



Universitatea Tehnică a Moldovei

Simularea algoritmilor cuantici pe arhitecturi cuantice

Student:

Lașco Victor

Conducător:

lect. univ. Cărbune Viorel

Chișinău 2020

Adnotare

Lucrarea dată a fost realizată de studentul grupei CRI-191M Lașco Victor. Titlul lucrării este ”Simularea algoritmilor cuantici pe arhitecturi cuantice”.

Lucrarea constă din: introducere, 3 capitole, concluzii generale, bibliografie ce conține (43 de titluri), 60 de foi text, 83 figuri, 45 formule, 10 cuvinte-cheie.

Cuvintele cheie: qubit, poartă, Grover, algoritm, căutare, oracol, calcul, circuit, simulare, superpoziție.

Scopul și obiectivele lucrării: Lucrarea are ca scop implementarea și simularea unui algoritm cuantic pe calculator cuantic și compararea rezultatelor obținute cu cele obținute după simulare pe un calculator clasic.

Obiectivele principale a lucrării date sunt dezvoltarea și simularea algoritmului cuantic grover pe baza arhitecturilor cuantice de calcul.

Metodologia de cercetare: în cadrul lucrării a fost utilizată metodologia ipotetico-deductivă de cercetare. Utilizarea acesteia reiese din natura procesului studiat și posibilitatea de verificare experimentală a ipotezelor formulate pe parcursul cercetării.

Inovație și originalitatea științifică: ca element original și de inovație poate fi constituit faptul că în urma realizării proiectului dat poate fi realizată comparația între algoritmul Grover de căutare în baza de date, care se rulează pe arhitectură cuantică și cea care se rulează pe arhitectura clasică.

Contribuția personală: ca contribuție personală se consideră proiectarea și implementarea algoritmului Grover pe baza unui calculator cuantic, pe platforma IBM Quantum Computing.

Concluzii și recomandări: în concluzie se poate de menționat că calculatoarele cuantice sunt mult mai performante din punct de vedere a hardului, spre deosebire de calculatoarele clasice. Calculatoarele cuantice au o viteză de procesare a informației mult mai mare decât cele clasice, doar rezultatul nu va fi 100% din cauza erorii de zgomot a qubiților.

Annotation

This paper was made by the student of the Laşco Victor group CRI-191M. The title of the paper is "Simulation of quantum algorithms on quantum architectures".

The paper consists of: introduction, 3 chapters, general conclusions, bibliography containing (43 titles), 60 text sheets, 83 figures, 45 formulas, 10 keywords.

Keywords: qubit, gate, grover, algorithm, search, oracle, calculation, circuit, simulation, overlay.

Purpose and objectives of the paper: The paper aims to implement and simulate a quantum algorithm on a quantum computer and compare the results obtained with those obtained after simulation on a classical computer.

The main objectives of this work are the development and simulation of the grover quantum algorithm based on quantum computing architectures.

Research methodology: the hypothetical-deductive research methodology was used in the paper. Its use results from the nature of the studied process and the possibility of experimental verification of the hypotheses formulated during the research.

Innovation and scientific originality: as an original and innovative element can be the fact that following the realization of the given project can be made the comparison between the Grover database search algorithm, which runs on quantum architecture and which runs on classical architecture.

Personal contribution: as a personal contribution is considered the design and implementation of the Grover algorithm based on a quantum computer, on the IBM Quantum Computing platform.

Conclusions and recommendations: in conclusion it can be mentioned that quantum computers are much more efficient in terms of hardware, unlike classic computers. Quantum computers have a much faster information processing speed than conventional ones, only the result will not be 100% due to the noise error of the qubits.

CUPRINS:

Introducere.....	(8)
I Descrierea situației în domeniu.....	(9)
1.1 Model de calcul.....	(9)
1.2 Calculul Infinitesimal.....	(9)
1.3 Calculul Algebric.....	(10)
1.4 Calculul Diferențial și Integral.....	(11)
1.5 Calculul Non-Standard.....	(12)
1.6 Calculul Catenar.....	(13)
1.7 Calculul Funcțional.....	(14)
1.8 Calculul Schubert.....	(14)
1.9 Calculul Tensorial.....	(15)
1.10 Calculul Vectorial.....	(16)
1.11 Calculul Umbral.....	(17)
1.12 Calculul Propozițional.....	(17)
1.13 Calculul Erorilor.....	(18)
1.14 Calculul Bondi k	(18)
1.15 Calculul Jones.....	(19)
1.16 Calculul Operațional.....	(19)
II Descrierea tehnicilor utilizate.....	(21)
2.1 Modelul matematic al calculului cuantic.....	(21)
2.2 Analiza Simulatoarelor Cuantice.....	(28)
2.3 IBM Quantum Computing.....	(29)
2.4 Limbajul de programare QASM.....	(45)
III Realizarea algoritmului Grover.....	(48)
3.1 Algoritmul Grover.....	(48)
3.2 Implimentarea algoritmului Grover de căutare în baza de date.....	(51)
3.3 Simularea algoritmului cuantic de căutare Grover	(60)
Concluzii generale.....	(64)
Bibliografie.....	(65)

