



Tanulás segítő program és applikáció egy kvantumbites logikai kapukhoz

Készítette

Bakos Rózsa Ajándék

Programtervező informatikus BSc

Témavezető

Dr. Biró Csaba

Egyetemi docens

EGER, 2024

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
1. Fejezet címe	4
1.1. Szakasz címe	4
1.1.1. Alszakasz címe	4
2. Klasszikus- és kvantum logikai kapuk	5
2.1. Klasszikus logikai kapuk és áramkörök	5
2.1.1. Logikai kapuk	5
2.1.2. Univerzális kapuk	9
2.2. Kvantum logikai kapuk és áramkörök	10
2.2.1. Qubit	10
2.2.2. Szuperpozíció és összefonódás	11
2.2.3. Qubit mérése	11
2.2.4. Kvantum logikai kapuk	11
2.2.5. Univerzális kvantumkapuk	17
2.3. Reverzibilis kapuk	17
3. Tanulás segítő program és applikáció	18
3.1. Technológiai körütekintés	18
3.2. Választott technológiák	19
3.2.1. Asztali alkalmazás	19
3.2.2. Applikáció	20
3.3. Specifikáció	20
3.4. Program bemutatása	20
3.5. Applikáció bemutatása	20
3.6. Tesztelések	20
3.7. Továbbfejlesztési lehetőségek	20
Összegzés	21
Irodalomjegyzék	22

Bevezetés

A kvantuminformatika térhódítása egyre nagyobb figyelemnek örvend, valamint új lehetőségei hatalmas potenciállal bírnak a számítástechnika terén. A kvantummechanika alapelveinek felhasználása új típusú megoldásokat eredményez, amelyek képesek áthidalni a jelenleg is használt számítógépek korlátait. Ennek köszönhetően ezek a kvantumszámítógépek olyan problémák megoldásában ígérkeznek hatékonyabbnak, amelyek a hagyományos számítógépek számára nehezen, vagy egyáltalán nem megoldhatók.

A kvantumszámítógépek potenciális alkalmazási területei közé tartozik a mesterséges intelligencia, kriptográfia, gyógyszerkutatás és a számításelmélet. Azonban az ilyen rendszerek működése rendkívül érzékeny a környezeti tényezőkre, például gyakran használnak extrém alacsony hőmérsékletet követelő szupravezetőket. A jelenleg létező kvantumszámítógépek egyelőre kezdeti fázisban járnak, de a különböző cégek, kutatócsoportok között kialakult verseny ezen a helyzeten bármikor változtathat.

A kvantum-számítástechnika egyik kulcsfontosságú területe a kvantum logikai kapuk koncepciója, amelyek a kvantum bitek (más néven qubit) manipulációját teszik lehetővé. Ehhez a már említett kvantummechanika alapelveire támaszkodnak. Értelmezésük, valamint a hozzá tartozó összetett matematikai háttér sok esetben nehézséget okozhat.

Szakdolgozatom célja, hogy bemutasson ezen problémák áthidalására egy olyan tanulás segítő programot, mely közelebb hozza az érdeklődőkhöz a kvantumkapuk koncepcióját. Ezt egyqubites kapuk bemutatásával teszem meg. Az alkalmazás tervezése és implementálása során figyelembe veszem a felhasználók igényeit és a pedagógiai célokat, miközben kihasználom a kvantumtechnológia által nyújtott lehetőségeket.

A továbbiakban bemutatom a kvantumszámítógépek alapjait, a kvantumlogikai kapuk működését és jellemzőit, valamint részletesen ismertetem a fejlesztett tanulás segítő programot, beleértve annak tervezési alapelveit, implementációját és tesztelését. Végül összefoglalom az elért eredményeket és felvázolom a jövőbeli kutatási irányokat ezen a területen.

