

## Vorbemerkung

Es soll ein Algorithmus gefunden werden, welcher einer Sequenz aus Konfigurationen (C), Farben aus einer Liste (C,F) an Konfigurationen (C) und zugehörigen Farben (F) zuordnet, sodass die Anzahl der Farbwechsel minimal ist.

Beispiel:

Liste	$[(0,0), (1,0), (2,3), (2,0), \dots]$
Sequenz	2 1 2 0 ...
Zuordnung	(2,0) (1,0) (2,3) (0,0)

Anzahl der Farbwechsel im Beispiel = 3

Nachfolgend werden die klassischen Algorithmen aufgrund des vorliegenden Papers zum Projekt erläutert.

## Random

Der Sequenz aus C werden randomisiert Farben zugewiesen.

Für diesen Algorithmus liegt die Anzahl der Farbwechsel für  $n \rightarrow \infty$  bei  $n/2$

## Black-first / greedy

Der ersten Konfiguration der Sequenz aus C wird eine Farbe aus der Liste zugewiesen.

Diese Farbe wird solange beibehalten, bis das nicht mehr möglich ist.

Dann wird auf die Farbe gewechselt, welche als nächstes für C zur Verfügung steht und diese wieder beibehalten bis das nicht mehr möglich ist.

Für diesen Algorithmus steigt die Anzahl der Farbwechsel linear mit der Anzahl der Konfigurationen.

## Simulated Annealing

(Basiert auf QUBO Matrix)

Dieser Algorithmus simuliert das Quantum Annealing welches später angewendet werden soll. Hierfür wird das Problem zuerst in eine QUBO Matrix überführt. Ein niedriger Energiezustand ergibt sich dadurch dass Farbwechsel möglichst vermieden werden. Das Minima wird dadurch gesucht, dass zuerst breit nach optimalen Lösungen gesucht wird, sich dabei die „Temperatur“ abkühlt und so die Bewegungen zwischen den Lösungen immer kleiner werden und man sich so einer optimalen Lösung annähert. Vergleichbar einer Kugel die durch eine Lösungslandschaft rollt und in lokalen Minima zum liegen kommt. Anfangs wird die Kugel stark angestoßen (hohe Temperatur) und mit abkühlender Temperatur immer sanfter, so dass darüber das globale Minimum oder eine sehr gute Lösung gefunden wird.

## Weitere Algorithmen

In einem weiteren Paper von Christine Solnon et.al. [4] wird ein ähnliches Problem in Zusammenarbeit mit Renault betrachtet. Dabei wurden folgende Algorithmen eingesetzt:

- greedy heuristic (CH)
- Simulated Annealing (SA)
- Tabou Search (TS)
- Variable Neighborhood Search (VNS)
- Large Neighborhood Search (LNS)
- Local Search (LS)
- Iterated Local Search (ILS)
- Genetic Algorithm (GA)
- Ant Colony Optimization (AC)
- Integer Linear Programming (ILP)
- Constraint Programming (CP)

## Quellen:

1. Streif, Michael, Sheir Yarkoni, Andrea Skolik, Florian Neukart, and Martin Leib. "Beating classical heuristics for the binary paint shop problem with the quantum approximate optimization algorithm." *Physical Review A* 104, no. 1 (2021): 012403.
2. Yarkoni, Sheir, Alex Alekseyenko, Michael Streif, David Von Dollen, Florian Neukart, and Thomas Bäck. "Multi-car paint shop optimization with quantum annealing." In *2021 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE)*, pp. 35-41. IEEE, 2021.
3. Epping, Thomas, W. Hochstattler, and Peter Oertel. "Some results on a paint shop problem for words." *Electronic Notes in Discrete Mathematics* 8, no. 31-33 (2001): 3.
4. Solnon, Christine, Alain Nguyen, and Christian Artigues. "The car sequencing problem: Overview of state-of-the-art methods and industrial case-study of the ROADEF'2005 challenge problem." *European Journal of Operational Research* 191, no. 3 (2008): 912-927.