

Török Péter¹

Mi az, ami a nem létező csövön kifér?

(Nagy távolságú, vezeték nélküli pont-pont
kapcsolatok adatátviteli vizsgálata)

**What is the highest speed of data
we can transmit on a non existing channel?**

**(Data transmission test for long range wireless
Point-to-Point connections)**

Az egyre gyorsabb vezeték nélkül adatátvitel napjaink kommunikációjának nélkülözhetetlen eszköze. Folyamata bonyolult. Sok paramétertől függ a teljesítmény, ezért részleteiben vizsgálni komplex feladat. A felhasználó szempontjából viszont elsősorban a szolgáltatás minősége számít. Fontosnak tartom, hogy gyors és egyszerű módszert találjak ennek a mérésére. Publikációmban az általam kialakított mérési eljárást mutatom be 802.11n szabványú, IP-alapú adatátvitel esetén. Egyszerűen beszerezhető eszközökkel és nyílt forráskódú szoftverekkel végrehajtva. Így a vizsgálat mások számára is könnyen reprodukálható és az eredmények összevethetők.

Kulcsszavak: Wi-Fi, IP, adatátvitel, teszt

The ever faster wireless data transfer is an indispensable tool for today's communication. Its process is complicated, performance depends on many parameters and examination is a complex task. From the user's point of view, the quality of the service is of primary importance. That is why it is important to find a quick and easy way to measure this. In my publication, I introduce a method (designed by me) of measuring data transfer based on 802.11n standard and IP, with easy-to-use tools and open source software. So, this way the test is easily reproducible for others and the results can be compared.

Keywords: Wi-Fi, IP, data transfer, test

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem KMDI, doktorandusz, e-mail: torok.peter@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7960-8945>

Bevezetés

A hálózatközpontú hadviselés alapfeltétele, hogy a katonáknak a feladataik sikeres ellátásához szükséges minden fontos információ valós időben és megfelelően részletességgel álljon a rendelkezésre [1: 175.]. Ehhez megfelelő minőségű adatkommunikációs hálózatra van szükség. A 21. század gyorsan változó hadszínterein nem célszerű és költséghatékony csak vezetékes hálózati közegek használata. A WLAN²-hálózatok gyorsan telepíthetők, ami hasznos olyan területeken, ahol nincs más kiépített kommunikációs infrastruktúra, és a vezetékes hálózat kiépítése túl sok időt venne igénybe, vagy nagy anyagi terhet jelentene [2: 40.]. Erre az egyik alternatíva a 802.11³ szabványú, IP-protokollú⁴ mikrohullámú⁵ összeköttetés. Az MH KCEHH⁶ jövőbeni tervezett főbb fejlesztései közé sorolja a menedzselt Wi-Fi⁷-hálózat kialakítását a szolgáltatásainak biztosítására és a vezeték nélküli összeköttetések kibővítése érdekében [3: 234.]. A kiépítése egyszerűbb, de ugyanúgy körültekintést és előzetes tervezést kíván. A nagy távolságú Wi-Fi-összeköttetések egyik fő akadály a végpontok közötti tagolt földfelszín. A másik az ISM-sáv⁸ túlszűfolttsága miatti interferenciával szembeni sebezhetőség. A távolság növelésével újabb probléma jelentkezik, az atmoszferikus gázok csillapítása. [4], [5], [6], [7].

Mindhárom tényező rontja a kapcsolat minőségét és stabilitását. Csökkentik az átvitel sávszélességét, akár annyira, hogy nem felel meg a feladat ellátására.

Ezt megelőzendő, tesztelni kell a sávszélességet az éles alkalmazás előtt. Ehhez szimulálni kell a valós hálózati forgalmat. Ebben a cikkben egy lehetséges megoldást mutatok be. Kezdvé a tesztkörnyezet bemutatásával, feltárva a már felvetett problémák kezelését. Ismertetem a teszt eszközeit és lépéseit. A végén összegezve az eredményeket és a konklúziókat.

