

کنترل هوشمند وسیله نقلیه در سطح تاکتیکی براساس یک رویکرد تکاملی

حمید بازرگان^{۱*}، محمد رضا میبدی^۲، بهروز معصومی^۳

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران
h.bazargan@qiau.ac.ir

^۲ استاد، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، تهران، ایران
mmeybodi@aut.ac.ir

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران
masoumi@qiau.ac.ir

چکیده

این مقاله یک سیستم کنترل هدایت هوشمند برای راندن وسیله نقلیه در قالب یک عامل هوشمند ارائه می‌دهد. این عامل برای شرایطی که چند وسیله نقلیه وجود دارند، با هدف جلوگیری از تصادف وسیله نقلیه توسط اجرای مانورهای مناسب طراحی شده است. روش پیشنهادی برپایه ایجاد یک مدل کوچک محلی برای مسئله و استفاده از روش‌های تکاملی برای برنامه‌ریزی میان‌مدت و پیش‌بینی شرایط آتی با استفاده از این مدل است. با شبیه‌سازی روش پیشنهادی و مقایسه میانگین سرعت و انحراف معیار آن، تعداد اجرا عمل تغییر مسیر و مدت زمان رسیدن به مقصد عملکرد بهتر آن اثبات شده است.

کلمات کلیدی

سیستم حمل‌ونقل هوشمند، سیستم آزادراه خودکار، وسیله نقلیه هوشمند، سیستم کنترل هدایت، یادگیری تقویتی، اتوماتای یادگیر، الگوریتم تکاملی.

۱- مقدمه

هستند. تحقیقاتی صورت گرفته در این زمینه را می‌توان در سه سطح دسته‌بندی نمود: سطح استراتژیک، سطح تاکتیکی و سطح عملیاتی. در بالاترین سطح (استراتژیک) هدف شناسایی و طرح‌ریزی یک مسیر مناسب برای رسیدن به مقصد است. در سطح میانی (تاکتیکی) مانورهای مناسب برای دستیابی به اهداف کوتاه مدت مانند تصمیم‌گیری برای سبقت گرفتن از وسیله نقلیه دیگر انتخاب می‌گردد. در پایین‌ترین سطح (عملیاتی) مانورهای انتخاب شده در سطح میانی به دستورات گاز، ترمز و هدایت ترجمه می‌شوند. سطح استراتژیک با استفاده از روش‌های جستجوی پیشرفته هوش مصنوعی و تکنیک‌های برنامه‌ریزی [۳-۱] قابل پیاده‌سازی است. همچنین سطح عملیاتی نیز مورد توجه محققین بوده [۱۲-۴] و به طور فزاینده‌ای پیشرفت

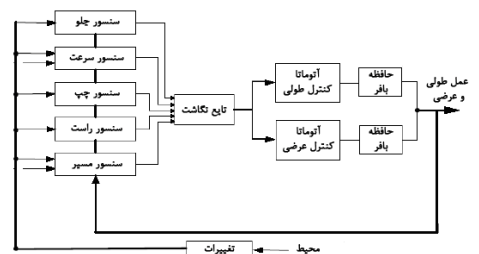
سیستم کنترل هدایت یک سیستم کمک راننده شناخته شده است. با اتکا به رادار و حسگرهای موجود در وسیله نقلیه، این سیستم می‌تواند مسیر مناسب برای حرکت را انتخاب و سرعت را به صورت خودکار به گونه‌ای تنظیم کند که یک فاصله امن مابین وسیله نقلیه جاری و وسیله نقلیه جلویی در مسیر جاری حفظ شود. این سیستم‌ها از طرح ساده‌ای استفاده می‌نمایند که در آن وسیله نقلیه هدف، نزدیکترین وسیله نقلیه در مسیر جاری می‌باشد. اشکال‌های اصلی ناشی از این رویکرد ساده، ناتوانی در تشخیص وسیله نقلیه در خطوط مجاور و انجام واکنش‌های مناسب در پیشرفت و کارایی محدود در این شرایط

