Evolutionäre Algorithmen

Funktion, Struktur, Verfahren

Hartmut Pohlheim

Daimler Benz AG
Forschung Systemtechnik
Intelligente Systeme

Überblick

Themen

- Definition und Prinzipien
- Geschichte und Entwicklung
- Struktur
- Verfahren
- Parallele Implementierung
- Genetic Algorithm Toolbox
- Demonstrationen
- Ausblick

Definition und Prinzipien

Evolutionäre Algorithmen

stochastische Suchverfahren, die mit Prinzipien der natürlichen Evolution arbeiten

- Populationen
- Selektion
- Rekombination
- Mutation
- Migration

Geschichte und Entwicklung

Erste Arbeiten

- Simulation genetischer Systeme / der biologischen Evolution (FRASER 1957, BREMERMANN 1962, REED 1967)
- Optimierung von Spielstrategien, erstmals GA (BAGLEY 1967)
- Entwicklung von Zellen und Zellverbänden (WEINBERG 1970)

Genetische Algorithmen

- Frage nach Evolutionsmechanismen, Klassifikationssysteme (HOLLAND 1975)
- Optimierung von Gasleitungen (GOLDBERG 1983)

Evolutionsstrategien

- Anzahl früher und erfolgreicher Anwendungen - Düse, Tragwerk, Krümmung (RECHENBERG 1973, SCHWEFEL 1965/1975)

Evolutionary Programming (FOGEL 1964)

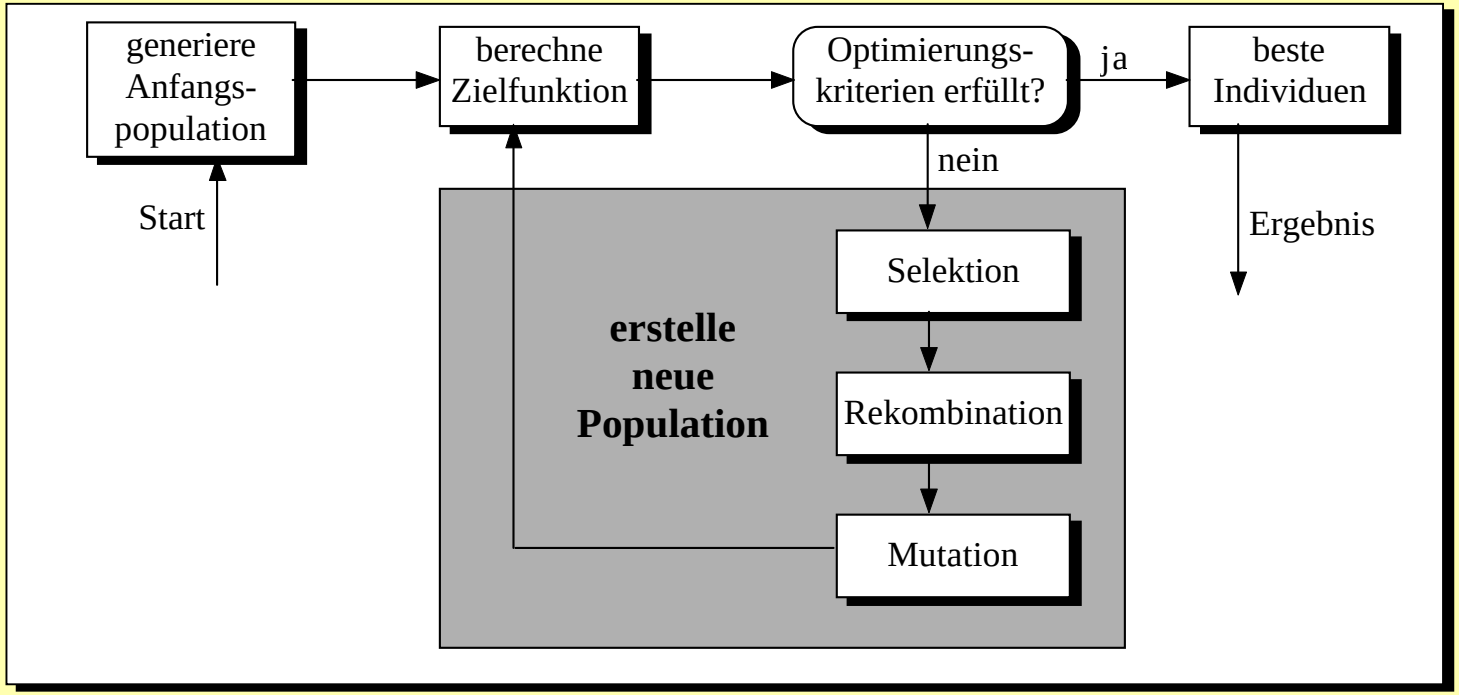
Genetic Programming (KOZA 1992)