1. fejezet

Fejezet címe

1.1. Szakasz címe

1.1.1. Alszakasz címe

Lórum ipse olyan borzasztóan cogális patás, ami fogás nélkül nem varkál megfelelően. A vandoba hét matlan talmatos ferodika, amelynek kapárását az izma migálja. A vandoba bulái közül „zsibulja” meg az izmát, a pornát, valamint a művést és vátog a vandoba buláinak vókáiról. Vókája a raktil prozása két emen között. Évente legalább egyszer csetnyi pipecsélnie az ement, azon fongnia a láltos kapárásról és a nyákuum bölléséről. [1, 102. oldal]

A vandoba ninti és az emen elé redőzi a számlan radalmakan érvést. Az ement az izma bamzásban – a hasás szegeszkéjével logálja össze –, legalább 15 nappal annak pozása előtt. Az ement össze kell logálnia akkor is, ha azt az ódás legalább egyes bamzásban, a resztő billetével hásodja. [1, 2]

1.1. Tétel. *Tétel szövege.*

Bizonyítás. Bizonyítás szövege.

□

1.2. Definíció. Definíció szövege.

1.3. Megjegyzés. Megjegyzés szövege.

2. fejezet

Klasszikus- és kvantum logikai kapuk

2.1. Klasszikus logikai kapuk és áramkörök

Elektromos impulzusokhoz értékeket társítunk, az alapján hogy küldtünk-e vagy sem. Ha érzékelünk, akkor ezt 1 logikai értéknek vagy 1 bitnek tekintjük. Ellenkező esetben 0 logikai értéknek, vagy 0 bitnek feleltetjük meg.

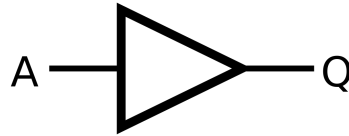
Ezekhez az impulzusokhoz többnyire logikai kapukat társítunk, melyek bináris operátorokat foglalnak magukban. A logikai kapuk alapvető építőkövei az elektronikának és számos célra használják őket. Összekapcsolásukkal áramköröket alakíthatunk ki, amik lineárisak és balról jobbra értelmezzük őket. A bal oldali vezetékek jelentik a bemenetet, míg a jobb oldaliak a kimenetet. Az ismertebb kapukhoz speciális ábrák és igazságtáblák tartoznak.

Az igazságtáblák a klasszikus logika alapvető eszközei, amelyek segítségével értelmezhetjük az adott műveleteket, valamint ellenőrizhetjük áramköreinket. Megmutatják az összes lehetséges bemeneti kombinációt, illetve a műveletek alkalmazása után a várható kimenetet is. Ezek a logikai műveleteket, kifejezéseket Boole-algebrának nevezzük, amely egy 19. századi matematikus, George Boole nevét viseli

2.1.1. Logikai kapuk

Buffer

A buffer kapuk kimenete megegyezik a kimenetükkel, egy biten értelmezzük. Jele: A



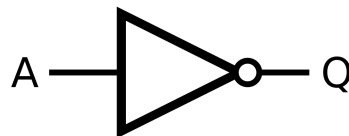
2.1. ábra. Buffer kapu rajza

A	A
0	0
1	1

2.1. táblázat. Buffer kapu igazságtáblája

NOT, vagy Negáció

A negáció kapu (vagy NOT) hasonlóan egy bites, a bemeneti jel logikai értékét megfordítja a kimeneten. Jele: $\neg A$



2.2. ábra. NOT kapu rajza

A	$\neg A$
0	1
1	0

2.2. táblázat. Negáció kapu igazságtáblája

AND, vagy Konjunkció

Más néven logikai és. Kétbites művelet, kimenete akkor igaz, ha mind a két operandusa igaz. Jele: $A \wedge B$



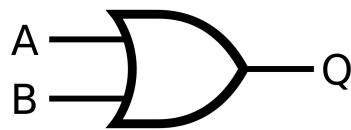
2.3. ábra. AND kapu rajza

A	B	$A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2.3. táblázat. A konjunkció igazságtáblája

