نشریه علمی علوم و فنون نوین هوانوردی
سال ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴

تحلیل و بررسی نقش سیستم مشارکتی نظارتی خودکار هواپیما وابسته به خلبان بر بهبود شرایط ایمنی پرواز با بهره‌گیری از روش تئوری بازی

مصطفی مرادی [۱]*، احمد گایینی [۲] امیر درمنکی فراهانی[۳] جواد زروندی[۴]

۱-دانشگاه سمنان
۲- دانشگاه امام حسین
۳-دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۴-دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱)

چکیده:

هدف: بحث ایمنی پرواز، از مهم‌ترین و اساسی‌ترین ارکان هر پرواز می‌باشد. باتوجه‌به روند رشد ترافیک هوایی و نیاز به ارائه خدمات هوایی کارآمدتر و مؤثرتر، افزایش ایمنی و سلامت پروازها نیز بالطبع باید افزایش یابد؛ لذا در سال‌های اخیر سامانه شبه راداری، سیستم مشارکتی نظارتی خودکار هواپیما وابسته به خلبان به‌منظور رفع دشواری‌هایی که در انتخاب سایت‌های راداری در حین پرواز در شرایط نامساعد وجود دارد؛ طراحی شده است.

روش: در این مقاله، نقش سیستم مشارکتی نظارتی خودکار هواپیما وابسته به خلبان در بهبود ایمنی پرواز مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. برای تحلیل و بررسی نقش سیستم مذکور از روش تئوری بازی که شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی بوده و قادر است با استفاده از ابزارهای گوناگون تجزیه‌وتحلیل موقعیت‌هایی مانند تصمیم‌گیری در برخی شرایط را فراهم کند، صورت‌گرفته است. در این پژوهش از بازی «مسئله صفر مقابل بازی با جمع صفر» استفاده شده است.

یافته‌ها: با استفاده از تئوری بازی، رفتار خلبانان در مواجهه با هواپیماهای دیگر و تصمیماتی که در مورد تغییر مسیر، ارتفاع و سرعت اتخاذ می‌کنند، قابل بررسی و ارزیابی است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سیستم مشارکتی–نظارتی خودکار هواپیما وابسته به خلبان، در تصمیم‌گیری‌ها و بهره‌گیری از راهبردهای مؤثر مفید بوده و با کارایی در ارتباطات و کاهش برخوردها، حدود ۵۹ درصد موجب بهبود ایمنی پرواز می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ایمنی پرواز، سوانح هوایی، سیستم مشارکتی نظارتی خودکار هواپیما وابسته به خلبان، تئوری بازی.

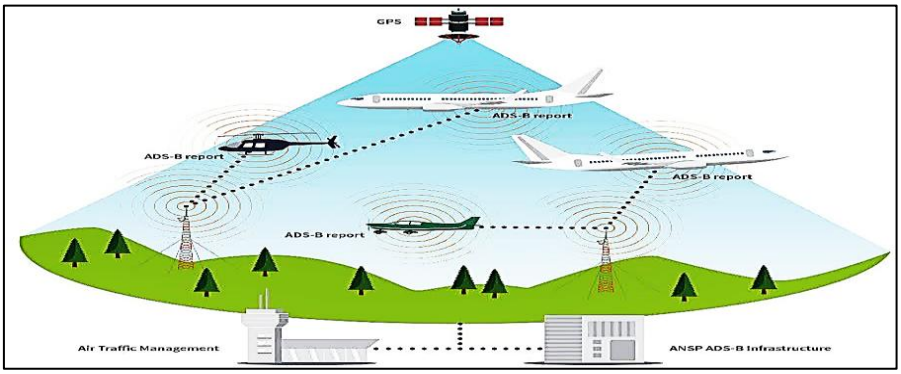
[۱] **آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول:** mostafamoradi3137@gmail.com

مقدمه

صنعت هوانوردی نقشی برجسته در اقتصاد جهانی دارد. از سال ۲۰۱۳ تاکنون شبکه حمل ونقل هوایی سالانه بیش از ۴۸ میلیون تن بار و ۶/۲ میلیارد مسافر را در هر سال جابجا نموده است که ارزش اقتصادی آن در حدود ۲/۲ میلیارد دلار است (دوچامپ، بایرام، کورانی، ۲۰۱۴). با ورود هواپیماهای نظامی، شخصی، پهپادها و هواپیماهای حمل و نقل تجاری از دهه هفتاد میلادی، حجم ترافیک هوایی رشد چشمگیری داشته است. به عنوان مثال، در اروپا به طور میانگین فقط ۲۶۰۰۰ پرواز تجاری در هر روز گزارش شده و در برخی از فرودگاه‌های بزرگ این منطقه، تعداد ۱۵۰۰ پرواز در روز انجام می‌شود. پیش بینی می‌شود این تعداد تا سال ۲۰۳۰ به دو برابر نیز برسد (استرومیر و همکاران، ۲۰۱۴).

برای جلوگیری از سانحه و برخورد در چنین فضای متراکمی، به‌کارگیری قوانین و هماهنگی‌ها امری ضروری است. ازاین‌رو سازمان بین‌المللی هواپیمایی[1]، باهدف هماهنگ‌سازی قوانین و استانداردهای پروازی و مدیریت خطوط هوایی در سطح بین‌الملل، ایجاد شده است. سامانه‌های اویونیک، ناوبری و کنترل ترافیک هوایی از مهم‌ترین اجزای صنعت هوانوردی، محسوب می‌شوند. رویکرد سنتی برای کنترل ترافیک، استفاده از سامانه‌های راداری، رادار نظارت اولیه[2] و رادار نظارت ثانویه[3] است که اساساً برای سیستم‌های تشخیص دوست از دشمن[4] در کاربردهای نظامی توسعه داده شده بود. از مشکلات این سامانه‌ها، دقت و صحت پایین در شناسایی اهداف است. با افزایش تراکم ترافیک هوایی، نیاز به فناوری‌های پیشرفته برای کاهش مشکلات ذکر شده احساس گردید. سیستم مشارکتی نظارتی خودکار هواپیما وابسته به خلبان[5] یکی از فناوری‌هایی است که این محدودیت‌ها را مرتفع می‌نماید.

سامانه ADS-B یک سامانه نظارتی – مشارکتی است که متکی بر سامانه موقعیت‌یابی جهانی[6] عمل می‌کند این سامانه، موقعیت دریافت شده از GPS را با اطلاعات دیگری مانند نوع هواپیما، سرعت، شماره‌پرواز، نحوه چرخش، کاهش یا افزایش ارتفاع، ادغام کرده و به‌صورت یک کد تحلیل امنیت سایبری در سامانه ADS-B دیجیتالی ارسال می‌نماید. این اطلاعات توسط هواپیماها و ایستگاه‌های زمینی که در محدوده ۱۵۰ مایلی قرار دارند؛ دریافت شده و روی نمایشگر اطلاعات ترافیک کابین هواپیما و ایستگاه‌های زمینی نمایش داده می‌شوند. شکل ۱ چگونگی نحوه ارتباطات انواع پرنده با مراکز کنترل ترافیک از طریق اینترنت ماهواره‌ای و عملکرد سامانه ADS-B را نشان می‌دهد.



شکل ۱. چگونگی ارتباطات و عملکرد سامانه ADS-B

1 International Civil Aviation Organization (ICAO)

2 Primary Surveillance Radar (PSR)

3 Secondary Surveillance Radar (SSR)

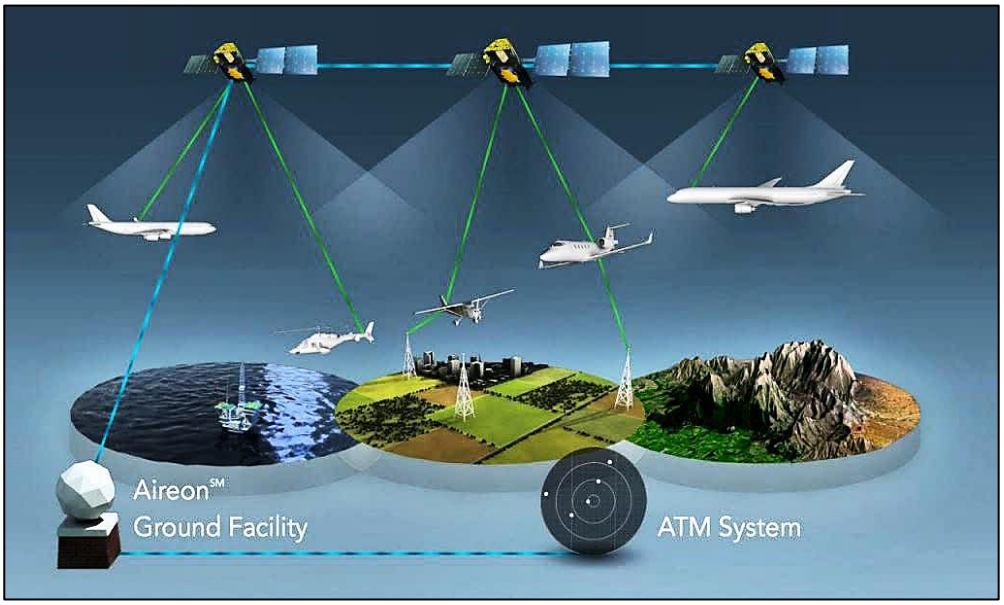
4 Identification Friend or Foe

5 Automatic dependent surveillance-broadcast

6 Global Positioning System

مزایای فراوان این سامانه، از جمله دقت بالا و هزینه‌های پایین، آن را به‌عنوان یکی از فراگیرترین سامانه‌ها در ناوبری هوایی مطرح نموده است به‌طوری‌که استفاده از آن در سال ۲۰۲۰ برای ایالات متحده و اروپا اجباری اعلام شده است. با این حال مباحث مرتبط با امنیت سایبری بخش مغفول مانده و مهم‌ترین دغدغه توسعه‌دهندگان این سامانه است.

