

# Kvantově inspirované optimalizační algoritmy

Tomáš Bártů\*

## Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na srovnání vybraných kvantově inspirovaných evolučních algoritmů využívajících principů kvantové fyziky v prostředí klasického výpočetního systému. Konkrétně byla testována kvantově inspirovaná varianta genetického algoritmu, částicového systému a simulovaného žíhání, přičemž řešenou úlohou byl problém batohu ve variantě 0/1. V rámci práce bylo dále navrženo a implementováno vylepšení kvantově inspirovaného algoritmu částicového systému. Experimenty ukázaly, že nově navržený přístup dosahuje lepších výsledků než jeho původní varianta a překonává i ostatní testované kvantově inspirované evoluční algoritmy a to i při řešení větších instancí problému. Výsledky experimentů rovněž naznačují, že kvantově inspirované přístupy obecně dosahují lepších výsledků než jejich klasické varianty.

\*[xbartu11@stud.fit.vutbr.cz](mailto:xbartu11@stud.fit.vutbr.cz), Faculty of Information Technology, Brno University of Technology

## 1. Úvod

**[Motivace]** Optimalizační algoritmy inspirované přírodními procesy se běžně využívají při řešení různých typů složitých úloh, jenž nejsou snadno řešitelné klasickými metodami. Existují přístupy, které do těchto heuristik začleňují principy **kvantové mechaniky**, což slibuje efektivnější prohledávání prostoru řešení.

**[Definice problému]** Cílem práce je vytvořit srovnávací studii kvantově inspirovaných evolučních algoritmů. Srovnání proběhlo na **problému batohu** ve variantě 0/1, který patří mezi NP-úplné kombinatorické problémy. Součástí srovnávací studie je také porovnání kvantově inspirovaných evolučních algoritmů s jejich klasickými variantami, přičemž u všech algoritmů byly předem laděny jejich parametry.

**[Existující řešení]** Mezi používané klasické heuristické algoritmy patří genetický algoritmus, částicové systémy a simulované žíhání. Pro každý z těchto přístupů existují i kvantově inspirované varianty a to kvantově inspirovaný genetický algoritmus (*QIGA*) [1], kvantově inspirovaná evoluce roje (*QSE*) [2] a kvantově inspirované simulované žíhání (*QISA*) [3].

**[Naše řešení]** V této práci byly testovány schopnosti kvantově inspirovaných evolučních algoritmů při řešení různých instancí problému batohu. Hodnocení algoritmů se zaměřovalo nejen na kvalitu nalezeného řešení, ale také na jeho škálovatelnost a schopnost efektivně řešit různé velikosti instancí problému. Sou-

částí práce je rovněž návrh, implementace a experimentální ověření vlastního kvantově inspirovaného algoritmu *QIPSO*, který vznikl vhodnou úpravou algoritmu *QSE*.

## 2. Kvantově inspirované evoluční algoritmy

Kvantově inspirované evoluční algoritmy (*QIEA*) jsou heuristické metody, jenž využívají vybrané principy kvantové fyziky, zejména superpozice stavů a pravděpodobnostní reprezentaci. Stav jedince v populaci je reprezentován kvantovým bitem (*qubit*), jenž je vyjádřen lineární kombinací stavů  $|0\rangle$  a  $|1\rangle$ :

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle,$$

kde  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ , přičemž  $\alpha$  a  $\beta$  reprezentují amplitudy pravděpodobnosti výběru jednotlivých stavů.

Přestože *QIEA* využívají principy kvantové fyziky, nejsou cíleny pro běh na kvantovém počítači, ale jsou určeny k běhu na klasických výpočetních systémech. Pro ověření schopností těchto algoritmů byl použit problém batohu ve variantě 0/1, kde každá položka může být buď vybrána, nebo nevybrána pro vložení do batohu, vizte [\(1\)](#).

Všechny zkoumané *QIEA* využívají kvantovou reprezentaci řešení [\(2\)](#), kde pravděpodobnostní koeficienty  $\alpha_i$  a  $\beta_i$   $i$ -tého qubitu jsou aktualizovány pomocí kvantového rotačního hradla, vizte [Obrázek 1](#)

a rovnici (3). Konkrétní velikost změny úhlu  $\Delta\theta_j$  je určena na základě aktuálně pozorovaného binárního řešení  $x_j$  a nejlepšího známého řešení  $b_j$  podle tabulky Tabulka 1.

