



KTHack2020 - KUANTUM PROGRAMLAMA HACKATHONU

Takım Üyeleri:

⟨ ALARA | ZINDANCIOĞLU ⟩
⟨ BAŞAK | EKINCI ⟩
⟨ ENES | BAŞPINAR ⟩
⟨ TOGAN | TLIMAKHOV | YUSUF ⟩

Özet

Görüntü işleme, bilgisayar bilimi ve mühendislikte en büyük araştırma alanlardan biridir. Askeri Endüstri, Güvenlik, Robotik, astronomi, gibi bir çok insan hayatını doğrudan etkileyen uygulamalarla yakından ilgilendiren bir teknoloji haline geldi.

Bu bağlamda kuantum görüntü işlemeye (QIMP) artan bir ilgi var. Bunun nedeni, kuantum hesaplamanın, klasik hesaplama tekniklerine göre performans ve hız açısından daha verimli olmasıdır.

Fourier dönüşümü, klasik sinyal ve görüntü işlemede kullanılan en önemli algoritmalarından biridir, aynı zamanda son geliştirilen kuantum algoritmalarında önemli bir bileşen olarak kullanıma girmiştir. klasikten farklı olarak, Kuantum Fourier dönüşümü, verilerin olasılık genliklerine kodlandığı bir kuantum durumunu kullanmasıdır.

Kuantum bilgisayarlar, Kuantum süperpozisyonu ve kuantum dolaşıklığı özelliklerinden yararlandığından, Logic işlemlerinde aynı anda 0 ve 1 $\langle 0 | 1 \rangle$ değerlerini alabiliyor. Bu nedenle kuantum bilgisayarlar temel bilgi birimi olan bit yerine Qubit ile çalışıp, belirli hesaplamalarda klasik bilgisayarlardan katlanarak daha hızlı olduğu kanıtlanmıştır

Açıklama

Fourier analizi makine öğrenmesinde karmaşık olan bir verinin boyutlarının azaltılarak daha basit bir problem olarak incelenmesi için olanak sağlamaktadır.

Çalışmamızın bir kısmında, verilen bir resmin pixel gösterimi, fourier temelli, "Flexible Representation of Quantum Images" (FRQI) yöntemi kullanılarak sağlanmıştır.

Bu yöntem $n \times n = m$ piksel ile verilen bir resmin $\log_2(m)$ qubit olarak gösterilmesini sağlamaktadır.

Çalışmamızda, quantum Neural network kullanılarak resim sınıflandırılması, 3X3 piksel ve 4X4 piksel boyutunda resimlere uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Sonrasında bu sonuçlar Neural networkta yer alan girdi olarak verilen resmin pixel dönüşümünü sağlayan algoritmanın, FRQI yöntemiyle değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta 3X3 piksel boyutunda resimlere FRQI uygulanması halinde programın biraz daha hızlı çalıştığı görülürken, accuracy'nin düştüğü, 4x4 boyutlu resimlerde ise tam tersi bir durum ile karşılaşılmıştır

Projemizde yapay zeka ile resim işlemede çokça kullanılan Convolutional Neural Network(CNN) modellerini quantum algoritmaları ile yazmayı planladık. Şimdiye kadar yapılan Quantum Convolutional Network (Q-CNN) modellerinde, kuantum algoritmaları ile yazılan convolutional filtrelerin ya resmin ön işlemlerini yapmak için ya da klasik CNN modelleri ile birleştirilip eğitildiğini gördük. Bu yüzden amacımız, bu projede baştan sonra kuantum algoritmaları ile çalışan bir Q-CNN modeli yazmak oldu.

Resimleri Q-CNN algoritmasına girdi olarak vermek için, resmin her pixel değerini kuantum state değerine dönüştürmemiz gerekiyor. Çok sayıda pixel kullanamayacağımız için resimlerimizi 4x4 boyutuna indirdik ve sonuç olarak 16 qubit içeren bir devre kurduk. Bu devrede 2x1 boyutunda Quantum Convolutional filtreleri resmin üzerinde gezdirdik. Böylece resmi yarı boyutuna indirgeyerek 2x2 boyutunda özellik haritalarını çıkardık. Bu noktada modele ölçüm yaparak tahmin yaptık.

