

Mi és a mesterséges intelligencia

Számtalan példa van arra a történelemben, hogy valamilyen technikai újdonság megjelenése és terjedése félelmet, sőt, esetenként pánikot keltett az emberek kisebb-nagyobb csoportjában. A riadalomnak többféle vélt vagy valós oka lehetett: az újdonság bajt hoz a világra, derék emberek veszíthetik el miatta a munkájukat, veszélybe kerül a személyes biztonság és magánélet, kiszolgáltatottak leszünk, és így tovább.

Az innovációk által kiváltott pániknak jellegzetes lefolyása rajzolódik ki.¹ Az újdonság kezdetben általában nehezen használható és drága, működését csak kevesen értik, előnyei homályosak. A félelmeket felerősítik a formális és az informális kommunikációs csatornák, így a szóbeszéd és a sajtó. A sikeres innovációknál a helyzet gyorsan változik: a technológia megbízhatóbb lesz, a termékek barátságosabb arcot mutatnak, az áruk csökken, egyre többen próbálják ki azokat, megtanulják a használatukat, felismerik az előnyeiket, gyűlnek a pozitív tapasztalatok.

Az átrendeződés folyamatában az ember és az innováció viszonya ellentmondásos: egyfelől féltjük a munkánkat, a megszokott életünket az újdonságtól, felhasználóként viszont megkedveljük, egy idő után már élni sem tudunk nélküle. Az újdonság idővel a mindennapok részévé válik, a pánik véget ér, a félelmeket elfelejtjük. Így működik az innováció, ilyen az elfogadás tipikus folyamata.

Mai szemmel nézve a korábbi aggodalmak és félelmek közül sok kifejezetten mulatságosnak tűnik. Korabeli beszámolókból tudjuk például, hogy sok ember csak akkor volt hajlandó beszállni az első elektromos liftek egyikébe, ha azt képzett liftboy „vezette”. Az első, a tömegek számára készített fényképezőgépektől a magánéletet óvták: állítólag maga Theodore Roosevelt amerikai elnök is figyelmeztetett egy gyereket, hogy a megörökítésével súlyos illetlenséget követ el. A regényektől (megjelenésüket irodalmi innovációnak tekinthetjük) az ifjúság erkölceit féltették, Bell telefonjától pedig a fizikai kondícióját, mondván, hogy a távbeszélés lustává tesz.

A fokozatos megszokás és elfogadás ellenére az aggodalmak nem voltak alaptalanok. A jelentős technológiai innovációk alaposan felforgatták sokak életét, terjedésüknek nyertesei és vesztesei egyaránt voltak. A félelmek talán legsúlyosabbika a megélhetés, a munkahely elvesztésével kapcsolatos: a gépek feleslegessé tesznek bennünket... Igen, sokszor tényleg feleslegessé. Vegyük a mezőgazdaság példáját! A 19. század végén, illetve a 20. elején az emberek többsége a mezőgazdaságban dolgozott még a legfejlettebb országokban is. Száz év alatt ez az arány két-három százalékra csökkent, a változás oka pedig kétségtelenül a technikai innováció, a gépesítés volt.²

A félelmeket felerősítheti, hogy az új technológiák fejlesztői üzleti és egyéb megfontolásból szeretnek nagy felhajtást gerjeszteni a munkájuk körül. Új technológiájukat, termékeiket radikális innovációként hirdetik, ami lerombolja a régit és teljesen új világot teremt. Hangjukat felerősíti a modern tömegkommunikáció.

Akárcsak a félelmeknek és a pániknak, a „felhajtásnak” is megvan a maga jellegzetes lefutása. A *Gartner Group* az infokommunikációs ipar egyik legismertebb piacelemző és tanácsadó szervezete. Diagnózisai elkészítéséhez és publikálásához többféle modellt használnak. Ezek egyike az úgynevezett „hype cycle”, magyar fordításban a „felhajtási ciklus”³. Felépítése egyszerű: az újdonságok érdekességének és az előbb említett agresszív marketing kampányoknak köszönhetően egy adott innováció körül gyorsan erősödik a felhajtás; eltűzött, megalapozatlan várakozások jelennek meg azzal kapcsolatban,

csodaváró hangulat veszi körül; idővel azonban szembe kell nézni a realitásokkal, a csoda elmarad vagy kisebb lesz a vártnál, elvesznek az illúziók, erősödnek a kiábrándult hangok, végül a valóban hasznos innovációk megtalálják a helyüket racionálisan gondolkodó felhasználóiknál. Az illúziók kora véget ér, megkezdődik a józan hasznosítás.

A Gartner Group minden évben közzé teszi az új infokommunikációs technológiák (a cég szóhasználatával: *emerging technologies*) felhajtási görbéjét, amiről leolvasható, hogy a cég szakértői szerint az újdonságok melyik említett fázisban járnak. A 2016. évin közel háromtucatnyi technológia szerepel. Ezek közül több közvetlenül vagy közvetve a mesterséges intelligenciával kapcsolatos: számítógépes válaszadás természetes nyelven feltett kérdésekre, vezető nélküli járművek, gépi tanulás és szakértői tanácsadás, okos robotok, virtuális személyi asszisztensek stb. A felsoroltak többsége a felhajtási ciklus csúcspontja közelében jár.

Könnyen levonhatjuk a következtetést: napjaink technológiai slágere a mesterséges intelligencia.

A mesterséges intelligencia társadalmi fogadtatása vegyes. A marketing gépezet működik: ez minden ízében romboló innováció (vagy mondjuk inkább innovációs nyálának), teljesen átalakítja a környezetünket és az életünket, mindenkit érinteni fog, mindent újra kell értékelnünk, újra kell tanulnunk, cserébe viszont minden könnyebb és jobb lesz, kényelmesebbé és biztonságosabbá válik az életünk, nagy ugrás várható a termelékenységben – így szólnak a szakmai és a tömegkommunikációban elhangzó ígéretek. A közvéleményben kíváncsiság és optimizmus keveredik meghökkenéssel és ijedséggel – történelmi tapasztalatokból tudjuk, hogy ez természetes. Vajon kinek van igaza: annak, aki szerint a mesterséges intelligencia körüli félelem és a felhajtás a megszokott, fentebb leírt mintát követi majd, vagy aki szerint ez az innováció valóban más, mint a korábbiak, s féltő, hogy az emberiség olyan szellemet enged ki a palackból, amit nem tud majd kontrollálni?

(*A gépi intelligencia fejlődése*) Okos gépek építése az emberiség régi vágya. A legtöbb fizikai munkát könnyű volt gépekkel kiváltani, vannak viszont olyan feladatok, amelyeket felkészült emberek viszonylag könnyen elvégeznek, a gépesítés szempontjából viszont eddig nagyon kemény diónak bizonyultak: ilyen például a beszédfelismerés, a fordítás egyik nyelvről a másikra, az autóvezetés, tárgyak és személyek azonosítása fényképen vagy filmekben, betegségek jeleinek felismerése röntgenfelvételeken. A számítógépes mesterséges intelligencia fejlesztése ilyen problémák megoldását célozza.

