

5G hálózatok architektúrája

CINKLER TIBOR, SIMON CSABA, SZABÓ ÖRS, SZÉKELY SÁNDOR, JAKAB CSABA

BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
{cinkler, simon}@tmit.bme.hu

Kulcsszavak: 5G hálózat, hálózati architektúra, virtuális hálózati funkciók, tárgyak internete, heterogén rádiós hozzáférés, Wi-Fi átterhelés

Ebben a cikkben összefoglaljuk és értékeljük az ötödik generációs hálózatokkal szemben megfogalmazott követelményeket, amelyek a tárgyak internetének elvárásait is teljesítendő, a hálózati architektúra átfogó és teljes átgondolását igénylik és a szolgáltatók automatikus együttműködését is elvárják. Az EU nagy hangsúlyt fektet az 5G hálózatok kutatására, tervezésére és szabványosítására, támogatja szolgáltató és gyártó cégek innovációs törekvéseit. A cikk a COMBO és 5GEx európai kutatás-fejlesztési kutatási projektek eredményeiről számol be, amelyek részesei az 5G hálózatok tervezési erőfeszítéseinek és egymást kiegészítve meghatározó elemei lehetnek az 5G hálózatok architektúrájának.

1. Bevezetés

A nagyteljesítményű mobil eszközök és a különböző alkalmazási területeken használható szenzorok széleskörű elterjedése új szolgáltatásokat, felhasználói igényeket generálnak. A felhasználók jellemző módon a korábban az asztali gépeken megszokott szolgáltatásokat és minőséget várják el a mobil környezetben is. Az információtechnológia széleskörű elérhetősége nemcsak az egyének, hanem a közösségek szervezését és kiszolgálását is segíti, ennek egyik kortárs megnyilvánulási formája az Okos Város (Smart City) [1]. Ezeknek az új felhasználói és szolgáltatási mintáknak fontos jellemzője a folytonos kommunikációs igény. Az intenzitásában és gyakoriságában egyaránt növekvő forgalom meg fogja haladni a most üzemben levő hálózatok kapacitásait. Lényeges változás, hogy a kommunikációs felhasználói igény nem korlátozódik az adatátvitel kapacitásának növelésére és a mobilitás támogatására. Az új, önszerveződő közösségi szolgáltatások kialakítása nagyfokú rugalmasságot igényel, valamint az elérhető erőforrások okos, közös kihasználását.

A fenti igényekre a kutatás-fejlesztés különböző fázisaiban és a szabványosító szervezetek napirendjén levő új, ötödik generációs (5G) hálózat adhat választ. A technológiai fejlődés alapján valószínűsíthető, hogy középtávon az iparági szereplők egy, a jelenleginél nagyobb teljesítményű rádiós hozzáférési standardot fognak kidolgozni [2]. Az 5G rádiós interfész csúcskapacitása a negyedik generációs (4G) hálózatok által ígért 1 Gbit/s tízszeresét fogja nyújtani, az 5G hálózati csomagkésleltetés pedig 5 msec lesz, ami szintén tízszeres javulás a 4G értékeihez képest [3]. Az 5G hálózat túlmutat a fenti előnyökön, a vele és az általa támogatott szolgáltatásokkal szemben támasztott szolgáltatói elvárás, hogy azok rugalmasak, skálázhatóak és üzletileg fenntarthatók legyenek [4]. Gyártói oldalról ezt az igényt úgy próbálják teljesíteni, hogy szolgáltatásorientált és több

tartományt kezelő (multi-domain) megoldást terveznek [5]. Így az 5G hálózatok a végfelhasználók számára egy olyan végponttól-végpontig (end-to-end) terjedő megoldást nyújtanak, amely az igényekhez igazodó, minőségi osztályokba sorolt folytonos mobilitást és összeköttetést biztosít.

Az 5G hálózatok architektúrájával kapcsolatos tervezési döntések során markánsan figyelembe kell venni a fenti szempontokat, mert ezek teljesítése alapjaiban fogja meghatározni az 5G hálózatok elfogadottságát és elterjedését. Az ilyen irányú kutatásainkat az Európai Unió (EU) aktuális kutatási pályázati támogatási rendszerén belül végezzük, mely hangsúlyos eleme a páneurópai 5G K+F erőfeszítéseknek. Az EU nagy hangsúlyt fektet az 5G hálózatok tervezésére, támogatja az európai világszintű, piacvezető szolgáltató és gyártó cégek innovációs törekvéseit, amelyek az EU 5G-PPP tevékenységében csúcsonak ki [6].

A cikkben bemutatandó kutatási projektjeink ennek a problémahalmaznak két olyan hangsúlyos részletével foglalkoznak, amelyek egymást kiegészítve meghatározó elemei az 5G hálózatok architektúrájának (de nem érintik a rádiós technológiát), szorosan kapcsolódnak az aktuális nemzetközi kutatási trendekhez és részesei az 5G hálózatok tervezési erőfeszítéseinek. Munkánk során a hálózat architektúrájának fogalmába beleértjük magát a hálózati infrastruktúrát (hálózati eszközök, összeköttetések és a rendelkezésre álló fizikai erőforrások), amely kiegészül a hálózat működtetéséhez szükséges logikával (interfészek, protokollok, eljárások összessége) [7].

A következő részben röviden áttekintjük az 5G hálózatokkal szembeni elvárásokat, majd bemutatjuk a több tartományt kezelő és több operátor együttműködését biztosító 5G hálózati architektúra javaslatot. Ezt követően ismertetjük a heterogén rádiós hozzáférési megoldások egységes, optimális kezelésére tett javaslatunkat, végül összefoglalással zárjuk a cikket.