Modelimiz MNIST datasetinde 3 ve 6 sayılarını sınıflandırmak için kullanıldı. 100 resmi eğitim için, 20 resmi ise modeli test etmek için kullandık. Modelin eğitimi sonucunda 76% doğruluk oranına ulaştık.

Fourier Dönüşümü

Resmin Pixel Olarak Sunulması:

Flexible Representation of Quantum images (FRQI) yöntemi

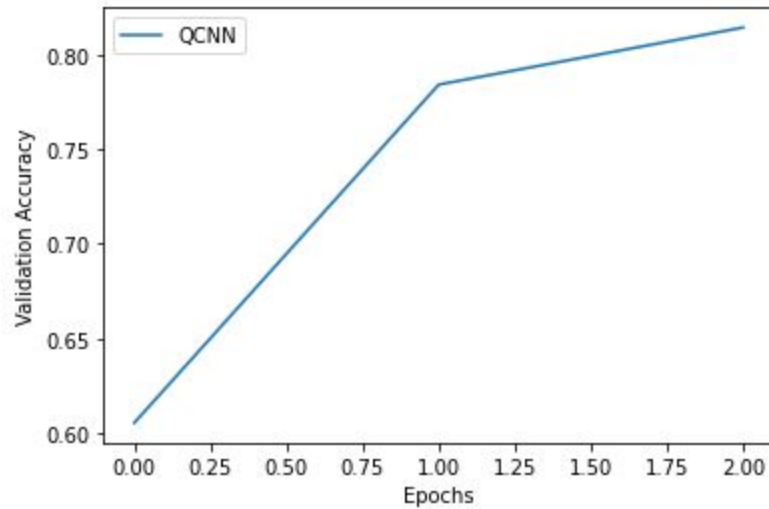
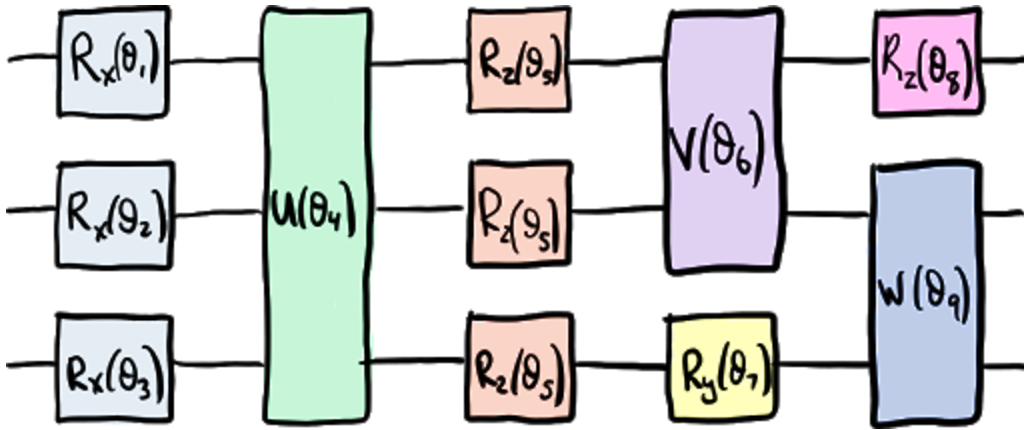
$$n \times n = m \text{ piksel} \quad \text{-----}> \quad \log_2(m) \text{ qubit}$$