نموده است. اما سطح تاکتیکی به صورت شدید و فراوان مورد توجه واقع نشده است. در تحقیق [۱۳] از درخت‌های تصمیم و قانون‌های خبره و در تحقیق [۱۴] از گراف انتقال وضعیت برای بیان دانش رانندگی استفاده شده است. اما این روش‌ها دارای اشکال‌هایی از جمله پیچیدگی ایجاد قوانین واقع‌بینانه، ناتوانی در ذخیره رفتار پویای رانندگان می‌باشند. در تحقیق [۱۵] از چندین عامل مستقل که هر یک در زمینه انجام یک مانور خاص متخصص هستند، استفاده شده است. در تحقیق‌های [۱۶-۱۹] طبق دانسته‌های ما برای اولین بار از الگوریتم یادگیری در این سطح استفاده شده است. در این تحقیق‌ها نویسندگان از اتوماتای یادگیر تصادفی برای یادگیری مستقیم اینکه چه عملی، بر اساس ورودی حسگرها در هنگام اجرا، برای اجرا مناسب است استفاده شده است. در واقع در این تحقیق‌ها در عوض یادگیری پارامترهای موثر در انتخاب عمل مناسب، خود عمل مورد گزینش قرار می‌گیرد. هدف اصلی این مقاله، ایجاد یک مدل کوچک محلی برای محیط مسئله، که با استفاده از حسگرهای تعبیه شده در وسیله‌نقلیه ایجاد می‌شود و شامل ویژگی‌ها و مختصات وسیله‌نقلیه تحت کنترل و وسیله‌های‌نقلیه شناسایی شده مجاور است، و استفاده از این مدل برای ایجاد و ارزیابی سیستم کنترل هدایت در سطح تاکتیکی با استفاده از روش تکاملی است که قادر به پیش‌بینی شرایط ترافیکی و انجام واکنش‌های مناسب است.

در ادامه، مقاله چنین سازماندهی شده است. در بخش ۲ تحقیق‌های پیشین صورت گرفته تشریح و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در بخش ۳ روش پیشنهادی در این مقاله تشریح و نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده مورد بررسی قرار گرفته است. در آخر در بخش ۴ نتیجه‌گیری نهایی بیان خواهد شد.

۲- تحقیق‌های پیشین انجام شده

تحقیقات کمی در زمینه استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین به منظور کنترل هوشمند وسیله‌نقلیه در سطح تاکتیکی صورت گرفته است. برای اولین بار اتوماتای یادگیر تصادفی توسط آقای آنسال و همکارانش [۱۶] به منظور یادگیری عمل بهینه در سطح تاکتیکی به منظور انجام مانورهای مناسب استفاده شد. در این تحقیق دو اتوماتای یادگیر تصادفی برای کنترل عرضی و طولی وسیله‌نقلیه استفاده شده است. اتوماتای یادگیر تصادفی در محیط ایستا قابل استفاده است، به همین دلیل نویسندگان با افزایش نرخ همگرایی و کاربرد اتوماتا در بازه‌های زمانی بسیار کوتاه محیط مورد استفاده توسط اتوماتا را به صورت یک محیط ایستا در نظر گرفتند. نویسندگان این تحقیق برای ایجاد سیگنال آموزشی مورد استفاده توسط اتوماتا از چندین واحد آموزشی (معلم) استفاده نمودند. هر یک از این معلم‌ها متناظر با یک یا چند حسگر به کار رفته در وسیله‌نقلیه هستند. مدل به کار رفته در این تحقیق در شکل شماره (۱) به تصویر کشیده شده است.



شکل (۱) مدل مورد استفاده برای سیستم کنترل هدایت [۱۶]

همانطور که در شکل شماره (۱) قابل مشاهده است، برای تجمیع خروجی معلم‌ها و ارسال سیگنال آموزشی به اتوماتا از یک تابع نگاشت استفاده شده است. تابع نگاشت مورد استفاده توسط آقای آنسال و همکارانش یک تابع منطقی براساس عملگر OR بود. در این تحقیق عمل انتخاب شده توسط اتوماتا به یک بافر منتقل شده و پس از پر شدن این بافر توسط عمل‌های یکسان آن عمل برای اجرا به سطح عملیاتی ارسال می‌شود.

