

Optimierung mit Evolutionären Algorithmen

Dr. Ralf Schlatterbeck
Open Source Consulting

Email: office@runtux.com
Web: <http://www.runtux.com>
Tel. +43/650/621 40 17



Genetische Algorithmen

- Suche einer optimalen Lösung für ein Problem
- Inspiriert von der Natur
- Gene sind Sequenzen von Zahlen oder Symbolen (binär, Integer, Floating-Point)
- Aus einem Gen wird eine potentielle Lösung für das Problem aufgebaut: Phänotyp
- Algorithmus arbeitet mit Population einer bestimmten Größe
- Fitness: Bewertungsfunktion wird optimiert
- Maximierung oder Minimierung möglich
- *Individuum*: Genotyp + Phänotyp



Skizze Algorithmus

1. Zufällige Initialisierung der Individuen
2. Bewertung der Individuen
3. Loop: Erzeugen neue Generation:
 - (a) Selektion: Auswahl für nächsten Schritt
 - (b) Anwendung genetische Operatoren auf selektierte Individuen („Mixing“)
 - (c) Bewertung der neuen Individuen
 - (d) Erzeugen nächste Generation aus neuen und alten Individuen („Replacement“)



Selektionsdruck

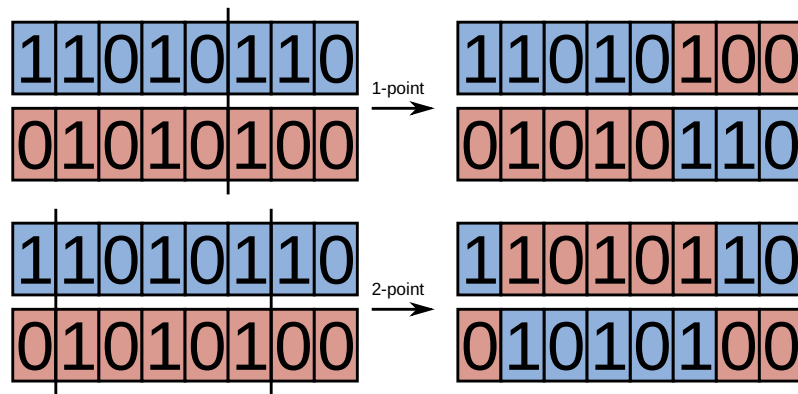
Ohne Selektionsdruck haben wir keine Suche sondern eine zufällige Bewegung (random Walk) im Lösungsraum – Varianten:

- Selektion im ersten Schritt der Loop *Selektion*
- Selektion im letzten Schritt der Loop *nächste Generation*

Verschiedene Varianten von genetischen Algorithmen mit unterschiedlichen Strategien



Crossover



Fließkomma vs. Klassisch

- Zu wenig „Mixing“ mit klassischem Ansatz
 - Crossover soll Eigenschaften beider Vorgänger verwenden
 - ... ohne diese einfach zu kopieren
 - funktioniert mit Fließkomma nur ungenügend
- Anderer Ansatz nötig
- Differential Evolution

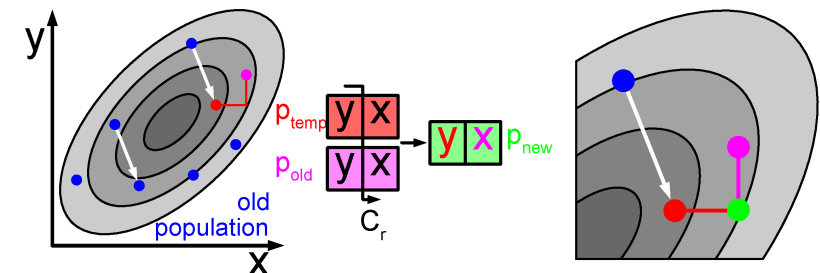


Differential Evolution

- Gen ist ein Vektor von Fließkommazahlen
- Für alle Gene:
- Addiere gewichtete *Differenz* von zwei Genen zu drittem Gen
- Crossover mit aktuellem Gen
- Crossover verwendet mindestens eine „Allele“ des neuen Gens
- Crossover-Wahrscheinlichkeit je nach Problem klein (0.2) oder groß (0.9 – 1.0)
- Beispiel 2-Dimensionaler Fall: (x, y)



Differential Evolution



Differential Evolution Crossover [Sch23]



