

(علمی-پژوهشی)

بررسی تغییرات در شبیه‌سازی ساختاری پایدارکننده ژیروسکوپی سه‌محوره

رویکردی نوین برای بررسی تغییرات در فرآیند شبیه‌سازی ساختاری یک پایدارکننده ژيروسکوپی سه‌محوره حامل دوربین، ارائه شده است. روند ارائه شده، شامل تصمیم‌گیری مدیریتی و نحوه شناسایی بهترین مسیر فرآیند بررسی تغییرات می‌باشد. ربات نمونه فانتوم با ۳۲ مؤلفه که نیمی از آنها مربوط به هندسه ساختار پرنده و نیم دیگر مربوط به لقایقه (گیمبال) سه‌محوره هستند انتخاب شده است. پیوندهای ساختاری بین عناصر با فرض تقارن در یک ماتریس ساختار طراحی قرار می‌گیرند. یک مقدار تأثیر تغییر ثابت برای همه پیوندها و یکی از سه مقدار، ۰/۳، ۰/۵، و ۰/۸ بترتیب برای احتمال تغییر پایین، متوسط و بالا اندازه‌گیری و در ماتریس‌ها لحاظ شده است. به علاوه، مجموعه‌ای از شاخص‌ها برای کمک به طبقه‌بندی مؤلفه‌های گوناگون سیستم به عنوان پذیرنده یا بازتابنده تغییر، ایجاد و یک شاخص انتشار تغییر نرمال، قدرت نسبی هر مؤلفه را در طیف جذب کننده تا افزاینده با ضریب بین -۱ تا +۱ معرفی شده است. این روش بر روی ربات نمونه پیاده‌سازی شده است.

واژه‌های کلیدی: بررسی تغییرات، ماتریس ساختار طراحی، پایدارکننده ژيروسکوپی، ربات پرنده

حمیدرضا مقدس نجف آباد^{۱*}، علی محمودی^{۱**} و فرشاد پازوکی^{۱***}

۱- گروه مهندسی هوافضا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، کدپستی: ۱۴۷۷۸۹۳۸۵۵

* دانشجوی دکتری

** استادیار (نویسنده پاسخگو)، ایمیل:

ali.mahmoodi@srbiau.ac.ir

*** استادیار

Investigation of Changes in Structural Simulation of Three-axis Gyroscopic Stabilizer

A new approach is presented for the management of controlling the changes in design process of a triaxis gyroscopic stabilizer for a camera mounted on a flying robot. It includes decision-making and the way of identifying the best Investigation of the control process. As a prototype, the Phantom Flying Robot is considered with 32 components which half of them are related to the geometry of its drone and the others to the triaxis gimbal. Structural links between elements the assumed to be symmetric and are arrayed in a design structure matrix. A constant value for change effect for all links is assumed as well as three values: 0.3, 0.5, and 0.8 for low, medium, and high change properties respectively. Additionally, various components of the system are classified as acceptors or reflectors of changes with aid of some indicators. A normal change diffusion index between -1 and +1 shows the relative strength of each component in absorber-to-enhancer spectrum. The method is implemented in the prototype.

Keywords: Change Investigation, Design Structure Matrix, Gyroscopic Stabilizer, Flying Robot

HR. Moghadas Najaf Abad^{1*}, A. Mahmoodi^{1**} and F. Pazooki^{1***}

1- Department of Aerospace Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Postal Code: 1477893855, Tehran, IRAN

* Ph.D. Student

** Assistant Professor (Corresponding Author): Email:

ali.mahmoodi@srbiau.ac.ir

*** Assistant Professor

۱- فهرست علائم و اختصارات

ماتریس فعالیت‌های اجزاء	Components Activity-Design Structure Matrix (CA-DSM)
نرم‌افزار مدل‌سازی پیشرفته کمبریج	Cambridge Advanced Modeller (CAM)
عدد اثر منابع مصرفی	Cost and Time (CT)
ماتریس ساختار طراحی	Design Structure Matrix (DSM)
عدد احتمال اثر	Probability Effect (PE)

۲- القای آسیب DNA با تشعشعات فضایی

تغییر مهندسی، یک فعالیت عمده و قابل توجه در پروژه‌های صنعتی می‌باشد. تغییر مهندسی از زمان تبیین مفاهیم تا فرآیند شبیه‌سازی و تحقق و نیز ساخت و بهره‌برداری و حتی در خدمات پس از فروش وجود دارد [۱]. یک نمونه بسیار واضح از انتشار تغییر مربوط به گروه تحقیقاتی اسمارت تول لب^۱ در سال ۲۰۰۵ است. مورد مطالعاتی آنها مسیر انتشار یک تغییر، که در پنجره عقب یک اتومبیل ایجاد شده است، را از طریق چندین مؤلفه واسطه به سپر جلوی اتومبیل نشان می‌دهد. به دلیل زیبایی تصمیم گرفته شد که به پنجره عقب یک خودروی در حال توسعه شیب (با عمق کم) بیشتری داده شود. این کار باعث جمع شدن بیشتر برف و یخ در انتهای پنجره عقب در زمستان می‌شد. بنابراین، نیاز به یک دستگاه یخ زدای^۲ بزرگتر برای پنجره عقب بود. آزمایش مشخص کرد که یخ زدای بزرگتر جریان بیشتری از سیستم الکتریکی می‌گیرد. از این‌رو، به یک جایگزین بزرگتر برای سیستم الکتریکی نیاز بود. وزن بیشتر یخ زدای جدید باعث ایجاد مشکل ارتعاش می‌شد، بنابراین به سازه بزرگتری برای پایه‌ها نیاز بود. سرانجام مشخص شد که وجود این تکیه‌گاه‌های اضافی باعث کاهش فضای له شدن^۳ هنگام تصادف از جلو می‌شوند. این زنجیره تغییرات در نهایت منجر به شبیه‌سازی مجدد سپر جلو می‌شد.

فازهای مختلف چرخه عمر یک محصول هوافضایی در مرجع [۲] تشریح شده ولی تمام هنر و علم مهندسی سیستم‌ها می‌بایست در فازهای شبیه‌سازی به کار گرفته شود، چراکه تغییرات در فازهای بعدی تا ۱۰۰ برابر بیشتر، اعمال هزینه می‌کند. همچنین، حدود ۹۰ درصد هزینه چرخه عمر محصول، متأثر از گزینه‌ای است که در پایان فاز شبیه‌سازی اولیه نهایی

می‌شود [۳]. از طرفی، تحقیقات مختلف بیان می‌کنند که «تغییرات شبیه‌سازی»، یک سوم ظرفیت شبیه‌سازی مهندسی را تشکیل می‌دهد [۴-۶]. مدیریت جامع محصول، کلید موفقیت در مدیریت کسب و کار است و مدیریت تغییرات، هسته اصلی مدیریت جامع محصول است. یک محصول مهندسی از تعداد زیادی اجزاء^۴، زیرسیستم‌ها و روابط بین آنها تشکیل شده و ایجاد یک تغییر در یک جزء یا زیرسیستم، زنجیره‌ای از تغییرات را در محصول ایجاد می‌کند. به هر حال موقعیت معمول شبیه‌سازی و تولید محصولات نشان می‌دهد که هسته اصلی تغییرات مهندسی به صورت عمده بر ردیابی و ذخیره سازی تغییرات مهندسی متمرکز است و نقصان تحلیل کمی و ارزیابی این تغییرات، مشاهده می‌شود [۷]. در بین فعالیت‌های شبیه‌سازی محصول، این «تغییرات مهندسی» هستند که می‌توانند به شکل قابل ملاحظه‌ای رشد کنند و تأثیرات قابل توجهی بر توسعه محصول بگذارند [۸-۹]. مرجع [۱۰] بر تغییرات در مدل محصول مهندسی دو بعدی متمرکز است و یک روش جدید پیش‌بینی تغییر را براساس دو مرحله پیشنهاد می‌کند. اول، وابستگی بین پارامترهای اجزای سازه‌ای از طریق آزمایش مشخص می‌شود. این وابستگی‌ها از نظر کیفی، کمی و با معادلات مشخص می‌شوند. سپس، تغییرات از طریق شبکه وابستگی‌ها منتشر شده و نتایج آنها محاسبه می‌شود. برای نشان دادن این رویکرد از یک مدل مهندسی دو بعدی استفاده شده است. مرجع [۱۱] براساس مفهوم مرکزیت شبکه‌های وزنی (درجه، قابلیت دسترسی / کوتاه‌ترین مسیر و مسیر بینایی)، روش کمی را برای اندازه‌گیری مستقیم و غیرمستقیم تأثیرات و تجزیه و تحلیل تغییرات به صورت عینی تر توسعه داده است. عملکرد در سطح محصول به عنوان محدودیت‌های احتمالی خارجی در تمام قسمت‌های محصول مورد بررسی قرار گرفته است. در مرجع [۱۲] یک مدل انتشار تغییر برای پیش‌بینی انتشار تغییر در فعالیت‌های پایین دست به دلیل درجات مختلف تغییر که ممکن است در مراحل مختلف در طول یک پروژه شبیه‌سازی آغاز شود، پیشنهاد شده است. تغییر آغاز شده باعث تغییر درجات مختلف به جانشینان فوری آن می‌شود. مقادیر احتمال تغییر برای هر وابستگی یک ماتریس انتقال ایجاد می‌کند. مدل پیشنهادی از این ماتریس‌های گذار برای به تصویر کشیدن انتشار تغییر در پایین دست استفاده می‌کند. سپس، مدل انتشار تغییر برای برنامه‌ریزی تغییرات منتشر شده و ارزیابی تأثیر کلی در تکمیل و شبیه‌سازی مجدد طراحی با مدل زمان‌بندی ادغام می‌شود. در مرجع [۱۳]، روشی به نام نمایندگی مطلوب

1. Smart Tool Lab
2. Defroster
3. Crush Space

4. Component

شده است. نمایشگرهای ارائه شده به دلیل نمایش اتصالاتی که توسط روش‌های استاندارد قابل نمایش نیستند، امکان تجزیه و تحلیل دقیق‌تر انتشار تغییر را فراهم می‌کنند. مرجع [۱۸] فرآیند تغییر پایدار را برای تعریف پارامتر طراحی پایدار و تجسم انتشار تغییر پایدار به جای چک لیست پیشنهاد می‌کند. این فرآیند برای تعیین اولویت بازطراحی محصولات با استفاده از دینامیک سیستم، برای طراحان مفید است. در مرجع [۱۹]، رویکردی مبتنی بر استدلال کیفی برای تجزیه و تحلیل وابستگی‌ها در میان متغیرهای شبیه‌سازی برای کمک به طراحان هنگام مذاکره درباره محدودیت‌ها توسعه یافته است. رابطه کمی و کیفی بین متغیرهای شبیه‌سازی با یک شبکه وابستگی نشان داده شده است. الگوریتمی برای استخراج وابستگی بین متغیرهای تعیین کننده و محدودیت‌ها (اهداف) برای حل تعارض ایجاد گردیده و گزینه‌های شبیه‌سازی براساس این وابستگی‌ها تولید می‌شوند. مشاهده شده است که روش مبتنی بر منطق فازی برای توصیف اطلاعات وابستگی نا دقیق در شبیه‌سازی مناسب است. در مرجع [۲۰]، روشی برای مدیریت تغییرات شبیه‌سازی در فرآیندهای پیچیده شبیه‌سازی مهندسی معرفی شده است. نوآوری این روش شامل موارد زیر است: روش کوتاهترین مسیر برای یافتن بیشترین صرفه‌جویی در مسیرهای انتشار برای تغییرات پی در پی ارائه شده است و یک روش تجزیه و تحلیل حساسیت محلی برای محاسبه تأثیرات شبیه‌سازی ایجاد شده توسط یک تغییر آغاز کننده بر فعالیت‌های طراحی وابسته در پایین دست ایجاد شده است. در مرجع [۲۱]، ریسک انتشار توابع طراحی با استفاده از نمودار تکنیک تحلیل عملکردی سیستم، ماتریس نگاشت دامنه و ماتریس ساختار طراحی مولفه که به عنوان ورودی یک نرم افزار انتشار تغییر هستند، ارزیابی شده است. در مرجع [۲۲]، جنبه‌های مختلفی از یک مدل وابستگی و روش تجزیه و تحلیل انتشار تغییر در زمینه طراحی هواپیما ارائه شده است. در مرجع [۲۳]، تکنیک‌هایی وجود دارد که مدارهای مربوط به طراحی سیستم را تأیید می‌کند. این تکنیک‌ها برای تهیه یک برنامه مهندسی موثر، جایی که تخمین‌ها، نحوه تکرارهای شبیه‌سازی و بررسی‌ها و نحوه جریان اطلاعات در طول شبیه‌سازی سیستم استفاده می‌شود، نشان داده شده‌اند. هدف مرجع [۲۴] ایجاد روشی برای جستجوی مسیرهای انتشار تغییر است. بدین ترتیب که مدل محصول از منظر پیوند پارامترها ساخته شده و از طریق