A mesterséges intelligencia fejlesztése több mint fél évszázados múltra tekint vissza. A munka nem volt folyamatos és egyenletes: az időszakos fellendüléseket, nekibuzdulásokat lassulás, leállás követte több hullámban. A fejlesztők különböző megoldásokkal kísérleteztek, jelentős eredményeket tudtak felmutatni, de egy idő után technikai korlátokba ütköztek, pénzügyi forrásaik kiapadtak, a munka leállt vagy legalábbis sokat vesztett az intenzitásából. A szakma ezeket a lassulásokat, leállásokat „a mesterséges intelligencia teleinek” nevezi az évszakok változását használva metaforaként.

Hogyan kezdődött?⁴ 1956-ban egy amerikai egyetemen kiváló akadémikusok megvitatták, hogyan lehetne az emberi intelligenciát jól szimuláló gépeket konstruálni. A szervezők úgy gondolták, hogy ez a kérdés nagyszabású közös munka keretében két nyári hónap alatt megválaszolható. Ekkor javasolta egy matematikus a „mesterséges intelligencia” elnevezés használatát. Bár ezenkívül a tudósok csak kevés kérdésben tudtak megegyezni, a lelkesedésük nem lankadt, és hamarosan cikkek sorozata jelent meg a témáról.

Az említett konferencián az *IBM Watson* Kutatólaboratóriumának⁵ egyik kiváló szakembere is részt vett: a számítástechnika vezető cégénél ő irányította a szárba szökkenő intelligencia-programot. A külvilágból azonban meglepő reakciók érkeztek a fejlesztési munkával kapcsolatban. Ebben az időben az *IBM* jól szervezett értékesítő csapata az adatfeldolgozásra alkalmas gépek eladására koncentrált. A frontvonalban dolgozó értékesítők jelzéseket küldtek a hátszágba: az ügyfeleket nyugtalanítja, hogy hová vezethet az intelligencia-projekt. Az rendben van, mondták, hogy alacsony beosztású ügyintézőket gépekkel helyettesítünk. De mi lesz velünk vezetőikkel, ha a gépek intelligensebbek lesznek nálunk? Szükség lesz ránk egyáltalán?

Az aggodalmakra az *IBM* az intelligencia-kutatások felfüggesztésével reagált, és értékesítőin keresztül ezt üzenté az ügyfeleknek: nem kell félnetek, a gépek csak azt tudják megcsinálni, amire beprogramozzák őket, az elektronikus agyak nem többek szorgalmas gépi szolgáltnál, akik vakon követik az utasításaitokat. Ez a kommunikációs üzenet évtizedeken át tartotta magát a szakmában, és lényegében helytálló is volt abban a korban, amikor a gépekbe egymást követő, jól definiált lépések sorozatát programozták, és az csak azokat az adatokat fogyasztotta egy véges memóriából, amelyeket inputként feltálatlak neki.

Mivel is kísérleteztek a fejlesztők az első szakaszban, vagy ha úgy tetszik, a mesterséges intelligencia hőskorában? Azzal, hogy direkt módon programokba öntsék az intelligens döntések részletes szabályait és eljárásait. Például bizonyára voltak olyanok közöttük, akik megpróbálták algoritmizálni majd programba foglalni azt a döntést, hogy egy képen milyen állat látható: kutya-e vagy macska. Ez nagyon fáradságos és lassú munkának bizonyult, különösen a kor technikai színvonalán.

Szerencsére jött egy mentőötlet: minek annyi részlettel foglalkozni, egyszerűen kérdezzük meg a szakértőket, hogy ők mi alapján ítélnék, milyen egyszerű, kézenfekvő, könnyen megérthető, és elég jó (bár nem mindig optimális) eredményt produkáló döntési technikákat (heurisztikákat, hüvelykujjszabályokat) használnak. Meg kell keresni a legjobb orvosokat, jogászokat, mérnököket, és meg kell tudni tőlük, tapasztalataik alapján miként készítenek gyors diagnózisokat és hoznak döntéseket, majd ennek alapján kell megírni a számítógépes programokat. A gép intelligenciája így nem más, mint algoritmusba öntött szakértői tudás. Születtek is szép számmal ilyen szakértői rendszerek; a többségük tulajdonképpen valamiféle döntési fa volt, amiben elágazásról elágazásra lehet tovább haladni.

Ezek a rendszerek számos területen hasznosnak bizonyultak, de a fejlesztésük változatlanul nehézkes és lassú volt, a legkívánatosabb célokat pedig nem is lehetett elérni velük, a beszédfelismerés⁶ vagy a tolmácsolás problémája például megoldatlan maradt. A kudarcok elvették a fejlesztők és a befektetők kedvét, a mesterséges intelligencia történetében újra beállt a tél.

Az eddig ismertetett próbálkozásoknak van egy fontos közös tulajdonsága: az intelligencia algoritmusát a számítógép gazdája dolgozza ki, a szoftvert a programozó írja meg, vagyis az ember mondja meg a számítógépnek, hogy lépésről lépésre mit csináljon, milyen lépések sorozatával dolgozza fel a kapott inputot. Ezt az eljárást szabályalapú vagy szimbolikus megközelítésnek nevezzük. A gép, ahogy az *IBM* üzenté a vezetőknél, itt valóban az ember engedelmessé szolgálja, azt teszi, amit megparancsoltak neki. A gép program formájában megkapja az algoritmust, majd betáplálja az adatokat, amiket – az utasításokat pontosan követve – fel kell dolgoznia. Az a korlát, amibe a mesterséges intelligencia fejlesztése ütközött, ebből a „szolgai” szerepből eredeztethető.

A tél után napjainkra újabb tavasz jött. Megváltozott a technológia, és átalakult a mesterséges intelligencia fejlesztésének módszertana is. Az új filozófia magva a gépi

tanulás. A követendő algoritmust nem „közlik” a géppel: a gép maga fejleszti az algoritmust, maga tanulja meg a teendőket, mégpedig a rendelkezésére bocsátott adatok alapján. A programozó helyébe egy tanuló algoritmus lép, ami szakítást jelent a szabályalapú megközelítéssel.

