

## Predicting Me: út a digitális halhatatlansághoz?

Paul Smart

A kognitív tudományban kialakulóban lévő konszenzus a biológiai agyat hierarchikusan szervezett, előrejelző feldolgozó rendszernek tekinti, amely generatív modellekre támaszkodik az érzékszervi információk szerkezetének előrejelzésében. Ez a nézet összhangban van a gépi tanulásban végzett munkával, amely a hierarchikusan szervezett, többretegű (azaz mély) neurális hálózatok problémamegoldó képességét vizsgálja, amelyek közül sokan generatív modelleket készítenek és alkalmaznak a képzési adatokról. Ez a fejezet azt vizsgálja, hogy a látszólagos konvergencia egy közös neuro-számítási architektúra felé (amelynek középpontjában a prediktív feldolgozási sémák, a hierarchikus szerveződés és a generatív modellek állnak) milyen mértékben nyújthat támpontokat a digitális halhatatlanság problémájához. Az emberi agy fizikai szerkezetét rekonstruálni kívánó megközelítésekkel szemben ez a fejezet egy olyan megközelítést javasol, amely a gépi tanulási algoritmusok használatában gyökerezik. Az állítás szerint a mélytanuló rendszerek egy jövőbeli formája felhasználható lenne egy adott egyén generatív modelljeinek vagy (alternatívaként) azoknak az érzékszervi adatoknak a megszerzésére, amelyeket egy adott egyén agya biológiai élete során feldolgoz. A digitális halhatatlanság e két formája közötti különbségeket, valamint a digitális feltámadás néhány lehetőségét vizsgáljuk.

*Meghalni, aludni,  
Aludni! Esetleg álmodni. . .  
Mert a halál álmában milyen álmok jöhetnek. . .*

-Hamlet, William Shakespeare

---

Paul Smart  
Electronics & Computer Science, University of Southampton, Southampton, SO17 1BJ,  
UK e-mail: ps02v@ecs.soton.ac.uk

## 1 Bevezetés

Örökké akarsz élni? Ha igen, akkor a 21. század lehet a tökéletes időpont a halálra. A digitális halhatatlanság már régóta foglalkoztatja a transzhumanista mozgalmat, és számos javaslat született arra vonatkozóan, hogyan lehetne egy adott személyt digitális adathordozóra "sorba rendezni", majd "feltámasztani" egy digitális túlvilági élet részeként. Az ilyen elképzelések gyakran váltak filozófiai kritikák célpontjává, és több filozófiai szidalmazásra ösztönöztek, mint technológiai innovációra. De vajon mindez hamarosan megváltozik? A közelmúltban megújult az érdeklődés a digitális halhatatlanság fogalma iránt, és egyre több vállalat kínál valamilyen formában digitális túlvilági életet. "Legyél virtuálisan halhatatlan" - szól az egyik ilyen cég, az Eternime szlogenje.<sup>1</sup> Természetesen nem világos, hogy ez a konkrét kereskedelmi ajánlat a halhatatlanság virtuális formájára vagy a halhatatlanság virtuálisan lehetséges formájára vonatkozik. E kétértelműségek ellenére azonban a vállalat hosszú távú céljai viszonylag világosak:

Az Eternime összegyűjti a gondolataidat, történeteidet és emlékeidet, összeállítja őket, és létrehoz egy intelligens avatárt, amely úgy néz ki, mint te. Ez az avatár örökké élni fog, és lehetővé teszi, hogy a jövőben más emberek hozzáférjenek az emlékeidhez.

A digitális halhatatlanságról szóló viták általában együtt járnak az *elme feltöltésének* valamilyen formájára való felhívással. Goertzel és Ikle' (2012) szerint az elme feltöltése a következő:

. . egy informális kifejezés, amely . . arra a (még hipotetikus) folyamatra, amelynek során egy adott emberi agy mentális tartalmának egésze vagy jelentős többsége átkerül egy másik szubsztrátumba, leggyakrabban egy mesterséges szubsztrátumba, például egy digitális, analóg vagy kvantumszámítógépbe. (Goertzel és Ikle', 2012, 1. o.)

Talán nem meglepő, hogy számos különböző javaslat létezik arra vonatkozóan, hogy hogyan lehetne ezt a meglehetősen homályos célt megvalósítani. A legtöbb javaslat a fejlett technológia használatát támogatja, amely az egyén biológiai agyának szerkezetére vonatkozó információkat rögzíti. Hayworth (2012) például azt tárgyalja, hogy egy fejlett képalkotó technikával (Focused Ion Beam Scanning Electron Microscopy) hogyan lehetne feltérképezni az egész agy neurális áramköreinek szerkezetét, és így egy többé-kevésbé teljes modellt alkotni az emberi konnektomról - azaz az emberi agy kapcsolati mátrixáról (Sporns et al, 2005). Mivel az agynak ez a strukturális leírása határozza meg, hogy kik és mik vagyunk (lásd Seung, 2012), az ilyen megközelítések nyilvánvalóan vonzóak, még akkor is, ha egyelőre nem tartják megvalósíthatónak vagy a jelenlegi technológia korlátain túlmutatónak.

Ez a fejezet a digitális halhatatlanság egy olyan megközelítését írja le, amely legalábbis szellemében hasonlít az elmefeltöltés számos formájához. Ahol eltér a korábbiaktól, az az emberi agy funkcionális dinamikájának modellezésére (és újragenerálására) alkalmazott megközelítésben rejlik. Ahelyett, hogy a biológiai agy képalkotó vagy nyomkövető technikák segítségével próbálnánk közvetlenül feltérképezni a biológiai agy leképezett mikrostruktúráját, a jelenlegi megközelítés a gépi tanulási technikák használatában gyökerezik, különösen a következőkben.

<sup>1</sup> Lásd: <http://eterni.me/> (hozzáférés: 2018. március 7.).

a gépi tanulás azon formái, amelyek számítási stílusa, reprezentációja és általános felépítése némi hasonlóságot mutat az agyi (vagy legalábbis agykérgi) feldolgozás legújabb modelljeivel. E megközelítés ihletője az agyműködés legújabb neuroszámítógépes modellje, amely a biológiai agyat hierarchikusan szervezett előrejelző feldolgozó rendszerként ábrázolja, amely folyamatosan arra törekszik, hogy saját tevékenységét előre jelezze.<sup>2</sup> különböző (egyre absztraktabb) térbeli és időbeli skálákon (Clark, 2016, 2013b; Friston, 2010). Az agyműködésnek ez a beszámolója jelentős tudományos és filozófiai érdeklődés célpontja, legalábbis részben azért, mert a beszámolót relevánsnak tartják a látszólag egymástól eltérő pszichológiai jelenségek széles skálájára, beleértve a tanulást, a figyelmet, az észlelést, a cselekvést, az érzelmeket, a képzeletet, az emlékezetet és a mentális betegségek különböző formáit (Clark, 2016; Friston et al, 2014). Ezen túlmenően azonban az agynak mint hierarchikusan szervezett előrejelző feldolgozó rendszernek a víziója tükröződik a gépi tanulás legújabb megközelítéseiben, különösen a mélytanuló rendszerekhez kapcsolódó megközelítésekben (Bengio, 2009; LeCun et al, 2015). A konvergencia ilyen formái érdekesek, tekintettel a mélytanulás közelmúltbeli sikereire számos mesterséges intelligencia (AI) problémában, és akár a gépi megismerés tapasztalati potenciállal bíró formái felé vezető, még kissé bizonytalan út kezdetét is jelezhetik. A jelen fejezet célja e két kutatási terület (azaz az agyműködés prediktív feldolgozási modelljei és a mély gépi tanulás) ismertetése azzal a céllal, hogy felvázolja a digitális halhatatlanság olyan megközelítését, amely kiemeli a mélytanulást, a virtuális valóság és a nagy adatfeldolgozás kutatásának relevanciáját. Az e kutatási területekhez kapcsolódó technológiák valószínűleg jelentős hatással lesznek az emberi tevékenység különböző területeire a 21. század folyamán.

A fejezet felépítése a következő: A 2. szakasz felvázolja a prediktív feldolgozás (PP) keretrendszerének általános formáját, ahogyan azt Clark (2016), Friston (2010) és mások is tárgyalják. A PP-elszámolás egyik fő jellemzőjére összpontosít, nevezetesen a generatív modellek használatára az érzékszervi jel "felülről lefelé" történő felépítéséhez. A 3. szakasz célja, hogy felhívja a figyelmet néhány hasonlóságra az agyműködés PP-elszámolása és a mélytanulási rendszerek között. A 4. szakasz ezután azt javasolja, hogy a mélytanulási rendszerek és a PP közötti kapcsolat szolgáljon a digitális halhatatlanság egy sajátos megközelítésének alapjául: ez a megközelítés abban az elképzelésben gyökerezik, hogy a mélytanulási rendszerek felhasználhatók a biológiai agyak által a predikcióorientált tanulás eredményeképpen megszerzett generatív modellek újratereztésére. Az 5. szakasz a hangsúly eltolódását tükrözi, a gépi tanulásról a nagy adatokra való áttérést. A 4. szakaszban bemutatott, a digitális halhatatlansággal kapcsolatos megközelítéssel szembeesülő néhány problémát tárgyal. Az 5. szakasz különösen azt a kérdést veti fel, hogy milyen adatokat kellene gyűjteni, valamint néhány olyan technikai, társadalmi és etikai kihívást, amelyekkel valószínűleg szembe kell nézni az adatgyűjtési erőfeszítések során. A 6. szakasz a virtuális valóság technológiák szerepét vizsgálja egyfajta digitális túlvilági élet létrehozásában, különös hangsúlyt fektetve a megtestesülés fogalmára. Végül a 7. szakasz zárja a fejezetet.

---

<sup>2</sup> Lényegében az agyat egy többrétegű előrejelző gépnek tekintik, ahol a "magasabb" rétegek megpróbálják megjósolni az "alacsonyabb" rétegek aktivitását. Ebben az értelemben az agyat úgy tekinthetjük, hogy saját aktivitását, azaz az alkotó neurális elemek aktivitását jósolja meg.

## 2 Prediktív feldolgozás

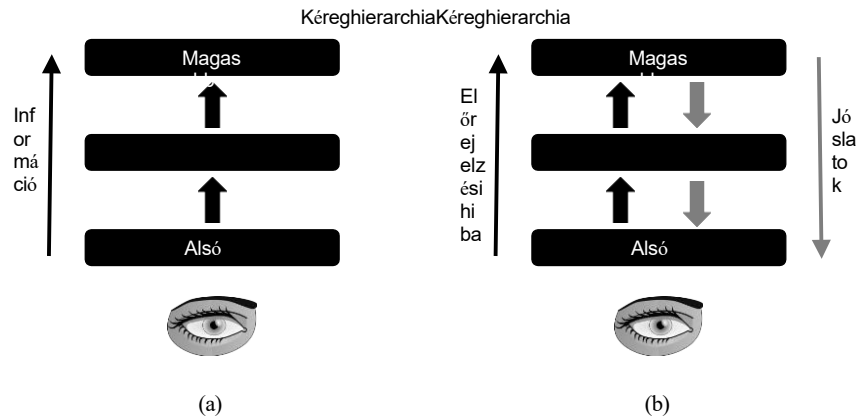
Az elmúlt évtized során az agy egy bizonyos nézete egyre népszerűbbé vált mind a kognitív idegtudományban, mind az elmefilozófiában. Ez a nézet a biológiai agyat egy hierarchikusan szervezett rendszernek tekinti, amely folyamatosan arra törekszik, hogy saját belső aktivitását előre jelezze, a szervezet érzékszervi felületein zajló energiajátékhoz viszonyítva (Clark, 2016). Ennek a beszámolóknak a legnépszerűbb változata a megismerés prediktív feldolgozási beszámolója (röviden PP) néven ismert.