2. Az 5G hálózatokkal szemben megfogalmazott követelmények

Jelenleg a negyedik generációs (4G) mobil hálózatok képviselik a legkorszerűbb technológiát a távközlési piacon, az azt megvalósító LTE (Long Term Evolution) gyakorlatilag a világ minden régiójában kiépítésre került [8]. Az első LTE hálózat 2009-es telepítése óta [9] elmondható, hogy a korábban jellemzően áramkörkapcsolt technológiáról a kommunikációs rendszerekben a csomagkapcsolt technológia vált irányadóvá. Ez a tény, illetve a 4G hálózatok nagyobb teljesítménye együttesen biztosítják a korábban a vezetékes hálózatokban megszokott szolgáltatások (email, web, VoIP, IPTV) teljes körű (beleértve a mobil) megvalósítását. Ugyanakkor az elmúlt évtizedben a korábbiak mellett új elvárások (virtualizáció, IoT) is számottevő igényt generálnak az infokommunikációs környezetben, amelyet már csak egy újabb generációs hálózat képes kielégíteni. Ebben a szakaszban az ezt az igényt kielégítő 5G hálózatot ismertetjük.

Amíg a korábbi hálózatokban (3G – UMTS, 4G – LTE [8]) a fejlesztések legfontosabb eleme a rádiós interfész volt és a vezetékes tartományban bevezetett változásokat is elsősorban a rádiós hozzáférés igényei szerint alakították, az 5G hálózatok esetében a hálózati architektúra többi eleme legalább ugyanakkora figyelmet kap. Ez annak köszönhető, hogy a hálózattal szemben támasztott elvárások kibővültek a teljesítmény jellegűen túlmutató elemekkel. Az 5G hálózat a digitális világ kulcsfontosságú eleme lesz, ahol a kommunikáció és a számítástechnika összeolvad [4]. Értelemszerűen a vezetékek nélküli rádiós interfész technológiai korlátai a hálózat felett nyújtott szolgáltatások számára is erős korlátot jelentenek, emiatt nem lehet elhanyagolni a rádiós interfész fejlesztését. Azonban elsőként a fontos új típusú elvárásokat tekintjük át.

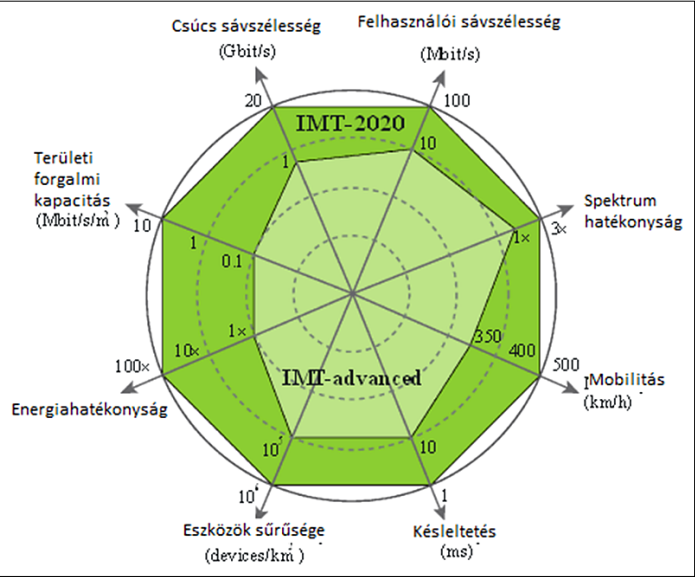
Az 5G hálózatok esetében hangsúlyos felhasználói igény lesz a Tárgyak Internete (Internet of Things – IoT) támogatására, ami a humán előfizetőknél egy nagyságrenddel nagyobb számú, kevés adatot forgalmazó esz-

köz jelent. Jellemző felhasználási területként az Okos Várost (Smart City), a járművek közti kommunikációt (vehicular communication), valamint a modern ipari robotok távvezérlését lehet kiemelni. Belátható, hogy ezeken a területeken a klasszikus humán felhasználási esetekkel szemben nem a nagy sáv szélesség, hanem az alacsony késleltetés a kritikus. Látható tehát, hogy az 5G hálózatok nagyon változatos igények együttes kiszolgálását kell lehetővé tegyék.

Az Nemzetközi Távközlési Egyesület (International Telecommunication Union – ITU) ajánlása szerint az 5G hálózatok (IMT-2020 az ITU terminológiája szerint) minden kulcsparaméterében legalább egy nagyságrendi javulást kell elérni [10]. Az ajánlás az 1. ábrán ismertetett módon foglalja össze azt az elvárt javulást, amit a 4G (IMT-Advanced) hálózatokhoz képest kell teljesíteni. Látható, hogy nemcsak a rádiós interfész csúcsteljesítményére (pl. kiemelt esetekben 20 Gbit/s sáv szélesség, 1ms késleltetés, 500 km/h mobilitás támogatása), hanem az átlagos felhasználók által jellemzően észlelt teljesítményt leíró paraméterek is definiáltak (felhasználói sáv szélesség, eszközök sűrűsége, területi forgalmi kapacitás). Szintén fontos elvárás az erőforrások hatékonysága, ezt számszerűsítik az energia- és spektrumhatékonyság paraméterek megadásával.

Végül az 1. táblázatban azt foglaltuk össze, hogy az 5G PPP keretében a rádiós interfésszel kapcsolatban melyek azok a kiemelt paraméterek, amelyeket a kísérleti megvalósítások során előtérbe helyeztek [4,11]. További elvárás volt, hogy a teljesítmény növekedése ellenére a teljes rendszer ne haladja meg a korábbi generációs mobil hálózat költség- és energiafogyasztás szintjét.

Ezeket a célokat heterogén rádiós rendszerek üzemeltetésével érik el, ahol a megszokott (legacy) interfészek mellett új rádiós interfészeket is telepítenek és okos és aktív rádiós koordinációval csökkentik az interferenciát. Az új rádiós interfészek tervezésekor az alábbi jellemző megoldásokat alkalmazzák: milliméteres hullámhosszú rádiós frekvencia használata (6 GHz és 100 GHz között), magasabb rendű moduláció igénybe vétele (pl.