تغییر ارائه و بررسی شده است. این روش با استفاده از اطلاعات موجود داده‌های محصول، پیامدهای احتمالی تغییر را در یک محصول ثبت نموده و همچنین از آنها برای تسهیل بازنمایی تغییر، انتشار و ارزیابی کیفی استفاده می‌کند. عناصر اصلی طرحواره مدل اطلاعات موجودیت‌ها، روابط موجودیت‌ها و ویژگی‌هایی است که موجودیت‌ها را توصیف می‌کند. این روش ارزیابی و تغییر را در سطح ویژگی تسهیل می‌کند. در مرجع [۱۴]، یک روش جدید برای توصیف و پیش بینی نحوه تغییر از طریق پیوند بین توابع و مولفه‌ها معرفی شده است. در این روش لینک‌های غیرمستقیم زیادی به نمایش گذاشته می‌شود که در صورت عدم استفاده از این روش به راحتی نادیده گرفته می‌شوند. بنابراین، دانش عمیقی در مورد اتصال محصول به کاربر ارائه می‌دهد که از کارایی فرآیندهای شبیه‌سازی به ویژه در ارتباطات طراحی پشتیبانی می‌کند. این روش را می‌توان با در نظر گرفتن احتمال پیوند ویژگی‌های منحصر به فرد برای گسترش تغییر، در قالب یک تجزیه و تحلیل احتمالاتی بکار گرفت. با این کار این روش به ابزاری مفید برای ارزیابی ریسک تبدیل می‌شود. در این روش یک محیط پشتیبانی رایانه‌ای فراهم می‌شود که به کاربر کمک می‌کند در مورد عملکرد و فرم به روشی سیستماتیک فکر نموده و ارتباطات و مسیرهای انتشار را تجسم کند.

مرجع [۱۵] بر استخراج و تحلیل یک مجموعه داده بزرگ متشکل از بیش از ۴۱,۵۰۰ درخواست تغییر ایجاد شده در هنگام شبیه‌سازی یک سیستم حسگر پیچیده متمرکز شده است. هدف این تحقیق درک بهتر ماهیت تغییر و گسترش تغییر و ترسیم راه حل‌های کاربردی برای برنامه‌های توسعه آینده در مقیاس مشابه است. از مستندات طراحی برای ایجاد DSM به نمایندگی از ساختار مورد نظر برنامه استفاده شده است و سپس داده‌ها برای تولید یک ماتریس DSM تغییر، با توصیف ساختار واقعی تغییر برنامه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. مرجع [۱۶]، الگوریتمی جدید مبتنی بر محاسبه ماتریس را ایجاد کرده است که می‌تواند مستقیماً در مدل عددی DSM محصول برای تجزیه و تحلیل انتشار مورد استفاده قرار گیرد. الگوریتم عددی پیشنهادی الگوریتم شمارش ردیابی را پیاده‌سازی می‌کند که در حال حاضر تنها با روش‌های جستجوی جامع امکان‌پذیر است. کاربرد این الگوریتم عددی در مدل یک هلی‌کوپتر واقعی به اثبات رسیده است. تجسم انتشار تغییرات مورد توجه ویژه صنعت است. در مرجع [۱۷] چندین روش برای نمایش داده‌های انتشار تغییر با استفاده از تکنیک‌های پیچیده تجسم اطلاعات معرفی

2. Functional Analysis System Technique (FAST)
3. Domain Mapping Matrix (DMM)
4. Component Design Structure Matrix (C-DSM)
5. Change Propagation Analysis (CPA)

1. Change Favorable Representation (C-FAR)

(علمی-پژوهشی)

حمیدرضا مقدس نجف آباد، علی محمودی و فرشاد پازوکی

از مدیریت تغییر مهندسی است. در ادبیات تحقیق، یکی از ثابت‌ترین روش‌ها برای پیش‌بینی تغییر، روش تغییر پیش‌بینی^۱ است. با این حال، مانند اکثر روش‌های دیگر که تغییر را از طریق احتمال انتشار از طریق وابستگی‌ها پیش‌بینی می‌کنند، CPM دارای سه محدودیت اساسی است: الف) ذهنی بودن داده‌های ورودی، ب) قابلیت مدل‌سازی فقط موارد عمومی و ج) عدم پویایی مجموعه داده ورودی. در مرجع [۳۱] هر سه محدودیت مذکور با استفاده از اطلاعات تلفیقی برگرفته از مدیریت اینترفیس نسبت به روش پیش‌بینی تغییر برطرف شده‌اند. با مرور مقالات انجام شده از سال ۱۹۸۱ تاکنون، در جدول ۱ لیست مقالات عمده که از روش‌های ذکر شده جهت بررسی تغییرات استفاده کرده‌اند، ارائه شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود روش «ماتریس-پایه» بیشترین استفاده و روش «مدل-پایه» کمترین استفاده‌ها را در مدیریت تغییرات مهندسی داشته است. مدل تئوری همیشه قابل دستیابی نیست یا همیشه کامل نیست و بنابراین لازم است تا به نوعی مدل وابستگی‌ها استخراج شود [۱۶]. این مدل بسیار ساده‌تر از مدل تئوری است که بر جنبه‌های مشخصی از محصول یا سیستم متمرکز می‌شود. این مدل نیازی به معادلات دقیق و قوانین منطقی بین پارامترها ندارد اما در عین حال اجازه می‌دهد به ۱- جهت تغییرات و ۲- پیش‌بینی مقادیر جدید دست یافت. در روش مدل-پایه^۲، مدل‌های موجود به منظور مشخص کردن مقادیر جدید^۳ و همچنین جهت تغییرات^۴ به کار گرفته می‌شوند. درحالی‌که در مدل وابستگی‌های خالص نمی‌توان مقادیر قطعی جدید را تعیین کرد ولی با جستجوی جهت تغییرات می‌توان این مقادیر را پیش‌بینی و مسیر پایان رشد تغییرات را تعیین و پیش‌بینی نمود [۱۰]. در این مقاله، سعی شده است به کمک روش‌ها و تکنیک‌هایی فازهای تاثیرگذار شبیه‌سازی مورد توجه جدی قرار گیرد و این از وجوه تمایز این تحقیق با موارد مشابه است. همانطور که در جدول ۱ ملاحظه شد، در کنار تکنیک‌های متنوع توسعه داده شده در مطالعه تغییرات مهندسی، ماتریس‌های ساختار طراحی به طور گسترده‌ای مورد استقبال قرار گرفته‌اند تا ارتباط بین پارامترها را ذخیره کنند. DSM ابزار خوبی جهت نگاشت جریان اطلاعات و ذخیره تاثیرات آنها در محصول است [۱].

آن مکانیزم انتشار تغییرات تجزیه و تحلیل شده است. سپس، یک روش جستجو براساس مدل محصول و مکانیزم انتشار تغییر پیشنهاد شده است. همچنین، مشخص شده است که پیوندهای پارامتر در طرح‌ها می‌تواند به روشی ساختاریافته با دو نوع پیوند پارامتر سازماندهی شود و انتشار تغییر یک روند جایگزین برای انتشار نفوذ و مسیر تغییر است. این روش از جستجو و انتخاب بهینه مسیرهای انتشار تغییر پشتیبانی می‌کند. مرجع [۲۵] بیان می‌کند DSM که عمدتاً تاکنون در زمینه مدیریت مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است، به طور فزاینده‌ای در موضوعات پیچیده مدیریت بهداشت، سیستم‌های مالی، سیاست‌های عمومی، علوم طبیعی و سیستم‌های اجتماعی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین توضیح واضح و روشنی از روش DSM برای پزشکان و محققان ارائه می‌دهد. مرجع [۲۶] در مورد تجزیه و تحلیل رفتار تغییر، توسعه مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی ریسک انتشار تغییر از نظر احتمال و تأثیر تغییر و همچنین توسعه یک نمونه اولیه از ابزار پشتیبانی رایانه‌ای برای طراحی‌های پیچیده مانند یک هلی‌کوپتر بحث می‌کند. در مرجع [۲۷] تکنیکی ارائه شده که برای ارزیابی بهتر تغییرپذیری سیستم‌های مهندسی پیچیده مورد استفاده قرار گرفته و به این سوال که «چگونه می‌توان تغییرپذیری سیستم را ارزیابی کرد؟» پاسخ داده است. این روش هم تغییرات برنامه‌ریزی شده‌ای که توسط عوامل برون‌زا مانند نیازهای جدید مشتری ایجاد شده‌اند و هم انتشار تغییرات بالقوه‌ای که می‌تواند دنبال شود را در نظر گرفته است. مرجع [۲۸] با هدف بهبود مدیریت تغییر مهندسی روشی را ارائه نموده است که تغییرات مهندسی را بطور زود هنگام تشخیص دهد و برای کنترل آنها بصورت موثر و کارآمد تصمیم‌گیری نماید.

مرجع [۳۰] با ترکیب شبیه‌سازی انتشار تغییرات با الگوریتم‌های بهینه‌سازی، یک رویکرد یکپارچه برای برنامه‌ریزی تغییرات طراحی در فرآیند پیچیده توسعه محصول ارائه داده است. الگوریتم ژنتیک برای یافتن احتمال انتشار بهینه برای هر مسیر انتشار اختیاری به منظور دستیابی به کمترین زمان اجرای فرآیند به مدل فرآیند تغییر اعمال و نشان داده شده است که رویکرد یکپارچه به ویژه هنگامی که طراحان برای تحویل دستاوردهای خود تحت فشار قرار گرفته‌اند، می‌تواند بهتر از روش شبیه‌سازی مونت کارلو و به موقع راه حل بهینه را پیدا کند. تغییرات مهندسی در طول چرخه عمر محصول مطرح می‌شوند و اگر به طور موثر مدیریت نشوند، ممکن است تأثیرات منفی شدیدی بر زمان شبیه‌سازی، هزینه و کیفیت محصول داشته باشند. تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی انتشار تغییر مهندسی یک بخش اساسی

1. Change Prediction Method (CPM)
2. Pure Model-Based Method
3. New Values
4. Direction of the Changes

جدول (۱): مقایسه روش‌های مختلف بررسی تغییرات مهندسی.

