



ارائه شده توسط :

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معابر

تجسم (دیداری سازی) و متريک عملکرد در بهينه سازی چند منظوره

چكيده

دیداری سازی جمعيت در يك فضای عینی با ابعاد بالا در سرتاسر فرایند تکامل یک ويژگی جذاب می باشد که می توان آن را در طراحی الگوریتم های تکاملی چند منظوره (MaOEAs) استفاده کرد. در این مقاله، يك روش مجازی سازی جدید پیشنهاد می شود. اين الگوریتم افراد را از فضای عینی با ابعاد بالا به يك محور مختصات قطبی دو بعدی ضمن حفظ رابطه غالبیت پارتولو، حفظ شکل و محل جبهه پارتولو و حفظ توزیع افراد نگاشته می کند. بر این اساس تصمیم گیرنده قادر به مشاهده فرایند تکامل، براورد موقعیت، دامنه و توزیع جبهه پارتولو، ارزیابی کیفیت جبهه و توازن تقریبی بین اهداف و انتخاب راه حل های مطلوب است. به علاوه، کاربرد قابل تعمیم به ابعاد مختلف، مدیریت تعداد زیادی از افراد در جبهه و هم زمان تجسم و دیداری سازی جبهه های متعدد برای مقایسه می باشد. بر اساس این ابزار تجسم و دیداری سازی، يك متريک عملکرد، موسوم به متريک قطبی طراحی می شود. همگرایی جبهه تقریبی با مقادیر شعاعی همه اعضای جمعيت در جبهه اندازه گیری می شود. در عین حال، عملکرد تنوع با تعداد نیچ هر زیر منطقه در يك فضای عینی با ابعاد بالا تعیین می شود. نتایج آزمایشی نشان می دهد که اين می تواند مقایسه جامع و قابل اطمینان را در میان MaOEAs ارایه کند.

كلمات کلیدی: الگوریتم های تکاملی چند منظوره(MaOEA)، مسئله بهینه سازی چند منظوره، نگاشت، متريک عملکرد، تصویر سازی (دیداری سازی)

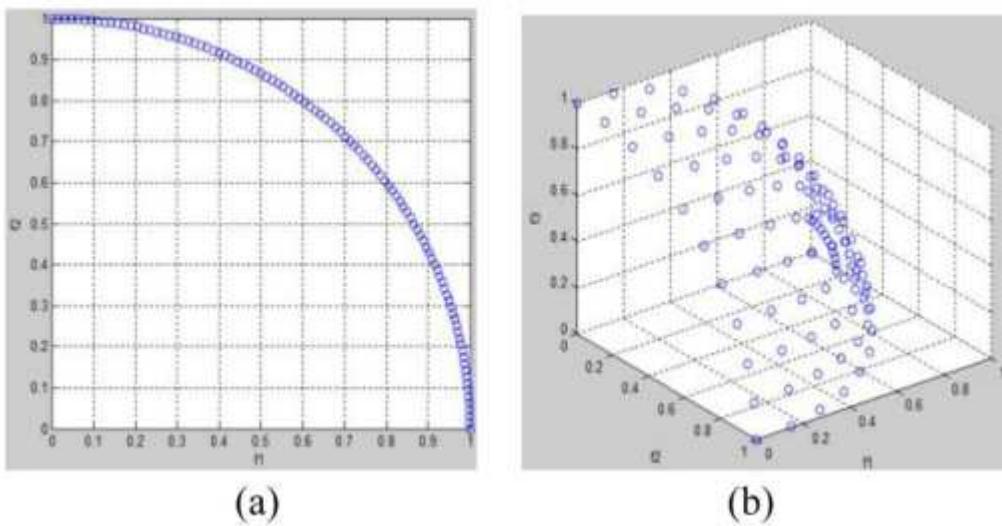
- ۱ - مقدمه

مسائل بهینه سازی چند منظوره دنیای واقعی(MOP) شامل چیزی فراتر از سه هدف متناقض است که موسوم به مسائل بهینه سازی چند هدفه یا چند منظوره هستند. دیداری سازی (تجسم) جمعيت در فضای هدف با ابعاد بالا در سرتاسر فرایند تکامل یک فرصتی را در اختیار می گذارد که می توان از آن در طراحی الگوریتم های تکاملی چند منظوره استفاده کرد. ابزار های تجسم و دیداری سازی يك شکل ، موقعیت و دامنه ای از جبهه های پارتولو تقریبی

را ارایه می کند که به توازن بین اهداف، فرایнд های تکامل، ارزیابی کیفیت جبهه تقریبی و کمک به تصمیم گیران برای انتخاب راه حل های مطلوب^(۱) کمک می کند. در فضای با بعد پایین با دو یا سه هدف، نمودار پراکنده‌گی، موقعیت، توزیع و شکل جبهه تقریبی را نشان می دهد که در آن هر محور به طور مستقیم یک هدف را نشان می دهد. بر اساس نمودار پراکنده‌گی، یک تصمیم گیرنده قادر به انتخاب آسان و انتخاب راه حل های مطلوب است. با این حال، بعدیت دیگر در فضاهای عینی با ابعاد بالا استفاده می شود. به طور طبیعی، ما در مورد توسعه راهبرد هایی برای کاهش تعداد اهداف ضمن حفظ اطلاعات همه اهداف فکر می کنیم. در صورتی که تعداد اهداف به دو یا سه کاهش یابد، آنگاه امکان دیداری سازی و تجسم جبهه پارتو توسط نمودار پراکنده‌گی وجود دارد. برای نمونه، برآکهوف و زتلر^(۲) روابط متضاد و غیر متضاد بین هر جفت از اهداف را شناسایی کرده و سپس اهداف غیر متعارض را به یک هدف ترکیب کرد. ساکسن و همکاران^(۳) یک تحلیل مولفه اصلی و واریانس حداکثر را بر اساس چارچوبی برای الگوریتم کاهش هدف خطی و غیر خطی ارایه کردند. لیگو و همکاران^(۴) از هماهنگی محلی بین اهداف برای کاهش بعدیت با خوش بندی جبهه بهینه پارتو و اعمال تحلیل مولفه های اصلی مبتنی بر قواعد از جمله بیان اولویت برای کاهش هدف بالقوه استفاده کردند. با این حال، مسائل بسیاری وجود دارد که هدف آن ها را نمی توان کاهش داد. به علاوه، در برخی مسائل، حذف تعداد کمی از اهداف به تصویر سازی کمکی نمی کند. در این مقاله روش‌های تجسم زیادی برای مشاهده داده های با ابعاد بزرگ وجود دارد. اولین نوع روشها، از جمله اشکال مختلف هماهنگی موازی [۵] و هیئت مپ [۶]، نشان دهنده هر راه حل ابعادی در یک سیستم مختصات موازی است. برای یک فضای هدف ابعاد M، کل سیستم مختصات موازی حاوی M محورهای موازی است، که هر کدام به یک هدف مرتبط است. این روش فقط می تواند مقادیر اصلی اهداف راه حل را حفظ کند. به منظور ارائه اطلاعات در مورد روابط تجاری بین اهداف برای یک تصمیم گیرنده، آن نیاز به اهداف مورد علاقه قرار دادن در مجاورت یکدیگر است. با این حال، تعداد مقایسات میان اهداف مجاور مختلف به طور نمایی با تعداد اهداف رشد می کند. علاوه بر این، قادر به نشان دادن اطلاعات کنترلی نسبت به تقریباً پارتو تقریبی^(۱) نیست. نوع دوم روشها، از جمله نمودار بادل، تجسم مختصات شعاعی رادویز، نقشه های خودسازمانده (SOMs)، نقشه برداری و نقشه برداری را از یک فضای هدف با ابعاد بزرگ

به یک فضای دو بعدی، در حالی که فاصله های محلی بین هر جفت راه حل در یک فضای با ابعاد بزرگ را حفظ می کند. از فضای دو بعدی، تصمیم گیرندگان می توانند به راحتی راه حل های مورد نظر خود را تعیین کنند. با این حال، این روش نقشه برداری اغلب به طور غریزی برخی اطلاعات بحرانی را در فضای دو بعدی نشان داده شده از دست می دهد. علاوه بر این، در فضای دو بعدی شده، هنوز مشخص نیست که شکل تقریبی جبهه و توافق بین اهداف چیست. بر اساس بحث های بالا، تقریبها جبهه‌ی پارتو را با استفاده از تکنولوژی های فعلی به تصویر می کشد. یک روش موثر تجسم برای ارائه اطلاعات دقیق و جامع برای تقریباً پارتو در فضاهای هدف بزرگ مورد نیاز است. از سوی دیگر، هیچ ماتریسی عملکردی برای مقایسه MaOPs با MaOEAs در MOP های کم حجم وجود ندارد. در این مقاله، معیارهای عملکردی مؤثر برای مقایسه الگوریتم های تکاملی چندگانه (MOEA) در [۱۲] نشان داده است که بسیاری از معیارها ممکن است نتوانند واقعاً کیفیت مجموعه راه حلها را بازتاب دهند و برخی از معیارها فقط برای مشکلات بهینه سازی دو هدف کار می کنند. هنگامی که به فضاهای هدف بزرگ می آید، این معیارها نمی توانند وفادارانه عمل کنند مانند فضاهای کم ابعاد. در [۱۳]، ما روش یک گروه برای مقایسه MaOEA ها را به کار گرفته ایم، زیرا هر یک از ارقام عملکرد تنها نمی تواند عملکرد جامع MOP های کم حجم طراحی شده اند. بنابراین، اما هنوز از معیارهای متعدد استفاده می کند که عمدتاً برای مقتاعده کننده را ارائه دهد. هنوز هم به یک مطالعه جامع نیاز دارد تا نقاط قوت و ضعف های MaOEA را تحت تأثیر قرار دهد. در این مقاله یک روش تجسم جدید برای فضاهای ابعادی با ابعاد بزرگ طراحی شده است. این افراد را از یک فضای با ابعاد بزرگ به یک سیستم مختصات دو قطبی با قطب (٠، ٠)، جایی که هر فرد مقدار مختصات شعاعی و یک مقدار مختصات زاویه ای را تعیین می کند، نشان می دهد. مختصات شعاعی نشان دهنده عملکرد همگرایی هر یک از افراد است و بر اساس ارزش عینی اصلی هر فرد و شکل جبهه تقریبی در یک فضای با ابعاد بزرگ تعیین می

شود. کوچکتر مقدار مختصات شعاعی، فاصله نزدیکتر به قسمت راست پارتول است. از سوی دیگر، مختصات زاویه ای توزیع افراد را در مقابل تقریبی نشان می دهد. این همچنین نشان می دهد جمعیت در هر منطقه از یک فضای با ابعاد بزرگ. تعداد بیشتری از مقادیر مختصات زاویه ای مختلف در میان همه افراد، توزیع و پخش جبهه است. این روش حفظ رابطه پرمعنایی پارتول بین افراد در مقابل تقریباً پارتول را حفظ می کند، شکل و مکان پارتول را حفظ می کند و توزیع راه حل ها را حفظ می کند. از آن، تصمیم گیرندگان می توانند روند تکامل را برآورده کنند، مکان، محدوده و توزیع جبهه پارتول را برآورده کنند، کیفیت تقریبی جبهه و تجارت بین اهداف را ارزیابی کرده و به راحتی راه حل های مورد نظر خود را انتخاب کنند. این طراحی می تواند برای هر ابعادی قابل مقایسه باشد، تعداد زیادی از افراد را در مقابل تقریبی قرار می دهد و هم‌زمان برای ارزیابی بصری از چندین جهت تجسم می کند. علاوه بر این، طرح تجسم حاصل ناخوشایند افزودن یا حذف یک فرد است.



شکل ۱: نمودار پراکندگی در فضای دو و سه بعدی

بر اساس این رویکرد تجسم پیشنهادی، یک معیار عملکرد به نام قطبی متريک برای اندازه گيري عملکرد طراحی شده است. همگرایی تقریب مقابل توسط مقادیر شعاعی تمام اعضای جمعیت در آن جبهه، که MaOEAs نتیجه یک عملکرد اسکالاریزه است، اندازه گيري می شود. در ضمن، عملکرد تنوع زاویه تقریبی عمدتاً به واسطه شمارش نویسی هر یک از حوادث در یک فضای با ابعاد بزرگ تعیین می شود. نتایج آزمایش نشان می دهد که

متريک با خصوصيات قوي نتایج مقایسه‌های را نشان می دهد که يك شاخص كیفیت MaOEAs ارزیابی شده است. .

بخش دوم، ادبیات انتخابی را برای هر دو رویکرد تجسم موجود و معیارهای عملکرد توصیف می کند. بخش سوم در مورد روش تجسم پیشنهادی به تفصیل توضیح داده شده و طراحی متريک جدید، متريک پی، بر اساس رویکرد تجسم ارائه شده است. بخش چهارم جزئیات آزمایشی و یافته های مربوط به مشکلات معیوب قابل اندازه گیری را مشخص می کند. در نهایت، نتیجه گیری در بخش ۷ همراه با مشاهدات مربوطه است. بدون از دست رفتن عمومی، در مقاله باقی مانده، ما فقط مشکلات کمینه سازی را در نظر می گیریم.

- مرور منابع

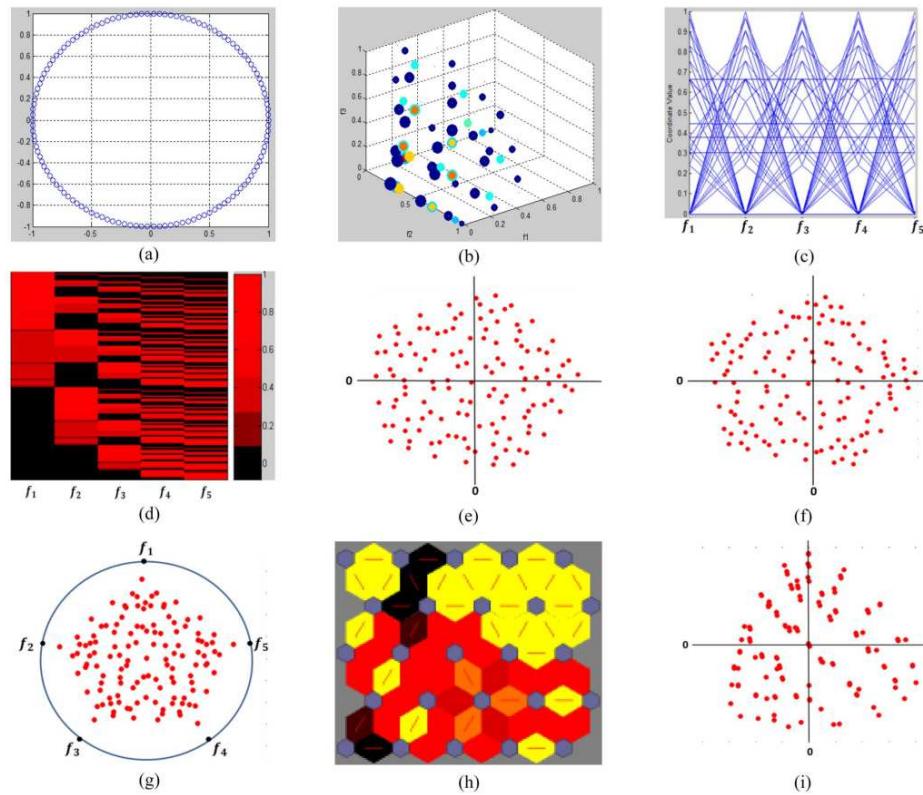
در اين بخش، ما در مورد رویکرد های تصویر سازی یا دیداری سازی موجود برای MaOP و متريک عملکرد طراحی شده برای ارزیابی MaOEA صحبت می کنیم.

