



**INFORMATIKA
TANSZÉK**
DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE

A Bluetooth technológia fejlődése, architektúrája és jövőbeli kilátása

Ipar 4.0 technológiák (GKNB_INTM087)

Varga Gergő József(FWTUC4)

2023/24-2

Tartalomjegyzék

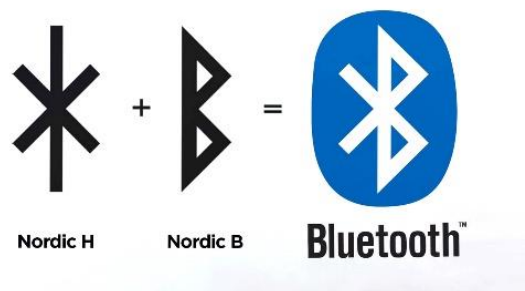
A témaválasztás indoklása	3
Név eredete miért, „kék fog”?	3
Mi is a Bluetooth?	3
A Bluetooth története	6
Bluetooth különböző verziói	8
Bluetooth Classic és Bluetooth Low Energy.....	12
Bluetooth Classic.....	13
Bluetooth Low Energy.....	13
Bluetooth protokoll rétegek	15
Bluetooth architektúrája.....	17
Bluetooth és az IoT	18
MI is az az IOT	18
A Bluetooth szerepe.....	18
Fogyasztói alkalmazások	19
Kereskedelmi alkalmazások	20
Ipari alkalmazások.....	20
Bluetooth „hátrányok”	21
Biztonsági fenyegetések	21

A témaválasztás indoklása

Az esszé témája a Bluetooth technológiai szabvány fejlődésének bemutatása. Megtudhatjuk mik voltak évekről-évekre a legfontosabb újítások, fejlesztések. Dolgozatomban bemutatok pár alapvető tudnivalót és érdekességet, illetve betekintést nyújtok magába a Bluetooth működésébe is, és technológia jövőbeli fejlődésének kilátásaira. Azért választottam ezt a témát, mivel szerintem sokaknak a Bluetooth kizárólag a fülhallgatók vagy a mobiltelefonok közti adatátvitel eszközeként ismert, miközben valójában sokkal szélesebb körben is használják.

Név eredete miért, „kék fog”?

A név Harald Blåtand, azaz I. (Kékfogú) Harald dán király nevének angol változata, aki 958-tól, illetve 976-tól 986-ig volt Dánia és Norvégia uralkodója és a hagyomány szerint nagyon szerette az áfonyát, amiktől gyakran kék lett a foga. Harald arról volt nevezetes, hogy egyesítette a lázongó dán, norvég és svéd törzseket. Ehhez hasonlóan a Bluetooth-t is arra szánták, hogy egyesítsen és összekössön olyan különböző eszközöket, mint a számítógép, a mobiltelefon, vagy a fejhallgató. A Bluetooth logója a H és B betűknek megfelelő skandináv rúnákat, a Haglakt és a Berkanant idézi. [13][10]



1. ábra A Bluetooth lógó megszületése

<https://leet.hu/2021/04/26/manapsag-mar-mindenben-ott-van-mi-az-a-bluetooth-es-mi-lehet-az-utodja/>

Mi is a Bluetooth?

A Bluetooth egy rövid hatótávolságú, vezeték nélküli technológiai szabvány, amelyet adatok cseréjére használnak, valamint személyi hálózatok (PAN-ok) létrehozására. Számítógépek, mobiltelefonok, fejhallgatók és más eszközök között könnyen létesíthetünk kis hatótávolságú

