

INTERNET: SIKER(!), KORLÁTOK(!?) ÉS JÖVŐ?

Szabó Róbert

PhD, egyetemi docens
BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
szabo@tmit.bme.hu

Az internet sikertörténete az 1960-as évekre vezethető vissza, amikor is lefektették azokat az alapelveket, amelyek azóta is meghatározzák a hálózatok hálózatát. A legújabb elvárások (például: mobilitás és dinamikusan formálódó hálózatok) azonban kikezdi azt a struktúrát, amely kvázi statikus környezetre lett teremtve. A jövő hálózatainak folyamatosan adaptálódniuk kell a környezethez, melyet csak a hálózatban elhelyezett további intelligenciával biztosíthatunk. Ebben a cikkben összefoglaljuk, hogy mik azok az alapelvek, amelyek a statikus internetet sikerre vitték, és bemutatunk egy lehetséges irányt a továbblépésre. A felvázolt módszer intelligens vezérlési funkciókkal és együttműködési interfészekkel ruházza fel a hálózatokat az adaptivitás biztosítására.

1. Bevezetés

A mobil hálózati technológiák napjainkban már beépültek mindennapi életünkbe. A már jól ismert első és második generációs mobiltechnológiák mellett – melyek elsősorban beszéd átvitelére fókuszáltak – egyre növekvő jelentőségre tesz szert a már napjainkban is széles körben elérhető kisebb kapacitású mobil adatkommunikációs technológia (GPRS és EDGE), valamint ennek következő gene-

rációs eleme, a harmadik generációs (3G) szélessávú cellás mobil- (UMTS) technológia. A mobiltechnológiára épülő távközlési iparág egyértelmű hitvallása szerint ezen sebességbe- li növekedés a jövőben is töretlenül fogja jellemezni a műszaki fejlődésüket, megközelítve a 100 Mbit/sec adatátviteli képességet is.

Ezzel párhuzamosan – néha kiegészítőjeként, néha pedig alternatívájaként a cellás mobilrendszereknek – szintén széles körben terjednek és rohamosan fejlődnek az IEEE 801.11 számítógép hálózati technológián alapuló vezeték nélküli helyi hálózatok (WLAN). Ezen technológiai heterogenitás – társulva a technológiánként más és más adminisztrációval – új együttműködési megoldások után kiált. Az együttműködni akaró, technológiailag különböző hálózatot be kell állítani (felkonfigurálni), ami ezek különbözősége (heterogenitása) miatt mindig egyedi feladat. A hagyományos internetes *best-effort* – nem garantált, szabad erőforrások függvényében biztosított – szolgáltatásra jellemző adatkommunikációs hálózatok együttműködését természetesen az internetprotokoll (IP) biztosítja.

Eddig a felhasználók a konfigurációs feladatokkal vajmi keveset törődtek, azt a szolgáltató elvégezte. Viszont az újabb technoló-

gják elterjedésével a konfigurációs problémák a felhasználói oldalon is markánsabban jelentkeztek. A fogyasztók jelentős hányada a technológiai háttértől függetlenül egységes megoldást keres felmerülő kommunikációs problémáira. Mind kényelmi, mint gazdasági szempontokból is előnytelen számára, hogy különböző technológiai megoldások nem átjárhatók, hasonló célokra különböző berendezéseket (mobil eszközöket) kell vásároljon, fenntartson és használjon. Új szempont, hogy a bővülő technológiai eszköztárat kihasználva egyre több felhasználó építi ki saját, kisméretű hálózatát, amelyet szeretne a „mainstream” hálózatokkal (is) összekötni.

A mindenütt jelen lévő („ubiquitous”) és a mindent átható („pervasive”) számítástechnika – szenzor hálózatok és intelligens rendszerek – mind-mind kommunikációs igényre lépnek fel; nemcsak lokális, de globális értelemben is. A helytől független (nomaditás), a mozgó (mobil) és a vezeték nélküli internetelési technológiák biztosíthatják is ezt a felhasználók és a szolgáltatók számára. Csak-hogy a kihívás egyre egyértelműbb: hogyan lehet az ilyen heterogén rendszerbe foglalt technológiákat és szolgáltatásokat menedzselni? Hogyan lesz ebből végponttól végpontig – előfizetőktől előfizetőig – igénybe vehető szolgáltatás? Hogyan tudnak a különböző adminisztrációhoz tartozó hálózatok együttműködni? Hogyan lehet mindezeket dinamikusán, adaptívan és költséghatékonyan (minimális emberi beavatkozással) kivitelezni?