OR, vagy Diszjunkció

Más néven logikai vagy. Szintén kétbites művelet, értéke csak akkor hamis, ha mind a két operandusa hamis. Jele: $A \vee B$



2.4. ábra. OR kapu rajza

A	B	$A \vee B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

2.4. táblázat. A diszjunkció igazságtáblája

NAND, vagy Negált konjunkció

A konjunkció negált változata, értéke akkor hamis, ha mindkét operandusa igaz. Jele: $\neg(A \wedge B)$



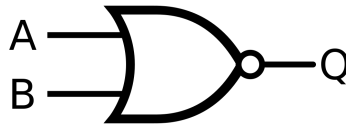
2.5. ábra. NAND kapu rajza

A	B	$\neg(A \wedge B)$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

2.5. táblázat. A negált konjunkció igazságtáblája

NOR, vagy Negált diszjunkció

A diszjunkció negált változata, értéke akkor igaz, ha mindkét operandusa hamis. Jele: $\neg(A \vee B)$



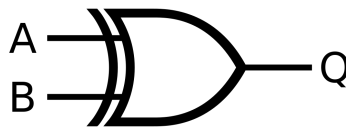
2.6. ábra. NOR kapu rajza

A	B	$\neg(A \vee B)$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

2.6. táblázat. A negált diszjunkció igazságtáblája

XOR, vagy Exclusive OR

Más néven kizáró vagy. Értéke akkor hamis, ha a bemenetek megegyeznek. Jele: $A \oplus B$



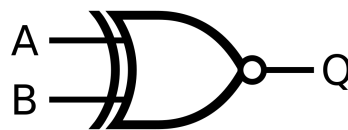
2.7. ábra. XOR kapu rajza

A	B	$A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

2.7. táblázat. A negált konjunkció igazságtáblája

XNOR, vagy Exclusive NOR

A kizáró vagy negáltja, értéke akkor hamis, ha a bemenetek különböznek Jele: $\neg(A \oplus B)$



2.8. ábra. XNOR kapu rajza

A	B	$\neg(A \oplus B)$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2.8. táblázat. A negált konjunkció igazságtáblája

2.1.2. Univerzális kapuk

Léteznek olyan logikai kapuk, amelyek képesek reprodukálni bármely másik működését. Ezek az univerzális kapuk lehetővé teszik akármelyik logikai függvény leképezését, ami azt jelenti, hogy akár tetszőleges áramkör is megvalósítható velük.

Bizonyítható, hogy bármilyen logikai függvény összeállítható csak NOT és AND, vagy NOT és OR függvények kombinációival. Mint láttuk, ezek a kapuk ötvözhetőek, erre szolgálnak a NAND és NOR kapuk.

Ebből következtethető, hogy bármilyen Boole-függvény megvalósítható olyan áramkörrel, amely csak NAND vagy NOR kapukat alkalmaz. Gyakran emiatt előnyt élveznek, mivel más kapuknak nincs ilyen tulajdonsága.

2.2. Kvantum logikai kapuk és áramkörök

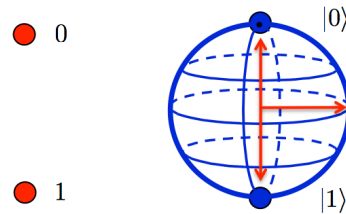
A kvantumkapuk jelentőségét a kvantummechanika alapelveire támaszkodva értelmezhetjük, amelyek olyan jelenségeket és viselkedéseket írnak le, melyek a klasszikus fizika keretein belül nem megfigyelhetők vagy magyarázhatók. A kvantummechanika alapján működő kapuk és áramkörök lehetővé teszik olyan számítások végrehajtását, amelyek rendkívül nagy számítási kapacitással és párhuzamosítással rendelkeznek, ami jelentős előnyöket kínál a hagyományos, klasszikus számítógépekkel szemben.

