Obliczenia kwantowe

w qiskicie

Filip Maciejewski

FUW

Podsumowanie

- **Stany kwantowe** $|\psi\rangle$ żyją w **przestrzeni Hilberta**.
- Stan qubitu odpowiada punktowi na sferze jednostkowej.
- Niezależne (**separowalne**) **stany wielu kubitów** zadane są przez **iloczyn tensorowy** stanów pojedynczych kubitów.
- Stany, które nie mają takiej struktury, to **stany splątane**.
- **Ewolucję** stanów kwantowych opisujemy **operatorami unitarnymi**.
- Dla qubitu, taka ewolucja odpowiada obrotom na sferze Blocha.
- **Pomiar** w bazie obliczeniowej reprezentujemy za pomocą 2^N **operatorów rzutowych**.
- W przypadku jednego qubitu te operatory to $|0\rangle\langle 0|$ oraz $|1\rangle\langle 1|$.
- Dla **wielu kubitów** to po prostu ich **iloczyny tensorowe**.

Obliczenia kwantowe

Podstawowe rzeczy

Klasyczna informacja: 1 bit $\in \{0, 1\}$.

Podstawowe rzeczy

Klasyczna informacja: 1 bit $\in \{0, 1\}$.
Kwantowa informacja: 1 qubit $\in \mathbb{C}^2$.

Podstawowe rzeczy

Klasyczna informacja: 1 bit $\in \{0, 1\}$.
Kwantowa informacja: 1 qubit $\in \mathbb{C}^2$.

$$|\psi\rangle = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}.$$

Podstawowe rzeczy

Klasyczna informacja: 1 bit $\in \{0, 1\}$.
Kwantowa informacja: 1 qubit $\in \mathbb{C}^2$.

$$|\psi\rangle = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}.$$

N qubitów: 2^N-wymiarowa przestrzeń Hilberta.

Podstawowe rzeczy

Klasyczna informacja: 1 bit $\in \{0, 1\}$.
Kwantowa informacja: 1 qubit $\in \mathbb{C}^2$.

$$|\psi\rangle = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}.$$

N qubitów: 2^N-wymiarowa przestrzeń Hilberta.
Bramki kwantowe: elementy $SU(d)$. *Ciągłe* przetwarzanie informacji.

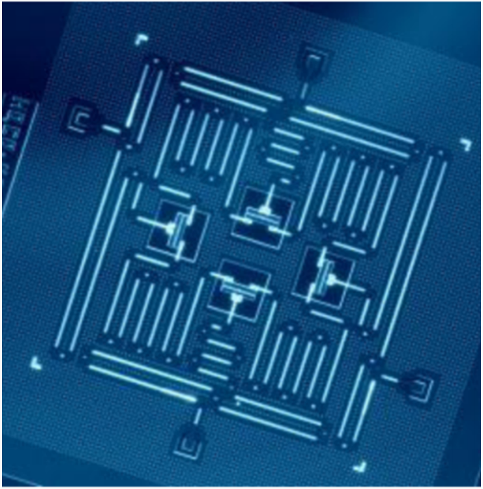
Podstawowe rzeczy

Klasyczna informacja: 1 bit $\in \{0, 1\}$.
Kwantowa informacja: 1 qubit $\in \mathbb{C}^2$.

$$|\psi\rangle = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}.$$

N qubitów: 2^N-wymiarowa przestrzeń Hilberta.
Bramki kwantowe: elementy $SU(d)$. *Ciągłe* przetwarzanie informacji.
Odczyt informacji: rzutowanie na 2^N-elementową ortonormalną bazę.

Urządzenia kwantowe IBM



Rysunek 1: 4-qubitowe urządzenie kwantowe IBMu.

Instalacja

- Stronka qiskita – qiskit.org/documentation.

Instalacja

- Stronka qiskita – qiskit.org/documentation.
- Na Linuxie – ’pip install qiskit’.

Instalacja

- Stronka qiskita – qiskit.org/documentation.
- Na Linuxie – ’pip install qiskit’.
- Jeśli chcemy używać prawdziwych urządzeń kwantowych – stronka quantumexperience.ng.bluemix.net.

Ćwiczenia

Link do notebooków – https://github.com/fbm2718/qiskit_workshop_2019.

