



BIONIKAI KUTATÁSOK A NEMZETI AGYKUTATÁSI PROGRAM KERETÉBEN

Alapkutatótól a kiborgizációig

1. RÉSZ A bionikus szemlélet tágabb értelemben véve már a kezdetektől áthatja a műszaki tudományokat: szinte nem találunk olyan mérnöki területet, mely nem merített volna a természet által tökéletesített élő megoldásokból. Ezzel párhuzamosan az igény, hogy az innovatív elme alkotásainak segítségével kijátsszuk testünk fizikai korlátait, csaknem ugyanennyire régi – elég, ha csak Daidalosz és Ikarosz mitológiai történetére gondolunk, mely később hasonló próbálkozások hosszú sorát inspirálva tartotta ébren az emberiség repülésről szőtt vágyait.

A modern bionika a korai, romantikus, közvetlen analógiákon alapuló törekvésekhez képest jóval átgondoltabb, erősebben absztraháló tudománnyá vált. Hazánkban a Nemzeti Agykutatási Program keretében nyíltak források a bionikai kutatások finanszírozására, különös tekintettel az agyi folyamatok vizsgálatára és befolyásolására. A bionika szűkebb értelemben vett fókuszát képezik mindazon törekvések, melyek bizonyos elvesztett testi funkciók (érezkiszervi vagy mozgásszervi fogyatékoságok) mérnöki kompenzációjára, az eredetihez hasonló működés helyreállítására irányulnak, valamint az ezt célzó technológiák fejlesztése közben megismert

összefüggések általános érvényű alkalmazhatóságával foglalkoznak. Ambroise Paré protézisterveitől a központi idegrendszerrel közvetlen összeköttetésben álló kibernetikus eszközök megjelenéséig majdnem négy-száz évnek kellett eltelnie, melyet további két évtizeddel később követtek az első matematikai modellek.

A terület fejlődése e ponton vált exponenciálisá, hazánkban is elérve a kritikus tömeget, melyet a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai és Bionikai Kar, valamint az MTA Természet-tudományi Kutatóközpont és az Országos Klinikai Idegtudományi Intézet bionikai kutatócsoportjai alkotnak.

Alapkutatás, terápiás alkalmazások és lehetőségek

A legtöbb agy-gép interfész rendszer (brain computer interface) hordozható elektroencefalográf (EEG) által rögzített agyhullámok feldolgozásával következett a páciens aktuális mentális állapotára és tesz különbséget bizonyos előre begyakorolt mentális parancsok például „jobbra”, „balra”) között. Bénult (tetraplég), adott esetben önálló beszédre képtelen betegek tehetőek képessé ilyen módon alapvető kommunikációra, különböző orvosi eszközök (motorizált kerekesszékek, mozgást segítő külső vázak, egyszemkeletonok) önálló működtetésére.



Az eredetileg tisztán gyógyászati és rehabilitációs célra fejlesztett eljárások transzlációs potenciálja jelentős. Nagyon hasonló, EEG alapú technológia kezd teret nyerni a szórakoztató elektronikában („gondolatvezérelt” játékok, „neurogaming”) valamint az autonóm járművek és a közlekedésbiztonság területein.

A biológia és technológia integrációjának magasabb, sokszor permanens szintjét képezik az idegi jelekkel vezérelt bionikus protézisek és a központi idegrendszerrel közvetlenül kapcsolódó neuroprotézisek. Előbbi esetben különböző (perifériás ideg- és/vagy izomműködést monitorozó) szenzorok sebészi beültetése történhet meg jellemzően az amputált végtag csonkjába, akár az érzőidegeket stimuláló visszacsatolással kiegészítve. Az így tapintásra képessé tett, robotizált művégtag jóval természetesebben és sokoldalúbban használható a hagyományos gyógyászati segédeszközöknél. A látókéregbe ültetett ingerlő elektródák révén megvalósítható bizonyos fokú látás élmény. A belsőfül

elektromos ingerlése a cochleáris implantátumokkal terjedt el, illetve kutatják a középagyi implantáció lehetőségét. Motoros mozgató kimenetek képzésére közvetlenül az agykéregből szintén régóta folynak kísérletek, újabban a végtagmozgatás szintjén is. Különleges eszközök segítségével lehetségesnek tűnik akár elképzelt szavak, gondolatok kiolvasása is.

