

Török Péter¹

Titkos üzenet száll a szélle! (IoT-ben használt vezeték nélküli adatátviteli technológiák összehasonlítása)

Secret Message Flies with the Wind!
(Comparison of Wireless Data Transmission
Technologies Used in IoT)

Ebben a publikációban bemutatom az IoT területén legelterjedtebb vezeték nélküli technológiákat. A vizsgálatom elsősorban a kis teljesítményű vezeték nélküli technológiákra összpontosít, mint például a ZigBee, WiFi, a LoRaWAN és a Bluetooth. A tanulmány a hatótáv, a teljesítmény és az elérhető adatátviteli sebesség szempontjából osztályozza a protokollokat és rövid összefoglalót ad azokról, illetve grafikusán összehasonlítja a tulajdonságaikat.

Kulcsszavak: IoT, vezeték nélküli hálózatok, kis teljesítményű vezeték nélküli protokollok, alacsony fogyasztású technológiák

In this publication I present the most widespread wireless technologies in IoT. My research focuses on low-power wireless technologies, such as ZigBee, WiFi, LoRaWAN, and Bluetooth. The study classifies the protocols in terms of range, throughput, and available data rates and provides a brief summary of the protocols under review, as well as graphically compares their properties.

Keywords: IoT, wireless networks, low-power wireless protocols, low-power technologies

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

Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb az igény a vezeték nélküli kommunikációra. Folyamatosan növekszik a hálózatra kötött eszközök száma. Ezek az eszközök kommunikálni szeretnének egymással. A jelenleg csatlakoztatott eszközök öt fő vezeték nélküli technológiát használnak: WiFi, Bluetooth Smart, ZigBee, Z-Wave és a Thread [1]. A felsoroltak kivétel nélkül az ISM²-sávot használják, leginkább a 2,4 GHz-es tartományban, ami ennek köszönhetően egyre jobban telített. Így az ezt a frekvenciasávot használó eszközök zavarhatják egymás adatátvitelét.

Az IoT³-technológia robbanásszerű terjedése csak tovább rontja a helyzetet. Kis léptékben az okosotthonok terjedése, nagy léptékben az okosvárosok kialakítása, a különböző közüzemi szolgáltatók szenzorhálózatai tovább terhelik a szabad sávokat. Igaz, ezek a rendszerek nem igényelnek nagy adatátviteli sebességet, de szükséges a kis késleltetési idő, ami romlik a túlterhelt sávokon.

A civil felhasználás mellett a katonai alkalmazás is egyre széleskörűbb. A hálózat alapú hadviselés, az optimális tájékozottság állapota megköveteli a szenzorhálózatok alkalmazását és a nagy sebességű adatkommunikációs hálózatot [2: 175.]. A digitális katonának is rendelkeznie kell nagy teljesítményű, viselhető számítógéppel és folyamatos, védett infokommunikációs kapcsolattal [3]. A katonai célú felhasználás is előnyben részesíti a vezeték nélküli technológiákat, mert egyszerűbben és gyorsabban telepíthetők, valamint gazdaságosabbak [4: 40.]. Általában a csatlakoztatott eszközök vezeték nélküli technológiájának kiválasztásakor a végső alkalmazás függvényében néhány szempontot figyelembe kell venni:

- maximális áteresztőképesség;
- energiateljesítmény;
- maximális távolságtartomány [5].

A szaporodó feladatok egyre újabb és sokrétűbb kihívásokat jelentenek a vezeték nélküli kommunikáció terén. Ezek leküzdésére újabb, speciálisabb protokollokra van szükség. Naponta születnek új megoldások, könnyen eltévedhetünk a számunkra megfelelő kiválasztása közben [6], [7].

Ezért ebben a munkámban összehasonlító elemzést végzek különböző, IoT-ben is használt vezeték nélküli protokollok vonatkozásában, ami segítheti a vezeték nélküli kommunikációs rendszer kiválasztását és kialakítását.

Protokollok csoportosítása

Több különböző vezeték nélküli technológiát használnak az IoT-hez. Ezek néhány centimétertől több kilométerig terjedő adatátvitelt tesznek lehetővé. A legrövidebb hatótáv az érintkezési távolság, ahol az eszközök akár egymáshoz is érhetnek a kommunikáció idejére, de nincs szükség vezetékes adatátviteli közegre. A rövid hatótávolságú

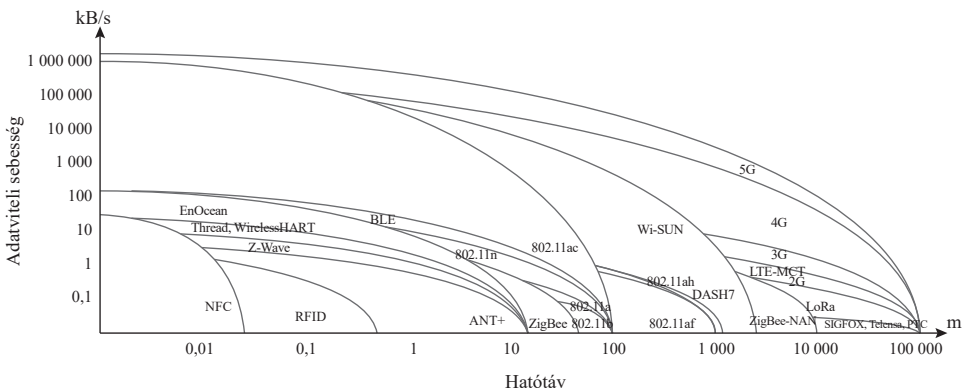
² Industrial, Scientific and Medical.