یکی از مسائل بسیار مهم و حیاتی در هوانوردی، ناوبری و کنترل ترافیک هوایی است که تأثیر مستقیم بر ایمنی پرواز دارد. در سال‌های اخیر، استفاده از هواپیما در حمل‌ونقل رشد چشمگیری داشته است و طبق برآورد انجام شده تعداد مسافرت‌های هوایی در آینده‌ای نزدیک دوبرابر خواهد شد. مدیریت، کنترل و هدایت ایمن چنین حجمی از ترافیک هوایی بدون استفاده از سامانه‌ها و پروتکل‌های ناوبری و نظارتی مدرن امکان‌پذیر نخواهد بود. شاید بتوان گفت مهم‌ترین سامانه در مدیریت ترافیک هوایی در ۱۵ سال آینده ADS-Bخواهد بود. به تازگی شرکت ایروان[1] مطابق شکل ۲ طرحی بر مبنای سامانه ADS-B با استفاده از ۶۶ ماهواره جهت پوشش‌دهی سراسر کره زمین ارائه داده است.



شکل ۲. طرح شرکت ایروان مبتنی بر سامانه ADS-B

در فناوری مراقبتی سنتی، یک رادار زمینی سیگنال درخواست را ارسال می‌کند و در جواب آن پاسخگرهای[2] هواپیما پاسخی را به ایستگاه زمینی می‌فرستد، ولیکن هواپیماهایی که به سامانه ADS-B مجهز هستند، موقعیت خود را از سیستم‌های ماهواره‌ای دریافت نموده و در بازه‌های مشخصی از زمان به گیرنده زمینی و نیز سایر هواپیماها ارسال می‌نمایند. این سامانه موجب بهبود تشخیص برخورد و وضوح ترافیک هوایی می‌شود و به هواپیما اجازه می‌دهد موقعیت نسبی خود را بدون نیاز به زیرساخت‌های پیچیده فراهم کند. در این مقاله سعی شده است به تحلیل و بررسی نقش سامانه ADS-B در بهبود ایمنی پرواز با استفاده از تئوری بازی‌ها پرداخته شود.

1 Aireon

2 Transponder

مبانی نظری

سیستم مشارکتی نظارتی خودکار هواپیما وابسته به خلبان

با افزایش تراکم ترافیک هوایی، ضرورت به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته برای مدیریت و جلوگیری از سانحه و برخورد در چنین فضای متراکمی و محافظت از مسافران، ضروری است. فناوری ADS-B یک سامانه شبه راداری است که به‌منظور رفع دشواری‌هایی که در انتخاب سایت‌های راداری از جمله در اقیانوس‌ها، مناطق کوهستانی و کویری وجود دارد؛ طراحی شده است. در نسل اول این فناوری که ADS-C[1] نام‌گذاری شده است، اطلاعات مختلفی از هواپیما از جمله موقعیت دریافتی از سامانه موقعیت‌یاب جهانی، سمت پروازی، سرعت، وضعیت جوی، زمان‌های تخمینی رسیدن به نقاط تعیین مسیر و سایر داده‌های پروازی به کمک یک سامانه ارتباط ماهواره‌ای مانند اینمارست، به‌صورت خودکار به ایستگاه‌های زمینی ارسال می‌گردد و روی صفحه نمایشگر کنترلر مراقبت پرواز قابل مشاهده است.

نسل جدید این فناوری ADS-B نام گرفت که اطلاعات ارسالی آن علاوه بر ایستگاه‌های زمینی جهانی[2]، برای هر ایستگاهی که گیرنده آن را داشته باشد از جمله سایر هواپیماهایی که مجهز به این گیرنده هستند قابل دریافت و مشاهده است. ایده اصلی ADS-B ترکیب موقعیت‌یابی مبتنی بر ماهواره با یک لینک داده فرکانس رادیویی است؛ تا به‌جای استفاده از ایستگاه‌های زمینی، به طور مداوم و خودکار موقعیت خود را پخش کنند. این سامانه شامل تجهیزاتی از جمله نمایشگر اطلاعات ترافیک در کابین[3] برای نمایش ترافیک مبتنی بر گزارش‌های ADS-B گرفته شده از دیگر هواپیما یا ایستگاه زمینی، سرویس‌های انتشار اطلاعات ترافیک[4] و سرویس‌های انتشار اطلاعات پرواز[5] با استفاده از اطلاعات دریافت شده از ایستگاه زمینی است. داده‌های دریافتی، پس از پردازش‌های لازم به‌صورت هدف بر روی صفحه نمایشگر ظاهر شده و نشانگرهایی شبیه آنچه که در رادارهای ثانویه دیده می‌شود پدیدار می‌گردد (جیاکودی، ۲۰۱۴).

ADS-Bدر سامانه‌های هوا به هوا (هواپیما به هواپیما) و هوا به زمین (هواپیما به مراقبت پرواز) استفاده می‌شود. این سامانه خودکار است چون نیاز به هیچ خلبان یا مداخله ناظر دیگری ندارد. وابسته است؛ چون هواپیماها موقعیت خود را ازGPS تهیه می‌کنند. مبتنی بر پخش مستمر اطلاعات است؛ چون موقعیت هواپیما و داده‌های دیگر به طور مداوم به نزدیک‌ترین ایستگاه زمینی ارسال می‌شود. این سامانه همچنین دارای اصلاح دقت بیشتری نسبت به رادار معمولی ۲۰- متر دقت در مقایسه با ۳۰۰ متر در ۶۰ مایل دریایی است و این دقت در صورتی که محدوده گیرنده افزایش یابد؛ کاهش نمی‌یابد. در این سامانه پخش و ارسال اطلاعات از فناوری‌ها و تجهیزات مختلف شبکه اطلاعاتی در مود پیوند داده ES1090 و از یک بسته اطلاعاتی 112بیتی برای ارسال اطلاعات موقعیت و سرعت استفاده می‌شود. در شکل ۳ فرمت پیام در فرکانس ۱۰۹۰ نشان داده شده است. این اطلاعات شامل ۵۶ بیت از اطلاعات ADS-B است.

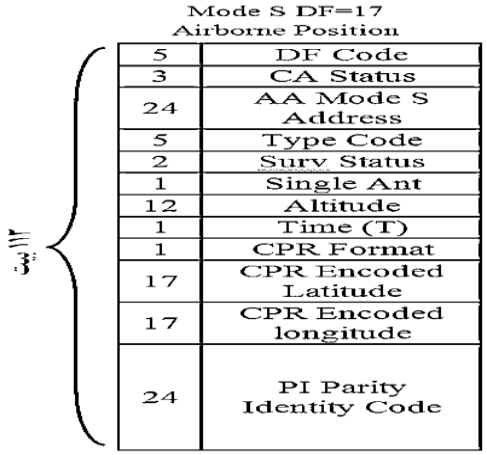
1 Automatic Dependent Surveillance – Contract

2 Global Earth Stations

3 Cabin Traffic Information Display

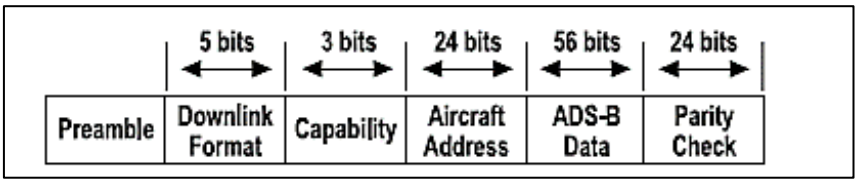
4 Traffic Information Service – Broadcast

5 Flight Information System Broadcast



شکل ۳. فرمت داده‌های موقعیت ارسالی در دیتا لینک ES۱۰۹۰

مقدمه[1] شامل رشته‌ای از بیت‌ها برای همزمان‌سازی است. قالب لینک روبه‌پایین پنج بیت است که نوع پیام را مشخص می‌کند، این بخش تا ۱۷ بیت هم می‌رسد. ۳ بیت ظرفیت، ظرفیت مخابراتی ترانسپوندر مود S را نشان می‌دهد. هر هواپیما برای شناسایی خود از ۲۴ بیت استفاده می‌کند و هیچ دو هواپیمایی شناسه یکسانی ندارند. داده‌های ADS-B برابر ۵۶ بیت است که شامل موقعیت سرعت ضرورت کد و سطح کیفی است. برای تشخیص خطا در یک گیرنده پیام از ۲۴ بیت توازن[2] استفاده می‌شود (لیم، ۲۰۱۴).