1. ábra
Az 5G rádiós interfészével szemben támasztott követelmények, az ITU-R ajánlása szerint (IMT-2020 = 5G, IMT-advanced = 4G)
Forrás: [10]

1. táblázat
5G hálózatok teljesítményének javulása a 4G hálózatokhoz képest (5G PPP)

Paraméter	Javulás mértéke
A rendszer összkapacitása	1000-szeres
Cella szintű kapacitás	25-szeres
Kapcsolódott eszközök száma	100-szoros
Felhasználói sáv szélesség	100-szoros
Akkumulátor élettartama (alacsony teljesítményű IoT kommunikáció esetén)	10-szeres
Végponttól-végpontig mért késleltetés	5-szörös

256 QAM), masszív MIMO alkalmazása (pl. 100 antenna/adóállomás), nyalábalakítás (beamforming), a szoftvervezérelt rádió nyújtotta rugalmasság kihasználása.

A fent bemutatott, rádiós interfészekkel kapcsolatos elvárások megvalósítása meg fogja határozni az infrastruktúra teljesítményét, de az általunk kutatott terület számára ez csak kiindulási alapként szolgál. A vezetékes tartományt is magába foglaló 5G hálózat számára további elvárásokat is megfogalmaztak a szakirodalomban [12]:

- a hálózat rugalmasságának növelése;
- új szolgáltatások gyorsabb bevezethetősége;
- jobb minőség (QoS) biztosítása, akár szolgáltatásonkénti bontásban;
- magasabb rendelkezésre állás biztosítása;
- az energiaigény csökkentése.

A rádiós elvárások megvalósítása az infrastruktúra (pl. új rádiós interfész) kidolgozásán túl megköveteli a rádiós logika (radio resource control) átgondolását, a heterogén rádiós technológiák együttes szervezését, valamint az optimalizációs lehetőségek kihasználását. Amint azt a cikk 4. szakaszában részletezzük, az általunk végzett kutatások során megmutattuk, hogy miként lehet optimális, erőforrást kímélő módon kihasználni a több rádiós technológia nyújtotta lehetőségeket.

A 5G hálózati elvárások maradéktalan teljesítése új megközelítést követel, elsősorban a szolgáltatóktól. A végfelhasználó számára a tartományokra és szolgáltatókra szabdaltnak tűnő környezet egy merev, erőforrás-pazarló állapot. Az új szolgáltatások létrehozására vonatkozó elvárás csak úgy teljesíthető, ha a hatékony erőforrás-kihasználás jegyében átnyúlnak a tartomány- és szolgáltatói határok felett. Ennek érdekében az alapesetben egymással erős versenyben levő szolgáltatók rákényszerülnek az esetenkénti együttműködésre. Erre mutató egyedi példák már láthatók a gyakorlatban, amikor a mobilszolgáltatók közös adóállomás-infrastruktúrát üzemeltetnek. Ezt a viselkedést írja le az együttműködés (cooperation) és verseny (competition) szavakból származtatott co-competition elnevezés, illetve az általa leírt fogalom [13]. A jelenlegi megvalósult versenytársak közti kooperációk hosszas egyeztetések árán jöttek létre, de az 5G hálózatokban az együttműködést automatikus, előre lefektetett szabályok szerint kell megoldani. Iparági konszenzus van arról, hogy ennek a megvalósítása csak az új hálózati technológiák felhasználásával érhető el – különös tekintettel a szoftver definiált hálózatokra (SDN) [14] és felhő (cloud) [15] megoldásokra. A kutatások arra a kérdésre kell választ adjanak, hogy ezt miként lehet megvalósítani – a következő szakaszban az általunk javasolt keretrendszert ismertetjük.

3. Szolgáltatók és tartományok közti rugalmas együttműködés

Amint az előző szakaszban is bemutatottuk, az 5G hálózatokkal szembeni elvárások nem teljesíthetők kizárólag a transzport technológiák teljesítményének növelésével. Az infrastruktúra kapacitásának növelése nem képes helyettesíteni az új szolgáltatások megvalósítását

és bevezetését célzó megoldásokat, valamint az operátorok közti együttműködést biztosító eljárásokat. Ezeknek a céloknak az elérését csak az 5G hálózati architektúra megfelelő kialakításával lehet elérni. Az EU által finanszírozott, az 5G PPP konzorcium tagjai által vezetett 5GEx innovációs projektben azon dolgozunk, hogy több, egymással piaci versenyben levő operátor képes legyen egymás erőforrásait rugalmasan és automatikus módon akár új szolgáltatások nyújtására is megosztani.

Az EU 5G-PPP 16 projektet finanszíroz, amelyek a rádiós interfésztől kezdve szolgáltatás szervezési kérdésekig az 5G hálózat kutatás-fejlesztésének széles témaköréit fedik le. A 16 projekt egyike az 5GEx (5GExchange [16]), amely egy új koncepción dolgozik és az üzleti logika által megkövetelt felső szintű igényekből indul ki. Az innovációt ösztönző probléma abból áll, hogy új szolgáltatás létrehozása nemcsak időigényes, de rugalmatlan és költséges is. Az 5GEx hipotézise az, hogy csak akkor lehet hatékony a szolgáltatás-szervezés, ha a felhasználó nincs „bezárva” a szerződött szolgáltatója egyik tartományába. Ebből az igényből kiindulva olyan architektúrát javasol, amelyben a szolgáltatók szabályozott interfészekben keresztül tudnak erőforrásokat egymásnak átadni [16]. Ezzel a megoldással az 5GEx IKT iparági szereplői a jelenlegi internetes üzleti valóság és szolgáltatási piaci helyzet kedvező irányú megváltozását remélik az alábbi öt területen:

- *Felgyorsított szolgáltatás adaptáció* – a projekt által javasolt szolgáltatásbővítést támogató keretrendszerben a szolgáltatásokat gyorsabban lehet a változó igényekhez és piaci feltételekhez adaptálni.