³ Internet of Things.

kommunikációhoz a vezeték nélküli személyi hálózat (WPAN⁴) használata ajánlott. Itt figyelhető meg az IoT térnyerésének hatása. Sok ilyen új technológia jött létre az elmúlt években. Következő kategória a rövid/közepes hatótáv protokolljai, amelyek a vezeték nélküli helyi hálózati technológiákat (WLAN⁵) tartalmazzák. A hosszú távú kommunikációra a nagy kiterjedésű, vezeték nélküli hálózati technológiákat (WWAN⁶) használják. Ezek két további csoportra oszthatók fel: az engedélyköteles és az engedélymentes technológiára.

Vizsgálatomban a másik fő paraméter az elérhető adatátviteli sebesség. Fontos, hogy alkalmas legyen a szükséges vagy a keletkező adatmennyiség továbbítására.

Az 1. ábra összefoglalja a különböző technológiákat a távolság és az elérhető adatátviteli sebesség függvényében. Az értékek széles határok között változtak, így logaritmikus skálát használtam a tengelyeken.



1. ábra

*IoT-ben használt vezeték nélküli adatátviteli protokollok összehasonlítása
[a szerző szerkesztése]*

Az áthidalható távolság és az elérhető adatátviteli sebesség mellett fontos szempont a protokoll által használt frekvencia. A megfelelő megoldás kiválasztásánál ez is szempont lehet. Könnyebbé teszi a váltást az azonos hullámhosszt használó protokollok között, mert az adó RF⁷-egysége azonos hardvert tartalmaz. Így csak szoftverben térnek el egymástól, ami egy frissítéssel cserélhető. Hátrány viszont, hogy az azonos frekvencián üzemelő eszközök zavarhatják egymás működését. A nagyobb teljesítményű adó zavarja a kisebb teljesítményű adó kommunikációját. Erre megoldás lehet a különböző feladatokra eltérő frekvenciát használó protokollok választása. A protokollok által használt frekvenciákat az 1. táblázat mutatja be.

⁴ Wireless Personal Area Network.

⁵ Wireless Local Area Network.

⁶ Wireless Wide Area Network.

⁷ rádiófrekvenciás.

1. táblázat

A vizsgált protokollok által használt frekvenciák [a szerző szerkesztése]

	13,56 MHz	220 MHz	54-698 MHz	315 MHz	779 MHz	868 MHz	900 MHz	915 MHz	920 MHz	1800 MHz	2400 MHz	5800 MHz
NFC	•											
RFID	•											
ANT+											•	
BLE											•	
EnOcean				•				•	•			
Thread											•	
Wireless-HART											•	
ZigBee					•	•		•	•		•	
Z-Wave						•		•	•			
DASH7								•	•			
802.11a												•
802.11b											•	
802.11g											•	
802.11n											•	•
802.11ac											•	•
802.11af			•									
802.11ah								•	•			
Wi-SUN									•			
ZigBee-NAN									•			
2G							•					
3G							•			•		
4G										•		
5G										•		
LTE-MTC							•			•		
LoRa						•		•				
PTC		•										
SIGFOX						•		•				
Neul								•				
Telensa						•		•				

Vizsgált protokollok

NFC (*Near Field Communication*)

A Nokia, Philips és a Sony alapításával 2004-ben létrehozott protokoll a Near Field Communication (NFC) Forum által 2006-ban definiált olyan kommunikációs protokoll, amely két elektronikus eszköz kontaktus nélküli kommunikációját teszi lehetővé. Az adatátvitel a mágneses téren keresztül, nem pedig a kísérő elektromos mezőn keresztül történik. Előnye, hogy biztosítja az elektronikus eszközök közötti egyszerű és biztonságos kétirányú kommunikációt. Ezt használják fel az okostelefonok esetében,

amelyek lehetővé teszik a fogyasztók számára a kapcsolat nélküli fizetési tranzakciókat, a digitális tartalmak elérését és az elektronikus eszközök csatlakoztatását [8].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 4 cm
 Adatátviteli sebesség: 412 kb/s
 Frekvencia: 13,56 MHz
 Honlap: <https://nfc-forum.org/>

RFID (*Radio Frequency IDentification*)

Az RFID automatikus azonosításhoz és adattovábbításhoz használt legrégebbi technológia. Már a második világháborúban használta a Brit Királyi Légierő a rádióhullámokat a saját repülőgépeinek felismeréséhez (IFF⁸). A modern RFID-technológiát az amerikai Los Alamos-i kutatóintézetében alkották meg 1973-ban. A kommunikáció RFID-címkék és -eszközök segítségével történik. Az RFID-címke lehet egy apró tárgy, amely rögzíthető vagy beépíthető az azonosítani kívánt objektumba, vagy egy azonosítókártya, esetleg egy kulcstartó is. Csak egyirányú kommunikációt tesz lehetővé. Külön eszközbe kerül az adó és a vevő rész [9].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 75 cm
 Adatátviteli sebesség: 80 kb/s
 Frekvencia: 13,56 MHz
 Honlap: www.ieee-rfid.org/

ANT+

Az ANT+ az *ANT Wireless* által 2004-ben kifejlesztett, meglehetősen sajátos és specializált fizikai és MAC réteg protokoll, amelyet a vezeték nélküli érzékelő hálózatok (WSN⁹) számára terveztek. Ezt a protokollcsomagot a PAN¹⁰-re épülő fitnessberendezések alkalmazzák kommunikációra. Az ANT+ úgy konfigurálható, hogy alacsony teljesítményű „alvó” üzemmódban várakozzon hosszú ideig, majd rövid időn belül felébredjen, és adattovábbítás után visszatérjen „alvó” üzemmódba. Az eszközök között a kommunikáció kétirányú [10].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 100 m
 Adatátviteli sebesség: 60 kb/s
 Frekvencia: 2,4 GHz
 Honlap: www.thisisant.com/

⁸ Identify Friend or Foe.