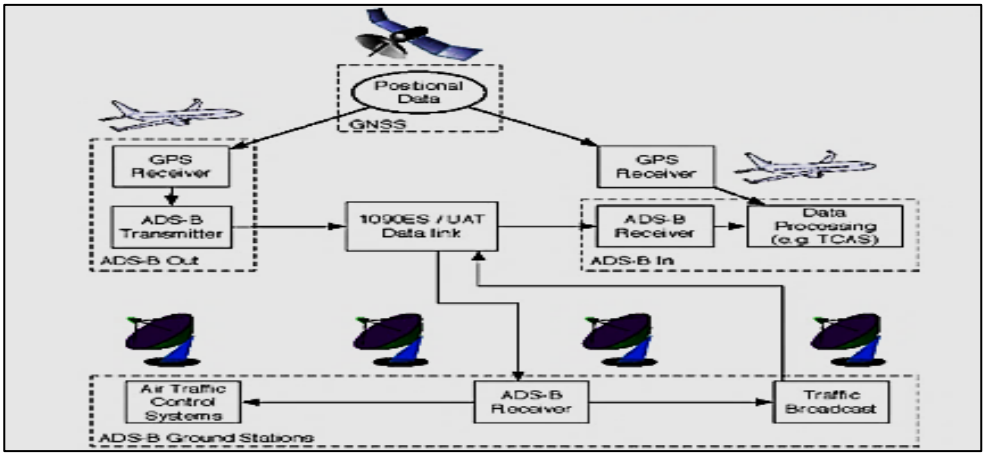
شکل ۴. قالب پیام مورد استفاده در سامانه ADS-B

در شکل ۵ معماری سیستم ADS-B نشان داده شده است. داده‌های موقعیتی فراهم شده بوسیله سیستم ناوبری ماهوارهای بوسیله هواپیما پردازش می‌شود و از طریق سیستم ADS-B به خارج ارسال می‌شود و اطلاعات موقعیتی مجاور را ایجاد می‌کند. اطلاعات با استفاده از فرستنده‌هایی با دستیابی[3] همگانی ارسال می‌گردند. این فرستنده‌ها از فرکانس ۹۷۸ مگاهرتز استفاده می‌کنند که می‌توانند سرعت انتقال اطلاعات را به چهار برابر روش‌های دیتالینک‌های موجود افزایش دهند. ایستگاه‌های زمینی کنترل ترافیک هوایی و هواپیماهای دیگر، این پیام‌ها را دریافت می‌کنند (سنسیوتی، ۲۰۱۵).

1 preamble

2 parity

3 Universal Access Transceivers (UAT)



شکل ۵. معماری سامانه ADS-B

با استفاده از گیرنده‌های ADS-B اطلاعات بلادرنگ و بادقت بالا از ترافیک هوایی توسط خلبان و کنترولرهای زمینی قابل دریافت و مشاهده است ADS-B با دریافت اطلاعاتی در مورد موقعیت هواپیما از GPS آن را با اطلاعات دیگری مانند سرعت، شماره‌پرواز، نحوه چرخش، کاهش یا افزایش ارتفاع هواپیما ترکیب کرده و به‌صورت کد دیجیتالی پخش می‌کند. اطلاعات مربوط به‌سرعت و موقعیت هواپیما در هر ثانیه دو بار و بقیه اطلاعات در هر ۵ ثانیه یک‌بار ارسال می‌شوند. این اطلاعات توسط هواپیماها و ایستگاه‌های زمینی در محدوده برد ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلومتری دریافت و بر روی صفحه نمایشگر دیده می‌شود (لیم، ۲۰۱۴).

در این سامانه، اطلاعات دقیق و به‌روز برای خلبان هواپیما و کنترولرهای ترافیک هوایی در سطح زمین ارائه می‌شود و در مواردی که محدودیت پوشش راداری و سایر محدودیت‌ها از جمله کاهش دید، وجود دارد (مانند فضای ابری)، می‌تواند موجب جلوگیری از تداخل موقعیتی هواپیماها و بهبود نظارت و در نتیجه افزایش ایمنی پروازها شود. در این سامانه هواپیماها اطلاعات مختلف و متعددی از جمله شناسه پرواز، موقعیت، ارتفاع، سرعت و جهت را به‌صورت خودکار بدون اطلاع از دریافت‌کننده و انتظار پاسخ به طور مستمر پخش می‌کنند. ارسال بدون تأخیر اطلاعات، قابلیت اعتماد و دقت بالا و هزینه پایین از مزایای این فناوری است.

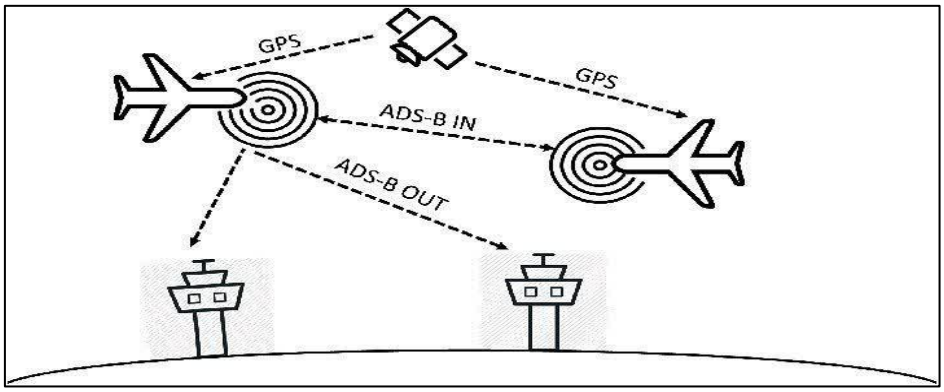
مزایای سامانه ADS-B

سامانه ADS-B به‌عنوان یک فناوری باارزش برای افزایش کارایی سیستم اجتناب از برخورد [1] (ACAS) در نظر گرفته شده است. استفاده از ADS-B مزیت‌هایی را نیز به همراه دارد. کاهش تعداد بازپرسی موردنیاز ACAS یکی از این مزایا است که در نتیجه آن در فضاهایی با تراکم ترافیکی بالا بازدهی افزایش می‌یابد. یکی دیگر از این مزایا کاهش اعلان خطر غیرضروری است که این کار به‌وسیله تلفیق بردار وضعیت، مقصد هواپیما و سایر اطلاعات ADS-B ممکن می‌شود. همچنین باعث افزایش اعلان اجتناب از برخورد ارتفاع از زمین، زیر ۱۰۰۰ پا شده و تداخل در باند را مشخص می‌کند.

سامانه ADS-B می‌تواند اطلاعاتی را که به طور عادی در دسترس خلبانان نبوده، به آن‌ها ارائه دهد. زیرا دامنه مؤثر سامانه بیش از ۱۶۰ کیلومتر بوده و از طرفی نسبت به سایر سامانه‌های نظارتی مشابه، توانایی

1 Airborne collision avoidance system (ACAS)

ارسال، دریافت، تجزیه و تمیز اطلاعات را در منطقه‌ای وسیع‌تر و با تداخل اطلاعاتی کمتر را دارد. خلبانان و کنترلرهای استفاده‌کننده از ADS-B نه تنها قادر به تعیین موقعیت ترافیک تداخلی خواهند بود، بلکه بطور واضح جهت، سرعت و ارتفاع مرتبط به آن را نیز خواهند دید. هنگامی که ترافیک مورد نظر تغییر وضعیت می‌دهد، شتاب می‌گیرد، افزایش یا کاهش ارتفاع می‌دهد، ADS-B تغییرات بوجود آمده را بدون هیچ تأخیر و پیچیدگی نشان می‌دهد.



شکل ۶. شماتیک نحوه ارتباط اجزا سامانه ADS-B

با استفاده از سامانه ADS-B می‌توان از خدمات اطلاعات پرواز نظیر توصیف اطلاعات هواشناسی به‌صورت گرافیک یا هشدارهای پروازی به‌صورت متن استفاده نمود. درگذشته، این خدمات در دسترس نبوده یا دارای هزینه گزافی برای استفاده گسترده در هوانوردی عمومی بوده است.

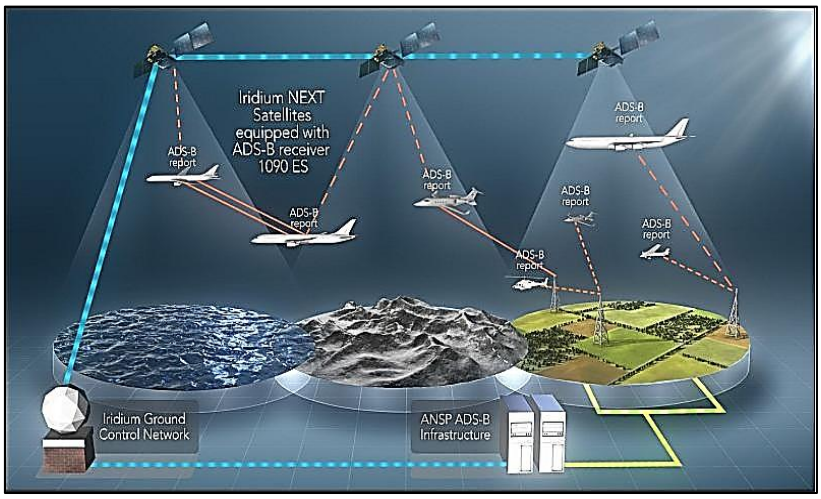
افزایش راندمان هوایی یکی از مقوله‌هایی است که وقتی یک تصویری خوب و دقیق از ترافیک هوایی وجود داشته باشد می‌توان بعضی از محدودیت‌هایی که برای تفکیک‌پذیری‌های عمودی و افقی است را کاهش داد و با بیشترشدن میزان پروازها راندمان هوایی به‌خودی‌خود افزایش می‌یابند. باتوجه‌به افزایش راندمان هوایی می‌توان مسیرهای مستقیم و بهتری را برای پرواز هواپیماها در اختیار داشت؛ بنابراین مسیرهای پروازی که به‌واسطه تفکیک‌پذیری‌های ایمنی طولانی شده‌اند کاهش‌یافته و در نتیجه سوخت کمتری در یک مسیر مشخص مصرف می‌شود و این سبب افزایش راندمان سوخت می‌گردد.

کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی یکی دیگر از مزیت‌هایی است که باتوجه‌به کاهش مصرف سوخت حاصل می‌شود، به‌این‌ترتیب که با مصرف سوخت کمتر، خودبه‌خود مواد آلاینده کمتری تولید می‌شود. در پایان نیز در شرایط اضطراری مانند سوانح هوایی که نیاز به جست‌وجوی هواپیما است به‌راحتی می‌توان توسط سیگنال‌هایی که از این سامانه فرستاده می‌شود هواپیما را شناسایی کرد و عملیات نجات را با سرعت بیشتری انجام داد (ادوارد، لستر، هانسمن، ۲۰۰۷؛ مجله بوئینگ، ۲۰۲۳؛ سازمان هوانوردی فدرال،۲۰۱۲؛ رایت،۲۰۰۹).