آقای شیرایشی و همکارانش [۱۹] از شبکه اتوماتای یادگیر، با توجه به مدل ارائه شده توسط آقای آنسال و همکارانش، برای ایجاد سیستم کنترل هوشمند استفاده نمودند. برخلاف روش آقای آنسال و همکارانش که یادگیری توسط اتوماتا تنها براساس سیگنال آموزشی بود، در این روش از پارامترهای ورودی (خروجی حسگرها) برای تعیین وزن ورودی‌ها به شبکه استفاده شده است. در این روش برخلاف روش [۱۶] از چهار اتوماتا استفاده شده است. هر اتوماتا براساس خروجی حسگرها و وزن‌های تعیین شده، اجرا و یا عدم اجرای یک عمل را مشخص می‌کنند. همچنین عمل طولی بدون در نظر گرفتن بافر اجرا می‌شود اما عمل عرضی همچنان پس از پر شدن بافر توسط عمل یکسان اجرا می‌گردد.

آقای دیم و همکارش [۱۷] مدل ارائه شده توسط [۱۶] را تغییر داده و به جای استفاده از اتوماتای با محیط نوع P از اتوماتا با محیط نوع S استفاده نمودند. همچنین آن‌ها از الگوریتم یادگیری دیگری به نام MGAE که نزدیک به بهینه در محیط غیرایستا است، استفاده نمودند. به دلیل استفاده از اتوماتای با محیط نوع S سیگنال آموزشی در این تحقیق تغییر یافته و براساس خروجی بعضی از حسگرها تعیین می‌گردد. همچنین آقای غیائی‌راد و همکارانش [۱۸] مدل ارائه شده در تحقیق [۱۶] را به نحوی تغییر دادند که در مدل جدید معلم‌ها به صورت سلسله مراتبی قرار گرفته و دیگر از تابع نگاشت استفاده نمی‌شود.

آخرین و جدیدترین تحقیق انجام شده در این زمینه توسط آقای کالا و همکارش [۲۱] می‌باشد. این تحقیق برخلاف روش‌های قبلی که محیط آزاد راه را مدنظر داشتند، محیط شهری را مدنظر قرار داده و تنها به کنترل مسیر حرکت توسط وسیله‌نقلیه پرداخته است. همچنین این تحقیق مسیر حرکت را بدون مسیرهای مجزا فرض نموده است. این تحقیق اولین تلاش برای استفاده از روش‌های تکاملی در سطح تاکتیکی می‌باشد.

در این روش‌ها گزینش عمل بهینه به خوبی انجام شده و سیستم از قابلیت اطمینان مناسبی برخوردار است اما تلاش کمی برای استفاده از پارامترهای ورودی در حل مسئله انجام شده است. در این تحقیق‌ها به دلیل استفاده از حافظه بافر برای اجرای عمل، یک فاصله زمانی ایجاد می‌شود که ممکن است باعث افزایش زمان عکس‌العمل وسیله‌نقلیه در مواجهه با رخدادهای ناگهانی شود. در این مقاله برای رفع این مشکل و استفاده از پارامترهای ورودی، یک مدل کوچک محلی تعریف و با استفاده از این مدل و روش تکاملی سیستم کنترل‌کننده هوشمند برای وسیله‌نقلیه ارائه شده است. همچنین در تحقیق‌های ذکر شده حسگر جلو در وسیله‌نقلیه تنها مسیر جاری را برای شناسایی هدف بررسی می‌کند اما در این مقاله از حسگر جلوای سه گانه که قابلیت بررسی مسیر جاری و مسیرهای مجاور را دارا می‌باشد، استفاده نموده‌ایم. شکل شماره (۲) حسگر جلو به کار رفته در این تحقیق‌ها و این مقاله را نشان می‌دهد.

۳-۲- ساختار کنترلی

ساختار مورد استفاده در این مقاله برگرفته شده از تحقیق آقای اشلوک و همکارش [۲۰] است. ساختار ارائه شده ISAc (If-Skip-Action) نامیده می‌شود. این ساختار از تعدادی گره تشکیل شده است که در آن گره‌ها به صورت یک چندتایی هستند که شامل سه بخش اصلی هستند. این بخش‌ها شامل اندیس‌هایی به بردار پارمترهای ورودی، عملگرها و اندیس پرش می‌باشند. یک مثال از این ساختار در شکل شماره (۴) قابل مشاهده است.