⁹ Wireless Sensor Network.

¹⁰ Personal Area Networks.

BLE (Bluetooth Low Energy)

A Bluetooth SIG¹¹ által 1999-ben útjára indított protokoll. Alapvető feladata a vezeték nélküli rádiófrekvenciás kommunikáció biztosítása rövid hatótávolságon belül kis teljesítménnyel és olcsón. A 4.0 verziójával megérkezett a BLE, amelynek elsődleges célja, hogy biztosítsa az eszköz működését. Ezt alacsony fogyasztással teszi lehetővé. Ezzel párhuzamosan csökken az adott eszköz teljesítménye, ezért főként szenzorokban használják [11].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 100 m
Adatátviteli sebesség: 1 Mb/s
Frekvencia: 2,4 GHz
Honlap: www.bluetooth.com/

EnOcean (Energy Harvesting Wireless Technology)

Egy fizikai és MAC réteg protokoll, amit az EnOcean Alliance hozott létre 2008 áprilisában. A felsőbb rétegek feladatait szabványos WPAN¹²-szenzorokat csatlakoztatva lehet megvalósítani. A moduljai a mikrohullámú adatátvitelt ötvözik az ultra alacsony fogyasztással. Elsősorban épületfelügyeleti és automatizálási, illetve ipari rendszerekben alkalmazzák önműködő vezeték nélküli érzékelő, vezérlési, felügyeleti és jelzőrendszerekhez [12].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 30 m
Adatátviteli sebesség: 1 Mb/s
Frekvencia: 2,4 GHz
Honlap: www.enocean-alliance.org/

Thread

Fiatal protokollnak számít. 2014 közepén kezdte a fejlesztését a Thread Group azzal a céllal, hogy egy új, IP-alapú mesh-kommunikációs¹³ megoldást fejlesszenek ki. IPv6 hálózati protokoll, amelynek célja az intelligens otthoni hálózat eszközeinek kommunikációja. Elsősorban a WiFi kiegészítéseként tervezték, kiküszöbölve annak korlátait az otthoni automatizálásban. Úgy tervezték, hogy a már meglévő IEEE802.15.4 vezeték nélküli vezérlőket használják [13].

¹¹ Bluetooth Special Interest Group.

¹² Wireless Personal Area Network.

¹³ A használt hálózati eszközök saját maguk térképezik fel a hálózat többi tagját és önállóan konfigurálják magukat a hálózat változása esetén is.

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 30 m
 Adatátviteli sebesség: 250 Kb/s
 Frekvencia: 2,4 GHz
 Honlap: www.threadgroup.org/

WirelessHART (Wireless Highway Addressable Remote Transducer)

Hibrid rendszer, amely mind analóg, mind digitális jeleket használ. A HART Communications Foundation által 2004-ben indított szabvány. Az iparban egyik legkeresettebb technológia a vezeték nélküli szenzorhálózatok területén. Ugyanazokat a vezérlési szolgáltatásokat nyújtja, mint a vezetékes hálózat [14].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 30 m
 Adatátviteli sebesség: 250 Kb/s
 Frekvencia: 2,4 GHz
 Honlap: <https://fieldcommgroup.org/>

ZigBee

A Zigbee Alliance alkotta meg 1998-ban. A szabvány kiadásának éve: 2004. Kis sebességű WPAN-hálózatok számára készült, szöveges adatok átvitelére. Erőssége a kis fogyasztásban és bonyolult ad-hoc hálózat felépítésében rejlik. Felhasználható elsősorban gép-gép kommunikációra (M2M¹⁴), ahol nincs szükség nagy átviteli sebességre. Gyors és kis erőfeszítésekkel járó hálózatépítést tesz lehetővé [15].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 75 m
 Adatátviteli sebesség: 250 kb/s
 Frekvencia: 2,4 GHz
 Honlap: www.zigbee.org/

Z-Wave

A Z-Wave egy alacsony fogyasztású RF kommunikációs technológia, amelyet elsősorban otthoni automatizáláshoz tervezett a Zensys 2001-ben olyan termékekhez, mint a lámpavezérlők és érzékelők. A gigahertz alatti ISM-sávban működik, és nem interferál a WiFi és más vezeték nélküli technológiák 2,4 GHz-es frekvenciájával.

¹⁴ Machine to Machine.