الف: رویکرد های دیداری سازی (تجسم) رایج برای MaOP

در يك فضای کم حجم با دو یا سه هدف، يك طرح پراکنده، محل، توزيع و شکل جبهه‌ی تقریبی را نشان می دهد که هر محور به طور مستقیم يك هدف را نشان می دهد. از يك طرح پراکنده، تصمیم گیرنده به راحتی تصمیم گیری می کند و راه حل های مورد نظر را برداشت. با این حال، آن را نمی توان به فضاهای هدف با ابعاد بیش از ۳-۴ گسترش داد. به عنوان يك پسوند طرح پراکنده‌ی، نمودار بودیل [۷] از اندازه و رنگ استفاده می کند تا به معنی D گسترش داد. به طوری که تعداد ابعاد تجسم محدود به پنج باشد. شکل ۱ نمونه هایی از طرح پراکنده‌ی را در ابعاد چهارم و پنجم، به طوری که تعداد ابعاد تجسم محدود به پنج باشد. شکل ۱ نمونه هایی از طرح پراکنده‌ی را در فضاهای D۲ و D۳ اختصاص می دهد.

در اين مقاله، دو نوع روش تجسم طراحی شده برای تجسم داده های با ابعاد بزرگ وجود دارد. اولین نوع روشها، از جمله مختصات موازی [۵] و هیت مپ [۶]، نشان دهنده هر راه حل ابعادی در يك سیستم مختصات موازی است. نوع دوم روش ها، از جمله [۸] SOM، [۹] RadViz و [۱۰] Sammon، نقشه برداری [neuroscale]، نقشه برداری را از يك فضای هدف بزرگ بعدی به يك فضای دو بعدی ضمن حفظ فاصله های محلی و رابطه پارتو بين هر افراد در يك فضای با ابعاد بزرگ نشان می دهد. شکل ۲ تصویری از قسمت راست پارتو (با جمعیت ۱۲۶) D ۵

DTLZ2 را با استفاده از تمامی این روش‌های تجسم موجود و روش پیشنهاد شده ما (که در بخش سوم مورد بحث قرار می‌گیرد) نشان می‌دهد.



شکل ۲: دیداری سازی جبهه پارتوفی واقعی DTLZ2 پنج بعدی با روش‌های دیداری سازی متفاوت. الف: روش پیشنهادی ب: نمودار بادل پ: مختصات موازی، ت: هیت مپ، ث: نقشه سامون، ۱- تصویر سازی (دیداری سازی) بر اساس سیستم مختصات موازی

برای یک فضای هدف بعدی M ، سیستم مختصات موازی مربوطه شامل محورهای موازی M است که هر یک از آنها یک هدف را نشان می‌دهد. این روش می‌تواند به طور مستقیم مقادیر هدف اصلی راه حل‌ها را نشان دهد، نیازی به مقایسه‌های پیچیده بردار نیست و می‌تواند به راحتی به ابعاد بزرگتر تقلیل یابد. در فضای هدف، اگر اهداف مورد نظر در مجاورت یکدیگر قرار بگیرند، این روش همچنین می‌تواند اطلاعات مربوط به روابط تجاری بین اهداف و اطلاعات مربوط به خطوط تقریبی پارتوفی برای تصمیم‌گیرنده فراهم کند.

(a) مختصات موازی [۵]: هر بردار بعدی M یک خط چند خطی با ارقام در محورهای موازی نشان داده می شود، جایی که هر محور یک هدف را نشان می دهد و موقعیت رأس در هر محور برابر با مقدار عینی در آن بعد است.] مزایای قابل توجهی از مختصات موازی به وضوح نشان دهنده وابستگی بین اهداف است. با این حال، هر فرد نیاز به یک چند خطی دارد و اگر تعداد افراد زیاد باشد، چندین فیلد وجود خواهد داشت. راه های خلاقانه برای رفع خطوط بیش از حد شلوغ، مانند [۳۹] وجود دارد.

(b) هیت مپ [۶]: مشابه مختصات موازی، هیت مپ هنوز از محورهای موازی استفاده می کند که هر محور نشان دهنده $D-1$ است. با این حال، در یک هیت مپ، مقادیر عینی با استفاده از رنگ نشان داده می شوند در حالی که آنها توسط چند خطی در مختصات موازی نشان داده می شوند. یک نقشه حرارتی می تواند منافع بین اهداف را نشان دهد. در عین حال، تعداد روزافزون راه حلها نیازمند استفاده بیشتر و بیشتر از رنگ است و از نظر تعداد زیادی رنگ، تشخیص آسان نیست.

(c) دیداری سازی براساس نگاشت: این نوع روش ها از تکنیک های پیشرفته تر نگاشت استفاده می کنند تا کاهش ابعاد را به فضای دو بعدی انجام دهند. تمام روش های نگاشتن تلاش می کنند رابطه سلطه پارتو را در میان افراد در یک فضای با ابعاد بزرگ حفظ کنند و فواصل محلی را بین هر جفت آنها حفظ کنند، جایی که فاصله های نسبی بین بازنمایی افراد در فضای دیداری باید تا حد ممکن نزدیک به آن ها باشد در فضای هدف اصلی [۱۴]. آنها همچنین به ابعاد بسیاری قابل اندازه گیری هستند. با این حال، آنها اغلب در محاسبات گران هستند و قوی نیستند زیرا نگاشت به شدت به مقادیر بردارهای هدف در قسمت تقریبی بستگی دارد. در همین حال، انواع روش های نگاشتن نمی توانند از دست دادن برخی اطلاعات مهم در یک فضای با ابعاد بزرگ جبهه گیری کنند. علاوه بر این، در فضای دو بعدی نقشه برداری، هنوز کشف شکل تقریبی تقریبی و بین دو هدف نیست.

نگاشت سامون و نورواسکیل: هر دو روش برای کاهش فاصله های محلی، عملکرد تنفس را به حداقل می رساند. در سامون نگاشت، به حداقل رساندن می توان با استفاده از گرادیان فروود، یا با روش های دیگر تکراری انجام می

شود. همچنین می تواند توزیع راه حل های مناسب را حفظ کند. نورواسکیل فاصله ای را با استفاده از شبکه عصبی تابع پایه شعاعی برای به حداقل رساندن تابع تنفس حفظ می کند.

دیداری سازی مختصات شعاعی(۸): ایده رادویز از فیزیک ذکر شده است. در برنامه ریزی، اهداف ارائه شده به عنوان لنگرهای بعدی به طور مساوی بر روی محدوده دایره واحد توزیع می شوند. هر فرد با چشمها یکی که به لنگر متصل هستند برگزار می شود و نیروی فنر متناسب با ارزش در هدف متناظر است. موقعیت فرد در جایی است که نیروهای فنر در تعادل قرار دارند. به عنوان مثال، راه حل هایی که نزدیک به یک لنگر قرار می گیرند ارزش بیشتری در این هدف نسبت به هر هدف دیگر دارند، در حالی که راه حل هایی با تمام مقادیر برابر در تمام ابعاد دقیقا در مرکز دایره قرار دارند. این می تواند توزیع بردارها را خوب حفظ کند، اما نمیتواند شکل تقریبی پارتو را تشخیص دهد.

ج) نقشه خود سازمان دهی(۹): نقشه خودسازمانده [۹]: SOM ها یک نوع شبکه های عصبی مصنوعی هستند که توپولوژی را از اندازه $2 \times M$ به ابعاد کوچکتر (معمولًا $D-2$) حفظ می کنند. بردارهای نزدیک در ورودی فضای با ابعاد بزرگ، به واحد های مجاور (نورون ها) در SOM ها، نقشه می شوند. نورون می تواند شبکه شش ضلعی باشد [۱۵]. هنگامی که آموزش دیده است، SOM ها می توانند با استفاده از یک ماتریس فاصله متحدد، که در آن فاصله بین نورون های مجاور با رنگ های مختلف ارائه شده است، تجسم می شود. زمینه های نورانی نشان دهنده خوشه های نورون های مشابه است و مناطق تاریک مرزهای خوشه ای را نشان می دهند.

ایزوهمپ: ایزوهمپ شکل هندسی ذاتی راه حل ها را در زمانی نشان می دهد که وقتی نگاشت به فضای دو بعدی با استفاده از مقیاس چند بعدی انجام شود به خصوص در زمانی که هر راه حل مربوط به نزدیک ترین همسایه است. فاصله ژئودزیک بین هر دوی آن ها به صورت مجموع فواصل اقلیدسی کوتاه ترین مسیر بین آن ها محاسبه می شود.

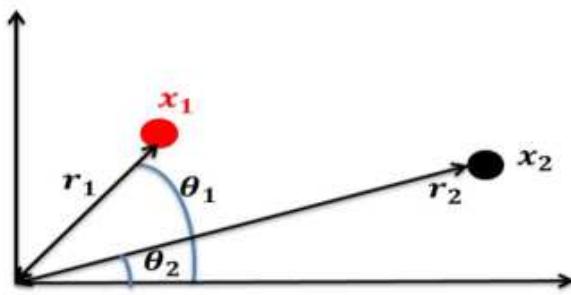
ب: متريک ها و شاخص های عملکرد موجود برای MaOEAs

متريک های عملکرد را می توان به پنج مقوله با اهداف بهينه سازی تقسيم کرد(۱۳). طبقه اول شامل معيارهای ارزیابی تعداد راه حل های مطلوب پارتو در مجموعه است: نسبت افراد غير غالب (RNI) [18] مقاييسه راه حل های

غیر غالب را با توجه به اندازه جمعیت اندازه گیری می کند؛ نسبت خطا [۱۹] نسبت ناپروپورتیوپتو را در مقابل تقریبی برابر اندازه جمعیت بررسی می کند. به طور کلی تولید غالب بردار [۱۹] به سادگی شمار افراد غیر غالب مشخص را پیدا می کند؛ و ماتریس عملکرد n -ary، نشانگر غلبه بر پارتو [۲۰]، نسبت غیر غالبی را که توسط یک تقریباً تقریباً یک طرفه به مقادیر غالب ارائه شده به صورت جمعی توسط تمام خطاهای تقریبی انجام می شود اندازه گیری می کند. در رده دوم، معیارهای اندازه گیری نزدیک بودن راه حل ها به جبهه نظری واقعی پارتو برای یکتابع معیار مشخص داده می شود؛ فاصله نسبی (19) [GD] اندازه گیری می کند که چقدر راه حل تکامل یافته از راست پارتو واقعی است؛ یک معیار مکمل GD به معنی IGD [21] مربوط به چگونگی چارچوب جبهه بهینه پارتو است که توسط مجموعه راه حل به دست آمده ارائه شده است. و حداقل خطای جبهه‌ی پارتو [۱۹] بر بزرگترین فاصله بین فرد در جبهه نظری پارتو و نقاط در جبهه تقریب تمرکز دارد. در رده سوم، معیارهای مربوط به توزیع راه حل ها هستند؛ توزیع یکنواخت [۱۸] توزیع یک تقریب جبهه تحت پارامتر از پیش تعریف شده را اندازه می گیرد؛ فاصله [۲۲] اندازه گیری می کند که چگونه به طور مساوی راه حل های تکامل یافته، خود را تسلیم می کند؛ و تعدادی از گزینه های مجزا [۲۳] راه حل هایی را مشخص می کنند که برای یک پارامتر خاص م مشخص می شوند. چهارم، معیارهای مربوط به گسترش راه حل ها عبارتند از: حداقل گسترش (MS) [24] اندازه گیری می کند که چقدر سطح راست پارتو با مجموعه تقریبی پوشیده شده است. در آخرین رده، معیارها در همین زمان، هم نزدیک بودن و هم تنوع را در نظر می گیرند: هایپر اریا و نسبت (یا S-metric) [25] محاسبه حجم تحت پوشش تقریباً با توجه به نقطه مرجع به درستی انتخاب شده انجام می شود.

با این حال، در فضاهای ابعادی با ابعاد بزرگ، این معیارها نمیتوانند در فضاهای کم حجم نیز عمل کنند. به عنوان مثال، محاسبه فاصله بین هر فرد و نزدیکترین همسایه آن، فاصله برای اندازه گیری توزیع تقریبی جبهه‌ی در MOP های کم حجم بسیار موثر است. با این حال، در یک فضای با ابعاد بزرگ، شناسایی این نزدیکترین همسایگی به دلیل فضای هدف بزرگ که نیاز به حجم کار محاسبه سنگین تر است، دشوار است. IGD که محاسبه فاصله بین هر فرد در مقابل راست پارتو و نزدیک ترین فرد آن در تقریباً جبهه برای یک MaOP داده نیز رنج می برد این

مشکل است. علاوه بر این، متریک S می‌تواند هر دو عملکرد همگرا و تنوع را در فضاهای کم حجم اندازه‌گیری کند، اما در MaOP‌های با ابعاد بزرگ، حجم محاسبه شده نمی‌تواند بسیار مناسب به نظر برسد. علاوه بر این، این مدل نسبتاً محاسباتی برای MAOP گران است. برای MS مرسدس، ممکن است تقریباً جبهه غیر متقابل نسبت به جبهه متقابل، اما به خوبی گسترش در MAOP ترجیح داده شود. در نهایت، در یک فضای با ابعاد بزرگ، تقریباً تمام افراد در رابطه با یکدیگر غالب نیستند [۲۶]. در نتیجه، RNI متریک نمی‌تواند نتایج بسیار مفید ارزیابی در MaOPs ارائه دهد.



شکل ۳: سیستم مختصات قطبی دو بعدی

۳-روش پیشنهادی

در این بخش، روش دیداری سازی جدید برای جبهه پارتو تقریبی در فضای با ابعاد بالا پیشنهاد می‌شود. سپس بر اساس رویکرد دیداری سازی، متریک عملکرد جدید موسوم به p برای ارزیابی MaOEAs عملکرد تنوع و همگرایی در فضای هدف با ابعاد بالا توسعه می‌یابد

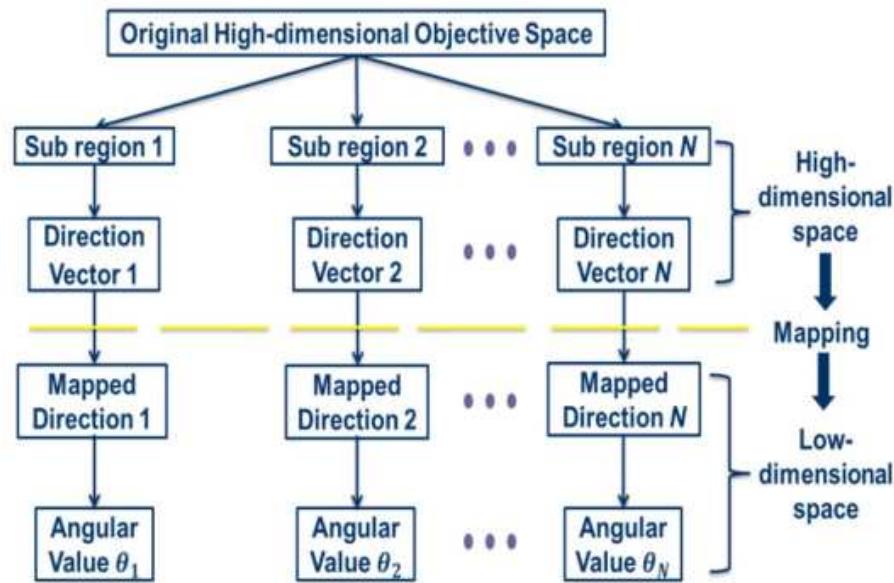
الف: روش دیداری سازی

یک روش جدید دیداریابی که حفظ رابطه پارتو غالبت بین افراد را در قسمت تقریبی پارتو حفظ می‌کند، شکل و موقعیت جبهه پارتو را حفظ می‌کند و توزیع راه حل‌ها را در اینجا ارائه می‌دهد. از آن، تصمیم گیران می‌توانند پیشرفت تکامل را برآورد کنند، مکان، محدوده و توزیع تقریباً پارتو را ارزیابی کنند، کیفیت تقاضای تقریبی و تجارت بین اهداف را کنترل کنند و به راحتی راه حل‌های مورد نظر خود را انتخاب کنند. این طراحی می‌تواند برای هر

بعادی قابل مقیاس باشد، تعداد زیادی از افراد را در جبهه‌ی تقریبی اداره می کند و همزمان برای ارزیابی بصری، چندین جهت را تجسم می کند. علاوه بر این، به علاوه اضافه کردن یا حذف یک بردار غیر حساس است.

