



Kvanttilaskentaa



The project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union. Grant Agreement n° 2016-1-IT02-KA201-024373.



It's your time to imagine the futures

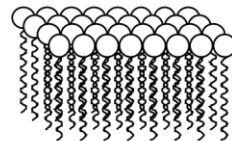
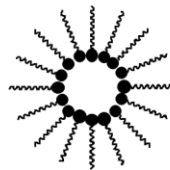
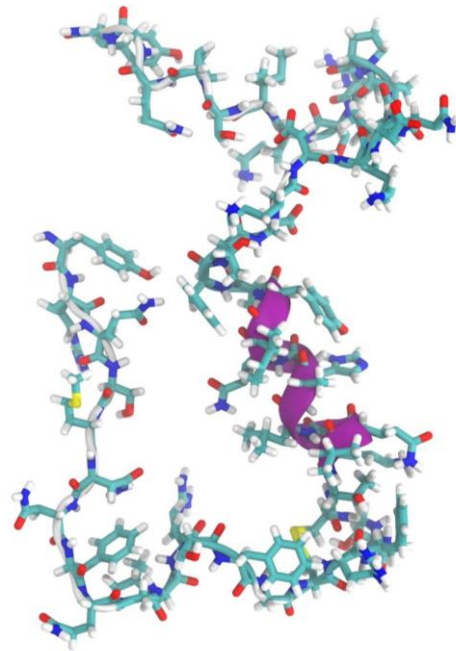
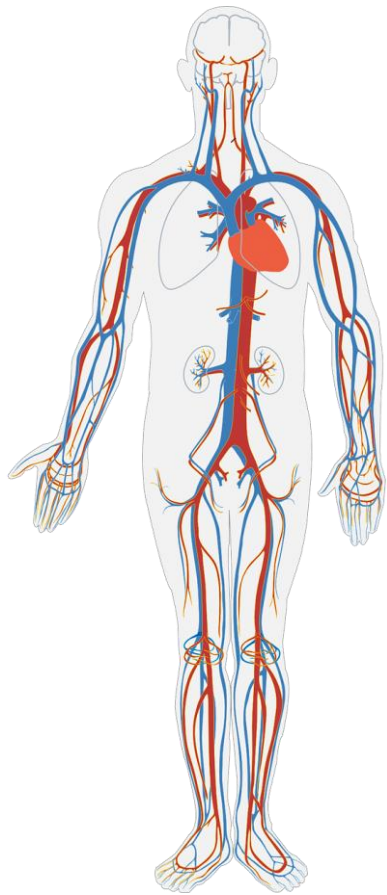
Kompleksisuus

Luonnossa ja suurissa ihmisyhteisöissä on paljon hyvin kompleksisia systeemejä. Tällaisten systeemien simuloiminen ja monimutkaisten ongelmien ratkaiseminen numeerisesti vaatisi usein enemmän laskentatehoa kuin klassisilla tietokoneilla on.



Kompleksisuus

Kvanttitietokoneet
saattaisivat pystyä
tarjoamaan tarvittavan
laskentatehon ja
tehokkaita algoritmeja.



Kuvat: Pixabay

Kvanttitietokone

- Kvanttitietokone on laite, joka kykenee käsittelemään kvanttitiloja.
- Klassiset tietokoneet käsittelevät bittejä (joiden arvo on joko 0 tai 1). Kvanttitietokoneet käsittelevät **kvanttibittejä** eli **kubitteja**.
- Kubitin arvo voi olla 0 tai 1 tai se voi olla näiden kahden **superpositio**! Kubitteilla on muitakin erityisiä kvanttiominaisuuksia (kuten lomittuminen ja superpositio), joiden ansiosta niiden laskentateho on (ainakin teoriassa) suuri.

References: https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_computing
<https://en.wikipedia.org/wiki/Qubit>



Miltä kvanttietokone näyttää (ja kuulostaa)?



Käytämme kohta IBM Q:n tarjoamia resursseja. IBM Q on ensimmäinen yritys rakentaa universaali kvanttietokone tieteen ja yritysten käyttöön.