Némi betekintést nyerhetünk a PP általános ízébe, ha összehasonlítjuk az érzékelés PP megközelítését hagyományosabb megfelelőjével (lásd az 1. ábrát). A hagyományos felfogás szerint az észlelés a beérkező érzékszervi információk fokozatos elemzésével történik, az absztraktabb jellemzők észlelése az agykérgi hierarchia egyre magasabb szintjein történik (lásd az 1a. ábrát). A cél ebben az esetben az, hogy a felfelé/előre áramló információáramlást elemezzük addig a pontig, ahol a cselekvés az érzékelési jelenet absztrakt tulajdonságaihoz képest koordinálható.

Az érzékelés feldolgozásának PP szemlélete némileg más (lásd az 1b. ábrát). Itt a beérkező érzékszervi információáramlással a feldolgozási hierarchia egyre magasabb rétegeiből kiinduló, lefelé/visszafelé haladó előrejelzések kaszkádja találkozik. Ennek a lefelé áramló folyamtnak az a célja, hogy megjósolja a hierarchia minden egyes rétegében lévő neurális áramkörök aktivitását, az előre/felfelé áramló információáramot pedig arra használják, hogy közöljék a tényleges és a megjósolt aktivitás közötti eltérést. A rendszer általános célja ebben az esetben az előrejelzési hiba minimalizálása és ezáltal az előre irányuló információáramlás elnyomása. Információelméleti szempontból az előrejelzési hiba a "szabad energia" mérőszámának tekinthető, amelyet úgy határoznak meg, mint "a szervezet érzékszervi bemeneteire vonatkozó (a világ modelljeiben megtestesülő) előrejelzések és a ténylegesen tapasztalt érzékelések közötti különbséget" (Friston et al, 2012, 1. o.). Az előrejelzési hiba csökkenése tehát a szabad energia csökkenésének felel meg, ami hosszabb távon egyfajta entrópia-minimalizálásnak felel meg (lásd Friston, 2010). Amint azt Clark (2016) megjegyezte:

. . jó [előrejelző] modellek. . azok, amelyek segítenek nekünk sikeresen részt venni a világban, és ezáltal segítenek fenntartani a struktúránkat és szervezetünket, hogy - hosszabb, de véges időn keresztül - ellen tudjunk állni az entrópia növekedésének és (így) a termodinamika második törvényének. (Clark, 2016, 306. o.)

Azt az eszközt, amellyel az agy a prediktív képességeket elsajátítja, gyakran az észlelési tanulás egy formájaként ábrázolják. Lényegében az előrejelzési hiba elősegíti a szinaptikus erősség változását, amely átkonfigurálja az idegi áramkörök szerkezetét, lehetővé téve a magasabb szintű idegi régiók számára, hogy jobban megjósolják az alacsonyabb szintű régiók aktivitását. Lényeges, hogy a predikció-orientált tanulás e sajátos formájának egyik eredménye egy hierarchikusan szervezett modell telepítése, amely (a szervezetnek a világgal való érzékszervi kapcsolata révén) nyomon követi a rejtett okokat (vagy látens változókat), amelyek a beérkező érzékszervi információk statisztikai szerkezetét irányítják. E modellek fontos jellemzője, hogy *generatív* jellegűek. Azaz a hierarchia minden egyes rétegében a neurális áramkörök által kódolt modelleknek a következőkre kell épülniük.

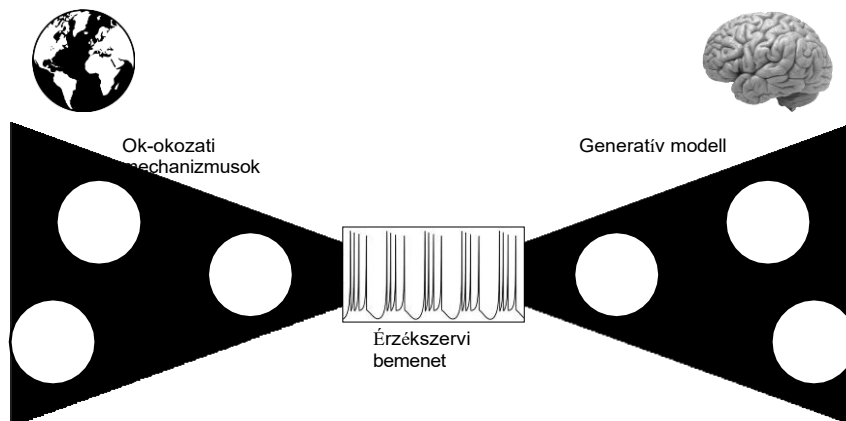


**1. ábra** Az észlelés feldolgozásának két megközelítése. (a) Az észlelésfeldolgozás hagyományos megközelítését az információ felfelé/előre irányuló áramlása jellemzi az agykérgi régiók egymásutánján keresztül. (b) Ez ellentétben áll a PP megközelítéssel, amely a visszafelé/lefelé áramló predikciók szerepét hangsúlyozza a felfelé/előre irányuló információáramlás elfojtásában.

olyan legyen, hogy minden réteg képes legyen megjósolni az alatta lévő réteg aktivitását. Ez tulajdonképpen azt jelenti, hogy minden réteg képes létrehozni az alacsonyabb réteg által kódolt információt, és ez egészen a hierarchia legalsó szintjéig terjed, vagyis addig a pontig, ahol a lefelé áramló előrejelzések áradata találkozik az érzékszervi információk beérkező áradatával.

Széles körben feltételezik, hogy ennek a hierarchikus szerveződésnek az átfogó eredménye egy többrétegű generatív modell, amely megtestesíti a környezet oksági szerkezetét. Különösen azt feltételezik, hogy az alacsonyabb szintek tevékenységének megismétlésére és ezáltal a beérkező érzékszervi jelek befogadására tett kísérlet révén az agy megpróbálja modellezni a világi okok kölcsönhatásban lévő halmazát, amely az érzékszervi ingerek bizonyos fajtáit eredményezi. Bizonyos értelemben a sikeres előrejelzés olyan, mint a "megértés" egy formája, ahol a szóban forgó megértés azokra az oksági erőkre és tényezőkre vonatkozik, amelyek az érzékszervi információknak a szervezet helyi környezetében létező bármilyen testét alakítják (lásd Clark, 2013a). Ezen a ponton a többrétegű, hierarchikusan szervezett neurális architektúrák iránti elkötelezettség különös jelentőséget kap, mivel úgy tűnik, hogy egy ilyen szervezet ideálisan illeszkedik ahhoz a fajta világhoz, amelyben mi, emberek élünk - egy olyan világhoz, amely kölcsönhatásban lévő, gyakran mélyen egymásba ágyazott oksági erők strukturált csomópontja köré épül. A PP szerint az észlelés célja, hogy ezt az alkalmi struktúrát megfordítsa azáltal, hogy egy generatív modell segítségével következtet az érzékszervi bemenet okaira (lásd a 2. ábrát). "A valós világ hierarchikus struktúrája" - javasolja Friston (2002) - "szó szerint tükröződik a hierarchikus architektúrákban, amelyek megpróbálják minimalizálni az előrejelzési hibát, nemcsak az érzékszervi bemenet szintjén, hanem a hierarchia minden szintjén" (237-238. o.).

Ahogy Clark (2016) megjegyezte, a generatív modellek számos kognitív jelenség középpontjában állhatnak, beleértve a hallucinációra, álmodozásra, fantáziára és a



**2. ábra** A generatív modell leírja, hogy a környezetben lévő változók vagy okok hogyan állnak össze az érzékszervi bemenet létrehozására. Az észlelés ekkor az érzékelések és az okok közötti fordított leképezésnek felel meg.

a mentális képalkotás saját maga által generált formáinak lehetősége. A generatív modell elsajátítása során az agy kifejleszti azt a képességét, hogy felülről lefelé irányítsa az idegi aktivitás mintáit, és ezáltal képes újratereíteni azokat a tevékenységmintákat, amelyek akkor jönnének létre, ha a szervezet egy adott szenzoros bemeneti mintával szembesülne. "A valószínűségi generatív modell alapú rendszerek, amelyek képesek megtanulni egy macska vizuális érzékelését" - javasolja Clark (2013b) - "... ipso facto olyan rendszerek, amelyek képesek felülről lefelé irányuló kaszkádot bevetni, hogy számos olyan aktivitási mintát hozzanak létre, amelyek egy tényleges macska vizuális jelenlétében keletkeznének" (198. o.). Úgy tűnik, hogy ez mélyreható jelentőséggel bír mentális életünk számos aspektusának megértéséhez képest. A generatív képességek tehát relevánsnak tűnnek a nem létezőt megálmolni, a kontrafaktumot elképzelni, a jövőt előre látni és (az emlékezeten keresztül) a múltat rekonstruálni képes képességünk szempontjából.

Amellett, hogy újragondoljuk a látszólag különböző kognitív jelenségek közötti kapcsolatot, a PP-számítás a kognitív gazdaságunk talán legnehezebben megfogható részének, a tudatos tapasztalatnak a megítélését is megalapozza. Különösen a generatív modellekre való hivatkozás néha úgy tűnik, hogy megerősíti a tudat olyan megközelítését, amely azt a virtuális valóság egy formájaként (lásd Revonsuo, 1995) vagy irányított hallucinációként ábrázolja. Metzinger (2003) például azt javasolja, hogy az agy szemléletének egyik gyümölcsöző módja az agy szemlélése:

. . . mint olyan rendszer, amely még a szokásos ébrenléti állapotokban is folyamatosan hallucinál a világban, mint olyan rendszer, amely folyamatosan hagyja, hogy belső autonóm szimulációs dinamikája összeütközzön az érzékszervi bemenetek folyamatos áramlásával, erőteljesen álmodva a világban, és ezáltal létrehozva a fenomenális tapasztalat tartalmát. (Metzinger, 2003, 52. o.)