- *A hálózatok feletti alkalmazások (Over-The-Top – OTT) kérdésének rendezése* – az alkalmazások jelenleg több hálózati tartományon keresztül generálnak forgalmat, az infrastruktúra „felett”, mindezt minőségbiztosítás (Quality of Service – QoS) garanciák nélkül. Az alkalmazások számára az az előnyös, ha a hálózatok erőforrásai a szükségesnél bővebben állnak rendelkezésre. Amennyiben rugalmasan lehet egyénre szabható, de legalábbis szolgáltatástípusra szabott QoS garanciákat kérni és biztosítani, akkor egyrészt az erőforrások túlbiztosítását lehetne csökkenteni (azaz hatékonyabb erőforrás kihasználást lehet elérni), másrészt az OTT alkalmazások is a minőségi kapcsolatért arányos mértékben vehetik ki részüket az erőforrások költségeiből.

- *Automatizált szolgáltatás-létrehozási környezet* – a kidolgozandó keretrendszer képes kell legyen a tartományok és szolgáltatók közti ellenőrzött és automatikus információ- és erőforráscserére. Ez alapfeltétele az automatikus tartományok felett átvitelő automatikus szolgáltatás létrehozásának.

- *Validált technológiák és szabványok* – a tartományok közti (inter-domain) funkciók hiányának pótlása együtt jár új szabványok, illetve az azokat megvalósító technológiák kidolgozásával.

- *Menedzselt virtuális hálózati funkciók (Virtual Network Functions – VNF) és infrastrukturális erőforrások cseréje/kereskedése* – az eseti és strukturálatlan erőforrás-kereskedés a különböző szolgáltatók közt korlá-

tozta az együttműködési lehetőségeket, megakadályozta a co-ompetition elterjedését az iparágban. A kidolgozandó keretrendszerben automatizált, ellenőrzött és fair módon lehet ezt a cserét/kereskedést megvalósítani.

Annak érdekében, hogy a fenti célok elérhetővé váljanak, az 5GEx egy olyan referencia architektúra keretrendszert javasol, amelyik képes a szolgáltatások alapjait képező hálózati és VNF erőforrások cseréjét dinamikusan megoldani [17]. Az architektúra feltételezi, hogy tartományonként egy „orchestrator” felelős a szolgáltatás- és erőforrás-menedzsmentért. Jelenleg még nem alakult ki a megfelelő magyar terminológia az „orchestrator” elnevezés kiváltására, a felhő rendszer virtuális erőforrásainak koordinálását, a virtuális gépek menedzsment és vezérlési feladatait ellátó funkcionális elemet nevezik így. A cikkben az „orchestrator” által megvalósított funkciót („orchestration”) harmonizálásnak fogjuk nevezni. Az architektúra megvalósításának alapfeltétele, hogy olyan „orchestrator” típust vezet be, mely képes több tartomány együttes kezelésére. Az „orchestrator” által a végfelhasználó számára úgy tudja gyorsan, hatékonyan és dinamikusan létrehozni az igényelt szolgáltatást, ha a tartományok „orchestratoroktól” igényelt erőforrásokat úgynevezett szeletekbe (slice) szervezve tudják elkérni. A szeleteket a több tartományú „orchestratorok” kérésére, a hatékonyság érdekében az adott szolgáltatásokhoz igazítva igény szerint állítják elő [2]. Szolgáltatói oldalról a szeletek a szolgáltatók közti erőforrás-használat elszámolásához is nagy segítséget nyújtanak.

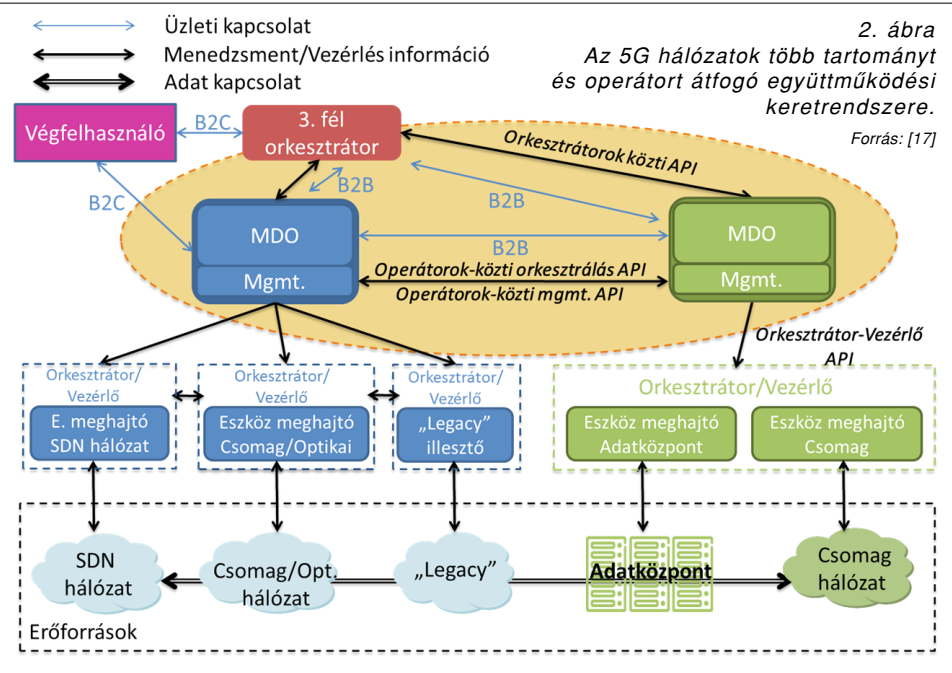
Az 5GEx által javasolt megoldás egy olyan architektúra, amely különböző tartományokat ötvöz egységes szolgáltatást létrehozó platformmá. A javaslat lényege a tartományokat kezelő „orchestratorok” közti kommunikációt megvalósító interfészek, amelyek technikai vezérlési síkot biztosítanak úgy a fizikai, mint a virtuális erőforrásoknak. Szintén ezek az interfészek biztosítják az VNF-ek menedzsmentjét is. Ezt a keretrendszert szem-