A cikk hátralévő része a következőképpen tagolt: a 2. fejezetben ismertetjük az internet azon meghatározó tulajdonságait, melyek mai sikerét és esetleges jövőbeli korlátait adják; a 3. fejezetben egy lehetséges fejlődési irányt, egy új internetes vezérlési síkot mutatunk be. A 4. fejezet összegzi a megállapításokat.

2. Az internet: siker és korlátok

Az internet, napjaink legsikeresebb és legdinamikusabban növekvő hálózata, sikereit az 1960-as, 1970-es évek tervezési döntéseire vezetheti vissza, aminek eredményeképpen *de facto* kialakult a mai struktúra, amely azóta is szinte változatlan formájában – és sikeresen – működik. Ez a struktúra azonban a bevezetőben is említett újabb és újabb kihívásoknak egyre nehezebben felel meg, ezért a legfrissebb kezdeményezések akár az alapelvek újragondolását is felvetik. Hogy megértsük, mik a korlátai a mai internetnek, érdemes röviden áttekinteni a sikerhez vezető eredeti koncepciót.

Az internet és a csomagkapcsolás elmélete – ellentétben az akkor már régóta használt telefonhálózatok áramkör-kapcsolási technikájával – először Leonard Kleinrock (MIT) 1961-es publikációjában (Kleinrock, 1961) jelent meg. Ekkor – a kezdetek kezdetén – több egymástól független csoport dolgozott számítógépek kommunikációját támogató újszerű hálózat létrehozásán. A számítógépek közötti kommunikáció jellegzetesen nem folyamatos, hanem ún. *löketecken* (burst) alapul. Egyszer van adat, amit át kell küldeni egyik ponttól a másikig, máskor pedig nincs kommunikációs igény; ezen periódusok pedig az alkalmazás függvényében váltakoznak. Gondoljunk bele az elektronikus levelek küldésébe és fogadásába, vagy a webböngészésbe. Szemléletes analógia egy könyv néhány oldalas levelek sorozataként való küldése a kiadótól a felhasználóhoz, aki csak akkor kéri le az új fejezeteket (vagy például a következő tíz oldalt), ha már az előzőeket elolvasta. Ez a kommunikáció időben fluktuáló, hol kell levelet küldeni, hol pedig nem. A csomagkapcsolt internet esetén is a levelekhez hason-

lóan önálló, korlátozott méretű *csomagokban* – innen az elnevezés – küldjük át az adatot az egyik ponttól a másikig. A már említett áramkör-kapcsolásos telefonhálózat ezzel ellentétben olyan, mintha a kommunikáció kezdetén egy csövet húznánk ki az adó és a fogadó között, amin egymástól függetlenül (elkülönítve) áramolhatnak az adatok. Ezért nem kell őket sem csomagolni, sem pedig címmel ellátni, hanem mintha vizet öntenénk a csőbe, folyamatosan áramolhat az adat. Az áramkör-kapcsolásnál – a fenti könyves példánál maradván – amíg az ember olvas, addig a cső kihasználatlanul áll rendelkezésre, hiszen az új fejezetek vagy oldalak lekérése csak lapozáskor történik.

A kezdetekkor a tízes nagyságrendben összekötött számítógépek egy adminisztráció alá tartoztak – egyetemi és kutatói hálózat –; azok együttműködése az egységes hardver és szoftvertechnológiáknak köszönhetően megoldott volt. Az 1970-es évekre azonban a kezdeti sikereken felbuzdulva, újabb és újabb – a kezdeti hálózattól (ARPANET) független – hálózatokat hoztak létre. Ezek technológiailag (például mikrohullámú hálózatok és helyi hálózatok [LAN]) és szemléletileg (például kereskedelmi hálózatok) akár jelentősen különbözhettek az eredeti ARPANET-től; viszont ezen hálózatok együttműködése (is) kívánatos volt. 1974-ben Vinton Cerf és Robert Kahn (Cerf – Kahn, 1974) kidolgozták a hálózatok hálózatának az elvét, vagyis a hálózatok együttműködését (internetting), ami később a mai internet nevét is adta. Az alapelv egy *nyitott hálózati architektúrára* épült az alábbi szempontok szerint:

- *Minimalizmus és autonómia*: bármely hálózatnak képesnek kell lennie önmagában is működni és belső változtatás nélkül együttműködni más hálózatokkal.

