http://mme.modares.ac.ir

مجله علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

آذر ۱۳۹۲، دوره ۱۳ شماره ۹ ص‌ص ۱۲۶-۱۳۷

مقاله مروری
تاریخ دریافت ۹۱/۸/۱۹
تاریخ پذیرش ۹۲/۲/٤
ارائه در سایت ۹۲/۶/۳۰

مروری بر روش‌های ارائه شده برای جانمایی بهینهٔ اجزای ماهواره

مهدی فکور[۱*]، مرضیه تقی‌نژاد[۲]، امیررضا کوثری[۳]

۱- استادیار مهندسی مکانیک، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران
۲- دانشجوی مهندسی هوافضا، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران
۳- استادیار مهندسی هوافضا، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران
* تهران، صندوق پستی ۱۴۳۹۹-۵۵۹۴۱ mfakoor@ut.ac.ir

چکیده- طراحی جانمایی یک سامانه پیچیده مانند ماهواره یا هواپیما دارای پیچیدگی بسیاری می‌باشد. این موضوع به عنوان مسأله کاملاً نامعین با زمان از لحاظ پیچیدگی محاسباتی شناخته شده است. مشکل اصلی در مسأله جانمایی فرموله نمودن به صورت ریاضی، استراتژی حل و رویکردهای عملی در تجربه مهندسی است. این مقاله تحقیقات انجام شده برای خودکار نمودن فرایند طراحی جانمایی در ماهواره را در ده سال اخیر بررسی می‌کند و روش‌های موجود را به سه گروه اصلی که شامل روش‌های تجربی، تعامل انسان- کامپیوتر و طراحی جانمایی به صورت سه بعدی می‌باشد، تقسیم می‌کند و سپس انواع روش‌های موجود در طراحی جانمایی سه بُعدی را با جزئیات بیشتری بررسی می‌نماید.

کلیدواژگان: جانمایی، ماهواره، جانمایی سه بعدی، بهینه‌سازی.

Review of method for optimal layout of satellite components

M. Fakoor[1*], M. Taghinezhad[2], A. Kosari[3]

1- Assist. Prof., Mech. Eng., Tehran Univ., Tehran, Iran
2- MSc Student, Aero. Eng., Tehran Univ., Tehran, Iran
3- Assist. Prof., Aero. Eng., Tehran Univ., Tehran, Iran
* P.O.B. 14399-55941 Tehran, Iran. mfakoor@ut.ac.ir

Abstract- Layout design of a complex system such as a satellite or an airplane is a difficult problem to solve. This problem is known as an NP-complete problem in terms of computational complexity. The main difficulties encountered in the layout design problem are formulation of the problem in mathematics and the solution strategy and practical approaches in engineering. This paper reviews the research work of the authors to automatic layout design process in satellite in last 10 years and the methods of layout design of satellite divides to three main categories that consist of practical method, human-computer interaction and three dimensional layout design and then studies methods of the current state of the art of 3D layout design.

Keywords: Layout, Satellite, Three-Dimensional Layout, Optimization.

۱- مقدمه

طراحی جانمایی اجزای ماهواره به معنای انتخاب مکان مناسب برای اجزای موجود، در سازه اصلی می‌باشد، به طوری که نه تنها کارکرد متقابل بخش‌های مختلف سبب اختلال در عملکرد سیستم ماهواره نشود، بلکه بتوان به کارایی بهینه دست یافت. جانمایی اجزای ماهواره تأثیر مستقیمی در عملکردهای زیرسیستمی اجزا، طول عمر هر یک از سرویس‌های موجود در ماهواره، هزینه‌های یکپارچه‌سازی و نگهداری ماهواره و در نتیجه عملکرد سیستمی کل ماهواره دارد. بنابراین طراحی چیدمان اجزای ماهواره یک تکنیک کلیدی برای بهبود عملکرد کل ماهواره است، به طوری که طراحی جانمایی هماهنگ و مناسب ویژگی رایجی در اکثر ماهواره‌های موفق بوده است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]

وجود تعداد زیاد اجزا و قیود بسیار در طراحی ماهواره، جانمایی را به مسأله پیچیده مهندسی و طراحی تبدیل می‌کند. علم مهندسی از یک طرف در جستجوی دست‌یابی به طرحی است که از هر جهت مناسب باشد؛ و از طرف دیگر بتواند این طرح را در کم‌ترین بازه زمانی به دست آورد. از سویی دیگر برای طراحی سیستم‌های پیچیده که وابسته به متغیرهای بسیاری باشد، هوش انسانی و طراحی تجربی نمی‌تواند مؤثر واقع شود و به همین دلیل بکارگیری هوش مصنوعی و روش‌های خودکار کامپیوتری در آن اهمیت بسیاری می‌یابد. در بحث طراحی جانمایی ماهواره که شامل اجزای بسیاری می‌باشد، اهمیت استفاده از روش‌های خودکار و بهینه‌سازی جلوه بیشتری می‌یابد.

مسأله بهینه‌سازی در جانمایی ماهواره مرتبط به مکان‌یابی قطعات در یک فضای قابل دسترسی می‌باشد، به طوری که مجموعه‌ای از اهداف بهینه شوند و علاوه بر آن الزامات و قیود عملکردی مربوط نیز، در فضای بهینه برآورده شوند. ملاحظات مربوط به قیود عملکردی می‌تواند شامل عملکرد اینرسی، تعادل و پایداری کل سیستم ماهواره، تأثیر تداخل الکترومغناطیسی [۱] و نفوذ گرمایی بین قطعات باشد و علاوه بر آن قیود کلاسیکی برای خودکار نمودن جانمایی شامل عدم تداخل اجزا و مکان‌یابی بین قطعات، نیز در نظر گرفته می‌شود [۲].

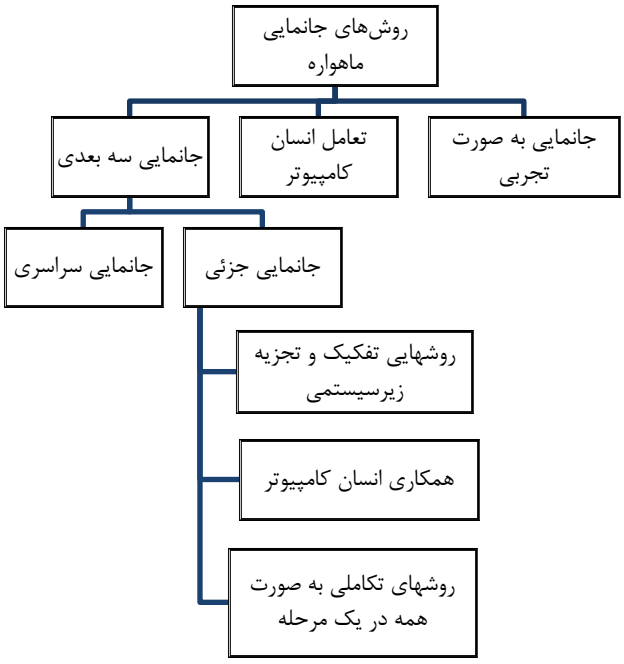
اخیراً تحقیقات در زمینه طراحی جانمایی ماهواره به طور وسیعی با پیشرفت قابل توجهی انجام گرفته است، اما منابع و اسناد کمی به دلیل پیچیدگی بسیار آن انتشار یافته است. این مقاله فعالیت‌های انجام شده در دهه اخیر را بیان می‌کند و تمامی فعالیت‌ها را در سه دسته اصلی که شامل رویکردهای تجربی، تعامل انسان کامپیوتر و رویکردهای طراحی سه بعدی می باشد، بیان می‌دارد.

۲- رویکردهای طراحی جانمایی ماهواره:

رویکردهای طراحی جانمایی ماهواره را می‌توان به چندین گروه به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

۱- رویکردهای تجربی
۲- تعامل انسان-کامپیوتر
۳- استفاده از طراحی ۳ بعدی در جانمایی

شکل ۱ نمودار درختی تقسیم‌بندی رویکرد طراحی ماهواره را نشان می‌دهد. در ادامه به شرح هر یک از موارد پرداخته می‌شود.



