این تقسیم بندی توضیح داده می‌شود. تقسیم بندی جاده به سه بخش زیر تقسیم می‌شود.

- اندازه تقسیمات در جهت حرکت
- اندازه تقسیمات در جهت عرضی
- نحوه تقسیم بندی جاده غیر مستقیم

3-1- اندازه تقسیمات در جهت حرکت

با توجه به محدوده‌ی فاصله‌ی قانونی در تعقیب خودرو جلویی، اندازه سلول ها در راستای حرکت تاثیر زیادی در این مانور ندارد. زیرا حداکثر مقدار خطا در این مورد برابر با یک طول سلول است که قابل صرف نظر است. اما اندازه‌ی این تقسیمات تاثیر زیادی روی محاسبه‌ی سرعت خودرو دارد. البته تناوب به روزرسانی اطلاعات نیز بسیار مهم است. اگر تناوب به روزرسانی اطلاعات کوچک و اندازه سلول بزرگ باشد، در لحظه‌ای که خودرو از مرز سلول عبور می‌کند، خطای محاسبه‌ی سرعت بسیار زیاد می‌شود. برای محاسبه‌ی دقیق سرعت، باید رابطه (1) برقرار باشد.

$$\frac{nb}{t} = V_s + \frac{at}{2} \quad (1)$$

در این رابطه n تعداد سلول های پیموده شده است. b طول هر سلول و t بازه‌ی زمانی می‌باشد. پارامترهای سمت راست معادله عبارت از V_s سرعت خودرو، در شروع بازه‌ی زمانی و a شتاب خودرو می‌باشد. در نتیجه سمت چپ معادله برابر با سرعت محاسبه شده‌ی خودرو می‌باشد. این سرعت محاسبه شده، سرعت متوسط خودرو در بازه‌ی زمانی می‌باشد. به همین دلیل در سمت راست معادله سرعت متوسط خودرو قرار داده می‌شود. با حل این معادله رابطه (2) برای زمان به دست می‌آید.

$$t = \frac{-V_s \pm \sqrt{V_s^2 + 2nb}}{a} \quad (2)$$

با توجه به اینکه زمان نمی‌تواند منفی باشد، مقدار t تنها با علامت مثبت رابطه (2) تعریف می‌شود.

ملاحظه می‌شود که برای افزایش دقت، هر چه طول سلول ها کوچکتر شود، بازه‌ی زمانی را نیز باید کوچک‌تر کرد. در فصل آینده با محاسبه‌ی سرعت و بررسی مقدار خطا در حالت‌های مختلف، اندازه‌ی تقسیمات در راستای طولی بررسی می‌شود.

3-2- تقسیم بندی عرض جاده و حرکت بین دو خط

در این بخش، عرض جاده به تعدادی سلول تقسیم بندی می‌شود. نکته قابل توجه این است که عرض سلول ها یکسان فرض نمی‌شوند. با توجه به اینکه عرض استاندارد یک خط 3.6 متر و میانگین عرض یک خودرو 1.8 متر می‌باشد، عرض سلول ها اندازه گذاری می‌شود.

3-2-1- الگوریتم باینری به اعشاری

روش مورد استفاده برای حرکت بین دو خط این است که در هر خط، صفر و یک‌های موجود در هر ردیف یک عدد باینری در مبنای دو در نظر گرفته می‌شود. سپس این عدد باینری به یک عدد اعشاری در مبنای 10 تبدیل می‌شود. با توجه به عدد اعشاری به دست آمده خانه‌های پر شده مشخص می‌شود. یک مثال از چگونگی این تبدیل در شکل 3 نشان داده شده است.

اگر خودرو به سمت راست منحرف شود، مقدار LKF کاهش می‌یابد و اگر خودرو به سمت چپ منحرف شود مقدار LKF افزایش می‌یابد.

3-2-2- تقسیم بندی عرض سلول

با توجه به اینکه اگر خودرو در یک خط طولی حرکت کند مرکز آن همیشه اشغال شده است، می‌توان سلول مرکزی را بزرگ فرض کرد. در ادامه سه تقسیم بندی برای عرض جاده ارائه شده و مزایا و معایب هر یک بررسی شده است

3-2-3- تقسیم بندی نوع اول:

اگرعرض سلول مرکزی دو متر در نظر گرفته شود این سلول همیشه پر خواهد بود. مزیت همیشه پر بودن این سلول این است که این سلول می‌تواند نشانگر پر یا خالی بودن خط باشد و با بررسی آن وضعیت خط مشخص می‌شود. به علاوه با توجه به عرض خودرو، خودرو می‌تواند بدون اشغال سلول دیگری در این سلول حرکت کند. سپس همان طور که در شکل مشخص است، هر طرف سلول مرکزی را می‌توان به سه سلول تقسیم کرد. به این شکل که عرض دو سلول مجاور سلول مرکزی را 0.2 متر و سلولی که در مرز خط بعدی قرار دارد را 0.4 متر قرارداد (شکل 4).