A vizsgált kapcsolat

A két végpont között 802.11n szabványú Wi-Fi-kapcsolatot építettünk ki. A szabványt 2009-ben adta ki az IEEE.⁹ Ebben a változatban két működési frekvenciával (2,4 GHz és 5 GHz) és két új vivőfrekvencia sávszélességgel bővült (20 MHz és 40 MHz). További

² Wireless Local Area Network (vezeték nélküli helyi hálózat).

³ A 802.11 egy vezeték nélküli adatátviteli protokoll. Az OSI-modell két legalsó rétegét, a fizikai és az adatkapcsolati réteget definiálja.

⁴ Internet Protocol (internetprotokoll).

⁵ A mikrohullámok olyan elektromágneses hullámok, amelyeknek a frekvenciája nagyjából 0,3-300 GHz közötti, ennek megfelelően a hullámhosszuk 1 m és 1 mm között van.

⁶ Kormányzati Célú Elkülönült Hírközlő Hálózat.

⁷ A Wi-Fi (WiFi, Wifi vagy wifi), vezeték nélküli mikrohullámú kommunikációt (WLAN) megvalósító, széleskörűen elterjedt szabvány (802.11) népszerű neve.

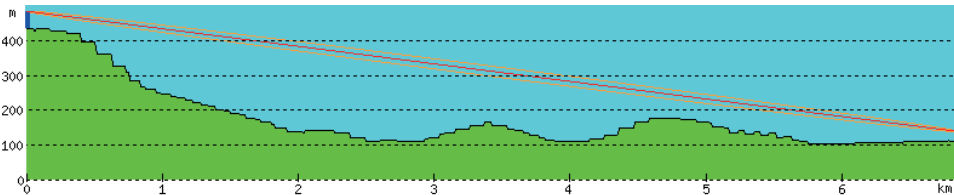
⁸ Industrial, Scientific and Medical band (ipari, tudományos és orvosi sáv). Ilyen sáv a 2,4–2,483 GHz-es tartomány.

⁹ Institute of Electrical and Electronics Engineers. Az IEEE Computer Society a legnagyobb létszámmal és szakmai súllyal bíró, legrégebben alakult, önálló vezetéssel és székhellyel rendelkező, hivatásos informatikusokat tömörítő tagegyesület.

újdonsága a MIMO¹⁰ lehetősége, amivel fizikai rétegen több adatátviteli csatorna párhuzamos összekapcsolásával nagyobb sávszélességet és hatótávot értek el. Alapvetően kisméretű hálózatokra tervezték. Beltéren körülbelül 70 m, kültéren körülbelül 250 m hatótávolságig. Jellemző adatátviteli sebessége 75 Mb/s, 20 MHz sávszélességgel, a maximális 600 Mb/s, 40 MHz sávszélességgel, a hibajavítás kikapcsolásával, a védelmi időköz lerövidítésével és három nyaláb össze fogásával [8: 48.]. A modulációs eljárások közül az OFDM-et¹¹ használja. Ez a mód egy 20 MHz sávszélességű, nagy sebességű vivőt 52 alacsony sebességű alcsatornára oszt fel. Egy alcsatorna körülbelül 0,3 MHz széles. A szomszédos alcsatornák egymásra merőlegesek, így a csatornák közelebb vannak egymáshoz. Ezáltal jobban kihasználja a spektrumot. Továbbá bizonyos interferenciákra is kevésbé érzékeny. Az 52 alcsatornából 48-at párhuzamosan használhat az adattovábbításra. Négy pedig hibajavítási célokra van fenntartva [9: 333.]. A vizsgálat alatt 5 MHz sávszélességű a vivő, ezt használja a Hamnet.¹²

A mikrohullámú adatátviteli technológia nagy sebességű adatátvitelt biztosít, de vannak korlátai. Ebben a vizsgálatban a legjelentősebb korlát, hogy 100 MHz felett a rádióhullámok a fényhez hasonlóan, egyenes vonalban terjednek [9: 132.]. Ezért az egyik legfontosabb kritérium a végpontok közötti optikai rálátás. Így biztosítható az LOS¹³-terjedés. A megfelelő minőségű kapcsolathoz az első Fresnel-zónának¹⁴ legalább 60%-át akadálymentessé kell tenni.