شکل ۱ تقسیم‌بندی انواع رویکردهای طراحی جانمایی در ماهواره

۳- رویکرهای تجربی

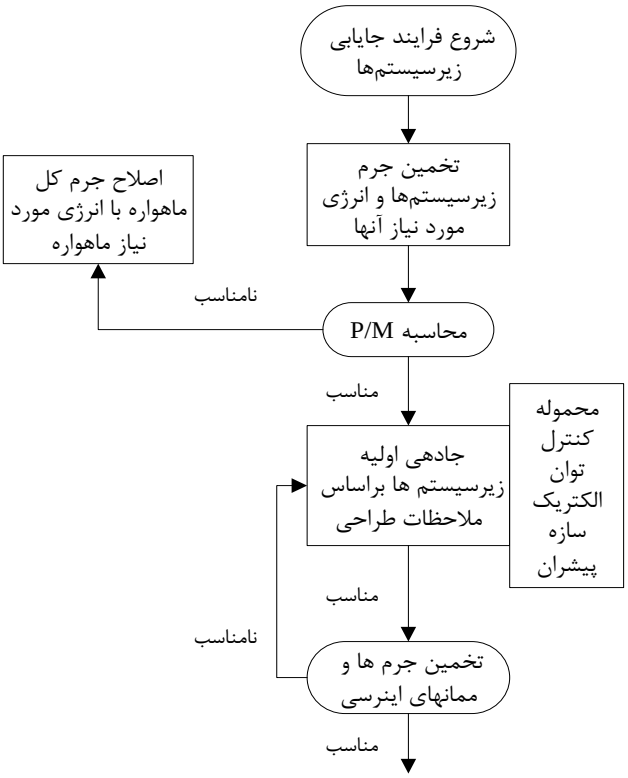
این رویکرد بر تجربه و عمل مهندسی استوار است؛ به طوری که این تجارب به صورت ضابطه و فرموله بیان نشده است و براساس تئوری و قاعده‌ای قابل توجیه نیست که به اصطلاح به آن قواعد سرانگشتی می‌گویند. تمامی الزامات مانند الزامات حرارتی برخی از اجزا، الزامات تداخل اکترومغناطیسی و قیود مربوط به کنترل وضعیت در نظر گرفته می‌شود [۴،۳].

شکل ۲ فرایند طراحی جانمایی ماهواره به صورت تجربی را نشان می‌دهد که در آن P انرژی کل مورد نیاز ماهواره و M جرم کل ماهواره می‌باشد. نسبت توان به جرم ماهواره برحسب نوع و ماموریت ماهواره می‌تواند مقادیر مختلفی را داشته باشد. بعد از این که نسبت جرم به توان ماهواره به صورت مناسبی تعیین شد، مرحله بعد که فرایند اصلی جانمایی را نشان می‌دهد، به این ترتیب می‌باشد که جانمایی اولیه‌ای براساس ملاحظات و الزامات مربوط به هر یک از زیرسیستم‌ها مانند حرارت و غیره انجام می‌شود، سپس مرکز جرم و ممان اینرسی ماهواره محاسبه می‌شود. برای کنترل ماهواره، زیرسیستم کنترل وضعیت محدوده مجاز مرکز جرم و ممان اینرسی را تعیین می‌کند و جانمایی باید به گونه‌ای باشد که مقادیر مورد

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]

نظر از محدوده تعیین شده تجاوز نکنند. حال اگر مقادیر به دست آمده از طریق جانمایی در این محدوده نباشد، با یک روند برگشتی دوباره جانمایی اصلاح می‌شود.

با توجه به تعداد اجزای موجود در ماهواره و قیود بسیاری که ممکن است در تقابل با یکدیگر قرار گیرند، عملاً جانمایی تجربی را به مسأله پیچیده مهندسی و طراحی تبدیل کرده است. با در نظر گرفتن این شرایط، و طرح‌های متعددی که می‌توان با قرار دادن اجزا در نقاط مختلف ماهواره به دست آورد، این امر را بدیهی می‌کند که جانمایی به روش سعی و خطا و تجربی نمی‌تواند طرح بهینه و مناسبی در نظر گرفته شود. علاوه بر آن این نوع جانمایی، از یک سو به صورت یک روند رفت و برگشتی انجام می‌گیرد تا نقایص و نارسایی‌هایی که در نتیجه چیدمان نامناسب انجام گرفته، اصلاح شود و پس از طی این چرخه، تنها می‌توان تا حدودی الزامات را برآورده کرد، بدون اینکه طراحی، بهینه شده باشد و از سوی دیگر زمان بسیاری سپری می‌شود تا این مراحل طی شود.



شکل ۲ فرایند جانمایی به صورت تجربی

۴- تعامل انسان-کامپیوتر

تعامل انسان-کامپیوتر HCI[1] در ارتباط با فعالیت‌هایی است که برای جایابی و مرتب‌سازی گزینه‌ها و اشکال ایجاد شده توسط کامپیوتر انجام می‌گیرد که نقش انسان در آن افزایش کارآمدی کامپیوتر است. هدف از تعامل کاربر در مسأله جانمایی اجزا، مکان‌یابی گزینه‌های ایجاد شده به وسیله ماوس/صفحه کلید برای رسیدن به کارآمدی بالاتر در مبادله ورودی ها و خروجی‌های بین کاربر و سیستم می‌باشد [۵]. از جمله می‌توان به الگوریتم فراگام برای چیدمان اجزا در ماهواره ZS3 اشاره کرد. در این روش با اولویت‌بندی اجزا و تشکیل زیرماتریس جانمایی، از یک طرح تجربی به عنوان جانمایی اولیه استفاده شده است و به این ترتیب با قراردادن ضرایب وزنی برای قیود از میان ماتریس جانمایی، طرح‌های گزینشی انتخاب می‌شوند که سبب بهینه شدن طراحی تجربی مورد نظر می‌شود [۷،۶]. استفاده از قواعد ترکیب جهت مکان‌یابی اجزای ماهواره در محل‌های قابل قرارگیری و حذف کردن طرح‌هایی که الزامات مورد نظر را برآورده نمی‌کنند، رویکرد دیگری از تعامل انسان-کامپیوتر می‌باشد [۹،۸]. در این روش با توجه به این که تعداد اجزای ماهواره زیاد می‌باشد، طرحهای بسیاری به دست می‌آید که انتخاب طرح مناسب در میان آن، مشکل و زمان‌بر است.

مراجع [۱۱،۱۰] به طراحی قرارگیری قطعاتی که در خارج از فضای ماهواره جای دارند، مانند آنتن‌ها و رادارها پرداخته‌اند. در مرجع [۱۰] با استفاده از روش‌های تعامل انسان و کامپیوتر، و روش‌های استدلالی براساس قیود، موقعیت‌های قابل قبول شناسایی می‌شود.