Node	a	b	act	jmp	comment
0	3	2	2	6	if $1 - 0 > 0$ set register to zero
1	0	2	1	2	If $x - 0 > 0$ jump to 3
2	3	2	1	5	If $1 - 0 > 0$ jump to 6
3	3	2	3	9	If $1 - 0 > 0$ increment register
4	3	2	4	4	If $1 - 0 > 0$ decrement x
5	3	2	1	0	If $1 - 0 > 0$ jump to 1
6	1	2	1	7	If $y - 0 > 0$ jump to 8
7	3	2	1	10	If $1 - 0 > 0$ jump to 11
8	3	2	3	7	If $1 - 0 > 0$ increment register
9	3	2	5	2	If $1 - 0 > 0$ decrement y
10	3	2	1	5	If $1 - 0 > 0$ jump to six
11	3	2	0	4	If $1 - 0 > 0$ NOP

شکل (۴) یک مثال از ساختار ISAc [۲۰]

این ساختار براساس مقایسه پارمترهای ورودی انتخاب شده توسط اندیس‌ها، عمل درج شده در ساختار را اجرا می‌کند. اگر نتیجه مقایسه مثبت باشد عملگر اجرا و در غیر این صورت به گره بعدی مراجعه می‌شود. الگوریتم اجرای ساختار نمایش داده شده در شکل شماره (۴) در شکل شماره (۵) قابل ملاحظه است. با استفاده از تابع شایستگی و عملگرهای تکاملی مناسب، می‌توان این ساختار را براساس اهداف از پیش تعیین شده بهینه نمود.

```

IP <- 0
LoadDataVector(v)
Repeat
    With ISAc[IP] do
        if v[a] - v[b] > 0 then
            PerformAction(act)
            UpdateDataVector(v)
        IP <- IP + 1
Until Done

```

شکل (۵) الگوریتم اجرای ساختار ISAc [۲۰]

• ساختار ISAc برای کنترل وسیله نقلیه

برای استفاده از ساختار ISAc به منظور گزینش عمل بهینه در کنترل وسیله نقلیه باید این ساختار را با مسئله سازگار نمود. برای این منظور گره‌های این ساختار به صورت رابطه شماره (۱) تعیین می‌گردد.

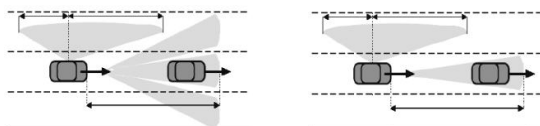
$$\text{ISAc Node} = \{a, b, c, d, t, \text{act}, \text{jmp}\} \quad (1)$$

در رابطه شماره (۱) متغیرهای a و b اندیس‌های اشاره کننده به بردار پارمترهای ورودی، c و d به ترتیب متناظر با رنج حسگرها و سرعت وسیله نقلیه، t مرتبط با شرط‌های مورد ارزیابی به کار گرفته شده، act عملگرهای ممکن و jmp شماره گره‌های دیگر به منظور انجام عمل پرش هستند.

بردار پارمترهای ورودی، عملگرهای تعیین شده و شرط‌های به کار رفته به ترتیب در جدول‌های شماره (۱) و (۲) و (۳) درج شده‌اند.

جدول (۱) پارمترهای ورودی

فاصله مایینی با هدف در مسیر جاری	سرعت هدف در مسیر جاری
فاصله مایینی با هدف در مسیر چپ	سرعت هدف در مسیر چپ
فاصله مایینی با هدف در مسیر راست	سرعت هدف در مسیر راست
سرعت وسیله نقلیه تحت کنترل	



شکل (۲-۱) حسگر جلو در تحقیق‌های پیشین

شکل (۲) حسگر جلو به کار رفته در وسیله نقلیه مقاله

یکی دیگر از معایب روش‌های پیشین، مدنظر قرار دادن معیارهای مختلف می‌باشد. در این روش‌ها برای هدایت یادگیری باید سیگنال‌های آموزشی مناسب ایجاد شود. استفاده از این روش هنگام وجود معیارهای کم قابل استفاده است اما با افزایش این معیارها، تولید سیگنال آموزشی بسیار مشکل می‌شود. در این مقاله، با استفاده از تابع شایستگی موجود در روش تکاملی این مشکل مرتفع شده و به راحتی می‌توان تعداد بیشتری معیار را در روند یادگیری وارد نمود.