A felmerülő nehézségek új innovációkat tesznek szükségessé mind az alapkutatás, mind a mérnöki megvalósítás területén, mely az anyagtudomány, a mikroelektronika, a sebészet és a genetika eredményeinek szintézisét követeli meg. A hagyományos idegélet-tani mérőeszközök és stimuláló elektródok fizikai szerkezetük és anyaghasználatuk miatt az élő rendszerben hosszú időre elhelyezve hegeképződési folyamatokat indukálhatnak, melyek hatékonyságuk csökkenéséhez vezethetnek. A fokozottan szövetbarát, újabb megoldások egyrészt anyaghasználatukban, hajlékonyságukban, másrészt szöveteket kevésbé sértő elhelyezésükkel jelenthetnek előrelépést bizonyos szituációkban. Hasonló eszközök optogenetikával (molekuláris biológiai eljárás, melynek segítségével genetikailag módosított idegsejtek működése fényhatással befolyásolható) kombinálva jelenleg intenzív kutatások tárgyát képezik. Fontos látnunk, hogy az agy-gép interfész rendszer definíciószerűen csak akkor képes jól működni, ha a vizsgált rendszerekben (agyhullámok, lokális mezőpotenciál, egyes idegsejt tüzelési mintázatok) megjelenő információt adekvát módon próbálja kivonni, tehát végső soron a gyakorlati alkalmazás visszacsatol az elméleti megértéshez. Önmagában az agy-gép interfész rendszerek fejlesztése jelentős felismerésekhez vezetett el az idegtudományi alapkutatás terén is.



Az agy-gép interfész alapú orvosi technológiák mellett, hogy drámai mértékben befolyásolják az egyén életminőségét és pszichés állapotát, meglehetősen jelentős és egyre fokozódó kulturális hatással is bírnak, mintegy a modern mitológia köréből a mindennapi valóságba történő átlépés erőteljes szimbólumaiként. A paralimpia analógiájára 2016-ban megrendezésre került az első, fejlett kibernetikus eszközöket felvonultató Cybathlon, mely a megváltozott mozgásképességű atléták versenyét technikai sportként értelmezi újra (képeink e versenyről származnak). A nem túl távoli jövőben várható a kapcsolódó megoldások általános elterjedése, bevonódása a mindennapi világába.

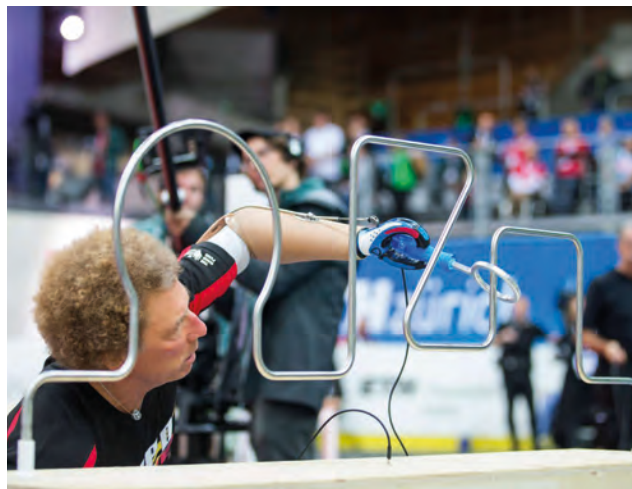
Számítástechnika és adattudomány

A bionikus szemlélet az absztrakciók szintjén is kölcsönhatásban van a megismerés eszközeit előteremtő mérnöki tudományokkal. Az idegéletteni kutatások során megszerzett felismerések visszacsatolása látványosan jelenik meg a mesterséges ideghálózatok (artificial neural network, ANN) az utóbbi évtizedben tudományos és mérnöki trendet teremtő, egyre átfogóbb alkalmazásában. Ezek az adaptív adatfeldolgozó eszközök képesek pusztán kiindulási példák alapján, tanulás (iteratív szabályok szerinti függvénymódosítás) útján igen széleskörű számítási feladatok igen hatékony megoldására, működésük folyamatos tökéletesítésére, finomhangolására. Ezek a hálózatok a mindennapi élet számos szintjén megjelennek például az írás-, arc- és képfelismerő alkalmazásokban, a szövegértő és tolmácsprogramokban, az autonóm járművek és a robotika világában csakúgy, mint az orvostudományban és az alap kutatásban. Számos egyéb felhasználás mellett segíthetik rákos megbetegedések diagnosztikáját szövettani készítmények önműködő kiértékelésével, valamint egyre növekvő szerepet kapnak még a gyógyszerkutatásban és általában véve a molekuláris- és számítási biológiában is.