- *Best-effort szolgáltatás*: az együttműködő hálózatok egy ún. tőlük telhető legjobb, de garanciák nélküli (best-effort) szolgáltatás nyújtanak, és semmi többet. Vagyis ha például megbízható adatátvitelre van szükségünk, akkor ha a hálózat belsejében egy csomag elveszik (hasonlóan, mint ahogy például egy postai levél is elveszhet), akkor azt a feladónak kell észlelnie, és újraküldenie (az analógiánál maradván a posta nem nyújt garanciát a feladott levelek kézbesítésére, de hacsak teheti, akkor kézbesíti a leveleket).
- *Állapotmentes útválasztók*: a hálózat belsejében lévő eszközök (fenti példánál maradván mint a postai elosztók) a rajtuk áthaladó forgalomra vonatkozólag nem tárolnak információt (hasonlóan a postai szolgáltatáshoz). Vagyis ha ugyanazon feladó és címzett között két levelet küldünk, akkor ezeket egymástól függetlenül kezelik a közbelső elemek. (Az áramkörkapcsolt telefonhálózatnál a kommunikáció előtt mintha egy „csövet” fektetnénk le: minden közbelső elembe bejegyezzük, hogy a két félhez milyen feldolgozó erőforrásokat rendelünk – vagyis a kapcsolatokra vonatkozó információt tároljuk.) Az útválasztók a csomagkapcsolt hálózatban a postai elosztóknak felelnek meg – csak persze sokkal, de sokkal több van belőlük –, minden elágazásnál eldöntik, hogy a célcím felé melyik irányban leghatékonyabb az adatcsomagot továbbítani.
- *Elosztott felügyelet*: nincs, és nem is lehet egyetlen szervezet sem, amelyik az egész internet felett rendelkezik, vagyis egyenrangú hálózatok együttműködését valószínűsítjük meg.
Ezen együttműködés megteremtéséhez el kellett rugaszkodni a fizikai hálózati jellem-

zőktől, hiszen minden hálózat más és más technológiailag. Egy olyan *logikai réteget* (virtualizációt) kellett létrehozni, amelyen az együttműködés a fizikai kötöttségektől megszabadítva, korlátlanul és egységesen lehetséges. Ez lett az „internetting” szint, a mai Internet Protocol (IP). A postai analógiában a címek is egy ilyen logikai absztrakciót takarnak, hiszen közvetlenül nem fizikai objektumot jelentenek. A beépített telket/épületeket/lakásokat tekinthetjük a fizikai objektumoknak, amelyek helyrajzi számát hiába ír-nánk rá a borítékra, az nem jutna el a cím-zetthez, hiszen, példának okáért, minden városban van 1-es helyrajzi számú objektum, és hogy ezekből melyiket is címeztük meg, az nem deríthető ki. Az IP protokoll a postai címzéshez hasonlóan egy olyan *logikai címet* (IP cím) rendel minden internetre kapcsolódó végponthoz, amely egyedi és független a fizikai hálózattól; továbbá biztosítja, hogy a hálózaton belül az ezen címekre feladott csomagok „best-effort” jelleggel a célhoz jussanak. Ezt a hálózati funkciót hívjuk út-választásnak, amiről korábban említettük, hogy állapotmentes (emlékezetmentes).

Az IP-t – gyakorlatilag ezen minimális funkciókra korlátozva – a kommunikációs struktúrájának a legvékonyabb – legkevesebb funkcióval bíró – részeként szokták illusztrálni, mint egy homokóra legvékonyabb pontját. Ebben a „homokóra” architektúrában az IP alatt megjelenhet bármely fizikai adatátviteli technológia (Ethernet, WLAN, 3G stb.), és az IP fölött pedig tetszőleges alkalmazást futtat-hatunk (e-mail, Web, Voice-over IP stb.).

Az IP sikerének kulcsa továbbá, hogy a fentiek következményeképpen a hálózat belseje végtelenül egyszerű (buta) – hiszen csak továbbítja a csomagokat („leveleket”), de a csomagokba („levelekbe”) azt teszünk a

feladói oldalon, amit csak akarunk. Az egyetlen dolog, amiről gondoskodni kell, hogy a címzett értelmezni tudja a küldeményt. Ez-által az internet felett az újabb és újabb alkalmazások létrehozásához és beindításához *kizárólag* a végpontokban kell módosításokat végezni, a hálózat szisztematikusan és bután szállítja ezen új alkalmazások adatait is, megkülönböztethetetlenül a korábbi alkalmazásoktól. Végiggondolható, hogy milyen egyszerű ebben a környezetben az innováció, az új alkalmazások fejlesztése és terjesztése, hisz még csak egyeztetni sem kell az infrastruktúrát a szolgáltatóval. Ez szöges ellentétben van a telefonhálózatos megközelítéssel, amire a buta végberendezés és intelligens hálózat jellemző. Ennek eredményeképpen a hálózat alkalmazások specifikussága gátolja a technológiai és szolgáltatószintű innovációt.