ردیف	نام مقاله	روش تغییر مشخصات			روش دقیق‌سازی			روش نمایش رشد تغییرات		
		احتمال	بررسی تاثیرات کیفی	بررسی تاثیرات کمی	ماتریس پایه	مدل پایه	الگوریتم پایه	درخت رشد تغییرات	شبکه رشد تغییرات	شاخص‌های رشد تغییرات
۱	Cheng and Chu (2012)[11]		*	*	*			*	*	
۲	Chua and Hossain (2012) [12]		*		*	*				
۳	Clarkson et al. (2004) [26]	*		*	*	*	*			
۴	Cohen et al. (2000) [13]		*		*	*	*	*		
۵	Flanagan et al. (2003) [14]		*		*	*		*		
۶	Giffin et al. (2009) [15]	*			*	*	*	*	*	
۷	Hamraz et al. (2013a) [16]	*		*	*	*	*			
۸	Hamraz et al. (2013c) [31]	*		*	*	*				
۹	Keller et al. (2005) [17]	*		*	*	*	*	*		
۱۰	Kim et al. (2013) [18]	*		*	*	*	*	*	*	
۱۱	Kusiak and Wang (1995) [19]		*	*	*	*	*	*		
۱۲	Li and Zhao (2014) [30]	*		*	*	*	*	*		
۱۳	Li et al. (2016) [20]	*		*	*	*	*	*		
۱۴	Oduncuoglu (2011) [21]	*		*	*	*	*	*		
۱۵	Rutka et al. (2006) [22]	*		*	*	*	*	*		
۱۶	Steward (1981) [23]				*	*	*	*		
۱۷	Yang and Duan (2012) [24]			*	*	*	*	*	*	
جمع مقالات استفاده کننده از روش		۱۰	۵	۱۰	۱۳	۶	۴	۶	۴	
مقاله حاضر		*	*	*	*	*	*	*	*	

در این مقاله، الزامات ساختاری (ابعادی) با بسیاری از اجزاء در ارتباط است و هر یک از این اجزاء می‌توانند یک جزء آغاز کننده تغییر باشند، به نحوی که الزامات یا تغییرات آنها را برآورده سازند. یک جزء آغاز کننده تغییر با «مسیرهای رشد تغییرات» متعددی در ارتباط است [۹]. این مقاله روش جستجوی مسیرهای رشد تغییرات بهینه برای «درخواست تغییر» را توسعه می‌دهد. نقاط قوت این تحقیق در مقایسه با تحقیقات مشابه بررسی شده عبارتند از:

۱- در اکثر کارهای انجام شده کمتر به فازهای پراهمیت طراحی پرداخته شده است، حال آنکه در تحقیق جاری تمرکز بر شبیه‌سازی فاز طراحی است.

۲- ماتریس محصولی و فعالیت‌ها (که از فرآیندهای طراحی استخراج شده‌اند) با یکدیگر ترکیب شده و ماتریس ترکیبی CA-DSM (ماتریس

- ۳- از اکثر روش‌های مندرج در جدول ۱ به صورت ترکیبی استفاده شده است.
- ۴- تکیه بر دانش سرطراح به موازات نرم‌افزار بررسی تغییرات در بررسی رشد تغییرات و رسیدن به بهینه‌ترین مسیر تغییر از نتایج این تحقیق است.
- ۵- روش استفاده شده در این تحقیق به طور انعطاف‌پذیر قابل پیاده‌سازی در سایر پروژه‌های مهندسی^{*} نیز می‌باشد.

تعریف چند شاخص^۵ جهت کمی کردن بررسی رشد تغییرات و انتخاب بهینه‌ترین مسیر تغییر، در زمینه‌های احتمال اثر، منابع مصرفی، زمان، بهبود الزامات و گلوگاه از ویژگی‌های این تحقیق است.

- ۱- Originating change component (OCC)
۲. Change Propagation Path (CPP)
3. Change Requirement

4. Large Engineering Projects (LEP)
5. Index

۳- طرح مسئله

مدیریت تغییرات مهندسی^۱ یک امر حیاتی در توسعه و تحقق محصول است [۴]. در این مقاله طرح‌ریزی مدیریت بررسی تغییرات برای سیستم‌های پیچیده ارائه شده است. بسیاری از مقالات ارائه شده در زمینه پیش‌بینی فرآیند بررسی تغییرات به این نکته اشاره کرده‌اند که فعالیت آنها راه حل مناسبی برای یک سیستم پیچیده نمی‌باشد و فقط برای محصولاتی با حجم ارتباطی کم قابل پیاده‌سازی است. تفاوت بررسی تغییرات در سیستم‌های پیچیده مانند محصولات هوافضایی در موارد زیر خلاصه شده است:

- تنوع بسیار بالای پارامترهای سیستمی،
- حجم ارتباط بسیار زیاد بین اجزاء مختلف،
- دانش گسترده ارتباط بین اجزاء،
- ارتباط تو در تو پارامترها با یکدیگر و
- محدودیت‌های زیاد طراحی و ساخت.

موارد بالا فرآیند پیش‌بینی بررسی تغییرات را پیچیده کرده است. در صورت انجام بررسی تغییرات طبق مدل‌های معمول، با زنجیره تغییرات بسیار زیاد و بدون نقطه اتمام برخورد خواهیم کرد. بنابراین، کارکرد این فعالیت در موارد زیر خلاصه می‌شود:

- توسعه شبیه‌سازی طراحی مفهومی (بررسی رشد تغییرات در طراحی)،
- بررسی تغییرات در فرآیندهای شبیه‌سازی طراحی،
- ارتباط ملموس بین کلیه زیربخش‌های درگیر در فعالیت‌های پروژه و
- بررسی تغییر در محصولات با ارتباطات بالا و پیچیده.

۴- متدولوژی حل مسئله

در این مقاله، ساختار ارائه طرح‌ریزی بررسی تغییرات برای سیستم‌های پیچیده از چهار قسمت تشکیل شده است که عبارتند از:

- ماتریس CA-DSM (ارتباطات بین پارامترها)،
- سطوح قیدگذاری پارامترها در طراحی،
- مدل انتقال در بین پارامترها و
- سنجش تغییر.

۵- ماتریس فعالیت‌های اجزاء

(CA-DSM) روش DSM (استفاده از ماتریس‌های ساختار طراحی) یک مدل تبادل اطلاعات است که با چرخش اطلاعات این امکان را به شبیه‌ساز می‌دهد تا ارتباط بین پارامترهای

سیستمی را مشخص کند. [۲۵]. احتمالات و تاثیرات تغییرات بین اجزاء سیستم در DSM ذخیره می‌شوند تا تغییرپذیری سیستم‌های مهندسی پیچیده را تعیین و تشخیص دهد [۲۶-۲۷]. در این مقاله دو مدل از ماتریس‌های DSM به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته است. دلیل استفاده از یک ماتریس ترکیبی، بررسی ساده‌تر تغییرات برای محصولات پیچیده است. ارتباط بین اجزاء در فرمت DSM محصولی و ارتباط بین فعالیت‌ها در فرمت DSM فعالیت‌ها تبیین می‌شود. ماتریس دربردارنده این دو ویژگی به نام ماتریس ساختار طراحی فعالیت‌های محصولی (CA-DSM) در شکل ۱ به نمایش در آمده است. در این شکل پارامترهای سطح یک شامل پارامترهای ارتباط‌دهنده بین زیرسیستم‌ها و یا اجزاء مشخص در قطر ماتریس بزرگ هستند و پارامترهای سطح دو شامل پارامترهای ارتباط دهنده بین فعالیت‌های مختلف داخل ماتریس‌های کوچک برای هر یک از اجزاء ماتریس بزرگ می‌باشند. شبیه‌سازی هر یک از اجزاء در یک زیرسیستم می‌تواند نتیجه فعالیت چندین متخصص باشد ولی یک فعالیت حاصل یک تیم یا یک نفر به صورت فعالیت موازی است. به همین دلیل انتخاب چنین ماتریسی کمک شایانی به تسریع و ساده کردن روابط جهت بررسی تغییرات می‌کند.

۶- ارزیابی تغییرات مهندسی (CAM)

حساسیت‌سنجی تغییرات طراحی می‌بایست به موازات فرآیند شبیه‌سازی توسعه یابد [۳۰]. همان‌طور که فرآیند شبیه‌سازی در حال حرکت به جلوس، فرآیند حساسیت‌سنجی تغییرات نیز بر فعالیت‌های متأثر می‌بایست پیش برود. عدم تحقق این مهم به بسته نشدن حلقه تغییرات منجر می‌شود که نهایت آن به افزایش زمان و هزینه و حتی شکست پروژه منتهی می‌شود.

تغییر در هر یک از پارامترهای سطح ۱ می‌تواند منجر به تغییر در پارامترهای دیگر سطح ۱ و همچنین پارامترهای سطح ۲ متناسب با پارامترهای سطح ۱ شود. هم‌زمان می‌توان با لحاظ کردن قیود، به توسعه روشی مبادرت ورزید که همه الزامات تغییرات را همگرا کند. البته در توسعه این مدل، کار سرطراح مشکل است و به دانش بالای سرطراح نیاز است.

✓ قسمت اول حساسیت‌سنجی: در این قسمت حساسیت‌سنجی کلیه پارامترهای داخل ماتریس نسبت به یکدیگر انجام می‌شود. معادلات سیستمی برای ارتباط بین پارامترهای سطح یک و معادلات سیستمی طراحی زیرسیستم‌ها ارتباط بین پارامترهای زیرسیستم‌ها می‌باشد. در این قسمت محدوده

1. Engineering Change Management (ECM)

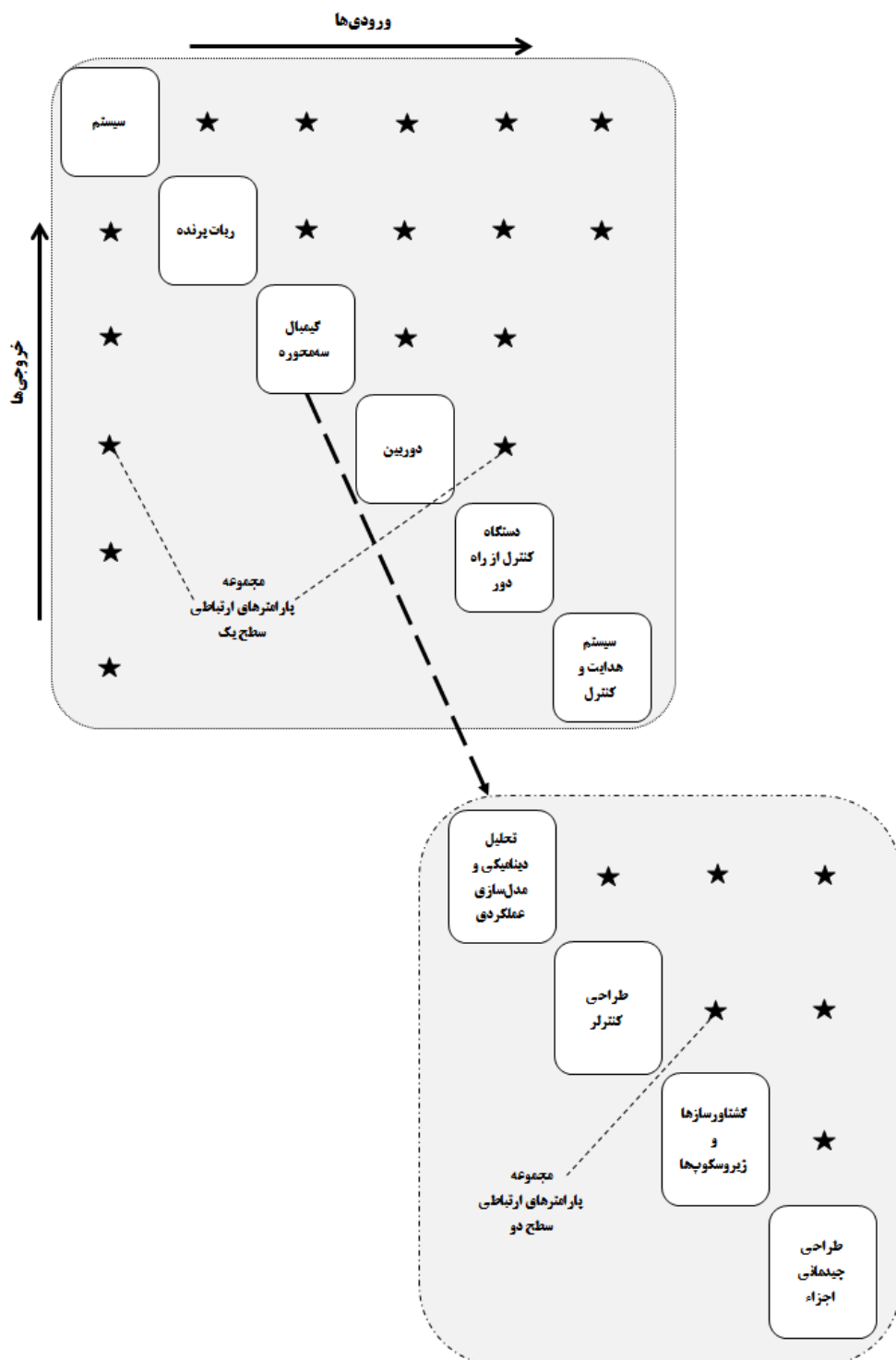
(علمی-پژوهشی)

بررسی تغییرات در شبیه‌سازی ساختاری پایدارکننده ژيروسکوپی سهمحوره

✓ قسمت سوم همگراسازی: در این قسمت ارتباط بین کلیه پارامترهای سطح یک و دو در فرآیند شبیه‌سازی همگرا شده و حداقل تغییرات پارامترها نسبت به پارامتر تغییر یافته بدست می‌آید.