<https://youtu.be/o-FyH2A7Ed0>



Biteistä kubitteihin

- Kuten aiemmin mainittiin, kvanttietokoneet käyttävät bittien sijaan kubitteja.
- Tilat 0 ja 1 vastaavat klassisia bittejä. Kun puhutaan kubitteista, pelkät numerot korvataan vektorimerkeillä ympäröidyillä numeroilla:

$$0 \rightarrow |0\rangle \quad 1 \rightarrow |1\rangle$$

- Yleisesti superpositiotilassa oleva kubitti voidaan ilmaista:

$$|\varphi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$



Merkintätapa on sama kuin aiemmin kvanttituloille.

Superpositio

Kvanttitietokoneiden laskentateho perustuu osittain superpositiotilojen käyttöön.

Vertaa kahden bitin ja kahden kubitin mahdollisia tiloja:

2 klassista bittiä

0 0
0 1
1 0
1 1

2 kubittia

$$|\varphi\rangle = \alpha|0\rangle_1|0\rangle_2 + \beta|0\rangle_1|1\rangle_2 + \gamma|1\rangle_1|0\rangle_2 + \delta|1\rangle_1|1\rangle_2$$

Kahden kubitin yhdistetty tila ilmaistaan tulona.

Alaindeksit merkitsevät ensimmäistä ja toista kubittia.

Tilavektori sisältää kaikki kombinaatiot samanaikaisesti!



Reference: https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_superposition

Lomittuminen

Toinen kvanttilaskennassa hyödynnettävä kvanttiominaisuus on lomittuminen.

Hiukkaset voivat olla lomittuneet, eli niiden välillä voi vallita kvanttimekaaninen korrelaatio. Kun hiukkasten muodostamasta systeemistä mitataan toisen hiukkasen tila, se kertoo välttämättä myös toisen hiukkasen tilan.

ei-lomittunut

$$|\varphi\rangle = |0\rangle_1|0\rangle_2 + |0\rangle_1|1\rangle_2 = |0\rangle_1(|0\rangle_2 + |1\rangle_2)$$

lomittunut

$$|\varphi\rangle = |0\rangle_1|1\rangle_2 + |1\rangle_1|0\rangle_2$$



Reference: https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_entanglement

Kvanttilaskenta käytännössä

- Kvanttilaskennassa operoidaan kubiteilla hyödyntäen kvanttiloogisia portteja, joiden avulla voidaan koota kvanttialgoritmeja.

Vertaa klassiseen laskentaan!

- Kvanttimekaniikan probabilistisen luonteen vuoksi, myös kvanttialgoritmit ovat probabilistisia.



Quantum Composer

Nyt katsomme kvanttilaskentaa käytännössä! Käytämme *IBM Q Experience* -alustaa, joka tarjoaa virtuaalisen käyttöliittymän kvanttietokoneen ohjelmointiin, ja testaamme omia kvanttialgoritmejamme.

Kun olet rekisteröitynyt verkkosivulle, pystyt ajamaan kvanttialgoritmeja internetin välityksellä viiden kubitin suorittimella.

Quantum Composerin löydät täältä:

<https://quantumexperience.ng.bluemix.net/qx/editor>

Tarkastellaan ensin joitain kvanttiportteja.



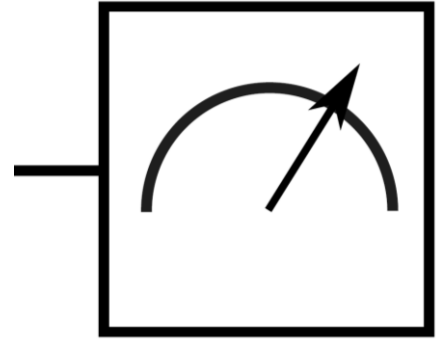
Mittaus

Mittaus ei varsinaisesti ole kvanttiportti (koska se on irreversiibeli), mutta käsittelemme sitä nyt porttina.