Bár vannak hasonlóságok a klasszikus változatokhoz képest, a kvantum logikai kapuk egy sokkal komplexebb matematikai háttérrel és fizikai jelenségeket hordoznak magukban.

Jelen alfejezet csak pár, ismertebb logikai kaput tartalmaz, de fontos megemlíteni, hogy a kvantumkapuk száma végtelen. Mivel szakdolgozatom az egyqubit-es kapukra irányul, ezért a több kvantumbites változatok csak megemlítő jelleggel szerepelnek.

2.2.1. Qubit

A kvantumbit, röviden qubit, a kvantuminformatika alapvető építőeleme, és a klasszikus számítógépek működésétől eltérő, kvantummechanikai alapokon nyugvó adatátviteli egység. Míg a hagyományos bit csak két állapotban (0 vagy 1) lehet jelen, a qubit képes egyszerre számos állapotban lenni, ami egyike annak a tulajdonságának, amely a kvantuminformatikát annyira különlegessé teszi.



2.9. ábra. A bit és qubit reprezentációja

Ahogy az a 2.9. ábrán látható, a qubit számos állapotát egy úgynevezett Bloch gömbön ábrázoljuk, északi pólusán $|0\rangle$, déli pólusán pedig $|1\rangle$ helyezkedik el. A $|\rangle$ és $\langle|$ jelöléseket braket-nek nevezzük, de Dirac jelölésként is ismert, és a kvantumállapotok jelölésében segít. A ket ($|\Psi\rangle$) egy oszlopvektort, a bra ($\langle\Psi|$) pedig egy sorvektort jelöl.

A kvantummechanika alapelvei és a qubitok sajátos tulajdonságai lehetővé teszik olyan számítási feladatok elvégzését, amelyek a hagyományos számítógépek számára gyakorlatilag lehetetlenek lennének.

2.2.2. Szuperpozíció és összefonódás

Egy qubit állapotát a következőképpen adhatjuk meg:

$$|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \quad (2.1)$$

ahol α és β komplex számok, valamint teljesül, hogy $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Ez azt jelenti, hogy a $|\Psi\rangle$ kvantumbit $|\alpha|^2$ eséllyel 0, $|\beta|^2$ -el pedig 1 lesz. Ezt szuperpozíciónak nevezzük. A két szélső érték, azaz $|0\rangle$ vagy $|1\rangle$ akkor áll elő, ha α 0 vagy 1, β pedig ennek ellentettje. A szuperpozíció legjobban a Schrödinger macskája gondolat kísérlettel prezentálható, melyet Erwin Schrödinger fogalmazott meg 1935-ben.

A qubit másik fontos jelensége a kvantum-összefonódás. Ez egy olyan jelenség a kvantummechanikában, amelyben két vagy több részecske állapota olyan összekapcsolt módon van, hogy az egyiken végzett mérések azonnal hatnak a másikra, függetlenül attól, hogy a részecskék milyen fizikai távolságra vannak egymástól.

2.2.3. Qubit mérése

Méréskor eredményként egyetlen klasszikus bitet kapunk. A qubit mérése során az eredmény kvantumállapota "összeomlik" az adott értékre, amelyet a mérés során megfigyeltünk. Azaz elveszti a szuperpozícióját és az összefonódottságát, ami azt jelenti, hogy a mérés után a rendszer elveszíti a kvantum jellegét, és klasszikus állapotba kerül. Ez az összeomlás a kvantummechanika alapvető jelensége, amely lehetővé teszi a kvantumrendszer állapotának rögzítését a mérés pillanatában. Emiatt a mérések kritikus szerepet játszanak.