A mesterséges ideghálózatok és az ezekhez szorosan kapcsolódó mély tanulási (*deep learning*) algoritmusok koncepciója többek között az idegrendszer kis léptékű szerkezetére valamint az agyműködés egészére vonatkozó újabb ismereteinkből merít. Biológiai analógiával élve a mesterséges ideghálózatok alapegységét adó, módosításokon áteső matematikai függvény virtuális „idegsejtként” értelmezhető, mely biológiai társához hasonlóan összegzi a más idegsejtektől (függvényektől) kapott információkat, majd egy újabb idegsejtnek

adja át azokat. A hálózat működése hierarchikus rétegekké szerveződik, az előzőektől egyre „absztraktabb” bemeneteket kapó alrendszerek sorba kapcsolása révén nyer gyakorlati értelmet.

Hasonlóan az emberi agyhoz, egy látó mesterséges ideghálózat elsőként csupán elemi vonalakat azonosít a látott képen, majd ezek a további szinteken egyre összetettebb formákká állnak össze, így jutva el végül a tárgy- vagy arcfelismerésig. Más jellegű feladatok megoldása matematikai értelemben szintén a fenti alapel-



vet követi, a mesterséges idegháló elemi összefüggések egyre összetettebb, lépcsőzetes összehangolásával hoz létre információs szintézist. A megoldható problémák bonyolultsága a modell kiterjedtségével arányosan növekszik; a mély tanulási néven híressé vált terminus technicusban a „mélység” a szimulált idegrendszeri rétegeinek nagy számára, így az „absztrahálási” folyamat soklépcsős voltára utal.

A társadalmi léptékű technicizáció a terület fejlődésének nem csupán felhasználója, hanem katalizátora is. Elsőként a digitális médiatartalmak elterjedése váltotta ki a tömeges igényt olyan számítástechnikai hardver architektúrák kifejlesztésére, melyek nagy adatmennyiségek gyors és párhuzamos feldolgozására alkalmasak – egyszersmind alapfeltételei a fenti eljárások gyakorlati felhasználásának, kutatásának. Ezen eszközök viszonylagos olcsósága, valamint a gyakorlatban kezelhető problémák komplexitásának arányos növekedése eddig soha nem látott módon élenkítette fel a technológiatranszfert az akadémiai és a privát szektor között. A CB Insights adatai szerint a *deep learning*hez hasonló mesterséges intelligencia technikákat kifejezetten egészségügyi feladatok megoldására alkalmazó startupok száma 2012-ben 20 alatt volt, 2016-ban 70 körül; 2017-re ez az érték átlépte a 100-at.

A már említett szövettani diagnosztikus algoritmusokon túl találunk radiológiai felvételeket értelmezni képes alkalmazást (Enlitic), vérmintákból izolált DNS-törzsekből rákos megbetegedésekre következtetni tudó rendszert (Freenome).

A közeli jövő

A figyelemreméltó fejlődés ellenére a bionika még messze jár attól, hogy akár csak a jelenleg adott technológia lehetőségeit maradéktalanul kiaknázza. A mesterséges ideghálózatokon alapuló gépi intelligencia erősen bevonódott a szórakoztató elektronika és az „élettelen” tudományok világába – a fejlődés hasonló katalízise a biológiában és az orvoslásban még csak most kezdődik. A hatékonyan kezelhető adatmennyiségek növekedése tovább fokozza a nagy információsűrűségű vizsgálómódszerek relevanciáját a gyógyszerkutatásban, a genomikában és az idegtudományokban egyaránt. Mintegy szerencsés véletlen, hogy a területnek tárgyi feltételeken túl elsősorban szellemi tőkére van szüksége és azon belül is jól általánosítható tudásanyaggal operál.