Ahhoz, hogy jobban megragadhassuk a fenomenális tapasztalatnak mint egyfajta kontrollált hallucinációnak vagy aktívan konstruált virtuális valóságnak a gondolatát, segíthet egy olyan hipotetikus helyzetet megvizsgálni, amelyben a környezet kiszámíthatósága (vagy az agy generatív modelljének előrejelző ereje) olyan, hogy az aktivitás

a neurális feldolgozási hierarchia minden egyes rétegében tökéletesen megjósolja a felette lévő réteg. Ilyen helyzetben az érzékszervi információk beérkező áramlását lefelé áramló előrejelzések kaszkádja fogadja, amely tökéletesen megragadja a feldolgozási hierarchia minden egyes rétegének aktivitását. Egy ilyen állapot érdekes, mert az egyes rétegek előrejelzési sikerei kiküszöbölik az információ előre (vagy felfelé) áramlását (azaz a hierarchia alacsonyabb rétegeiből a magasabb rétegek felé). A PP-számítás szerint, emlékeztetőül, az előre irányuló információáramlás megfelel az előrejelzési hibának - a hierarchia egyes szintjein a tényleges és az előre jelzett tevékenység közötti eltérésnek. Ebben a konkrét esetben azonban - nevezük *előrejelzési hiba nélküli esetnek* - nincs előrejelzési hiba, és így nincs előre/felfelé irányuló információáramlás. Ami tehát marad, az egy tisztán visszafelé vagy lefelé irányuló információáramlás, a magasabb agykérgi régióktól egészen az érzékszervi bemenetig.

Természetesen a valós világban nem valószínű, hogy az előrejelzési hiba nélküli eset tényleges esetei előfordulnak. A valós környezet ritkán tökéletesen kiszámítható, és a neurális áramkörök aktivitását gyakran jellemzi a neuronális zaj jelenléte (pl. Faisal et al, 2008). Így még ha az organizmusok a "Dark-Room Problem" (Friston et al, 2012) által felvetett aggodalmaknak megfelelően egy sötét, változatlan kamrát keresnének is, nem valószínű, hogy ezek az organizmusok teljesen mentesek lennének az előrejelzési hibáktól. Egyszerű gondolkísérletként azonban a predikációs hiba nélküli eset hasznos abban, hogy segítsen megbarátkozni azzal az elképzeléssel, hogy az észlelési tapasztalat (és talán a fenomenális tapasztalat, általánosabban) olyan valami, ami "belülről kifelé" jön létre. Feltételezve, hogy az észlelési tapasztalat stabil neurális állapotok kialakulásának következményeként jön létre (azaz olyanok, amelyek sikeresen előrejelzik más neurális régiók aktivitását, és így nem zavarja őket az előrejelzési hiba semmilyen formája), akkor az előrejelzési hiba nélküli eset az, amikor (például) egy jelenet látásának tapasztalata az agyon keresztül történő információáramlás nélkül történik. Ennek eredményeképpen a tudatos tapasztalatot úgy tekintjük, mint olyasvalamit, amit az agy aktívan generál annak részeként, hogy megpróbálja modellezni a szenzorium oksági struktúráját, és így megjósolni saját (szenzorikusan formált) idegi aktivitását.

Mindennek a végeredménye az agy, mint egyfajta virtuális valósággenerátor - a virtuális tárgyakat és virtuális világokat megjelenítő technológiák biológiai megfelelője. E vízió szerint mindennapi tudatos tapasztalataink egyes aspektusai az agy azon kísérletéhez kapcsolódnak, hogy olyan generatív modelleket szerezzen és alkalmazzon, amelyek a külső környezet oksági szerkezetét követik. Különösen úgy tűnik, hogy a tudatos tapasztalat a külső okok kölcsönhatásban lévő halmazának megfelelő reprezentációk aktiválásához kapcsolódhat, amelyeket a beérkező érzékszervi információk szerkezetének előrejelzésére tett kísérlet eredményeként sajátítunk el.

Ez egy meggyőző, bár még mindig kissé rejtélyes látomás. Olyan látásmód, amely jelenséges tapasztalatainkat a valóság szimulációjához hasonlónak ábrázolja, és olyan látásmód, amely elmosja a látszólag különböző kognitív jelenségek, például az észlelés, a képzelet, az álom és a fantázia közötti különbséget. Egy ilyen látásmódhoz képest talán könnyű úgy gondolni az életre, hogy az nem több, mint egy álom. Metzinger nézeteit megismételve, amit ébrenlétnak nevezünk, az nem lehet más, mint egyfajta "online álmodozás" (Metzinger, 2003, 140. o.).

### 3 Álomgépek

A PP beszámoló érdekes hasonlóságokat mutat a gépi tanulással kapcsolatos legújabb munkákkal, különösen azokkal, amelyek az úgynevezett mély tanulási rendszerekre összpontosítanak (Bengio, 2009; LeCun et al, 2015). Az agyműködés PP-modelljéhez hasonlóan a mélytanulás is a többrétegű architektúrák fontosságát hangsúlyozza, ahol a "magasabb" rétegek az "alacsonyabb" rétegek által mutatott válszrinták absztraktabb reprezentációit adják (legalábbis egyes rendszerekben). A generatív modellek fogalma szintén közös pontot jelent a PP és a mélytanulási kutatások legalábbis néhány irányzata között. Itt a gépi tanulással foglalkozó közösség figyelme eltolódott a neurális hálózatok diszkriminatív képességeinek (pl. a különböző típusú objektumok megkülönböztetésére való képességük) hagyományos fókuszától a generatív képességeik (azaz a képzési adatok újratermelésére való képességük) jobb megértése felé.

Ez a hangsúlyeltolódás - a diszkriminatív képességekről a generatív képességekre - azért fontos, mert rávilágít a mélytanulási rendszerek potenciális jelentőségére a digitális halhatatlanságról szóló viták szempontjából. Mivel a mélytanulási rendszerek képesek az agy működését utánozni a generatív modellek megszerzése és alkalmazása tekintetében (és mivel a generatív modellek az emberi kognitív gazdaság egyik sarokkövének bizonyulnak), felmerülhet a kérdés, hogy egy mélytanulási rendszer használható-e a biológiai agy által megtestesített generatív modellek újbóli létrehozására. Talán ha meg tudnánk ragadni azokat az érzékszervi adatfolyamokat, amelyek alapján az agyi alapú generatív modellek formát öltenek, akkor ezeket az adatokat felhasználhatnánk egy mély tanulási rendszer betanítására, és ezáltal visszaállíthatnánk egy adott emberi egyed kognitív tulajdonságainak (egy részét). Ez a digitális halhatatlanság megközelítésének lényege, amely rávilágít két kulcsfontosságú 21. századi technológia - a mélytanulási rendszerek és a nagy adatmennyiségű technológiák - potenciális jelentőségére a digitális halhatatlanság kérdései szempontjából.<sup>3</sup> A következő fejezetekben megvizsgáljuk az ezzel a megközelítéssel kapcsolatos néhány következményt (és problémát). Egyelőre azonban irányítsuk figyelmünket a mélytanulási rendszerek és az agyműködés PP-számlája közötti (feltételezett) kapcsolat természetére.

Ami a generatív képességekkel rendelkező mélytanuló rendszereket illeti, számos rendszer került a közelmúltban a kutatások középpontjába. Ezek közé tartoznak a Deep Belief Networks (DBN-ek) (Hinton, 2007a,b), a variációs autoencoderek és a Generative Adversarial Networks (GAN-ek) (Goodfellow et al, 2014). A DBN-ek a mély tanulási rendszerek egy sajátos fajtáját jelentik. Ezek több rétegből állnak, amelyek úgynevezett Restricted Boltzmann Machines (RBM-ek) több rétegből állnak. Ezek az RBM-ek egy olyan típusú neurális hálózat, amely két rétegből áll: egy látható rétegből és egy rejtett rétegből. Az egyes rétegeken belüli csomópontok a szomszédos rétegek csomópontjaihoz kapcsolódnak; azonban nincsenek rétegen belüli kapcsolatok (azaz egy adott rétegen belüli csomópontok nem kapcsolódnak a szomszédos rétegek csomópontjaihoz).

<sup>3</sup> Kétséges, hogy a mélytanulás jelenlegi csúcstechnológiája elegendő-e az itt javasolt digitális halhatatlanság víziójának megvalósításához. Mindazonáltal érdemes szem előtt tartani, hogy a mélytanulás kutatása valószínűleg a következő 10-20 évben a globális kutatási figyelem egyik kiemelt középpontjába kerül. Tekintettel arra, hogy az elkövetkező években valószínűleg mennyi időt, erőfeszítést és pénzt fordítanak majd a mélytanuló rendszerekre, valószínű, hogy a 21. század folyamán jelentős változásokat fogunk látni a képességeikben.

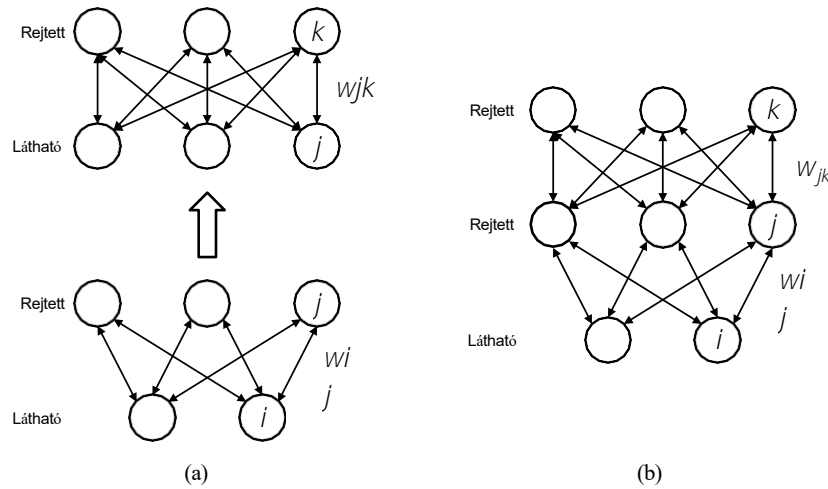


ugyanabban a rétegben).<sup>4</sup> A látható réteg csomópontjai az RBM-nek bemutatott adatokat reprezentálják, a rejtett réteg célja pedig a látható rétegben reprezentált adatok közötti magasabb rendű korrelációk megragadása. Jellemzően az RBM összes csomópontja bináris, két állapotot a "0" és az "1" számjegyekkel reprezentálva. Ez azt jelenti, hogy abban az esetben, ha az RBM-nek egy fekete-fehér képet mutatnak be, a látható réteg csomópontjai a képet egy bináris adatvektor segítségével reprezentálják, amelynek elemei a kép egyes pixelintenzitásait képviselik (pl. '1' a fehér és '0' a fekete). Ehhez az esethez képest a rejtett réteg csomópontjai most bináris jellemződetektorokként működnek, amelyek a látható réteg pixelértékei közötti magasabb rendű korrelációkat próbálják modellezni. A tanulás során a cél különösen az, hogy a felülről lefelé irányuló kapcsolatokhoz (a rejtett rétegből a látható rétegbe) tartozó súlyokat úgy konfiguráljuk, hogy a rejtett réteg képes legyen újraalkotni a látható réteg csomópontjai által reprezentált képzési adatokat. Ebben az értelemben azt mondjuk, hogy az RBM modellje a képzési adatokról a felülről lefelé irányuló kapcsolatokban található.

