

شبیه‌سازی کشف و شناسایی اهداف پرنده در سامانه‌های فرماندهی و کنترل با بهره‌گیری از نظریه فازی

محمد رضا مهرگان^۱

محمد رضا خراشادی‌زاده^۲

محمد تقی پرتوی^{۳*}

چکیده

در قرون آینده تصور دنیای بدون مسافرت‌های هوایی امری غیرممکن تلقی می‌گردد. همه روزه شرکت‌های هواپیمایی میلیون‌ها مسافر و کالا را بین کشورها و شهرهای مختلف جابجا می‌نمایند. در این فرایند امنیت پرواز هواپیماها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کشورهای مختلف برای تامین امنیت خود نیازمند سامانه‌های پیشرفته کشف، شناسایی، مراقبت هوافضایی آسمان برای همه اهداف پروازی هستند. در بسیاری از کشورها فرایند کشف با استفاده از انواع رادارها صورت می‌پذیرد و فرایند شناسایی به چندین روش مختلف و عمدتاً توسط افراد متخصص در مراکز کنترل فضایی انجام می‌شود. اشکال عمده روش‌های فعلی احتمال بروز خطاهای تصمیم‌گیری انسانی می‌باشد. لذا به نظر می‌رسد با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده و روند رو به افزایش ترافیک هوایی لازم است با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری فازی و هوش مصنوعی سامانه‌های نرم‌افزاری طراحی نمود که بتواند به عنوان تصمیم‌یار به نفعات تصمیم‌گیرنده در این حوزه کمک نماید. بر همین اساس در این مقاله با استفاده از داده‌های موجود به عنوان اطلاعات آموزشی، آزمون و اعتبارسنجی و آموزش در محیط الگوریتم فازی رابط کاربری تاکاچی- سوگنو در محیط نرم افزار متلب استفاده شده و الگوی بهینه‌ای جهت فرایندهای کشف و شناسایی توسط سامانه پیشنهادی ارائه گردیده است. مهمترین نتیجه این تحقیق بهبود تشخیص و اقدام مناسب اهداف پروازی به میزان حدود ۲۰ درصد می‌باشد. با توجه به اینکه الگوریتم پیشنهادی به دلیل بهره‌گیری از پایگاه دانش قابلیت یادگیری و پیش‌بینی روندها را دارا می‌باشد، در مأموریت‌های آینده کاربرد وسیع‌تری خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی:

شبیه‌سازی، کشف و شناسایی اهداف پروازی، سامانه فرماندهی و کنترل، الگوریتم فازی، ANFIS.

^۱. استاد گروه مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

^۲. دانشیار ریاضی دانشگاه عالی دفاع ملی

^۳. دانشجوی دکتری تحقیق در عملیات، پردیس بین‌الملل کیش دانشگاه تهران و عضو هیئت علمی دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا

Email: mt.partovi@ut.ac.ir

* نویسنده مسئول:

مقدمه

با توجه به گسترش پروازهای بین‌المللی و توسعه حمل و نقل هوایی، امنیت پرواز از اهمیت بسیار فوق‌العاده‌ای برخوردار است به طوری که کوچکترین اشتباه نیز در این حوزه هرگز پذیرفته نیست. کشورها بایستی برای تامین امنیت پروازها از بالاترین استاندارد در این زمینه برخوردار باشند. لذا برای این منظور سازمان‌های بین‌المللی بوجود آمده و قوانین و مقررات ویژه‌ای وضع کردند که برای همه کشورها لازم‌الاجرا می‌باشد. ولی از آنجایی که پرواز هواپیما همواره نمی‌تواند دقیقاً مطابق مسیره‌های از پیش تعیین شده باشد و همواره هواپیماها به دلایل فنی، اشتباهات کروی پروازی و یا شرایط جوی مجبور به تخلف از مسیر پروازی از پیش تعیین شده می‌گردند. در این راستا چه بسا هواپیماها به آسمان کشورهای دیگر نیز ورود پیدا می‌کنند. سیستم‌های کنترل و مراقبت فضایی کشورهای مختلف برای امنیت هوایی خود علاوه بر قوانین بین‌المللی قوانین داخلی خاص خود را دارند. هر کشوری برای جلوگیری از ورود هواپیماهای متخلف و امنیت مناطق حساس، مهم و حیاتی خود از سامانه‌های پیشرفته فرماندهی و کنترل و پدافند هوایی استفاده می‌نماید. اشتباه در تشخیص و اقدام توسط سامانه‌های پدافندی نیز غیرقابل قبول خواهد بود. بر همین اساس، لزوم استفاده از سامانه‌های هوشمند و تصمیم‌یار با دقت بالا الزام‌آور به نظر می‌رسد. در این مقاله با توجه به این ضرورت‌ها مدل‌های مختلف و سامانه‌های نسل‌های مختلف فرماندهی و کنترل یکپارچه مورد بررسی قرار گرفته و مدل شبیه‌سازی شده با کمک نرم‌افزار متلب برای یادگیری روزمره عملکرد و ارتقاء عملکرد تصمیم‌سازان و تصمیم‌گیران در بخش شناسایی و طبقه‌بندی معرفی می‌گردد.

کشف و شناسایی اهداف پروازی عمدتاً به دو روش اصلی (با بهره‌گیری از حساسه‌هایی مانند رادارهای مختلف) و روش تکمیلی (با بهره‌گیری از دیده‌بانی بصری و سامانه‌های اطلاعات شناسایی) صورت می‌گیرد و شبکه‌های یکپارچه اطلاعات پروازی یا پدافند هوایی با نرم‌افزارهای مختلف بعد از کشف اهداف، اقدام به طبقه‌بندی و شناسایی هر یک از این اهداف می‌نمایند (آقابالازاده و محمدی، ۱۳۹۲: ۲۳).

به منظور افزایش سرعت و دقت در تصمیم‌گیری در مراحل کشف و شناسایی که بر اساس آیین‌نامه‌های موجود لازم است در حداقل زمان ممکن (حداکثر ۲ دقیقه) صورت پذیرد از نرم‌افزارهای مختلف استفاده می‌گردد. در تهیه این نرم‌افزارها باید با دقت عمل زیادی فرایندها و منطق تصمیم‌گیری مدلسازی گردند. برای مدلسازی مطلوب این مراحل استفاده از شبیه‌سازی و شبیه‌سازها افزون بر اینکه دقت و سرعت را بالا می‌برد امکان بهره‌گیری از آن در آموزش را نیز

بهبود می‌دهد و در صورت استفاده از شبیه‌سازی با هوش مصنوعی و منطق فازی آموزش مداوم سامانه و کاهش خطای مستمر را به دنبال دارد. شبیه‌سازی یکی از فنون آینده‌پژوهی است و تصمیم‌گیران سامانه‌های فرماندهی و کنترل می‌توانند در تحلیل و بررسی طرح‌ها و نتایج از آن استفاده کنند. شبیه‌سازی کامپیوتری دارای مزایای متعددی نسبت به سایر روش‌های مرسوم ارزیابی سامانه‌ها مانند روش‌های پایلوت است. گاهی اوقات به دلیل اندازه و پیچیدگی سامانه‌ها در دنیای واقعی، تنها ابزار کارا برای ارزیابی آنها شبیه‌سازی است. همچنین سامانه‌هایی وجود دارند که استفاده مستقیم از آنها خطرناک و پرهزینه است، بنابراین استفاده از شبیه‌سازی ضروری به نظر می‌رسد (مقدس و بیگدلی، ۱۳۹۶: ۵).