lélteti a 2. ábra, ahol külön számozással van kiemelve az az öt interfész, amelyek az 5G hálózati együttműködés megvalósításában kulcsszerepet játszanak. Az 5G hálózati architektúra alapját a különböző hálózati erőforrás-típusok képezik, mint a hozzáférés (Wi-Fi, 3G, 4G, Ethernet stb.), aggregációs és maghálózati kapcsolatok, valamint a felhő rendszerekben jól ismert számítási (compute) és tárolási (storage) erőforrások (amint az ábra első részében fel vannak tüntetve).

A végfelhasználó igénye (bal felső szereplő), hogy szolgáltatást vásároljon saját szolgáltatójától. Két lehetősége van erre. Egyrészt az 1-es típusú interfészen keresztül a 3. fél „orchestratorhoz” fordulhat, amelyik egy megbízott erőforrás-brókerként az erőforrásokat különböző operátoroktól fogja megvenni. Másik megoldásként a végfelhasználó a hagyományos módon saját szolgáltatójától vásárol, ebben az esetben a szolgáltató saját tartományaitól rendeli meg a szükséges erőforrásokat, ezt képviseli a többtartományos harmonizálást (Multi-Domain Orchestration – MDO). A különböző operátorok által üzemeltetett MDO-k közti változatos kommunikációs szerepek a 2-es típusú interfészen valósulnak meg és ezen keresztül a szolgáltató automatizált módon vásárolhat (rendelhet) más operátoroktól a szolgáltatáshoz nélkülözhetetlen területi lefedettséget, kapacitást vagy más képességet. Jelenleg nem létezik hálózatokat összekötő hasonló interfész. A következő szinten minden szolgáltató ezeket a megrendeléseket lebontja saját tartományaira (pl. külön mobil és vezetékes tartományaira) – ezt valósítja meg a 3-as típusú interfész. Ebben a lépésben a felhasználói szolgáltatás igényt felosztottuk tartomány-szintű harmonizációs (Domain Orchestration – DO) igényekre. Egyes esetekben azonos szolgáltatóhoz tartozó, de különböző tartományt kezelő „orchestratorok” egymással is információt kell cseréljenek, ezt a 4-es típusú interfész biztosítja. Ettől a ponttól kezdve a tartományon belüli technológia határozza meg, hogy

az igény milyen módon konvertálódik konkrét vezérlési eljárássá, amelyet az 5-ös típusú interfész közvetít.

Az 5GEx által javasolt több szintű harmonizálást (orchestration) lehetővé tevő referencia-architektúra segítségével elérhető a heterogén felhasználói igények kielégítése, mivel testreszabott szolgáltatást akár egyéni szintre lebontva is létre lehet hozni a saját szolgáltató által biztosított „orchestrator” segítségével. Mivel ez a keretrendszer megnyitja az utat más szolgáltatónál elérhető VNF erőforrások használatára is, globális szinten optimálisabb erőforrás kihasználtságot érhetünk el.



4. Hozzáférés választás

E szakaszban olyan architektúráis megoldásokat és technikákat javasolunk, melyek a 2. szakaszban felsorolt elvárások megvalósítását szolgálják. Fel kell ismerni, hogy e célok részben ellentmondanak. Például ha szeretnénk jobb minőséget és magasabb rendelkezésre állást biztosítani, akkor az energiaigény csökkentését nem tudjuk megvalósítani, hiszen több hálózati elemet kell folyamatosan bekapcsolva tartani. Ezért olyan kompromisszumot keresünk, ahol a minőség és rendelkezésre állás kívánt szintje mellett, a lehető legalacsonyabb fogyasztás valósul meg. Az előző szakasz bevezette a rugalmas, több tartomány és több operátor közti rugalmas erőforrás kihasználást és együttműködést lehetővé tevő keretrendszert. Ebben a szakaszban azt mutatjuk meg, hogy miként lehet rugalmasan és hatékonyan megoldani a felhasználó hozzáféréseit a szolgáltatóhoz.

A felhasználó hozzáférés-váltásának három módját különböztetjük meg:

1. Az első a hagyományos vízszintes, homogén vagy földrajzi átadás (handover). Ezt ismerjük már a mobil hálózatok korai generációi óta. A felhasználó, ahogy földrajzilag mozog, váltja a cellákat.

2. A második a függőleges, heterogén, vagy technológiák közötti átadás. Néha multi-RAT vagy inter-RAT átadásnak is nevezik, ami arra utal, hogy több rádiós hozzáférési technológia (Radio Access Technology) közt váltunk. Lényege, hogy adott ponton, akár anélkül is, hogy mozogna, a felhasználó hozzáférést vált, áttér egyik technológiáról másikra. Például LTE hálózatról a felhasználó átvált Wi-Fi hálózatra, ha nagyobb a sávszélesség, vagy olcsóbb a szolgáltatás. Ezt a szakirodalomban „Wi-Fi offload”-nak, Wi-Fi átterhelésnek nevezik. Javasolt módszerünkönél ez az átterhelés mindkét irányba megvalósulhat, sőt több különböző hálózati technológiát is érinthet, akár NFC, Bluetooth, de bármely 3GPP és Wi-Fi szabvány is lehet. Módszerünk a technológiák közti átadást is megszákítás nélkül valósítja meg, akár csak a homogén átadásnál.