Támogatja a full mesh hálózatokat anélkül, hogy szükség lenne koordinátor-csomópontra. Nagyon jól skálázható, akár 232 eszköz vezérlését is lehetővé teszi [16].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 30 m
Adatátviteli sebesség: 100 kb/s
Frekvencia: 900 MHz
Honlap: www.z-wave.com/

DASH7

A protokollt a DASH7 Alliance kezeli a 2011-es indulása óta. Az ISO 18000-7 Active RFID-szabványon alapul. Az épületautomatizáláshoz, az intelligens otthonokhoz, a logisztikához és autóipari felhasználáshoz fejlesztették. A kezdeti 433 MHz frekvenciáról váltott magasabbra, ezzel csökkentve az antenna méretét és növelve az átviteli sebességet. A legtöbb vezeték nélküli hálózattól eltérően nem igényli átjáró vagy csomópontvezérlő működését [17].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 1,5 km
Adatátviteli sebesség: 167 kb/s
Frekvencia: 900 MHz
Honlap: www.dash7-alliance.org/

802.11a/b/g/n/ac

A WiFi, a vezeték nélküli protokollok közül a legismertebb. 1997-ben készítette el az eredeti szabványt az IEEE.¹⁵ Azóta folyamatosan frissíti a szabványt. A verziókat új betűjelzéssel különböztette meg (802.11 b/g/n/ac). Felhasználását tekintve általános célú, ezért is terjedt el a mindennapokban, az otthonoktól kezdve a közlekedési eszközökön át a munkahelyekig.

802.11a: Nagy távolságú pont-pont kapcsolatra használják általában.

802.11b: Régi szabvány, átviteli sebessége kicsi, de régebbi gyártású eszközök még csak ezt támogatják.

802.11g: A 802.11b-hez hasonló felépítésű, az eszközök kompatibilisek vele. Előnye a nagyobb adatátviteli sebesség.

802.11n: Jelenleg a legelterjedtebb WiFi-szabvány. Több adatfolyam összefogása miatt gyorsabb. Jelenleg egy, két, és újabban három adatfolyamos WiFi-routerek és adapterek vannak forgalomban. Az n-es WiFi egyik jelentős újítása az 5 GHz-es frekvencia használata. A 2,4 GHz-es tartomány ugyanis már nagyon telített további WiFi, Bluetooth és egyéb rádiós átvitelt használó eszközök jeleivel, illetve a mikrohullámú sütők is zavarják.

¹⁵ Institute of Electrical and Electronics Engineers.

802.11ac: A megváltozott használati szokásokhoz, mobil készülékekhez igazították. Tovább gyorsult, és növelték a kapcsolat stabilitását [18].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: a: 120, b: 140, g: 140, n: 250, ac: 350 m

Adatátviteli sebesség: a: 54, b: 11, g: 54, n: 600, ac: 1300 Mb/s

Frekvencia: b,g,n,ac: 2,4 GHz, a, n, ac: 5 GHz

Honlap: www.ieee802.org/11/

802.11af

Az IEEE 802.11af, más néven White-Fi vagy Szuper WiFi a televíziós műsorszórásra kijelölt frekvenciák nem használt spektrumát használja ki. Ez engedélyköteles tartomány, így használatához frekvenciaengedély szükséges. Új keletű szabvány, 2014 februárjában engedélyeztette az IEEE, elsődlegesen a nagy távolságú vezeték nélküli kapcsolatokra optimalizálva [19].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 1 km

Adatátviteli sebesség: 26,7 Mb/s

Frekvencia: 54-790 MHz

Honlap: www.ieee802.org/11/

802.11ah

Az IEEE 2017-ben tette közzé ezt a protokollt. A gigahertz alatti ISM-sávok használata lehetővé teszi a nagy hatótávolságú és alacsony teljesítményű vezeték nélküli szenzorhálózatok üzemeltetését. Így IP-alapú WiFi-szerű megoldást biztosít az M2M-alkalmazásokhoz a korábbi WiFi-verziókhöz képest sokkal nagyobb hatótávolsággal [20].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 1 km

Adatátviteli sebesség: 40 Mb/s

Frekvencia: 915 MHz és 920 MHz

Honlap: www.ieee802.org/11/

Wi-SUN (Wireless Smart Utility Network)

A Wi-SUN az IEEE802.15.4e szabványon alapuló kommunikációs protokoll. A Wi-SUN Alliance indította 2015-ben és kezeli a mai napig. Megalkotásának célja, hogy megoldásokat kínáljon FAN-ok¹⁶ számára olyan alkalmazásokhoz, mint a fejlett mérési infrastruktúra és az adattovábbítás automatizálása, valamint az okosotthon-megoldások.

¹⁶ Field Area Network.

Ehhez fejleszt okos villamos fogyasztásmérőket, gázmérőket és további különböző mérőberendezéseket [21].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 4 km
Adatátviteli sebesség: 40 Mb/s
Frekvencia: 920 MHz
Honlap: www.wi-sun.org/

Zigbee-NAN

Más néven JupiterMesh, a ZigBee Alliance 2016-ban indított kezdeményezése. Ez egy 802.15.4g szabványú protokoll. Robosztus felépítése és rugalmas adatátviteli sebessége lehetővé teszi az optimális vezeték nélküli kommunikációt a közművek és az önkormányzatok számára, intelligens hálózatot és intelligensváros-megoldásokat alkalmazva [22].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 10 km
Adatátviteli sebesség: 100 kb/s
Frekvencia: 920 MHz
Honlap: www.zigbee.org/jupitermesh-neighborhood-area-network-nan-announced/

2G

A második generációs vezeték nélküli távbeszélő technológia a távközlési hálózati technológiákra vonatkozik, amelyeket az ITU-R¹⁷ 1991-ben indított a GSM¹⁸-szabványban. Legfontosabb újítása az első generációhoz képest a telefonbeszélgetések digitális titkosítása és a spektrum jobb kihasználása. Ebben vezették be az első mobil adatátviteli szolgáltatásokat [23].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 100 km felett
Adatátviteli sebesség: 57,6 kb/s
Frekvencia: 900 MHz
Honlap: www.gsma.com/

¹⁷ International Telecommunication Union Radiocommunication Sector.