نحوه عملکرد سامانه ADS-B

اطلاعات پس از دریافت و پردازش، به صورتی که قابل‌استفاده برای کاربر باشد تبدیل شده و در نهایت بر روی صفحه نمایشگر کامپیوتر نمایش داده می‌شود. خلبان در کابین، وضعیت ترافیک را روی نمایشگر اطلاعات ترافیک کابین مشاهده می‌کند، همچنین کنترلرهای زمینی می‌توانند نشانگر اطلاعاتی مربوط به ADS-Bرا همراه سایر اطلاعات راداری بر روی صفحه نمایشگر ترافیک ببینند (مجله بوئینگ، ۲۰۲۳).

در سیستم‌های قدیمی، هواپیماها صرفاً با رادارهای زمینی در ارتباط بوده و اطلاعات را با استفاده از روش‌هایی، برای کنترل ترافیک، دریافت و پردازش می‌کردند. این ارتباط تنها بین هواپیما و ایستگاه‌های راداری وجود داشته و هواپیماها هیچ‌گونه اطلاعات موقعیتی را به یکدیگر به‌منظور اطلاع از موقعیت یکدیگر ارسال و دریافت نمی‌کردند. در سامانه ADS-B به علت ویژگی‌هایی که دارد، هر گیرنده‌ای که در محدوده ۱۶۰ الی ۲۴۰ کیلومتری اطلاعات انتشار یافته باشد می‌تواند آن اطلاعات را دریافت نماید، این در حالی است که این ارتباط می‌تواند بین هواپیماها نیز وجود داشته باشد، بنابراین به عنوان ابزاری موثر برای نظارت بر ترافیک مسیرهای حرکت هواپیما، باند فرودگاه‌ها و همچنین ترافیک‌هایی که در مناطق دور از دسترس هستند مانند مناطق کوهستانی (که دارای پوشش راداری ضعیف یا فاقد پوشش راداری می‌باشند) مورد استفاده قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین فواید ADS-B توانایی آن در ارائه سریع و یکسان اطلاعات به استفاده‌کنندگان است که در زمان واحد، اطلاعاتی یکسانی در اختیار کنترلرهای زمینی و خلبانان قرار می‌گیرد (ادوارد، لستر، هانسمن، ۲۰۰۷). در شکل ۷ نحوه چگونگی انتقال اطلاعات در این سامانه به خوبی نشان داده شده است.



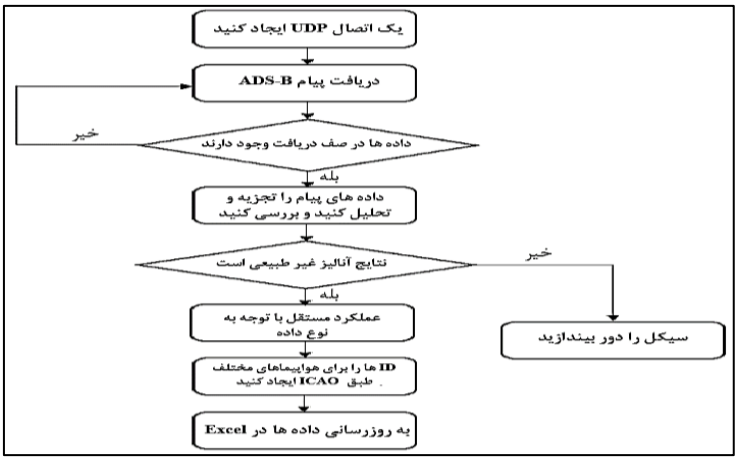
شکل ۷. چگونگی ارتباطات و عملکرد سامانه ADS-B در شرایط جوی مختلف

نحوه دریافت سیگنال‌های ADS-B بدین شکل است که در ابتدا پیام‌هایی که به‌صورت کد شده آماده انتشار می‌باشند پس از انتقال به یک تقویت‌کننده مقدماتی[1] از طریق آنتن انتشار داده می‌شود. در گیرنده با فیلتر نمودن فرکانس موردنظر، پالس‌ها با استفاده از تراشه تقویت‌کننده لگاریتمی استخراج می‌شود. این پالس‌ها آنالوگ بوده و برای آن که به دیجیتال تبدیل شوند به یک مبدل فرستاده می‌شوند.

در ادامه اطلاعات تبدیل شده به بورد مدار مجتمع دیجیتال برنامه‌پذیر[2] داخل گیرنده Mode S ارسال می‌گردد. در قدم بعد بسته‌های موجود در Mode S آشکارسازی شده و از طریق درگاه مناسب نظیر USB به کامپیوتر فرستاده می‌شود. در نهایت اطلاعات موجود در کامپیوتر به شکلی مناسب برای کاربر بر روی نمایشگر اطلاعات ترافیک کابین نشان داده می‌شود (ادوارد، لستر، هانسمن،۲۰۰۷؛ برونو و دایر،۲۰۰۸).

1 Low Noise Amplifier

2 Field-programmable gate array

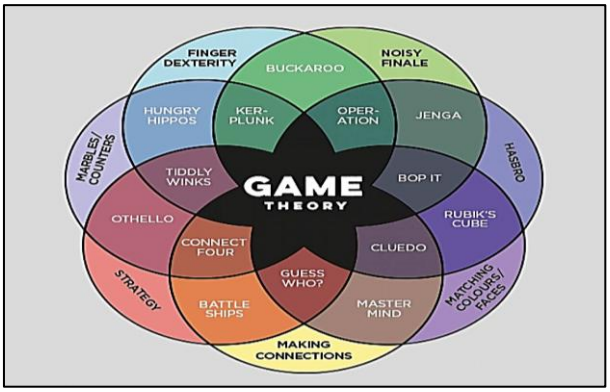


شکل ۸. نمودار روند اجرای نرم افزار رمزگشایی پیام ADS-B

تئوری بازی‌ها

نظریه بازی‌ها توسط ریاضی‌دان آمریکایی مجارستانی‌الاصل جان فون نویمان و همکارش در دانشگاه پرینستون و اسکار مورگنسترن، اقتصاددان آمریکایی آلمانی‌الاصل، برای حل مسائل در اقتصاد ایجاد شد. نظریه بازی، شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی است که ابزارهایی را برای تجزیه‌وتحلیل موقعیت‌هایی مانند تصمیم‌گیری برخی از مدیران فراهم می‌کند. این تصمیم‌گیری‌ها اصولاً به‌هم‌وابسته هستند. این وابستگی متقابل بین بازیکنان باعث می‌شود که هر کدام از آن‌ها تا حدودی بتوانند استراتژی‌های احتمالی یک بازیکن دیگر را بفهمند برای استراتژی‌های خود از آن بهره ببرد. نظریه بازی یک چارچوب نظری برای درک موقعیت‌های اجتماعی در بین بازیکنان یا همان افراد رقیب است. از برخی جهات، نظریه بازی علم استراتژی یا حداقل تصمیم‌گیری بهینه بازیگران مستقل و رقیب در یک محیط استراتژیک است.

کلمه بازی که در میان عامه مردم استفاده می‌شود، در برگیرنده مفاهیمی همچون بازی‌های ورزش، شطرنج و شرطبندی است و کمتر در حوزه‌های سیاسی، اقتصادی، روابط کار و... استفاده می‌شود. در بازی‌های عامیانه فوق حداقل دو نفر (دو طرف) حضور دارند و هر یک از دو طرف برای برد تلاش می‌کند، اما نتیجه ممکن است برد، باخت یا مساوی باشد. آنچه در نظریه بازی‌ها به آن بازی اطلاق می‌شود، عبارت است از: تعاملاتی (روابط متقابل) که در آن بین تصمیم دوطرف (یا بیشتر) وابستگی و ارتباط متقابل وجود داشته باشد (بهشتی،۲۰۰۹)؛ به عبارت دیگر، هرگاه مطلوبیت، سود، درآمد، رفاه و هر آنچه که فرد بازیکن به دنبال آن است، نه تنها متأثر از تلاش و تصمیم خود او باشد، بلکه تحت تأثیر (مثبت یا منفی) تلاش و تصمیم طرف دیگر نیز باشد، به آن بازی اطلاق می‌شود.



شکل ۹. زیرمجموعه های تئوری بازی‌ها

اصطلاح بازیکن در واقع به معنی یک تصمیم‌گیرنده استراتژیک بوده که تمام تصمیمات خود را در چارچوب بازی می‌گیرد. اصطلاح استراتژی به معنای یک برنامه کامل عملی بوده که یک بازیکن باتوجه‌به مجموعه شرایطی که ممکن است در بازی ایجاد شود، انجام خواهد داد. اصطلاح هزینه یا منفعت همان مبلغی است که یک بازیکن از جهت رسیدن به یک نتیجه خاص موردنظر دریافت می‌کند. هزینه می‌تواند به هر شکل قابل‌اندازه‌گیری باشد، از دلار گرفته تا ابزار مفید. اصطلاح مجموعه اطلاعات در واقع به معنای اطلاعات موجود در یک نقطه معین از بازی است. مجموعه اطلاعات معمولاً زمانی به کار می‌رود که بازی دارای یک جزء متوالی باشد. اصطلاح تعادل به معنای نقطه‌ای در بازی است که هر دو بازیکن تصمیمات خود را گرفته‌اند و به نتیجه می‌رسند. این بازی هویت، ترجیحات و استراتژی‌های موجود بازیکنان و چگونگی تأثیر این استراتژی‌ها بر نتیجه را مشخص می‌کند. نکته اصلی و قابل‌توجه برای اجرای این نظریه همان نتیجه است که بسته به مدل، الزامات یا مفروضات مختلف دیگری ممکن است متفاوت باشد.