Variante Differential Evolution

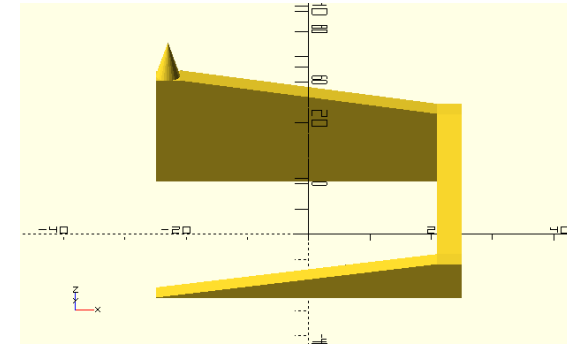
Nur für Floating-Point Gene! [SP97, PSL05]

- Selektion: Nimm der Reihe nach jedes Individuum k
- Wähle zufällig drei Individuen, alle verschieden und verschieden von k
- Bilde gewichtete Vektor-Differenz aus zwei dieser Individuen und addiere zum dritten
- Optional: Crossover des Resultats mit k
- nächste Generation: Das neue Individuum ersetzt das alte wenn es besser ist

Numerische Optimierung!



Differential Evolution Visualization



Parcours for Differential Evolution (OpenSCAD)



Implementation in PGPack

- PGPack: Parallel Genetic Algorithm Package
- Open Source genetic algorithm implementation
- Originally from David Levine, Argonne National Laboratory
- Parallel execution via MPI (Message Passing Interface)
- Construction kit for your experiments
- I'm maintaining a fork since 2017
- Current version implements differential evolution and other variants
- PGAPy is a python-wrapper (since 2005)



Randbedingungen

- Einfache „Box Constraints“
- Minimum und Maximum von jedem Parameter (=Gen)
- z.B. bei Längen: Sind nicht negativ
- ... und meist ist Größenordnung bekannt (mm, m, oder km)
- Von praktisch allen genetischen Algorithmen unterstützt
- Komplizierte Bedingungen: mehrere Zielfunktionen
- Eval-Funktion hat mehrere Rückgabewerte



Mehrere Zielfunktionen

- Traditionell: Nur eine Zielfunktion (objective function)
 - Wird maximiert oder minimiert
 - Mehrere Zielfunktion:
 - für Randbedingungen (Constraints)
 - mehrere gleichzeitige Ziele
- Randbedingungen erschweren das Optimierungsproblem
- Ziele können sich widersprechen!
- Pareto-Optimierung

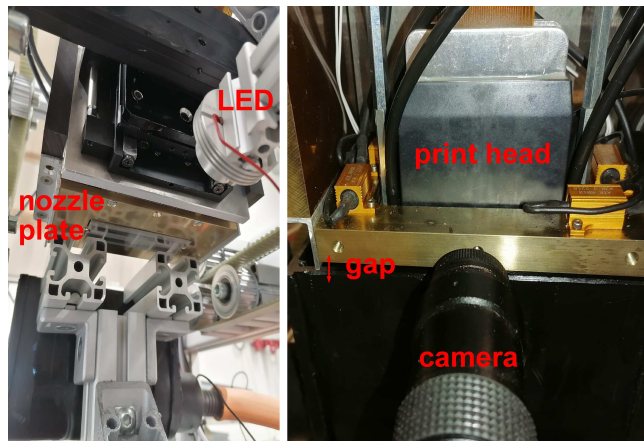


Waveform Design for Inkjet

- Piezo-Electric Inkjet
- Nozzle width 23µm
- Droplet size around 6pL (picoliter)
- Waveform determines droplet quality
- Print quality: Speed, satellites (small drops after main drop), droplet size, stable at high jet-rate, . . .
- Analytic physical/mathematical solution is complex with many simplifications (to be able to compute it at all)
- Printhead dimensions are not given by manufacturer



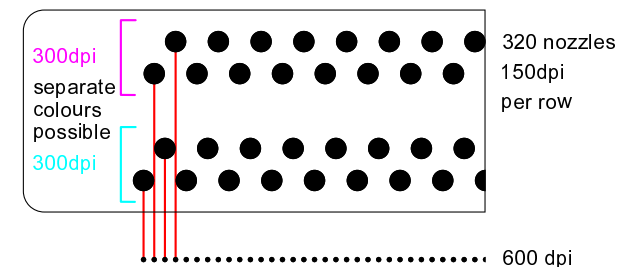
Dropwatcher



Dropwatcher Hardware [Sch23]