Merkmale Genetischer Algorithmen

Merkmale und Eigenschaften

- parallele Suche in einer Population von Punkten
- keine Gradienteninformationen nötig
- verwendet Wahrscheinlichkeitsregeln
- erlaubt kontinuierliche und diskrete Variablen
- arbeitet im diskontinuierlichen und multimodalen Funktionsraum
- kann mehrere potentielle Lösungen anbieten
- anwendbar auf große Klassen von Problemen

Struktur eines genetischen Algorithmus



Selektion

Definition und Verfahren

Selektion

2 Schritte

1. Fitneßzuweisung
2. Auswahl der Individuen / Festlegen der Nachkommenzahl

Fitneß

Fortpflanzungswahrscheinlichkeit eines Individuums

Selektion (sampling)

Auswahl der Eltern und Festlegen der Nachkommenzahl

Verfahren Fitneßzuweisung

- proportional fitness assignment
- lineares Ranking
- nichtlineares Ranking

Verfahren Selektion

- fitness proportional selection
- truncation selection
- lokale Selektion

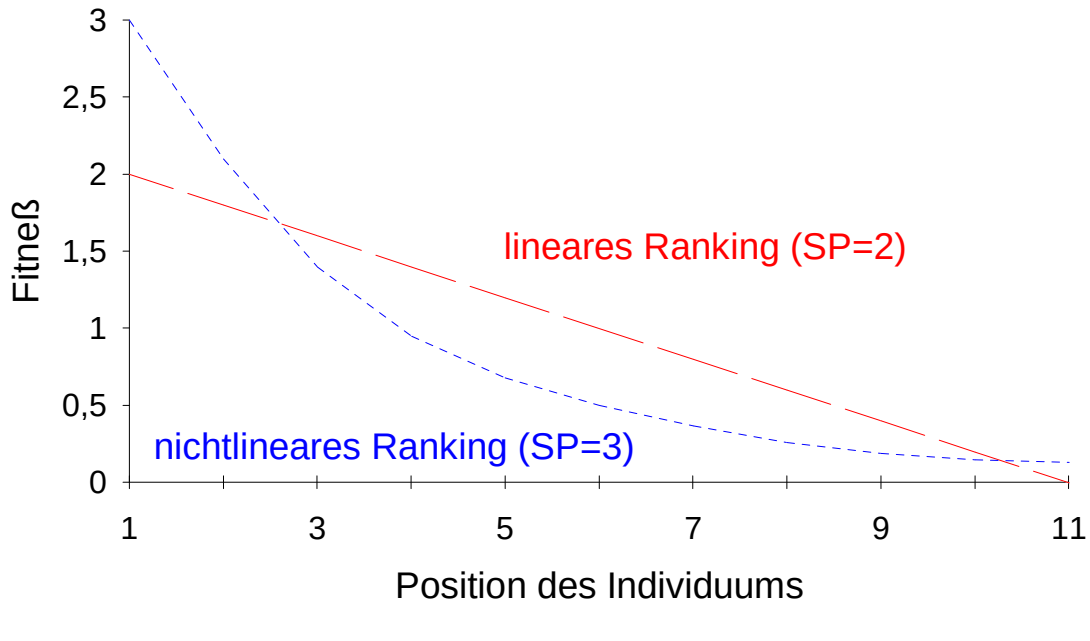
Selektion

Ranking

Selektionsdruck (SP)

Wahrscheinlichkeit der Auswahl des besten Individuums gegenüber der durchschnittlichen Wahrscheinlichkeit aller Individuen

Lineares Ranking	Nichtlineares Ranking
SP in [1, 2]	SP in [1, n-2]

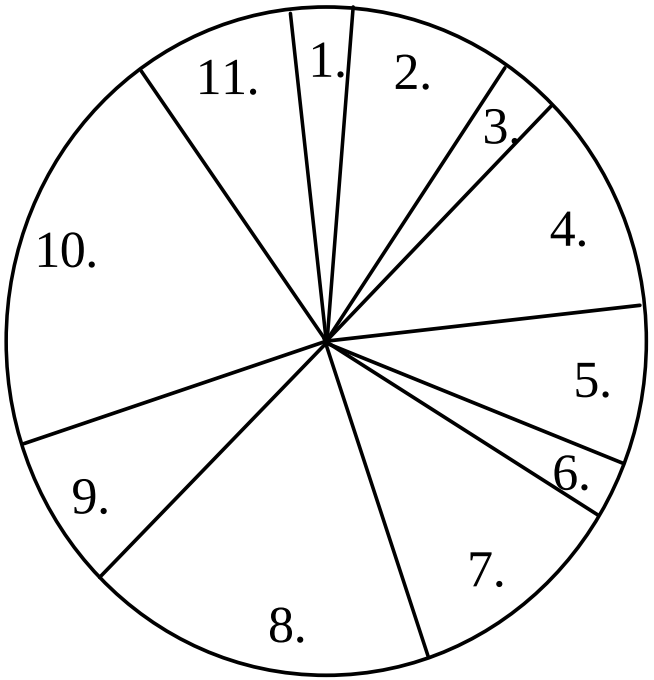


Selektion

Fitneß proportional selection

Roulette wheel selection (stochastic universal sampling)