Ahogy a helyszínek közötti távolság nő, az atmoszferikus csillapítás mellett a Föld görbülete is komoly akadály lesz. Ezt kompenzálандó az összeköttetés mindkét végpontja nagyobb telepítési magasságot igényel. Ilyenkor tornyokra vagy más magas szerkezetekre való telepítés kötelező. A vizsgálatban az egyik végpont 493 m, a másik 162 m tengerszint feletti magasságban van. A köztük lévő domborzati viszonyokat és az első Fresnel-zónát az 1. ábra mutatja.



1. ábra

*A végpontok közötti magassági metszet és az első Fresnel-zóna
(a szerző szerkesztése [10] alapján)*

Másik jelentős problémát az ISM-sáv zsúfoltsága okozza. Ez a tényező kevésbé jelentős az elhagyatottabb vagy fejletlenebb infrastruktúrával rendelkező területeken. A bemutatott teszt városi környezetben zajlik. Itt majdnem minden háztartás rendelkezik

¹⁰ Multiple Input, Multiple Output. Az adó és a vevő egyszerre több hálózati kapcsolatot épít ki egymással.

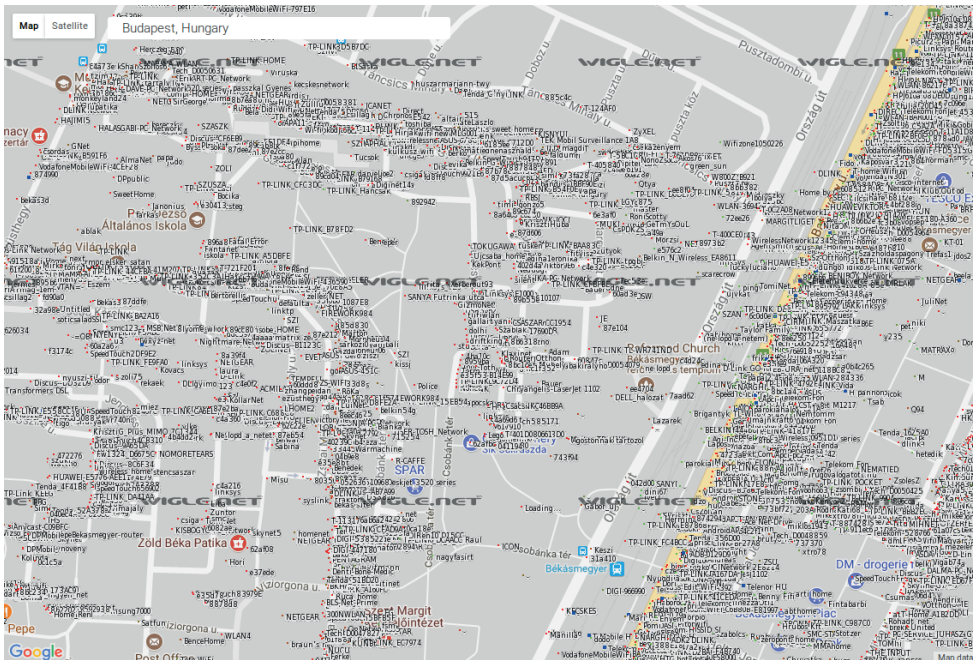
¹¹ Orthogonal Frequency Division Multiplex (ortogonális frekvenciaosztásos multiplexelés).