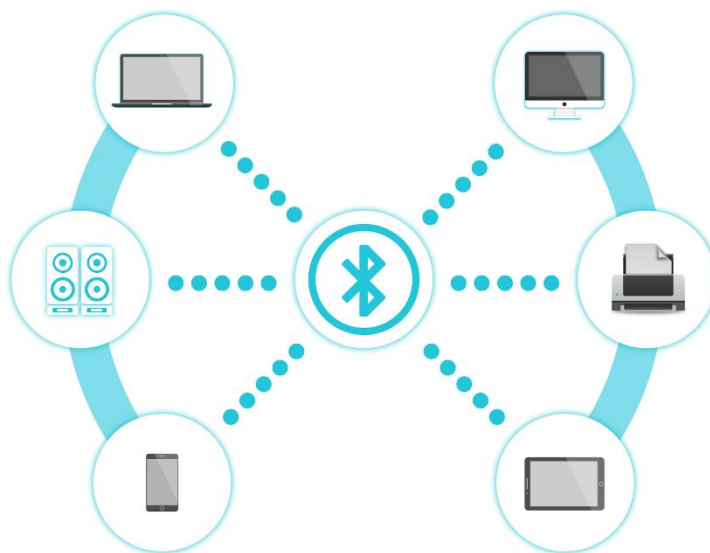
rádiós kapcsolatot a Bluetooth segítségével. A Bluetooth alacsony energiafogyasztása miatt különösen alkalmas hordozható eszközök számára. A készülékek alacsony teljesítményű rádióhullámokat használnak ezen kapcsolat létrehozásához, osztályuktól függően különböző távolságokon belül képesek kommunikálni.

A legelterjedtebb módon a továbbítási teljesítményt 2,5 milliwattal korlátozzák, ami elég rövid hatótávolságot eredményez, kb. 10 méterig (33 láb). Az ISM sávokban UHF rádióhullámokat alkalmaz, 2,402 GHz-től 2,48 GHz-ig. [2]

Osztály	Teljesítmény	Hatótáv
1	100 mW (20 dBm)	100 méter
2	2,5 mW (4 dBm)	10 méter
3	1 mW (0 dBm)	1 méter

2. ábra Bluetooth osztályozás

Saját szerkesztés



3. ábra Bluetooth eszközök melyek összeköthetők

<https://theauris.com/blogs/blog/how-does-bluetooth-work>

A Bluetoothot a Bluetooth Special Interest Group (SIG) kezeli, amelynek több mint 35 000 tagvállalata van a telekommunikáció, számítástechnika, hálózatiépítés és fogyasztói elektronika

területén. Az IEEE szabványosította a Bluetootht IEEE 802.15.1-ként, de már nem tartja fenn a szabványt. A Bluetooth SIG felügyeli a specifikáció fejlesztését, kezeli a minősítési programot és védi a védjegyeket. Egy gyártónak meg kell felelnie a Bluetooth SIG szabványainak, hogy piacra dobhassa Bluetooth eszközként. A technológiára vonatkozó szabadalmi hálózatot az egyes kvalifikált eszközöknek engedélyezik. 2021-ben évente 4,7 milliárd Bluetooth integrált áramköri chipet szállítottak. [14]

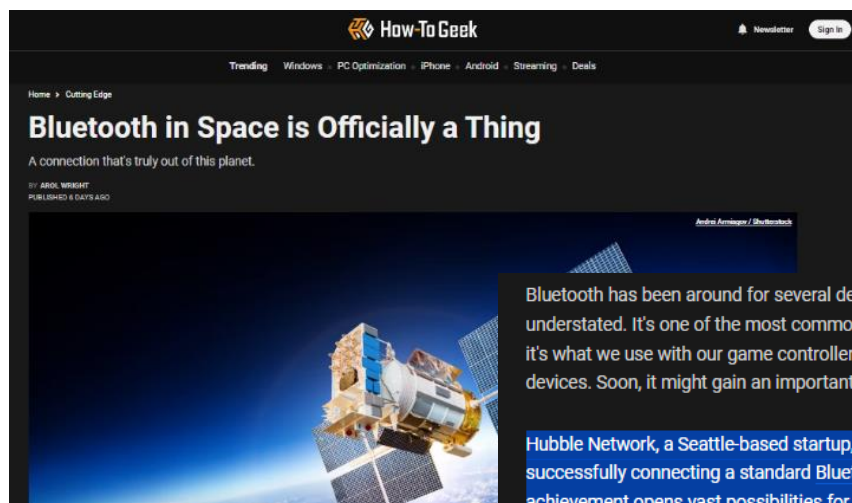


4.ábra Bluetooth SIG központja Washington

<https://www.howtogeek.com/bluetooth-in-space-is-officially-a-thing/>

A Bluetootht először 2024-ben demonstrálták az űrben, egy korai teszt, amely az Internet of Things (IoT) képességeinek javítását célozta. [4]

A műholdak a kereskedelmi forgalomban kapható Bluetooth-chipekkel kommunikáltak, azokat hardveresen nem, csupán szoftverfrissítéssel módosították. A dolognak épp ez a lényege, a frissítés ugyanis lehetővé teszi, hogy a chipek nagy távolságokon keresztül kommunikáljanak alacsony energiafogyasztással.