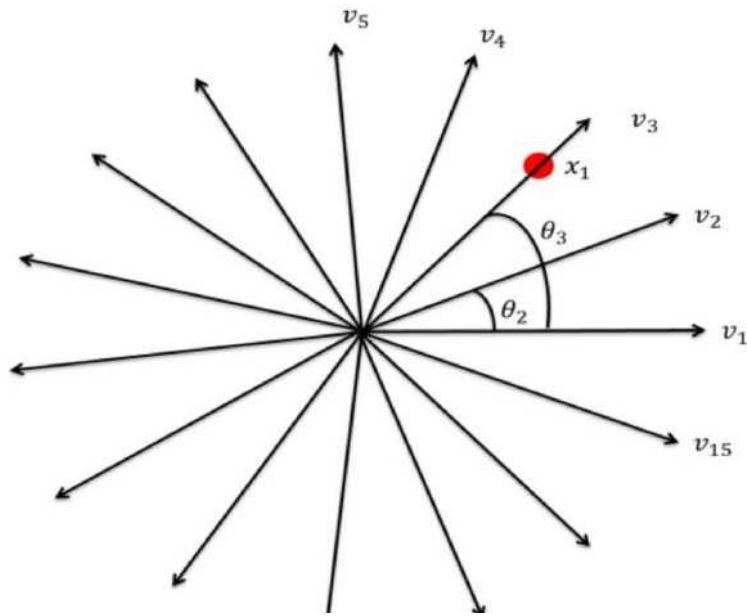
با استفاده از این طرح، افراد از یک فضای کاری دلفریب با طول بزرگ به یک سیستم مختصات دو قطبی قطبی (۰، ۰) نقشه می گیرند. هر فرد یک مقدار مختصات شعاعی و یک مقدار مختصات زاویه ای در این سیستم مختصات قطبی اعمال می شود. مختصات شعاعی یک فرد منعکس کننده وضعیت همگرایی آن است و توسط ارزش‌های اصلی هدف و شکل تقریبی جبهه در یک فضای با ابعاد بزرگ تعیین می شود. مختصات زاویه ای همه افراد نشان می دهد که توزیع افراد بر روی تقریباً جبهه و شلوغی در هر زیرمجموعه یک فضای با ابعاد بزرگ. شکل ۳ یک مثال از سیستم مختصات دو قطبی را نشان می دهد. برای حل X_1 ، مقدار مختصات شعاعی آن r_1 است و مقدار مختصات زاویه θ_1 است. برای محلول x_2 ، مقدار مختصات شعاعی آن r_2 است و مقدار مختصات زاویه ای θ_2 است.

۱) **تجسم بر اساس نقشه برداری:** شکل ۴ فرایند نگاشت کامل را نشان می دهد. ابتدا، فضای هدف اصلی با ابعاد بزرگ به طور مساوی به زیربخش‌های N تقسیم می شود، که هر کدام از آنها یک بردار جهت دارد، به طوری که هر بردار جهت به صورت یکنواخت توزیع می شود. سپس هر بردار جهتدار به عنوان یک بردار $D-2$ به نام بردار جهت جهتدار در یک سیستم مختصات دو قطبی طراحی شده است. در این فضای دو بعدی، هر یک از بردارهای نقشه برداری، یک مقدار مختصات زاویه ای θ اختصاص داده شده است. جدول ۱ یک نمونه از پردازش نگاشت را از یک فضای سه بعدی به یک فضای دو بعدی نشان می دهد. در اینجا، فضای ۳ بعدی اصلی به طور مساوی به ۱۵ زیرمجموعه تقسیم می شود. فضای نقشه $D-2$ در شکل ۵ نشان داده شده است، در هر جهت جهت $(v_1, v_2, \dots, v_{15})$ یک مقدار مختصات زاویه ثابت ($\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{15}$) به ترتیب اختصاص داده می شود. در همین حال، هر $v_i = 1: 15$ یک زیرمجموعه را در فضای اصلی با ابعاد بزرگ نشان می دهد. به عنوان مثال، X_1 فردی در زیرمجموعه فضایی با ابعاد بزرگ که مربوط به v_3 است، مقدار زاویه ای θ_3 (یعنی 48°) در فضای دو بعدی نشان داده شده است.

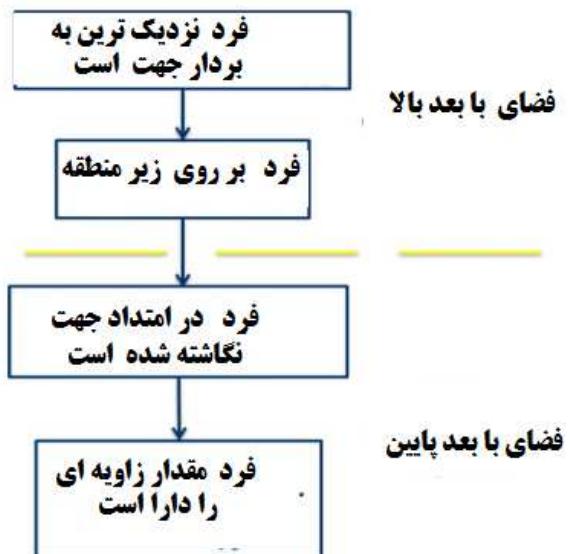


شکل ۴: فرایند نگاشت پیشنهادی

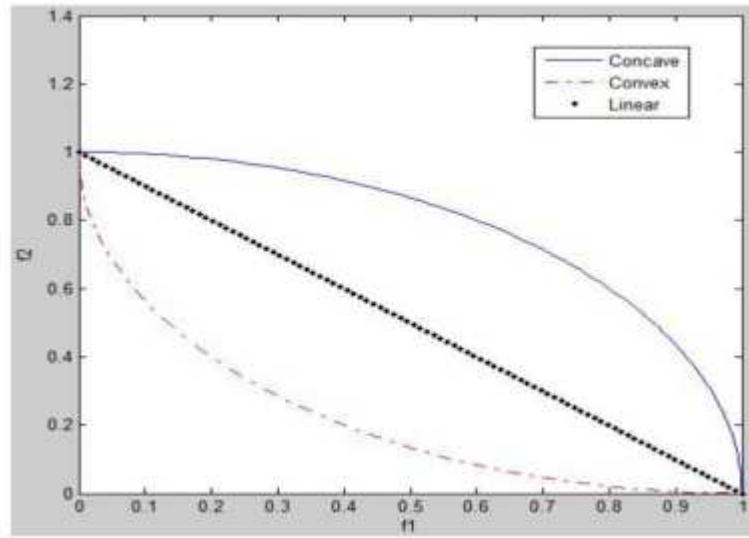
زیر منطقه سه بعدی	بردار جهت سه بعدی			جهت نگاشت	θ_i (2D)
1	0	0	1	v_1	0°
2	0	0.25	0.75	v_2	24°
3	0	0.5	0.5	v_3	48°
4	0	0.75	0.25	v_4	72°
5	0	1	0	v_5	96°
6	0.25	0	0.75	v_6	120°
7	0.25	0.25	0.5	v_7	144°
8	0.25	0.5	0.25	v_8	168°
9	0.25	0.75	0	v_9	192°
10	0.5	0	0.5	v_{10}	216°
11	0.5	0.25	0.25	v_{11}	240°
12	0.5	0.5	0	v_{12}	264°
13	0.75	0	0.25	v_{13}	288°
14	0.75	0.25	0	v_{14}	312°
15	1	0	0	v_{15}	336°



شکل ۵: فضای دو بعدی نگاشته شده



شکل ۶: تعیین مقدار مختصات زاویه ای برای هر فرد



شکل ۷: انواع جبهه های پارتو

توجه داشته باشید که در این سیستم مختصات دو قطبی قطبی، جهت بردارهای جهت فقط به منظور تولید آنها در فضای اصلی فضایی بزرگ تعیین می شود، جایی که فرایند تولید در جدول ۱ نشان داده شده است. به این معنی، اگرچه دو جهت بردارها نزدیکتر به یکدیگر در یک سیستم مختصات دو قطبی هستند، آنها ممکن است در فضای اصلی فضای اصلی، به عنوان مثال، ۷۹ و ۱۰، در نزدیکی یکدیگر نباشد، از طرف دیگر، عملکرد توزیع جبهه‌گیری از تقریب کامل می تواند تنها با بررسی تفاوت شلوغ در میان بردارهای مسیر اندازه گیری شود. اگر دو راه حل به جهت های مختلف در یک سیستم مختصات دو قطبی نقشه بندی شوند، ما نمی توانیم به طور مستقیم با توجه به فضای دو بعدی نقشه برداری، فاصله نسبی آنها را بیابیم. برای مثال، اگر یک راه حل است که در جهت ۷۹ در سیستم مختصات قطبی D-۲ واقع، آن را تنها نشان می دهد که این راه حل است در ناحیه مشخص شده توسط ۷۹ واقع شده است و می توانید هر گونه اطلاعات ارائه نیست که فاصله نسبی بین این راه حل خود را به ۱۰ یا جهتدار ۱۱ در فضای با ابعاد بزرگ ارایه کند. علاوه بر این، ما در مورد توزیع راه حل ها در هر بردار جهت در نظر نمی گیریم، زیرا راه حل ها در همان بردار جهت یک مقدار زاویه ای دارند.

محاسبه مختصات زاویه ای : از بخش آخر، گروهی از بردارهای هدایت به طور مساوی توزیع شده در یک فضای با ابعاد بزرگ پیش تعریف شده اند، که هر یک از آنها یک زیرمجموعی منحصر به فرد در یک فضای هدف بزرگ را

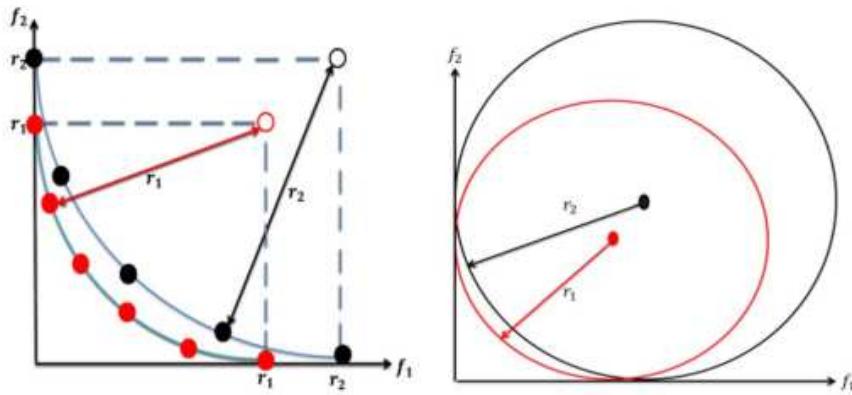
مشخص می کند. سپس هر بردار به دو فضای دو بعدی تقسیم می شود و یک مقدار مختصات زاویه ثابت قرار می گیرد. برای هر فرد در فضای با ابعاد بزرگ، مقدار زاویه ای مختصات آن در سیستم مختصات دو بعدی قطبی همان مقدار بردار نزدیکتر آن در فضای اصلی با ابعاد بزرگ است. شکل ۶ نشان می دهد فرآیند چگونگی اختصاص مختصات زاویه ای برای هر فرد. اگر راه حل های بیشتر یکسان مختصات زاویه ای دارند، پس آنها در یک زیرمجموعه شلوغ هستند. بنابراین، آنها عملکرد ضعیف ضعیف دارند. علاوه بر این، اگر دو راه حل دارای مقادیر شعاعی و زاویه ای بسیار نزدیک باشند، آنها در فضای اصلی فضای اصلی بسیار نزدیک به یکدیگر هستند.

در این مقاله، سه شکل اساسی هندسی از جبهه پارتول برای MaOP وجود دارد. آنها مقر، محدب و خطی هستند. از [۲۶]، یک جبهه پارتول، اگر و فقط اگر از پوسته محدب آن پوشیده شده باشد، مقرر است. از سوی دیگر، یک جبهه پائین محدب، به معنی آن است که آن محدب محدب را پوشش می دهد. علاوه بر این، یک جسم خطی، آن را محدب محدب را پوشش نمی دهد و پوسته پوشیده نمی شود. این سه نوع جبهه پارتول در یک مسئله دو هدفه در شکل ۷ نشان داده شده است.

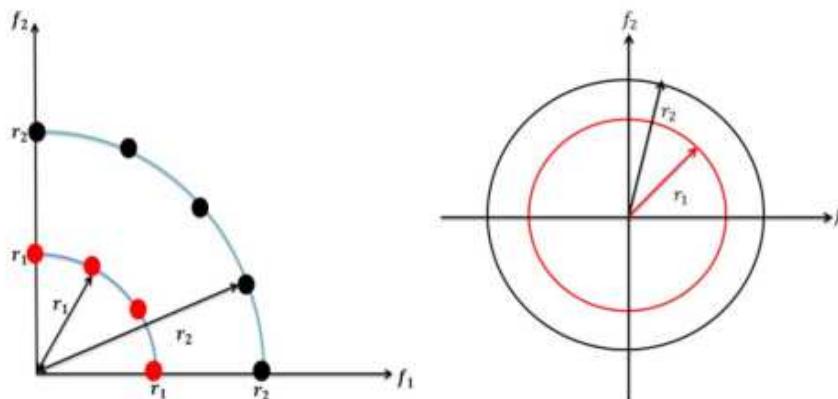
بر اساس سه شکل اولیه، جبهه مخلوط شامل چند بخش با انواع مختلف هندسه است. به عنوان مثال، یک جبهه مخلوط می تواند ترکیبی از محدب و خطی باشد. از سوی دیگر، یک جسم دژنره از ابعاد پایین تر از فضای هدف است که در آن جاسازی شده است [۲۲] و یک جبهه قطع شده بدان معنی است که جبهه در فضای هدف مستمر نیست. در اینجا، مانند یک جبهه مخلوط، جبهه و دمیده شده جبهه، می تواند با ترکیبی از سه شکل اولیه ایجاد شود. بنابراین، ما تنها به ترسیم این سه نوع اساسی از جبهه ها از یک فضای با ابعاد بزرگ به فضای ۲ بعدی اشاره می کنیم.