¹² A Hamnet egy korszerű, széles sávú, nagysebességű rádióamatőr-hálózat, ami 13 cm-es és a 6 cm-es rádióamatőr-sávokban működik (2,3 GHz és 5,8 GHz).

¹³ Line of Sight. Az adó és vevő rálát egymásra.

¹⁴ Mikrohullámú terjedésnél feltéplő diffrakációs jelenség zónája.

Wi-Fi-hálózattal. A sűrűn lakott területen ezek egymást zavarják [9: 132.]. Az interferencia miatt jelentősen megnő a hibás csomagok száma. Ezáltal romlik a sávszélesség. A két végpont közötti más adók elnyomhatják a jeleket, csökkentve a hatótávot, aminek, mint ahogy az a 2. ábrán is látszik, megvan a veszélye.



2. ábra

A 2. végpont környezetében található Wi-Fi-hálózatok SSID-térképe [11]

Ezért a vizsgálat a hatályos rendeletet [12: 3. melléklet, 7. pont] betartva nem a szabadon használható frekvenciasávban történt. A rádióamatörök számára van kijelölt sáv a 13 cm-es hullámhosszon, 2300 MHz–2450 MHz között. A tesztben használt frekvencia a 2397 MHz (–2. csatorna). Itt már nem, vagy csak jóval kevésbé érvényesül a többi hálózat zavaró hatása.

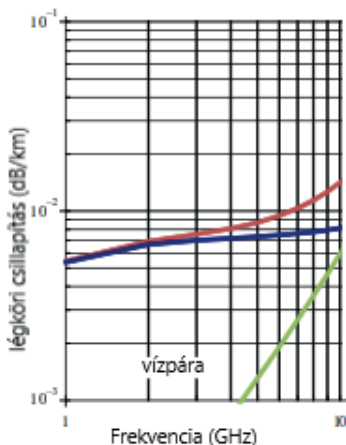
A légköri csillapítás hatásának ellensúlyozását a kisugárzott teljesítmény növelésével lehet elérni. A kisugárzott teljesítmény három tényezőtől függ. Az adó teljesítményétől, a tápvonal csillapításától és az antenna erősítésétől. Ezek különböző fizikai mennyiségek, amelyek összevetése nehézségeket okoz. Ezért a rádiótechnikában azok logaritmikus alakjával végzik a számításokat. Ennek oka, hogy a különböző mértékegységeket egy közös mérőszámra hozzák. Ezt úgy állapítva meg, hogy a számításokban a multiplikatív¹⁵ műveletek additív műveletekké egyszerűsödnek. Ehhez mértékegységként bevezették a dB-t, ami tizes logaritmus alapú viszonyítási rendszer.

¹⁵ Sokszorozáson alapuló.

Definiálták a 0 dB-t, ami 1 mW. Ebből számítva a 2 mW 3 dBm, a 10 mW 10 dBm, a 100 mW 20 dBm, az 1 W 30 dBm. A dB utáni „m” a mW-ra utal [13: 76].

Az engedély nélkül használható Wi-Fi-eszközök maximális adóteljesítménye 20 dBm. A gyárilag szerelt antennák 3-5 dBm erősítésűek. Mivel a kettő között nincs tápvonal, ezért a csillapítás elhanyagolható.

A légköri csillapítás értéke a frekvenciától függ. Az ITU¹⁶ P.676-11 ajánlása foglalkozik a témával [14: 19.]. Ebben, táblázatos formában és grafikonokon ábrázolva megtalálhatók az adatok. A 3. ábra a Wi-Fi frekvenciáira vonatkozó értékeket tartalmazza. A zöld vonal a száraz levegőre, a kék a vízpára (esőre, ködre) vonatkozó értékeket jelöli. A piros az összesített érték. Ebből leolvasható, 2,4 GHz frekvencián km-ként 0,075 dB a csillapítás.