تغییر کلیه پارامترهای سیستمی در اثر تغییر یک پارامتر محاسبه می‌شود.

✓ قسمت دوم طراحی: در سیستم‌های پیچیده روابط مشخص و محدودی را می‌توان برای پیکربندی جرمی-ابعادی در اختیار گرفت.



شکل (۱): ماتریس ساختار طراحی فعالیت‌های محصولی (CA-DSM) پایدارکننده ژيروسکوپی سهمحوره به همراه ربات پرنده.

۷- مدل انتقال تغییر مهندسی

جستجوی مسیر درست رشد تغییرات در فرآیند بررسی تغییرات محصولاتی با ارتباطات پیچیده بسیار مشکل است [۹]. باید به این نکته توجه کرد که استفاده از یک مدل الگوریتم خطی و سیری وار، کنترل و مدیریت تغییرات را در پروژه‌هایی با تنوع پارامترها، عناصر، ارتباطات و شرایط محیطی مختلف، با مشکلات جدی مواجه می‌کند و لازم است به الگوریتمی پرداخته شود تا این نقیصه را برطرف نماید [۳۱]. در این پروژه‌ها می‌بایست به دنبال روش‌ها و الگوریتم‌هایی بود که ضمن قابلیت اجرایی مناسب، انعطاف لازم در مواجهه با تخصص‌ها و زیرسیستم‌های متنوع و پیچیده را داشته باشد [۳۱]. جهت ایجاد یک مسیر انتقال مناسب در سیستم‌های پیچیده علاوه بر نیاز به دانش سرطراح، به دانش سرطراحان زیرسیستم‌ها و ابزارهای سیستمی نیاز است تا بتوان مدل یکپارچه‌ای از الگوریتم انتقال تغییرات ایجاد کرد. الگوریتم ایجاد یک مدل انتقال برای سیستم‌های پیچیده در شکل ۲ آورده شده است. طبق الگوریتم شکل ۲، ایجاد الگوریتم بررسی تغییرات در نتیجه تخصص سرطراح و استفاده از موارد زیر بدست می‌آید:

- ✓ نرم‌افزار CAM جهت محدوده تغییرات ناشی از تغییر،
- ✓ الگوریتم همگرایی طراحی جهت ایجاد ارتباطات یکپارچه بین پارامترهای سطح یک و
- ✓ ماتریس CA-DSM به عنوان نقشه راه کلیه راه‌های ممکن ارتباطی بین پارامترها.
- برای هر درخواست تغییر، دانش بررسی تغییرات در سطح سیستم و زیرسیستم‌ها به الگوریتم بررسی تغییر سیستمی منجر می‌شود. سبک-سنگین کردن^۱ راه‌های ممکن توسط این الگوریتم‌ها در کنار یکدیگر و همگرایی بین چرخش اطلاعات، مدل انتقال زیرسیستم‌ها را ایجاد می‌کند [۲۹ و ۳۲].

برای تعریف هزینه، زمان و بارکاری کلیه تغییرات، نیاز به دستیابی به ابعاد مختلف تاثیرگذاری یک تغییر در چرخه عمر محصول می‌باشد [۹]. در این راستا سوالات و تاثیر هر یک از موارد زیر باید مشخص شود:

- ✓ آیا این تغییر در راستای بهبود الزامات است؟
- ✓ آیا این تغییر به خاطر محدودیت‌های طراحی مانند کمبود فضا یا مشکلات مونتاژی است؟
- ✓ آیا این تغییر بخاطر سطح پایین فناوری، هزینه کمتر و یا عدم توانایی خرید بعضی از قطعات است؟
- ✓ آیا این تغییر در اثر تغییرات دیگر در محصول است؟

- ✓ آیا این تغییر یک تغییر گلوگاهی بوده و باید انجام شود؟
- جهت کمی کردن این سوال‌ها از روابط جدول ۲ استفاده می‌شود. نکات جهت توضیحات این جدول عبارتند از:
- ✓ انتخاب مقدار عدد تاثیر به صورت کیفی توسط افراد ذی‌ربط بدست می‌آید.
- ✓ مقادیر بیشتر از ۱، شدت تاثیر بیشتر را نشان می‌دهد و مقادیر کمتر از ۱ منجر به تاثیرات مثبت تغییر است.
- ✓ ضریب بار کاری توسط سرطراح پس از استفاده از نرم‌افزار CAM بدست می‌آید.
- ✓ ضریب منابع مصرفی پس از اعلام نظر قسمت‌های درگیر، توسط مدیر پروژه مشخص می‌شود.
- ✓ ضریب زمان پس از اعلام زمان مورد نیاز هر زیرقسمت برای انجام فعالیت خاص خود تعیین می‌شود.
- ✓ ضریب بهبود الزامات پس از بررسی سرطراح و یا فرد مسئول تحلیل عملکرد (شبیه‌ساز) در راستای تاثیر تغییر بر بهبود الزامات طبق نظر مشتری بدست می‌آید.
- ✓ ضریب گلوگاه با توجه به تاثیر اجباری یک تغییر برای رفع گلوگاه و یا نبود مواد و قطعات مناسب و یا غیره بدست می‌آید.
- مقدار احتمال اثر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$PE = a \times b \times c \times d \times f \quad (1)$$

$$CT = b \times c \quad (2)$$

با توجه به مقدار پارامتر احتمال اثر (PE) و زمان و هزینه مصرفی (CT) می‌توان جهت تصمیم‌گیری مدیریتی یک تغییر به صورت کمی اقدام کرد. PE به بررسی کمی تاثیر تغییر درخواست شده در پروژه می‌پردازد و CT شده مقدار زمان و هزینه مصرفی است.

۸- بررسی تغییرات

درخواست تغییر توسط هر یک از زیرسیستم‌ها می‌تواند مطرح شود. این درخواست به یکی از دلایل زیر ایجاد می‌شود:

- رشد ساختار شکست در طراحی،
 - کاهش هزینه،
 - محدودیت‌های چیدمانی و فضای درگیر،
 - بهبود الزامات مشتری و
 - بهینه سازی در طراحی.
- بررسی تغییرات شامل چهار بخش اصلی است که عبارتند از:
۱. حساسیت‌سنجی کلیه پارامترهای ماتریس نسبت به هم،
 ۲. سطوح قیدگذاری هر بخش از یک فاز طراحی،
 ۳. استفاده از نرم‌افزار CAM و
 ۴. سبک-سنگین کردن راه‌های ممکن (مدل انتقال).

1. Trade-off

(علمی-پژوهشی)

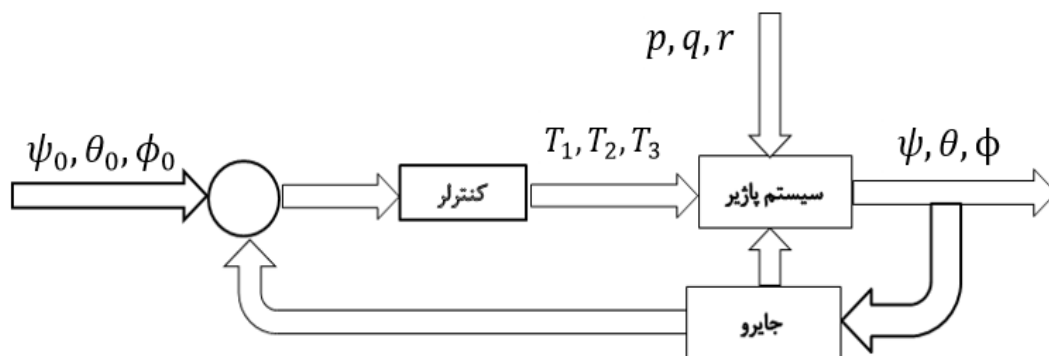
حمیدرضا مقدس نجف آباد، علی محمودی و فرشاد پازوکی

پایدارکننده‌های ژيروسکوپ با صفحه‌پایدار و پایدارکننده‌های ژيروسکوپ بدون صفحه‌پایدار تقسیم نمود. هر کدام دارای مزایا و معایبی می‌باشند. در نوع دوم از یک صفحه‌پایدار استفاده شده است که سیستم ناوبری شامل ژيروسکوپ‌ها و شتاب‌سنج‌ها بر روی آن نصب شده و این صفحه همواره موقعیت یک دستگاه اینرسی را فراهم می‌آورد. اصول و مبنای کار پایدارکننده‌های دوربین نیز همانند صفحه‌پایدارهای اینرسی بکار گرفته شده در بخش ناوبری وسایل پرنده می‌باشد که توانایی قفل‌نمودن بر روی یک جسم مشخص و ردگیری آن را می‌تواند بر عهده داشته باشد. برای یک پایدارکننده دوربین کاربردهای مختلفی از جمله اتصال به بدن، اتصال به خودرو، اتصال در فضاهای مشخص مانند هواپیما، هلی‌کوپتر، قایق و استادیوم‌های ورزشی با توجه به محل نصب آن در نظر گرفته شده است.

۹-۴- مدار کنترلی پایدارکننده ژيروسکوپ

با توجه به مطالب ارائه شده، در پایدارکننده‌های ژيروسکوپ فعال از یک مدار فیدبک کنترلی که به یک سرو موتور متصل است، استفاده می‌شود تا با توجه به روابط و خواص در برابر اغتشاشات خارجی عکس‌العمل نشان داده و صفحه را به حالت پایدار آن بازگرداند. به این منظور اینرسی موجود بین قاب داخلی و خارجی، بایستی بتواند حالت پایدار را تأمین نماید. این حالت برای یک پایدارکننده ژيروسکوپ سه‌محوره دارای معادلات کوپل برای سه محور پایدار بسیار پیچیده‌تر است. بلوک دیاگرام شکل ۳ برای کنترل یک نمونه پایدارکننده ژيروسکوپ سه‌محوره (لقه) آورده شده است.

ایجاد پایداری به ژيروسکوپ کمک می‌کند که در اینصورت یک پایدارکننده فعال بدست خواهد آمد. در این نوع پایدارکننده با اندازه‌گیری تقدّم صورت گرفته توسط زاویه‌سنج و تولید سیگنال فیدبک متناسب با آن و اعمال در موتورهای کنترلی گشتاورساز محور تقدّم ژيروسکوپ دوباره به حالت اولیه خود بازمی‌گردد. این عمل تا هنگامیکه سیستم فعال است ادامه می‌یابد که موجب نگهداشتن محور تقدّم ژيروسکوپ در نزدیکی صفر یا همان خنثی کردن گشتاورهای خارجی مزاحم می‌شود. این نوع پایدارکننده را در اصطلاح پایدارکننده نیرویی نیز می‌نامند. در مقابل پایدارکننده ژيروسکوپ نیرویی، نوع اندیکاتوری آن قرار دارد که یک پایدارکننده ژيروسکوپ فعال بوده و بخاطر نوع ژيروسکوپ آن اصولاً گشتاور ژيروسکوپ در آن تولید نمی‌شود. در این نوع پایدارکننده ژيروسکوپ، ژيروسکوپ روی محور پایداری نصب شده و مستقیم انحراف زاویه پایداری از صفر را اندازه‌گیری می‌کند و بر این اساس دستور ایجاد گشتاور کنترلی توسط مدار فیدبک صادر می‌شود که در اینجا وظیفه خنثی نمودن گشتاور مزاحم خارجی فقط به عهده موتور گشتاورساز است. براساس آنچه که در مورد پایدارکننده ژيروسکوپ اندیکاتوری گفته شد، مدارهای فیدبک و به خصوص موتورهای گشتاورساز باید از دقت و کیفیت بسیار بالایی جهت تأمین دقت مناسب پایداری برخوردار باشند. در صورتیکه در پایدارکننده ژيروسکوپ نیرویی که در هر لحظه گشتاور مزاحم توسط مجموع گشتاورهای ژيروسکوپ و کنترلی خنثی می‌شود، کمتر نیازی به موتورهای با دقت و کیفیت بسیار بالا بوده و تفاوت گشتاور کنترلی و گشتاور مزاحم همواره توسط گشتاور ژيروسکوپ جبران می‌شود. پایدارکننده‌های ژيروسکوپ سه‌محوره را براساس نوع ساختار می‌توان به دو دسته



شکل (۳): بلوک‌دیاگرام کنترل نوعی برای لُقّه.