در مسئله بهینه سازی M بعدی، وقتی جبهه پارتول محدب است، ثابت R وجود دارد به طوری که برای راه حل X در جبهه پارتول واقعی است که در آن مقدار هدف X به صورت $\sum_{m=1}^M (f_m(x))^2 = r^2$ ارایه می شود. وقتی که جبهه پارتول معقر است، ثابت R طوری است که برای یک راه حل X در جبهه پارتول واقعی قرار می گیرد. برای جبهه پارتول خطی، $\sum_{m=1}^M (r - f_m(x))^2 = r^2$

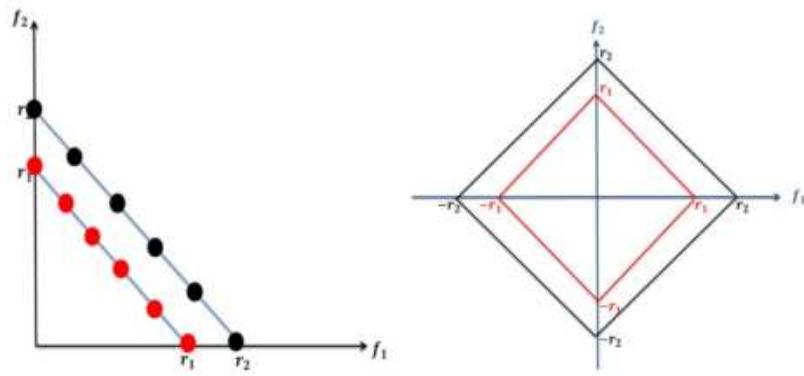
یک ثابت $\sum_{m=1}^M f_m(x) = r$ وجود دارد. فضا از یک سیستم دو بعدی قطر مختصات. به عنوان مثال، یک خط تقریبی لنز گوش در یک فضای با ابعاد بزرگ هنوز از تعداد چند زیرفایهای خطی در یک فضای دو هدفه پس از نگاشت تشکیل شده است. شکل ۱۱ سه نوع مختلف جبهه را در یک سیستم مختصات قطبی دو هدفه نشان می‌دهد. جبهه مکعب در یک فضای با ابعاد بزرگ به عنوان چهار فضایی‌پیمای فرعی در فضای D۲ طراحی شده برای درک آسان طراحی شده است. به طور مشابه، جبهه محدب در یک فضای با ابعاد بزرگ نیز به عنوان چهار جبهه در نقشه فضایی D۲ طراحی شده است، در حالی که جبهه خطی در یک فضای با ابعاد بزرگ، به عنوان چهار خط زیر خطی در فضایی D۲ طراحی شده است.



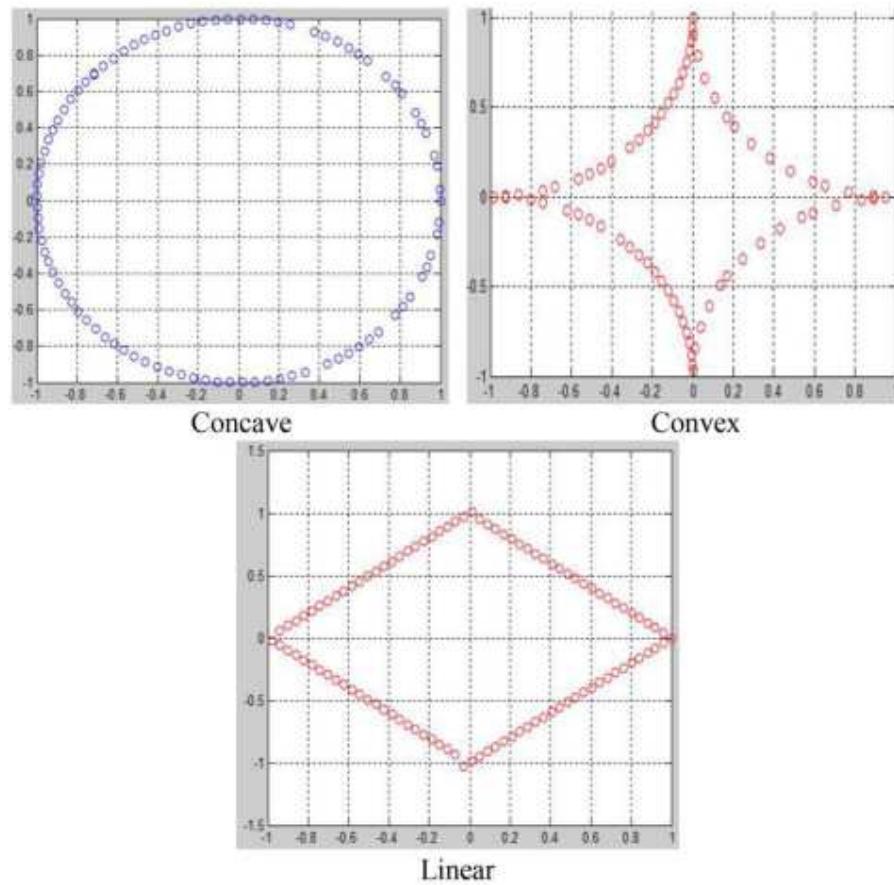
شکل ۸: R در جبهه محدب:



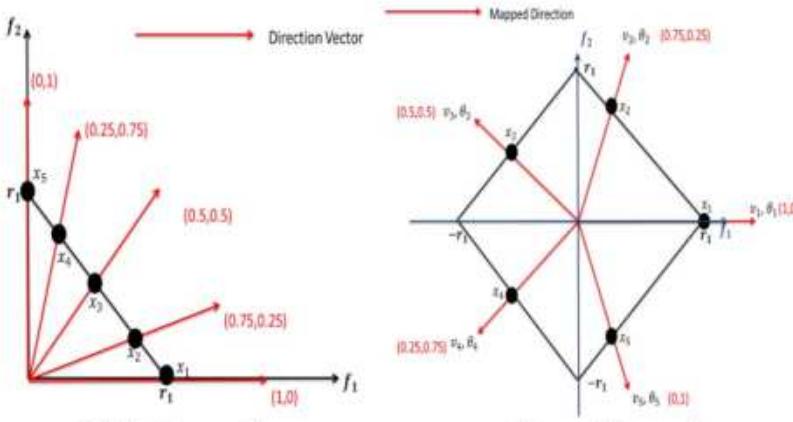
شکل ۹: R در جبهه مکعب



شکل ۱۰: در جبهه خطی



شکل ۱۱: سه جبهه اصلی در سیستم مختصات



شکل ۱۲: تهیه نقشه جبهه پارتو خطی

فضا از یک سیستم دو بعدی قطر مختصات. به عنوان مثال، یک تقریب خطی خطی در یک فضای با ابعاد بزرگ هنوز از چندین زیربن خطی در یک فضای دو هدفه پس از نگاشت تشکیل شده است. شکل ۱۱ سه نوع مختلف جبهه را در یک سیستم مختصات قطبی دو هدفه نشان می دهد. جبهه مقعر در یک فضای با ابعاد بزرگ به عنوان چهار فضایی فرعی در فضایی D2 طراحی شده برای درک آسان طراحی شده است. به طور مشابه، جبهه محدب در یک فضای با ابعاد بزرگ نیز به عنوان چهار قسمت ساب کانوکس در فضایی ۲ بعدی طراحی شده است، در حالی که جبهه خطی در یک فضای با ابعاد بزرگ به عنوان چهار خط ساب خطی در فضایی ۲ بعدی طراحی شده است. به منظور بهتر توضیح روند کلی نگاشت، شکل ۱۲ نشان می دهد که چطور یک خط پارتو خطی در فضای اصلی D2 به یک قطعه مختصات دو قطبی تبدیل می شود.

۴- دیداری سازی جبهه های پارتو

در این بخش، رویکرد دیداریایی پیشنهاد شده را از طریق تجسم برخی از توابع معروف شناخته شده نشان خواهیم داد. اول، در شکل ۱۳، پنج نمونه آزمایشی ZDT دو هدفه به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند که هر کدام شامل ویژگی های مختلفی هستند: جبهه محدب در ZDT1، جبهه مقعر در ZDT2، جبهه های مجزا در ZDT3، جبهه های موضعی در ZDT4، و توزیع غیر همسطح جبهه در ZDT6. شکل ۱۳ هر دو قطعه اصلی (چپ) را در

فضاهای هدف D2 و توطئه های نقشه برداری (راست) در سیستم مختصات قطبی نمونه های ZDT نشان می دهد.

در هر نمونه آزمایشی، راه حل های اصلی طرح به موقعیت های راه حل با همان رنگ در طرح نقشه می شود.

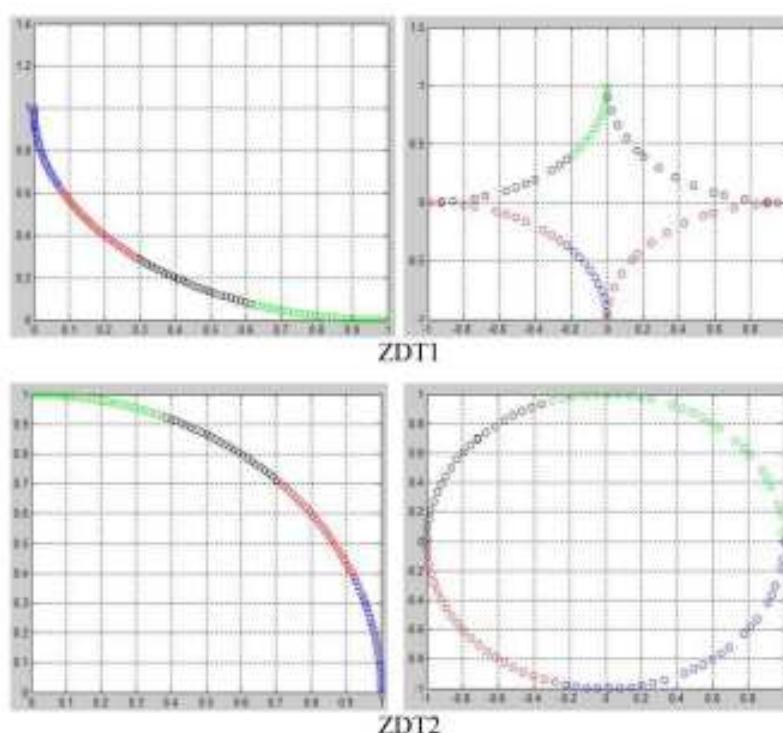
سرانجام، ما به مشکلات گروه ماهی پیاده روی (WFG) نگاه می کنیم. یکی از ویژگی های مهم مشکلات WFG این است که هر هدف دارای دامنه های مختلف است. شکل ۱۴ هر دو طرح اولیه (سمت چپ) را در یک فضای دو بعدی و طرح نقشه (سمت راست) با استفاده از WFG4 به عنوان مثال نشان می دهد. در طرح اصلی، جبهه پارتوا با ترکیب متفاوتی برخورد می کند که از طریق مقادیر مختلف شعاعی در نقشه های پراکنده منعکس می شود

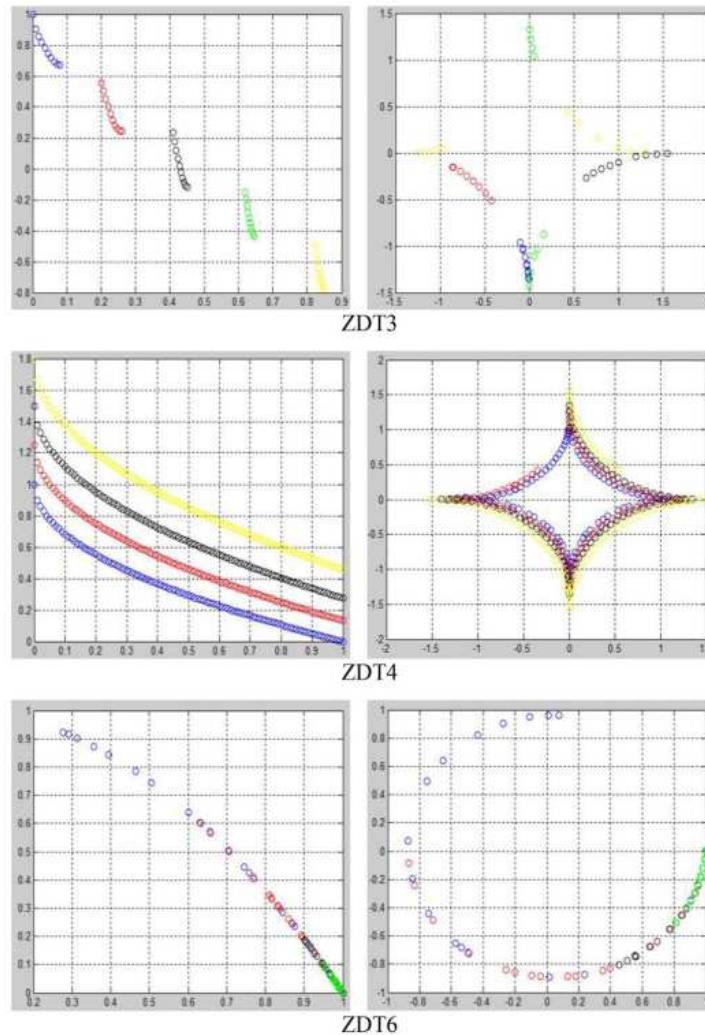
۵- دیداری سازی در زمانی که جبهه پارتوا مجھول است

: برای هر فرد در فضای با ابعاد بالا، محاسبه مقدار شعاعی R در سیستم مختصات دو بعدی بستگی به جبهه پارتوا

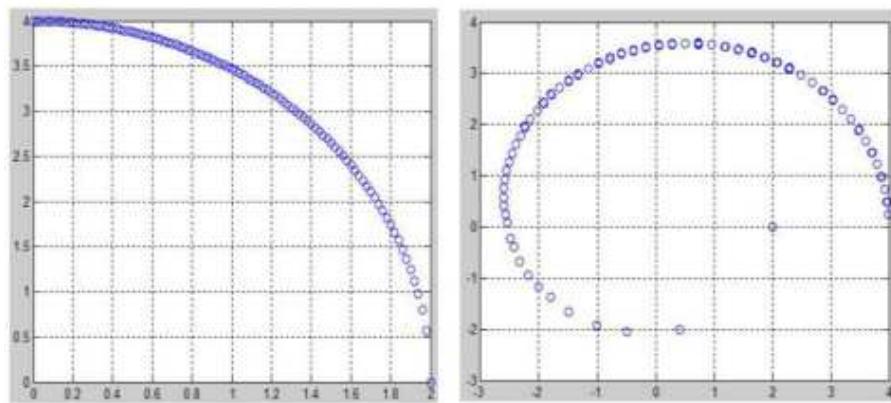
تقاریبی دارد. اگر جبهه محدب باشد، شیوه محاسبه $\sum_{m=1}^M (f_m(x))^2 = r^2$ است. اگر این معقر باشد شیوه

$\sum_{m=1}^M f_m(x) = r$ است. اگر خطی باشد، $\sum_{m=1}^M (r - f_m(x))^2 = r^2$. محاسبه