Všechny zkoumané algoritmy využívají kvantovou reprezentaci řešení a jejich aktualizace je prováděna prostřednictvím kvantového rotačního hradla. V této práci bylo konkrétně experimentováno se čtyřmi typy *QIEA*:

- **QIGA** – kvantové rozšíření klasického genetického algoritmu.
- **QISA** – úprava simulovaného žhání, jež je doplněna o metodu tepelně-řízeného pozorování (*heat observation*).
- **QSE** – kvantově inspirovaná verze částicového systému, kde je poloha částic ovlivněna jak osobním, tak globálním nejlepším řešením.
- **QIPSO** – námi navržená modifikace algoritmu *QSE*, která zohledňuje také aktuálně pozorované binární řešení při aktualizaci stavů.

Testované algoritmy byly rovněž porovnávány s jejich klasickými variantami.

### 3. Návrh algoritmu QIPSO

Algoritmus *QIPSO*, jenž je znázorněn pomocí pseudokódu v Algoritmu 1, pracuje s kvantovou reprezentací řešení popsanou maticí (2). Hlavní rozdíl oproti původnímu *QSE* spočívá v tom, jak probíhá aktualizace stavu částic. Zatímco *QSE* upravuje kvantové úhly na základě nejlepšího osobního a globálního řešení, *QIPSO* navíc využívá **aktuálně pozorovaná binární řešení**.

Rychlost částic (*velocity*) v *QIPSO* je ovlivněna nejen nejlepším globálním a osobním řešením, ale také tím, jak moc se aktuální pozorované řešení liší od těchto nejlepších řešení, čímž algoritmus lépe vyjadřuje aktuální rozložení populace. Dále byl zaveden parametr tření (*friction*), který pomáhá tlumit příliš prudké změny rychlosti a tím zajišťuje stabilní vývoj populace.

### 4. Srovnávací studie

Cílem experimentální části je ověřit schopnosti algoritmů *QIEA* při řešení úlohy batohu a vytvořit srovnávací studii. Součástí experimentů je rovněž ladění parametrů jednotlivých algoritmů, jenž probíhalo s instancemi 100, 250 a 500 položek batohu. Následně byly spuštěny experimenty s již doladěnými parametry na větších instancích batohu s 1000, 2000 a 5000 položkami. Každé experimentální nastavení algoritmu

a jeho vyhodnocení bylo podloženo třiceti nezávislými běhy (Tabulka 2).

Již při ladění parametrů jednotlivých algoritmů se ukázalo, že *QIEA* dosahují obecně kvalitnějších výsledků než jejich klasické varianty. Při experimentování s většími instancemi problému batohu (1000 položek) bylo patrné, že *QIEA* se dokáží výrazně přiblížit optimálnímu řešení, přičemž námi navržený algoritmus *QIPSO* poskytoval ze všech testovaných přístupů nejkvalitnější řešení (Graf 1). Při zvětšení instance problému batohu na 5000 položek sice všechny testované algoritmy zaznamenaly pokles přesnosti, avšak *QIPSO* i v tomto případě dosahoval kvalitnějších řešení než ostatní *QIEA* (Graf 2).

### 5. Závěr

Tato práce se zabývala vytvořením srovnávací studie kvantově inspirovaných evolučních algoritmů při řešení kombinatorického problému batohu ve variantě 0/1. V rámci práce byl navržen a implementován vlastní algoritmus *QIPSO*, jenž rozšiřuje přístup algoritmu *QSE*. Experimenty naznačují, že kvantově inspirovaný přístup u evolučních algoritmů dosahuje lepších výsledků než klasický přístup, přičemž algoritmus *QIPSO* vykazuje nejlepší výsledky ze všech testovaných metod.

### Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Michalu Bidlovi Ph.D. za jeho ochotu, cenné rady a odbornou pomoc, kterou mi v průběhu práce poskytl.

### Literatura

- [1] Kuk-Hyun Han and Jong-Hwan Kim. Quantum-inspired evolutionary algorithm for a class of combinatorial optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(6):580–593, 2002.
- [2] Yan Wang, Xiao-Yue Feng, Yan-Xin Huang, Dong-Bing Pu, Wen-Gang Zhou, Yan-Chun Liang, and Chun-Guang Zhou. A novel quantum swarm evolutionary algorithm and its applications. *Neurocomputing*, 70(4):633–640, 2007. Advanced Neurocomputing Theory and Methodology.
- [3] Zhanghui Chen and Ping Luo. Qisa: Incorporating quantum computation into simulated annealing for optimization problems. In *2011 IEEE Congress of Evolutionary Computation (CEC)*, pages 2480–2487, 2011.