

Kvantu algoritmu realizācija fiziskā kvantu datorā

Autors: Mārtiņš Kālis. Darba vadītājs: prof. Andris Ambainis, Dr. sc. comp.

Mērķis

Kopš 2016. gada 4. maija ir publiski pieejami *IBM QE* kvantu datori. Šie pirmie pieejamie prototipi ir ierobežoti. Pirmkārt, kubitu skaits pagaidām ir ļoti mazs. Atkarībā no ierīces arhitektūras, ierobežoti ir arī kubitu savienojumi. Šo ierīču ierobežotā spēja tikt galā ar troksni nozīmē, ka praktiski veidojamās shēmas ir *seklas* — veicot pārāk daudz darbību pārāk ilgā laikā, kubiti var zaudēt noderīgo informāciju.

Šī darba mērķis ir aprakstīt šobrīd esošās iespējas un ierobežojumus, realizējot kvantu algoritmus šajos agrīnajos kvantu datoros. Lai to izdarītu, darbā ir realizēti [1] un [2] aprakstītais kvantu galīgais automāts, ciktāl to atļauj esošā tehnoloģija.

Secinājumi

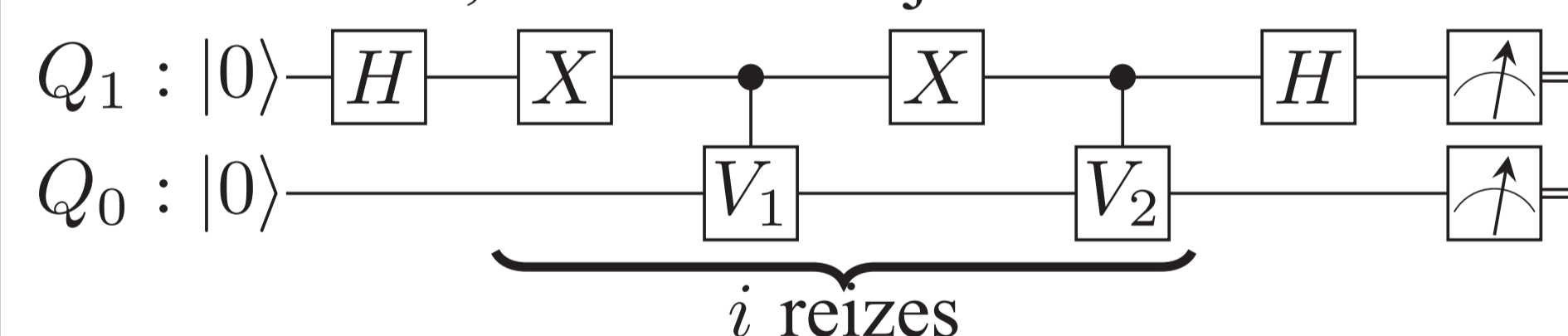
Esošie kvantu datori neatbalsta pilnvērtīgu *QFA* realizāciju, un arī iespējamās simulācijas ir ļoti ierobežotas, ņemot vērā kubitu īso darbības laiku un augstās kļūdas, ko ievieš katrs loģiskais elements. Tomēr šie kvantu datoru prototipi ļauj demonstrēt kvantu skaitļošanas aspektus ierobežotos piemēros. Esošie prototipi dod labu ieskatu arī iespējamajos nākotnes praktiski lietojamajos kvantu datoros. Piemēram, šī darba izstrāde parādīja nozīmi efektīvas procedūras izstrādei patvaļīgas unitāras transformācijas dekompozīcijai, izmantojot kvantu loģiskos pamatelementus. Šie kvantu datoru prototipi arī dod papildu domāšanas modeli par kvantu algoritmu izstrādi.

Kvantu galīgais automāts

Ar galīgu kvantu automātu (*QFA*) tiek saprasts [2] aprakstītais vienvirziena *QFA* $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_{acc}, Q_{rej})$, kur Q ir galīga stāvokļu kopa, Σ ir ieejas alfabēts, δ ir stāvokļu pārejas funkcija, q_0 ir sākuma stāvoklis, Q_{acc} ir akceptējošo stāvokļu kopa, Q_{rej} — noraidošo stāvokļu kopa. Automāta M darba alfabēts ir $\Gamma = \Sigma \cup \{ \phi, \$ \}$.