- Selektion in Population
- Auswahl entsprechend Fitneßwert
- Nachkommenzahl proportional Fitneßwert
- modelliert natürliche Selektion



1. je Individuum 1 Slot
2. Slotgröße proportional Fitneß
3. soviele Auswahlrunden wie Nachkommen

Systemtechnik

DAIMLER BENZ

FORSCHUNG UND TECHNIK

Selektion

Truncation selection

Truncation selection

- Selektion in Population
- nur die besten Individuen als Eltern
- Truncation-Schwelle: Anteil der auszuwählenden Eltern
- Nachkommenzahl identisch für alle Eltern
- künstliches Selektionsverfahren

Selektion

Lokale Selektion

Systemtechnik

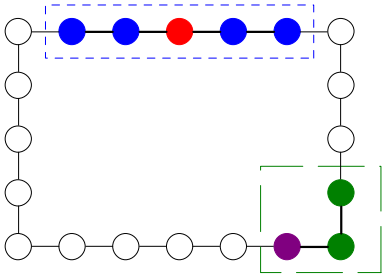
DAIMLER BENZ

FORSCHUNG UND TECHNIK

Lokale Selektion

- Selektion in Nachbarschaft (nicht in Population)
- zwischen Individuen ‘Isolation durch Distanz’
- modelliert natürliche Selektion

lineare Nachbarschaft

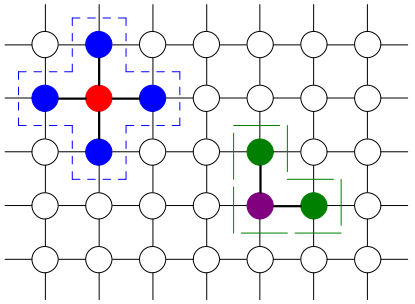


ganzer Ring

halber Ring

(Distanz =2)

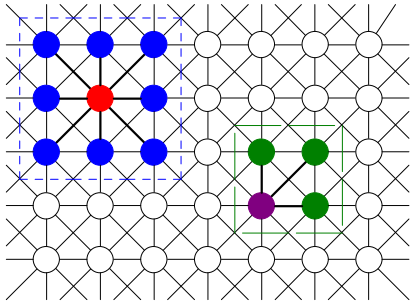
zweidimensionale Nachbarschaft



ganzes Kreuz

halbes Kreuz

(Distanz =1)



ganzer Stern

halber Stern

(Distanz =1)

Rekombination

Produktion neuer Individuen durch Kombination von Informationen der Eltern

reelle Variablen

- discrete recombination
- intermediate recombination
- line recombination
- extended line recombination

binäre Variablen

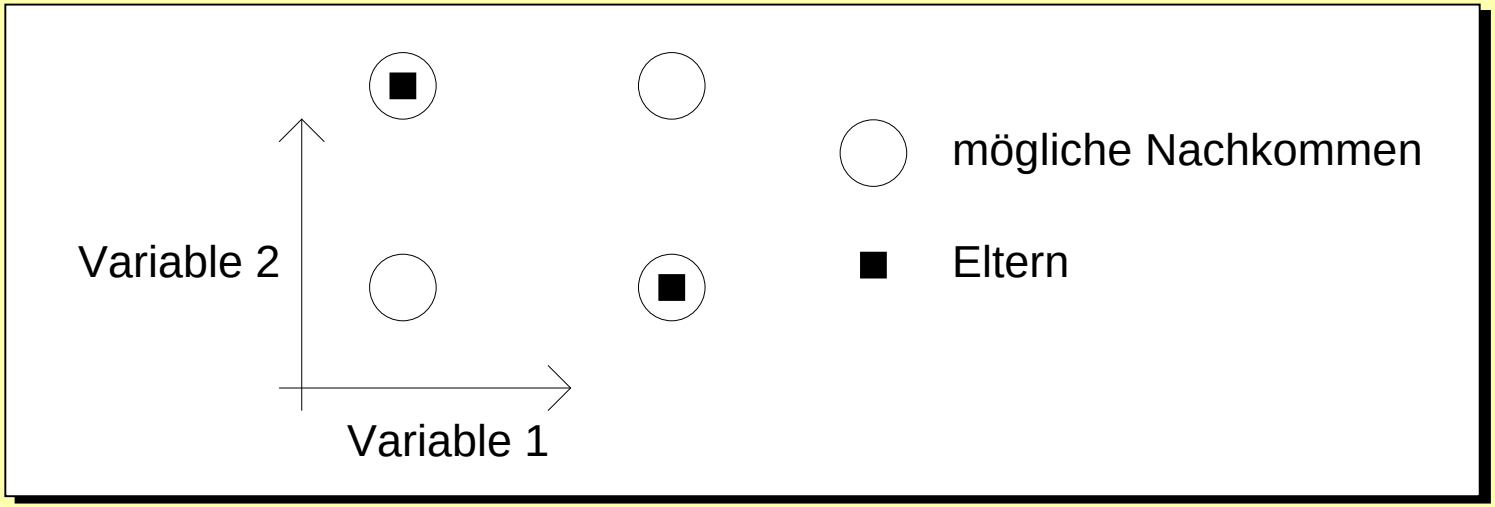
- multi point crossover
- shuffle crossover
- uniform crossover
- reduced surrogate