با نگاهی اجمالی و گذرا می‌توان به جایگاه و اهمیت پرواز هواپیماها برای جابجایی انسان‌ها و کالاها پی برد، در هر ثانیه از شبانه روز بیش از ۱۰,۰۰۰ هواپیما در آسمان حضور دارند^۱. میانگین جمعیتی که همواره داخل هواپیماهای شرکت‌های هواپیمایی مختلف حضور دارند چند میلیون نفر و ارزش کالاهای که در هر لحظه داخل هواپیماها در حال جابجایی هستند بیش از چندین میلیون دلار می‌باشد. لذا هرگونه خطا در تشخیص و شناسایی اهداف پرنده که در برخی مواقع بایستی در کسری از ثانیه صورت پذیرد و لازم است میزان خطا به صفر رسانده شود، کشف، طبقه بندی و شناسایی را فوق‌العاده با اهمیت نموده است. بنابراین یافتن یک روش و الگوریتم بهینه و با حداقل خطا در این زمینه نیازمند تحقیقات فراوان علمی می‌باشد.

هدف از این پژوهش معرفی یک سیستم شبکه محور فازی در جهت شناسایی اهداف پروازی توسط سامانه‌های فرماندهی و کنترل کشور می‌باشد. سوال عمده و اصلی این پژوهش عبارت است از: با استفاده از روش منطق فازی و آموزش شبکه عصبی میزان دقت شناسایی اهداف پرنده را به چه میزان می‌توان بهبود بخشید؟ در این مقاله، با توجه به اینکه محقق مدل مشخصی در اختیار ندارد و دسترسی به الگوریتم نرم‌افزارهایی که کشف و شناسایی اهداف پرنده را انجام می‌دهند ممکن نیست لذا با استفاده از اطلاعات گذشته و حال اشیاء پرنده که بدون محرمانگی و از طریق سامانه‌های عمومی می‌توان در اختیار گرفت، اطلاعات استخراج شده و در محیط فازی ANFIS^۲ روش مورد نظر وارد می‌گردد^۳.

^۱. بر اساس بررسی و محاسبه میانگین تعداد هواپیماهای در حال پرواز ثبت شده و معرفی شده مطابق مقررات ICAO و بر اساس استخراج از سایت رسمی www.flightradar24.com

^۲. ANFIS: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

^۳. اطلاعات استخراجی از سامانه اطلاعات پروازی (FIC)، سایت [flightradar24](http://flightradar24.com) و اطلاعات سامانه‌های کشف و شناسایی

مرور مبانی نظری و پیشینه پژوهش

سامانه فرماندهی و کنترل

سامانه فرماندهی و کنترل عمدتاً جایگزین و مخفف C^4I ^۱ شامل؛ فرماندهی، کنترل، ارتباطات، کامپیوتر و اطلاعات است. سامانه فرماندهی و کنترل اولین بار توسط نیروهای ایالات متحده در اواخر دهه ۷۰ میلادی و به منظور بهبود عملکرد فرماندهان در عملیات مشترک طراحی، توسعه و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. کاربرد این سامانه‌ها، تصمیم‌گیری بهینه فرماندهان با بهره‌گیری از ابزارهای ارتباطی و رایانه‌ای برای دستیابی به برتری اطلاعاتی با هدف اتخاذ تصمیمات بهتر، سریع‌تر و مداوم، حتی در شرایط عدم اطمینان و به ویژه کمک به فرماندهان در پیش‌بینی و تهیه برآوردهای متعدد می‌باشد (Brian J. Worth, 1994: 3).

آنچه سامانه C^4I را مفید جلوه می‌دهد، «همبستگی» اجزای این سیستم با همدیگر در سایه «یگانگی تلاش» است که منجر به ارتقاء سامانه جدیدی با شناسه C^5I^2R ^۲ گردیده است (عبدی، ۱۳۹۰: ۴۶). یکی از قابلیت‌های اصلی که سامانه‌های فرماندهی و کنترل را در فرماندهی توانا می‌سازد؛ آگاهی از وضعیت است، آگاهی شامل اطلاعاتی راجع به موقعیت و وضعیت نیروهای دشمن و نیروهای خودی است. فرماندهی برای تصمیم‌گیری، اطلاعات مرتبط را دریافت نموده و آنها را با معیارهای خود ترکیب می‌نماید. این تصمیم‌گیری متأثر از داده‌های غیرقطعی و وضعیت‌های محتمل آینده نیز می‌باشد (آقابابایی و مجید، ۱۳۹۱: ۶۲).

اکثر سامانه‌های فرماندهی و کنترل بر اساس یک الگو و معماری مشخصی کار می‌کنند که برگرفته از نظریه‌ای است که توسط جان بوید تحت عنوان حلقه $OODA$ ^۳ ارائه گردیده، به این نظریه در بخش بعد به صورت گذرا اشاره می‌شود.

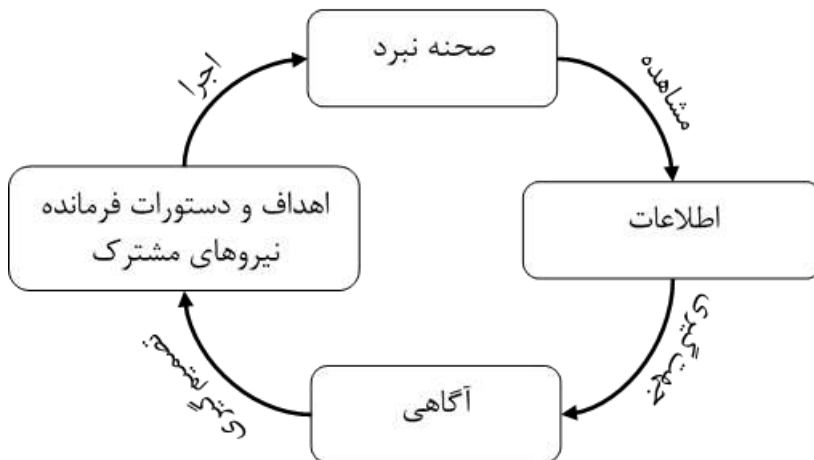
^۱. Command, Control, Communication, Computer, Intelligence

^۲. Command, Control, Communication, Computer, Collaboration, Intelligence, Integration, Reconnaissance