Bluetooth has been around for several decades now, and its importance cannot be understated. It's one of the most common methods to connect devices to other devices, and it's what we use with our game controllers, our earbuds, our speakers, and countless other devices. Soon, it might gain an important role outside of our planet Earth as well.

Hubble Network, a Seattle-based startup, has made a technological breakthrough by successfully connecting a standard Bluetooth device to a satellite in orbit. This unprecedented achievement opens vast possibilities for the Internet of Things (IoT). Hubble's initial satellites, launched in March, have already received signals from Bluetooth chips over 600 kilometers away.

It's quite an important development taking into account the fact that Bluetooth has historically been a reliable, but short range method of connection, as evidenced by stuff such as the fact that your earbuds disconnect from your phone if you get a few rooms away. So how did we get from a signal that just started working through walls relatively recently to a signal that can make it all the way out of our atmosphere? For now, the solution involves using a phased array antenna as a magnifying glass that can take the otherwise short-range, low-power radio waves from the ground. If the implementation remains like this, we'd imagine it would work pretty similarly to how phones like the iPhone 15 currently connect to satellites, just with a more standard Bluetooth protocol instead of specific satellite antennae/hardware.

(Kijelölt rész fordítása)

5/6. ábra Technológiai áttörés

<https://www.howtogeek.com/bluetooth-in-space-is-officially-a-thing/>

A Hubble Network, egy Seattle-ben található startup cég, technológiai áttörést ért el azzal,

hogy sikeresen összekapcsolt egy standard Bluetooth eszközt egy műholdhoz az űrben. Ez hatalmas lehetőségeket nyit meg az Internet of Things (IoT) számára. A Hubble kezdeti műholdjai, melyeket márciusban indítottak, már fogadtak jeleket Bluetooth chipekről több mint 600 kilométeres távolságból.[14]

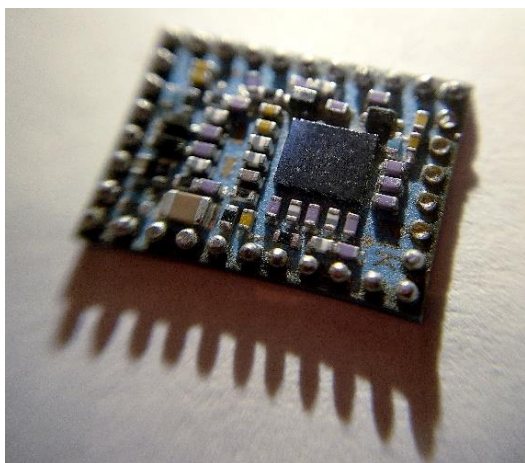
A Bluetooth története

A Bluetooth technológia fejlesztése, 1989-ben indult Nils Rydbeck kezdeményezésére, aki akkor az Ericsson Mobile CTO-ja volt Lundban, Svédországban. A cél az volt, hogy vezeték nélküli fejhallgatókat fejlesszenek ki Johan Ullman két találmánya alapján, az SE 8902098-6 alapján, amelyet 1989. június 12-én adtak ki, és az SE 9202239 alapján, amelyet 1992. július 24-én adtak ki. Nils Rydbeck a specifikációk meghatározását Tord Wingrenre bízta, míg a

holland Jaap Haartsen és Sven Mattisson a fejlesztéssel foglalkozott. Mindketten az Ericsson munkatársai voltak Lundban. A fő tervezés és fejlesztés 1994-ben kezdődött, és 1997-re a csapatnak már volt egy működőképes megoldása. 1997-től Örjan Johansson vált a projektvezetővé, és elősegítette a technológia és szabványosítás fejlődését.

