

A hálózati technológiák jövője: vízió 2040-re

VIDA ROLLAND

BME, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék*

Ahhoz, hogy valaki megjósolja a technológiai fejlődés jövőjét, ráadásul 10-15 éves időtávlatban, viszonylag nagy bátorságra van szükség. Számos olyan példát ismerünk, amikor híres szakemberek, piacvezető világcégek, vagy ismert újságírók, véleményvezérek álltak elő olyan jóslatokkal, melyek egyáltalán nem váltak valóra, kínos helyzetbe hozva a mögöttük felsorakozó szakértőket.

Az egyik legismertebb példa talán erre Bob Metcalfe, az Ethernet technológia kidolgozójának esete, aki 1996-ra az internet teljes összeomlását jósolta, majd egy évvel később kénytelen volt látványosan megenni papírra kinyomtatott szavait egy konferencián, egy pohár víz kíséretében [1]. Szintén nem vált valóra az a jóslat sem, miszerint a címtartomány kimerülése miatt az IPv4-et nagyon gyorsan felváltja majd az IPv6. Egy 2002-es Internet Engineering Task Force (IETF) meetingen Atlantában a hivatalos konferencia-pólón egy óriási IPv6 felirat díszelgett, és mindenki az IPv6 megállíthatatlan elterjedéséről beszélt a „következő 1-2 évben”. Az egyetemen azóta is minden évben abban a pólóban jelenek meg a hallgatók előtt, amikor az IPv6-ról tartok előadást. A póló már eléggé megviselt, de igyekszem kímélni, hátha kitart még a 15-20 év múlva esedékes nyugdíjba vonulásomig, hiszen mindeközben a felhasználók többsége 2024-ben is még IPv4-es címeiről csatlakozik az internetre [2].

Magyarországon az egyik legismertebb kissé félresikerült technológiai jóslás Uj Péter nevéhez fűződik talán, aki bár egy 2000-ben megjelent cikkében [3] helyesen titulálta a WAP (Wireless Application Protocol) szabványt egy „blöffnek”, de a WAP csak mint konkrét technológiai megoldás bizonyult zsákutcának. Maga az elv viszont, hogy a mobiltelefonokat internetezésre és video tartalmak fogyasztására fogjuk használni, teljes

mértékben megvalósult. Pedig cikkében olyanokat állított, hogy senki nem akar majd liftben vagy autóban internetezni az apró monokróm kijelzős mobiltelefonján, amikor ott lesznek a telepített, kényelmes és gyors vezetékes eszközök, melyek elé csak oda kell ülni, illetve csupán „integrációs hóbortnak” nevezte azt az elképzelést, hogy a mobiltelefont amolyan svájcibicskaként másra is használnánk, mint telefonálásra. Több mint 20 év távlatából ma már megmosolyoghatjuk ezeket a sorokat, bár Uj Péter mentségére legyen mondva, 2000-ben ő még nem számolhatott azzal, hogy néhány évvel később megjelennek az okostelefonok, melyek gyökeresen megváltoztatták tartalomfogyasztási szokásainkat és az azokat kiszolgáló hálózati technológiákat is.

Mindezek ellenére, a következőkben mégis megpróbálkoznék azzal, hogy röviden felvázoljam, mi is várható a hálózati technológiák területén a következő 10-15 évben. És remélem, hogy 2040-ben, ha majd lesz alkalmam újra olvasni e sorokat, nem fogok majd túlságosan szégyenkezni az esetleges tévedéseim miatt.

A 2030-as évek második felére a 6G hálózatok világszerte elérhetőek lesznek, a 7G hálózatok szabványosítása pedig a végső fázisába ér. Ezekben a hálózatokban több száz gigabites/terabites sebességek, mikroszekundumos késleltetések, és hét-kilences rendelkezésre állás várható. Ehhez szükség lesz a sub-terahertzes és terahertzes frekvenciák használatára, a falakba és tereptárgyakba integrált nanoantennákra, nano-műholdakra és kooperatív drónokra.

