Kwantowe języki programowania

Robert Nowotniak

IV rok informatyki (Sztuczna Inteligencja)

WWW: http://robert.nowotniak.com/

e-mail: <*robercik@stud.ics.p.lodz.pl*>

Plan referatu

- Możliwość symulacji komputera kwantowego
- Obecne języki kwantowe
- Biblioteki kwantowe dla Perla
- Język QCL
  - Informacje ogólne
  - Podstawy składni
  - Proste przykłady
  - Dalsze informacje
- Podsumowanie

Symulowanie komputera kwantowego

- Czy można symulować takie komputery?
- W jaki sposób?
- Prace Alana Turinga (1936)
  - Wykonywanie **dowolnego procesu algorytmicznego** może być symulowane za pomocą odpowiedniego, abstrakcyjnego mechanizmu (maszyna Turinga, rachunek lambda Church'a).
  - Maszyna Turinga
    - Matematyczny model komputera
    - MT = <Q, Σ, δ, Γ, q_0, B, F>
- Kwantowa Maszyna Turinga (David Deutsch, 1985)

Symulowanie komputera kwantowego

- Maszyna Turinga pozwala symulować także algorytmy kwantowe, jednak ta symulacja ma wykładniczą złożoność obliczeniową.
- **Liniowy przyrost liczby kubitów** w rejestrze kwantowym powoduje **wykładniczy przyrost wymiaru przestrzeni** stanów takiego rejestru.
- Symulując komputer kwantowy, nie mamy dobrodziejstw „kwantowej równoległości”, którą musimy symulować z powyższą złożonością.

Języki programowania kwantowego

- Zrealizowane implementacje:
  - **QCL** (interpreter języka napisany w C++)
  - Biblioteki Perla:
    - **Quantum::Entaglement**
      - Umożliwia kwantowe splątanie zmiennych
      - jako przykład zaimplementowany jest algorytm Shora
    - Quantum::Superposition
  - libquantum (biblioteka dla języka C)
  - Q-gol (w języku CaML + interfejs Tcl/Tk)
- Niezaimplementowane (jedynie projekty):
  - qGCL, QML, Quantum C

Quantum::Entanglement

```
#!/usr/bin/perl

use Quantum::Entanglement qw(:DEFAULT :complex :QFT);

my $c = entangle(0.7071, 0, 0.7071*i, 1); # sqrt(2) / 2 * (|0> + i|1>)
my $d = entangle(0.7071, 0,   0.7071, 1); # sqrt(2) / 2 * (|0> +  |1>)

#
# $e   <-  0.5*|0*0> + 0.5*i|0*1> + 0.5*|1*0> + 0.5*i|1*1>
# Kwantowe splatanie zmiennej $e z $c oraz $d
#

$e = $c * $d;

#
# Pomiar wartości $e. Redukcja funkcji falowej
#
if ($e == 1) {
        # Rezultatem pomiaru jest, że $c == 1 , $d == 1
        print '$e == 1';
        print "\n";
}
else {
        # Pozostałe przypadki
        print '$e != 1';
        print "\n";
}
```

Quantum::Entanglement

- Funkcja entangle() zwraca wartość, która jest superpozycją wielu wartości z poszczególnymi amplitudami prawdopodobieństwa.
- Działania na kilku zmiennych będących w superpozycji stanów powodują kwantowe splątanie tych zmiennych.
- Przeciążone operatory konwersji i relacji dla zmiennej będącej w superpozycji powodują redukcje odpowiadającej jej funkcji falowej i dekoherencję stanu tej zmiennej **oraz** zmiennych z nią splątanych.
- Specjalne funkcje **p_op** i **p_func** służą do wykonywania operacji na zmiennych będących w superpozycji (odpowiedniki bramek kwantowych).

libquantum API

```
quantum_reg quantum_new_qureg(MAX_UNSIGNED initval, int width);
void quantum_print_qureg(quantum_reg reg);

void quantum_cnot(int control, int target, quantum_reg *reg);
void quantum_toffoli(int control1, int control2, int target, quantum_reg *reg);

void quantum_sigma_x(int target, quantum_reg *reg);
void quantum_sigma_y(int target, quantum_reg *reg);
void quantum_sigma_z(int target, quantum_reg *reg);
void quantum_r_x(int target, float gamma, quantum_reg *reg);
void quantum_r_y(int target, float gamma, quantum_reg *reg);
void quantum_r_z(int target, float gamma, quantum_reg *reg);

void quantum_hadamard(int target, quantum_reg *reg);

MAX_UNSIGNED quantum_measure(quantum_reg reg);
int quantum_bmeasure(int pos, quantum_reg *reg);
```

libquantum

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <quantum.h>

int main ()
{
  quantum_reg reg;
  int wynik;

  srandom(time(0));

  reg = quantum_new_qureg(0, 1);
  quantum_hadamard(0, &reg);

  wynik = quantum_bmeasure(0, &reg);

  printf("Odczytana wartość: %d!\n", wynik);

  return 0;
}
```

Quantum **C**omputation **L**anguage

- Autor: PhD Bernhard Ömer
  - http://tph.tuwien.ac.at/~oemer/qcl.html
- Aktualna wersja: qcl 0.6.3
  - Ostatnie wydanie: **14 grudnia 2006**
    - **(aktywnie rozwijany!)**
- Wersje binarne dostępne obecnie tylko dla systemu GNU/Linux na architektury:
  - i686
  - **AMD64 (układy EM64T)**
- Wolne oprogramowanie (licencja GNU/GPL)

Język QCL

- Język QCL:
  - Strukturalny
  - Imperatywny
  - Kwantowy
  - Język trzeciej generacji
- Składnia przypominająca język C
- Podobne podstawowe typy danych
- Typ danych **qureg** – rejestr kwantowy
- Wbudowane podstawowe operacje kwantowe
  - Bramka Hadamarda (H(), Mix())
  - Bramka NOT, CNOT
  - Bramka fazy (CPhase)
  - Definiowanie własnych operatorów kwantowych (**qufunc**)

Język QCL

Uruchomienie interpretera QCL:

```
$ qcl --bits=5
QCL Quantum Computation Language (5 qubits, seed 1166577494)
[0/5] 1 |0>
```

„Podejrzenie” zawartości pamięci kwantowej:

```
qcl> dump
: STATE: 0 / 5 qubits allocated, 5 / 5 qubits free
1 |0>
qcl> _
```

Utworzenie nowego 2-kubitowego rejestru kwantowego:

```
qcl> qureg a[2];
qcl> dump a;
: SPECTRUM a: <0,1>
1 |0>
qcl> _
```

Negacja stanu rejestru kwantowego:

```
qcl> Not(a);
[2/5] 1 |3>
qcl> dump
: STATE: 2 / 5 qubits allocated, 3 / 5 qubits free
1 |3>
qcl> _
```

Język QCL

Utworzenie superpozycji stanów czystych tego rejestru (bramka Hadamarda):

```
qcl> H(a);
[2/5] 0.5 |0> - 0.5 |1> - 0.5 |2> + 0.5 |3>
qcl> _
```

Pomiar wartości rejestru - dekoherencja stanu.

```
qcl> measure a;
[2/5] -1 |1>
qcl> _
```

Ponowne „podejrzenie” wartości rejestru:

```
qcl> dump a;
: SPECTRUM a: <0,1>
1 |1>
qcl>
```

Przykład: Algorytm Deutsch'a w QCL

- Algorytm służy do zbadania funkcji:
- $F:\{0,1\}\rightarrow\{0,1\}$
- Istnieją dokładnie cztery takie funkcje:
- dwie funkcje różnowartościowe i dwie stałe

	F_1	F_2	F_3	F_4
0	1	0	0	1
1	0	1	0	1

Sprawdzenie wartości funkcji dla jednego argumentu nie pozwala rozstrzygnąć, z jaką funkcją mamy do czynienia

Ale algorytm kwantowy – może to wykonać.

Przykład

- Definicje wszystkich czterech funkcji w QCL:

```
// ~x
qufunct F1(qureg out, quconst in) {
    CNot(out, in);
    Not(out);
}

// x
qufunct F2(qureg out, quconst in) {
    CNot(out, in);
}

// 0
qufunct F3(qureg out, quconst in) {
}

// 1
qufunct F4(qureg out, quconst in) {
    Not(out);
}
```

Algorytm Deutsch'a w QCL

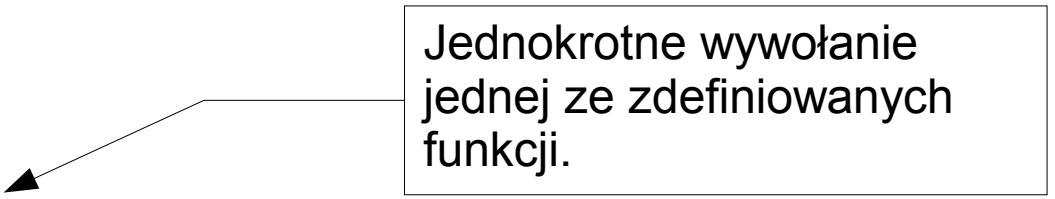
```
print "Algorytm Deutsch'a";

qureg in[1];
qureg out[1];
int result;

reset;
Not(out);
H(out);
H(in);
F4(out,in);
H(in);
H(out);

measure in, result;

if (result == 0) {
   print "Funkcja stala";
}
else {
   print "Funkcja roznowartosciowa";
}
```



Język QCL

- Podstawowe instrukcje:
  - reset
  - include
  - print
  - input
  - qureg
  - qufunc
  - measure
  - dump

Literatura

1) http://www.quantiki.org/ , http://ocw.mit.edu/OcwWeb/
2) Prace Bernharda Ömera , http://tph.tuwien.ac.at/~oemer/qcl.html
   1) ***A Procedural Formalism for Quantum Computing***
   2) ***Quantum Programming in QCL***
   3) ***Structured Quantum Programming***
3) Artykuł w jednym z numerów *Software Developer Journal*
4) R.Penrose – Nowy umysł cesarza
5) S.Imre, F.Balazs - Quantum Computing and Communications: Engineering Approach
6) Samuel Braunstein - Quantum Computing (Wiley Press, 1999)
7) **Mika Hirvensalo - Algorytmy Kwantowe, WSiP 2004**
8) G.Chen, R.Brylinski - Mathematics of Quantum Computation
9) D.C.Marinescu - Lectures Notes on Quantum Computing and Quantum Information Theory for Non-Physicists

Literatura

10) Michel Le Bellac - Quantum Physics, Cambridge Press
11) R.Shankar - Principles of Quantum Mechanics, 1994
12) J.J.Sakurai - Modern Quantum Mechanics
13) Asher Peres - Quantum Theory: Concepts and Methods
14) Devid J.Griffiths - Introduction to Quantum Mechanics, 1995
15) Andre Berthiaume - Quantum Computation
16) John Preskill - Quantum Computing: Pro and Con, 1997
17) S.K.Shukla, R.I.Bahar - Nano, Quantum and Molecular Computing
18) M.A.Nielsen, I.L.Chuang - Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge University Press, 2000)
19) Jozef Gruska - Quantum Computing (McGraw-Hill, 1999)
20) C.Williams, S.Clearwater - Explorations in Quantum Computing

Dziękuję