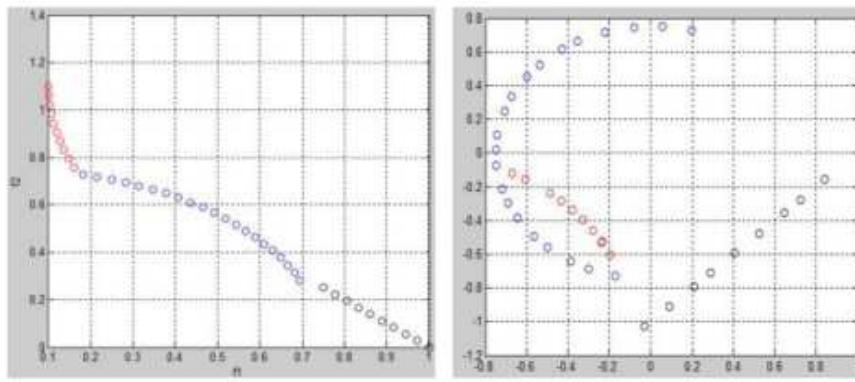




شکل ۱۳: تجسم نمونه های ازمايشی ZDT



شکل ۱۴: دیداري سازی تست WFG4



شکل ۱۵: دیداری سازی جبهه پارتو

اگر جبهه پارتو درست قبل از آن شناخته شود، شکل تقسیم پارتو تقریبی می‌تواند به طور مستقیم تعیین شود و روش محاسبه مربوطه آن برای تعیین ۲ استفاده می‌شود. اگر جبهه پارتو واقعی ناشناخته باشد، ابتدا شکل تقریبی جبهه‌ی بر اساس مقادیر هدف افراد در جبهه‌ی را تعیین می‌کنیم. در اینجا، ما فرض می‌کنیم که این تقریب جبهه به خوبی همگرا و متنوع است. واضح است که یک جبهه تقریبی با همگرایی ضعیف و تنوع، نمیتواند اطلاعات مفیدی را برای شکل واقعی جبهه پارتو و ویژگیهای مشکل بهینه ارائه دهد. سپس، هر روش محاسبه به هر فرد اعمال می‌شود. با توجه به همان روش محاسبه، اگر اکثر افراد مقدار تقریبی برابر ۲ را بدست آورند، شکل متناظر با این روش محاسبه، به شکل شکل تقریبی در نظر گرفته می‌شود. برای جبهه مخلوط، اگر چه برای اکثر افراد تحت یک روش یکسان نیست، افراد نزدیک مقدار مشابهی از R را به اشتراک می‌گذارند و تعداد کل R ‌ها بسیار کوچک است، در حالیکه هر ۲ یک شکل متفاوت است. شکل ۱۵ یک مثال از محاسبه ۲ از هر فرد در جبهه‌ی مخلوط، MOP مصنوعی را نشان می‌دهد. در سمت چپ، قسمت اصلی پارتو شامل سه بخش مختلف است: ۱) مکعب (آبی); ۲) خطی (سیاه); و ۳) محدب (قرمز). این جبهه پارتو مخلوط به سمت جبهه در نمودار قطبی راست نشان داده شده است، جایی که آبی هنوز نمایانگر شکل مخروطی است، سیاه و سفید برای بخش خطی است، و قرمز بخشی محدب را نشان می‌دهد. از شکل ۱۵، افراد نزدیک در فضایی با ابعاد بزرگ دارای مقادیر مشابهی از ۲ هستند و هنوز هم در موقعیت‌های نزدیک در نمودار نقشه برداری (در یک سیستم مختصات دو قطبی) قرار دارند. در همین حال، هر قسمت از قسمت پارتو در هر دو فضای با ابعاد بزرگ و نقشه سیستم دو بعدی قطبی مداوم است در حالی که آن را

حفظ یک شکل است. بنابراین، از نمودار دو قطبی نقشه برداری، آسان است تصور کنید که چند قطعه از این جبهه مخلوط، چه شکل هر بخش است، و چگونه عملکرد همگرا و تنوع در هر قسمت از آن، به دست می آید. به طور خلاصه، مشکل چالش برانگیز باقی می ماند تا دقیق شکل زیر جبهه‌ی تقریبی پایه را تعیین کند. در آزمایش ما، اگر بیش از ده نفر در جبهه‌ی یک شکل مشابه را به دست آورند، ما این افراد را شناسایی می کنیم و یک جبهه زیر را با آن شکل تشکیل می دهیم که بخشی از تقریبا تمام جبهه است. به عنوان یک حقیقت، روش محاسبه ۲ را می توان به عنوان یک تابع اسکالر سازی در نظر گرفت که در آن ورودی مقادیر هدف اصلی افراد در یک فضای با ابعاد بزرگ است و خروجی مقادیر شعاعی در یک سیستم مختصات دو قطبی است.

۶) خلاصه ای از دیداری سازی روش پیشنهادی: به طور خلاصه، این روش دیداری سازی افراد را از یک فضای هدف بزرگ بعدی به یک سیستم مختصات دو قطبی با قطب (۰، ۰)، که هر فرد به یک مقدار مختصات شعاعی و یک زاویه ای مختصات ارزش. مختصات شعاعی نشان دهنده عملکرد همگرابی هر فرد است و با ارزش عینی اصلی هر فرد و شکل جبهه‌ی تقریبی در یک فضای با ابعاد بزرگ تعیین می شود. کوچک تر از مقدار دقیق کanal ستاره، نزدیکتر به قسمت راست پارتواست. از سوی دیگر، مختصات زاویه ای توزیع افراد را در مقابل تقریبی نشان می دهد. این همچنین نشان می دهد جمعیت در هر زیر زمینه از یک فضای با ابعاد بزرگ. تعداد بیشتری از مختصات مختلف زاویه ای در میان همه افراد، توزیع و پخش بهتر تقریبا جبهه است. شکل ۱۶، کل فرآیند دیداری سازی را به تصویر می کشد. این روش دیداری سازی عمدتا در چهار بعد نقش دارد. اول، نگاشت بین یک فضای با ابعاد بزرگ و یک سیستم D-۲ مختصات سازگار است. این حفظ رابطه پارتو غالبیت، حفظ شکل و موقعیت جبهه پارتوا و حفظ توزیع راه حل ها است. دوم، تجسم امکان مشاهده روند فرآیند تکاملی را برای برآورد موقعیت، دامنه و توزیع تقریبا پارتوا را نشان می دهد. سوم، تصمیم گیری آسان و موثر است. تصمیم گیرنده می تواند کیفیت تقاضای تقریبی و تقابل بین اهداف را ارزیابی کند و به راحتی راه حل های مورد نظر را انتخاب کند. در نهایت، برنامه کاربردی می تواند به هر ابعادی قابل اندازه گیری باشد، تعداد زیادی از افراد در جبهه‌ی را اداره می کند و به طور همزمان چندین جهت را برای مقایسه بصری تجسم می کند. در روش ما، فاصله‌ی اقلیدسی برای محاسبه فاصله‌ها به جای سایر پارامتر p

استفاده می شود. در میان گزینه های مختلف p -norm، تساما وین [۴۰] اشاره کرد که مقدار کمتر p باعث ایجاد کنتراست بهتر بین حداکثر و حداقل فاصله در فضای هدف نسبت به مقادیر بزرگتر p می شود. بنابراین، فاصله $\|\cdot\|$ اقلیدسی دو برابر را نشان می دهد

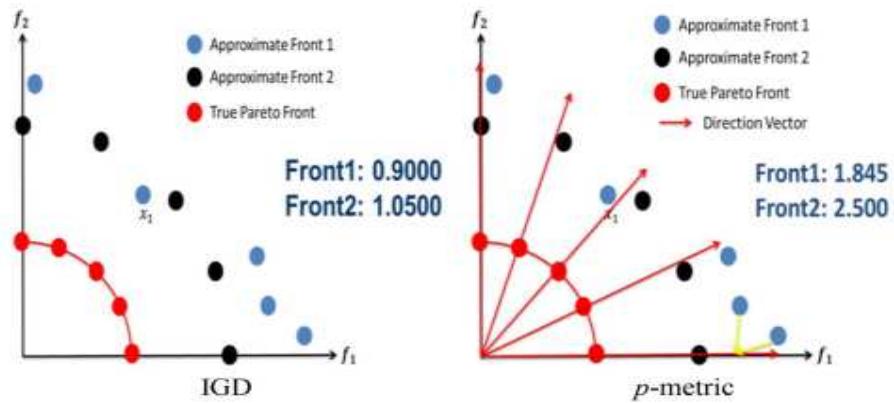
ب: متريک عملکرد بر اساس روش ديداري سازی

در هر دو عملکرد همگرا و تنوع در یک فضای هدف بزرگ بعدی قرار دارد برای هر بردار مسیر، راه حل تقریبی آن را با کوچکترین مقدار شعاعی ۲ پیدا کنید. سپس سهم عملکرد در این جهت d برابر $1/2$ است. اگر یک راه حل مرتبط با آن وجود نداشته باشد، سهم عملکرد d برابر صفر است. در نهایت، نمره عملکرد تمام تقریب مقابل مجموع مجموع سهم عملکرد از هر جهت است. هرچه مقدار نمره متريک بزرگتر باشد، عملکرد جبهه‌ی تقریبی بهتر است. شکل ۱۷ مراحل دقیق اجرای معیار عملکرد پیشنهاد شده، متريک P را نشان می دهد.

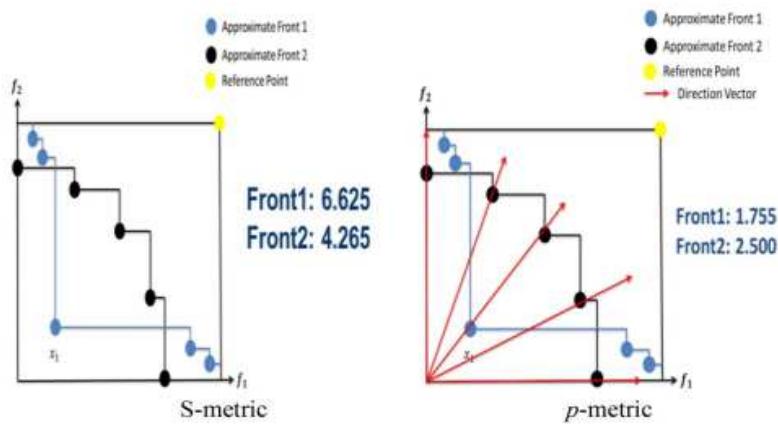
مقاييسه متريک P با IGD و ابرحجم: در اين مقاله IGD و شاخص ابرحجم برای مقاييسه عملکرد MaOEAs استفاده شد. با اين حال، هر دو آنها در ابتدا برای مقاييسه در فضاهای هدف کم ابزاری طراحی شده اند و در هنگام استفاده از فضاهای هدف بعدی ابعاد مختلفی دارند. از سوی ديگر، اين معايب توسط متريک P پیشنهاد شده است که به طور خاص برای فضاهای هدف بزرگ طراحی شده است. در شکل ۱۸، در `subfigure X1` در مجاور `X1` به جزء `X1` در مقابل تقریبی ۱ توسط حداقل یک راه حل در مقابل تقریبی ۲. فقط `X1` است با تمام راه حل در مقابل تقریبی ۲. تحت سلطه غير غالب اين حال، زمانی IGD متريک برای اندازه گيري عملکرد هر دو جهت تقریبی استفاده می شود، قسمت ۱ نمره بهتر (يعني ۹,۰) نسبت به جبهه ۲ (يعني ۵,۰) بدست می آورد. اين روش روش IGD محاسبه می شود. در IGD، هر راه حل در قسمت راست پارتونزديکترین راه حل را در مقابل تقریبی پیدا می کند و فاصله بين آنها را محاسبه می کند. هنگامی که آن را به جبهه ۱ می آيد، تمام راه حل های در قسمت راست پارتونزديکترین راه حل در مقابل تقریبی انتخاب می کنند. از زير فريم سمت چپ، فاصله بين `X1` و هر راه حل در قسمت راست کوچك، کوچك است. هنگامی که آن را به جبهه ۲ می آيد، هر چند که هر راه حل در مقابل واقعی می تواند راه حل های مختلف تقریبی پیدا، فاصله بين هر جفت از آنها بزرگتر از بين `X1` و هر راه حلی

در جبهه درست است. بنابراین، جبهه ۱ نمره بهتر نسبت به جبهه ۲ در زیر متریک IGD دریافت می کند. در شکل ۱۹، در زیر فریم سمت چپ، دو جهت تقریبی با استفاده از متریک S مقایسه می شود. محدوده محصور شده توسط تقریبا جلو ۱ بزرگتر از جلو ۲ است. بنابراین، جلو ۱ نمره ۵ متریک بهتر (به عنوان مثال، ۶,۶۲۵) بدست می آورد نسبت به جلو ۲ (به عنوان مثال، ۴,۲۶۵). با این وجود، تمام راه حلها به جز ۱ در تقریب جلو ۱ با حداقل یک راه حل بر روی تقریبا جلو ۲ تحت تاثیر قرار می گیرند. علاوه بر این، جلو ۲ دارای اندازه تنوع بهتر نسبت به جلو است.

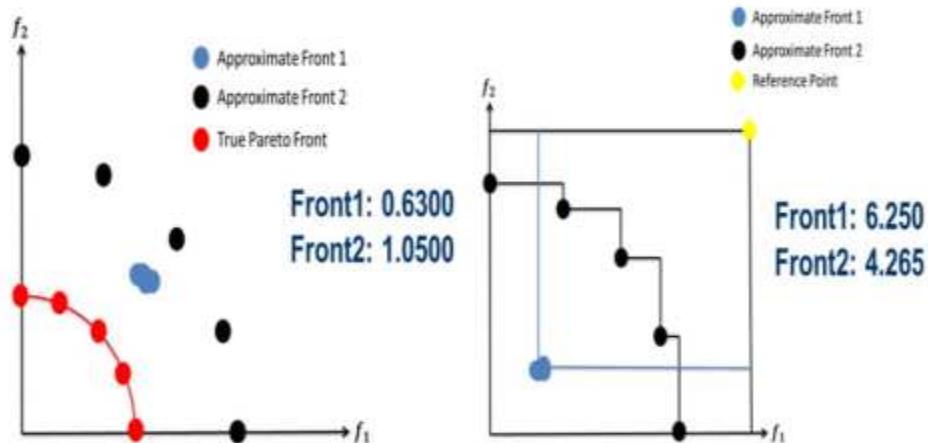
بنابراین نتیجه متریک Δ همچنین قوی عملکرد برتر هنگامی که متریک P در این شرایط اعمال می شود، تقریبا جلو ۲ نمره بهتر از مقابل ۱ را بر اساس دو امتیاز بدست می آورد. اولا، عملکرد همگرایی هر یک از راه حل ها به واسطه مقدار دقیق آن مشخص می شود. راه حل متداول باید حاوی مقادیر نادرست ردیف مختصات نسبت به موارد غیر غالب باشد، که راه حل های غلط را جریمه می کند. دوم، عملکرد تنوع تمام تقریب مقابله بر اساس مقادیر زاویه ای از تمام راه حل ها در آن جبهه است. اگر راه حل های بیشتر یک مختصات زاویه ای مشابه داشته باشند، در یک زیر منطقه شلوغ می شوند. بنابراین، راه حل های در منطقه شلوغ مجازات می شوند. در زیر مقادیر سمت راست هر دو شکل ۱۸ و ۱۹، متریک P ترجیح می دهد تقریبی جبهه ۲ بیش از تقریبی جبهه ۱. در اینجا، هر راه حل در تقریبی جبهه ۲ متعلق به یک بردار جهت مختلف است. بنابراین، تمام مقادیر مختصات شعاعی راه حل ها را می توان به اندازه گیری عملکرد نهایی در متریک P شمرد. از سوی دیگر، دو راه حل برای تقریب جبهه ۱ که متعلق به یک بردار جهت هستند وجود دارد. بنابراین، تنها یک مقدار مختصات شعاعی راه حل را می توان شمارش کرد. علاوه بر این، از مقیاس، مقادیر افقی شعاعی هماهنگ برای راه حل های تقریبی جبهه ۱ بزرگتر از راه حل های جبهه ۲ است. بر اساس بحث فوق، P-متریک ترجیح می دهد جبهه ۲ بیش از جبهه ۱. دوم، در بالا فضای دو بعدی، تمام راه حل ها در همان جبهه ممکن است تنها بر روی یک راه حل بهینه ای محلی مرکز کنند. بنابراین، در میان آنها تنوعی وجود ندارد. با این حال، این عملکرد ضعیف با اعتماد به نفس نمره IGD و S-متریک منعکس نمی شود. شکل ۲۰ این شرایط را در IGD و S-metrics نشان می دهد.