ویژگی اساسی تصمیم‌گیری در شرایط بازی این است که هر بازیکن قبل از تصمیم‌گیری و انتخاب باید واکنش و عکس‌العمل دیگران را نسبت به انتخاب و تصمیم خود مورد تجزیه‌وتحلیل قرار دهد و آنگاه تصمیمی که برایش بهترین است را اتخاذ نماید؛ به دیگر سخن برای او باید بیشترین سود را با درنظرگرفتن واکنش طرف مقابل، داشته باشد. محیطی که در آن چنین تأثیروتأثر متقابل میان تصمیمات افراد وجود دارد را محیط استراتژیک می‌گویند (مظلوم، ۲۰۱۰).

تفکر استراتژیک، فکرکردن و اندیشیدن درباره نحوه تعامل با حریف در یک بازی یا حدس‌زدن رفتار احتمالی حریف در مقابل هر رفتار قابل‌انتخاب از سوی خود فرد است، یک بازیکن وقتی که تفکر استراتژیک دارد، باید بداند که حریف او نیز همانند او در بازی تفکر و اندیشه می‌کند و در تصمیمات و انتخاب‌های خود واکنش او را مدنظر قرار می‌دهد. تصمیمات عملی در بازی با درنظرداشتن این تعاملات و تأثیرات متقابل اتخاذ می‌شود.

باتوجه‌به مطالب فوق نظریه بازی‌ها عبارت است از: (علمی که به مطالعه تصمیم‌گیری افراد در شرایط تعامل با دیگران می‌پردازد)؛ به تعبیر دیگر تئوری بازی‌ها علم مطالعه تعارض‌ها (تضاد منافع)، همکاری‌های بین بازیکنان عاقل است.

یکی از اهداف تئوری بازی‌ها ارائه چارچوبی است که بر اساس آن بازیکنان بتوانند عاقلانه رفتار کنند. منظور از عاقلانه رفتارکردن این است که انسان قبل از اینکه دست به عملی بزند، به طور عمیق درباره آن فکر کند و هدف، ترجیحات و محدودیت‌های خود را در نظر بگیرد، سپس به‌گونه‌ای انتخاب و عمل نماید که در راستای افزایش منافع او باشد.

محدودیت‌های تئوری بازی‌ها

علی‌رغم قابلیت‌ها و کاربردهای گوناگون تئوری بازی‌ها، باتوجه‌به مفروضات آن، این نظریه دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد که در ادامه به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود:

۱. بازیکنان همواره و در همه حال انتخابی عقلایی ندارد.
۲. در زندگی سیاسی و اجتماعی، انتخاب‌های بازیگران، صرفاً بر اساس محاسبات سودگرایانه نیست و معمولاً پارامترهای دیگری نیز در آن دخالت دارند.
۳. ارزش‌های بازیگران ممکن است با یکدیگر متفاوت باشد و بنابراین سود و زیان نیز نزد آنان متفاوت خواهد بود.

٤. پیچیدگی‌های بسیار زیاد زندگی سیاسی و اجتماعی را، در بسیاری از موارد، به‌سختی بتوان در قالب محاسبات ریاضی بیان نمود.

نحوه مدل‌سازی بازی

در اینجا به‌منظور بررسی تأثیر سامانه ADS-B بر بهبود شرایط ایمنی پرواز، از طریق تئوری بازی، سعی می‌شود به پیش‌بینی رفتار یک بازیکن خاص پرداخته شود؛ لذا نحوه رفتار این بازیکن به رفتار سایر بازیکنان بستگی دارد. استدلال سطح K به ما کمک می‌کند تا از طریق یک رویکرد سلسله‌مراتبی که با اختصاص‌دادن رفتارهای اساسی به هر بازیکن شروع می‌شود، این مشکل را حل کنیم. سپس باتوجه‌به عملکرد پیامد یک بازیکن و رفتارهای اساسی سایر بازیکنان، رفتار بازیکن پیش‌بینی می‌شود.

رویکرد تئوری بازی در این پژوهش مبتنی بر یک سناریوی ترافیک هوایی می‌باشد که در آن ۱۰ هواپیما باید با استفاده از سامانه ADS-B در یک فضا قرار دارند. در این سناریو، ۱۰ هواپیما به یک بخش نزدیک می‌شوند. به لطف فناوری ADS-B، خلبانان از موقعیت و شرایط دیگر هواپیماها آگاه هستند. هواپیماها تا حدی باتوجه‌به این اطلاعات ADS-B، خلبانان قرار است به پرواز در مسیر تعیین شده خود ادامه دهند و درعین‌حال از برخورد با هواپیماهای دیگر دوری کنند. در این سناریو فرض می‌شود:

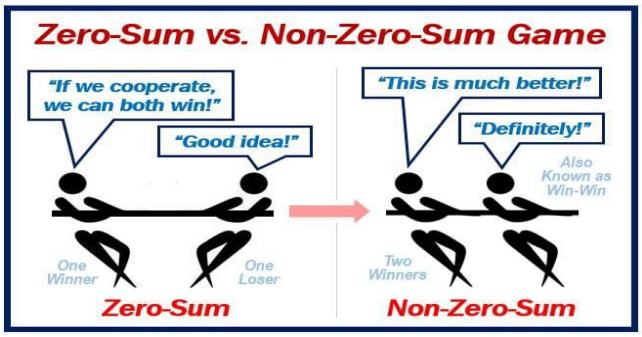
۱. فضای هوایی: فرض بر این است که هواپیماها در مسیر پرواز هستند و در طول سناریو در همان ارتفاع پرواز می‌کنند.
۲. هواپیما: فرض بر این است که هواپیما توسط یک خلبان خودکار در حالت کنترل سرعت، پرواز می‌کند.
۳. خلبانان: فرض بر این است که خلبانان به‌عنوان یک انسان تمایل دارند در صورت امکان بی‌عملی یا اقدامی را انتخاب کنند که به کمترین تلاش نیاز دارد.

از دگر سوی مهم‌ترین وظیفه خلبانان حفظ فاصله ایمن با هواپیماهای دیگر است. این مهم می‌تواند با اقداماتی از قبیل تغییر مسیر، تغییر ارتفاع و تغییر سرعت انجام شود.

در حالت عادی و استفاده از فناوری‌های ساده و هماهنگی با مرکز کنترل ترافیک علاوه بر اینکه ممکن است هواپیما در موقعیت‌های مختلف ارتباطش قطع شود ممکن است به علت ضعف در موقعیت‌یابی مشخصات سایر هواپیماها دقت لازم را نداشته باشد و حوادث و سوانح هوایی اتفاق بیفتد. ولیکن فناوری ADS-B با استفاده از اینترنت ماهواره‌ای ضمن پوشش سراسری در کل کره زمین و حتی مناطق دارای پوشش و موانع زیاد می‌تواند اطلاعات، موقعیت، سرعت و... سایر هواپیماها را بادقت بالا در اختیار خلبانان قرار دهد.

در این سناریو، می‌توان با استفاده از تئوری بازی، رفتار خلبانان را در مواجهه با هواپیماهای دیگر و تصمیماتی که در مورد تغییر مسیر، ارتفاع و سرعت می‌گیرند، مدل کرد. یک رویکرد ممکن برای مدل‌کردن این مسئله، استفاده از مدل تئوری بازی به نام «بازی با جمع صفر» است.

در این حالت، دو بازیکن وجود دارند: خلبان و محیط. خلبان تلاش می‌کند تا با انتخاب درست ترکیبی از تغییر مسیر، ارتفاع و سرعت، فاصله ایمن را حفظ کند و از برخورد با هواپیماهای دیگر جلوگیری کند. از طرف دیگر، محیط (هواپیماهای دیگر) نیز تلاش می‌کند تا با انتخاب بهینه‌ترین حالت پرواز، خلبان را به چالش بکشد و از حفظ فاصله ایمن جلوگیری کند.



شکل ۱۰. طرح مفهومی دو بازی Zero-Sum Game و Non-Zero-Sum Game

مدل می‌تواند شامل مجموعه‌ای از استراتژی‌ها و پیامدها برای هر بازیکن باشد. استراتژی‌های خلبان شامل تغییر مسیر، ارتفاع و سرعت می‌تواند باشد، و استراتژی‌های محیط می‌تواند شامل تغییر مسیر، ارتفاع و سرعت هواپیماهای دیگر باشد. پیامدها نیز می‌تواند بر اساس فاصله ایمن، هزینه تغییر مسیر و سرعت، و برخورد با هواپیماهای دیگر تعریف شوند.

با استفاده از این مدل، می‌توان پیش‌بینی کرد که خلبانان به چه تصمیماتی در مواجهه با هواپیماهای دیگر می‌رسند و چگونه می‌توانند فاصله ایمن را حفظ کنند. همچنین، با تغییر پارامترهای مدل می‌توان تأثیر فناوری ADS-B بر رفتار خلبانان و ایمنی پرواز را بررسی کرد.

در این مدل، بازیکنان به‌صورت تعاملی با محیط تعامل می‌کنند و باتجربه و تلاش مکرر، بهترین استراتژی را یاد می‌گیرند. با استفاده از این الگوریتم‌ها، می‌توان به‌صورت تکراری بازی را شبیه‌سازی کرده و بازیکنان را بهبود داد. در هر مرحله از بازی، بازیکنان اقدامات خود را انجام می‌دهند و پیامد اختصاص‌داده‌شده را دریافت می‌کنند. سپس با استفاده از این پیامد، الگوریتم‌ها بهبودی در استراتژی انتخاب می‌کنند و اقدامات بهتری را انجام می‌دهند. این فرایند تکرار می‌شود تا استراتژی بهینه برای هر بازیکن شکل گیرد.