^۳. Observe, Orient, Decide, Act

حلقه OODA بوید

جان بوید برای توضیح چگونگی ورود به محدوده تصمیم دشمن از حلقه‌ای به شرح زیر استفاده کرد. با توجه به شکل (۱)، ماهیت در حلقه OODA (که الگوی اصلی و نحوه عملکرد انواع مختلف C⁴I می‌باشد) تصمیم‌گیرنده ابتدا باید صحنه نبرد را دیده‌بانی و مشاهده کند. پس از مشاهده، تصمیم‌گیرنده تجزیه و تحلیل نموده و اطلاعات را برای شناخت وضعیت دشمن پردازش می‌نماید. یکی از راه‌های انجام این کار، طراحی عملیات احتمالی آینده است. در برخی مواقع تصمیم‌گیرنده با یک روش عملی تصمیم می‌گیرد. تصمیم‌گیری نکته‌ای است که هر فرمانده یا تصمیم‌گیرنده‌ای، در شرایط استثنایی با آن روبرو می‌شود. دنبال کردن تصمیم یعنی آنکه برای تصمیم‌گیرنده یا سامانه‌ای که هدایت عملیات را انجام می‌دهد، موضوع عمل کردن به آن تصمیم، مطرح می‌باشد و بوید این مرحله را مرحله اجرا معرفی می‌کند که بلافاصله با دیده‌بانی و مشاهده بیشتر و در قالب یک سری حلقه‌ها در حلقه تصمیم دشمن وارد می‌شود و باعث می‌گردد که دشمن به طور ثابت واکنش نشان دهد و این مسئله به شکست وی می‌انجامد. او تایید کرد که این وضعیت ادامه فرایند را به یک حلقه‌ی دیگر در سطح بالاتر هدایت می‌کند. در این مرحله از حلقه OODA فرمانده و یا ستاد او از طریق یک سری قدم‌های تجزیه و تحلیل، و ترکیب اطلاعات برای تعیین وضعیت دشمن استفاده می‌کند. وضعیت، مرحله‌ای از فرایند است، که تصمیم‌گیرنده را از موفقیت میدان نبرد آگاه می‌نماید (رضایی، پرتوی و نصیرپور، ۱۳۹۱: ۱۳۰).



شکل (۱) حلقه جان بوید (Clarke, 2010)

سامانه‌های شناسایی هواپیما

سابقه شناسایی هدف‌های هوایی تقریباً همزمان با آغاز استفاده از رادار و عملکرد موفقیت‌آمیز رادار در سال ۱۹۳۹ صورت گرفت، زیرا موفق شدند یک دسته بمب افکن کشف کنند، اپراتورهای رادار (در نیروی دریایی آلمان) بمب‌افکن‌های دشمن توسط دریافت سیگنالی بازگشتی شده شناسایی کنند. از آن موقع به بعد استقرار سامانه‌های راداری در نقاط مختلف بیشتر کشورها گسترش پیدا کردند. امروزه هر کشوری تلاش دارد در نخستین لحظه ممکن همه پروازهایی که در برد کشف راداری و منطقه شناسایی دفاع هوایی^۱ قرار می‌گیرند را کشف و مورد شناسایی قرار دهد. بدین منظور باید سامانه‌های کشف همواره از میزان آمادگی کامل، همچنین از قدرت و دقت سامانه‌های مختلف پدافندی در کشف، شناسایی برخوردار بوده و در صورت تشخیص تهدید اقدام به رهگیری و انهدام هر نوع پرنده دشمن نمایند. گرچه در این فرایند سامانه‌های دیگری مانند سامانه‌های شنود و دیده‌بانی بصری و یا سایر شیوه‌ها ممکن است مورد استفاده قرار گیرند ولی مبنای کشف اهداف پروازی سامانه‌های مختلف راداری می‌باشد و مبنای تشخیص این که هواپیمای کشف شده کدام یک از انواع هواپیمای خودی^۲، مجاز^۳، ناشناس^۴، مشکوک^۵، بیگانه^۶، مظنون به متخاصم^۷، ویژه^۸، هدف^۹ و خنثی^{۱۱} می‌باشد (Bilik, 2016:267). بنابراین در سامانه فرماندهی و کنترل هر هدف هوایی کشف شده بلافاصله به یکی از حالات جدول (۱) طبقه‌بندی می‌گردد و برای هر یک از حالات و شرایط هدف هوایی کشف شده اقدام خاص آن صورت می‌پذیرد.

جدول (۱) طبقه بندی هدف‌های هوایی کشف شده

نوع هدف	F	A	U	B	Z	X	H	K	T	N
مفهوم	خودی	مجاز	ناشناس	مشکوک	بیگانه	مظنون به متخاصم	متخاصم	ویژه	هدف	خنثی

1. ADIZ: Air Defense Identification Zone

2. Friend

3. Authorized

4. Unknown

5. Bogy

6. Zombie

7. X-ray

8. Hostile

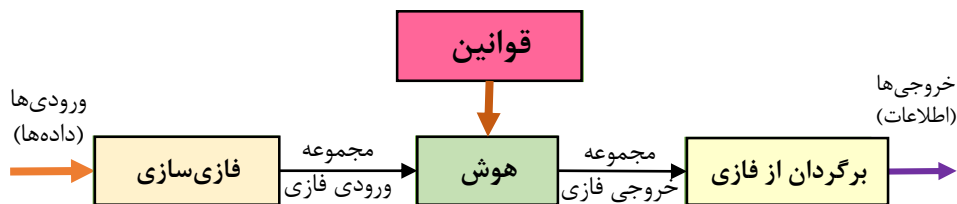
9. Kilo

10. Target

11. Neutral

تصمیم‌گیری فازی

نظریه مجموعه‌های فازی و منطق فازی برای اولین بار توسط پروفیسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی شد. هدف از معرفی و بررسی آن، توسعه مدلی کارآمدتر برای توصیف و مدل‌سازی زبان‌های طبیعی بود. وی مفاهیمی چون مجموعه‌های فازی، رویدادهای فازی، اعداد فازی و فازی‌سازی را وارد علوم ریاضیات و مهندسی کرد (میرفخرالدینی، آذر و پورحمیدی؛ ۱۳۹۲: ۱۱). منطق فازی دارای چهار بخش اصلی است که در ادامه معرفی شده‌اند. همچنین در شکل (۲) نحوه ارتباط این بخش‌ها به خوبی دیده می‌شود.



شکل (۲) نمودار فرایند و روابط منطق فازی (www.bilin.ir)

قوانین پایه: این بخش، شامل همه قواعد و شروطی است که به صورت «اگر- آنگاه» از طریق متخصصین آن حوزه مشخص می‌شوند. با توجه به روش‌های موجود در نظریه فازی، امکان تنظیم و کاهش قوانین و قواعد به وجود آمده است به طوری که با کمترین قوانین می‌توان بهترین نتیجه را گرفت.