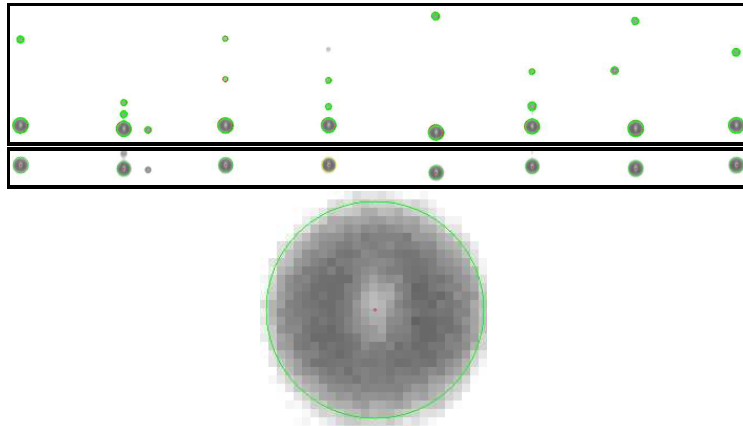
Print Head



Print Head [Sch23]



Image Recognition

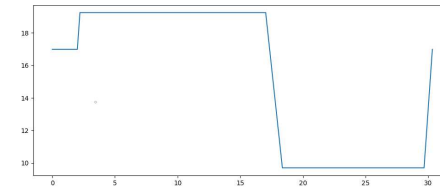


Blob- and Circle Detection [Sch23]



Optimization with Differential Evolution

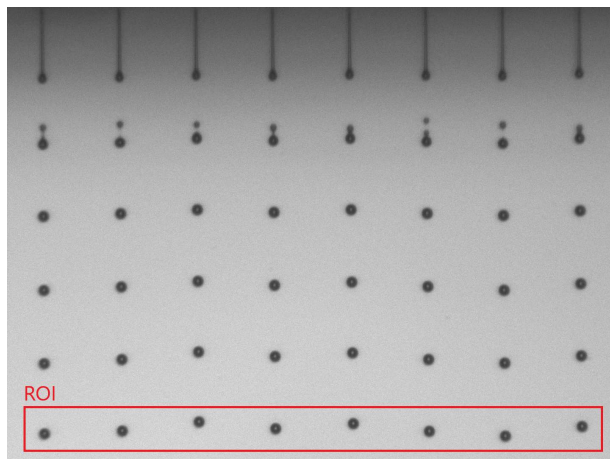
- Waveform parameters set by genetic algorithm
- Fitness determined from image recognition
- e.g. minimum speed, size of drop, number of satellites ...



Typical waveform [Sch23]



Drop Fronts



Drop Fronts Jetting at 32kHz [Sch23]



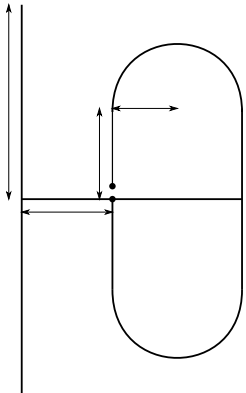
Beispiel: Antennen

- Simulation mit NEC (numerical electromagnetics code)
- Stammt aus den 80ern mit Lochkarten
- Rewrite in C/C++ „nec2c“ Open Source
- nec2c: Übersetzt ein NEC file in Tabellen-Ausgabe
- xnec2: Nimmt ein NEC-File und zeigt Grafik
- xnecview nimmt nec2c Ausgabe und zeigt Grafik
- ... alle in Debian gepackaged

Antennen-Optimierung mit genetischen Algorithmen ist schon in den 90er Jahren publiziert [Lin97] aber vielleicht nicht genutzt weil bis 2015 patentiert? [AL95]



