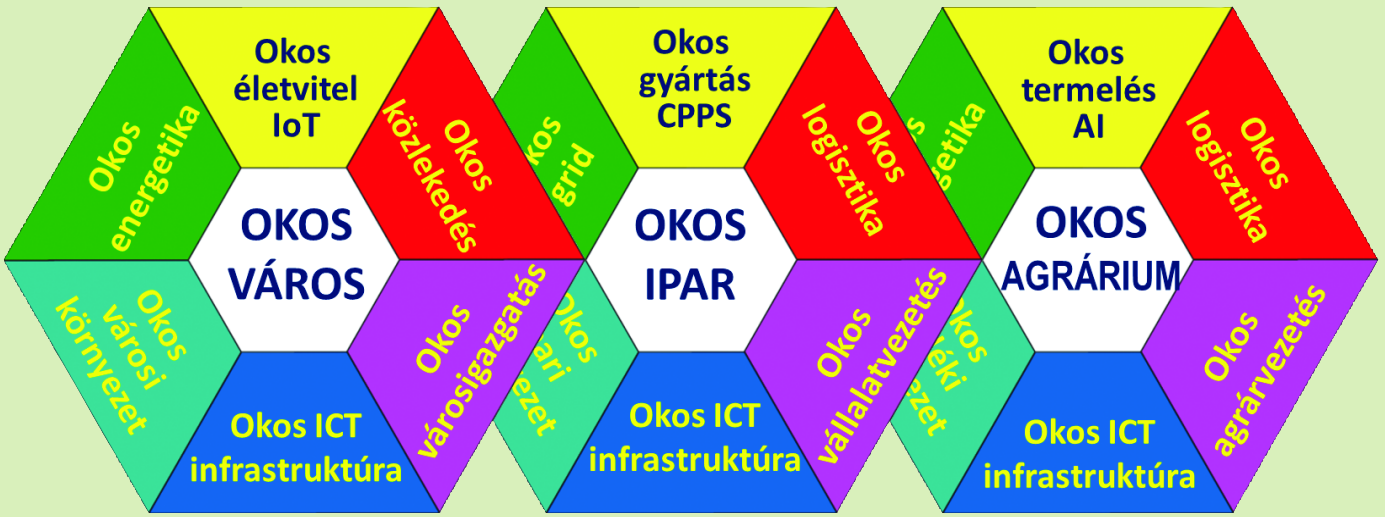
híradástechnika

1945 VOLUME LXXV. 2020

hírközlés ▪ informatika

1



Magyar Jövő Internet Konferencia 2019

Trendek és okos megoldások

A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata

Tartalom / Contents

Sallai Gyula
CÉLKERESZTBEN AZ OKOS ÖKOSZISZTÉMÁK – ELŐSZÓ
FOCUSING ON SMART ECONOMIES – FOREWORD 1

Horváth Gábor
A Digitális Európa program és a BME VIK
The Digital Europe Program and
the BME Faculty of Electrical Engineering and Informatics 2

Falus András
Az IT szerepe a genomikában
The significance of IT in genomics 6

Magyar Gábor
Az internet újragondolása –
A következő generációs internet ökoszisztémájának technológiái
Rethinking the Internet –
Technologies of the next generation Internet ecosystem 10

Bartolits István
A jövő infokommunikációs technológiái és a szabályozás
Future technologies of infocommunications and the regulation 17

Gyires-Tóth Bálint
A mély tanulás múltja, jelene és jövője
The past, present and future of deep learning 23

Horváth Ildikó
3D VR – áttörés az oktatásban
3D VR – Breakthrough in education 30

Gódor István, Vidács Attila
Az 5G az okos gyártásban
5G and challenges in smart manufacturing 35

Farkas Károly
IoT és Ipar 4.0 a gyakorlatban – Termelési folyamatok nyomon követése
IoT and Industry 4.0 in practice – Production process monitoring 42

Cinkler Tibor, Krámer Tamás
Okos tavak
Smart Lakes 47

A konferencia főrendezője:

A konferencia társrendezői:

Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület • www.hte.hu

Elnök: Magyar Gábor

H-1051 Budapest, Bajcsy-Zsilinszky út 12., 5. em./502. • Tel.: 353-1027 • e-mail: info@hte.hu

Főszerkesztő

SZABÓ CSABA ATTILA (BME, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék)

Felelős kiadó: NAGY PÉTER

HU ISSN 0018-2028

Layout: MATT DTP Bt. • Nyomda: FOM Media

Célkeresztben az okos ökoszisztémák

Az internet jövőjének kutatása az infokommunikációs kutatások egyik legkiemeltebb területe, amelynek új eredményei mind mélyebben és átfogóbban alakítják társadalmunkat.

Immár hatodik alkalommal került megrendezésre a *Magyar Jövő Internet Konferencia* (MJIK 2019), amely a 2014 óta évente rendezett előző konferenciákhoz hasonlóan az internet trendjeiről, következő generációjának technológiáiról, a feltáruló lehetőségekről és az elért eredményekről adott átfogó képet, célkeresztjébe ebben az évben már az okos internet ökoszisztémájának triumvirátusát; az okos várost, az okos ipart és az okos agráriumot helyezve. A jövő internetének közel egy évtizede megfogalmazott célkitűzései napjainkra voltaképpen megvalósultak, azonban az okos ökoszisztémák újabb kihívásokat támasztanak és ugyanakkor további perspektívát is nyújtanak.

A konferenciára – a Tudomány hónapja keretében – 2019. november 27-én került sor a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Központi Épületének Dísztermében. A konferencia rendezője a BME Villamosmérnöki és Informatikai Kara (BME VIK) volt, társrendezői pedig a Jövő Internet Nemzeti Technológiai Platform (FI NTP), a Jövő Internet Kutatáskoordinációs Központ (FIRCC) és a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület (HTE) voltak.

A szakmai eseményt Józsa János, a BME rektora nyitotta meg. A konferencián három szekcióban 18 előadás hangzott el. A délelőtti program előadásai a kibontakozó okos ökoszisztémák kérdéskörét vizsgálták, a délutáni szekciók előadásai pedig az előtérben lévő digitális technológiákról, illetve különféle okos megoldásokról adtak friss helyzetképet. A rendezvényen 120 fő vett részt. A konferencia programja és prezentációs anyagai, valamint fotógalériája elérhetők a HTE honlapján:

www.hte.hu/mjik2019

A Híradástechnika folyóirat e különszámát az MJIK 2019 előadásai alapján készült kilenc szakmai cikkből állítottuk össze. A különszám első négy írását a konferencián felvázolt trendek, kutatási irányok és jövőkép bemutatásának, a további öt cikket pedig egyes meghatározó technológiák és okos megoldások ismertetésének szenteltük. A konferenciát és a különszám megjelenését a BME VIK támogatta.

Horváth Gábor „A Digitális Európa program és a BME VIK” című cikke bemutatja a Digitális Európa Program motivációját, céljait és főbb pilléreit, valamint a BME VIK jelenlegi uniós kutatás-fejlesztési projektekben kifejtett aktivitását, ami e programban is sikeres részvételt sejtet.

Falus András „Az IT szerepe a genomikában” című írása az informatika meghatározó jelentőségét mutatja be az örökítő anyag szerkezetének feltárásában és működésének megértésében, megszerzett tudásunk hasznosításában, például betegségek genetikai kockázatának előrejelzésében, a legalkalmasabb gyógymód kiválasztásában.

Magyar Gábor „Az internet újragondolása – A következő generációs internet ökoszisztémájának technológiái” című cikkében az internet technológiai fejlődésének legfőbb velejáróit, a hálózatosodást és az adatalapúságot mutatja be, rávilágítva az internet architektúra újragondolásának szükségszerűségére és lehetséges irányára.

Bartolits István „A jövő infokommunikációs technológiái és a szabályozás” című cikke a 2030 utáni évek hálózatos technológiáira és szolgáltatásaira ad előretekintést az ITU ezirányú munkája nyomán és felvázolja a gyorsuló technológiai fejlődés mellett lehetséges szabályozási modelleket.

Gyires-Tóth Bálint „A mélytanulás múltja, jelene és jövője” című írásában a mesterséges intelligencia jelenleg legmeghatározóbb ágáról, a mesterséges neurális hálózatokon alapuló mélytanulásról nyújt átfogó, jelenlegi alkalmazásaira és jövőbeli lehetőségeire is kiterjedő helyzetképet.

Horváth Ildikó „3D VR – áttörés az oktatásban” című cikke bemutatja, hogy a 3D virtuális valóságra épülő oktatási terek és tananyagok 30-50%-os javulást eredményeznek a vizualizáció, az átlátás, az emlékezet, a megértés és az alkalmazáshoz kapcsolódó kollaboratív tevékenységek hatékonyságában.

Gódor István és Vidács Attila „Az 5G és az okos gyártás kihívásai” című írásukban az 5G-rendszerek által nyújtható magas megbízhatóság és a determinisztikus, alacsony késleltetés technikáit és a lehetőségek kiaknázását mutatják be, különösen az ipar digitalizálása területén.

Farkas Károly „IoT és Ipar 4.0 a gyakorlatban – A termelési folyamat nyomonkövetése” című cikke egy olyan, Ipar 4.0 szemléletben fejlesztett és megvalósított mintarendszert mutat be, amely alkalmas termelési folyamatok valós időben való monitorozásának automatizálására.

Krámer Tamás, Cinkler Tibor és szerzőtársaik „Okos tavak” című írásukban bemutatják a szenzorok és a tárgyak internete által nyújtott jelenlegi és jövőbeli lehetőségeket a tavak állapotának megfigyelésében és előrejelzésében, ezáltal segítve a tógazdálkodási feladatok lényegesen hatékonyabb ellátását.

Bízunk benne, hogy Olvasóink érdekesnek és hasznosnak találják a jelenlegi trendeket és okos megoldásokat bemutató különszámunkat.

Sallai Gyula
vendégszerkesztő

A Digitális Európa Program és a BME VIK

HORVÁTH GÁBOR

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamosmérnöki és Informatikai Kar
ghorvath@hit.bme.hu

Kulcsszavak: uniós pályázatok, Digitális Potenciál, Digitális Egységes Piac, Digitális Európa Program, BME VIK

Az Európai Unió a „framework"-programok keretében ciklusról ciklusra egyre többet fordít a kutatás-fejlesztés finanszírozására, és ez várhatóan a jövőben sem fog változni. Ugyanakkor az Európai Bizottság elérkezettnek látja az időt, hogy a korábbi évtizedek alatt felhalmozott ismeretek és tapasztalatok termőre forduljanak, a digitális technológiák a gazdasági élet szereplőit és a lakosság mindennapi életét is segítsék. Az elkövetkező években az EU ilyen irányú erőfeszítéseit a Digitális Európa Program fogja majd össze. Ebben a cikkben áttekintjük a program motivációját, céljait és főbb pilléreit. Bemutatjuk továbbá a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán jelenleg futó uniós kutatás-fejlesztési projekteket, melyek alapján a Digitális Európa Programban is sikeres szereplést várhatunk.

1. Bevezető

Az elmúlt két évtizedben nagyot változott a világ legnagyobb vállalatainak listája. Míg a 2000-es évek elején az autóipari cégek és az olajvállalatok foglalták el az első helyeket (General Motors, Wal-Mart, Exxon Mobil, Ford Motor, DaimlerChrysler), mára az élen mind a digitális technológia éllovasai állnak (Apple, Microsoft, Amazon, Google/Alphabet, Facebook [1]).

A digitális technológiák megjelenése megváltoztatta az életünket, hatással van a munkánkra, a mindennapi tevékenységünkre, de megváltozott az is, ahogyan kommunikálunk. Ezek a technológiák azonban sokkal többre képesek annál, mint amire eddig használják őket. A jövőbeli jólétünk érdekében stratégiai fontosságú a digitális technológia elterjedéséhez szükséges kapacitások növelése, valamint ezen technológiák elérhetővé tétele a kormányok, a lakosság és a vállalatok számára.

Ehhez akkora beruházásokra van szükség, melyekre a tagállamok önmagukban nem lennének képesek, ezért az EU a következő, 2021-ben kezdődő költségvetési ciklusra meghirdette a Digitális Európa Programot. Ez nem egy kutatás-fejlesztési program, nem is digitális technológiák kifejlesztése a cél – ez a korábbi években lezárult, illetve a közeljövőben induló kutatás-fejlesztési keretprogramok feladata –, a Digitális Európa Program kifejezetten a már létező technológiák felhasználására, azok mindennapi életbe való átültetésére fókuszál.

Ebben a cikkben szót ejtünk a program szükségességéről, ismertetjük céljait, főbb elemeit, valamint kitérünk arra is, hogy a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kara jelenleg milyen Európai Uniós projektekben vesz részt, ami előrevetíti a Digitális Európa Programban való sikeres szereplését is.

2. Digitális Potenciál

2016-os adatok szerint az európai lakosság 83%-a rendelkezik otthoni interneteléréssel, 76%-a pedig rendszeresen használja is azt. Ez a szám azonban nem mond sokat a kontinens digitális írástudásáról, hiszen nem adja vissza, hogy milyen mértékben aknázzák ki a cégek, illetve a lakosság a digitális technológiákban rejlő lehetőségeket ahhoz képest, amennyire napjainkban ez lehetséges lenne. A digitális technológiák használatában ráadásul nagy eltérések vannak az EU régiói között is.

A digitális potenciál, és kihasználtságának mérésére a McKinsey Global Institute (MGI) 2015-ben kidolgozott egy Industry Digitisation Index névre keresztelt metrikát [2] (egy korábbi, [3]-ban közölt módszertan továbbfejlesztéseként). Ez az összesen 21 indikátorra épülő index a gazdaság különböző szektorait értékeli a digitális eszközök birtoklása, felhasználása, és a velük dolgozó munkaerő alapján. Ágazatok szerint áttekintést ad arról, hogy a vállalkozások miként fektetnek be vagy költenek a digitális technológiára, hogyan használják fel azt az ügyfélkörük, beszállító hálózatuk és partnerkörük bővítésére, hogyan digitalizálják belső folyamataikat.

Az MGI 2016-ban egy átfogó, 1500 szakértő bevonásával készített tanulmány keretében az EU helyzetének értékelésére is alkalmazta ezt az indexet [4]. Ennek a tanulmánynak a mondanivalója az alábbi pontokban foglalható össze:

• Európa a teljes digitális potenciáljának csak 12%-át éri el. Az ICT-szektor (az eszközöket, felhasználást, munkaerőt tekintve) a digitális húzóágazat, míg sok más szektor nagyon le van maradva. Az Industry Digitisation Index alapján Európában

– magasan digitalizált szektorok: pl. az ICT, média, pénzügy;

– közepesen digitalizált szektorok: pl. a bányászat, az ingatlanszektor, az oktatás;
– alacsonyan digitalizált szektorok: pl. az egészségügy, az építőipar és az agrárszektor.

• Nagyon nagy a szórás az EU tagállamai között. A legjobban ez Egyesült Királyság áll 17%-kal, míg olyan, egyéb téren az élen teljesítő tagországokra, mint Németország és Olaszország, csak 10%-os realizált potenciált mutattak ki.

• Az Európai Unió alulteljesít az Amerikai Egyesült Államokhoz képest. Az MGI metrikája szerint az európai ICT-szektor digitalizációja például csak 60%-át éri el az USA-belinek.

• Az Európai Unióban már kimutatható a korreláció az egyes szektorok produktivitása és a digitális technológiák felhasználása között, ez az összefüggés az USA-ban még nyilvánvalóbb.

• Az Európai Unió képes a digitális technológiákat rövid távon gazdasági előnyökre fordítani. Ennek egyik eszköze a következő fejezetben részletezett Digitális Egységes Piac. Ha a digitális technológiák felhasználása szempontjából eddig hátrányos helyzetben lévő cégek és ágazatok számára előnyös környezetet sikerül biztosítani, az MGI becslése szerint a 2025-ös évig akár 2500 milliárd euró GDP is elérhető, ami a következő évtizedekben évenként 1%-os GDP-többletnövekedést jelent.

• A tanulmány megállapítja, hogy Európa digitális átmenetének felgyorsításában a vállalatoknak, a politikai oldalnak és az egyéneknek is van teendője. A vállalatoknak a digitális technológiákhoz kell igazítaniuk szervezetüket, működésüket és üzleti modelljüket. A kormányoknak lehetővé kell tenniük az adatokhoz való egyszerűbb hozzáférést – ami a digitális világban kritikus fontosságú –, és meg kell oldaniuk a hozzáértő munkaerő rendelkezésre állását. Az egyének számára pedig olyan fejlődési lehetőségeket, szemléletet kell kialakítani, hogy ki tudják használni a digitális átalakulás révén megnyíló lehetőségeket.

A tanulmányban is felvetett problémák kezelésére, lehetőségek kiaknázására született meg a Digitális Egységes Piac koncepciója, illetve a Digitális Európa Program is.

3. A Digitális Egységes Piac

Az Európai Bizottság tevékenysége prioritások köré szerveződik. Ezek a kulcsfontosságú területek ciklusról ciklusra változnak és ennek 2015 óta, a jelenlegi tervek szerint 2024-ig egészen biztosan, részét képezi a Digitális Egységes Piac megteremtése [5]. A Digitális Egységes Piac stratégia [6] célja az online és offline világ közötti határok megszüntetése, azaz hogy az EU lakosai online vásárlásokat bonyolíthassanak le, illetve hogy az EU vállalatai és az egyes országok közigazgatása online szolgáltatásokat tudjon nyújtani a lakosság számára. Mindezt úgy, hogy a jelenleg egymástól többékevésbé függetlenül működő 28 nemzeti digitális piac helyett egyetlen, határokon átívelő, egységes digitális piac jöjjön létre. A cél elérése érdekében eddig is számos nagy lépés történt, többek között a megszűnő roaming díjak, az online tartalomszolgáltatások hordozhatósága, illetve a területi alapú tartalomszolgáltatás megszüntetése, ezek előnyeit ma már minden uniós állampolgár élvezheti.

A Digitális Egységes Piac stratégia három alappillérből áll:

1. A digitális termékekhez és szolgáltatásokhoz való hozzáférés javítása

A Digitális Egységes Piac stratégiája arra törekszik, hogy a fogyasztók és a vállalkozások könnyebben hozzáférjenek az online árukhoz és szolgáltatásokhoz Európában. Célja a határokon átnyúló e-kereskedelem akadályainak megszüntetése és az online tartalomhoz való hozzáférés egyszerűsítése is.

2. Digitális hálózatok és szolgáltatások számára optimális környezet kialakítása

A Digitális Egységes Piac célja a digitális hálózatok és szolgáltatások számára a megfelelő környezet megteremtése a megfelelő szabályozási feltételek által támogatott nagysebességű, biztonságos, megbízható infrastruktúra és szolgáltatások biztosításával. Ennek a célnak az elérése természetesen nem csak technológia kérdése, számos olyan problémára kell megoldást találni, mint a megfelelő kiberbiztonság, adatvédelem, az e-magánélet tiszteletben tartása, valamint az online platformok átláthatósága.

3. A digitális gazdaság növekedésének elősegítése

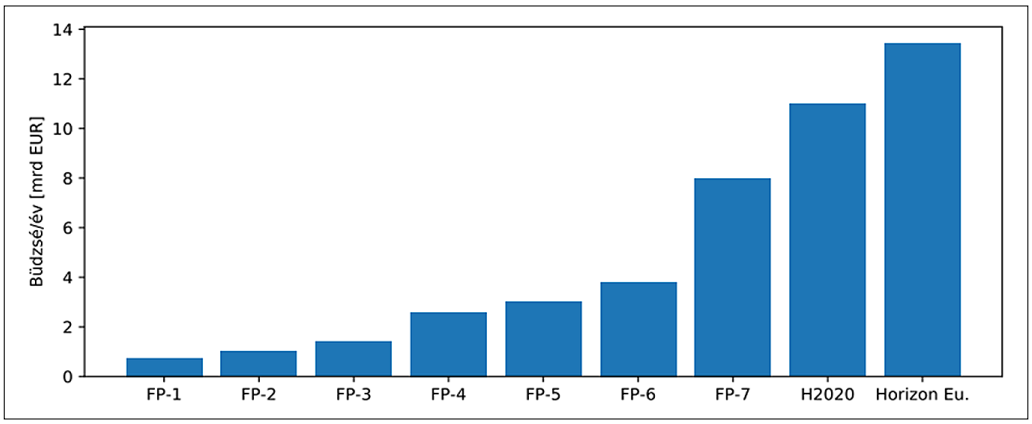
A Digitális Egységes Piac stratégia célja az európai digitális gazdaság növekedési potenciáljának maximalizálása. Ennek egyik eleme, hogy a digitális technológiák előnyeinek kihasználására a lehető legtöbb EU-állampolgárt képessé kell tenni – ehhez elkerülhetetlen a digitális készségek fejlesztése.

A következő fejezetekben részletezett Digitális Európa Program ennek a stratégiának a legújabb mérföldköve.

4. A Framework Programok és a Digitális Európa Program

4.1. Az Európai Framework Programok

Az Európai Unió az innováció kérdését kulcsfontosságúnak tekinti a fejlődés és a fenntarthatóság szempontjából, melynek ösztönzésére a fő szakpolitikai eszközei az úgynevezett kutatási és fejlesztési „framework programok (FP)". Az EU fennállása óta eddig hét framework programot hajtottak végre. A jelenleg megvalósítás alatt álló, nyolcadik, „Horizon 2020" elnevezésű framework program a világ legnagyobb K+I finanszírozási és képzési programja, az Európai Bizottság költségvetésének mintegy 8%-át teszi ki. A soron következő, 2021 és 2027 közötti hétéves költségvetési ciklusban esedékes 9. framework programot „Horizon Europe" névvel illették, megvalósításához minden eddiginél nagyobb, 98 mrd EUR költségvetést rendeltek [7].



1. ábra
Az EU framework programjainak évenkénti költségvetése

Általánosságban véve elmondható, hogy a Horizon Europe program keretében végzett kutatások, fejlesztések és kísérletek eredménye lesz széles körben megvalósítva és bevezetve a Digitális Európa Program keretében.

4.2. A Digitális Európa Program

Ez egy új finanszírozási program, amely a következő hétéves költségvetési ciklusban, 2021–2027 között kerül először bevezetésre. Az Európai Bizottság a program végrehajtására 9,2 mrd EUR-t különített el [8]. A fő cél a digitális technológiák elterjedésének segítése az EU-ban, a digitális potenciál minél jobb kiaknázása. A programtól az EU elsősorban a szuperszámítógépekkel, a mesterséges intelligenciával, valamint a kiberbiztonsággal kapcsolatos beruházások felgyorsulását várja.

Szuperszámítógépes beruházások (2,7 mrd EUR)

A digitális társadalomban keletkező nagy mennyiségű adat feldolgozásához nagy teljesítményű szuperszámítógépekre van szükség, ezek képezik a jövő mesterséges intelligenciára épülő világának infrastrukturális alapját. Jelen pillanatban egyetlen európai szuperszámítógép sincs benne a globális top 10-es ranglistában. Miközben az EU a világ számítási kapacitásának közel harmadát használja fel, addig mindössze 5%-át teszi hozzá maga. Ennek következtében az európai kutatók több, mint tízszer akkora számítási kapacitást vesznek igénybe az Egyesült Államoktól, mint magától az EU-tól [9]. A helyzet kezelésére a Digitális Európa Program keretében két exascale teljesítményre képes szuperszámítógép beszerzése van tervben a 2022–2023-as évekre és egy további, még gyorsabb szuperszámítógép beszerzése 2027-ben.

2. ábra A Digitális Európa Program főbb pillérei

Mesterséges intelligencia (2,5 mrd EUR)

Az erre elkülönített keretből a bizottság olyan projektek finanszírozásába fog beszállni, melyek a mesterséges intelligencia felhasználásának elterjesztésére irányulnak olyan kulcsfontosságú területeken, mint az egészségügy, a mezőgazdaság, a közlekedés, a közigazgatás és az ipar.

Kiberbiztonsággal kapcsolatos beruházások (2 mrd EUR)

Az EU a kiberbiztonsággal kapcsolatos termékek és szolgáltatások tekintetében importra szorul, ráadásul az európai kiberbiztonsággal foglalkozó cégek 25%-a valójában globális cégek leányvállalata. Az *ITU Global Cybersecurity Index*-e alapján felállított rangsorban csupán két EU tagország fért be az első tízbe. A fejlődés érdekében a Digitális Európa Program segítségével 2021-re szeretnék elérni, hogy minden tagországban legyen kiberbiztonsági kompetenciaközpont, 2025-re pedig olyan titkosítási eljárásokat vezetnének be, melyek kvantumszámítógépek segítségével sem törhetők.

A digitális technológiákban való jártasság javítása (700 mrd EUR)

Ezt a keretet olyan hosszú kifutású képzési programok, vállalati továbbképzések és rövid tanfolyamok finanszírozására szánják, melyek javítják az EU állampolgárainak digitális jártasságát. Szintén cél az ICT-szektorra jellemző munkaerőhiány enyhítése, hiszen 2018-ban az adatok szerint [7] az EU-ban 350.000 betöltetlen állás van a mesterséges intelligencia, az adatelemzés és a kiberbiztonság területén.

A digitális technológiák bevezetése a gazdaság és a társadalom különféle területein (1,3 mrd EUR)

A program ebből a keretből a közigazgatás és a közszolgáltatások digitalizálását támogatja (az egész EU-ra kiterjedő interoperábilis módon), valamint olyan innovációs hub-ok létrehozását, melyek megkönnyítik a digitális technológiához, a know-how-hoz való hozzáférést minden vállalkozás, különösen a kkv-k számára.

A programot 2018. június 6-án jelentette be az Európai Bizottság, az Európa Parlament pedig 2019 áprilisában döntött róla. 2019 nyarán kezdődött el a kiemelt résztvevőkkel a konzultáció, a remények szerint 2021. január 1-én pedig megkezdődik a program végrehajtása.

5. A BME VIK részvétele az Európai Unió Programjaiban

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kara kutatás-fejlesztés tekintetében a hazai műszaki felsőoktatás éllovasa. Az EU csatlakozással megnyílt a lehetőség a framework programokban való részvételre is, melyben a Kar kiemelkedően sikeres pályázónak bizonyult.

Az alábbi lista a nyertes H2020 pályázatokat sorolja fel, melyek nagy száma, magas költségvetése, változatos témája előrevetíti a Digitális Európa Programban való jó pályázati sikerességet is.

- *ANIMA: Aviation Noise Impact Management*
  A projekt célja a repülőtér környéki lakosok életminőségének javítása.
- *FIWIN5G: FIber-Wireless Integrated Networks for 5th Generation delivery*
  Célja kreatív, vállalkozó szellemű, innovatív kutatók képzése, akik képesek a tudást és az ötleteket termékké és szolgáltatássá alakítani a gazdasági és társadalmi haszon érdekében.
- *FLEXITRANSTORE: Smart TRANSmission grids with STORage Entities and large penetration of Renewable Energy Sources*
  A projekt célja megújuló energiaforrásokra támaszkodó energiaátviteli és energiatároló rendszerek integrációja.
- *INTERRFACE: INTERFACE aRchitecture to provide innovative grid services for an efficient power system*
  Célja innovatív grid szolgáltatások demonstrálása.
- *TETRAMAX: Customized and low-energy computing*
  Célja alacsony fogyasztású számítási eszközökkel kapcsolatos technológia-transzfer létrehozása.
- *SECREDAS: Cyber Security for Cross Domain Reliable Dependable Automated Systems*
  A projekt célja biztonságkritikus rendszerek ellátása információbiztonságot és adatvédelmet biztosító képességekkel.
- *FED4SAE: Federated CPS Digital Innovation Hubs for the Smart Anything Everywhere Initiative*
  Célja, hogy lehetővé tegye az innovatív kiber-fizikai technológiákat szinte bármely ágazat és bármely vállalkozás számára.
- *S4E: Smart4Europe – Skilling SMEs in digitising their business*
  A projekt célja a KKV-k ellátása a tevékenységüket segítő digitális technológiákkal.
- *Delphi4LED: From Measurements to Standardized Multi-Domain Compact Models of LEDs*
  Célja a LED-ek gyártásában felhasználható multidomain modellek fejlesztése.

A Kar tíz tanszéke a 4. fejezetben felsorolt, a Digitális Európa Program súlyponti területein erős kompetenciákkal rendelkezik, melyet nemcsak a kutatási tevékenysége és pályázati tevékenysége, hanem vállalatokkal közös ipari K+F projekt tevékenysége is igazol.

6. Összegzés

A Digitális Egységes Piac stratégia mentén az Európai Bizottság már az elmúlt években is öles lépéseket tett, hogy lebontsa azokat az akadályokat, melyek gátolják az unió tagországain átívelő digitális szolgáltatások gyors bevezetését és igénybe vételét. A stratégiát a 2021-től induló Digitális Európa Program fogja kiteljesíteni, mely a kutatás-fejlesztési keretprogramok kiegészítéseként, várhatóan jelentősen fel fogja gyorsítani Európa digitális átalakulását. Ebben a folyamatban az olyan, EU-s pályázati tapasztalatokkal rendelkező oktató-kutató intézmények is szerephez jutnak, mint a BME.

A szerzőről

HORVÁTH GÁBOR mérnökinformatikus diplomáját 2001-ben, PhD-fokozatát 2006-ban, habilitációját pedig 2013-ban, egyaránt a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán szerezte. MTA doktori disszertációját 2018-ban sikeresen védte. A BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszéken dolgozik, tanszékvezető-helyettes, a kar tudományos dékánhelyettese.

Hivatkozások

[1] Statista, "The 100 largest companies in the world by market value in 2019", *https://www.statista.com/statistics/263264/top-companies-in-the-world-by-market-value/*
[2] McKinsey Global Institute, "Digital America: A Tale of the Haves and Have-Mores", December 2015.
[3] Roman Friedrich, Matthew Le Merle, Florian Gröne and Alex Koster, "Measuring industry digitization: Leaders and laggards in the digital economy", Strategy&, Booz & Company, December 13, 2011.
[4] McKinsey Global Institute, "Digital Europe: Pushing the Frontier, Capturing the Benefits", June 2016.
[5] A Európai Bizottság hat prioritása (2019–2024), *https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024_hu*
[6] A Digitális Egységes Piac, *https://ec.europa.eu/digital-single-market/*
[7] Tények és adatok a keretprogramról, *https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/statistics/framework-programme-facts-and-figures hu*
[8] EU Budget for the future – Investing in the Future Digital Transformation, *https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/budget-june2018-digital-transformation_en.pdf*
[9] Accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing the Digital Europe programme for the period 2021–2027 (SWD(2018)305/F1), *https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/10102/2018/EN/SWD-2018-305-F1-EN-MAIN-PART-1.pdf*

Az IT szerepe a genomikában

FALUS ANDRÁS
Semmelweis Egyetem
falus.andras@med.semmelweis-univ.hu

Kulcsszavak: genetika, genom, genomika, bioinformatika

A molekuláris biológia robbanásszerű fejlődése az elmúlt hetven évben lehetővé tette az örökítő anyag szerkezetének és működésének megismerését a teljes földi élővilágban. A technikai fejlődés által rendelkezésre álló gigantikus adatmennyiség feldolgozása és a működési mechanizmusok feltárása nyomán az informatika elengedhetetlen részese lett a genomikai kutatásnak. A cikk a genomikai forradalom hátterével, egyes alkalmazási területeivel és perspektívájával foglalkozik.

1. A genetika és genomika tudománya

Az emberi intellektus egyik legnagyobb közös teljesítménye a humán és nagyszámú más élőlény örökítő anyagának molekuláris szintű megismerése. A páratlan nemzetközi összefogással, 1989–2003 között megvalósult humán genom programról (HUGO – Human Genome Organization) túlzás nélkül állíthatjuk, hogy elkezdődött vele a biológia „írásbelisége".

Az emberi szervezetben mintegy száz billió (10^{14}) sejt található. Minden egyes sejtünk sejtmagjában 2x23 kromoszóma (ivarsejtekben a fele), 2x3,2 milliárd (10^9) négyféle *nukleotidbázis* (ezek: adenin-A, guanin-G, citozin-C és timin-T) található, ez a dupla helikális szerkezetben kb. 2x2 (4) méter DNS-t (dezoxiribonukleinsavat) jelent. Az RNS (ribonukleinsav) timin helyett uracilt tartalmaz. A nukleotidbázisok lineáris sorrendje képezi a szüleinktől örökölt „biológiai hardvert". Az élet során különböző hatásokra természetesen megváltozhatnak a nukleotidok (csere, kiesés, beékelődés, átrendeződés), ezeket a változásokat *mutációknak* nevezzük.

Az egyes génekkel a *genetika,* az összessel (beleértve azok kölcsönhatásával is) pedig a *genomika* foglalkozik. A genetika legfontosabb felfedezéseinek (a DNS mint örökítőanyag azonosítása, az öröklődés törvényeinek felismerése, a DNS szerkezetének leírása) sorába illik óriási továbblépésként a teljes human örökítőanyag (genom) szekvenciájának megállapítása.

A szekvenálás, tehát a nukleotidbázisok sorrendje legközvetlenebb eredménye az összes – fehérjét kódoló – mintegy 23-25 ezer gén azonosítása. Az emberi gének viszonylag csekély száma (mely nagyságrendileg hasonló a fonalféregben találtakhoz!) rávilágított arra, hogy a biológiai fenotípus (tehát a valóságos megjelenés) komplexitását nem a génkészlet nagysága, hanem magukban a gének variánsaiban rejlő egyedi sokféleség (diverzitás), a kapcsolati gén- és géntermék-hálózatok szövevénye, valamint a gének megszólalására ható epigenetikai hatások sokasága határozza meg. A gének katalogizálásán túlmenően a genomszekvencia megadja a gének pontos helyét és sorrendjét is a kromoszómákon. Ez az egyszerű információ óriási jelentőségű a genetikában, mert lehetővé teszi azt, hogy egy kromoszóma szakaszhoz kapcsolt („térképezett") tulajdonsághoz vagy betegséghez gének módosulásait, variációit rendelhessünk hozzá.

A genomot tekintve csillagászati méretekről van szó, hiszen ha az összes emberi sejttel számolunk, az emberi szervezet DNS-hossza mintegy 140-szerese a Föld-Nap távolságnak.

Az emberiség DNS szinten is nagyon egységes, a raszszizmus minden álságos biológiai alátámasztása nemcsak hogy morálisan elfogadhatatlan, hanem biológiailag, tudományosan is hamis. Az egyes etnikumok között néhány tizedszázalékos eltérés van a genom szintjén.

2. A genomikai korszak fő „inputjai"

A nyolcvanas évektől kezdődő szinte példanélküli tudományos robbanás főként három forrásból táplálkozott:

1. Hatalmas mértékben felgyorsult a nanobiotechnológián alapuló, nagy áteresztő képességű, ún. „high-throughput" metodikák fejlesztése (nukleotid szekvencia-meghatározás, microarray technológia, teljes genom vizsgálatok tekintetében); egyre nagyobb kutatási teljesítményt egyre olcsóbban lehetett elérni. A közelmúltból külön kiemelendők az újgenerációs, szinte teljesen automatizált szekvenálási, valamint a valódi, precíz génterápiára reményt nyújtó génszerkesztési eljárások hatása.
2. Egyre több és egyre teljesebb szabadon elérhető adatbázis vált hozzáférhetővé a kutatók számára. Létrejött a térbeli és időbeli korlátokat virtuálissá tevő *„in silico"* (komputer előtti) kutatás lehetősége. Ez egyben a tudomány rendkívül széleskörű demokratizálódásával járt, hiszen bárki a világon könnyen és a legtöbb esetben ingyen felkeresheti ezeket az adatbázisokat interneten. Ezt követően saját kutatólaboratórium (*„nedves labor"*) nélkül is a meglevő

adatok új megközelítésével, csoportosításával, csupán a számítógép mellett dolgozva, önálló és eredeti tudományos felfedezéseket tehet.

3. Szükségszerűen kiteljesednek a bioinformatikai elemzések a nagy elemszámú biológiai rendszerek adattengerének elemzésére is. Napjainkban útvonal- és génhálózat-analízisek, valamint az ennek megfelelő szoftverek sokasága jelent és jelenik meg.

Az *1. ábrán* az emberi májrák egy génhálózati kapcsolatrendszerét mutatjuk be részletezés nélkül (csak a hálózati komplexitást szeretnénk demonstrálni). Az egyes szimbólumok a tumor működésére ható géneket szimbolizálják. A háromszög alakú jelek a genom stabilitását biztosító géneket, a köralakú szimbólumok pedig a programozott sejthalál funkcióban résztvevő géneket jelzik.

A hagyományosabb, úgynevezett „frekventista" analízisek mellé beléptek a nagy halmazokat kezelő matematikai-statisztikai eljárások. Ezek között például a BNBMLA (Bayesian multilevel analysis) véletlen változók közötti kapcsolatok valószínűségének eloszlását mutatja.

Nem véletlen, hogy ma már a molekuláris- és genomszintű vizsgálatok anyagi feltételei közül a szuperszámítógépek, a folyamatosan megújított szoftverek és az azokat fejlesztő, jól felkészített informatikusok (bioinformatikusok) tudása minősíthető az egyik legkeresettebb (és jól fizetett) hivatásnak.

3. A genomika és az informatika kapcsolata

A modern genetika tehát ma már elválaszthatatlanul kapcsolódik az informatika tudományához. A fentebb említett humán genom program lehetővé tette e gigantikus információ „elolvasását". A program 13-14 évében, rendkívüli nemzetközi együttműködéssel leírták a genomot alkotó, mintegy 3,2 milliárd építőelem (nukleotidbázisok: A, C, G és T) lineáris sorrendjét. A két nagy konkurrens, az államilag támogatott HUGO, illetve a Celera (privát cégből kinőtt magánvállalkozás) természetesen csak kevés egyedi genomot tudott „elolvasni", ennek megfelelően messze nem volt világos, hogy mely genetikai „szavak és betűk" találhatóak meg minden emberben, és melyek valóban egyediek.

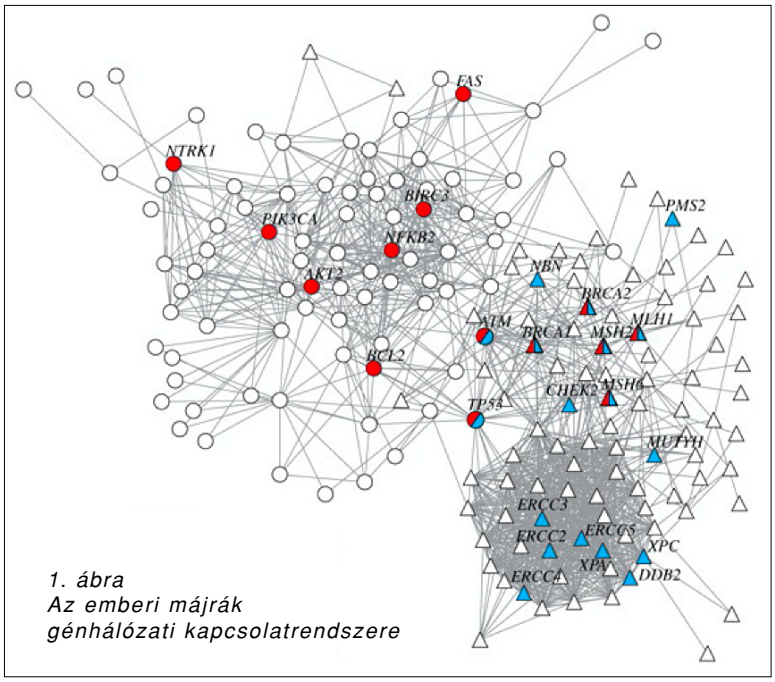
Egy emberből átlagosan 20 fehérjekódoló gén teljesen hiányzik, azaz ebből a szempontból „génkiütöttnek" tekinthető. Ezek általában olyan gének, melyek hiánya nem okoz evolúciós hátrányt a ma élő embernek. Ilyenek például egyes szagreceptorok hiányai. Vannak viszont olyan génhiányok, amelyek kisebb hátrányt, vagy előnyt jelenthetnek hordozójuknak.