3. ábra

*A légköri csillapítás mértéke 1–10 GHz közötti frekvenciákra
(a szerző szerkesztése [14] alapján)*

Az eddigiekből az következik, hogy ideális esetben, szabad térben, akár 30 km is lehet hatótávolság. A 2. ábrából látható, hogy a kettes végpont körül rengeteg hasonló teljesítményű adó van, ami interferenciát okozva megakadályozná a kommunikációt.

Ez csökkenthető az adóteljesítmény növelésével. Erre szintén törvény adta lehetőség van. Rádióamatőrök részére ebben a sávban az engedélyezett teljesítmény 50–52 dBm (100–150 W) [12: 3. melléklet, 7. pont]. Ehhez jön még hozzá az antenna nyeresége, ami típustól függően 10–30 dB. Az antennán leadott effektív teljesítmény 60–80 dBm is lehet. Pont-pont összeköttetésnél irányantennákat használnak, hogy javítsák a jel-zaj viszonyt. Ilyen antennák csak meghatározott irányban adják le a teljesítményüket. Vételben ebből az irányból érkező jelekre érzékenyebbek, a tér többi pontja felől érkező zajokra kevésbé. Ezeket figyelembe véve választottam ki a vizsgálathoz az eszközöket.

¹⁶ International Telecommunication Union (Nemzetközi Távközlési Egyesület).

A vizsgálathoz használt hardverek

A vizsgálatot Budapesten, a II. és III. kerületben végeztem. A pont-pont összeköttetés egyik végpontja a Budapest Fővárosi Rádióamatőr Klub HG5HNA hívójelű Wi-Fi hozzáférési pontja. Ez a Hármashatár-hegyi adó tornyában helyezkedik el 493 méter magasan. Az itt található eszköz egy Mikrotik Metal 2 HSPn + 30 dBm (1 W) adóteljesítménnyel. A csatlakoztatott antenna Tp-link TL-ANT2415D függőleges polarizációval. A karakterisztikája körsugárzó, 5° függőleges nyílásszöggel. Antennanyeresége 15 dBi.¹⁷ Ezzel a kiépítéssel a lefedettségi területe körülbelül 35 km sugarú kör [15]. A másik végpont a HA8BIT hívójelű rádióamatőr állomása. Helyileg Budapest III. kerületében, Békásmegyér lakótelepen, egy panelház 8. emeletén található. Ezen a végponton egy Mikrotik SXT 2HnDr2 eszköz található, szintén + 30 dBm (1 W) adóteljesítménnyel. Kettős polarizációjú, beépített antennája van. Körülbelül 60°-os sugárzási szélesség minkét polarizációnál. Antennanyeresége 10 dBi [16: 1.].

A vizsgálathoz használt szoftver

A méréshez használt szoftver az iperf3. Ez egy többplatformos mérőprogram. Szabad szoftver, 3 pontos BSD-licenc alatt. Elérhető Microsoft Windows, MacOS, FreeBSD és különböző Linux-disztribúciók alá. Többek között Debian, illetve RedHat-alapú disztribúciókhoz. De hozzáférhető a program forráskódja, így abból is telepíthető. Kliensként megtalálható Android- és IOS-rendszerre is. Segítségével az IP-alapú hálózatokban elérhető sáv szélesség mérhető. Támogatja az IPv4 és IPv6 internet réteg és a TCP,¹⁸ UDP,¹⁹ SCTP²⁰ szállítási réteg-protokollokat. Jól paraméterezhetők a különböző időzítéssel, pufferekkel és protokollokkal kapcsolatos jellemzők. A program beállított időintervallumonként és a futása végén jelentést ad a sáv szélességről, veszteségről és egyéb átviteli paramétereiről [17].