همان طور که مشاهده می‌شود عرض جاده به 7 سلول تقسیم شده است. سلو ل‌های مجاور با سلول مرکزی باید عرض کمی داشته باشند. زیرا خودرو در صورت خروج از سلول مرکزی در این سلول ها جا به جا می‌شود. از طرفی اگر این سلول ها خیلی کوچک شوند، احتمال پیدایش خطا در محاسبه‌ی ماتریس اولیه افزایش می‌یابد. سلول مرزی بزرگتر از دو سلول دیگر در نظر گرفته شده است. دلیل این امر این است که اگر خودرویی وارد این سلول شد

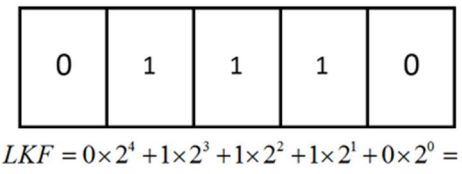

Fig. 3 How to translate matrix to a number

شکل 3 چگونگی تبدیل ماتریس به عدد اعشاری

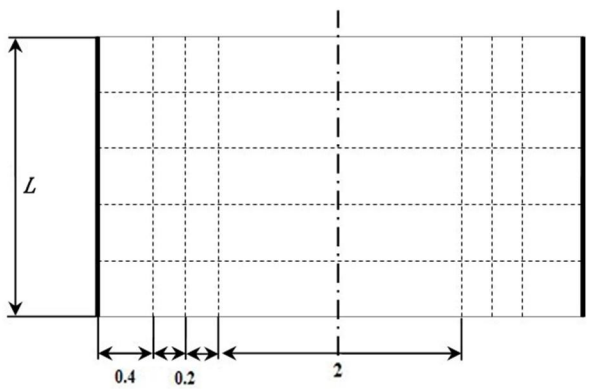

Fig. 4 First decomposition of a lane

شکل 4 تقسیم بندی اول بخشی از یک خط

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.8.5.2]

حالت بحرانی محسوب شده و نیاز به فرمان دهی سریع احساس می‌شود. اگر این سلول هم کوچک در نظر گرفته شود، خودرو می‌تواند در یک بار به روز رسانی ماتریس از آن عبور کرده و از خط خارج شود. هنگامی که خودرو در سلول مرکزی حرکت می‌کند، عدد اعشاری معادل آن برابر با 8 است. با تغییر این عدد با استفاده از جدول 1 می‌توان خودرو را هدایت کرد.

مزیت این تقسیم بندی، علاوه بر اینکه خودرو می‌تواند فقط سلول مرکزی را پر کند، در این است که در یک حرکت عرضی خودرو سلول‌های مجاور همزمان پر و خالی می‌شوند و محاسبات ساده تر می‌شود. یکی از معایب این تقسیم بندی این است که اگر داده‌ی مربوط به سلول مرکزی به اشتباه یک یا صفر داده شود، با استفاده از سلول‌های مجاور قابل تشخیص نیست. البته برای رفع این مشکل می‌توان از داده‌های موجود در طول خودرو استفاده نمود. عیب دیگر این تقسیم بندی این است که هم در انحراف به سمت چپ و هم در انحراف به سمت راست عدد اعشاری متناظر با خودرو افزایش می‌یابد و محدوده‌ی آن باید بررسی شود.

3-2-4- تقسیم بندی نوع دوم:

این تقسیم بندی به گونه‌ای انجام می‌شود که خودرو علاوه بر سلول مرکزی که نسبت به سایر سلول‌ها عرض بیشتری دارد، سلول های مجاور آن را هم پر کند. بنابراین تفاوت این تقسیم بندی با تقسیم بندی قبلی همانطور که درشکل 5 نشان داده شده است در این است که سلول مرکزی آن به سه سلول تقسیم شده است و سلول‌های مجاورش ابعاد مشابهی با تقسیم بندی قبلی دارند. در نتیجه در این حالت 9 سلول در عرض جاده قرار می‌گیرند. دلیل اندازه گذاری سلول مرزی و دو سلول مجاورش در تقسیم بندی قبل توضیح داده شد. هدف از ارائه‌ی این تقسیم بندی این است که انحراف به راست با کاهش عدد اعشاری و انحراف به چپ با افزایش عدد اعشاری مشخص شود. به همین دلیل مجموع عرض سلول مرکزی و هر یک از سلول های مجاورش باید برابر با عرض خودرو شود که همزمان با خالی شدن سلول یک سمت، سلول سمت دیگر پر شود. از طرفی اگر سلول مرکزی خیلی بزرگ شود، به دلیل ثابت بودن مجموع عرض آن با سلول های مجاور، سلول های مجاور بسیار کوچک می‌شوند و احتمال بروز خطا در آن ها افزایش می‌یابد. اگر هم سلول مرکزی خیلی کوچک شود، سلول های مجاور باید بزرگ شوند. از آنجایی که یک سلول کوچک شده و دو سلول بزرگ می‌شوند، بخش زیادی از عرض جاده را اشغال می‌کنند. در نتیجه، با توجه به اینکه عرض خودرو 1.8 متر فرض شده است، جمع عرض سه سلول مرکزی برابر با دو متر و جمع عرض سلول مرکزی با سلول مجاورش برابر با 1.8 متر در نظر گرفته می‌شود. اگر عرض سلول مرکزی با w_1 و عرض سلول مجاورش با w_2 نشان داده شوند، با استفاده از روابط (3) و(4) می‌توان آن ها را محاسبه کرد.

$$w_1 + w_2 = 1.8\ \text{m} \quad (3)$$

$$w_1 + 2w_2 = 2\ \text{m} \quad (4)$$

با استفاده از روابط بالا، عرض سلول مرکزی 1.6 متر و عرض سلول های مجاورش 0.2 متر محاسبه می‌شوند. در این تقسیم بندی، خودرو در حالت عادی سه سلول میانی را پر می‌کند و عدد اعشاری متناظر آن برابر با 56 می‌شود. اگر خودرو به سمت راست منحرف شود و از مرز سلول عبور کند، عدد اعشاری آن کاهش می‌یابد و خودرو باید به سمت چپ فرمان دهد. زیرا سلول خالی شده مقدار عدد بزرگتری را به خود اختصاص داده است. به همین شکل، اگر خودرو به سمت چپ منحرف شود، عدد اعشاری افزایش یافته و سلول باید به سمت راست فرمان دهد (شکل5).

جدول 2 حالت‌های مختلف پر شدن سلول ها و فرمان های لازم را نشان می‌دهد.

برای مشخص کردن کیفی نیاز به زاویه‌ی فرمان از عدد δ استفاده می‌شود. اگر عدد اعشاری وضعیت ثانویه با d نشان داده شود، مقدار δ از رابطه (5) محاسبه می‌شود.

$$\delta = 46 - d \quad (5)$$

اگر مقدار δ مثبت باشد، فرمان باید به سمت چپ داده شود و اگر مقدار δ منفی باشد، فرمان باید به سمت راست داده شود. در هر دو حالت مثبت و منفی، به هر نسبت که عدد جبری δ کوچکتر باشد، نیاز به زاویه‌ی فرمان بزرگتری وجود دارد.

3-2-5- تقسیم بندی نوع سوم:

در دو روش قبلی تقسیم بندی برای یک خودرو سواری انجام شد. اگر قرارباشد هوشمند سازی برای کامیون و اتوبوس‌ها هم انجام شود، به تقسیم‌بندی جدیدی نیاز است. با توجه به اینکه عرض خودرو های سنگین 2.6 مترمی‌باشد، از تقسیم بندی اول با کمی تغییرات استفاده می‌شود.

به این صورت که سلول مجاور هر مرز خط هم به دو قسمت تقسیم بندی می‌شود. در ادامه هر وسیله‌ی نقلیه با توجه به ابعاد خود و تقسیم بندی‌های انجام شده، می‌تواند حالت مناسب را برای خود انتخاب کند. به این

جدول 1 دستورات لازم جهت هدایت خودرو در تقسیم بندی اول

Table 1 Commands to guide vehicle in first decomposition

وضعیت	عدد باینری	عدد اعشاری	فرمان دهی لازم
عادی	0001000	8	مسیر مستقیم
کمی متمایل به راست	0001100	12	کمی به چپ
نزدیک به منطقه‌ی مرزی راست	0001110	14	به چپ
در منطقه‌ی مرزی راست	0001111	15	فرمان دهی فوری به چپ
کمی متمایل به چپ	0011000	24	کمی به راست
نزدیک به منطقه‌ی مرزی چپ	0111000	56	به راست
در منطقه‌ی مرزی چپ	1111000	120	فرمان دهی فوری به راست