1997-ben Adalio Sanchez, az IBM ThinkPad akkori termékfejlesztési igazgatója, megkereste Nils Rydbecket azzal a kéréssel, hogy működjenek együtt egy mobiltelefon ThinkPad notebookba történő integrálásában. Az Ericsson és az IBM két mérnököt jelölt ki a feladatra, akik megvizsgálták az ötletet. Arra a következtetésre jutottak, hogy az akkori mobiltelefon-technológia energiafogyasztása túl magas volt ahhoz, hogy megfelelően integrálható legyen egy notebookba, és még mindig elegendő akkumulátor-üzemidőt biztosítson. Ehelyett a két cég úgy döntött, hogy az Ericsson rövid-link (a Bluetooth régi neve a projekt fázisa alatt) technológiáját integrálja a ThinkPad notebookba, és az Ericsson telefonba, hogy elérje a kitűzött célt.

1988. májusában indult el Bluetooth Special Interest Group az IBM és az Ericsson az alapító összesen öt taggal: Ericsson, Intel, Nokia, Toshiba és IBM. Az első Bluetooth eszköz 1999-ben került nyilvánosságra. Ez egy mobilfejhallgató volt, amely elnyerte a "Best of show Technology Award" díjat a COMDEX-en. Az első Bluetooth mobiltelefon az Ericsson T36 volt, de az átdolgozott Ericsson T39 volt az, amely valójában 2001-ben eljutott az üzletek polcaira. Ezzel párhuzamosan az IBM bemutatta az IBM ThinkPad A30-at 2001 októberében, ami az első notebook volt integrált Bluetooth funkcióval.[1]



7.ábra 2001-es Ericsson Bluetooth modul

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/76/Ericsson_Bluetooth_module.jpg/220px-Ericsson_Bluetooth_module.jpg

ERICSSON PRESS RELEASES

Ericsson unveils First Bluetooth product

Monday, November 15, 1999

At Mobile Focus and COMDEX/Fall '99, in Las Vegas, USA, Ericsson unveiled the Bluetooth™ Headset, a practical cellular phone headset that connects to a mobile phone by a radio link instead of a cable.



8.ábra EricssonHBH-10 (Comdex 1999)

https://ericssoners.wordpress.com/2014/09/02/bluetooth-headset-hbh-10-limited-edition-kit/Ericsson_Bluetooth_module.jpg



9.ábra Ericsson T39

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>



10.ábra IBM ThinkPad A30

<https://archive.org/download/thinkpad-t30/T30.JPG>

Bluetooth különböző verziói

A Bluetooth fejlődésének története során több fejlesztésen is átesett, és több verziója is forgalomba került, melyek egyre biztonságosabbak és hatékonyabbak lettek. Mindegyik verzió alapozott az előzőre és javított a hiányosságain, hibáin. Minden fejlesztés hozzájárult ahhoz, hogy napjainkban az egyik legelterjedtebb vezeték nélküli adatátviteli módszer legyen.

1. **Bluetooth 1.0 és 1.0B:** Az eredeti Bluetooth szabványok, melyek 1999-ben kerültek bevezetésre. Ezek az első verziók, amelyek lehetővé tették az eszközök közötti vezeték nélküli adatkapcsolatot. A sebességük körülbelül 1 Mbps volt. A termékek nem voltak összekapcsolhatóak. Az anonimitás nem volt lehetséges, ami bizonyos szolgáltatásoknál megakadályozta a Bluetooth környezetek használatát.
2. **Bluetooth 1.1:** Ez a verzió 2002-ben jelent meg, és több javítást és finomhangolást hozott a korábbi verziókhöz képest. Például az interferencia csökkentését és az eszközök közötti kommunikáció stabilitásának javítását hozta. Hozzá lett adva a nem titkosított csatornák lehetősége. Vételjel erősségjelző is lett (RSSI) hozzáadva.
3. **Bluetooth 1.2:** Ezt a verziót 2003-ban adták ki, és számos újítást hozott magával.

A fő fejlesztések:

Gyorsabb kapcsolódás és eszköz felfedezés.

Az „Adaptív Frekvenciaugró Kiterjesztett Spektrum” (AFH), amely javítja a rádiófrekvenciás interferencia ellenállását a zsúfolt frekvenciák elkerülésével az ugrási sorrendben .

Magasabb átviteli sebességek a gyakorlatban, mint a v1.1 esetében, akár 721 kbit/s.