Rekombination

Diskrete Rekombination

Diskrete Rekombination

- Austausch der Variablenwerte
- kann Ecken eines Hyperwürfels generieren

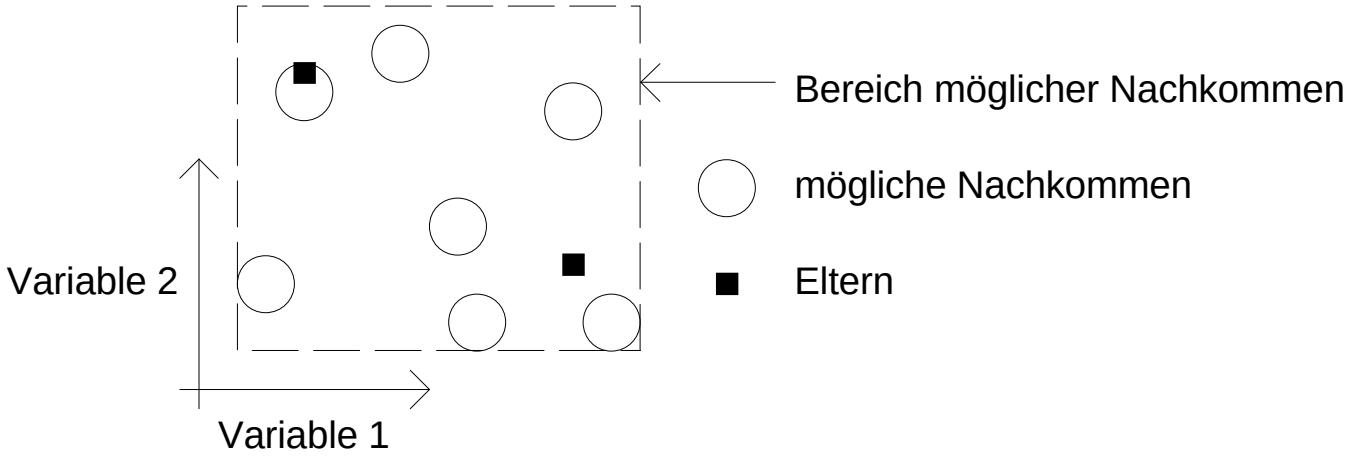


Rekombination

Intermediate Rekombination

Intermediate Rekombination

- Nachkomme = Elter 1 + Alpha·(Elter 2 - Elter 1)
- Alpha zufällig aus [-0,25 1,25] für jede Variable
- jeder Punkt innerhalb eines Hyperwürfels