¹⁸ Global System for Mobile Communications.

3G

A 3G, más néven IMT-2000¹⁹-szabvány 2001-es évi megtervezésekor a mobil multimédiás szolgáltatásokhoz szükséges gyorsabb vezeték nélküli kommunikációra fókuszáltak. A továbbfejlesztett adatátviteli sebesség tette lehetővé a valós idejű mozgókép-továbbítást, illetve a mobiltelefonnal történő internetes böngészés megvalósítását. Ezt követően megnyitotta az utat az okostelefonok megjelenéséhez. Mivel alkalmasabbak voltak mobil weboldalak megtekintésére vagy mobil TV-nézésére. Széleskörű elterjedése 2007-től figyelhető meg [23].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 100 km felett
 Adatátviteli sebesség: 2 Mb/s
 Frekvencia: 900 MHz és 1800 MHz
 Honlap: www.3gpp.org/

4G

A 4G szabványokat IMT-Advanced²⁰ néven jelölik. Célja, hogy megbízhatóan biztosítsa a mobilszolgáltatók számára a 100 Mbps-nál nagyobb adatátviteli sebességet, ami szükséges a HD²¹-minőségű multimédiás tartalmak továbbításához. 2009 szeptemberében két szabványtervezetet nyújtottak be ITU-R-hez: az LTE Advanced-ot és a IEEE 802.16m szabványt. Az első bevezetett technológia a WiMax (IEEE802.16) volt [23].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 100 km felett
 Adatátviteli sebesség: 300 Mb/s
 Frekvencia: 1800 MHz
 Honlap: www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte/

5G

Az 5G-ConnectedMobility egy speciális hálózati infrastruktúrát és alkalmazási környezetet hoz létre. Elsősorban a jármű-jármű, a jármű-infrastruktúra és a vasút-infrastruktúra kommunikáció számára. A konzorcium alapítótagjai az Ericsson, a BMW-csoport, a Deutsche Bahn, a Deutsche Telekom, a Telefónica Deutschland és a Vodafone, a TU Dresden 5G Lab Németország, a Federal Highway Research Institute [23].

¹⁹ International Mobile Telecommunications-2000.

²⁰ International Mobile Telecommunications Advanced.

²¹ High Definitions.

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 100 km felett

Adatátviteli sebesség: 1 Gb/s

Frekvencia: 1800 MHz

Honlap: www.3gpp.org/release-15/

LTE-MTC (Long Term Evolution – Machine Type Communication)

A 3GPP²² szabványügyi testülete dolgozik az MTC-szolgáltatások specifikációinak szabványosításával az LTE-hálózatok részeként. Ezek az eszközök várhatóan alacsony költségű, alacsony adatátviteli sebességgel és késleltetett toleranciával rendelkeznek majd. Ezért a fő fejlesztési irányelv a valós idejű adattovábbítás lett ennek a technológiának a kidolgozásánál [24].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 100 km felett

Adatátviteli sebesség: 2 Mb/s

Frekvencia: 900 MHz és 1800 MHz

Honlap: www.gsma.com/iot/long-term-evolution-machine-type-communication-lte-mtc-cat-m1/

LoRa

A LoRa-technológiát a SEMTECH vállalat fejlesztette ki 2012-ben. Egy kifejezetten nagy hatótávolságú, kis teljesítményű kommunikációra tervezett vezeték nélküli protokoll. Elsősorban az M2M és az IoT-hálózatokra optimalizálva, lehetővé téve számos, ugyanazon a hálózaton futó alkalmazás csatlakoztatását. A továbbfejlesztésére létrehozták a LoRa Alliancet, hogy szabványosítsa az LPWAN²³-t az IoT számára. Tagjai között van a CISCO, a MicroChip, az IBM, az STMicro, a SEMTECH, és idén csatlakozott az Antenna Hungária [25].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 15 km

Adatátviteli sebesség: 50 kb/s

Frekvencia: 868 MHz és 915 MHz

Honlap: <http://lora-alliance.org/>

²² 3G Partnerségi Program.

²³ Low Power Wide Area Networks.

PTC (*Positive Train Control*)

Vasúti biztonsági rendszer, amelynek célja a vonatközlekedés biztonságának növelése. 1990-ben kezdte meg a fejlesztését az NSTB²⁴ az USA-ban azzal a céllal, hogy megelőzze a vonatok ütközését, a túlzott sebesség miatti kisiklásokat, és folyamatos vonatkövetést biztosítson. A hatékony PTC-rendszer képes meghatározni a vonatok helyét és sebességét. Ha a személyzet a figyelmeztető jelzésekre nem reagál, akkor automatikusan beavatkozik [26].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 100 km felett