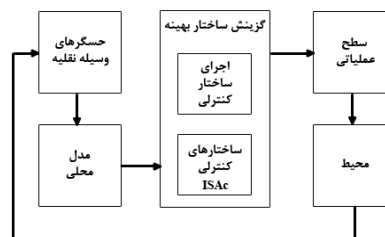
۳- کنترل هوشمند وسیله نقلیه مبتنی بر رویکرد تکاملی

ایده اصلی این مقاله ارائه یک مدل کوچک محلی و استفاده از این مدل برای گزینش عمل بهینه با در نظر گرفتن پارمترهای ورودی است. در ادامه مدل محلی پیشنهادی، ساختار کنترلی استفاده شده و شبیه‌سازی‌های انجام شده و نتایج آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

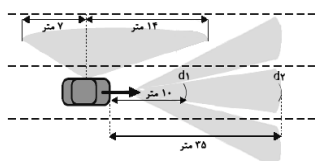
۳-۱- مدل محلی

مدل ارائه شده توسط این مقاله همانند شکل شماره (۲-۲) می‌باشد. وسیله نقلیه تحت کنترل قابلیت شناسایی هدف در مجاور و مقابل (مسیر جاری، مسیر سمت چپ، مسیر سمت راست) خود را دارد. حسگرهای به کار رفته می‌توانند وجود وسیله نقلیه هدف، فاصله مایینی و سرعت وسیله نقلیه هدف را تعیین کنند. مدل مورد استفاده برای بخش کنترلی در شکل شماره (۳) به نمایش درآمده است.

در این مدل قسمت حسگرها محیط پیرامون را شناسایی و پارمترهای تشخیصی را به قسمت مدل محلی ارسال می‌کنند. در قسمت مدل محلی بر اساس پارمترهای دریافتی یک تصویر لحظه‌ای از محیط پیرامون ایجاد می‌شود. سپس این مدل به قسمت ارزیابی فرستاده می‌شود. با استفاده از این مدل ساختارهای کنترلی موجود ارزیابی شده و بهترین ساختار انتخاب شده و براساس آن عمل بهینه گزینش می‌شود. پس از گزینش عمل بهینه، عمل انتخاب شده به سطح عملیاتی برای ترجمه به دستورات سطح پایین و اجرا ارسال می‌گردد.



شکل (۳) مدل ارائه شده برای سیستم کنترل هدایت



شکل (۷) رنج حسگرهای موجود در وسیله نقلیه

برای مقایسه روش ارائه شده با تحقیق‌های پیشین از ۳ معیار استفاده کردیم. این سه معیار شامل میانگین سرعت و انحراف معیار آن، تعداد اجرای عمل تغییر مسیر و مدت زمان لازم برای رسیدن به یک فاصله از پیش تعیین شده، هستند. نتایج برخی از اجراهای صورت گرفته برای این معیارها به ترتیب در جدول شماره (۴) و (۵) و (۶) درج شده است. طبق نتایج بدست آمده روش ارائه شده دارای میانگین سرعت بیشتر و با انحراف معیار کمتری نسبت به سایر تحقیق‌ها عمل نموده است. تعداد اجرای عمل تغییر مسیر نیز در روش ارائه شده نسبت به سایر تحقیق‌ها کمتر بود. همچنین به دلیل میانگین سرعت بیشتر و تعداد اجرای عمل تغییر مسیر کمتر، مدت زمان رسیدن به فاصله از پیش تعیین شده نیز در مقایسه با سایر تحقیق‌ها کمتر بود.