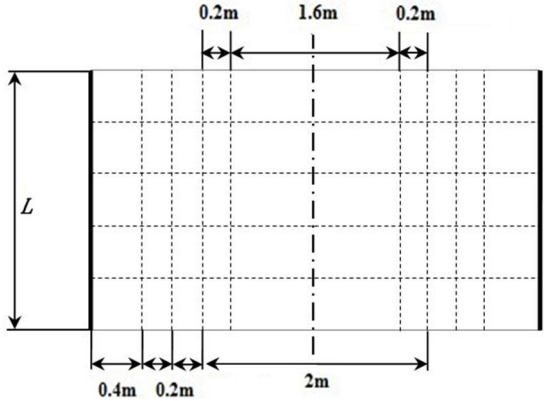

Fig. 5 Second decomposition of a lane

شکل 5 تقسیم بندی دوم بخشی از یک خط

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.8.5.2]

جدول 2 دستورات لازم جهت هدایت خودرو در تقسیم بندی دوم

Table 2 Commands to guide vehicle in second decomposition

وضعیت	عدد باینری	عدد اعشاری	فرمان دهی لازم
عادی	000111000	56	مسیر مستقیم
کمی متمایل به راست	000011100	28	کمی به چپ
نزدیک به منطقه‌ی مرزی راست	000011110	30	به چپ
در منطقه‌ی مرزی راست	000011111	31	فرمان دهی فوری به چپ
کمی متمایل به چپ	001110000	112	کمی به راست
نزدیک به منطقه‌ی مرزی چپ	011110000	260	به راست
در منطقه‌ی مرزی چپ	111110000	516	فرمان دهی فوری به راست

شکل که پس از ارسال ماتریس به خودروها و کامیون‌ها، خودروهای سواری می‌توانند دو سلول کنار مرز را با هم ادغام کنند و ماتریس ارسال شده را مانند تقسیم بندی اول در نظر بگیرند. همچنین خودروهای سنگین می‌توانند 6 سلول مرکزی را با هم ادغام کنند و به عنوان یک سلول در نظر بگیرند. در شکل 6 ردیف هاشور خورده مربوط به خودرو سواری و بخش پر شده مربوط به خودروهای سنگین می‌باشد. شکل 6 تقسیم بندی به این روش را نشان می‌دهد.

3-3- نحوه‌ی تقسیم بندی جاده غیر مستقیم

هر جاده شامل دو بخش مسیر مستقیم و مسیر منحنی است. تقسیم بندی در مسیر مستقیم در بخش های گذشته انجام شد. برای تقسیم بندی مسیر منحنی راه‌های مختلفی را می‌توان ارائه داد. می‌توان خطوط تقسیم بندی عرضی جاده را موازی حاشیه‌ی جاده در نظر گرفت. عرض جاده در مقایسه با شعاع انحنای مسیر ناچیز است. با توجه به این نکته، خطوط تقسیم بندی طولی با تقریب خوبی در امتداد شعاع جاده قرار می‌گیرند و با توجه به کوچک بودن طول سلول‌ها، انحنای سلول‌ها بسیار ناچیز می‌شود. خودرو برای پیچیدن در مسیرهای منحنی، می‌تواند از الگوریتم گفته شده در بحث حرکت بین خطوط استفاده کند. به این شکل که هنگامی که خودرو به مرز هر خط نزدیک می‌شود، با فرمان دهی به سمت مرکز خط برگردد. برای سبقت گرفتن سر پیچ، در ادامه و در بحث محاسبه‌ی مسیر سبقت گرفتن توضیحاتی داده خواهد شد. شکل 7 نمونه‌ای از تقسیم بندی جاده‌ی غیر مستقیم را نشان می‌دهد.

4- بررسی ماتریس جاده در مراکز مخابراتی

دو راه برای ارسال داده ها به خودرو در نظر گرفته شد. راه اول که در آن ماتریس صفر و یک برای خودرو ارسال می‌شد، در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش با توجه به اینکه تحلیل ماتریس اولیه هم می‌تواند در خودرو و هم در مراکز مخابراتی انجام شود، مسیر یابی خودرو با بررسی تمام داده ها انجام می‌شود. در این بخش الگوریتم استفاده شده به طور کامل تشریح می‌شود. برای این کار مرحله به مرحله، پردازش ماتریس ورودی توضیح داده می‌شود.