Ćwiczenia

Link do notebooków –
https://github.com/fbm2718/qiskit_workshop_2019.
PLAN:

Ćwiczenia

Link do notebooków –
https://github.com/fbm2718/qiskit_workshop_2019.
PLAN:

0 Wstęp do qiskita. Bramk NOT i Hadamard.

Ćwiczenia

Link do notebooków –
https://github.com/fbm2718/qiskit_workshop_2019.
PLAN:

0 Wstęp do qiskita. Bramk NOT i Hadamard.
1 Bardziej skomplikowane jednokubitowe bramki. Rotacje na sferze Blocha.

Ćwiczenia

Link do notebooków –
https://github.com/fbm2718/qiskit_workshop_2019.
PLAN:

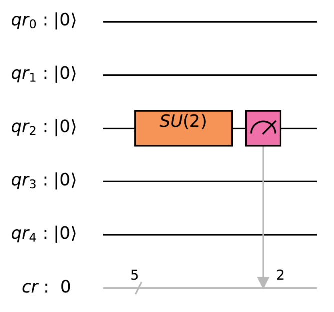
0 Wstęp do qiskita. Bramk NOT i Hadamard.
1 Bardziej skomplikowane jednokubitowe bramki. Rotacje na sferze Blocha.
2 Dwukubitowe bramki. Stany Bella.

Ćwiczenia

Link do notebooków –
https://github.com/fbm2718/qiskit_workshop_2019.
PLAN:

0 Wstęp do qiskita. Bramk NOT i Hadamard.
1 Bardziej skomplikowane jednokubitowe bramki. Rotacje na sferze Blocha.
2 Dwukubitowe bramki. Stany Bella.
3 Algorythm Deutscha-Jozsy.

Ćwiczenia



Rysunek 2: Jednokubitowy obwód kwantowy. Narysowany w qiskicie.

$$|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A \otimes |0\rangle_B + |1\rangle_A \otimes |1\rangle_B) \quad (1)$$

$$|\Phi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A \otimes |0\rangle_B - |1\rangle_A \otimes |1\rangle_B) \quad (2)$$

$$|\Psi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A \otimes |1\rangle_B + |1\rangle_A \otimes |0\rangle_B) \quad (3)$$

$$|\Psi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle_A \otimes |1\rangle_B - |1\rangle_A \otimes |0\rangle_B). \quad (4)$$

Rysunek 3: Stany Bella. (z wikipedii)

Algorytm Deustcha-Jozsy, sformułowanie

- Problem – mamy funkcję, która jest albo **stała**, albo **zrównoważona** (połowa wartości to 0, połowa to 1):

$$f : \{0,1\}^n \to \{0,1\}$$

Algorytm Deustcha-Jozsy, sformułowanie

- Problem – mamy funkcję, która jest albo **stała**, albo **zrównoważona** (połowa wartości to 0, połowa to 1):

$$f : \{0, 1\}^n \to \{0, 1\}$$

- Chcemy wiedzieć, która z tych opcji jest prawdziwa.

Algorytm Deustcha-Jozsy, sformułowanie

- Problem – mamy funkcję, która jest albo **stała**, albo **zrównoważona** (połowa wartości to 0, połowa to 1):

$$f : \{0, 1\}^n \to \{0, 1\}$$

- Chcemy wiedzieć, która z tych opcji jest prawdziwa.
- Klasycznie potrzebujemy $2^{n-1} + 1$ wywołań funkcji.

Algorytm Deustcha-Jozsy, sformułowanie

- Problem – mamy funkcję, która jest albo **stała**, albo **zrównoważona** (połowa wartości to 0, połowa to 1):

$$f : \{0, 1\}^n \to \{0, 1\}$$

- Chcemy wiedzieć, która z tych opcji jest prawdziwa.
- Klasycznie potrzebujemy $2^{n-1} + 1$ wywołań funkcji.
- Kwantowo potrzebujemy...

Algorytm Deustcha-Jozsy, sformułowanie

- Problem – mamy funkcję, która jest albo **stała**, albo **zrównoważona** (połowa wartości to 0, połowa to 1):

$$f : \{0, 1\}^n \to \{0, 1\}$$

- Chcemy wiedzieć, która z tych opcji jest prawdziwa.
- Klasycznie potrzebujemy $2^{n-1} + 1$ wywołań funkcji.
- Kwantowo potrzebujemy... 1 wywołania.

Algorytm Deustcha-Jozsy

- Wyobrażamy sobie, że mamy dostęp do **wyroczni** O, której działanie jest następujące:

$$O|a\rangle|b\rangle = |a\rangle|b \oplus f(a)\rangle.$$

Algorytm Deustcha-Jozsy

- Wyobrażamy sobie, że mamy dostęp do **wyroczni** O, której działanie jest następujące:

$$O|a\rangle|b\rangle = |a\rangle|b \oplus f(a)\rangle.$$

- Zaczynamy od stanu $|0\rangle|1\rangle$.