3. A harmadik a szolgáltatók közötti átadás. Lényege, hogy ahogy országok közt megtörténik az átadás az egyik szolgáltató hálózatából a másikéba, vagy, ahogy külföldi roamingban tartózkodva több szolgáltató között szabadon mozoghatunk, úgy a belföldi roaming is megvalósítható. A belföldi roaming általában nem engedélyezett, vagy csak korlátozásokkal lehetséges. Például a Google nemrég egy országon belül (USA) két szolgáltató (Sprint és T-Mobile) hálózata felett hozott létre egy MVNO-t (Mobile Virtual Network Operator) így téve lehetővé a felhasználó átadását a két fizikai hálózat között [18]. Szintén érdekes példa a Magyar Telekom és Telenor együttműködése [19]. Ennek lényege, hogy a 800 MHz-es frekvenciatartományban megpályázott és 2029-ig elnyert 10+10 MHz-nyi blokkot nem külön-külön, hanem együtt használják, viszont földrajzilag felosztják; Dunától keletre a Telekom, Dunától nyugatra a Telenor használja a 20 MHz-es sávot. Az NMHH műszaki szempontok alapján előzetesen jóváhagyta, azonban értesítette a GVH-t, amely versenyfelügyeleti eljárást indított a versenyjogi szempontok érvényesülésé-

nek vizsgálatára. Ez is alátámasztja, hogy műszakilag megvannak a feltételek, azonban számos szabályozási és versenyjogi szempont még nyitott. E példa is alátámasztja, hogy a belföldi roaming az egymással versenyhelyzetben lévő szolgáltatók közt is megvalósítható.

A fenti három hozzáférés-váltás történhet a fenti három mód közül bármelyikén, de lehet e módokat együttesen is alkalmazni, például egyrészt technológiát, másrészt szolgáltatót váltunk, esetleg földrajzilag is más hozzáférést választunk, de nem három külön váltást valósítunk meg, hanem mindez egy lépésben történik. Nyilván itt az azonosítás is fontos szerepet kap. A COMBO projektben [20] az UAG (Universal Access Gateway) az általános hozzáférési átjáró az az egység, amely biztosítja a legjobb hozzáférés kiválasztását, esetleg a többutas átvitel megvalósítását, a váltáshoz szükséges felhasználó-azonosításokat, de akár a cachelést (gyorsítótárazást) is.

Mind a technológiák közötti, mind a szolgáltatók közötti váltás esetén egyidőben egynél több aktív összeköttetést tartunk fenn, és ezek felett többutas átvitelt biztosító protokollt kell alkalmazni. A több aktív összeköttetés fenntartása és együttes használata megvalósítható az alábbi három protokoll bármelyikével:

- MPTCP (Multipath Transmission Control Protocol) [21,22]
- SCTP (Stream Control Transmission Protocol) [23]
- IMS SIP MPRTCP (IP Multimedia Subsystem – Session Initiation Protocol – Multipath extension to Real-time Transport Protocol (RTP)) [24]

Valódi tesztkörnyezetben a többutas átvitelt MPTCP-vel valósítottuk meg, melyet elsősorban azért választottunk, mert több működő implementáció volt elérhető.

4.1. A hozzáférés megválasztásának módszerei

A háromféle hozzáférés-váltás közötti választás kritériuma a lehető legalacsonyabb fogyasztás elérése, miközben a szolgáltatás minősége (QoS: Quality of Service) egy megkövetelt szint felett van, és a szolgáltatók a felhasználókat pártatlanul szolgálják ki.

A [25] és [26] cikkekben összesen négy különböző módszert javasoltunk a felhasználók hozzáférési hálózatokhoz rendelésére, úgy hogy a lehető legalacsonyabb energiafogyasztás mellett is a minőségi és a rendelkezésre állási feltételek teljesüljenek. A kapott eredmények érdekessége, hogy különböző hozzáférési topológiák jelentősen befolyásolják a fenti három követelmény kompromisszumát. Megmutattuk, hogy ha minden felhasználó minden pillanatban akár két olyan hozzáférésre is csatlakozhatna, melyek nem tartoznak egy közös kockázatú csoportba – ahol egy meghibásodás mindkét hozzáférést ellehetetleníti – akkor látványosan javul a rendelkezésre állás és a minőség is. Ezért igen fontos a hozzáférési hálózatok részeinek megfelelő bekötése, hiszen kis tőkeárfordítással (CAPEX) jelentős üzemeltetési ráfordítás (OPEX) takarítható meg.

A [27] cikkben megvizsgáltuk egy többszolgáltatós környezetben, ahol engedélyezett a szolgáltatók közti hozzáférés választás és a szabad átjárás szolgáltatók

között, hogy különböző prioritások és korlátok mellett hogyan alakul az energiafogyasztás, minőség és rendelkezésre állás hármasság kompromisszum. Alacsony forgalmú órákban, mikor a hálózati terhelés alacsony, az energiamegtakarítás látványos.

A [28] cikkben a hangsúlyt a rendelkezésre állás növelésére helyeztük. Ennek több technikája lehet. Egyrészt az infrastruktúra alkalmas megválasztása, beleértve a hozzáférési rész topológiáját, másrészt a szolgáltatók közti együttműködéssel is javíthatjuk a rendelkezésre állást. Az energiafogyasztás csökkentését valamennyi esetben a konszolidáció és a szelektív kikapcsolás segíti. Ennek lényege, hogy a felhasználókat minél kisebb számú hozzáféréshez csatlakoztatjuk, míg az összes többi szelektíven lekapcsoljuk, vagy ideiglenesen energiatakarékos üzemmódba kapcsoljuk, ügyelve arra, hogy a minőségi korlátok ne sérüljenek.

