

۱.۰ مقدمه

در عصر حاضر بواسطه‌ی رشد و توسعه‌ی نظریه‌ی اطلاعات کوانتومی و سرمایه‌گذاری‌های مالی و انسانی بسیار در این زمینه، شاهد افزایش تعداد علاقمندان به این حوزه هستیم. در این پا

فصل ۱

آشنایی با مفاهیم اولیه

۱.۱ کیوبیت

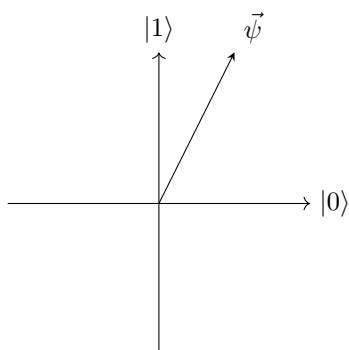
یک کیوبیت^۱، معادل یک واحد اطلاعات کوانتومی می‌باشد. این مفهوم معادل مفهوم کلاسیک بیت^۲ می‌باشد. به طور کلی هر کیوبیت حاوی دو بیت اطلاعات است. برای تبیین یک کیوبیت از خصوصیات سامانه های کوانتومی، بهره‌می‌بریم. کیوبیت یک سیستم کوانتومی با فضای دوبعدی است. برای تعیین این دوبعد می‌توان از یکی از خصوصیات سامانه های کوانتومی استفاده کرد.

برخلاف بیت ها که مقادیر ثابت ۰ یا ۱ را به خود می‌گیرند؛ یک کیوبیت می‌تواند در یک حالت «برهم‌نهی کوانتومی» باشد؛ این بدان معناست که یک کیوبیت بواسطه‌ی مشاهده ناظر به یکی از حالات ۰ یا یک تبدیل شود. این مهم‌ترین مزیت استفاده از کیوبیت‌هاست. بیان ریاضی یک کیوبیت، در حالت برهم‌نهی، به شرح زیر است:

$$\begin{cases} |\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \\ \alpha^2 + \beta^2 = 1 \end{cases}$$

Qubit^۱
Bit Binary^۲

کت‌ها $|0\rangle$ و $|1\rangle$ بیانگر پایه‌های فضای محاسباتی^۳ هستند؛ و مقادیر α^2 و β^2 بیانگر احتمال وقوع هر یک از این حالات، در صورت مشاهده، می‌باشند. نمایش بردار ψ به شرح زیر است:



در بسیاری از مواقع برای سهولت در محاسبات، عملگرها و حالات کوانتومی به کمک ماتریس‌ها نمایش داده می‌شوند. فرم ماتریسی هر یک از حالات ذکر شده در بالا به شرح زیر است:

$$|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad |0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (۱.۱)$$

برای تعریف کیوبیت‌ها، راه‌های زیادی وجود دارد، حالات قطبش فوتون، اسپین الکترون، یا سطوح انرژی اتم، هر یک می‌توانند تعیین‌کننده‌ی بردارهای فضای کیوبیت باشند.

۲.۱ ba - fourier - basis computayional - vector bloch

sis

۳.۱ گیت‌های کوانتومی

گیت‌های کوانتومی^۴ یکی از اولین و مهم‌ترین اجزای مدارهای کوانتومی می‌باشند. این گیت‌ها عملگرهایی با قابلیت اثرگذاری روی کیوبیت‌ها می‌باشند. با اعمال یک گیت کوانتومی بر روی یک یا چند کیوبیت،

^۳ Computational Basis Vectors
^۴ Quantum Gates

می‌توان تغییرات مدنظر خود را روی کیوبیت اعمال کرد. با کمک این گیت‌ها می‌توان باعث درهم‌نهی کوانتومی یا رمزگذاری داده در داخل یک یا چند کیوبیت شد.

۱.۳.۱ انواع گیت کوانتومی

گیت‌های کوانتومی، دارای انواع مختلف گوناگونی می‌باشند. به طور کلی گیت‌های کوانتومی، عملگرهایی یکه و بازگشت‌پذیر می‌باشند.

گیت هادامارد

مهم‌ترین گیت کوانتومی، گیت هادامارد^۵ است. با اعمال اثر این گیت روی یک کیوبیت، آن کیوبیت به یک حالت درهم‌نهی کوانتومی گذار می‌کند. به عبارت دیگر هر یک از زیرحالات این حالت درهم‌نهی، با احتمال یکسانی قابل رخ دادن هستند.

$$H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) \quad H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$$

این گیت کوانتومی به صورت خطی روی یک دسته‌کت اثر می‌کند. نمایش ماتریسی این گیت کوانتومی به شرح زیر است:

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$$

^۵Hadamard gate

$$H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$$

این گیت کوانتومی، یک گیت بازگشت پذیر است؛ یعنی اگر این گیت روی یک حالت کوانتومی اثر کند؛ می تواند آن را از حالت برهنه بی خارج کند.

برای اعمال این گیت کوانتومی، فقط به یک کیوبیت نیاز داریم. به اصطلاح این گیت، یک-Single Qubit Quantum gate می باشد.

نمایش این گیت کوانتومی در مدار با علامت زیر است:



گیت CNOT

گیت کوانتومی CNOT^۶، به عنوان گیت منطقی، یاد می شود. این گیت کوانتومی معادل گیت NOT کلاسیک می باشد. به طور معمول، برای اعمال اثر این گیت کوانتومی نیاز به دو کیوبیت داریم. این گیت کوانتومی فقط و فقط در مواقعی که «کیوبیت کنترل^۷» دارای مقدار $|1\rangle$ باشد، باعث تغییر وضعیت «کیوبیت هدف^۸» می شود.

کیوبیت کنترل: کیوبیت هدف:

خلاصه ای از عملکرد این تابع به شرح زیر است:

ببین چرا از این نماد به جای تَنسور پراداکت استفاده شده

$ A\rangle$	$ B\rangle$		$ A\rangle$	$ B \oplus A\rangle$
$ \text{control}\rangle$	$ \text{target}\rangle$	Effect CNOT Gate	$ \text{control}\rangle$	$ \text{target}\rangle$
$ 0\rangle$	$ 0\rangle$	\Rightarrow	$ 0\rangle$	$ 0\rangle$
$ 0\rangle$	$ 1\rangle$	\Rightarrow	$ 0\rangle$	$ 1\rangle$
$ 1\rangle$	$ 0\rangle$	\Rightarrow	$ 1\rangle$	$ 0\rangle$
$ 1\rangle$	$ 1\rangle$	\Rightarrow	$ 1\rangle$	$ 1\rangle$

نمایش ماتریسی این گیت کوانتومی به شکل زیر است:

gate controlled-X or gate controlled-NOT^۶

Qubit Controlled^۷

Qubit Target^۸

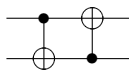
اینا باید اصلاح بشه

$$\text{CNOT} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{CNOT} |1\rangle = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = |1\rangle$$

$$\text{CNOT} |11\rangle = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = |10\rangle$$

نمایش در داخل مدار:



از این گیت کوانتومی، برای بسیاری مدارها و شبیه‌سازی‌های کوانتومی، از جمله تلپورت، درهم‌تنیدگی و ... استفاده می‌شود.

گیت توفولی

گیت کوانتومی توفولی، یک نوع خاص از گیت CNOT است. سازوکار این گیت مشابه گیت CNOT می‌باشد؛ با این تفاوت که با در نظر گرفتن وضعیت دو کیوبیت کنترل شده، وضعیت کیوبیت سوم را

تغییر می‌دهد. خلاصه ای از عملکرد این گیت کوانتومی به شرح زیر است:

به بیان دیگر اگر دو کیوبیت کنترل شده، مقدار یک داشته باشند؛ کیوبیت هدف مقدارش تغییر می‌کند. فرم ماتریسی این عملگر به شکل زیر است:

این گیت کوانتومی در مدار کوانتومی به شکل زیر نشان داده می‌شود:

گیت تغییر فاز

گیت تغییر فاز^۹، یکی از گیت های مهم کوانتومی می‌باشد. این گیت با ضرب کردن یک عدد ثابت در فاز یک کیوبیت، باعث تغییر فاز کیوبیت می‌شود. این گیت کوانتومی در بسیاری از الگوریتم‌های سرچ کوانتومی به کار می‌رود. این گیت بدین صورت تعریف می‌شود:

فرم ماتریسی این گیت به شرح زیر است:

این گیت کوانتومی در مدار کوانتومی به شکل زیر نشان داده می‌شود:

گیت دوران

گیت دوران^{۱۰}، باعث دوران حالت کیوبیت، در فضای هیلبرت می‌شود. پایه‌های فضای هیلبرت مذکور بردارهای هستند. نمایش این گیت کوانتومی به شرح زیر است:

فرم ماتریسی این گیت به شرح زیر است: نمایش این گیت در مدار کوانتومی به شرح زیر است:

۲.۳.۱ gate Swap

۴.۱ مدارهای کوانتومی

مدارهای کوانتومی^{۱۱}، یک دسته از گیت های کوانتومی، که با یک توالی بخصوص قرار گرفته اند، می‌باشند. این کیوبیت ها، با توالی یاد شده، روی یک یا چند دسته کیوبیت، اثر داده می‌شوند.

مدارهای کوانتومی، یکی از اولین مفهوم‌های بکاررفته برای تعریف کامپیوترهای کوانتومی می‌باشند. برای تعریف و شبیه‌سازی هریک از پدیده‌ها و الگوریتم‌های کوانتومی، نیاز به یک مدار به‌خصوص داریم.

^۹gate shift Phase

^{۱۰}gate Rotation

^{۱۱}circuit quantum

شباهت ها و تفاوت های مدارهای کلاسیک و کوانتومی

gates quantum use they but circuits, classical to similar are circuits Quantum that operations reversible are gates Quantum gates. logic classical of instead qubit. a of state quantum the manipulate to used be can

circuits quantum between differences and similarities some are here Sure,

circuits: classical and

****Similarities:****

op- of sequence a of composed are circuits classical and quantum Both * represented be can circuits Both * data. of set a to applied are that erations implement to used be can circuits Both * notation. similar a using graphically algorithms.

****Differences:****

unit basic their as bits, quantum are which qubits, use circuits Quantum * of unit basic their as bits, classical are which bits, use circuits Classical data. of operations, reversible are which gates, quantum use circuits Quantum * data. irre- are which gates, logic use circuits Classical operations. basic their as exploit can circuits Quantum * operations. basic their as operations, versible entangle- and superposition as such mechanics, quantum of properties the computers. classical for impossible are that tasks perform to ment.

between differences and similarities the summarizes that table a is Here

circuits: classical and circuits quantum

data of unit Basic					Circuit Classical	Circuit Quantum	Feature
Reversibility		gates Logic	gates Quantum	operations Basic		Bit	Qubit
Possible		No	Yes	mechanics quantum	Exploits		Irreversible
Reversible		Reversible	quantum simulating databases,	unsorted searching integers,	Factoring		tasks
logical calculating,		Sorting,		systems			

questions. other any have you if know me Let helps! this hope I

اجزای مدارهای کوانتومی و ساینز آن

They qubits. on performed are that actions the are Operations Operations:
actions. other or initializations, measurements, be can

The circuit. the in gates of number the is circuit quantum a of size The
of size the of terms in measured often is algorithm quantum a of complexity
it. implement to required is that circuit quantum the

Qubits

can They computing. quantum in information of unit basic the are Qubits
be can qubit a that means This . ۱ and ۰ states, two of superposition a in be
superposi- quantum called property a is which time, same the at ۱ and ۰ both
is qubit one of state the that means which entangled, be also can Qubits tion.
qubit. another of state the on dependent

Gates

create to used be can They qubits. to applied are that operations are Gates
dif- many are There qubits. entangle and rotations, perform superpositions.
Hadamard the include ones common most the of some but gates, of types ferent
gate. Toffoli the and gate, CNOT the gate.

Operations

mea- be can They qubits. on performed are that actions the are Operations
collapse to used are Measurements actions. other or initializations, surements.
used are Initializations . ۱ or ۰ value, definite a into qubit a of state quantum the
. ۱ or ۰ value, specific a to qubit a of state the set to

Circuits Quantum

the to similar is that notation graphical a using written are circuits Quantum
quan- a of axis horizontal The computing. classical in used diagrams circuit
The qubits. the represents axis vertical the and time, represents circuit tum
the represent boxes the between lines the and boxes, by represented are gates
qubits. the between connections

Conclusion

oper- and gates, qubits, are circuit quantum a of components basic The

are which algorithms, quantum create to used are components These ations.
 cir- Quantum computer. quantum a on performed be only can that algorithms
 potential the have they and computation, quantum for tool powerful a are cuits
 and chemistry, cryptography, including fields, different many revolutionize to
 learning. machine

۱.۴.۱ نحوه‌ی نمایش مدارهای کوانتومی

the to similar is that notation graphical a using written are circuits Quantum
 quan- a of axis horizontal The computing. classical in used diagrams circuit
 The qubits. the represents axis vertical the and time, represents circuit tum
 the represent boxes the between lines the and boxes, by represented are gates
 qubits. the between connections
 can They computation. quantum for tool powerful a are circuits Quantum
 Shor's including algorithms, quantum of variety wide a implement to used be
 unsorted searching for algorithm Grover's and integers factoring for algorithm
 databases.

فصل ۲

برنامه‌نویسی کوانتومی

۱.۲ تفاوت کامپیوتر کلاسیک و کوانتومی

۲.۲ Qiskit and computer Quantum IBM

فصل ۳

algorithms query Quantum

۱.۰.۳ oracle and Query

این دوره مزایای محاسباتی را که اطلاعات کوانتومی ارائه می دهد، بررسی می کند. به عبارت دیگر، ما در مورد آنچه می توانیم با رایانه های کوانتومی انجام دهیم و مزایایی که می توانند نسبت به رایانه های کلاسیک معمولی ارائه دهند، فکر خواهیم کرد. به طور خاص، تمرکز ما بر آنچه می توانیم با یک رایانه کوانتومی واحد انجام دهیم خواهد بود - برخلاف یک محیط توزیع شده که در آن چندین رایانه کوانتومی از طریق یک شبکه با هم تعامل دارند. (در واقع، مزایای کوانتومی در تنظیمات توزیع شده وجود دارد، جایی که ارتباطات و رمزنگاری وارد عمل می شوند، اما این موضوع خارج از محدوده این واحد است.) ما با یک سوال طبیعی شروع خواهیم کرد: مزایایی که یک رایانه کوانتومی ممکن است به طور بالقوه ارائه دهد چیست؟

اولین مزیت بالقوه، که از همه مهمتر است، این است که رایانه های کوانتومی ممکن است راه حل های سریع تری برای برخی از مشکلات محاسباتی ارائه دهند. زمان یک منبع واقعاً گرانبها است - و این پتانسیل، اینکه رایانه های کوانتومی ممکن است به ما اجازه دهند تا برخی از مشکلات محاسباتی را که رایانه های کلاسیک برای حل آنها خیلی کند هستند، حل کنیم، تحقیقات محاسبات کوانتومی را در چند دهه گذشته هدایت کرده است.

سایر منابع محاسباتی به غیر از زمان را می توان در نظر گرفت. مقدار حافظه کامپیوتر مورد نیاز برای انجام محاسبات - معمولاً به عنوان فضای مورد نیاز برای محاسبات شناخته می شود - یک جایگزین است که اغلب مورد مطالعه قرار می گیرد. با این حال، به نظر می رسد که رایانه های کوانتومی پتانسیل کمی برای ارائه مزایا در استفاده از فضا نسبت به رایانه های کلاسیک دارند. حافظه کامپیوتر نیز نسبتاً

ارزان است و برخلاف زمان، قابل استفاده مجدد است. به این دلایل، زمان از نگرانی بیشتر است و تمرکز اصلی ما خواهد بود.

چیزی که رایانه های کوانتومی نمی توانند انجام دهند این است که راه حل های محاسباتی برای مشکلاتی را ارائه دهند که رایانه های کلاسیک نمی توانند حل کنند - صرف نظر از منابع مورد نیاز - مانند مشکل متوقف شدن معروف که توسط آلن تورینگ در دهه ۱۹۳۰ فرموله شد. رایانه های کوانتومی را می توان توسط رایانه های کلاسیک شبیه سازی کرد، بنابراین هر مشکل محاسباتی که می تواند توسط یک رایانه کوانتومی حل شود، همچنین می تواند توسط یک رایانه کلاسیک حل شود، اگرچه ممکن است برای رایانه کلاسیک خیلی خیلی طول بکشد تا راه حلی پیدا کند.

در حالی که زمان مورد نیاز برای حل مشکلات نگرانی اصلی ما است، ما برای اهداف این درس اول کمی از این تمرکز منحرف خواهیم شد. آنچه ما انجام خواهیم داد این است که یک چارچوب الگوریتمی ساده - که به عنوان مدل پرس و جو شناخته می شود - را فرموله کنیم و مزایایی را که رایانه های کوانتومی در این چارچوب ارائه می دهند، کاوش کنیم.

مدل پرس و جو محاسبات شبیه یک دیش پتری برای ایده های الگوریتمی کوانتومی است. این سخت و مصنوعی است، به این معنا که به طور دقیق مشکلات محاسباتی را که ما عموماً در عمل به آنها اهمیت می دهیم، نشان نمی دهد. با این حال، ثابت شده است که ابزاری فوق العاده مفید برای توسعه تکنیک های الگوریتمی کوانتومی است، از جمله مواردی که قدرتمندترین الگوریتم های شناخته شده کوانتومی (مانند الگوریتم فاکتورگیری شور) را تقویت می کنند. همچنین اتفاق می افتد که یک چارچوب بسیار مفید برای توضیح این تکنیک ها باشد.

پس از معرفی مدل پرس و جو، اولین الگوریتم کوانتومی کشف شده را مورد بحث قرار خواهیم داد که الگوریتم Deutsch است، همراه با یک گسترش الگوریتم Deutsch که به عنوان الگوریتم Deutsch-Jozsa شناخته می شود. این الگوریتم ها مزایای قابل اندازه گیری کوانتومی را نسبت به رایانه های کلاسیک نشان می دهند و در واقع الگوریتم Deutsch-Jozsa را می توان برای حل چندین مشکل محاسباتی در چارچوب مدل پرس و جو استفاده کرد. سپس یک الگوریتم کوانتومی مرتبط - که به عنوان الگوریتم Simon شناخته می شود - را مورد بحث قرار خواهیم داد که، به دلایلی که توضیح داده خواهد شد، مزایای کوانتومی قوی تر و رضایت بخش تری نسبت به محاسبات کوانتومی کلاسیک ارائه می دهد.

2. 0. 3

3. 0. 3

4. 0. 3

5. 0. 3

1. 3

Algorithm Deutsch - Jozsa 2.3

algorithm: Prepare two quantum registers. The first register is an n -qubit register initialized to $|1\rangle$ and the second register is a 1-qubit register initialized to $|0\rangle$.

Here is the algorithm to prepare two quantum registers: The first register is an n -qubit register initialized to $|1\rangle$. The second register is a 1-qubit register initialized to $|0\rangle$. Apply a Hadamard gate to the first register. This puts the first register into a superposition of all possible states. Apply a controlled-NOT gate between the first and second registers. This entangles the two registers. Measure the second register. If the result is 0, then the first register is in a state of superposition. If the result is 1, then the first register is in a state of superposition.

Here is an explanation of each step:

The first step is to initialize the first register to $|1\rangle$. This is done by applying a Hadamard gate to the first register. The second step is to initialize the second register to $|0\rangle$. This is done by applying a Hadamard gate to the second register. The third step is to apply a controlled-NOT gate between the first and second registers. This gate takes the state of the first register and applies it to the state of the second register. The fourth step is to measure the second register. This gives us a result of 0 or 1. If the result is 0, then the first register is in a state of superposition. If the result is 1, then the first register is in a state of superposition.

a apply to is step third The .٣ states. n-qubit the all of superposition a into controlled- The registers. second and first the between gate controlled-NOT two outputs and input as qubits two takes that gate quantum a is gate NOT the in is qubit control the if only and if qubit target the flips gate The qubits. target the and register. first the is qubit control the case. this In .٤١ state two the entangle will gate controlled-NOT the So. register. second the is qubit Measurement register. second the measure to is step fourth The .٤ registers. In state. classical a into qubit a of state quantum the collapses that process a is the If .٤١ and .٤٠ basis the in measured be will register second the case. this $|x^{\otimes 4}\rangle$ state the in be will register first the $|x^{\otimes 4}\rangle$ be to measured is register second register first the that state the is $|x^{\otimes 4}\rangle$ state The number. n-bit an is x where to is step fifth The .٥ applied. was gate controlled-NOT the before in was the $|x^{\otimes 4}\rangle$ be to measured is register second the If register. second the measure states. n-bit the all of superposition a in be will register first state. specific a in register quantum a prepare to used be can algorithm This measure- the of outcome the on depend will register quantum the of state The register. second the of ment

٣.٣ grover

٤.٣ algorithm shor

فصل ۴

شبیه‌سازی پدیده‌های کوانتومی

states Bell ۱.۴

coding dense super ۲.۴

Teleport ۳.۴

algorithm quantum - ———— oracle a determine to how oracle and qeury
teleport coding superdense state Bell ———— shor grover deutsch