Mittaus antaa kubitin arvon.

Kvanttimekaniikassa prosessia, jossa mittaus poimii kvanttililasta arvon, kutsutaan superpositiotilan ”romahtamiseksi”.

Symboli



Mittaus

Mitataan ylimmäisen kubitin tila.

The screenshot displays a quantum circuit simulator interface. At the top, there is a header bar with a code editor icon and the text "Switch to Qasm Editor". To the right of this bar, it shows "Backend: ibmqx4" and "Experiment Units: 3". Further right are "Run" and "Simulate" buttons. The main workspace shows a quantum circuit with five qubits, labeled q[0] through q[4], each starting in the $|0\rangle$ state. A measurement gate (represented by a pink square with a white circle and a diagonal line) is placed on the q[0] line. Below the qubit lines, a classical register 'c' is shown with a measurement symbol and the value '0'. A progress bar is visible at the bottom of the workspace. On the right side, there is a "GATES" panel with an "Advanced" checkbox. The gates listed include id, X, Y, Z, H, S, S†, T, T†, and a measurement gate. Below the gates are "BARRIER" and "OPERATIONS" sections.



X-portti

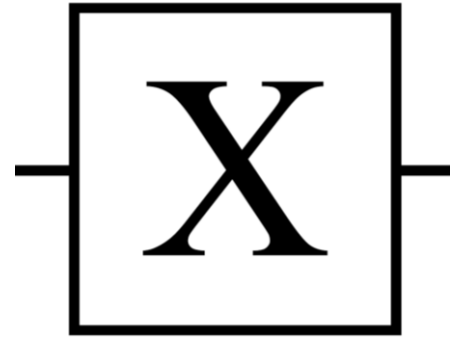
X-porttia kutsutaan myös nimellä «bit flip», koska se kääntää arvon yksi nolaksi ja nollan ykköseksi.

$$|1\rangle \rightarrow |0\rangle$$

$$|0\rangle \rightarrow |1\rangle$$

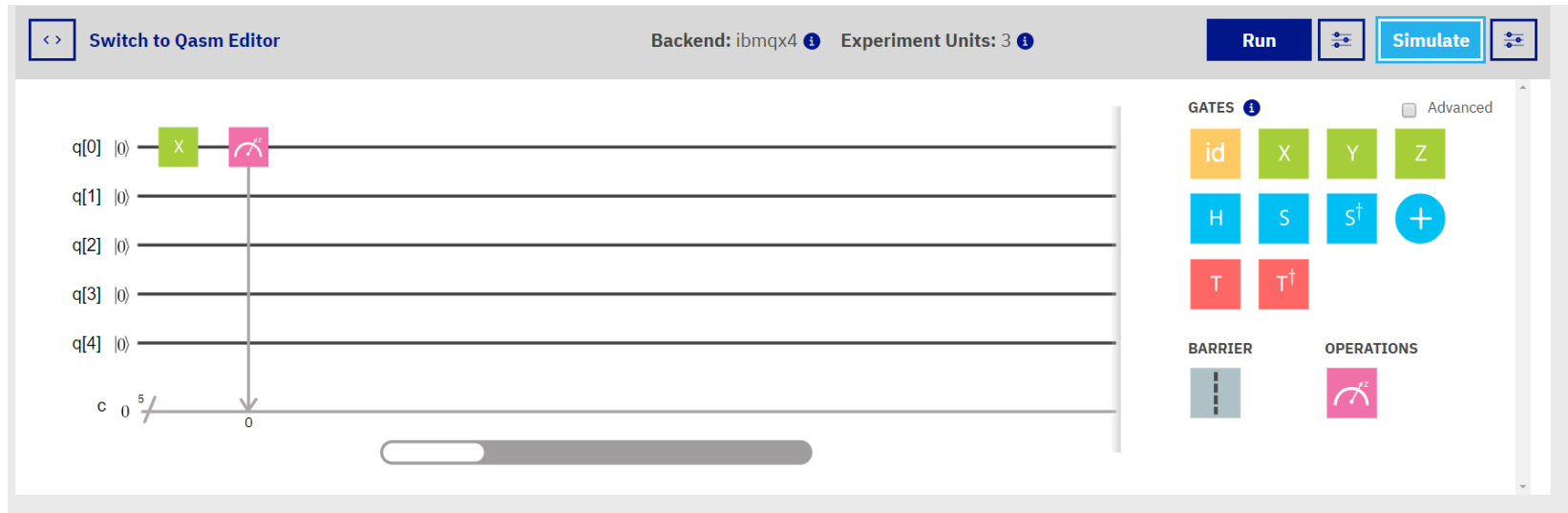
Vertaa klassiseen NOT-porttiin!

