ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

(2023)

13ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση: Πρακτικά Εκτεταμένων Συνόψεων των Εργασιών

Εργαστηριακή εισαγωγή στην κβαντική υπολογιστική

Ιωάννης Θεοδώνης

doi: 10.12681/codiste.5498

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 06/12/2025 11:01:17

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ

Ιωάννης Θεοδώνης[1]

[1]ΕΔΙΠ Τομέας Φυσικής, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, ΕΜΠ

ytheod@mail.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Γίνεται όλο και πιο φανερό ότι η περίοδος που διανύουμε αποτελεί μια περίοδο άνθησης των κβαντικών υπολογιστών. Οι κβαντικοί υπολογιστές είναι πλέον ελεύθερα διαθέσιμοι για την εκτέλεση κβαντικών αλγορίθμων που έχουν υλοποιηθεί σε Python με τη χρήση των βιβλιοθηκών ανοιχτού κώδικα Qiskit που έχει αναπτύξει η IBM. Η εκπαιδευτική μας πρόταση αποτελείται από: α)Σημειωματάριο Jupyter το οποίο οι εκπαιδευόμενοι έρχονται άμεσα σε επαφή με τις αρχές των κβαντικών υπολογιστών μέσω παραδειγμάτων κα κβαντικών αλγορίθμων με τη χρήση της γλώσσας κβαντικού προγραμματισμού Qiskit της IBM, β)διάλεξη-παρουσίαση και συζήτηση του προαναφερθέντος σημειωματάριου με παράλληλη εργαστηριακή άσκηση των εκπαιδευομένων και γ) ασκήσεις με προτεινόμενες λύσεις. Θα γίνει εισαγωγή στο κβαντικό μπιτ (qubit), στις κβαντικές πύλες, στα κβαντικά κυκλώματα και θα παρουσιαστεί ως παράδειγμα υπεροχής των κβαντικών υπολογιστών, ο αλγόριθμος υπέρπυκνης κωδικοποίησης. Το εργαστήριο αφορά τόσο καθηγητές όσο και μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και απαιτεί την εκ μέρους τους προσκόμιση φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Λέξεις κλειδιά: Κβαντικοί υπολογιστές, Κβαντικός προγραμματισμός, κβαντικές πύλες.

LABORATORY INTRODUCTION TO QUANTUM COMPUTING

Ioannis Theodonis[1]

[1]EDIP, Physics Department, School of Applied Mathematical and Physical Sciences, NTUA

ytheod@mail.ntua.gr

ABSTRACT

It is becoming more and more apparent that the period we are living in is a boom period for quantum computing. Quantum computers are now freely available to run quantum algorithms implemented in Python using the Qiskit open source libraries developed by IBM. Our educational proposal consists of: a) Jupyter Notebook in which the students directly come into contact with the principles of quantum computing through examples and quantum algorithms using IBM's Qiskit quantum programming language, b) lecture-presentation and discussion of the aforementioned notebook with a parallel laboratory exercise of the trainees and c) exercises with proposed solutions. An introduction will be made to the quantum bit (qubit), quantum gates, quantum circuits and an example of the supremacy of quantum computers, the hyperdense coding algorithm, will be presented.

Keywords: Quantum Computers, Quantum programming, Quantum Gates

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βρισκόμαστε στην αυγή της δεύτερης κβαντικής επανάστασης (Dowling, 2013), αφού πλέον η κβαντική φυσική βγαίνει από το επίπεδο της θεωρίας και του ερευνητικού εργαστηρίου και εξελίσσεται σε κβαντική τεχνολογία που θα χρησιμοποιείται ευρέως από την κοινωνία. Όροι όπως κβαντικός υπολογιστής, κβαντικό μπιτ, κβαντική υπεροχή, κβαντική κρυπτογραφία και κβαντική τηλεμεταφορά αναφέρονται πλέον συχνά στα τεχνολογικά νέα. Αυτό δεν είναι τυχαίο αφού όλο και περισσότεροι πόροι δεσμεύονται διεθνώς για την ανάπτυξη κβαντικών τεχνολογιών και υπολογιστών (QUREKA, 2022). Οι σημερινοί μαθητές και νέοι φοιτητές, μέσα στην επόμενη δεκαετία, θα κληθούν όχι μόνο να χρησιμοποιήσουν αλλά και να αναπτύξουν περαιτέρω τις νέες αυτές κβαντικές τεχνολογίες και να προγραμματίσουν τους κβαντικούς υπολογιστές για να δώσουν λύσεις σε πολλά από τα προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας. Η παρούσα εκπαιδευτική εργαστηριακή πρόταση σχεδιάστηκε ώστε να περιέχει τις απολύτως απαραίτητες γνώσεις για μια γρήγορη γνωριμία με τις αρχές των κβαντικών υπολογιστών.

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Το εργαστήριο αποτελείται από ένα σημειωματάριο Jupyter, το οποίο έχει σχεδιαστεί με σκοπό την γρήγορη θεωρητική εισαγωγή στις βασικές έννοιες που διέπουν το πεδίο των κβαντικών υπολογιστών αλλά και την πρακτική εξάσκηση σε πραγματικό περιβάλλον υλοποίησης και εκτέλεσης ενός κβαντικού αλγόριθμου με python\Qiskit.

ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Το εργαστήριο χωρίζεται στις παρακάτω διδακτικές ενότητες:

1. *Μιγαδικοί αριθμοί*

   Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια γρήγορη εισαγωγή στους μιγαδικούς αριθμούς και τις απαραίτητες σχετικές έννοιες όπως πράξεις με μιγαδικού, συζυγής και απόλυτη τιμή.

2. *Συμβολισμός Dirac*

   Σε αυτή την ενότητα οι εκπαιδευόμενοι εισάγονται στο συμβολισμό του Dirac (bra | ket) $< a|b >$ για τις κβαντικές καταστάσεις και την αναπαράστασή τους με πίνακες στήλες, ορίζεται το εσωτερικό γινόμενο, το μήκος διανύσματος και η ορθοκανονικότητα.

3. *Κβαντικό μπιτ (qubit)*

   Στην ενότητα αυτή ορίζεται το κβαντικό bit (qubit), η έννοια της μέτρησής του και η ανάγκη κανονικοποίησης.

4. *Κβαντικές πύλες ενός qubit*

   Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται, η έννοια της κβαντικής πύλης ως ένας μοναδιακός πίνακας, που μετασχηματίζει ένα διάνυσμα βάσης σε ένα άλλο, η κβαντική πύλη Hadamard που δημιουργεί κβαντική κατάσταση ισοβαρούς υπέρθεσης και η πύλη X (NOT) η οποία αντιστρέφει την κατάσταση ενός qubit και τέλος την πύλη Z.

5. *Πολλά qubit – Σύμπλεξη(Entanglement)*

   Εισάγεται η πράξη τανυστικό γινόμενο, επεξηγείται πως προκύπτει η κατάσταση δύο qubit και παρουσιάζεται η πιο σημαντική πύλη δύο qubit, η πύλη CNOT. Ορίζεται η έννοια της κβαντικής

σύμπλεξης(entanglement) ανάμεσα σε qubit και παρουσιάζεται κβαντικό κύκλωμα σύμπλεξης και αποσύμπλεξης δύο qubit.

6. *Υπέρπυκνη κωδικοποίηση(Superdense coding)*

   Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται το πρωτόκολλο υπέρπυκνης κωδικοποίησης, το οποίο δίνει την δυνατότητα μετάδοσης δύο μπιτ κλασσικής πληροφορίας με την μετάδοση ενός μόνο qubit. Οι χρήστες υλοποιούν τον απαραίτητο κβαντικό αλγόριθμο ο οποίος βασίζεται στην σύμπλεξη. Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί μια πρώτη επαφή με τις «παράξενες» δυνατότητες των qubit οι οποίες δεν πρόκειται ποτέ να υπάρξουν κλασσικά.

ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

Το εργαστήριο έχει σχεδιαστεί να διαρκεί 105 λεπτά. Οι ενότητες 1,2,3,4 θα διδαχθούν στα πρώτα 45 λεπτά ενώ οι ενότητες 5,6 στα επόμενα 45 λεπτά. Στα τελευταία 15 λεπτά οι εκπαιδευόμενοι θα κληθούν να υλοποιήσουν την δική τους έκδοση του αλγόριθμου υπέρπυκνης κωδικοποίησης υπό την επίβλεψη του εκπαιδευτή. Η προσκόμιση φορητού υπολογιστή γίνεται με ευθύνη των εκπαιδευομένων. Αφορά τόσο καθηγητές όσο και μαθητές με βασικές γνώσεις προγραμματισμού.

ΣΗΜΕΙΩΜΑΤΑΡΙΟ JUPYTER & ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Όλο το απαραίτητο υλικό καθώς και οδηγίες για την εγκατάσταση βρίσκονται στο αποθετήριο στον παρακάτω σύνδεσμο:

https://ntuagr-my.sharepoint.com/:u:/g/personal/ytheod_ntua_gr/EdDJRzMP_cBBt3hqDRCMEycB9JENUfoocyWRY0gYmSuxLw?e=cgUOEb

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Dowling, Jonathan P. (2013), Schrödinger's Killer App: Race to Build the World's First Quantum Computer.
QUREKA (2022), https://qureca.com/overview-on-quantum-initiatives-worldwide-update-2022/