Az internet ezzel a szemlélettel és architektúrával napjaink kizárólagos és egyeduralkodó hálózatává nőtte ki magát. Ugyanakkor a legújabb kihívások már feszegetik a négy évtizedes struktúrában rejlő lehetőségek határait. Pár ilyen szempont, amely közelebb visz a témánkhoz:

- *Szolgáltatásminőség biztosítása:* az internet „best-effort” szolgáltatási jellege abból adódik, hogy a hálózat belsejében lévő elemek *megkülönböztetés nélkül* kezelik az egyes kapcsolatokhoz tartozó adatcsomagokat. Ha minden éppen futó kapcsolatra félretennének feldolgozókapacitást a belső elemek, akkor egy hálózat belsejében lévő eszközben akár többmilliónyi kapcsolatra vonatkozó információt kellene fenntartani. Ez nyilvánvalóan nem megoldható. Más részről ha a postai prioritásos (elsőbbségi) levélküldéshez hasonlóan szolgáltatási osztályokat vezetnénk be az interneten, akkor a beszéd- vagy

videodatainknak nem kellene a fájlletöltesekkel versengeniük; ez növelné a felhasználói elégedettséget. Csakhogy egy ilyen modellhez – amennyiben számszerűsíteni is akarjuk az elvárható kiszolgálást – sok-sok további bonyolult funkció tartozik, melyeken keresztül egymástól független és sokszor különbözőképpen működő hálózatoknak kellene valami egységes felhasználótól felhasználóig tartó szolgáltatást biztosítani. Gondoljunk bele, hogy ha elsőbbségi levelet küldünk más országba, akkor a különböző postai szolgáltatások eltérően értelmezhetik az elsőbbségi definícióját – például az egyiknél három nap az alap és egy az elsőbbségi, a másiknál ugyanez hét és három nap.

- *Mobilitás támogatása*: manapság a mobilitás mindennapjaink részévé válik. Az internet azonban az IP címezéssel nem tudja tökéletesen követni a mozgó állomásokat. Annak ellenére, hogy az IP cím a fizikai objektumtól független, logikailag mégis kötődik hozzá, egy másik hálózatban már nem érvényes – hiába ugyanazt a laptopot szeretnénk címezni vele. Analógiánk szerint, ha valaki elutazik otthonról, akkor nem viheti magával a lakcímét. Ez tulajdonképpen azt jelenti, hogy az IP cím is egyszerre *azonosító és helymeghatározó* (lokátor) is. Ennek történeti okai vannak: az IP-t időben és térben állandó struktúrához tervezték, és a végpont – vagy akár egész hálózati részek (például vonaton mozgó hálózatok) – dinamizmusából adódó követelményeknek már nem (vagy nehezen) tud megfelelni.

Az IP-ben sem a szolgáltatások menedzseléséhez (például szolgáltatásminőség), sem pedig a dinamikus együttműködések támogatásához nincsenek funkciók. Ezt a többletet

a hálózatok *vezérlési síkjában* kell elhelyezni, amely a benne rejlő intelligencia révén képes az IP-t dinamikusan és adaptívan úgy *átkonfigurálni* (újrakonfigurálni), hogy az megállja a helyét az újabb és újabb kihívások között. Ha a hálózati komponenseket mint egy háromdimenziós kockát képzeljük el, akkor az adatcsomagok továbbítására a különböző rétegekben a *felhasználói síkot* használjuk, ahol a hasznos kommunikáció történik. Logikailag a *vezérlési sík* e mögött a felhasználói sík mögött helyezkedik el, és a felhasználói adatkommunikáció lehetőségét teremti meg. Például az útválasztó elemek egymással kommunikálnak, hogy terjesszék melyik irányban, milyen cílcímek érhetőek el, majd ebből kiszámolják a legrövidebb útvonalat, és a felhasználói síkban arra továbbítják az adatcsomagokat. De vezérlési funkcióként jelenik meg a címek hozzárendelése, a mobilitás támogatása, a különböző hozzáférések közötti választás, vagy a szolgáltatások minőségének biztosítása és a hálózatok dinamikus együttműködése. Ezen funkciókból azonban az IP csak az útválasztást támogatja!