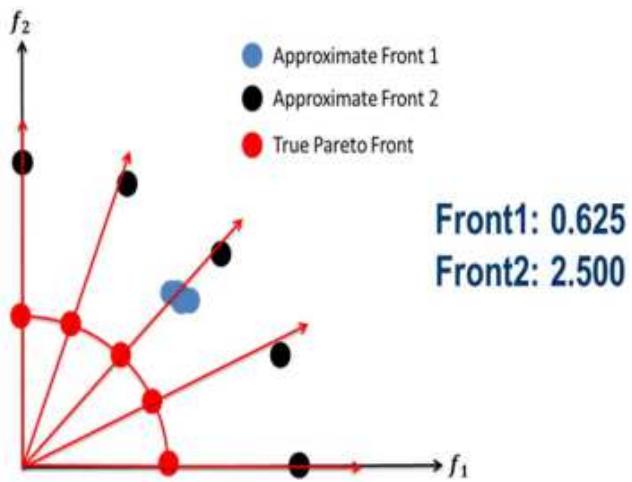
شکل ۱۸: امتیاز IGD، رابطه عملکرد را نقض می کند



شکل ۱۹: وردی که در آن امتیاز متريک S، رابطه عملکرد قوی را نقض می کند



شکل ۲۰: IGD و متريک S جبهه ۱ را به جبهه ۲ ترجيح می دهد



شکل ۲۱: متریک P جبهه ۲ را به جبهه ۱ ترجیح می دهد

در شکل ۲۱، زمانی که متریک P اعمال می شود، تمام راه حل ها در جبهه ۱ متعلق به یک بردار جهت دارند، در حالی که هر راه حل در جبهه ۲ متعلق به بردار متفاوت است. اگرچه مقادیر بر روی جبهه ۱ حاوی مقادیر کمی بزرگتر نسبت به جبهه ۲ هستند، جبهه ۲ با استفاده از متریک P به دلیل توزیع بهتر آن، نمره عملکرد بهتر را با استفاده از متریک P دریافت خواهد کرد. مشکلات ذکر شده در بالا بیشتر در MaOPS ظاهر می شوند. بر اساس بحث فوق، هر دو IGD و متریک کنمی توانند نتایج مقایسه دقیق را برای MaOEAs ارائه دهند. از سوی دیگر پیشنهاد متریک P می تواند برای مقایسه جامع و دقیق MaOEA ها استفاده شود.

۴-نتایج ازمايشی

در این بخش، پنج MaOEA از بهترین حالت ها برای حل وظایف ۵ و ۱۰ D DTLZ1-DTLZ7 انتخاب می شوند و برای هر مشکل تقریبی جابجایی تولید می کنند. برای هر نمونه آزمون مقیاس پذیر، روش پیشنهادی دیداری سازی سپس برای جابجایی تقریبی حاصل شده (تولید شده توسط هر پنج MaOEAs) از فضاهای هدف ۵ و D-۱۰ به نقشه های دو بعدی قطبی برای مقایسه استفاده می شود. پس از آن تمام این جبهه ها توسط متریک P و دو معیار موجود، از جمله IGD و متریک S ارزیابی می شوند. در نهایت، نتایج ارزیابی از معیارهای مختلف رتبه بندی می شوند تا بینش مربوط به عملکرد هر متریک را نشان دهد.

الف: MaOEAs انتخاب شده برای مقایسه

در این آزمایش، پنج MaOEAs از بهترین حالت ها برای مقایسه بصری انتخاب شده اند. آنها بر اساس الگوریتم MOEA چندگانه غیر غالب الگوریتم ژنتیک [NSGA-II (NSGA-III) [28]]، بر اساس ϵ -سلطه (GrEA) [31]، و MOEA (MOEA / D) [30]، الگوریتم تکاملی مبتنی بر شبکه (MOEA) [29] بر اساس تجزیه MOEA برآورد هیپرالوم برای بهینه سازی چند هدفه (HypE) [32]. هر الگوریتم یک کلاس متفاوت از طرح ها را در این مقاله نشان می دهد. NSGA-III بر عملکرد تنوع تاکید می کند و یک اپراتور حفاظت از تنوع جدید برای هدایت گسترش جمعیت در طی روند تکامل طراحی شده و با توجه به یکدیگر به خوبی توزیع شده است. این ϵ -MOEA را اصلاح می کند و شبکه را برای حفظ تنوع در نظر می گیرد. MOEA / D یک MOP را به چند مقیاس بهینه سازی اسکالار تجزیه می کند و به طور همزمان آنها را بهینه می کند. GrEA با بهره گیری از پتانسیل رویکرد مبتنی بر شبکه برای تقویت فشار انتخاب به سمت هدایت مطلوب، در حالی که حفظ توزیع گستردگی و یکنواخت در میان راه حل ها تاکید دارد. HypE با استفاده از نشانگر هیپرالوم به طور مستقیم هر فرد ارزش یک تناسب را نشان می دهد که هر دو نقاط قوت و ضعف آن را مشخص می کند.

ب: مسائل تست انتخاب شده

هفت عددی معقول برای مقیاس پذیری به طور گستردگی قرار می گیرد تا ارزیابی عملکرد MaOEA ها در نظر گرفته شود، DTLZ1-DTLZ7 [33]. در این آزمایش، MaOEAs انتخاب شده در فضاهای هدف D5 و D10 از این معیارها آزمایش می شود.

پ: تنظیم پارامتر در آزمایش

اندازه جمعیت در تمام MaOEA ها انتخاب شده است برای ۱۰۰ مورد برای تمام موارد آزمون تعیین شده است. معیار توقف برای $10,000$ نسل تعیین شده است. جمعیت اولیه توسط نمونه گیری تصادفی یکنواخت از فضای جستجو ایجاد می شود. شبیه سازی سوکت دوتایی (SBX) و جهش چندجمله ای استفاده می شود. اپراتور متقطع یک بیرون بهار را تولید می کند که سپس توسط اپراتور جهش اصلاح می شود. پس از عمل در [۳۴]، شاخص توزیع SBX و جهش چندجملهای به 20 تنظیم می شود. نرخ متقطع $1,000$ در حالی که نرخ جهش $1 / \text{متر}$ است و m

تعداد متغیرهای تصمیم گیری است. همانطور که در [۳۴] پیشنهاد شده است، برای m به ترتیب ۹ و ۱۴ و برای مشکلات D-۵ و D-۱۰ انتخاب می شود، در حالی که برای ۷، DTLZ2-DTLZ7، m برای ۱۴ و ۱۹ برای D-۵ و MOEA / ۱۰ انتخاب می شود- مشکلات به ترتیب. برای ε-MOEA، تنظیم پارامتر به شرح زیر است: [۳۱]. در [۳۲]، تعداد بردارهای وزن در محدوده هر بردار وزن T به ۱۰ تنظیم می شود. برای HypE، بر اساس [D]

۱۰، نقطه نمونه گیری استفاده می شود.

جدول ۱: عملکرد MaOEAs در مقیاس ۵ بعدی

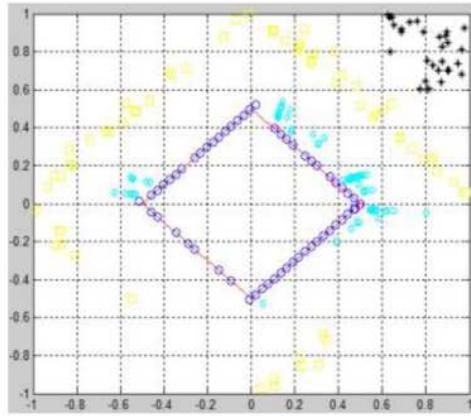
MaOP	Rank	ρ -metric	IGD	S-metric
DTLZ1	1	GrEA	GrEA	GrEA
	2	NSGA-III	MOEA/D	MOEA/D
	3	HypE	HypE	HypE
	4	MOEA/D	NSGA-III	NSGA-III
	5	ε-MOEA	ε-MOEA	ε-MOEA
DTLZ2	1	GrEA	GrEA	MOEA/D
	2	NSGA-III	ε-MOEA	HypE
	3	ε-MOEA	NSGA-III	NSGA-III
	4	HypE	MOEA/D	GrEA
	5	MOEA/D	HypE	ε-MOEA
DTLZ3	1	GrEA	GrEA	GrEA
	2	HypE	HypE	HypE
	3	NSGA-III	MOEA/D	MOEA/D
	4	MOEA/D	NSGA-III	NSGA-III
	5	ε-MOEA	ε-MOEA	ε-MOEA
DTLZ4	1	GrEA	NSGA-III	MOEA/D
	2	NSGA-III	ε-MOEA	HypE
	3	ε-MOEA	GrEA	NSGA-III
	4	HypE	HypE	GrEA
	5	MOEA/D	MOEA/D	ε-MOEA
DTLZ5	1	MOEA/D	HypE	MOEA/D
	2	NSGA-III	MOEA/D	HypE
	3	HypE	NSGA-III	NSGA-III
	4	ε-MOEA	ε-MOEA	ε-MOEA
	5	GrEA	GrEA	GrEA
DTLZ6	1	MOEA/D	GrEA	MOEA/D
	2	GrEA	MOEA/D	GrEA
	3	NSGA-III	HypE	HypE
	4	HypE	ε-MOEA	NSGA-III
	5	ε-MOEA	NSGA-III	ε-MOEA
DTLZ7	1	GrEA	GrEA	HypE
	2	HypE	HypE	GrEA
	3	NSGA-III	NSGA-III	MOEA/D
	4	MOEA/D	MOEA/D	ε-MOEA
	5	ε-MOEA	ε-MOEA	NSGA-III

جدول ۳: عملکرد MaOEAs در مسائل ده بعدی

MaOP	Rank	ρ -metric	IGD	S-metric
DTLZ1	1	GrEA	GrEA	GrEA
	2	MOEA/D	HypE	HypE
	3	HypE	NSGA-III	MOEA/D
	4	NSGA-III	MOEA/D	NSGA-III
	5	ϵ -MOEA	ϵ -MOEA	ϵ -MOEA
DTLZ2	1	GrEA	GrEA	MOEA/D
	2	ϵ -MOEA	NSGA-III	HypE
	3	HypE	ϵ -MOEA	NSGA-III
	4	NSGA-III	MOEA/D	GrEA
	5	MOEA/D	HypE	ϵ -MOEA
DTLZ3	1	GrEA	GrEA	GrEA
	2	MOEA/D	HypE	HypE
	3	HypE	MOEA/D	MOEA/D
	4	ϵ -MOEA	ϵ -MOEA	ϵ -MOEA
	5	NSGA-III	NSGA-III	NSGA-III
DTLZ4	1	GrEA	ϵ -MOEA	MOEA/D
	2	ϵ -MOEA	GrEA	HypE
	3	NSGA-III	NSGA-III	NSGA-III
	4	HypE	HypE	GrEA
	5	MOEA/D	MOEA/D	ϵ -MOEA
DTLZ5	1	HypE	HypE	NSGA-III
	2	NSGA-III	ϵ -MOEA	HypE
	3	GrEA	NSGA-III	ϵ -MOEA
	4	ϵ -MOEA	GrEA	MOEA/D
	5	MOEA/D	MOEA/D	GrEA
DTLZ6	1	NSGA-III	NSGA-III	HypE
	2	HypE	MOEA/D	MOEA/D
	3	MOEA/D	HypE	NSGA-III
	4	ϵ -MOEA	GrEA	GrEA
	5	GrEA	ϵ -MOEA	ϵ -MOEA
DTLZ7	1	HypE	GrEA	HypE
	2	GrEA	HypE	GrEA
	3	ϵ -MOEA	ϵ -MOEA	ϵ -MOEA
	4	MOEA/D	MOEA/D	MOEA/D
	5	NSGA-III	NSGA-III	NSGA-III

ت: نتایج ازمایشی

نتایج مقایسه دقیق در جداول II و III ارائه شده است، در حالی که IGD، ρ -metric و متريک GrEA مقایسه عملکرد پنج MaOEAs در D5 و D10- DTLZ1-DTLZ7 اعمال می شود. برای بهترین دیداری سازی، انتخاب تعداد بردارهای جهت برای نزدیکترین تعداد افراد در جبهه تقریبا موثر است. به عنوان نتیجه، تعداد بردارهای جهتدار به ۱۲۶ مورد در مشکلات ۵ دسا و ۵۵ در مشکلات ۱۰- D- انتخاب شده است. در هر مسئله معیار، هر یک از الگوریتم ۳۰ بار به صورت مستقل اجرا می شود تا ثبات سه معیار عملکرد را بررسی کند. توجه داشته باشید که IGD و ابر حجم معمولا در این مقاله برای مقایسه MaOEAs در دست انتخاب شده است.



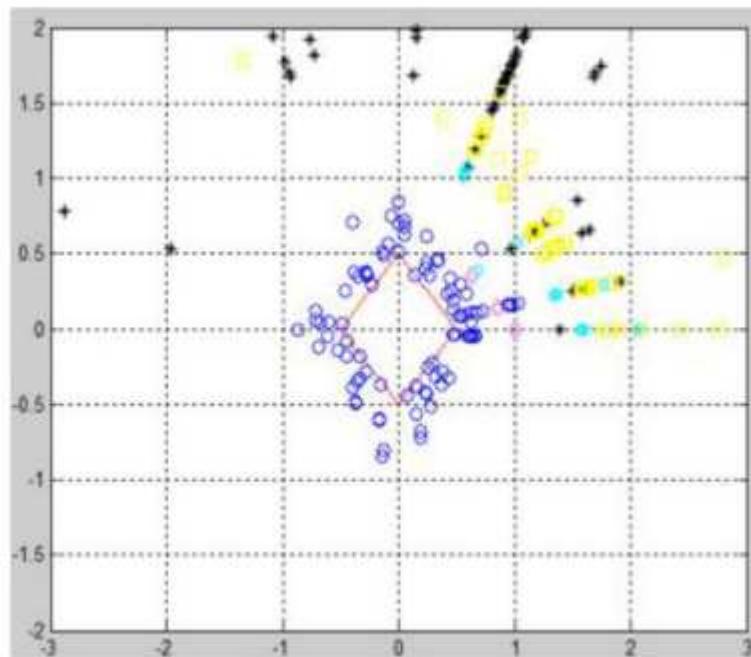
شکل ۲۲: DTLZ1 ۵ بعدی

دیداری سازی تقریبی جبهه تولید شده توسط تمام پنج MaOEAs در همان نقشه قطبی دو بعدی D برای مقایسه بصری نشان داده شده است در هر شکل (برای D-۵ یا D DTLZ1-DTLZ7-۱۰) خط "قرمز" نشان دهنده جبهه پارتو واقعی است، "دایره آبی" تقریبی جبهه توسط GrEA است، "ستاره سیاه" نشان دهنده MOEA-ع، "زرد مربع" به NSGA-III اشاره دارد، "الاس بنفسخ" MOEA / D است، در حالی که "هگزاغرام ساینده" مربوط به HypE است. در هر رقم، تحت یک مشکل مشابه DTLZ، جبهه پارتو جغرافیایی D-۵ نقشه برداری همان نقشه D-۱۰ است. در شکل ۲۲ همانند D DTLZ1-۱۰-۵ پارتو جبهه واقعی است. به عنوان مثال، جبهه واقعی والدین در شکل ۲۳ همانند D-۱۰ DTLZ1-۱۰-۵ در شکل ۲۳ است. آنها به نظر می رسد متفاوت هستند زیرا مقیاس ها متفاوت هستند تا بتوانند بهترین تصویر تقریبی جبهه تولید شده توسط همه پنج MaOEA را ارایه کنند.

