

15 – дәріс. Кванттық есептеулердің гейттік моделі. Логикалық кванттық вентильдер. Бір-кубитті және екі-кубитті вентильдер.

Жоспар:

1. Кванттық есептеудің негізгі ұғымдары
2. Кванттық есептеулердің гейттік моделі
3. Бір-кубитті вентильдер
4. Екі-кубитті вентильдер

Кванттық есептеудің негізгі ұғымдары

Кубит (кванттық бит) - кванттық есептеулердегі ақпараттың негізгі бірлігі. 0 немесе 1 күйінде болуы мүмкін классикалық биттен айырмашылығы, кубит бір уақытта 0 және 1 күйлерінің суперпозициясында болуы мүмкін:

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

мұндағы α және β - $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ – ге тең болатын күрделі сандар. Осылайша, кванттық бит шексіз көп мәндерді қабылдай алады, бірақ өлшеу нәтижесінде біз $|\alpha|^2$ ықтималдығы бар $|0\rangle$ күйін немесе $|\beta|^2$ ықтималдығы бар $|1\rangle$ күйін аламыз.

Суперпозиция кубитке бір уақытта бірнеше күйде болуға мүмкіндік береді, бұл кванттық есептеулердің негізгі ерекшеліктерінің бірі.

Шатасу - бұл екі немесе одан да көп кубиттердің күйлері өзара тәуелді болатын құбылыс. Бір кубиттің күйінің өзгеруі олардың арасындағы қашықтыққа қарамастан, екіншісінің күйін бірден өзгертеді.

Кубитті *өлшеу* кезінде суперпозиция белгілі бір ықтималдықпен классикалық күйлердің біріне (0 немесе 1) құлайды. Ықтималдықтар суперпозициядағы α және β коэффициенттерімен анықталады.

Кванттық есептеулердің гейттік моделі

Кванттық есептеулердің гейттік моделі классикалық модельге ұқсас, мұнда есептеулер логикалық қақпалармен орындалады. Кванттық есептеулерде кубиттердің күйлерін өзгертетін кванттық қақпалар қолданылады. Бұл қақпалар – матрицалар түрінде ұсынылатын унитарлық операциялар.

Кванттық қақпалар (гейттер) — олардың күйлерін өзгерту үшін кубиттерге қолданылатын унитарлық операторлар. Классикалық логикалық қақпалардан айырмашылығы, кванттық қақпалар қайтымды болуы керек.

Қатысқан кубиттердің саны бойынша қақпалар бір және көп-кубитті болып бөлінеді. Кубиттердің N жиынтығы кванттық регистрді құрайды. Гейт бір регистр күйін екіншісіне аударады.

Бір-кубитті вентильдер (қақпалар)

Бір-кубит қақпалар бір кубитке әсер етеді. Мысалдар:

- Бір-кубитті қақпа *NOT*

Бір кубиттік логикалық операция *NOT* $|q\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ -ні $|q'\rangle = \beta|0\rangle + \alpha|1\rangle$ - ге аударады, яғни кубиттің салмақ коэффициенттерін ауыстырады.

Кубиттің кванттық күйі мына бағанға сәйкес келеді:

$$|q\rangle \rightarrow \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$$

Соныдықтан келесі матрица классикалық *NOT* гейтінің аналогы болып табылады:

$$X \equiv \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

- Бір-кубитті гейттер $RX(\phi)$, $RY(\phi)$, $RZ(\phi)$ Блох сферасының осінде белгілі бір бұрышына айналады. $RY(\phi)$ гейтінің мысалын қарастырайық.

Гейт келесідей анықталады:

$$RY(\phi) = \begin{pmatrix} \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) & -\sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \\ \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) & \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \end{pmatrix}$$

Екі-кубитті вентильдер (қақпалар)

Екі-кубит клапандары екі кубитке әсер етеді және шатастыратын күйлер тудыруы мүмкін. Мысал:

Екі-кубитті *CNOT* гейті екі кубиттік күйге әсер етеді және жалпы түрінде келесідей жазылады:

$$CNOT(R_{00}|00\rangle + R_{01}|01\rangle + R_{10}|10\rangle + R_{11}|11\rangle) = R_{00}|00\rangle + R_{01}|01\rangle + R_{11}|10\rangle + R_{10}|11\rangle$$

Матрица түрінде келесідей анықталады:

$$CNOT = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Классикалық компьютердегі ең қарапайым екі кубитті басқарылатын қақпа - *CNOT*. Кванттық есептеулерде екі кіріс кубиті және шығысында екі кубиті бар ұқсас қақпа енгізіледі. Классикалық жағдайдағыдай, кубит жұбының бірі бақылау, ал екіншісі бақыланатын немесе кубит нысаны деп аталады. Бұл жағдайда операцияны орындау логикасы келесідей анықталады: егер бақылаушы кубит $|1\rangle$ күйінде болса, онда бақыланатын кубит *not* кванттық операциясына ұшырайды, әйтпесе бақыланатын кубит өзгеріссіз қалады.

Тапсырма:

1. Python-да numpy кітапханасын пайдаланып, қарапайым кванттық бағдарлама жазыңыз.

Бақылау сұрақтары:

1. Суперпозиция принципін кванттық есептеу контекстінде түсіндіріңіз.
2. Шатасу дегеніміз не және ол кванттық есептеу үшін неге маңызды?

3. Бір кубиттік қақпаларға және олардың матрицалық көріністеріне мысалдар келтіріңіз.
4. CNOT қақпасы не істейді және оның матрицалық формасы қандай?