



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Evolution strategies for robust optimization

Kruisselbrink, J.W.

### Citation

Kruisselbrink, J. W. (2012, May 10). *Evolution strategies for robust optimization*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/18931>

Version: Corrected 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/1887/18931>

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

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/18931> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Kruisselbrink, Johannes Willem

**Title:** Evolution strategies for robust optimization

**Date:** 2012-05-10

# Samenvatting (Dutch)

Evolutionaire algoritmen zijn door natuurlijke evolutie geïnspireerde algoritmen voor het oplossen van complexe optimalisatieproblemen. Door het simuleren van evolutie worden binnen deze klasse van algoritmen populaties van kandidaatoplossingen gekweekt tot (sub)optimale oplossingen. Hierbij wordt de evolutionaire “fitness” van een kandidaatoplossing bepaald door de kwaliteit ten opzichte van het optimalisatieprobleem.

Praktische optimalisatieproblemen zijn vaak onderhevig aan onzekerheid en ruis. Wanneer hiermee geen rekening wordt gehouden, kan optimalisatie falen of leiden tot oplossingen die onbruikbaar zijn in de praktijk. Robuuste optimalisatie is de praktijk van optimalisatie waarbij actief rekening gehouden wordt met onzekerheid en ruis. Het doel van dit onderzoek is het afbakenen van het begrip robuuste optimalisatie en het bestuderen hoe evolutiestrategieën, een subklasse van evolutionaire algoritmen voor reële parameter optimalisatie, zich gedragen in robuuste optimalisatie scenario's of hoe deze hiervoor moeten worden aangepast.

Robuuste optimalisatie beslaat alle soorten van onzekerheid en ruis die voor kunnen komen binnen het model of systeem dat wordt beschouwd voor optimalisatie. Het behelst echter niet eventuele onzekerheden in de formulering van de doelen en randvoorwaarden. Het doel is tweeledig: het vinden van optimale oplossingen ondanks dat onzekerheden en ruis de optimalisatie bemoeilijken en het vinden van optimale oplossingen die robuust zijn ten opzichte van onzekerheden en ruis. Robuuste optimalisatie vereist de integratie van de notie van robuustheid in de specificatie van de kwaliteit van oplossingen. Dit zijn de zogenaamde effectieve doelfuncties en randvoorwaarden.

De verschillende soorten van onzekerheid en ruis die kunnen bestaan binnen een optimalisatieprobleem zorgen voor een combinatorische explosie van verschillende scenario's voor robuuste optimalisatie. Echter, sommige scenario's komen vaker voor dan andere. In dit proefschrift zijn twee scenario's eruit gelicht: optimalisatie van systemen met ruis en het vinden van robuuste optima.

Optimalisatie van systemen met ruis vereist een kwaliteitsmaat die de notie van robuustheid ten opzichte van de ruis omvat: een effectieve doelfunctie. Uitgaande van de verwachtingswaarde van de kwaliteit (de verwachte doelfunctie) van kandidaatoplossingen zijn evolutiestrategieën robuust wanneer de ruis relatief klein is. Wanneer er echter een hoge convergentieprecisie vereist is, zijn extra aanpassingen nodig.

Impliciet en expliciet middelen zijn simpele technieken om de convergentieprecisie van evolutiestrategieën te vergroten. Impliciet middelen is de praktijk van het vergroten van de populatiegrootte en expliciet middelen betreft het evalueren van de kwaliteit van kandidaatoplossingen door het middelen over meerdere evaluaties. Het nadeel van deze twee technieken is dat ze een a priori specificatie van een populatiegrootte of het aantal evaluaties voor middeling vereisen en dat de convergentieprecisie nog steeds beperkt is. Adaptieve middelingstechnieken zijn uitbreidingen die de evaluatie-intensiteit automatisch proberen aan te passen (dus, te vergroten) gedurende de optimalisatie.

In dit proefschrift beschouwen we adaptieve middelingstechnieken die zijn gebaseerd op expliciet middelen. Hiervoor is voor een simpel testprobleem aangetoond dat een exponentieel groeiend aantal evaluaties per kandidaatoplossing nodig is om lineaire convergentie ten opzichte van het aantal generaties te bereiken. Een empirische studie laat zien dat een onzekerheidsmaat gebaseerd op rangverschillen de meestbelovende methode is voor het kwantificeren van onzekerheid. Daarnaast is aangetoond dat adaptieve middelingstechnieken vergelijkbare resultaten kunnen opleveren als optimaal ingestelde statische ruisbehandelingsmethoden. Voor één scenario geldt dit echter niet; een optimaal ingestelde impliciete middelingmethode in de CMA-ES werkt beter dan alle andere geteste evaluatietechnieken voor doelfuncties met ruis. Omdat ze minder gevoelig zijn voor parameterinstellingen zijn adaptieve middelingstechnieken een goed alternatief voor impliciete en expliciete middeling.