3. Válasz a jövőre – egy új internetvezérlési sík

A hálózati réteg, mint említettük, az alapvető kommunikációs együttműködést biztosíthatja. A mai internet vezérlési síkja a minimális útvonalválasztásra és hibák jelentésére korlátozódik. Annak érdekében, hogy ez a felhasználói és szolgáltatói elvárásoknak eleget tegyen, *új vezérlési síkot* kell létrehozni, amelyen keresztül a mobilitás, a heterogenitás és az együttműködés már egységesen kezelhető. Az egyik ilyen kutatási irányvonal – az *ambients hálózatok* (Ambient Networks – AN) – egy új vezérlési sík létrehozását célozza meg, amely belső funkcióin keresztül támogatná a mobilitás- és hálózatválasztás kezelését; a

biztonságos kommunikációt és médiatartalom átvitelét; valamint *egységes külső interfészeket biztosítana a hálózatok dinamikus együttműködéséhez* (Kovács – Simon, 2005). Ambiciózusabban: univerzális együttműködési interfészeken keresztül az egyes hálózatok vezérlési síkjai rekurzívan egymásba ágyazhatók lehetnének, mely által komplex együttműködések (elrendezések) támogathatnak egyazon alap- (primitív) konstrukciókkal építkezve. Mindezeket a vezérlési funkciókat megvalósító protokollokat és függvényeket fogja össze az a vezérlési tér, ami, a vízió szerint, minden hálózatban jelen lesz: az ún. *ambiens vezérlési tér* (Ambient Control Space – ACS) (AN, 2004).

Az ACS-t tulajdonképpen az eddig is használt és a jövőben megjelenő hálózati technológiák feletti logikai rétegeként (overlayként) értelmezhetjük. Funkciója azonban nemcsak az adott hálózathoz és technológiához kötődő transzport szolgáltatás biztosítása – mai vezérlési sík egyetlen funkció –, hanem a külső együttműködések koordinálása, amelynek láncolataként végponttól végpontig terjedő szolgáltatást nyújthatunk/használhatunk heterogén hálózatokon átívelve.

3.1. Új vezérlési sík – az *ambiens* vezérlési tér

A fenti célok megvalósításához egy új vezérlési síkot kell tervezni. Ezen új vezérlési síknak a hálózatok dinamikus együttműködését kell támogatni a végpont–végpont szolgáltatások és szolgáltatásminőség biztosításához; az alkalmazások számára egy egységes tulajdonságokkal rendelkező, azonos módon kezelhető hálózatot kell mutatni – annak ellenére, hogy sok-sok független hálózat összessége –; és nem utolsósorban a heterogén fizikai kö-

zegeket (erőforrásokat) egységesen kell megjeleníteni, hogy az együttműködő hálózatok ezekhez transzparens módon férhessenek hozzá. Mindezen célokat csak a külvilág felé jól definiált referenciapontokon (interfészek) keresztül lehet elérni.

Az egymástól független hálózatok együttműködését az *ambiens hálózati interfész* (Ambient Network Interface – ANI) biztosítja (1. ábra). Az ANI egy szabványosításra váró interfész, amelyen keresztül a különböző adminisztrációhoz tartozó ACS-ek kommunikálhatnak egymással.

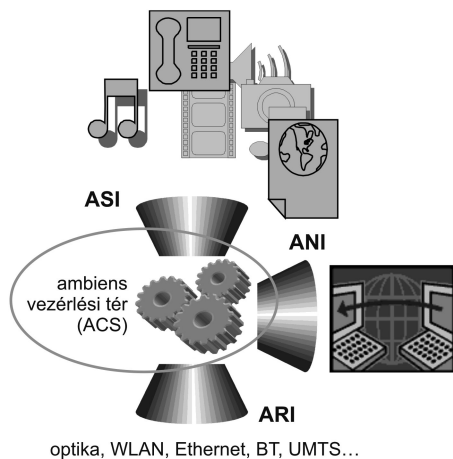
Az együttműködő hálózatok szolgáltatásaihoz az *ambiens szolgáltatási interfészen* (Ambient Service Interface – ASI) keresztül lehet hozzáférni (1. ábra). Ez az interfész biztosítja, hogy több hálózat együttműködése esetén is egy homogén szolgáltatás elérési pont látszódjon csak kifelé – a felhasználók felé –, melyen keresztül az együttműködő hálózatok az ANI interfészükön egyeztetve együttesen biztosítják a végpont–végpont szolgáltatásokat. Ilyen lehet például egy VoIP szolgáltatás kiépítése és fenntartása, bárhová vándoroljon is a felhasználó az együttműködő hálózatokban.