Algorytm Deustcha-Jozsy

- Wyobrażamy sobie, że mamy dostęp do **wyroczni** O, której działanie jest następujące:

$$O|a\rangle|b\rangle = |a\rangle|b \oplus f(a)\rangle.$$

- Zaczynamy od stanu $|0\rangle|1\rangle$.
- Aplikujemy bramki Hadamarda na obydwu.

Algorytm Deustcha-Jozsy

- Wyobrażamy sobie, że mamy dostęp do **wyroczni** O, której działanie jest następujące:

$$O|a\rangle|b\rangle = |a\rangle|b \oplus f(a)\rangle.$$

- Zaczynamy od stanu $|0\rangle|1\rangle$.
- Aplikujemy bramki Hadamarda na obydwu.
- Aplikujemy naszą wyrocznię.

Algorytm Deustcha-Jozsy

- Wyobrażamy sobie, że mamy dostęp do **wyroczni** O, której działanie jest następujące:

$$O|a\rangle|b\rangle = |a\rangle|b \oplus f(a)\rangle.$$

- Zaczynamy od stanu $|0\rangle|1\rangle$.
- Aplikujemy bramki Hadamarda na obydwu.
- Aplikujemy naszą wyrocznię.
- Odrobina algebry daje nam stan

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(-1)^{(f(0))}(|0\rangle + (-1)^{f(0)\oplus f(1)}|1\rangle) \quad \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle).$$

Algorytm Deustcha-Jozsy

- Wyobrażamy sobie, że mamy dostęp do **wyroczni** O, której działanie jest następujące:

$$O|a\rangle|b\rangle = |a\rangle|b \oplus f(a)\rangle.$$

- Zaczynamy od stanu $|0\rangle|1\rangle$.
- Aplikujemy bramki Hadamarda na obydwu.
- Aplikujemy naszą wyrocznię.
- Odrobina algebry daje nam stan

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(-1)^{(f(0))}(|0\rangle + (-1)^{f(0)\oplus f(1)}|1\rangle) \quad \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle).$$

- Aplikujemy teraz Hadamarda na naszym pierwszym qubicie. Otrzymujemy...

Algorytm Deustcha-Jozsy

- Wyobrażamy sobie, że mamy dostęp do **wyroczni** O, której działanie jest następujące:

$$O|a\rangle|b\rangle = |a\rangle|b \oplus f(a)\rangle.$$

- Zaczynamy od stanu $|0\rangle|1\rangle$.
- Aplikujemy bramki Hadamarda na obydwu.
- Aplikujemy naszą wyrocznię.
- Odrobina algebry daje nam stan

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(-1)^{(f(0))}(|0\rangle + (-1)^{f(0)\oplus f(1)}|1\rangle) \quad \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle).$$

- Aplikujemy teraz Hadamarda na naszym pierwszym qubicie. Otrzymujemy...

$$(-1)^{f(0)}|f(0) \oplus f(1)\rangle$$

Algorytm Deustcha-Jozsy

- Mamy:

$$(-1)^{f(0)}|f(0) \oplus f(1)\rangle$$

- A zatem jeśli funkcji jest **stała** stan to $|0\rangle$, a gdy **zbalansowana**, stan to $|1\rangle$!

Algorytm Deustcha-Jozsy

- Mamy:

$$(-1)^{f(0)}|f(0) \oplus f(1)\rangle$$

- A zatem jeśli funkcji jest **stała** stan to $|0\rangle$, a gdy **zbalansowana**, stan to $|1\rangle$!
- Pomiar na tym qubicie daje nam zatem jednoznaczną odpowiedź w jednej implementacji!

Algorytm Deustcha-Jozsy

- Mamy:

$$(-1)^{f(0)}|f(0) \oplus f(1)\rangle$$

- A zatem jeśli funkcji jest **stała** stan to $|0\rangle$, a gdy **zbalansowana**, stan to $|1\rangle$!
- Pomiar na tym qubicie daje nam zatem jednoznaczną odpowiedź w jednej implementacji!
- W praktyce nie mamy dostępu do ogólnej **wyroczni**, ale możemy ją sobie emulować...

Reklama

- Jeżeli chciał(a)byś **pozajmować się trochę informacją kwantową**, serdecznie **zachęcamy do kontaktu**:
- Filip Maciejewski – filip.b.maciejewski@gmail.com
- (szef) Michał Oszmaniec – michal.oszmaniec@gmail.com
- nasza strona – `https://www.quantin.pl/`
- Zapraszamy na **staż wakacyjny**,
- lub na **dłuższą współpracę (magistrant lub doktorant)**.