A paraméterek közül az első a szerver domainneve vagy IP-címe. A második a teszt időtartama. Jelen tesztben ez 30 mp. A harmadik az időintervallum, amilyen sűrűséggel összesíti az eredményeket. A negyedik a csomagméret, amit a kliens küld a szervernek. A leggyakoribb mérések 64 byte-os, 128 byte-os, 256 byte-os, 512 byte-os, 1024 byte-os és 1500 byte-os csomagok. A teszt célja egy tipikus hálózati terhelés mérése, ezért ennek megállapításával határoztuk meg a csomagméretet. A normál hálózati forgalom különböző hosszúságú csomagok keverékéből áll. A leggyakoribb képlet IMIX²¹ vagy internetes keverék néven ismert [18: 4.]. A teszthez összeállított mix az 1. táblázatban látható. Ennek átlagos csomagmérete 740 byte. Ezzel kiegészítve az átlagos csomagméreteket történt a mérés.

¹⁷ Decibel izotrop.

¹⁸ Transmission Control Protocol (átvitel szervezési protokoll).

¹⁹ User Datagram Protocol (felhasználói datagram protokoll).

²⁰ Stream Control Transmission Protocol (adatfolyam vezérlő továbbító protokoll).

²¹ Internet Mix. Az internetforgalmat empirikusan leíró modell.

1. táblázat

A teszthez használt IMIX összeállítása [a szerző szerkesztése]

Csomag hossz: (byte)	Darab	Eloszlás (csomag)	Méret (byte)	Eloszlás (byte)
40	1	12,5%	40	1%
576	5	62,5%	2880	49%
1500	2	25%	3000	51%

A teszt menete

A teszt egy hétig tartott. A folyamatos végrehajtáshoz a Linux Cron folyamatütemezője biztosította az időzített végrehajtást. A mérést 30 percenként futtatta, oda és vissza irányban is elvégezve azt. A kliensoldalon felhasznált script az 5. ábrán látható.

```

iperf3.sh [----] 34 L:[ 1+ 0 1/ 40] *(34 / 877b) 0035 0x023 [*][X]
echo *****
date
echo 128
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 128
sleep 3
echo 256
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 256
sleep 3
echo 512
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 512
sleep 3
echo 1024
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 1024
sleep 3
echo 1500
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 1500
sleep 3
echo 740
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 740
sleep 3
echo 128 reverse
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 128 -R
sleep 3
echo 256 reverse
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 256 -R
sleep 3
echo 512 reverse
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 512 -R
sleep 3
echo 1024 reverse
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 1024 -R
sleep 3
echo 1500 reverse
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 1500 -R
sleep 3
echo 740 reverse
iperf3 -c 44.156.96.59 -t 30 -i 30 -l 740 -R
sleep 3
date

```

4. ábra

Az iPerf3 kliensoldali scriptje [a szerző szerkesztése]

A szerveroldalon bonyolultabb volt a helyzet. A szolgáltatás időnként leállt, például ha a kliensoldalról hirtelen megszakadt a tcp-kapcsolat, amit a szerver nem vett észre. Például nincs reset vagy close a tcp-kapcsolatban. Ezért itt a Cron-ütemezővel óránként futtatott scriptet kellett alkalmazni, ami a futó szolgáltatást leállította és újra elindította. Így csak egy vagy maximum kettő mérési ciklus maradt ki a szerver kiesése miatt. A script a 6. ábrán látható. A szerveroldali leállások javítása után már stabilan működött a szolgáltatás.

```
restart iperf3.sh [----] 0 L:[ 1+ 0 1/ 13] *(0 / 242b) 0035 0x023 [*][X]
# /bin/sh
/bin/sleep 10
/usr/bin/killall iperf3
/bin/sleep 0.1

/usr/bin/killall -9 iperf3
/bin/sleep 0.1
if [ `ps -C iperf3 | wc -l` = '1' ]
then
/usr/bin/sudo -u lantester /usr/bin/iperf3 -s -p 5201 -D --logfile /srv/iperf3/iperf3.log
fi
```