4-1- پیدا کردن یک ها

بعد از اینکه ماتریس جاده تعریف شد و به عنوان ورودی داده شد، باید آن را تحلیل کرد. اولین قدم در تحلیل این ماتریس تشخیص فضاهای پر و خالی است. برای این کار باید یک های ماتریس را پیدا کرد. برای پیدا کردن یک ها از سطر اول ماتریس شروع کرده و درایه‌ها چک می‌شود و اگر هیچکدام از درایه‌ها یک نبود، سطر دوم چک می‌شود، ولی اگر درایه‌ی یک پیدا شد، سطر و ستون این درایه ثبت می‌شود. سپس تا جایی که یک‌ها ادامه دارد جلو رفته و تعداد یک‌های عرض خودرو مشخص می‌شود. وقتی دوباره به صفر رسید عرض خودرو ثبت شده و درآخرین ستون یک به سمت پایین حرکت کرده تا طول خودرو محاسبه شود. بعد از محاسبه طول خودرو، طول آن ثبت می‌شود.

ممکن است در یک سطر 2 خودرو وجود داشته باشد به همین دلیل پس از مشخص شدن مختصات دقیق خودرو اول، تمام یک‌های مربوط به این خودرو را به 1- تبدیل می‌کرده تا مجددا وارد الگوریتم نشود. پس از تبدیل آنها به 1- الگوریتم قبل تکرار می‌شود. به همین ترتیب سطر به سطر جلو رفته تا تمام خودروها پیدا شوند. نمودار الگوریتم استفاده شده در شکل 8 نشان داده شده است.

4-2- تعداد خودرو ها در هر لحظه

برای محاسبه تعداد خودروها در هر لحظه، خروجی بخش قبل به عنوان ورودی، در نظر گرفته می‌شود. قابل توجه است که اگر مرحله‌ی اول در مراکز مخابراتی انجام شود، محاسبات خودرو از این مرحله شروع می‌شود. ستون اول آن زمان را نشان می‌دهد پس در هر لحظه، تعداد خودروها، برابر با تعداد ردیف‌هایی است که ستون اول آن، آن لحظه را نشان می‌دهد. با توجه به مطالب ذکر شده در هر لحظه ستون اول چک می‌شود و تعداد خودروها مشخص می‌شود.

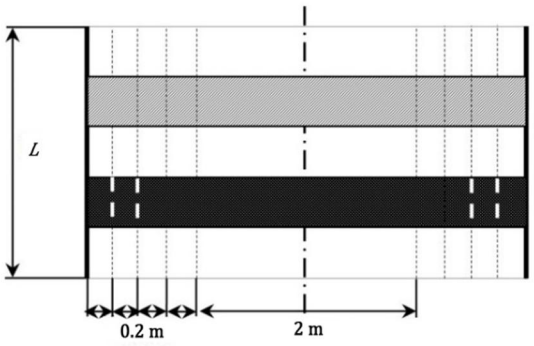

Fig. 6 Third decomposition

شکل 6 تقسیم بندی به روش سوم

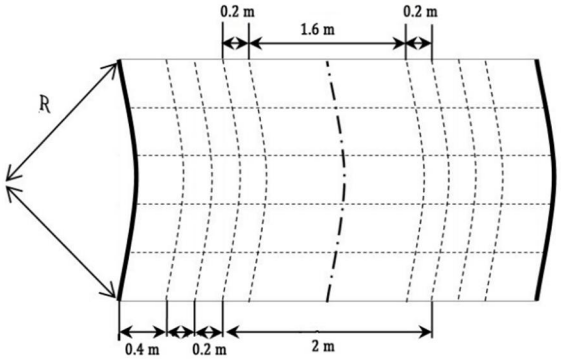

Fig. 7 Decomposition of a curved road

شکل 7 تقسیم بندی جاده غیر مستقیم

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.8.5.2]