Ar M_k , kur $k \in \{1, \dots, p-1\}$, apzīmēsim *QFA*, kur $Q = \{q_0, q_1\}$, sākumstāvoklis $|q_0\rangle$, $Q_{acc} = \{q_0\}$, $Q_{rej} = \{q_1\}$, $\Sigma = \{a\}$. Automāts, ielasot simbolu a , veic transformāciju V_a , kur $\phi = 2\pi k/p$ un $V_a |q_0\rangle \rightarrow \cos \phi |q_0\rangle + \sin \phi |q_1\rangle$, $V_a |q_1\rangle \rightarrow -\sin \phi |q_0\rangle + \cos \phi |q_1\rangle$

Divu kubitu gadījumā tiek apvienoti divi šādi automāti (3 kubitu — 4, 4 kubitu — 8, utt.). Divu kubitu gadījumā automāta darbības simulācija, ielasot vārdu a^i , izskatās sekojoši:

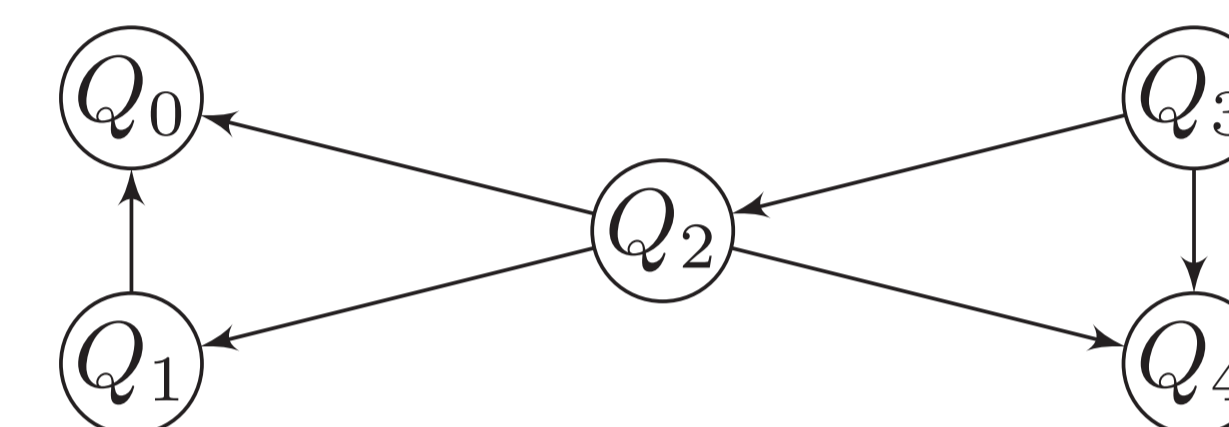


Atsauces

- [1] Andris Ambainis and Rūsiņš Freivalds. 1-way quantum finite automata: strengths, weaknesses and generalizations. In *Foundations of Computer Science, 1998. Proceedings. 39th Annual Symposium on*, pages 332–341. IEEE, 1998.
- [2] Andris Ambainis and Nikolajs Nahimovs. Improved constructions of quantum automata. *Theoretical Computer Science*, 410(20):1916–1922, 2009.

ibmqx4 piecu kubitu ierīce

Šajās ierīcēs ir trīs viena kubita loģiskie pamatelementi un divu kubitu loģiskais elements CNOT. Pamatelementi tiek izmantoti pārējo loģisko elementu veidošanai, kas apgrūtina patvaļīgas teorētiski pieļaujamas transformācijas izveidi.



Kubitu savienojumi (pieļaujамie CNOT virzieni).

Sākotnējais stāvoklis	Mērījuma relatīvais biežums			
	00	01	10	11
00	0.714	0.147	0.073	0.065
01	0.318	0.564	0.051	0.066
10	0.129	0.070	0.737	0.063
11	0.091	0.109	0.142	0.658

($\text{CNOT}(Q_1 \rightarrow Q_0)$)¹⁶ rezultāti. Eksperimenti veikti 22.01.2018. Izpildes laikā *ibmqx4* pēdējās kalibrācijas rādītāji: $T_1(Q_0) = 50.5\mu\text{s}$, $T_2(Q_0) = 25.7\mu\text{s}$, $T_1(Q_1) = 45.0\mu\text{s}$, $T_2(Q_1) = 39.6\mu\text{s}$, $\text{CNOT}(Q_1 \rightarrow Q_0)$ kļūda 0.0233, Mērījuma kļūda Q_0 — 0.054, Q_1 — 0.04. $n = 1024$.