Mit is jelent mindez? Vegyünk egy egyszerű példát! Bizonyára minden kereskedő szeretne jó előrejelzéseket kapni a keresletről. Az emberek vásárlási döntéseit sokféle tényező befolyásolja, így például az életkoruk, a nemük, a jövedelmük, a lakóhelyük, a hangulatuk, a családi állapotuk, a barátai véleménye, a reklámok, az időjárás. Tétélezzük fel, hogy jó adataink vannak mindezekről, és azt is tudjuk, mit vásároltak tegnap vagy tegnapelőtt. Megpróbálkozhatunk azzal, hogy magunk írunk meg valamilyen előrejelző modellt, programba öntjük és betápláljuk egy számítógépbe. A gép megkapja az aktuális adatokat, majd az algoritmuson végighaladva kiad valamilyen előrejelzést. Ez lehetséges, de mint láttuk nagyon nehéz és kétes sikerű feladat.

Az új megközelítés szerint másképp ajánlatos eljárni: dolgozza ki az előrejelző algoritmust maga a gép a korábbi időszakról rendelkezésre álló input adatok (a vásárlási döntéseket befolyásoló tényezők) és az eredmények (miből mennyit vásároltak) alapján! A programozó nem az *előrejelző*, hanem a *tanuló* algoritmust táplálja a gépbe. Ha folyamatosan érkeznek újabb és újabb tényadatok, a tanulás, vagyis az előrejelző algoritmus fejlesztése, finomítása, aktualizálása folyamatos lehet. A példánál maradva: a korábbi időszakokban a fejlesztők az előrejelző algoritmus megírásával próbálták a gépet intelligensebbé tenni, ma a hangsúly a tanuló algoritmusra, a gépi tanulásra helyeződött át.

Mire van ehhez szükség? Rengeteg digitalizált adatra, hatalmas gépi kapacitásra és hatékony tanuló algoritmusra. A mesterséges intelligencia fejlődésének mai tavaszát ezek hozták el. A technikai feltételeket megteremtő technológiai trendek áttekintésére itt nincs módunk, de emeljük ki közülük a szinte mindenre kiterjedő digitalizálást, a Big Data jelenséget⁷, a gépi kapacitások exponenciális növekedését, valamint a biológiai indíttatású, az emberi agyat utánozni szándékozó mesterséges neurális hálózatok fejlődését. A mai gépek, illetve adatközpontok hatalmas tömegű, sokféle forrásból eredő, nagyrészt valós idejű digitális adatot tudnak fogadni, tárolni, rendezni és nagy sebességgel feldolgozni.

Mindezekből az is következik, hogy a gép már nem tekinthető közönséges szolgának, ami végrehajtja a programozója által megadott feladatokat. Rengeteg példa, tengernyi adat alapján „maga jön rá”, miként lehet következtetéseket levonni, döntéseket hozni, mintákat felismerni, és ezt a tanulást nem is kell lezárni: ha új példák jönnek, a gép továbbfejlesztheti a maga döntési algoritmusát. A gép „intelligenciája” nem valamilyen beléje táplált formulából, szabálysorozatból ered, hanem a hatalmas adatfeldolgozó kapacitásból és a tanuló algoritmus kifinomultságából. Az adatok jelentősége megnő, akár ki is mondhatjuk, hogy a műveleteket az adatok vezérlik. Vegyük elő ismét az előrejelzési példát: mivel mi magunk nem ismerjük a szabályokat, nem tudjuk azokat a gépbe programozni; a szabályokat a gép ismeri fel az adatok alapján.

Ahelyett, hogy programokba próbálnánk önteni mindenféle (például nyelvtani, orvosi diagnosztikai, képfelismerési) szabályokat, hagyjuk, hogy a gép statisztikai összefüggésekkel dolgozzon, és az összefüggéseket, szabályosságokat „brutálisan sok” adatból maga ismerje fel. A gép intelligens lesz, persze másképp intelligens, mint az ember. Az eredmény nem kifogástalan, de egyre jobb, számos esetben éppen elég jó. A sakkfenomént legyőző IBM Deep Blue gép nem volt „intelligensebb” ellenfelénél, Kaszparovnál⁸, viszont brutális ereje volt, elképesztő mennyiségű lépésvariációt tudott villámgyorsan elemezni, és lám, jobbnak bizonyult hús-vér-neuron vetélytársánál.

2016-ban a *Deep Mind*⁹ AlphaGo nevű szoftvere már gépi tanulásra épülő mesterséges intelligenciával győzte le a több ezer éves Go játék bajnokát. Fejlesztésének egyik érdekessége, hogy a gép nemcsak emberek által játszott játszmák óriási tömegéből tanul, hanem abból is, hogy önmagával játszik. Az AlphaGo sok milliónyi Go-pozíció és játszma gépi elemzéséből von le következtetéseket a helyes stratégiára vonatkozóan. Mivel a lehetséges pozíciók száma matematikailag szinte végtelen, az algoritmusnak még bőven van tere a további fejlődésre.

(*Mire képes a gép?*) A játékokon kívül mire jó a gépi tanulásra épülő mesterséges intelligencia? Lássunk egy példát! A szívritmus-zavarokkal küszködő embereket általában EKG vizsgálatra küldik egy specialistához. A mai EKG berendezések digitálisak és heteken át képesek folyamatosan venni, rögzíteni és továbbítani a szívből érkező jeleket anélkül, hogy a beteg életmódját különösebben megzavarnák. A hosszú adatfolyam elemzése nehéz és időigényes feladat, már csak azért is, mert a kóros aritmiát gyakran nehéz megkülönböztetni az ártalmatlan szívverési szabálytalanságoktól. A *Stanford Egyetem* gépi tanulással foglalkozó kutatócsoportja a diagnózis kérdését adatfeldolgozási problémaként fogta fel.¹⁰ Egy szívritmus-vizsgálatokkal foglalkozó céggel összefogva nagy ritmus- és diagnózis-adatbázist építettek fel, a diagnosztikai algoritmus kidolgozásához pedig a Deep Learning elnevezésű gépi tanulási eljárást¹¹ használták. A gép feldolgozta az adatokat és előállt a maga automatizált diagnosztikai algoritmusával, ami jó diagnosztának bizonyult, számos esetben jobbnak az orvosoknál.

Az egészségügy területéről hozhatunk más példát is. A mesterséges intelligencia egyik első és népszerű alkalmazása a betűk és számok felismerése volt. Az arcfelismerés ennél jóval bonyolultabb feladat, nem csoda, hogy ezen a téren csak jóval később tudtak eredményeket felmutatni. Ennél is keményebb dió az arcképek felhasználása egészségügyi problémák diagnosztizálására. Régóta tudjuk, hogy egyes fejlődési rendellenességek tünetei megjelennek az arcon. Ilyen rendellenességből azonban több ezer van (ismertebb például a Dow- és az Angelman-szindróma), és mivel általában ritkák, csak a specialistáknak lehet elegendő rutinja a felismerésükhöz. Oxfordi kutatók erre a diagnosztikai problémára kerestek gépi megoldást. Tanuló rendszerüket digitalizált arcképek és korábbi diagnózisok tömegével „etették”, és a gépre bízták a diagnosztikai algoritmus kidolgozását. A gép maga „tanulta meg”, az arc milyen jellegzetességeit kell figyelembe venni a döntéshez. A fejlesztők 2014-ben már biztató eredményeket publikáltak¹²: a gép elég pontosan meg tudja mondani, hogy az adott arc jegyei milyen fejlődési rendellenességre utalnak, és mekkora a diagnózis találati valószínűsége.