جدول (۴) میانگین سرعت وسیله نقلیه هوشمند و انحراف معیار آن

برحسب متر بر ثانیه				
	۱	۲	۳	Sim. No
تحقیق [۱۶]	۰.۰۲۹۶۴۳۴۱	۰.۰۲۸۴۳۹۷	۰.۰۲۶۳۸۷۵	AVG
	۰.۰۰۱۸۶۱۱۳	۰.۰۰۱۹۶۵۴۸	۰.۰۰۲۴۸۳۶	STDEV
تحقیق [۱۹]	۰.۰۲۷۴۲۲	۰.۰۲۷۱۸۷۶	۰.۰۲۵۷۵۶۹	AVG
	۰.۰۰۴۸۶۷	۰.۰۰۲۶۹۸	۰.۰۰۳۴۶۸	STDEV
تحقیق [۱۷]	۰.۰۲۷۴۷۱	۰.۰۲۷۵۳۴۵	۰.۰۲۶۰۶۴	AVG
	۰.۰۰۲۶۹۷	۰.۰۰۲۵۹۳۵	۰.۰۰۲۹۶۳۴۵	STDEV
روش ارائه شده	۰.۰۳۱۰۳۳	۰.۰۳۲۳۲۲	۰.۰۲۹۲۳۴۴	AVG
	۰.۰۰۰۹۱۲	۰.۰۰۱۰۲۱۳	۰.۰۰۲۰۲۳۳	STDEV

جدول (۵) تعداد اجرای عمل تغییر مسیر

	۱	۲	۳	Sim. No
تحقیق [۱۶]	۱۰	۶	۱۴	
تحقیق [۱۹]	۱۵	۸	۱۹	
تحقیق [۱۷]	۸	۴	۱۲	
روش ارائه شده	۵	۲	۸	

جدول (۶) مدت زمان رسیدن وسیله نقلیه هوشمند به نقطه تعیین شده

برحسب ثانیه				
	۱	۲	۳	Sim. No
تحقیق [۱۶]	۸۳	۵۱	۱۱۹	
تحقیق [۱۹]	۹۵	۵۴	۱۳۵	
تحقیق [۱۷]	۷۷	۵۳	۱۱۵	
روش ارائه شده	۶۵	۴۰	۹۷	

همانطور که در بخش ۲ ذکر شد جدیدترین کار انجام شده در سطح تاکتیکی با استفاده از روش‌های تکاملی تحقیق آقای کالا و همکارانش [۲۱] است. اما در این تحقیق تمرکز بر روی مسیر حرکت وسیله نقلیه بدون در نظر گرفتن مسیرهای مجزا در خیابان شهری است و حرکت به صورت پیوسته است. همچنین کنترل سرعت در این تحقیق مد نظر نیست. اما در روش ارائه شده توسط این مقاله محیط آزادراه با مسیرهای مجزا، حرکت به صورت گسسته در گام‌های زمانی مشخص و قابلیت کنترل سرعت وسیله نقلیه مورد

جدول (۲) عملگرهای تعیین شده در ساختار کنترلی

کاهش سرعت ۲ واحد	کاهش سرعت ۱ واحد	عدم تغییر سرعت
افزایش سرعت ۱ واحد	کاهش سرعت ۲ واحد انتقال به راست	کاهش سرعت ۲ واحد انتقال به چپ
کاهش سرعت ۱ واحد انتقال به راست	کاهش سرعت ۱ واحد انتقال به چپ	عدم تغییر سرعت انتقال به راست
عدم تغییر سرعت انتقال به چپ	افزایش سرعت ۱ واحد انتقال به راست	افزایش سرعت ۱ واحد انتقال به چپ

جدول (۳) شرط‌های به کار رفته برای مقایسه پارامترها

$v[a] \leq v[b]$	$v[a] \geq v[b]$
$v[a] \leq c \text{ or } d$	$v[a] \geq c \text{ or } d$

همچنین برای تکامل این ساختار از عملگر متقاطع، جهش و انتخاب استفاده شده است. عملگر متقاطع به صورت دو نقطه‌ای بر روی ساختار عمل کرده و با گره‌ها به صورت اتمیک رفتار می‌کند اما عملگر جهش بر روی قسمت‌های این گره‌ها عمل می‌نماید. عملگر انتخاب به صورت مسابقه‌ای بین ۴ ساختار استفاده شده است. از بین ۴ ساختار تصادفی، ۲ ساختار با بیشترین مقدار شایستگی انتخاب می‌شوند.

قسمت مهم در فرآیند تکامل و یکی از مزیت‌های روش پیشنهادی توسط این مقاله، تابع شایستگی است. این تابع به گونه‌ای تعیین می‌گردد تا تناسب ساختارهای موجود با معیارهای در نظر گرفته شده را براساس یک مقدار عددی بیان کند. در این مقاله ساده‌ترین شکل ممکن، حفظ بالاترین سرعت ممکن با کمترین تعداد اجرای عمل تغییر مسیر و حفظ امنیت، برای تابع شایستگی در نظر گرفته شده است.

