Universiteit Leiden
The Netherlands

Optimizing solvers for real-world expensive black-box optimization with applications in vehicle design

Long, F.X.

Citation
Long, F. X. (2025, November 27). *Optimizing solvers for real-world expensive black-box optimization with applications in vehicle design*. Retrieved from https://hdl.handle.net/1887/4283802

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/1887/4283802

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

Samenvatting

Het zo optimaal oplossen van problemen met beperkingen in de echte wereld (BBO), die duur zijn om te evalueren ofwel in tijd ofwel in rekenkosten, is zeer uitdagend. Hoewel er in de loop der jaren verschillende BBO-algoritmen zijn geïntroduceerd, zoals Covariance Matrix Adaptation Evolutionary Strategy (CMA-ES) en Differential Evolution (DE), is er meestal een aanzienlijk functie-evaluatiebudget nodig voor een optimalisatieconvergentie, wat minder praktisch is voor echte toepassingen die dure functie-evaluaties gebruiken. Het optimaliseren van de botsveiligheid van auto's met behulp van dure Finite Element (FE) simulaties in de auto-industrie is bijvoorbeeld een representatief voorbeeld van echte BBO problemen, die typisch zeer niet-lineair, discontinu en hoog-dimensionaal zijn. Door de strengere regels voor verkeersveiligheid, opgelegd door de overheid, en het feit dat verschillende functies en functionaliteiten geïntegreerd moeten worden om de klanttevredenheid beter te behouden, is het efficiënt oplossen van voertuigontwerpproblemen cruciaal, maar wel een uitdaging. Ondertussen verliezen geavanceerde optimalisatiebenaderingen zoals Response Surface Method (RSM) en Successive Response Surface Method (SRSM) geleidelijk hun effectiviteit in het oplossen van de steeds geavanceerdere voertuigontwerpproblemen. Optimalisatiebenaderingen die op een efficiënte manier botsveiligheids problemen efficiënt kunnen oplossen krijgen daarom steeds meer aandacht in de auto-industrie.

Gemotiveerd om de bestaande limitaties op te lossen, onderzoeken we een geautomatiseerde optimalisatie aanpak voor het efficiënt oplossen van echte dure BBO problemen met behulp van een beperkt functie-evaluatie budget binnen het bestek van dit proefschrift. In wezen willen we praktijkmensen helpen bij het afstemmen van optimalisatieconfiguraties voor het optimaal oplossen van hun toepassingen met behulp van beperkingen in de echte wereld. Door gebruik te maken van enkele goedkoop te evalueren representatieve functies die behoren tot dezelfde optimalisatieprobleemklassen als de op te lossen BBO problemen, kunnen bijna optimale optimalisatie-

configuraties geïdentificeerd worden tegen relatief lage rekenkosten, bijvoorbeeld met behulp van Hyperparameter Optimization (HPO), voordat de eigenlijke optimalisatieruns worden uitgevoerd met behulp van dure functie-evaluaties. Uiteindelijk kunnen de dure BBO problemen efficiënt opgelost worden met behulp van de verfijnde optimalisatieconfiguraties.

Om representatieve functies te identificeren die tot dezelfde optimalisatieprobleemklassen behoren, overwegen we om de kenmerken van het optimalisatielandschap van BBO problemen te kwantificeren met behulp van Exploratory Landscape Analysis (ELA). In principe behoren BBO problemen tot dezelfde optimalisatieprobleemklassen als testfuncties met vergelijkbare ELA-kenmerken. Gebaseerd op onze analyse van 20 auto-ongeluk probleeminstanties van verschillende crashscenario's en probleemdimensies, laten we zien dat de auto-ongeluk problemen behoren tot optimalisatie probleemklassen die verschillen van de veelgebruikte Black-Box Optimization Benchmarking (BBOB) functies. Met andere woorden, de BBOB-functies zijn onvoldoende representatief voor echte auto-ongelukken en zijn dus ongeschikt om als representatieve functies te dienen. Aan de andere kant lijken de auto-ongelukken het meest op optimalisatieprobleemklassen van Randomly Generated Function (RGF) gegenereerd met behulp van een boomgebaseerde willekeurige functiegenerator in termen van ELA-kenmerken. In feite stellen we voor om dergelijke RGF's te gebruiken als schaalbare en goedkoop te evalueren representatieve functies voor echte dure BBO-problemen, bijvoorbeeld voor HPO-doeleinden. Verder onderzoek toont aan dat RGF's veelbelovende mogelijkheden hebben in het schatten van de werkelijke prestaties van verschillende optimalisatieconfiguraties op ongeziene BBO problemen. Anders gezegd, goed presterende optimalisatieconfiguraties voor echte dure BBO problemen kunnen inderdaad geïdentificeerd worden door gebruik te maken van RGFs als representatieve functies.

Bij evaluatie op de BBOB-suite kunnen we beter presterende optimalisatieconfiguraties identificeren dan de standaardconfiguratie met behulp van de voorgestelde optimalisatieaanpak, in overeenstemming met onze motivatie. Opmerkelijk is dat de optimale optimalisatieconfiguraties zelfs concurrerend zijn met de Single Best Solver (SBS) op sommige BBOB-functies. Hier worden een selectieproces van geschikte representatieve functies en een opsplitsing van training en testen tijdens HPO geïmplementeerd om de algehele robuustheid bij het afstemmen van optimalisatieconfiguraties te verbeteren. Nog belangrijker is dat de configuraties die met onze aanpak zijn verfijnd, beter presteren dan de standaard BO-configuratie en RSM voor het oplossen van een zijwaarts botsprobleem bij auto's in termen van de best gevonden oplossing en convergentiesnelheid. Vooral voor het oplossen van complexe crashfuncties met een

beperkt evaluatiebudget kunnen aanzienlijk betere oplossingen worden gevonden met onze aanpak, bijvoorbeeld in vergelijking met SRSM.

Concluderend tonen onze resultaten aan dat de voorgestelde geautomatiseerde optimalisatiepijplijn een bemoedigend potentieel heeft voor het efficiënt oplossen van echte dure BBO-problemen, zoals voertuigontwerpproblemen. Aangezien de voorgestelde optimalisatiebenadering relatief goed kan presteren op de BBOB-suite, die een verscheidenheid aan optimalisatieprobleemklassen omvat, zijn we ervan overtuigd dat onze benadering goed kan veralgemenizeren naar andere BBO-domeinen, op voorwaarde dat ze voldoende worden gerepresenteerd door de BBOB-functies. Met verdere aanpassingen denken we dat onze aanpak uitgebreid kan worden naar het efficiënt oplossen van andere dure BBO problemen in de echte wereld, zoals scheepsontwerpen.