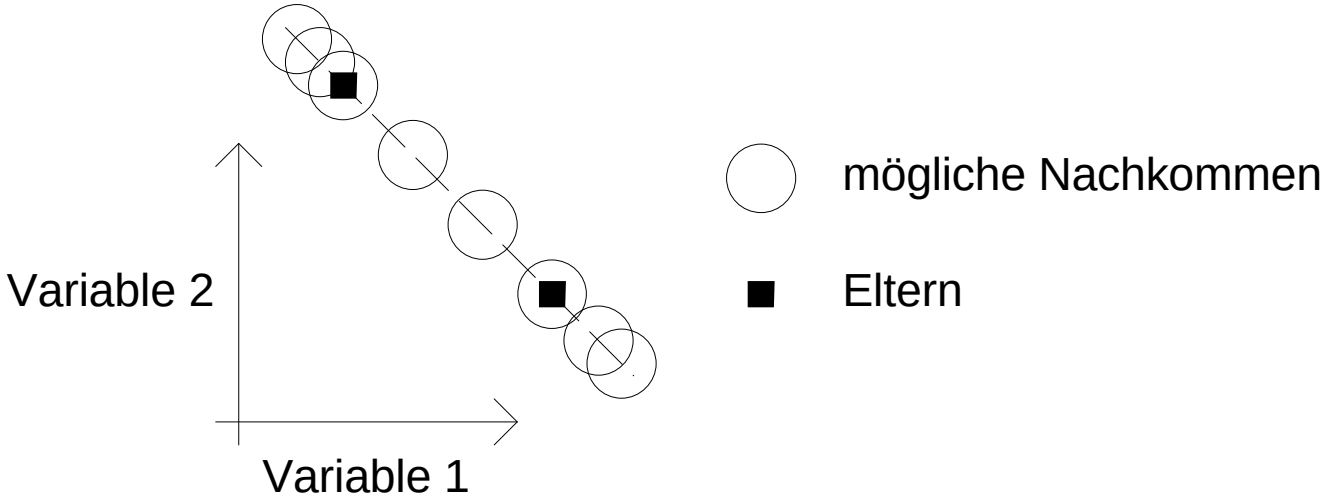


Rekombination

Line Rekombination

Line Rekombination

- Nachkomme = Elter 1 + Alpha·(Elter 2 - Elter 1)
- Alpha zufällig aus [-0,25 1,25] für alle Variablen
- jeder Punkt auf einer Linie



Mutation

Definition und Parameter

Binäre Mutation

Systemtechnik

DAIMLER BENZ

FORSCHUNG UND TECHNIK

Mutation

zufällige Veränderung der Variablenwerte

- Mutationswahrscheinlichkeit: 1/n (n: Zahl der Variablen)
- Mutationsschrittweite

Binäre Mutation

Wechsel des Variablenwertes

vor Mutation	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
				⇓						
nach Mutation	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0