5. ábra

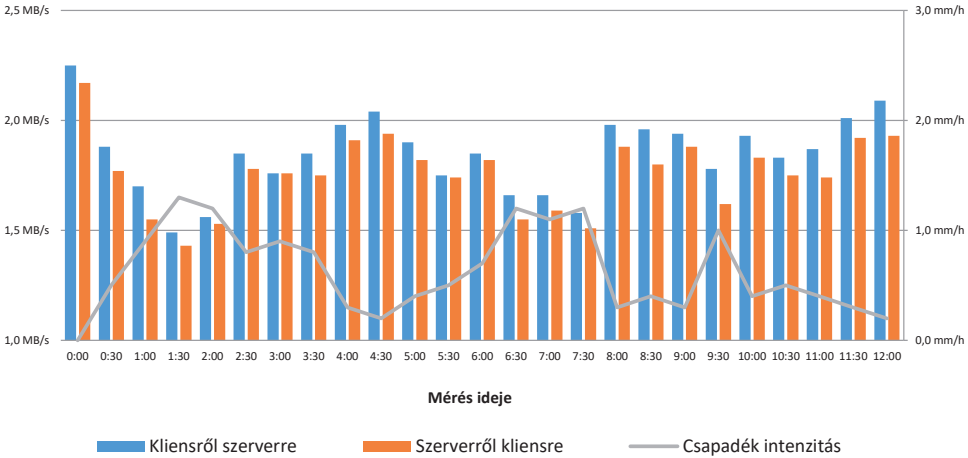
Az *iperf3* szerver oldali scriptje [a szerző szerkesztése]

Következtetések

Ebben a cikkben bemutattam egy, a nagyobb távolságú Wi-Fi-kapcsolatok mérésére szolgáló alacsony költségű technológiát. Az egy hétig tartó mérési időszak alatt bebizonyosodott, hogy a kidolgozott eljárás alkalmas a vezeték nélküli kapcsolat sáv-szélességének mérésére.

A mérés alatt naponta 48 mérési ciklus futott le, ciklusonként 24 eredményt állítva elő. Egy hét alatt több mint 8000 mérési adat keletkezett. Ebből már nemcsak az egyszerű működőképesség állapítható meg, hanem elemezve az eredményeket, jóval mélyebb összefüggések is. Például a napszakok változásának hatását, ami zavaró forgalom nagysága változásának hatását mutatja. És természetesen az időjárásét is, mert ebben a frekvenciatartományban a csapadék már zavarhatja az adatátvitelt. Erre mutat példát a 7. ábra. Jól látható az éjjel után kezdődő eső hatása. Egy órától erősödött és kettő óra után csillapodott az eső, ami jelentősen befolyásolta az adatátvitelt. A csapadékintenzitás adatai az idokep.hu oldalról származnak, Csillaghegyen üzemelő automata adatai alapján [19].

2017. október 24. (csomagméret 740 byte)



6. ábra

Mérési eredmények [a szerző szerkesztése]

A hálózat különböző paraméterein történő változtatás vizsgálatára is alkalmas. Például megnézve a csomagméret változásának hatását, az MTU²² optimalizálásával maximalizálhatóvá válik az átvitt adat mennyisége.

A teszt sikeres végrehajtása alapján megállapítható, hogy az iPerf3 alkalmas a hasonló kapcsolatok mérésének vizsgálatára. Használata megkönnyíti a TCP-alapú adatfolyam végpontok közötti teljesítményének számszerűsítését. Az eredmények alkalmasak arra, hogy a telepített vezeték nélküli hálózat megfelelősége előzetesen megállapítható legyen. Az összeköttetés vagy a hálózat esetleges hibáinak javítása még az éles üzem megkezdése előtt megtörténjen. Ezzel növelve a felhasználói megelégedettséget.

Az iPerf3 azonban nem képes mindenféle szimulációt végezni. Például korlátozottan alkalmas az interaktív szűrőfészes szimulálására, mert azzal ellentétben folyamatos és egyenletes forgalmat szimulál. Mindazonáltal, az iPerf3 rendkívül hasznos eszköz lehet valósághoz közelítő hálózati forgalom generálásához és a végfelhasználói WLAN vizsgálatához.

