

Wykorzystanie metod ewolucyjnych w projektowaniu algorytmów kwantowych

mgr inż. Robert Nowotniak

Politechnika Łódzka

1 października 2008



Plan referatu

- 1 Informatyka kwantowa
- 2 Cel pracy
- 3 Prezentacja metody rozwiązania
- 4 Wnioski z pracy



Informatyka kwantowa

- **Informatyka kwantowa** - dziedzina zajmująca się wykorzystaniem możliwości obliczeniowych układów, podlegających prawom **mechaniki kwantowej**.
- Niektóre problemy algorytmiczne mogą być rozwiązywane w sposób znacznie bardziej *efektywny*, dzięki wykorzystaniu unikalnych własności takich układów.



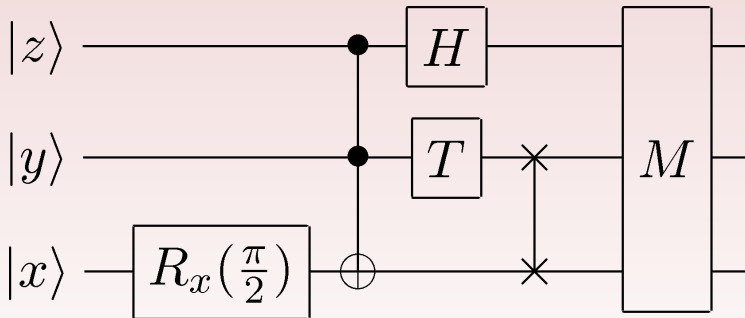
Cel pracy

- 1 Przygotowanie środowiska **symulacji obliczeń kwantowych**
- 2 Zaimplementowanie podstawowych **algorytmów kwantowych**
- 3 Zbadanie możliwości wykorzystania **metod ewolucyjnych** w projektowaniu elementów algorytmów kwantowych



Obwody kwantowe (ang. *quantum circuits*)

Jednym z formalnych modeli obliczeń kwantowych są **kwantowe bramki logiczne**.



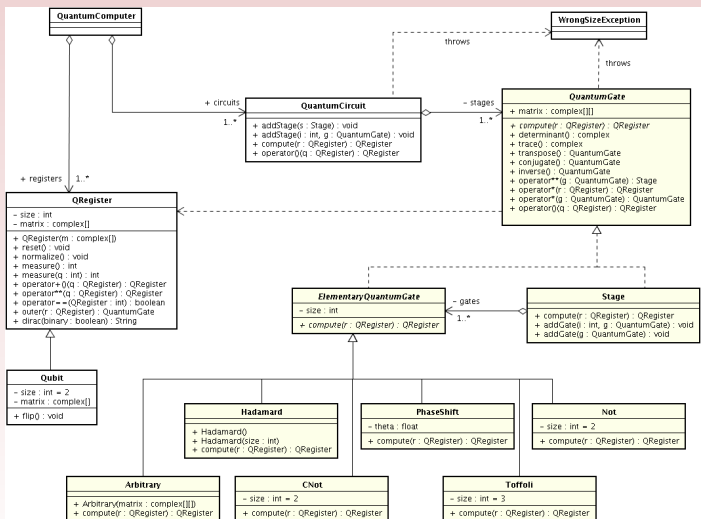
Prezentacja metody rozwiązania

- 1 Symulacja pracy komputera kwantowego w modelu kwantowych bramek logicznych
- 2 Model obiektowy dla obliczeń kwantowych
- 3 Implementacja w języku Python – biblioteka **qclib**¹
- 4 Optymalizacja bramek kwantowych przy pomocy algorytmów genetycznych
- 5 Projektowanie obwodów kwantowych za pomocą programowania genetycznego

¹<http://quantum.ics.p.lodz.pl/qclib>



Model obiektowy dla obliczeń kwantowych



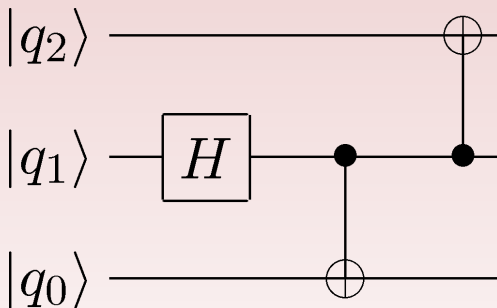
Object Model for Quantum Computing

Copyright (C) 2007,2008 Robert Nowotniak



Wykorzystanie przeciążonych operatorów

Przykładowy obwód kwantowy:



Symulacja pracy obwodu za pomocą **qclib**:

```
qcircuit =
```

```
    (I**H**I) * (I**CNot()) * (CNot(0,1)**I)
```

```
result = qcircuit(Ket(0, 3))
```


Algorytmy kwantowe

Algorytmy kwantowe, rozważane w pracy, i zaimplementowane za pomocą biblioteki **qclib**:

- 1 Algorytm Grovera
- 2 Kodowanie supergęste
- 3 Generowanie stanów splątanych
- 4 Protokół teleportacji kwantowej



Algorytmika kwantowa

Trudności w tworzeniu algorytmów kwantowych

- 1 Niewielka analogia do algorytmów klasycznych
- 2 Są to algorytmy **probabilistyczne**
- 3 Wykorzystują *nieintuicyjne* efekty mechaniki kwantowej:
superpozycja stanów, interferencja amplitud
prawdopodobieństwa, splątanie, kwantowy paralelizm



Algorytmika kwantowa

Trudności w tworzeniu algorytmów kwantowych

- 1 Niewielka analogia do algorytmów klasycznych
- 2 Są to algorytmy **probabilistyczne**
- 3 Wykorzystują *nieintuicyjne* efekty mechaniki kwantowej:
superpozycja stanów, interferencja amplitud
prawdopodobieństwa, splątanie, kwantowy paralelizm

Jak dotąd odkryto łącznie jedynie około kilkunastu algorytmów kwantowych



Metody ewolucyjne sztucznej inteligencji

“Computer programs that „evolve” in ways that resemble natural selection can solve complex problems even their creators do not fully understand.”