Hasonló eljárással dolgozik egy *Affectiva* nevű fiatal vállalkozás, de ők nem az egészségügy, hanem a marketing területén igyekeznek eredményeket elérni. Gépi tanulással, hatalmas tömegű arckép feldolgozásával olyan intelligens algoritmust fejlesztenek, ami képes az arcokon megjelenő érzelmek azonosítására. A számítógép képernyőjén valós időben jelennek meg a kamerával megfigyelt személyek érzelmeire (pl. aggodalom, vidámság, kíváncsiság, félelem) utaló szavak. Az intelligens algoritmus segítségével például egy bolt vezetője megtudhatja, hogy a kirakatban elhelyezett árucikkek milyen érzelmeket keltenek az arra elhaladóknál.

A mesterséges intelligencia használata a pénzügyi szektorban is gyorsan terjed, így például hitelkérelmek minősítését sok helyen régóta okos algoritmusok támogatásával végzik. Innovatív „fintech” vállalkozások tucatjai figyeltek fel az új lehetőségekre. A párizsi székhelyű, *Shift Technology* nevű cég például biztosítási kártérítési igények vizsgálatával, pontosabban biztosítási csalások felderítésével foglalkozik. Tudjuk, hogy a csalások

minden évben több milliárd dolláros kárt okoznak a biztosítóknak, a csalók pedig nagyon kreatív megoldásokat használnak. Hogyan lehet megkülönböztetni a hamis igényeket a jogosaktól? A Shift Technology a válaszadáshoz mesterséges intelligenciát használ, ami felhívja a figyelmet a gyanús ügyletekre, „megindokolja” a véleményét, sőt, további vizsgálatra is javaslatot tesz. A szolgáltatás formájában a biztosítók rendelkezésére álló algoritmus nem szabályalapú, hanem gépi tanulás eredménye. A rendszer születése óta 2017 júliusáig már több mint 82 millió kártérítési kérelem lefolyását dolgozta fel, vagyis ennyi esetből tanult. Mivel sorban születnek az újabb és újabb esetek, a tanulás folyamatos, az esetszámláló folyamatosan pörög a cég honlapján¹³. Szögezzük le: a mesterséges intelligenciának nem kell tökéletesnek lennie, elég, ha jobb eredményt produkál az embereknél.

Maradjunk még egy pillanatra a biztosítási szektorban! A *Fukoku Mutual Life* japán biztosító 2016 végén jelentette be, hogy kísérletképpen az IBM Watson mesterséges intelligencia csúcstechnológiáját fogja használni az egészségbiztosítási kérelmek elbírálására. A Watson rengeteg korábbi igény dokumentációját dolgozza fel annak érdekében, hogy a múltbeli (emberi) bírálók tudását kinyerje belőlük, és az így fejlesztett algoritmusmal lehessen legalább részben automatizálni a mai ügyintézők munkáját.

Az új tanuló algoritmusok már a korábban bevehetetlen erődnek számító beszédfelismerés és fordítás meghódításában is látványos eredményeket tudnak felmutatni. A gépeket már nem nyelvtani szabályok betáplálásával igyekeznek nyelvekre tanítani, hanem statisztikai alapon. A pontos fordítás nagyon nehéz feladat, pláne akkor, ha az egyik nyelv a kínai. A *Baidu* nevű pekingi óriáscég a fentebb említett Deep Learning eljárással kísérletezik. 2016 végén szakfordítók ezreit hívták meg az irodáikba, ahol prospektusokat, kézikönyveket, levelek kellett lefordítaniuk kínaira. Az egy teljes hónapig tartó gyakorlat eredményeként a Baidu angol és mandarin nyelvű szó- és mondatpárokból álló adatbázist kapott, amivel a gépi tanulást használó fordító rendszerét táplálhatja.

A modern információs technológia rohamosan terjed a gyárparban is, ezzel kapcsolatban sokan új ipari forradalomról beszélnek¹⁴. A modern gépeket digitális agyak vezérlik, szenzoraikkal rengeteg adatot gyűjtenek össze magukról és a környezetükről, és mivel hálózatra vannak kötve, képesek azokat bárhová továbbítani. Az új ipari forradalom üzemei és ellátási láncai számtalan lehetőséget adnak mesterséges intelligencia alkalmazására. A *Voestalpine AG* acélipari cég legújabb gyára mindössze 14 alkalmazottat foglalkoztat, a több mint 700 méter hosszú gyártósort három ember felügyeli az intelligens számítógépes rendszer segítségével. A *Siemens* ambergi elektronikai gyárának „digitális ikertestvére” van, a működését azon keresztül vezérlik, optimalizálják és ellenőrzik. A változásokat először a „digitális ikertestvéren” próbálják ki, és csak ez után viszik át a valódira.

Akárcsak az intelligens városokban, a mesterséges intelligencia az otthonokban is megtalálja a helyét. A Palo Alto-i *Lighthouse* nevű cég videokamerákkal és 3D-s szenzorokkal figyeli a lakások belsejét. Intelligens algoritmusai felismerik az arcokat és a tárgyakat, és ha veszélyt érzlelnek, riasztják a tulajdonosokat. A rendszert idővel más háztartási okos eszközökkel is összekapcsolják. A *HealthTap* Dr. A.I. rendszerével az *Amazon* Alexa névre hallgató¹⁵ intelligens, beszédfelismerésre is alkalmas eszközén keresztül lehet kommunikálni. Az orvosi diagnosztikai algoritmus több mint százezer orvos tapasztalatainak feldolgozásával fejlesztették ki. A rendszer a közölt tünetek alapján személyre szabott orvosi diagnózist ad és tanácsokkal szolgál a teendőkre vonatkozóan.

