

Kuantum Hesaplama

14011062 – Erhan Tezcan
15011604 – Oğuz Çelik

*“The art of quantum computing is to find ways of gaining as much information as possible from the **unobservable**.”*

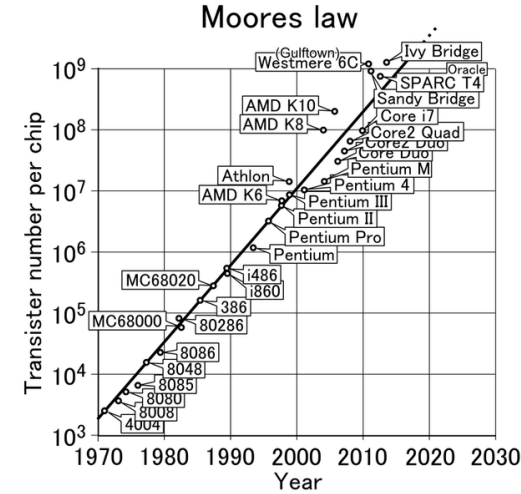
- Richard Jozsa

Anlatılacaklar

- Tarihçe
- Kuantum Fiziği ve Kuantum Hesaplama
 - Zorluklar
 - Qubit
 - Süper-yoğun Kodlama (Superdense Coding)
 - Kuantum Teleportasyon (Quantum Teleportation)
 - Süperpozisyon (Superposition)
 - Dolaşıklık / Birbirine dolanma (Entanglement)
- Günümüz

Tarihçe

- Intel firmasını kuranlardan biri olan Gordon Moore, bir bilgisayar çipine sığdırabilecek transistör sayısının her iki yılda bir ikiye katlandığını söylemiştir. Ancak 7nm'den sonra silikon tabanlı transistörler Kuantum Tünelleme denen bir olay yaşarlar ve bu sinyalin bozulmasına neden olur. Yine de bazı yöntemler ile bunun üstesinden gelinmiş, hatta 5nm'ye kadar inilmiştir. 2016 senesinde Berkeley Laboratuvarlarında 1nm boyutunda transistör elde edilmiştir. Bunlara rağmen Moore's Law geçerliliğini yitirecektir. Kuantum Hesaplama burada dikkatleri üzerine çekmektedir.
- 1982 – Richard Feynman, klasik fizik yerine kuantum mekaniklerini kullanan bir makine yaratmayı önerdi.
- 1985 – David Deutsch, 'Kuantum Turing Makinesi' yaptı ve kuantum devrelerin evrensel olduğunu kanıtladı.
- 1994 – Peter Shor, kuantum algoritması olarak polinom zamanda çok büyük sayıları asallarına ayırmayı geliştirdi. Klasik fizik ile işleyen bilgisayarlarda bunun mümkün olmadığı düşünülüyor.
- 1997 – Lov Grover, kuantum mekaniklerinden yararlanarak $O(\sqrt{N})$ karmaşıklıkta çalışan bir arama algoritması geliştirdi.



Kuantum Fiziği

- Kuantum fiziğinin kendi içinde zorlukları vardır:
 - Öncelikle duyu organlarımızla algılayabildiğimiz bir şey olmadığı için bunu soyut matematik ile kafamızda canlandırmak zorundayız. Özellikle karmaşık sayılar ve lineer transformasyonlar (matrisler) çokça kullanılır.
 - **Dalga Fonksiyonunun Yıkılması (Wave Function Collapse)**
Süperpozisyon durumunda olan bir parçacığa bakıldığında (gözlem yapıldığında) bu durumlardan bir tanesine rastgele yıkılır.
 - **Tünelleme (Tunneling)**
Elektron ve Foton parçacıkları bir lokasyondan başka bir yere aniden gidebilir. Aniden derken gerçekten bu olayın gerçekleşmesi herhangi bir süre gerektirmez. Toplam geçen zaman 0.
 - **Belirsizlik (Uncertainty)**
Bir parçacığın aynı anda konumunu ve hızını bilemeyiz. Bu durum dalga fiziğinden gelen bir durumdur, parçacıklara eşlik eden dalga ile ilişkilendirilir.
 - **Gözlemci Etkisi (Observer Effect)**
Sistemde yapılan bir ölçüm sistemi etkiler. Klasik fizikte bu yoktur.
 - **Süperpozisyon (Superposition) ve Dolaşıklık (Entanglement)** kendi slaytlarını hak ediyorlar çünkü Kuantum Hesaplama onların sayesinde olmaktadır.

Qubit

Kuantum hesaplamada Süperpozisyon ve dolaşıklığın rolü nedir demeden önce Qubit nedir anlamamız gerekir.