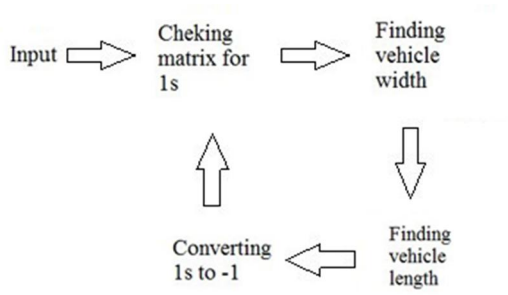

Fig. 8 Steps of finding obstacles

شکل 8 مراحل پیدا کردن موانع

4-3- متمایز کردن خودرو از موانع

برای مشخص کردن خودرو هدف از موانع، از ماتریس مکان استفاده می‌شود. ماتریس مکان یک ماتریس سه بعدی است که دو بعد اول آن مختصات مرکز جرم خودرو و بعد سوم آن زمان می‌باشد. برای محاسبه‌ی این ماتریس باید مختصات خورو و موقعیت آن در جاده با دقت بالا در دسترس باشد. برای این کار نیاز به یک دستگاه GPS است که با خطای کمتر از یک متر موقعیت خودرو را بدهد. دلیل این امر این است که اگر خطا بیشتر از یک متر باشد ممکن است مختصات خروجی خارج از خودرو قرار گیرد و خودرو هدف از مانع قابل تشخیص نباشد. همچنین این دستگاه باید مختصات خودرو را به عنوان ورودی به واحد پردازش خودرو بدهد تا عملیات لازم روی آن انجام شود. X_{CG} مختصه‌ی طولی مرکز جرم، Y_{CG} مختصه‌ی عرضی مرکز جرم و X_i و Y_i مختصات مانع iام در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که روابط (6) و (7) ارضا شوند، خودرو هدف پیدا شده است. W عرض خودرو و L طول خودرو می‌باشد.

$$X_i \le X_{CG} \le X_i + W \quad (6)$$

$$Y_i \le Y_{CG} \le Y_i + L \quad (7)$$

4-4- مسیر خودرو و بررسی وجود خطر

پس از مشخص کردن خودرو، مسیر پیش روی آن بررسی می‌شود. برای این کار مختصات سمت چپ و سمت راست خودرو باید مشخص شود.

اگرهیچ خودرویی در این مسیر وجود نداشت، خودرو به مسیر خود ادامه می‌دهد. اما اگر خودرویی در مسیر قرار داشت باید احتمال وجود خطر بررسی شود. در شکل9 نمونه‌ای از این بررسی نشان داده شده است. در این شکل خودرو سفید رنگ، خودرو مورد نظر می‌باشد. خودرو قرمز رنگ مانعی است که در مسیر خودرو قرار دارد و خودروهای سبز رنگ موانعی هستند که در مسیر خودرو قرار ندارند.

بعد از بررسی مسیر خودرو نوبت به محاسبه‌ی فاصله خودرو تا مانع پیش رو می‌رسد. در لحظاتی که مانع در مسیر خودرو وجود دارد، باید فاصله خودرو تا مانع محاسبه شود. برای این کار فاصله انتهایی مانع تا ابتدای خودرو باید محاسبه شود.

بعد از محاسبه فاصله باید بررسی شود که آیا در این فاصله خطر برخورد وجود دارد یا خیر. برای این کار باید ابتدا سرعت خودرو محاسبه شود تا مشخص شود در بازه‌هایی که ماتریس بعدی به خودرو می‌رسد، خودرو چه مسافتی را می‌تواند طی کند [10]. با توجه به سرعت خودرو محدوده‌ی خطر مشخص می‌شود. پس از مشخص کردن محدوده‌ی خطر، این محدوده با فاصله مقایسه می‌شود. اگر فاصله با مانع کوچکتر از محدوده‌ی خطر باشد اعلام خطر می‌شود. در لحظه‌هایی که احساس خطر شده است، برنامه ریز باید با تصمیم گیری مناسب، خطر را رفع کند.

برای ایفای کار دو راه وجود دارد:

- تغییر خط
- ترمز گیری

در این مرحله امکان تغییر خط خودرو بررسی می‌شود. برای این کار مسیر سمت چپ خودرو چک می‌شود. اگر فضای مورد نیاز برای تغییر خط، خالی از مانع بود اقدام به تغییر خط می‌شود و اگر در فضای مورد نیاز، مانع وجود داشت، خودرو با ترمزگیری فاصله خود از خودرو جلویی را کاهش می‌دهد. (شکل10). در شکل الف، هیچ مانعی در محدوده‌ی خطر وجود ندارد، بنابراین خودرو اقدام به تغییر خط می‌کند. اما در شکل ب، در محدوده‌ی خطر مانع وجود دارد و امکان تغییر خط وجود ندارد. در نتیجه خودرو ترمز می‌کند.

