



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Multi-objective evolutionary algorithms for optimal scheduling

Wang, Y.

Citation

Wang, Y. (2022, January 19). *Multi-objective evolutionary algorithms for optimal scheduling*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3250350>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3250350>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

Multi-criteria optimalisatie is een effectieve techniek voor het vinden van optimale oplossingen die een afweging bieden tussen verschillende, tegenstrijdige criteria. Het heeft zijn toepassing gevonden in de wereld om ons heen omdat bij het oplossen van praktische, reële wereld problemen men gewoonlijk te maken heeft met meerdere na te streven doelen. Bij voorbeeld, bij het ontwikkelen van een onderdeel kan het gewenst zijn om het gewicht te minimaliseren en de sterkte te maximaliseren; bij het kiezen van een portfolio bij het beleggen kan men, bijvoorbeeld, eisen dat het verwachte rendement wordt gemaximaliseerd en het risico geminimaliseerd. Het multi-criteria optimalisatie probleem dat in dit proefschrift is opgelost is ontleend aan het CIM-PLO ('Cross-Industry Predictive Maintenance Optimization Platform' - industrie-onafhankelijk/overschrijdend voorspellend onderhoud optimalisatie platform) project. In het CIMPLO project is het doel om voor een vloot van voertuigen een optimaal onderhoudsschema op te stellen – elk voertuig bestaat uit een verzameling van componenten en elke component kan naar keuze in één van de werkplaatsen onderhouden worden waarbij de kosten en duur van het onderhoud van het onderdeel per werkplaats variëren. Het optimaliseren van het onderhoudsschema wordt gedaan om zakelijke voordelen te bieden aan de industrieën zoals het verlagen van de duur van het onderhoud, de veiligheid te verbeteren en het besparen van reparatiekosten. Dit probleem is een sterk NP-moeilijk ('strongly NP-hard') probleem, daar voor het flexibele-job-shop-planningsprobleem ('flexible job scheduling problem' FSJP) bewezen is dat het een sterk NP-moeilijk probleem is en ons voertuigen onderhoudsschema optimalisatie probleem ('Vehicle Fleet Maintenance Optimization' (VFMSO) probleem) een uitbreiding is van het FSJP: het VFMSO verschaft een niet-specifieke verwerkingsvolgorde en omvat naast de verwerkingskosten van de bewerking op machines ook de verwerkings-tijden zoals in de FJSP. Dit heeft tot gevolg dat evolutionaire algoritmen (EA's) gekozen zijn om dit praktische, reële wereld probleem op te lossen daar deze

meta-heuristische methode bijzonder geschikt is om multi-criteria problemen op te lossen.

Ten eerste is een multi-criteria evolutionair algoritme ('multi-objective evolutionary algorithm' MOEA) ontwikkeld voor generieke, multi-criteria optimalisatie problemen. Dit algoritme speelt een belangrijke rol in het oplossen van ons praktisch probleem. Het voorgestelde MOEA heet diversiteitsindicator gestoelde MOEA (DI-MOEA). De belangrijkste eigenschappen (voordelen) van DI-MOEA zijn: het gebruikt een hybride selectie schema (de $\mu + \mu$ generatie selectie operator en de $\mu + 1$ 'steady state' selectie operator) ten einde de voordelen van Pareto dominantie-gebaseerde benaderingen die een snelle convergentie naar het Pareto frontier (PF) garanderen te combineren met indicator gebaseerde aanpakken die convergentie naar een verzameling met goede diversiteit garanderen; het vermijdt het gebruik van complexe structuren en parameters; het biedt de mogelijkheid een uniform gedistribueerde benadering van de PF te genereren; het gebruikt geen a priori kennis van de vorm en locatie van de PF; de gebruikte diversiteitsindicator (i.e., op de Euclidische afstand gebaseerde meetkundig gemiddelde gap-indicator) is ook efficiënt te berekenen.

Ten tweede om de prestaties van MOEA's te verbeteren is een rand-geroteerde conus orde geïntroduceerd met als doel een ordeningsrelatie te verkrijgen waarmee de zoektocht naar de PF te verbeteren in vergelijking met de Pareto dominantie in MOEA's. De rand-geroteerde conus wordt verkregen door de randen van de standaard Pareto orde conus naar buiten te draaien; dit heeft als gevolg dat een orde wordt verkregen waarin meer oplossingen die in de Pareto orde niet vergelijkbaar zijn vergelijkbaar worden in de nieuwe orde daar een oplossing een groter deel van de criteria ruimte domineert. De rand-geroteerde conus orde is met zorg ingebed in de MOEA's opdat zowel convergentie en diversiteit in het evolutionaire zoekproces de nodige invloed krijgen.