Mutation

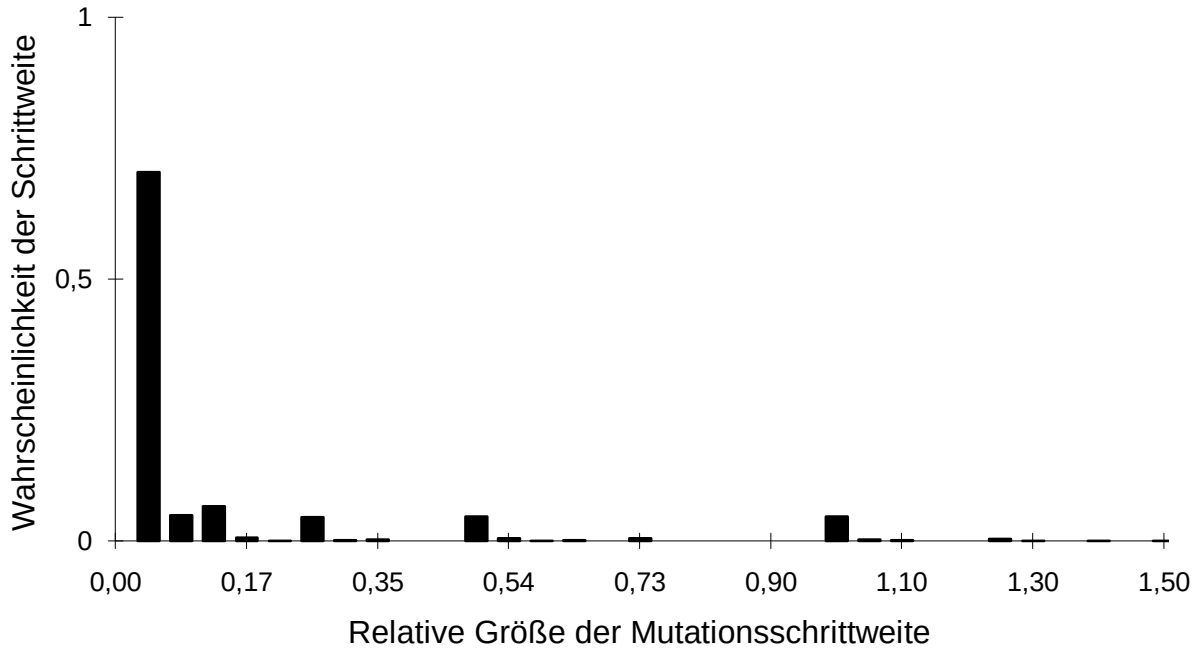
Reelle Mutation

BGA-Mutation

Mutationsoperator des Breeder Genetic Algorithm

Mutationsschrittweite

- meist kleine Schritte
- ab und zu große Schritte



Reinsertion

Definition und Verfahren

Systemtechnik

DAIMLER BENZ

FORSCHUNG UND TECHNIK

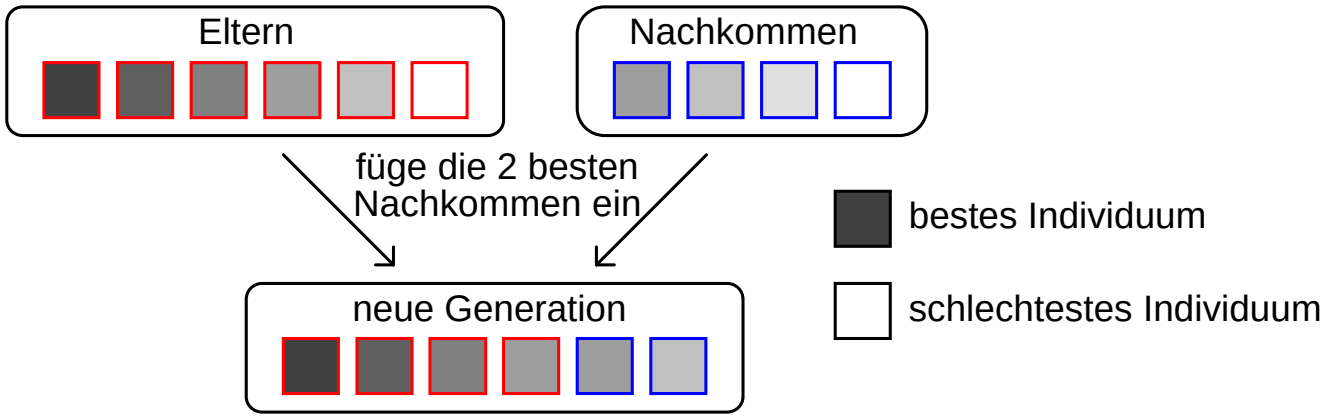
Reinsertion

bilden der neuen Generation durch

- Einfügen der Nachkommen in die Population
- Ersetzen der Eltern

Verfahren

- pure oder elitest reinsertion (Lebensdauer der Eltern)
- uniform reinsertion (ersetzen der Eltern)
- fitness-based reinsertion (Auswahl der Nachkommen)



Parallele Genetische Algorithmen

Modelle

Worker/Farmer Genetic Algorithm

Systemtechnik

DAIMLER BENZ

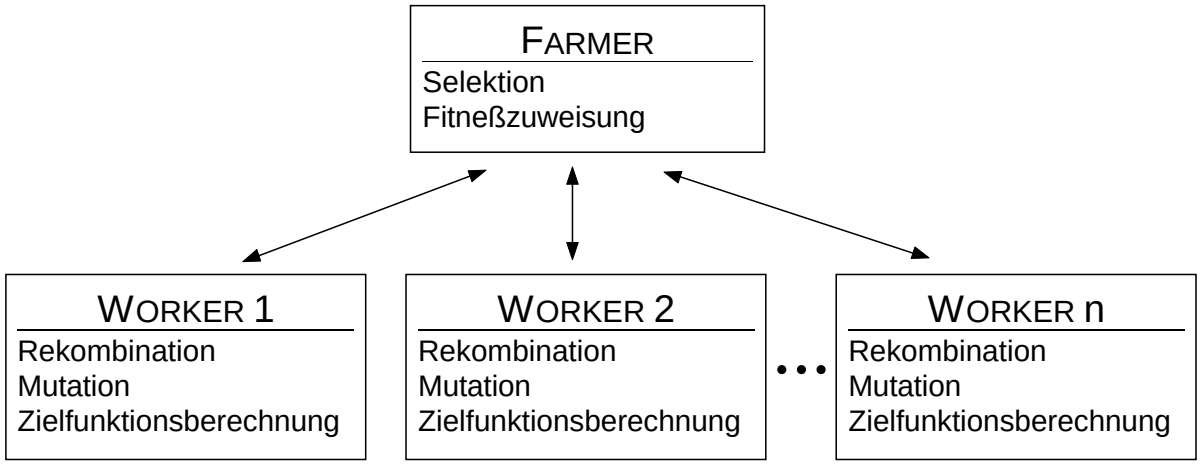
FORSCHUNG UND TECHNIK

Parallele Implementierung genetischer Algorithmen

3 Modelle

- globale Modell (worker/farmer genetic algorithm)
- Insel-Modell (migration genetic algorithm)
- Diffusions-Modell (neighbourhood genetic algorithm)