در نهایت، باتوجه‌به استراتژی‌های به‌دست‌آمده برای خلبانان و محیط، می‌توان پیش‌بینی کرد که در شرایط مختلف، هر بازیکن چه تصمیماتی را انتخاب می‌کند و چگونه ایمنی پرواز را تأثیر می‌دهد. البته، مدل‌سازی دقیق تئوری بازی‌ها در این سناریو ممکن است به دلیل پیچیدگی مسئله و عدم دسترسی به اطلاعات دقیق، چالش‌هایی را داشته باشد. اما باتوجه‌به اهمیت ایمنی پرواز و استفاده از فناوری ADS-B، این رویکرد می‌تواند به بررسی تأثیر سامانه ADS-B بر بهبود ایمنی پرواز کمک کند و برای ارائه تصمیمات بهینه به مسئولان هوانوردی و طراحی سیستم‌های جدید مورداستفاده قرار گیرد.

مراحل انجام بازی

برای اجرای مدل بازی در بهبود استفاده از سامانه ADS-B، مراحل زیر را دنبال می‌کنیم:

۱. تعریف بازی: این بازی شامل نقش‌های مختلفی مانند خلبانان هواپیماها که در حال پرواز هستند، و یا مدیران ترافیک هوایی که مسئول مدیریت ترافیک و کنترل هواپیماها هستند، می‌شود.

۲. تعیین اطلاعات و اقدامات: برای اجرای بازی، اطلاعات مربوط به هر نقش تعیین می‌گردد. برای خلبانان، این اطلاعات می‌تواند شامل موقعیت و سرعت هواپیما، اطلاعات دریافتی از سامانه ADS-B و هواشناسی در نظر گرفته می‌شود. برای مدیران ترافیک هوایی، اطلاعات می‌تواند شامل موقعیت و حرکت هواپیماها، دردسترس‌بودن فضای هوایی و محدودیت‌ها باشد.

۳. تعیین هدف: برای خلبانان، هدف می‌تواند به حفظ ایمنی پرواز، کاهش مصرف سوخت و بهبود زمان‌بندی واردشدن به مقصد باشد. برای مدیران ترافیک هوایی، هدف می‌تواند به بهبود جریان ترافیک، کاهش تداخل‌ها و تصادفات هوایی و بهینه‌سازی استفاده از فضای هوایی باشد.

٤. ماتریس پرداخت: ماتریس پرداخت در این بازی نشان می‌دهد که هر بازیکن با انتخاب استراتژی‌های خود چه نتایجی را دریافت می‌کند. برای مثال، اگر خلبان تداخلی در مسیر خود را شناسایی کند و درخواست تغییر مسیر کند و درعین‌حال کنترل‌کننده سامانه ADS-B اطلاعات دقیق را ارائه کند، هر دو بازیکن به نتیجه مثبتی دست خواهند یافت. اما اگر یکی از بازیکنان اقدامات نامناسبی انجام دهد، ممکن است بازیکن دیگر به نتیجه مثبت نرسد و حتی با مشکلات و تداخلات بیشتری مواجه شود.

		بازیگر ۲	
		سیاست ۱	سیاست ۲
بازیگر ۱	سیاست ۱	۱	۱-
	سیاست ۲	۱-	۱

شکل ۱۱. نمونه مدل اجرای ماتریس پرداخت

۵. تعیین استراتژی‌ها: برای خلبانان، این استراتژی‌ها می‌توانند شامل استراتژی‌های تغییر مسیر، تغییر سرعت و تغییر ارتفاع باشند که باعث حفظ فاصله ایمن با سایر هواپیماها می‌شوند. برای مدیران ترافیک هوایی، استراتژی‌ها می‌توانند شامل تخصیص منابع، ارسال دستورات و تنظیم مسیرها باشند.

٦. تعیین قوانین و پیامدها: در ادامه برای اجرای بازی، قوانین و پیامدهایی برای هر نقش تعیین می‌گردد. به‌عنوان‌مثال، خلبانان ممکن است با ارائه اطلاعات دقیق و به‌موقع از سامانه ADS-B، پیامدی دریافت کنند. همچنین، ممکن است قوانینی وجود داشته باشد که در صورت نقض آن‌ها، مجاز نباشد به بازی ادامه داده شود و یا پیامدی را از دست بدهیم.

۷. اجرای بازی: در این مرحله، با استفاده از الگوریتم‌ها و قوانین تعیین شده، بازی را اجرا می‌کنیم. هر نقش باید بر اساس اطلاعات دریافتی و استراتژی تعیین شده، تصمیم‌های مناسبی را اتخاذ کند و عملکرد خود را بهبود دهد.

۸. ارزیابی و بهبود: پس از اتمام بازی، می‌توان عملکرد هر نقش را ارزیابی نمود و بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص گردد که آیا هدف‌ها به‌خوبی دست‌یافته شده‌اند و استراتژی‌ها بهینه عمل کرده‌اند یا خیر. به البته در صورت نیاز، می‌توان قوانین، پیامدها و استراتژی‌ها را بهبود داد تا عملکرد بازی بهتر شود.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی بوده و از لحاظ گردآوری مطالب، در حوزه مطالب توصیفی و پیمایشی طولی طبقه‌بندی می‌شود. مطالعات انجام‌گرفته به‌صورت کتابخانه‌ای بوده و با تحلیل محتوایی

همراه شده است. در این پژوهش جهت تحلیل تأثیر به‌کارگیری از سامانه ADS-B بر ایمنی پرواز از روش تئوری بازی «مسئله صفر مقابل بازی با جمع صفر[1]» استفاده شده است.

یافته‌ها

مدل‌سازی نحوه عملکرد بازیکنان در تئوری بازی «مسئله صفر مقابل هم»

در مدل تئوری مسئله صفر مقابل هم بین بازیکن هواپیما و خلبان با بازیکن دوم که شرایط محیطی و سامانه ADS-B را نمایندگی می‌کند، هدف هر بازیکن انتخاب استراتژی‌ای است که بهترین نتیجه برای خودش را به همراه کاهش پیامد حریف به همراه داشته باشد.

در این نوع بازی، پیامدها بر اساس عملکرد بازیکنان و وضعیت بازی تعیین می‌شوند. برخی از مواردی که می‌توانند در نظر گرفته شوند و بر پیامد تأثیر بگذارند، عبارت‌اند از:

۱. آب‌وهوای نامناسب: در صورت مواجه شدن هواپیما با شرایط آب‌وهوای نامناسب (مانند طوفان، ابرهای سنگین و غیره)، پیامد منفی در نظر گرفته می‌شود. این پیامد می‌تواند بر اساس شدت و نوع شرایط آب‌وهوا تغییر کند.

۲. مشکلات اختلالی رادار: اگر سامانه ADS-B با مشکلات اختلالی رادار مواجه شود که باعث کاهش دقت یا عملکرد آن شود، نیز جزو پیامد منفی در نظر گرفته می‌شود. مقدار پیامد بر اساس شدت اختلال و تأثیر آن بر عملکرد سامانه ADS-B تعیین می‌گردد.

۳. خواب‌آلودگی خلبان: در صورتی که خلبان به دلیل خواب‌آلودگی و عدم تمرکز، قادر به انجام وظایف خود به‌خوبی نباشد نیز از جمله پیامدهای منفی در نظر گرفته می‌شود. میزان پیامد بر اساس میزان خطر و عواقب ممکن از عدم تمرکز خلبان تعیین می‌گردد.

این موارد فقط نمونه‌ای از عواملی هستند که می‌توانند در مدل‌سازی بازی تئوری مسئله صفر مقابل هم بین بازیکن هواپیما و خلبان با سامانه ADS-B در نظر گرفته شوند. شما می‌توانید بر اساس شرایط و ویژگی‌های مسئله خاص خود، معیارهای پیامد مناسب را تعریف کنید و بر اساس آن‌ها مدل‌سازی را انجام دهید.

از موارد متعددی می‌توان برای مدل‌سازی بازی تئوری مسئله صفر مقابل هم بین بازیکن هواپیما و خلبان با سامانه ADS-B ، پیامد مثبتی نیز در نظر گرفت. بعضی از این موارد عبارت‌اند از:

۱. انجام مأموریت با موفقیت: در صورتی‌که هواپیما و خلبان مأموریت خود را با موفقیت انجام دهند، پیامد مثبت در نظر گرفته می‌شود. این پیامد می‌تواند بر اساس اهداف مأموریت و میزان پیروی از آن‌ها تعیین شود.

۲. پرهیز از تصادف: جلوگیری مناسب از وقوع تصادفات و اتمام مأموریت بدون هیچ‌گونه حادثه‌ای، می‌تواند پیامدی مثبت در نظر گرفته شود. این پیامد بر اساس اهمیت و جبرانی که از جلوگیری از تصادفات به دست می‌آید، تعیین می‌شود.

۳. صرفه‌جویی در سوخت: اگر خلبان توانایی صرفه‌جویی در سوخت را داشته باشد و موفق به کاهش مصرف سوخت هواپیما شود، نیز پیامدی مثبت اطلاق می‌شود. این پیامد می‌تواند بر اساس میزان سوخت صرفه‌جویی شده و هزینه‌های کاهش‌یافته تعیین گردد.

1 Zero-Sum Game

٤. ارتقاء سامانه ADS-B : در صورتی‌که سامانه مذکور بهبود یابد و عملکرد بهتری نسبت به وضعیت اولیه ارائه دهد (مانند افزایش دقت تشخیص خطاها، کاهش زمان پاسخگویی و غیره). این پیامد نیز می‌تواند بر اساس میزان بهبود و ارزش‌افزوده سامانه ADS-B تعیین شود.

٥. حفظ فاصله هواپیماها: اگر هواپیما و خلبان موفق به حفظ فاصله ایمن و جلوگیری از هرگونه تعارض در ترافیک هوایی و برخورد با دیگر هواپیماها شوند. این پیامد بر اساس اهمیت حفظ و بهبود ایمنی پرواز و اعتماد در صنعت هوانوردی تعیین می‌گردد.