۵- طراحی جانمایی سه بُعدی

فعالیت‌های مربوط به جانمایی ماهواره زمانی ارزش یافت که جریان به روز طراحی جانمایی سه بُعدی بیان شد [۱۲]. موضوعی که در این قسمت مطرح می‌شود پیچیدگی محاسباتی در طراحی سه بعدی است که آن را جزء مسائل کاملاً غیر قطعی با زمان NP[2] قرار داده است که به دلیل وجود نقاط بهینه محلی بسیار و فضای جستجوی ناهموار و ناپیوسته، یافتن نقطه بهینه سراسری با مشکل روبرو خواهد شد که می‌توان

1. Human Computer Interaction
2. Non-Deterministic Polynomial Time

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]

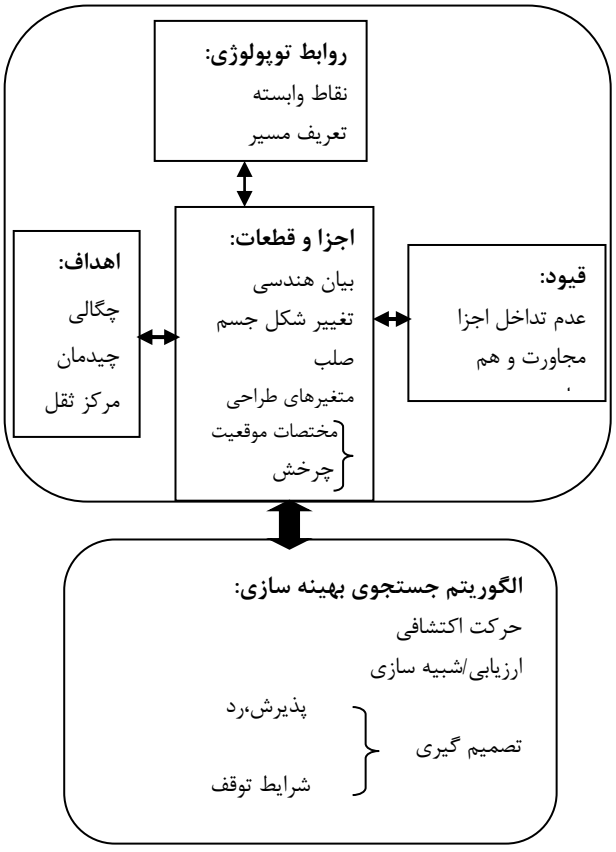
علت آن را عدم کارایی مناسب الگوریتم و مناسب نبودن شرایط بهینگی دانست. مرجع [۱۳] در سال ۲۰۰۴ یک مدل ریاضی با شرایط بهینگی مؤثر را برای حل بهینه سراسری در جانمایی سه بُعدی، ارائه داده است.

مرجع [۱۴] به بررسی رویکردهای محاسباتی برای جانمایی سه بعدی می‌پردازد و مشکل اساسی در فرایند خودکار نمودن جانمایی الکترومکانیکی و مکانیکی را به صورت زیر بیان می‌کند.

۱- مدل کردن قیود و اهداف طراحی
۲- محاسبه کارآمدی قیود و اهداف
۳- شناسایی استراتژی جستجوی بهینه‌سازی متناسب

شکل ۳ بخش‌های تشکیل‌دهنده جهت سیستم جانمایی عمومی را نشان می‌دهد.

همان طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، اهداف طراحی می‌تواند شامل چگالی جانمایی، هزینه پیکره‌بندی یا جانمایی، هزینه مسیریابی و عملکرد باشد.



شکل ۳ اجزای اصلی جانمایی برای جانمایی عمومی [۱۴]

روابط توپولوژی مربوط به مکان‌یابی اجزا می‌باشد که ارتباط و وابستگی بین اجزا را بیان می‌کند و به نوع الگوریتم بهینه-سازی انتخاب شده مرتبط می‌شود. قیود در نظر گرفته شده برای جانمایی سه بعدی، مربوط به عدم به روی‌هم رفتگی و تداخل اجزا با هم، قیود نزدیکی و هم‌ترازی می‌باشد. اجزای جانمایی که متغیرهای طراحی را تشکیل می‌دهد، جهت بیان هندسه اجزا اهمیت می‌یابد و معمولاً اشکال هندسی پیچیده به صورت ساده شده در نظر گرفته می‌شوند. اجزا، نوع متغیرهای طراحی را نیز تعیین می‌کند که می‌توان شامل موقعیت مکانی در سه بُعد x,y و z و متغیرهای چرخشی که چرخش حول هر یک از محورهای مختصات است، شود. این مرجع به طور معینی رویکردهای جانمایی موجود را مورد بررسی قرار داده و بر طبق استراتژی جستجو آنها را به چندین گروه مختلف تقسیم می‌کند. مرجع [۲] در سال ۲۰۰۳ چندین مسأله کلیدی بهینه‌سازی به صورت خودکار را در فضای ماهواره بیان می‌کند. این مرجع ۵ کلید اصلی در مشکلات خودکار نمودن مسأله جانمایی را مدل کردن و الگوریتم مورد استفاده، محاسبه تداخل و به روی‌هم رفتگی اجزا، تئوری و کاربردهای الگوی مکان‌یابی جانمایی، تصمیم‌گیری در طراحی جانمایی و رویکردهایی در تجربه مهندسی بیان می‌کند.

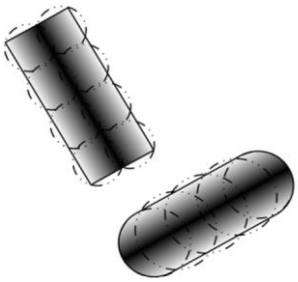
یکی از مشکلات کلیدی در طول فرایند بهینه‌سازی جانمایی، همان‌طور که بیان شد، محاسبه عدم به روی‌هم‌رفتگی و تداخل بین اجزای جانمایی می‌باشد. این موضوع شامل دو بخش آشکارسازی تداخل و اندازه‌گیری میزان تداخل است. آشکارسازی تداخل شناسایی می‌کند که آیا دو جزء با هم برخورد دارند یا خیر؟ و در صورت تداخل، در اندازه‌گیری تداخل، درجه به روی‌هم افتادگی بین اجزا و میزان تداخل را محاسبه می‌شود. رویکردهای مختلفی برای محاسبه شناسایی به روی‌هم‌افتادگی بین اجزا [۱۵-۲۰] و اندازه‌گیری میزان تداخل [۲۱] وجود دارد. اما با روش‌های موجود نمی‌توان تابع به روی‌هم افتادگی را به صورت تابعی پیوسته و مشتق پذیر بیان نمود و در نتیجه تحلیل حساسیت امکان پذیر نیست و باید برای بهینه‌سازی از روش‌های غیرگرادیانی مانند الگوریتم ژنتیک، تبرید فلزات و غیره استفاده شود. در روش ارائه شده توسط جی‌هنگ[1] برای محاسبه تابع به روی‌هم افتادگی با

1. ZHU Jihong

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]

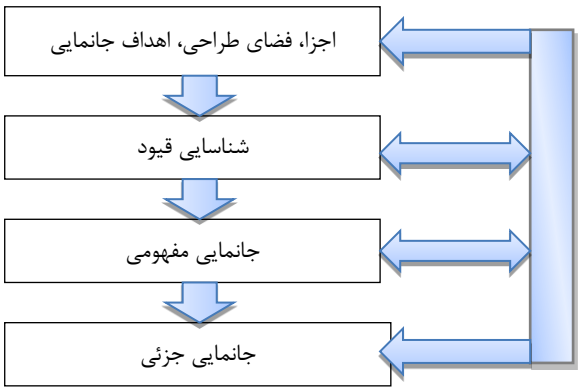
الگوگیری از روش المان محدود[1] رویکردی به نام دایره محدود[2] معرفی می‌شود. در این روش هندسه هر جزء به خانواده‌ای از دایره‌های محدود تبدیل می‌شود، به طوری که از به روی‌هم افتادگی بین دو جزء با مقید کردن فاصله بین دو دایره مرتبط، جلوگیری می‌شود. از مزایای این روش را می‌توان به بهبود در نظر گرفتن فضای جستجو به صورت هموارتر اشاره کرد که سبب می‌شود حوزه طراحی مقعر شود و نیز امکان استفاده از روش‌های گرادیانی را با توجه به هموار بودن محیط طراحی فراهم می‌کند [۲۳،۲۲]. شکل ۴ نمونه‌ای از تخمین اجزا را با روش دایره محدود نشان می‌دهد.

