ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان چاپ:۱۴۰۲/۰۹/۲۰

تحلیل و بررسی استفاده و بهره بردن از نظریه بازی برای دستیابی به پیکربندی بهینه و مطلوب هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد)

امیر شاطری

فارغ التحصیل مقطع کارشناسی پیوسته مهندسی برق موسسه آموزش عالی آپادانا شیراز؛ ایران

Amir.sh۱۹۷۷۹@gmail.com

چکیده

از آنجایی که تداخل چند رشته ای و تداخل اجزا اغلب بر تصمیم گیری و تجزیه و تحلیل پیکربندی هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) در طول فرآیند طراحی مفهومی تأثیر مستقیم و غیر قابل قبول می گذارد، در این تحقیق و مقاله رویکردی از نظریه بازی چند بعدی را بر اساس اجزای هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) برای مقابله با این مشکل ارائه می دهد. ایده این است که فرآیند تصمیم گیری پیکربندی به عنوان بازی برای رشته ها و فناوری های مختلف در نظر گرفته می شود و اجزای هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) بازیکنان تشکیل دهنده این تئوری و نظریه هستند. تابع پرداخت با بالاترین سود کل به این معنی است که با توجه به پروتکل های بازی و تئوری چند بعدی، پیکربندی بهینه هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) در مجموعه استراتژی انتخاب می شود. مدل تصمیم‌گیری برای فرآیند طراحی مفهومی هواپیمای بدون سرنشین (UAV) با استقامت طولانی ارتفاع بالا (HALE) بر اساس ارزیابی ریسک فن‌آوری اعمال می‌شود. پیکربندی بهینه به دست آمده کاملاً با روند توسعه فعلی پهپاد HALE سازگار است. بنابراین، با در نظر گرفتن عوامل کوپلینگ و تداخل، مدل بازی چند بعدی مبتنی بر اجزای هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) یک روش تحلیلی موثر در فرآیند تصمیم‌گیری پیکربندی بهینه هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) خواهد بود.

کلمات کلیدی: تصمیم گیری؛ پیکربندی بهینه و مطلوب؛ اجزای هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد)؛ ریسک تکنولوژیک؛ رشته های جفت شده؛ نظریه بازی چند بعدی؛ دخالت

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۱- مقدمه

از رابطه بین درجه آزادی و هزینه طراحی در فرآیند طراحی هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) [۱]، می‌توان دریافت که تصمیم‌گیری پیکربندی تأثیر مهمی بر پیشرفت طراحی دارد. در حال حاضر، انتخاب پیکربندی هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) عمدتاً بر اساس تجربیات کارشناسان ارشد یا سیستم های خبره است. هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) یک سیستم عظیم است، عوامل زیادی مانند مکانیک کلاسیک، آیرودینامیک، مکانیک سازه، تئوری کنترل، زیبایی شناسی و غیره باید در طراحی آن در نظر گرفته شود، بنابراین استنتاج پیکربندی و فرآیند تصمیم گیری بر اساس کارشناسان یا سیستم های خبره بسیار است. پیچیده است و کارایی اغلب کاهش می یابد. به عنوان شاخه ای از ریاضیات کاربردی، نظریه بازی به طور گسترده ای در زمینه های اقتصاد، زیست شناسی، سیاست و غیره به کار گرفته شده است. تئوری بازی یک روش تصمیم گیری بین بازیکنانی است که با یکدیگر تعامل دارند و به یکدیگر وابسته هستند. بر اساس مقایسه بین طراحی هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) و نظریه بازی، برخی تحقیقات در مورد بازی در طراحی و تحلیل هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) انجام شده است [۲-۳]. این تحقیقات عمدتاً بر موضوعات بهینه‌سازی چند رشته‌ای و تاکتیک‌های پرواز متمرکز است. اما تعداد کمی به تصمیم گیری پیکربندی مفهومی توجه دارند. بنابراین با توجه به تأثیر طراحی اجزا، مکان و تداخل بر عملکرد رشته‌های کلیدی و ریسک فناوری، یک مدل بازی چند بعدی برای فرآیند تصمیم‌گیری پیکربندی بهینه هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) در این تحقیق و مقاله ایجاد شده است.