INTRODUCERE

În viața de zi cu zi informația este unul dintre cele mai importante resurse care sunt dispuse la îndemâna oamenilor. I-ar prelucrarea ei este un lucru foarte important, care necesită o rezervă foarte mare de timp. Din motiv că un calculator clasic este mult mai lent spre deosebire de un calculator cuantic, este nevoie de ridicat la un nivel mai avansat capacitățile hardware-lui. Un pas semnificativ spre saltul pe un alt nivel al părții hardware ar fi calculatorul cuantic. Un calculator cuantic are capacitatea de a implementa un algoritm mult mai rapid decât un calculator clasic. Acest aspect în mare parte se datorează operațiunilor cu qubiți și cu superpoziția lor. Calculatorul clasic care operează doar cu bit-ul poate analiza un algoritm, care este mai simplu și nu va necesita o cantitate foarte mare de timp, iar rezultatul obținut în urma implementării algoritmului vor avea 100% precizie doar pentru o stare. Spre deosebire de calculatoarele cuantice care pot analiza algoritmi mult mai complecși și vor economisi o parte destul de mare de timp. Calculatoarele cuantice operează cu qubiți și din acest motiv ele pot calcula mai amănunțit rezultatul care va fi obținut în urma efectuării calculului și vor afișa rezultatul care va fi în afișat în formă probabelistică.

Dacă spre exemplu pentru rezolvarea unui algoritm un calculator clasic ar avea nevoie de zeci de ani, un calculator cuantic ar rezolva același algoritm în decurs de câteva minute.

Bibliografie

1. (1995), Apostol T. M. Calculus, Vol. 1: One-Variable Calculus with an Introduction to Linear Algebra (2nd ed.), New York: John Wiley & Sons, ISBN 978-0-471-00005-1.
2. (1995), Marc D. S., Div G.C. and All that. Nonstandard Analysis in Practice. Edited by Francine Diener, New York: W W Norton (2005).
3. (1985), Niven, Ivan. Numerele Iraționale. Mathematical Association of America.. Synge J.L.; Schild A. (1949). Tensor Calculus. first Dover Publications 1978 edition ISBN 9780883850381.
4. (1935-1936), Eduard S. , «Richtungsfelder und Fernparallelismus in n-dimensionalen Mannigfaltigkeiten », Comment. Math. Helv., vol. 8, p. 305-353.
5. (1949), Synge J.L.; Schild A. Calculul Tensorial. first Dover Publications 1978 edition. pp. 6–108.
6. (1959), Pocc Э. Capitolul 6. Cutia neagră , Introducere în cibernetică , An Introduction to Cybernetics. — Ediție Străină,.
7. (1938), Bell, E. T. "The History of Blissard's Symbolic Method, with a Sketch of its Inventor's Life", The American Mathematical Monthly, Mathematical Association of America, 45 (7): 414–421, doi:10.1080/00029890.1938.11990829, ISSN 0002-9890.
8. (2004), Lecție scrisă de Tiberiu Puican pe baza manualului: Matematică. Trunchi comun și curriculum diferențiat, clasa a IX-a, Editura Didactică și Pedagogică, R.A. București,.
9. (2009), Fred I. Cooperstock, General Relativistic Dynamics: Extending Einstein's Legacy Throughout the Universe, World Scientific Publishing Company, ISBN 9789814271165.
10. (1995), B. Schumacher "Quantum coding". Physical Review A. 51 (4): 2738–2747. Bibcode:1995PhRvA..51.2738S. doi:10.1103/PhysRevA.51.2738. PMID 9911903.
11. (1997), Bennett C.H.; Bernstein E.; Brassard G.; Vazirani U. "The strengths and weaknesses of quantum computation". SIAM Journal on Computing. 26 (5): 1510–1523. arXiv:quant-ph/9701001. doi:10.1137/s0097539796300933. S2CID 13403194.
12. (1998), Michel B. Gilles B. Peter H. Alain T. "Tight Bounds on Quantum Searching", Fortsch. Phys., 46: 493–506, arXiv:quant-ph/9605034, Bibcode:1998ForPh..46..493B, doi:10.1002/3527603093.ch10, ISBN 9783527603091.
13. (2004), Andris Ambainis "Quantum search algorithms", SIGACT News, 35 (2): 22–35, arXiv:quant-ph/0504012, Bibcode:2005quant.ph..4012A, doi:10.1145/992287.992296, S2CID 11326499.
14. Algoritmul lui Grover <https://web.archive.org/web/20170116155032/http://davy.wtf/quantum/?example=Grover%27s%20Algorithm>. – accesat 28.11.2020
15. (2005), Viamontes G.F.; Markov I.L.; Hayes J.P. "Is Quantum Search Practical?", Computing in Science and Engineering, 7 (3): 62–70, arXiv:quant-ph/0405001, Bibcode:2005CSE.....7c..62V,

doi:10.1109/mcse.2005.53, S2CID 8929938.