۹-۵- سیستم مختصات پایدارکننده ژيروسکوپی

سه‌محوره

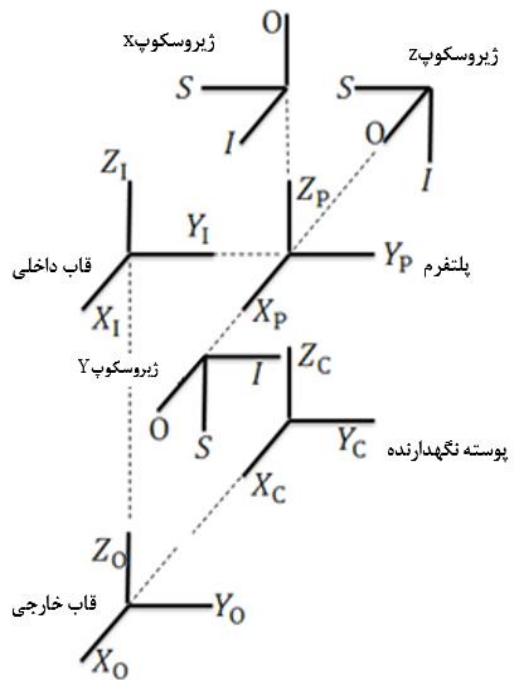
یک سیستم مختصات متعامد بصورت نموداری که شامل روابط تمام اعضای سیستم پایدارکننده ژيروسکوپی می‌شود، بصورت شکل ۴ می‌باشد [۳۳-۳۴]. مختصات (X_P, Y_P, Z_P) مربوط به پلتفرم، مختصات (X_I, Y_I, Z_I) مربوط به قاب داخلی، مختصات (X_O, Y_O, Z_O) مربوط به قاب خارجی و مختصات (X_C, Y_C, Z_C) مربوط به پایه می‌باشد. اعضای این پایدارکننده ژيروسکوپی صُلب فرض می‌شوند. زوایا و سرعت‌زوایه‌ای‌های اعضا بصورت زیر تعریف می‌شوند:

θ : زاویه نسبی بین قاب داخلی و پلتفرم که حول محور Y پلتفرم (Y_P) اندازه‌گیری می‌شود.

ψ : زاویه نسبی بین قاب‌های خارجی و داخلی که حول محور Z قاب داخلی (Z_I) اندازه‌گیری می‌شود.

ϕ : زاویه نسبی بین قاب‌های خارجی و پایه که حول محور X قاب خارجی (X_O) اندازه‌گیری می‌شود.

زوایا و سرعت‌زوایه‌ای‌های تعریف شده در بالا از یک ترتیب اوایلر بصورت (θ, ψ, ϕ) 1, 2, 3 که از پایه شروع شده و به پلتفرم ختم می‌شود، تبعیت می‌کند.



شکل (۴): روابط تمام اعضای پایدارکننده ژيروسکوپی سه‌محوره.

۹-۶- معادلات حرکت سیستم پایدارکننده ژيروسکوپی

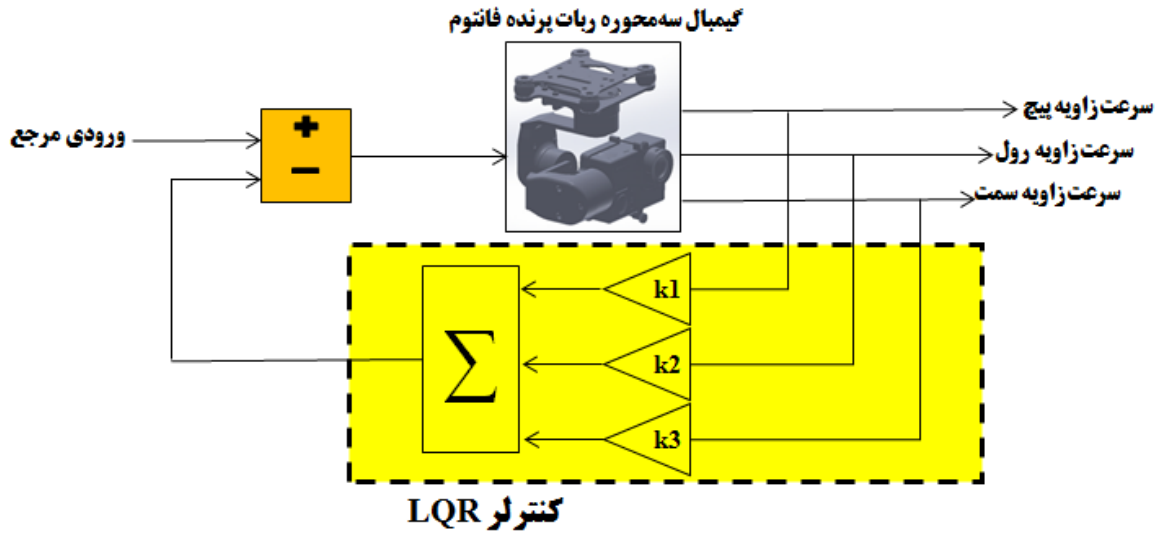
سه‌محوره

هر عضو سیستم به عنوان یک جسم صُلب رفتار می‌کند. گشتاور خالصی که به هر قاب وارد می‌شود، شامل گشتاور اعمال شده به آن قاب از طرف قاب خارجی مجاور و گشتاور عکس‌العملی از طرف قاب داخلی مجاور به آن قاب می‌باشد. معادلات مربوطه در سیستم مختصات مربوط به هر عضو بیان می‌شوند. اعضاء و قاب‌های مجاور با توجه به شکل ۴ تعریف می‌شوند. معادلات دینامیکی سیستم به گونه‌ای نوشته می‌شوند که با داخلی‌ترین عضو شروع شده و به سمت خارجی‌ترین عضو یعنی پایه پیش برود [۳۴-۳۳].

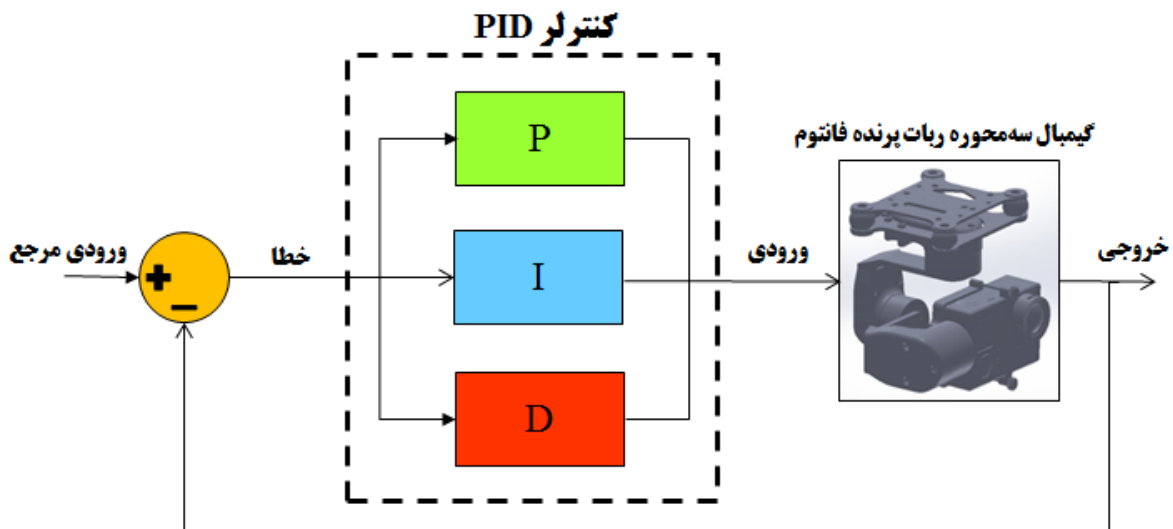
در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب بلوک‌دیگرام مدل خطی شبیه‌سازی شده پایدارکننده ژيروسکوپی سه‌محوره ربات پرنده فانتوم در حضور کنترلر بهینه خطی مربعی و کنترلر کلاسیک نشان داده شده است. از ویژگی‌های بارز ربات پرنده فانتوم ۳ اس‌ای (شکل ۷) می‌توان به مواردی از قبیل موقعیت‌یابی حرفه‌ای، دوربین 4K با لُقه ۳ محوره (شکل ۸)، مدت زمان پروازی ۲۵ دقیقه و سیستم انتقال تصویر با برد ۴ کیلومتر اشاره کرد. ربات پرنده فانتوم ۳ اس‌ای در ابعاد ۵۰ در ۵۰ سانتیمتر عرضه شده است. لُقه وسیله‌ای است که لرزش حرکت ربات پرنده را خنثی می‌کند. در پرنده‌های معمولی و ربات‌های پرنده‌ای که مجهز به لُقه نیستند، لرزش تصویر یک امر طبیعی خواهد بود که می‌تواند آزار دهنده باشد. حتی پایه (Mount) دوربین نیز نمی‌تواند لرزش را کاملاً خنثی نماید. تنها وسیله‌ای که می‌تواند لرزش را به صورت کامل حذف نماید لُقه در ۳ نوع ۱ محوره، ۲ محوره و ۳ محوره است. لُقه مورد استفاده در ربات پرنده فانتوم ۳ اس‌ای از نوع ۳ محوره می‌باشد که طراحی آن اختصاص به شرکت دی‌جی‌آی داشته و فقط برای فانتوم ۳ طراحی شده است. توجه به این نکته مهم است که اندکی لرزش هم می‌تواند بهترین صحنه‌های فیلم‌برداری را خراب کند. لُقه سه‌محوره طراحی شده برای فانتوم ۳ اس‌ای به کار این اطمینان را می‌دهد که هیچ لرزشی در تصاویر و فیلم‌های وجود نخواهد داشت. در حین پرواز ربات پرنده به هر جهتی که منحرف شود لُقه پایدار خواهد ماند و نخواهد گذاشت که تصاویر دچار لرزش شده و به صورت خراب ثبت شوند.

(علمی-پژوهشی)

حمیدرضا مقدس نجف آباد، علی محمودی و فرشاد پازوکی



شکل (۵): - بلوک دیاگرام کنترل بهینه پایدارکننده ژيروسکوپی سه محوره ربات پرنده فانتوم.



شکل (۶): بلوک دیاگرام کنترل کلاسیک پایدارکننده ژيروسکوپی سه محوره ربات پرنده فانتوم.



شکل (۸): دوربین و لنز لقه ۳ محوره ربات پرنده فانتوم ۳ اس ای.



شکل (۷): ربات پرنده فانتوم ۳ اس ای.

در چرخه همگرایی طراحی با معیار حداقل زنجیره تغییرات بدست آمده است.