4-5- بررسی سناریوهای ممکن

در این بخش چهار حالت ممکن در جاده بررسی می‌شوند. ابتدا وضعیت قرار گرفتن خودروها در شکل 12نشان داده می‌شود. در این شکل، خودرو نقره ای رنگ خودرو هدف، خودرو قرمز رنگ مانعی که در مسیر خودرو قرار دارد و خودروهای سبز رنگ موانعی می‌باشند که در مسیر خودرو قرار ندارند. پس از تحلیل و بررسی ماتریس ورودی در چهار حالت ذکر شده (شکل 11)، موقعیت تمام خودروها در تمام حالت‌ها مشخص می‌شود. این موقعیت‌ها در جدول 3 نشان داده شده است.

با توجه به جدول و با استفاده از روش گفته شده تصمیم گیری مناسب برای خودرو انجام می‌شود. در حالت اول فاصله‌ی خودرو با مانع کم می‌باشد و با توجه به اینکه امکان تغییر خط وجود ندارد خودرو اقدام به ترمزگیری می‌کند.

در حالت دوم مانع در مسیر خودرو وجود دارد اما با توجه به فاصله‌ی زیاد خودرو با آن، نیازی به تغییر خط یا ترمزگیری احساس نمی‌شود.

در حالت سوم مانع در مسیر خودرو وجود دارد و با توجه به وجود امکان تغییر خط خودرو باید از مانع سبقت بگیرد.

در حالت چهارم مانعی در مسیر خودرو وجود ندارد و خودرو می‌تواند آزادانه به راه خود ادامه دهد. فلوچارت مربوط به این حالت‌ها در شکل 12 نشان داده شده است.

5- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله به هدایت یک خودرو هوشمند پرداخته شد. برای انجام این منظور، جاده به تعدادی سلول تقسیم بندی شد. سپس با توجه به پر یا خالی

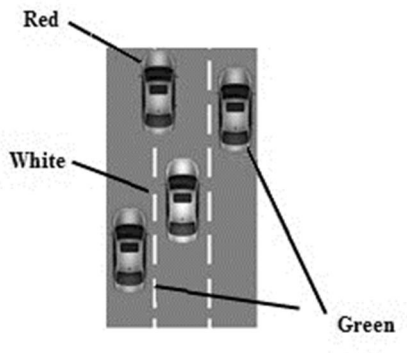

Fig. 9 Investigating probable danger

شکل 9 بررسی احتمال وجود خطر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-26]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.8.5.2]

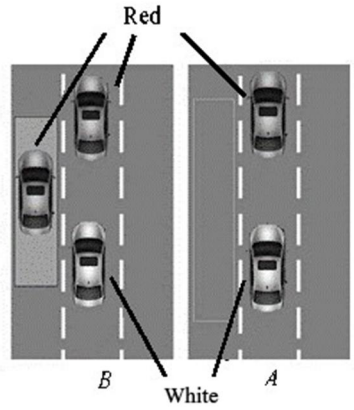

Fig. 10 Investigating possibility of lane change

شکل 10 بررسی امکان تغییر خط

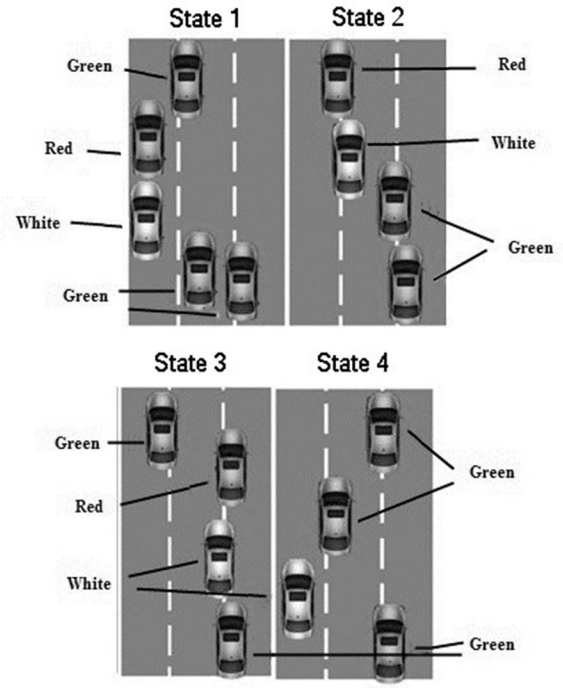

Fig. 11 Possible scenarios for vehicle

شکل 11 حالت های ممکن برای خودرو

جدول 3 موقعیت قرار گیری خودرو و موانع

Table 3 Vehicle and obstacle positions

حالت	مختصه‌ی طولی نقطه‌ی شروع خودرو	مختصه‌ی عرضی نقطه‌ی شروع خودرو	طول خودرو	عرض خودرو
1	2	3	10	4
1	15	2	6	3
1	25	1	6	3
1	60	4	6	3
1	80	7	11	3
2	4	3	10	3
2	27	4	6	3
2	65	8	6	3
2	83	8	11	3
3	4	4	8	3
3	68	7	6	3
3	77	7	6	3
3	84	7	10	3
4	4	8	10	3
4	18	4	6	3
4	57	1	6	3
4	65	8	6	3