— John H. Holland¹

¹John H. Holland (1929-) — jeden ze współtwórców algorytmów genetycznych



Metody ewolucyjne i obliczenia kwantowe

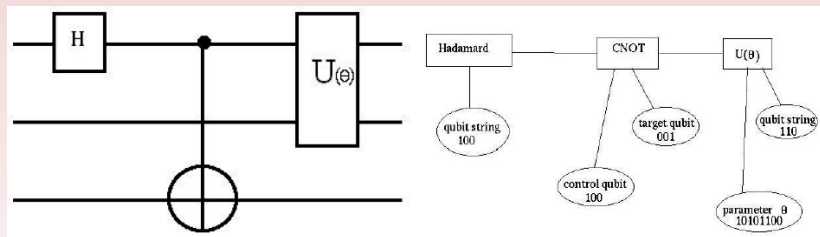
Aspekty obliczeń kwantowych, w których mogą być wykorzystane metody ewolucyjne:

- 1 Projektowanie bramek kwantowych (macierze unitarne)
 - Prosty algorytm genetyczny
 - Zmodyfikowany algorytm genetyczny
- 2 Projektowanie całych obwodów kwantowych
 - Reprezentacja całkowitoliczbowa
 - Reprezentacja za pomocą drzew



Reprezentacja obwodów kwantowych jako drzew

Obwody kwantowe mogą być reprezentowane w postaci drzew.



Populacje takich drzew można przetwarzać za pomocą algorytmu genetycznego. Wykonując rekombinację i mutację, można znajdować optymalne obwody kwantowe.



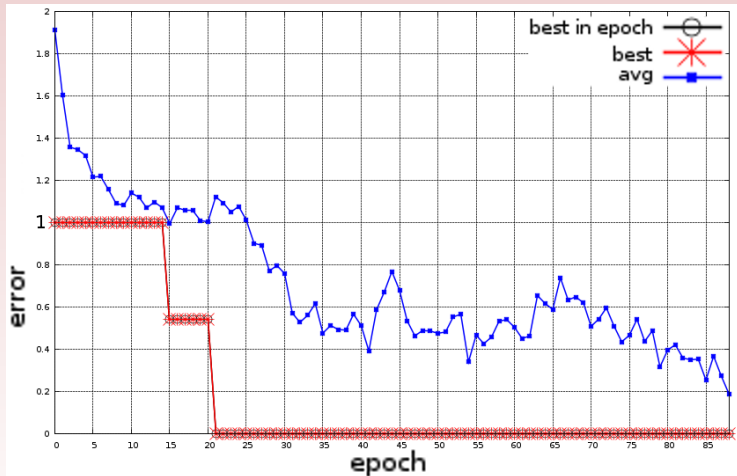
Eksperyment numeryczny

Programowanie Genetyczne — ewolucja obwodów kwantowych

- Cel: Automatyczne zaprojektowanie obwodu, generującego stan splątany trzykubitowego rejestru
- Reprezentacja populacji obwodów za pomocą drzew
- Ocena jakości rozwiązań na podstawie miary błędu otrzymwanego na wyjściu obwodów



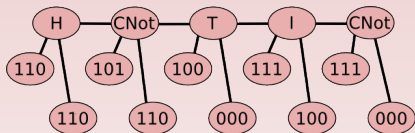
Ewolucja obwodów kwantowych



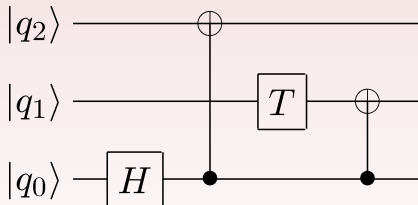
$population = 100$, $P_c = 0.75$, $P_m = 0.05$, $elitism = 5$
 metoda selekcji: ruletka + elitarność

Automatycznie zaprojektowany obwód

Genotyp znalezionej obwodu kwantowego:



Odpowiadający genotypowi obwód kwantowy:



(obwód kwantowy, generujący stan splątany $\frac{\sqrt{2}}{2}(|000\rangle + |111\rangle)$ trzykubitowego rejestru kwantowego)



Prezentacja wniosków z pracy

Wnioski:

- 1 Zaproponowany model obiektowy pozwala w łatwy sposób symulować pracę komputera kwantowego.
- 2 Innowacyjny język opisu algorytmów kwantowych, wykorzystujący przeciążone operatory, pozwala na zwięzły opis algorytmów
- 3 Zaproponowany model obiektowy i język dobrze nadają się do przetwarzania przez algorytmy genetyczne
- 4 Metody ewolucyjne S.I. są skutecznym narzędziem w różnych aspektach projektowania obliczeń kwantowych



Koniec

Dziękuję za uwagę.