Nyilvánvaló, hogy a bináris jellemződetektorok egyetlen rétege valószínűleg nem képes megragadni az összes látens struktúrát, amely egy összetett képkészletben létezik, különösen, ha figyelembe vesszük az egyes képpontok intenzitását létrehozó, egymással kölcsönhatásban lévő oksági folyamatok összetettségét (lásd Horn, 1977). Ezért az alap RBM-hez további rétegeket adunk hozzá, hogy bővítsük reprezentációs képességeit. Ez az a pont, amikor egy egyszerű, kétrétegű RBM kezd átalakulni többrétegű DBN-né (lásd a 3a. ábrát). Minden egyes réteg hozzáadásakor az új réteget egy új RBM rejtett rétegeként kezeljük, míg az eredeti RBM korábbi rejtett rétege most látható réteggé funkcionál. Valójában az eredeti rejtett réteg reprezentációi most az új réteg képzési adatai (vagy "érzékszervi" bemenete) lesznek, és az új réteg célja egy sor absztraktabb reprezentáció megtanulása, amelyek megragadják az alatta lévő réteg dinamikáját. Talán nem meglepő, hogy minden egyes új réteg hozzáadása növeli a rendszer absztrakt strukturális szabályszerűségek modellezésére való képességét, ezáltal javítva a hierarchia legalsó rétegének (azaz az eredeti RBM látható rétegének) képzési adatainak létrehozására való képességét.

Az ilyen (inkrementálisan orientált) tanulási rendszer eredménye egy többrétegű neurális hálózat, amely valójában több RBM összetétele (lásd a 3b. ábrát). Ezt a rendszert tipikusan DBN-nek nevezik. Ezen a ponton a rendszer rendelkezik a képzési adatok által reprezentált céltartomány jó generatív modelljével, de nem feltétlenül alkalmas más típusú feladatokra, például a képek bizonyos osztályokba történő osztályozására. Mindazonáltal a hálózat a képzési adatok újbóli létrehozására kényszerülve sokat tanult a képzési adatokat strukturáló rejtett okokról vagy látens változókról. A hálózat tulajdonképpen megtanult egy olyan módszert, amellyel minden egyes bemeneti vektort (az érzékszervi adatok minden egyes mintáját) kölcsönhatásban lévő és mélyen egymásba ágyazott (rejtett) okok hálózatával lehet "megmagyarázni", ahol a jó magyarázat fogalma megfelel "egy olyan bináris állapotvektornak minden réteg számára, amely valószínűsíthetően egyszerre okozza az alatta lévő réteg bináris állapotvektorát és valószínűsíthetően a felette lévő réteg bináris állapotvektorának okozója" (Hinton, 2010, 179. o.). Kiderül, hogy ez a "magyarázó

<sup>4</sup> Ez rávilágít a DBN és a PP kognícióról szóló beszámolók közötti egyik különbségre. A PP-ben jellemzően feltételezik, hogy a feldolgozási hierarchia ugyanazon rétegén belüli elemek valamiféle laterális feldolgozásban vesznek részt.

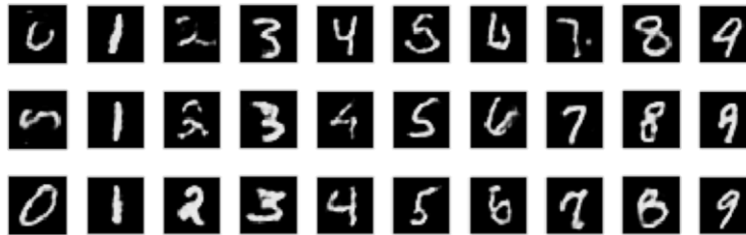


**3. ábra** Restricted Boltzmann Machines és Deep Belief Networks. (a) Két különálló RBM. Az egyes RBM-ek rejtett rétegében lévő sztochasztikus bináris változók szimmetrikusan kapcsolódnak a látható rétegben lévő sztochasztikus bináris változókhoz. Egy rétegben belül nincsenek kapcsolatok. A magasabb szintű RBM-et az alacsonyabb RBM rejtett tevékenységeinek adataként használva képezzük ki. (b) Két RBM egyesítéséből képzett DBN.

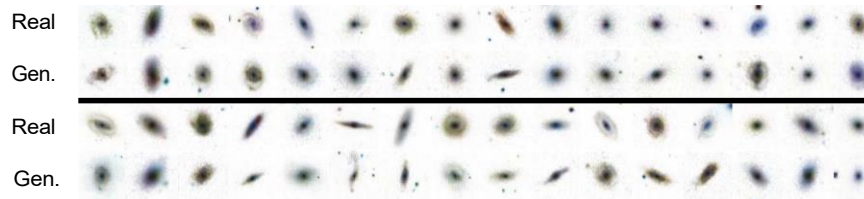
a képesség a különböző feladatkörökben nyújtott fokozott teljesítmény alapjául szolgál. Hinton korai DBN-ekkel végzett munkája esetében például egy DBN-t az MNIST-adatkészletből származó kézzel írt számjegyek képeivel képzett ki. A DBN későbbi diszkriminatív teljesítményét úgy tesztelték, hogy a hálózatot kibővítették egy sor "címké" csomóponttal, amelyek megfelelnek azoknak a fogalmi megkülönböztetéseknek, amelyeket mi emberek teszünk, amikor a kézzel írt számjegyekkel foglalkozunk (azaz képesek vagyunk egy adott képet egy adott számot ábrázolónak felismerni). Számos tanulmány kimutatta, hogy ez a fajta megközelítés - amely lényegében a számjegyek osztályozását egyfajta utólagos feldolgozási lépésként kezeli a generatív modell megszerzésének elsődleges céljához képest - képes jobb teljesítményt nyújtani a hagyományos visszaterjedési technikákkal és véletlenszerű kezdeti súlyokkal képzett hálózatokhoz képest (Hinton és Salakhutdinov, 2006).

Amellett, hogy kiemeli a DBN-ek teljesítménybeli előnyeit a kézzel írt számjegyek felismerése során, Hinton munkája meggyőzően demonstrálja az ilyen architektúrák generatív képességét is (lásd Hinton, 2007b). A számjegy típusokat reprezentáló címkécsomópontok hozzáadásával Hinton képes volt szelektíven aktiválni bizonyos címkécsomópontokat, majd megfigyelni a hálózat által a látható rétegben előállított adatvektort (az érzékszervi kimenetet). A 4a. ábra néhány, ezzel a módszerrel előállított képet szemléltet.

A mély tanulási rendszerek generatív képességének további bizonyítéka a Ravanbakhsh et al. (2017) tanulmánya. A Ravanbakhsh et



(a) Számjegygenerálás.



(b) Galaxis generáció.

**4. ábra** Példák a mélytanuló rendszerek által generált érzékszervi adatokra. (a) Egy kézzel írt számjegyekkel betanított generatív modell kimenete. Minden sor a generatív modellből származó 10 mintát mutatja egy adott számjegycímkével összeszorítva. A felsőszintű asszociatív memória 1000 iteráción keresztül fut a minták között váltakozó Gibbs-mintavételezéssel (forrás: <http://www.cs.toronto.edu/~hinton/digits.html>). (b) Valós ("Real") és generált ("Gen.") galaxisképek. A tényleges képek a Galaxy Zoo adathalmazból származnak; a generált képeket feltételes generatív adverszális hálózat segítségével hoztuk létre (forrás: Ravanbakhsh et al, 2017).

al. (2017) tanulmányának célja az volt, hogy a csillagászati berendezések kalibrálása céljából képeket készítsen galaxisokról. A tanulmány részeként Ravanbakhsh et al. kétféle mélytanulási rendszert - nevezetesen variációs autokódolókat és GAN-okat - tettek ki a Galaxy Zoo adathalmazból származó, valódi galaxisokról készült képeknek.<sup>5</sup> Az e képekkel kapcsolatos tréning eredményeként a mélytanuló rendszerek megszerezték a céltartomány generatív modelljét, ami lehetővé tette számukra, hogy a valós világbeli adathalmazban szereplő galaxisok képeihez hasonló galaxisképeket állítsanak elő (lásd a 4b. ábrát). Bizonyos értelemben természetesen ezek a képek "hamisítványok", mivel az általuk ábrázolt galaxisok nem léteznek. Ugyanakkor azonban van valami lenyűgöző az e rendszerek által mutatott generatív képességekben. Képességeik emlékeztetnek bennünket saját emberi kreativitásunkra - arra a képességünkre, hogy mindennapi éber tapasztalatainkat kiindulópontként használjuk a tisztán elképzelt tárgyak, ötletek és egyéb fantasztikus konstrukciók birodalmába tett kirándulásokhoz. Amint fentebb említettük, a generatív modellekkel kapcsolatos legújabb munkák itt nyújtanak számunkra lehetséges betekintést az emberi kognitív gazdaság talán legmegfoghatatlanabb aspektusába - nevezetesen a képzelet, a fantázia és az álmodás képességébe. Lehet, hogy

<sup>5</sup> A Galaxy Zoo adatkészlet  $\approx 900\,000$  galaxisképből áll, amelyeket a Sloan Digital Sky Survey részeként gyűjtöttek. Az adathalmazt eredetileg egy olyan polgári tudományos projekt részeként használták, amely a különleges morfológiájú galaxisok eloszlását vizsgálta (lásd Lintott et al, 2008). Azóta számos olyan tanulmány alapjául szolgált, amelyekben a hagyományos és a mély neurális hálózatok képességeit vizsgálták (Dieleman et al, 2015; Banerji et al, 2014).

természetesen soha nem tudjuk, hogy a mély neurális hálózatok *jóhiszemű* "álomgyáraknak" számíthatnak-e - olyan rendszereknek, amelyek valódi álmodozók és képzelődők -, de azt tudjuk, hogy (hozzánk hasonlóan) kreatív motorok - olyan rendszerek, amelyek képesek magas szintű absztrakt reprezentációkat használni digitális artefaktumok (pl. képek) létrehozása céljából. Ez talán elgondolkodtathat bennünket, amikor azon tűnődünk (és néha aggódunk), hogy a mesterséges intelligencia képes-e behatolni az emberi kreativitás gyakran dédelgetett területére. A generatív mélytanuló rendszerek korai sikerei ugyanis talán valami mélyebbre utalnak: arra a képességre, hogy utánozzák (és talán még túl is szárnyalják) legjobb intellektuális győzelmeinket és művészi teljesítményeinket. Ha egy mély neurális hálózat képes létrehozni egy galaxis képét (ami végül is csak bináris számjegyek sorozata), akkor miért ne lenne képes másfajta digitális műtárgyak, például egy 3D-s tárgy, egy film vagy egy olyan mély neurális hálózat tervének létrehozására, amely képes a gépi alapú generatív képességek legmodernebb fejlődésére?