٦. هوای مناسب: این عامل ممکن است در صورت مواجه شدن هواپیما با شرایط آب‌وهوای مطلوب (مانند آسمان صاف و بدون اختلالات هواشناسی) رخ دهد. این پیامد بر اساس میزان بهره‌وری و امکان انجام وظایف بهتر هواپیما تعیین می‌شود.

٧. عملکرد عالی سامانهADS-B : برخورداری از عملکرد عالی و دقت بالای سامانه ADS-B را نیز می‌توان از جمله پیامدهای مثبت در نظر گرفت. میزان این پیامد بر اساس دقت و قابلیت تشخیص و پیش‌بینی خطاها تعیین می‌گردد.

٨. خلبان با تمرکز بالا: در صورت دارا بودن خلبان از تمرکز بالایی و انجام وظایف به بهترین شکل ممکن از مصادیق آن است. میزان این پیامد نیز بر اساس بهره‌وری خلبان و عدم وقفه در عملکرد تعیین می‌شود.

به‌طورکلی، مواردی که می‌توانند به‌عنوان پیامد مثبت در نظر گرفته شوند، به شرایط و ویژگی‌های خاص مسئله، اهمیت‌های موردنظر و اهداف بازیکنان بستگی دارد.

مدل‌سازی مدل بازی در نرم‌افزار متلب

```
% پارامترها
num_players = 2; % تعداد بازیکنان
num_actions = 3; % تعداد عمل‌ها
num_rounds = 10; % تعداد دورها

% ماتریس پاداش
rewards = [1 -1 0; 0 1 -1;-1,0,1];

% ماتریس استراتژی
strategies = cell(num_players, 1);
for player = 1:num_players
    strategies{player} = randi(num_actions, num_rounds, 1);
end


% حلقه‌ی بازی
 delta1=0;  delta2=0;
for round = 1:num_rounds
    fprintf('دور %d:\n', round);
    for player = 1:num_players
        action = strategies{player}(round);
        fprintf('بازیکن %d: عمل %d\n', player, action);
    end

    % به دست آوردن پاداش‌ها
    player1_action = strategies{1}(round);
    player2_action = strategies{2}(round);
    reward1 = rewards( player1_action, player2_action);
    reward2 = rewards(player2_action, player1_action);

    fprintf('پاداش بازیکن 1: %d\n', reward1);
    fprintf('پاداش بازیکن 2: %d\n', reward2);
    sum1=  reward1 + delta1;
    sum2=  reward2 + delta2;
     delta1=sum1;
     delta2=sum2;
    fprintf('----------\n');
end
 disp( ['after the game, reward foe the frist player  is = ',num2str( sum1)]);
disp([' after the game, reward foe the second player  is = ',num2str(sum2)] );
```

شکل ۱۲. کد نمونه مدلسازی تئوری بازها در متلب

اگر تصمیم بر آن باشد که ماتریس استراتژی جدیدی تعریف کنیم، می‌توان به‌صورت زیر عمل کنید:

```
strategies = cell(2, 1);
strategies{1} = [1 2 3 2 1];
strategies{2} = [3 1 2 3 2];
```

با تغییر این مقادیر، ماتریس پیامد و ماتریس استراتژی به‌صورت دلخواه شما تعریف خواهند شد. نتایج مدل فوق برای حالت تصادفی طبق مدل‌سازی صورت‌گرفته توسط متلب به‌صورت شکل ۱۳ محاسبه شده است.

دور	بازیکن۱	بازیکن۲	پیامد بازیکن۱	پیامد بازیکن۲
۱	عمل۱	عمل۲	-۱	۰
۲	عمل۳	عمل۳	۱	۱
۳	عمل۱	عمل۱	۱	۱
۴	عمل۳	عمل۱	-۱	۰
۵	عمل۳	عمل۱	-۱	۰
۶	عمل۳	عمل۱	-۱	۰
۷	عمل۱	عمل۳	۰	-۱
۸	عمل۲	عمل۲	۱	۱
۹	عمل۱	عمل۲	-۱	۰
۱۰	عمل۳	عمل۱	-۱	۰
مجموع			-۳	۲

شکل ۱۳. نتایج یک نمونه محاسبات مدل‌سازی

همان‌طور که مشاهده می‌گردد در مدل تئوری مسئله صفر مقابل هم نتیجهٔ بهینه برای هر بازیکن ممکن است به صفر نرسد این در صورتی رخ می‌دهد که شرایط خاصی اتفاق بیفتد. در واقع، اگر هر دو بازیکن به طور هم‌زمان و بهینه اقدام کنند و استراتژی‌های بهینه خود را اعمال کنند، نتیجهٔ بازی می‌تواند به صفر برسد.

اما در موارد دیگر، نتیجهٔ بازی ممکن است غیرصفر باشد. این به معنای وجود نقاط تعادل غیرصفر در بازی است که در آن حالت هیچ یک از بازیکنان نمی‌تواند با انتخاب استراتژی دیگری بهبود خود را دریافت کند. در این صورت، نتیجهٔ نهایی بازی می‌تواند مقداری غیرصفر باشد.

بنابراین، در مدل تئوری مسئله صفر مقابل هم نتایج صفر نباید به طور قطعی تضمین شود و ممکن است بسته به شرایط و استراتژی‌های انتخاب شده توسط بازیکنان، نتایج متفاوتی حاصل شود.

نتایج و نتیجه‌گیری

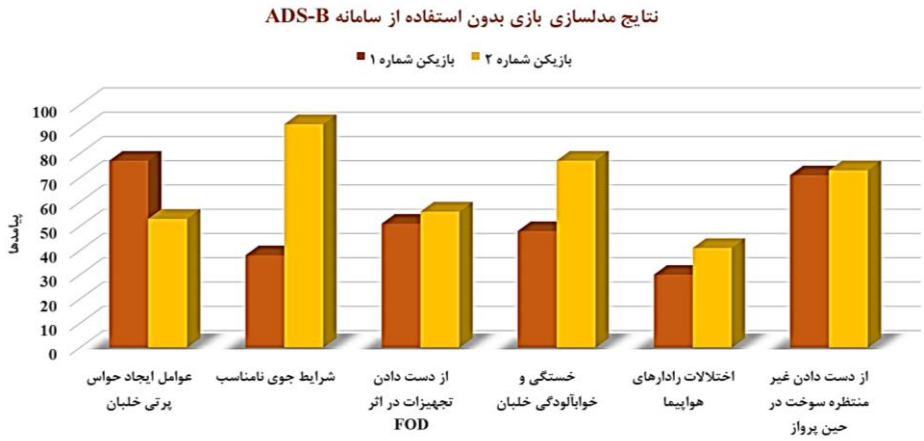
سیستم ADS-B یکی از عناصر مهم و تعیین‌کننده در نسل آینده سیستم‌های نظارتی صنعت حمل‌ونقل هوایی می‌باشد که امکان نظارت هم‌زمان برای خلبانان و کنترلرهای ترافیک هوایی و در نتیجه ارتقا ایمنی را فراهم می‌آورد. مدل بازی تئوری با استفاده از شبیه‌سازی و الگوریتم‌های تقویتی، می‌تواند بهبود استفاده

از سامانه ADS-B در پروازها را ممکن سازد. در شکل ۱۴ بخشی از نتایج مدل‌سازی بازی انجام شده، آورده شده است:

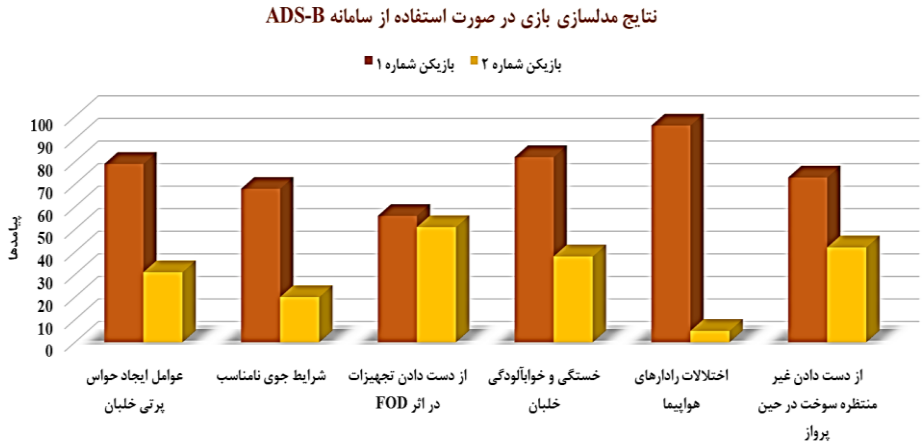
مدلسازی بازی				
بازی ها	نتایج مدلسازی بازی در صورت استفاده از سامانه ADS-B		نتایج مدلسازی بازی بدون استفاده از سامانه ADS-B	
	بازیکن شماره ۱	بازیکن شماره ۲	بازیکن شماره ۱	بازیکن شماره ۲
عوامل ایجاد حواس پرتی خلبان	79	31	77	53
شرایط جوی نامناسب	68	20	38	92
از دست دادن تجهیزات در اثر FOD	56	51	51	56
خستگی و خواب آلودگی خلبان	82	38	48	77
اختلالات رادارهای هواپیما	96	5	30	41
از دست دادن غیر منتظره سوخت در حین پرواز	73	42	71	73

شکل ۱۴. بخشی از نتایج مدل‌سازی بازی

همان‌طور که در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ مشاهده می‌شود نقش سامانه ADS-B بر بهبود ایمنی پرواز به خوبی قابل بیان است. در این مدل، می‌توان با استفاده از تئوری بازی، رفتار خلبانان را در مواجهه با هواپیماها و شرایط محیطی دیگر و تصمیماتی که در مورد تغییر مسیر، ارتفاع و سرعت می‌گیرند مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج حاکی از آن است که در صورت بهره‌گیری از سامانه ADS-B تاثیرات حوادث و اختلالاتی که در حین پرواز رخ می‌دهد کاهش یافته و پرواز ایمن‌تریرا شاهد خواهیم بود.