Továbbá, mivel az iPerf3 nyílt forráskódú, ezért a mérés költsége töredéke a kereskedelmi forgalomban kapható szoftverekkel végrehajthatóhoz képest. A cikkben leírt módszer alapján a vizsgálat máshol is könnyen megismételhető. A vizsgálatok körülményei összehasonlíthatók. A kapott eredmények összevethetők.

²² Maximum Transmission Unit (maximális átviteli egység).

Hivatkozások

- [1] Zs. Haig és I. Várhegyi, *Hadviselés az információs hadszíntéren*. Budapest: Zrínyi Kiadó, 2005.
- [2] S. Szőlősi, „Konvergáló hálózatok fejlődési trendjei, a technikai alkalmazhatóság kérdései a Magyar Honvédség infokommunikációs rendszerében,” Doktori (PhD) értekezés Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2008.
- [3] Sz. Jobbágy, „A magyar honvédség kormányzati célú elkülönült hírközlő hálózata,” *Hadmérnök*, 12. évf. 3. sz., pp. 223–236, 2017.
- [4] I. Négyesi, „Tragbare und feldinformatik geräte I.” *Hadmérnök*, 4. évf. 2. sz., pp. 333–339, 2009.
- [5] I. Négyesi, „Tragbare und feldinformatik geräte II.” *Hadmérnök*, 4. évf. 3. sz., pp. 355–362, 2009.
- [6] I. Négyesi, „Die überpfung der voraussetzungen von COTS systemen,” *Hadmérnök*, 7. évf. 2. sz., pp. 371–376, 2012.
- [7] I. Négyesi, „COTS rendszerek alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata,” *Hadtudományi Szemle*, 4. évf. 4. sz., pp. 111–116, 2011.
- [8] „IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between system – Local and metropolitan area networks – Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications“ [Online]. Elérhető: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7786995> (Letöltve: 2020. 01. 30.)
- [9] A. S. Tanenbaum és D. J. Wetherall, *Számítógép-hálózatok*. Budapest: Panem, 2013.
- [10] „The view from Mount Battie,” [Online]. Elérhető: www.heywhatsthat.com (Letöltve: 2017. 10. 17.)
- [11] „Wireless Network Mapping,” [Online]. Elérhető: www.wigle.net (Letöltve: 2017. 10. 17.)
- [12] 7/2015. (XI. 13.) NMHH rendelet a nemzeti frekvenciafelosztásról, valamint a frekvenciasávok felhasználási szabályairól
- [13] Zs. Haig, L. Kovács, L. Ványa és S. Vass, *Elektronikai hadviselés*. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és honvédtisztképző Kar, 2014.
- [14] „ITU Recommendation P.676-11,” [Online]. Elérhető: www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-11-201609-I!!PDF-E.pdf (Letöltve: 2020. 01. 30.)
- [15] „HG5HNA – AP – Budapest, Hármashatár-hegy,” hamnetradio.hu [Online]. Elérhető: <https://hamnetradio.hu/hg5hna-hozzaferesi-pont/> (Letöltve: 2017. 10. 10.)
- [16] „STX 2” [Online]. Elérhető: https://i.mt.lv/routerboard/files/sxt_2-171002085822.pdf (Letöltve: 2017. 10. 17.)
- [17] „iPerf 3 user documentation,” [Online]. Elérhető: <https://iperf.fr/iperf-doc.php> (Letöltve: 2017. 10. 11.)
- [18] A. Morton, „IMIX Genome: Specification of Variable Packet Sizes for Additional Testing,” AT&T Labs, July 2013. DOI: <https://doi.org/10.17487/rfc6985>
- [19] „Budapest III. ker. Csillaghegy automata,” idokep.hu, [Online]. Elérhető: www.idokep.hu/automata/tom (Letöltve: 2017. 10. 24.)