Symboli



X-portti

Käännetään ylimmäisen kubitin tila ja mitataan sen arvo.



Kokeile käyttää X-porttia kahdesti samaan kubittiin ja mittaa sitten kubitin arvo.

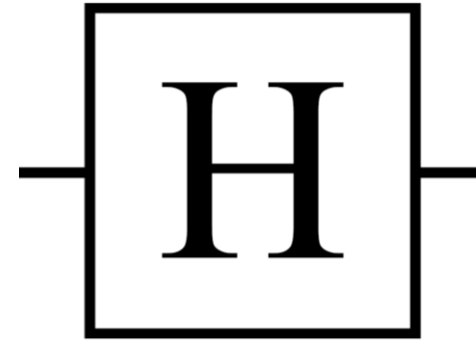
H-portti – Hadamardin portti

Hadamardin portti luo superpositiotilan.
Superpositiotilat ovat usein kvanttilaskennassa
käteviä!

$$|1\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle + |1\rangle)$$

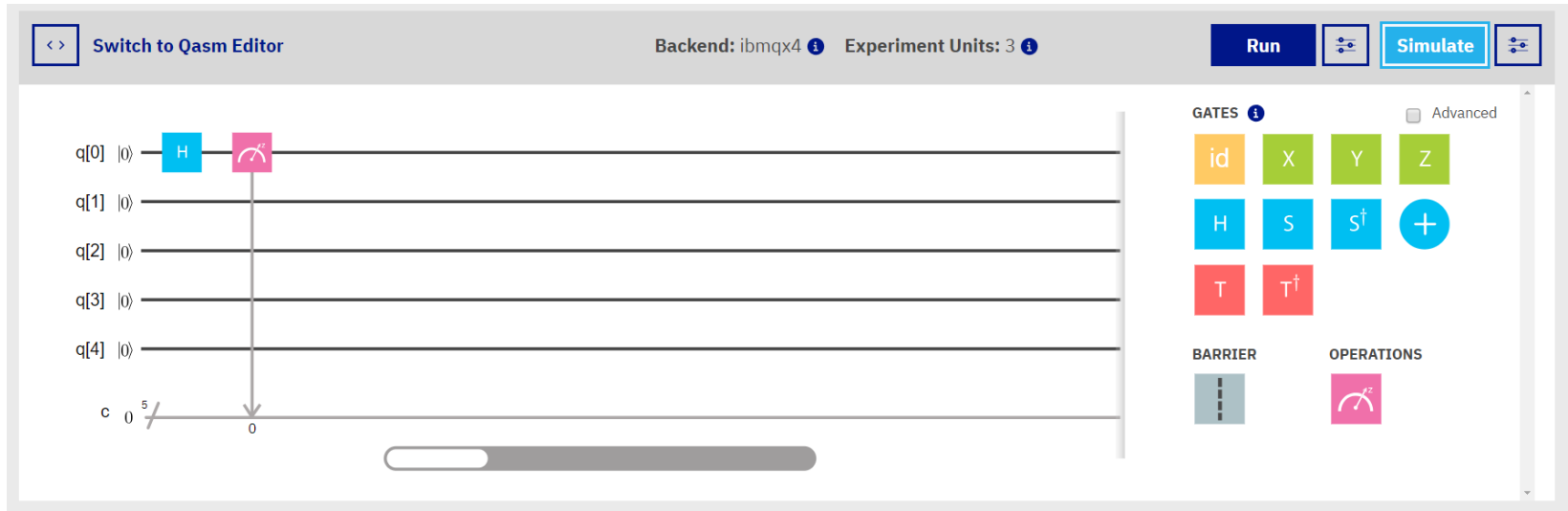
$$|0\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle - |1\rangle)$$