مرجع [۲۴] با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی به طور هم زمان به بهینه‌سازی هندسه و طراحی جانمایی می‌پردازد. عقیده اصلی این روش اصلاح کردن شکل هندسی و محل قرارگیری اجزا با برآورده نمودن الزامات مربوط به محیط عملکرد آن می‌باشد. مرجع [۲۵] فرایند جانمایی را به چهار مرحله تقسیم نموده است. این فرایند با توصیف هندسی هر یک از اجزا، تعیین فضای طراحی و اهداف جانمایی شروع می‌شود. سپس در مرحله دوم قیود مورد نظر شناسایی می‌شوند، مهمترین قیود مربوط به عدم تداخل هندسی بین اجزا می‌باشد. در مرحله جانمایی مفهومی مکان تقریبی اجزا در فضای طراحی تعیین می‌شود و جانمایی اولیه انجام می‌گیرد و در مرحله نهایی که جانمایی جزئی می‌باشد، جانمایی را با تحلیل جزئی‌تری با توجه به مرحله قبل، اصلاح می‌کند و تمامی قیود مانند قیود تداخلی به صورت جزئی‌تری بررسی می‌شوند و حل بهینه به دست می‌آید. شکل ۵ این مراحل را نشان می‌دهد. این مرجع اهداف جانمایی را با ارتباطات فضایی اجزا نسبت به یکدیگر به صورت ارتباطات نزدیکی و دوری اجزا از هم بیان می‌کند.



شکل ۴ تقریب اجزا با روش دایره محدود [۲۲]

1. Finite Element Method- FEM
2. Finite Circle Method- FCM



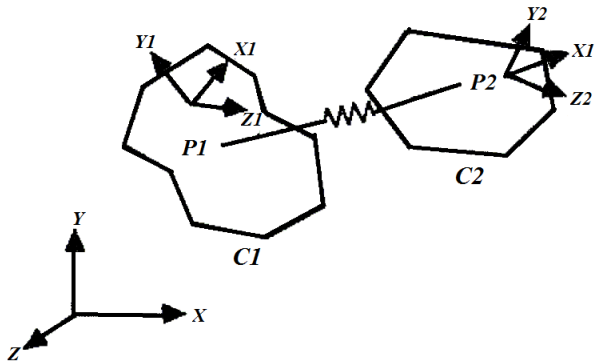
شکل ۵ مراحل جانمایی به صورت عمومی [۲۵]

بیان این ارتباط به صورت تابع انرژی فنر می‌باشد که بین دو جزء به هم متصل شده بیان می‌شود. ارتباط نزدیکی دو جزء جهت متمایل کردن آنها به سوی یکدیگر می‌باشد. ارتباط دوری بین دو جزء، وقتی برقرار می‌شود که فنر به صورت دافع رفتار کند. کاربرد ارتباط دوری اجزا وقتی اعمال می‌شود که عملکرد اجزا بر روی هم تأثیرگذار است مانند انتقال گرما یا تداخل الکترومغناطیسی. معادله ریاضی انرژی فنر در رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$E_{12}=\frac{1}{2}k(L-L_0)^2 \qquad (۱)$$

K ثابت فنر، L فاصله بین دو جزء و L_0 فاصله اولیه بین اجزای در نظر گرفته شده می‌باشد. شکل ۶ ارتباط نزدیکی و دوری دو جزء را به صورت فنر نشان می‌دهد.

مراجع [۲۶-۲۹] برای کاهش پیچیدگی محاسباتی، هموار نمودن و کاهش فضای جستجو، طراحی جانمایی ماهواره را در دو مرحله انجام می‌دهند که شامل جانمایی سراسری و جانمایی جزئی می‌باشد.



شکل ۶ ارتباط دو جزء با رابطه فنر [۲۵]

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]

۵-۱- جانمایی سراسری

این روش بر این عقیده استوار شده است که فاکتورهای اصلی با تسلط بیشتر در عملکرد جانمایی، در ابتدا نگه داشته شوند و دیگر فاکتورهای فرعی به طور موقت صرف‌نظر می‌شوند. بر این اساس، یک طرح جانمایی اولیه می‌تواند به طور مستقیم بر کارآمدی مرحله دوم و کیفیت پیدا کردن حل بهینه تأثیرگذار باشد. این مرحله از جانمایی با روش‌های آماری، تجربی، رویکردهای هوش مصنوعی [۲۷] و روش‌های الگوریتم ژنتیک [۲۹،۲۶] و دیگر روش‌ها انجام می‌گیرد. بر طبق این روش، هدف مورد نظر تقریب و ساده‌سازی طراحی جهت توجه به فاکتورهای کلی تأثیرگذار در عملکرد کل ماهواره، می‌باشد. در این مرحله اجزای موجود جهت جانمایی، میان طبقات یا صفحات قرارگیری اجزا درون ماهواره توزیع می‌شود و به این ترتیب ماهواره به چندین زیرفضا قابل تقسیم است. در این بخش از جانمایی، الزامات خاص مانند موقعیت اجزا در صفحه و جهت هر یک از اجزا به طور موقت چشم‌پوشی می‌شود. در مرحله دوم، مکان و جهت اشیا در هر زیر فضا در نظر گرفته می‌شود که وابسته به مدل ریاضی خاص و الگوریتم‌های جستجوی بهینه‌سازی می‌باشد. ازجمله قواعد و قیودی که در این مرحله جهت توزیع اجزا در روی سطوح قرارگیری در نظر گرفته می‌شود به صورت زیر تعیین می‌شود:

۱- قاعده پذیرش: مساحت هر طبقه جهت قرارگیری اجزا باید با مجموع سطح مقطع اجزای جانمایی مورد نظر در آن طبقه مساوی و یا بزرگتر باشد.

۲- قاعده تعادل: مرکز جرم واقعی سیستم ماهواره باید نزدیک به مرکز جرم مورد نظر تا حد امکان باشد.

شکل ۷ سطوح قرارگیری اجزا را در جانمایی سراسری نشان می‌دهد. این قواعد به صورت رابطه (۲) و (۳) بیان می‌شوند:

$$g_1 = |z_m - z_e| - \delta z_e \le 0 \qquad (۲)$$

$$g_2 = \max\{S_1, S_2, S_3, S_4\} \le \gamma S_l \qquad (۳)$$

z_m مرکز ثقل سیستم ماهواره، z_e مرکز ثقل مورد انتظار و δz_e خطای مجاز جابجایی مرکز ثقل می‌باشد. رابطه (۲) سبب می‌شود که فاصله مرکز ثقل واقعی ماهواره با مرکز ثقل مورد انتظار در راستای محور z از مقدار مجازی تجاوز نکند. $S_j\ (j=1,2,3,4)$ مساحت هر سطح را بیان می‌کند (طبق شکل ۷ فرض شده است که ۴ سطح قرارگیری اجزا وجود دارد). S_l ماکزیمم ناحیه مجاز هر سطح را نشان می‌دهد و γ ضریب اطمینان پذیرش می‌باشد که می‌تواند بر اساس تجربه بیان شود. معادله (۳) بیان می‌دارد که مجموع سطح مقطع اجزای توزیع یافته روی هر طبقه از کل مساحت آن طبقه تجاوز نکند. توجه شود که در مرحله جانمایی سراسری متغیرهای مکانی x و y و زوایا ثابت فرض می‌شوند و تنها متغیر z در نظر گرفته می‌شود.

۵-۲- جانمایی جزئی

با انجام جانمایی اولیه یکی از انواع متغیرهای مکان (Z) که سطح قرارگیری اجزا در طبقات را مشخص می‌کند، برای هر یک از اجزا به دست می‌آید و در جانمایی جزئی این متغیر ثابت در نظر گرفته می‌شود؛ اما باز هم مسأله طراحی جانمایی جزئی برای حل مشکلاتی دارد که در زیر به آنها اشاره شده است [۱۲]:

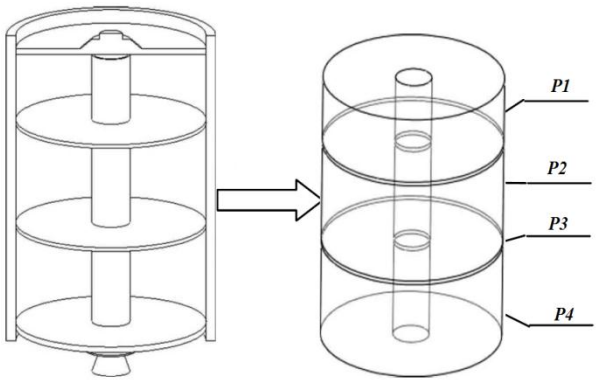
الف- فضای جانمایی کل شامل چندین زیرفضای مستقل شده است.