4.2. A hozzáférés megválasztásának és váltásának demonstrációja

Javasolt módszereink működését a 3. és 4. ábrán szemléltetett tesztágyon mutattuk be. A két ábrán jól látni, hogy három lehetséges hozzáférés közül választhat a felhasználó: Wi-Fi AP1, Wi-Fi AP2 és LTE eNB. Ez két külön Wi-Fi és egy LTE hálózatot jelent. Mindhármal laborunkban állítottuk össze és csatlakoztattuk az internethez. Saját LTE hálózatunkat igen kis teljesítménnyel az ISM sávban valósítottuk meg. A felhasználó-oldali LTE modemekben saját SIM kártyáink voltak. A felhasználó (UE1 és UE2) szabadon csatlakozhat e három hozzáférés bármelyikéhez. Demonstrációnkban bemutattuk, hogy videotartalom-szerverről (Streaming Server) cachelés nélkül, a hozzáférést váltogató felhasználói eszközön valós időben is megszakadás és minőségvesztés nélkül fogadható a videotartalom. Tesztösszeállításunkkal igazoltuk módszereink megvalósíthatóságát és a technológiák és a szolgáltatók közti átadások stabil, minőségvesztés nélküli működését [29].

Az 5G hálózati architektúra nemcsak új rádiós interfészt jelent, hanem számos új infrastruktúrális, architektúrális és funkcionális újítást is. E leírt funkciókat, noha LTE hardverrel valósítottuk meg és mutattuk be működé-

süket, már túllépik a 4G határait, és az 5G követelményrendszerének részeit teljesítik be.

5. Összefoglalás

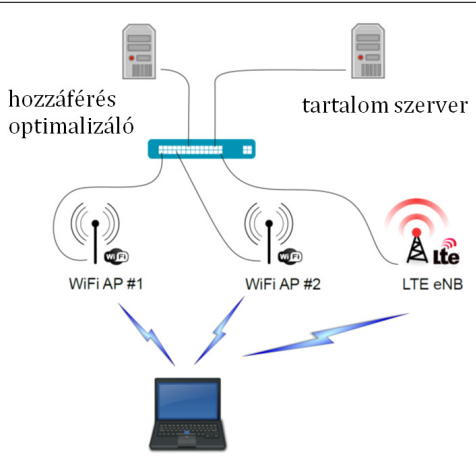
A mobil hálózatok felhasználói változatos igényekkel lépnek fel, egyesek számára nagy sáv szélességet kell biztosítani (pl. nagyfelbontású multimédia), más esetben nagyon alacsony késleltetést (pl. távvezérelt ipari robotok), esetleg alacsony energiafelhasználást (pl. IoT). Ráadásul ezt a heterogén igényt a jelenleginél nagyságrendekkel nagyobb előfizetői létszám mellett kell kielégíteni. A cikkben bemutattuk, hogy ez a változatos igényhalmazból miként alakultak ki és melyek lettek az újgenerációs, kutatás-fejlesztés és szabványosítás alatt álló 5G hálózatokkal szembeni követelmények.

Az elvárások része az erőforrások hatékony kihasználása és a gyors szolgáltatásnyújtás, amit csak a különböző vezetékes tartományok által biztosított erőforrások automatizált cseréje biztosíthat. Hasonlóan fontos a vezeték nélküli hozzáférési technológiák egységes optimalizálása. A cikkben olyan kutatói és fejlesztői munkáinkról számoltunk be, amelyek az 5G hálózatok ilyen jellegű architektúrális kérdéseire adnak választ. Munkánk során együttműködünk a vezető európai berendezégyártó és szolgáltató ipari szereplőivel, ezáltal eredményeink részét képezik az 5G PPP égisze alatt formálódó összeurópai 5G hálózatfejlesztési erőfeszítéseknek.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott eredményekhez vezető munkát részben a COMBO 317762. számú pályázati szerződés keretében (EU FP7/2007-2013), részben az 5GEx 671636. számú pályázati projekt keretében (H2020-ICT-2014) végeztük. Sem a pályázati konzorcium, sem az Európai Bizottság nem felelős semmilyen, az itt közölt információ alapján elkövetett cselekményért. A bemutatott munka részben a TÁMOP 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program „Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg.