2-Elemente mit Faltdipol



- 4 Parameter
 - Coding als Floating-Point
- Differential Evolution

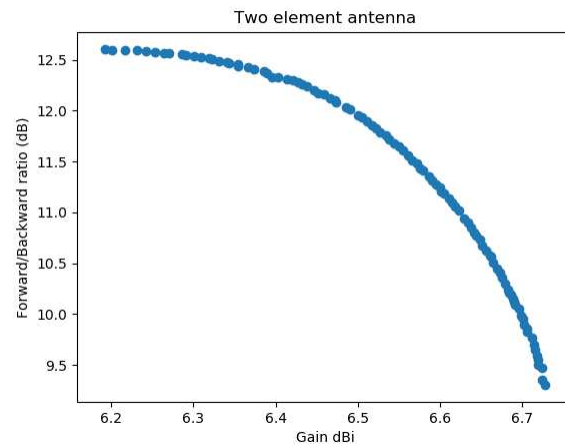


Antennen-Optimierung mit NSGA-II

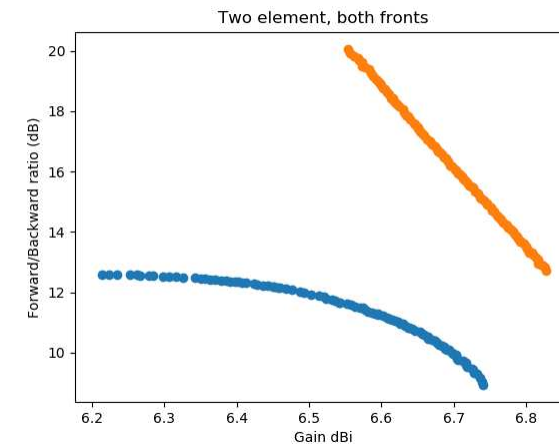
- Eine Randbedingung: $VSWR < 1.8$
- Zwei Zielfunktionen: Gewinn und Vorwärts/Rückwärts
- Gen der Länge 4:
 - Länge des Falt-Dipols
 - Breite des Falt-Dipols
 - Länge des zweiten Elements
 - Abstand der Elemente
- Box-Constraints für alle Parameter



Pareto Front optimierte Antenne

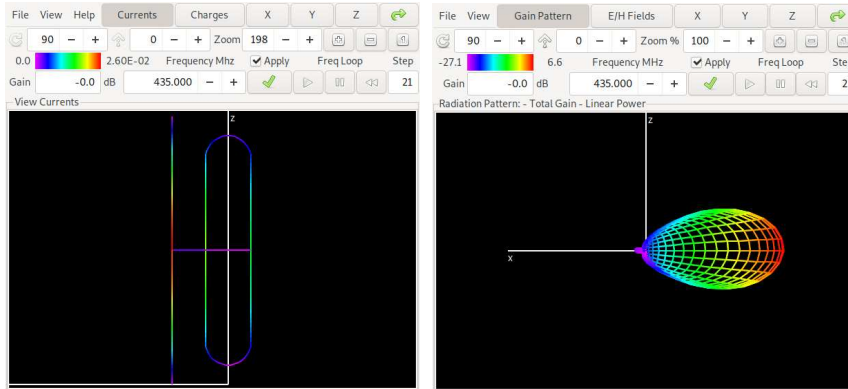


➤ Pareto Front anderer Optimierungslauf

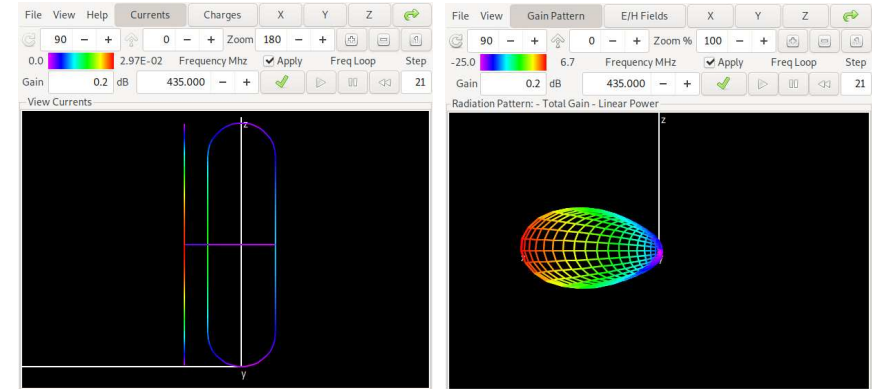




Antenne Untere Front



Antenne Obere Front



Software

- PGApack:
github.com/schlatterbeck/pgapack
- PGApY:
github.com/schlatterbeck/pgapy
- PyNEC:
pypi.org/project/PyNEC/
- Antenna-Optimizer:
github.com/schlatterbeck/antenna-optimizer
- Gearbox:
github.com/schlatterbeck/gearbox



Bibliography

- [AL95] Edward E. Altshuler and Derek S. Linden. Process for the design of antennas using genetic algorithms. US Patent US5719794A, July 1995.
- [Lin97] Derek S. Linden. *Automated Design and Optimization of Wire Antennas Using Genetic Algorithms*. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, September 1997.



- [PSL05] Kenneth V. Price, Rainer M. Storn, and Joni A. Lampinen. *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [Sch23] Maximilian Schlatterbeck. Actuation waveform design for piezo electric inkjet applications using an evolutionary algorithm. Bachelor thesis, FH Technikum Wien, September 2023.
- [SP97] Rainer Storn and Kenneth Price. Differential



evolution – a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11(4):341–359, December 1997.