پس از همگرایی در طراحی، بررسی تغییر انجام می‌شود و نتایج توازن بررسی تغییرات (تغییرات کلیه پارامترهای ابعادی جدید) برای درخواست تغییر ابعاد پلتفرم، مطابق با شکل ۱۲ بدست می‌آید. شکل ۱۲ نحوه انتشار تغییر را بصورت شبکه نشان می‌دهد. در این شکل با در نظر گرفتن یک عامل آغاز کننده تغییر می‌توان مسیر انتشار تغییر را در سایر مولفه‌ها دنبال نمود. برای یافتن احتمال انتشار بهینه برای هر مسیر انتشار احتمالی و به منظور بدست آوردن کمترین زمان اجرای فرآیند، الگوریتم ژنتیک به مدل فرآیند تغییر اعمال شده است. همچنین، این شکل نشان می‌دهد که تعداد زیادی تغییر در روند پیچیده طراحی مهندسی به هم پیوند یافته‌اند و پیش‌بینی تعیین مسیر انتشار تغییرات را که با استفاده از تجزیه و تحلیل دستی برای طراحان تقریباً غیرممکن بوده است، از این طریق امکان‌پذیر نموده است.

ماتریس اثرات متقابل شکل ۱۳ شامل اعداد احتمال و شدت تاثیر مولفه‌ها بر یکدیگر مربوط به ویژگی ساختاری هندسی است. همچنین، این ماتریس ارتباط ویژگی‌های رفتاری مولفه‌ها با یکدیگر شامل رفتارهای مکانیکی-استاتیکی (Ms)، مکانیکی-دینامیکی (Md)، حرارتی-استاتیکی (Ts)، حرارتی-دینامیکی (Td)، الکتریکی-سیگنال (Es)، الکتریکی-زمین (Ee) و الکتریکی-دینامیکی (Ed) را نشان می‌دهد.

ربات پرنده فانتوم به ۳۲ مؤلفه تجزیه شده است. ۱۶ عدد از آنها مربوط به پرنده فانتوم و ۱۶ عدد مربوط به لُقه سه‌محوره هستند (شکل ۹). ماتریس CA-DSM قبلاً برای پایدارکننده ژيروسکوپي سه‌محوره به همراه ربات پرنده نشان داده شد. با استفاده از این ماتریس روند اجرایی برای یک درخواست تغییر جدید، در ذیل آورده شده است. پس از دریافت درخواست تغییر، فعالیت‌های ذیل به ترتیب انجام می‌شود:

۱. تدوین ماتریس CA-DSM شکل ۱،

فاز طراحی: طراحی اولیه و

سطح قیدگذاری: پارامترهای ابعادی کل،

۲. استفاده از برنامه CAM برای بررسی حساسیت‌سنجی اثرات تغییر و شناسایی پارامترهای سیستمی درگیر،

۳. ارسال اطلاعات CAM و حساسیت‌سنجی CA-DSM به قسمت‌های مرتبط،

۴. محاسبه مقادیر احتمال اثر و اثر زمان و هزینه،

۵. الگوریتم بررسی تغییر سیستمی طبق مدل شکل ۱۰، بدست می‌آید. این الگوریتم روندی معنادار جهت جلوگیری از زنجیره تغییرات متعدد و واگرا است و

۶. مدل انتقال: با استفاده از الگوریتم شکل ۱۰ و نرم‌افزار CAM، بهترین نحوه انتقال مطابق شکل ۱۱ بدست می‌آید. این مدل، حاصل فرایند سبک‌ساز کردن چرخه پارامترها (Trade-off)



اجزاء پرنده فانتوم

- | | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| ۱- بدنه ربات پرنده فانتوم | ۹- موتور گرداننده ملخ ۳ |
| ۲- ملخ ۱ ربات پرنده فانتوم | ۱۰- موتور گرداننده ملخ ۴ |
| ۳- ملخ ۲ ربات پرنده فانتوم | ۱۱- پایه فرود سمت راست |
| ۴- ملخ ۳ ربات پرنده فانتوم | ۱۲- پایه فرود سمت چپ |
| ۵- ملخ ۴ ربات پرنده فانتوم | ۱۳- جاذب ارتعاش ۱ پایه فرود سمت راست |
| ۶- باتری ربات پرنده فانتوم | ۱۴- جاذب ارتعاش ۲ پایه فرود سمت راست |
| ۷- موتور گرداننده ملخ ۱ | ۱۵- جاذب ارتعاش ۳ پایه فرود سمت چپ |
| ۸- موتور گرداننده ملخ ۲ | ۱۶- جاذب ارتعاش ۴ پایه فرود سمت چپ |

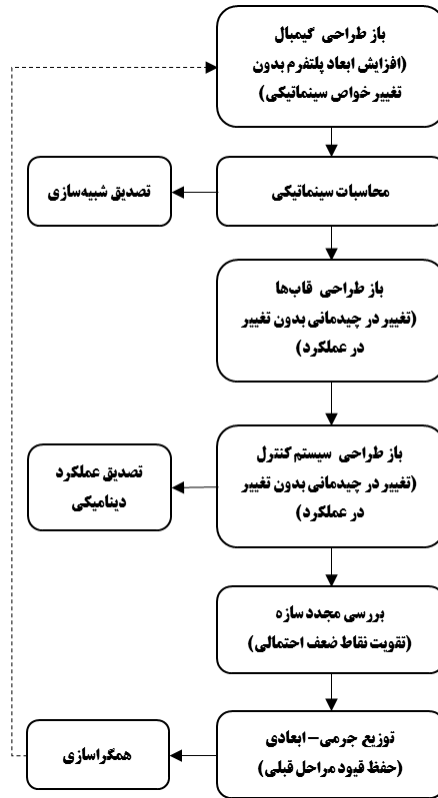
اجزاء لُقه سه محوره

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| ۱۷- صفحه پلیت بالایی | ۲۵- موتور رول |
| ۱۸- جاذب ارتعاش ۱ لُقه | ۲۶- بازوی موتور رول (قاب داخلی لُقه) |
| ۱۹- جاذب ارتعاش ۲ لُقه | ۲۷- موتوی پیچ |
| ۲۰- جاذب ارتعاش ۳ لُقه | ۲۸- بازوی موتور پیچ (قاب پلتفرم) |
| ۲۱- جاذب ارتعاش ۴ لُقه | ۲۹- دوربین |
| ۲۲- صفحه پلیت پایینی (کیس) | ۳۰- بست نگهدارنده دوربین |
| ۲۳- موتور سمت | ۳۱- بین بالایی بست نگهدارنده دوربین |
| ۲۴- بازوی موتور سمت (قاب خارجی لُقه) | ۳۲- بین پایینی بست نگهدارنده دوربین |

شکل (۹): تجزیه محصول ربات پرنده فانتوم به همراه لُقه سه‌محوره.

(علمی-پژوهشی)

حمیدرضا مقدس نجف آباد، علی محمودی و فرشاد پازوکی



شکل (۱۰): الگوریتم بررسی تغییر سیستمی.

	Ge1-Body	Ge2-Propeller 1	Ge3-Propeller 2	Ge4-Propeller 3	Ge5-Propeller 4	Ge6-Battery	Ge7-Propeller Motor 1	Ge8-Propeller Motor 2	Ge9-Propeller Motor 3	Ge10-Propeller Motor 4	Ge11-Right Skid	Ge12-Left Skid	Ge13-Right Skid Shock A	Ge14-Right Skid Shock A	Ge15-Left Skid Shock Ab	Ge16-Left Skid Shock Ab	Ge17-Upper Plate	Ge18-Gimbal Shock Ab1	Ge19-Gimbal Shock Ab2	Ge20-Gimbal Shock Ab3	Ge21-Gimbal Shock Ab4	Ge22-Lower Plate(Case)	Ge23-Yaw Motor	Ge24-Outer Gimbal	Ge25-Roll Motor	Ge26-Inner Gimbal	Ge27-Pitch Motor	Ge28-Platform	Ge29-Camera	Ge30-Camera Clamp	Ge31-Clamp Upper Bolt	Ge32-Clamp Lower Bolt				
Ge1-Body	■																																			
Ge2-Propeller 1		■																																		
Ge3-Propeller 2			■																																	
Ge4-Propeller 3				■																																
Ge5-Propeller 4					■																															
Ge6-Battery						■																														
Ge7-Propeller Motor 1							■																													
Ge8-Propeller Motor 2								■																												
Ge9-Propeller Motor 3									■																											
Ge10-Propeller Motor 4										■																										
Ge11-Right Skid											■																									
Ge12-Left Skid												■																								
Ge13-Right Skid Shock A													■																							
Ge14-Right Skid Shock A														■																						
Ge15-Left Skid Shock Ab															■																					
Ge16-Left Skid Shock Ab																■																				
Ge17-Upper Plate																	■																			
Ge18-Gimbal Shock Ab1																		■																		
Ge19-Gimbal Shock Ab2																			■																	
Ge20-Gimbal Shock Ab3																				■																
Ge21-Gimbal Shock Ab4																					■															
Ge22-Lower Plate(Case)																						■														
Ge23-Yaw Motor																							■													
Ge24-Outer Gimbal																								■												
Ge25-Roll Motor																									■											
Ge26-Inner Gimbal																										■										
Ge27-Pitch Motor																											■									
Ge28-Platform																													■							
Ge29-Camera																																				
Ge30-Camera Clamp																																				
Ge31-Clamp Upper Bolt																																				
Ge32-Clamp Lower Bolt																																				

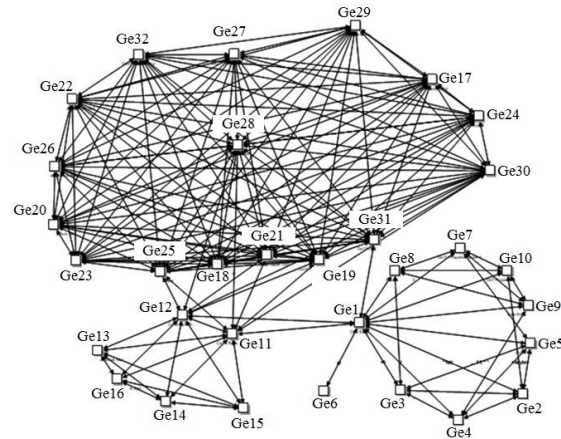
شکل (۱۱): مدل انتقال درخواست برای پایدارکننده ژيروسکوپی سه‌محوره و ربات پرنده در نرم‌افزار CAM.

که در آن N تعداد عناصر سیستم و $\Delta E_{i,j}$ یک ماتریس دودویی $(0,1)$ است که نشان می‌دهد عنصر i به دلیل تغییر در عنصر j تغییر کرده است. در اینجا شاخص انتشار تغییر به دسته‌بندی عناصر از منظر ارتباط با تغییر کمک کرده است. به این ترتیب که عنصری با $CPI > 0$ افزایش دهنده تغییر، عنصری با $CPI = 0$ انتقال دهنده تغییر و عنصری با $CPI < 0$ جذب کننده تغییر است. مجموع تغییرات اعمال شده از سوی تمامی N عنصر، از جمله تغییرات خود متغیر در عنصر i با in - degree و مجموع مقادیر تغییر اعمال شده از عنصر i به همه N عنصر دیگر با out -degree نشان داده شده و محاسبه شاخص انتشار تغییر به صورت زیر ساده شده که حاصل آن یک عدد بین -1 و $+1$ است.

$$CPI(i) = \frac{C_{out}(i) - C_{in}(i)}{C_{out}(i) + C_{in}(i)} \quad (4)$$

در اینجا مقدار $+1$ برای هر عنصر نشان دهنده یک افزایش دهنده کامل تغییر است. یعنی آن مولفه فقط باعث تغییر سایر مولفه‌ها می‌شود و خودش هیچ تغییر ورودی ندارد. مقدار -1 برای هر عنصر نشان دهنده یک جاذب کامل تغییر است. یعنی آن مولفه فقط تغییراتی را دریافت می‌کند اما خودش هیچ تغییری را ایجاد نمی‌کند یا از خود عبور نمی‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود بیشتر عناصر دارای ترکیبی از تغییرات ورودی و خروجی و به صورت یک افزایشنده ضعیف هستند. عناصر با CPI صفر یا نزدیک به صفر را می‌توان به عنوان انتقال دهنده تغییر طبقه‌بندی کرد. جدول ۳ مقدار CPI را برای کل مجموعه عناصر (ساختار هندسی) نشان داده است. با محاسبه CPI ، عناصر سیستم در یک طیف بصورت جذب کننده تغییر تا افزایش دهنده تغییر بین -1 تا $+1$ قرار می‌گیرند.