A humán genom 45%-a ismétlődő szekvenciákból áll. Ezek közül sok a *transzpozon,* azaz ugráló gén, amelyek viszont akár 40 millió év óta is inaktívak. A leggyakoribb ismétlődő szekvenciát Alu-nak hívják, mely a teljes genomunk 10,6%-át foglalja el.

Több száz génünk származik baktériumokból horizontális gén-transzferből. A pericentromerikus és a subtelomerikus régiókban nagy szakaszok ismétlődnek.

Jelenleg az *imprintált* gének számát 150 körülire becsülik (genetikai imprinting: az eltérő apai és az anyai gének kifejeződése), amelyek közül vagy csak az anyai (56%), vagy csak az apai (44%) aktív, de a pontos számok vitatottak. Ha valami oknál fogva ebben a rendszerben hiba következik be, például ha mindkét gén aktív, ez többféle súlyos betegségekhez is vezethet.

A legújabb definíció szerint a *paralógok* ugyanabban a fajban található közös gének, míg az *ortológok* hasonló, különböző fajokban levő gének. A paralóg gének génduplikáció eredményei működnek; van intronos (unprocessed) vagy intronnélküli (processed) változat, funkciója lehet ugyanaz, vagy hasonló, de más is, mint az eredeti génnek. Az úgynevezett „processzált" paralóg úgy keletkezik, hogy a génből átíródott mRNS-ből splicing útján kivágódnak az intronok, majd reverz transzkripció után visszamásolódnak a genomba. Mivel a szelekciós nyomás a duplikálódott génen kisebb vagy hiányozhat, szabadon mutálódhat, így nyerve új funkciókat.



1. ábra
Az emberi májrák génhálózati kapcsolatrendszere

A humán genomszekvencia sikeres leírása, első „munkapéldánya"(„draft"-ja) pontatlanságai ellenére is vitathatatlan mérföldkő volt a genetikában, hiszen a genomszekvencia a genetika olyan alapdokumentummá vált, ami nélkül a genetikai tudományok további fejlődése elképzelhetetlen volt. Olyan ez, mint egy könyv szövege, betű- és szóhalmaza, ami szükséges – de nem elégséges – feltétel a „szöveg" megértéséhez. Önmagában ezzel az „írásjeltömeggel" még nem tudunk mit kezdeni, a nyelv, a biológiai „nyelvtan" ismerete nélkül csak értelmetlen ákom-bákomnak látjuk.

Ma már az úgynevezett „posztgenomikus” korban élünk, a lexikális megismerésen túl a működés, szabályozás és a gének funkcióinak feltárása, az „annotáció” zajlik. Megtudtuk, hogy az örökítő anyag óriási elemszámú hálózatokban működik. A teljes rendszer áttekintését célzó megközelítésre szolgál a *rendszerbiológia* vagy rendszerszemléletű biológia (systems biology) elnevezés, amely egy teljesen új „csapat-függő” világot nyitott meg a kutatók, orvosok, biotechnológusok és matematikusok számára.

Nyilvánvaló, hogy tudásunk validálásához még sokkal több ember genomszekvenciájának megismerésére lesz szükség.

2012-ben fejeződött be az ún. „1000 genom projekt”, ennek alapján jött létre az ENCODE, ami egy genetikai enciklopédiának felel meg. Kínai genetikusok közeli célul tűzték ki több millió ember teljes genomjának elolvasását. A viharosan fejlődő módszerek, például az újgenerációs szekvenálási eljárások és a rohamosan csökkenő költségek folytán valószínű, hogy ez a cél pár éven belül meg fog valósulni.

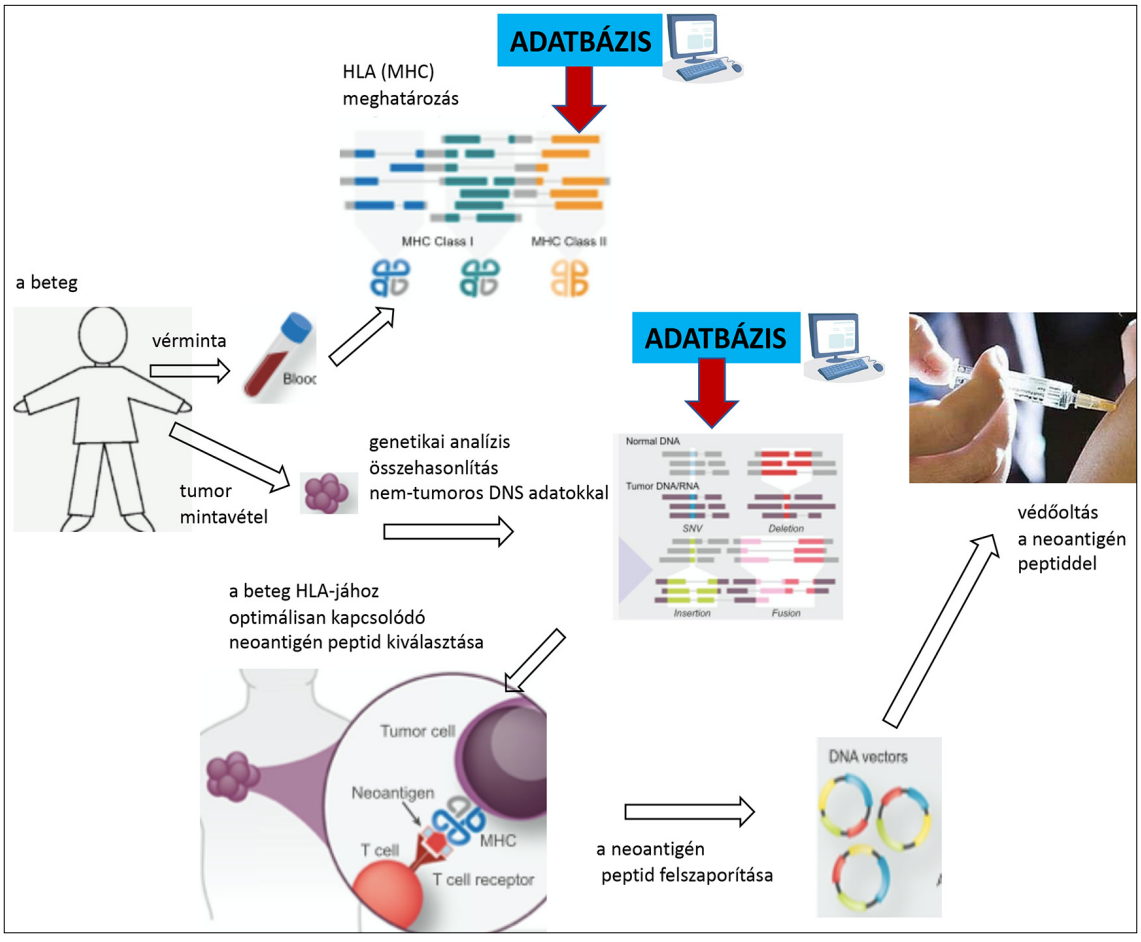
A továbbiakban meg kell tudnunk mondani minden egyes variánsról, hogy hozzájárul-e a betegséghez, vagy például egy adott gyógyszer lebontásának kinetikájához, s ha igen, milyen mértékben. Ennek megállapítása igen nehéz feladatnak ígérkezik, tekintve, hogy a betegségeket okozó variánsok száma valószínűleg igen nagy és a legtöbb etnikumban, sőt egyes emberekben is különböző.

Mindazonáltal ennek a genetikai információnak a birtokában prediktív módon megbecsülhető lesz majd a betegségek kialakulásának genetikai kockázata, még azok bekövetkezte előtt.

Az informatikai analízisek egyre inkább a mesterséges intelligenciák alapvető felhasználása felé mutatnak. Az informatikai analízis sémáját a rákkutatás egy példáján keresztül mutatjuk be.

A tumorokra jellemző neoantigének kimutatása és aminosav sorrendjének meghatározása az egyik első kulcseleme a rákkutatásnak. Ma már ez a vizsgálat bioinformatikai jellemzések sorozatán keresztül valósul meg. A neoantigén jellemzésére és a tumorvakcina bioinformatikai előállítására szolgáló átfogó munkafolyamat főbb elemzési lépéseit egyszerűsített formában a *2. ábrán* mutatjuk be.

Először betegek örökölt immungenetikai sajátosságait, a *fő hisztokompatibilitási fehérjék* – MHC (emberben: *humán leukocita antigén* – HLA) típusait határozzák meg, felhasználva a nagy adatbázisokban talált információkat. Ezután a tumor genetikai analízise következik, variánsokat keresnek a betegből izolált (biopszia, műtéti minta) tumorszövetben (például nukleotid cseréket, egyes szakaszok kiesését, beépülését vagy összekapcsolódását). Ezt követően az MHC-fehérjékhez kapcsolódó neoantigén-peptidek közül informatikai („in silico”) predikciót hajtanak végre az interneten hozzáférhető adatbázisok felhasználásával, azaz a beteg HLA-molekuláira „illesztve” tervezik meg a legjobban kapcsolódó neo-



2. ábra
A tumorvakcina bioinformatikai előállítására szolgáló munkafolyamat főbb elemzési lépései

antigén eredetű peptideket. A kiválasztott peptideket ezután megfelelő hordozókkal (pl. vírusok) felszaporítják és vakcinákat állítanak elő. A vakcinák stimulálják a beteg immunrendszerét, és immunológiai védelmet nyújtanak a daganat ellen. A kutatások nyomán egyre hatékonyabb tumorellenes védőoltások előállításával reményteli módon fel lehet venni a harcot a molekulárisan jellemzett daganatok ellen.

4. A „geneticizmus" veszélye

A genetikai/genomikai/epigenetikai „hype" (csinnadratta), a genetika kizárólagos jelentőségének túlhangsúlyozása („geneticizmus") nagy veszélyt is jelenthet, mert a megismerés, a tudásunk és a gyakorlati hasznosíthatóság jelen fázisa kezdetinek tekinthető. A nagy hírveréssel nyilvánosságra hozott ENCODE eredményei pár éve elmaradtak a várakozástól. Megjelent egy elég szkeptikus kifejezés; a *hiányzó örökletesség* (missing heritability). Ez persze nem az eredményeket, hanem a túlzóan (de talán érthetően) nagy elvárásokat minősíti.

A genetika/genomika értelmezése markánsan eltávolodik a „sors" fogalmától, ma már e tudományok legfontosabb szavainak egyike a hajlam, amibe a valószínűség fogalmát is bele kell értenünk. A hálózati gondolkodás mellett a külső és belső környezet által létrejövő, reverzibilis epigenetikai hatások figyelembe vételével sokkal jobban helyére kerülnek a genetika és a genomika tudományának óriási és egyben valós eredményei és társadalmi hasznossága.

A szerzőről

FALUS ANDRÁS (szül.1947) biológus, a Semmelweis Egyetem professor emeritusa, a Genetikai-, Sejt és Immunbiológiai Intézet igazgatója 1994–2012 között, Pro Universitate- és Széchenyi- díjas, az MTA és az Academia Europeae rendes tagja. Fő kutatási területe az immungenomika és az epigenetika. Hosszabb ideig dolgozott Odenseben (Dánia), a bostoni Harvard és az Osakai Egyetemen. Tizenkét nemzetközi és magyar tudományos könyvet írt és szerkesztett. Több mint 400 tudományos publikációjára mintegy 14.600 idézetet kapott, h indexe: 55. Negyven PhD hallgatója szerzett fokozatot. Kutatási tevékenysége mellett ismeretterjesztéssel is foglalkozik. Társalapítója az EDUVITAL Nonprofit Egészségnevelési Társaságnak. Nős, három gyermeke és 12 unokája van.

Hivatkozások

[1] *http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/home.shtml* (2009).
[2] International Human Genome Sequencing Consortium: Initial sequencing and analysis of the human genome. Nature 2001; 409:860–921.
[3] Venter J.C. et al.: The sequence of the Human Genome. Science 2001; 291:1304–1351.
[4] International Human Genome Sequencing Consortium: Finishing the euchromatic sequence of the human genome. Nature, 2004 Oct 21; 431:931–945.
[5] *http://genomics.xprize.org/*
[6] Rusk, N., Kiermer, V.: Primer: Sequencing – the next generation. Nature Methods 2008; 5:15.
[7] *http://www.genome.gov/10005107* (2009).
[8] Pennisi, E.: 1000 Genomes Project gives new map of Genetic Diversity. Science 2010; 330:574–575.
[9] *http://www.epigenome.org/* (2009).
[10] Redon, R. et al.: Global variation in copy number in the human genome. Nature 2006; 444:444–454.
[11] Armour, J.A.: Copy number variation and antigenic repertoire. Nature Genetics 2009; 41 (12):1263–1264.
[12] Bruder, C.E. et al.: Phenotypically concordant and discordant monozygotic twins display different DNA copy-number-variation profiles. Am. J. of Human Genetics 2008; 82:763–771.
[13] Pauline C. Ng, et al.: Genetic variation in an individual human exome. PLOS Genetics, 2008 Aug 15; 4 (8):e1000160.
[14] Reich, D. et al.: Genetic history of an archaic hominin group from Denisova Cave in Siberia. Nature, 2010 Dec 23; 468 (7327):1053–1060.
[15] Green, R.E. et al.: A draft sequence of the Neandertal genome. Science, 2010 May 7; 328 (5979):710–722.
[16] Reich, D. et al.: Denisova admixture and the first modern human dispersals into southeast Asia and Oceania. Am. J. of Human Genetics, 2011 Oct 7; 89 (4):516–528.
[17] Burbano, H.A. et al.: Targeted investigation of the Neandertal genome by array-based sequence capture. Science, 2010 May 7; 328 (5979):723–725.
[18] Gibbs, W.W.: The unseen genome: gems among the junk, Scientific American 2003; 289 (5):46–53.
[19] The ENCODE Project Consortium: Identification and analysis of functional elements in 1% of the human genome by the ENCODE pilot project. Nature 2007; 447:799–816.
[20] Parker, S.C., Hansen, L., Abaan, H.O., Tullius, T.D., Margulies, E.H.: Local DNA topography correlates with functional noncoding regions of the human genome. Science 2009; 324:389–392.
[21] Fire, A., Xu, S., Montgomery, M., Kostas, S., Driver, S., Mello, C.: Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in Caenorhabditis elegans. Nature 1998; 391 (6669):806–811.
[22] Swami, M.: RNA world – A new class of small RNAs. Nature Reviews Genetics 2009; 10:425.
[23] Waterston, R.H. et al.: Initial sequencing and comparative analysis of the mouse genome. Nature 2002; 420 (6915):520–562.

Az internet újragondolása – A következő generációs internet ökoszisztémájának technológiái

MAGYAR GÁBOR

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
magyar@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: 5G, adatvezéreltség, dolgok internete, felhő informatika, hálózati társadalom, mesterséges intelligencia, tudástársadalom

Az internet mintegy öt évtized alatt lenyűgöző technológiai fejlődésen ment át. Szinte valamennyi, korábban önálló kommunikációs feladat „áttelepült" az internetre. A 2020-as évtizedben az egymást erősítő „hálózatosodás" és „adatalapúság" a felhasználási igények exponenciális ütemű megváltozását eredményezi. Ennek kiszolgálására az 1970-as években kitalált internet architektúra már nem feltétlenül lesz gazdaságos, talán alkalmas sem. A cikk áttekinti a változások fő jellemzőit, s amellett érvel, hogy a tartalom-központú, viselkedés-alapú „általános internet közmű" kora jön el.

1. Bevezetés

Jan Van Dijk már az 1990-es évek elején úgy gondolta, hogy az elektronikus hálózati kommunikáció fokozatosan háttérbe szorítja az emberek közötti közvetlen társalgást [1]. Megjósolta, hogy a személyes (és szervezeti) kommunikáció összeolvad a tömegkommunikációval. Arra következtetett, hogy az emberek folyamatosan összesze lesznek kapcsolva egymással és állandó hozzáférésük lesz az információhoz. Az internet az egész világot az otthonokba és a munkahelyekre hozza.

Manuel Castells, a hálózatos társadalom híres gondolkodója [2] szerint is társadalmunk szociális morfológiáját a hálózatok adják. Egy interjúban [3] ezt mondta: *„...hálózatos társadalom, ahol a kulcsfontosságú társadalmi struktúrákat és tevékenységeket elektronikus információ-feldolgozó hálózatokkal szervezzük. Tehát ez nem pusztán szociális hálózatokról szól, mert azok ősrégi formák. Itt olyan szociális hálózatokról van szó, amelyek mikro-elektronikai technológiákkal végzik az információ feldolgozását és menedzselését."* A hangadók, az „elit" összetartozása már nem feltétlenül a lakóhely szerinti összetartozással, hanem az információáramlásban való részvétel révén valósul meg. A „hatalom" e hálózatban összpontosul.

Az internet társadalmi hatásait már korán felismerő tudósok a hálózatosodás átalakulását vizsgálták. Az egyre sűrűbb és sebesebb kommunikációs hálózat rövidesen az adatokhoz való viszonyunkat is drámaian megváltoztatta. Az adatok gyűjtésének és elemzésének képessége a civilizáció történetében mindig is megvolt. A mi életünkben mennyiségi ugrás következett be, mind az információ létrehozásában, mint annak elosztásában. Erre a 20-21. századi információs-kommunikációs technológiák (IKT) tettek képessé bennünket.

Az internet (mint elektronikus, digitális médium) globálisan összekapcsolta a kommunikálni képes hálózati végpontokat (embereket és gépeket). Ez mindenekelőtt a fogyasztható médiatartalom létrehozásának és fogyasztásának tömegesedését eredményezte [4]. A „bárhol, bármikor" kapcsolati lehetőségét nagyon hamar kihasználták az élet szinte minden területének átformálására, új termelési és üzleti modellek kialakítására. Átalakult, átalakul például az oktatás, a munkafolyamatok, a munkaviszonyok, a szabadidő eltöltése, az egészségügy stb. Mindez azonban nem feltétlenül jár tudástermeléssel (bár gyakran igen). A tudás az információ további elemzésével és kontextusba helyezésével (megértésével) áll elő [5].

Végső soron a társadalom igényei, értékei és érdekei határozzák meg a technológia fejlődését is, nem fordítva. A technológia használatának ugyanakkor alapvető társadalom-átalakító következményei vannak. Könnyen belátható példa erre az elektromos hálózat kiépülése. Kezdetben egy-egy konkrét terméket (pl. izzólámpa, elektromos vasaló, porszívó), azok kényelmét, illetve hasznát érzékelték a kortársak. Az elektromos energia és a villamos gépek elterjedésével azonban megváltozott az ipari kor társadalma (például nagy tömegeket foglalkoztató gyárak nőttek ki, változott a munkásmozgalom is, az elektromosság használata átalakította a közlekedést, egyre gyakoribbak lehettek az utazások stb.).

Az IKT ennél még átfogóbban érinti a társadalom működését. A jólét, a hatalom létrehozása és megtartása erősen épül az IKT technológiák nyújtotta előnyök kiaknázására. Digitális átalakulásként [6,7] szokás nevezni a termelés, a szállítás és a fogyasztás folyamatainak mai megváltozását. Az új üzleti modellek, szervezési és piaci folyamatok miatt módosulnak a gazdasági verseny tipikus esetei, mintázatai, a gazdasági és társadalmi struktúrák, a jogi és szakpolitikai mértékek, a kulturális határok.

Az IKT térhódításának két alapvető folyamata a *„hálózatosodás"* és az *„adatalapúság"*.

Az ember a tudás révén emelkedett ki természetes környezetéből. A predigitális korban a tudáshoz való hozzáférés a mai lehetőségekhez képest nehézkes volt. A hálózatosodás eredménye, hogy (technikai lehetőségként) bárki és bármi, bárhol, bármikor összekapcsolódhat. Technológiai szempontból a társadalom valamennyi

tagja hozzáférhet a tudáshoz, ami az életfeltételek javítását szolgálja. A tudástársadalom éppen ettől jöhet létre. A tudástársadalomban az sikeres, aki képes tudást létrehozni és azt erőforrásként felhasználni.

A hálózati kapcsolatoknak a társadalmi hasznosság szempontjából nem az „összekapcsoltság” a lényege, hanem az, hogy az összeköttetések adatok kommunikálására alkalmasak *(1. ábra)*. A hálózatok csomópontjaiban lehetnek emberek és gépek (például érzékelők, jeladók) is. A tudásfelhalmozás és -átadás módja megváltozik a digitális eszközök alkalmazása révén, az ember tevékenységéről, a természetes és mesterséges környezetünkről nagy mennyiségű és jó minőségű adat áll elő. Az emberek, a gépek, a természeti és műszaki folyamatok digitális nyomainak elemzésével adatokra alapozott tudáshoz juthatunk. A minőségileg és mennyiségileg újfajta tudás, a „digitális tér” kialakulása arra is esélyt ad az ember számára, hogy megtalálja és kialakítsa azokat a feltételeket, megoldásokat, technikákat, amelyek biztosíthatják, hogy a jelenleginél hatékonyabban, hosszútávon fenntartható módon éljen természetes környezetében.

A digitális tér kitüntetetten fontos erőforrása az adat. A társadalmi (termelési, közlekedési, logisztikai, oktatási, szórakoztatási, egészségügyi, ellátási stb.) folyamatok és rendszerek, a szervezetek, intézmények, iparágak egyre inkább adatvezéreltté válnak. A tudástársadalom a társadalmi („mindennapi”) folyamatok adatainak gyűjtésén (származtatásán, kommunikálásán, tárolásán) és elemzésén alapul. Találó a mondás, hogy az „adat az új olaj”.

A következőkben először jellemzem a hálózatosodást és az adatalapúságot, majd egyidejűségük következményét tárgyalom.

2. A hálózatosodás

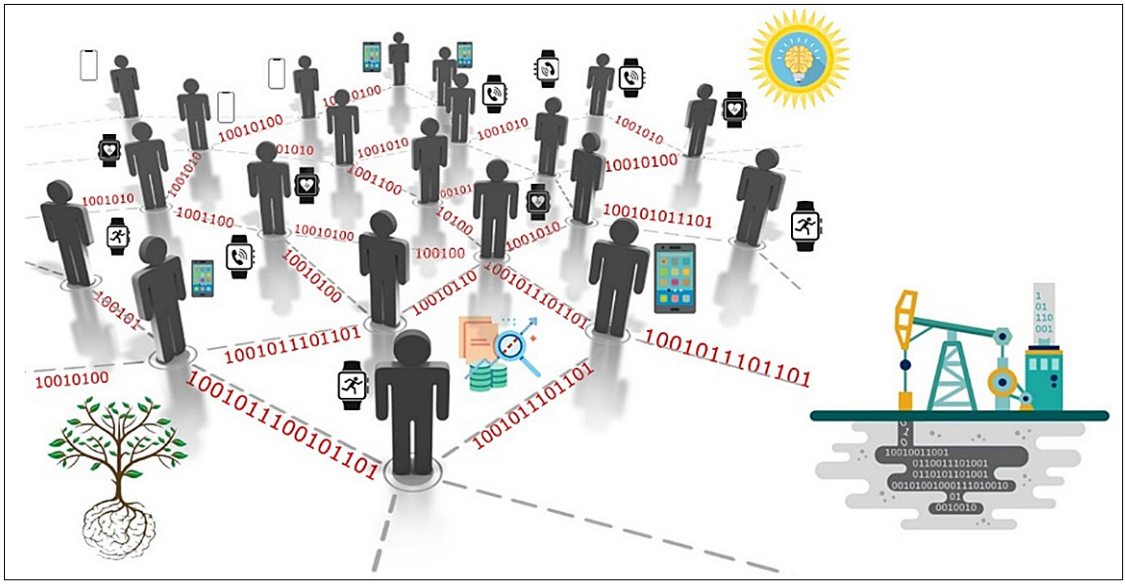
Az internetet használó emberek száma 2020-ban átlépi az 5 milliárdot [8]. Az „internetből kimaradó” emberek száma, illetve részaránya csökken. A folyamat egyúttal a területi kiegyenlítődés felé is mutat, a fejlődő országok bővülési dinamikája nagy [9,10]. Egyre több országra igaz, hogy a népesség nagy többsége internet-használó. Önmagában ettől is növekszik a globális lefedettség, és ha a készülődő újabb (műholdas, felső légköri ballonos) hozzáférési rendszerek valamelyike fenntarthatónak bizonyul, akkor a területi lefedettség szinte teljes lesz a Földön. A hozzáférési technológiákban a vezeték-nélküliség aránya növekszik. A vezetékes technológiák sem halnak ki, a frekvencia szűkös erőforrás, az egyre magasabb frekvenciák használata növekvő műszaki-gazdasági költségekkel jár.

Az internetet eddig (döntően) az emberek kommunikációját szolgáló csatornának tekintettük. A közösségi háló alkalmazások és a fájlmegosztók is ugyanazt nyújtják, amit a jó öreg e-mail és a webes böngészés: üzenetcserét, illetve emberek által közzétett tartalmakat. A webáruház emberek vásárlásának tere.

Mindez napjainkban gyökeresen megváltozik. Az emberek által használt számítógép-hálózat helyett a tárgyak, eszközök hálózata alakul ki – a dolgok internete (IoT). Az IoT hálózati végpontok száma rövidesen az internethez – számítógéppel, telefonnal – kapcsolódó emberek számának többszöröse lesz.

Az IoT megváltoztatja az internetről alkotott képünket.

Amikor a végpontok többsége már nem közvetlenül emberekhez fog tartozni (telefon, karkötő stb.), hanem gépekhez, épületekhez (gyártás, gazdálkodás, szállítás, közlekedés, okos otthon, egészségügy, iskola stb.), akkor nem embereket összekapcsoló hálózatot fogunk látni benne, hanem egy hatalmas automatizálási közművet. Az sem változtat ezen a perspektíván, ha esetleg a Föld politikai-gazdasági megosztottsága nem egyetlen, hanem néhány nagy hálózatos rendszert eredményez. A hálózatosodás nem áll meg az országhatárokon. Még akkor sem, ha fizikailag ellenőrizhető, szűrhető vagy blokkolható az adatforgalom. Tény, hogy még ma is milliárdos embertömeg nem részese a „mindenkit, mindig, mindenhol” kommunikációs lehetőségének. Csakhogy a hálózatos világ tőke, áru, szolgáltatási, munka, tudomány stb. logikája a „fehér foltok” mindennapi életére is döntő ha-



1. ábra
A hálózat célja: adatkapcsolatok létesítése

tást gyakorol, jelenleg is. Az egyén szemszögéből az internet nem a mai kommunikációs eszköz, hanem egy, az élete minden aspektusát érintő kiterjedt gép lesz, a közmű, ami nélkül a legalapvetőbb társadalmi funkciók sem lennének működőképesek.

Ha akkor az internethez kapcsolódó személyes eszközünket telefonnak fogjuk még nevezni, az csak szép hagyománytisztelet lesz, nem funkcionális megnevezés.

Szinte minden szolgáltatás, alkalmazás (és sok-sok adat, tartalom) elérhető lesz az informatikai felhőből. Fontosak maradnak a helyi (vállalati, otthoni) megoldások is, ám a felhő szolgáltatások dominánssá válnak. Örömteli, hogy az internet (a Föld legátfogóbb „gépe") fejlődésében és működésében már ma is fontos a fenntarthatóság (green hosting, megújuló hosszú élettartamú szenzorok, eco-friendly internet).

Végső soron az internet képessé válik „mindenkit és mindent, mindig, mindenhol" összekapcsolni. Az emberiség egyre nagyobb teljessége, környezetünk egyre több eszköze, berendezése, gazdasági-társadalmi folyamata kapcsolódik, a Föld szinte teljes lefedésével, 24/7 hozzáféréssel, egyre fenntarthatóbban, „zöldebben". A legnagyobb kihívás annak megoldása, hogy ezt a mindennapi kritikus közművet védetté és biztonságossá tegyük.

3. Az adatalapúság

A gazdaság, az igazgatás, mindennapi tevékenységeink megkerülhetetlen mértékben adatfelhasználásra épülnek. Az adat új digitális szolgáltatások alapja, a hatékonyság hajtóereje, felhasználásától megalapozottabb döntéshozatalt, egyszerűbb részvételi lehetőségeket várunk.

Nem újdonság, hogy a világon szinte minden jellemezhető, megragadható adatokkal.

Az adat (a „nyers adat") akkor is létezik, ha nincs intelligencia, amelyik észleli. (Például a világűrben egy kőzet üstökösnek akkor is volt tömege és sebessége, amikor intelligens élet, ember még nem létezett a Földön.) Az információ az adatokból intelligens értelmezéssel jön létre. (Például az, hogy egy üstökös becsapódhat-e a Földbe és veszélyt jelent-e számunkra.) A tudás a kontextusba helyezett információ. Másképp fogalmazva, több információ együttes értelmezése. (Például az égitestek, így az üstökösök mozgásának és más jellemzőinek együttes megismerésével tudáshoz jutott az emberiség az univerzum felépítéséről, törvényeiről.) Az adatnak önmagában tehát nincs értelme. A Galaxis útikalauz stopposoknak című regényben felteszik a „végső kérdést" a szuperszámítógépnek „az életről, a világmindenségről meg mindenről". A válasz a 42-es szám. Azonban a kérdést feltevők maguk sem tudják, hogy mi is a végső kérdés, amire választ kaptak.

Adatokat nem passzióból, „az adatgyűjtés kedvéért" gyűjtünk. Az értelmezett adatok segítségével – végső soron – a bizonytalanság, az ismeretlen ellen küzdünk. Az adatalapúságtól nagyobb bizonyosságot, kisebb hibalehetőséget remélünk.

Önmagában a rendelkezésünkre álló adatok mennyiségi robbanása nem indokolná, hogy adatalapúságról beszéljünk. Az adatok széleskörű elérhetősége és szervezettsége jelent új minőséget. A hálózatosodás előtt az adatok elkülönülten, „silókban" álltak az emberek rendelkezésére, és nagy részük (a felhasználás szempontjából) átmeneti, többé-kevésbé rövid életű volt. Az adattárolás viszonylag drága és veszélyeztetett volt. Az adatok széles körének összekapcsolása olyan nehézkes és időigényes lett volna, hogy életszerű időtávon nem kecsegtetett kellő haszonnal. Ráadásul tűz, víz, vagy háború könnyen örökre elpusztíthatta (és gyakran el is pusztította) a tárolt adatokat. A digitális formátumok az adatállományok olcsó és akár veszteségmentes többszörözését tették lehetővé. A hálózatosodás az adatsilók sokrétű és rugalmas összekapcsolását engedte meg. Az internet az adatok világát sokfejű hidrává engedte változni: ha egyet levágsz, újak nőnek helyette. A világra (emberek és a gépek viselkedésére, a környezet állapotaira, folyamataira) vonatkozó adatok egyre strukturáltabb formába rendeződése és elemzése révén egyre több tudáshoz jutunk.

Az adatokból értéket értelmezéssel (értelmezési technika az elemzés is) teremtünk. Az adatelemzés gyakran igen összetett eljárás, különösen, ha nagy, sokféle és változékony adatállományról van szó. Tipikusan rejtett (nem ismert, illetve feltételezett) mintázatok, vagy ellenkezőleg, anomáliák keresése tartozik ide. Piaci trendet, ember(csoportok) viselkedési jellemzőit, alkatrészek meghibásodási esélyét stb. eredményezi az elemzés. Általánosságban: döntések előkészítését, hatásvizsgálatát, következményeinek nyomon követését támogatja az adatelemzés. Ezekkel üzleti előnyök (piaci siker, haszon, marketing, jobb ügyfélélmény, hatékonysági tartalékok feltárása stb.) elérése a cél.

Az adattudomány egy multidiszciplináris terület, tudás kinyerésére kutat, fejleszt és használ módszereket, eljárásokat. A fogalmat évtizedek óta használjuk a tudományban, „buzzword" a 2010-es években lett. Azóta viszont „felhígult", az üzleti elemzéssel keveredésben olvashatjuk számtalanszor. Az adatbányászat félautomatikus feldolgozást jelentett (nem nélkülözte a gondolkodó embert). Az adatelemzés mára a rutin műveletek automatizálását is jelenti, továbbá mesterséges intelligencia bevetésével a tanulásra képes, autonóm elemzői megoldásokat is.

A mesterséges intelligencia (MI) a nem ember által megnyilvánuló intelligencia. (Tipikusan olyan kognitív funkciókban manifesztálódik, amiket az emberi értelemhez kapcsolunk: objektumok és azok tulajdonságainak felismerése látás útján, emberi beszéddel való információcsere stb. [11]). Ide tartozik a gépi tanulás, ezen belül a mélytanulás, a természetes nyelvi feldolgozás és más területek (machine learning, deep learning, natural language processing). A gépi tanulás a mesterséges intelligencia egyik ága. Tanulásra képes rendszerekkel foglalkozik, melyek tapasztalatokból tudást generálnak. Például adatok, minták alapján képes önállóan, vagy emberi segítséggel szabályszerűségeket felismerni. Nem

pusztán felismeri az ismétlődően előforduló mintákat, hanem általánosításra is képes ezek alapján, a tanulási szakasz végeztével ismeretlen adatok halmazán is „helyes” döntéseket képes hozni.

4. A hálózatosodás és az adatalapúság találkozása: a kulcstechnológiák konvergenciája

A 2020-as évtizedben a hálózatosodás reális perspektívája a „mindenkit és mindent, mindig, mindenhol” kiteljesedése. Ide tartozik az IoT több milliárd, majd több tízmilliárd végpontra bővülése és a felhő-informatika térhódítása. Ezáltal a hálózat, a „nagy, átfogó információs közmű” lesz az, aminél már nem gondolkodunk azon, hogy a fényképek tárolása, a videó szerkesztése, a táblázat kezelése, a játék valójában hol működik, hol történik – a felhasználó szempontjából ott lesz; a szemünk és fülünk előtt, a kijelzőn.

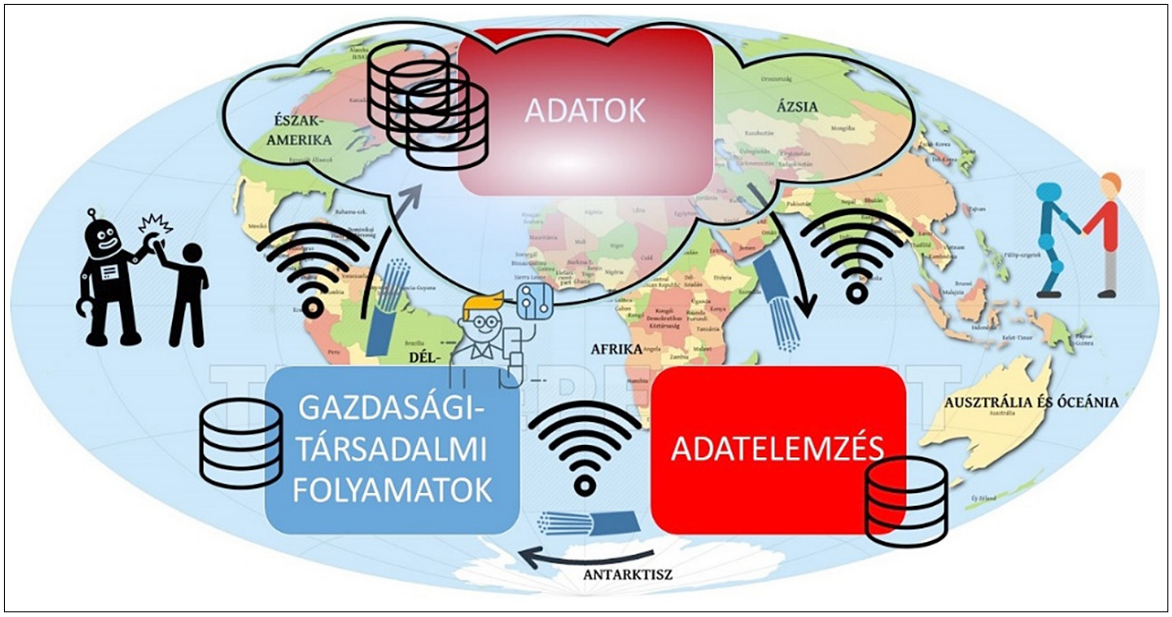
A műszaki hálózatosodás az adatalapúság megvalósíthatóságát biztosítja. Végpontok (IoT és emberek) ontják az adatokat (változatos ritmusban, mennyiségben és minőségi igénnyel). Az adatok a gazdasági-társadalmi folyamatok természetéhez igazodó (gyorsabb, lassabb, gyakoribb, ritkább, valós idejű, batch, kritikus, gyatra stb.) tulajdonságokkal állnak elő, a Föld egyre több pontján (egyre sűrűbb geográfiai lefedettséggel). Az egyetlen, összefüggő hálózaton szállított adattömegből adatelemzéssel, amikor célszerű, akkor mesterséges intelligencia támogatással is teremtünk értéket (tudást). Az adatfeldolgozás, sok esetben a végpontok (és köztes csomópontok) feldolgozási tevékenysége is virtualizált (felhő) infrastruktúrában történik (adatközpont, EDGE computing).

Vessünk egy pillantást erre az egyén, az „én” szempontjából. Nem ragaszkodom a saját gépemre telepített szövegszerkesztőhöz, ha a felhő megoldás magas rendelkezésre állású és olcsó. Fényképeimet és videófelvételeimet (de legalább azok biztonsági másolatát) a felhőben, és nem saját, otthoni eszközön tárolom. Nem fogadnám el a virtuális erőforrást, ha nem lenne „mindig, mindenhonnan” elérhető.

Ebből aztán további következmények is származnak. A virtualizált szövegszerkesztőért (tipikusan havi) előfizetési díjat fizetek. Ez kiegyensúlyozottabb árbevételeloszlással jár, mint az egyszeri termékértékesítés, ami kisebb kockázattal finanszírozza a folyamatos továbbfejlesztést. Gyakoribb lehet a javító vagy bővítő frissítés (update). Hamarabb épülhetnek be a felhasználói tapasztalatok (amik intelligens adatelemzéssel követhetők nagy tömegben és gyorsan). Ez versenyelőny. Ráadásul visszaszorul a szoftverkalózkodás. Csakhogy mindehhez gyorsabb (agilis) fejlesztés szükséges. Átalakul az üzleti modell és a szolgáltatások szervezési folyamata, a szükséges humán és gépi erőforrások.