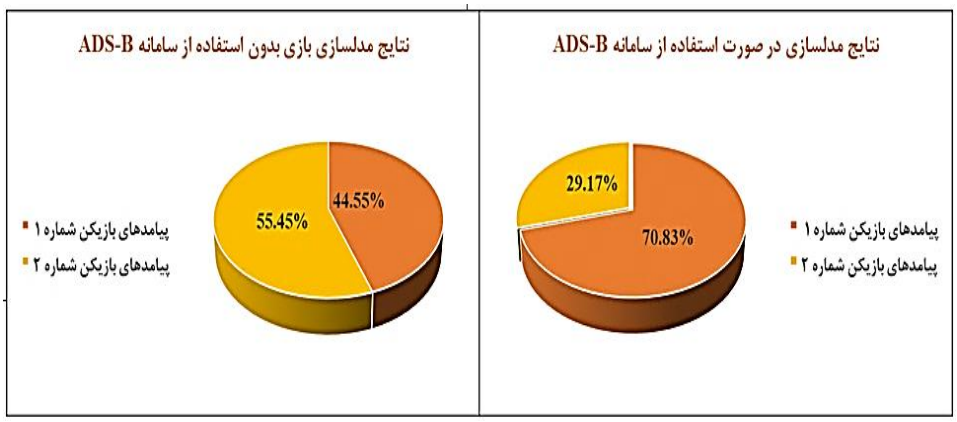


شکل ۱۵. بخشی مدل‌سازی بازی بدون استفاده از سامانه ADS-B



شکل ۱۶. بخشی مدلسازی بازی در صورت استفاده از سامانه ADS-B

در نهایت درصد برآیند پیامدهای دو بازیکن در شکل ۱۷ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در صورت بهره‌گیری از سامانه ADS-B در حدود ۵۹ درصد موجب بهبود ایمنی پرواز شده و خطرات و اختلالات محیطی کاهش یافته است.



شکل ۱۷. درصد پیامدهای حاصله از بازیکن ها در طول بازی در صورت استفاده و بدون استفاده از سامانه ADS-B

با بررسی‌های صورت‌گرفته نتایج زیر قابل‌برداشت است:

۱. از طریق مدل بازی، می‌توان:

- به تعیین استراتژی‌های بهینه برای خلبانان در استفاده از سامانه ADS-B پرداخت. این استراتژی‌ها می‌توانند شامل تصمیمات مربوط به تغییر مسیر، ارتفاع و سرعت باشند که باعث حفظ فاصله ایمن با هواپیماهای دیگر می‌شوند.
- به تعیین استراتژی‌های بهینه برای تغییر مسیر در شرایط خاص هواشناسی کمک کند. با دریافت اطلاعات دقیق از هواشناسی از طریق سامانه ADS-B، خلبانان می‌توانند تغییر مسیر مناسب را در نظر بگیرند و بهبود ایمنی پرواز را به دست آورند.
- امکان توسعه الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای خودکارسازی فرایند استفاده از سامانه ADS-B را فراهم ساخته و این الگوریتم‌ها می‌توانند به‌صورت خودکار تصمیمات مربوط به تغییر مسیر و سرعت را بر اساس اطلاعات دریافتی از سامانه ADS-B انجام دهند.

۲. فناوری سامانه ADS-B قلب سامانه‌های کنترل ترافیک آینده بوده و این سامانه:
- با ارسال بدون تأخیر اطلاعات، دقت و قابلیت اطمینان بالایی به همراه دارد.
- هزینه‌های به‌کارگیری این فناوری دیجیتال و سرعت راه‌اندازی آن پایین است.
- اطلاعات هواشناسی را به‌صورت گرافیکی یا هشدارهای پروازی به‌صورت متنی فراهم می‌کند.
- موجب بهبود تشخیص برخورد و وضوح ترافیک هوایی شده و به هواپیما اجازه می‌دهد موقعیت نسبی خود را بدون نیاز به یک زیرساخت فراهم کند.
- با انجام تغییرات لازم امکان استفاده در وسایل حمل‌ونقل زمینی نیز وجود دارد.

از جمله سایر کاربردهایی که به‌وسیله ADS-B می‌تواند مفید باشد عبارت‌اند از:

۱. توسعه و ارتقا عملیات جستجو و نجات[1]،
۲. بهبود دنبال نمودن پروازها،
۳. کنترل و عملیات چراغ‌ها،
٤. نیازمندی‌های عملیاتی وسایل نقلیه زمینی فرودگاه؛ نجات هواپیماها و ماشین‌های آتش‌نشانی،
٥. حفظ کارکرد وسایل اندازه‌گیری ارتفاع بالا،
٦. کنترل عملیات هوانوردی عمومی.

استفاده از سامانه ADS-B و استراتژی‌های بهینه مدل بازی که دارای توانایی دریافت و داشتن اطلاعات دقیق از موقعیت و سرعت سایر هواپیماها است، می‌تواند به بهبود ایمنی پروازها کمک کند. به‌طوری‌که می‌توان اقدامات مناسبی را در صورت شناسایی تهدیدها و خطرات انجام داد و ایمنی پرواز را بهبود بخشید.

همچنین، این سامانه می‌تواند به بهبود انسجام و هماهنگی بین هواپیماها کمک کند. به‌طوری‌که می‌توان هماهنگی بهتری در تغییر مسیر و سرعت انجام داد و تداخل‌ها را کاهش داد.

علاوه بر این، استفاده از ADS-B می‌تواند به بهبود کارایی و دقت در ارتباطات هوایی منجر شود. به‌طوری‌که اقدامات خلبانان می‌تواند به مناسبی را برای ارتباطات و مسیریابی انجام دهند.

از طرف دیگر، این سامانه با برنامه‌ریزی بهتر برای استفاده از فضای هوایی و تخصیص منابع بهتر می‌تواند به بهبود زمان‌بندی و ظرفیت فضای هوایی منجر شود.

همچنین، استفاده از ADS-B می‌تواند به بهبود کارایی در مصرف سوخت هواپیماها منجر شود. به صورتی که می‌توان تغییرات مناسبی در سرعت و مسیر پروازها اعمال کرده و مصرف سوخت را بهینه‌سازی کرد.

در نهایت می‌توان گفت این سامانه این قابلیت را دارد که به بهبود نظارت بر پروازها نیز کمک کند. به‌صورتی‌که می‌توان نظارت بیشتری بر پروازها داشت و در صورت لزوم اقدامات اصلاحی را انجام داد.

1 Search and Rescue

منابع و مراجع

B. Lim. (2014). Emerging Threats from Cyber Security in Aviation – Challenges and Mitigations, Journal of Aviation Management.
Boeing Aero Magazine Article on ADS-B. (2023). boeing.com.
Bruno and G. Dyer. (2008). “Engineering a US national Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) radio frequency solution,” Digital Communications – Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles.
D. Cenciotti. (2015). Online flight tracking provides interesting details about Russian air bridge to Syria, The Aviationist.
D. Jeyakodi. (2015). Cyber Security for Civil Aviation, 12th Air Navigat. Conf, Leiden University.
Edward A. Lester, R. John Hansman. (2007). Benefits and Incentives for ADS-B Equipage in the National Airspace System”Report No. ICAT.
Federal Aviation Administration. (2012). Aeronautical Information Manual, Washington: Government Printing Office.
GH, Abdoli. (2008). Game theory and its applications in static and dynamic games. University Jihad publication.
H. Duchamp, I. Bayram, R. Korhani, (2016). ”Cyber-Security, a new challenge for the aviation and automotive industries”, Seminar in Information Systems: Applied Cyber security Strategy for Managers.
K. Beheshti. (2009). Nash equilibrium game theory and Iranian rulers' perspective.
M. Mazloum. (2010). Types of games in game theory.
M. Strohmeier, M. Schäfer, V. Lenders, and I. Martinovic, (2014). “Realities and challenges of NextGen air traffic management: the case of ADS-B,” IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 5.
Wright. (2009). NAV CANADA implements ADS-B, in Integrated Commun., Navigation and Surveillance Conf., Arlington.

Journal of Modern Aviation and Techniques
Year 2, Number 1, spring 2025

Analyzing and investigating the role of pilot-dependent aircraft automatic surveillance cooperative system on improving flight safety conditions using game theory method

Abstract: Flight safety is one of the most important and fundamental elements of every flight. Considering the trend of air traffic growth and the need to provide more efficient and effective air services, increasing the safety and health of flights must also be increased. Therefore, in recent years, the pseudo-radar system, the cooperative automatic surveillance system of the aircraft dependent on the pilot in order to solve the difficulties in choosing radar sites during flight in adverse conditions; designed. In this article, the role of pilot-dependent automatic aircraft surveillance cooperative system in improving flight safety is analyzed and investigated. To analyze and investigate the role of the mentioned system, the game theory method, which is a branch of applied mathematics and is able to provide analysis of situations such as decision-making in some situations, using various tools. In this research, the game "Zero Problem vs Zero Sum Game" is used. By using the game theory, the behavior of the pilots in the face of other planes and the decisions they make about changing the route, altitude and speed were obtained. The results show that the use of the pilot-dependent automatic aircraft monitoring system, by helping in optimal decision-making and determining effective strategies, can improve flight safety by improving communication efficiency and reducing collisions by about 59%.

Key words: Flight safety, Air accidents, Pilot-dependent automatic aircraft monitoring cooperative system, Game theory.