Worker/Farmer Genetic Algorithm



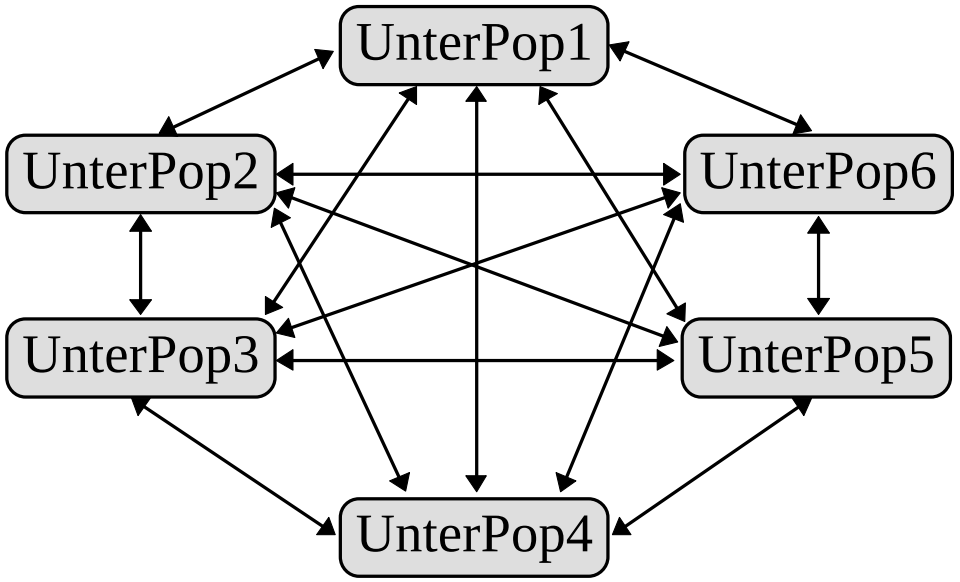
Parallele Genetische Algorithmen

Migration Strukturen

Migration

- Unterteilung der Population in mehrere Unterpopulationen
- nach Isolationszeit Austausch von Individuen zwischen den Unterpopulationen
- verschiedene Strukturen für Austausch der Individuen
  - komplette Netzstruktur
  - Nachbarschaftsstruktur
  - Ringstruktur

komplette Netzstruktur



Parallele Genetische Algorithmen

Migration und Konvergenz

Systemtechnik

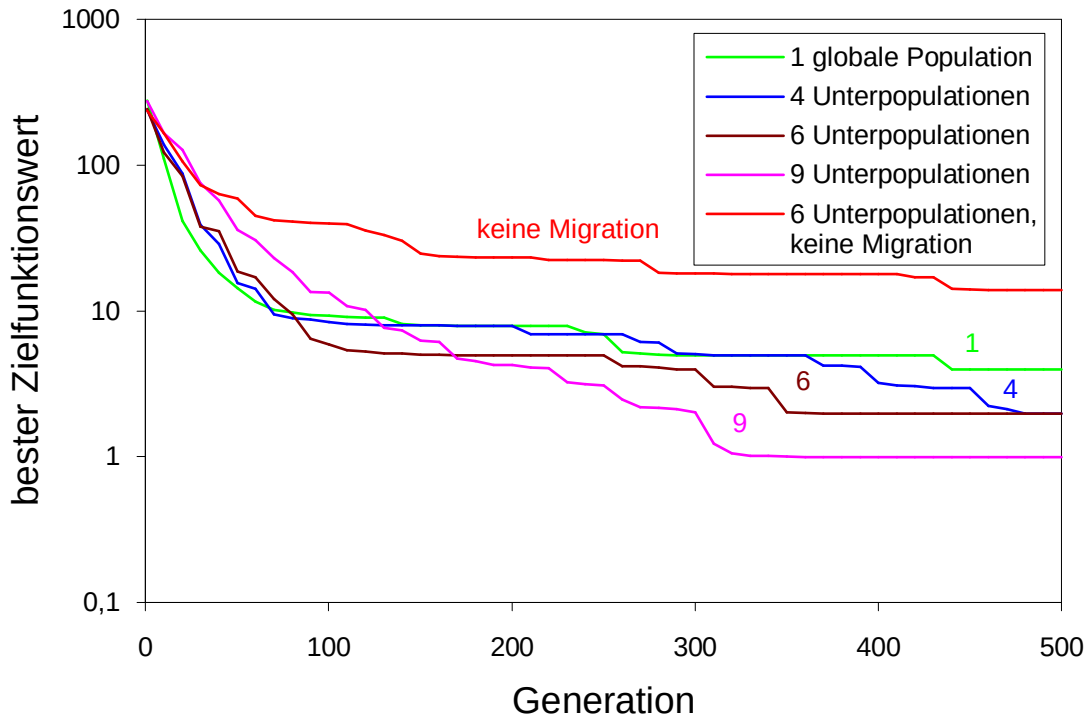
DAIMLER BENZ

FORSCHUNG UND TECHNIK

Konvergenzcharakteristik eines Migration GA

Rastrigin's Funktion 6

$$f_6(x) = 10 \cdot n + \sum_{i=1}^{n} \left(x_i^2 - 10 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot x_i) \right) \qquad -5{,}12 \le x_i \le 5{,}12$$