A hálózatosodás és az adatalapúság kulcstechnológiái (a kommunikációs hálózat, az IoT, az adatelemzés, a mesterséges intelligencia, a felhő-informatika) együttesen sokszorozott (multiplikatív) hatással bírnak a digitális tartalomra, a kereskedelemre, a kommunikációra, az emberek és a gépek kapcsolatára, a digitális alkalmazásokra, és egyre bővülő mértékben a termelésre [12].

A kommunikációs hálózat a 2020-as évekre már alaptechnológiaként ígéri a nagy végpontsűrűséget (IoT), a kis késleltetést (termelésautomatizálás, közlekedés, robotika, valós idejű távműködtetés, virtuális/kiegészített valóság alkalmazások), a garantálható kapcsolati minőséget (QoS, kritikus funkciók, üzleti modellválaszték, többféle QoE) és az erőforrás- és energiatakarékos működést. Konvergenciáról (tehát folyamatról) beszélünk, nem egyik napról a másikra bukkannak fel az igények sem és a megoldások sem. Például az IoT-fejlesztésekhez több (kisebb-nagyobb hatótávolságú rádiós) technológia jött létre, ám új minőséget (lehetőséget) hozhat létre az egységes cellás hálózat, aminek a szabványai az IoT igényeket is figyelembe veszik. Univerzális, robusztus, minőségi garanciákat tartalmazó, fejlődésre ké-



2. ábra
Az adatok értékteremtő körforgása

pes és gazdaságos a technológia. Ilyen alappal a magasabb hozzáadott értékű (ma még nem is sejtett) új alkalmazások fejlesztése kisebb kockázatú, a skálázhatóságnak, méretgazdaságos terjeszkedésnek az infrastruktúra nem jelent erős korlátot.

Az 5G-hálózatban lehetséges Mobile Edge Computing (MEC) közvetlenül az adatalapúsághoz vezet. A mobil kommunikációs hálózat bázisállomásaihoz közeli MEC az elosztott számítási/feldolgozási (distributed computing) képességeket teszi reálisan alkalmazhatóvá. Ma még elképzelhetetlen, hogy ez mennyire sok új szolgáltatás, illetve üzleti modell lehetőségét teremti meg a hálózati operátorok számára.

Az adatok kezelése jelenti az integráló erőt a szervezeti (vállalati, igazgatási) működtetési technológiák, a felhő informatika, valamint az IoT együttműködéséhez. Az adatelemzés eddig rejtett értékeket tesz hozzáférhetővé *(előző oldali 2. ábra)*. A folyamatokban keletkezett, emberektől és gépektől származó, gyakran nem-strukturált adatok értelmét, potenciális hasznát az adatelemzés tárja fel. A mesterséges intelligencia javíthatja ennek hatékonyságát és automatizálást tesz lehetővé.

Az adatkezelés, a felhő IT és az IoT egymáshoz kapcsolódása az adatelemzés további evolúcióját segíti. Az IoT alkalmazása (sokféle folyamatban: termelésben, szállításban, otthon-felügyeletben stb.) a végpontokból származó, illetve oda küldött adatok útján valósul meg. A képesség a nyers adatok tömegének biztonságos kezelésére, különböző szervezettségű tárolására és végül hatékony felkínálása elemzésekre kiemelkedően fontos lesz a termelési vertikumok számára.

A nagyvállalatok óriási mennyiségű és változatosságú, emberi eredetű adatot gyűjtenek a partnerek és a fogyasztók szokásairól, preferenciáiról, kapcsolatairól. Az IoT még ehhez képest is elképesztő mennyiségű és sokféleségű gépi eredetű adatot fog behozni a képbe. Mai tudásunk szerint ezek nem, vagy részben strukturált adatállományokat eredményeznek. Az adatelemzési technológiák új generációjára lesz szükség, a mesterséges intelligencia „bevetése" elkerülhetetlen. Az IoT-eszközök sokaságában gép-gép és ember-gép kapcsolatok egyaránt szükségesek, mégpedig feltehetően egy dinamikusan változó eszköz-hálózatban: új végpontok csatlakoznak, másokat kivonnak a rendszerből (például lejár az üzemidejük, de a helyükön maradnak, akár részlegesen üzemképesen is, vagy eszközökről egyszerűen elfeledkeznek stb.).

Az IoT-eszközök automatikus felfedezhetősége és menedzselhetősége kulcsfontosságú lesz további elterjedésükben. A körülvevő, mindent magába foglaló (ambient) IoT felforgatja a hagyományos megoldásokat, új értékláncokat tesz célszerűvé. Egy otthon akár százas, egy nagy társasház ezres nagyságrendű IoT-végpont sokaságának menedzsmentje, évek, évtizedek folytonos változásai közepette, megbízhatóan és biztonságosan, védetten – nagy kihívás. Még nagyobb, ha ezek a lakó- (és iroda-, üzlet-) egységek egy okos település kiterjedten közös menedzsmentjéhez kapcsolódnak, a közös előnyök elérése végett.

Az MI már számos terület informatikai rendszereibe integrálódott: internetes keresés, szórakoztató tartalmak terjesztése és optimalizálása, kereskedelem, robotika stb. Hosszabb távon ez emberi tevékenységek egyre több területén megjelenik majd, elsősorban (egyszerűen szólva) a döntéshozatal gépesítésében (részben vagy egészen autonóm döntéshozatal). Az MI felhasználásnak trendje, hogy a „siló alkalmazásoktól" a „integrált funkció" irányba alakul át és termékekbe, szolgáltatásokba épül be.

5. Összefoglalás: szükséges-e „új internet"?

Az internet hőskorában alapvetően két végberendezés közötti (one-to-one) kommunikáció valósult meg. Évtizedek teltek el, a technológia lenyűgöző képességekkel ruházta fel az internetet, ám a mai architektúrájára is jelentős mértékben jellemző a one-to-one kommunikáció. A felhasználási igény azonban máris sokat változott [13].

E cikkben amellett érveltem, hogy az előttünk álló évtizedben olyan fordulat áll be, aminek kiszolgálására az 1970-as években kitalált architektúra már nem feltétlenül lesz gazdaságos. Sőt, talán alkalmas sem. Aktuális az internet újragondolása. A végpontok milliós, majd százmilliós, milliárdos nagyságáról több tízmilliárdos szintre kell lépni. Növekszik a helyhez nem kötött, mozgásban is kiszolgálandó végpontok mennyisége. Mobil-centrikus hálózati szolgáltatások válnak dominánssá. A legtöbb kommunikációs adatforrás adatforgalma 7/24-es lesz („a gép nem fárad, nem alszik"). Lesznek nagyon kevés és sok adatot forgalmazók is, több nagyságrendnyi „szórást" is ki kell szolgálni (mennyiségben és gyakoriságban is). A végpontsűrűség és annak időbeli változékonysága a konfigurálás és vezérlés rugalmasságát és automatizálását igényli. A hálózat az adatalapú folyamatok kiszolgálásához sokféle tartalom, illetve szolgáltatás közvetítésének infrastruktúrája.

A termelés igényeinek biztosításához minőségi garanciák különböző osztályait kell vállalni. Mindezt prediktív, viselkedés-központú adatelemzésekre lehet építeni. A szükséges technológiák részben már rendelkezésre állnak, részben kutatások és fejlesztések tárgyai. Kérdés, hogy a több mint 50 éve nagyszerűen teljesítő (és persze óriási fejlesztésen átment) internet-architektúra megváltoztatása elkerülhető-e? Vajon az ismert útválasztási eljárások képesek lesznek-e biztosítani adott területen a változó számú, valós idejű 4k videófolyamok és az egyenként kis adatsebességű, de nagy sűrűségű IoT-kommunikáció igényeit?

A távközlési szakemberek évtizedek óta írnak „következő generációs", illetve „új generációs" hálózatról [14, 15]. Az internet mint hálózat műszaki alapjai azonban nem változtak. Nagyon leegyszerűsítve, egységes címzés alapján azonosított „valamik" közötti adatcsomag-továbbításhoz biztosítunk valamiféle optimumhoz minél közelebbi kommunikációs útvonalat. Az adatcsomag természetétől, tartalmától (majdnem) függetlenül.

A cikkben bemutattam, hogy a forgalom mennyiségi robbanása mellett nő annak változatossága és egyre többször nem fogadjuk el a helyhez kötöttséget. Mindeközben az internet fokozatosan magába olvaszt szinte minden távközlést. Lényegében egyetlen, összefüggő kommunikációs hálózattal kell kiszolgálnunk a fentebb vázolt sokrétű felhasználói elvárásokat. Ez kikényszerítheti, hogy hozzányúljunk az alapokhoz *(3. ábra)*.

A nagy sűrűségű, mobilitást támogató, sokféle tartalom forgalmazására, sokféle szolgáltatás nyújtására képes közmű csakis nagyon rugalmasan lehet gazdaságos. Gyors hálózat-konfigurálás, dinamikus erőforrás allokálás szükséges. Többféle hálózati protokollnak kell egyidejűleg működnie, menedzselhető módon.

A közeljövő távközlésére „egységesítő technológiaként" is gondolhatunk, ami a különböző igényekhez skálázható módon egybefogja a hálózati képességeket. Garantált, illetve előre jelezhető teljesítményt és energiatakarékosságot nyújt amikor, s ahol szükséges. A sokrétű hálózati rendszer rugalmas vezérelhetőségét az SDN (Software-Defined Networking) terjeszti ki. Az NFV (Network Function Virtualization) modellben virtualizált szoftverrel oldhatók meg hálózati funkciók (útválasztás, kapcsolás, kódolás, tűzfal, terhelés-szabályozás stb.). A szolgáltatások így az általános IT-berendezéseken, akár teljesen felhő infrastruktúrában valósíthatók meg. A valós idejű, kis hálózati késleltetésű igények olcsóbban szolgálhatók ki „mini IT-felhőkkel", a felhasználáshoz közel (EDGE). A sokféleség gyors kiszolgálását tartalom és viselkedés alapú vezérlés oldhatja meg ésszerűen és biztonságosan.

A tartalom erősebben fogja befolyásolni a kommunikáció megvalósulását. Az internet nem pusztán távközlő hálózat, hanem szolgáltatások, alkalmazások sokasága is. A tartalomközpontú, viselkedés alapú „általános internet közmű" a munkaidő és a személyes idő határainak további gyengülését, a fizikai és a virtuális valóság határának elmosódását, az online és az offline állapotok közeledését hozza el. Talán egy új reneszánsz küszöbén állunk; a „tudás-közmű" segíthet bennünket a fenntartható jóléthez.

A szerzőről

MAGYAR GÁBOR a BME-n szerzett villamosmérnöki diplomát, majd PhD-fokozatot. A BME TMIT tanszékvezetője. Szakmai érdeklődési területe az adattudományt, az adatok intelligens kezelését, elemzését és felhasználását fedi le. Több, mint 35 éve oktat a BME-n. Számos K+F projektet vezetett. Elnöke a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesületnek (HTE), az Egyetemközi Távközlési és Informatikai Egyesületnek (ETIK), valamint a Magyarországi Oracle Felhasználók Egyesületének (HOUG). Az intelligens közlekedési fejlesztések összehangolására létrejött Mobilitás Platformban az Adatmenedzsment Munkacsoport vezetője.

Hivatkozások

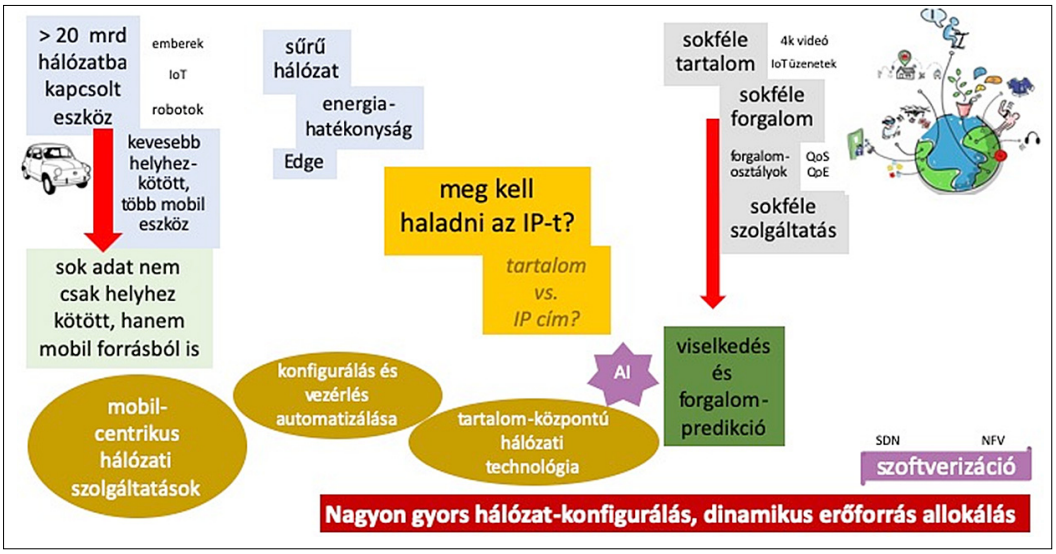
[1] Van Dijk, Jan: The Network Society (3 ed.), 2012. SAGE, ISBN 9781446248959.
A könyv első kiadása 1991-ben jelent meg (De Netwerkmaatschappij).

[2] Manuel Castells: The Rise of the Network Society, 1996.

[3] *"...the definition, if you wish, in concrete terms of a network society is a society where the key social structures and activities are organized around electronically processed information networks. So it's not just about networks or social networks, because social networks have been very old forms of social organization. It's about social networks which process and manage information and are using micro-electronic based technologies."*
Harry Kreisler: Conversation with Manuel Castells, p.4., Globetrotter.berkeley.edu

[4] Közgazdasági szempontból úgy szokás ezt megfogalmazni, hogy a médiatartalom értékláncába való belépési küszöb értékhatára drámaian lecsökkent. Néhány évtizede egy audiovizuális tartalom (film, videó) elkészítésének költsége elég magas volt, terjesztése – mondjuk több millió emberhez való eljuttatása – nem pusztán drága volt, hanem sajátos érdekeket követő külön logisztikai szervezetet és infrastruktúrát (televízió, mozi) követelt meg.

[5] A modernitás mégis az egyének számára bizonytalanságot, kétértelműséget hozott. Minél több információ vált elérhetővé, minél gyakoribb változásokkal (felfedezésekkel, értelmezésekkel), annál kevésbé támaszkodhatott az egyes ember megbízható tudásra és egyértelmű orientációs mintákra. Az egyének magára hagyottsága a tudásteremtésben intellektuális szabadságot jelent, ugyanakkor jelen van a tömeges igény támaszra, segítségre: hogyan lehet megérteni és használni az információt?



3. ábra
Változnak a felhasználói igények, változik a hálózat

[6] Gartner Glossary.
https://www.gartner.com/it-glossary/digital-transformation/
[7] A „digitális átalakulás” tiszavirág életű leíró kifejezésnek bizonyulhat. Aktuális elterjedtsége (kvázi-közmegegyezéses értelmezése) miatt jól használható ebben a rövid cikkben. Megjegyzem, hogy önmagában az sem helyes, ha a digitális formának felsőbbrendűséget tulajdonítunk. A digitális az analóg technológiákhoz képest előnyökkel jár a mai műszaki színvonalon. Ez azonban változhat, például a biológiai alapú megoldások megerősödésével.
[8] Statista,
Global digital population as of October 2019.
https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/
[9] Internet World Stats, Internet Usage Statistics.
https://www.internetworldstats.com/stats.htm
[10] We are social,
Global Digital Report 2018.
https://digitalreport.wearesocial.com/
[11] MIT: “It’s the quest to build machines that can reason, learn, and act intelligently.”
www.technologyreview.com/artificial-intelligence/
[12] Next-generation connectivity,
The Economist Intelligence Unit, 2018.
https://eiuperspectives.economist.com/sites/default/files/OsborneClarke%20Report%20v8_LowRes.pdf
[13] Például: Next Generation Internet,
“Let’s re-shape the Internet to reach Humanity’s full potential, for all generations”.
https://www.ngi.eu
[14] ETSI New Internet Forum.
https://www.etsi.org/technologies/radio/short-range-devices/10-news-events/events/1322-etsi-new-internet-forum.
[15] Next Generation Internet.
https://www.ngi.eu/

A jövő infokommunikációs technológiái és a szabályozás

BARTOLITS ISTVÁN
Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság
bartolits@nmhh.hu

Kulcsszavak: ITU, Future Network 2030 munkacsoport, új technológiák, szabályozás

A cikk az ITU jövő hálózataival és technológiáival foglalkozó Future Network 2030 munkacsoportjának munkáját mutatja be. Összefoglalja az első év eredményeit, vázolja a 2030 utáni hálózatokkal szembeni követelményeket, majd a klasszikus szabályozási ciklust és a gyorsuló technológiai fejlődéssel lépést tartani tudó, jövőbeni szabályozás lehetséges modelljeit mutatja be vázlatosan.

1. Bevezetés

A technológiai fejlődés gyorsuló üteme következtében egyre sűrűbben jelennek meg az infokommunikációs piacon új eszközök, szolgáltatások, alkalmazások. Míg a 20. század elején egy új találmány elterjedése, mindennapossá válása 15-30 évet is eltartott, ma ez sok esetben csak 3-5 évet vesz igénybe, a megjelenése után tíz évvel a találmány már akár idejétmúlttá is válhat. A gyorsuló fejlődés mellett egyre nehezebb feladat a jövő trendjeinek a felrajzolása, ugyanakkor mégis fontos előre látni, hogy milyen irányú fejlődés várható és mit érdemes előre átgondolni, szabványosítani a jövő illő fogadásához. Jelen cikk a 2030 utáni hálózatok, szolgáltatások trendjeit villantja fel az ITU (Nemzetközi Távközlési Egyesület) ezzel foglalkozó fókuszcsoportjának a munkája nyomán, melynek a szerző is tagja.

A következő szakasz az ITU 1986 óta tartó, a jövőre vonatkozó követelményeket meghatározó munkáját és ennek folytatásaként a 2018 nyarán megalakult Future Network 2030 fókuszcsoportját mutatja be. A harmadik szakasz a fókuszcsoport eddigi eredményeiből emel ki néhány markánsabb megállapítást, irányzatot. Végül pedig azokat a lehetséges szabályozási modelleket ismerteti dióhéjban, melyek az egyre sűrűbben megjelenő új technológiák és a rájuk épülő innovatív megoldások világában is megadják az esélyt a szabályozó számára, hogy lépést tudjon tartani ezzel a fejlődéssel és tevékenységével a piac szükséges szabályozása mellett segíteni tudja az innovatív megoldások térnyerését.

2. Az ITU-T Future Network 2030 munkacsoportja

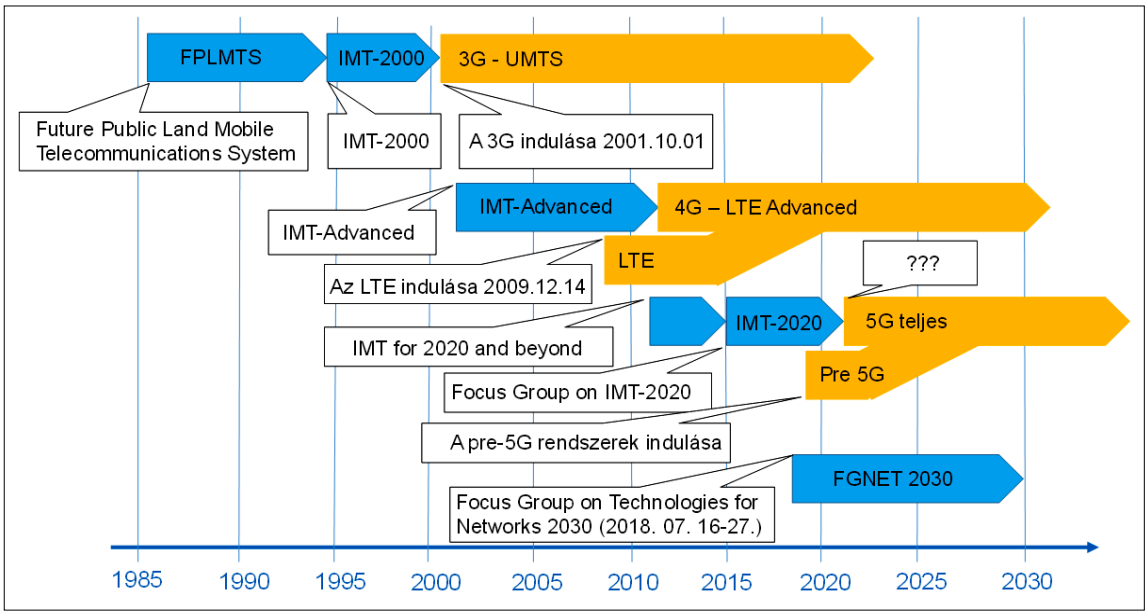
Az ITU már évtizedek óta foglalkozik a jövő hálózatainak a feltérképezésével, a követelmények kialakításával. A kitűzött követelményeket kellő előretekintéssel, majd egy évtizeddel az új hálózati generációk tényleges megjelenése előtt kezdi el kialakítani. 1986-ban kezdte meg FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System) néven egy új mobil rendszer követelményeinek a kialakítását, melyet 1994-ben IMT-2000 néven folytattak, ennek a realizációja lett a ma 3G-nek nevezett rendszer. 2002-ben kezdték meg a 2012 januárjában elfogadott IMT-Advanced kidolgozását, mely a 4G-hálózatok követelményrendszerét adta meg és az LTE-Advanced rendszer volt képes ennek megfelelni – bár marketing okokból a szolgáltatók már az LTE-rendszert is 4G-nek nevezték. 2012 elején „IMT for 2020 and beyond" néven megindult a gondolkodás a továbblépésről és 2015 májusában az ITU-T 13-as tanulmányi csoportján (SG 13) belül alakult meg a Focus Group on IMT-2020, hogy a jövő mobil hálózatainak a 2020-ra tehető következő rendszerét elkezdje megalapozni. A Focus Group 2016 decemberére lett kész a feladatával és IMT-2020 név alatt születtek meg azok az ajánlások, melyek ma 5G rendszerként valósulnak meg *(1. ábra)*.

A fentiekből jól látható, hogy valóban szükség van az évtizednyi előretervezésre, hogy a hálózatok következő generációja átgondolt kritériumok mentén szülessen meg. Ennek megfelelően az SG 13 2018. július 16-27. közötti ülésszakán megalakult a Focus Group on Technologies for Network 2030 szakértői csoport, melynek a feladata a 2030 utáni hálózatokkal szemben támasztott igények meghatározása, egyfajta előregondolkodás a jövő szükségleteiről, szolgáltatásairól.

A megalakult fókuszcsoport (melynek tagja a szerző is) három fő kérdés megválaszolásában határozta meg a feladatait. Az első, hogy 2030 utánra mik a várható kihívások, a hálózatokkal szemben támasztandó követelmények. A második, hogy ezekre a kihívásokra milyen válasz adható a hálózati architektúra és menedzselése tekintetében. Végezetül, hogy az infokommunikáció terén, illetve a határterületein milyen új trendek jelentkeznek, milyen irányokat kell támogatni.

A fókuszcsoport az első ülésén három alcsoportot hozott létre azzal, hogy egy-egy szakember akár több alcsoportban is dolgozhat. A három alcsoport témája:

- Use cases and requirements,
- Network services and technologies,
- Architechture and infrastructure.



1. ábra
Az ITU hálózati technológiák jövőképére vonatkozó tevékenysége

2.1. Esettanulmányok és követelmények alcsoport

A *Use cases and requirements* alcsoport azokkal a körvonalazódó esettanulmányokkal foglalkozik, melyek a jövő technológiáira alapoznak és a jelenlegi hálózatokkal – beleértve már az IMT-2020 megvalósuló 5G rendszerét is – nem, vagy csak egyedi, demonstrációs jelleggel valósíthatóak meg. Ezek alapozhatják meg azokat a távoli igényeket, melyeket 2030 után nagy valószínűséggel ki kell szolgálni. A megállapítások alapján fogalmazzák meg a Network 2030 hálózatokkal szemben támasztott követelményeket.

Az alcsoport a média területén a holografikus kommunikáció elterjedését és a 3D fénymező-képernyők használatát valószínűsíti. A vertikális alkalmazások körében számos esettanulmány alapján az ipari, távegészségügyi, időkritikus vészhelyzeti és az intelligens IoT-alkalmazásokban lát új lehetőségeket, s hálózati támogatást fog igényelni az intelligens mezőgazdaság, az okos város integráció, a felhő alapú PLC, valamint a most még lassan terjedő, de kiteljesedni látszó „smart grid” megoldások köre is.

Vizsgálja a hálózati képesség-specifikus esettanulmányokat is, ahol a rugalmas címzési rendszer, a rugalmas multicast megoldások, az IP-hálózatok újragondolása, a kognitív heterogén hálózatok terjedése, az intelligens hálózati beavatkozások, a kis késleltetésű, illetve az időérzékeny hálózati megoldások, és az új típusú transzporthálózatok kerültek a látókörbe. Kiemelten foglalkoznak a műholdas- és földi hálózati integráció kérdéskörével is, mert ennek egyre nagyobb jelentősége lesz a jövőben.

2.2. Hálózati szolgáltatások és technológiák alcsoport

Az alcsoport az esettanulmányok feldolgozott eredményei alapján dolgozza ki az azonosított technológiák és a hozzájuk kapcsolható hálózati szolgáltatások részleteit, valamint elvégzi a „gap analízist” az egyes technológiák tekintetében és meghatározza a tervezési és végrehajtási célokat.

2.3. Architektúra és infrastruktúra alcsoport

Az alcsoport – felismerve azt, hogy sok különböző szempont van, ami az architektúra és az infrastruktúra kialakítására hat – kisebb munkacsoportokat hozott létre, s ezek eredményeiből határozza meg a jövő hálózatainak a körvonalait. Induláskor a következő témákra hoztak létre munkacsoportot: alapelvek, címzés, irányítás, biztonság-személyes adatvédelem-bizalom, mobilitás, szolgáltatásminőség, hozzáférési hálózat és peremfeldolgozás, rugalmasság-megbízhatóság és magas elérhetőség, hálózatmenedzsment és orkesztráció, űrtávközlési hálózat, mikroszolgáltatások és vezérlési sík, szoftverizáció. Az egyes munkacsoportoknak nem diszjunkt a szakértői halmaza, ez vélhetően segíteni fog a végeredmény kialakításakor.

3. Az ITU-T Future Network 2030 eddigi eredményei

A Future Network 2030 alcsoportjai és munkacsoportjai jelentős mértékű levelezés, rendszeres konferenciabeszélgetések és további elektronikus támogatás mellett végzik munkájukat. Rendszeresen szerveznek azonban a mindhárom alcsoportra kiterjedő, általában workshoppal is kiegészített plenáris munkaüléseket. 2018-ban két, 2019-ben pedig három ilyen ülésre került sor. A Future Network 2030 az eddigi eredményeit a 2019. októberben Genfben megrendezett munkaülésen tekintette át, melynek eredményeképpen egy „White papert” [1] is kiadott az alcsoport. Jelen cikkben az októberi plenáris ülés alapján, illetve az alcsoportok munkájának ismeretében emelünk ki néhány olyan jövőbeni irányt és témakört, mely a 2030-as években már meghatározó lehet.

3.1. Holografikus kommunikáció

A mai hálózatok egyre növekedő terhelésének nagy részét a médiatartalmak növekvő mennyisége okozza. Húsz évvel ezelőtt még ritkaság volt, hogy az interneten

keresztül videotartalmat nézzünk, ha mégis, akkor azt asztali gépen tettük, ahol megvolt – ha megvolt – a kellő sávszélesség. 2017-ben azonban már az internet forgalmának a 75%-át a videoátvitel adta, míg ez az érték 2022-re 82%-ra nő a Cisco előrejelzése [2] szerint. Ezzel párhuzamosan egyre nagyobb az igény új médiatechnológiákra, ezek közül a munkacsoport szerint a holografikus átvitel területe látszik olyannak, ami 2030-ra már reális elvárás lehet. A megfelelő minőségű holografikus átvitelhez legalább 1 Tbit/s-os nagyságrendű átviteli sebesség szükséges [3], tehát legalább ezt a sebességet kell kitűzni a 2030 utáni hálózatok számára. Ekkora sebesség vezeték nélküli rendszerrel viszont csak extrém magas frekvenciák használatával érhető el, ehhez fel kell menni az 1 THz-es tartomány felé, ahol azonban további kutatásokat kell végezni a sajátos terjedési tulajdonságok miatt *(2. ábra)*.

A jövőbeni szolgáltatások között az interaktív távjelenlét, az ipari felhasználások, távjavítások, az orvosi alkalmazások, mint például a 3D belső szervi szkennelés, a tapintható (tactile) hálózati alkalmazások szerepelnek. Ezen kívül a holografikus üzenetek küldése, fogadása is népszerű alkalmazás lehet.

3.2. Több érzékszervre ható hálózatok

A hírközlő hálózatok eddig az érzékszerveink közül a hallásra és a 2D-látásra voltak hatással. Bár ezek a legtöbb információt érzékelni képes érzékszerveink, várhatóan a több érzékszervre ható átvitel is igényként jelenik meg, ezzel kialakul az ún. *multi-sense network,* a több érzékszervre ható hálózat. Ebben a technológiai lépésben a 2D-látás helyett a 3D-látást a holografikus átvitel hozza be, erről már szó volt az előző pontban. Emellett azonban fontos lehet a haptikus érzékelés, azaz a tapintás, rázkódás stb. átvitele, érzékelése. Régóta folynak kísérletek a szagok, illatok átvitelére vonatkozóan is, ami az élelmiszeriparnak és a kozmetikumok világának is fontos szempont, ugyanakkor a kiterjesztett médiaélményhez jelenleg is hiányzik az illatok és szagok érzékelése. Elég illúzióromboló, mikor egy középkorban játszódó film csatajelenetének az élménye vesz körbe minket hangban és mozgóképben, miközben a nézőtéren nachos és pattogatott kukorica illata tölti be a termet.

Ugyancsak fontos lehet az ízlelés távélménye is, amit a friss esettanulmányok szerint a „digital lollipop", a digitális nyalóka használatával lehet megvalósítani. Ez a kis szerkezet az emberi nyelv mintegy 8 ezer receptorára van hatással, amit igazán nem lehetetlen feladat megvalósítani, ha az emberi szem 150 millió receptorát ki tudjuk szolgálni. Az ízlelés távélménye egyébként orvosi és dietetikus szempontokból is fontos, a digitálisan a nyelv receptoraira közvetített ízkombinációkkal a beteg terápiáját lehet távdietetikai módszerekkel segíteni.

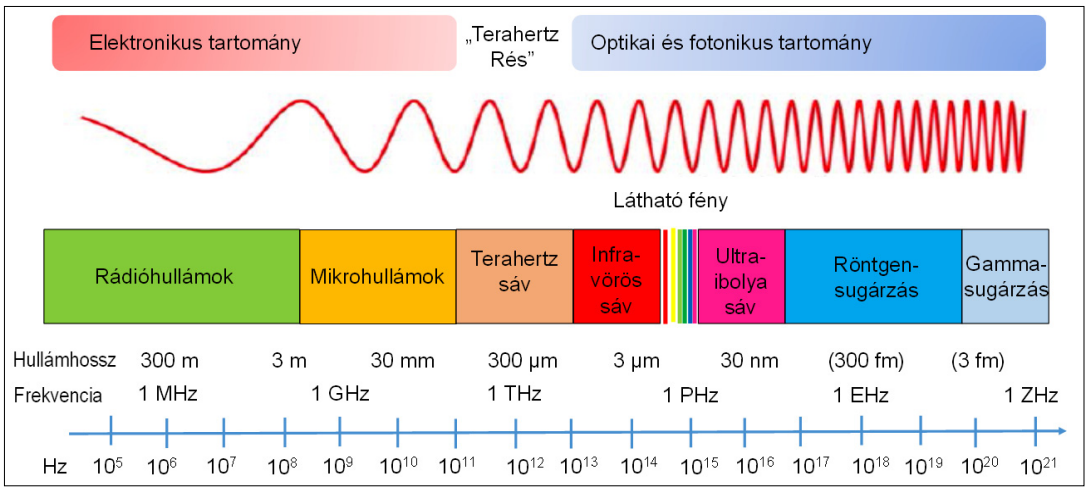
3.3. Időérzékeny alkalmazások

A jelenlegi hálózatokban már sok erőfeszítés történik abban az irányban, hogy a hálózati késleltetések néhány milliszekundumosra csökkenjenek, mert egyes alkalmazások megkövetelik a valós idejű válaszokat. Az időérzékeny alkalmazások (Time Engineered Applications) azonban ennél is nagyobb követelményt állítanak a hálózatok elé, mert a humán felhasználók ugyan alkalmazkodni tudnak a véletlenszerű késleltetésekhez, a best effort módon működő internetezéshez, azonban a gépek, az ipari alkalmazások sok esetben meghatározott időzítésű vezérlési hurkokkal dolgoznak. Ez nem azonos a kis késleltetésű rendszerek igényével, hanem pontos idejű visszajelzéseket követelnek meg.

Az *In-time guarantees* rendszerek egy adott időpontig várják a visszajelzéseket, míg az *on-time guarantees* rendszerek már egy meghatározott időintervallumban várják a visszajelzést, tehát itt már az is gondot okoz, ha túl hamar érkezik meg a válasz. Az úgynevezett *coordinated guarantees* rendszerekben pedig meghatározott időben, szinkronizált időpontban kell a válaszoknak megérkezniük. Összefoglaló néven ezeket a megoldásokat nevezzük időérzékeny alkalmazásoknak, az esettanulmányok szerint a 2030 utáni hálózatoknak erre is megoldást kell adniuk.

3.4. Heterogén hálózatok együttműködése

Bármennyire is elegánsan hangzik, hogy a világ a globálisan skálázható univerzális hálózat használata felé haladjon, a fókuszcsoport arra jutott, hogy ez az ideálisnak tűnő trend 2030 után sem fog megvalósulni. Helyette fel kell készülni a heterogén hálózatok együttműködé-



2. ábra
Az elektromágneses spektrum felosztása

sére, mert az összes speciális igény továbbra is csak így lesz kielégíthető. Növekszik az elosztott edge computing, a peremfeldolgozás jelentősége, de ugyanakkor terjednek a nyilvános felhőalkalmazások, az elosztott adatközpontok és ezeknek együtt kell működniük. Terjed a privát tranzithálózatok rendszere, melyek globális szolgáltatóként jelennek meg a világban. Egyre erőteljesebben körvonalazódnak a műholdas hálózatok is, melyeket integrálni kell a földi hálózatokba, ezzel egy teljesen új kommunikációs világ kialakulása körvonalazódik. A fókuszcsoport erre is intenzíven keresi a megoldást, ami jelenlegi elképzelések szerint a *federated network* koncepció kialakításával lesz lehetséges.

3.5. Új alapelv a hálózati filozófiában: az IBN

A hálózati filozófiában a Cisco és az Apstra által 2017-ben kidolgozott Intent Based Network (IBN) [4] filozófia előretörését látja ígéretesnek a fókuszcsoport. Az IBN – ami magyarra leginkább szándék-alapú hálózatként fordítható – alapvetően továbbra is az SDN (Software Defined Network) alapelvét használja, de az eddigi „hogyan” helyett a „mit” kérdését állítja a középpontba *(3. ábra)*.

Ennek a lényege, hogy már mesterséges intelligencia által vezérelt hálózati orkesztrációt használ, így elég egy grafikus felületen megadni, mit várunk a hálózattól és a kért igény szerint valós időben optimalizálva állítja be a hálózatvezérlést. Ezzel kiváltható a lassú és költséges manuális beállítás és az ebből adódó emberi hibák is minimálisra csökkenthetőek. Megkönnyíti a hibakeresést és az öntanulásra is képes mesterséges intelligencia a legjobb megoldást tudja implementálni a megadott szándéknak megfelelően. A Gartner előrejelzései szerint az IBN már a 2020-as évben megjelenhet a legkorszerűbb hálózatokban, de a fókuszcsoport úgy látja, hogy a 2030 utáni időkben válik általánossá, nagymértékben segítve a hálózati adminisztrációt és az igényekhez való rugalmas alkalmazkodást.

3.6. A földi és műholdas hálózatok integrációja

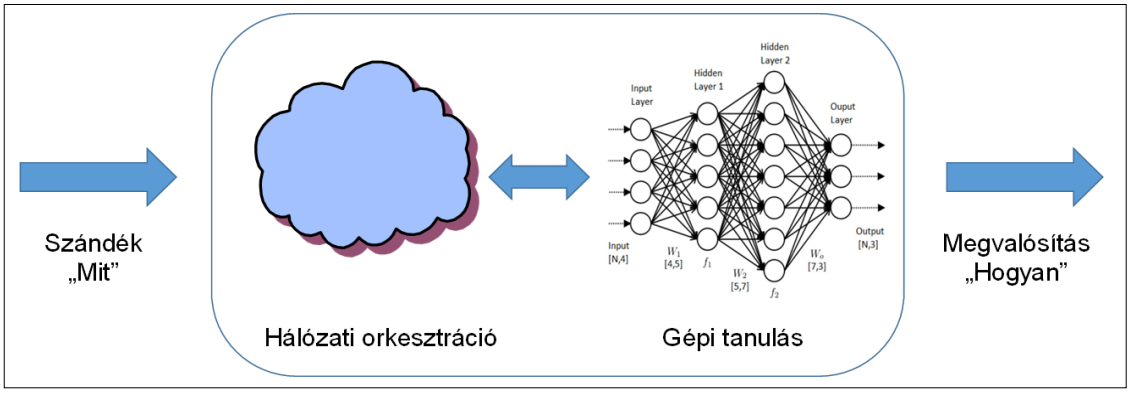
Már másfél évtizede komoly publikációk jelentek meg a földi és műholdas hálózatok integrációjáról [5], de ezek még csak néhány geostacionárius műholdat vontak be az elképzelésekbe. Mára azonban komoly áttörés következett be a hordozórakéták technológiájában, ami lehetővé teszi komplex műholdas hálózatok megvalósítását is. Ezzel egész más megvilágításba került ez az integráció. Míg 1965–2019 között 55-140 műhold került fellövésre évente, átlagosan évi száz felbocsátott műholdról beszélhetünk, ez a szám 2020-ban már jelentősen nagyobb lesz, ami részint az újrafelhasználható hordozórakétáknak, részint pedig az alacsonypályás (LEO) műholdas hálózatok terveinek a megvalósítási fázisba lépésének a következménye.

Több globális, szélessávú internet hozzáférést nyújtó műholdas hálózat terve is napvilágot látott az elmúlt években. Az Airbus-OneWeb vegyesvállalat 2014-ben jelentette be elképzeléseit, ebben 648 műhold 1200 km magasságú LEO pályára állítását tűzték ki célul, amit távlatilag további 1972 műholddal bővítenének. Az első hat műholdat 2019. február 27-én már pályára is állították. 2019. április 4-én a Jeff Bezos által alapított Amazon is bejelentette a Kuiper projektet, itt a tervekben 3236 műhold pályára állítása szerepel 590, 610 és 630 km-es magasságban, három rétegben.