Adatátviteli sebesség: 1 kb/s

Frekvencia: 220 MHz

Honlap: www.fra.dot.gov/ptc/

SIGFOX

A Sigfox cég fejlesztette 2009-ben. A protokoll az UNB²⁵ nevű technológiát használja. Elsődlegesen okosvárosokhoz, programokhoz tervezték. Alacsony adatátviteli sebességet biztosít, ami elegendő a M2M kommunikációra okosmérők, betegmonitorok, biztonsági eszközök, utcai világítás és környezeti érzékelők számára. Európa nagyvárosaiban már jelenleg is tízezer eszköz van felszerelve és csatlakoztatva a hálózathoz. Erőssége a hálózat robusztussága, az energiatakarékossága és skálázhatósága [27].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 50 km

Adatátviteli sebesség: 1 kb/s

Frekvencia: 868 MHz és 915 MHz

Honlap: www.sigfox.com/

Neul

2014 óta a Huawei kezelésében van. A Sigfoxhoz hasonlóan a UNB-t használja. A 802.11ah frekvenciájának egy nagyon kis szeletén működik, az 1 GHz alatti ISM-sávban. Előnye a skálázhatóság, a nagy lefedettség, a kis teljesítmény és az olcsó bekerülési költség [28].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 10 km

Adatátviteli sebesség: 100 kb/s

Frekvencia: 915 MHz

Honlap: <http://neul.com/>

²⁴ National Transportation Safety Board.

²⁵ Ultra Narrow Band.

Telensa

A Telensa UNB nagy hatótávolságú, kis energiafogyasztású protokoll. Relé üzemmódot biztosít a csomópontok között a teljes lefedettség érdekében. 2005-ben telepítették a Telensával vezérelt első világítási rendszert. Azóta kibővült a teljes intelligens város infrastruktúrájának felügyeletét ellátó alkalmazásra. Heterogén hálózati közegben is alkalmazható. Különböző interfészeket kínál más szabványú érzékelők, hálózatok, az alkalmazások és az adatplatformok számára [29].

Az összehasonlításhoz használt adatok:

Távolság: 16 km

Adatátviteli sebesség: 1 kb/s

Frekvencia: 868 MHz és 915 MHz

Honlap: www.telensa.com/

Összegzés

Az IoT hatalmas és szerteágazó terület, rengeteg felhasználási móddal. A megvalósítandó feladatok sok különböző és sokszor egymásnak ellentmondó követelményeket támasztanak. Ezért nem lehet egyértelműen kijelenteni egyik vagy mások protokollról, hogy az a legjobb. Legtöbbször csak a legkisebb vagy a legelőnyösebb kompromiszumot lehet megtalálni az elvárások között.

Az érintési távolságban használható RFID- és NFC-protokollok megférnek egymás mellett, mert más célt szolgálnak. Az RFID automatikus azonosításra tervezett, egyirányú kommunikációra képes. Éppen ezért csak a leolvasó egységnek szükséges mindenképpen áramforrás a működéshez. Az NFC ezzel szemben kétirányú kommunikációt tesz lehetővé. Viszont minden eszköz áramellátásáról gondoskodni kell.

A rövid hatótávú kommunikációra alkalmas protokollok már sokkal változatosabbak. Jellemzően 30 m és 100 m az áthidalható távolság. A rövidebb távra az EnOcean, a Thread, a WirelessHART és a Z-Wave ajánlott. Ezek közül a választást a megoldandó feladat sajátossága határozza meg. Az EnOcean előnye az ultraalacsony fogyasztás. Belső architektúrája az ipari rendszerekhez, azok érzékelő, vezérlési, felügyeleti és jelzőrendszer feladataihoz megfelelő. A Thread az intelligens otthoni hálózat eszközeinek kommunikációja. IP-alapú, támogatja az IPv6-ot és a már meglévő WiFi-hálózatot kiegészítve, ahhoz csatlakozva üzemel. Ezért a használatához WiFi-hálózat is szükséges lehet. A WirelessHART ipari szenzorhálózatok meghatározó protokollja. Előnye a többi protokollal szemben, hogy nemcsak digitális, hanem analóg jelek feldolgozására is alkalmas. A ZigBee M2M kommunikációra tervezett, kis energiaigényű, kis adatátviteli sebességű protokoll. Kimondottan szöveges adatok átvitelére alkalmas. A Z-Wave egy otthoni rendszerekhez tervezett, vegyes felhasználású protokoll. Támogatja a szenzorok és vezérlők kezelését, mint az EnOcean és a WirelessHART. Támogatja a mesh-hálózatokat, mint a Thread. A többitől eltérően nem a 2,4 GHz-es ISM-sávot használja, hanem a 900 MHz-et. Más hullámterjedés jellemző rá és kevésbé zavarja más hálózatok működése.