## 4 Generating Me

Mostanra már világosnak kell lennie, hogy a mélytanulási rendszerek legalább néhány formájának reprezentációs és számítási profilja megegyezik azokkal, amelyek a megismerés PP megközelítésének középpontjában állnak. Vannak persze fontos különbségek is. A mélytanulási rendszerek ritkán rendelkeznek a rétegen belüli feldolgozás bármilyen formájával, és a PP modell fontos elemei (pl. a valós idejű előrejelzési hiba becslése és az információáramlás pontossággal súlyozott modulációja) hiányoznak (vagy legalábbis alulreprezentáltak) a jelenlegi mélytanulási rendszerekben. Mindazonáltal a hierarchikusan szervezett feldolgozási sémák iránti alapvető elkötelezettség és a generatív képességek hangsúlyozása jelentős hozadékot hozott, és fontos előrelépéseket eredményezett olyan problématerületeken, amelyek sokáig megakasztották az AI-közösség erőfeszítéseit (LeCun et al, 2015; Najafabadi et al, 2015). A nyelvfeldolgozás és a számítógépes látás területén elért figyelemre méltó sikerek mellett a mélytanulással kapcsolatos kutatások számos "hiányosabb" területen is érdekes eredményeket hoztak: segítettek megérteni a neurális áramkörök szerkezetéért felelős generatív mechanizmusokat (Betz et al, 2016), és a gyógyszermolekulák aktivitásának előrejelző modelljeit szolgáltatották (Ma et al, 2015). A kérdés persze az, hogy ezek a korai sikerek segítenek-e feltárni egy olyan út kezdetét, amely a digitális halhatatlanság problémájába is betörést jelent.

Ezen a ponton úgy döntök, hogy úgymond beleharapok a szavába, és azt javaslom, hogy a mélytanulási rendszer valamilyen formája - pontosabban egy olyan rendszer, amelynek számítási profilja szorosan illeszkedik a PP modellhez - valóban olyan technológia, amelyet a digitális halhatatlanság híveinek figyelembe kellene venniük. Az alap gondolat az, hogy a mélytanulási rendszer egy bizonyos formája - nevezzük szintetikus előrejelző feldolgozó rendszernek (SPP), hogy hangsúlyozzuk a PP-moddal való átfedést - azzal a céllal van megbízva, hogy olyan generatív modelleket szerezzen, amelyek hasonlítanak az egyén biológiai agya által szerzett modellekre. Az elképzelés lényege, hogy az SPP rendszer egyfajta állandó digitális társként létezik, amely az egyén egész életét végigkíséri, és részt vesz egyfajta élethosszig tartó tanulásban. Egy ilyen rendszer végső célja

az, hogy ugyanolyan előrejelzési kihívásokkal kell szembenéznie, mint amilyenekkel a biológiai agy szembesül. A remény az, hogy e kihívások kezelése során az SPP-rendszer olyan valószínűségi generatív modelleket fog elsajátítani, amelyek generatív képességei funkcionálisan hasonlóak a biológiai megfelelője által elsajátítottakhoz. Mivel biológiai esetben az "online álmainkat" generatív modellek állítják elő, van-e okunk azt gondolni, hogy ezen álmok általános formáját nem tudná egy szintetikus prediktív feldolgozó gép előállítani, amely többé-kevésbé ugyanazokkal a generatív képességekkel rendelkezik?

Ennek az ötletnek többféle változata is létezik. Az imént vázolt javaslat az, amit én *első személyű javaslatnak* nevezek. Ez arra törekszik, hogy az SPP rendszert ugyanabba az érzékelési környezetbe helyezze, mint amelybe maga a biológiai agy is beágyazódik. Egy alternatív javaslat az általam *harmadik személynek* nevezett *javaslat* formájában jelenik meg. Ebben az esetben az emberi ágens az előrejelzés-orientált tanulás elsődleges célpontja. A cél tehát az emberi egyén válaszainak megfigyelése és e válaszok előrejelzése az egyén helyi környezetének jellemzőihez viszonyítva. A végeredmény talán egy olyan generatív modell, amely megtestesít valamit az egyén jelleméről - a hajlamáról, hogy bizonyos helyzetekben bizonyos módon viselkedjen, a hajlamáról, hogy nehezen megkeresett pénzt bizonyos árucikkekre költse, és a valószínű nyelvi válaszait bizonyos típusú beszélgetési kontextusokra.

Ez a két javaslat különbözik abban, hogy milyen "érzékszervi" adatokon keresztül képeznek generatív modelleket. Mindkét esetben azonban azt látjuk, hogy elkötelezték vagyunk a mélyen strukturáló okok vagy látens változók feltárása mellett, amelyek a legjobban magyarázzák a fejlődő érzékszervi jel alakját. A két javaslat közül valószínűleg az első személyre vonatkozó javaslat szolgálja legjobban a digitális halhatatlanság programjának érdekeit. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a harmadik személyű javaslat teljesen értelmetlen. Valószínűleg a harmadik személyű javaslat tükrözi legjobban a technológiai közösség jelenlegi érdekeit, hogy megőrizze az egyén valamilyen nyomát (pl. az egyén közösségi médiás bejegyzései tárolásának fenntartásával). A PP rendszerek dinamikai profiljának kialakításához felhasználható adatokról való gondolkodás során döntő fontosságú, hogy némi betekintést nyerünk abba, amit az "elme morfoszférájának" (azaz az összes lehetséges elme univerzumának) nevezhetünk (lásd Mitteroecker és Huttegger, 2009),<sup>6</sup> valamint (talán) a digitális halhatatlanság elérésének további eszközeiről. Gondoljunk például arra, ahogyan a jelenlegi mélytanulási rendszereket az emberi konnektom generatív modelljeinek létrehozására használják (Betzel et al, 2016), vagy arra, ahogyan az úgynevezett "agyolvasó" eszközök új lehetőségeket teremtenek a biológiai agy valós idejű válaszprofiljának modellezésére előrejelzés-orientált tanulási és generatív modellezési technikák segítségével (lásd van Gerven et al, 2010).

---

<sup>6</sup> Az általános gondolat itt az, hogy a különböző adatkörnyezetek különböző típusú elmék alapját képezik, amelyek fenomenológiai különbségei az egyes környezetekben működő oksági mechanizmusokhoz kapcsolódnak. Az emberi társadalmi környezet generatív modellje például olyan *társadalmi elmét* eredményezhet, amely a társadalmi mechanizmusok rejtett oksági szerkezetét követi. Amennyiben a szubjektív tapasztalatok a generatív modellek tulajdonságaihoz kötődnek, akkor egy ilyen elme olyan szubjektív valóságot eredményezhet, amely gyökeresen különbözik az általunk ismert (vagy talán elképzelhető) "valóságtól".

## 5 Emlékek egy életre (és azon túl)

A digitális halhatatlanságnak az előző szakaszban elképzelt formája az egyénre vonatkozó jelentős mennyiségű adat rendelkezésre állására épül. Ebből a szempontból az "én generálásának" folyamata a nagy adathalmazok sajátos kihívásaként jelenik meg, amely számos kutatóközösség érdekeivel és aggodalmaival egybeesik. Az előrejelzés-orientált tanulási folyamatokhoz szükséges adatok előállítása során tehát világosnak kell lennie, hogy a digitális halhatatlanság fentebb felvázolt víziója természetes kapcsolódási pontot hoz létre az adattudomány kialakulóban lévő tudományágával (Committee on the Analysis of Massive Data, 2013), különösen a nagy adatok megszerzése, elemzése és tárolása tekintetében. Különösen érdekes az a munka, amely a nagy adatokat a fokozott előrejelzés céljára igyekszik felhasználni, jellemzően a prediktív modellezés képességére támaszkodva (Dhar, 2013). Egy másik kiemelkedő érdeklődésre számot tartó pont a mélytanulási módszerek nagy adatvagyonra történő alkalmazásával kapcsolatos. Amint azt Najafabadi et al. (2015) megjegyezte, a statisztikai szabályszerűségek felismerésének képessége az adatokban a felügyelet nélküli tanulási technikák segítségével különösen alkalmassá teszi a mélytanulást a nagy adattudományhoz kapcsolódó egyes elemzési kihívások kezelésére.

Természetesen meg kell jegyezni, hogy a kortárs adattudomány által megcélzott adathalmazok eltérnek azoktól, amelyek a fent említett első személyű javaslat alapját képezik. A "big data" kifejezést legtöbbször tudományos megfigyelésekre vonatkozó adathalmazokra (pl. csillagászati adatok) vagy olyan adatokra alkalmazzák, amelyek *több* emberi egyén tulajdonságait követik nyomon (pl. járványügyi adatok). Egyre nagyobb az érdeklődés azonban az egyes emberi szereplőkből származó adatok elemzése iránt. Az egyéni (vagy személyes) adatok elemzése képezi az úgynevezett *személyes informatika* kutatásának alapját, amelyet - legalábbis részben - az új digitális rögzítő eszközök, például a viselhető kamerák, okostelefonok és aktivitásfigyelők elérhetősége hajt. A technológia használata az egyes emberi alanyokra vonatkozó információk rögzítésére vagy nyomon követésére szintén központi eleme annak a munkának, amely a *számszerűsített én (quantified-self)* címszó alá tartozik (Lupton, 2013; Swan, 2013),<sup>7</sup> amely rávilágított arra, hogy az önmegfigyelési technológiák milyen módon használhatók a (pl.) testsúlyra, energiaszintre, időfelhasználásra, szívritmusra, testhőmérsékletre, edzésmintákra, alvásminőségre, szexuális aktivitásra, étrendre, álmokra és vérkémiail adatok rögzítésére. Talán ezen a ponton a digitális halhatatlanság fent említett víziójával kapcsolatos néhány adatorientált kihívás - különösen a képzési adatok megszerzésével kapcsolatosak - már kevésbé tűnik félelmetesnek. Kétségtelen, hogy a digitális halhatatlanság víziójának követelményeihez képest az önmagunkkal kapcsolatos adatgyűjtés jelenlegi módszerei hiányosak maradnak. De szerintem nincs okunk kételkedni az adatkövetési erőfeszítések általános megvalósíthatóságában: a jelenlegi technológiáink már most is bőséges adatokat szolgáltatnak számos fiziológiai és viselkedési változóról, és az ilyen adatokat már most értékes információforrásként ismerik el, a gépi tanulás és a nagy adatelemzés más formáinak felhasználásával.

<sup>7</sup> Néha számos más kifejezést is használnak ugyanarra a jelenségre. Ezek közé tartozik az "életnaplózás", a "mért én", az "önmegfigyelés" és az "önmegfigyelés".

készen áll arra, hogy feltárja a rejtett struktúrát a saját magunk által létrehozott digitális nyomokban (Fawcett, 2015; Phan et al, 2017; Hoogendoorn and Funk, 2018).