Physical support	Name	Information support	$ 0\rangle$	$ 1\rangle$
Photon	Polarization encoding	Polarization of light	Horizontal	Vertical
	Number of photons	Fock state	Vacuum	Single photon state
	Time-bin encoding	Time of arrival	Early	Late
Coherent state of light	Squeezed light	Quadrature	Amplitude-squeezed state	Phase-squeezed state
Electrons	Electronic spin	Spin	Up	Down
	Electron number	Charge	No electron	One electron
Nucleus	Nuclear spin addressed through NMR	Spin	Up	Down
Optical lattices	Atomic spin	Spin	Up	Down
Josephson junction	Superconducting charge qubit	Charge	Uncharged superconducting island ($Q=0$)	Charged superconducting island ($Q=2e$, one extra Cooper pair)
	Superconducting flux qubit	Current	Clockwise current	Counterclockwise current
	Superconducting phase qubit	Energy	Ground state	First excited state
Singly charged quantum dot pair	Electron localization	Charge	Electron on left dot	Electron on right dot
Quantum dot	Dot spin	Spin	Down	Up

Klasik bit sadece 0 ve 1 durumunu temsil edebilir. Kuantum bit (Qubit) Aynı anda 0 ve 1 olma durumlarını olarak temsil edebilir (Süperpozisyon). Yani örnek olarak bir Qubit ona yapılan 100 ölçümden 75'inde 0, 25'inde 1 gözükabilir. Aynı zamanda Qubit'ler çok küçük boyuttaki özellikler oldukları için (ör: Elektronun Spini) kuantum mekanik özellikler gösterirler. Solda Qubit olarak kullanılabilecek fiziksel olaylar gösterilmiştir.

En çok denenen yöntemlerden biri Quantum Dot olarak bilinen elektron hapsedme yöntemidir.

Qubit

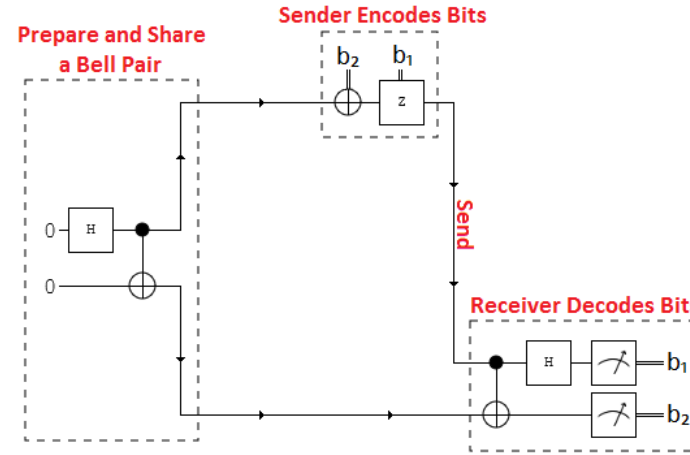
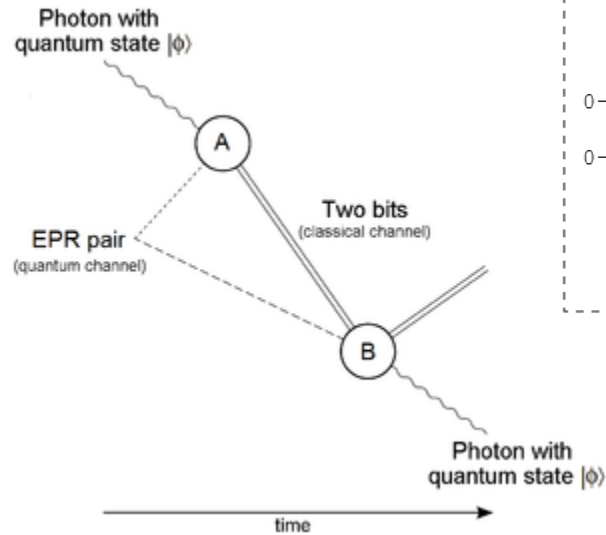
Süperyoğun kodlama ve Kuantum Teleportasyon klasik bit ve kuantum bitlerinin beraber kullanılması ile yapılan 2 olaydır.

- **Süperyoğun Kodlama**

Süperyoğun kodlama, 1 qubit ile 2 klasik bit değerinde bilgi yollamaktır. Bu nedenle süperyoğun denmektedir. Örnek olarak, Alice ve Bob adında 2 kişi olsun. Öncelikle 2 tane qubit dolaşık hale getirilip biri Alice diğeri Bob'a veriliyor. Alice sadece kendisindeki Qubit'i kuantum kapılarıyla değiştirip Bob'a yollayarak 2 klasik bit değerinde bilgi transferi gerçekleştirebiliyor.

- **Kuantum Teleportasyon**

Kısaca bir Qubit durumunun klasik bitler yardımıyla bir lokasyon başka bir lokasyona taşınmasına denir.