Modeller

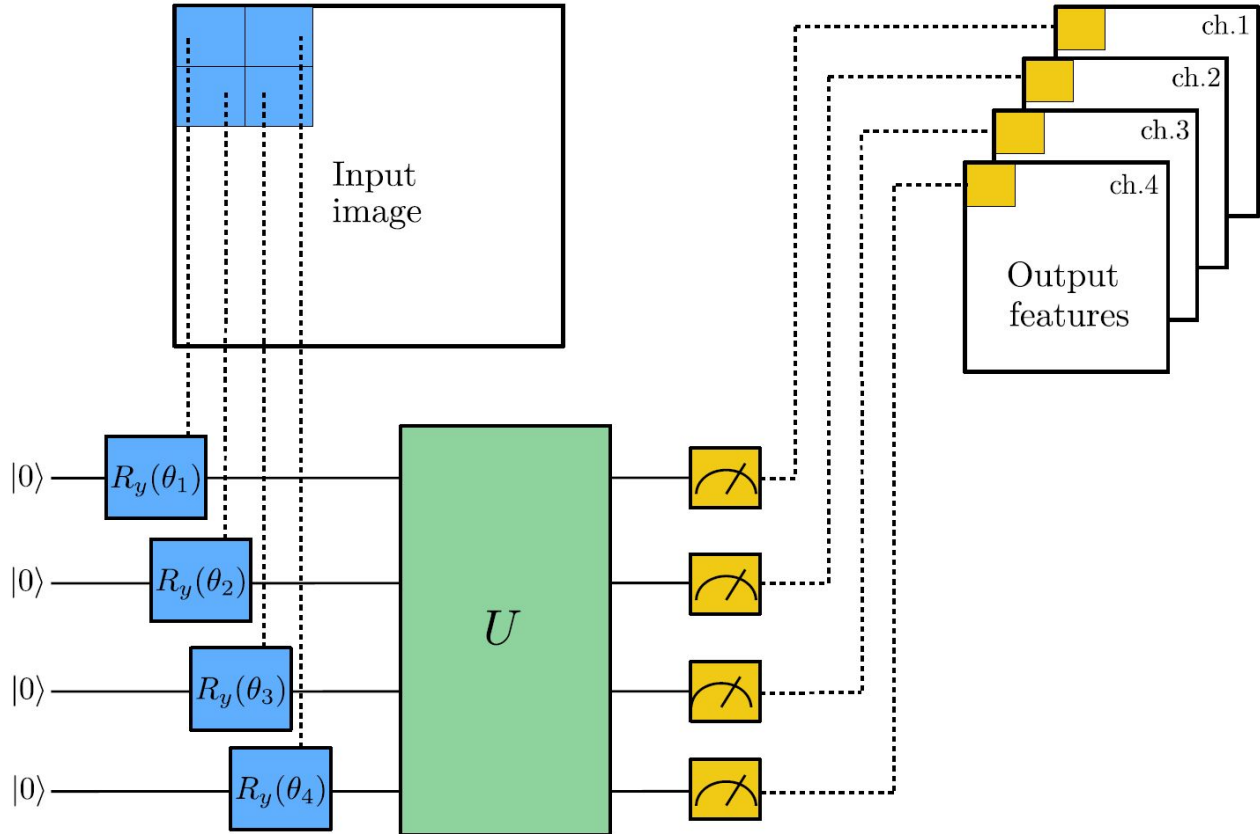
Model 1: QNN

Hackathon'da belirlediğim kuantum makine öğrenmesinde uyguladığımız ilk sistem Quantum Neural Network oldu. Bu modelde kullandığımız yöntemler, Tensorflow'un kuantum kütüphanesi kullanılarak implemente edildi. Başlangıçta MNIST verisetini kuantum bilgisayar simülasyonuna aktarmamız gerekiyordu.

...



Model 2: QCNN

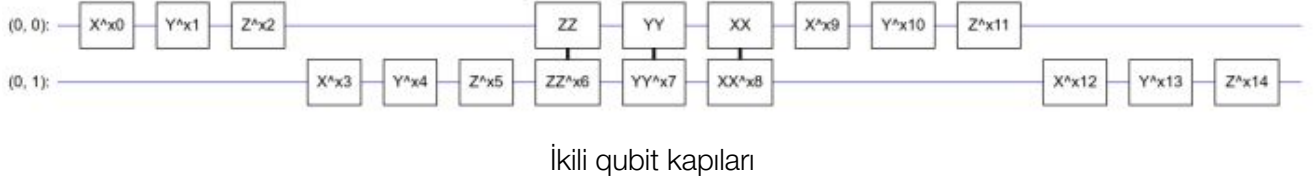


Kuantum CNN modelindeki amacımız ikili resim sınıflandırması yapmaktır. MNIST datasetindeki 3 ve 6 sayılarının sınıflandırılması için baştan sona kuantum algoritması ile çalışan bir kuantum CNN modeli geliştirdik.