فرآیند استفاده از این ساختار برای کنترل وسیله نقلیه دارای دو فاز می‌باشد. فاز نخست شامل آموزش این ساختار با استفاده از شبیه‌سازی چندین مدل ابتدایی و بهینه نمودن این ساختار و فاز بعدی استفاده لحظه‌ای از این ساختار برای کنترل هوشمند وسیله نقلیه می‌باشد.

۳-۳- شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده

برای ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسه آن با تحقیق‌های پیشین از شبیه‌سازی شرایط ترافیکی استفاده نمودیم. برای شبیه‌سازی از ۱۰۰ حالت مختلف که به صورت تصادفی ایجاد شده بود، استفاده نمودیم. در این حالت‌ها از یک وسیله نقلیه با کنترل هوشمند و بین ۵ تا ۱۲ وسیله نقلیه با مسیر و سرعت ثابت استفاده شد. سرعت وسیله‌های نقلیه غیر هوشمند ۸۰ کیلومتر بر ساعت و سرعت وسیله نقلیه هوشمند بین ۸۰ تا ۱۱۰ کیلومتر بر ساعت تعیین شد. محیط شبیه‌سازی شامل جاده‌ای با ۳ مسیر در امتداد هم بود. در شکل شماره (۶) یک مثال از حالت‌های به کار رفته نمایش داده شده است.



شکل (۶) یک مثال از حالت‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی

برای کنترل وسیله نقلیه هوشمند از ۱۲۰ ساختار ISAC که هر یک شامل ۳۰ گره بودند، استفاده نمودیم. همچنین برد حسگرهای به کار رفته در وسیله نقلیه هوشمند در شکل شماره (۷) قابل مشاهده می‌باشد.

بررسی قرار گرفته است. از اینرو امکان مقایسه دقیق روش [۲۱] با روش ارائه شده در مقاله وجود نداشت.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله با ارائه یک مدل کوچک محلی و استفاده از یک رویکرد تکاملی، ساختار کنترلی هوشمندی برای هدایت وسیله نقلیه ارائه نمودیم. طبق نتایج شبیه سازی های انجام شده روش پیشنهادی در این مقاله باعث بهبود و افزایش معیارهای مختلف، که شامل میانگین سرعت و انحراف معیار آن، تعداد اجرای عمل تغییر مسیر و مدت زمان رسیدن به نقطه از پیش تعیین شده است، در این مسئله شد. از سایر نکات قابل پیگیری در تحقیق های آینده می توان به مدنظر قرار دادن معیارهای متعدد دیگر در هدایت وسیله نقلیه و مناسب ساختن تابع شایستگی برای این منظور اشاره نمود.