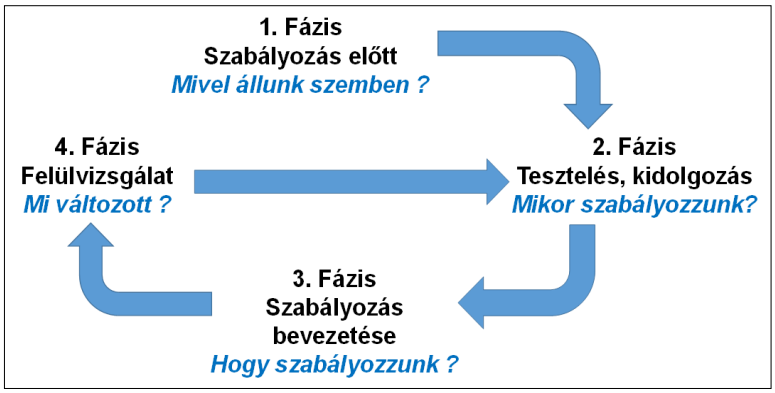
További tervek is vannak, ilyenek például a LeoSat, a Telesat LEO, vagy a kínai Hongyun (szivárványfelhő) és a Hongyan (vadliba) konstellációk, melyek közül a Telesatnak két műholdja, a két kínai konstellációnak pedig egy-egy prototípus műholdja van már pályán tesztelés alatt.

A legnagyobb ívű tervet kétségtelenül az Elon Musk által alapított SpaceX kezdte el megvalósítani. Musk 2015 januárjában jelentette be a Starlink projektet, melynek keretében 11943 műholdat állít pályára, ebből 1584 műhold 550 km-es magasságban, 2841 műhold pedig 1150 km magasságban fog keringeni, ezek alkotják a projekt első fázisát. A további 7518 műhold a második fázisban 340 km magasságban kering majd a tervek szerint. 2018. február 22-én két tesztműholdat, a Tintin A-t és a Tintin B-t állította pályára, majd a kezdeti mérések után 2019. május 24-én, november 11-én, 2020. január 6-án és január 29-én 60-60 műholdat bocsátott fel mintegy 300 km magasságra, ahonnan a tesztelések elvégzése után a 227 kg-os műholdak a saját, kriptongázas, Hall-effektuson alapuló ion hajtóművűkkel jutnak el a végső pályapozíciójukra.

Az első fázis műholdjai a hagyományos Ka és Ku sávokban, a második fázis műholdjai pedig a 40–75 GHz tartományú V-sávban fognak forgalmazni. A konstelláció valóban hálózatot fog alkotni, mert a műholdak egy része egymással is kapcsolatban lesz, ehhez lézeres optikai összeköttetést használnak.



3. ábra
A szándék-alapú hálózatok alapgondolata



4. ábra A klasszikus szabályozási ciklus modellje

Ha a fenti tervek közül néhány megvalósul, akkor a földi és műholdas hálózatok integrálása a 2030 utáni időszakra teljesen reális követelmény, így ezen is intenzíven dolgozik a munkacsoport.

4. A szabályozás távlati lehetőségei

4.1. A szabályozási ciklus az elméletben és a gyakorlatban

A technológiai fejlődés gyorsuló folyamata következtében az infokommunikációs szolgáltatások szabályozása is egyre nagyobb kihívást jelent. A szabályozási ciklus elméletben négy fázisból áll. Az első fázis a szabályozandó terület alapos vizsgálata, ahol azt kell azonosítani, mivel állunk szemben, milyen új piaci hatásokat okoz a megjelenő technológia, mennyire fedi le a megjelenését a már létező szabályozási környezet és milyen várható piaci hatásokat fog okozni. A második fázis a lehetséges szabályozási megoldások kidolgozása és tesztelése, ekkor az alapkérdés az, hogy melyik szabályozási megoldást válasszuk és az mikor kerüljön bevezetésre. A harmadik fázis a kidolgozott szabályozás bevezetése, amikor a fő kérdés az, hogyan szabályozzunk. A negyedik fázis a már bevezetett szabályozási környezet felülvizsgálata, ahol már arra kell fókuszálni, hogy mennyire hatásos a beavatkozás és hogy a technológia elterjedése során mi változott a piacon. Ennek a vizsgálatnak az eredményeitől függően ismételten a második fázis következik és ezzel a ciklus a fentiek szerint ismétlődik, ha ez szükséges. A szabályozási ciklus a *4. ábrán* látható.

A gyakorlatban sok esetben ez a ciklus csak részlegesen működik. Nemzetközi felmérések szerint [6] az esetek nagy részében a negyedik fázis erősen késik vagy teljesen el is marad. Korábban a lassúbb technológiai fejlődés mellett ez kevésbé okozott problémát, azonban a felgyorsuló változások korában ez komoly anomáliákat jelent. Érdemes tehát átgondolni, milyen alternatív szabályozási irányzatok kerülhetnek előtérbe a jövőben.

4.2. Új szabályozási irányzatok

A következőkben néhány lehetséges modellt mutatunk be, melyek hatékonyan segíthetnek az erősen változó környezetben történő szabályozási beavatkozásokban.

4.2.1. Az adaptív szabályozás (Adaptive regulation)

Az adaptív szabályozás esetében a klasszszikus szabályozási ciklus erőteljes felgyorsításáról, a technológiai és piaci változások gyorsabb felismeréséről és a szabályozás ehhez történő hozzáillesztéséről van szó. A korábbi „regulate and forget” típusú megoldással szemben – amikor a szabályozási ciklus negyedik fázisa elmaradt – a ciklus felgyorsítása segít abban, hogy a visszacsatolás gyorsabb legyen, a szabályozás a folyamatosan változó piaci helyzethez alkalmazkodjon. Emellett az önszabályozás és az ún. soft law szabályozási módszerek is előtérbe kerülhetnek. Utóbbi fogalomkörbe a szabályozói útmutatók, a legjobb gyakorlat (best practice), harmadik fél tanúsítása, akkreditációja tartozik, melyek kicsit lazítanak a tisztán jogszabályokkal történő szabályozás keretein, de mégis megadják a követendő irányt.

4.2.2. A szabályozói homokozó (Regulatory sandbox)

A szabályozói beavatkozások sokszor azért nem érik el a céljukat, mert a szabályozó nincs tisztában az új technológiák bevezetésének a következményeivel, az ezekre épülő innovatív megoldások, szolgáltatások valódi piaci hatásával. Mivel az innováció akkor tud a legjobban érvényesülni, ha ösztönző, támogató szabályozás segíti a kiteljesedését, így a piaci szereplőknek is érdekük, hogy a szabályozó megismerje az új technológiákat.

Erre egy jó módszer, ha a szabályozót partnerként bevonják az innovatív megoldások tesztelésébe, így kontrollált körülmények között, de a hagyományos szabályozás kötelme nélkül dolgozhatják ki a megoldásaikat, miközben a szabályozó is elmélyülhet a részletekben és kidolgozhatja a legjobban illeszkedő, az innovatív megoldásait támogató szabályozási lépéseket. Ezt nevezik szabályozói homokozónak (regulatory sandbox) és a fintech cégek piacán egyre jobban terjed, mint sikeres megoldás.

4.2.3. Eredmény-alapú szabályozás (Outcome-based regulation)

A hagyományos szabályozás a legtöbb esetben a szabályozandó folyamat bemeneteire koncentrál és előíró jellegű. Ez az innovatív megoldások terén némi merevséget jelent és nehezen teszi lehetővé, hogy a piaci szereplők élni tudjanak az új technológiák nyújtotta lehetőségekkel, megoldásaik legtöbbször „nem férnek bele” az előíró jellegű szabályozás kereteibe.

Ezen tud segíteni az, ha a szabályozó a kimenetre vonatkozó előírásokat ad és nem foglalkozik a szabályozandó folyamat részleteivel. Ezzel a szabályozás hatékonysága is megnő, de ugyanakkor nagyobb szabadságot ad az innovatív megoldások számára. A szabályozás célja a legtöbb esetben egyébként is az, hogy a szabályozott folyamat kimenetén ne jelenjenek meg nemkívánatos hatások, de ezt a hagyományos szabályozás a bemenetek korlátozásával érte el – amíg az odavezető út átlátható volt (például eleve megtiltja bizonyos adatok gyűjtését, hogy azok ne legyenek aggregálhatóak vagy

más célra felhasználhatóak, pedig igazából az aggregálást lenne célszerű tiltani). Az önvezető autók szabályozásánál pedig a bemeneti jellegű szabályozás szinte elképzelhetetlen.

4.2.4. Kockázat-súlyozású szabályozás (Risk-weighted regulation)

A hagyományos szabályozás a „mindent azonosan szabályozunk" elvből indul ki, a kis piaci szereplőkre és a nagyokra ugyanazok a szabályok vonatkoznak. Ehelyett a szegmentált megközelítés felé érdemes elmozdulni, ahol a kis induló piaci szereplők – mivel a tevékenységük a méretükből adódóan kisebb kockázatot jelent – szabadabb körülmények között vezethetik be az innovatív megoldásaikat. Ez ugyan jelent veszélyeket a piac szempontjából, de ezek hatása elhanyagolható és a cég méretének a növekedésével fokozatosan tovább szabályozható. A szabályozást itt a piaci súlynak megfelelően akár automatikussá is lehet tenni, viszont elkerülhető az óvatosságból adódó „felesleges túlszabályozás".

4.2.5. Együttműködő szabályozás (Collaborative regulation)

Az együttműködő szabályozás lényege az, hogy az egyes nemzeti szabályozók között jön létre együttműködés annak érdekében, hogy egységesen szabályozzák a nemzetközi környezetben az egyes piaci folyamatokat. Ez a globális szolgáltatások esetében csökkenti az inkonzisztens szabályozást és regionális (illetve akár az egész világra kiterjedő) egységes szabályozást hoz létre.

A mai világban még természetes az ettől való idegenkedés, hiszen ez a nemzeti szabályozás részleges feladását jelenti, azonban látni kell, hogy a fejlődő technológia egyre inkább globális megoldásokat hoz és a szolgáltatások globalizációja ezt az irányt nyilvánvaló módon meg fogja követelni. Ezzel ugyanis megelőzhetőek, kiküszöbölhetőek azok a generális szabályozási problémák, amit például a mesterséges szuperintelligencia megjelenése okozni fog. Ennek a kiterjesztésével csökkenthető az ettől való idegenkedés, félelem és – sikeres modell esetén – globális módon kézben tarthatóak lesznek az ezekre vonatkozó szabályozások.

5. Összefoglalás

A publikációban összefoglalt eredmények az ITU-T 13. tanulmányi csoportjában megalakult Future Network 2030 munkacsoport első éves munkájának a részeredményei. A csoport természetesen tovább folytatja a munkáját, melynek újabb területek bevonása – vagy éppen valamelyik most említett terület törlése – lehet az eredménye. Mindig izgalmas kérdés, hogy egy ilyen előretekintő munka, különösen a technológiai fejlődés mai rohanó tempója mellett milyen hatásfokkal tudja „megjósolni" a jövőt. Az eddigi ITU csoportok sikerrel jártak ebben a munkában, bízunk benne, hogy ez a Future Network 2030 esetében is így fog történni. Ha előbb nem, tíz év múlva biztosan meglátjuk!

A szerzőről

BARTOLITS ISTVÁN 1978-ban szerzett villamosmérnöki, 1980-ban híradástechnikai szakmérnöki diplomát, 1983-ban pedig egyetemi doktori fokozatot a BME Villamosmérnöki Karán. 20 éven keresztül a BHG Fejlesztési Intézet fejlesztőmérnöke, fejlesztési osztályvezetője, majd projektmenedzsere volt a távközlés területén. Emellett 1993–1999 között a hírközlésért felelős miniszter tanácsadó testületének, a Távközlési Mérnöki Minősítő Bizottságnak az alelnöke volt. 1998 óta dolgozik a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóságnál, illetve jogelődeinél. Először elnökhelyettesi tanácsadó, majd osztályvezető volt. 2010 óta a Technológiaelemző Főosztály vezetője. A szabályozási munka támogatása mellett tevékenységi körébe tartozik az új technológiák, szolgáltatások megismerése, elemzése és az általuk felmerülő szabályozási kérdések azonosítása. Több nemzetközi szakmai szervezetben (ITU-T SG 13, ITU-T IoT GSI, Broadband Forum) az NMHH, ill. Magyarország szakértő képviselője. 2018 óta az ITU-T Future Network 2030 munkacsoport tagja.
Oktatási tevékenységet hosszú ideig a BME Villamosmérnöki karán folytatott, jelenleg a Pécsi Tudományegyetem Állam és Jogtudományi Karának posztgraduális infokommunikációs szakjogász képzésén tart előadásokat. 2006 óta a BME címzetes egyetemi docense.
A HTE-nek 1978 óta tagja, 1990 óta vesz részt különböző pozíciókban a vezetésében, 2011–2017 között a HTE főtitkára volt, jelenleg az Elnökség tagja. A Híradástechnika folyóiratnak 1990-től 2011-ig volt szerkesztőbizottsági tagja. A hazai szakmai konferenciák rendszeres előadója, számos publikáció, tanulmány és előadás szerzője és több szakkönyv társszerzője, szerkesztője.

Hivatkozások

[1] Network 2030: A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond – Written by FGNET 2030, ITU-T SG 13, 2019. október.
https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/White_Paper.pdf

[2] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022; Cisco, 2019. május.
https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html

[3] Xuewu Xu, Yuechao Pan, Phyu Mar Lwin, Xinan Liang: 3D holographic display and its data transmission requirement, 2011 IEEE International Conference on Information Photonics and Optical Communications (IPOC), 2011. október.
https://ieeexplore.ieee.org/document/6122872

[4] Ethan Shry:
The State of Intent-Based Networking,
Washington University of St. Louis, 2019 december.
https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse570-19/ftp/intent.pdf

[5] Barry Evans et al.:
Integration of Satellite and Terrestrial Systems in Future Multimedia Communications,
IEEE Wireless Communications, 2005. október, pp.72–80.
https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse570-19/ftp/intent.pdf

[6] William D. Eggers, Mike Turley:
The future of regulations –
Principles for regulating emerging technologies,
Deloitte Insights, 2018 szeptember.
https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4538_Future-of-regulation/DI_Future-of-regulation.pdf

A mélytanulás múltja, jelene és jövője

GYIRES-TÓTH BÁLINT

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
toth.b@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, gépi tanulás, mélytanulás, neurális hálózatok

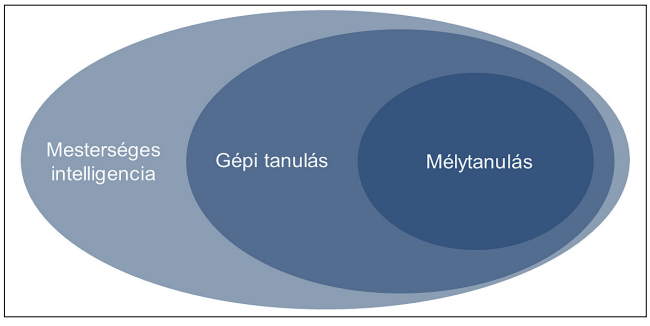
Az elmúlt években az adatvezérelt rendszerek nagyobb pontosságuknak köszönhetően egyre jobban teret nyertek a szabály alapú megoldásokkal szemben. Míg az utóbbi esetben egy adott tématerület szakértői adják meg a modellezendő valós folyamatot leíró szabályokat, adatvezérelt rendszerek esetében – jellemzően szintén szakértők bevonásával – a folyamatból rögzített adatokkal tanítanak be gépi tanuló eljárásokat. Napjainkban a gépi tanulás alapú mesterséges intelligencia (MI) egyik legmeghatározóbb ága a mélytanulás, melynek az alapjait jelentő mesterséges neurális hálózatok tudományterület népszerűsége már két jelentős „visszaesésen" is túl van, ezért jogosan vethető fel a kérdés; miben különbözik a mostani helyzet a korábbiaktól?
A cikkben bemutatásra kerülnek a mélytanulás legfontosabb előzményei és jelenlegi helyzete, továbbá a várható jövőbeli lehetőségeket is megvizsgáljuk.

1. Bevezetés

Az adatmennyiség robbanásszerű növekedésével, a grafikus processzorok *(Graphics Processing Unit, GPU)* jelentős technológiai fejlődésével, a gépi tanulás és a mesterséges neurális hálózatok új eredményeinek köszönhetően az elmúlt években a mélytanuló *(deep learning)* rendszerek a valós életbeli folyamatok – megfigyelések alapján történő – modellezésének egyik leghatékonyabb eszközévé váltak. Mára számos tudományterületen a legjobb eredményt, legnagyobb pontosságot mélytanulás segítségével érik el, legyen szó beszédtechnológiáról, gépi látásról, természetes nyelvfeldolgozásról vagy például idősor-modellezésről.

Az olyan technológiai óriásvállalatok, mint például a Google, Facebook, Amazon és az IBM számos piaci termékében sikeresen használnak mélytanulás alapú megoldásokat. Hasonló algoritmusokat más alkalmazási területeken felhasználva (pl. mezőgazdaság, könnyű- és nehézipar, vagy a távközlés) a mélytanulási „forradalom" második hulláma várható. Mik azok az előzmények, melyek a mai napig meghatározó szerepet játszanak? Hol tart ma a mélytanulás, és mi várható a következő években? A cikk ezekre a kérdésekre próbál választ adni.

1. ábra Az MI, a gépi tanulás és a mélytanulás kapcsolata



1.2. A mesterséges intelligencia, gépi tanulás és a mélytanulás fogalma

A mesterséges intelligencia *(MI, angolul: artificial intelligence, AI)*, a gépi tanulás *(machine learning)* és a mélytanulás *(deep learning)* kapcsolatát az *1. ábra* mutatja be.

A mesterséges intelligencia alapgondolatát Alan Turing 1950-ben írt „Computing Machinery and Intelligence" művében a gondolkodó gép víziójával vezette be [1], majd John McCarthy vezetésével 1956-ban a „Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence" workshopon meghatározták a mesterséges intelligencia tudományterület alapjait. Egy általánosságban vett mesterséges intelligencia

(1) képes környezete ismeretében döntéseket hozni,
(2) ezek a döntések hasonlóak a természetes intelligenciához, és
(3) ha a környezet (akár jelentős mértékben is) megváltozik, képes a megváltozott környezethez alkalmazkodni.

A mesterséges intelligencia három fő típusát különböztetjük meg: az általános, a keskeny és a szuper MI-t.

• A fentebbi három pontból álló meghatározás legtágabb értelembe véve jelenti az általános MI-t *(Artificial General Intelligence, AGI)* – napjainkban ilyen nem létezik és a jelenlegi szoftver- és hardvereszközökkel ez nem megoldható.

• Keskeny MI-nek *(Artificial Narrow Intelligence, ANI)* azon eljárásokat nevezzük, melyek egy adott tudományterületen (pl. képfelismerés, beszédszintézis, gépi játékok stb.) nagy hatékonysággal – sokszor az emberénél is jobban – futtathatók, azonban más tématerületen nagyon korlátozottan, vagy egyáltalán nem működnek.

• A mesterséges szuperintelligencia *(Artificial Super Intelligence, ASI)* pedig az olyan rendszereket jelöli, melyek képesek az emberi tudáson túlmutató következte-

téseket, döntéseket hozni. Ez elsődlegesen az olyan szereplők számára érhető el, melyek óriási adatvagyonnal és számítási kapacitással rendelkeznek.

A mesterséges intelligenciának meghatározó ága a gépi tanulás. Gépi tanuló rendszereknek az olyan – elsődlegesen statisztika alapú – algoritmusokat nevezzük, melyek szabályok explicit megadása nélkül, a folyamatból rögzített minták alapján képes egy adott folyamatot szabályzó sajátosságok meghatározására. Számos gépi tanuló algoritmus létezik, mint például a lineáris és logisztikus regresszió, a rejtett Markov-modellek *(Hidden Markov Model, HMM)*, a szupport vektor gépek *(Support Vector Machines)*, a döntési fa, a random forest és a gradient boosting alapú technikák. Ezek mind más és más megközelítést alkalmaznak az adatok modellezésére.

A gépi tanulás napjainkban talán leginkább hangsúlyos típusa a mélytanulás. A mélytanulási paradigma kivétel nélkül (mély) neurális hálózatokat alkalmaz. A mély neurális hálózatok definíció szerint az olyan mesterséges neurális hálózatokat jelölik, amelyekben több mint egy rejtett réteg van *(2. ábra)*. A szerző véleménye, hogy a deep learning kifejezés a fentieken túl magában foglalja az összes olyan elméleti és gyakorlati eredményt (pl. mély hálók hatékony tanítása [2], variációs autoenkóderek [3], generatív versengő hálózat [4], komplex architektúrák [5,6] stb.), valamint a szoftver- és hardverinfrastruktúrát, melyek a mai modern mesterséges (mély) neurális hálózatok hatékony tanításához és futtatásához elengedhetetlenek.

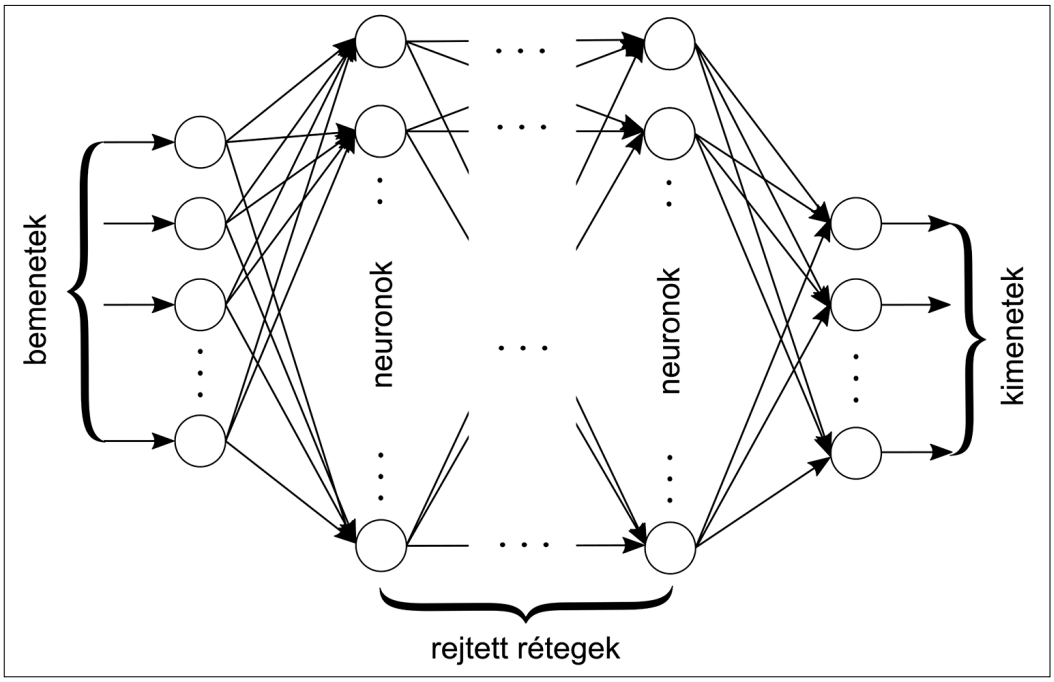
A mai mély neuronhálók előnyei más gépi tanuló algoritmusokkal szemben többek között abban rejlik, hogy a folyamatból rögzített adatokat egyszerre tanulja meg a célnak leginkább megfelelő reprezentációra alakítani, illetve modellezni azokat. Más típusú eljárások esetén jellemzően az adatokat szakértők és adattudósok bevonásával előfeldolgozzuk (preprocessing) és a célnak leginkább megfelelő formátumra alakítjuk, illetve bővítjük (ezt hívjuk *feature engineering*-nek). Ezt követően – az átalakítástól függetlenül – tanítjuk az így kialakított adatokkal a kiválasztott regressziós vagy osztályozó modellt. Ez esetben a végső modell minősége jelentősen függ a kialakított adatformátumtól. Kis mennyiségű adat esetén ez a megközelítés továbbra is célravezető megoldás lehet. Amennyiben pedig nagy mennyiségű adat áll rendelkezésre, akkor a mély neurális hálózatok képesek egyszerre a modellezés számára legjobb adatformátum kinyerését (ún. *feature* vagy *representation learning*) és ennek modellezését megtanulni, ami sokszor nagyobb pontossághoz vezet.

A neurális hálózatban jellemzően nem lehet egyértelműen elkülöníteni, hogy a hálózat melyik része végzi az egyik, melyik a másik feladatot. Jelen cikk a mélytanuláson belül elsődlegesen a felügyelt tanuláshoz köthető megoldásokra koncentrál.

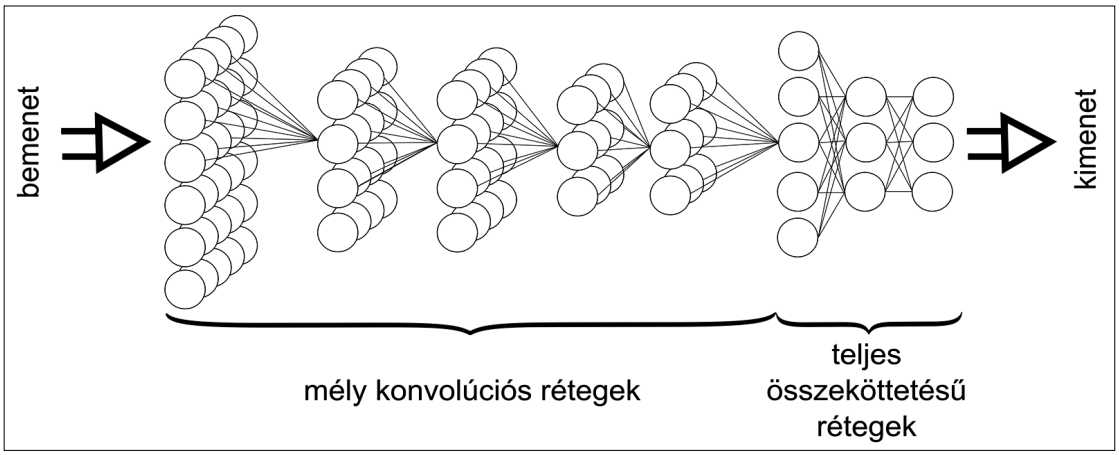
2. A mélytanulás múltja

A mélytanulás gyökerei az 1940-es évekre nyúlnak vissza, amikor Walter Pitts és Warren McCulloch javaslatot tett az idegsejtek egyszerűsített matematikai modelljére [7]. Következő meghatározó lépés az volt, amikor 1957-ben, majd 1962-ben Frank Rosenblatt megalkotta az egy- és többrétegű perceptront, amely a mai mély neurális hálózatok alapját jelenti [8]. A többrétegű perceptron hatékony tanítását lehetővé tevő ún. hibavisszaterjesztés *(backpropagation)* eljáráshoz szükséges automatikus differenciálást Seppo Linnainmaa 1970-ben dolgozta ki [9], majd ennek neurális hálózatokban való sikeres alkalmazását David Rumelhart, Geoffrey Hinton és Ronald Williams tette meg 1986-ban [10].

A mély neurális hálózatok tanításához ma is ezt az algoritmust, illetve ennek GPU-ra optimalizált különböző változatait használjuk. A többrétegű perceptron, melyet



2. ábra
A teljes összeköttetésű mély neurális hálózat sematikus váza



3. ábra
Mély konvolúciós neurális hálózat sematikus váza

ma teljes összeköttetésű neurális hálózatnak is hívnak, a be- és kimenet közötti leképzést próbálja megtanulni az adatokból *(lásd 2. ábra)*, azonban jellemzően ezek a rendszerek nem képesek a bemenetben található hely- vagy időbeli mintázatok megtanulására. Ez annyit jelent, hogy két bemenet egymáshoz viszonyított távolsága nem jelent a hálózat számára többletinformációt. A többrétegű perceptron mellett két további meghatározó neurális hálózat típus a konvolúciós és rekurrens neurális hálózat. Ezen architektúrák a hibavisszaterjesztés algoritmusnak módosított változatait alkalmazzák a tanítás során.

A mintafelismerésben nagy sikerrel alkalmazott konvolúciós neurális hálózatok *(Convolutional Neural Network, CNN)* alapját Kunihiko Fukushima határozta meg 1979-ben [11], melynek egyik első sikeres alkalmazása Yann LeCun nevéhez fűződik [12]. A mély konvolúciós neurális hálózatok jellemzően két fő egységre bonthatóak: az elsődlegesen reprezentáció tanulásért felelős konvolúciós (és ehhez kötődő) rétegekre, illetve a modellezést (pl. regresszió, osztályozás) végző teljes összeköttetésű rétegekre *(3. ábra)*. Napjainkban a mélytanuló rendszerek markáns részében használunk ilyen architektúrát (pl. gépi látással, beszédfelismeréssel és beszédkeltéssel, vagy általános idősor elemzéssel kapcsolatos alkalmazásokban).

Az úgynevezett rekurrens neurális hálózatok *(Recurrent Neural Network, RNN)* irányított, kört is tartalmazó számítási gráfokat használnak a be- és kimenet közötti kapcsolat meghatározásához, s ezáltal alkalmasak szekvenciális adatok, idősorok modellezésére. Az RNN alapjait John Hopfield 1982-es [13] munkája jelenti. Az RNNek sokáig csak rövid szekvenciákat tudtak hatékonyan modellezni, hosszú szekvenciák esetén az ún. elenyésző gradiens következtében a modellezés pontossága drasztikusan lecsökkent. Ennek a problémának a megoldására nyújtott elsők között megoldást Hochreiter és Schmidhuber meghatározó munkája, a Long Short-Term Memory (LSTM) [14].

A fenti három különböző típusú neurális hálózatot (teljes összeköttetésű, konvolúciós és rekurrens neurális hálózat) a célnak megfelelően akár egy számítási gráfban is lehet kombinálni, és az így kialakított számítási gráf paramétereit az adatok alapján egyben lehet optimalizálni a hibavisszaterjesztés algoritmus segítségével. Sok* rejtett réteget tartalmazó neurális hálózat tanításában azonban csak 2010 után értek el látványos áttörést.

A mélytanulás paradigma elterjedését részben a korlátozott Boltzmann-gépekből *(Restricted Boltzmann Machine, RBM)* felépített *Deep Belief Network (DBN)* architektúrák vezették be [15]. Ezen hálózatokban az ún. rétegenkénti előtanítással már hatékonyan tudtak mélyebb struktúrákat is tanítani. Az igazán látványos áttörést Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever és Geoffrey Hinton munkája hozta meg a 2012-es ImageNet képfelismerési versenyen [16], amikor szignifikánsan jobb eredményt értek el immár GPU-kon megvalósított konvolúciós neurális hálózat segítségével a korábbi módszerekkel szemben.

Innentől kezdve ismét óriási figyelmet kapott a neurális hálózatok tudományág és népszerűsége évről évre nőtt. Ahhoz, hogy a mai komplex mélytanuló rendszerek adott alkalmazási területeken a legnagyobb pontosságot tudják elérni még számos elméleti eredményre (pl. törtvonalas aktivációs függvény [17], reziduális hálózatok [5], dropout [18] eljárás), illetve a hardver- és szoftverinfrastruktúra folyamatos fejlődésére volt szükség.

Természetesen a neurális hálózatok témakörében a fentieken és a továbbiakon túl mind nemzetközi, mind hazai szinten rengeteg kimagasló eredmény született, melyekre e cikk a tudományterület szerteágazó volta miatt nem tér ki.

3. A mélytanulás jelene

A mélytanulás és a neurális hálózatok iránti érdeklődést jól mutatja a szakterület talán leginkább meghatározó konferenciájára, a NeurIPS (Neural Information Processing Systems) konferenciára beadott cikkek számának alakulása az évek során *(4. ábra)*. Hasonló látványos növekedést láthatunk, ha a nyílt forráskódú mélytanuló megoldások terjedését, vagy a médiában a „mestersé-

** Hogy mi a „sok", azt minden időben a számítási kapacitás és az adatok mennyisége szabta meg. A 2010-es években 8-10 réteg már soknak számított [16], míg 2015-ben már a 150 réteg számított soknak [5], a cikk írásának idejében pedig az egyik legnagyobb sikeresen alkalmazott neurális hálózat (Megatron-LM) mintegy 8.3 milliárd tanítható súllyal rendelkezik.*

ges intelligencia” kifejezés előfordulásának gyakoriságát vizsgáljuk meg (mely valójában a legtöbb esetben mélytanulás alapú megoldásokat takar).

A mély neurális hálózatok ma már számtalan alkalmazási területet érintenek, az alábbiakban az elsődleges alkalmazási területek legújabb, jövőbemutató eredményeire koncentrálunk. Mindhárom alkalmazási területen elért eredmények jelentősen hozzájárultak a neurális hálózatok elméleti hátterének a fejlődéséhez is.

3.1. Gépi látás

A gépi látás témakörbe tartozik többek között a képfelismerés (megadjuk, hogy mi látható a képen/videón) [16,5], az objektum-felismerés (megadjuk, hogy mik és hol láthatóak a képen/videón) [20], a szemantikus szegmentáció (képpontonként megadjuk, hogy mi látható a képen/videón) [21], mélységbecslés (képpontonként meghatározzuk a képpont tartalmának becsült távolságát a kamerától) [22], tartalomrekonstrukció (hiányzó vagy nehezen felismerhető, alacsony felbontású részek becslése), továbbá a kép- és videogenerálás (vizuális tartalom létrehozása adott témakörben) [23].

Folyamatosan új alkalmazási területekre tör be a mélytanulás alapú gépi látás, illetve az új megközelítések a korábbiaknál is jobb pontosságot adnak a már „meghódított” alkalmazási területeken. A mindennapi élet szempontjából fontos kiemelni példaként az orvosi képfeldolgozást, ahol megfelelő méretű és pontosságú adatbázisok mellett a mélytanuló rendszereknek köszönhetően, már több területen az orvosok munkáját jelentősen segítő megoldások születtek (pl.[24]).

3.2. Beszédtechnológia és hangfeldolgozás

A beszédtechnológia két legmeghatározóbb ága a gépi beszédkeltés (gépelt szöveg emberi hangon történő felolvasása) [6] és a beszédfelismerés (az elhangzott beszéd szöveges átiratának az elkészítése) [25], illetve ezeken túl számos további részterülete van, mint például a beszélő felismerése és azonosítása [26], érzelemfelismerés [27], orvosi beszédfeldolgozás [28] stb. A korábbi, komponensekre bontott (pl. nyelvi elő-, utófeldolgozás, beszédkódoló stb.) modellezéssel szemben ma már elsődlegesen az úgynevezett end-to-end mély neurális hálózat alapú rendszerek eredményei a leginkább előremutatóak.

A beszédjelek mellett még fontos megemlíteni a nem beszéd jellegű hang feldolgozását, mint például zene, utca- és járműzaj, gyártósor, állathang stb. modellezését. Zene esetén a feladat jellemzően a lejátszott mű vagy annak stílusának felismerése, illetve zenegenerálás. Általános hangok esetén pedig sok esetben osztályokba szeretnénk sorolni a hangokat (például normális, illetve abnormális gyártósori működés, vagy madárfajta meghatározása).

3.3. Természetes nyelvfeldolgozás

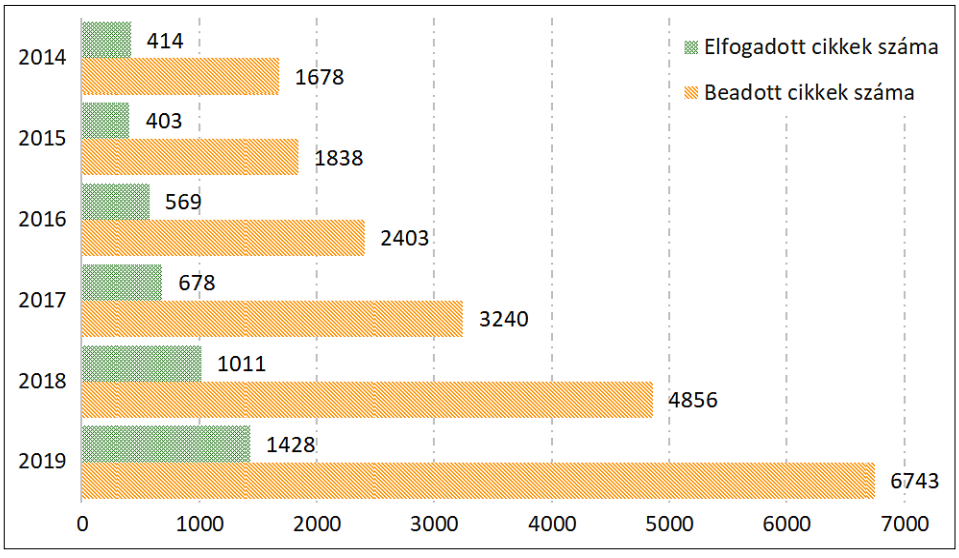
Természetes nyelvfeldolgozás *(Natural Language Processing, NLP)* esetén elsődleges feladatok között szerepel a szöveg szavainak címkézése [29], a szöveg értelmezése, kontextus kinyerése [30], gépi fordítás forrásnyelvről célnyelvre [31], szövegek összehasonlítása és kategóriákba sorolása, szentiment-elemzés (pozitív vagy negatív hangulatú-e a szöveg) [32], a szöveggenerálás (egy adott témakörben értelmes, koherens szöveg létrehozása) és a célspecifikus tartalomdetekció (pl. gyűlöletkeltés, megtévesztés). A mélytanulás évről évre jobb és jobb eredményeket hozott az NLP területén, például az LSTM alapú modellezéssel [14], illetve a Seq2seq modell és a figyelmi mechanizmus bevezetésével [33]. A közelmúltban a mélytanuláson belül talán a leginkább előremutató eredményeket is az NLP területén érték el: az úgynevezett Transformer architektúra új, eddig soha nem látott szintre emelte a szövegmodellek pontosságát [30,34].

Mindhárom területen alkalmazott modellek sok esetben általánosíthatók szekvenciális adatok, idősorok modellezésére. Szekvenciális adat lehet például szöveg, hang, pénzügyi idősorok, a távközlési hálózatok jelzései, a szenzorokkal mért idősorok, továbbá még az egymást követő képpontok vízszintes és függőleges irányban vizsgálva is szekvenciális adatstruktúrát alkotnak.

Szekvenciális adatok esetén az elsődleges kihívások;
(1) a receptív mező növelése (ez annak az adatrésznek a méretét jelenti, melyet a modellezés során figyelembe veszünk a bemeneten),
(2) a több időskálán való modellezés, és a
(3) többdimenziós adatok modellezése.

E kihívások megoldására több megközelítés is kísérletet tesz [35,36], illetve egyes

4. ábra
A NeurIPS konferenciák cikkszámai 2015–2019 között (módosítva [19] alapján)



modellek (pl. WaveNet [6]) implicit módon kezelik ezeket. Mindemellett a fenti három kihívás minél pontosabb és jól magyarázható megoldásával várhatóan a mostani modellek még tovább javulhatnak.

