

# Quantum Machine Learning (QML)

## 1 Quantum Machine Learning (QML) কী?

Quantum Machine Learning হলো Machine Learning (ML) এবং Quantum Computing (QC) এর সংমিশ্রণ।

- ML: কম্পিউটারকে ডেটা থেকে শেখানো হয়। যেমন: house rent predict করা, image recognition, etc.
- QC: Quantum mechanics এর প্রিমিপল ব্যবহার করে computation করা। এটা classical কম্পিউটারের তুলনায় কিছু সমস্যায় বেশি দ্রুত কাজ করতে পারে।

তাহলে QML = ML algorithms + Quantum computers এর শক্তি।

QML সাধারণ ML এর কাজগুলো করতে পারে, কিন্তু quantum computational advantage ব্যবহার করে।

---

## 2 Quantum Computing কী? (QML বুন্ধার জন্য প্রয়োজন)

Quantum computing সাধারণ computing থেকে আলাদা। Classical কম্পিউটার bits ব্যবহার করে: 0 বা 1। Quantum কম্পিউটার qubits ব্যবহার করে। Qubit এর কয়েকটি অসাধারণ বৈশিষ্ট্য:

1. **Superposition:**
  - একটি qubit একই সময়ে 0 এবং 1 দুটো অবস্থায় থাকতে পারে।
  - Classical bit এক সময়ে শধু 0 বা 1।
  - এর ফলে computation অনেক parallel ভাবে হয়।
2. **Entanglement:**
  - দুটি বা তার বেশি qubits একে অপরের সাথে জড়িত হতে পারে।
  - একটি qubit এর state অন্যটির state কে প্রভাবিত করে।
  - এটি quantum algorithms কে অনেক শক্তিশালী করে তোলে।
3. **Interference:**
  - Quantum states interfere করে favorable outcomes কে enhance এবং unfavorable outcomes কে cancel করে।

 সুতরাং: Quantum computers কিছু ধরনের problems classical computers থেকে দ্রুত solve করতে পারে, যেমন optimization, sampling, simulation ইত্যাদি।

---

## 3 Quantum Machine Learning কিভাবে কাজ করে?

QML মূলত ML এর algorithms কে **quantum circuits** এ map করে।

ধাপগুলো সাধারণভাবে:

1. **Data encoding / Quantum Feature Map:**
  - o Classical ডেটাকে quantum state এ রূপান্তর করা হয়।
  - o উদাহরণ: house rent এর feature (size, location) কে qubit state এ encode করা।
2. **Quantum Processing:**
  - o Quantum circuit বা quantum neural network (QNN) ব্যবহার করে computation করা হয়।
  - o Quantum gates (Hadamard, CNOT, rotation gates) ডেটাকে transform করে।
3. **Measurement / Readout:**
  - o Quantum state measure করে classical output পাই।
  - o এই outputকে prediction, classification, regression এ ব্যবহার করা হয়।

 উদাহরণ:

- Classical regression:  $(y = w_1 x_1 + w_2 x_2 + b)$
  - Quantum regression: Data কে quantum state এ encode করি, quantum circuit process করে, measurement থেকে predicted ( $y$ ) পাই।
- 

## 4 QML এর কি সুবিধা আছে?

1. **High-dimensional data handling:**

Quantum circuits naturally high-dimensional space তৈরি করতে পারে। এটি ML এর kernel methods এর সাথে সম্পর্কিত।
  2. **Potential speed-up:**

কিছু problem (optimization, sampling, linear algebra) quantum computer দ্রুত solve করতে পারে।
  3. **Better generalization:**

Quantum feature maps কিছু ক্ষেত্রে classical ML এর তুলনায় better decision boundary তৈরি করতে পারে।
- 

## 5 QML এর Challenges

1. **Hardware limitations:**
  - o আজকের quantum computers (NISQ era) ক্রটিপূর্ণ। অনেক qubits ঠিকমতো কাজ করে না।
2. **Data encoding:**
  - o Classical data কে quantum state এ convert করা অনেক সময় বেশি resource নেয়।
3. **Algorithm design:**

- Quantum algorithms classical algorithms এর মতো সহজ নয়। Deep understanding of quantum mechanics দরকার।
- 

## 6 সাধারণ QML Algorithms

1. **Quantum Support Vector Machine (QSVM):**
    - Classical SVM এর quantum version।
    - Quantum kernel ব্যবহার করে।
  2. **Variational Quantum Circuits / Quantum Neural Networks (QNN):**
    - Classical neural network এর quantum analogue।
    - Parameterized quantum circuits দিয়ে train করা হয়।
  3. **Quantum PCA (Principal Component Analysis):**
    - Large datasets এর main features extract করতে quantum speed-up।
  4. **Quantum k-means / clustering:**
    - Classical clustering algorithms faster করা যায় quantum computing দিয়ে।
- 

## 7 উদাহরণ (Simple)

ধরে নাও, তুমি house rent predict করছ।

Classical ML: Linear regression: ( $\text{rent} = w_{\text{size}} + w_{\text{rooms}} + b$ )

Quantum ML:

1. Encode house features (size, rooms) as qubits.
2. Quantum circuit দিয়ে features process করা হয়।
3. Measurement থেকে predicted rent পাই।

Quantum way তে কিছু cases এ result দ্রুত এবং high-dimensional features better handle করতে পারে।

---

### 💡 Short Summary:

Quantum ML = ML + Quantum Computing

- ML data থেকে শেখে
- QC দ্রুত computation এবং high-dimensional feature handling দেয়
- QML তে classical ML algorithms quantum circuits এ implement করা হয়