مراجع

- [۱۱] R.J. Oentaryo and M. Pasquier, *Self-trained automated parking system based on the novel GenSoYager fuzzy neural network*, Proc. Int. Conf. on the λ th Control, Automation, Robotics, and Vision (ICARCV'۰۴) (pp. ۱۰۰۵-۱۰۱۰), ۲۰۰۴.
- [۱۲] M. Chan and M. Pasquier and D. Partouche, *An intelligent driving system for automatically anticipating and negotiating road curves*, Proc. Int. Conf. on Intelligent Robots and System (IROS۲۰۰۷) (pp. ۱۱۷-۱۲۲), ۲۰۰۷.
- [۱۳] R. Sukthankar and J. Hancock and C. Thorpe, *Tactical-level simulation for intelligent transportation systems*, IEEE Trans. Mathematical and Computer Modelling, vol. ۲۷, No. ۹/۱۱, pp. ۲۲۹-۲۴۲, ۱۹۹۸.
- [۱۴] M. Jun and M. Ito and Y. Shirai, *A three-level control architecture for autonomous vehicle driving*, Proc. Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems (pp. ۷۰۶-۷۱۱), ۱۹۹۷.
- [۱۵] R. Sukthankar and S. Baluja and J. Hancock, *Multiple adaptive agents for tactical driving*, IEEE Trans. Applied Intelligence, vol. ۹, no. ۱, pp. ۷-۲۳, ۱۹۹۸.
- [۱۶] C. Unsal and P. Kachroo and J. S. Bay, *Multiple stochastic learning automata for vehicle path control in an automated highway system*, IEEE Trans. Systems Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, vol. ۲۹, no. ۱, pp. ۱۲۰-۱۲۸, ۱۹۹۹.
- [۱۷] T. Diem and M. Pasquier, *From Operational to Tactical Driving: A Hybrid Learning Approach for Autonomous Vehicles*, Proc. Int. Conf. on the ۱۰th Control, Automation, Robotics and Vision Hanoi, Vietnam (pp. ۲۸۵-۲۹۰), ۲۰۰۸.
- [۱۸] H. Ghiassirad and J. J. Amirbandi and A. Ahmadi, *Using learning automata for vehicle control with hierarchical teachers*, Proc. Int. Conf. on the ۴th Iran Data Mining Conference / IDMC ۱۰, ۲۰۱۰.
- [۱۹] K. Shiraishi and T. Hamagami and S. Koakutsu and H. Hirata, *Autonomous Driving Control for ITS by Using Learning Automaton Network with Multiple Environments*, IEEE Trans. Electrical Engineering in Japan, Vol. ۱۵۰, No. ۴, pp. ۱۲۸۵-۱۲۹۱, ۲۰۰۵.
- [۲۰] D. Ashlock and M. Joenks, *ISAc lists, a different representation for program induction*, In Genetic Programming ۹۸, proceedings of the third annual genetic programming conference., pages ۳-۱۰, San Francisco, Morgan Kaufmann, ۱۹۹۸.
- [۲۱] R. Kala and K. Warwick, *Heuristic based evolution for the coordination of autonomous vehicles in the absence of speed lanes*, Applied Soft Computing, Vol. ۱۹, pp. ۳۸۷-۴۰۲, ۲۰۱۴.
- [۱] K. Kim and D. Cho and J.V. Medanic, *Lane assignment using a genetic algorithm in the automated highway systems*, Proc. Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems (pp. ۵۴۰-۵۴۵), ۲۰۰۵.
- [۲] M. Pasquier and H. Quek and B. TeeTan and C. Chau, *Opportunistic planning for a fleet of transportation robots*, Proc. Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems (pp. ۶۶۸-۶۷۲), ۲۰۰۱.
- [۳] R.E. Fikes and P.E. Hart and N. J. Nilsson, *Learning and executing generalized robot plans*, *Artificial Intelligence*, Volume ۳, pp. ۲۵۱-۲۸۸, ۱۹۷۲.
- [۴] D. Pomerleau, *Neural network vision for robot driving*, *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, MIT Press, pp. ۵۳-۷۲, ۱۹۹۷.
- [۵] G. Yu and I.K. Sethi, *Road-following with continuous learning*, Proc. Int. Conf. on Intelligent Vehicles '۹۵ Symposium (pp. ۴۱۲-۴۱۷), ۱۹۹۵.
- [۶] C. Desjardins and B. Chaib-draa, *Cooperative Adaptive Cruise Control: A Reinforcement Learning Approach*, IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, vol. ۱۲, no. ۴, pp. ۱۲۴۸-۱۲۶۰, ۲۰۱۱.
- [۷] V. Sezer and Z. Ercan and H. Heceoglu and M. Gokasan and S. Bogosyan, *A new fuzzy speed control strategy considering lateral vehicle dynamics*, Proc. Int. Conf. on the ۱۵th Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. ۱۹-۲۴), ۲۰۱۲.
- [۸] M. Pasquier, *A self-organising fuzzy-neural rule-based approach to automated driving*, Proc. Int. Conf. on the ۶th Automation, Robotics, and Computer Vision (ICARCV'۰۰), ۲۰۰۰.
- [۹] M. Pasquier and C. Quek and M. Toh, *Fuzzylot: A novel self-organising fuzzy-neural rule-based pilot system for automated vehicles*, IEEE Trans. Neural Networks Journal, vol. ۱۴, no. ۸ pp. ۱۰۹۹-۱۱۱۲, ۲۰۰۱.
- [۱۰] M. Pasquier and R.J. Oentaryo, *Learning to drive the human way: A step towards intelligent vehicle*, IEEE Trans. Vehicle Autonomous Systems, vol. ۶, no. ۱/۲, pp. ۲۴-۴۷, ۲۰۰۸.