A jövőbeni nyomkövető technológiák valószínűleg bővíteni fogják az egyénekről életük során gyűjthető adatok mennyiségét és sokféleségét, ami megváltoztatja az előrejelzés-orientált tanulás és a generatív modellek megszerzésének lehetőségeit. Ami például az egyéni mozgások nyomon követésére való képességünket illeti, az úgynevezett mesterséges bőr (vagy e-skin) eszközökkel (Yokota et al, 2016; Someya et al, 2004) és intelligens szövetekkel (Foroughi et al, 2016; Wang et al, 2014) kapcsolatos kutatások valószínűleg különösen jelentősek lesznek. A fizikai mozgásra vonatkozó adatok gyűjtésének támogatásával az ilyen technológiák lehetőséget biztosíthatnak a proprio- ceptív jellegű információk nyomon követésére. Ez azért tűnik fontosnak, mert a digitális halhatatlansághoz vezető utat a biológiai agy által végzett prediktív pro- cesszúra megismétlésére tett kísérleten alapulva látjuk. Ebből a szempontból a digitális rögzítési technológiák a biológiai érzékelők helyettesítőjeként működnek, újratereztve a biológiai egyén szenzoriumát jellemző in- formációs folyamatokat. Ebben a tekintetben úgy tűnik, bőséges okunk van az optimizmusra. A (nagyjából) proprioceptív jellegű információk megfigyelése mellett a technológiai fejlődés valószínűleg javítani fogja a testi és testen kívüli környezetből származó információk (azaz nagyjából interoceptív és exteroceptív jellegű információk) rögzítésének képességét. Az adatgyűjtés e sajátos megközelítésének előnye, hogy az SPP-rendszert nagyjából a biológiai aggyal azonos helyzetben lévőnek ábrázolja. Mind az agy, mind a szintetikus megfelelője így megpróbál prediktív fogást kialakítani az érzékszervi információk közös halmazain, és így többé-kevésbé ugyanolyan nyomás alatt állnak, hogy hasonló generatív modelleket szerezzenek és alkalmazzanak. Ez a sajátos megközelítés - az első személyű javaslat által a 4. szakaszban előírt megközelítés - talán a legjobban alkalmas arra, hogy a digitális halhatatlanság leghatásosabb formáit megvalósítsa. A digitális halhatatlanság célja ugyanis nem pusztán az, hogy megismerjünk egy adott személyt mint tanulmányi tárgyat (mint a harmadik személyű javaslat szerint); sokkal inkább az, hogy lemásoljuk azokat a generatív struktúrákat, amelyek egy adott személyt olyanná tesznek, amilyenek. Amennyiben úgy látjuk, hogy az én elemei - emlékeink, személyiségünk, reményeink, félelmeink és álmaink - egy komplex, többretegű hálózat szerkezetében rejlenek, amelyet fokozatosan formál a szenzoriummal való kapcsolatunk, akkor a digitális halhatatlanságra való törekvést talán az szolgálja a legjobban, ha az SPP rendszereket ugyanazokkal az érzékszervi adatokkal állítjuk szembe, amelyekkel neurobiológiai megfelelőik szembesülnek.

Valamilyik is megvalósítható? Az biztos, hogy rengeteg kihívással kell szembenéznünk, ha személyes adatokat akarunk rögzíteni és felhasználni egy agyi alapú generatív modell funkcionális profiljának újratereztésére. Véleményem szerint a biológiai agy előrejelző és generatív képességeinek emulálása az egyik legijesztőbb kihívás, és minden bizonnyal nagyobb kihívás, mint a nagy mennyiségű személyes adatgyűjtés. Bár a prediktív feldolgozással és a mélytanulással kapcsolatos kutatások bizonyos fokú konvergenciát mutatnak a hierarchikus szervezetek, a generatív modellek és (kisebb mértékben) a predikció-orientált tanulás terén, továbbra is van egy némileg aggasztó hiányosság a biológiai agy reprezentációs és számítási képességének emulálása terén. Mivel a fejlődés ezen a területen elmarad az arra való képességünk mögött, hogy megragadjuk és tároljuk

az adatok, amelyeket végül a mély tanulási rendszer jövőbeli formáinak képzésére használnak, talán van hely az adattudomány kialakulóban lévő tudományágában egy kutatási program számára, amely az *adatok kriogenikájának* szentelt kutatási program - a tudományos és mérnöki kutatás olyan területe, amely arra törekszik, hogy megőrizze a digitális adatok testét, amíg a mély tanulási rendszerek képesek lesznek felemelni a halottakat. Legalábbis számomra ez az elképzelés nem tűnik kevésbé hihetőnek, és nem is tűnik furcsábbnak, mint a feltámasztás azon formái, amelyeket a kriogén megőrzés hagyományos formáit támogatók képzelnek el.

Kétségtelen, hogy a digitális nyomon követésről és adatmegfigyelésről szóló beszédek további aggodalmat keltenek, amelyet már most is éreznek azok, akik egyre szorosabban kapcsolódnak a digitális eszközök környező félhomályához. Az aggodalom az, hogy a digitális halhatatlansághoz vezető PP-út vonal közvetlenül táplálja a digitális megfigyeléssel és a magánélet megsértésével kapcsolatos meglévő félelmeket. Az ilyen félelmek - legalábbis a jelen elemzéshez kapcsolódóan - egyértelműen jogosak. Személy szerint nem kétlem, hogy az itt vázolt elképzelés bizonyos fokú magánélet megsértését igényli, és kétlem, hogy a technológiai fejlődés sokat fog tenni az ilyen félelmek eloszlatásáért, különösen, ha az ilyen adatokat harmadik félnek kell "átadni" megőrzésre. Talán ez olyasvalami, amit az egyéneknek maguknak kell eldönteniük. Végző soron lehet, hogy a magánélet csak az ár, amit az örök élet lehetőségéért fizetünk.

## 6 Az élet után

A biológiai életed véget ért. Mindent megtettél azért, hogy egy olyan digitális szövetet szőjj, amely nyomon követi létezésed meghatározó pillanatait. Reményeid szerint szép emlékeket hoztál létre az SPP-rendszered számára, amelyeket megörökíthetsz és modellezhetsz, és reméled, hogy e pillanatok újratereztésének folyamatában megmarad egy részed. Természetesen voltak hullámvölgyek és hullámvölgyek, katasztrófák és diadalok, a boldogság rövid pillanatait, amelyeket a kétségbeesés talán hosszabb időszakai szakítottak meg. Ez most már nem számít. Az életednek vége. Ideje meghalni.

De vajon ez feltétlenül a történet vége? A biológiai tested távozása azt jelenti, hogy te magad is eltűntél, visszavonhatatlanul elveszettél azok számára, akiket szerettél, és azok számára, akik viszont szerettek téged? Ha bármi, amit eddig mondtam, akár csak megközelítőleg is igaz, akkor világosnak kell lennie, hogy a történetnek még nincs egészen vége. Úgy tűnik, van még hely néhány oldalra.

Mi tehát a digitális halhatatlanság víziójának utolsó része? Mi történik, ha a biológiai test betöltötte a célját, és nyugalomba vonul? Vitatható, hogy a digitális halhatatlanság egyetlen formája sem teljes a digitális feltámasztás megfelelő formája nélkül. De milyen természetű ez a feltámasztás a biológiai agy generatív képességeit utánozni kívánó SPP-rendszer jelenlegi elképzeléséhez képest? Gyanítom, hogy itt számos lehetőség áll rendelkezésre, de úgy döntök, hogy figyelmemet a virtuális valóság technológiák szerepére korlátozom a digitális túlvilági élet támogatásában.

Vegyük először azt az elképzelést, hogy a holografikus számítástechnika fejlődését fel lehetne használni arra, hogy egy személyt holografikus formában ábrázoljunk. Ezt az elképzelést talán a *Blade Runner 2049* című film Joi nevű karaktere példázza a legjobban. Joi egy virtuális társa a



A film főszereplője, K, aki egy replikáns pengés futó. K-val ellentétben Joi nem rendelkezik érdemi fizikai jelenléttel a világban. Ő ehelyett egy fényből készült lény; egy filmes entitás, amelyet a képernyőre vetített (fizikai, bár fiktív) világba vetítenek. Természetesen Joi-nak nincs valós megfelelője a valós világban - legalábbis egyelőre csak a fikció és a fantázia világában létezik. Van azonban okunk azt gondolni, hogy valami Joi-szerű entitáshoz hasonló talán lehetséges lesz, amint elérjük a 21. század közepét - amikor a mi idővonalunk egybeesik a *Blade Runner 2049* univerzumának idővonalával. Ebben a tekintetben érdemes megemlíteni a egyes valóság eszközeinek fejlesztése terén a közelmúltban elért eredményeket. Ilyen például a Microsoft HoloLens, amely virtuális tárgyakat (úgynevezett hologramokat) jelenít meg az emberi felhasználó helyi fizikai környezetében. Más kutatások még szorosabb összhangot teremtenek a *Blade Runner 2049* víziójával. Vegyük például az úgynevezett volumetrikus kijelzőkkel kapcsolatos kutatásokat, amelyek a virtuális tárgyakat háromdimenziós fénykijelzőként jelenítik meg, amelyeket több felhasználó (több szögből) is megtekinthet fejhallgató vagy más, a felhasználó által viselt technológia használata nélkül (pl. Smalley et al, 2018). Sőt, bizonyos tekintetben a mai holografikus technológiák képességei már meghaladják a *Blade Runner 2049*-ben ábrázoltakat. A filmben Joi olyan karakter, akit látni lehet, de megérinteni nem; holografikus entitásként való státusza kizárja a fizikai kontaktus lehetőségét, és ez bonyolítja a fizikai társával, K-val való kapcsolatának természetét. A film tematikus szerkezetéhez képest természetesen Joi éteralitása fontos, mert arra ösztönöz minket, hogy *(többek között)* a fizikai/vizuális határon túli kapcsolatok "valóságáról" gondolkodjunk. A való világban azonban a hologramokkal való interakcióink sokkal kevésbé megfoghatatlan dolgok lehetnek. A legújabb kutatások már bebizonyították az úgynevezett tapintható vagy haptikus hologramok lehetőségét - olyan hologramokét, amelyeket nemcsak látni, hanem megérinteni, érezni, sőt mozgatni is lehet (lásd Kugler, 2015).

Itt van tehát a digitális túlvilág egyik lehetősége: az egyének hologramikus entitásokként fognak feltámadni - olyan entitásokként, amelyek virtuális "szellemekként" "élnek" közöttünk. Ezek olyan lények lesznek, akiknek a valós világgal való perceptuo-motoros cseréjét a biológiai élet részeként ugyanabban a világban elsajátított generatív modellek vezérlik. Ezek a lények érzékelik majd a világot (technológiai érzékelők segítségével), és cselekvéseket hajtanak végre a világban (a fotonikus megjelenítési technológia változásai révén). Hogy képesek lesznek-e interakcióba lépni velünk abban az értelemben, hogy képesek lesznek megérinteni minket, még nem tudjuk. Azonban még akkor is "meghatódhatunk" e virtuális lelkek jelenléte által, ha az emberi kapcsolatok tapinthatóbb elemei nem élik túl a holografikus "mennyországba" való átmenetet.