Sokan ismerik Polányi Mihálynak a tacit (hallgatólagos) tudásról szóló, a hatvanas években megfogalmazott megállapítását: többet tudunk, mint amennyit el tudunk mondani.¹⁶ Tudásunknak van egy olyan része, amit nem tudunk szavakba foglalni, mivel mi magunk sem ismerjük felismeréseink, döntéseink szabályait. Például egyetlen pillantásból

meg tudjuk mondani, hogy milyen madár repült fel előttünk, de nehezen tudjuk elmagyarázni, hogy miként jutottunk „gondolkodás nélkül” erre az eredményre. A feladat még nehezebb, ha valamilyen ízlésbeli kérdéstről van szó, például, hogy miért szép egy élénk tett tájkép, miért tetszik jobban egy másiknál, miért mondjuk rá, hogy „festői”. A *Warwick Business School* egyik munkacsoportjának *Places* nevű szoftvere nemcsak arra képes, hogy tájképeken bizonyos objektumokat (hegyet, vízpartot, fákat stb.) ismerjen fel, hanem arról is véleményt mond, hogy vajon az emberek festőinek (szépnek, vonzónak) találják-e azt a tájat. A szoftver alapját adó konvolúciós neurális hálózat¹⁷ 200 ezer emberi vélemény feldolgozása alapján mutatta ki, hogy milyen szabályosságok jelentkeznek az ítéletünkben (hogyan lehet tetszési előrejelzéseket készíteni). Kiderült például, hogy az emberek leginkább azokat a tájakat találják „festőinek”, amelyek az afrikai szavannák jellegzetességeit mutatják. Ennek alapján megerősíthető az a hipotézis is, hogy az ízlésünket számottevő mértékben befolyásolja az evolúció. Ízlésünknek ezt a sajátosságát nehezen tudnánk szabakba, szabályokba foglalni, de úgy látszik, a gép felfigyelt rá.

Érdekes helyzet az, amikor a gépi tanulás az emberi tanulást támogatja. Régóta folyik a vita arról, hogy milyen hatása van a számítógépesítésnek a közoktatásra. Az már kiderült, hogy az egy tanulóra jutó számítógépek számának növekedése önmagában nem hoz eredményt, a tanulók eredményei csupán ettől nem javulnak. Egyes szakemberek szerint sokkal több várható a számítógéppel támogatott, testre szabott oktatási programoktól.¹⁸ A mai iskolák nagy többsége egyformán kezeli a tanulókat, nem tesz különbséget közöttük, egyforma elvárásokat támaszt velük szemben, azonos tempóban és módszerekkel próbálja oktatni őket. A tanulók azonban nem egyformák, képességeiket, intelligenciájukat tekintve számottevő különbségek mutatkoznak közöttük.

Szokásos iskolai környezetben az egyénekhez való igazodás nehéz, a számítógép viszont segíthet ebben. A testre szabáshoz először is adatokra van szükség, adat pedig egyre több van: a számítógéppel tanuló diákok „digitális nyomokat” hagynak maguk után, és ezekből fontos következtetéseket lehet levonni a képességeikre, erősségeikre és gyengeségeikre, a tipikus hibákra, visszatérő problémákra vonatkozóan. A gépek és az oktatási alkalmazások terjedésével az elemezhető adattömeg gyorsan növekszik. A *Siyavula Education* matematikai oktatási platformját, a *Siyavula Practice*-t több mint 30 ezer diák használja Dél-Afrika közel 400 iskolájában. A *Geekie* nevű alkalmazás több mint 400 ezer diák tanulását segíti São Paulo állami iskoláiban, plusz rengetegen dolgoznak vele otthon. Az egyik legismertebb online oktatási program, a *Khan Academy* oldalait több mint 10 millióan látogatják havonta. Az online oktatási rendszerekből tehát áradnak az adatok, amelyekből könnyű egyszerű statisztikákat készíteni a tanulás módjára és eredményességére vonatkozóan. A rendszerek fejlesztői a mesterséges intelligenciában is segítőtársra találnak: az újabb változatok gépi tanulást használnak csoportos és egyéni mintázatok, tanulási problémák és erősségek feltárására. Az amerikai fejlesztésű *ALEKS* például mesterséges intelligenciára épülő tudásfelmérő és oktató rendszer. Adaptív kérdéses technikával tárja fel, hogy a használója mit tud és mit nem, ennek alapján ad testre szabott tanulási instrukciókat, majd ellenőrzi a haladást. A mesterséges intelligencia más módon is megjelenik az oktatásban: a kínai *17zuoye* nevű online oktatási platform például beszédfelismerő szoftverrel segíti a nyelvtanítást.

(Optimisták és pesszimisták) Mire számíthatunk a jövőben?

A mesterséges intelligencia gyors terjedésére egészen biztosan. Térhódításának sebessége eltérő lesz az egyes szektorokban, de ma már jól látszik, hogy a digitális innováció szempontjából viszonylag elmaradottnak számító területeken is megjelenik¹⁹. A vállalko-

zói és befektetői érdeklődést jól mutatják a piaci adatok: a gazdasági adatok elemzésével foglalkozó *CB Insights* 2016-os elemzése²⁰ szerint 2012 óta rohamosan nőnek a mesterséges intelligenciával foglalkozó vállalatokba történő tőkebefektetések, gyorsan emelkedik a vállalkozások és az ügyletek száma. A számokból az is kiderül, hogy az Amerikai Egyesült Államok vállalkozásai viszik el a befektetések több mint 60%-át, a második az Egyesült Királyság (6,5%), a harmadik Izrael (4,3%) majd India, Franciaország és Németország következik. Érdekes fejlemény, hogy az USA részesedése csökken, hiszen 2012-ben még közel 80%-kal büszkélkedhetett. India kedvező pozíciója nem meglepő, hiszen az ország informatikai szektora látványosan fejlődik a nyolcvanas évek óta, a vezető helyi iskolákban pedig hagyományosan jó a matematika oktatása.

Várható, hogy egyre több döntést intelligens rendszerek fognak meghozni. A vállalatok a kilencvenes évektől kezdődően hatalmas összegeket fordítottak informatikai beruházásokra, informatikai alaprendszereik kiépítésére, és ezzel összefüggésben folyamataik és működési rendjük átszervezésére. Kialakult és elterjedt az a modell, amit digitális, integrált, valós idejű és kiterjesztett vállalatnak nevezünk: minden tranzakció azonnal számítógépre kerül, a különböző funkciókat támogató alkalmazások nem szigetyszerűen, hanem egymással közvetlenül összekapcsolva működnek, az adatok a mindenkori valós helyzetet is mutatják, a vállalat folyamatos digitális kapcsolatban áll a partnereivel, az ellátási lánc többi tagjával.²¹ Ezekben a rendszerekben rengeteg adat keletkezik, és minden jel arra mutat, hogy a döntéseket egyre inkább ezekre alapozva, növekvő arányban automatizáltan hozzák meg. Gyűlnek a bizonyítékok arra vonatkozóan, hogy az adatokat, adatabányászati eljárásokat²², mesterséges intelligenciát használó számítógépek jobb döntéseket hoznak az embereknél, és ennek következtében a digitalizált vállalatok előnyt szereznek a piaci versenyben²³. Felmérések, kísérletek jelzik, hogy a vezetői tapasztalatra, intuícióra épülő döntéseket kiszorítja, lekörözi a gépi intelligencia. Kutatási programok indulnak annak felderítésére, hogy ebben a helyzetben miként változik meg a gép és az ember közötti munkamegosztás, milyen ember–gép kombináció hozza a legjobb megoldást.