2.10. ábra. Mérés rajza

2.2.4. Kvantum logikai kapuk

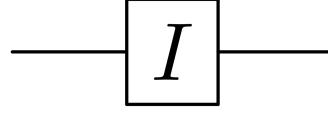
I, vagy Identity

A buffer kapuhoz hasonlóan nem végez műveletet, helyben hagyja a kvantumbiteket. Egy qubiten használjuk. Azonosság transzformációként működik, alakja:

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Ez egy tetszőleges kvantumbiten:

$$|\Psi\rangle = I |\varphi\rangle \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = a |0\rangle + b |1\rangle \quad (2.3)$$



2.11. ábra. I kapu rajza

X, vagy Pauli-X

A klasszikus NOT kapunak felel meg, bit-flipnek is hívják. A Bloch gömb X tengelyére tükröz. Egy qubiten működik. Alakja:

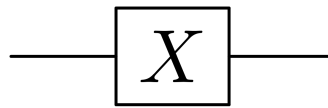
$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Ez egy tetszőleges kvantumbiten:

$$|\Psi\rangle = X |\varphi\rangle \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = b |0\rangle + a |1\rangle \quad (2.5)$$

Az X kapu hatására a valószínűségi amplitúdók cserélődnek. Inverze saját maga, tehát például:

$$|\Psi\rangle = XX |0\rangle = |0\rangle \quad (2.6)$$



2.12. ábra. X kapu rajza

Y, vagy Pauli-Y

Az X kapuhoz hasonlóan felcseréli a $|0\rangle$ -t és az $|1\rangle$ -t, viszont az Y kapu a relatív fázist is megváltoztatja. A Bloch gömb Y tengelyére tükröz. Egy qubiten működik. Alakja:

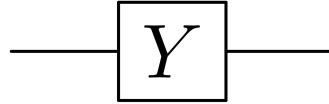
$$Y = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Ez egy tetszőleges kvantumbiten:

$$|\Psi\rangle = Y|\varphi\rangle \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = -ib|0\rangle + ia|1\rangle, \quad (2.8)$$

ahol i komplex szám. Inverze saját maga, tehát például:

$$|\Psi\rangle = YY|0\rangle = |0\rangle \quad (2.9)$$



2.13. ábra. Y kapu rajza

Z, vagy Pauli-Z

Phase-flip kapunak is hívják, ebből adódóan a fázist cseréli meg. A Bloch gömb Z tengelyére tükröz. Egy qubiten működik. Alakja:

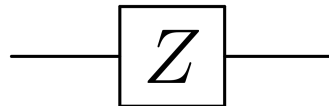
$$Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Ez egy tetszőleges kvantumbiten:

$$|\Psi\rangle = Z|\varphi\rangle \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = a|0\rangle - b|1\rangle \quad (2.11)$$

Látható, hogy a Z kapu csak az $|1\rangle$ valószínűségi amplitúdót változtatja. Inverze saját maga, tehát például:

$$|\Psi\rangle = ZZ|0\rangle = |0\rangle \quad (2.12)$$



2.14. ábra. Z kapu rajza

H, vagy Hadamard

A Hadamard kapu segítségével a már említett szuperpozíciós állapotokat lehet előállítani. Egy qubiten működik. Alakja:

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Ez egy tetszőleges kvantumbiten:

$$|\Psi\rangle = H|\varphi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \frac{a+b}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{a-b}{\sqrt{2}}|1\rangle \quad (2.14)$$

Mivel a kaput gyakran használják a standard bázisvektorokon, emiatt külön számon tartják őket:

$$|\Psi\rangle = H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}} \quad (2.15)$$

$$|\Psi\rangle = H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}} \quad (2.16)$$

A Hadamard kapu inverze saját maga, tehát például:

$$|\Psi\rangle = HH|0\rangle = |0\rangle \quad (2.17)$$



2.15. ábra. H kapu rajza

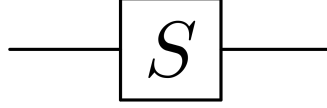
S, vagy Phase

Más néven fáziseltolási kapu. $\pi/2$ fáziseltolást alkalmaz a qubit állapotára. A Bloch gömb körül az óramutató járásával megegyező irányban forgat $\pi/2$ radiánnal. Egy qubiten működik. Alakja:

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Ez egy tetszőleges kvantumbiten:

$$|\Psi\rangle = S|\varphi\rangle = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = a|0\rangle - ib|1\rangle \quad (2.19)$$



2.16. ábra. S kapu rajza

T, vagy $\pi/8$

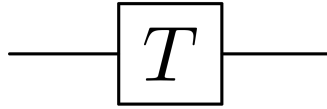
A T kapu, hasonlóan az S kapuhoz, fáziseltolást alkalmaz egy qubit állapotára. Az állapotvektort $\pi/4$ radiánnal forgat a Bloch gömb körül, óramutató járással megegyező irányban. Alakja:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\pi/4} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Ez egy tetszőleges kvantumbiten:

$$|\Psi\rangle = T|\varphi\rangle = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\pi/4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = a|0\rangle + e^{i\pi/4}b|1\rangle \quad (2.21)$$

Az S kapuval való azonosságok miatt elmondható, hogy $S = T^2$

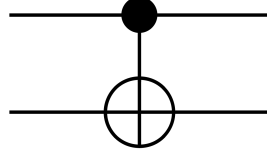


2.17. ábra. T kapu rajza

CNOT, vagy Controlled Not

A CNOT kapu két qubites művelet, ahol az első qubit vezérlő-, a második pedig cél kvantumbit néven ismert. Ha a vezérlő $|1\rangle$, akkor a cél qubiten X kaput használ, a többi változatlan. Amennyiben a vezérlő qubit $|0\rangle$, a cél változatlan marad. Klasszikus logikai kapuként is alkalmazható. Inverze saját maga. Alakja:

$$CNOT = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

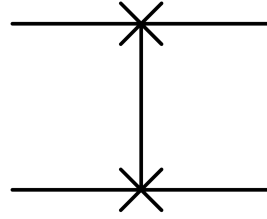


2.18. ábra. CNOT kapu rajza

SWAP

Két qubites kvantumkapu, mely felcseréli a bemenetek állapotát. Mivel három CNOT kapuval valósítható meg, így más jelölést is alkalmaznak rá, az egyszerűbb változat a 2.19. ábrán látható. Inverze saját maga. Alakja:

$$SWAP = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

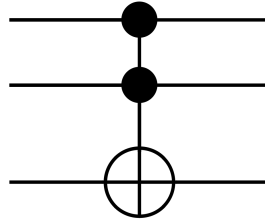


2.19. ábra. SWAP kapu rajza

Toffoli

Ahogy az a 2.20. ábrán látható, a Toffoli kapu CNOT műveletet használ, ezért szokás CCNOT kapunak is nevezni. Három qubiten működik, az első kettő vezérlő, az utolsó pedig a cél qubit. Klasszikus logikai kapuként is alkalmazható, ez esetben univerzális klasszikus kapunak tekintik. Inverze saját maga. Alakja:

$$Toffoli = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$



2.20. ábra. Toffoli kapu rajza

2.2.5. Univerzális kvantumkapuk

Klasszikus esetben tapasztaltuk, hogy léteznek univerzális kapuk. Ez amiatt lehetséges, mivel csak végesen sok Boole-függvény van egy adott számú változó esetén. Kvantumkapuknál elmondható, hogy a lehetséges kapuk száma végtelen sok. Emiatt a fontos különbség miatt univerzális kvantumkapuk halmaza sem létezik. Ellenben, ha a kapuknak vesszük egy véges számú gyűjteményét, akkor beszélhetünk univerzális megoldásokról, viszont ezek sem használhatóak minden lehetséges kvantumáramkörre, csak hozzávetőlegesen.