Parallele Genetische Algorithmen

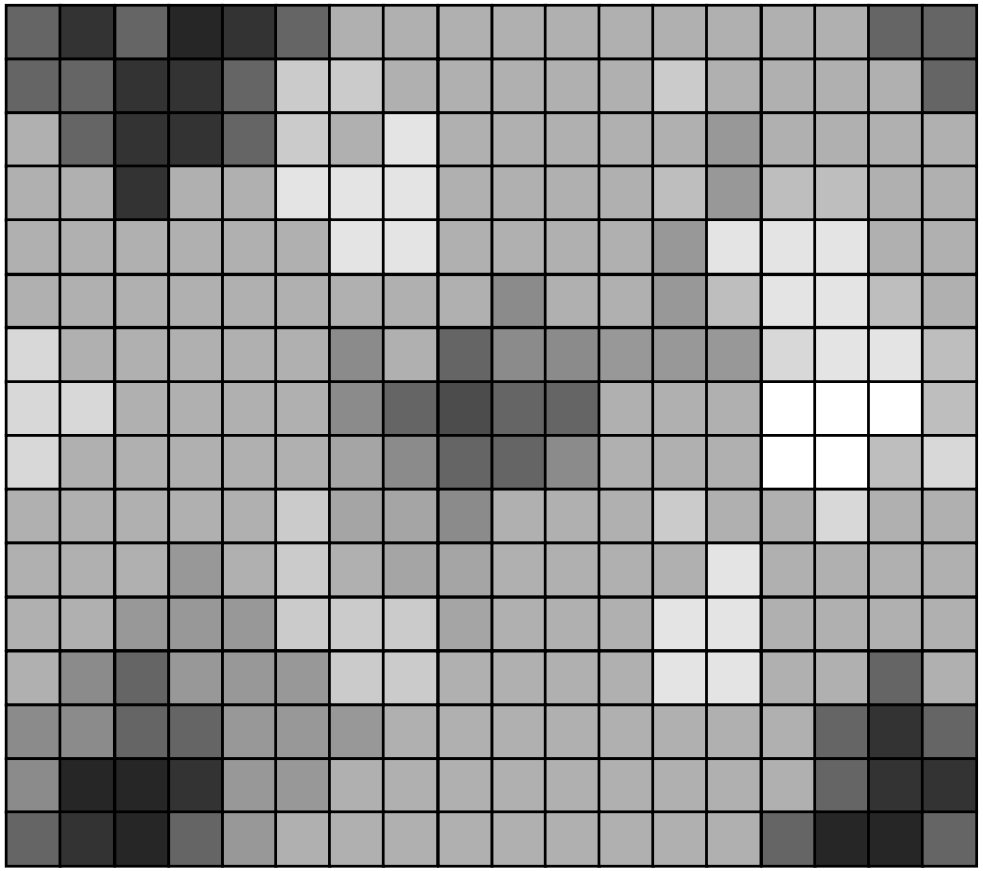
Diffusion Neighbourhood

Systemtechnik

DAIMLER BENZ

FORSCHUNG UND TECHNIK

Diffusion Genetic Algorithm



Bildung virtueller Inseln

Vorteile Paralleler Genetischer Algorithmen

- benötigen weniger Zielfunktionsberechnungen
- können mehrere Lösungen gleichzeitig finden
- robuster als globale genetische Algorithmen
- arbeiten synchron oder asynchron
- Implementierung an Zielarchitektur anpaßbar
- kommen der biologischen Evolution näher

Genetic Algorithm Toolbox

Motivation für Toolbox

Systemtechnik

DAIMLER BENZ

FORSCHUNG UND TECHNIK

Motivation

- einheitliche Umgebung für Genetische Algorithmen und aufgabenspezifische Probleme
- ermöglicht einfache Verwendung von Genetischen Algorithmen
- ergänzt und unterstützt vorhandene Werkzeuge
- unmittelbare Anwendung von Genetischen Algorithmen auf existierende Probleme
- einfache Einführung neuer Funktionalität
- bekannte Datenanalyse und Benutzeroberfläche
- viele aufgabenspezifische Toolboxen verfügbar

Genetic Algorithm Toolbox

Merkmale

Systemtechnik

DAIMLER BENZ

FORSCHUNG UND TECHNIK

Merkmale

- Matlab m-file Implementierung
- modularer Aufbau
- binäre und reelle Variablenrepräsentation
- große Klasse von Operatoren
- high-level Routinen zu vielen Operatoren
- unterstützt mehrere Unterpopulationen
- kompatibel mit Optimization Toolbox
- interaktiver und selbständiger Ablauf möglich
- übersichtliche online und offline Protokollierung

Genetic Algorithm Toolbox

Operatoren

Selektion

- linear / nichtlinear ranking
- roulette wheel selection
- stochastic universal sampl.
- truncation selection
- local selection
  - full / half line
  - full / half star
  - full / half cross
- (local) reinsertion

Rekombination

reell

- diskrete
- intermediate
- line
- extended line

binär

- single, double and multi point crossover
- shuffle crossover
- reduced surrogate

Mutation

- reell (Breeder GA)
- binär

Migration

- komplettes Netz
- Nachbarschaft / Ring

Ausblick

- vielseitige, robuste und leistungsfähige Such- und Optimierungsverfahren
- können im multimodalen und diskontinuierlichen Funktionsraum arbeiten
- einfache Umsetzung auf parallele Plattformen
- auf große Klasse von Problemen anwendbar

- Genetic Algorithm Toolbox macht GA leicht zugänglich
- direkte Anwendung auf Probleme in vertrauter Umgebung
- demnächst auch mehrkriterielle Optimierung

- aber: kein Ersatz für klassische Methoden