Kezdeném talán a legkézenfekvőbb területtel, mégpedig a mobil technológiákkal, hiszen nagy kockázatvállalás nélkül kijelenthető, hogy a 2030-as évek második felére a 6G hálózatok már világszerte elterjedtek lesznek, és a 7G hálózatok szabványosítása a végső fázisába ér majd. A kockázat ebben az esetben azért

* 2024. július 1-től névváltozással: BME, Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék

minimális, mert a mobil technológiák generációi rendszeresen 9-10 évente váltják egymást. A GSM (2G) 1991-ben indult, az UMTS (3G) hálózatok 2001-ben jelentek meg, az első LTE (4G) telefon 2010-ben került piacra, az 5G szolgáltatások 2019-ben indultak, a 6G szabványokat pedig 2028-2030-ra várják. Összességében elmondható, hogy a generációk ilyen jellegű számozása inkább takar marketing megfontolásokat, mintsem konkrét technológiai mérföldköveket. A szakértő kutatók és mérnökök persze meghatároznak konkrét fejlesztési irányokat és célokat a következő generációs technológiát illetően, ám ha marketing szempontból szükségessé válik az új generáció piacra kerülése, akkor az rendszerint meg is történik, függetlenül attól, hogy sikerült-e időközben elérni a kitűzött célokat, vagy sem. A kérdés tehát nem az, hogy lesz-e 6G és 7G hálózat 1015 éven belül, hanem inkább az, hogy ezek konkrétan milyen technológiai megoldásokat fognak majd tartalmazni, és milyen paraméterekkel rendelkeznek majd.

A mobil technológiák különböző generációi felé jellemzően mindig egyre komolyabbak az elvárások a hálózati paramétereket illetően. Ennek megfelelően, míg az 5G hálózatok jellemzően 1 Gbps-es (vagy az alatti) felhasználói letöltési sebességeket nyújtanak manapság, a 6G hálózatoktól 10-100 Gbps-es sebességeket remélnék, a 7G-ben a cél pedig várhatóan a terabites sebesség elérése lesz. Ami a késleltetést illeti, az 5G hálózatoknál az 5 ms alatti késleltetés elérése volt a cél, a 6G-ben viszont már várhatóan mikroszekundumos tartományban mozgó késleltetés lesz, a 7G hálózatok pedig ezt tovább csökkentik majd. De fontos lesz a 6G/7G hálózatokban a még nagyobb, várhatóan „hét kilences”, azaz 99,99999%-os rendelkezésre állás (ami 3 mp/év kiesést jelent), a hasonló szintű megbízhatóság, a milliárdnyi IoT eszköz csatlakozásának támogatása, és kiemelt fontosságú lesz az energiahatékony működés.

De hogyan érjük majd el ezt a jelentős javulást az említett paramétereket illetően? Egyfelől egyértelmű iránynak tűnik, hogy az 5G által használt mmWave (milliméteres hullámok) mellett a 6G/7G hálózatokban sor kerül majd az úgynevezett sub-terahertzes (100-300 GHz) és a terahertzes (300 GHz és 3 THz közötti) frekvenciák használatára is, melyek biztosítani tudják a jóval nagyobb sávszélességet és alacsonyabb késleltetést. Ezeknek a frekvenciáknak a hátránya azonban, hogy többnyire közvetlen rálátást igényelnek, és kis távolságokat tudnak csak hatékonyan áthidalni. Ezért várható a mindennél jelenlevő, épületek falaiba, utcai tereptárgyakba, bútorokba ágyazott nanoantennák elterjedése, melyek egymással együttműködve, közösen szolgálják majd ki

a felhasználókat, a hagyományos cellás elrendezéstől eltérően. Mindemellett a folyamatos rendelkezésre állás biztosításához a 6G hálózatok nagymértékben építenek majd az úgynevezett NTN (Non-Terrestrial Networks) kommunikációra, mely integrálja úgy a hagyományos műholdakat, a nano-műholdakat, mint a kooperatív drónokat.

10-15 éves távlatban a WiFi 10/11/12 szabványok is megjelennek majd, ezekben a felhasználók közötti versengést az erőforrásokért felváltja majd a mesterséges intelligenciára alapuló együttműködés. A WiFi offloading, azaz a mobil hálózatok forgalmának részleges áttételezése WiFi csatornákra, kiemelt fontosságú lesz.

A WiFi, napjaink másik meghatározó vezeték nélküli kommunikációs technológiája, nagy valószínűséggel szintén velünk lesz 10-15 év múlva is. A WiFi esetén a generációk viszont jóval gyorsabban váltják egymást. Jelenleg a WiFi 7 szabványosításának véglegesítése zajlik, de az 5G URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications) hasonló kiemelt megbízhatóságot nyújtó IEEE 802.11bn UHR (Ultra High Reliability) WiFi 8 szabvány kidolgozása is elkezdődött már, annak lezárása 2028-ra várható. 10-15 éves távlatban pedig majd minden bizonyosan a WiFi 10/11/12 szabványok is megjelennek majd.

