

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 প্রিন্সিপল 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 বুঝার 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 শুধু 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।

💡 সূত্রাং: 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:**

- Classical ডেটাকে quantum state এ রূপান্তর করা হয়।
- উদাহরণ: house rent এর feature (size, location) কে qubit state এ encode করা।

2. **Quantum Processing:**

- Quantum circuit বা quantum neural network (QNN) ব্যবহার করে computation করা হয়।
- Quantum gates (Hadamard, CNOT, rotation gates) ডেটাকে transform করে।

3. **Measurement / Readout:**

- Quantum state measure করে classical output পাই।
- 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:**

- আজকের quantum computers (NISQ era) ত্রুটিপূর্ণ। অনেক qubits ঠিকমতো কাজ করে না।

2. **Data encoding:**

- 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: $(rent = w_1size + w_2rooms + b)$

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