Symboli



H-portti – Hadamardin portti

Käytetään H-porttia ylimmäiseen kubittiin ja mitataan sen arvo.



Kokeile käyttää H-porttia kahdesti samaan kubittiin ja mittaa sitten kubitin arvo.

CNOT-portti – Controlled NOT

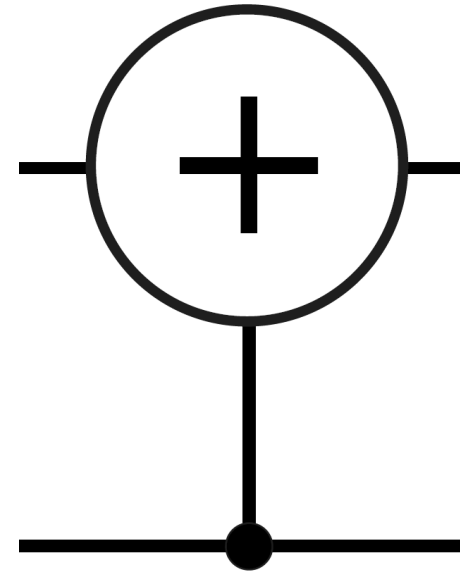
CNOT-portti kääntää kohdekubitin arvon,
jos kontrollikubitin arvo on yksi.