فازی‌سازی: در این گام، ورودی‌ها بر اساس ماهیت صحتشان به اطلاعات فازی تبدیل می‌شوند. به این معنی که اعداد، ارقام و اطلاعاتی که باید پردازش شوند، به مجموعه‌ها و اعداد فازی تبدیل خواهند شد. داده‌های ورودی که مثلاً توسط حسگرها در یک سیستم کنترل، اندازه‌گیری شده‌اند، به این ترتیب تغییر یافته و برای پردازش بر مبنای منطق فازی آماده می‌شوند (Wang & Zeshui, 2016).

موتور استنتاج یا هوش: در این بخش، میزان انطباق ورودی‌های حاصل از فازی‌سازی با قوانین پایه مشخص می‌شود. به این ترتیب براساس درصد انطباق، تصمیمات مختلفی به عنوان نتایج حاصل از موتور استنتاج فازی تولید می‌شود.

برگرداندن از فازی: در آخرین مرحله نیز نتایج حاصل از استنتاج فازی که به صورت مجموعه‌های فازی هستند به داده‌ها و اطلاعات کمی و زبانی تبدیل می‌شوند. در این مرحله شما با توجه به خروجی‌ها که شامل تصمیمات مختلف به همراه درصد‌های انطباق‌های متفاوتی هستند، دست

به انتخاب بهترین تصمیم می‌زنید. معمولاً این انتخاب برمبنای بیشترین میزان انطباق خواهد بود (Shahrestani & Daneshgar, 2005: 305).

ساختار سیستم تصمیم‌گیری و استنتاج فازی

یک سیستم استنتاج فازی از مجموعه قواعد اگر-آنگاه فازی مطابق فرم زیر استفاده می‌کند:

$$R_j: \text{if } x_1 \text{ is } A_{1j} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{2j} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{nj} \text{ then } y \\ = g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad j = 1, 2, \dots, R$$

در رابطه فوق n تعداد متغیرهای ورودی و R تعداد قواعد بازی، A_{ij} مجموعه فازی متناظر با i امین متغیر ورودی برای j امین قانون فازی و g_j یک تابع ثابت از x می‌باشد که معمولاً یک فرم خطی ساده به صورت زیر دارد:

$$g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = q_1 + q_1x_1 + \dots + q_nx_n$$

خروجی نهایی سیستم فازی به صورت زیر قابل بیان است:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^n g_j(\cdot) T_{i=1}^{m_j} \mu_{ij}(x_i)}{\sum_{j=1}^R T_{i=1}^{m_j} \mu_{ij}(x_i)}$$

که در آن μ_{ij} تابع عضویت برای مجموعه فازی A_{ij} است. m_j ($1 \leq m_j \leq n$) نشان دهنده تعداد متغیرهای ورودی در بخش مقدم فازی است و T یک عملگر T -norm فازی می‌باشد. قابل توجه است که عملگرهای فازی شامل جمع، ضرب، اشتراک، اجتماع، گاما، T -norm و S -norm و هستند که نرم مثلثی (T -norm) به شکل تابع زیر تعریف می‌شود.

$$t: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

نگاشت تابع عضویت دو مجموعه فازی A و B به یک مجموعه فازی دیگر (اشتراک تعمیم یافته مجموعه‌های فازی) یعنی $\mu_{A \cap B}(x)$

$$t[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A \cap B}(x)$$

تابع t یک t -norm فازی است، اگر اصول موضوعه زیر را (که از نظر ذهنی توجیه پذیر هستند) برآورده کند:

اصل ۱: شرط مرزی

$$t(0,0) = 0 \text{ and } t(1,a) = t(a,1) = a$$

اصل ۲: شرط جابجایی

$$t(a,b) = t(b,a)$$

اصل ۳: شرط شرکت‌پذیری

$$t(t(a, b), c) = t(a, t(b, c))$$

اصل ۴: شرط غیر نزولی^۱ یا یکنواختی^۲

$$\forall a, b, a', b' \in [0, 1], \text{ if } a \leq b \text{ and } a' \leq b', \text{ then } t(a, b) \leq t(a', b')$$

بنابراین افراز فضای ورودی با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی شبکه‌بندی به منظور کارایی

بهتر سیستم فازی امری الزام‌آور است (Fernandez, Del Jesus & Herrera F, 2010: 74).

تصمیم‌گیری سریع و دقیق در مواجهه با تهدیدهای هوایی یکی از چالش‌های مهم تصمیم‌گیران و فرماندهان سامانه فرماندهی و کنترل است، رفع این چالش بدون بهره‌گیری از تصمیم‌گیری هوشمند عملاً غیرممکن است. نتایج ارزیابی تهدید بر عملکرد فرایند کشف، شناسایی، تخصیص سلاح و در ادامه موفقیت عملیات دفاعی تاثیر بسزایی دارد. در محیط عملیات دنیای واقعی معمولاً داده‌های دریافتی دارای مقادیر دقیق نبوده و همیشه درجه‌ای از عدم قطعیت وجود دارد. بنابراین، استفاده از روش‌های منطق فازی در حل این گونه مسائل راهکاری مناسب و نوین در ایجاد و توسعه سامانه‌های مدرن پردازش اطلاعات می‌باشد (فتاحی و گروسی، ۱۳۹۱).

روش گرادیان نزولی^۳ در شبکه‌های عصبی

روش گرادیان نزولی یکی از محبوب‌ترین الگوریتم‌ها برای بهینه‌سازی و با فاصله‌ی زیاد، پرکاربردترین روش برای بهینه‌سازی شبکه‌های عصبی است. در عین حال، پیشرفته‌ترین کتابخانه‌ی یادگیری عمیق ماشین، شامل نمونه‌هایی از پیاده‌سازی الگوریتم‌های متفاوت برای بهینه‌سازی روش گرادیان نزولی است.

روش گرادیان نزولی راهی برای یافتن مینیمم یک تابع هدف مثل $J(\theta)$ است که بر اساس بردار پارامترهای مدل یعنی $\theta \in \mathbb{R}^d$ نوشته شده است؛ به این صورت که پارامترها در خلاف جهت گرادیان تابع نسبت به پارامترها یعنی $\nabla_{\theta} J(\theta)$ تغییر می‌کنند. نرخ یادگیری شبکه عصبی یا η اندازه‌ی گام تغییر پارامترها برای یافتن مینیمم (یا مینیمم نسبی) را تعیین می‌کند. به عبارت دیگر، در جهت شیب سطح ایجاد شده توسط تابع به سمت پایین حرکت می‌کنیم تا به یک دره برسیم.

روش گرادیان نزولی انطباقی الگوریتمی برای بهینه‌سازی بر پایه‌ی گرادیان است که نرخ یادگیری را با پارامترها انطباق می‌دهد، به این معنی که به ازای پارامترهایی که میزان رخداد

¹. non-decreasing

². monotonicity

³. Gradient Descent

کمتری دارند تغییرات بزرگتری داده و به ازای پارامترهایی که بیشتر رخ داده‌اند تغییرات کمتری می‌دهد. به همین دلیل، برای محاسبات روی داده‌های پراکنده بسیار مناسب است. از این روش برای یاد دادن تکنیک کلمه تعبیه شده استفاده شده است.