Het vinden van robuuste optima is van belang wanneer kandidaatoplossingen niet exact gerealiseerd kunnen worden, maar afwijken of fluctueren. Van de verschillende effectieve doelfuncties die voor optimalisatie mogelijk zijn is de verwachte kwaliteit een veelgebruikte maat. De moeilijkheid van zulke scenario's is dat exacte evaluatie van de effectieve doelfunctie vaak onmogelijk is en er daarom benaderingsmethoden nodig zijn voor de bepaling van de robuuste kwaliteit van kandidaatoplossingen. Diverse methoden voor het vinden van robuuste optima kunnen worden onderscheiden.

De simpelste methode voor het vinden van robuuste optima is om niets te doen en erop te vertrouwen dat evolutiestrategieën vanuit zichzelf al convergeren naar de robuuste pieken in het functielandschap. Deze myopische methode wordt gesteund door de observatie dat evolutionaire algoritmen een inherente neiging hebben om naar de robuustere pieken te convergeren, maar faalt wanneer er sprake is van een verschoven robuust optimum.

Monte-Carlo integratietechnieken kunnen worden gebruikt om de robuustheid van kandidaatoplossingen te benaderen. Dit verschuift het probleem in de richting van het optimaliseren van doelfuncties met ruis. Hoewel deze technieken de effectieve doelfunctie benaderen zijn ze beperkt in precisie en daarmee beperken ze de convergentieprecisie van evolutiestrategieën. Net als bij doelfuncties met ruis kan ook voor het vinden van robuuste optima gebruik gemaakt worden van adaptieve middelingstechnieken. Dit heeft als voordeel dat het de convergentieprecisie niet beperkt, noch een a priori instelling van het aantal evaluaties voor Monte-Carlo

benadering vereist.

Een andere klasse van methoden wordt gevormd door archief- en metamodelingmethoden. Deze slaan eerder geëvalueerde kandidaatoplossingen op om ze te gebruiken voor het benaderen van de kwaliteit van nieuwe kandidaatoplossingen. Doordat ze efficiënt omgaan met functie-evaluaties zijn deze methoden in het bijzonder bruikbaar wanneer functie-evaluaties (computationeel) duur zijn. Een methode voor het bijhouden van een archief van kandidaatoplossingen is hiervoor vereist om ervoor te zorgen dat het archief bruikbaar is voor het verkrijgen van betrouwbare benaderingen voor nieuwe kandidaatoplossingen. Het gebruiken van metamodeling technieken, zoals Kriging, op basis van dit archief is een uitbreiding hierop.

Het idee om gebruik te maken van niching technieken voor het vinden van robuuste optima heeft het veronderstelde voordeel dat de optimalisatie zich richt op verschillende gebieden van de zoekruimte. Hoewel dit idee theoretisch zinnig is introduceert een directe integratie van een standaard niching strategie meer problemen dan het oplost. De resultaten gepresenteerd in dit proefschrift laten zien dat voor deze doeleinden een niching strategie vereist is die om kan gaan met doelfuncties met ruis.

Een laatste techniek die gebruikt kan worden om de evaluatieprecisie voor het vinden van robuuste optima te vergroten is het uitbuiten van de overlap van de onzekerheidsgebieden bij het vergelijken van paren van kandidaatoplossingen. In plaats van te proberen om zo precies mogelijke benaderingen te krijgen van de robuuste kwaliteit van kandidaatoplossingen wordt er in deze techniek gekeken naar hoe paren van oplossingen zich tot elkaar verhouden. De overlap van de gebieden van onzekerheid kan hierbij vaak worden uitgesloten van evaluatie.

Een empirisch vergelijkende studie laat zien dat voor evolutiestrategieën een adaptieve middellingsstrategie de meestbelovende strategie is voor het vinden van robuuste oplossingen. Hierbij moet voor evaluatie gebruik gemaakt worden van Latin Hypercube sampling en moet voor iedere generatie dezelfde set van perturbaties gebruikt worden voor alle individuen in de populatie. In vergelijking met statische evaluatiemethoden leidt dit tot betere robuuste oplossingen over het hele spectrum van benchmarkproblemen. De archief-gebaseerde methode en de metamodeling methode leiden vooral op bepaalde testproblemen tot goede oplossingen.

De bijdrage van dit onderzoek bestaat uit een aantal onderdelen. Allereerst is er een algemene definitie gegeven voor de term “robuuste optimalisatie” waarmee wordt afgebakend wat er wel en niet onder deze noemer valt. Daarnaast wordt er een algemene wijze van aanpak voor robuuste optimalisatieproblemen gegeven aan de hand van twee representatieve scenario's: het optimaliseren van systemen met ruis en het vinden van robuuste optima. Voor deze twee scenario's wordt in detail onderzocht hoe evolutiestrategieën zich gedragen en hoe deze aangepast moeten worden voor het vinden van robuuste optima. Hierbij worden zowel technieken uit de literatuur beschouwd als nieuwe methoden voorgesteld. Als laatste worden er in dit proefschrift op basis van conceptuele overwegingen en empirische vergelijkingen aanbevelingen gegeven voor het toepassen van evolutiestrategieën voor robuuste optimalisatie.