Természetesen a fizikai valóság által felvetett problémák kezelésének egyik módja az, hogy teljesen visszavonulunk tőle. Talán a digitális túlvilág másik lehetősége az, hogy az egyén SPP-rendszerét egy tisztán virtuális környezetbe helyezzük, hasonlóan azokhoz, amelyek a kortárs játékmotorok használatára épülnek. Ezt a forgatókönyvet valószínűleg nem kell különösebben bemutatni, mivel a virtuális (néha saját magunk által létrehozott) világban való élet gondolatát számos kulturális termék vizsgálta már. Az olyan filmek, mint a *Mátrix* és a *Tizenharmadik emelet* a tisztán virtuális környezetben való élet általánosabb elképzelésével foglalkoznak, míg a virtuális környezetek halál utáni lehetőségeit a *Vanília* című film vizsgálja.

*Sky* és (személyes kedvencem) a *Black Mirror* sci-fi sorozat *San Junipero* epizódja.

Mindkét forgatókönyv a virtuális valóság technológiáira támaszkodik, hogy megoldja az egyén biológiai testének elhalása által támasztott kihívásokat.<sup>8</sup> Az e forgatókönyvekkel kapcsolatos technológiai kihívások kétségtelenül óriásiak, de a virtuális valósághoz való folyamodás számos filozófiai aggályt és aggodalmat is felvet. Talán az egyik legégetőbb aggodalom abból a megfontolásból fakad, hogy mi veszik el a biológiai halál folyamata során. A biológiai test elvesztése különösen aggasztó, mivel okkal gondolhatjuk, hogy a test az emberi kognitív rendszer kulcsfontosságú összetevője, amely az intelligens cselekvés számos lehetőségét biztosítja (Clark, 2008), és közvetíti a tényleges és a kontrafaktuális állapotokra adott érzelmi reakcióinkat (Damasio, 1996). Ezek a felismerések nem vesznek el azok számára, akik a PP táborából dolgoznak. Seth (2013) például azt sugallja, hogy a nem-neurális testi környezetből származó interoceptív információk feldolgozása releváns a tudatos tapasztalás bizonyos aspektusai szempontjából, a különböző "szubjektív érzésállapotok (érzelmek). . az interoceptív afferensek okainak aktívan következtetett generatív (prediktív) modelljeiből erednek" (565. o.). Hasonlóképpen, Hohwy és Michael (2017) egy bonyolult és érdekes beszámolót adnak a biológiai test szerepéről az én-éret kialakulásában.

Ezekhez az állításokhoz képest korántsem egyértelmű, hogy a biológiai agy generatív képességeinek megismétlésére tett kísérlet elegendő lesz a digitális túlvilági élethez, különösen, ha olyan állapotot akarunk elérni, amelyben egy adott egyén érző lényként támad fel, aki képes élvezni (és elviselni) az érzelmi állapotok és tudatos élmények gazdag tárházát, amely a biológiai életét jellemezte. Talán ebben az értelemben a digitális halhatatlanság jelenlegi leírása nem tekinthető megfelelőnek, mivel a biológiai agyra összpontosít, egy nagyobb, anyagi szövet rovására, amely magában foglalja az egyén biológiai testét és a helyi, szerven kívüli környezetének bizonyos aspektusait (lásd Clark, 2008). A kritikus kétségtelenül ki akarja emelni a biológiai test nélkülözhetetlen szerepét az emberi kognitív gazdaság bizonyos aspektusainak megvalósításában, és az intelligencia testetlen formája talán egyáltalán nem számít az intelligencia egyik formájának sem. Talán hajlamosak lesznek arra is, hogy a fent felsorolt túlvilági lehetőségeket úgy tekintsék, mint amelyek nem foglalkoznak ezzel a problémával. Szerintük az anyagatlan hologramszerű szellemekről és a virtuális világ szimulációról szóló beszédek nem fognak megfelelni annak a szerepnek, amelyet a biológiai test játszik a tapasztalati-potenciális állapotok összetett skálájának kialakításában (és talán még megvalósításában is), amelyek nagymértékben lehetővé teszik, hogy az életünket egyáltalán érdemes legyen megőrizni. Ebből a szempontból talán a legjobb, amit remélhetünk, egyfajta tapasztalati szempontból csökkentett túlvilági élet lenne - egy olyan, amelyben a további létezésünk (ha így akarjuk nevezni) az érzelmi állapotok megtapasztalására való képességünk rovására megy, vagy akár csak az, hogy érezzük magunkat olyan entitásnak, amely továbbra is létezik. Talán egy hologramikus szellem, mert

<sup>8</sup> Ezek a forgatókönyvek természetesen nem merítik ki a digitális feltámadás lehetőségeit. A 21. században a virtuális valóság technológiák mellett valószínűleg jelentős előrelépés várható a biomimetikus anyagok, a 3D nyomtatási technológia és a robotikai rendszerek fejlesztése terén is. Ezek megnyithatják az utat a digitális túlvilági élet egy konkrét formája előtt, amelyben a biológiai testet egy szintetikus, de nem kevésbé jelentős testi jelenlét helyettesíti.

például a Cotard-téveszme virtuális változatának egyik fő jelöltje - ez egy olyan pszichiátriai zavar, amelyben az érintett személy azt a tévhitet táplálja, hogy halott vagy nem létezik (Young és Leafhead, 1996). Ez különösen valószínűnek tűnik a Cotard-téveszmevel kapcsolatos legújabb elemzések nyomán, amelyek a téveszmét a testi tapasztalatok rendellenességeivel (Gerrans, 2015) vagy az interoceptív információk feldolgozásának aberrációival (Seth, 2013) kapcsolják össze. Természetesen egy téveszme csak akkor téveszme, ha az érintett egyén meggyőződése nem igazodnak a valósághoz. Ebben az értelemben kétséges, hogy vannak-e valódi esetek a Cotard-téveszme a túlvilágon. A túlvilági életben azt hinni, hogy halott vagy, nem téveszme; téveszme az, ha azt hiszed, hogy élsz, miközben valójában halott vagy. (Senki sem mondta, hogy a thanato-pszichiátria tudománya egyszerű lesz!)

Kétségtelenül sok vitás kérdés van itt, és nem lesz elég helyem arra, hogy minden olyan kérdéssel foglalkozzak (nemhogy megoldjam), amelyek valószínűleg a jövőbeni vitákat élénkíteni fogják ezen a területen. Érdemes azonban megjegyezni, hogy a PP digitális halhatatlansággal kapcsolatos megközelítésében semmi sem törekszik arra, hogy tagadja a test fontosságát a világgal való kognitív kapcsolataink közvetítésében, érzelmi reakcióink alakításában, vagy akár a tudatos tapasztalat egyes aspektusainak megvalósításában. Ebben az értelemben a biológiai test továbbra is az emberi kognitív gazdaság fontos aspektusa és a generatív modellek releváns célpontja marad - ezért a testtel kapcsolatos információk nyomon követésének hangsúlyozása az 5. szakaszban. Ami talán még problematikusabb, az az, hogy az általam leírt különböző életformák - hologramok, virtuális karakterek és így tovább - mennyire jellemezhetők megfelelően testnélkülinek. Azt javaslom, hogy itt érdemes különbséget tenni a Wheeler (2013) által *implementációs materialitásnak* nevezett *dologiság* (amely magában foglalja annak az elképzelésnek az elkötelezettségét, hogy a test nem több, mint a funkcionálisan meghatározott kognitív szerepek anyagi megvalósítója) és a *vitális materialitás* (amely szerint a test nem helyettesíthető módon járul hozzá a kognitív állapotokhoz és folyamatokhoz) között. Világosnak kell lennie, hogy e két lehetőség közötti választás esetén csak a vitális materialitás melletti elkötelezettség jelent valódi veszélyt a test virtuális formáinak kilátására. Funkcionális szempontból tehát azt javaslom, hogy nincs valódi okunk arra, hogy egy holografikus entitást vagy egy tisztán virtuális világ lakóját feleslegesen testetlen létezésre ítéljük. Feltéve, hogy a biológiai test funkcionális hozzájárulása virtuális formában is reprodukálható, a hologram, azt állítom, éppúgy testet öltött entitásnak számít, mint egy olyan ágens, amely érdemibb fizikai jelenléttel rendelkezik.

## 7 Következtetés

Ez a fejezet a digitális halhatatlanság olyan megközelítését vázolja fel, amely az elméleti idegtudomány és a gépi tanulás legújabb eredményeire épül. A digitális halhatatlanság más megközelítéseivel összhangban a jelen javaslat kiemeli az egyénre vonatkozó adatok gyűjtésének és tárolásának fontosságát, azzal a céllal, hogy ezeket az adatokat a digitális feltámadás céljára használják fel. A különbség a jelen javaslat és a többi elképzelés között a gyűjtött adatok fajtájában, az adatok gyűjtésének módjában és az adatfeldolgozásban rejlik.

elemzik, és azt a fajta számítógépes alstruktúrát, amelyet a digitális halhatatlansági menetrend szempontjából relevánsnak tartanak. Az állítás szerint egy hierarchikusan szervezett PP-rendszer - a mai mélytanuló rendszerek valamilyen változata - egyfajta élethosszig tartó tanulásba kezdhetne, és olyan generatív modelleket próbálna létrehozni, amelyek ugyanolyan előrejelzési kihívásokat oldanak meg, mint amilyenekkel a biológiai agy szembesül. Az ilyen modellek - az előrejelzési hiba minimalizálására tett kísérlet révén - hasonlítanak majd a biológiai agy által a szenzorium előrejelző fogásának biztosítása során szerzett modellekre. Amennyiben úgy tekintünk ezekre a szintetikus generatív modellekre, mint amelyek megragadják annak lényeges elemeit, hogy kik és mik vagyunk - olyan modellekre, amelyek generatív képességei tükrözik saját biológiai képességünket, hogy valóságunkat visszaadjuk, múltunkat felidézzük és jövőnket megteremtjük -, akkor ezek nyújthatják azt az eszközt, amelynek segítségével önmagunk bizonyos aspektusa képes lesz fennmaradni, még jóval azután is, hogy a biológiai test elsovadt. Az állítás röviden az, hogy egy hierarchikusan szervezett előrejelző feldolgozó gépezet szolgálhat olyan eszközként, amely fenntartja álmainkat, miközben mi kénytelenül belebukunk a "halál álmába".

