Ludwig-Maximilians-Universität München Institut für Informatik Lehrstuhl für Mobile und Verteilte Systeme Prof. Dr. Linnhoff-Popien



Übungsblatt 11 Rechnerarchitektur im Sommersemester 2023

Zu Modul N

Abgabetermin: 09.07.2023, 18:00 Uhr **Besprechung:** 10.07.2023 - 14.07.2023

Aufgabe Ü1: Graph Coloring mittels Quantenannealing

(12 Pkt.)

Sei folgender Graph gegeben, dessen Knoten $\{1,2,3\}$ mit den Farben Rot, Grün und Blau $\{R,G,B\}$ gefärbt werden sollen, so dass keine zwei benachbarten Knoten (mit einer Kante verbunden) die gleiche Farbe tragen.



Füllen Sie folgende Matrix mit den Zahlenwerten 0 und 5, je nachdem, wie günstig eine Zustandskombination zu bewerten ist, so dass die Optimierung (Minimierung) mittels Quantenannealing stattfinden kann. Leere Felder in Ihrer QUBO Matrix werden als Zahlenwert 0 interpretiert.

| | 1R | 1G | 1B | 2R | 2G | 2B | 3R | 3G | 3B |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1R | -1 | | | | | | | | |
| 1G | | -1 | | | | | | | |
| 1B | | | -1 | | | | | | |
| 2R | | | | -1 | | | | | |
| 2G | | | | | -1 | | | | |
| 2B | | | | | | -1 | | | |
| 3R | | | | | | | -1 | | |
| 3G | | | | | | | | -1 | |
| 3B | | | | | | | | | -1 |

Aufgabe Ü2: Gate-Assignement mittels Quantenannealing

(6 Pkt.)

In der Vorlesung haben Sie das Gate-Assignment-Problem (GAP) kennengelernt, bei welchem Flugzeuge unter gewissen Nebenbedingungen Flughafen-Gates zugeordnet werden müssen. Es gilt analog zur Vorlesung, dass die (Flugzeug, Gate)-Paare $(1,A),\ (2,B)$ und (3,C) jeweils zu einer Fluggesellschaft gehören und es als besonders günstig zu bewerten ist, wenn sich die Flugzeuge jeweils am Gate ihrer Fluggesellschaft befinden. Die untere Abbildung zeigt die ausgefüllte QUBO Matrix des GAP für 3 Flugzeuge. Berechnen Sie die Energien E_i für jeden Lösungsvektor S_i .

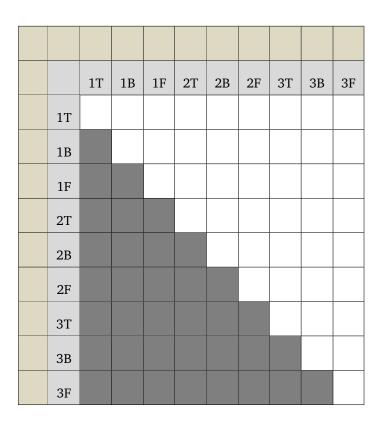
- a. $S_1 = (1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0)$
- b. $S_2 = (1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1)$
- c. $S_3 = (1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1)$

| | 1A | 1B | 1C | 2A | 2B | 2C | 3A | 3B | 3C |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1A | -2 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 1B | | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| 1C | | | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 2A | | | | 0 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| 2B | | | | | -2 | 5 | 0 | 5 | 0 |
| 2C | | | | | | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 3A | | | | | | | 0 | 5 | 5 |
| 3B | | | | | | | | 0 | 5 |
| 3C | | | | | | | | | -2 |

Aufgabe Ü3: Optimierung mittels Quantum Annealing

(10 Pkt.)