Végezetül, a heterogén fizikai technológiákat elrejtendő, a vezérlési tér egy absztrakt *ambiens erőforrás interfészen* (Ambient Resource Interface – ARI) keresztül fér hozzá azokhoz az erőforrásokhoz, amelyek felett a szolgáltatásai nyújtásához rendelkezik (lásd 1. ábra). Így a különböző hálózatok együttműködésénél az erőforrások ezen a logikai reprezentáción keresztül kerülhetnek menedzselésre (lefoglalásra), így biztosítva a transzparens együttműködést végponttól végpontig.

3.2. *Ambiens* hálózatok és *ambiens* intelligencia

Az *ambiens* hálózati (Ambient Networks projekt honlapja, 2004) kutatások az inter-

¹ Lásd jelen szám Dibuz Sarolta – Csopaki Gyula: *Infokommunikációs protokollok* című cikkét.



1. ábra • Ambiens vezérlési tér (ACS)
és az univerzális interfészek

netet érő új kihívások hálózati szintű megoldását javasolják, amely megfelelő környezetet (ambiens szolgáltatási interfész – ASI) tudna teremteni mindazoknak a jövőbeli alkalmazásoknak, amelyek a mindenütt jelen lévő, mindent körülölelő infokommunikációs infrastruktúrán a felhasználók életét hivatottak megkönnyíteni. Ilyen alkalmazásokkal találkozhatnak az olvasók a kezükben tartott számban a Gordos Géza – Laborci Péter által jegyzett *Ambiens intelligencia alkalmazásai c.* cikkben.

Fontos megjegyeznünk, hogy ezen egymásra épülő kutatások párhuzamosan futnak, és a szolgáltatásaik színvonala és a felhasználói elégedettség úgy növekszik, ahogy egyre több és több komponens épül a rendszerbe.

4. Összefoglalás

Az internetnek köszönhetjük az infokommunikációs forradalmat. Az internet sikerét azok az egyszerűsége és nyitottságra törekvő alapelvek adták, amiket a kezdetek kezdetén az 1960-as, 70-es években határoztak meg. A mobilitásból adódó dinamizmus és a felhasználói elvárások azonban olyan kihívást jelentenek ezen statikus környezetre kigondolt architektúrájának, melyhez intelligens hálózati támogató funkciók szükségesek. Ezen támogató funkciókat egy új hálózati vezérlési síkban lehet összefogni, melynek egy lehetséges vízióját vázolja fel az ambiens hálózati kutatás. A környezetünkben lévő intelligens rendszerek (*Ambiens Intelligencia*) ezen hálózati szolgáltatásokat kihasználva valósíthatják meg azt az észrevétlen és mindenütt egyformán működő szolgáltatást, amelyek megkönnyíthetik mindennapi életünket.

Köszönetünket fejezzük ki a BME Ambient Networks projekt további résztvevőinek: Benkő Borbála Katalinnak, Erdei Márknak, Katona Tamásnak, Kersch Péternek, Kis Zoltán Lajosnak, Németh László Harrinak, Simon Csabának, Wágner Ambrusnak, Wágner Katalinnak. A cikkben közölt eredmények háttérét a WWI Ambient Networks (Ambient Networks projekt honlapja, 2004) projektek adták, melyeket az Európai Unió 6. Kutatási Keretprogramja támogat(ott).

Kulcsszavak: *internet, IP, vezérlési sík, ambiens hálózatok, hálózatok együttműködése*

IRODALOM

Ambient Networks projekt honlapja (2004): <http://www.ambient-networks.org>, 2004-2006
Cerf, Vinton – Kahn, Robert (1974): *A Protocol for Packet Network Interconnection*. IEEE Transactions on Communications Technology, Vol. COM-22,

Number 5 (May 1974) 627–641.
Kleinrock, Leonard (1961): *Information Flow in Large Communication Networks*. RLE Quarterly. Progress Report, July 1961.
Kovács Balázs - Simon Csaba (2005): *Ambient hálózatok: áttekintés*. Híradástechnika. Július, 39–44.