A mélytanulás algoritmikus eredményei mellett fontos az ezt kiszolgáló szoftverekre is kitérni. A mélytanulás elsődleges programozási nyelve a Python és a lentebb felsorolt szoftverek mind ingyenesen elérhetőek. A cikkben a legelterjedtebb eszközökre koncentrálva csupán néhány példa kerül említésre.

Adattárolás, -betöltés és -előfeldolgozás

A jól ismert megoldások (SQL, NoSQL, Pandas, Dask) mellett használhatóak az utóbbi időben megjelent olyan eszközök, melyek a teljes folyamatnak már az első lépéseit is a CPU-ról a GPU-ra helyezik át. Így a BlazingSQL *(https://blazingsql.com/)* az adatokat egyenesen a GPU-memóriába olvassa be, míg a Rapids.AI *(https://rapids.ai/)* és a CuPy *(https://cupy.chainer.org/)* az adat-előfeldolgozás lépését végzi a GPU-n.

Mélytanuló keretrendszerek

A legismertebb mélytanuló keretrendszerek a Google által fejlesztett TensorFlow *(https://www.tensorflow.org/)* és az elsődlegesen a Facebook AI Research által gondozott PyTorch *(https://pytorch.org/)*. Mindkettő általános keretrendszer, melyek automatikus differenciálás segítségével tetszőleges számítási gráfon képesek a gráf paramétereit (a neurális hálózat súlyait) be- és kimeneti adatok alapján optimalizálni. Ezen felül megtalálhatóak bennük a leggyakrabban használt mélytanuló eljárások, továbbá számos kiegészítő, mely a hatékony tanítást segíti (adatreprezentáció, modellek futtatása, tömörítése).

Virtualizáció és skálázhatóság

A munkát jelentősen segíti az operációs rendszer és a GPU Docker *(https://www.docker.com/)* alapú virtualizációja egyrészt azáltal, hogy új rendszerek kialakítása során a szoftverek telepítése, másrészt a megoldás céleszközökre történő migrálása jelentősen egyszerűsödik. Lehetőség van továbbá több tíz, száz, vagy akár ezer GPU-t is támogató Docker konténer összehangolt futtatására, például a Kubernetes *(https://kubernetes.io/)*, a Kube Flow *(https://www.kubeflow.org/)* és a Horovod *(https://github.com/horovod/horovod)* segítségével.

4. A mélytanulás jövője

Az elmúlt években óriási fejlődésen ment keresztül a tudományterület, ugyanakkor várható, hogy ez a folyamat a jövőben is folytatódik. Számos kiszámíthatatlan és előre nem megjósolható esemény mellett vizsgáljuk meg azokat a pontokat, melyek szükségességük miatt nagy valószínűséggel be fognak következni.

Számos alkalmazási területen minden további elméleti eredmény nélkül is, pusztán a címkézett adatmennyiség és a számítási kapacitás folyamatos növekedésével várhatóan minden korábbinál nagyobb pontosságot elérő mélytanuló modellek fognak születni. Rendkívül izgalmas ezen belül a mélytanulás használatától várható további eredmények, például a csillagászat [37], a DNS elemzés [38] és a sejtbiológia [39] tudományterületeken.

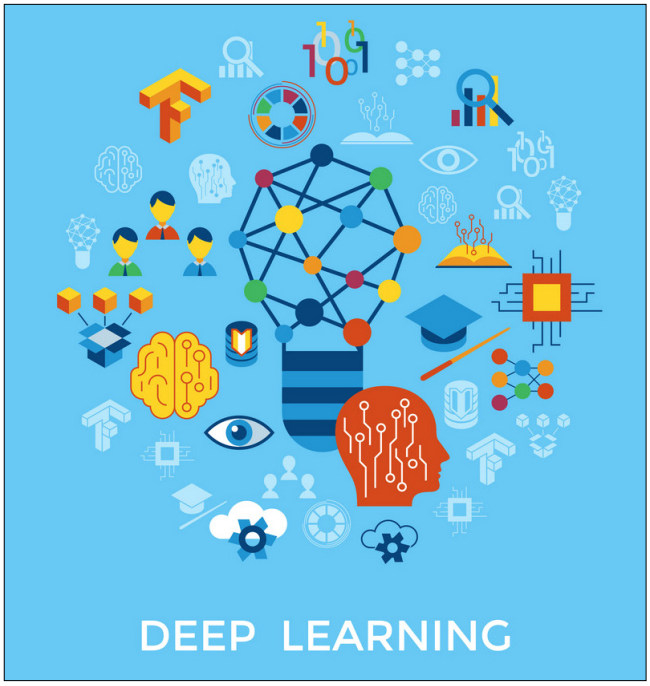
A mélytanulás alkalmazásának első hulláma már lezajlott a nagy technológiai óriásvállalatoknál; jelentős méretű kutatólaboratóriumaikban létrehozott neurális hálózat alapú megoldásaikat sikeresen alkalmazzák termékeikben. Már most számos tanulmány szól a mélytanulás alapú ipar 4.0 [40], mezőgazdasági [41], vagy például a víziközlekedési [42] megoldásokról. Ahogyan az általános mélytanuló eszközök várhatóan egyszerűbbé válnak, kiszélesedik az azt alkalmazó kutatók és fejlesztők köre, és így számos új – mind az informatikától, mind pedig a gépi tanulástól távolabbi – területen is meg fognak jelenni a mélytanulás alapú megoldások.

Az elméleti eredmények tekintetében amennyiben az eddigi kutatási fókusz megmarad, akkor további komplex szekvenciális adatmodellek várhatóak, melyek még pontosabb eredményt nyújtanak, például beszédtechnológia és természetes nyelvfeldolgozás területeken. Továbbra is fontos kérdés marad a receptív mező növelése és a többskálás modellezés. Különösen a hatalmas számítási kapacitást igénylő modellek és eljárások esetén van szükség hasonló pontosságot nyújtó, gyorsabb megoldásokra (mint például a 2019. novemberében publikált SHA-RNN [43]). A felügyelet nélküli és megerősítéses tanítás továbbra is nagy, megoldásra váró kihívásokat állít a kutatók elé.

Szoftverek terén is szükségszerű a további fejlődés: egyrészt a mélytanuló keretrendszerek közötti átjárhatóság egyszerűsödésével nagyobb kutatási és fejlesztési projektek esetén sem leszünk kitéve egy adott rendszernek, másrészt így mindig a céljainkat leginkább segítő, publikusan elérhető megoldásokat tudnánk használni. Ezen túl a magas szintű megoldások, továbbá a virtualizáció és a skálázhatóság folyamatos fejlődése és egyszerűsödése szükségességükből fakadóan várható.

5. Összefoglalás

A tudományos világban is egy-egy téma népszerűsége kapcsán sok esetben ciklikusság figyelhető meg. Jelenleg az adatvezérelt modellek korát éljük, melyen belül fontos szerepet tölt be a mélytanulás. A mesterséges intelligencia alap- és alkalmazott kutatása már túl van két olyan szakaszon, amikor jelentős visszaesés volt tapasztalható az MI népszerűségében (egyszer a 80-as, egyszer pedig a 90-es évek kezdetén). A jelenlegi fokozott figyelem jogosan veti fel egy következő visszaesés lehetőségét, részben a túlzott elvárások és a be nem váltott ígéretek következményeként. Lehetséges, hogy akár a közeljövőben lesz ilyen jellegű visszaesés, azonban a folyamatosan növekvő adatmennyiség hatékony modellezésére jelenleg nincs más általános megoldás, mint a gépi és mélytanulás, ezért visszaesés esetén sem várható, hogy teljesen háttérbe szoruljon e tudományterület.



Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmányt támogatták:
az Emberi Erőforrások Minisztériuma által biztosított BME – Mesterséges Intelligencia Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program (BME FIKP-MI/SC),
a Bolyai+ Felsőoktatási Fiatal Oktatói, Kutatói Ösztöndíj (ÚNKP-19-4-BME-189) és
az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj.

A szerzőről

GYIRES-TÓTH BÁLINT a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék oktatója és kutatója. 2007 óta foglalkozik elméleti és alkalmazott gépi tanulással. Doktori fokozatának megszerzése óta, 2014-től a mélytanulás (deep learning) az elsődleges kutatási területe. Számos sikeres kutatási és ipari projektben vett részt. 2017 óta felkérés alapján az NVidia Deep Learning Institute (DLI) minősített oktatója és egyetemi nagykövete.

Hivatkozások

[1] Turing, A.M.,
Computing machinery and intelligence, The Essential Turing: The Ideas that Gave Birth to the Computer Age. Ed. B. Jack Copeland, Oxford: Oxford UP (1950.), pp.433–464., 2004.
[2] LeCun, Y., Léon, B., Genevieve, B.O., Klaus-Robert, M., Efficient backprop., Neural networks: Tricks of the trade, Springer, Berlin, Heidelberg, pp.9–48., 2012.
[3] Kingma, D. and Welling, M.,
Auto-Encoding Variational Bayes, The 2nd International Conference on Learning Representations (ICLR), 2013.
[4] Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A. and Bengio, Y., Generative adversarial nets,
Advances in Neural Information Processing Systems, pp.2672–2680., 2014.
[5] Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V. and Alemi, A.A., Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning,
31th AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2017.
[6] Van den Oord, A., Dieleman, S., Zen, H., Simonyan, K., Vinyals, O., Graves, A., Kalchbrenner, N., Senior, A. and Kavukcuoglu, K.,
WaveNet: A Generative Model for Raw Audio.
In 9th ISCA Speech Synthesis Workshop, p.125., 2016.
[7] McCulloch, W.S. and Pitts, W.,
A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity,
The Bulletin of Mathematical Biophysics, 5(4), pp.115–133., 1943.
[8] Rosenblatt, F.,
Principles of neurodynamics. perceptrons and the theory of brain mechanisms (No. VG-1196-G-8),
Cornell Aeronautical Lab. Inc., Buffalo NY., 1961.
[9] Linnainmaa, S.,
The representation of the cumulative rounding error of an algorithm as a Taylor expansion of the local rounding errors, Master's Thesis (in Finnish),
University of Helsinki, 1970.
[10] Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J.,
Learning internal representations by error propagation in parallel distributed processing,
Explorations in the Microstructure of Cognition, pp.319–362., 1986.
[11] Fukushima, K.,
Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position,
Biological Cybernetics, 36(4), pp.193–202., 1980.
[12] Y. LeCun, B. Boser, J.S. Denker, D. Henderson, R.E. Howard, W. Hubbard and L.D. Jackel,
Backprop. Applied to Handwritten Zip Code Recognition, Neural Computation, 1(4), pp.541–551., 1989.
[13] J.J. Hopfield,
Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities,
Proceedings of the National Academy of Sciences 79, pp.2554–2558., 1982.
[14] Hochreiter, S. and Schmidhuber, J.,
Long short-term memory,
Neural Computation, 9(8), pp.1735–1780., 1997.
[15] Hinton, G.E., Osindero, S. and Teh, Y.W.,
A fast learning algorithm for deep belief nets,
Neural Computation, 18(7), pp.1527–1554., 2006.

[16] Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Hinton, G.E.,
Imagenet classification with deep convolutional neural networks, Advances in neural information processing systems,
pp.1097–1105., 2012.
[17] Glorot, X., Bordes, A. and Bengio, Y.,
Deep sparse rectifier neural networks,
Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, pp.315–323., 2011.
[18] Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Salakhutdinov, R.,
Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting,
The Journal of Machine Learning Research, 15(1),
pp.1929–1958., 2014.
[19] NeurIPS 2019 Stats,
https://medium.com/@dcharrezt/neurips-2019-stats-c91346d31c8f,
(hozzáférés dátuma: 2020. január 30.)
[20] Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C.Y. and Berg, A.C.,
SSD: Single shot multibox detector,
European Conf. on Computer Vision, pp.21–37., 2016.
[21] Chen, L.C., Zhu, Y., Papandreou, G., Schroff, F. and Adam, H.,
Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation,
European Conf. on Computer Vision, pp.801–818., 2018.
[22] Liu, F., Shen, C. and Lin, G.,
Deep convolutional neural fields for depth estimation from a single image,
IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.5162–5170., 2015.
[23] Van den Oord, A., Kalchbrenner, N., Espeholt, L., Vinyals, O. and Graves, A.,
Conditional image generation with PixelcCNN decoders,
Advances in Neural Information Processing Systems, pp.4790–4798., 2016.
[24] Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R.A., Ko, J., Swetter, S.M., Blau, H.M. and Thrun, S.,
Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks,
Nature, 542(7639), pp.115–118., 2017.
[25] Collobert, R., Puhrsch, C. and Synnaeve, G.,
Wav2letter: an end-to-end convnet-based speech recognition system,
arXiv preprint arXiv:1609.03193., 2016.
[26] Snyder, D., Garcia-Romero, D., Povey, D. and Khudanpur, S.,
Deep Neural Network Embeddings for Text-Independent Speaker Verification,
Interspeech 2017, pp.999–1003., 2017.
[27] Fayek, H.M., Lech, M. and Cavedon, L.,
Evaluating deep learning architectures for Speech Emotion Recognition,
Neural Networks, 92, pp.60–68., 2017.
[28] Ma, X., Yang, H., Chen, Q., Huang, D. and Wang, Y.,
Depaudionet: An efficient deep model for audio based depression classification.
In Proc. of the 6th International Workshop on Audio/Visual Emotion Challenge, pp.35–42., 2016.
[29] Yadav, V. and Bethard, S.,
A survey on recent advances in named entity recognition from deep learning models.
arXiv preprint arXiv:1910.11470., 2019.
[30] Devlin, J., Chang, M.W., Lee, K. and Toutanova, K.,
Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding,
arXiv preprint arXiv:1810.04805., 2018.
[31] Bahdanau, D., Cho, K. and Bengio, Y.,
Neural machine translation by jointly learning to align and translate.
International Conf. on Learning Representations, 2015.
[32] Zhang, L., Wang, S. and Liu, B.,
Deep learning for sentiment analysis: A survey,
Wiley Interdisciplinary Reviews:
Data Mining and Knowledge Discovery, 8(4)., 2018.
[33] Sutskever, I., Vinyals, O. and Le, Q.V.,
Sequence to sequence learning with neural networks,
Advances in Neural Information Processing Systems,
pp.3104–3112., 2014.
[34] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Kaiser, L. and Polosukhin, I.,
Attention is all you need,
Advances in Neural Information Processing Systems,
pp.5998–6008., 2017.
[35] J. Chung, S. Ahn, and Y. Bengio,
Hierarchical multiscale recurrent neural networks,
arXiv preprint arXiv:1609.01704, 2016.
[36] S. Mehri, K. Kumar, I. Gulrajani, R. Kumar, S. Jain, J. Sotelo, A. Courville, and Y. Bengio,
Samplernn: An unconditional end-to-end neural audio generation model,
arXiv preprint arXiv:1612.07837, 2016.
[37] Gabbard, H., Williams, M., Hayes, F. and Messenger, C.,
Matching matched filtering with deep networks for gravitational-wave astronomy,
Physical Review Letters, 120(14), p.141103., 2018.
[38] Alipanahi, B., Delong, A., Weirauch, M.T. and Frey, B.J.,
Predicting the sequence specificities of DNA-and RNA-binding proteins by deep learning,
Nature Biotechnology, 33(8), pp.831–838., 2015.
[39] Senior, A.W., Evans, R., Jumper, J., Kirkpatrick, J., Sifre, L., Green, T., Qin, C., Zídek, A., Nelson, A.W., Bridgland, A. and Penedones, H.,
Improved protein structure prediction using potentials from deep learning,
Nature, pp.1–5., 2020.
[40] Diez-Olivan, A., Del Ser, J., Galar, D. and Sierra, B.,
Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards Industry 4.0,
Information Fusion, 50, pp.92–111., 2019.
[41] Kamilaris, A. and Prenafeta-Boldú, F.X.,
Deep learning in agriculture: A survey,
Computers and Electronics in Agriculture, 147,
pp.70–90., 2018.
[42] Batalden, B.M., Leikanger, P. and Wide, P.,
Towards autonomous maritime operations,
IEEE International Conf. on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA), pp.1–6., 2017.
[43] Merity, S.,
Single headed attention RNN: Stop thinking with your head.
arXiv preprint arXiv:1911.11423., 2019.

3D VR – áttörés az oktatásban

HORVÁTH ILDIKÓ
Széchenyi István Egyetem
horvath.ildiko@ga.sze.hu

Kulcsszavak: kognitív infokommunikáció, VR oktatás, MaxWhere 3D VR platform, ember-IKT koevolúció

Napjainkban az új technológiák mérhetetlen gyors fejlődése, változása új tanulási formákat tesznek lehetővé, kiszélesítve magát a tanulással kapcsolatos elvárásokat is. Az információ állandó, helytől és időtől független rendelkezésre állása, az online tanulás lehetősége egyre inkább megköveteli a 3D VR oktatási terek és tananyagok fejlesztését.
E cikk megvizsgálja a 3D VR-környezetek azon egyedülálló potenciálját, ami 30-50%-os javulást eredményez a vizualizáció, az átlátás, az emlékezet, a megértés és az alkalmazáshoz kapcsolódó kollaboratív tevékenységek hatékonyságában.
A tanulmány fontos megállapítása, hogy az ED-TECH fejlődésével megváltozik az oktatás módszertana, a gondolkodás és a tanulás folyamata, valamint a felnövekvő generációk felkészültsége, képességei, egyik következtetése pedig az, hogy a 3D-s környezetek sokkal magasabb szintű megértést kínálnak a felhasználók számára a digitális tartalom megosztása és értelmezése során, még akkor is, ha azok beágyazódnak a teljes digitális munkafolyamatokba. Ez azt jelenti, hogy a VR-t elsősorban a kommunikáció áttörési platformjaként tekintjük – egy új típusú kognitív infokommunikációs csatorna holisztikus modelljeként.

1. Bevezetés

Napjainkban számos eltérő technológia egyszerre van jelen és változtatja meg társadalmunkat, a felnövekvő generációk lehetőségeit, életterét, gondolkodását, a munkaerő-piaci elvárásokat, oktatási környezetünket és módszereinket egyaránt. A 21. században – az innovációk korában – alapkövetelmény az információhoz való hozzáférés. A gyors információkeresés, szelektálás, hatékony információfeldolgozás, a szerzett információk eredményes alkalmazása és az új információk előállítása a felnövekvő generációk top készségei közé tartoznak. Az emberi agy egy tapasztalattól függő, változó, fejlődő rendszer, amely reagál a környezeti hatásokra.

A CogInfoCom [1,2] területen végzett generációs vizsgálatok információfeldolgozásra vonatkozó megállapítása, hogy az idősebb generációk analitikus, lépésről lépésre történő információ-feldolgozását a felnövekvő generációk (Z, α, CE – Cognitive Entity [3]) esetében az átfogó, téri-vizuális feldolgozás váltja fel [4,5]. A Széchenyi István Egyetem VR Learning kutatócsoportjának vizsgálatai azt mutatják, hogy a háromdimenziós VR-környezet egyre inkább lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy könnyen csatlakozzanak távolban zajló eseményekhez és lényegesen rövidebb idő alatt több információhoz férjenek hozzá [6,7]. A VR alkalmazásával a múlt játéktechnológiái a jelen és a jövő oktatási, tanulási és együttműködési eszközévé válnak. Világszerte egyre több oktatási intézmény kívánja javítani a korábban már használt e-Learning tartalmak oktatási hatékonyságát a VR révén [8-10].

Az e-Learning jövőjét 3D-ben képzeljük el és ennek egy példaértékű megvalósítása a MaxWhere 3D VR operációs rendszerben kerül bemutatásra.

A Széchenyi István Egyetem VR Learning kutatócsoportja számos eredményt publikált, amelyek arra összpontosítanak, hogy a digitális információkat hogyan lehet megosztani és megérteni, valamint hogyan lehet azokat hatékonyabb munkafolyamatokba szervezni. E vizsgálatok a MaxWhere [11] 3D VR platformon alapultak és jelen tanulmány kiindulópontjául szolgálnak.

A cikk első szakasza a kognitív infokommunikáció tudományterület definíciójának, motivációjának rövid bemutatása. Ezt a MaxWhere 3D VR platform egyedülálló képességeinek ismertetetése követi. A dolgozat harmadik, fő részében a közelmúltbeli kutatási eredményeket foglaljuk össze azzal kapcsolatban, hogy a MaxWhere miként képes javítani az információ átadásának hatékonyságát, a felhasználói figyelem, megértés és memória képességeket. Az összefoglalás pedig bemutatja, miért jelent áttörő lehetőséget az oktatásban a platform alkalmazása.

2. CogInfoCom

A kognitív infokommunikáció (CogInfoCom) egy viszonylag fiatal interdiszciplináris tudományterület, amely az IKT és a kognitív tudományok szinergiájaként 2010-ben jelent meg. A CogInfoCom [1,2] kiindulópontja az a fejlődési folyamat, melynek eredményeként az emberek és az IKT-eszközök különféle szinteken (élettani és kognitív) összefonódnak. Az összefonódás eredményeként a kognitív képességek új formái jelennek meg. Olyan interakciók, folyamatok jönnek létre, amelyek magukban foglalják mind a természetes, mind a mesterséges összetevőket és rendszereket. A CogInfoCom motivációja annak elemzése, hogy miképpen lehet a kognitív folyamatokat

együtt fejleszteni az infokommunikációs eszközökkel úgy, hogy az emberi agy képességét ne csak az eszközök terjesszék ki. A terület célja az is, hogy új technológiákat hozzon létre (szintetizáljon), amelyek megkönnyítik ezt az együttes evolúciót. A virtuális valóság 3D-térbeli technológiája révén a CogInfoCom kulcsfontosságú platformja, hiszen az emberek természetes élettere is háromdimenziós, ezáltal természetes módon, alacsony kognitív terhelés mellett három dimenzióban foglalkoznak a koncepciókkal.

3. MaxWhere 3D VR platform

Ebben a szakaszban, a teljesség igénye nélkül, néhány, a 3D VR alkalmazások közül csak a MaxWhere 3D VR platformra jellemző információ kerül bemutatásra.

A MaxWhere *(http://maxwhere.com)* egy 3D-VR platform [11], amely Windows és Mac OS rendszeren is működik. Filozófiáját tekintve eltér az oktatásban alkalmazott egyéb VR-programoktól, mivel nem egy-egy konkrét ismeretanyaghoz készített VR-környezetet kínál. A MaxWhere sokkal inkább tekinthető háromdimenziós operációs rendszernek, melynek nagy előnye, hogy egy desktop (asztali) VR-alkalmazás, használata nem igényel VR-szemüveget, sem headset-et, de természetesen nem is zárja ki a VR-szemüvegekben történő 3D VR-tartalmak megtekintését, bejárását. Egyaránt alkalmazható a weboldalak térbeli, 3D-s átlátható megjelenítésére; kiállítótérként a művészeti alkotások strukturált bemutatására; más esetben üzleti munkafolyamatokra optimalizált tartalomkialakításra és -megosztásra; Ipar 4.0-s „Digital Twin" tartalmú távmanipulációra; vagy a jelen tanulmány tárgyát is képező, hatékony 21. századi oktatás színtereként.

A MaxWhere lehetővé teszi a felhasználók számára a 3D-s terek letöltését – hasonlóan a mobil telefonokon működő applikációk letöltéséhez – majd az ingyenesen használható terekben a 2D-s és 3D-s tartalmak manipulációját, megosztását. Az egyik egyedi objektumtípust a MaxWhere terekben intelligens táblának nevezik. Az intelligens táblák voltaképpen 2D-s böngészők, amelyek 3D-s térben helyezkednek el, és amelyeket a MaxWhere Browser23 (B23) technológiáján keresztül valósítottak meg. A B23 új filozófiát képvisel az internetes szörfözés világában. Ahelyett, hogy 2D-ben kényszerítené a felhasználókat korlátozott számú lap egymás mellé helyezésére, illetve korlátozná a lehetőségeket az oldalak közötti váltásra és a keresett tartalom megfelelő időben történő megtalálására, lehetővé teszi a böngészőablakok elrendezését a 3D-s térben, strukturáltan, téma szerint csoportosítva. Az okostáblák mérete a tartalom fontosságára vonatkozó információkat hordozza a felhasználók számára.

A MaxWhere Ultra Sharing (USharing) technológiája lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy nagyszámú dokumentumot, képet, videót, weboldalakat tartalmazó VR-oktatótermeket, irodákat hozzanak létre, akár teljes projektfolyamatokat is készítsenek, online találkozókat bonyolíthatnak és ezeket biztonságosan, egyetlen kattintással megoszthatják egymással, így valós időben juttathatnak el tömérdek információt akár a világ másik részére. Tovább növeli a megértést, hogy a 3D-objektumok élethű szimulációját könnyedén össze lehet hangolni az okostáblák tartalmával, így a matematikai számítások és tervezési folyamatok eredményeinek hatása azonnal látható és követhető.

Végül, de nem utolsósorban, fontos megemlíteni a MaxWhere egyedülálló 3D navigációs technológiáját, az úgynevezett kognitív navigációs (CogiNav) technológiát. A CogiNav egy kontextusfüggő navigációs megoldás, amely egy egyszerű bemeneti eszközzel (2D-egérrel) is lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy intuitív módon közlekedjenek a 3D-s VR-terekben, vagy megragadják, körbejárják a 3D-s tárgyakat.

4. Kutatási eredmények – MaxWhere 3D VR az oktatásban

Az új fejlesztések megjelenése, az internet és a VR-technológiák egyre szélesebb körű használata és társadalmi elfogadottsága hatással vannak az oktatási környezetre és az oktatásban használt tartalomra is. Az oktatási intézmények egyre könnyebben férnek hozzá a virtuális technológiákhoz, ami már nem csak a drága VR-headsetek és szemüvegek beszerzésével valósulhat meg.

Számos nemzetközi felmérés is bizonyítja, hogy a hagyományos tanítás a tudás reprodukciója szempontjából igen hatékony. A modern digitális oktatásban azért előnyös a 3D VR oktatási alkalmazása, mert a magasabb rendű gondolkodási készségekhez, például összefüggések látásához, betekintés megszerzéséhez, ismeretek alkalmazásához vagy elemzéséhez az új technológiák alkalmazása jobban hozzájárul. A 3D VR lehetővé teszi a tanítást és a tanulást olyan virtuális környezetben is, amelyet a hagyományos osztálytermekben nem lehet elképzelni, például ipari üzemekbe vagy laboratóriumokba való virtuális belépés, gépek vagy kémiai, biológiai, illetve mikrobiológiai forgatókönyvek megjelenítésével.

1. ábra
MaxWhere 3D Digital Twin megoldás – Pioneers Industry 4.0 Hackathon 2018. [Forrás: www.maxwhere.com]

A Széchenyi István Egyetem VR Learning kutatócsoportja a kognitív folyamatok dimenzióihoz – emlékezet, megértés, alkalmazás, analízis, szintézis, létrehozás – illeszkedő vizsgálatokat végez a 3D VR oktatás hatékonyságának megállapítására vonatkozóan. A fő kérdés: hogyan befolyásolják a technológiák azon hatékonyságot, amellyel az emberek képesek meghatározott feladatokat végrehajtani. Jelen tanulmányban terjedelmi okokból az emlékezés és a megértés vizsgálatára vonatkozó kutatási eredmények rövid összefoglalása jelenik meg.

Emlékezet, ismeret

A történelem során az emberek számos különböző technikát fejlesztettek ki, hogy segítsék kezelni az új ismeretek memorizálásával járó összetett folyamatokat. Az emberi agy asszociatív felépítése miatt sok esetben a legerősebb technikák is asszociatívak, azaz új fogalmakat kapcsolnak össze másokkal, amelyek már jól internalizáltak. Sok ilyen technika rövidítések, kulcsszavak, vagy más, könnyen kezelhető mnemonika kialakításán keresztül működik.

Hasonlóan a nyelv elsősorban hallható modalitásához, a vizuális modalitás is támogatja az új emlékek kialakulását. Ez gyakran hatékony, mivel az emberi agy egy evolúciós környezetben alakult ki, ahol a térbeli kapcsolatok és helyek felismerése és emlékezete kiemelkedő jelentőségű (sokkal inkább, mint a nem térbeli fogalmak emlékezetének emlékezete) [12,13]. Ennek eredménye a Memória Palota (Memory Palace) módszer (MPM), amely támogatja a memorizációt – mentális megjelenítés révén 3D-s környezetben –, és a mai napig az egyik leghatékonyabb eszköz a hosszú távú memorizáláshoz [13].

A VR Learning kutatócsoport a MaxWhere 3D VR-terek felépítését, munkafolyamatokhoz igazodó elrendezéseit elemezve vizsgálta, hogy a 3D VR-környezeteket a Memória Palota módszer továbbfejlesztett változatának tekinthetjük-e [14]. A hazai és nemzetközi kutatások egyaránt igazolták, hogy a VR hatékony eszközként használható az MPM támogatásához [15], valamint arra, hogy a felhasználók számára több tartalmat biztosítson, vagy pedig olyan tartalmat biztosítson, amely érthetőbb és emlékezetesebb, mint egyébként [6,7,17,18].

A tanulás mindig a tudás megszerzéséről szól. A tudást a visszahívott észrevételek birtoklásának tekinthetjük. Ehhez kapcsolódik az alábbi, a visszahívás eredményét bemutató kísérletünk. A vizsgálat célja az volt, hogy összehasonlítsa a 2D-s hirdetések hatékonyságát, ha azokat 3D VR-térben vagy a klasszikus web-alapú formában juttatjuk el a felhasználókhoz [16]. A hipotézis az volt, hogy a VR-csoportban több ember fog emlékezni arra, hogy pontosan milyen hirdetést látott, mint a weboldalakat tanulmányozók csoportjában.

A kísérletben 22 ember vett részt. A résztvevők feladata négy tantárgyhoz kapcsolódó online cikk elolvasása volt. Az egyik feltétel szerint négy szalaghirdetést helyeztek el minden weboldalon, a másik esetben a virtuális térben helyezkedtek el a hirdetések önálló objektumként, nem pedig a cikk melletti banner hirdetésként. A résztvevők a cikkek elolvasása után online kérdőívet töltöttek ki. A két csoportban lévő egyének memóriateljesítményének összehasonlításához a Fisher pontos tesztjét használták a kutatók. Az eredmények szignifikáns különbséget mutattak a VR-csoport közötti memóriateljesítményben, prevalenciája 91,67% (11/12), szemben a klasszikus internetes csoport 40%-ával (4/10) ($p=0,02$). Ez azt jelenti, hogy a hirdetésekre emlékezők aránya a VR-teret használó csoport javára tért el pozitívan, vagyis a 3D VR-ben elhelyezett tartalmakra jobban emlékeztek a résztvevők. A viszszahívás aránya 50%-kal haladta meg, ha a vizuális információt közvetlenül a 3D-s környezetbe helyezték.

A közelmúltban a memorizálás motivációjára vonatkozó vizsgálati eredmény került bemutatásra a 2019. évi 10. IEEE Nemzetközi Kognitív Infokommunikáció (CogInfoCom) konferencián. A tanulmány a felsőoktatási hallgatók viselkedését és szokásait explorációs módszerekkel vizsgálta a MaxWhere 3D VR terek használata során [5]. A vizsgálat 82 egyetemi hallgató részvételével zajlott, különös tekintettel a térbeli tudatosságra, a kollaborációra, az online mobil applikációk használatára és a kognitív folyamatokra, főként az információfeldolgozás, memorizálás szempontjából. A cikk több eredménye jól alkalmazható a VR-tananyagok megtervezésénél, összeállításánál. A VR-terekben való tartalom elrendezése és elhelyezése szempontjából meglepő eredmény született, ami kifejezetten azt mutatja, hogy az ellenőrzési kérdések elméleti anyaghoz viszonyított elhelyezkedése befolyásolja a rövid és hosszú távú memorizálási folyamatok motivációját.

Amennyiben az ellenőrző kérdéseket közvetlenül az elméleti anyag mellett helyezzük el, a fókuszálásban segítjük a diákokat. Azonban a kérdések megválaszolásánál a diákok a CTRL+C, CTRL+V másolás-beillesztés műveletét választva a gyors és kényelmes feladatteljesítést preferálják. Ebben az esetben a statisztikai elemzés negatív korrelációt mutatott a helyes válaszok száma és a válaszidő között ($r=-0,278$, $p=0,012$). Ez a korreláció szignifikáns volt 0,05 szinten. Amennyiben az ellenőrző kérdések a tér távolabbi pontjában vannak, ahová mozogni, elfordulni szükséges, – vagy ellentétes fázisban kapcsolhatók be és ki a kérdéseket tartalmazó okostáblák, mint a tananyagot tartalmazó táblák –, akkor a hallgatók egyszerre 2-3 kérdésre vonatkozó választ is megjegyeztek, majd ezeket a kérdőív kitöltésénél begépelve adták meg.

Az erre a megoldásra vonatkozó kérdésre a hallgatók azt válaszolták, hogy „nem akartak sokszor fel-alá mozogni a térben”. Noha a szükséges mozgás csak az egér enyhe mozgatását igényelte, úgy tűnik, hogy az agy ezt a pici mozdulatot mindennapi mozgásként ábrázolja. Így a praktikum és a kényelem motiváló tényezőként indítja be a memorizálási folyamatokat.

Megértés

Elsőként az információ átadásának hatékonyságára, ezáltal a megértés elősegítésének vizsgálatára vonatkozó projekt rövid bemutatása következik. A projekt azt vizsgálta, hogy hogyan lehet kommunikálni és megosz-

tani a munkafolyamatokat nyelvi leírások, digitális tartalom és technológiai eszközök segítségével [6], elsősorban az e-Learning és a VR tanulás tartalmára és digitális eszközeire koncentrálva. Az összehasonlításban a klasszikus e-mail/csatolmányalapú, a webes e-Learning felületen (egy Moodle oldalon keresztül) történő, valamint a 3D-s MaxWhere VR felületen keresztüli megosztások vettek részt. Ebből a célból új módszereket és új fogalomkészletet határoztunk meg a digitális képességek és a felhasználói hatékonyság benchmarkingja érdekében a munkafolyamat-megosztás területén.

A 400 fős mintán végzett kísérlet során megvizsgáltuk, mennyi időbe telik a digitális információ feldolgozása 1 PDF dokumentum és a hozzá tartozó kérdőív, 15 db kép és a hozzá tartozó kérdőív, 1 videó és kérdőív, valamint 4 weboldal és a hozzájuk tartozó egy közös kérdőív esetén. A tesztek azt mutatják, hogy a felhasználók legalább 50%-kal gyorsabban tudták elvégezni a szükséges munkafolyamatot a MaxWhere 3D környezetben, mint az összes többi esetnél *(2. ábra)*. A kísérletben kapott helyes válaszok száma és a válaszadás ideje azt is bizonyította, hogy a 3D-s környezetek sokkal gyorsabb ismeretszerzést, jobb megértést kínálnak a felhasználók számára a digitális munkafolyamatok megosztása és értelmezése során.

A következő vizsgálat fő kérdése volt, hogy az új technológia miként befolyásolja a felhasználói tevékenységek hatékonyságát [7]. A vizsgálatot szintén a klasszikus e-mail, az e-Learning és a MaxWhere 3D VR-környezetekben végeztük. A különböző munkakörnyezetek különféle műveleteket igényelnek. Ezeknek a műveleteknek az összeszámolásával a vizsgálat megállapítása, hogy a felhasználói tevékenységek száma 30%-kal, a művelet végrehajtásához szükséges gépi műveletek száma 80%-kal lesz kevesebb a MaxWhere 3D-környezetben ugyanazon digitális munkafolyamatban, mint a hagyományos 2D-s digitális környezetekben.

Ezen eredmények alapján a projekt arra a következtetésre jutott, hogy a MaxWhere oktatási platformként számos lehetőséget kínál a felhasználók számára olyan feladatok elvégzésére, amelyek egyébként rendkívül bonyolult digitális munkafolyamatokat igényelnének a hagyományosabb 2D-s környezetben.

A vizsgálati tapasztalatokat a győri Széchenyi István Egyetem VR Learning központja felhasználja a VR oktatás megbízható és eredményes módszertanának kialakításához.

5. Összefoglalás

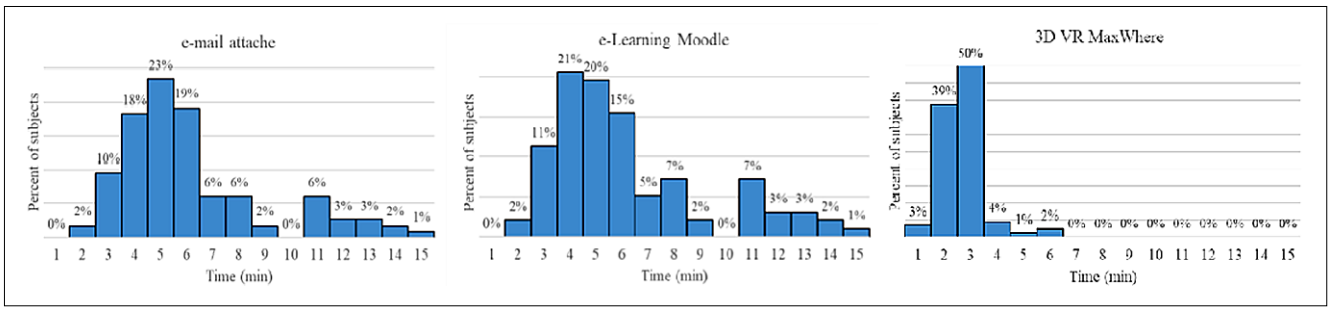
A tanulmányban bemutatott példák alapján érthetővé vált, hogy a 21. században megjelenő információdömping a háromdimenziós rendszerek segítségével válik kezelhetővé. A CogInfoCom tudományterülethez kapcsolódva a jövőben megjelenő 3D-s operációs rendszerek és az emberi kognitív folyamatok előfutáraként a MaxWhere 3D VR vizsgálatok igazolták a 3D-ben rejlő kognitív terhelést csökkentő hatásokat. A szakemberek még erre az évtizedre jósolják a 3D alapú operációs rendszerek megjelenését. A DOS–Windows után a 3D alapú rendszerek fő motivációja megegyezik a MaxWhere 3D VR platform motivációjával, miszerint a 3D-ben való mozgás egy további agyterületet, a parietális lebenyt kapcsolja be, így az információ észlelése és feldolgozása megváltozik. A tanulmányban bemutatott kutatási eredmények egyértelműen alátámasztják, hogy a 3D-terekben dolgozó diákok munkája 30%-kal hatékonyabb, és esetükben 50%-kal javul az emlékezés (visszahívás), valamint 50%-kal gyorsabb a tananyag átlátás.

Az aktív tanulás serkenti a kognitív folyamatokat, így új dimenziót nyit az ismeretszerzés és feldolgozás világában, új oktatási módszerek létrejöttét inspirálja.

Miért jelent áttörést a 3D VR az oktatásban?