Es soll der Weg eines Studierenden zur Universität optimiert werden, denn der Studierende möchte den Weg zur Universität so schnell wie möglich zurücklegen. Um zur Universität zu gelangen, muss der Studierende an drei Haltestellen $\{1,2,3\}$ entscheiden, ob er jeweils entweder mit der Tram oder dem Bus fährt, oder bis zur nächsten Haltestelle zu Fuß geht $\{T,B,F\}$. Die Haltestellen sind alle gleich weit voneinander entfernt. Mit der Tram benötigt der Studierende von Haltestelle zu Haltestelle 14 Minuten, mit dem Bus benötigt der Studierende von Haltestelle zu Haltestelle zu Haltestelle zu Haltestelle 22 Minuten. Füllen Sie die folgende QUBO-Matrix unter ausschließlicher Verwendung der Zahlenwerte $\{-20,-10,-1,0,1000\}$, je nachdem, wie günstig die entsprechende Zustandskombination zu bewerten ist, so dass die Optimierung (Minimierung) mittels Quantenannealing stattfinden kann. Der Weg zur Universität ist also: Haltestelle $1 \to \text{Haltestelle } 2 \to \text{Haltestelle } 3 \to \text{Universität}$. Wie oben beschrieben, kann der Studierende an jeder dieser Haltestellen wählen ob er die Tram oder den Bus nimmt, oder zu Fuß geht. 1F bedeutet z.B. dass der Studierende sich entscheidt, von der ersten Haltestelle zur zweiten Haltestelle zu Fuß zu gehen. Leere Felder in Ihrer QUBO Matix werden als Zahlenwert 0 interpretiert.



Aufgabe Ü4: Einfachauswahlaufgabe: Quantencomputing und Speicherung

(5 Pkt.)

Für jede der folgenden Fragen ist eine korrekte Antwort auszuwählen ("1 aus n"). Nennen Sie dazu in Ihrer Abgabe explizit die jeweils ausgewählte Antwortnummer ((i), (ii), (iii) oder (iv)). Eine korrekte Antwort ergibt jeweils einen Punkt. Mehrfache Antworten oder eine falsche Antwort werden mit 0 Punkten bewertet.

| | ein klassisches Problem | | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------------|------------------------|--|--|--|--|--|--|
| besteht, die Reihenfolge für den Besuch mehrerer Orte zu bestimmen, so dass die | | | | | | | | | |
| gewählte Route den kleinstmöglichen Weg hat? | | | | | | | | | |
| (i) Traveling- | (ii) | (iii) Gate- | (iv) Boolean- | | | | | | |
| Salesman-Problem | Knapsack-Problem | Assignment-Problem | Satisfiability-Problem | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| b) Wie bezeichnet man eine stochastischen Optimierungsmethoden, bei der man | | | | | | | | | |
| Sprünge verschiedener Größe in der Lösungslandschaft durchführt, um eine Lösung | | | | | | | | | |
| mit möglichst geringen Kosten zu finden? | | | | | | | | | |
| (i) Simulated | (ii) Newton- | (iii) Division | (iv) Scheduling | | | | | | |
| Annealing | Verfahren | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| c) Wie bezeichnet man die beobachtete Grundregel in der Entwicklung neuer | | | | | | | | | |
| Computerchips nach der sich die Transistordichte auf Computerchips in etwa alle | | | | | | | | | |
| 12-18 Monate verdoppelt? | | | | | | | | | |
| (i) Zuse's Law | (ii) Moore's Law | (iii) Gordon's Law | (iv) Heisenberg's | | | | | | |
| | | | Law | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| d) Wie bezeichnet man die Überlagerung zweier Zustände in der Quantenwelt? | | | | | | | | | |
| (i) Verdeckung | (ii) Gewichtung | (iii) Superposition | (iv) Linearität | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| e) Was ist der übliche Zeitwert für einen Annealing-Vorgang auf dem D-Wave | | | | | | | | | |
| Quantum Annealer? | | | | | | | | | |
| (i) 20 Minuten | (ii) 20 Sekunden | (iii) 20 Millisekunden | (iv) 20 | | | | | | |
| | | | Mikrosekunden | | | | | | |
| | | | | | | | | | |