عناصر موجود در طیف $1 < CPI < 0.4$ افزایشنده‌های قوی تغییر در حوزه ساختاری (هندسی) پایدارکننده ژيروسکوپی سه‌محوره هستند. با محاسبه CPI ، عناصر سیستم را می‌توان بر روی طیف جذب کننده تا افزایشنده تغییر در بازه -1 تا $+1$ بصورت شکل ۱۴ نشان داد. چهارده عنصر به عنوان افزایشنده تغییر قوی به نظر می‌رسند: ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۲. با این حال، در هر یک از این عناصر حداقل ۱۳ و حداکثر ۳۵ تغییر خروجی ثبت شده است. اگر عناصر دارای $CPI > 0.3$ (یک جداکننده دلخواه) به عنوان افزایشنده‌های قوی در نظر گرفته شوند، عناصر ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۹، ۲۵ نیز در این گروه قرار می‌گیرند. تنها جاذب قوی عنصر ۶ است که هفده تغییر به آن اعمال شده است و واضح است که تغییرات قابل توجهی بیش از تولید خود را دریافت



شکل (۱۲): توازن بررسی تغییرات پایدارکننده ژيروسکوپی سه‌محوره و ربات پرند برای درخواست تغییر در نرم‌افزار CAM.

۱۰- نتیجه‌گیری

در سیستم پیچیده پایدارکننده ژيروسکوپی سه‌محوره، ویژگی‌های ساختاری، رفتاری و عملکردی با هم درآمیخته‌اند. هرگاه هرگونه تغییر طراحی در یکی از ویژگی‌های این سیستم پیچیده رخ دهد، سایر مولفه‌ها نیز تحت تأثیر آن تغییر قرار می‌گیرند. بنابراین، درک انتشار تغییرات بیشتر برای طراحی مجدد این محصول بسیار حائز اهمیت است. به طور خلاصه، اولاً، مشاهده تغییر از ماتریس‌های DSM آغاز می‌شود تا نشان دهنده تمامی ارتباطات بین ویژگی‌های محصول باشد. ثانیاً، هر مولفه برای تعیین عددی احتمال و میزان تأثیر با مدیریت از طریق چک لیست، تجزیه و تحلیل می‌شود. مقادیر نشان می‌دهد که یک مولفه از نظر تغییرات به چه میزان مفید یا دارای ریسک است. از دینامیک سیستم برای ترسیم اتصالات پیچیده و تغییر جریان استفاده شده است. این مقاله رویکردی نوین و کارا برای مدیریت و بررسی تغییرات در فرآیند شبیه‌سازی ساختاری یک پایدارکننده ژيروسکوپی سه‌محوره برای پایدارسازی دوربین نصب شده بر روی یک ربات پرند را ارائه کرده است. این رویکرد با استفاده از نظریه مهندسی سیستم‌ها در جهت ارتقاء فرآیند شبیه‌سازی ساختاری پایدارکننده ژيروسکوپی سه‌محوره تدوین شده است. بنابراین، طراحان می‌توانند نحوه تغییر را درک کنند و سپس محصولات را با توجه به نیازهای جدید دوباره طراحی کنند. برای طراحی پایدارکننده ژيروسکوپی سه‌محوره با هدف به حداقل رساندن انتشار تغییر، شاخص انتشار تغییر^۱ به شرح زیر معرفی شده است:

$$CPI_i = \sum_{j=1}^N \Delta E_{i,j} - \sum_{k=1}^N \Delta E_{i,k} = \Delta E_{out,i} - \Delta E_{in,i} \quad (3)$$

(علمی-پژوهشی)

حمیدرضا مقدس نجف آباد، علی محمودی و فرشاد پازوکی

فعال جذب‌کننده‌های تغییر و متلاشی نمودن افزایش‌دهنده‌های تغییر در پروژه‌های جدید؟ ب- قراردادی: آیا می‌توان از اطلاعات تغییر انتشار برای نوشتن مقدمات بهتر و قراردادهای فرعی استفاده کرد به طوری که تغییرات و اصلاحات قراردادی با سهولت بیشتری در آن پروژه‌هایی که شامل چند شرکت است، قابل استفاده باشد؟

جدول (۳): مقدار CPI برای کل مجموعه عناصر (ساختار هندسی).

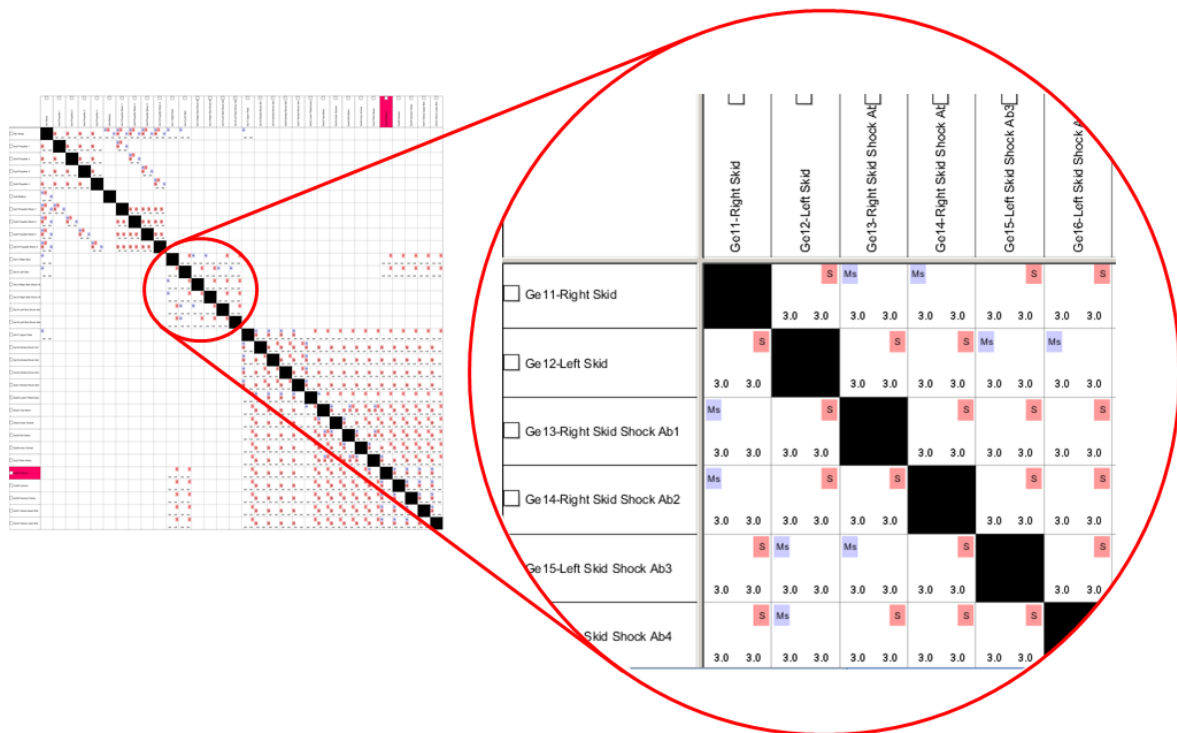
ردیف	نام مولفه	مجموع تغییرات اعمال شده از سوی تمامی عناصر دیگر از جمله خود این عنصر به این عنصر	مجموع مقادیر تغییر اعمال شده از سوی این عنصر به همه عناصر دیگر	CPI
۱	Ge1	۳۵	۱۲	۰/۴۸۹
۲	Ge2	۱۸	۴	۰/۶۳۶
۳	Ge3	۱۸	۴	۰/۶۳۶
۴	Ge4	۱۸	۴	۰/۶۳۶
۵	Ge5	۱۸	۴	۰/۶۳۶
۶	Ge6	۷	۱۷	-۰/۴۱۷
۷	Ge7	۱۶	۸	-۰/۳۳۳
۸	Ge8	۱۶	۸	-۰/۳۳۳
۹	Ge9	۱۶	۸	-۰/۳۳۳
۱۰	Ge10	۱۶	۸	-۰/۳۳۳
۱۱	Ge11	۲۱	۱۲	-۰/۲۷۳
۱۲	Ge12	۲۱	۱۲	-۰/۲۷۳
۱۳	Ge13	۱۳	۴	-۰/۵۲۹
۱۴	Ge14	۱۶	۴	۰/۶
۱۵	Ge15	۱۳	۴	-۰/۵۲۹
۱۶	Ge16	۱۶	۴	۰/۶
۱۷	Ge17	۲۲	۱۸	۰/۱
۱۸	Ge18	۱۴	۱۱	۰/۱۲
۱۹	Ge19	۱۴	۷	-۰/۳۳۳
۲۰	Ge20	۱۳	۸	-۰/۲۲۸
۲۱	Ge21	۱۳	۸	-۰/۲۲۸
۲۲	Ge22	۲۵	۱۵	۰/۲۵
۲۳	Ge23	۱۱	۱۰	۰/۰۴۷۶
۲۴	Ge24	۱۸	۲	۰/۸
۲۵	Ge25	۱۶	۷	-۰/۳۹۱
۲۶	Ge26	۱۸	۵	-۰/۵۶۵
۲۷	Ge27	۱۶	۳	-۰/۶۸۴
۲۸	Ge28	۲۴	۸	۰/۵
۲۹	Ge29	۲۵	۱۵	۰/۲۵
۳۰	Ge30	۲۱	۱۳	-۰/۲۳۵
۳۱	Ge31	۱۸	۱۰	-۰/۲۸۶
۳۲	Ge32	۱۸	۶	۰/۵

می‌کند. انتقال دهنده‌های تغییر با داشتن CPI بین ۰/۱- تا ۰/۱۰۱ مشخص می‌شوند. نمونه‌هایی از انتقال‌دهنده‌ها، عنصر ۱۷ (قاب خارجی لُق‌لُقه) و ۲۳ (موتور سَمَت) هستند. در اینجا ضمن اینکه افزایش‌دهنده و جذب تغییر کامل و همچنین جذب‌کننده تغییر ضعیف نداریم، به طور کلی ۲۰ افزایش‌دهنده قوی، ۹ افزایش‌دهنده ضعیف، ۲ انتقال دهنده تغییر و تنها یک جذب‌کننده تغییر قوی محاسبه شد. نتایج در جدول ۳ خلاصه شده‌اند. بنابراین، به نظر می‌رسد افزایش تغییر در سیستم، غالب است. اهمیت افزایش‌دهنده‌های تغییر در این است که آنها کاندیداهای خوبی برای مدیریت تغییر و نظارت متمرکز توسط تیم‌های محصول یکپارچه هستند. به طور کلی، افزایش‌دهنده‌های تغییر همچنین کاندیداهای خوبی برای تعبیه انعطاف‌پذیری در سیستم هستند. ترکیبی از داده‌ها و روش‌های مختلف نمایش و تفسیر این داده‌ها از جمله استفاده از تصویر شبکه، DSM با استفاده از نرم‌افزار CAM برای مجسم نمودن انتشار تغییر در بالا شرح داده شد. اگر چه تحقیقات ارائه شده در اینجا بر تجزیه و تحلیل یک پایدارکننده ژيروسکوپی سه محوره مشخص (ربات پرنده فانتوم) متمرکز بود، اما نتایج ارزشمندی نیز به دست آمد که می‌تواند به عنوان چشم‌اندازی برای پروژه‌های بعدی استفاده شود. دو نمونه از این نتایج عبارتند از:

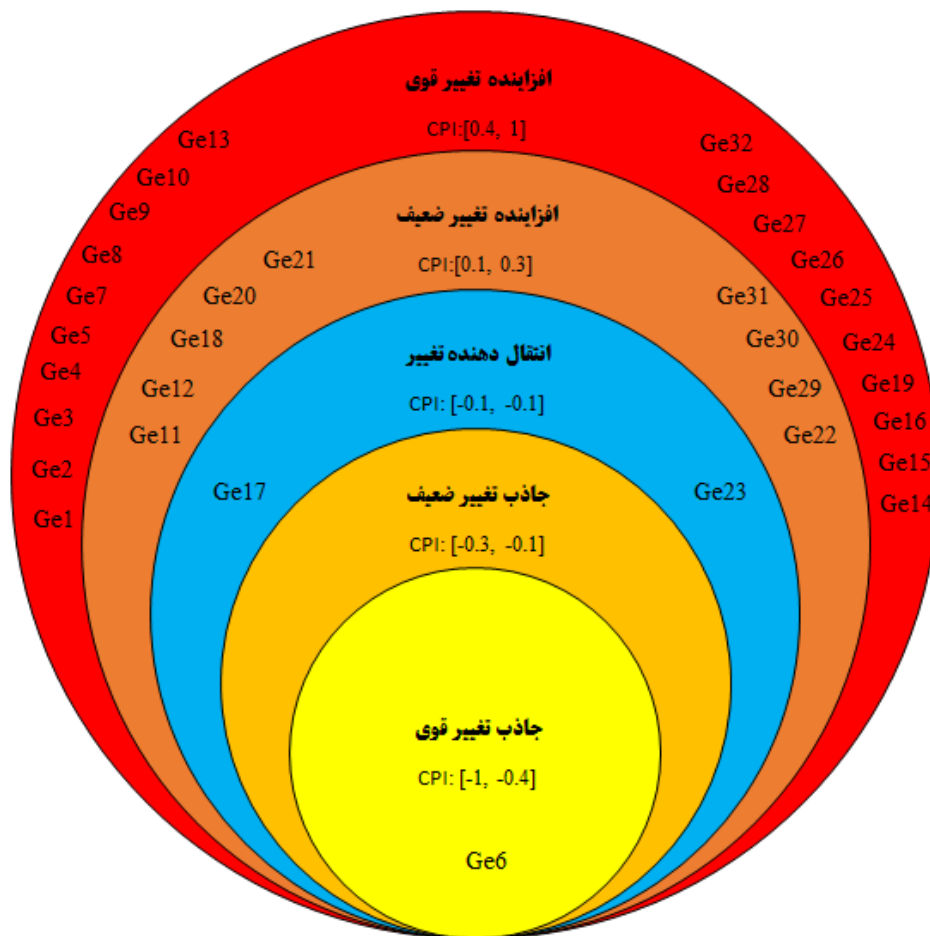
- ۱- درک اینکه کدام عناصر به طور مداوم در برابر تغییر مقاومت می‌کنند.
- ۲- تغییر عناصری که انتظار می‌رود با بیشترین احتمال رخ دهند. البته این کار می‌تواند پیامدهای عمیقی در انتخاب معماری سیستم بهتر و مدل‌های فرآیند شبیه‌سازی داشته باشد.

با این حال، تجزیه و تحلیل عمیق‌تر از چگونگی بهترین مدیریت تغییر قبلی برای پیش‌بینی تغییر بهتر، نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. برای پیشرفت در حوزه تحقیقات مدیریت انتشار تغییرات، دستیابی به اطلاعاتی که غالباً به عنوان اطلاعات اختصاصی در نظر گرفته می‌شود کاملاً حیاتی است. در صورت دستیابی به این سطح از دسترسی و همکاری دانشگاه و صنعت، موارد زیر زمینه‌های امیدوارکننده‌ای برای کارهای آینده است:

الف- پیش‌بینی تغییر: مولفه‌های تغییر (شبکه‌ها) و مسیرها را با جزئیات در مقایسه با آنچه توسط ابزارهای فعلی پیش‌بینی شده ارزیابی کنید. پیش‌بینی‌های ما در مورد مسیرهای انتشار تغییر در مقابل تغییرات واقعی چقدر خوب است؟ پیش‌بینی‌های ما در مورد تلاش واقعی در مقابل تلاش برنامه‌ریزی شده چقدر خوب است؟ چگونه می‌توان آنها را بهبود بخشید؟ چگونه می‌توان از الگوی انتشار مشاهده شده در پروژه‌های گذشته برای تصمیم‌گیری در طراحی استفاده کرد، به عنوان مثال، جاسازی



شکل (۱۳): ماتریس اثرات متقابل و روابط رفتاری پایدارکننده ژيروسکوپ سه‌محوره به همراه ربات پرنده در نرم‌افزار CAM.



شکل (۱۴): طیف CPI بین -۱ تا +۱ برای عناصر ساختاری (هندسی) نگاشت شده برای پایدارکننده ژيروسکوپ فانتوم.

(علمی-ترویجی)

حمیدرضا مقدس نجف آباد، علی محمودی و فرشاد پازوکی

۱۱- مراجع

- [1] Tang, D.B., Xu, R.H., Tang, J.C. and He, R., "Design Structure Matrix-Based Engineering Change Management for Product Development", *International Journal of Internet Manufacturing and Services*, Vol. 1, No. 3, pp. 231–245, 2008.
- [2] National Aeronautics and Space Administration NASA Headquarters Washington, D.C. 20546, *NASA Systems Engineering Handbook*, 6105 Rev1., NASA/SP, 2007.
- [3] Anderson, D.M., *Design for Manufacturability*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2014.
- [4] Ahmed, S. and Kanike Y., "Engineering Change During a Product's Lifecycle", *International Conference on Engineering Design (ICED'07)*, Paris, France, 2007.
- [5] Fricke E, Gebhard, B., Negele, H., and Igenbergs, E., "Coping with Changes: Causes, Findings, and Strategies", *Journal of System Engineering*, Vol. 3, No. 4, 2000, pp. 169–179.
- [6] Maier A.M. and Langer S., "Engineering Change Management Report 2011: Survey Results on Causes and Effects, Current Practice, Problems, and Strategies in Denmark", *DTU Management Engineering, Department of Management Engineering*, Technique University of Denmark, Copenhagen, Denmark, 2011.
- [7] Tang, D.B., Xu, R.H., Tang, J.C. and He, R., "Analysis of Engineering Change Impacts Based on Design Structure Matrix", *Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 46, No. 1, pp. 154–161, 2010.
- [8] Li, Y., Zhao, W., and Shao, X.Y., "A Process Simulation Based Method for Scheduling Product Design Change Propagation", *Journal of Advanced Engineering Informatics*, Vol. 26, No. 3, pp. 529–538, 2012.
- [9] Tang, D.B., Yin, L.-L., Wang, Q., Ullah, I., Zhu, H.-H., and Leng, S., "Workload-Based Change Propagation Analysis in Engineering Design", *Journal of Concurrent Engineering: Research and Applications*, Vol.24, No. 1, pp. 17–34, 2016.
- [10] Masmoudi, M., Leclaire, P., Zolghadri, M., and Haddar, M., "Change Propagation Prediction: A Formal Model for Two-Dimensional Geometrical Models of Products", *Journal of Concurrent Engineering*, Vol.25, No. 2, pp. 174–189, 2017.
- [11] Cheng, H. and Chu, X., "A Network-Based Assessment Approach for Change Impacts on Complex Product", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.23, No. 4, pp. 1419–1431, 2012.
- [12] Chua, D.K. and Hossain, M.A., "Predicting Change Propagation and Impact on Design Schedule Due to External Changes", *Journal of IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 59, No. 3, PP. 483–493, 2012.
- [13] Cohen, T., Navthe, S., and Fulton, R.E., "C-Far, Change Favorable Representation", *Journal of Computer-Aided Design*, Vol.32, No. 5, pp. 321–338, 2000.
- [14] Flanagan T.L., Eckert, C.M., and Eger, T. "A Functional Analysis of Change Propagation". *DS 31: proceedings of ICED 03, the 14th international conference on engineering design*, Stockholm, Sweden, 2003.
- [15] Giffin, M., De Weck, O.L., and Bounova, "Change Propagation Analysis in Complex Technical Systems". *Journal of Mechanical Design*, No.131, 0810011–08100114, 2009.
- [16] Hamraz, B., Caldwell, N.H.M., and Clarkson, P., "A Matrix Calculation-Based Algorithm for Numerical Change Propagation Analysis", *Journal of IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.60, No. 1, pp. 186–198, 2013.
- [17] Keller, R., Eger, T., and Eckert, C., "Visualising Change Propagation", *The 15th International Conference on Engineering Design (eds A Samuel and W Lewis)*, Melbourne, Australia, 2005.
- [18] Kim, S.Y., Moon, S.K., and Oh, H.S., "Change Propagation Analysis for Sustainability in Product Design", *The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Bangkok, Thailand, 2013.
- [19] Kusiak, A. and Wang, J., "Dependency Analysis in Constraint Negotiation", *Journal of IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.25, No. 9, pp. 1301–1313, 1995.
- [20] Li, Y., Zhao, W., and Ma, Y., "A Shortest Path Method for Sequential Change Propagations in Complex Engineering Design Processes", *Journal of Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol.30, pp. 107–121, 2016.
- [21] Oduncuoglu, A. and Thomson, V., "Evaluating The Risk of Change Propagation", *The 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11)*, Copenhagen, Denmark, 2011.
- [22] Rutka, A., Guenov, M., and Lemmens, Y., "Methods for Engineering Change Propagation Analysis", *The 25th Congress of The International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS)*, Hamburg, Germany, 2006.
- [23] Steward, D.V., "The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems", *Journal of IEEE Transactions on Engineering Management EM*, Vol. 28, pp. 71–74, 1981.
- [24] Yang, F. and Duan, G., "Developing a Parameter Linkage Based Method for Searching Change Propagation Paths", *Research in Engineering Design*, Vol. 23, No. 4, PP. 253–372, 2012.
- [25] Eppinger, S.D. and Browning, T.R., *Design Structure Matrix Methods and Applications*, MIT Press, 2012.
- [26] Clarkson P.J., Simons, C., and Eckert, C., "Predicting Change Propagation in Complex Design", *Journal of Mechanical Design*, Vol. 126, No. 5, pp. 788–797, 2004.
- [27] Edwin, C.Y.K., Nicholas, H.M.C., and Clarkson, P.J., "A Technique to Assess the Changeability of Complex Engineering Systems", *Journal of Engineering Design*, Vol. 24, No. 7, pp. 477–498, 2013.
- [28] Hamraz, B., "Engineering Change Modelling Using a Function-Behaviour-Structure Scheme", *Ph.D. Thesis*, University of Cambridge, Cambridge, 2013.
- [29] Plehn, C., "A Method for Analyzing the Impact of Changes and Their Propagation in Manufacturing System", *Ph.D. Thesis*, University of München, Munich, Bavaria, Germany, 2018.
- [30] Li, Y. and Zhao, W., "An Integrated Change Propagation Scheduling Approach for Product

- Design”, *Journal of Concurrent Engineering*, Vol.22, No. 4, pp. 347–360, 2014.
- [31] Hamraz, B., Hisarciklilar, O., Rahmani, K., Wynn, D.C., Thomson, V., and Clarkson, P.J., “Change Prediction Using Interface Data”, *Journal of Concurrent Engineering*, Vol.21, No. 2, pp. 141–154, 2013.
- [32] Acar, U.A., Blesloch, G.E., and Vitte, J.L., “An Experimental Analysis of Change Propagation in Dynamic Trees”, *Proceedings of the Seventh Workshop on Algorithm Engineering and Experiments and the Second Workshop on Analytic Algorithmics and Combinatorics, ALENEX /ANALCO 2005*, Vancouver, Canada, 2005.
- [33] Moghadas, H.R., Jafari, H.R., Nikkhah, A., and Roshanian, J., "Mathematical Modeling for a Three Axes Gyro Stabilized Platform”, *The 8th International Conference of Iranian Aerospace Society (AERO2009)*, MUT University, Tehran, Iran, 2009.
- [34] Nikkhah, A., Roshanian, J., Moghadas, H.R., Jafari, H.R., “Modeling and LQR Controller Design for a Three Axes Gyro Stabilized Platform”, *Journal of Aerospace Mechanics*, Vol.10, No. 1, pp. 1–13, 2014.
- [35] Zakeri, M., Nosratollahi, M., Sabeti, M.R., Moghadas, H.R., and Maleki, H., “A New Approach to Engineering Change Management for Space Projects”, *Journal of space Science & Technology*, Vol.14, No. 1, pp. 43–54, 2021.