۲- تئوری بازی های چند بعدی

۲-۱- تعریف

تئوری بازی بازی‌ای است که در آن افراد یا تیم‌ها استراتژی‌های ممکن را به طور همزمان یا متوالی انتخاب می‌کنند تا با توجه به اطلاعات شناخته شده در شرایط خاص یا شرایط محدود، به درآمد بالایی برسند [۴]. دارای پنج عامل است: بازیکن، استراتژی، دستور تصمیم گیری، عملکرد سود و اطلاعات. وقتی تصمیم در چندین زمینه گرفته می شود، بازی را نظریه بازی چند بعدی می نامند. مدل بازی شامل دو بازیکن G برابر است با (u_1, u_2 ؛S_1, S_2) که Si (i=۱،۲) فضای استراتژی هر بازیکن و رابط کاربری (i=۱،۲) تابع بازده هر بازیکن است.

۲-۲- پروتکل و تعادل

با توجه به عوامل و شخصیت های بازی، روند بازی را می توان در چند نوع به تصویر کشید. در این تحقیق و مقاله اجزای هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) به عنوان بازیکنان بازی در نظر گرفته می شوند، بنابراین بر اساس بازیکنان مختلف، پروتکل تعاونی، غیر همکار و رهبر/پیرو معرفی می شود. (۱) پروتکل همکاری در این پروتکل، هر دو بازیکن اطلاعات یکدیگر را دارند و برای یافتن راه حل پارتو با هم کار می کنند. یک جفت (x_{1p}, x_{2p}) بهینه پارتو است اگر جفت دیگری (x_1, x_2) وجود نداشته باشد، به این ترتیب:

$$\left\{\begin{array}{l} u_i(x_1,x_2) \le u_i(x_{1p},x_{2p}) i=1,2 \\ u_j(x_1,x_2) < u_j(x_{1p},x_{2p}) \\ ForAtLeastOne,\ j=1,2 \end{array}\right\} \quad (۱)$$

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

(۲) پروتکل غیر همکار این پروتکل زمانی اتفاق می افتد که ائتلاف کامل بازیکنان به دلیل سازمان، اطلاعات یا موانع فرآیند ممکن نباشد. بازیکنان باید با این فرض که انتخاب تصمیم گیرندگان دیگر انجام شده است، تصمیم بگیرند. در یک رویکرد تکراری، راه حل نهایی نش به دست خواهد آمد. یک جفت استراتژی (x_{1N} ،x_{2N}) یک راه حل نش است اگر:

$$\left\{\begin{array}{l} u_1(x_{1N}, x_{2N}) = \max\limits_{x_1} u_1(x_{1N}, x_{2N}) \\ u_2(x_{1N}, x_{2N}) = \max\limits_{x_2} u_2(x_{1N}, x_2) \end{array}\right\} \quad (۲)$$

راه حل تعادل نش این ویژگی را دارد که نقاط ثابت دو زیر مجموعه از فضای امکان پذیر باشد:

$$(x_{1N}, x_{2N}) \in S_{1N}(x_{2N}) S_{2N}(x_{1N}) \quad (۳)$$

جایی که:

$$\left\{\begin{array}{l} S_{1N}(x_2) = \{x_{1N} \mid u_1(x_{1N}, x_2) = \max\limits_{x_1} u_1(x_1, x_2)\} \\ S_{2N}(x_1) = \{x_{2N} \mid u_2(x_1, x_{2N}) = \max\limits_{x_2} u_2(x_1, x_2)\} \end{array}\right\} \quad (۴)$$

مجموعه‌های واکنش منطقی (RRS) دو بازیکن نامیده می‌شوند. RRS یک بازیکن تابعی است که واکنش های او را نسبت به تصمیمات سایر بازیکنان نشان می دهد. (۳) پروتکل رهبر/پیرو هنگامی که یک بازیکن بر دیگری تسلط دارد، آنها یک رابطه رهبر/پیرو دارند. این یک اتفاق رایج در فرآیند طراحی است، زمانی که یک رشته بر طراحی مسلط است (زمانی که یک رشته نقش بزرگی ایفا می کند)، یا در یک فرآیند طراحی که شامل اجرای متوالی فرآیندهای انضباطی مرتبط به هم است. اگر P۱ ابتدا استراتژی خود را با فرض اینکه P۲ منطقی رفتار می کند، اعلام کند، رهبر است. بنابراین مدل P۱ به عنوان یک رهبر به شرح زیر است:

$$\left\{\begin{array}{l} Max[u_1(x_1, x_2)] \\ s.t.[x_2 \in S_{2N}(x_1)] \end{array}\right\} \quad (۵)$$

که در آن P۲ RRS $S_{2N}(x_1)$ است.