3. ábra COMBO demonstráció konfigurációja



4. ábra A COMBO demonstrációs összeállítás fényképe



Irodalomjegyzék

- [1] K. Farkas, G. Fehér, A. Benczúr, C. Sidlo, "Crowdsending based public transport information service in smart cities" IEEE Comm. Magazine, 53(8):158–165, August 2015.
- [2] "5G Systems," Ericsson White Paper, Uen 284 23-3244, January 2015.
- [3] B. Cha, "What Is 5G, and What Does It Mean for Consumers?," March 2015.
<http://recode.net/2015/03/13/what-is-5g-and-what-does-it-mean-for-consumers/>
- [4] "5G Vision: The 5G Infrastructure Public Private Partnership: the next generation of communication networks and services," 5G PPP Brochure v1, February 2015.
- [5] I. Fried, "Interview with Ericsson CEO Hans Vestberg on 5G" <http://recode.net/2015/03/11/ericsson-ceo-on-5g-apple-suit-and-net-neutrality/>, March 2015.
- [6] EU 5G PPP honlapja, <http://www.5g-ppp.eu>
- [7] "Architecture definition", April 2006.
<http://whatis.techtarget.com/definition/architecture>
- [8] S. Sesia, "LTE: the UMTS long term evolution," New York: John Wiley & Sons, August 2009.
- [9] J. Markendahl, A. Ghanbari, B. G. Mölleryd, "Network Cooperation Between Mobile Operators-Why and How Competitors Cooperate?," In: IMP Conference, Atlanta, USA, September 2013.
- [10] "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," Recommendation ITU-R M.2083, September 2015.
- [11] A. Osseiran et al., "The foundation of the Mobile and Wireless Communications System for 2020 and beyond Challenges, Enablers and Technology Solutions," In: VTC Spring 2013, June 2013.
- [12] NGMN 5G White Paper, NGMN Alliance, February 2015.
- [13] M. Bengtsson, J. Eriksson, J. Wincet, "Co-opetition dynamics – an outline for further inquiry," Competitiveness Review: An Int. Business Journal, Vol. 20, Issue 2, pp.194–221, 2010.
- [14] B. Sonkoly et al., "Multi-domain service orchestration over networks and clouds: a unified approach," In: ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication, pp.377–378, September 2015.
- [15] O. Sefraoui, M. Aissaoui, M. Eleuldi, "OpenStack: toward an open-source solution for cloud computing," Int. Journal of Computer Applications 1;55(3), Jan. 2012.
- [16] "5GEx Multi-domain Service Creation – from 90 days to 90 minutes," A 5GEx White Paper, March 2016.
<http://www.5gex.eu/wp/wp-content/uploads/2016/03/5GEx-White-Paper-v1.pdf>
- [17] C. J. Bernardos, O. D. Dugeon, A. Galis, D. Morris, Cs. Simon, R. Szabó, "5G Exchange (5GEx) – Multi-domain Orchestration for Software Defined Infrastructures," In: EuCNC 2015 – European Conf. on Networks and Communications, Issy les Moulineaux, France, June 2015.
- [18] "Hivatalos: mobilszolgáltató (is) lesz a Google", Márc. 2015
http://hvg.hu/tudomany/20150302_mobilszallgaltast_indit_a_google_nexus
- [19] „Közös 4G-t fejleszt a Telenor és a Telekom”, eGov Hírlevel, Február 2015.
<http://hirlevel.egov.hu/2015/02/26/kozos-4g-t-fejleszt-a-telenor-es-a-telekom/>
- [20] EU FP7-es COMBO projekt honlapja,
<http://www.ict-combo.eu/>
- [21] A. Ford et al., "TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses," IETF RFC 6824, January 2013.
- [22] Multipath TCP protocol – MultiPath TCP – Linux Kernel implementation, September 2015.
<http://multipath-tcp.org>
- [23] R. Stewart, Ed., "Stream Control Transmission Protocol," IETF RFC4960, September 2007.
- [24] V. Singh et al., "Multipath RTP (MP RTP)", IETF Draft draft-ietf-avtcore-mp RTP-02, March 2016.
- [25] Á. Ladányi, T. Cinkler, A. Mitcsenkov, "Impact of optical access topologies onto availability, power and QoS," In: DRCN2014, 10th Int. Conf. on the Design of Reliable Communication Networks, Gent, Belgium, April 2014.
- [26] Á. Ladányi, T. Cinkler, Gy. Sallai, "Tradeoffs of a converged wireless-optical access network," In: Networks2014, 16th Int. Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium, Funchal, Madeira, Portugal, September 2014.
- [27] Á. Ladányi, T. Cinkler, A. Mitcsenkov, "Power saving tradeoffs in a multi-operator scenario," In: HPSR 2015, 16th IEEE International Conference on High Performance Switching and Routing, Budapest, Hungary, July 2015.
- [28] T. Cinkler, Á. Ladányi, "Resilient access via 3D Hand-Over," In: RNDM 2015, 7th International Workshop on Reliable Network Design and Modelling, München, Germany, October 2015.
- [29] Á. Ladányi, P. Olaszi, P. Varga, T. Cinkler, "Network initiated Wi-Fi – LTE Handovers with Multipath TCP," in HPSR 2015, 16th IEEE Int. Conf. on High Performance Switching and Routing, Budapest, Hungary, July 2015.

A szerzőkről



CINKLER TIBOR 1994-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet, majd 2000-ben PhD fokozatot a BME-n, az MTA doktori címet 2013-ban nyerte el. Jelenleg egyetemi tanár a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékén. Kutatási területe az 5G, IP, MPLS, ngSDN, OTN és általában az optikai alapú GMPLS-vezérelt heterogén (többtrétegű, többtartományú) hálózatok optimalizálása. Több mint 180 bírált kutatási cikk és 4 szabadalom szerzője vagy társszerzője. Számos európai és hazai projektben vett részt, valamint tagja volt sok nemzetközi konferencia programbizottságának.



SIMON CSABA mérnök informatikus a doktori címét 2012-ben a BME Informatikai Doktori Tudományok Iskolájában szerezte, jelenleg a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékén egyetemi adjunktus. A mobil hálózatok témakörében több, az EU által finanszírozott nemzetközi kutatási projektben vett és vesz részt (OverDRIVE, Ambient Networks, 5GEx). Kutatási területe a Jövő Internete, 5G hálózatok és felhő alapú hálózatok.



SZABÓ ÖRS 2016-ban a BME-n szerzett mérnök-informatikus mesteri diplomát csomagkapcsolt gerinchálózati forgalom osztályozásának témakörében. Tanulmányaival párhuzamosan az Ericsson Magyarország Kft. részmunkaidős alkalmazottjaként 4G mobil hálózatok csomagkapcsolt beszédátvitelének és szolgáltatásainak megvalósításával kezdett el foglalkozni. Jelenleg a cég rendszertervező mérnökként dolgozik.



SZÉKELY SÁNDOR 2005-ben védte meg doktori disszertációját a BME Villamosmérnöki Tudományok Doktori Iskolájában. A Siemens, majd a Nokia Siemens Networks csomagkapcsolt beszéd és TV szolgáltatást megvalósító termékeinek fejlesztésében vett részt. 2014-től a Huawei európai részlegének innovatív multimédia (videó) megoldásait megvalósító részlegét vezeti. Kutatási területe a csomagkapcsolt multimédia szolgáltatások.



JAKAB CSABA 2014-ben szerezte meg a BME Villamosmérnöki BSc oklevelét, jelenleg a BME Villamosmérnök mesterképzésén az Infokommunikációs rendszerek szakirány hallgatója. 2013-ban gyakornokként a TeliaSonera optikai gerinchálózatának hibáinak felderítésével foglalkozott. Kutatási területe az optikai gerinc hálózatok optimalizálása és az 5G hálózatok.