ب- اجزای نسبتاً زیادی (بیشتر از ۵۰ جزء) باید در روی چندین زیرفضا برطبق الزامات مهندسی مکان‌یابی شوند.

پ- مجموعه‌ای از اهداف و قیود عملکردی پیچیده باید در نظر گرفته شوند.

ت- این مسأله دارای کوپلینگ ضعیف از دیدگاه تجزیه است.

در نتیجه بهینه‌سازی جانمایی جزئی که موقعیت و جهت هر یک از اجزا را در هر زیرفضا (صفحات قرارگیری اجزا) مشخص می‌کند، اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. به طوری که در بسیاری از مقالات به دلیل اهمیت آن، تنها به بهینه‌سازی در این مرحله توجه کرده‌اند.



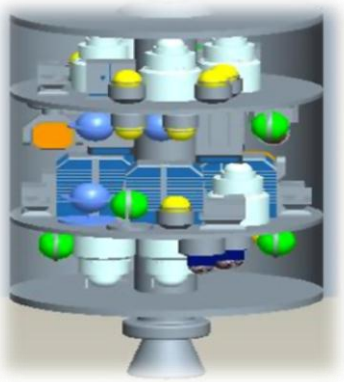
شکل ۷ سطوح قرارگیری اجزا [۲۹]

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]

رویکردهای به کار گرفته شده در این بخش را می توان به سه گروهِ روش‌های تکاملی در یک سطح، همکاری انسان-کامپیوتر و استفاده از روش تفکیک و تجزیه زیرسیستمی تقسیم نمود. شکل ۸ یک نمونه از جانمایی ماهواره را نشان می‌دهد.

۵-۲-۱- روش‌های تکاملی در یک سطح[1]

در این رویکرد بدون این که دیدگاه سیستمی و تجزیه زیرسیستمی در آن مطرح شود، از یکی از انواع روش‌های بهینه‌سازی تکاملی برای کل سیستم جهت یافتن نقطه بهینه استفاده می‌شود. این روش در بهینه‌سازی جانمایی ماهواره نیز مورد استفاده قرار گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: مرجع [۲۶] با استفاده از الگوریتم مورچگی[2] به جانمایی جزئی پرداخته است. مرجع [۳۰] الگوریتم ژنتیک را، جهت جانمایی اجزای دایروی درون سازه دایروی با اهداف کمینه نمودن وزن و نیز شعاع سازه پیاده‌سازی می‌کند. مرجع [۳۱] در سال ۲۰۰۷ برای بهبود الگوریتم تکاملی در طراحی جانمایی ماهواره از تکنیک رویکرد طراحی تکاملی برپایه موقعیت[3] استفاده کرده است. این تکنیک بر این پایه استوار است که در هنگام انتخاب افراد جمعیت با استفاده از روش‌های تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک، برخی از مشخصه‌های مهم ممکن است به شمار نیایند، با استفاده از این روش موقعیت‌ها بازیافته می‌شوند و به عنوان حل‌هایی برای مسائل جدید دوباره استفاده می‌شوند.



شکل ۸ نمونه‌ای از جانمایی اجزای ماهواره [۴۱]

1. All at Once
2. Ant Colony Algorithm
3. Case-Based Reasoning- CBR

مرجع [۲۷] نیز با استفاده ترکیبی از الگوریتم‌های ژنتیک و تجمع ذرات[4] به بهینه‌سازی در طراحی جانمایی ماهواره پرداخته است. ترکیب الگوریتم ژنتیک و تجمع ذرات به این دلیل می‌باشد که الگوریتم ژنتیک در همگرایی سراسری خوب عمل می‌کند و در همگرایی محلی مناسب نیست، اما الگوریتم تجمع ذرات در همگرایی محلی مناسب‌تر بوده ولی در همگرایی سراسری به خوبی عمل نمی‌کند. بنابراین در این روش جمعیت کل به دو زیر جمعیت تقسیم می‌شود. روش مبادله اطلاعات بین الگوریتم ژنتیک/ الگوریتم تجمع ذرات به این ترتیب می‌باشد که بهترین حل توسط ژنتیک به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود و نصف جمعیت به صورت تصادفی نزدیک به حل مرجع تولید می‌شوند و این افراد به عنوان جمعیت الگوریتم تجمع ذرات در نظر گرفته می‌شوند. از طرفی بهترین حل توسط PSO برای جایگزین نمودن افراد تصادفی در جمعیت GA انتخاب می‌شوند، به این ترتیب نقطه قوت PSO برای بهبود حل GA مورد استفاده قرار می‌گیرد.

رویکرد بهینه‌سازی در یک سطح، زمانی که تعداد اجزای جانمایی کم باشد، می‌تواند به طور کارامدی استفاده شود، اما با افزایش تعداد اجزا، دچار مشکلاتی به قرار زیر می‌شود [۳۰]:

الف- به دلیل این که همه متغیرها، اهداف و قیود در طول فرایند بهینه‌سازی جانمایی در یک مرحله در نظر گرفته می‌شوند، امکان قرار گرفتن در نقطه بهینه محلی به جای یافتن بهینه سراسری وجود دارد.

ب- زمان زیادی جهت یافتن حل بهینه صرف می شود.

پ- برای بعضی از مسائل جانمایی پیچیده، ضروری است که کل مسأله جهت ساده نمودن فضای جستجو، تجزیه شود.

۵-۲-۲- همکاری انسان-کامپیوتر

به دلیل این که جانمایی ماهواره معمولاً شامل تعداد زیادی جزء می‌باشد که باید در فضای ماهواره و با توجه به قیود عملکردی قرار گیرند و از طرفی یافتن حل مسأله به تنهایی با الگوریتم بهینه‌سازی دشوار است و نیز در نظر گرفتن مدل ریاضی در جانمایی ماهواره بدون تجربه مهندسی ممکن است قابل قبول نباشد، استراتژی انسان- ماشین [۳۲] یا همکاری انسان-کامپیوتر[5] [۳۳] می‌تواند رویکردی امیدبخش برای بهبود

4. Particle Swarm Optimization- PSO
5. Human-Computer Cooperative

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]

کارآمدی فرایند حل مسأله و کیفیت حل نهایی باشد [۲]. اما این که چطور عقیده تجربی و کاربردی مهندسی استفاده شود، هنوز سؤال حل نشده‌ای است [۲].

مرجع [۳۴] یک الگوریتم ژنتیک همکاری انسان-کامپیوتر را پیشنهاد می‌دهد که در آن طرح جانمایی توسط انسان رمزگذاری می‌شود و به جمعیت ژنتیک به عنوان افراد مصنوعی اضافه می‌شود. افراد مصنوعی و افراد اصلی جمعیت به صورت تصادفی با هم ترکیب و جمعیت جدیدی را توسط عملگرهای الگوریتم ژنتیک تولید می‌کنند. افراد مصنوعی نه تنها جمعیت اولیه را ایجاد می‌کنند، بلکه به صورت زمان واقعی[1] در طول چرخه راه‌اندازی در الگوریتم ژنتیک قرار دارند. عقیده اصلی این استراتژی روی توان بی‌همتای انسانی و تکنیک‌های کامپیوتری در کاربردهای پیچیده مهندسی می‌باشد. می‌توان به مراجع [۳۵-۳۷] نیز اشاره کرد که از این استراتژی برای جانمایی اجزای ماهواره استفاده نموده‌اند.

مرجع [۳۵] الگوریتم ژنتیک را به کمک کامپیوتر مانند مرجع [۳۴] بکار گرفته است. همچنین جهت پرش از نقاط محلی و سرعت بخشیدن بیشتر جهت رسیدن به حل بهینه سراسری، از استراتژی تسلط قیود برای مسائل چندهدفی استفاده کرده است [۳۸].