1. Jelentősen segíti a tananyagmegosztást és a tananyaghoz való tértől és időtől független hozzáférést.
2. A 3D VR oktatás esetén jelentős költségcsökkentés jelentkezik. A valós laboratóriumok, mérő- és vizsgáló berendezések és a digitalizált másolataik együttes használata a költségcsökkentésen túl (kevesebb eszközberuházás, kevesebb labor- és rezsiköltség) a tanulmányi teljesítmény jelentős javulását eredményezik.
3. A 3D VR és a hozzá könnyen kapcsolható egyéb technikákból származó információk (drónok, nanorobotok stb.) segítségével olyan területek is bejárhatók, amelyeket a valós életben nem tudnánk megvalósítani az oktatás során. (Például az emberi test, veszélyes, magas sugárzású vagy mérgező anyagokkal telített környezet stb.)
4. A VR oktatás kapcsolódódása az Ipar 4.0, a Digital Twin, az automatizáció és egyéb innovatív technológiákhoz biztosítja, hogy a diákok olyan digitális oktatási környezetben szocializálódjanak, mint amivel a munkába állást követően fognak találkozni.

2. ábra Válaszadási idők a vizsgált tartalommegosztási felületek esetén [6]



5. A globalizálódó gazdaságban a munkaerőpiac által igényelt készségek kialakítását, fejlesztését a VR-oktatás biztosítja. A kollaboráció, a csoportmunka, a projektek megtervezése és kivitelezése, a problémamegoldó, kreatív gondolkodás fejlesztése, a szakmai idegennyelvtudás fejlesztése a 3D VR-terekben az új módszertanok és a könnyen használható online kollaboratív szoftverek segítségével megvalósul.
6. Az esélyegyenlőség megteremtése: az internet, a VR-tér segítségével a hátrányos helyzetű diákok is eljuthatnak a világ minden tájára és minden további költségráfordítás nélkül múzeumokat, földrajzi, történelmi helyszíneket járhatnak be.

A CE-generációhoz tartozó diákok digitális életvitele „kikényszeríti" az innovatív oktatás széleskörű elterjedését. A ma már rendelkezésre álló 3D virtuális technológiákban rejlő lehetőségek lehetővé teszik a formális oktatás határainak áttörését az e-tanulás és a VR-oktatás további megerősítésével.

A pozitív vizsgálati eredményekre alapozva, azok eredményeit felhasználva a Széchenyi István Egyetem célul tűzte ki a már jól működő e-Learning rendszer mellett a 3D VR oktatás megvalósítását. Jelenleg 100 tantárgy teljes tananyagtartalma (1400 tanóra tananyaga) segíti a hallgatók felkészülését az egyetemen.

Örömünkre szolgál, hogy több hazai és külföldi egyetem, úgy, mint a BME, az ELTE, a DE, a PTE, a DUE, vagy az Ausztrál Nemzeti Egyetem és a Chinese University of Hong Kong és közoktatási intézmények is megkezdték a tananyagok MaxWhere VR terekben történő használatát.

A szerzőről

HORVÁTH ILDIKÓ doktori fokozatát a Széchenyi István Egyetemen, informatika területen szerezte. Több mint 15 évig oktatott informatikát a Pécsi Tudományegyetemen. Jelenleg a Széchenyi István Egyetem egyetemi docense és az első Magyar VR Learning Központ vezetője. Kutatása a CogInfoCom tudományterület szempontjából a tanulhatóság kérdéseire, valamint a virtuális valóság és a kibővített valóság által támogatott oktatásra összpontosít. Kifejlesztette és bevezette az edu-coaching oktatási módszert, amelyet ma is alkalmaznak a VR alapú oktatásban.

Hivatkozások

[1] P. Baranyi, A. Csapo, Gy. Sallai,
Cognitive Infocommunications (CogInfoCom),
Springer International Publishing Switzerland,
p.191., (978-3-319- 19607-7).
http://www.springer.com/us/book/9783319196077#aboutBook

[2] P. Baranyi and A. Csapo,
Definition and Synergies of Cognitive Infocommunications,
Acta Polytechnica Hungarica,
Vol. 9, pp.6783, 2012., (978-3-319- 19607-7).
http://www.springer.com/us/book/9783319196077#aboutBook

[3] László Imre Komlósi, Patrick Waldbuesser,
The cognitive entity generation: Emergent properties in social cognition,
Cognitive Infocommunications (CogInfoCom),
6th IEEE International Conf. on Year 2015, pp.439–442.,
DOI: 10.1109/CogInfoCom.2015.7390633.

[4] I. Horváth,
Digital Life Gap between students and lecturers.
In: Proc. of 7th IEEE International Conf. on CogInfoCom, Wroclaw, Poland, 16-18.10.2016.
Budapest: IEEE Hungary Section, pp.353–358., 2016.
(ISBN 978-1-5090-2644-9; 978-150902645-6).

[5] I. Horvath,
Behaviors and Capabilities of Generation CE Students in 3D VR,
In: Proc. of 10th IEEE International Conf. on CogInfoCom, Naples, Italy, 23-25.10.2019.
pp.491–494., (ISBN 978-1-7281-4793-2).

[6] B. Lampert, A. Pongrácz, J. Sipos, A. Vehrer, I. Horváth,
MaxWhere VR-learning improves effectiveness over clasiccal tools of e-learning,
Acta Polytechnica Hungarica, 15(3):125–147., 2018.

[7] Ildikó Horváth, Anna Sudár,
Factors Contributing to the Enhanced Performance of the MaxWhere 3D VR Platform in the Distribution of Digital Information,
Acta Polytechnica Hungarica, 15(3):149–173., 2018.

[8] T. Budai, M. Kuczmann,
Towards a Modern, Integrated Virtual Laboratory System,
Acta Polytechnica Hungarica, 15(3):192–204., 2018.

[9] L. Freina, M. Ott,
„A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives",
In: The International Scientific Conference eLearning and Software for Education, Vol.1, p.133.
„Carol I" National Defence University, 17 April 2015.

[10] J. Martín-Gutiérrez, C.E. Mora, B. Añorbe-Díaz and A. González-Marrero,
„Virtual technologies trends in education,"
Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education, 13(2):469–486, 2017.

[11] *www.maxwhere.com*

[12] F. Rodriguez, J.C. López, J.P. Vargas, C. Broglio, Y. Gómez and C. Salas,
Spatial memory and hippocampal pallium through vertebrate evolution: insights from reptiles and teleost fish.
Brain Research Bulletin, 57(3-4):499–503, 2002.

[13] Robert H. Logie,
Visuo-spatial processing in working memory.
The quarterly Journal of Experimental Psychology, 38(2):229–247, 1986.

[14] Á. Csapó, I. Horváth, P. Galambos, P. Baranyi,
VR as a Medium of Communication: from Memory Palaces to Comprehensive Memory Management In CogInfoCom,
9th IEEE International Conference, Budapest, 2018.

[15] Eric L.G. Legge, Christopher R. Madan, Enoch T. Ng, and Jeremy B. Caplan,
Building a memory palace in minutes:
Equivalent memory performance using virtual versus conventional environments with the method of loci.
Actapsychologica, 141(3):380–390, 2012.

[16] Borbála Berki,
Better Memory Performance for Images in MaxWhere 3D VR Space than in Website,
9th IEEE International Conference on CogInfoCom,
pp.283–287., 2018.

[17] Borbála Berki,
Desktop VR as a Virtual Workspace: a Cognitive Aspect,
Acta Polytechnica Hungarica, 16(2):219–231., 2019.

[18] Borbála Berki,
Does Effective Use of MaxWhere VR Relate to the Individual Spatial Memory and Mental Rotation Skills?
Acta Polytechnica Hungarica, 16(6):41–53., 2019.
DOI: 10.12700/APH.16.6.2019.6.4.

5G és az okos gyártás kihívásai

GÓDOR ISTVÁN
Ericsson Research
istvan.godor@ericsson.com
VIDÁCS ATTILA
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
vidacs@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: 5G, okos gyártás, Ipar 4.0, 5G-SMART, MTC, NR, TSN

Az 5G jóval többet jelent, mint amit a telefónia vagy a mobil szélessáv szemszögéből láthatnak napjaink lakossági felhasználói. Lehetőséget teremt az ipar és a társadalom átalakulására és digitalizálására, a dolgok internetének széleskörű elterjedésére, valamint mobilitást kaphatnak akár a kiber-fizikai rendszerek is. Kiemelt figyelmet kapnak a kritikus infrastruktúrákhoz tartozó kommunikációs igények, mint például a közlekedés, gyártás és termelés esetében. Ezen esetekben még fontosabb a magas megbízhatóság és a determinisztikus alacsony késleltetés, amit az 5G ígér.

1. Bevezetés

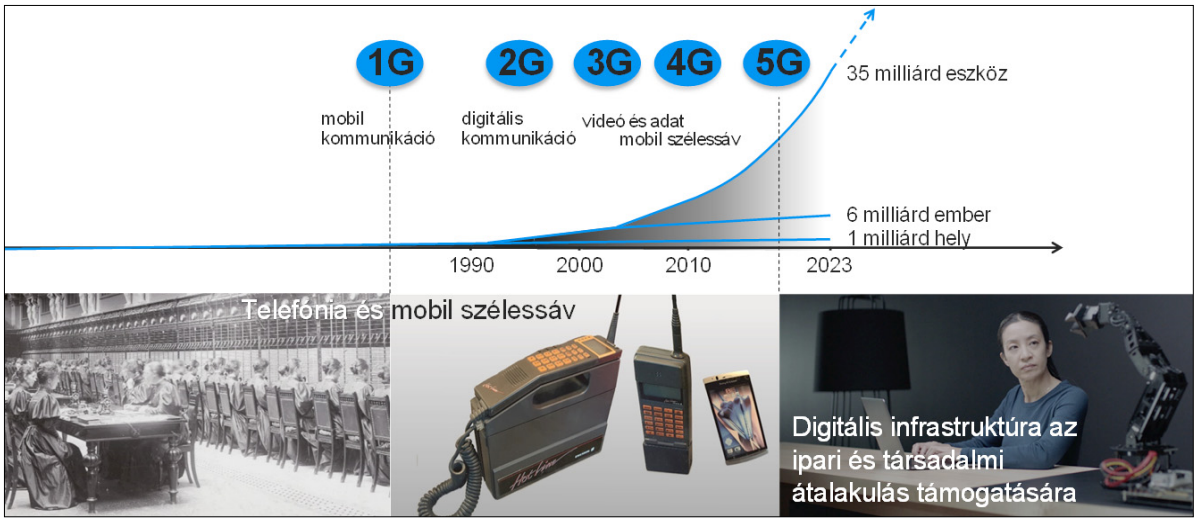
A vezetékes telefonvonalak száma a telefónia első száz évében fokozatosan érte el a 250 milliót, majd végül a 2006-os év környékén tetőzött nagyjából 1,25 milliárd előfizetői vonallal *(illusztrációként lásd az 1. ábrát)*.

Az 1980-as években azonban egy új korszak születésének lehettünk tanúi, megjelent a cellás mobiltelefon hálózatok első generációja (1G), amely új alapokra helyezte a kommunikáció szabadsága nyújtotta lehetőségeket (pl. az 1981-ben indult Nordic Mobile Telephony – NMT rendszer a skandináv országokban). A mobilhálózatok második generációja (2G) a GSM, amely már digitális hangátvitelt tett lehetővé a korábbi analóg helyett. Ezzel megteremtődött a digitális mobilkommunikáció, amely már globálisan elérhetővé vált az emberek számára. Azonban a GSM ennél egy kicsit többet is hozott. Új szolgáltatásként megjelent a rövid szöveges üzenetek (SMS) lehetősége, amely már túlmutatott a korábbi hangalapú kommunikáció nyújtotta lehetőségeken.

A harmadik generáció (3G) hozta el számunkra a valódi mobil adatkommunikáció lehetőségét, az első videóhívásokat és a mobilinternetezés lehetőségét is. Amint az adatkapcsolatok sebessége növekedett, megjelentek az első okostelefonok, amelyek már alapjaiban változtatták meg az emberek mindennapjait, kommunikációs igényeit és szokásait, valamint a hírek és érdekességek iránti érdeklődését.

A negyedik, jelenleg világszerte elérhető mobil távközlési rendszer (4G) hozta el az igazi mobil szélessávot, amely már olyan felhasználói élményt képes nyújtani, ami nem igényel kompromisszumokat. Bárhol használhatjuk mobiltelefonjainkat, tabletjeinket vagy éppen laptopjainkat úgy, mintha otthon lennénk. Zenét hallgathatunk, videót, de akár tévét is nézhetünk útközben, vagy épp munkába menet.

Ezidáig a mobil hálózatok különböző generációi leginkább a lakossági felhasználók telefonálási, majd adatkommunikációs igényeit elégítettek ki. Az új, ötödik generációs (5G) szabvány és rendszerek természetesen továbbra is igyekeznek majd kiszolgálni az emberek folyamatosan növekvő kapacitás- és minőségi igényeit, és megteremteni a teljes globális lefedettséget a legeldugottabb helyeken is.



1. ábra
A telefónia fejlődése [forrás: Ericsson]

De ezúttal a lakossági igények mellett egy új irány fog sokkal jelentősebb mértékben megjelenni. Ugyan a különböző gépek, eszközök, sőt a dolgok internete is kapott már egy kis ízelítőt a mobilitásból a keskenysávú IoT (Narrowband IoT, NB-IoT), illetve az LTE (Long Term Evolution) eszközöknek szánt verziójának (CAT-M1) kommunikációs lehetőségei révén, de a napjainkban zajló digitalizálás már megköveteli, az 5G rendszer pedig lehetőséget nyújt arra, hogy mindent hálózatba tudjunk kapcsolni, aminek erre szüksége lehet, ideértve a kritikus infrastruktúrákat is a közlekedés, szállítás és gyártás területén. Ez utóbbi területeken még fontosabb a magas megbízhatóság és a determinisztikus alacsony késleltetés.

A következőkben összefoglaljuk az okos gyártás hozta igényeket és a válaszul adott technológiai újdonságokat. A teljes szektor erőteljes átalakulás alatt áll, a fejlődést segítendő, nagy figyelmet kap a technológiai támogatást nyújtó K+F tevékenység is. Cikkünkben példaként az Európai Unió által támogatott 5G-SMART kutatás-fejlesztési projekt kerül bemutatásra, amely a kapcsolódó üzleti-, ipari- és technológiai kérdésekre igyekszik választ adni. Zárásként bemutatjuk a legfontosabb technológiai újdonságokat és tulajdonságokat, amiket az 5G nyújtani tud.

2. Az ipar átalakulása

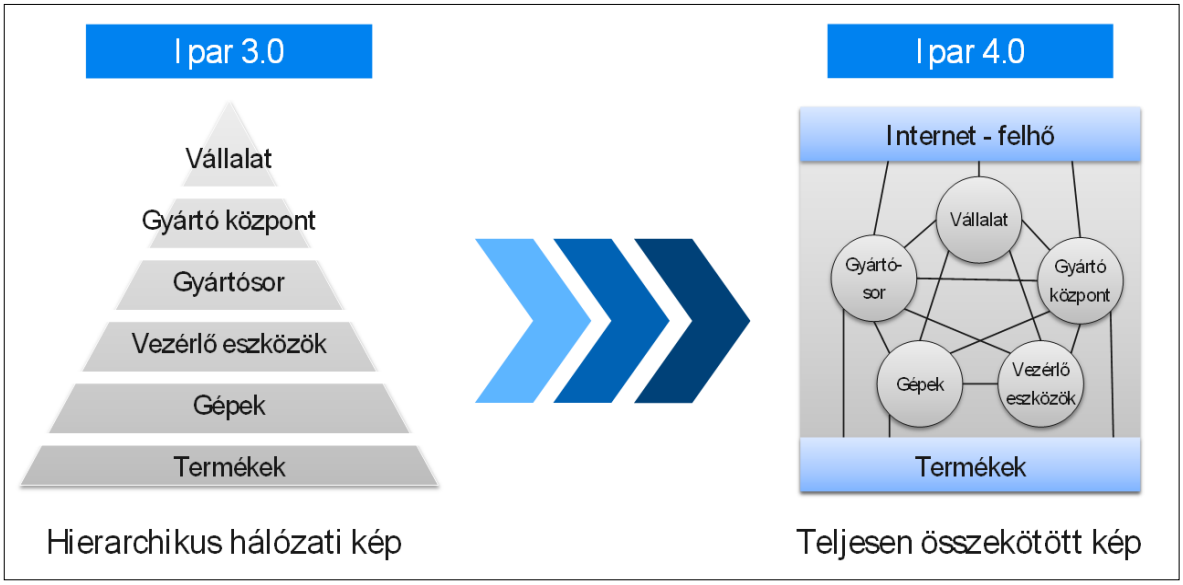
Forradalminak is tekinthető generációváltásokról az iparban éppúgy beszélhetünk, mint a mobiltechnológia generációiról. Az Ipar 4.0 fogalom a negyedik ipari forradalomra utal, lényegében az információs technológia és az automatizált gyártástechnológiai folyamatok egyre szorosabb összefonódását takarja. Eredményeként a gyártási módszerek és folyamatok alapvető változásokon mennek keresztül, a termelésben a fókusz az emberi erőforrásról egyre inkább a gépek intelligens együttműködésére helyeződik át. Az Ipar 4.0-ra mint vízióra tekintve az elképzelt cél: egy nagyon hatékony, összekapcsolt és rugalmas „jövő gyára”, amely képes – elsőre talán paradoxnak tűnő módon megfogalmazva – egyedi, személyre és egyéni igényekre szabott termékek tömeggyártására. Ahhoz, hogy ezt az ambiciózus célt elérjük, napjaink ipari gyártósorait fel kell készíteni arra, hogy rugalmasan, együttműködve és dinamikusan átkonfigurálva is képesek legyenek működni, mindeközben nem feladva az elvárt magas minőségi és biztonsági követelményeket.

Az információs technológia és gyártástechnológia erőteljes összefonódása bomlasztó konvergencia abban az értelemben, hogy egy termék teljes életciklusát tekintve az értéklánc szereplői újra kell pozícionálják helyüket és szerepüket, ezáltal egy új gazdasági-ipari ökoszisztémát megteremtve.

Az 5G szerepe a most zajló átalakulásban alapvetőnek tűnik. A jövő gyártói rendszerei szükségessé teszik egy megbízható kommunikációs hálózat telepítését, amely rendszer képes kell legyen egyszerre kiszolgálni a megjelenő újszerű, heterogén kommunikációs igényeket, figyelembe véve mind az eszközök nagy számát, mind a forgalmazott adatok mennyiségi, minőségi és elvárt késleltetési igényeinek széles skáláját is.

Hálózati és kommunikációs szempontból megvizsgálva a helyzetet, napjaink modern gyártósorait a vezetékes technológiák uralják (>90%). Ráadásul ezen technológiák piaca erősen töredezett. A különféle gyártók rendszereinek integrálásához az egyes ipari hálózati technológiák között protokollkonverzióra van szükség, üzemi szinten átjárók választják el egymástól a lokálisan összekötött kis szigeteket. Általánosságban is elmondható, hogy jelenleg a vertikális (hierarchikus) megoldások összekapcsolásának eredményeképp a teljes rendszer merev és nehezen átalakítható *(2. ábra)*.

Ezzel szemben a jövő gyáraiban az elvárt kommunikációs architektúra egy teljesen elosztott és összekötött képet mutat (az ábra jobb oldala). Az összeköttetések és folyamatok szervezése ezáltal teljesen rugalmas, igény szerinti lehet. Az 5G egy potenciálisan alkalmas megoldást nyújt erre a feladatra.



2. ábra Az ipar átalakulása [Forrás: 5G-SMART]

3. Az 5G-SMART projekt

Az 5G-SMART K+F projekt célja, hogy megmutassa, az 5G miként lendítheti fel az okos gyártást [2]. Az ipar szempontjából talán az elsődleges kérdés az, hogy üzletileg is megfelelő választás-e a vezeték nélküli technológia használata. Ehhez mindenképpen szükség van a különböző üzleti modellek feltérképezésére, és magának az 5G-ökoszisztémának a megértésére.

A projekt megvizsgálja, hogy mi lehet a mobil szolgáltatók szerepe az ipari hálózatok kiépítésében és üzemeltetésében, mely területekre érdemes nem publikus hálózatokat kiépíteni, és hogyan tudnak együtt élni az ipari rendszerek a publikus lakossági hálózatokkal az adott ipari környezetekben, illetve a hálózati szeletelés (network slicing) mennyiben váltja ki a gyakorlatban a párhuzamos hálózati kiépítést. Természetesen stratégiai kérdés, hogy a szabályozási környezet, különösen a spektrum használata mennyiben korlátozza az üzleti szabadságot, illetve a tapasztalatok alapján milyen irányú javaslatokat lenne érdemes kidolgozni a szabályozó testületeknek. Gondoljunk itt például arra, hogy a terjedési tulajdonságai miatt a milliméter hullámhosszú kommunikáció az ipari létesítményeken belül marad, amely nagyobb szabadságot ad akár a létesítmény tulajdonosának vagy a lehetséges szolgáltató(k)nak.

Természetesen alapvető kérdés, hogy az 5G ígéretei és funkciói milyen minőségben valósíthatók meg a gyakorlatban is a különböző ipari környezetekben. Legelső kérdés talán magának a telepítésnek a kivitelezése, figyelembe véve a változatos beltéri környezetet:

– Hogyan terjednek a rádiós jelek, különösen a milliméter hullámhosszúak a gépekkel és fémszerelvényekkel teletűzdelt gyártócsarnokokban?
– Zavarhatja-e a vezeték nélküli kommunikáció, pl. a nanotechnológiás chipgyártást (gondoljunk az elektromágneses kompatibilitásra (Electromagnetic Compatibility, EMC)?
– Milyen teljesítményt képes nyújtani az ultra-megbízható és alacsony késleltetésű kommunikáció (Ultra-Reliable Low-Latency Communication, URLLC), a tömeges gépi jellegű kommunikáció (massive Machine Type Communications, mMTC) és a fejlett mobil szélessáv (enhanced Mobile Broadband, eMBB)?
– Milyen számítási feladatokat érdemes magukban a gépekben, esetleg helyben a felhő szélén (edge cloud) vagy a mély felhőben elvégezni?

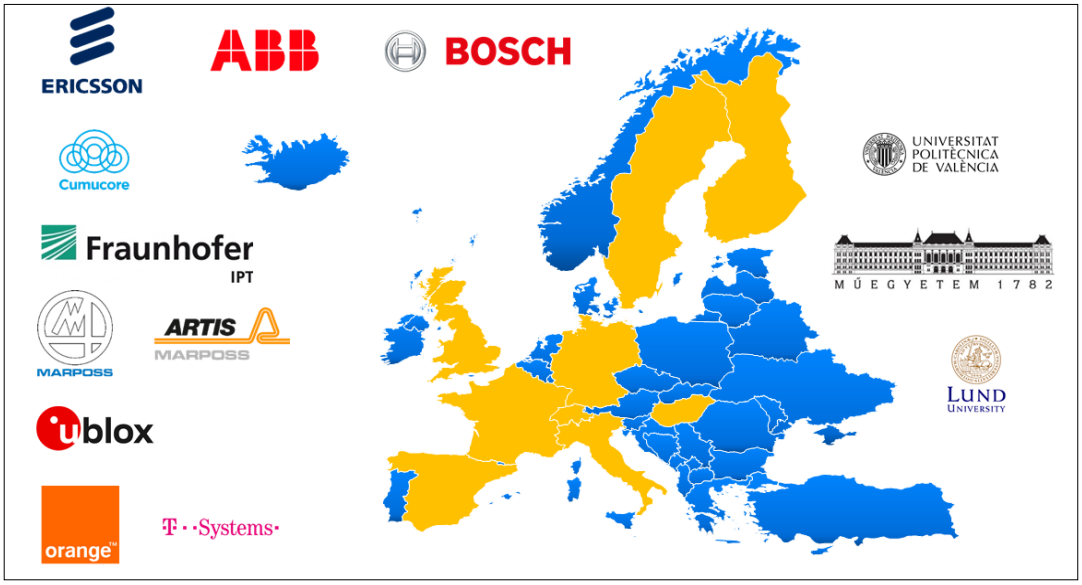
A projektnek további célja, hogy az ipari tapasztalatok alapján járuljon hozzá a még szabványosítás alatt álló speciális 5G-funkcionalitások és technológiai megoldások kidolgozásához. Ilyen kérdéskörök többek között a TSN/ipari LAN és az 5G integrációja (Time-Sensitive Networking, TSN és Local Area Network, LAN), az időszinkronizálás és pozícionálás az 5G segítségével, valamint az iparközpontú hálózatok konfigurációs és menedzsment keretrendszerének és alapelveinek kidolgozása.

3.1. Az 5G-SMART projekt ipari teszt területei

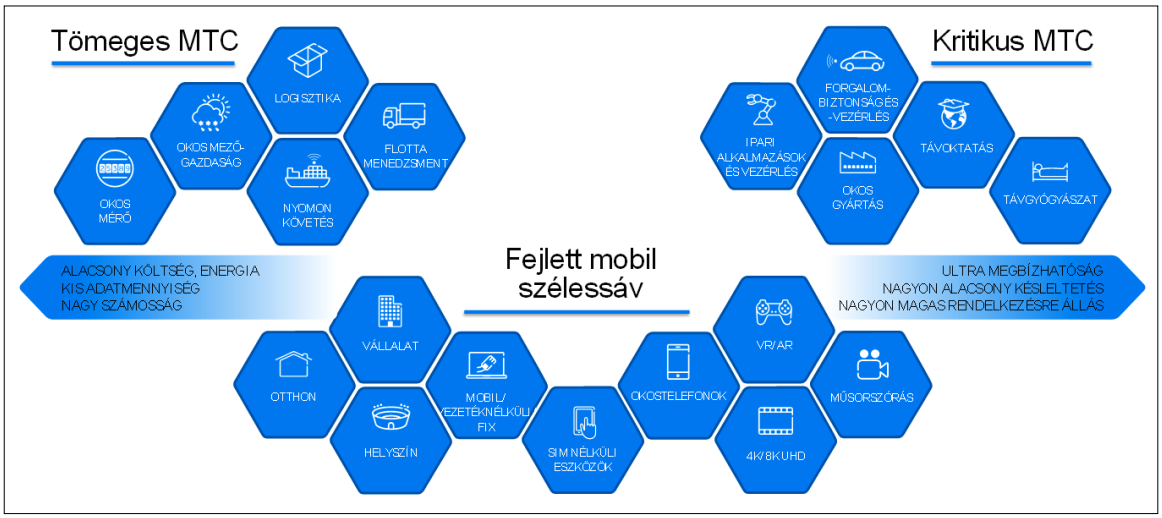
Maga a projekt egy ipari fókuszú konzorciumban öltött formát, ahol az infokommunikációs (Information and Communications Technology, ICT) technológiák és az ipari technológiák (Operational Technology, OT) adják a projekt 86% százalékát, az akadémiai oldalt pedig a valenciai és lundi egyetemek mellett a BME képviseli *(3. ábra)*.

Maguk az ipari tesztek három telephelyen, az Ericsson, a Fraunhofer IPT és a Bosch gyáraiban fognak megvalósulni a következőkben felsorolt témakörökben, de alapvetően nemcsak egy gyárra fókuszálva.

A robotikán belül kiemelt figyelmet kap vezeték nélküli hálózatok használata, mind a robotok egymás közötti, mind az emberek és robotok közötti együttműködés vezérlése szempontjából. Ez utóbbiban a különböző szenzorok közül kiemelt szerepet kap a gépi látás. A robotok tesztelésében napjainkban fontos szerepet kapnak a digitális ikrek (digital twin, DT), amelyekhez egy rugalmas multi-szenzor platform elkészítése is célja a projektnek. A virtuális, illetve kiegészített valóság nemcsak az digitális ikrek vonatkozásában, hanem az üzemcsarnokok megjelenítésében is szerepet kap, ezzel segítve az ott dolgozó munkások napi teendőit.



3. ábra
Az 5G-SMART projekt résztvevői
[Forrás: 5G-SMART]



4. ábra 5G használati eseteinek elvárásai [Forrás: Ericsson]

A jövő gyárainak rugalmas munkafolyamatait támogathatja a vezeték nélküli vezérlés, valamint maguknak a munkadaraboknak a szenzoralapú felügyelete is. Ez egy teljesen új kihívás a mobil hálózatok számára, hiszen a lefelé irányuló vezérlés sokszor csak néhány csomag elküldéséből áll, viszont annak milliszekundumon belül meg kell érkeznie az eszközhöz (gondoljunk csak vészleállítási folyamatokra), miközben felfelé irányban Gbit/sec sebességű kapcsolatokra lehet szükség a rengeteg mérési adat továbbítására. Ez egy fordított helyzet a korábban megszokott használathoz képest és nagy kihívások elé állítja az URLLC és eMBB kapcsolatokat is.

Természetesen a már korábban említett feladatok közül a már meglévő ipari megoldások és az 5G együttélésének vizsgálata az ipari teszteknek is fontos eleme lesz, mind a TSN/ipari LAN és 5G integrációja, mind pedig az elektromágneses kompatibilitás szempontjából.

4. 5G technológiai támogatás az okos gyártásban

Az 5G-vel sok-sok célterületet szeretnénk kiszolgálni, amelyek túlmutatnak a lakossági felhasználók támasztotta igényeken [1,3-6]. A *4. ábrán* foglaltuk össze a legfontosabb használati eseteket három fő csoportba bontva [1,3]. A fejlett mobil szélessáv az okostelefonokon, tableteken és PC-ken kívül természetesen megcélozza az otthonokat, vállalatokat, a különböző rendezvényhelyszíneket és lehetőséget ad virtuális valóság (virtual reality, VR), kiegészített valóság (augmented reality, AR) és 4K/8K nagyfelbontású videók közvetítésére, sőt akár még műsorszórásra is.

A gépi jellegű kommunikációt (Machine Type Communication, MTC) alapvetően két csoportra bonthatjuk: a tömeges (mMTC) és a kritikus (cMTC) csoportokra.

A tömeges MTC elvárása, hogy alacsony költséggel és energiafogyasztással tudjanak az eszközök kapcsolódni. Ezek az eszközök tipikusan kis adatmennyiséget forgalmaznak és természetesen tömegesen fordulnak elő. Ide sorolandók a különböző okos mérők, mezőgazdasági szenzorok, logisztikai-, nyomonkövető- és flottamenedzsment rendszerek is.

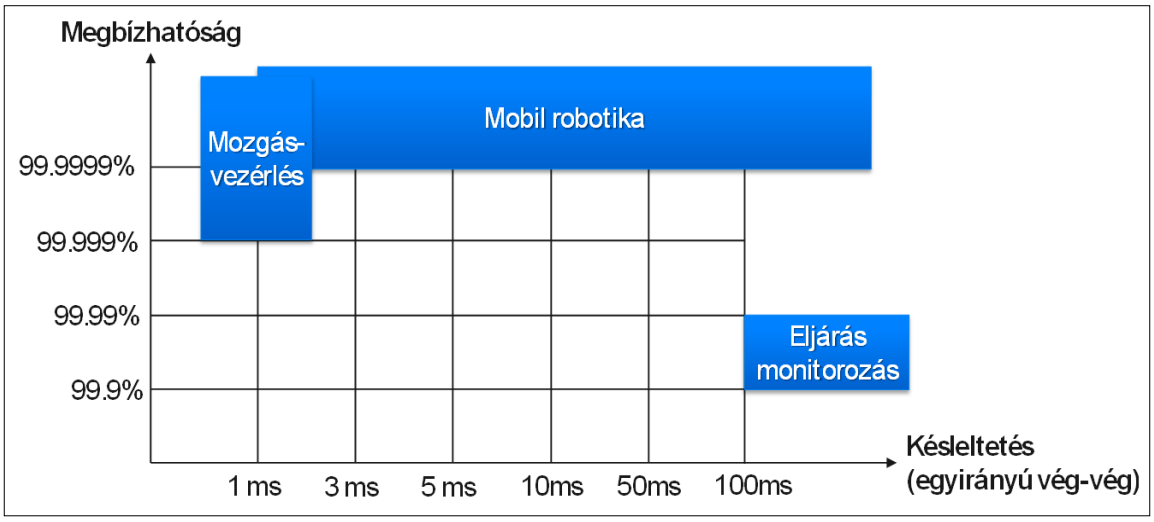
A kritikus MTC ezzel szemben ultra magas megbízhatóságot, nagyon alacsony késleltetést és nagyon magas rendelkezésre állást vár el a hálózattól. Ide sorolandók a különböző forgalombiztonsági és -vezérlési rendszerek, a távgyógyászat, távoktatás, az ipari alkalmazások és vezérlések, valamint az okos gyártás is. A következő alszakaszokban az okos gyártáshoz kapcsolódó és a kritikus MTC-t támogató 5G-s funkciókat mutatjuk be röviden.

4.1. Alapvető elvárások kritikus kommunikáció esetén

Talán a legfontosabb elvárás kritikus kommunikáció esetén, hogy a kommunikáció determinisztikusan és megbízhatóan történjék és mindez általában oly módon, hogy a késleltetés rendkívül alacsony legyen *(5. ábra)* [1,3].

Kritikus kommunikáció esetén a késő csomagokat úgy tekinthetjük, mintha elvesztek volna. Ezért például a késleltetés tekintetében nem elég egy statisztikusan

5. ábra Kritikus kommunikáció elvárásai [Forrás: Ericsson]



6. ábra Megbízhatóság és késleltetés elvárások ipari környezetben [Forrás: Ericsson]

megadott várható érték, vagy egy 95%-os percentilis, hanem sokkal szigorúbb követelményeknek kell megfelelni. A hagyományosan öt-kilencesnek hívott távközlési minőség ebben az esetben azt jelenti, hogy 99.999%-ban garantáljuk, hogy mekkora lesz a legnagyobb késleltetés, másképpen legfeljebb 0,001% lesz a késő vagy elveszett csomagok aránya. Gyárak tekintetében három fő területet különböztet meg a 3GPP a TS 22.104-ben:

- *Mozgásvezérlés:*
  0,5 ms és 2 ms közötti egyirányú végpontok közötti (E2E) késleltetés,
  és legalább 99,999% megbízhatóság.
- *Mobil robotika:*
  változó késleltetési igény (vezérlés függvényében) 1 ms-tól akár 100 ms-ig tartó skálán,
  és legalább 99,9999% megbízhatóság.
- *Eljárás-monitorozás:*
  100 ms és 60 s közötti késleltetés, tipikusan 99,99% és 99,999% megbízhatósági igénnyel.

4.2. Alacsony késleltetés biztosítása 5G New Radio segítségével

Alacsony késleltetést alapvetően kétféleképpen érhetünk el mobil hálózatokban. Az egyik irány magának a rádiós keretnek az átszervezése, rövidebb rések (ún. slot-ok) alkalmazása a kommunikáció során. Természetesen az 5G New Radio (NR) erre is lehetőséget ad, különböző alvivő-távolságok esetén (sub-carrier spacing, SPS) különböző réshosszakkal számolhatunk, így alapvetően négy adatkommunikációra szánt esetet különböztethetünk meg:

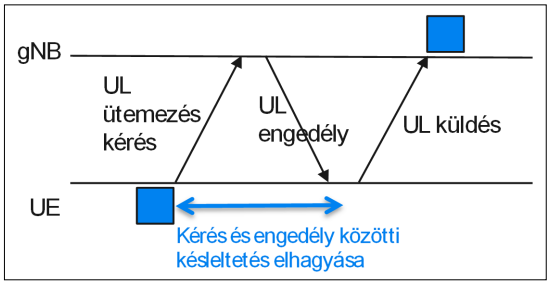
- $\mu = 0$: 15 kHz SCS és 1ms réshossz (≤6 GHz vivőfrekvencián);
- $\mu = 1$: 30 kHz SCS és 0,5 ms réshossz (≤6 GHz vivőfrekvencián);
- $\mu = 2$: 60 kHz SCS és 0,25 ms réshossz (minden vivőfrekvencián, bár alacsony frekvenciákon opcionális);
- $\mu = 3$: 120 kHz SCS és 0,125 ms réshossz (>6 GHz vivőfrekvencián).

Másik irány a különböző ütemezési, hibajavítási és beelőzési (pre-emption) megoldások alkalmazása, amelyeknek kifejezetten a gyors működés a célja. Az ultra megbízható alacsony késleltetésű kommunikáció (Ultra-Reliable Low-Latency Communication, URLLC) fő célja éppen ennek az alacsony késleltetésnek és gyors működésnek a biztosítása. Erre látunk három példát a *7-9. ábrákon* [1,3].

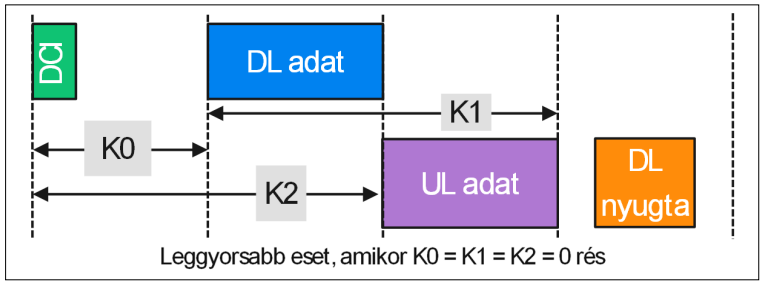
Az NR egyik nagy újdonsága, hogy kritikus adatfolyamok részére előre kioszthatunk erőforrásokat, hogy ezáltal biztosítsunk rövidebb csatornahozzáférési időt számukra. Ezt hívjuk előütemezésnek (pre-scheduling), melylyel felfelé (uplink, UL) irányban sokat nyerhetünk* azzal, hogy nemcsak hagyományos ütemezés kérés (scheduling request, SR) és dinamikus engedély (grant) válasz után küldhetünk felfelé irányban, hanem „egyből" is, egy ún. előre konfigurált engedély (configured grant, CG) segítségével. Ezáltal az előütemezés javítja a késleltetést és megbízhatóságot is, hiszen a küldéshez nincs szükség az ütemezés kérésére és az erre válaszul adott engedélyre, másfelől így kevesebb az esély a hibára is *(7. ábra)*.

** Például akár 1,5-2 ms-ot egy 3 DL és 1 UL osztású μ=1-es rendszerben. Ez ms-nagyságrendű késleltetést elváró infrastruktúrában sok lehet.*

7. ábra Előütemezés [Forrás: Ericsson]

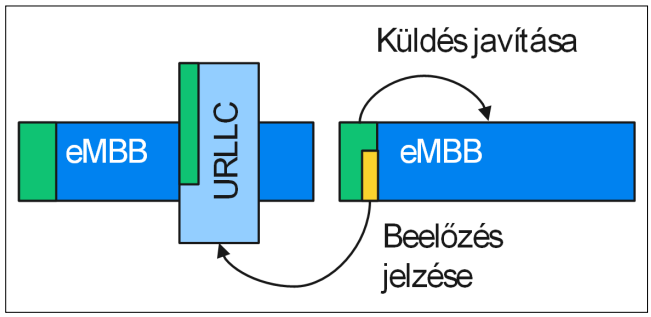


8. ábra Gyors HARQ [Forrás: Ericsson]



Az NR teljesen dinamikus és ezáltal gyorsabb HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) megoldást nyújt a korábbi generációkhoz képest. Igazából csak a felhasználói készülék (user equipment, UE) és a bázisállomás (5G base station – gNB) feldolgozási sebességén múlik a gyorsaság, mivel egy résen belül több fizikai lefelé (downlink, DL), illetve felfelé (uplink, UL) irányuló kontrollcsatorna is lehet (Physical Downlink Control Channel, PDCCH és Physical Uplink Control Channel, PUCCH), így szinte azonnal jelezhetjük, ha hibát észleltünk *(8. ábra)*.