$$|1\rangle_1 \rightarrow |0\rangle_1$$

$$|0\rangle_1 \rightarrow |1\rangle_1$$

jos kontrollikubitti = $|1\rangle_2$

Symboli

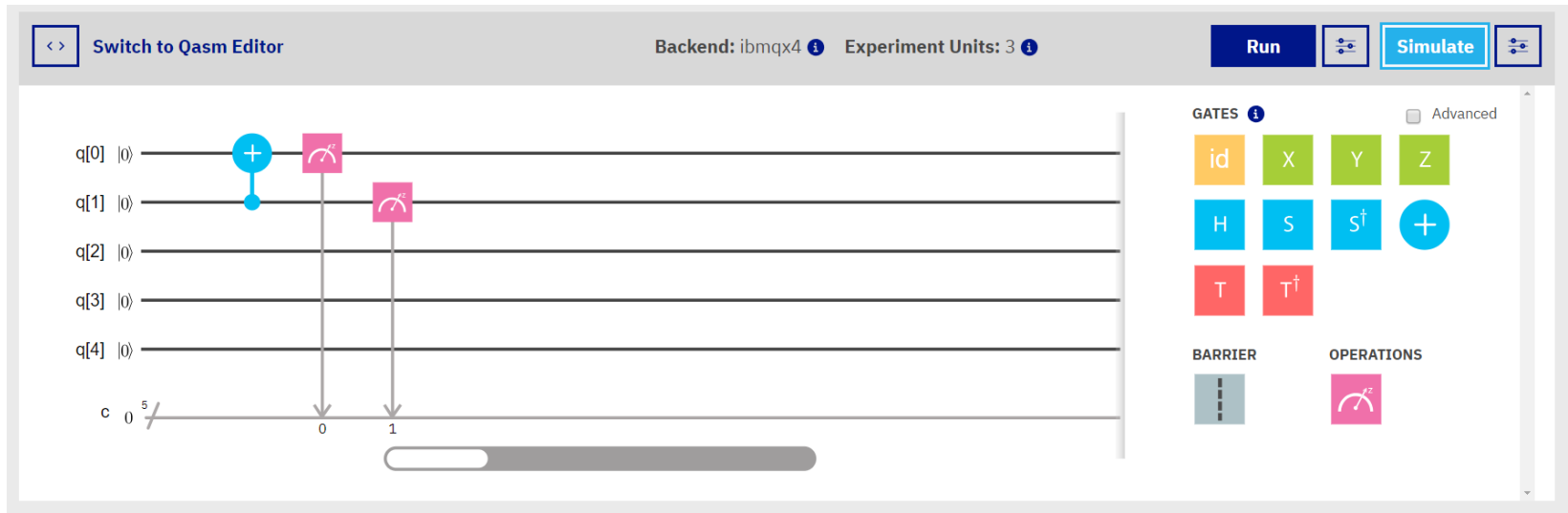


kontrollikubitti



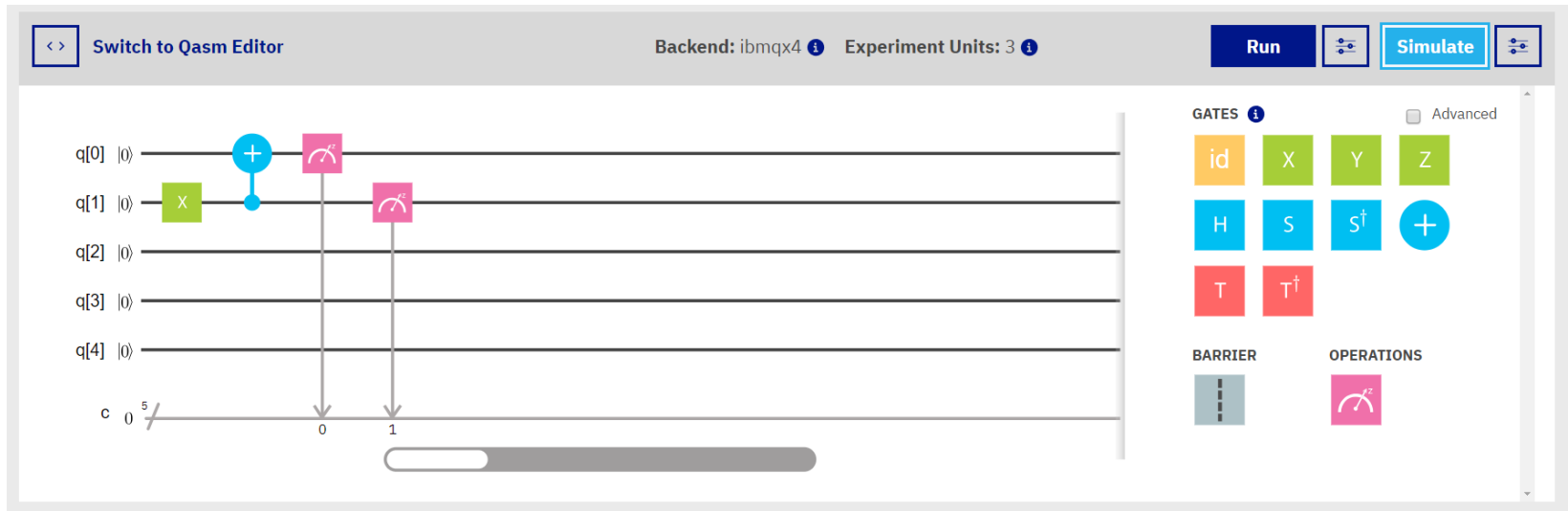
CNOT-portti – Controlled NOT

Käytetään CNOT-porttia ylimmäiseen kubittiin ja mitataan kahden ylimmän kubitin arvot.



CNOT-portti – Controlled NOT

Käännetään ensin toinen kubitti ja käytetään CNOT-porttia ylimmäiseen kubittiin. Tämän jälkeen näiden kubittien arvot mitataan.



Yhteistyökumppanit





It's your time to imagine the futures

www.iseeproject.eu
iseeproject.eu@gmail.com



The project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union.
Grant Agreement n° 2016-1-IT02-KA201-024373.