16. (2010), Nielsen, Michael A.; Chuang, Isaac L. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press. p. 13. ISBN 978-1-107-00217-3.
17. (1997), Shor, Peter "Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer*". SIAM Journal on Computing. (5): 1484–1509. arXiv:quant-ph/9508027. Bibcode:1995quant.ph..8027S. doi:10.1137/S0097539795293172. S2CID 2337707.
18. (2009), Horodecki, Ryszard; "Quantum entanglement". Reviews of Modern Physics. (2): 865–942. arXiv:quant-ph/0702225. Bibcode:2009RvMP...81..865H. doi:10.1103/RevModPhys.81.865. S2CID 59577352.
19. (2018), Preskill, John "Quantum Computing in the NISQ era and beyond". Quantum. 2: 79. arXiv:1801.00862. doi:10.22331/q-2018-08-06-79. S2CID 44098998.
20. (2017) "Qudits: The Real Future of Quantum Computing?". IEEE Spectrum. 2017-06-28.
21. (2019), B. Lucatto; "Charge qubit in van der Waals heterostructures". Physical Review B. 100(12):121406. arXiv:1904.10785. Bibcode:2019PhRvB.100i1406L. doi:10.1103/PhysRevB.100.121406. S2CID 129945636.
22. (2008), J. J. L. Morton; "Solid-state quantum memory using the ³¹P nuclear spin". Nature. 455(7216):1085-1088. arXiv:0803.2021. Bibcode:2008Natur.455.1085M. doi:10.1038/nature07295 S2CID 4389416.
23. (2013), Kamyar S. "Room-Temperature Quantum Bit Storage Exceeding 39 Minutes Using Ionized Donors in Silicon-28". Science. 342 (6160): 830–833. Bibcode:2013Sci...342..830S. doi:10.1126/science.1239584. PMID 24233718. S2CID 42906250.
24. (1965), Hermann B, Lectures on General Relativity, Brandeis Summer Institute in Theoretical Physics, éditions S. Derser and K.W. Ford, vol.1, Prentice-Hall, New Jersey.
25. (1978), Roman, Steven M.; Rota, Gian-Carlo "The umbral calculus", Advances in Mathematics, 27 (2): 95–188, doi:10.1016/0001-8708(78)90087-7, ISSN 0001-8708, MR .
26. (1973), J.A. Wheeler; C. Misner; K.S. Thorne Gravitation. W.H. Freeman & Co. pp. 61, 202–203, 232. ISBN 0-7167-0344-0.
27. (2010), G. Woan, The Cambridge Handbook of Physics Formulas. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-57507-2.
28. (2012), T. Frankel, The Geometry of Physics (3rd ed.), Cambridge University Press, p. 298, ISBN 978-1107-602601.
29. (1973), J.A. Wheeler; C. Misner; K.S. Thorne, Gravitation. W.H. Freeman & Co. pp. 510, §21.5. ISBN 0-7167-0344-0.
30. (2012), T. Frankel The Geometry of Physics (3rd ed.), Cambridge University Press, p. 299,

ISBN 978-1107-602601.

31. (2005), N.P. Bali, Golden Integral Calculus. Firewall Media. p. 472. ISBN 81-7008-169-6.
32. (1986), Martin, George E., The foundations of geometry and the non-euclidean plane (1st corr. ed.). New York: Springer-Verlag. p. 416. ISBN 3-540-90694-0.
33. (1996), Robinson A. Nonstandard analysis (Revised ed.). Princeton University Press. ISBN 0-691-04490-2.
34. (2008), Bell, J. L., John L. A primer of infinitesimal analysis (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-0-511-37143-1. OCLC 316764804.
35. „Nuanțele programării” <https://medium.com/nuances-of-programming> - accesat 10.10.2020.
36. (1990), Chang, C. C.; Keisler, H. J. Model theory. Third edition. Studies in Logic and the Foundations of Mathematics, 73. North-Holland Publishing Co., Amsterdam, xvi+650 pp. ISBN 0-444-88054-2.
37. “Algoritmul grover și căutarea datelor”<https://habr.com/ru/company/piter/blog/471010/> accesat 12.10.2020.
38. “Informația cuantică și algoritmi de vareabile continue”https://dSPACE.spbu.ru/bitstream/11701/11419/1/diplom_DyakovaOE.pdf - accesat 21.10.2020.
39. (2001), Bartle R. A Modern Theory of Integration, AMS, ISBN 0-8218-0845-1.
40. (1987), Rudin W. Real and Complex Analysis (third ed.), New York: McGraw-Hill Book Co., ISBN 0-07-054234-1.
41. “Evaluarea performanței transformării cuantice Fourier pe un dispozitiv cuantic modern” <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1214001/FULLTEXT01.pdf> - accesat 02.11.2020.
42. “T-count and Qubit Optimized Quantum Circuit Design of the Non-Restoring Square Root Algorithm” <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0705/0705.4171.pdf> - accesat 04.12.2020.
43. „Platforma de lucru”<https://www.ibm.com/quantum-computing/> - accesat 05.12.2020.