Mindezeken túl, a kritikus adatfolyamok akár meg is szakíthatják a legjobb szándékú (best-effort) átviteleket, így beelőzve az eMBB adatokat és elkerülve a küldés előtti várakozást *(9. ábra)*. Beelőzés esetén természetesen jelezni kell, hogy erről volt szó, azaz csak most küldjük el az eMBB adatot, és nem pedig az adott részt „javítjuk ki" ezzel a küldéssel. Ez fontos jelzés magának a hibajavító HARQ mechanizmusnak is. A jelzésre használhatunk egy dedikált beelőzés-indikátort (pre-emption indicator), vagy újként küldhetjük újra az adatunkat az NDI (new data indicator) bebillentésével, illetve csak az elveszett szakaszt is javíthatjuk egy ún. kódblokkcsoport (code block group, CGB) alapú újraküldéssel.



9. ábra Beelőzés [Forrás: Ericsson]

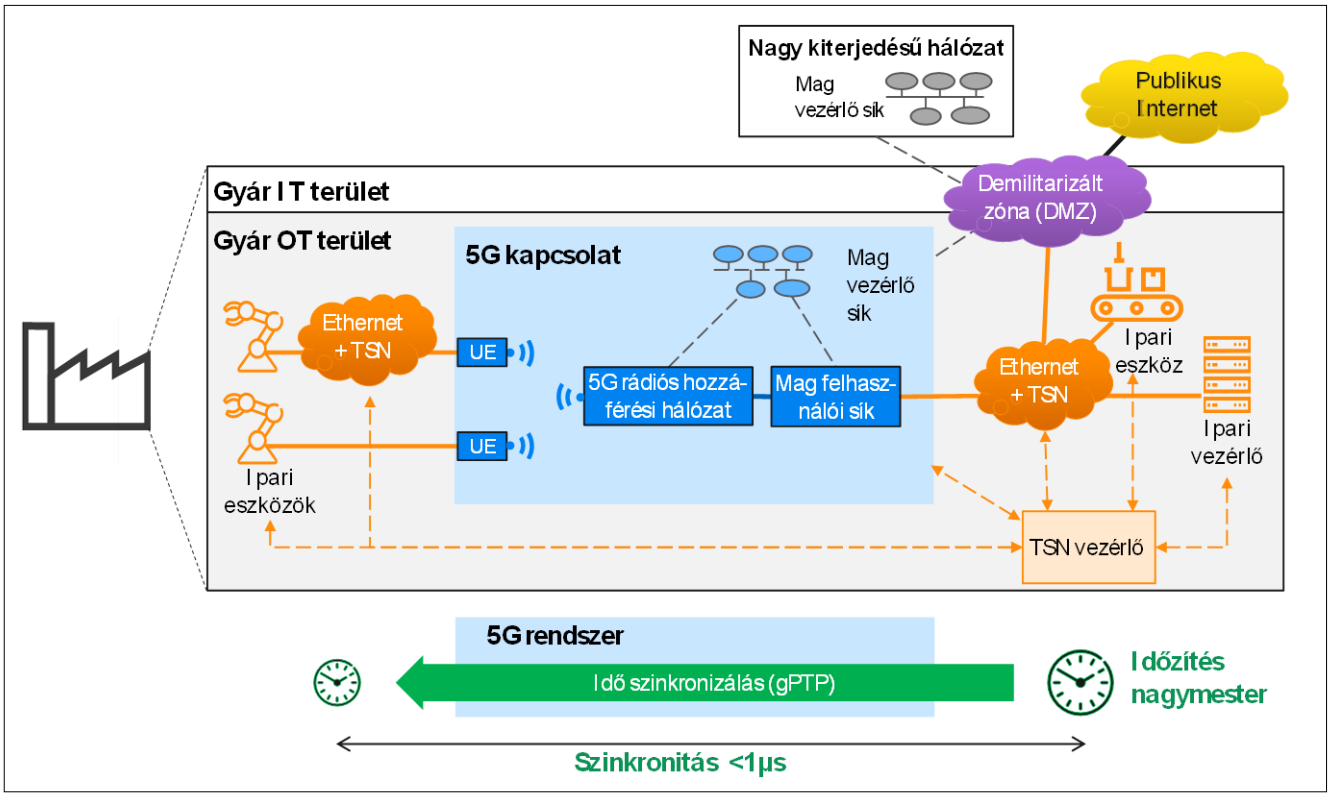
4.3. Determinisztikus kommunikáció biztosítása az 5G és a TSN integrációjával

A gyorsaság és alacsony késleltetés mellett az ipari automatizálásnak és gyártásnak kiemelten fontos, hogy determinisztikus kommunikációra legyen képes, függetlenül attól, hogy vezetékes vagy vezeték nélküli hálózati összeköttetéseket használ. Az 5G-hálózatok és az időérzékeny hálózati kommunikáció (Time-Sensitive Networking, TSN) integrálásával új lendületet adhatnak a gyártóipar és az okos gyárak fejlődésének, hatékonyságának növeléséhez [1,5,6]. Az IEEE 802.1 TSN egy olyan szabványcsomag, amely az IEEE 802.3 szerinti szabványos Ethernet-összeköttetéseket használ és amellyel ipari automatizálási hálózatok számára biztosítható a széles körben elterjedt szabványos Etherneten alapuló determinisztikus kommunikáció. Az 5G és a TSN kapcsolatát illusztrálja a *10. ábra* [1,3].

Nagyon leegyszerűsítve ezt az architektúrát, az 5G-rendszer úgy viselkedik a „két oldalán" elhelyezkedő ipari rendszer TSN-nel kiegészített Ethernet-hálózata felé, mintha maga is egy TSN-híd (bridge) lenne, amely az ipar számára elengedhetetlen pontos időzítésre alapuló ütemezést és megbízhatóságot tudja nyújtani. Az 5G-rendszer ilyenkor „felhasználói síkonként" praktikusan egy virtuális hídnak látszik.

A determinisztikus kommunikáció egyik eszköze a nagyon pontosan ütemezett kommunikáció (Scheduled Traffic, IEEE 802.1Qbv), amelyhez elengedhetetlen az idő

10. ábra 5G-vel támogatott időérzékeny gyártási architektúra (Forrás: Ericsson)



szinkronizálása, mind a hálózatokban, mind az ipari végberendezésekben. A TSN erre a gPTP-protokollt használja (generalized Precision Time Protocol, IEEE 802.1 AS), amelyet az 5G is támogat. Az 5G-rendszer ilyenkor egy virtuális gPTP időfüggő rendszernek látszik a TSN-hálózat szempontjából, amely transzparens módon továbbítja az időszinkron üzeneteket, figyelembe véve az 5G-rendszerben eltöltött időt is.

Minden mobilhálózatnak alapvető eleme az idő szinkronizálása. Mivel ez atomórán alapszik, ezért előfordulhat az a speciális eset is, amikor az 5G-rendszer órájára mint „idő-nagymester" (timing grandmaster) forrásra tekintünk, azaz az 5G-rendszer szolgáltatja az egész rendszer számára a referencia időt, beleértve a TSN-hidakat és a végberendezéseket is.

Érdemes megemlíteni, hogy a megbízhatóság növelése érdekében esetleg több felhasználói síkra is szükség lehet, például, ha az úgynevezett FRER-megoldást használjuk mind a TSN-, mind az 5G-doménben. A FRER (IEEE 802.1CB Frame Replication and Elimination for Reliability) lényege, hogy a végpontok között egymástól független utakon duplikálva haladhassanak a csomagok. A sorrendezést, a keretek egyesítését és a duplikátumok eliminálását a FRER-t támogató végpontok látják el.

5. Összefoglaló

Összefoglalva kijelenthetjük, hogy az 5G alapvető építőkövévé válik a közeljövőben a digitalizálódó társadalmunkban. Megadhatja azt a technológiai hátteret, amelyre támaszkodva mélyreható változások valósulhatnak meg az élet számos területén.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet szeretnének mondani
a cikk háttéranyagának összeállításában nyújtott segítségért kollégáiknak:
Farkas János, Varga Balázs, Miklós György, Joachim Sachs és Alexey Shapin.
Továbbá köszönet illeti az 5G-SMART projektet,
amely az Európai Unió Horizont 2020 kutatási- és innovációs programjának
támogatását élvezi, szerződésének száma No. 857008.

A szerzőkről

GÓDOR ISTVÁN az Ericsson tudományos főmunkatársa, az 5G-SMART projekt kutatója. Tagja az IEEE-nek, a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesületnek (HTE), a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) köztestületének, valamint az MTA Távközlési és Tudományos Bizottságának. Egyetemi diplomáját és doktori fokozatát a BME-n szerezte 2000-ben, ill. 2005-ben. Jelenlegi kutatási témái magukba foglalják az ipari IoT és az okos gyártás tématerületét.

VIDÁCS ATTILA a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Villamosmérnöki és Informatikai Kar Távközlési és Médiainformatikai Tanszékének (TMIT) egyetemi docense, az 5G-SMART projekt kutatója. Diplomáját és doktori fokozatát is a BME-n szerezte 1996-ban, ill. 2002-ben. Jelenleg az Okos-város laboratórium Robotika csoportjának vezetője. Érdeklődési területei: felhő-robotika, IoT kommunikációs megoldások, vezeték nélküli szenzorhálózatok.

Hivatkozások

[1] Gódor I.:
5G az okos gyártásban,
6. Magyar Jövő Internet Konferencia, 2019. november 27.,
https://www.hte.hu/documents/10180/4621589/3.1-GODOR-2019-11-27_MJIK_Godor.pdf

[2] J. F. Monserrat:
5G-SMART, EuCNC, Valencia, Spain, June 2019.
https://5gsmart.eu/wp-content/uploads/5G-SMART-EUCNC2019.pdf

[3] J. Sachs:
End to End Reliability in 5G Industrial Networks,
IEEE Emerging Technology Reliability Roundtable,
Masala, Finland, August 2019.
http://sites.ieee.org/comsoc-cqr/files/2019/09/05-Joachim_Sachs_ETR2019_Final.pdf

[4] J. Sachs, K. Wallstedt, F. Alriksson and G. Eneroth:
Boosting smart manufacturing with
5G wireless connectivity,
Ericsson Technology Review, February 2019.
https://www.ericsson.com/49232f/assets/local/reports-papers/ericsson-technology-review/docs/2019/5g-and-smart-manufacturing.pdf

[5] J. Farkas, B. Varga, Gy. Miklós and J. Sachs:
5G and TSN Integrated for Smart Factories,
TSN/A Conference, Bad Homburg, Germany, October 2019.

[6] J. Farkas, B. Varga, Gy. Miklós and J. Sachs:
5G-TSN integration meets networking requirements for industrial automation,
Ericsson Technology Review, August 2019.
https://www.ericsson.com/4a4cb4/assets/local/reports-papers/ericsson-technology-review/docs/2019/5g-tsn-integration-for-industrial-automation.pdf

IoT és Ipar 4.0 a gyakorlatban – Termelési folyamatok nyomon követése

FARKAS KÁROLY

NETvisor Zrt. / BME VIK Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
karoly.farkas@netvisor.hu

Kulcsszavak: Ipar 4.0, Tárgyak Internete (IoT), gyár, termelés, nyomonkövetés

A negyedik ipari forradalomként emlegetett digitalizációs eljárások egyre nagyobb tempóban terjednek a termelővállalatoknál. A digitalizáció például megkönnyítheti a vállalat számára a termelési folyamat monitorozását, nyomon követését. A cikkben bemutatjuk azt az általunk fejlesztett termelési folyamatot nyomon követő mintarendszert, amely a Göteborg's Food Budapest Zrt. csokoládégyár dunaharaszti termelőüzemében korábban alkalmazott hagyományos, mágnestábla alapú manuális eljárás digitalizációját és továbbfejlesztését valósítja meg, szenzorok segítségével automatikusan gyűjtött adatok felhasználásával. A digitalizált rendszernek köszönhetően sikerült a termelési folyamat monitorozását nagymértékben automatizálni, a monitorozás részletességét megnövelni, valamint az új rendszernek köszönhetően az összegyűjtött adatok automatikusan eltárolásra kerülnek, így bármikor visszakereshetők és analizálhatók.

1. Bevezetés

Napjainkban a negyedik ipari forradalomnak nevezett folyamat szemlélői vagy akár aktív résztvevői vagyunk, melynek során a fizikai gépek, tárgyak információs hálózatba kapcsolódva intelligens információs rendszert alkotnak. Az Ipar 4.0 egy olyan koncepció, amely ennek a forradalomnak a kihívásaira ad válaszokat, és amelynek elsődleges célkitűzése a fejlesztési és gyártási folyamatok rugalmasabbá, hatékonyabbá és ügyfélközpontúvá tétele. A digitalizáció segíthet ezen cél elérésében, a folyamatok kezelését, vezérlését és a hatékonyság növelését magas szinten integrált és automatizált rendszereken keresztül biztosítva.

A digitalizáció például megkönnyítheti a vállalatok számára a termelési folyamatok monitorozását, nyomon követését. Ma még a termelővállalatok nagy részénél – jellemzően a kkv szektorban – a termelési folyamat nyomon követése hagyományos, elsősorban manuális módon, papír alapon történik, ha egyáltalán megvalósul. Ez azonban többnyire helyettesíthető olyan korszerű IoT (Tárgyak Internete) és Ipar 4.0 megoldásokat tartalmazó monitorozó rendszerrel, amely a termelő gépek aktuális státuszáról adatokat gyűjtve, azokat letárolva, feldolgozva képes a termelési folyamat aktuális állapotát meghatározni és akár megjeleníteni is. Egy ilyen rendszer a termelési folyamat nyomon követését nagymértékben automatizálja és így jelentősen megkönnyíti.

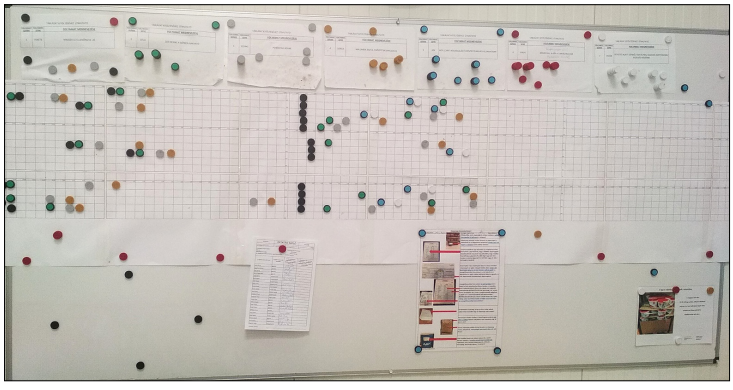
Ebben a cikkben egy olyan termelési folyamatot nyomon követő mintarendszert mutatunk be, amely a NETvisor Zrt. [1], a BME [2] és a CS-Process Mérnöki Kft. [3] együttműködésében, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal [4] által támogatott K+F projekt [5] keretében kifejlesztett új, termelővállalati környezetre szánt, menedzselt IoT-keretrendszerre [6] épül, és a Göteborg's Food Budapest Zrt. [7] dunaharaszti termelőüzemében került bevezetésre. A mintarendszer a csokoládé előállításának termelési folyamatát nyomon követő, korábban használt manuális, mágnestábla alapú eljárásnak a digitalizációját és továbbfejlesztését valósítja meg szenzorok segítségével automatikusan gyűjtött adatok felhasználásával.

A továbbiakban ismertetjük a csokoládégyárban korábban alkalmazott, a termelési folyamatot nyomon követő, hagyományos eljárást. Ezt követően bemutatjuk a kifejlesztett és bevezetett mintarendszert és annak működését. Végül egy rövid összegzéssel zárjuk a témát.

2. Termelési folyamat nyomon követése hagyományos módon

A Göteborg's Food Budapest Zrt. csokoládégyár dunaharaszti termelőüzemében a termelési folyamat nyomon követése korábban az *1. ábrán* látható, mágnestábla alapú megoldás keretében, manuálisan történt.

1. ábra Termelési folyamat nyomon követése hagyományos módon, mágnestábla alapú manuális eljárással



A táblán látható, papírlapokra nyomtatott négyzetháló egynapos (24 órás) időintervallumot reprezentál 15 perces bontásban. A négyzetháló minden egyes sora egy adott csokoládékészítő gép termelési folyamatának állapotait, illetve azok időbeli változását jeleníti meg az aktuális napon, színes korongok segítségével. A különböző színek különböző állapotokat jelölnek, összesen 6 féle állapotra bontva a termelő folyamatot. Amikor a termelő folyamat belép egy adott gépen az adott állapotba, akkor a gép operátora a táblán az állapotnak megfelelő színű korongot a belépés időpontjának megfelelő négyzetbe helyezi, amely egyúttal a termelési folyamat előző állapotának a lezárását is jelenti. A nap végén a műszakvezető lefényképezi a mágnestáblát, rögzítve ezáltal az adott napra vonatkozó adatokat, majd letisztítja azt, leszedve a korongokat a négyzethálóról, hogy másnap az üres táblán elölről lehessen kezdeni a folyamat nyomon követését.

Ez a hagyományos, termelési folyamatot nyomon követő megoldás azon túl, hogy folyamatos manuális beavatkozást igényel, számos hátránnyal jár. Egyrészt, ha az operátor elfelejti, vagy később helyezi el a táblán az adott korongot, akkor pontatlan információk jelennek meg a folyamatról. Másrészt, a tábla lefényképezésével megvalósított adatgyűjtés, illetve „adatmentés" haszna erősen korlátozott, hiszen így az adatok visszakeresése vagy későbbi, egyéb célú felhasználása nagyon nehézkes és limitált, ha egyáltalán megvalósítható.

3. Digitalizált termelési folyamat nyomonkövetés

Az általunk implementált és bevezetett termelési folyamat nyomonkövető mintarendszer az előző szakaszban ismertetett manuális, mágnestábla alapú hagyományos eljárásnak a digitalizációját és továbbfejlesztését valósítja meg szenzorok segítségével automatikusan gyűjtött adatok felhasználásával.

A mintarendszernek köszönhetően sikerült a termelési folyamat monitorozását nagymértékben automatizálni. (A manuális beavatkozás teljes mértékű kiiktatása további költséges infrastrukturális fejlesztéseket igényelt volna.) Másrészt a monitorozás granularitását is sikerült megnövelni, a korábbi 6 féle állapotot tovább finomítva összesen 13 állapotra, ezáltal a korábbi megoldáshoz képest jóval részletesebb információt lehet gyűjteni a termelési folyamatról. Továbbá az összegyűjtött adatokat a rendszer automatikusan eltárolja (a historikus adatok bármikor visszakereshetők, megjeleníthetők, vagy analizálhatók) és az állapotváltozásokat egy grafikus felületen vizualizálja. Ezen felül a grafikus felület egyszerű hibajelzésre is képes (jelzi, ha egy csokoládékészítő gép meghibásodik), ezáltal alapvető működtetés támogató funkciót is biztosít.

A megvalósított termelési folyamatot nyomon követő mintarendszer főbb elemei *(2. ábra)*:

– lokális IoT-gateway (helyi kommunikációs átjáró);
– központi szerver;
– ipari PC-hez kötött érintőképernyős ipari kijelző.

Ezen elemek a csokoládégyárban kialakított lokális hálózaton kommunikálnak egymással vezetékes (Ethernet) kapcsolaton keresztül.

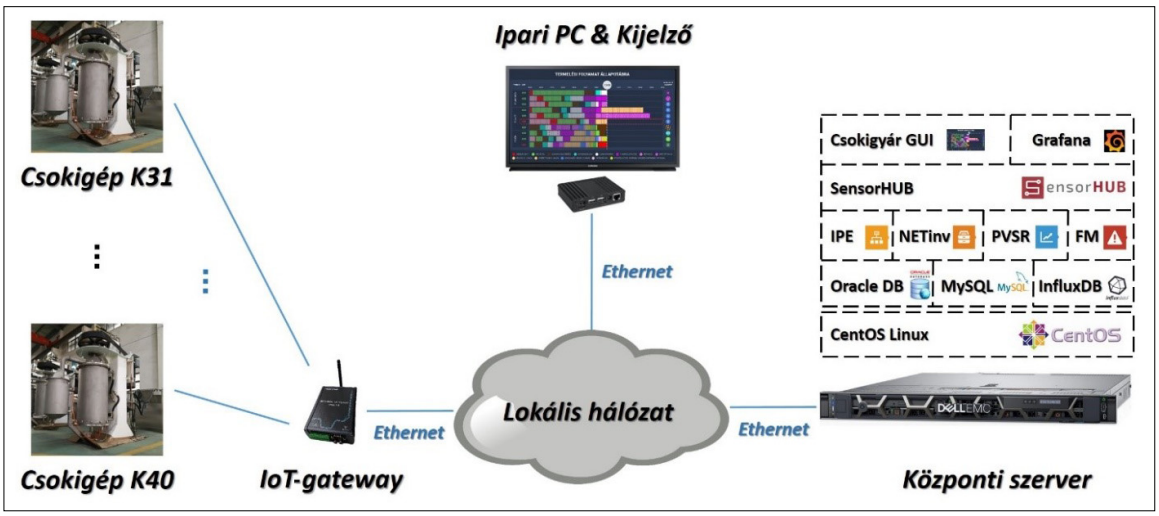
3.1. IoT gateway

A PLC (Programmable Logic Controller – programozható logikai kontroller) alapú lokális IoT-gateway a hozzá behuzalozott csokoládékészítő gépektől gyűjti össze folyamatosan, valós időben a megfelelő működési és státusz információkat, többnyire a gépek megfelelő egységeiből, szenzoraiból kinyerve azokat. Az így összegyűjtött adatokat eljuttatja a központi szerverhez, ahol azok a megfelelő szoftverkomponensek segítségével letárolásra és feldolgozásra kerülnek.

A termelési folyamat automatikus állapotátmeneteit kiváltó eseményeket és azok származtatását az automatikusan gyűjtött adatokból az *1. táblázat* (a következő oldalon) tartalmazza.

3.2. Központi szerver

A központi szerver egy Linux alapú kiszolgáló, amely futtatja többek között az általunk kifejlesztett, termelővállalati környezetre szánt, menedzselt IoT-keretrendszer [6] felügyeleti komponenseit (IPE [8], NETinv [9], PVSR



2. ábra Termelési folyamatot nyomon követő mintarendszer felépítése

1. táblázat Automatikus állapotátmeneteket kiváltó események származtatása

Gépegység	Monitorozott alkotórész	Esemény
Koncs	Zsíradagoló szelep	*A koncs zsíradagoló szelepe kinyílik*
		A koncs zsíradagoló szelepe lezáródik
	Motor	*A koncs elindul*
		A koncs leáll
	Keverő lapátok	*A koncs felfeszül*
	Időzítő	*A koncs időzítője bekapcsol*
		A koncs időzítője kikapcsol
Malom	Motor	*A malom elindul*
		A malom leáll

[10], FM), az IoT-platformot (SensorHUB [11]), a szakterület-specifikus alkalmazást (Csokigyár GUI – grafikus felhasználási felület), és egyéb kiegészítő komponenseket (Oracle DB [12], MySQL [13], InfluxDB [14], Grafana [15]).

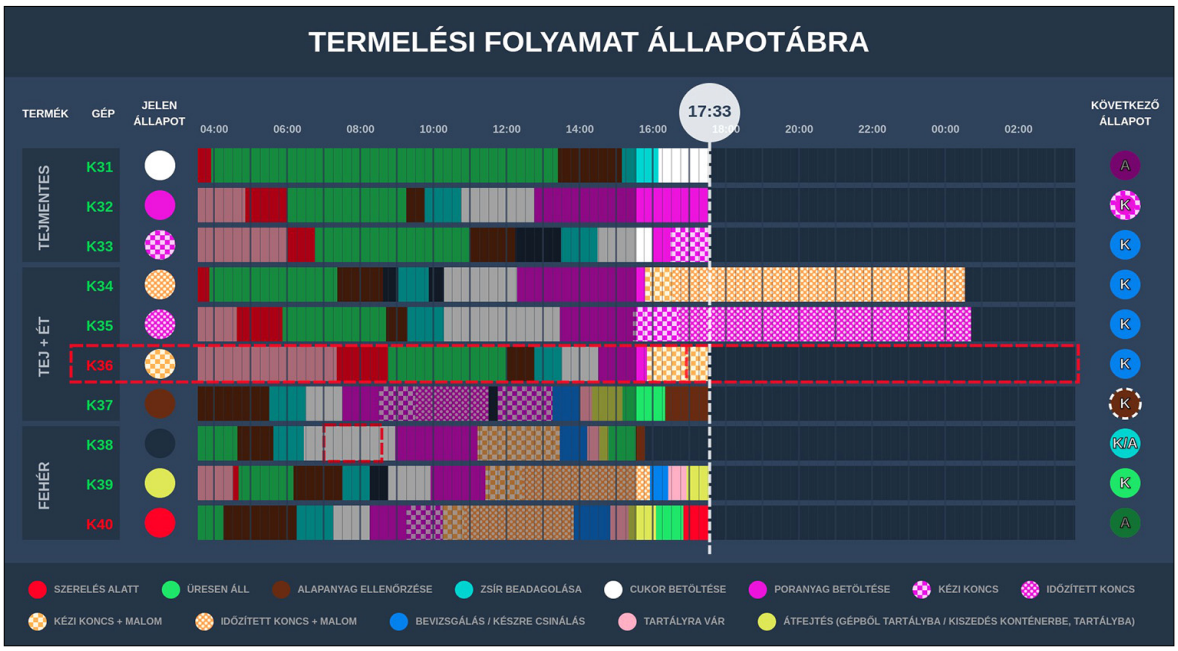
Az IoT-keretrendszerünk felügyeleti komponensei segítik a rendszerelemek felderítését (IPE), nyilvántartását (NETinv), működésük monitorozását (PVSR), valamint hiba esetén a hibalokalizációt (FM), míg az IoT platform (SensorHUB) az összegyűjtött adatok tisztítását, normalizálását, tárolását végzi, valamint egyszerűbb analitikai és vizualizációs funkciókat valósít meg.

A szakterület-specifikus alkalmazás (Csokigyár GUI) szolgál a termelési folyamat digitalizált nyomon követésére és az állapotinformációk megjelenítésére. Ez az alkalmazás egy szerver és egy kliens oldali komponensből áll. A kliens oldali felületet részletesen bemutatjuk a következő szakaszban. A kiegészítő komponensek (Oracle DB, MySQL, InfluxDB) az alkalmazási, illetve rendszeradatok különböző célú és formájú tárolására, valamint az eltárolt historikus adatok megjelenítésére és analizálására (Grafana) szolgálnak.

3.3. Ipari kijelző

Az ipari PC-hez kötött érintőképernyős ipari kijelző jeleníti meg a szakterület-specifikus alkalmazás (Csokigyár GUI) kliens oldali felületét *(3. ábra)*, amely tulajdonképpen egy dinamikus weboldal. Ezen az oldalon látható egy 24 órás, csúszóablakos időtengelyen különböző színekkel és textúrákkal jelölve, hogy a csokoládékészítő gépek éppen a termelési folyamat mely állapotában vannak, illetve ezen a felületen keresztül történik azon információk manuális bevitele a rendszerbe, amelyek automatikus detektálására és bevitelére nem volt mód.

Az időtengelyen negyedórás és órás beosztások láthatók. Az aktuális időpontot egy fix pozícióban elhelyezkedő függőleges fehér szaggatott vonal jelöli a tetején a pontos idő megjelenítésével egy buborékban. Az ezt megelőző 2 órás időintervallum ki van emelve, míg az azelőtti 8 órára vonatkozó historikus adatok el vannak halványítva. Az időtengely megjeleníti a jelen időpillanatot követő 10 órát is az aktuális időponttól jobbra. Ebben az intervallumban a jövőre vonatkozó esetleges állapotjelzések azt jelölik, hogy az adott állapothoz időzítő tar-



3. ábra Termelési folyamatot nyomon követő alkalmazás kliens oldali felülete

tozik, és az várhatóan mikor fog lejárni a jövőben. Az időzítő alapértelmezett lejárati ideje (8 óra) a felületen manuálisan módosítható.

A *Jelen állapot* oszlopban alapvetően az aktuális állapot színkódja és textúrája jelenik meg egy korong formájában, míg a *Következő állapot* oszlopban az aktuális állapotot követő következő állapot színkódja és textúrája. Ez utóbbi oszlopban a korongokban megjelenő, fehér színű betűk jelentése:

- **K**: a folyamatnak a következő állapotba való továbblépése kézi beavatkozást igényel;
- **A**: a folyamatnak a következő állapotba való továbblépése automatikusan történik, kézi beavatkozást nem igényel;
- **K**/**A**: a folyamatnak a következő állapotba való továbblépése mind kézi beavatkozás által, mind automatikus módon történhet.

A felület érintőképernyős, adatbevitelre alkalmas, így a kézi beavatkozás implementálása a **K** vagy **K**/**A** feliratú korongokra való kattintás által történik. Az **A** feliratú korongok inaktívak, nem kattinthatók és ezt elhalványított megjelenítésük is tükrözi. Abban az esetben, ha a korong peremét szaggatott vonal veszi körül, akkor az nem a következő állapotot, hanem az aktuális állapot lezárását jelenti. Ilyenkor mindenképp kézi beavatkozással történik az állapot lezárása, tehát a szaggatott vonalú peremmel rendelkező korongokban mindig **K** betű szerepel.

Amikor bekövetkezik a következő állapotba lépéshez szükséges esemény – akár automatikusan, akár kézi beavatkozás által –, az időtengelyen a színezés átvált a következő állapot színére és textúrájára – ami onnantól az aktuális állapotot jelöli –, valamint a *Következő állapot* oszlopban a soron következő állapot színkódja és textúrája jelenik meg. Az adott eseményekre történő állapotátmeneteket az alkalmazás szerver oldali komponense által implementált állapotgép vezérli.

A felület alkalmas egyszerű hibajelzésre is. Normál működés során a gépek neve zöld színnel kerül megjelenítésre. Meghibásodás esetén a gép neve piros színre vált, a géphez tartozó időtengely körül piros szaggatott vonal jelenik meg, valamint az időtengelyen a hiba bekövetkezésének a pillanatát egy piros, függőleges szaggatott vonal jelzi, ahogy ezt a *3. ábra* K36-os gépének állapotábrája illusztrálja. A hiba elhárításáig az időtengelyen az aktuális állapot színe és textúrája kerül megjelenítésre, mintegy jelezve, hogy a termelési folyamat 'beragadt' az aktuális állapotba. A felületen a meghibásodás historikusan is feltüntetésre kerül. Ilyenkor a múltban az adott állapot meghibásodás kezdő- és végidőpont közötti szakasza piros szaggatott vonallal keretezve jelenik meg, ahogyan ez a K38-as gép állapotábrájának historikus részén látható. Továbbá amennyiben egy adott gép szerelés alatt áll, úgy a gép neve, valamint a hozzá tartozó időtengelyen az aktuális állapot is piros színűre vált, ahogyan ez az ábra K40-es gépének állapotábráján látható.

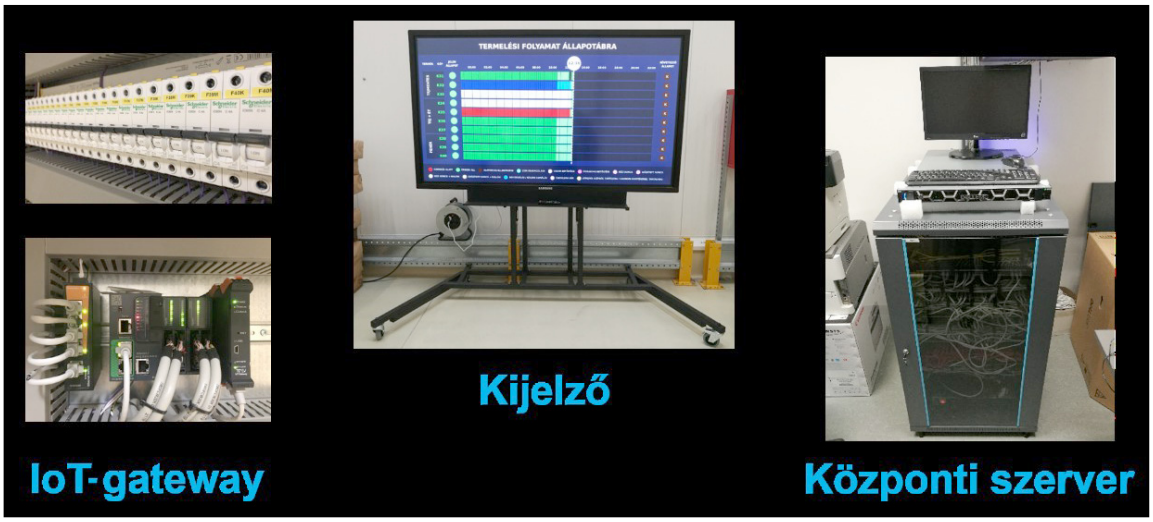
3.4. A telepített mintarendszer

A mintarendszer elemei közül az IoT-gateway az üzemcsarnokban egy villamos elosztószekrényben, az ipari PC-hez kötött érintőképernyős ipari kijelző egy mobil állványon az üzemcsarnok előterében, míg a központi szerver a gyár szervertermében került elhelyezésre, ahogy ezt a *4. ábra* szemlélteti. A rendszer normál működése aktív felügyeletet nem igényel, sőt az egyes komponensek úgy lettek beállítva, hogy egy esetleges áramkimaradást követően automatikusan visszaállnak az áramkimaradás előtti állapotukba.

4. Összefoglalás

A termelővállalatok fejlődésének, versenyképességük és hatékonyságuk növelésének elengedhetetlen feltétele a digitalizáció. Ez az Ipar 4.0 megközelítéssel összhangban elsősorban a vállalat üzleti, működési és termelési folyamatainak digitalizációját, illetve bizonyos mértékű automatizmusok bevezetését vetíti előre.

A cikkben bemutatásra került egy Ipar 4.0 szemlélet szerint fejlesztett mintarendszer, amely – a tárgyalt esetben – alkalmas egy csokoládé alapanyagokat előállító termelőüzem termelési folyamatának valós időben való monitorozására. A rendszer a csokoládékészítő gé-



4. ábra
A telepített mintarendszer

pek aktuális állapotának szenzoradatait egy lokális IoT-gateway segítségével gyűjti össze és juttatja el a központi szerverhez, amelyen az ott futó szakterület-specifikus alkalmazás szolgál a termelési folyamat digitalizált nyomon követésére és az állapotinformációknak egy nagyméretű ipari kijelzőn történő megjelenítésére.

A korábbi termelési folyamatot monitorozó eljáráshoz képest a digitalizált nyomon követő rendszernek köszönhetően sikerült a termelési folyamat monitorozását nagymértékben automatizálni, illetve a monitorozás részletességét megnövelni. Továbbá az összegyűjtött adatok eltárolása ezúttal már automatikusan történik, így azok bármikor visszakereshetők és feldolgozhatók.

Köszönetnyilvánítás

A bemutatott termelési folyamatot nyomon követő rendszert a 2017-1.3.1-VKE-2017-00042 számú projekt keretében a NETvisor Zrt., a BME VIK Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszéke és a CS-Process Mérnöki Kft. által alkotott konzorcium dolgozta ki és valósította meg.
A 2017-1.3.1-VKE-2017-00042 számú projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a Versenyképességi és Kiválósági Együttműködések pályázati program finanszírozásában valósult meg.

A szerzőről

FARKAS KÁROLY 1998-ban szerzett műszaki informatikus mérnöki diplomát, majd 1999-ben bankinformatikus szakmérnöki diplomát a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán. Doktori tanulmányait a BME-n kezdte, majd a Zürichi Műszaki Egyetemen (ETH Zürich) folytatta, ahol 2007-ben megszerezte a PhD-fokozatot. 2007 és 2012 között a Nyugat-magyarországi Egyetem (NymE) Informatikai és Gazdasági Intézetének, 2008-tól a BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások (korábban: Híradástechnika) Tanszékének docense, ahol 2017-ben habilitált. 2016 szeptemberétől a NETvisor Zrt. K+F igazgatója. A 2011/2012-es tanévet Svájcban, az Universitaet Zürichen töltötte vendégprofesszorként.
Oktatási és kutatási tevékenységét elsősorban a kommunikációs hálózatok területén végzi, különös tekintettel az autonóm, önszerveződő vezeték nélküli mobil hálózatok, beltéri helymeghatározás, közösségi érzékelés, valamint az IoT és Ipar 4.0 témakörökben. Több, mint 90 tudományos publikációval rendelkezik, a publikációira történő független hivatkozások száma 700 feletti.
Rendszeresen részt vesz a nemzetközi tudományos életben, mint konferencia szervező vagy a szakmai bizottság tagja. Farkas Károlyt 2016-ban az MTA elismerő oklevélben részesítette a 2012–2015 időszakra elnyert és kiváló minősítéssel zárult Bolyai János Kutatási Ösztöndíj keretében végzett kiemelkedő kutatói munkájáért. Koordinátora a BME-n működő lokális Cisco Hálózati Akadémiának; alapítója és koordinátora a BME-HIT-en működő Cisco IPv6 Tréning Laboratóriumnak; valamint kezdeményezője és fő szervezője a felsőoktatásban tanuló hallgatók számára BME-Pannon NetSkills Challenge néven, évente meghirdetett, számítógép-hálózatos témájú országos tanulmányi versenynek.
Farkas Károly a Cisco Hálózati Akadémia képesített CCNA R&S / CCNA Security / CCNA Cybersecurity Operations instruktora, illetve instruktor-trénere, valamint rendelkezik Cisco CCNA R&S / CCNA Security / CCNA CyberOps / CCNP R&S ipari vizsgákkal. 2017-ben Cisco Instructor Excellence Advanced Award díjban részesült a Cisco Hálózati Akadémia programjában végzett kiváló instruktori munka elismeréseként.

Hivatkozások

[1] NETvisor Zrt.,
http://www.netvisor.hu.
[2] BME VIK AUT Tanszék,
https://www.aut.bme.hu.
[3] CS-Process Mérnöki Kft.,
http://cs-process.hu.
[4] NKFIH,
https://nkfih.gov.hu.
[5] VKE projekt,
https://www.netvisor.hu/2017-1-3-1-vke-palyazat-menedzselt-iot-keretrendszer-kialakitasa.
[6] Farkas K.:
Ipar 4.0 megoldások – Gyári infrastruktúra felügyelete. In: Híradástechnika – HTE Infokom 2018 különszám, Vol. LXXIV (2019) pp.8–16.
[7] Göteborg's Food Budapest Zrt.,
http://www.goteborgsfood.hu.
[8] IP Explorer,
http://www.netvisor.hu/termekeink/ip-explorer-halozat-felderites.
[9] NETinv,
http://www.netvisor.hu/termekeink/netinv-muszaki-nyilvantartas.
[10] PerformanceVisor,
http://www.netvisor.hu/termekeink/pvsr-performancia-monitorozas.
[11] SensorHUB,
http://sensorhub.autsoft.hu/docs/index.html.
[12] Oracle DB,
https://www.oracle.com/index.html.
[13] MySQL,
https://www.mysql.com.
[14] InfluxDB,
https://www.influxdata.com.
[15] Grafana,
https://grafana.com.