A rövid/közepes hatótáv sokkal egységesebb. A 802.11 protokollcsalád, azon belül is a WiFi különböző verziói a piacvezetők a maximum 1 km távolságú összeköttetésekben. Persze ez csak irányszám, hiszen Magyarországon is van példa 50 km feletti pont-pont WiFi-kapcsolatra. A 802.11 a/b/g/n/ac a visszamenőleges kompatibilitás miatt a legelterjedtebb vezeték nélküli hálózatiprotokoll-csoport. A folyamatos fejlesztés eredményeként az elérhető adatátviteli sebesség és a hatótáv is folyamatosan növekedett. Előnye, hogy szinte minden informatikai eszköz kompatibilis vele. Hátránya is az elterjedtségéből adódik. Kevés számú elérhető csatornán kell osztozni nagyszámú hálózatnak. A sáv túlszűfolttsága miatt zavarják egymást a szomszédos hálózatok. A 802.11af szabványt részben a régi technológiák eltűnése hozta létre. Az analóg műsorszóró TV-adók megszűnésével felszabadult frekvenciákat újrahasznosítják adattovábbításra. Kevésbé elterjedt, mert használata engedély- és díjköteles. A 802.11ah protokoll subgigahertz ISM-sávokat használ. Részben kompatibilis az IP-alapú WiFi-protokollokkal, ami egyszerűbb vegyes hálózatok kialakítását teszi lehetővé az M2M alkalmazásokhoz. A DASH7 a többi megoldáshoz képest kis adatátviteli sebességű protokoll, ezért olyan ipari rendszerekhez ajánlott ahol nincs nagy továbbítandó adatmennyiség. Előnye a többi protokollhoz képest, hogy nem igényel egyéb kiépített hálózati infrastruktúrát, mint például átjáró vagy csomópontvezérlő. A Wi-SUN és a ZigBee-NAN még egy mérettel nagyobb hálózatokhoz tervezett protokollok. Mindkettő már az okosvárosok koncepciójába illeszkedik. Tervezett felhasználói a közműszolgáltatók és az önkormányzatok. Jelentős különbség az elérhető adatátviteli sebességben van. Ahol szükséges a nagyobb adatátviteli sebesség, ott a Wi-SUN ajánlott. Ahol elég a kisebb is, de fontos szempont a nagyobb hatótáv, ott a ZigBee-NAN lehet a jó választás.

A hosszú távú kommunikációhoz, főleg a látóhatáron túlihoz már komoly infrastruktúrára, kiépített bázisállomásokra, relékre és átjátszókra van szükség. Az ilyen kereskedelmi rendszerek között a legismertebbek a 2G/3G/4G/5G hálózatok. Használatukhoz előfizetői szerződés szükséges és díjfizetés ellenében történik. Nem kizárólagos használói vagyunk a hálózatnak, így az adatátviteli sebesség változhat a többi felhasználó által generált forgalom miatt. Az LTE-MTC a GSM-rendszerekhez hasonló, illetve azzal közös hálózatot használ, de kimondottan M2M-kommunikációra fejlesztett protokoll. Fő jellemzője az alacsony adatátviteli sebesség és a kis késleltetés. A LoRa gigahertz alatti ISM-sávot használ, független a GSM-rendszerektől. Először M2M-kommunikációra és IoT-hálózatokhoz tervezték. Ezért kis energiaigényű, kis adatátviteli sebességű protokoll. A PTC speciális vasúti biztonsági rendszer. Kimondottan ennek a feltételrendszerre alapján fejlesztették. A SIGFOX, a Neul és a Telensa hasonló célból létrehozott protokollok. Elsődlegesen okosvárosok kiépítésének megoldására. A SIGFOX és a Telensa kis adatátviteli sebességet biztosít, a Neul két nagyságrenddel nagyobbat. A SIGFOX erőssége a nagyobb hatótáv, a Telensáé a heterogén hálózatban is alkalmazhatóság. Más szabványú érzékelőkhöz is rendelkezik interfészekkel.

Ahogy a fogyasztók megismerik az intelligensotthon-megoldások és az IoT előnyeit, úgy fog robbanásszerűen növekedni a népszerűségük. Nem lesz ritka, hogy számos vezeték nélküli protokoll fog párhuzamosan működni az otthonokban. Pontosan úgy, ahogy a mai mobiltelefonok is zökkenőmentesen támogatják – akár egy időben – a 3G/4G, WiFi és Bluetooth kapcsolatokat.

A mai IoT-szegmensben még nem dúl adáz harc az egyeduralomért. Nem egyetlen vezeték nélküli technológia fog teret hódítani. Sokkal inkább az látszik, hogy a fejlesztők megtalálják a vezeték nélküli kommunikációk megfelelő kombinációját, hogy az IoT-termékek zökkenőmentesen kommunikáljanak egymással, a kapcsolódó hálózatokkal, a felhőszolgáltatásokkal és nem utolsósorban a felhasználóval.

Ennek a kombinációnak az összeállításához ad segítséget a tanulmány. Áttekintést nyújt az elérhető megoldásokról, és az ábrák segítségével megkönnyíti a megfelelő hatótávú és adatátviteli sebességű protokollok kiválasztását.