És mi lesz szegény Hamlettel és az ő poszt-egzisztenciális bánatával? Hamlet azon töpreng, hogy jobb-e neki meghalni, mint szembenézni földi gondjaival. De aggódik, hogy a halálát olyan álmok okozzák majd, amelyek csupán szenvedésének meghosszabbítására szolgálnak. Ezen a ponton természetesen a technikai megvalósíthatóság kérdései szembekerülnek egy sor normatívabb aggodalommal. Csak azért, mert a digitális halhatatlanság lehetséges (ha egyáltalán lehetséges), ez azt jelenti, hogy törekednünk kell arra, hogy valósággá tegyük? Fajként mindent megtettünk az emberi élet megőrzése érdekében, és feltételezem, hogy ebben valamennyire jók is lettünk (még akkor is, ha sok más biológiai fajnak meg kellett fizetnie ennek az árát). De vajon eleget tettünk-e annak érdekében, hogy a világ, amelyben élünk, olyan legyen, amelyben érdemes élni, szemben azzal, amelyet érdemes elhagyni? A digitális halhatatlanságról szóló viták középpontjában tehát talán nem is annyira az út előttünk álló technikai akadályok állnak, hanem az, hogy a digitális halhatatlansághoz vezető út önmagában érdemes-e a folytatásra. Dühöngjünk, dühöngjünk a fény kihalása ellen, és álljunk ellen a második törvény uralmának? Vagy fogadjuk el, hogy minden álomnak egy elsötétített szobában kell véget érnie? Álmodni? Meghalni? Lenni vagy nem lenni? Igen, itt a bökkenő.

**Köszönetnyilvánítás** Szeretnék köszönetet mondani két névtelen bírálónak az anyag egy korábbi tervezetéhez fűzött hasznos megjegyzéseikért. Ezt a munkát a SOCIAM: A társadalmi gépek elmélete és gyakorlata című program keretében támogatják. A SOCIAM projektet az Egyesült Királyság Mémnöki és Fizikai Tudományos Kutatási Tanácsa (EPSRC) finanszírozza az EP/J017728/1 számú támogatás keretében, és a Southamptoni, az Oxfordi és az Edinburgh-i Egyetemek részvételével.

## Hivatkozások

- Banerji M, Lahav O, Lintott CJ, Abdalla FB, Schawinski K, Bamford SP, Andreescu D, Murray P, Raddick MJ, Slosar A (2014) Galaxy Zoo: Galaxismorfológiák reprodukálása gépi tanulással. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 406(1):342-353.
- Bengio Y (2009) Learning deep architectures for AI. *Foundations and Trends in Machine Learning* 2(1):1-127.
- Betzel RF, Avena-Koenigsberger A, Gon˘i J, He Y, de Reus MA, Griffa A, Ve´rtres PE, Mis˘ic B, Thiran JP, Hagmann P, van den Heuvel M, Zuo XN, Bullmore ET, Sporns O (2016) Generative

- az emberi konnektom modelljei. *NeuroImage* 124:1054-1064.
- Clark A (2008) *Supersizing the Mind: Embodiment, Action, and Cognitive Extension*. Oxford University Press, New York, New York, USA.
- Clark A (2013a) A világra várva: Perception, prediction, and the origins of human knowledge. *The Journal of Philosophy* 110(9):469-496
- Clark A (2013b) Whatever next? Prediktív agyak, szituált ágensek és a kognitív tudomány jövője. *Behavioral and Brain Sciences* 36(3):181-253.
- Clark A (2016) *Surfing Uncertainty: Prediction, Action and the Embodied Mind (Előrejelzés, cselekvés és a megtestesült elme)*. Oxford University Press, New York, New York, USA.
- Committee on the Analysis of Massive Data (2013) *Frontiers in Massive Data Analysis*. The National Academies Press, Washington D.C., USA.
- Damasio AR (1996) *Descartes tévedése: Emotion, Reason and the Human Brain*. Papermac, London, UK
- Dhar V (2013) Adattudomány és előrejelzés. *Communications of the ACM* 56(12):64-73.
- Dieleman S, Willett KW, Dambre J (2015) Rotation-invariant convolutional neural networks for galaxismorfológiai előrejelzés. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 450(2):1441-1459
- Faisal AA, Selen LP, Wolpert DM (2008) Zaj az idegrendszerben. *Nature Reviews Neuroscience* 9(4):292-303.
- Fawcett T (2015) A számszerűsített én bányászata: tudomány kihívásaként. *Big Data* 3(4):249-266.
- Foroughi J, Mitew T, Ogunbona P, Raad R, Safaei F (2016) Smart fabrics and networked clothing: Recent developments in CNT-based fibers and their continual refinement. *IEEE Consumer Electronics Magazine* 5(4):105-111.
- Friston K (2002) A frenológián túl: Mit mondhat el a neuroimaging az elosztott áramkörökről? *Annual Review of Neuroscience* 25(1):221-250
- Friston K (2010) A szabad energia elve: Egy egységes agyelmélet? *Nature Reviews Neuroscience* 11(2):127-138
- Friston K, Thornton C, Clark A (2012) Free-energy minimization and the dark-room problem. *Frontiers in Psychology* 3(130):1-7
- Friston KJ, Stephan KE, Montague R, Dolan RJ (2014) Computational psychiatry: Az agy mint fantasztikus szerv. *The Lancet Psychiatry* 1(2):148-158.
- Gerrans P (2015) All the self we need. In: Metzinger TK, Windt JM (szerk.) *Open MIND: Philosophy and the Mind Sciences in the 21st Century*, MIND Group, Frankfurt am Main, Németország, pp 1-19.
- van Gerven MA, de Lange FP, Heskes T (2010) Neural decoding with hierarchical generative models. *Neural Computation* 22(12):3127-3142.
- Goertzel B, Ikle' M (2012) Különszám az elmék feltöltéséről: Bevezetés. *International Journal of Machine Consciousness* 4(1):1-3.
- Goodfellow I, Pouget-Abadie J, Mirza M, Xu B, Warde-Farley D, Ozair S, Courville A, Bengio Y (2014) Generative adversarial nets. In: Ghahramani Z, Welling M, Cortes C, Lawrence N, Weinberger K (eds) *Advances in Neural Information Processing Systems*, Montreal, Canada, vol 27, pp 2672-2680.
- Hayworth KJ (2012) Electron imaging technology for whole brain neural circuit mapping. *International Journal of Machine Consciousness* 4(1):87-108.
- Hinton GE (2007a) A reprezentáció többrétegű tanulása. *Trends in Cognitive Sciences* 11(10):428-434.
- Hinton GE (2007b) Az alakzatok felismeréséhez először tanuljunk meg képeket generálni. In: Cisek P, Drew T, Kalaska J (szerk.) *Computational Neuroscience: Theoretical Insights into Brain Function*, vol 165, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp 535-547.
- Hinton GE (2010) A vizuális input reprezentálásának tanulása. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 365(1537):177-184.
- Hinton GE, Salakhutdinov RR (2006) Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science* 313(5786):504-507

- Hohwy J, Michael J (2017) Miért kellene minden testnek ön maga? In: de Vignemont F, Alsmith AJT (szerk.) A szubjektum anyaga: Self-Consciousness and the Body, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA, pp 363-391.
- Hoogendoorn M, Funk B (2018) Machine Learning for the Quantified Self. Springer, Cham, Svájc
- Horn BKP (1977) A képintenzitások megértése. *Artificial Intelligence* 8(2):201-231
- Kugler L (2015) Touching the virtual. *Communications of the ACM* 58(8):16-18
- LeCun Y, Bengio Y, Hinton G (2015) Deep learning. *Nature* 521(7553):436-444
- Lintott CJ, Schawinski K, Slosar A, Land K, Bamford S, Thomas D, Raddick MJ, Nichol RC, Szalay A, Andreescu D, Murray P, van den Berg J (2008) Galaxy Zoo: A Sloan Digital Sky Survey galaxisainak vizuális vizsgálatából származó morfológiák. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 389(3):1179-1189.
- Lupton D (2013) Az emberi gép megértése. *IEEE Technology and Society Magazine* 32(4):25-30.
- Ma J, Sheridan RP, Liaw A, Dahl GE, Svetnik V (2015) Deep neural nets as a method for quantitative structure-activity relationships. *Journal of Chemical Information and Modeling* 55(2):263-274
- Metzinger T (2003) Being No One: The Self-Model Theory of Subjectivity. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA
- Mitteroecker P, Huttegger SM (2009) The concept of morphospaces in evolutionary and developmental biology: Matematika és metaforák. *Biológiai elmélet* 4(1):54-67.
- Najafabadi MM, Villanustre F, Khoshgoftaar TM, Seliya N, Wald R, Muharemagic E (2015) Deep learning applications and challenges in big data analytics. *Journal of Big Data* 2(1):1-21.
- Phan N, Dou D, Wang H, Kil D, Piniewski B (2017) Ontológiaalapú mélytanulás az emberi viselkedés előrejelzésére az egészségügyi szociális hálózatokban. *Information Sciences* 384:298-313
- Ravanbakhsh S, Lanusse F, Mandelbaum R, Schneider JG, Poczos B (2017) Enabling dark energy science with deep generative models of galaxy images. In: Singh S, Markovitch S (eds) Thirty- First AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI Press, San Francisco, California, USA, pp 1488-1494.
- Revonsuo A (1995) Tudat, álmok és virtuális valóságok. *Philosophical Psychology* 8(1):35- 58
- Seth AK (2013) Interoceptive inference, emotion, and the embodied self. *Trends in Cognitive Sciences* 17(11):565-573.
- Seung HS (2012) Connectome: How the Brain's Wiring's Makes Us Who We Are. Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, New York, New York, USA.
- Smalley D, Poon TC, Gao H, Kvavle J, Qaderi K (2018) Volumetrikus kijelzők: A 3 dimenzió kifordítása. *Optika és fotonika hírek* 29(6):26-33
- Someya T, Sekitani T, Iba S, Kato Y, Kawaguchi H, Sakurai T (2004) A large-area, flexible pressure sensor matrix with organic field-effect transistors for artificial skin applications. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(27):9966-9970.
- Sporns O, Tononi G, Ko'ter R (2005) The human connectome: A structural description of the human brain. *PLoS Computational Biology* 1(4):e42
- Swan M (2013) A számszerűsített én: Alapvető zavarok a nagy adattudományban és a biológiai felfedezésben. *Big Data* 1(2):85-99
- Wang Y, Wang L, Yang T, Li X, Zang X, Zhu M, Wang K, Wu D, Zhu H (2014) Wearable and highly sensitive graphene strain sensors for human motion monitoring. *Advanced Functional Materials* 24(29):4666-4670
- Wheeler M (2013) What matters: Valódi testek és virtuális világok. In: Harvey I, Cavoukian A, Tomko G, Borrett D, Kwan H, Hatzinakos D (szerk.) SmartData: Privacy Meets Evolutionary Robotics, Springer, New York, New York, USA, pp 69-80.
- Yokota T, Zalar P, Kaltenbrunner M, Jinno H, Matsuhisa N, Kitanosako H, Tachibana Y, Yukita W, Koizumi M, Someya T (2016) Ultraflexible organic photonic skin. *Science Advances* 2(4):e1501856

Young AW, Leafhead KM (1996) Élet és halál között: A Cotard-téveszme esettanulmányai. In: Halligan PW, Marshall JC (szerk.) Method in Madness: Case Studies in Cognitive Neuropsychiatry, Psychology Press Ltd, New York, New York, USA, pp 147-171.