از آنجایی که روش گرادیان انطباقی نرخ یادگیری متفاوتی برای هر پارامتر θ_i با هر گام زمانی t استفاده می‌کند، ابتدا تغییرات هر پارامتر مستقل در این روش نشان داده شده است، سپس پارامترها را برداری شدند. برای اختصار، $g_{t,i}$ را گرادیان تابع هدف نسبت به θ_i و در لحظه t در نظر گرفته شده است:

$$g_{t,i} = \nabla_{\theta_t} J(\theta_{t,i})$$

پس تغییرات ایجاد شده توسط تابع SGD بر روی هر پارامتر θ_i در هر لحظه t برابر خواهد بود با:

$$\theta_{t+1,i} = \theta_{t,i} - \frac{\eta}{\sqrt{G_{t,ii} + \epsilon}} \cdot g_{t,i}$$

در اینجا $G_t \in \mathbb{R}^{d \times d}$ یک ماتریس قطری است که در آن هر درایه i,i قطری جمع مربعات گرادیان‌ها نسبت به θ_i در گام زمانی t است و ϵ یک ضریب هموارسازی است که از ایجاد صفر در مخرج جلوگیری می‌کند. جالب است که بدون جذر گرفتن، الگوریتم عملکرد بسیار ضعیف تری دارد.

از آنجایی که قطر اصلی ماتریس G_t شامل جمع مربعات گرادیان‌های قبلی نسبت به همه‌ی پارامترها یعنی بردار θ است، می‌توانیم فرمول را با یک ضرب درایه به درایه ماتریس و بردار \odot بین G_t و g_t تبدیل به یک فرمول برداری کنیم:

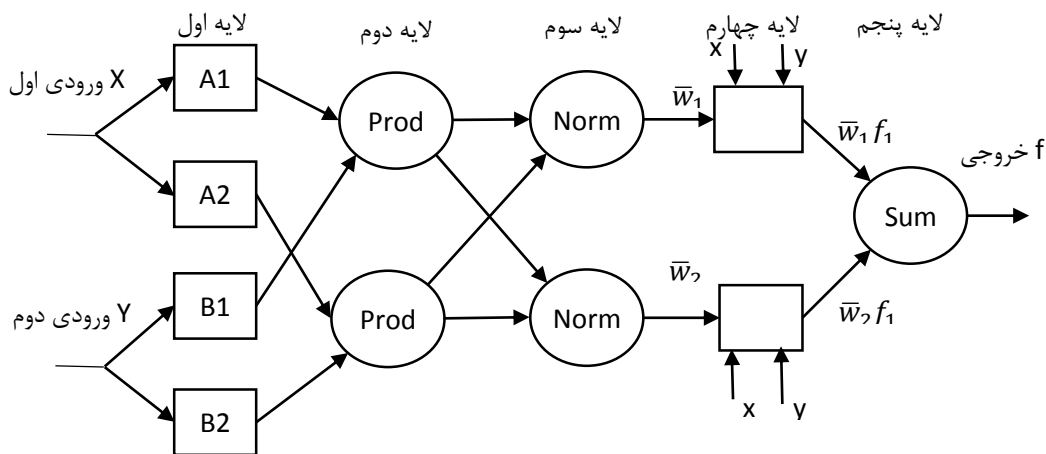
$$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\sqrt{G_t + \epsilon}} \odot g_t$$

یکی از مزایای اصلی روش گرادیان نزولی این است که نیاز به تعیین نرخ یادگیری را از بین می‌برد. در بیشتر کاربردها مقدار 0.01 انتخاب شده و تغییر داده نمی‌شود (Duchi et al, 2011).

ساختار ANFIS (در سامانه نرم افزاری متلب)

شبکه‌های عصبی و سیستم فازی تخمین‌گرهای مستقل از مدل می‌باشند و قابلیت‌های مشابهی را در برخورد با عدم قطعیت‌ها و نویز از خود نشان می‌دهند. لذا امکان تبدیل کردن سیستم استنتاج فازی (مثل سامانه تشخیص نوع هواپیما که فازی است) به فرم یک شبکه آموزش‌پذیر وجود دارد. ساختار ANFIS از دو بخش تشکیل شده است. بخش نخست مقدم و بخش دوم تالی

نامیده می‌شود. که این دو بخش توسط قواعد فازی در فرم شبکه به یکدیگر متصل می‌شوند. شکل (۳) نشان دهنده ساختار یک شبکه ANFIS در ۵ لایه می‌باشد. در اغلب سناریوهای دنیای واقعی، مقادیر کاملاً دقیق نبوده و همیشه درجه‌ای از عدم قطعیت برای آنها وجود دارد. تفاوت و تضاد بین فازی بودن و دقت یک تناقض‌گویی برجسته در توسعه سامانه‌هایی مانند فرماندهی و کنترل می‌باشد، یک ابزار مفید برای رفع این تناقضات استفاده از نظریه فازی هست (فتاحی و گروسی، ۱۳۹۱).



شکل (۳) ساختار شبکه ANFIS با دو ورودی و یک خروجی (Abraham, 2002)

لایه‌های مدل فرضی به شرح زیر است.

لایه اول: $O_{1,i}$ خروجی گره i ام لایه اول می‌باشد هر گره i در این لایه یک گره انطباقی هست که تابع هر گره به صورت زیر است:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \text{ for } i = 1,2, \text{ or } O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(x) \text{ for } i = 3,4$$

که در اینجا x و y به ترتیب ورودی‌های گره‌های A_i و B_i هستند. بنابراین، $O_{1,i}$ درجه عضویت فازی مجموعه (A_1, A_2, B_1, B_2) می‌باشد.

لایه دوم: تابع عضویت عبارتست از:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}}$$

که در رابطه فوق a_i, b_i, c_i پارامترهای مجموعه هستند و پارامترها در اینجا ثابت است در نظر گرفته می‌شوند. هر گره در این لایه یک گره ثابت می‌باشد و خروجی توسط همه مقادیر ورودی

ایجاد می‌گردد. بنابراین به ازای $i = 1, 2$ و $O_{2,i} = w_i = \mu_{Ai}(x) \cdot \mu_{Bi}(y)$ و هر گره بیانگر توان تاثیر قاعده می‌باشد. هر عملگر T-norm می‌تواند توسط عملگر اشتراک (AND) به کار گرفته شود.

لایه سوم: هر گره در این لایه یک گره ثابت فرض می‌گردد. گره i ام نسبت تاثیرگذاری قاعده i ام را در قاعده جمع و سایر قاعده‌ها محاسبه می‌کند:

$$Q_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2$$

خروجی‌ها تحت تاثیر پارامترهای نرمال شده در این لایه قرار می‌گیرند.

لایه چهارم: هر گره i در این لایه یک گره انطباقی با یک تابع به صورت زیر است:

$$O_{4,i} = w_i f_i = w_i(p_i x + q_i y + r_i)$$

که در آن w_i یک مقدار نرمال شده برای لایه سوم می‌باشد. $\{p_i, q_i, r_i\}$ مجموعه پارامترهای گره مورد نظر هستند و این مقادیر پارامترهای استنتاجی محسوب می‌شوند.