در مراجع [۳۷،۳۶] افراد جمعیت برای بهینه‌سازی به سه دسته تقسیم می‌شوند که شامل دانش محاسباتی، هوش انسانی و دانش اولیه است؛ اصول بکار گرفته شده در این روش بدین صورت می‌باشد که طرح‌های جانمایی که توسط بشر فراهم می‌آید، به عنوان افراد مصنوعی رمزگذاری می‌شوند. طرح هایی که توسط الگوریتم تکاملی تولید می‌شوند، نیز به عنوان افراد الگوریتم رمزگذاری می‌شوند و دانش اولیه که توسط تکنولوژی انتقال هاف[2] یا نرم‌افزارهای مدل‌سازی سه بعدی جهت ساده نمودن اجزای جانمایی به اشکال منظم و ساده انجام می‌گیرد، به عنوان افراد دانش اولیه رمزگذاری می‌شوند. تکنولوژی انتقال هاف برای تبدیل نمودن اشکال هندسی به حل و کدهای عددی برای دانش اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۶]. افراد مصنوعی، افراد الگوریتم و افراد دانش اولیه، همه توسط رشته-های رمزگذاری شده با هم بیان می‌شوند و جمعیت الگوریتم را تشکیل می‌دهند و با هم در عملگرهای الگوریتم تکاملی مانند انتخاب، تقاطع و جهش سهیم می‌باشند. به این ترتیب فکر خلاق انسانی، هوش محاسباتی الگوریتم و دانش اولیه با هم ترکیب شده‌اند. شکل ۹ ارتباط بین دانش انسان، الگوریتم و دانش اولیه را نشان داده است.

مشکلاتی که در این روش می توان ذکر نمود به قرار زیر است [۲۶]:

الف- هنگامی که تعداد اجزا جهت مکان‌یابی افزایش یابد، به تبع آن، قیود عملکردی و فضای رقابتی نیز افزایش می‌یابد که در این صورت شناخت و هوش انسان در فهمیدن مسأله جانمایی با مشکل روبرو می‌شود.

ب- برای تابع شایستگی ژنتیک نگه‌داشتن همه متغیرها و قیود به طور هم‌زمان در مسأله جانمایی، دشوار است. به همین دلیل رویکردهای تقسیم‌بندی مسأله به چندین زیر مسأله (زیرفضا) می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

۵-۲-۳- استفاده از روش‌های تفکیک و تجزیه زیرسیستمی

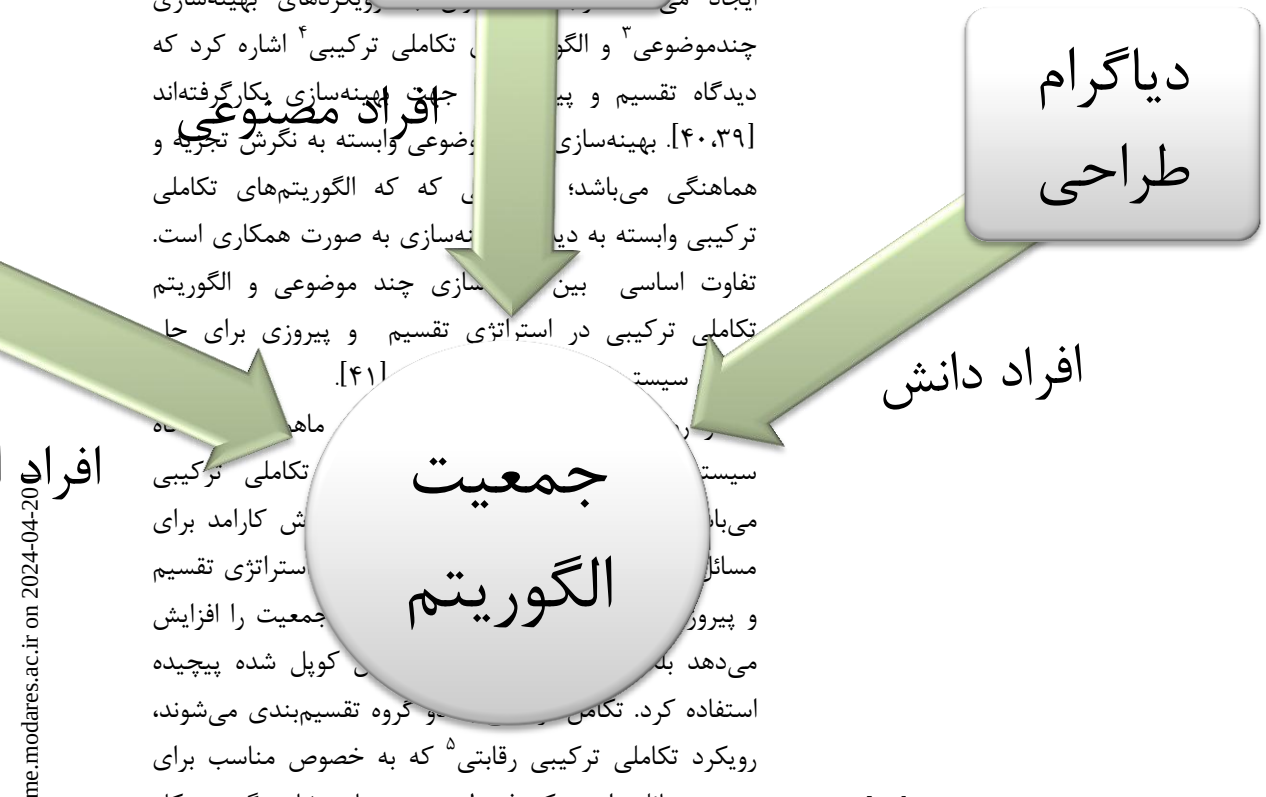
در این روش، با تعیین جانمایی اولیه و مشخص شدن طبقه و سطح قرارگیری هر یک از اجزا، کل فضای ماهواره به چندین زیرفضا تجزیه می‌شود. تجزیه فضای ماهواره به چندین زیرفضا از چند نقطه نظر مناسب است که ازجمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف- تقسیم فضای ماهواره به چند زیرفضا، محیط جستجوی هموارتری را فراهم می‌کند.

ب- زیرمسأله‌های موجود در هر زیرفضا نسبتاً مستقل ازهم هستند.

1. Real-Time
2. Hough Transform Technology

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]



شکل ۹ ارتباط بین دانش انسان، کامپیوتر و دانش اولیه [۳۶]

پ- ابعاد حل مسأله کاهش می‌یابد.
ت- محاسبه تداخل و به روی‌هم‌رفتگی اجزا که هزینه سنگین محاسباتی را فراهم می‌کند، با تجزیه نمودن فضای ماهواره، در هر زیرفضا به طور جداگانه محاسبه می‌شود و در نتیجه هزینه محاسباتی کاهش می‌یابد.
ث- فرصت حل کارآمد و موثرتری را می‌توان فراهم کرد.

با رویکرد تجزیه، کاملاً واضح است که محاسبه قید به روی‌هم‌رفتگی اجزا در هر زیرفضا به طور کاملاً مستقل از یکدیگر درنظرگرفته می‌شود. اما قیود دیگر زیرسیستم‌ها به یکدیگر کوپل می‌باشند. برای مسائلی با رویکرد طراحی سیستمی، استراتژی تقسیم و پیروزی[1] مؤثر می‌باشد. این استراتژی که به عنوان استراتژی قاعده و تقسیم[2] نیز شناخته می‌شود، [illegible] و اجتماعی مورد استفاده [illegible] یک قدرت به چندین قدرت ک[illegible]کسته می‌شود و رهبر برای رس[illegible] قدرت‌های کوچک‌تر را ایجاد می[illegible] رویکردهای بهینه‌سازی چندموضوعی[3] و الگو[illegible] تکاملی ترکیبی[4] اشاره کرد که دیدگاه تقسیم و پ[illegible] جهت بهینه‌سازی بکارگرفته‌اند [۴۰،۳۹]. بهینه‌سازی [illegible]وضوعی وابسته به نگرش تجزیه و هماهنگی می‌باشد؛ [illegible] که که الگوریتم‌های تکاملی ترکیبی وابسته به دی[illegible]نه‌سازی به صورت همکاری است. تفاوت اساسی بین [illegible]سازی چند موضوعی و الگوریتم تکاملی ترکیبی در استراتژی تقسیم و پیروزی برای حل [illegible] [۴۱].