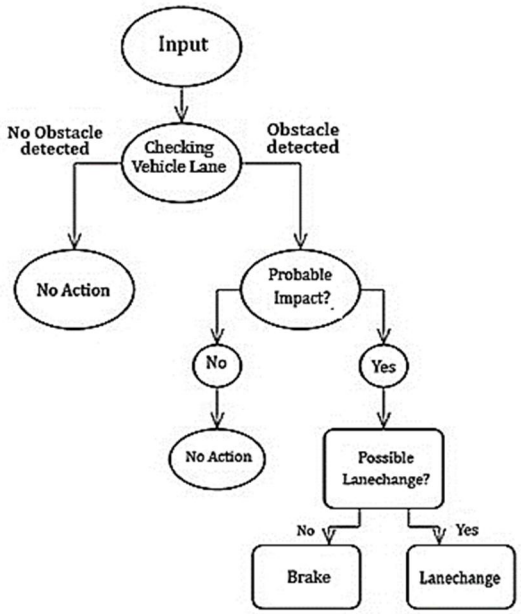

Fig. 12 lane change Flowchart

شکل 12 فلوچارت تغییر خط

بودن هر سلول، الگوریتم شناسایی موانع ارائه شد. پس از تشخیص موانع، با توجه به شرایط جاده، خودرو هدایت شد. در نهایت هم حالت‌های ممکن برای یک خودرو بررسی شد. از نتایج این مقاله می‌توان به هدایت مناسب خودرو در شرایط مختلف اشاره کرد. این سیستم هوشمند، اشتباهات راننده هنگام رانندگی را حذف می‌کند و در نتیجه تصادفات را کاهش می‌دهد.

6- مراجع

[1] A..Dankers, Andrew, L. Fletcher, L. Petersson, A. Zelinsky, Driver assistance: Contemporary road safety, *The 6th Conference on Robotics and Automation*. Canberra, Australia, 2004.

[2] C. Cai, S. Ferrari, Information-Driven Sensor Path Planning by Approximate Cell Decomposition, *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, Part B, Vol. 39, No. 3, pp. 672-689, June 2009.

[3] S. Glaser, B.Vanholme, S.Mammar, D.Gruyer, L.Nouveliere, Maneuver-Based Trajectory Planning for Highly Autonomous Vehicles on Real Road With Traffic and Driver Interaction, *IEEE Transaction on Intelligent Transportation systems*, Vol. 11, No. 3, pp. 589-606, September 2010.

[4] M.Konrad, M.Szczot, K.Dietmayer, Road Course Estimation in Occupancy Grid, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, University of California, pp. 412-417, June 21-24, 2010, San Diego, USA.

[5] M.Konrad, M.Szczot, F.Schule , K.Dietmayer, Generic Grid Road Course Estimation, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 851-856, June 5-9, 2011, Germany.

[6] T. Yan, W. Zhang, G. Wang, Y. Zhang, , GOT: Grid-based On-road Localization through Inter-vehicle Collaboration, in *The 8th IEEE International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems*, pp. 13-18, Brasilia, Brazil, 2011.

[7] C. Scheurer, Zimmermann, Path Planning Method for Palletizing Tasks using Workspace Cell Decomposition, *The IEEE Conference on Robotics and Automation*, pp. 1-4, 9-13, Shanghai, China, 2011.

[8] G.Foderaro, A.Swingler and S. Ferrari, A Model-based Cell Decomposition Approach to On-line Pursuit-Evasion Path Planning and the Video Game Ms. Pac-Man, *The IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, Granada, Spain, 2012.

[9] S. B.Chul , J. J. Woo, Mobile Robot Path Planning with Opposite Angle-Based Exact Cell Decomposition, *Advanced Science Letters*, Vol. 15, No. 1, pp. 144-148, August 2012.

[10] *Texas driver's Handbook*, pp. 48, Access on July 2012; www.dps.texas.gov.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-26]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.8.5.2]