A rendelkezésre álló információs „nyersanyag” sűrűsége és mennyisége az utóbbi évtizedben látványos növekedésnek indult. Az idegrendszer kisléptékű megértéséhez új generációs mérőeszközök szolgáltatnak korábban elképzelhetetlen finomságú adatokat. A molekuláris biológiában a teljes genomot lefedő expressziós térképek elterjedése és a nagy áteresztőképességű proteomikai módszerek megjelenése, a hisztológiában a preparátumok digitalizált feldolgozása nyitott új távlatokat. A konkrét alkalmazási területekhez kötődő jártasságokon túl a fenti információk értelmezéséhez szükséges meta-módszerek meglepően hasonlóak, az alterületek szétválasztása sokkal inkább történeti, mintsem objektíven indokolt. Ahogy a bionika maga is hidat képez az élő és élettelen tudományok között, úgy a részben belőle kinőtt adattechnikai módszerek, a különálló problémák megoldása során kifejlesztett új eljárások generalizálása kötheti össze a molekuláris- és idegtudományok leggyorsabban fejlődő ágazatait a számítástechnika és elektronika legújabb eredményeivel.

A kiborgizációról néhány szóban

A bionikus emberről, divatosabb szóval élve, a kiborgokról (*cybernetic organism, cyborg*) folyó diskurzus az irodalomból a tudományfilozófia világába a 60-as években került át, részben a kor fantáziáját kiemelten

izgató úrkutatás és az ebből adódó kihívások hatására. A nagy formátumú pszichológus és pszichiáter, a pszichofarmakológia úttörője Nathan S. Kline szerint az emberi adottságok kibernetikus módosítása mintegy adaptációként szükségessé válhat majd az új felfedezésekor.

A XX. század második felében, különösen az Egyesült Államokban a téma fokozatosan popkulturálissá vált, ugyanakkor szervesen beépült a mindennapi életbe, az informatikán és az orvostudományon keresztül. A kibernetizált ember definíciója ingoványos, a határok meghúzása filozófiai értelemben problémás. Egyértelműen ember-gép integrációról beszélhetünk például a testbe ültetett orvosi eszközök, pacemaker, cochleáris implantátumok kapcsán; társadalomfilozófiai értelemben azonban hasonlóan tekinthető minden olyan eszköz és jelenség, mely kitágítja az emberi test és elme



biológiai értelemben definiált korlátait. Az internet mint közös információs tér mellett egyes szerzők odáig mennek, hogy egyenesen az írásbeliséget is egyfajta techno-organikus fúzióként kezeljék, rámutatva a gondolatok lejegyzése majd újra felidézése segítségével áthidalhat tér- és időbeli korlátokra.

Kiborgok olimpiája: a Cybathlon

A sport világában a bionika és a kibernetika útja bizonyos értelemben az irodalomban bejárthoz hasonlítható, ugyanakkor előrehaladása ahhoz képest jelentősen késik. Megváltozott képességű atléták számára csupán a 60-as évek óta rendeznek rendszeres világversenyeket. Fontos kiemelnünk, hogy a Paralimpia elsősorban magára a versenyzőre koncentrál, a nem-biológiai segédeszközökre (mint amilyenek a művégtagok vagy a kerekesszékek) mintegy kikerülhetetlen mankókként tekint, melyek, bár lehetővé teszik azt, hogy a sérült személy hasonló helyzetben lévő társaival versenyezzen, nem lehetnek döntő jelentőségűek egy adott sportteljesítmény elérésében.

A segédeszközök azonban a technológiával párhuzamosan fejlődnek. Egy, a *science fiction*t régóta foglalkoztató kérdés lépett elő valós etikai problémává, amikor Oscar Pistorius paralimpikon futó a 2008-as pekingi olimpiai játékokra próbált kvalifikálni: mi történik, ha a folyamatosan tökéletesedő protézisek felülmúlják a helyettesíteni kívánt biológiai funkció, jelen esetben a lábak képességeit? Fokozatosan nyilvánvalóvá vált, hogy a csúcstechnológiájú segédeszközök használá-



tával véghez vihető versenysport nem csupán a klasszikus számok reprodukcióját jelenti – a megváltozott képességű atléták küzdelme technikai sporttá válik. A klasszikus Olimpia és a segédeszközöket csak passzív formában elfogadó Paralimpia mellett létrejött egy harmadik típusú világverseny, a fenti felismerést koncepciójába szervesen integráló Cybathlon víziója, mely az atlétára mintegy a csúcstechnológiát alkalmazó és vezérlő „pilótára” tekint.