Az, hogy a hasonló technológiai paramétereket a WiFi szabványok csak néhány év késéssel tudják nyújtani a 3GPP (3rd Generation Partnership Project) mobil kommunikációs szabványokhoz képest nagyrészt annak tudható be, hogy amíg az 5G esetén a licensztköteles frekvenciákon történő erőforrás-kiosztást, a csatornához való hozzáférést és a különböző adatfolyamok prioritizálását a szolgáltató egymaga tudja biztosítani, addig a WiFi mindaddig a licenszmentes csatornákon zajló szabad versenyre épített. Az újabb WiFi szabványokban azonban a felhasználóknak versengés helyett inkább együtt kell majd működniük, a hálózati erőforrások mesterséges intelligenciára alapuló optimális kezelésére támaszkodva.

Mindemellett a mesterséges intelligenciának az úgynevezett WiFi-offloading megoldásokban is jelentős szerepe lesz. Az offloading lényege az, hogy a mobil szolgáltatók a forgalmuk egy részét a rendelkezésre álló WiFi csatornákon vezetik keresztül, jelentősen kiegészítve ezzel a mobil hálózatok erőforrásait. A WiFi offloading kérdésével már viszonylag régóta foglalkoznak, a 2030-as években azonban ez a technológia már várhatóan minden hálózatban kiemelt fontosságú lesz.

A vezetékes hálózatokat 10-15 év múlva teljes mértékben az optikai technológiák fogják dominálni, több terabites átviteli sebességeket biztosítva egyetlen optikai szálon. Mindemellett azonban az olyan hagyományos hozzáférési megoldások, mint a réz érpáron működő modernebb DSL verziók se tűnnek még el teljesen a kínálatból.

Végezetül mindenképp szükséges beszélnünk a vezetékes hálózatokról, melyeket 10-15 év múlva várhatóan teljes mértékben az optikai technológiák fognak dominálni, úgy a hozzáférési részen, mint a gerinchálózatokban. Az egyre nagyobb átviteli sebességeket és egyre alacsonyabb késleltetést igénylő alkalmazások kiszolgálására olyan hatékonyabb modulációs technikák terjednek majd el, mint a PCS (Probabilistic Constellation Shaping), illetve széleskörben bevezetésre kerülnek a hullámhosszosztásra épülő DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) megoldások, melyek segítségével több-terabites átviteli sebességek válnak elérhetővé egyetlen optikai szálon keresztül is. Mindemellett azonban a 10-15 éves időtáv várhatóan nem elegendő ahhoz, hogy a többi „hagyományos” hozzáférési technológia teljes mértékben eltűnjön a kínálatból. Így például a korábbi vezetékes telefonhálózatok réz érpárjait használó DSL (Digital Subscriber Line) megoldások is velünk lehetnek még akár 2040-ben is, olyan frissen elfogadott szabványok vagy egyelőre csak a kutatólaboratóriumokban tesztelt technológiák segítségével, mint az MGFast vagy a Terabit-DSL.

Összegzésként elmondható, hogy a következő 10-15 évben a hálózati technológiák folyamatos fejlesztésére lesz majd szükség annak érdekében, hogy a szolgáltatók képesek legyenek olyan terabites átviteli sebességeket, mikroszekundumos késleltetéseket és/vagy hét-kilences megbízhatóságot igénylő alkalmazásokat támogatni, mint az önvezető járművek kommunikációja, a kiterjesztett valóság megoldások, a digitális iker technológiák, vagy olyan más alkalmazások, melyekre ma még nem is gondolunk. A hálózati erőforrások hatékony kezelésében mindenképpen nagy szerepet játszik majd a mesterséges intelligencia, és kiemelt figyelmet kell majd fordítani az energiahatékonyságra és a fenntarthatóságra. A technológiai fejlesztések pontos irányát azonban nagymértékben befolyásolhatják olyan gazdasági és politikai szempontok is, mint az egyes országok különböző frekvenciagazdálkodási és szabályozási döntései, vagy a technológiai megoldások mögött álló multinacionális nagyvállalatok lobbierjeje.

Hivatkozások

- [1] Sky Dayton: „When your hero forecasts your demise”, Medium, 2024. január 9.
<https://medium.com/@skydayton/when-your-hero-forecasts-your-demise-232947be1932>
- [2] IPv6 Adoption Statistics, Google, 2024.
<https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>
- [3] Uj Péter: „A nagy WAP-blöff”, Index, 2000. április 6.
<https://index.hu/tech/mobil/wapup/>