لایه پنجم: در این لایه هر گره را یک گره مفروض در نظر گرفته که عملگر جمع را محاسبه می‌نماید خروجی کل حاصل جمع به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{overall output: } Q_{5,1} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

شبیه‌سازی و نتایج

در این بخش کارایی روش معرفی شده با روش متداول (سنتی) و نرم افزار موجود برای تشخیص و تعیین نوع هدف بر اساس معیارهایی زیر معرفی می‌گردد. برای تعیین نوع هدف‌ها، معیارهای زیر مدنظر قرار گرفته است.

۱- دورشونده/ نزدیک شونده/گذرنده

۲- داشتن شماره ثبتي^۱

۳- دارا بودن کد شناسایی

۴- سرعت

۵- سرعت در راستای عمودی

۶- ارتفاع پروازی

۷- طول جغرافیایی

^۱. register code

۸- عرض جغرافیایی

۹- مسیر حرکت

۱۰- سمت حرکت

۱۱- نسبت بیلپ به اسکن

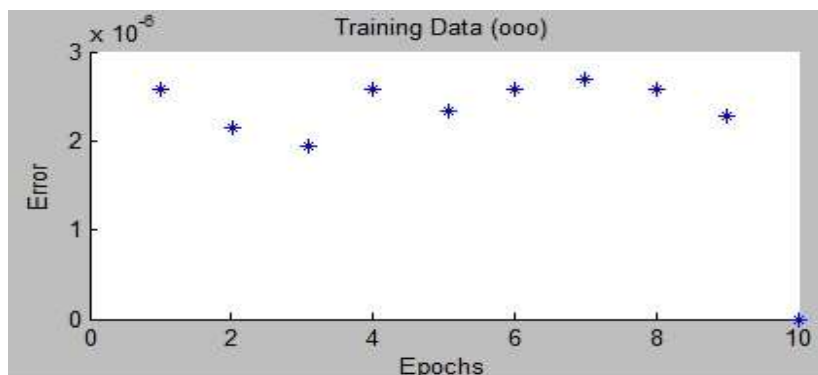
در مدل فعلی بر اساس داده‌های فوق که به صورت مقادیر کمی و یا کیفی و فازی هستند نفرات خبره با دانش و تجربه کافی و بر اساس شرایط زمانی و وضعیت درجه آمادگی (شرایط صلح، شرایط محیا و یا شرایط رزمی) نسبت به تعیین نوع هدف اقدام می‌نمایند. برای تعیین و معرفی هدف کشف شده بصورت هر یک از ۱۰ نوع معرفی شده در جدول (۱)، قواعد کاملاً مشخصی وجود دارد، ولی آنچه شرایط را برای تصمیم‌گیرنده پیچیده می‌نماید، افزایش تعداد هواپیماها در یک محدوده مشخص در یک زمان بسیار محدود است. در حال حاضر در هر لحظه از شبانه روز حدوداً بین ۱۲۰۰۰ تا ۲۴۰۰۰ هواپیما در آسمان کره زمین حضور داشته و در برخی از کشورها مثل کشورهای اروپایی و منطقه خلیج فارس، حجم بسیار زیاد هواپیماها در هر لحظه وجود دارد. نرم‌افزارهای فعلی که به تصمیم‌گیران در این زمینه کمک می‌کنند، احتمال بروز خطا در شرایط بحرانی را داشته و فقط از یک پایگاه داده برای تشخیص استفاده می‌نمایند. در حالی که در مدل پیشنهادی بر اساس مدل فازی و استفاده از یک سیستم یادگیرنده احتمال خطای تشخیص نوع هدف به حداقل ممکن کاهش می‌یابد.

جدول (۲) معیارها و زیر معیارهای ورودی ANFIS

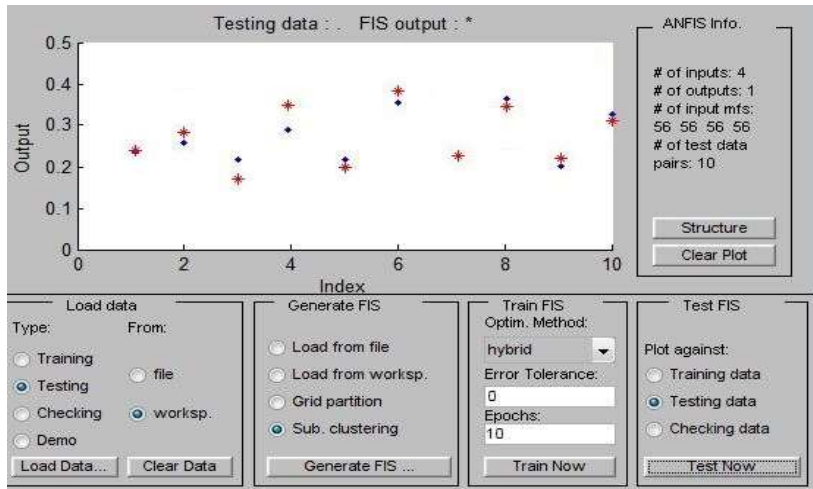
معیار	زیر معیار
SPD	سرعت در راستای عمودی
	سرعت افقی
	دور شونده/ نزدیک شونده/ گذرنده
DIR	طول جغرافیایی/ عرض جغرافیایی
	مسیر حرکت
ALT	ارتفاع پروازی
	سمت حرکت
	نسبت بیلپ به اسکن
REG	داشتن ریجستری
	دارا بودن کد شناسایی

مطابق جدول (۲)، متغیرهای ورودی مدل در چهار گروه معیار و ده زیر معیار طبقه‌بندی شده است. جهت ساخت مدلی برای پیش بینی و تشخیص نوع هدف و اقدام احتمالی، از پنج ANFIS جداگانه استفاده شده است. چهار ANFIS به ترتیب بیانگر مشخصات سرعت هدف، موقعیت، ارتفاع و مطابقت با اطلاعات پروازی برای تشخیص نوع هدف و معیار خروجی و اقدام لازم برای هر هدف شناسایی نشده در نظر گرفته شده که ورودی اطلاعات مدل از ۱۰ زیر معیار جدول (۲) در نظر گرفته شده است و خروجی چهار ANFIS فوق به عنوان ورودی پنجم ANFIS در نظر گرفته شد. به منظور آموزش سیستم در یک بازه زمانی ۱۵ روزه و اطلاعات ثبت شده برای حدود ۳۰,۰۰۰ رکورد به عنوان کل رکوردهای برنامه منظور گردیده است. لذا در مرحله بعد با مدل سوگنو برای مقایسه جواب به دست آمده از طریق ANFIS با اطلاعات واقعی و تشخیص و اقدام‌های انجام شده توسط افراد و سیستم واقعی به عمل آمده است. نکته‌ای که باید بدان توجه نمود این است که اقدام سیستم و نفرات در شرایط مختلف عادی، مراقبت و مهیا به عنوان وضعیت آماده‌باش نیروهای پدافندی متفاوت می‌باشد. این مدل برای اقداماتی که در شرایط مراقبتی لازم است منظور گردیده است. بنابراین، خروجی مدل متغیر دو ارزشی اقدام تاکتیکی شرایط مراقبتی و یا عدم اقدام تاکتیکی در لحظه تصمیم‌گیری می‌باشد.