Amit a vállalatokról elmondtunk, az más intézményekre és szektorokra is igaz: a fenti példák azt jelzik, hogy a mesterséges intelligencia gyorsan utat talál magának mindennütt, ahol digitális eszközöket használnak, és ahol sok adat keletkezik, legyen szó egészségügyről, oktatásról, közlekedésről, sportról, kibervédelemről, otthonokról vagy akár az államigazgatásról.

Abban is biztosak lehetünk, hogy a rendszerek és az alkalmazott technológiák fejlődése nem fog megállni. A fejlődés alapját jelentő technológiai trendek tekintetében aligha várható fordulat. A tanulási folyamat felgyorsításán számos fejlesztő dolgozik, így például a valószínűségi modellekkel dolgozó *Gamalon Machine Intelligence* nevű cég is: az általuk fejlesztett alkalmazás már néhány példa alapján képes felismerni objektumokat.

Számíthatunk a mesterséges intelligencia „demokratizálódására” is, ami alatt a könnyű hozzáférést és alacsony árakat kell érteni. Példákat nem nehéz találni. A cseh *GoodAI* a kognitív folyamat automatizálásával foglalkozik: olyan mesterséges intelligenciát fejlesztenek, ami fokozatosan, önfejlesztő módon szerzi meg a képességeit, az újabb képességek pedig segítik a már meglévők fejlődését, egyes heurisztikák pedig növelik az újabb keresésének hatékonyságát. A kanadai *ElementAI* intelligencia-laboratórium az egyetemi kutatók vonatkozó munkáit igyekszik a nagyközönség számára hozzáférhetővé tenni: intelligencia-platfómot épít és működtet, és támogatja a kutatási eredmények gyakorlati hasznosítását. Az általános összekapcsoltság és a felhő-techno-

lógia²⁴ lehetővé teszi, hogy az intelligens algoritmusokat a legkülönbözőbb szervezetek szolgáltatásaként hasznosítsák, beépíthessék azokat a folyamataikba.

A mesterséges intelligencia látványos és lendületes térhódítása számos kérdést vet fel. A jövőt másképp látják a techno-optimisták és a techno-pesszimisták²⁵: az előbbiek nagyobb termelékenységet, jobb életkörülményeket jósolnak, az utóbbiak szerint a mesterséges intelligencia nem fogja beváltani a hozzá fűzött reményeket, sőt, akár bajt is hozhat az emberiségre.

Az optimisták szerint a mesterséges intelligencia észszerűbbé, racionálisabbá teszi a világot. Mit jelent ez a gazdaságban? A közgazdaságtan az emberek, vállalatok és mindenféle egyéb szereplők és döntéshozók gazdasági viselkedését igyekszik modellezni és magyarázni. A klasszikus megközelítés szerint az aktorok racionálisan viselkednek, ami nagyjából azt jelenti, hogy döntési helyzetekben azt a megoldást választják, amelyik a preferenciáiknak, a várható következményekkel kapcsolatos vélekedéseiknek a legjobban megfelel. Adva van valamilyen döntési helyzet (például meg kell határozni egy eladásra szánt termék árát), a döntéshozónak (például egy bolt tulajdonosának) van valamilyen jól meghatározott célja (például a bevétel maximalizálása), van valamilyen vélekedése a várható következményekről (például az ár forgalomra gyakorolt hatásáról) – mindezek tudatában és mindezeket mérlegelve azt az árat választja, amelyik szerinte a legnagyobb bevételt biztosítja. Biztosra persze nem mehet, hiszen nem láthatja előre, mit fog tenni a többi aktor, vagyis a példánál maradva a többi, hasonló portékát kínáló boltos.

A klasszikus közgazdaságtani megközelítés szerint aktorokként racionálisak vagyunk, az adott döntési helyzet pedig a matematika nyelvén leírható, a bizonytalanságot is beleértve. Tudjuk persze, hogy valójában nem vagyunk racionálisak, vagy nem vagyunk teljesen azok. Racionalitásunk korlátozott: céljaink sokszor homályosak, preferenciáink ellentmondásosak, bonyolultabb helyzeteket fel sem tudunk fogni, engedünk mindenféle befolyásolásnak, érzelmeink vannak, hajlamosak vagyunk beugrani akár primitív pszichológiai trükköknek is, szeszélyeink vannak és előítéleteink, időnként megszólal bennünk a lelkiismeret, kalkulációs hibákat vétünk, és így tovább. Nem baj, mondják a klasszikus közgazdaságtani alapművek szerzői, a mi racionalitásra épülő modelljeink ettől nem lesznek haszontalanok, magyarázó és előrejelző erejük így is van, a döntéshozók tényleg nem teljesen racionálisak, de általában igyekeznek azok lenni, és sokaknak ez sikerül is.

Aligha vitatható, hogy egyre több döntési feladatot gépekre, jelesül számítógépekre bízunk. A döntéshozó aktor szerepét számítógépes algoritmusok veszik át. Ezeket az algoritmusokat arra programozzák, hogy felismerjenek és elemezzenek bizonyos döntési helyzeteket, majd döntéseket hozzanak, sőt, ha van rá mód, hajtsák is végre azokat. Nézzenek körül például az értékpapír-piacon, állapítsák meg, hogy mit lehet éppen venni és eladni, a haszon maximalizálását szem előtt tartva mérlegeljenek és kalkuláljanak, döntsenek, majd cselekedjenek, vagyis adjanak és vegyenek. A jó algoritmus racionálisan dönt, a racionalitás a matematika nyelvén bele van programozva.

Ezen a ponton merül fel egy érdekes kérdés: ha a gazdaságban emberek helyett egyre inkább a gépek döntenek, közelebb kerülünk-e a közgazdaságtan fősodrának racionális aktorához, a homo economicus-hoz?²⁶ Ha igen, akkor határozottabban fognak érvényesülni a közgazdaságtan racionalitásra alapozó törvényei? Hogyan fog működni a „láthatatlan kéz” olyan helyzetben, amikor az aktorok mindenféle mesterséges intelligenciák lesznek? Mi lesz az együttműködéssel, a versengéssel és a piaci egyensúllyal? Jobban fogjuk érezni magunkat a gépi racionalitás világában?

Térjük most át a mesterséges intelligencia terjedésével kapcsolatos félelmekre! A leggyakrabban felmerülő aggodalom a foglalkoztatással kapcsolatos: igaz, hogy az okos rendszerek és a robotok elveszik a munkánkat? Bonyolult kérdéstről van szó, a helyzet ráadásul gyorsan változik. Emlékezzünk az IBM egykori ügyfeleinek a cikk elején említett aggodalmára: szükség lesz ránk, vezetőkre?