Az első Cybathlont 2016. október 8-án rendezték meg a svájci Zürich melletti Klotenben, 25 ország 56 csapatának részvételével. Ebbe az eseménybe kapcsolódtunk bele mint versenyző csapat, a gondolatvezérelt „avatárok” versenyszámban a Nemzeti Agykutató Program támogatásával. Az esemény az emberi és sportkulturális vonatkozásokon túl tudományos-mérnöki értelemben is különös jelentőséggel bírt – valós, sokszor előre nem látható nehézségekkel való megküzdésre kényszerítette az addig javarészt csak laboratóriumban kipróbált megoldásokat, kompromisszumok nélkül ütköztette az elméletet a gyakorlattal. Láthatuk, ahogy bizonyos eszközök egyszerűségük dacára sikerrel veszik az akadályokat, mások technikai értelemben apró hibák miatt felmondják a szolgáltatot.

Végül, a technológia határainak feszegetése közben is egyértelműen érződött a pilóták elszántsága és küzdeni tudása, pusztán mérnöki erődemonstráció helyett valódi sportesemény hangulatát kölcsönözve a rendezvénynek.

Az első Cybathlon hat versenyszámból állt, melyek során a pilóták definíciószerűen olyan területeken versenyeztek, melyekre sérüléseikből kifolyólag aktív bionikus eszközök segítségével nélkül nem lehettek volna képesek. Deréktól lefelé bénult biciklisták álltak rajthoz a funkcionális elektromos stimuláció versenyszámban, lábizmokhoz csatlakoztatott, azokat mesterségesen összehúzódnásra készítő komputervezérelt elektródarendszerek segítségével. Különböző sebességi és ügyességi feladatokban mérték össze tudásukat kibernetikus kar- és lábprotéziseket viselő bionikus atléták, illetve egyszemleletonokkal - külső vázzal - újra járóképessé tett, súlyosan bénult sportolók. Az élő és élettelen rendszerek integrációja a legtöbb esetben a megmaradt mozgásképességet kihasználva, a még ép izmok működésének mintegy lefordításával valósult meg – példaként, a pilóta vállövi- vagy törzsizmai szolgáltatathattak vezérlőjelet egy mesterséges végtag vagy külső motorizált váz működtetéséhez. Ebből is látszik, hogy a „pilóta” szóhasználat a Cybathlon esetében abszolút jogos, hiszen egy ilyen rendszer versenyszintű irányításában rejlik a kihívás összemerhető azzal, amit akár a technikai sportok esetében láthatunk.

Az élő és élettelen rendszerek összekapcsolódásának ennél is előrehaladottabb szintjét jelentette az utolsó versenyszám, az agy-gép interfészek futama, melyben a csapatunk is megmérettette magát. Itt a feladat az egyes testi funkciók egymással történő helyettesítése helyett elektroencefalográfiai jelek, tehát az agyműködést közvetlenül monitorozó adatok konkrét mozgásokká történő átalakítása volt – a pilóták egy virtuális „játsszóteren”, mintegy gondolataik által irányított „avatárokat” vezérelve futottak versenyt egymással. A Cybathlon úttörő szellemiségére jellemző módon ráadásul olyan komplex (négyirányú) vezérlés megvalósítása volt a cél, mely még ideális laboratóriumi körülmények között is igen komoly technikai és gyakorlati kihívást jelent mind az agyhullámokat értelmező rendszer mind az azokat tudatosan kontrolláló kísérleti személy számára, feszegetve a tudományterület jelenlegi határait.

NÁNÁSI TIBOR – FIÁTH RICHÁRD –,
MÁRTON GERGELY – ULBERT ISTVÁN

Vége az I. résznek



Következik júniusi számunkban:
Elektródfejlesztési irányok