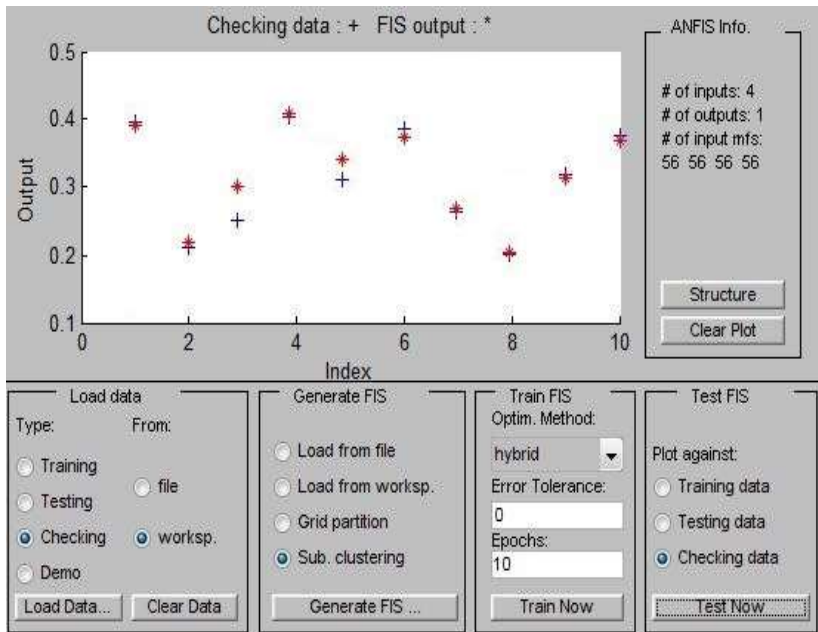
بعد از ایجاد مدل و آموزش داده‌ها در سیستم، از داده‌های وارسی و آزمایشی که در فرایند آموزش استفاده نشده بود برای تعیین اعتبارسنجی مدل استفاده گردید. که در شکل (۴) و (۵) نشان داده شده است.



شکل (۴) خطای وضعیت تشخیص و اقدام اولیه

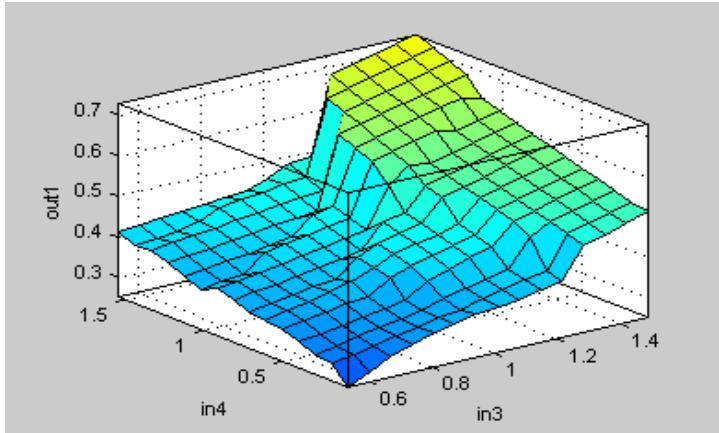


شکل (۵) ساختار Testing Data و میزان خطای آنها



شکل (۶) ساختار Checking Data و میزان خطای آن

علامت * بیانگر خروجی سیستم و علامت + در شکل‌های (۳) و (۴) نشان‌دهنده Checking Data در ANFIS وضعیت اقدام اولیه جهت هدف‌های ناشناس در مراحل اولیه کشف و شناسایی می‌باشد. که تقریباً هم‌پوشانی منطقی با وضعیت عادی دارد. و این امر بیانگر پدیده عدم برآزش در مدل طراحی شده خواهد بود.



شکل (۷) منحنی وضعیت کارایی تشخیص و اقدام با توجه به دو معیار اصلی تر

در مدل طراحی شده در بازه مورد نظر (۱۵ روز) و برای ۳۰۰۰۰ رکورد با دقت ۹۲,۱۶ درصد تشخیص درست توسط مدل ANFIS انجام گرفته است. در اجرای این مدل از رکوردهای ثبت شده به میزان ۶۰ درصد برای داده‌های آموزشی، میزان ۳۰ درصد جهت تست و حدوداً ۱۰ درصد جهت اعتبارسنجی استفاده گردیده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

روزانه تعداد زیادی اهداف هوایی به دلایل گوناگون مجبور به تخلف پروازی و یا خروج از مسیر تعریف شده پروازی می‌شوند. عدم تشخیص صحیح و کنترل نادقیق و اقدامات انسانی توأم با خطا همواره مشکلات فراوانی را به همراه داشته است، تعداد بسیار اندکی از این نوع اتفاقات روزمره رسانه‌ای می‌گردد. به طور مثال، خروج هواپیمای مالزی در سال ۲۰۱۴ از مسیر پروازی در همان لحظات اولیه توسط سامانه فرماندهی و کنترل (C⁴I) کشورهای منطقه از جمله مالزی و تایلند کشف گردید ولی به دلیل خطای انسانی و عدم اقدام مناسب منجر به ناپدید شدن هواپیما و فاجعه بزرگ گردید (Masys, 2016: 203). به طور متوسط و تجربی حدوداً ۷۰ درصد مواقع تشخیص و اقدام مناسب توسط سامانه‌های فعلی (تصمیم‌گیری انسانی یا نرم افزار غیرفازی)

صورت می‌پذیرد درحالی‌که در این مدل طراحی و پیشنهاد شده این عدد به بالای ۹۰ درصد رسیده است.

در این مقاله سیستم شناسایی هواپیما در سامانه‌های C^4I معرفی گردید. کاربرد این سامانه‌ها، نقاط قوت و ضعف سامانه فعلی بیان گردید و نیز ساختار سامانه فعلی C^4I و نرم افزار موجود تشریح شد. سپس ساختار ANFIS نرم افزار متلب تشریح گردید، در ادامه برای کاهش ابعاد ورودی و تعداد متغیرهای ورودی یک ساختار چند لایه پیشنهاد شد.