A munkahelyekkel kapcsolatos aggodalmak nem alaptalanok. Ha már vezetésről van szó, tegyük fel a kérdést: lehet egy számítógépes algoritmus elég okos ahhoz, hogy autót vezessen? Mikor ér el a mesterséges intelligencia arra a szintre, hogy felváltsa a sofőröket? Egy átlagos ember egy hónap alatt elég jól meg tud tanulni vezetni. Az autóvezetéshez nincs szükség diplomára, sőt érettségire sem. Mégis, az autóvezetés tulajdonképpen nehéz feladat, egy gépnek mindenképpen az: összetett és bonyolult helyzeteket kell felismerni, szabályokhoz kell igazodni, villámgyorsan kell döntéseket hozni és azokat végrehajtani. A vezető nélküli autók megteremtése különleges feladat a mesterséges intelligencia fejlesztőinek.

A *Starsky Robotics* nevű San Franciscó-i vállalkozás vegyes megoldáson dolgozik. Filozófiájuk szerint egy teherautó vezetését a sztrádán rá lehet bízni a mesterséges intelligenciára: az ilyen utak jól vannak megépítve, a jelek világosak, nincs kereszttirányú forgalom stb. A főútról letérve azonban változik a helyzet, ott az ember jobb a gépnél. Az embernek viszont nem kell az autóban ülnie, annak vezetése távirányítással is megoldható: az ügyeletes sofőrök egy központban tartózkodhatnak, kamerák segítségével láthatják az utat az autó előtt, hasonlóképpen képernyőkön nézhetik a visszapillantó tükröket, szimulátoron kormányozhatnak és nyomkodhatják a pedálokat, az autók pedig fogják a szimulátor jeleit és végrehajtják az utasításokat. Az emberi és a mesterséges intelligencia itt felváltva dolgozik: a sztrádán az utóbbi vezet, azon kívül viszont az előbbi az úr, bár távirányításos megoldással. A Starsky jövőképe egy olyan vezetési központ, ahol ügyeletes sofőrök tucatjai figyelik monitorokon a hozzájuk rendelt teherautókat, és amikor a helyzet úgy kívánja – vagyis amikor valamelyik letér a sztrádáról vagy még fel sem hajtott oda – szimulátorokon átveszik az irányítást a mesterséges intelligenciától.

A feladat nemcsak technikai, hanem emberi szempontból is érdekes. Milyen alkalmazottakra van szüksége a cégnek? Nagyon jól képzett, a mesterséges intelligencia területén járatos informatikusokra és teherautósofőrökre. Az előbbiekről nagy a kereslet, kevés van belőlük és óriási fizetést kapnak; az utóbbiak szakmája hétköznapi, sokkal kisebb bérrel kell beérniük, könnyen helyettesíthetők, bár ők is keresettek – egyelőre. A Starsky önvezető-algoritmusai még nem tökéletesek, a tesztelésre használt teherautókban egy szoftvermérnök és egy sofőr ül egymás mellett; mindketten tudják, hogy az előbbi azon dolgozik, hogy az utóbbit feleslegessé tegye. A Szilícium-völgy informatikai vállalkozásainál elterjedt nézet az, hogy a jövőben nem lesz szükség sofőrökre, helyüket az egyre jobb gépi intelligencia veszi át, a Starsky vegyes megoldása tehát csak átmeneti. A fejlesztő cégek – köztük a magyar *AIMotive* – már „elengedett kormánnyal” tesztelik a járműveiket.

A sofőrökkel kapcsolatban nem is olyan régen még más jóslatokat olvashattunk: nekik nem kell aggdógniuk, mert a munkájukhoz olyan képességek kellenek, amelyeket a gépek nem tudnak megszerezni. Úgy gondoltuk, hogy a bonyolult szenzomotoros mozgások, a bonyolult mintázatok (például tárgyak arcok) felismerése, a kreatív, újító munka megmarad az ember fennhatóságában. A fejlődést figyelve viszont az tapasztaljuk, hogy ami tegnap még elképzelhetetlennek tűnt, az mára lehetségessé válik: a gépi és az emberi világ közötti határ vonal rendszeresen eltolódik, és aligha lehet megmondani, mire lesz képes a jövő mesterséges intelligenciája, milyen emberi tevékenységeket fog kiváltani.

Gondoljuk át ismét a gépi tanulásról korábban elmondottakat! A szabályalapú megközelítéssel szemben a modern intelligens rendszerek algoritmusát nem a programozó írja meg: a gép példákban tanul, rengeteg adatot emészt meg, azokból von le következtetéseket. Ebből az is következik, hogy az algoritmust tulajdonképpen nem is ismerjük, ha a tanulás folyamatos, a fejlődését nem vagy csak nehezen tudjuk követni. A gép önállóítja magát, már nem tekinthető engedelmes szolgának.

Elszabadulhat egy algoritmus vagy akár egy robot? Erre is volt már példa. Az első ismert eset 1972-ben történt egy Boston melletti laboratóriumban. A híres amerikai műszaki egyetem, a *Massachusetts Institute of Technology* Mesterséges Intelligencia Laboratóriumának vezetője javaslatot dolgozott ki arra vonatkozóan, hogy sebészek robotkar segítségével távolról is végezhessenek műtéteket. A számítógép által vezérelt robotkar prototípusa elkészült, de nehéz volt, körülményesen vezérelhető, és a stabilitás érdekében egy asztalhoz kellett rögzíteni. Az egyik napon – feltehetően programozási hiba miatt – a kar inogni, majd magával együtt ide-oda billentve az asztalt vándorolni kezdett, alaposan ráijesztve egy, éppen a szobában tartózkodó hallgatóra. A balesetet szerencsére időben megakadályozni.

Ez a történet²⁷ szerencsésen végződött, mulatságos műszaki anekdota lett belőle. Nagy bajt a következő esemény sem okozott: ami érdekes benne, az nem a kár nagysága, hanem a magyarázatok máig tartó bizonytalansága. A sajtó által „flash crash”-nek nevezett jelenség okait ma is kutatják, és bár részletes jelentés készült róla, okait és lefolyását illetően nincs egységes álláspont.