[illegible] ماهو[illegible] سیست[illegible] تکاملی ترکیبی می‌با[illegible]ش کارامد برای مسائل[illegible] استراتژی تقسیم و پیروز[illegible] جمعیت را افزایش می‌دهد بل[illegible] کوپل شده پیچیده استفاده کرد. تکامل[illegible] گروه تقسیم‌بندی می‌شوند، رویکرد تکاملی ترکیبی رقابتی[5] که به خصوص مناسب برای حوزه مسائلی است که فرموله نمودن تابع شایستگی مشکل می‌باشد. رویکرد دیگر، تکاملی ترکیبی مشارکتی[6] است که برای حوزه مسائلی که قابل تجزیه هستند، مناسب‌تر است. این رویکرد، روشی برای مشارکت بین زیرسیستم‌ها می‌باشد. اما امکان همگرایی بی‌موقع و زمان‌بر بودن در روش‌های تکاملی ترکیبی مشارکتی، مشکلاتی هستند که نشان می‌دهد، مسأله جانمایی ماهواره به خوبی و به تنهایی با این روش‌ها حل نمی‌شوند [۴۱].

در مرجع [۴۲] با استفاده از تئوری بازی[7] و تکامل ترکیبی به بهینه‌سازی مسأله جانمایی ماهواره پرداخته است. تئوری

1. Divide And Conquer

2. Divide And Rule Strategy
3. Multidicipnality Optimization- MDO
4. Co-Evolutionary- CEA
5. Competitive Co-Evolutionary
6. Cooperative Co-Evolutionary- CCEA
7. Game

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]

بازی می‌تواند تعامل بین بازیکن‌های مختلف را کشف و شناسایی کند و روش تکامل ترکیبی همان طور که ذکر شد، برای مسائل پیچیده در طراحی مهندسی کاربرد دارد که ترکیب این دو روش می تواند کارآمد واقع شود. مرجع [۱۲] رویکرد جدیدی به نام جستجوی پراکندگی تکامل ترکیبی مشارکتی[1] را جهت جانمایی در ماهواره بکارگرفته است که از ترکیب روش جستجوی پراکندگی[2] با ساختار تکاملی ترکیبی به وجود آمده است. مرجع [۲۹] از الگوریتم ژنتیک ترکیبی مشارکتی برای طراحی جانمایی استفاده می‌کند و برای هر زیرفضای جانمایی، یک زیرجمعیت تعیین می‌کند. در این مرجع هر قید به عنوان یک هدف جدید به تابع هدف اضافه شده است. به این ترتیب مسأله بهینه‌سازی مقید به مسأله بهینه‌سازی نامقید چندهدفی تبدیل شده است. همچنین برای حل الزامات مهندسی و پیچیدهٔ هر هدف، از رویکرد بهینه‌سازی چندهدفی به صورت سلسه مراتبی[3] استفاده شده است. در این این رویکرد اهداف به مراتب زیر دسته‌بندی می‌شوند:

۱- اولین گروه شامل اهداف التزامی است که فرموله نمودن ریاضی آن مشکل می‌باشد، در مسأله جانمایی عدم به روی‌هم رفتگی اجزا در این گروه قرار می‌گیرد.

۲- دومین گروه شامل اهداف واضحی است که در آن توابع غیرخطی و در تقابل با یکدیگر قرار می‌گیرند. در مسأله جانمایی ماهواره، اهداف مربوط به ممان اینرسی‌های اصلی و ضربدری در این گروه قرار دارد.

۳- گروه سوم شامل اهداف صریحی است که دارای توابع خطی می‌باشند.

در نتیجه براساس قاعده سلسه مراتبی، فرایند جستجوی کل جانمایی ماهواره در مرحله جانمایی جزئی، به سه مرحله تقسیم می‌شود و سه تابع شایستگی مورد نظر می‌باشد. در این مقاله بعد از اتمام طراحی جانمایی جزئی در هر زیر فضا، طرح جانمایی کل ماهواره با انتخاب بهترین طرح جانمایی در هر زیرفضا و ترکیب آنها با زیرفضاهای دیگر به دست می‌آید. در مرحله نهایی، چرخش طرحهای انتخابی برای بهبود بهتر قید زاویه‌ای انجام می‌گیرد.

در مرجع [۴۱] برای جلوگیری از همگرایی بی‌موقع، چهارچوب سیستم دوگانه‌ای متشکل از تکامل ترکیبی مشارکتی را بیان می‌کند. در سیستم اول در هر یک از زیرفضاها به صورت موازی فرایند بهینه‌سازی انجام می‌گیرد و در سیستم دوم بهینه‌سازی در یک سطح انجام می‌گیرد. این دو سیستم به طور هم‌زمان به حل مسأله جانمایی به صورت سیستمی می‌پردازند و افراد ممتاز از هر یک از این سیستم‌ها می‌تواند به سیستم دیگری مهاجرت کنند. علاوه بر آن در این مقاله از استراتژی ذره متغیر[4] جهت کاهش هزینه محاسباتی استفاده شده است. به این ترتیب با استفاده از تحلیل مدل زمخت به نرم[5] [۴۳]، اجزا را طبق کاهش جرم آنها دسته‌بندی می‌نماید.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله تحقیقات انجام گرفته در زمینه مسأله جانمایی ماهواره در دهه اخیر به طور خلاصه بیان می‌شود. رویکردهای مربوط به جانمایی به سه گروه تقسیم می‌شود که به ترتیب زیر می‌باشند:

۱- رویکردهای تجربی: به دلیل تعداد زیاد اجزا جهت جانمایی و قیودی که باید برآورده شوند، استفاده از روش تجربی برای دست‌یابی به طرح بهینه و مناسب مشکل و زمان‌بر است.

۲- تعامل انسان-کامپیوتر: این روش وابستگی بسیاری به تجربه انسانی دارد و از کامپیوتر برای افزایش کارامدی و سرعت استفاده می‌شود.

۳- استفاده از روش‌های جانمایی به صورت سه بُعدی: در این روش با بیان مدل ریاضی و فضای طراحیِ مسأله جانمایی، از روش‌های بهینه‌سازی عددی برای یافتن نقطه بهینه هر یک از اجزا استفاده می‌شود. مشکلات موجود در این روش پیچیدگی محاسباتی مسأله جانمایی، بیان ریاضی عدم تداخل اجزا با یکدیگر، کارآمدی الگوریتم بهینه‌سازی و مدل‌سازی ریاضی آن می‌باشد. برای افزایش کارامدی الگوریتم بهینه‌سازی در جانمایی ماهواره راه‌کارهایی مانند فرایند دو مرحله‌ای جانمایی (سراسری و جزئی)، استفاده از روش‌های تکاملی در یک سطح، روش‌های همکاری انسان-کامپیوتر و نیز استفاده از روش‌های تفکیک و تجزیه زیرسیستمی انجام شده است.

1. Scatter Search Cooperative Co-Evolutionary- CCSS
2. Scatter Search- SS
3. Relaxation Hierarchy Multi-Objective Optimization
4. Variable-Grain
5. Coarse-to-Fine

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]

۷- مراجع

[1] Heidari, H., Faghihi, F., Abbasi, V., "optimized route conductors in electrical equipment, metal enclosures using analytic hierarchy process based on electromagnetic compatibility", *Journal of Modares Mechanical Engineering*, No. 38, 2009, pp.1-10. (In Persian)

[2] Sun, Z., Teng, H.F. and Liu, Zh. "Several Key Problems in Automatic Layout Design of Spacecraft Modul" *Progress In Natural Science*, Vol. 13, No. 11, 2003, pp. 801-808.

[3] Sarafin, T.P., Larsoh, W.J "*Spacecraft Structures and Mechanisms–From Concept to Launch*" California, Microcosm, Inc. & Kluwer Academic Publisher, 1997, pp. 463-505.

[4] Larsoh, W.J., Wertz, J.R. "*Space Mission Analysis and Design*" California, Microcosm Press, Third Edition, 2005, pp. 462-463.