با استفاده از آموزش پارامترهای ANFIS و روش آموزشی بر پایه گرادیان نزولی کاهش تعداد قوانین فازی اجرا گردید، که این امر موجب کاهش میزان حافظه مورد نیاز و زمان لازم جهت پیاده سازی ساختار پیشنهادی را به همراه دارد. نکته دیگر انعطاف‌پذیری سیستم را ارتقاء داد و علاوه بر قابلیت تفسیرپذیری در سیستم فازی، خطاهای احتمالی کاهش بعد را نیز کاهش داد و در نهایت کارایی شبکه معرفی شده در مقایسه ساختار فعلی تا حد مطلوبی ارتقاء پیدا کرد. در صورتی‌که تعداد قواعد و پارامترهای فازی و تعداد ورودی آن بسیار زیاد شود، امکان مدیریت و پیاده‌سازی همه مجموعه قوانین را از سیستم سلب می‌کند، که این امر موجب عملکرد کند و کاهش سرعت همگرایی در زمان آموزش سیستم فازی خواهد شد.

به طور کلی نتایج کامل از این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم فازی مطرح شده کارایی بسیار مناسبی در برابر روش‌های متداول فعلی شبکه C^4I در بخش DSS (سیستم پشتیبانی تصمیم) فعلی دارد و تعداد خطاهای احتمالی در مورد تصمیم‌سازی و تشخیص و طبقه‌بندی نوع هدف بوجود آمد. پیشنهاد می‌گردد برای ارزیابی دقیق‌تر کارایی سیستم اولاً برای مدت زمان بیشتری این سیستم به موازات سیستم فعلی مورد بهره‌برداری قرار گیرد و در ثانی جهت ارزیابی دقیق‌تر مدل قواعد بیشتری در مدل گنجانده شود.

منابع

- آقابابایی، مجید. و خویشه، محمد. (۱۳۹۱). کاربرد الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی در بهینه‌سازی سامانه C⁴I زیردریایی، ۶۲ (۶۲): ۶۱-۷۳.
- آقابالازاده؛ علی‌اصغر. و محمدی، اردشیر. (۱۳۹۲). مدیریت صحنه نبرد در پدافند هوایی (اصول اساسی)، تهران: انتشارات دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا،
- پرتوی، محمدتقی. مظلوم، جلیل. جلالی، علی. و ژاله‌پوران، علی. (۱۳۹۱). معماری دوسویه در سامانه‌های فرماندهی و کنترل، ششمین کنفرانس ملی انجمن علمی فرماندهی و کنترل ایران، تهران، انجمن علمی فرماندهی و کنترل ایران، دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی، https://www.civilica.com/Paper-CCCI06-CCCI06_044.html
- رضایی، بهرام. پرتوی، محمدتقی. و نصیرپور، غلامرضا. (۱۳۹۱). شبیه‌سازی کشف و شناسایی تهدیدات هوایی در سامانه‌های فرماندهی و کنترل، فصلنامه علوم و فنون نظامی، ۲۲: ۱۴۰-۱۲۵.
- عبدی، فریدون. (۱۳۹۰). سامانه فرماندهی و کنترل C5I2 و بررسی نقش رایانه‌ها در آن، فصلنامه مدیریت نظامی، ۱۱ (۴۲): ۴۳-۶۹.
- فتاحی، محمد. و گروسی، سحر. (۱۳۹۱). الگوریتم ارزیابی تهدید با استفاده از منطق فازی، ششمین کنفرانس ملی انجمن علمی فرماندهی و کنترل ایران، تهران، انجمن علمی فرماندهی و کنترل ایران، دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی. https://www.civilica.com/Paper-CCCI06-CCCI06_008.html.
- مقدس، محمد. و بیگدلی، حمید. (۱۳۹۶)، شبیه‌سازی نبرد با استفاده از شبکه‌های عصبی زمان پیوسته، فصلنامه آینده پژوهی دفاعی، ۱۰ (۵).
- میرفخرالدینی، سیدحیدر. آذر، عادل. و پورحمیدی، مسعود. (۱۳۹۲). منطق فازی و کاربرد آن در مدیریت، تهران: انتشارات دانشگاه یزد.
- Abraham A. (2002). A framework for optimization of fuzzy inference systems using neural network learning and evolutionary computation, In Proc. Of the 17th IEEE Int. Symp. Intelligent Control, pp. 327–332.
- Bennett Simon A. (2016). The Benefits of a Systems-Thinking Approach to Accident Investigation, Springer International Publishing Switzerland, Advanced Sciences and Technologies, for Security Applications, DOI 10.1007/978-3-319-21106-0_10.
- Bilik, I. & Tabrikian, J. (2006). GMM-Based target classification for ground surveillance Doppler radar. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. 42 (1): 267–277
- Brian J. Worth, M. & USAF, B.S., (1994). *Command, Control, Communications, Computers, And Intelligence (C4I) Interoperability: Are we there yet?*, University of Maryland, European Division, 1994 M.A., Webster University, St. Louis, Missouri, 1994.

- Clarke, R. A. (2010). *Cyber War*, HarperCollins.
- Duchi, J. Elad, H. & Yoram, S. (2011). Adaptive Subgradient Methods for Online Learning and Stochastic Optimization, *Journal of Machine Learning Research*, 12: 2121-2159.
- Fernandez, A. Del Jesus M.J. & Herrera, F. (2010). *Analyzing the Hierarchical Fuzzy Rule Based Classification Systems with Genetic Rule Selection*, In Proc. Of the Fourth International Workshop on Genetic and Evolutionary Fuzzy Systems, pp. 69-74.
- <http://bilin.ir/fuzzy-logic/> last visited in 2019/04/12.
- Huang, Y.P. & Wang, S.F. (2000). Designing a fuzzy model by adaptive macroevolution genetic algorithms, *Fuzzy Sets Syst.* 113: 367-379.
- Masys Antony, J. (2016). *Applications of Systems Thinking and Soft Operations Research in Managing Complexity from Problem Framing to Problem Solving*, Springer, Edward C. Morse, University of California, Berkeley, CA, USA Panagiotis Karampelas, Hellenic Air Force Academy, Attica, Greece.
- Rainer, H. (1997). Rule generation for hierarchical fuzzy systems, In Proc. of *Annu. Conf. North American Fuzzy Information Processing*, pp. 444-449.
- Raju, G.V. & Zhou, J. (1993). Adaptive hierarchical fuzzy controller, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.* 23 (4): 973-980.
- Shahrestani, S.A. & Daneshgar, F. (2005). The Role of Fuzzy Awareness Modelling in Cooperative Management, *Information Systems Frontiers* 7 (3): 299-316.
- Simpson, Marvin Leo, Jr. (2015). *Command and control in the information age: A case study of a representative air power command and control node*, Old Dominion University.
- Wang, D. Zeng, X.J. & Keane, J.A. (2010). *Intermediate Variable Normalization for Gradient Descent Learning for Hierarchical Fuzzy System*, IEEE.
- Wang, H. & Zeshui, X. (2016). *An overview on the roles of fuzzy set techniques in big data processing: Trends, challenges and opportunities*. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/310391112> [accessed Apr 12 2019].
- Wang, L.X. (1999). Analysis and design of hierarchical fuzzy systems, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 7 (5): 617-624.
- Wu, T.P. & Chen, S.M. (1999). A new method for constructing membership functions and fuzzy rules from training examples, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B, Cybern.* 29 (1): 25-40.