Okos tavak

KRÁMER TAMÁS, REHÁK ANDRÁS, JÓZSA JÁNOS
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék
kramer.tamas@epito.bme.hu
CINKLER TIBOR, CSONTHÓ MARCELL, NAGY ZSOLT, JÁSZBERÉNYI ÁRON
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
cinkler@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: LoRa/LoRa WAN, ultrahangos távmérés, vízhőmérés, vízszintingadozás, tó, limnológia

Az internet vitathatatlanul behálózza életünk mind több területét. A Tárgyak Internete (Internet of Things: IoT) gyorsan terjed a különböző új rádiós hozzáférési technikáknak és azok csökkenő árának köszönhetően. A tárgyak hálózati hozzáférése és elérhetősége mindent „felokosít". Eme „felokosítás" immár tavainkat is elérte. Cikkünkben egy olyan alkalmazási területet mutatunk be, ahol a szórt ponthálózatban gyűjtött adatok a Fertő déli nádasövének fizikai limnológiai kutatását támogatják.

1. Bevezető

Az olyan tógazdálkodási feladatok, mint a kotrás, a nádaratás, a kikötők és a partvédő művek karbantartása, valamint a vízleeresztés csak akkor okosíthatók fel, ha a műveletek irányítói és az automatizált vezérlések folyamatosan rálátással vannak a tó aktuális állapotára. A katasztrófavédelem ugyanúgy igényli a folyamatos állapotkövetést a tavi mentések irányításához, sőt, a korai riasztáshoz az állapot jövőbeli alakulását is előre kell tudni jelezni. Egy operatív tavi előrejelző rendszernek márpedig alapvető eleme az, hogy asszimilálja az elmúlt órákban beérkezett mérési adatokat, ezzel biztosítva, hogy az előrejelzés olyan jelenlegi állapotból induljon ki, amely összhangban van a megfigyelésekkel [1].

A távérzékelés egyre nagyobb mértékben ki tudja szolgálni a folyamatos állapotkövetést [1], de a puszta hidrodinamikára ezek hasznosságát jelenleg még korlátozza a műholdak ritka képsűrűsége, a közel folyamatos légi megfigyelések magas költsége és a távolról mért változók bizonytalan átszámítása a tó lényeges állapotjellemzőire. Ezért az állapotkövetés a belátható jövőben elsősorban a valós időben közvetített helyszíni (in situ) mérésekre támaszkodik.

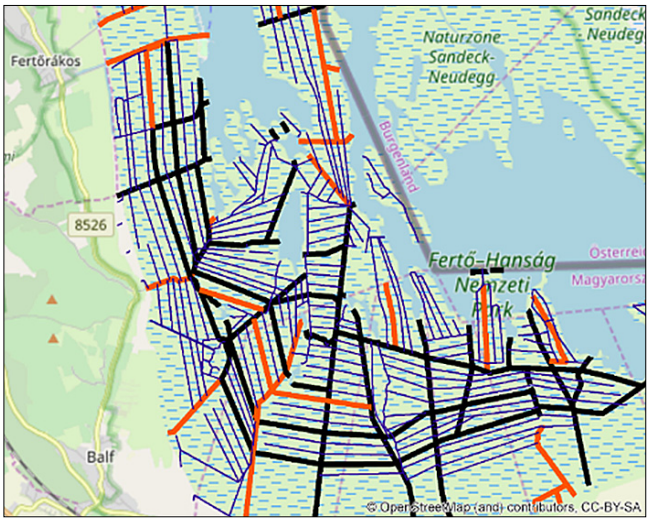
Meg kell említeni a limnológiai modellezés adatigényét is. A tudományos kutatáshoz nem kell valós idejű információ a tóról, megteszik a mérési expedíciók során időszakosan gyűjtött adatok is. Számos környezeti folyamat szempontjából a mértékadó állapotok erős szél esetén állnak elő, amit a hullámzásnak kitett tavon csak az emberi jelenlétet nem igénylő, telepített, automatikus mérőeszközökkel lehet biztonságosan megfigyelni [2]. A mért adatok valós idejű továbbítása ugyanakkor kiváltható azok helyi tárolásával és időszakos kiolvasásával.

Cikkünkben egy Fertő tavi alkalmazással illusztráljuk azt, hogy nagyszámú, adathálózatba kötött mérőberendezéssel korábban elérhetetlen térbeli részletességgel tárhatók fel a tavi folyamatok.

1. ábra
A déli nádasöv egyik csatornája, kaszált állapotában

2. A Fertő nádascsatornáinak nyitott áramlástani kérdései

A Fertő tó kiterjedt nádasövvel rendelkezik, amely az UNESCO világörökségként elismert kultúrtáj meghatározó eleme. Különösen kiterjedt a Magyarország területére eső déli nádas, amely amellett, hogy értékes vízi élőhely, jelentős mennyiségű nád kitermelését is biztosítja [3]. Csatornák sűrű hálózata szövi át *(1. és 2. ábra)*.



2. ábra
A Fertő tó déli nádasövében kiépített csatornahálózat térképe (vastag vonal: folyamatosan karbantartott szakaszok)

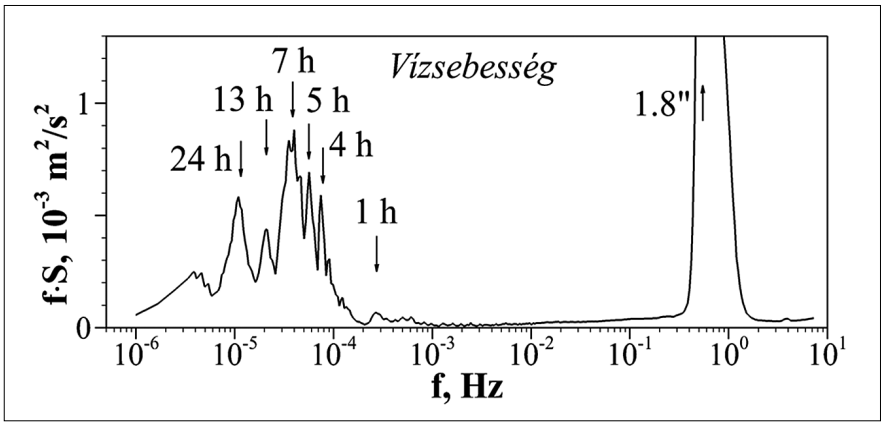
A partról ezen keresztül közelíthető meg a nádas belseje és a nyílt tó, továbbá a csatornák a pangó, oxigénszegény vizek átöblítésére is hivatottak. A magyar nádasövben kialakuló vízforgalomról azonban korábbról nem ismerünk átfogó, számszerű elemzést. Még az is kérdés volt, hogy a nyílt tó vize egyáltalán milyen távolságra képes a nádasövbe benyomulni nagy viharok során.

Az pusztán hidraulikai megfontolásból is megállapítható, hogy a csatornák vízhozamát a szűk nádaskanyonokban nem a szél, hanem a vízszintkülönbség kelti. A nyílt tó felszínének kilendülése hullámokat indít el a csatornák torkolatától befelé, magasabb vízállás esetén ezek a hullámok a nádassal borított terepen is előretörnek. A vízszintkülönbség természetesen csak időszakosan áll fenn a nádas pereme mentén és a szél elültével fokozatosan meg is szűnik. A kilendülés hullámösszetevőinek periódusideje 2 és 24 óra közötti, ami az áramlásmérések hosszú adatsorának energiaspektrumán is jól kirajzolódik *(3. ábra)*. Megjegyezzük, hogy a kiemelkedő energiacsúcsú, 1-2 másodperces hullámösszetevő értelemszerűen nem a tó víztömegének lomha mozgásához, hanem a felszín rövid hullámzásához kötődik.

Önmagában az is fontos információ, hogy a nádasövbe milyen távolságra hatolnak be a nyílt tó hullámai, és milyen ütemben csillapodnak. Emellett a hálózat csomópontjain mért vízszintingadozásból megbecsülhető a pontok közötti szakasz vízhozama is, hasonlóan ahhoz, ahogyan egy áramkörben az elektromos potenciálok különbségéből kiszámítható az áramerősség.

A *3. ábra* spektrumából nyilvánvaló, hogy az ingadozásokat elegendő néhány perces időközzel mintavételezni. A csatornahálózat topológiája azonban olyan összetett, hogy a vízforgalmat egyértelműen csupán nagyszámú csomópont egyidejű vízszint-idősorából tárhatjuk fel. Ez még akkor is igaz, ha a mérésekkel numerikus modelleket kalibrálunk és a területi megoszlást végül a méréseket numerikus eredményekkel kiegészítve elemezzük. Ezért egyértelműen előnyös az, ha a mérőhálózat sok elemből áll és emellett olcsó. Ennek a kifejlesztését ismertetjük a következő fejezetben.

3. ábra
Egy jellemző nyílt tavi pont áramlásainak frekvenciával súlyozott energiaspektruma [4]



4. ábra
A Fertő tavi szenzormodulok és az átjáró (Gateway) elhelyezése

3. Mérőhálózat a vízforgalom és a felszíni hullámok megfigyelésére

A hullámzás és a vízáramlás megismeréséhez tehát szükség volt a tó több különböző, egymástól távoli pontján, időben jól szinkronizáltan, szabályos időközönként ismétlődő mérés elvégzésére. Emellett fontos volt, hogy az adatok akkor se vesszenek el, ha hálózati meghibásodás lépne fel és a mérőmodul is annyira olcsó legyen, hogy eltulajdonítása, vagy elvesztése se lehetetlenítse el a kutatást.

A *4. ábra* szemlélteti a modulok és gateway elhelyezését. Az 5 zöld és az 5 kék jelölés a két szakaszban telepített 10 mérőmodulunk helyét szemlélteti. A csillaggal jelölt modul egy kereskedelmi forgalomban megvásárolható referenciaeszköz, melynek nincs hálózati kommunikációja és ára többszöröse a teljes általunk megvalósított hálózatnak. Ez a referencia, ennek segítségével győződtünk meg rendszerünk pontosságáról.

A gateway helye adott volt. Ez az egyetlen objektum a környéken, mely a nádas fölé emelkedik, ahol van táplellátás, sőt még internet-hozzáférés is, és amelyhez mi is hozzáférhettünk. Így ez a hely adódott, mint méréseink átjátszója egy központi szerver felé, ahol az összes adat összegyűlt. Ez az adatgyűjtő központi szerver lehet akár egy IoT-platform is [5].

A mérőhálózat megvalósításánál az áthidalandó táv és a kis energiafogyasztás voltak a legnagyobb kihívások. Mivel nem állt rendelkezésünkre megfelelő celluláris mobilhálózati lefedettség, továbbá a Cat-M1 és NB-IoT moduloknak mind az ára, mind a fogyasztása nagyobb volt, az adatátviteli sebesség pedig nem indokolta, így inkább más rádi-

ós technológiát választottunk. Ez a LoRa/LoRa WAN rádiós LPWA (Low-Power–Wide-Area) technika volt. Mind a gateway-ből, mind a modulokból az egyik legolcsóbb megoldást választottuk. A gateway-oldal 100 ezer Ft körüli/alatti összeg, míg a modulok 20 ezer Ft körüli/alatti összegből valósultak meg.

A LoRa/LoRa WAN rádiós technika összesen 8 csatornán dolgozik, különböző jelszintekkel, sávszélességekkel és SF- (Spreading Factor) tényezővel. Az SF értéke 7 és 12 között állítható. Minél nagyobb az SF értéke, annál nagyobb táv hidalható át, viszont annál több ideig tart az adás, ezáltal annál nagyobb lesz a fogyasztás is.

Amennyiben biztos átvitelt szeretnénk megvalósítani, a GW által fogadott csomagokat a GW nyugtázza. Nyugta hiányában a modulok ismétlik a küldést (állítható, hogy hányszor, de legfeljebb 8-szor LoRa/LoRaWAN esetén), ami szintén nagyobb ütközési valószínűséghez és nagyobb fogyasztáshoz vezet.

A fogyasztás csökkentése érdekében csökkentettük a modulok ébrenléti idejét úgy, hogy nem kértünk nyugtázást. Hogy nyugtázás hiányában csökkentsük az ütközés valószínűségét, a távolabbi szenzormodulokat magasabb SF-értékkel használtuk és mindegyiknek saját csatornája volt, míg a közelebbiek kisebb SF-értékkel működtek, illetve amelyek osztoztak egy csatornán, azoknak különböző SF-értéket adtunk, hogy legalább részleges („tökéletlen”) ortogonalitást [6] biztosítsunk.

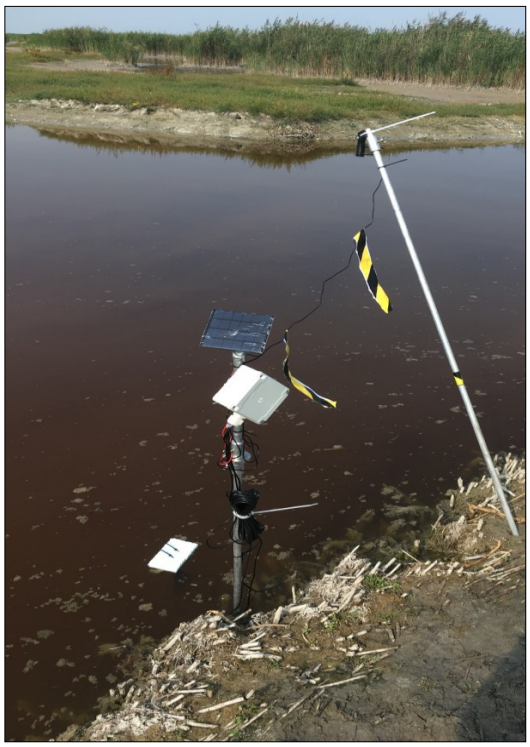
További opcióként felmerült, hogy az egyes modulok, különösen a távolabbi modulok ne közvetlen a GW-nek küldjék adategységeiket, hanem egy közbülső modulnak, mely átjátszóként szerepel az adott távoli modul és a GW között. Ezt az opciót végül két okból elvetettük. Egyrészt a fenti beállításokkal végül a legtávolabbi modul is képes volt elérni a GW-t. Másrészt pedig biztosítani kellett volna, hogy az átjátszó mindig éber legyen, mikor a többi modul ezen keresztül küldené saját adását. Fontos megemlíteni, hogy e modulok egy adott pillanatban csak egy hullámhosszon működnek, azaz csak egy hullámhosszra hangolva várják az átjátszandó adategységet. Emiatt célszerű, hogy ugyanazon a hullámhosszon adjanak és fogadjanak, hogy ne kelljen időközben átállítani, így az átjátszó és az átjátszott modul ugyanazon a hullámhosszon kell, hogy legyen. Noha e második opció is járható út, az első ok miatt nem erőltettük.

4. A mérőmodul összeállítása

A mérőmodul feladata a szenzorok adatainak leolvasása, a mért adatokból a kívánt információ kiszámolása, elegendően pontos ábrázolása minél kevesebb biten, majd a hasznos adat továbbítása a LoRa/LoRa WAN hálózat felett, majd interneten át a kiválasztott szerverre. Valamennyi adatot pontos időbélyeggel látunk el. A modulon belül elhelyezett SD-kártyára is mindent elmentünk, amit a rádiós hálózaton felküldünk.

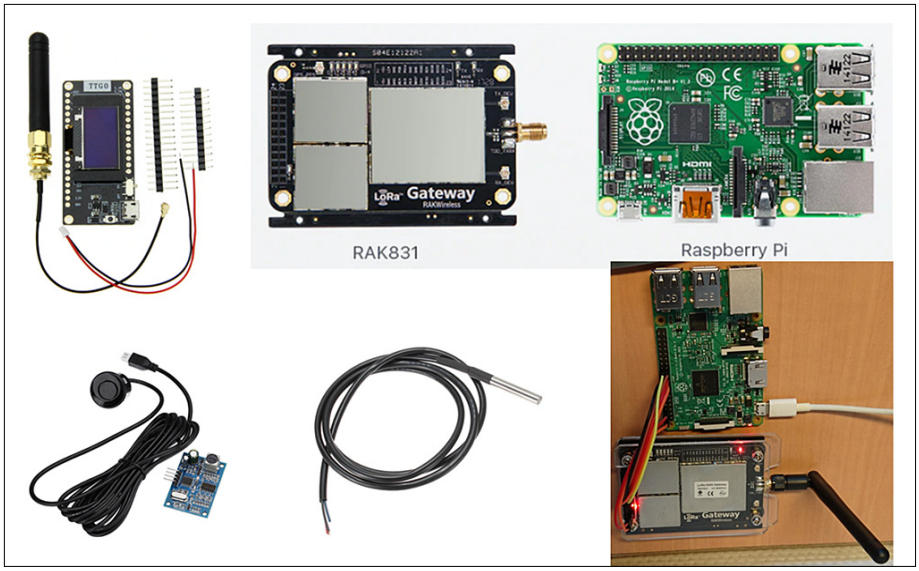
A *5. ábrán* láthatjuk a tóra kihelyezett 10 mérőmodul egyikét. Az ábra jobb felső részén látjuk a hullámzásszenzort, amely valójában egy autólökhárítóban is megtalálható olcsó, vízálló, ultrahangos távolságmérőhöz hasonló szenzor, ám szűkebb az ultrahang nyalábja, elkerülendő a zavaró visszaverődések vételét. A távolságszenzor egy ferdén leszúrt rúdon található, melynek dőlésszöge elegendő ahhoz, hogy a rúd ne lógjon bele az ultrahangos nyalábba. Az ultrahangos szenzortól balra lejjebb látható a fotovoltaikus panel, mely a mérőmodulban lévő akkumulátorokat táplálja. A napelem alatt van a mikrokontroller, az akku, az SD-kártya, az óramodul és a rádiós modem IP67 tokozásban tömszelencés kivezetésekkel. A vízhatlan hőmérőket egyrészt a vízfelszín közvetlen közelében, a vízfelszín alatt helyeztük el a ké-

5. ábra
A tóra kihelyezett mérőmodul



6. ábra
A mérőmodul összeszerelése kihelyezés előtt

pen látható fehér úszó aljára rögzítve, másrészt a meder alján. Az ultrahang terjedési sebességét befolyásolja a levegő sűrűségének változása. A távolságmérés 2%-os ingadozással követte a léghőmérséklet napi menetgörbéjét, ami az 1,6 m-es távolság mellett a vízszint kimozdulásához hozzámérhető, 3 cm körüli hibát is eredményezett. Ezt a legközelebbi meteorológiai állomás adatsoraival utólag korrigáltuk, de a nádascsatornák mikroklímája eltérhet a nyílt tavitól, ezért a jövőben az ultrahangos vízfelszín-távolságmérés pontosítására a helyi léghőmérsékletet is célszerűnek látszik mérni és akár modulon belül helyben kompenzálni.



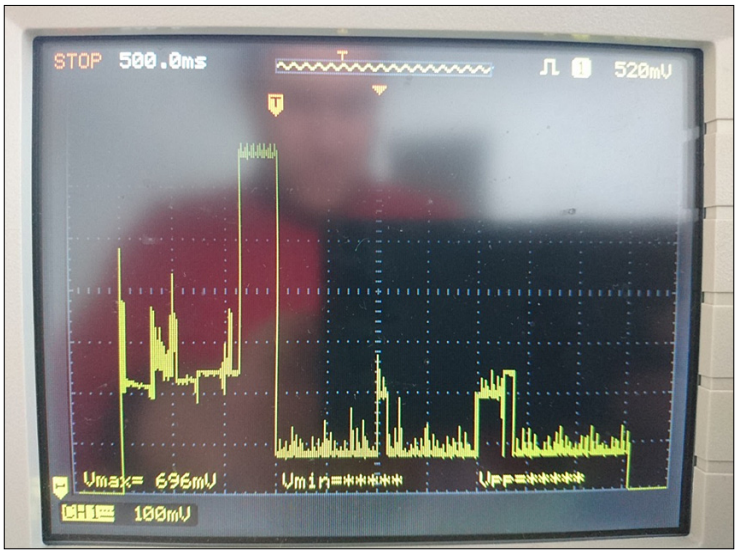
7. ábra A rendszer legfőbb alkotóelmei

A *6. ábra* (az előző oldalon) szemlélteti a modul összeszerelését. Itt látszik az általunk készített nyomtatott áramkör, az óramodul, az antenna, az akku, a szenzorok stb.

A *7. ábra* szemlélteti az általunk választott rádiós modult és a gateway megvalósításához felhasznált hardvert. A bal alsó részen láthatók az ultrahangos szenzor és a hőmérő is.

A *8. ábrán* látható, hogy egy modul ébredése pillanatától a mérések elvégzésén át, majd a rádiós küldés és újra elalvás között 5 másodperc telt el. Ebből a rádiós adás fél másodperc volt. Ezen időket természetesen sok minden befolyásolja, de talán a rádiós adás időtartama a legfontosabb, hiszen ezalatt a legnagyobb az áramfelvétel. Ábránkon a kevesebb mint fél másodperces adás alatt közel 70 mA áramot vesz fel 5V feszültség mellett. Nagyobb SF-érték mellett hosszabb ideig tart az adás, nagyobb távolság áthidalása esetén az áramfelvétel háromszorosa (200 mA) is lehet. Feltéve hogy 15 percenként (azaz 900 másodpercenként) 5-10 másodpercig tart a mérés adással együtt, látjuk, hogy az alvási idő a legkritikusabb tényező (pontosabban az ébrenléti idő és alvási idő aránya) az energiafogyasztásban.

8. ábra
A LoRa modul áramfelvétele
(feszültség egy 10 Ohm-os sorosan kötött ellenálláson)

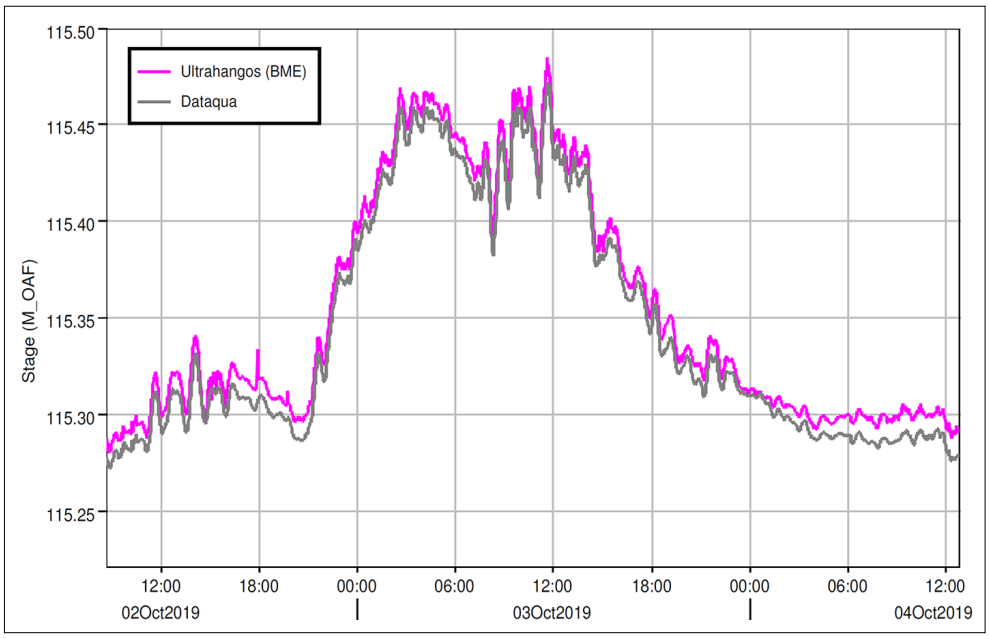


5. Mérési eredmények értékelése

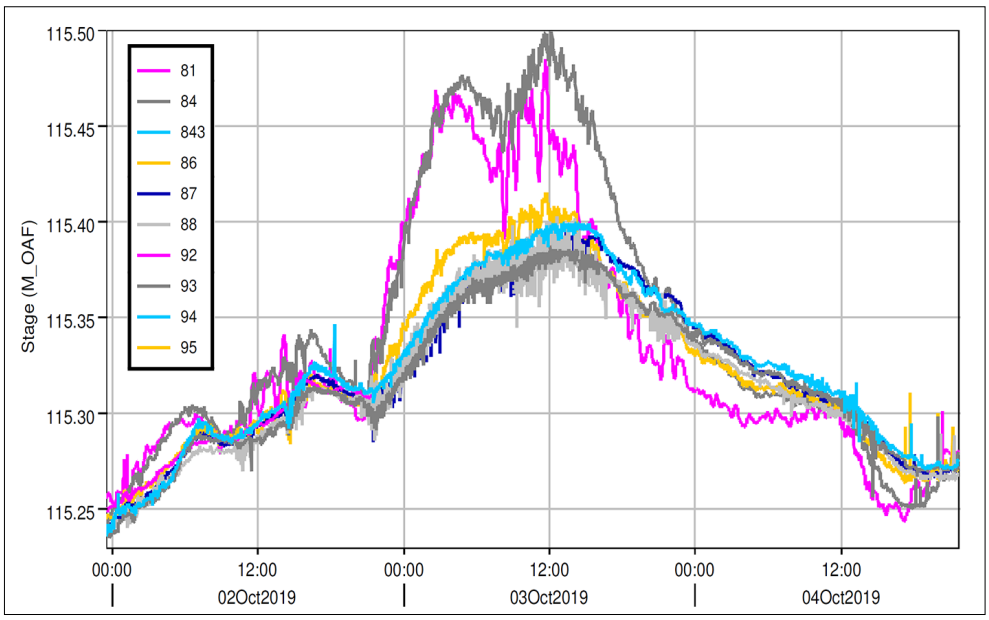
Az ultrahangos vízállásíró igazolására több pontban is DATAQUA típusú, nyomásalapú vízállásírót helyeztünk el. Az eltérő mérési elv ellenére a két eszköz közötti különbség a magassági referálás pontosságának nagyságrendjébe esik *(9. ábra)*, azaz a vízmércék „0” pontjának a szintjét nem tudnánk pontosabban meghatározni.

Egy gyakori, ÉNY-i szél a tó víztömegét a déli része felé lendíti ki és ez a csatornák torkolatánál (81 és 84-es pontok) eredményezi a legkorábbi, legerősebb vízszintemelkedést *(10. ábra)*. A 0,20 m-es hullámok aztán gyorsan, felére csillapodnak a csatornahálózat belseje felé és tetten érhető a fáziskésés is. Méréseink idején a tó közepes vízszintje nem érte el a nádas terepszintjét, ezért a vízforgalom kizárólag a csatornákban zajlott le.

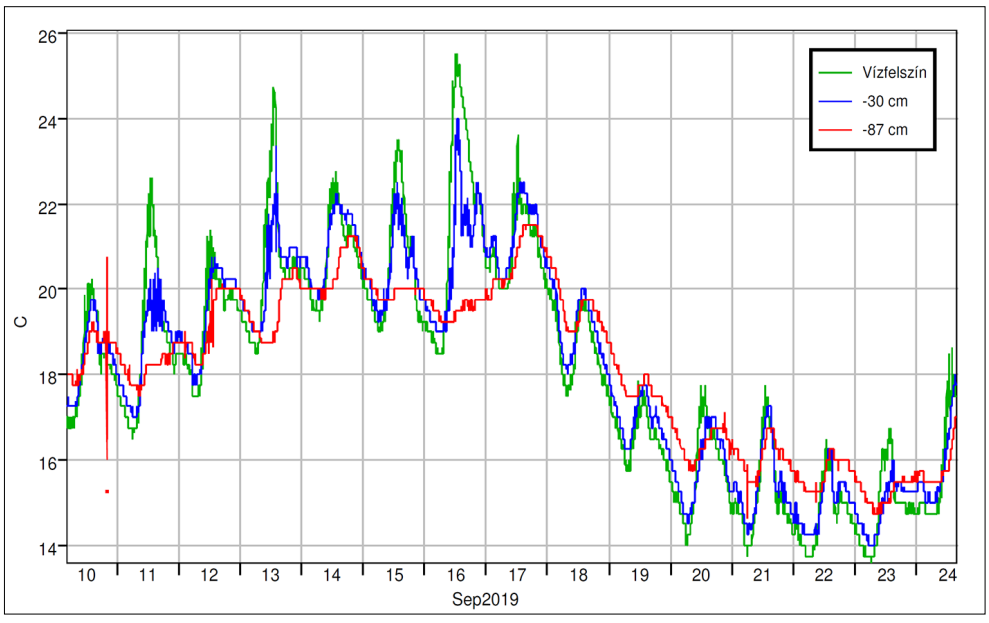
A vízszintek mellett betekintést adunk a vízhőmérséklet idősoraiba is *(11. ábra)*. Itt a hőingadozás mélység menti csillapodása érhető tetten. A magasabb rétegek a besugárzás hatására gyorsabban melegednek és magasabb hőmérsékleten tetőznek, ezzel szemben éjszakánként nagyobb mértékben lehűlnek. Szeptember 16-án egész nap igen stabil, 90 cm-en mintegy 5°C-os különbséget eredményező hőmérsékleti gradiens alakult ki, amiről tudjuk, hogy a függőleges turbulens elkeveredést már számottevően csillapítja. Ezzel szemben szeptember 17-től kezdve instabil sűrűségi rétegzettség figyelhető meg: 2°C-kal hűvösebb volt a vízfelszín, mint a mederközeli vízrétegek.



9. ábra
A 81-es pontban a saját fejlesztésű ultrahangos és a Dataqua típusú, nyomásalapú berendezéssel mért vízszint-idősorok összehasonlítása egy egynapos, 5 m/s-os ÉNy-i szélepizód során.



10. ábra
A saját fejlesztésű ultrahangos távolságmérőkkel rögzített vízszint-idősorok a nádasöv tíz különböző pontjában, a 8. ábráéval azonos időszakra.



11. ábra
A 87-es pontban a saját fejlesztésű berendezéssel mért vízhőmérsékleti menetgörbék a vízfelszínen, illetve 30 és 90 cm mélységben.

6. Összefoglalás

Cikkünkben az IoT tavi környezetre való adaptálásáról mutattunk be egy alkalmazási példát. Fejlesztésünk eredményeként a hálózatba rendezett, autonóm működésű és olcsó berendezésekkel alig kényszerülünk kompromisszumra a térbeli lefedettség és a térbeli felbontás között. A professzionális mérőeszközök annyira költségesek, hogy a szokásos pénzügyi keretek között ezekkel alig néhány pontban tudnánk csak egyidejű adatsort gyűjteni, ugyanakkor ezek az adatsorok tudományos igényességűek és robusztusak.

Jelen cikkünkben egy másik filozófiát követtünk: olcsó eszközök tömegével végzünk mérést kiterjedt ponthálózatban. Ezek az eszközök ugyan kevésbé ütésbiztosak és pontosak, de a területről olyan sok helyről szolgáltatnak mintát, hogy ennek köszönhetően az adatokon megbízhatóbb geostatisztikai elemzés is végezhető. A Fertő tavi mérési expedíció során élesben, egy kutatási projekt keretében teszteltük a kifejlesztett rendszert, amely eredményesen vizsgázott.

Jövőbeli fejlesztéseink arra irányulnak, hogy az ultrahangos távmérőket a kilendülésnél jóval finomabb frekvenciájú hullámzás mérésére adaptáljuk, több érzékelő összefogásával alkalmassá téve az irányspektrum levezetésére is. A valós idejű adatátvitelt is tovább tesztelük, hiszen az nemcsak a tó állapotának követését szolgálja, hanem az esetleges meghibásodások gyors azonosítását is. Az olcsóságnak és a folyamatos monitorozásnak köszönhetően így egy-egy érzékelő kiesésének a kockázata nagyban mérsékelhető.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást
az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett
Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta,
a BME FIKP-VÍZ tématerületi programja keretében.

Szerzőinkről

KRÁMER TAMÁS a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi docense, szakterülete a felszíni vizek áramlástana. Sekély tavak szél keltette vízmozgásaival hallgató kora óta foglalkozik. PhD dolgozatát is ebben a témában szerezte 2007-ben. Aktuális kutatásai a tófelszín fölötti légköri és a vízi folyamatok összekapcsolt leírására irányulnak.

CINKLER TIBOR a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék (TMIT) egyetemi tanára, az MTA doktora, az MTA-TTB és az IFIP 6.10 munkacsoportjának elnöke. Szakterülete az optikai hálózatok forgalmi és topológiai optimalizálása, továbbá különböző ipari, mezőgazdasági, városi, környezetvédelmi IoT- (Internet of Things) és IIoT- (Industrial IoT) alkalmazások megvalósítása 4G és 5G celluláris és LoRa/LoRa WAN hálózatok felett.
Publikációi és azok hivatkozottsága az alábbi rendszerekben tekinthető meg:
https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=10000211,
https://scholar.google.hu/citations?user=_Zl8D1UAAAAJ&hl=en,
https://www.researchgate.net/profile/Tibor_Cinkler

Hivatkozások

[1] T. Baracchini, P.Y. Chu, J. Sukys, G.Lieberherr, S. Wunderle, A. Wüest, D. Bouffard: Data assimilation of in-situ and satellite remote sensing data to 3D hydrodynamic lake models. Geosci. Model Dev. Discuss, 2019.

[2] J. Józsa, T. Krámer, K. Homoródi, E. Napoli, J. Sarkkula: Wind-induced hydrodynamics and sediment transport of Lake Neusiedl – Hungarian-Austrian-Finnish research cooperation from lake-wide to bay-wide scale. Research report, Budapest Univ. of Techn. and Economics, Dept. of Hydraulic and Water Resources Engineering, Budapest, 2008.

[3] G. Wolfram, L. Déri, S. Zech (Eds.): Lake Neusiedl strategy study, Phase 1, Study prepared for the HU-AT Water Commission, Vienna–Szombathely, 2013.

[4] T. Krámer, J. Józsa: Sekély tavak szél keltette áramlásai-kaotikus elkeveredéshez vezető tér-és időstruktúrák. Természet Világa (2), pp.46–49, 2013.

[5] H. Hejazi, H. Rajab, T. Cinkler, L. Lengyel: Survey of platforms for massive IoT, DOI: 10.1109/FIOT.2018.8325598, IEEE International Conf. on Future IoT Technologies (Future IoT), Eger, 2018. január 1-8.

[6] D. Croce, G. Michele, T. Ilenia, G. Domenico, M. Stefano: Impact of Spreading Factor Imperfect Orthogonality in LoRa Communications, DOI: 10.1007/978-3-319-67639-5_13, Intern. Tyrrhenian Workshop on Digital Communication, 2017. szeptember.

Summaries • of the papers published in this special issue

This Special Issue is compiled from the papers of the 6th Hungarian Future Internet Conference, organized by the Faculity of Electrical Engineering and Informatics of the Budapest University of Technology and Economics.

The Digital Europe Program and the BME Faculty of Electrical Engineering and Informatics

Keywords: EU projects, digital potential, BME VIK, Digital Single Market, Digital Europe Program

Through the Framework Programs, the European Union is investing more and more in research and development, which is not expected to change in the foreseeable future. In the coming years, the EU's activities in this area will be organized by the Digital Europe Program. In this paper, we review the motivation, the goals, and the main pillars of the program. We also present the current EU funded research and development projects at the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Budapest University of Technology and Economics, based on which we can expect a successful participation in the Digital Europe Program as well.

The significance of IT in genomics

Keywords: genetics, genome, bioinformatics

The explosive development of molecular biology over the past seventy years allowed to understand the structure and function of hereditary material in the earth's wildlife. Through the processing of the gigantic amount of data available through technological advancement and the exploration of the mechanisms of action of the genome, IT has become an indispensable part of genomic research. This article deals with the background, specific applications and perspectives of the genomic revolution.

Technologies of the next generation Internet ecosystem

Keywords: data-driven, cloud IT, knowledge society, IoT, AI, Mobile Edge Computing, networked society

Over the last five decades, the Internet has undergone impressive technological advances. In the 2020s, mutually reinforcing "networking" and "data-driven" will result in an exponential change in usage needs and patterns. The Internet architecture invented in the 1970s may no longer be economical, or even suitable, to serve this purpose. The article looks at the main features of change and argues that the age of content-driven, behavior-based "general internet utilities" is coming.

Future technologies of infocommunications and the regulation

Keywords: ITU, Future Network 2030 Focus Group, new technologies, regulation

The first part of the paper describes the structure and activity of the International Telecommunication Union Future Networks Focus Group, which deals with the requirements of infocommunication networks beyond 2030. The paper's second part describes the classical regulatory cycle and the future possibilities of regulation in the environment of accelerating technology growth.

The past, present and future of deep learning

Keywords: artificial intelligence, machine learning, deep learning, neural networks

In recent years data driven systems became increasingly popular over rule-based methods due to their higher accuracy. In the latter case domain experts define rules of the process to be modeled, while in data-driven solutions the models are trained with data collected from the process itself. Deep learning is a major area of machine learning-based artificial intelligence (AI), nowadays. In this paper, the most important parts of neural networks' past and present, furthermore, the future possibilities of deep learning are discussed.

3D VR – Breakthrough in education

Keywords: CogInfoCom, VR education, MaxWhere 3D VR, human-ICT co-evolution

Nowadays, the rapid evolution and changes of new technology in the 21st century has brought a new opportunity for education, expanding the expectations for learning itself. This paper examines the unique potential of 3D VR environments, resulting in a 30-50% improvement in visualization, transparency, memory, understanding, and application-related collaborative activities. This means that we regard VR first of all as a breakthrough platform for communication – as a holistic model for a new kind of Cognitive Infocommunication channel.

5G and challenges in smart manufacturing

Keywords: 5G, smart manufacturing, Industry 4.0, 5G-SMART, MTC, NR, TSN

5G means much more than what mobile telephony and broadband mean to residential subscribers today. 5G creates the possibility to transform and digitalize both industry and society. It enables Internet of Things to spread much widely also in the industry, meanwhile it provides mobility to cyber-physical systems, as well. Furthermore, the communication needs of critical infrastructures including transportation, manufacturing and production have a special focus in the new mobile communication system.

IoT and Industry 4.0 in practice – Production process monitoring

Keywords: Industry 4.0, IoT, Factory, Production

Industry 4.0-style digitalization is spreading with increasing pace in the manufacturing industry. In this paper, we introduce our recently developed production process monitoring pilot system. This system has been deployed in the chocolate plant of the Göteborg's Food Budapest Ltd. in Dunaharaszti. It has digitalized, improved and replaced the legacy, magnetic whiteboard-based manual production process monitoring method with the aid of automatically collected sensor readings. Thanks to this digitalized system we managed, on the one hand, to automatize the production process monitoring to a great extent, and, on the other hand, to increase the monitoring granularity.

Smart Lakes

Keywords: LoRa/LoRa WAN, ultrasonic distance sensor, water thermometer, water surface oscillation, limnology

No doubt, the internet spins a web around more and more areas of our life. The Internet of Things is adopted quickly thanks to their decreasing price and to new radio access technologies. Network connection and accessibility makes everything smart. This process has reached our lakes, too. We present an application where the measurements collected at scattered points throughout the southern reed belt of Lake Fertő support research on water exchange.