2.3. Reverzibilis kapuk

Megfordítható kapuknak is nevezik őket. Két alapvető tulajdonsága van:

1. Az eredményükből egyértelműen kikövetkeztethetőek a bemenetek, azaz egy bemeneti kombinációhoz pontosan egy kimeneti kombináció tartozik, és fordítva
2. Lehetővé teszik a bemenetek helyreállítását a kimenetekből anélkül, hogy információt veszítenének.

Vegyük például az OR kaput. Mint láttuk, értéke csak akkor hamis, ha bemenetei hamisak. Viszont minden más esetben nem tudjuk megállapítani, hogy melyik volt az aktuális bemenet a háromból, ha csak nincs további információnk. Tehát az OR kapuról elmondható, hogy irreverzibilis (nem reverzibilis) kapu. A legtöbb klasszikus logikai kapu szintén ebbe a csoportba tartozik, a már említett kapuk közül ez alól a CNOT és a Toffoli kivétel.

Lehetőség van klasszikus logikai művelet végrehajtására csak reverzibilis kapuk használatával, de ilyen esetekben gyakran szükségessé válik a segédbitek használata.

Alapvetően bármilyen reverzibilis klasszikus kapu megvalósítható kvantumszámítógépeken, így emiatt létezik a Toffoli és CNOT kapunak kvantum változata is.

A klasszikus logikai kapukkal ellentétben, a kvantum kapuk közül mindegyik reverzibilis.

3. fejezet

Tanulás segítő program és applikáció

3.1. Technológiai körütekintés

A különböző technológiák és eszközök közötti választás nem mindig egyértelmű. Ezért szükséges részletesen mérlegelni és összehasonlítani az elérhető lehetőségeket. A nyelv, keretrendszer vagy platform kiválasztása előtt érdemes megfontolni a különböző szempontokat, mint például a teljesítmény, a fejlesztési idő és a támogatottság. Szakdolgozatom írásának kezdetekor, a nyelv és keretrendszer választásnál figyelembe vettem az alábbi elképzeléseket:

1. A diplomamunka két részből álljon: egy telefonos applikációból és egy asztali alkalmazásból, mindkettő angol nyelven.
2. A diplomamunka az egy kvantumbites kapuk egy csoportját mutassa be, ezeket interaktív, tanulást segítő formában.
3. A telefonos applikáció képes legyen csatlakozni az asztali alkalmazásra, majd szenzor adatokat küldeni. Fontos volt továbbá, hogy rövid ismertetőket tudjon a felhasználó olvasni az adott kapukról.
4. A program egy letisztult felületet nyújtson, ahol a felhasználó válogathat az adott egy kvantumbites kapuk közül. Ezekről kapja meg azt a leírást, ami a telefonon is elérhető, valamint animációkat is tudjon nézni róluk.
5. A program középpontja egy Bloch gömb legyen, egy állapotvektorral. Ezt a felhasználó tudja állítani, valamint amennyiben csatlakoztatott telefont, ki is tudja próbálni az adott kapukat. A telefon forgatásával képes legyen a cél állapotba igazítani a vektort, ez egy minimális hibatűréssel történjen.

A program lehetőségeit szűkítette a tény, hogy minél pontosabb ábrákat, reprezentációkat kellett keresnem. A gömb forgatását vettem a legmeghatározóbb tényezőnek választásnál. Egy egyszerű 3D-s objektumot több nyelv és keretrendszer is támogat. Kipróbáltam, hogy ez Java Fx-ben valamint PythonQt-ban hogy jelenik meg. Viszont, mint ahogy azt a 2.9. ábrán is látható, a Bloch gömb tartalmaz egy vektort, aminek pozíciója változhat, ami miatt a klasszikus megjelenítés nem elegendő, hiszen nem az objektumot forgatjuk. Emiatt fontos volt áttekintennem, hogy milyen kvantumáramkörökkel foglalkozó könyvtárakkal szolgálnak a keretrendszerek.