Hivatkozások

- [1] K. Kovács és J. Katona, „Vezeték nélküli protokollok az Internet of Things világában,” *elektro-net.hu*, [Online]. Elérhető: www.elektro-net.hu/konstruktor/6641-vezetek-nelkuli-protokollok-az-internet-of-things-vilagaban (Letöltve: 2018. 02. 20.)
- [2] Zs. Haig és I. Várhegyi, *Hadviselés az információs hadszíntéren*. Budapest: Zrínyi Kiadó, 2005.
- [3] I. Négyesi, „Informatikai rendszerek és alkalmazások a védelmi szférában,” *Dunaújvárosi Főiskola Közleményei*, (2010), In: Szerk.: Cserny László Informatika Korszerű Technikai Konferencia 2010. Dunaújváros: Dunaújvárosi Főiskola (DF), 2010. pp. 1–10.
- [4] S. Szőlősi, „Konvergáló hálózatok fejlődési trendjei, a technikai alkalmazhatóság kérdései a Magyar Honvédség infokommunikációs rendszerében,” Doktori (PhD) értekezés, ZMNE, Budapest, 2008.
- [5] M. S. Mahmoud and A. Mohamad, A Study of Efficient Power Consumption Wireless Communication Techniques/ Modules for Internet of Things (IoT) Applications, *Advances in Internet of Things (AIT)*, vol. 6, no. 2, 2016. január. [Online]. DOI: <https://doi.org/10.4236/ait.2016.62002>
- [6] I. Négyesi, „Die überprüfung 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] NFC Forum, „Technical Specifications” *NFC Forum*, [Online]. Elérhető: <https://nfc-forum.org/our-work/specifications-and-application-documents/specifications/nfc-forum-technical-specifications/> (Letöltve: 2018. 03. 11.)
- [9] D. M. Dobkin and T. Wandinger, “A Radio-Oriented Introduction to RFID-Protocols, Tags and Applications,” *High Frequency Electronics*, August, pp. 32–46. 2005. [Online]. Elérhető: www.highfrequencyelectronics.com/Aug05/HFE0805_RFIDTutorial.pdf
- [10] “Your Health & Fitness Partner, What is ANT+,” *thisisant.com*, [Online]. Elérhető: www.thisisant.com/consumer/ant-101/what-is-ant/ (Letöltve: 2018. 03. 21.)
- [11] “Radio Versions,” *bluetooth.com*, [Online]. Elérhető: www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions (Letöltve: 2018. 03. 26.)

- [12] EnOcean alliance, "EnOcean Wireless Standard," *EnOcean alliance* [Online]. Elérhető: www.enocean-alliance.org/what-is-enocean/enocean-wireless-standard/ (Letöltve: 2018. 03. 29.)
- [13] "What is thread?" *threadgroup.org*, [Online]. Elérhető: www.threadgroup.org/What-is-Thread/Overview (Letöltve: 2018. 04. 06.)
- [14] "WirelessHART – How it works," *fieldcommgroup.org*, [Online]. Elérhető: <https://fieldcommgroup.org/technologies/hart/hart-technology> (Letöltve: 2018. 04. 09.)
- [15] Zigbee Alliance, "Zigbee is the only complete IoT solution, from the mesh network to the universal language that allows smart objects to work together," *Zigbee Alliance*, [Online]. Elérhető: www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-3-0/ (Letöltve: 2018. 04. 08.)
- [16] Z-wave, "Smart home products with Z-Wave inside work together, use just one app to connect and control your smart home from anywhere." Z-wave, [Online]. Elérhető: www.z-wave.com/learn (Letöltve: 2018. 04. 09.)
- [17] "Why DASH7?" [Online]. Elérhető: dash7-alliance.org/product/dash7-alliance-protocol-specification-v1-2/ (Letöltve: 2019. 10. 11.)
- [18] S. Sendra, P. Fernandez, C. Turro, and J. Llorret, "IEEE 802.11a/b/g/n Indoor Coverage and Performance Comparison," In Proc. 6th International Conference on Wireless and Mobile Communications, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1109/icwmc.2010.46>
- [19] A. B. Flores, R. E. Guerra, E. W. Knightly, P. Ecclesine, and S. Pandey, "IEEE 802.11af: a standard for TV white space spectrum sharing," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 10. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6619571> <https://ieeexplore.ieee.org/document/6619571/> (Letöltve: 2018. 04. 16.)
- [20] S. Aust, R. V. Prasad, and I. G. M. M. Niemegeers, "IEEE 802.11ah: Advantages in standards and further challenges for sub 1 GHz Wi-Fi," In Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC), 2012. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICC.2012.6364903>
- [21] WiSun Alliance, "Comparing IoT Networks at a Glance," *WiSun Alliance*, [Online]. Elérhető: www.wi-sun.org/index.php/tcwp-en/file (Letöltve: 2018. 04. 22.)
- [22] Zigbee Alliance "JupiterMesh® Neighborhood Area Network (NAN) Announced," *Zigbee Alliance*, [Online]. Elérhető: www.zigbee.org/jupitermesh-neighborhood-area-network-nan-announced/ (Letöltve: 2018. 04. 24.)
- [23] "The Evolution of Mobile Technologies: 1G, 2G, 3G, 4G LTE," [Online]. Elérhető: www.qualcomm.com/media/documents/files/download-the-evolution-of-mobile-technologies-1g-to-2g-to-3g-to-4g-lte-qualcomm.pdf (Letöltve: 2018. 04. 27.)
- [24] GSMA, "Long Term Evolution for Machines: LTE-M," *GSMA*, [Online]. Elérhető: www.gsma.com/iot/long-term-evolution-machine-type-communication-lte-mtc-cat-m1/ (Letöltve: 2018. 05. 05.)
- [25] LoRa Alliance, "About the LoRaWAN™ Specification," *LoRa Alliance*, [Online]. Elérhető: <https://lora-alliance.org/lorawan-for-developers> (Letöltve: 2018. 05. 08.)
- [26] Cisco, "Positive Train Control," *Cisco*, [Online]. Elérhető: www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/trans/ptc-aag.pdf (Letöltve: 2018. 05. 10.)
- [27] Sigfox, "Sigfox Technology Overview," *Sigfox*, [Online]. Elérhető: www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview (Letöltve: 2018. 05. 13.)

- [28] Neul, "News," *Neul*, [Online]. Elérhető: <http://neul.com/neul-news/> (Letöltve: 2018. 05. 15.)
- [29] "Mass scale smart city technology," [Online]. Elérhető: www.telensa.com/ (Letöltve: 2018. 05. 17.)