Klasik CNN modellerindeki gibi convolutional filtreler oluşturmak için unitary matrisler kullandık. Bu unitary matrisleri X, Y ve Z kapıları olarak parametrized gate halinde tanımladık. Modeli eğitirken amacımız bu kuantum kapılarının öncelikle sembolik parametreler ile başlatılması, ve model eğitilken parametrelerinin öğrenilmesiydi.

Resimi kuantum modeline girdi olarak vermek için farklı yöntemler denedik. Diğer Kuantum CNN modellerinden farklı olarak resmi çok küçük boyutlara indirmemek için resmi bölme yöntemini kullandık. Öncelikle resmi filtrelerin boyutunda kesip her parça için farklı bir model eğitme ve sonda oylama yöntemi ile resmin sınıflandırmasına karar verme yolunda modeller eğittik. Fakat bu modelin performansı düşük çıktı.

Daha sonra resmin tümünü 4x4 boyutuna indirgeyip, resmin pixellerini 16 tane qubit'e dönüştürdüğümüz bir model tasarladık. Bu modelimizde convolutional filtrelerin boyutlarını 1x2 olarak tanımladık. Buradaki amacımız ikili qubitler üzerinde çalışan kuantum kapılarını kullanabilmek oldu. Oluşturduğumuz filtrelerin ikili qubitler üzerinde devre gösterimi aşağıdaki resimde görülebilir:



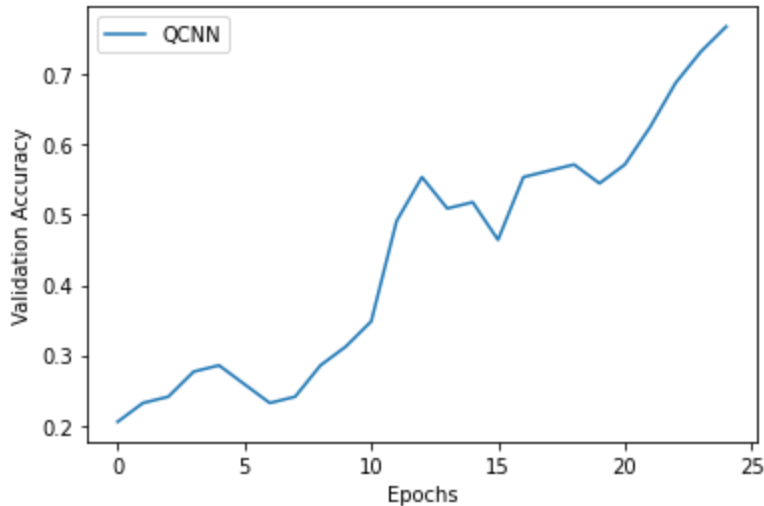
Kurduğumuz kuantum convolutional filtreleri resmin üzerinde ard arda gelen quantum state'ine dönüştürülmüş pixeller üzerine uyguladık. Devrenin tümü aşağıdaki resimde mevcuttur:



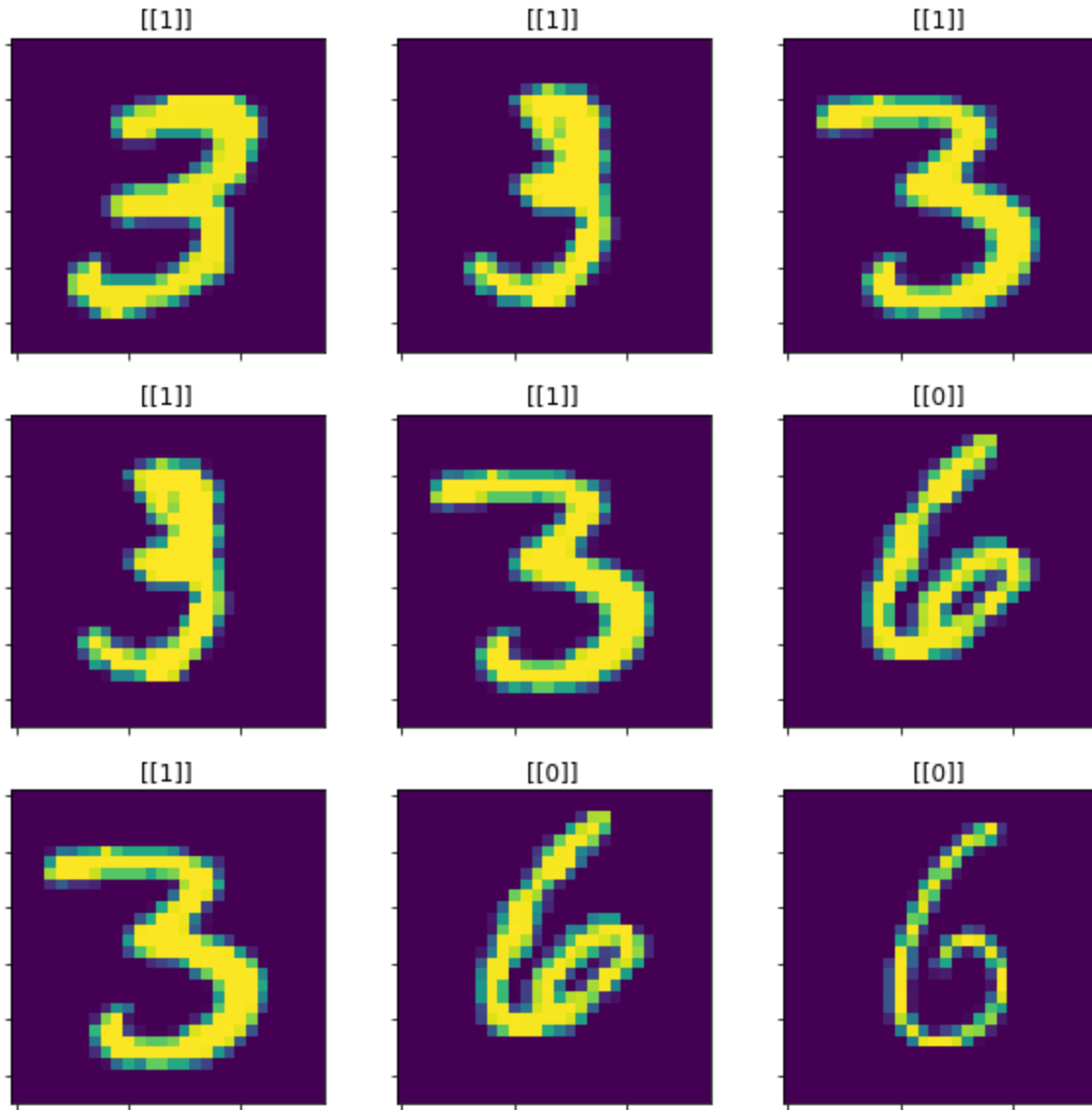
Convolution operasyonu devresi

Convolution operasyonundan sonra elde ettiğimiz quantum state'e Pauli Z operatörü kullanarak ölçüm yaparak devreyi tamamladık.

Kurduğumuz tek layer içeren kuantum convolutional devreyi 100 tane 3 ve 6 sayılarını içeren MNIST datası üzerinde eğittik. Modelimizin eğitim süresince aldığı validasyon doğruluk değerleri aşağıdaki gibidir:



GridSpec



(0 sınıfı 3'ü, 1 sınıfı 6'yı temsil ediyor.)

GitHub Bağlantı

<https://github.com/T0gan/KTHack2020---Neural-Qubits>

Referanslar

- [0]: Implementation and Analysis of Quantum Fourier Transform in Image Processing. Ola Al-Ta'ani, Ali Mohammad
- [1]: Alqudah2, Manal Al-Bzoor
- [2]: Quantum neural network, M.V.Altisky
- [3]: Learning the quantum algorithm for state overlap, Lukasz Cincio, Yiğit Subaşı, Andrew T. Sornborger,
- [4]: Patrick J. Coles
- [5]: Quantum Natural Gradient. James Stokes, Josh Izaac, Nathan Killoran, Giuseppe Carleo
- [6]: Classification with Quantum Neural Networks on Near Term Processors. Edward Farhi, Hartmut Neven
- [7]: https://pennylane.ai/qml/demos/tutorial_quanvolution.html
- [8]: <https://www.tensorflow.org/quantum/tutorials/mnist>
- [9]: <https://www.tensorflow.org/quantum/tutorials/qcnn>
- [10]: <https://arxiv.org/pdf/1801.01465.pdf>
- [11]: <https://arxiv.org/pdf/1812.11042.pdf>