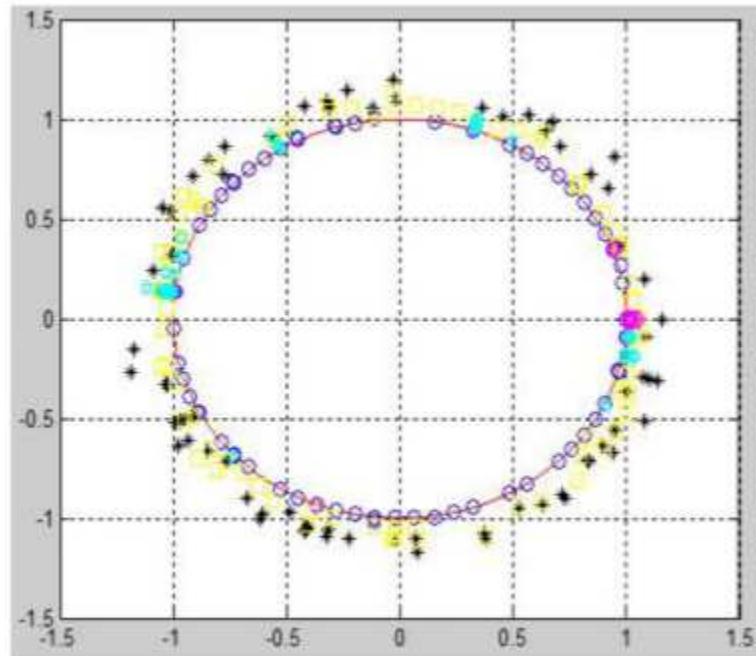
مشاهده

در D-۵ MOEA / D D DTLZ1-۱۰ MOEA دارای بهترین عملکرد دوم در میان تمام الگوریتم های تحت IGD و متريک S است. با اين حال، شکل ۲۲ نشان می دهد که MOEA / D یک جبهه تقریبی (با الماس بنفسخ) با تمام راه حل هایی که تنها در یک قسمت از فضای هدف قرار دارد و تقریبا جبهه GrEA (دایره آبی) قرار دارد، تولید می کند. همان طور که در [۳۵] تایید شده است، MOEA / D با تنوع ضعیف آن در زیر IGD و متريک S جریمه نمی شود. از سوی دیگر، p-metric MOEA / D دومین بدترین رتبه را تعیین می کند که به درستی عملکرد ضعیف تنوع آن را نشان می دهد. در نمودار D DTLZ1-۱۰-۵، تقریبی جبهه حاصل از HypE (سیان) و NSGA-III (زرد)

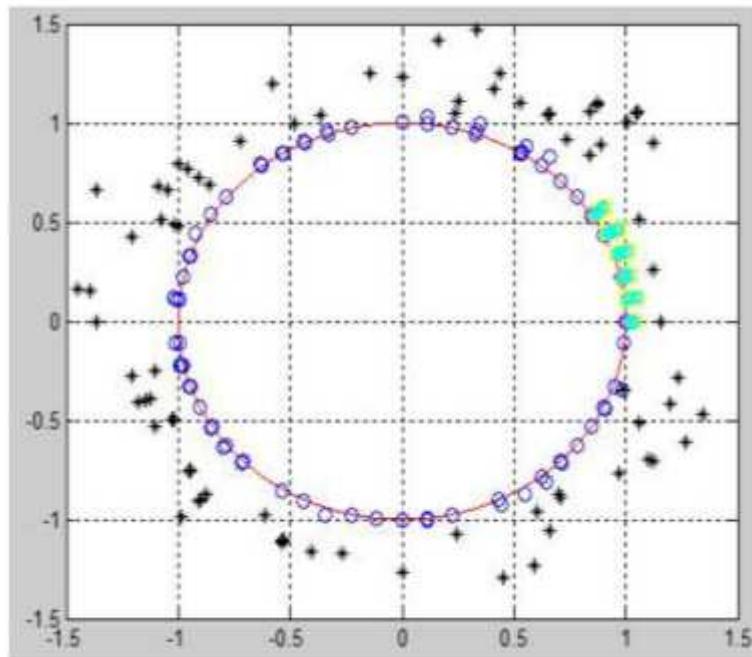
بسیار دورتر از جبهه پارتو واقعی است. در ضمن، هر دو آنها دارای تنوع کمتری هستند و فقط در تعداد کمی از مسیرها قرار دارند. با این حال، نمره هر دو IGD و متريک ϵ -MOEA می‌تواند به وضوح اين همگرايی و تنوع ضعيف را منعکس کند. در هر دو DTLZ1 و D-10 که يك جبهه پارتو خطی را شامل می‌شود و دارای تعداد زیادي جبهه محلی است، [۳۶] GrEA بهترین عملکرد را فراهم می‌کند در حالی که ϵ -MOEA در هر شکل بدترین حالت را دارد. همانطور که می‌دانیم هر دو قدرت همگرا و تنوع GrEA از طراحی شبکه مبتنی بر آن می‌آیند. از سوی دیگر، قدرت همگرايی ϵ -MOEA بر مبنای اصلاح پاروتو-غالبيت (يعني ϵ - غالبيت) است، در حالی که قدرت تنوع آن با محدود کردن هر هيپبوک با حداکثر يك راه حل يکسان است که مشابه مکانيزم نگهداري تنوع در طراحی مبتنی بر شبکه بنابراین به نظر می‌رسد که روش مبتنی بر شبکه برای عملکرد تنوع بهتر با روش مبتنی بر شبکه برای عملکرد سازگاری بهتر از روش غالبيت پارتول برای عملکرد همگرا است.



شکل ۲۳: DTLZ1 ده بعدی



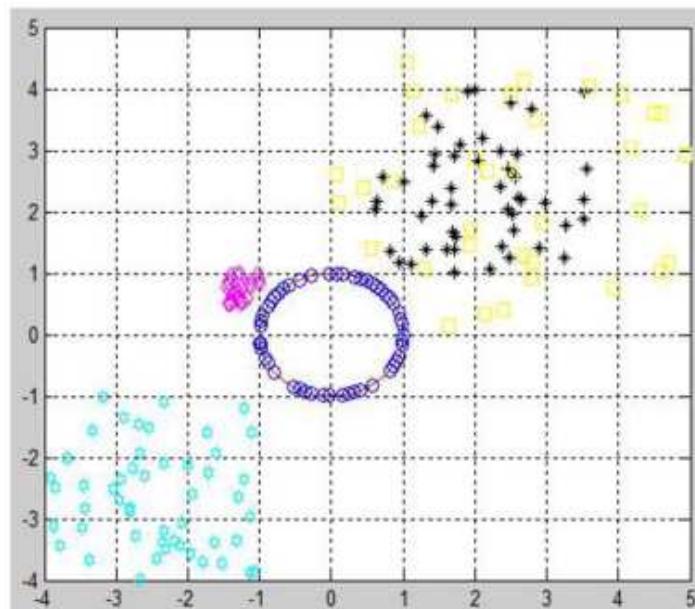
شکل ۲۴: DTLZ2 ۵ بعدی



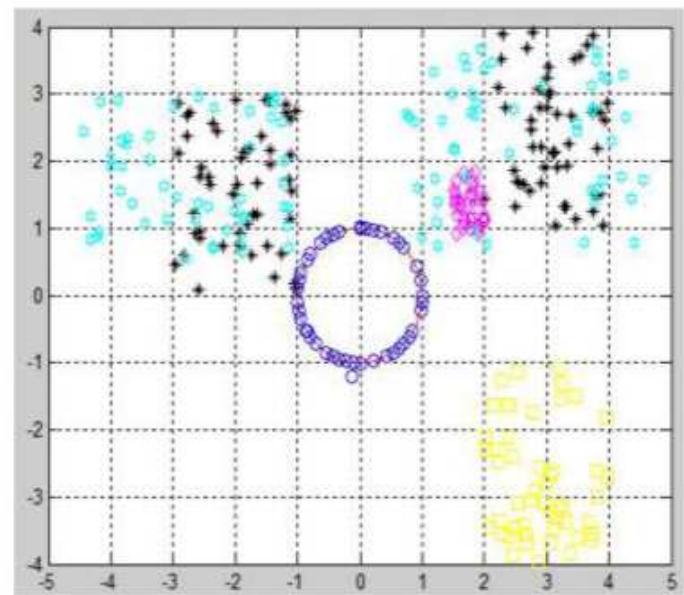
شکل ۲۵: DTLZ2 ۶ بعدی

همچنین تعداد زیادی از پارتو جبهه محلی را معرفی می کند [۳۶]. باز هم، GrEA بهترین عملکرد خود را در هر دو مشکل D-۱۰ و D-۵ نشان می دهد، در حالی که MOEA- ϵ دارای عملکرد پایین تر است. بنابراین، از

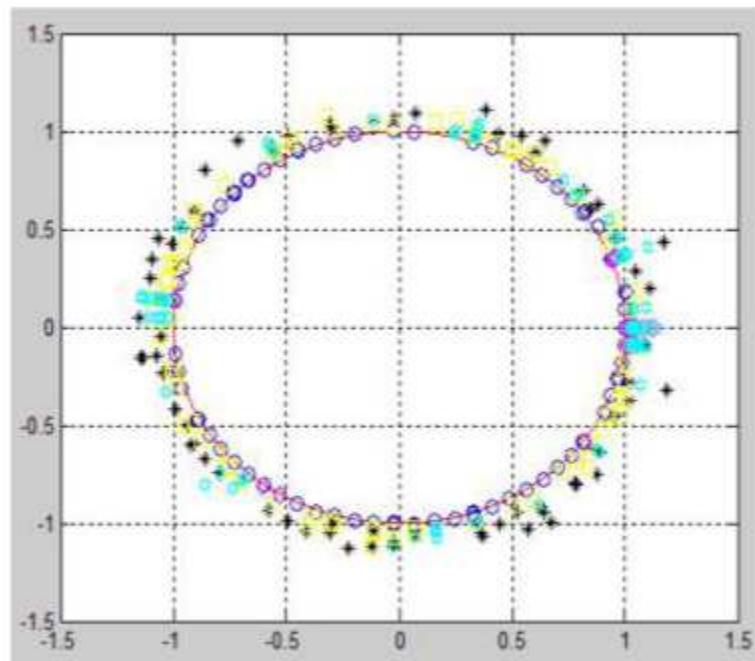
مشاهدات ما از DTLZ1 پشتیبانی می کند که طراحی مبتنی بر شبکه برای عملکرد تنوع بهتر با طراحی مبتنی بر شبکه برای همگرایی بهتر از روش غالبیت پارتو برای عملکرد همگرا مطابقت دارد. علاوه بر این، در شکل ۲۶ و ۲۷، مشاهده می شود که HypE (سیان)، ϵ -MOEA (سیاه)، و NSGA-III (زرد) تنها می توانند به چندین پارتو جبهه محلی متصل شوند. در ۵-D MOEA / D، HypE و DTLZ4 در زیر متریک S-metric بحث می شوند. با این حال، شکل ۲۸ نشان می دهد که هر دو الگوریتم ژورنال تقریبی را با تنوع بسیار کم تولید می کنند. علاوه بر این، GrEA عملکرد سازگاری آنها نیز بدتر از GrEA است. در ۱۰-D MOEA / D، DTLZ4 در رتبه IGD بهتر از GrEA بحث می آید. با این حال، از شکل ۲۹ هر دو الگوریتم تولید جغرافیایی تقریبی با عملکرد تنوع مشابهی را نشان می دهند، در حالی که GrEA (آبی) عملکرد مناسبی را از ϵ -MOEA به دست می آورد. در زیر DTLZ4 نشان می دهد که GrEA در هر دو جهت همگرایی و تنوع بهتر از آنها عمل می کند. از [۲۸]، شکل ۲۹ توزیع غیرمستقیم از راه حل ها را در امتداد جبهه پارتو ایجاد می کند. GrEA با بهترین نتیجه رتبه نشان می دهد که طراحی مبتنی بر شبکه با همان طول شبکه در هر بعد هنوز در حل مسائل با توزیع غیرمجاز جبهه پارتو موثر است، که همچنین با نتایج آزمایش در [۳۱] نشان داده شده است.



