

# شبیه سازی پهپاد و طراحی خلبان خودکار با استفاده از تست های نرم افزار در حلقه و سخت افزار در حلقه

مجید لنگری<sup>۱</sup>، حسین سلیمانی<sup>۲</sup>، محمد تقی صابری<sup>۳</sup> و یحیی میرمحمدصادقی<sup>۴</sup>  
مرکز تحقیقات هوایی سپهر، شرکت پراورپارس

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹ / ۱۱ / ۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹ / ۹ / ۱۵

## چکیده

در این مقاله، ابتدا به توصیف روند شبیه سازی پهپاد با استفاده از نرم افزار ایروسیم<sup>۵</sup> پرداخته می شود. سپس، مراحل طراحی برنامه خلبان خودکار و آزمایش الگوریتم های مختلف کنترلی با استفاده از تست نرم افزار در حلقه، جهت انتخاب بهترین شیوه کنترلی با توجه به محدودیتهای عملیاتی تشریح می گردد. در مرحله بعد، با استفاده از آزمایش سخت افزار در حلقه به بررسی صحت عملکرد برنامه خلبان خودکار پرداخته میشود. در نهایت، نتایج استخراج شده از تستهای پروازی یک نمونه پهپاد جهت مقایسه با مراحل قبل ارائه میشود. با توجه به اینکه طراحی الگوریتم های کنترلی در مدل غیرخطی هواپیما در حضور اغتشاشات جوی و نویز انجام گرفته، شبیه سازی انجام شده مطابقت زیادی با پرواز واقعی داشته و منجر به کاهش چشمگیر تستهای پرهزینه پروازی شده است.

**واژه های کلیدی:** پهپاد، شبیه سازی، نرم افزار در حلقه، سخت افزار در حلقه، طراحی خلبان خودکار

## UAV Simulation and Autopilot Design with SILS & HILS

M.Langari, H.Soleimany, Y.Mir Mohammad Sadeghi, M.T.Saberi

### ABSTRACT:

In this article, the trend of UAV design using the AerSim software is first described then, different design steps of the autopilot program and the algorithms control tests using software - in - the - loop test in used for choosing the best control methods. In the next step, using the hardware - in - the - loop test, the auto - pilot program is validated. Finally, the flight test results & a real UAV is presented for comparison purpose. Since this control algorithm has been designed for a non-linear model aircraft considering the atmospheric noise, the results match well will real data and thus cause considerable decrease in real life tests.

**Key Words:** UAV, Simulation, Software-in-loop, Hardware-in-loop, Autopilot Design

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، [h.soleimany.329@gmail.com](mailto:h.soleimany.329@gmail.com)

<sup>۳</sup> کارشناس

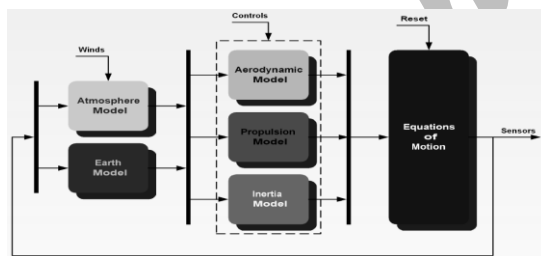
<sup>۴</sup> کارشناس

<sup>۵</sup> AeroSim

## ۱- مقدمه

معادلات آن تاثیرات ناپایداری و اغتشاشات جوی و همچنین اثرات میدان مغناطیسی زمین لحاظ گردیده است. در محاسبه نیروها و ممان های آیرودینامیکی بر اساس شیوه جمع آثار، شش ضریب اصلی با توجه به وضعیت لحظه ای پرنده استخراج شده و با استفاده از معادلات مرسوم، به تحلیل وضعیت پرنده پرداخته می شود. در بخش معادلات حرکت مجموعه ای از بلوک ها قرار دارد که معادلات دیفرانسیلی حرکت را به صورت غیرخطی در دو دستگاه بدنه و مرجع حل کرده و موقعیت، سرعت و وضعیت لحظه ای پرنده را مشخص می نماید. در پایان مرحله شبیه سازی رفتار پرنده در حالت حلقه باز<sup>۵</sup> آنالیز و پس از تایید صحت صحت شبیه سازی توسط خلبان و تطبیق با تستهای پروازی، برای استفاده در مراحل طراحی خلبان خودکار آماده میشود.

جهت آموزش خلبانان ناآشنا با دینامیک پرواز پرنده مورد نظر، واحد شبیه سازی امکان اتصال رادیو کنترل های مختلف را برای کنترل پرنده شبیه سازی شده، به برنامه اضافه کرده است. همچنین با ایجاد ارتباط بین شبیه ساز و نرم افزارهای مشاهده گر پرواز مانند فلایت گیر<sup>۶</sup>، امکان مشاهده سه بعدی پرواز به صورت زمان واقعی<sup>۷</sup> میسر شده است [۱-۲].



شکل (۱): ساختار اصلی شبیه ساز ابروسیم.

امروزه شبیه سازی و آزمایش های نرم افزار در حلقه و سخت افزار در حلقه از پیش نیاز های اساسی جهت طراحی خلبان خودکار پهباد می باشند. طی نمودن گام به گام این مراحل به شدت احتمال تخریب های واقع شده بر پرنده و سخت افزارهای مربوطه را که ممکن است در یک تست پروازی اتفاق افتد کاهش می دهد. شرکت پراورپارس به منظور شبیه سازی پهبادهای خود چندین نرم افزار را مورد استفاده قرار داده است که در طول این تحقیقات نرم افزار ابروسیم که توسط دانشگاه ام.آی.تی<sup>۱</sup> و با همکاری شرکت یو-دینامیکس<sup>۲</sup> طراحی و تولید گردیده و در محدوده زیر صوت از دقت بالایی برخوردار است، به عنوان مطلوب ترین نرم افزار شبیه سازی شناخته شده است. از مزایای مهم این نرم افزار می توان به این نکته اشاره کرد که با توجه به اینکه این نرم افزار تحت برنامه سیمولینک<sup>۳</sup> عمل می کند، می توان از این شبیه ساز در طراحی خلبان خودکار و همچنین تستهای نرم افزار در حلقه و سخت افزار در حلقه نیز استفاده نمود [۱].

## ۲- شبیه سازی پهباد

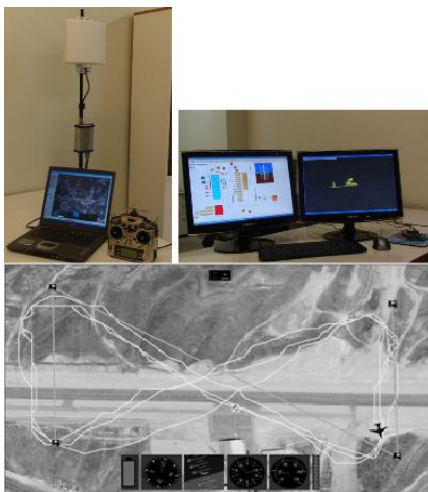
نرم افزار ابروسیم اطلاعات کلی پرنده را به صورت یک فایل متنی که شامل بخش های مختلفی از جمله مشخصات آیرودینامیکی، ویژگی های ملخ، اطلاعات مربوط به موتور و مشخصات اینرسی پهباد می شود، دریافت می کند. به منظور بدست آوردن این اطلاعات از نرم افزارهای مختلفی استفاده گردیده که به عنوان نمونه برای محاسبه ضرایب آیرودینامیکی و مشتقات پایداری، از کدهای رایج محاسبه ضرایب و همچنین برنامه ای.وی.ال<sup>۴</sup> استفاده شده است.

ابروسیم برای شبیه سازی پرواز، مدل دینامیکی پهباد را به بخش ها و بلوک های مختلفی تقسیم کرده است که در شکل ۱ این تقسیم بندی مشخص شده است. مدل دینامیکی پرنده به صورت شش درجه آزادی و غیرخطی است و در حل

Open Loop<sup>۵</sup>  
FlightGear<sup>۶</sup>  
Real-time<sup>۷</sup>

MIT<sup>۱</sup>  
u-dynamics<sup>۲</sup>  
Simulink<sup>۳</sup>  
AVL<sup>۴</sup>

پروازی را ارائه دهد. با در اختیار داشتن این ابزار می توان صحت عملکرد خلبان خودکار و ایستگاه زمینی، ارتباط مخابراتی میان آن ها، ضرایب کنترلی پرنده و ماموریت انتخاب شده را بدون قرار دادن پرنده و خلبان خودکار آن در معرض خطرات تست پروازی آزمایش نمود. همچنین با این وسیله می توان ابزار ایده الی جهت آموزش مراحل عملیات برای کاربران در داخل اتاق فراهم آورد. هر چند آزمایش سخت افزار در حلقه نمی تواند جایگزین تست پروازی گردد لیکن با پیدا کردن نقاط ضعف و نواقص کار می تواند به شدت احتمال تخریب های واقع شده بر پرنده و سخت افزارهای مربوطه را که ممکن است در یک تست پروازی اتفاق افتد کاهش دهد. شکل ۳ نمونه ای از آزمایش سخت افزار در حلقه را که بر روی یک پهپاد تا مرحله عبور از نقاط مسیر انجام گرفته است نمایش می دهد [۳].



شکل (۳): تصویری از ماموریت عبور از نقاط مسیر (WayPoint) در آزمایش سخت افزار در حلقه.

#### ۵- مقایسه نتایج استخراج شده از تستهای پروازی با

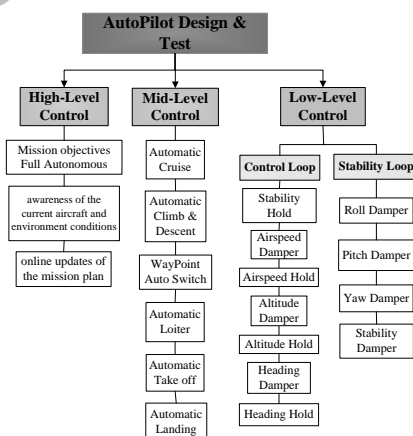
##### تست های نرم افزار در حلقه و سخت افزار در حلقه

جدول ۱ ضرایب کنترلی یک نمونه پهپاد را که در طی تست های مختلف حاصل شده اند نمایش می دهد. با توجه به دقت بالای شبیه سازی، ضرایب استخراج شده برای کنترل

#### ۳- طراحی خلبان خودکار و تست نرم افزار در حلقه

با استفاده از شبیه ساز و طراحی نرم افزاری خلبان خودکار، امکان آزمایش الگوریتم های مختلف کنترلی بر روی پهپاد مورد نظر با صرف کمترین هزینه و زمان میسر می شود. اساس کار طراحی نرم افزاری خلبان خودکار به این صورت است که سنسورهای خروجی از شبیه ساز نرم افزار ابروسیم به صورت پس خورد<sup>۱</sup>، وارد بلوک اتوپایلوت می شود که تحت نرم افزار

سیمولینک نوشته شده است و پس از آنالیز وضعیت هواپیما توسط برنامه، خروجی عملگرهای<sup>۲</sup> برنامه اتوپایلوت وارد شبیه ساز ابروسیم میشود. این برنامه نرم افزاری خلبان خودکار از مراحل ابتدایی پایداری و کنترل آغاز شده و در نهایت کلیه مراحل پرواز از زمان بلند شدن و صعود، انجام ماموریتی از پیش تعیین شده تا فرود پرنده را شامل می شود. روند طراحی و تست خلبان خودکار بر روی پهپاد مورد نظر در شکل ۲ نمایش داده شده است [۱].



شکل (۲): مراحل طراحی و تست خلبان خودکار.

#### ۴- تست سخت افزار در حلقه

آزمایش سخت افزار در حلقه، آزمایشی است که بدون هیچ گونه خسارت و هزینه می تواند تمامی قابلیت های تست

Feedback<sup>۱</sup>  
Actuators<sup>۲</sup>

پهپاد در سه مرحله تطابق زیادی داشته و باعث کاهش چشمگیر تست های پرهزینه ی پروازی شده است.

**جدول (۱):** مقایسه ضرایب کنترلی در مدهای پایدار کننده چرخش، پیچش و نگهدارنده سرعت در تستهای نرم افزار در حلقه، سخت افزار در حلقه و پرواز واقعی.

تست پروازی	سخت افزار در حلقه	نرم افزار در حلقه	
KP=0.7 , KI= 0.07 , KD=0	KP=0.65 , KI=0.0 , KD=0	KP=0.6 , KI= 0.08 , KD=0	پایدارکننده رول
KP=0.5 , KI= 0.07 , KD=0	KP=0.5 , KI=0.08 , KD=0	KP=0.3 , KI= 0.1 , KD=0	پایدارکننده پیچ
KP=-0.05 , KI=0 , KD=0	KP=-0.05 , KI=0 , KD=0	KP=-0.01 , KI=- 0.007 , KD=0	کنترل کننده سرعت

#### ۶- نتیجه گیری

استفاده از ابزارهای روز دنیا جهت طراحی خلبان خودکار پهپاد، تنها راه جلوگیری از تخریب های احتمالی در پرواز و کاهش زمان و هزینه تست های مربوطه است. این ابزارها عبارتند از شبیه سازی، آزمایش نرم افزار در حلقه و آزمایش سخت افزار در حلقه. با در اختیار داشتن این ابزارها می توان شبیه سازی کاملی از محیط عملیات ایجاد کرده و از صحت عملکرد خلبان خودکار و ایستگاه زمینی، ارتباط مخابراتی میان آن ها، ضرایب کنترلی پرنده و ماموریت انتخاب شده بدون قرار دادن پرنده و خلبان خودکار آن در معرض خطرات تست پروازی اطمینان حاصل نمود. همچنین، با این محیط شبیه سازی شده می توان ابزار ایده الی جهت آموزش کاربران در شرایط لابراتواری فراهم آورد. دسترسی به چنین ابزاری برای شرکت های تحقیقاتی و تجاری که در زمینه پهپاد کار می کنند و زمان، هزینه و ایمنی سه پارامتر مهم جهت رسیدن به اهداف تحقیقاتی و سودآوری مالی است بسیار ضروری می نماید.

#### مراجع

1. [www.U-dynamics.com/Aerosim](http://www.U-dynamics.com/Aerosim)
2. Basler, M. , Spott, M. , Buchanan, S. , Berndt, J. , Buckel, B. , Moore, C. , Olson, C. , Perry, D. , Selig, M., and Walisser, D. "The FlightGear Manual Version 1.0", December 15, 2007.
3. Vaglianti, B. , Hoag, R., and Niculescu, M. "Piccolo Hardware-in-Loop, Software-in-Loop