Om alleen te focussen op voorkeursoplossingen, zijn doel ('target') gebaseerde MOEA's geïntroduceerd en geïmplementeerd als drie algoritmen: T-NSGA-II, T-SMS-EMOA en T-R2-EMOA. In deze algoritmen worden verschillende typen doelen ('targets') gebruikt (b.v., punt of gebied), verschillende vormen voor het doelgebied (b.v., cirkelschijf of vierkant), verschillende posities van de 'target' (b.v., op de PF of niet); een doel of meerdere doelen kunnen door de beslisser ('decision maker' DM) worden bepaald om gebruikt te worden als voorkeursinformatie waarmee niet naar alle Pareto optimale oplossingen gezocht hoeft te worden. Om de moeilijkheid voor het specificeren van de voorkeursinformatie door de DM te ontlopen, is er bovendien een op automatische voorkeur gebaseerde DIMOEA (AP-DI-MOEA) voorgesteld om het

voorkeursgebied dat door het kniepunt ('knee point') wordt geïdentificeerd te genereren – algemeen wordt aangenomen dat kniepunten de meest begeerde en van nature voorkeursoplossingen zijn die hoogst waarschijnlijk de keuze zijn van de DM's. De AP-DI-EMOA splitst het rekenbudget in twee delen op: het eerste deel wordt gebruikt om een ruwe benadering van de hele PF te vinden en daarmee het kniepunt gebied om vervolgens het tweede deel te gebruiken om het voorkeursgebied stap voor stap te verkleinen voor een grotere precisie om daarna de voorkeursoplossingen te verkrijgen.

Na de introductie van bovengenoemde, generieke algoritmen richten we onze aandacht op het oplossen van het VFMSO probleem. Aangezien ons probleem een uitbreiding vormt van het FJSP probleem en dit probleem al moeilijk op te lossen is en bovendien er niet veel onderzoek gewijd is aan dit probleem, gaan we eerst aan de slag met een MOEA om het multi-criteria FJSP probleem op te lossen. Hierbij ontwikkelen en gebruiken wij verscheidene initialisatie benaderingen, verscheidene domein-specifieke genetische operatoren en verschillende zoek strategieën. Bovendien is de Mixed-Integer Programming Efficient Global Optimization (MIP-EGO) configurator aangepast om automatisch de optimale mutatiekansen te vinden. Gewapend met de studie van het FJSP probleem ontwikkelen we het MOEA om onze reële wereld, multi-criteria VFMSO problemen op te lossen. Hiertoe is een specificatie van het probleem geformuleerd, een 3-vector chromosoom ontworpen om oplossingen te representeren en zijn ook de corresponderende genetische operatoren ontwikkeld. Tegelijkertijd zijn speciale vernieuwingen voor het VFMSO probleem gemaakt zoals het combineren van componenten die dan één onderhoudstaak vormen, de definitie van de uitvoeringsvenster ('execution window') voor elke component dat gebaseerd is op de voorspelde bruikbare resterende levensduur, de simulatie van boetekosten en het niet omgaan met de onzekerheden in de voorspellingen.

Ten slotte zijn de statische MOEA's en op voorkeur gebaseerde MOEA's toegepast op de VFMSO problemen. Aangezien het noodzakelijk is om het planningsschema continu bij te werken in het reële wereld scenario, worden de statische algoritmen uitgebreid tot dynamische MOEA's waarin een extra criterium, namelijk de stabiliteit van het planningsschema wordt gebruikt om het aantal veranderingen tussen het nieuwe en oude schema zo min mogelijk te laten zijn. Het achterliggende idee voor dit criterium is het reduceren van extra kosten zoals de kosten vanwege hertoewijzing van gereedschap en apparatuur, de kosten van het nabestellen van grondstoffen etc.

Samengevat biedt dit proefschrift vooruitgang en verbeteringen in het ontwerpen van generieke multi-criteria en 'many'-criteria (dwz meer dan 3 criteria) algoritmen voor het vinden van uniforme benaderingen van de Pareto frontier (of een voorkeurs-

Samenvatting

gebied van de Pareto frontier), en zijn deze algoritmen voor het domein van flexibele-job-shop-planning en het meer specifieke domein van dynamische, op voorspellingen gebaseerde onderhoudsplanning op maat gemaakt en met succes toegepast.