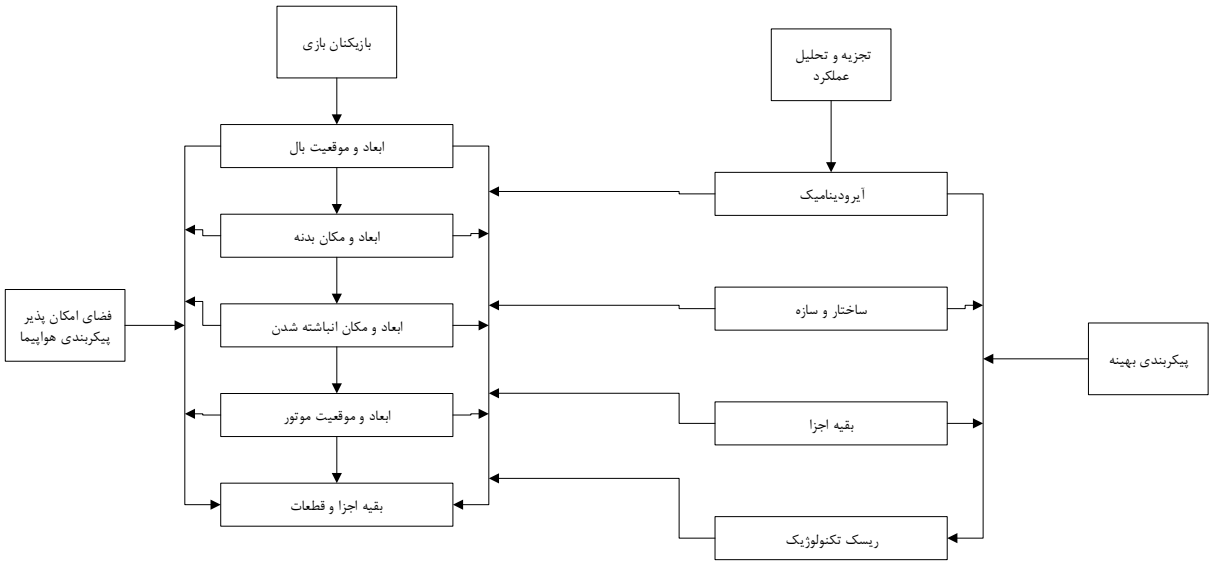
برای توصیف دقیق نظریه بازی، پروتکل های ذکر شده در بالا با توابع نشان داده می شوند. بازی معمولی معمولاً با ماتریسی نشان داده می شود که بازیکنان، استراتژی ها و بازده ها را نشان می دهد.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۳- مدل تصمیم گیری

از دیدگاه سنتی، هواپیما دارای اجزای اصلی مانند بال، بدنه، خروجی، موتور، زیرانداز و غیره است. بال سطح اصلی بالابر است، بدنه حاوی بار است، خروجی نقش مهمی در آن دارد با تثبیت و کنترل هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد)، موتور نیروی محرکه را در حین پرواز فراهم می کند و زیرنشین ها هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) را در فرآیندهای برخاست و فرود پشتیبانی می کنند. هنگامی که الزامات طراحی مشخص شد، پس چه اجزایی باید انتخاب شوند، چگونه اجزای انتخاب شده باید طراحی شوند و چه نوع تداخلی بین آنها وجود دارد، مسائل بازی بین اجزای هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) را تشکیل می دهد. تصمیم گیری پیکربندی بهینه هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) نیز با سطح توسعه فناوری کلیدی مرتبط است. به عنوان مثال، تحولات دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) ، مواد جدید، کنترل هوشمند و فناوری الکترونیکی ممکن است منجر به پیکربندی پیشرفته هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) شود و فرصت و چالشی را برای طراحی ایجاد کند. به عنوان یک مهندسی دوره طولانی، برای طراحان هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) ضروری است که به تحولات این فناوری های کلیدی و روند توسعه آنها توجه کنند. بنابراین شناسایی سطوح فناوری کلیدی و ریسک طراحی، پیش نیاز تصمیم گیری پیکربندی بهینه است. در مفهومی مرحله طراحی، برای به دست آوردن پیکربندی بهینه هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد)، رشته های مهم و اتصال بین آنها نیز باید در نظر گرفته شود. بر اساس روش‌های استقرار عملکرد کیفیت (QFD) برای شناسایی فناوری کلیدی [۵] و اصل مکان‌یابی شاخص عملکرد [۶-۷]، وزن‌های عملکرد به هر رشته مهم اختصاص داده می‌شود. از تجزیه و تحلیل بالا، طراحی اجزا، مکان، تداخل، جفت رشته ها، ریسک تکنولوژیکی و غیره در نظر گرفته شده و فرآیند تصمیم گیری پیکربندی بهینه با استفاده از تئوری بازی چند بعدی در این تحقیق و مقاله شبیه سازی شده است. نمودار جریان تصمیم گیری در شکل ۱ نشان داده شده است. ایده تصمیم‌گیری پیکربندی هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) این است که اجزای هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) بازیکنان هستند و استراتژی‌ها یا ترکیب استراتژی‌ها برای هر رشته مهم و ریسک فن‌آوری ارزیابی می‌شوند و سپس درآمد یک بعدی را دریافت می‌کنند. تمام رشته‌های مهم برای دستیابی به پیکربندی بهینه ترکیب می‌شوند که مجموعاً بالاترین درآمد را با تئوری بازی‌های چند بعدی [۸] همراه با وزن‌های شاخص عملکرد اختصاص‌یافته دارد.



شکل ۱. نمودار (فلوچارت) جریان تصمیم گیری پیکربندی بهینه هواپیما بر اساس تئوری بازی چند بعدی.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۴- تجزیه و تحلیل تصمیم گیری وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین (پهپاد) با استقامت طولانی ارتفاع بالا (HALE)

در این تحقیق و مقاله از پهپاد HALE به عنوان هواپیمای بدون سرنشین تایید کننده استفاده شده است. روند تحقیقات اخیر نشان دهنده علاقه روزافزون به استفاده از هواپیمای HALE به عنوان یک جایگزین کم هزینه برای انجام ماموریت های اطلاعاتی، نظارتی و شناسایی (ISR)، رله مخابراتی و غیره است. به منظور استفاده موثر از پهپاد HALE که این ماموریت ها را انجام می دهد، هواپیمای بدون سرنشین باید بتواند در ارتفاع بسیار بالا عمل کند تا حداکثر پوشش را با مدت زمان طولانی ماموریت به دست آورد. با تجزیه و تحلیل الزامات طراحی این پهپاد HALE [۹-۱۰]، زمینه های عملکرد زیر مورد مطالعه قرار می گیرد: ۱) ویژگی آیرودینامیکی پیشرفته،۲) پنهان کاری،۳) آیروالاستیک،۴) ساختار و مواد پیشرفته، ۵) کنترل مستقل، ۶) محموله سنگین و ۷) نیروی محرکه.

از طریق مدل بازی ایجاد شده، می‌توانیم تصمیم‌گیری پیکربندی پهپاد HALE را در اینجا تجزیه و تحلیل کنیم. با توجه به اینکه سطوح توسعه فناوری تأثیرات مهمی در انتخاب پیکربندی دارد، ریسک فناوری نیز در نظر گرفته می شود. در این فرآیند تحلیل، ارزیابی ریسک فناوری بر اساس سطوح توسعه فعلی فناوری است. با فرض اینکه موتور از قبل مشخص شده باشد، وزن‌ها برای شش عملکرد مهم دیگر مطابق با الزامات طراحی پهپاد HALE با استفاده از روش QFD تعیین می‌شوند. وزن عملکردها و ریسک تکنولوژیک نرمال شده و در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. وزن شاخص عملکرد پهپاد HALE

ریسک تکنولوژیک	ظرفیت ترابری	پایداری	آیروالاستیک	پنهان کاری	ساختار	آیرودینامیک	کارایی
۰,۲۵	۰,۱	۰,۱	۰,۱	۰,۱۵	۰,۱۵	۰,۱۵	وزن

بازیکنان اجزای انتخاب شده بال، بدنه، خروجی و موتور هستند. تنظیمات ممکن برای اجزای پهپاد HALE در جدول ۲ نشان داده شده است. در این مثال، پروتکل همکاری اعمال می شود.

جدول ۲. استراتژی های امکان پذیر برای پیکربندی اجزای پهپاد

استراتژی	بازیکن
پیوسته؛ ترکیب شده؛ بلند و مستقیم	بال
ترکیبی؛ تک لوله؛ لوله جفت شده	بدنه پهپاد
معمولی؛ دم وی شکل؛ بوم نصب شده؛ بدون دم	دم
بر روی بال نصب شده؛ بر روی بدنه نصب شده	موتور

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

عملکرد مؤلفه ها و تداخل آنها با یکدیگر نشان داده شده در جدول ۲ به ترتیب [۱۱-۱۴] با توجه به عملکرد نشان داده شده در جدول ۱ ارزیابی می شوند. رتبه بندی هر جزء با ۱، ۳، ۵، ۷ یا ۹ بیان می شود، که در آن ۱ است. نشان دهنده بدترین عملکرد و ۹ نشان دهنده بهترین عملکرد است. تداخل ها به عنوان سودمند و مضر طبقه بندی می شوند. امتیاز تداخل سودمند بین ۱,۰ تا ۲,۰ و تداخل مضر بین ۰ تا ۱,۰ است. نتیجه بازی در جدول ۳ نشان داده شده است. پیکربندی بهینه مفهومی پهپاد HALE C۱ یک پیکربندی معمولی و پیکربندی دوم C۲ بدنه بال ترکیبی (BWB) بدون دم است. تصاویر آنها در شکل ۲ و ۳ توضیح داده شده است. از آنجایی که وزن ریسک تکنولوژیکی در این مثال بالاترین مقدار تعیین شده است، پیکربندی متعارف برنده انتخاب بهینه است که نشان دهنده یک استراتژی تصمیم گیری کاملا محافظه کارانه است.

جدول ۳. پیکربندی های جایگزین پهپاد HALE برای برآوردن الزامات عملکرد.

توالی نتایج تصمیم گیری	موتور	دم	بدنه پهپاد	بال	تنظیمات بهینه سازی
۱	نصب شده بر روی بدنه	مرسوم	تک لوله ای	بلند-مستقیم	C۱
۲	نصب شده بر روی بدنه	بدون دم	ترکیبی	ترکیبی	C۲
۳	نصب شده بر روی بدنه	وی شکل	ترکیبی	ترکیبی	C۳
۴	نصب شده بر روی بدنه	بدون دم	ترکیبی	پیوسته	C۴
۵	نصب شده بر روی بدنه	وی شکل	تک لوله ای	بلند-مستقیم	C۵

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شکل ۲. پیکربندی تصویر نمونه پهپاد C۱ (پهپاد شاهد ۱۴۹ نمونه خوبی برای این پیکربندی است).

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شکل ۳. پیکربندی تصویر C۲ (پهپاد سیمرغ نمونه خوبی برای این پیکربندی است).

با توجه به تصمیم گیری، در مقایسه با پیکربندی های دیگر، ریسک فناوری C۱ کمتر است و عملکرد کنترل و تثبیت بهتر است، اما عملکرد مخفی کاری بدتر به نظر می رسد. پیکربندی C۲ در زمینه های مخفی کاری و حمل محموله بهتر به نظر می رسد، اما عملکرد کنترل و تثبیت بدتر است و فناوری طراحی نسبتاً بالغ نیست. هر دو C۱ و C۲ عملکرد آیرودینامیکی بهتری دارند، اگرچه طراحی آیروالاستیک چالش بزرگی برای هر دوی آنها است. در دنیای کنونی، پهپاد معمولی HALE مانند "شاهد ۱۴۹" دارای بال مستقیم طولانی، بدنه تک لوله، دم V و موتور نصب شده روی بدنه است. این پیکربندی جایگاه پنجم را در بین تمام بیست و چهار پیکربندی می گیرد. این را می توان با دو دلیل توضیح داد: دلیل اول این است که تجربه طراحی و کنترل یک دم V ممکن است در طراحی "شاهد ۱۴۹" در ایران کاملا بالغ باشد، بنابراین دم V می تواند جایگزین دم افقی معمولی و دم عمودی شود. دلیل دوم ممکن است این باشد که از آنجایی که "شاهد ۱۴۹" در ایران نسل اول پهپاد HALE است، استفاده از پیکربندی‌های مفهومی که ریسک فناوری نسبتاً بالایی دارند، مناسب نیست.

۵- نتیجه گیری

سهم این تحقیق و مقاله معرفی یک روش تصمیم گیری پیکربندی هواپیما کارآمد است. عمدتاً سه ویژگی دارد: ۱- بر اساس مقایسه بین تصمیم گیری و نظریه بازی، نظریه بازی چند بعدی در فرآیند تصمیم گیری هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) به کار گرفته می شود و یک رویکرد موثر برای انتخاب پیکربندی بهینه ارائه می شود. ۲- در مقایسه با روش‌های تصمیم‌گیری فعلی، تداخل اجزای هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد) در این تحقیق و مقاله لحاظ شده است و نتیجه تصمیم‌گیری معتبرتر است. ۳- در فرآیند تصمیم گیری هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد)، ارزیابی ریسک تکنولوژیکی این روش را بیشتر به طراحی عملی

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

نزدیک می کند. با در نظر گرفتن پهپاد HALE به عنوان مثال، امکان‌سنجی این روش تصمیم‌گیری تایید می‌شود و نتایج به خوبی با روند توسعه پهپاد HALE و کشتی حسگر مطابقت دارد.

منابع و مراجع

۱. Chen Q F. Distributed co-evolutionary multidisciplinary design optimization methods for flying vehicles. PhD thesis, National University of Defense Technology, ۲۰۰۳. [in Chinese]
۲. Lewis K E. The tradeoffs between cooperative and approximate cooperative formulations in multidiscipline design. AIAA-۱۹۹۸-۴۹۲۳, ۱۹۹۸.
۳. Clarich A, Poloni C, Pediroda V. A competitive game approach for multi-objective robust design optimization. AIAA-۲۰۰۴-۶۵۱۱, ۲۰۰۴.
۴. Wang Z K, Li J. Introduction to game theory. Beijing: Renmin University of China Press, ۲۰۰۴. [in Chinese]
۵. Lin Y, Wang H P. A method for identifying important design features in aircraft conceptual design phase. Computer Simulation ۲۰۰۸; ۲۵(۸): ۴۷-۵۰. [in Chinese]
۶. Liu X D, Song B F. Research on the index systems for conceptual/preliminary design comprehensive evaluation of combat aircraft. Systems Engineering and Electronic ۲۰۰۴; ۲۶(۴): ۴۴۹-۴۵۳.
۷. Zhang K S, Li W J, Wei H Y, et al. A new method for optimum allocation of design requirement in aircraft conceptual design. Chinese Journal of Aeronautics ۲۰۰۶; ۱۹(۳): ۲۰۳-۲۱۱.
۸. Tan D Q. Multidimensional game theory. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, ۲۰۰۵. [in Chinese]
۹. Baullinger N, Page V, Schwartzberg A, et al. High altitude long endurance RPV. AIAA-۱۹۸۹-۲۰۱۴, ۱۹.
۱۰. Goraj Z, Frydrychiewicz A, Winiecki J. Design concept of a high-altitude long-endurance unmanned aerial vehicle. Aircraft Design ۱۹۹۹; ۲(۱): ۱۹-۴.
۱۱. Raghavan B, Patil M. Flight dynamics of high aspect-ratio flying wings: effect of large trim deformation. AIAA-۲۰۰۷-۶۳۸۳, ۲.
۱۲. Sadr Lahidjani M H, Ovesy H R, Shams S. Aeroelastic and flutter analysis of a flexible wing. AIAA-۲۰۰۳-۱۴۹۲, ۲۰۰۳.
۱۳. Martinez J R, Flick P, Perdzock J, et al. An overview of sensorcraft capabilities and key enabling technologies. AIAA-۲۰۰۸-۷۱۸۵, ۲۰۰۸.
۱۴. Tuzcu I, Marzocca P, Cestino E, et al. Stability and control of a high-altitude, long-endurance UAV. Journal of Guidance, Control and Dynamics ۲۰۰۷; ۳۰(۳): ۷۱۳-۷۲۱.