Süperpozisyon

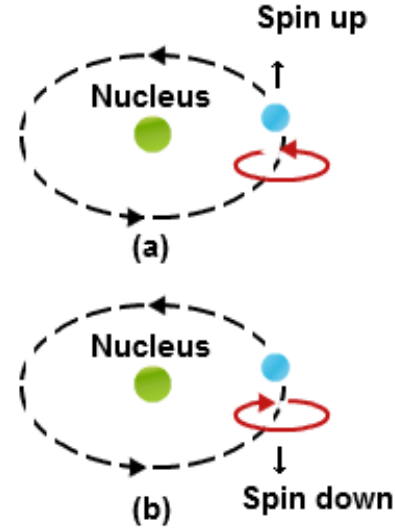
Bir durumun, diğer durumların lineer kombinasyonu olarak temsil edilmesi Süperpozisyon olarak adlandırılır:

$$|A\rangle = \alpha|s_1\rangle + \beta|s_2\rangle$$

Süperpozisyon aslında lineer sistemlerin bir özelliğidir. Örnek olarak tekerleğin dönerek ilerlemesi, tekerleğin olduğu yerde dönmesi ve dönmeden ötelenmesi hareketlerinin bir süperpozisyonudur.

Kuantum fiziğinde en çok bilinen süperpozisyon örneklerinden biri Spin Quantum'dur. Elektronlar her ekseninde 2 yöne de spin gösterirler. Bir ölçme aparatıyla bakılınca bu pozisyonlardan sadece 1 tanesi ölçülür. Yani elektron siz ona bakmadığınız sürece tüm yönlerle aynı anda döner. Kuantum hesaplama bir anlamda bu olayı avantajına kullanmaya çalışır. Biz sadece sistemi istediğimiz hale getirip ortamdan çekilir, elektrondan gözlerimizi ayırırız, gerektiğinde bazı kuantum kapılarından geçiririz ama ölçüm yapmayız, böylece tüm pozisyonlar aynı anda işleme girer, biz sadece sonuç aşamasında ölçümümüzü yaparız. Sağdaki resimde sadece Yukarı ve Aşağı spin gösterilmiştir.

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|\text{cat sitting}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\text{cat running}\rangle$$



Süperpozisyon

Kuantum hesaplamada bit yerine qubit (quantum-bit) kullanılır. 0 ve 1'den ziyade bunların lineer kombinasyonlarını (süperpozisyon) da temsil edebilen bir birim ortaya çıkar. Qubit bir sürü farklı şey olabilir, ancak genellikle atom ve atomdaki elektronun enerji seviyesi kullanılır. Atomun enerji seviyesi 0 yada 1 olma durumunu belirler. (Düşük enerji = 0)

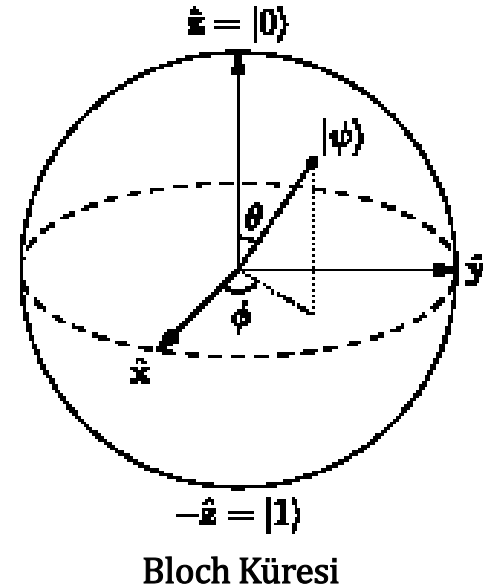
$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

Kuantum hesaplamada yaygın olarak kullanılan Bloch Küresinde süperpozisyon formülü aşağıdaki gibidir:

$$|\psi\rangle = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)|0\rangle + e^{i\phi}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)|1\rangle$$
$$e^{i\phi} = \cos(\phi) + i * \sin(\phi)$$

Eşit olasılıkta 1 ve 0 durumunu ifade eden Qubit durumuna Saf Qubit Durumu denir (Pure Qubit State). Bloch Küresinde tam ortada olduğu durumu gösterir.