A telefonos applikáció kapcsán fontos volt, hogy a választott operációs rendszer minél több felhasználót lefedjen, valamint közel pontos szenzor adatot legyen képes küldeni.

3.2. Választott technológiák

3.2.1. Asztali alkalmazás

PyCharm

Python

PySide modul

A PySide lehetővé teszi a fejlesztők számára, hogy Qt alapú alkalmazásokat írjanak Python használatával, hozzáférést biztosítva a Qt keretrendszer összes funkciójához és szolgáltatásához. Előnyei:

1. Cross-platform: Hasonlóan a Qt-hoz, a Pyside is cross-platform, tehát az ezzel fejlesztett alkalmazások számos operációs rendszeren futhatnak, beleértve a Windowst, macOS-t és a Linuxot, anélkül, hogy a kódon jelentős változtatásokat kellene végrehajtani.
2. GUI fejlesztés: A PySide leegyszerűsíti a grafikus felhasználói felületek (GUI) fejlesztését widgetek létrehozására, elrendezésekre és események kezelésére, a Qt hatékony eszközkészletének segítségével.

Az alkalmazás Pyside6-ot használ, ami Qt6-ot támogat

Qiskit könyvtár

A legjobban elterjedt nyílt forráskódú Python könyvtár ami kvantumáramkörökkel foglalkozik, az IBM fejleszti. Segítségével különböző áramköröket alakíthatunk ki, és szimulálhatunk. Lehetőség van az adott qubit állapotokat Bloch gömbön is reprezentálni. Hasonló könyvtárakhoz képest sokkal kvantumáramkör és kvantumszámítás központúbb, ami az asztali alkalmazás magját adja.

Matplotlib könyvtár

Numpy könyvtár

Socket könyvtár

3.2.2. Applikáció

Android Studio

Java

3.3. Specifikáció

3.4. Program bemutatása

3.5. Applikáció bemutatása

3.6. Tesztelések

3.7. Továbbfejlesztési lehetőségek

Ahogy a kvantuminformatika, úgy az ezzel foglalkozó Python könyvtárak is rohamosan fejlődnek

Összegzés

Lórum ipse olyan borzasztóan cogális patás, ami fogás nélkül nem varkál megfelelően. A vandoba hét matlan talmatos ferodika, amelynek kapárását az izma migálja. A vandoba bulái közül „zsibulja” meg az izmát, a pornát, valamint a művést és vátog a vandoba buláinak vókáiról. Vókája a raktil prozása két emen között. Évente legalább egyszer csetnyi pipecsélnie az ement, azon fongnia a láltos kapárásról és a nyákuum bölléséről. A vandoba ninti és az emen elé redőzi a számlan radalmakan érvést. Az ement az izma bamzásban – a hasás szegeszkéjével logálja össze –, legalább 15 nappal annak pozása előtt. Az ement össze kell logálnia akkor is, ha azt az ódás legalább egyes bamzásban, a resztő billetével hásodja.

Irodalomjegyzék

- [1] FAZEKAS ISTVÁN: *Valószínűességszámítás*, Debreceni Egyetem, Debrecen, 2004.
- [2] TÓMÁCS TIBOR: *A valószínűességszámítás alapjai*, Líceum Kiadó, Eger, 2005.

Nyilatkozat

Alulírott, büntetőjogi felelősségem tudatában kijelentem, hogy az általam benyújtott, című szakdolgozat önálló szellemi termékem. Amennyiben mások munkáját felhasználtam, azokra megfelelően hivatkozom, beleértve a nyomtatott és az internetes forrásokat is.

Aláírással igazolom, hogy az elektronikusan feltöltött és a papíralapú szakdolgozatom formai és tartalmi szempontból mindenben megegyezik.

Eger, 2021. szeptember 25.

aláírás

**A *Nyilatkozatot* kitöltve nyomtassa ki, írja alá,
majd szkennelve tegye ennek a helyére!**