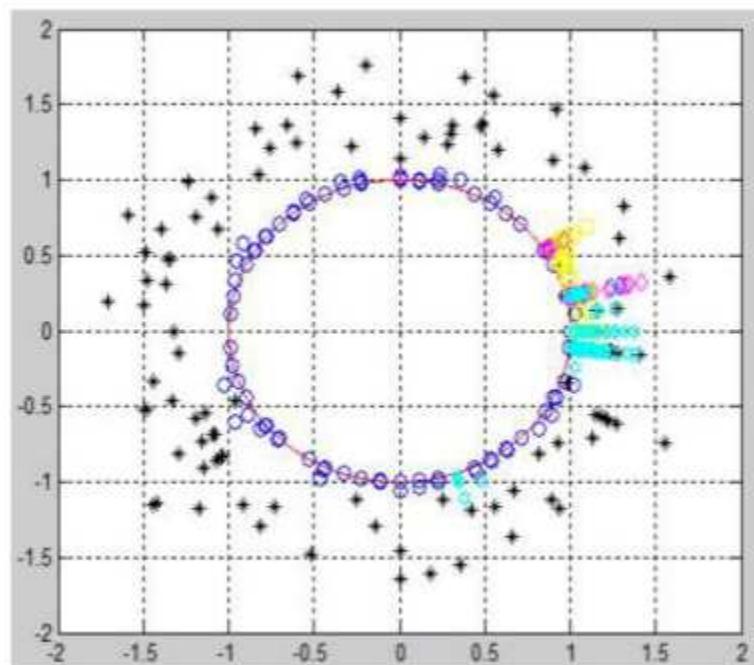
شکل ۲۶: DTLZ3 ۵ بعدی



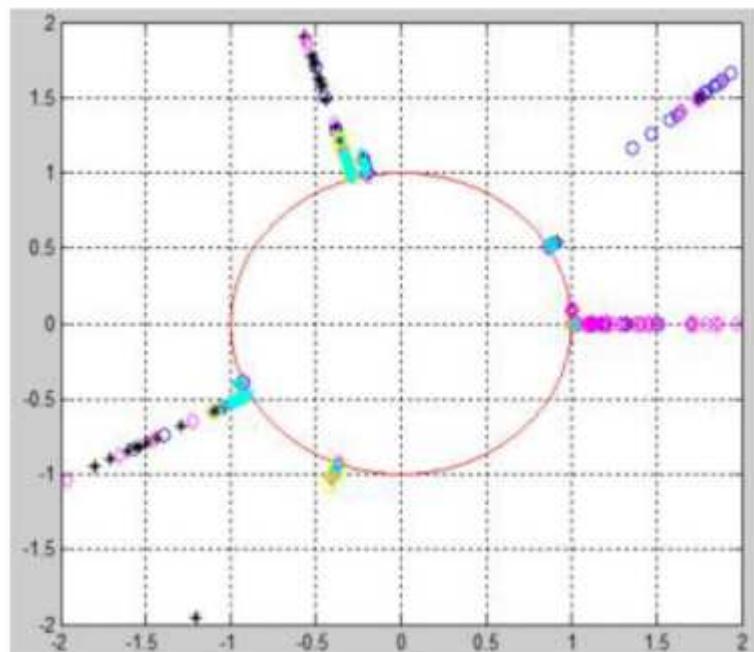
شکل ۲۷: ده بعدی DTKZ3



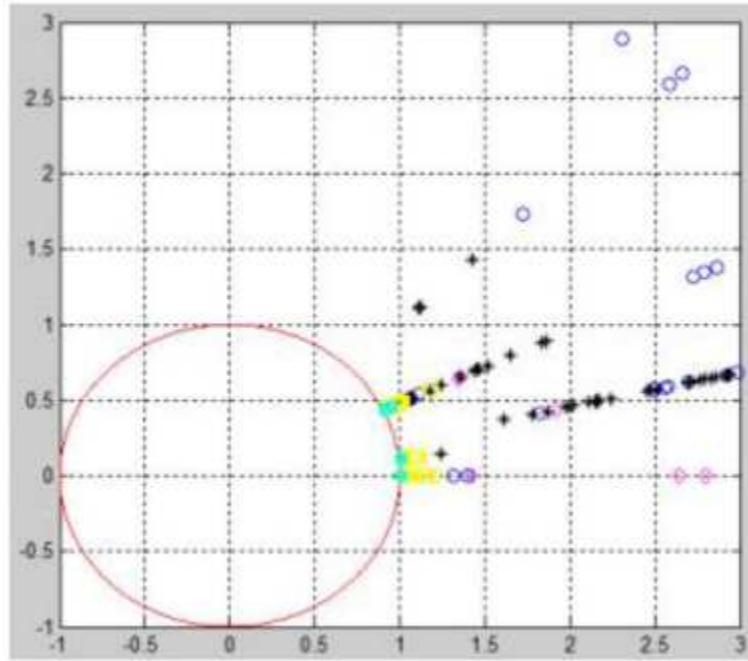
شکل ۲۸: پنجم بعدی DTLZ4



شكل ٢٩: DTLZ4 ١٠ بعدى



شكل ٣٠: DTLZ5 ٥ بعدى



شکل ۳۱: DTLZ5 ۱۰ بعدی

بر اساس منبع ۳۱، DTLZ6 دارای تعدادی منطقه بهینه پارتو گسسته و جبهه پارتو محلی است. مجدداً لازم به ذکر است که سختی ϵ -MOEA در مدیریت نتایج جبهه پارتو به عملکرد ضعیف در DTLZ6 منتهی می شود. اگرچه GrEA توانایی زیادی در مدیریت جبهه محلی در DTLZ1 است، عملکرد ضعیفی را در مسئله ده بعدی نشان می دهد. از این روی مناطق گسسته بهینه پارتو علاوه بر فضای با ابعاد بالا موجب می شود تا دست یابی به جبهه تقریبی متنوع سخت باشد. در عین حال در شکل ۳۲، تعداد زیادی از راه حل های تقریبی تولید شده توسط GrEA (آبی)، NSGA-III (بنفش) و MOEA / D (زرد) به چندین جبهه پارتو محلی همگرا می شوند.

DTLZ7 با رویکرد سطح محدود ساخته می شود. جبهه پارتو حد فاصل خط مستقیم و ابر صفحه است. نتایج شکل ۳۴ و ۳۵ موید مشاهدات ۳۶ است. MaOEAs به سختی قادر به همگرایی به جبهه پارتو و حفظ توزیع خوب راه حل ها در آن است. با این حال، متريک عملکرد به تنهايی قادر به منعکس کردن اين نتایج مشاهده و اعتبار سنجی اين تشخيص نیست. روش ديداري سازی به ما امكان مشاهده هر دو عملکرد تنوع و همگرایی را می دهد. علاوه بر بحث های بخش ۳-ب، اين مشاهدات مويد اين هستند که IGD و متريک S يك مقاييسه جامع و دقیق را در ميان MaOP در MaOEAs ارایه می کند. متريک جديد P يك جايگزين مناسب برای اين ارزیابی است.

در یک فضای عینی با بعد بالا، دیداری سازی یک ابزار ضروری در توسعه MaOPs و حل MaOEAs است. یک رویکرد دیداری سازی جدید در اینجا پیشنهاد شد. در اینجا افراد فضای عینی با بعد بالا به سیستم مختصات دو بعدی قبی نگاشته شد ضمن این که رابطه غالبیت پارتول حفظ شد و شکل و محل جبهه پارتول و توزیع آنها حفظ شد.

از طریق نمودار قطبی حاصل شده، تصمیم گیرنده می‌تواند روند تکامل را برآورد کند، مکان، محدوده و توزیع پارتو جبهه را برآورد کند، کیفیت تقارن جبهه و ارزیابی بین اهداف را بررسی و به راحتی راه حل‌های مورد نظر را انتخاب کند. علاوه بر این، برنامه‌های کاربردی آن می‌تواند به هر ابعادی قبل اندازه گیری باشد، تعداد زیادی از افراد در جبهه را اداره کند و همزمان چندین جبهه را برای مقایسه تحجم نماید. بر اساس این روش دیداری سازی، یک معیار عملکرد به نام p -metric پیشنهاد شده است. همگرایی جبهه تقریبی با مقادیر شعاعی همه اعضای جمعیت در آن جبهه اندازه گیری می‌شود. در همین حال، عملکرد تنوع جغرافیایی تقریبی به طور عمده به واسطه شمارش نویسی هر زیرمجموعه در یک فضای با ابعاد بزرگ تعیین می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که این می‌تواند یک مقایسه جامع و سازگار بین MaOEAs ارائه دهد.

در مطالعات آینده، ما ایده دیداری سازی و متريک عملکرد به MaOPs را توسعه می‌دهيم زيرا بيشتر مسائل واقعی شامل ويژگي پويا و عوامل محدود کننده است. برای اين که جبهه پايدار باشد، همه محدوديت‌ها باید برآورد شوند. در اين مقاله تلاش‌های زيادي برای حل مسائل محدود و ديناميک تخصيص داده شد. با اين حال، مقالات كمي به بررسی مسائل پويا و محدود بعدی پرداخته اند. لذا، ايده برآورده سازی محدوديت بايستی در MaOPs لاحظ شود. در ابتدا، فرایند نگاشت در روش دیداری سازی نه تنها رابطه غالبیت پارتول و فواصل محلی را در راه حل‌ها در فضای بعدی بالا حفظ می‌کند، بلکه درجه شيوه حل مسائل را نيز تبيين می‌کند. سپس امتياز متريک عملکرد هر راه حل بر اساس تركيب شاخص‌های همگرایی و تنوع و نيز درجه برقراری محدوديت‌ها خواهد بود.

REFERENCES

- [1] T. Tusař and B. Filipic, "Visualization of Pareto front approximations in evolutionary multiobjective optimization: A critical review and the progression method," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 19, no. 2, pp. 225–245, Apr. 2015.
- [2] D. Brockhoff and E. Zitzler, "Objective reduction in evolutionary multi-objective optimization: Theory and applications," *Evol. Comput.*, vol. 17, no. 2, pp. 135–166, Jun. 2009.
- [3] D. K. Saxena, J. A. Duro, A. Tiwari, K. Deb, and Q. Zhang, "Objective reduction in many-objective optimization: Linear and nonlinear algorithms," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 17, no. 1, pp. 77–99, Feb. 2013.
- [4] R. J. Lygoe, M. Cary, and P. J. Fleming, "A many-objective optimization decision-making process applied to automotive diesel engine calibration," in *Simulated Evolution and Learning (LNCS 6457)*. Berlin, Germany: Springer, 2010, pp. 638–646.
- [5] A. Inselberg, *Parallel Coordinates: Visual Multidimensional Geometry and its Applications*. New York, NY, USA: Springer, 2009.
- [6] A. Pryke, S. Mostaghim, and A. Naeemi, "Heatmap visualisation of population based multi objective algorithms," in *Proc. Int. Conf. Evol. Multi-Criterion Optim.*, Matsushima, Japan, 2007, pp. 361–375.
- [7] M. F. Ashby, "Multi-objective optimization in material design and selection," *Acta Mater.*, vol. 48, no. 1, pp. 359–369, Jan. 2000.
- [8] P. E. Hoffman, G. G. Grinstein, K. Marx, L. Grosse, and E. Stanley, "DNA visual and analytic data mining," in *Proc. IEEE Vis. Conf.*, Phoenix, AZ, USA, 1997, pp. 437–441.
- [9] T. Kohonen, *Self-Organizing Maps*. Berlin, Germany: Springer, 2001.
- [10] J. J. Valdes and A. J. Barton, "Visualizing high dimensional objective spaces for multi-objective optimization: A virtual reality approach," in *Proc. IEEE Congr. Evol. Comput.*, Singapore, 2007, pp. 4199–4206.
- [11] D. Lowe and M. E. Tipping, "Feed-forward neural networks and topographic mappings for exploratory data analysis," *Neural Comput. Appl.*, vol. 4, no. 2, pp. 83–95, Jun. 1996.
- [12] T. Okabe, Y. Jin, and B. Sendhoff, "A critical survey of performance indices for multi-objective optimisation," in *Proc. IEEE Congr. Evol. Comput.*, Canberra, ACT, Australia, 2003, pp. 878–885.
- [13] G. G. Yen and Z. He, "Performance metrics ensemble for multiobjective evolutionary algorithms," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 18, no. 1, pp. 131–144, Feb. 2014.
- [14] D. J. Walker, R. M. Everson, and J. E. Fieldsend, "Visualizing mutually nondominated solution sets in many-objective optimization," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 17, no. 2, pp. 165–184, Apr. 2013.
- [15] S. Obayashi and D. Sasaki, "Visualization and data mining of Pareto solutions using self-organizing map," in *Proc. IEEE Congr. Evol. Multi-Criterion Optim.*, Faro, Portugal, 2003, pp. 796–809.
- [16] J. B. Tenenbaum, V. Silva, and J. C. Langford, "A global geometric framework for nonlinear dimensionality reduction," *Science*, vol. 290, no. 5500, pp. 2319–2323, Dec. 2000.
- [17] I. Borg and P. J. F. Groenen, *Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications*. New York, NY, USA: Springer, 2005.
- [18] K. C. Tan, T. H. Lee, and E. F. Khor, "Evolutionary algorithms for multi-objective optimization: Performance assessments and comparisons," *Artif. Intell. Rev.*, vol. 17, no. 4, pp. 251–290, Jun. 2002.
- [19] D. A. Van Veldhuizen, "Multiobjective evolutionary algorithms: Classifications, analyses, and new innovations," Ph.D. dissertation, Air Force Inst. Technol., Wright-Patterson AFB, Dayton, OH, USA, 1999.
- [20] C.-K. Goh and K. C. Tan, "A competitive-cooperative coevolutionary paradigm for dynamic multiobjective optimization," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 13, no. 1, pp. 103–127, Feb. 2009.
- [21] P. Czyzak and A. Jaszkiewicz, "Pareto simulated annealing—A meta-heuristic technique for multiple-objective combinatorial optimization," *J. Multi-Criteria Decis. Anal.*, vol. 7, no. 1, pp. 34–47, Jan. 1998.
- [22] J. R. Schott, "Fault tolerant design using single and multicriteria genetic algorithm optimization," M.S. thesis, Dept. Aeronaut. Astron., Massachusetts Inst. Technol., Cambridge, MA, USA, 1995.
- [23] J. Wu and S. Azarm, "Metrics for quality assessment of a multiobjective design optimization solution set," *J. Mech. Design*, vol. 123, no. 1, pp. 18–25, Mar. 2001.
- [24] E. Zitzler, L. Thiele, and K. Deb, "Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Empirical results," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 8, no. 2, pp. 173–195, Jun. 2000.
- [25] E. Zitzler and L. Thiele, "Multiobjective optimization using evolutionary algorithms—A comparative case study," in *Proc. Int. Conf. Parallel Probl. Solving Nature*, Amsterdam, The Netherlands, 1998, pp. 292–301.
- [26] Z. He, G. G. Yen, and J. Zhang, "Fuzzy-based Pareto optimality for many-objective evolutionary algorithms," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 18, no. 2, pp. 269–285, Apr. 2014.
- [27] M. P. Hansen and A. Jaszkiewicz, "Evaluating the quality of approximations to the non-dominated set," Institute of Mathematical Modelling, Tech. Univ. Denmark, Lyngby, Denmark, Tech. Rep. IMM-REP-1998-7, 1998.
- [28] K. Deb and H. Jain, "An evolutionary many-objective optimization algorithm using reference-point based non-dominated sorting approach, part I: Solving problems with box constraints," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 18, no. 4, pp. 602–622, Aug. 2014.
- [29] K. Deb, M. Mohan, and S. Mishra, "Evaluating the ε -domination based multi-objective evolutionary algorithm for a quick computation of Pareto-optimal solutions," *Evol. Comput.*, vol. 13, no. 4, pp. 501–525, Feb. 2005.
- [30] Q. Zhang and H. Li, "MOEA/D: A multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 11, no. 6, pp. 712–731, Dec. 2007.
- [31] S. Yang, M. Li, X. Liu, and J. Zheng, "A grid-based evolutionary algorithm for many-objective optimization," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 17, no. 5, pp. 721–736, Oct. 2013.
- [32] J. Bader and E. Zitzler, "HypE: An algorithm for fast hypervolume based many-objective optimization," *Evol. Comput.*, vol. 19, no. 1, pp. 45–76, Mar. 2011.
- [33] K. Deb, L. Thiele, M. Laumanns, and E. Zitzler, "Scalable multi-objective optimization test problems," in *Proc. IEEE Congr. Evol. Comput.*, Honolulu, HI, USA, pp. 825–830, 2002.
- [34] K. Deb, A. Pratab, S. Agrawal, and T. Meyarivan, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 6, no. 2, pp. 182–197, Apr. 2002.
- [35] Z. He and G. G. Yen, "Performance metrics ensemble for many-objective evolutionary algorithms," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 76, pp. 1–8, Oct. 2014.
- [36] S. Huband, P. Hingston, L. Barone, and L. While, "A review of multiobjective test problems and a scalable test problem toolkit," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 10, no. 5, pp. 477–506, Oct. 2006.
- [37] H.-L. Liu, F. Gu, and Q. Zhang, "Decomposition of a multiobjective optimization problem into a number of simple multiobjective subproblems," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 18, no. 3, pp. 450–455, Jun. 2014.
- [38] S. Venkatraman and G. G. Yen, "A generic framework for constrained optimization using genetic algorithms," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 9, no. 4, pp. 424–435, Aug. 2005.
- [39] Y. G. Woldesenbet, G. G. Yen, and B. G. Tessema, "Constraint handling in multi-objective evolutionary optimization," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 13, no. 3, pp. 514–525, Jul. 2009.
- [40] B. Tessema and G. G. Yen, "An adaptive penalty formulation for constrained evolutionary optimization," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. A, Syst., Humans*, vol. 39, no. 3, pp. 565–578, May 2009.
- [41] Y. G. Woldesenbet and G. G. Yen, "Dynamic evolutionary algorithm with variable relocation," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 13, no. 3, pp. 500–513, Jun. 2009.
- [42] G. G. Yen and W. F. Leong, "Dynamic multiple swarms in multiobjective particle swarm optimization," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. A, Syst., Humans*, vol. 39, no. 4, pp. 890–911, Jul. 2009.
- [43] G. G. Yen and H. Lu, "Dynamic multiobjective evolutionary algorithm: Adaptive cell-based rank and density estimation," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 7, no. 3, pp. 253–274, Jun. 2003.
- [44] K. M. Woldemariam and G. G. Yen, "Vaccine enhanced artificial immune system for multimodal function optimization," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B, Cybern.*, vol. 40, no. 1, pp. 218–228, Feb. 2010.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

✓ لیست مقالات ترجمه شده

✓ لیست مقالات ترجمه شده رایگان

✓ لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI

سایت ترجمه فا؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی