

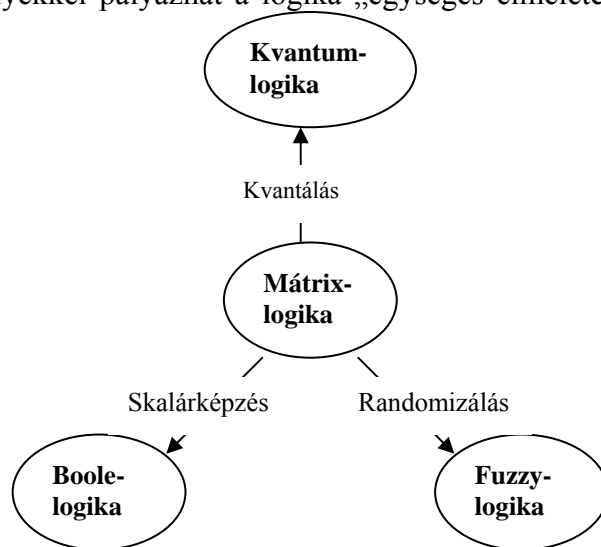
Mesterséges intelligencia másképpen: kvantumszámítógépek és a topologikus energia

„A fizika törvényei nem akadályozzák, hogy a számítógépek méreteit egészen addig csökkentsük, míg a bitek atomnyi méretűek nem lesznek.”

Richard Feynman

Az elmúlt években egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik a kvantumszámítógép megvalósítási lehetősége iránt, ami többek között a miniaturizálási technológiák fejlődésének és a kvantumelmélet pontosabb megértésének és gyakorlati alkalmazásokban történő kiaknázásának köszönhető. Mivel a kvantumszámítógép gyakorlati megvalósításának elvi lehetőségeiről nagyon sok cikket olvashatnak az érdeklődők a megfelelő lapokban, ezért jelen írásunkban egy olyan elméleti irányzatot szeretnék bemutatni, mely valami oknál fogva kevés figyelmet kapott a tudományos berkekben.

Ez az irányzat pedig az August Stern elméleti fizikus nevével fémjelzett mátrixlogika, mely már 1970 óta magában hordozza az új típusú számítógépek – köztük a kvantumszámítógép – megvalósítási lehetőségét [1]. Ez az új kiterjesztett logika nagy esélyekkel pályázhat a logika „egységes elmélete” címre is (lásd a baloldali ábrán), s mint



ilyen komoly segédeszközt nyújthat az utolsó generációs számítógépeknek tekinthető kvantum- és bio-számítógépek elméleti háttérének megteremtéséhez, valamint az emberi agy és az elme működésének modellezéséhez. No, de miért is volt szükség ennek az új logikai struktúrának a megalkotására?

A különféle logikai struktúrák létrehozását leginkább az alkalmazásokban – különösen a kognitív kutatások és a számítástudomány berkeiben – felmerülő problémák indukálják. A mátrixlogikát eredetileg Stern a gondolkodó agy összetettségének

leírása céljából fejlesztette ki, ám az események meglepő alakulásának köszönhetően a kvantumszámítás terén is alkalmazhatóvá vált elképzelése. Ahogy a klasszikus Boole logika a digitális számítógépek alapjául szolgál, a mátrixlogika elméleti alapot ad a kvantumlogikán alapuló számítógépeknek. Eredményei láttán Stern már 1970-ben előterjesztette a kvantumszámítógép elvi lehetőségének ötletét, amit a további kutatások fényében 1982-ben megismételt. Ez azért is nagyon fontos, mert napjainkban a kvantumszámítógép ötletét az Oxfordi Egyetem fizikusának, David Deutschnak tulajdonítják, aki kvantumelméleti alapokon rukkolt elő a '90-es években egy hasonló kijelentéssel. 1983-ban Stern ajánlást kért Feynmantól, hogy kvantumszámításra vonatkozó elképzelését a *Foundation of Physics* című lapban publikálhassa, ám néhány évvel később maga Feynman publikált egy cikket ugyanebben a témában. Sajnos, mint már annyiszor a történelem folyamán, most is az történt, hogy a tudós, azaz Stern gondolatai megelőzték korát, és egy olyan időszakban próbált ötletével előrukkolni, amikor még sem a műszaki szakemberek, sem a kvantumelmélet

képviselői nem álltak készen eme új paradigma megemésztésére és elfogadására. Stern ötletét – miszerint egy porszemcse nagyságú kvantum anyag, melyben számítási munkára fogjuk a rakoncátlan kvantumrészecskéket és az egyedi atomokat, megközelítheti vagy akár túl is szárnyalhatja egy szuperszámítógép, illetve az agy teljesítményét – a szakemberek a tudományos fantasztikum birodalmába száműzték. A kvantumszámítógép ötletével szemben hangoztatott legfőbb ellenvetés a '70-es és a '80-as években, és még ma is az, hogy a kvantum határozatlanság feltétele miatt lehetetlen ebben a mérettartományban hatékony számítást végezni. A '90-es évek végére azonban ez a nézőpont lassan megváltozott, amit főleg az olyan jelenségek, mint a kvantumteleportáció és az önjavító kódok elmélete idézett elő, hisz így nyilvánvalóvá vált, hogy a dekoherenciából eredő kvantum hibák kivédhetők és a számítások ezen a szinten is sikeresen végezhetők.

Szuperbitek

A kvantumszámítás napjaink elméletének számít, ami valójában a mátrixlogika keretein belül és nem a kvantummechanikában látott elsőnek napvilágot, ahogy azt manapság hibásan hiszik. Nos, annyi említés után, nézzük meg röviden, mi is a mátrixlogika alapja és miért nevezhető a logika terén megjelenő forradalmi újításnak.

A mai számítógépek alapvető információ egységeit a Boole algebra bitjei képezik melyek két értéket, a 0-t és az 1-et vehetik fel, amit skaláris logika néven is szoktak nevezni. Ezt a nézőpontot változtatta meg alapjaiban a mátrixlogika, ahol az előbbi bitek helyére a szuperbitek lépnek. Ezen új információs egység megjelenéséhez a logikai értékek vektorizálása vagy tenzorizálása vezetett. Ennek keretében Stern az **igaz** és **hamis** logika értéket egy logikai vektor két komponenseként értelmezi a logikai koordináták síkján, ahol a logikai függvényleképezéseket a logikai vektorokra ható logikai mátrixoperátorok váltják fel [1]. Vagyis a Boole logikai értékek a következőképpen írhatók fel, mint normalizált logikai vektorok:

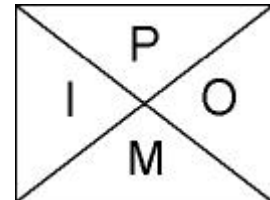
$$1 \Rightarrow |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad 0 \Rightarrow |0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Ha most ennek ismeretében mátrixformalizmust használva felírunk egy logikai kifejezést, akkor a kvantumszámítás számára fontos szuperponált értékek automatikusan megjelennek, pl:

$$\langle 0 | \vee | 1 \rangle = (1 \ 0) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = (1 \ 0) \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = 1, \text{ ahol az } \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ képezi a szuperponált értéket.}$$

A mátrixlogika tehát elméleti szinten már felfedezésekor megvilágította, hogy az információ nemcsak az ortogonális Boole-féle 0 és 1 állapotban létezhet, hanem koherens szuperponált állapotban is, amit Stern szuperbitnek nevezett el, s ami a szakirodalomban található kvantum bit vagy qbit fogalommal hozható kapcsolatba. S mivel ez az új információ állapot explicite megjelenik a mátrixlogikai számítások esetében, a kvantumszámítási reform fontos mérföldköve, melyet a szakirodalom hanyagul kezel. Ezt az új belső szabadsági fokot felhasználva lehetőségünk nyílik arra, hogy egy kvantumrészecskét szuperponált állapotba hozzunk, ami teljesen eltér a hagyományos vagy klasszikus felfogástól, ahol a makroszkopikusan elkülönült állapotokat szeretnék a Schrödinger-macskája effektushoz hasonlóan szuperpozíciós állapotba hozni. Mivel azonban egy működő kvantumszámítógép I/O egységénél kvantum-klasszikus interfészre is szükségünk lesz, ezért ezt az oldalt ugyancsak figyelembe kell vennünk, amit a mai tisztán kvantumelméleti megközelítések meg is tesznek. A mátrixlogika azonban úgy jut el a szuperponált állapotok számításai megjelenéséhez, hogy kiindulásként csak a Boole logikai értéket veszi alapul, amiben nem szerepelnek nem klasszikus elemek. Ám amikor a skalár logikai értékeket bijektíve

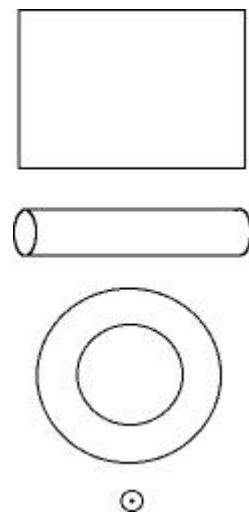
leképezzük a kétdimenziós mátrixlogikai fázistérre, és kölcsönhatásba hozzuk a logikai operátorokkal, a szuperbitek automatikusan megjelennek. Vagyis a kezdetben elkülöníthető értékek szuperponált értékekbe mennek át, melyeket akár logikai, akár kvantum hullámfüggvényként is kezelhetünk. A mátrixlogika elvén felépített számítógép tehát automatikusan kvantumszintre transzformálja a kiinduláskor klasszikus szinten lévő információs állapotokat, melyeket itt már operátorokként kell kezelnünk. Tehát ha az operátorokkal jelölt logikai koordináták mátrixai kommutálnak, akkor közös sajátértékeik a klasszikus Boole biteket szolgálják. A szuperbitek, mint kvantumosan szuperponált állapotok megjelenése egyúttal lehetőséget nyújt arra is, hogy a kvantumszámítógép esetében a processzor és a memóriaegység egyébe olvadjon. Mi több, az I/O egység is beolvasztható és így eljutunk a Stern által „információs borítéknak” vagy szingularitásnak (lásd jobb oldali képen) elnevezett integrált egységhez, mely működésében már az agyat modellezi.



Mindezt azért szerettem volna megvilágítani, mert ma már elég sok kutatás rávilágít arra, hogy a kvantumszámítógép megépítése és elméleti kutatása hozzásegíthet bennünket az agy fizikai működésének, valamint az elme és a magas szintű intelligencia funkciók pontosabb megértéséhez. Mivel a mátrixlogika megalkotása már eredetileg is ezt a célt próbálta megvalósítani, vizsgálata és technológiai alkalmazásának kutatása ezen a területen is komoly előrelépést jelentene, amit elméleti szinten Stern meg is tett, 1984-ben pedig, mint mátrix kvantum-processzort szabadalmaztatott is [2, 3].

Topologikus energia

A mátrixlogika és a legújabb elméleti fizikai elképzelések, különösen az M- vagy Mátrix-elmélet összeegyeztetésével [4] Stern arra a felfedezésre jutott, hogy a tudat és az intelligencia minőségét egy topológiai sajátosságokkal felruházott logikai mezőként képzelhetjük el, ahol a logikai vagy tudati és a fizikai minőségek egymással duális szimmetriát alkotnak, s ahol az előbbit nem hermitikus, míg az utóbbit hermitikus operátorokkal tudjuk jellemezni. Felfedezése tehát egy olyan kiterjesztett fizika felé mutat, melyben a komplex számokkal jellemzett valóságot a topologikus logikai-tér képzetes, és a fizikai sík valós összetevőit összekapcsoló duális szimmetriával tudja leírni. Így közvetlen megfeleltetést vezethetünk le az agy geometriai és a tudat topológiai tere között, ahol az utóbbinál az öntudat önviszonyuló állapotát a Möbius-szalaghoz hasonló nem irányítható felületek és topologikus hurkok vagy csomók vizsgálatával tárhatjuk fel. Eszerint az egyes logikai vagy tudati állapotokat komplex hurkokkal írhatjuk le, melyekhez a fizikai síkon értelmezett Noether töltések vagy megmaradó mennyiségek és energiákhoz hasonlóan topologikus energiát és töltést rendelhetünk. Vagyis, ha Stern most felvázolt elképzelése igaznak bizonyul, akkor a mesterséges intelligencia megvalósításának kérdése leredukálódik egyetlen technológiai vagy műszaki problémára: miként alkossunk meg olyan topologikus értelemben vett rugalmas belső felépítésű gépeket, melyek a logikai térre, mint nem hermitikus fizikai minőségre – mely fizikailag szoros kapcsolatot mutat a fizikai vákuum belső dinamikájával [2, 4] – ráhangolódva kicsatolnák és megjelenítenék a megfelelő szintű intelligencia értéket. Ennek irányvonalát, azaz a fentebb bemutatott „információs boríték” létrehozását topológiai értelemben Stern a dimenziók elméleti fizikából jól ismert kompaktifikációs vagy összecsavarási eljárásával hozza kapcsolatba. Eszerint a logikai térben megjelenő sokaságot egészen addig zsugorítjuk, míg el nem jutunk a számítási művelet részecskéjéig, ami nem más, mint a



kvantummechanikai spin, ami a kvantumszámítógép kétállapotú számolási egysége (lásd a képen). Ez a transzformáció egyfajta műveleti, vagy információs szingularitás létrehozásaként is értelmezhető, ami az öntudat szingularitásaként funkcionálhatna.

A spin, mint redukciós végtermék azért is nagyon fontos, mert az $SU(2)$ csoportidentitása természetes kapcsot jelent az irányítatlan topológiai felületekhez, vagyis az öntudathoz. A Stratégiakutató Intézet tudatkutatási részlegén ezen elgondolások elméleti továbbfejlesztését tűztük ki célul, mely a kvantumtudatos rendszerek modellezését és lehetséges technológiai kivitelezését próbálja megvizsgálni (ez utóbbinál az egyik lehetséges irányvonal a spinűvegek Ising modellje, a spinrezonancián alapuló módszerek és ezek holografikus összekapcsolása és egyesítése, amin a cikk szerzője is dolgozik). Mint stratégia ez azért nagyon fontos, mert a jövő egyik fő irányvonala a tudat megértése, valamint ezek a kutatások nem igényelnek nagy költségvetésű gyorsítót és egyéb technológiát, azaz Magyarországon is azonos eséllyel indulhatunk ezen a területen. Már csak azért is, mert sok magyar újítás látott már eddig is napvilágot ezen a területen.

A kvantumszámítógép megalkotása ugyanakkor világpolitikai kérdés, hisz az az ország, mely elsőként megalkotja, világuralmi helyzetbe kerülhet, ezért globális hatását stratégiai értelemben véve is vizsgálunk és értékelünk kell. Nem beszélve arról, hogy az elképzelés igazolása, miszerint az agy valójában egy „jelenleg” nem megfelelően működtetett kvantumszámítógép, minden nemzetet – a fentebb említett kérdésben – stratégiaileg azonos szintre emelne, s így a kérdés, valamint a versenyhelyzet módosulna, vagyis az új kérdés az lenne: ki ismeri ezt fel hamarabb és aknázza ki társadalmi és világszinten.

Dienes István
mérnök-kutató
Stratégiai Kutató Intézet

Irodalomjegyzék

1. Stern A., *Matrix logic*, (North-Holland, Amsterdam, New York, Tokyo, 1988)
2. Stern A., *The Quantum Brain. Theory and Implications*, (Elsevier Science, Amsterdam, New York, Tokyo, 1988)
3. Stern A., *Quantum Processor*, Industrial Patent Specifications, Priority 29.03.1984, Courier Press, UK.
4. Stern A., *Quantum Theoretic Machines*, (Elsevier Science, Amsterdam, New York, Tokyo, 2000)

Megjelent: ÁT - Áram és Technológia III. évfolyam 2005/1 februári számában