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{i}{\sqrt{2}}|1\rangle$$



Dolaşıklık

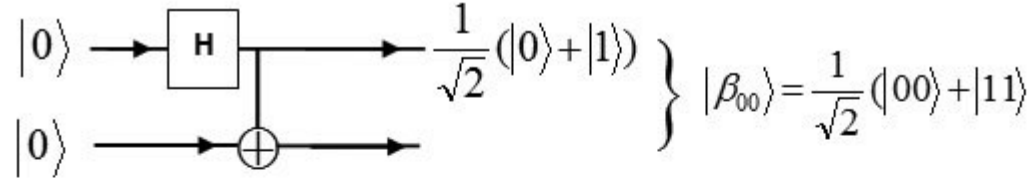
Dolaşıklık şöyle özetlenebilir:

- ❖ Dolaşık iki parçacık arasındaki mesafe ne olursa olsun, birinde yapılan ölçüm diğeri hakkında bilgi verecektir. Bu nedenle N tane dolaşık parçacık hakkında bilgi edinmek için sadece 1 tanesine bakmak yeterlidir.
- ❖ Dolaşık parçacıklardan birinde yapılan değişim hepsini etkileyecektir.
- ❖ Dolaşık parçacıklardan oluşan bir sistemde, parçacıklar tek başlarına ele alınamaz, bütün sistem ele alınmalıdır.

Dolaşıklık

Bu durumun Kuantum Hesaplama bize sağladığı yarar, qubit'lerin değerlerine bakılırken kendini gösterir. Belirsizlik ilkesinden dolayı qubit'lere tek tek bakmak doğru değildir, ancak Dolaşıklık sayesinde sadece 1 tane qubite bakarak diğerleri hakkında da bilgi sahibi olunur ve bu nedenle qubit'lerin hepsi kullanılabilir. Yakın zamanda 10 tane qubit dolaşık hale getirilmiş ve yeterli bir süre o halde tutulabilmektedir.

<https://phys.org/news/2017-11-physicists-qubit-entanglement.html> -> 29 Kasım 2017 haberi!



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

$$|0\rangle \oplus |0\rangle = |0\rangle \quad , \quad |1\rangle \oplus |0\rangle = |1\rangle$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)|0\rangle \xrightarrow{(C-NOT) \text{ gate}} \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

Soldaki formüllerde 2 tane Qubit'ten dolaşık bir sistem elde edilmesi matematiksel olarak gösterilmiştir.

Dolaşıklık

Dolaşıklığı gerçekleştirebilmek için oldukça zorlu koşulların sağlanması gerekir. Dışarıdan gelebilecek tüm etkenlere karşı önlem alınmalıdır.

- 0K'e yakın sıcaklıklarda çalışmak için soğutma sistemleri
- Dışarıdan gelen dalgalardan korunmak için kat kat kalkanlar
- Sisteme güç veren elektriğin yarattığı parazitten (interference) korunmak için mekanizmalar vb.

Bütün bu şartların sağlanması durumunda qubitler uyum (coherence) içinde olur. Tersine de uyumun bozulması (decoherence) denir ve teknik olarak şuan kuantum bilgisayarların herkes tarafından rahatça kullanılmasını engelleyen şey budur.

Günümüz

- Günümüzde IBM 50 qubit'e kadar çıkmıştır. (<https://futurism.com/ibm-announced-50-qubit-quantum-computer/> 10 Kasım 2017)
- D-Wave Systems şirketi D-Wave teknolojisi ile 2000 Qubit'e ulaşabileceğini söylüyor. (<https://www.dwavesys.com/quantum-computing>)

Kuantum bilgisayarlarının etkileyebileceği alanlar:

- Optimizasyon Problemleri (D-Wave, Quantum Annealing)
- Borsa tahminleri
- DNA Zincirleri
- Şifreleme sistemlerinin kırılması (Shor Algoritması). Şifreleme sistemleri klasik bilgisayarların şifre kırmak için çok zaman harcayacağına güvenir. Kuantum bilgisayarlar bunu klasik bilgisayarın 2 sayıyı çarptığı sürede başarabilecek. Bu durum *Post-Quantum Cryptography* alanının doğmasına sebep olmuştur.
- ve daha bir çok alan...

D-Wave Quantum Computer



Talk is cheap, show me the code!

IBM şirketi, IBM Q Experience adı altında bize gerçek bir kuantum bilgisayar ile çalışma imkanı sunuyor.

Süperpozisyon ve **Dolaşıklığı** kullanmakla beraber, Kuantum Kapılarını grafik arayüzü ile koyup kendimiz algoritma geliştirebileceğimiz bir ortam yaratılmış:

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

Deneme1 

Add a description



New

Save

Save as

< >

Switch to Qasm Editor

Backend: ibmqx4  Experiment Units: 3 

Run

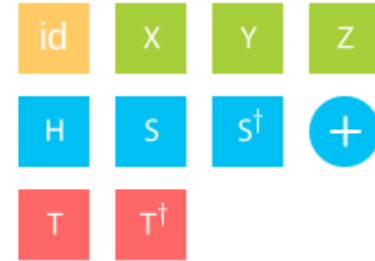


Simulate



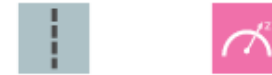
GATES 

☐ Advanced



BARRIER

OPERATIONS



Quantum State: Computation Basis

Download CSV



**Dinlediđiniz için teŝekkür ederiz.
Sorular?**