Mi is történt tulajdonképpen? Ugorjunk előre az időben 2010 tavaszáig. A *Dow Jones* tőzszeindex az egyik nap elején enyhén ereszkedő tendenciát mutatott, amiben nem volt semmi szokatlan, hiszen a 2008-ban kezdődött gazdasági válság még nem ért véget. Valamivel délután két óra után azonban öt perc alatt 900 pontot esett az index, majd ugyanilyen sebességgel emelkedni kezdett, míg némi ingadozás után visszaállt az eredeti trend. Ilyen rövid idő alatt ez volt a legnagyobb visszaesés a Dow több mint száz éves történetében. A jelenség a „flash crash” nevet kapta. De mi az oka a bizonytalanságnak a magyarázatot illetően? Az, hogy az eseménysort előidéző döntéseket nem emberek hozták, hanem gépek. A pénzpiacon az embereket automatizált számítógépes rendszerek váltják fel: gépek versenyeznek gépekkel, algoritmusok versenyeznek algoritmusokkal. A „high frequency trading” világában élünk, ahol villámgyors helyzetelemzés alapján töredékmásodpercek alatt születnek meg a döntések és zárulnak le az ügyletek. Tudjuk, hogy a kérdéses napon az egyik nagy cég egy váratlan és szokatlanul nagy tranzakciót bonyolított le, amire az automatizált rendszerek azonnal reagáltak: láncreakció indult el, ami megrázta a piacot. A számítógépes pénzpiaci kereskedés egyik jellemzője a „mikrorobbanások” sorozata: az algoritmusok szinte egyszerre reagálnak valamire, egyszerre kapnak valamilyen impulzust, ezredmásodpercnyi idő alatt fontos piaci események történhetnek, minden esemény újabb és újabb adatokat ad a helyzetelemző algoritmusoknak: a rendszer elszabadul. A hasonló, intelligens kereskedelmi algoritmusok által előidézett jelenségek megjósolhatatlanok és sokszor magyarázat nélkül maradnak.²⁸ A technikai fejlődéssel a szabályozóknak, felügyeleti szerveknek nehéz lépést tartani; néha olyan hangok is megszólalnak, hogy jobb lenne visszatérni a hagyományos emberi kereskedéshez.

Ahogy a példák mutatják, algoritmusok valóban „elszabadulhatnak”: egy intelligens, helyzetfelismerésre, optimalizálásra, döntésre és tanulásra képes rendszer akár súlyos károkat is okozhat. Az intelligens, fejlett képességekkel rendelkező, az emberi kontrolltól megszabaduló, önmagukat önállóító rendszerek uralmától való félelem visszatérő témája az irodalomnak és a filmművészetnek. *Jean Luc Godard Alphaville* című film-

jében egy számítógép uralkodik egy nagyváros felett. Valószínűleg sokan emlékeznek HAL-ra: az űvegyszemű számítógép *Stanley Kubrick 2001 Űrodüsszeia* című alkotásában jelenik meg egy űrhajó központi agyaként, ahol rögeszmésen törekszik beprogramozott küldetésének végrehajtására. A szomorkás hangulatú *A nő* című film (*Spike Jonze* rendezte) is a hasonló félelmekről szól: egy magányos férfi egyszerűen beleszeret okostelefonja minden helyzethez alkalmazkodni tudó, intelligens és rendkívül tanulékony, természetesen női hangon megszólaló operációs rendszerébe.

A mesterséges intelligencia fejlődése még sok meglepetést okozhat mindannyiunknak.

JEGYZETEK

- 1 A technológiai pánik-ciklusokról lásd bővebben: <https://itif.org/publications/2015/09/10/privacy-panic-cycle-guide-public-fears-about-new-technologies>
- 2 A technológiai innováció és a foglalkoztatás kapcsolatáról lásd pl. Pianta, M.: *Innovation and Employment*. In Fagerberg et al. eds.: *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford University Press, 2005, Oxford.
- 3 A módszertan leírása: <http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>
- 4 A mesterséges intelligencia történetével számos munka foglalkozik, lásd pl. McAfee, A. – Brynjolfsson, E.: *Machine Platform Crowd*. W.W. Norton, 2017, London; Nilsson, N.: *Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann Publishers, 1998, Burlington.
- 5 Thomas Watson az IBM első elnöke volt. Róla nevezték el a később említett mai szuperszámítógépet is.
- 6 A mesterséges intelligencia megértés-fogalmáról: Csirik János: Gépi megértés. *Magyar Tudomány*, 2003. 12. sz. pp. 1486–1489.
- 7 Lásd erről bővebben pl. Mayer-Schönberger, V. – Cukier, K.: *Big Data*. HVG Kiadó, 2015, Budapest; vagy Bögel György: *A Big Data ökoszisztémája*. Typotex Kiadó, 2015, Budapest.
- 8 Garri Kaszparov nemrég könyvet publikált a gépi intelligenciáról: *Deep Thinking*. PublicAffairs, 2017, New York.
- 9 A Google 2014-ben vásárolta meg a mesterséges intelligenciával foglalkozó Deep Mind startupt.
- 10 <http://news.stanford.edu/2017/07/06/algorithm-diagnoses-heart-arrhythmias-cardiologist-level-accuracy/>
- 11 Más néven strukturált tanulás vagy hierarchikus tanulás.
- 12 Ferry et al.: *Diagnostically relevant facial gestalt information from ordinary photos*. eLife, 2014;3:e02020
- 13 <http://www.shift-technology.com/>
- 14 Schwab, K.: *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum, 2016, Geneva.
- 15 A beszédfelismerésre képes Alexa valóban „hallgat a nevére”.
- 16 Polanyi, M.: *The Tacit Dimension*. Doubleday, 1966, New York.
- 17 A neurális hálózatokról lásd pl. Tóth Bálint Pál: Neurális hálózatok: Beszélő számítógépek mély gondolatokkal. Élet és Tudomány, 2016. szept. 15.
- 18 Ezt az álláspontot fejti ki Christensen C.: *Disrupting Class*. McGraw Hill, 2008, New York. A könyv még a mesterséges intelligencia legújabb fellendülési időszaka előtt született.
- 19 Ilyen jelenség például a precíziós mezőgazdasági technológiák terjedése, amelyek között a mesterséges intelligencia is megjelenik, lásd például a *Blue River Technology* optikai felismerési rendszerét.
- 20 <https://www.cbinsights.com/research/artificial-intelligence-startup-funding/>. A jelentésben közölt befektetési adatok valószínűleg alábecsültek, hiszen az ügyletek egy része nem nyilvános.
- 21 Murphy, T.: *Achieving Business Value from Technology*. John Wiley & Sons, 2002, Hoboken.
- 22 Az adatbányászatról lásd pl. Fajsi et al.: Üzleti haszon az adatok mélyén. Alinea Kiadó – IQSYS, 2010, Budapest.
- 23 Westerman G. et al.: *Leading Digital*. Harvard Business Review Press, 2014, Boston.
- 24 Bögel György: Az informatikai felhők gazdaságtana. *Közgazdasági Szemle*, 2009. július–augusztus, pp. 673–688.
- 25 Példa techno-pesszimizmusra: Cowen, T.: *Average is Over*. Dutton, Penguin Group, 2013, New York.
- 26 Parkes D. et al.: Economic reasoning and artificial intelligence. *Science*, 2015. július 17, Vol. 349:6245, pp. 267–272.
- 27 A történet bővebb leírása: Kaplan, J.: *Humans Need Not Apply*. Yale University Press, 2015, New Haven.
- 28 Lewis, M.: *Flash Boys*. W.W. Norton, 2014, New York.