[5] Peer, S.K., Dinesh, K.S "Human–Computer Interaction Design with Multi-Goal Facilities Layout Model" *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 56, No.9, 2008, pp. 2164–2174.

[6] Daneshjou K., Arjomandi M. and Shahrabi H., "FARAGAM Algorithm in Satellite Layout" *In:Proceeding 6th Asia-Pacific conference on Multilateral Cooperation in Space Technology and Applications*, 2001.

[7] Shahrabi Farahani, H., "General layout components designed for satellite subsystems", Thesis of M.Sc, Iran University of Science and Technology, 2001. (In Persian)

[8] Kahraman, M., Swenson.E.D., Black.T.J. "A Constraint Based Approach for Building Operationally Responsive Space Satellites" *IEEE Recent Advances in Space Technologies, 4th International Conference*, 2009, pp. 506-511.

[9] Ghaffari, H., "*General layout and design of satellite subsystems*", Thesis of M.Sc, Iran University of Science and Technology, 2001. (In Persian)

[10] Ferebee M.J., Allen C.L. "Optimization of Payload Placement on Arbitrary Spacecraft", *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 28, No. 5, 1991, pp. 612-4.

[11] Boissonnat J.D., Delange E., Teillaud M., "Slicing Minkowski Sums for Satellite Antenna Layout", *Computer Aided Design*, Vol. 30 No. 4, 1998, pp. 255-65.

[12] Wang Y.S., Teng H.F., Shi Y.J. "Cooperative Co-evolutionary Scatter Search for Satellite Module Layout Design", *Emerald Group, Engineering Computations: International Journal for Computer-Aided Engineering and Software*, Vol. 26, No.7, 2009, pp. 761-785.

[13] Jun T., Feng E. "The Global Optimal Solution to the Three-dimensional Layout Optimization Model with Behavioral Constrains", J. *Appl. Math. & Computing*, Vol. 15, No. 1-2, 2004, pp. 313- 321.

[14] Cagan J., Shimada K., Yin S. "A Survey of Computational Approaches to Three-Dimensional Layout Problems" *Computer Aided Design*, Vol. 34, No. 3, 2000, pp. 412.

[15] Art R.C. "An Approach to the Two Dimensional Irregular Cutting Stock Problem" *IBM Cambridge Science Center Report*, No. 36., 1966

[16] Adamowicz M., Albano A. "Nesting Two Dimensional Shapes in Rectangular Models", *Computer Aided Design*, Vol. 8, No. 1, 1976, pp. 27-33.

[17] Ghosh P.K. "A Unified Computational Framework for Minkowski Operations", *Computer and Graphics*, Vol. 17, No. 4, 1993, pp. 357-378.

[18] Bennel J.A., Dowsland, K.A., Dowsland, W.B. "The Irregular Cutting-Stock Problem- a New Procedure for Deriving the No Fit Polygon" *Computer and Operation Research*, Vol. 28, No. 3, 2001, pp. 271-287.

[19] Moore A., "The Circle Tree –A Hierarchical Structure for Efficient Storage, Access and Multi-Scale Representation of Spatial Data", *The 14th Annual Colloquium of the Spatial Information Res arch Centre University of Otago*, 2002

[20] Cameron S. "Approximation Hierarchies and S-Bounds", *Proceedings Symposium on Solid Modeling Foundations and CAD/CAM Applications*, 1991, pp. 129-137.

[21] Liu D.Q., Teng H.F., "Finite Triangle Element Method of Calculating Overlapping Area Between Two Irregular-Shaped Polygon", *Chinese Journal of Dalian University of Technology*, Vol. 39, 1999, pp. 597-600.

[22] Zhu J. "Integrated Layout Design of Multi-component Systems", PHD. Thesis, *Université de Liège, Faculte Des Sciences Appliquees*, 2008.

[23] Zhu J., Zhang W., Beckers P. "Multi-Component Layout Design with Coupled Shape and Topology Optimization", *J. Simul. Multidisci. Des. Optim*, Vol. 2, 2008, pp.167–176.

[24] Toshihatu T., Ichiro N. "Adaptive-Growth-Type 3D Representation for Configuration Design", *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 13, No.3, 1999, pp. 171-184.

[25] Kim J.J., Gossard D.C. "Reasoning on the Location of Assembly Packaging", *Journal of Mechanical Design*, Vol.113, 1991, pp. 402-407.

[26] Sun Z.G., Teng H.F. "Optimal Layout Design of a

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]

Satellite Module", *Engineering Optimization*, Vol. 35, No. 5, 2003, pp. 513-529.
[27] Zhang B., Teng H.F., Shi Y.J. "Layout Optimization of Satellite Module Using Soft Computing Techniques", *Applied Soft Computing*, Vol. 8, No. 2, 2008, pp. 507-21.
[28] Teng H.F., Sun S.L., Liu D.Q., Li Y.Z., "Layout Optimization for The Objects Located Within A Rotating Vessel A Three-Dimensional Packing Problem with Behavioral Constraints", *Computers & Operations Research*, Vol. 28, 2001, pp. 521-535.
[29] Huo J.Z., Teng H.F. "Optimal Layout Design of a Satellite Module Using a Co-Evolutionary Method with Heuristic Rules", *ASCE Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 22, No. 2, 2009, pp. 101-111.
[30] Yi-chun X., Ren-Bin X., Martyn A., "A Novel Algorithm for The Layout Optimization Problem" *IEEE Evolutionary Computing Conference Publications*, 2007, pp. 3938-3943.
[31] Jin B., Teng H.F. "Case-Based Evolutionary Design Approach for Satellite Module Layout" *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 66, 2007, pp. 989-994.
[32] Lenat D.B., Feigenbaum E.A. "On the Thresholds of Knowledge", *Artificial Intelligence*, Vol. 47, 1991, pp. 1-185.
[33] Dai R.W. "Metasyntactic Wisdom of Man Computer Cooperation" *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol. 7, No.3, 1994, p. 181.
[34] Qian Z.Q., Teng .H.F., Sun Z.G. "Human-Computer Interactive Genetic Algorithm and Its Application to Constrained Layout Optimization", *Chinese Journal of Computers*, No. 5, 2001, pp. 553-560.
[35] Huo J.Z., Teng H.F. "Optimal Layout Design of a Satellite Module Using a Co-Evolutionary Method with Heuristic Rules", *ASCE Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 22, No. 2, 2009, pp. 101-111.
[36] Liu Z.W., Teng H.F. "Human-Computer Cooperative Layout Design Method and Its Application", *Science Direct*, Vol. 55, 2008, pp. 753-757.
[37] Wang Y.H., Teng H. F. "Knowledge Fusion Desing Method: Satellite Module Layout", *Science Direct, Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 22, 2009, pp. 32-42.
[38] Deb K., Pratap A., Agarwal S., Meyarivan T., "A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 6, No.2, 2002, pp. 182-197.
[39] Potter M.A., De Jong K.A. "Cooperative Coevolution: An Architecture for Evolving Co-Adapted Subcomponents", *Evolutionary Computation*, Vol. 8, No. 1, 2000, pp. 1-29.
[40] Keane A.J., Nair P.B. "*Computational Approaches for Aerospace Design*", University of Southampton, John Wiley & Sons, 2005, pp. 117-150, 359-385.
[41] Teng H.F., chen Y., Zeng W., Shi Y.J., Qing-hua Hu Q.H., "A Dual-System Variable-Grain Cooperative Co-evolutionary Algorithm: Satellite-Module Layout Design", *IEEE Transaction on evolutionary computation* , Vol. 14, No. 3, 2010, pp. 438-455.
[42] Zeng W., Shi Y.J., Teng H.F. "A Co-evolutionary Game Optimization Method for Layout Design of Satellite", *IEEE Computing Intelligence and Security*, Vol. 1, 2006, pp. 270-273.
[43] Nain P.K.S., Deb K. "A Computationally Effective Multiobjective Search and Optimization Technique Using Coarse-to-Fine Grain Modeling", *In Proc. Parallel Problem Solving Nature Workshop EVol. Multiobjective Optimization*, 2002, pp. 2081-2088.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1392.13.9.6.4]