Kibővített szinkron kapcsolatok (eSCO), amelyek javítják a kapcsolatok hangminőségét azáltal, hogy lehetővé teszik a sérült csomagok újraküldését.

4. **Bluetooth 2.0 + EDR:** Ez a verzió a 2004-ben került kiadásra. A fő különbség az Enhanced Data Rate (EDR) bevezetése a gyorsabb adatátvitel érdekében. Az EDR adatátviteli sebessége 3 Mbit/s, bár a maximális adatátviteli sebesség (az adatcsomagok közötti idő és visszaigazolások figyelembevételével) 2,1 Mbit/s. Az EDR a GFSK és a fázisváltásos kulcselérést (PSK) kombinálja két változattal, a $\pi/4$ -DQPSK és az 8-DPSK változatokkal. Az EDR alacsonyabb energiafogyasztást képes biztosítani egy csökkentett munkaciklus segítségével.

A specifikációt Bluetooth v2.0 + EDR-ként tették közzé, ami azt jelenti, hogy az EDR egy opcionális funkció. Az EDR mellett a v2.0 specifikáció más kisebb fejlesztéseket is tartalmaz.

5. **Bluetooth 2.1 + EDR:** Ez a verzió 2007-ben került kiadásra, és a legfontosabb újdonsága a Secure Simple Pairing (SSP): ez javítja a Bluetooth eszközök párosítását, miközben növeli a biztonságos használatot.

A 2.1 verzió tartalmazott más fejlesztéseket is, beleértve az Extended Inquiry Response (EIR) funkciót, amely több információt nyújt a lekérdezési eljárás során, hogy jobban szűrhetők legyenek az eszközök a kapcsolat előtt.

6. **Bluetooth 3.0 + HS:** Ez a verzió 2009-ben jelent meg, és a High Speed (HS) mód bevezetésével lehetővé tette a nagyobb sebességű adatátvitelt például multimédiás streaminghez. A HS mód akár 24 Mbps-es adatátvitelt tesz lehetővé.

A fő újdonság az AMP, azaz az Alternatív MAC/PHY hozzáadása, amely a 802.11-et használja magas sebességű adatszállításához. Ez lehetővé teszi az eszközök számára, hogy nagy sebességű adatokat továbbítsanak, például zene vagy videó streaminget, anélkül, hogy túlzottan terhelnék a Bluetooth kapcsolatot.

Csak azok az eszközök támogatják valójában a Bluetoothot a 802.11 magas sebességű adatátvitelt, amelyek rendelkeznek a "+HS" logóval. Egy Bluetooth v3.0 eszköz a "+HS" előtag

nélkül csak azt a Core Specification 3.0 vagy korábbi Core Specification Addendum 1 verziókban bevezetett funkciókat kell, hogy támogassa.

7. **Bluetooth 4.0:** A Bluetooth 4.0, másnéven Bluetooth Smart, egy jelentős mérföldkő volt a Bluetooth technológiában. A Bluetooth Special Interest Group (SIG) által 2010 júniusában elfogadott 4.0 verzió számos újítást hozott a Bluetooth világába.

Az egyik legfontosabb újítás az, hogy három fő protokollt ötvöz: a Classic Bluetooth-ot, a Bluetooth High Speed-t és a Bluetooth Low Energy (BLE)-t. Ez a kombináció lehetővé teszi a különböző eszközök közötti gyors és hatékony adatátvitelt, miközben minimalizálja az energiafogyasztást.

A legkiemelkedőbb újdonság a Bluetooth Low Energy (BLE) protokoll bevezetése. Ez az alacsony energiafogyasztású protokoll lehetővé teszi az eszközök hosszabb üzemidejét, ami különösen fontos az olyan eszközök esetében, amelyek akkumulátort használnak, például okosórák.

A Bluetooth 4.0 más újításai közé tartozik a Generic Attribute Profile (GATT) és a Security Manager (SM) szolgáltatások bevezetése, amelyek további biztonságot és funkcionalitást kínálnak az eszközök számára.

8. **Bluetooth 4.1, 4.2:** Ezek a verziók kisebb fejlesztéseket és javításokat hoztak a Bluetooth technológiához, mint például a többes kapcsolat kezelése és a biztonság javítása, a 4G (LTE) frekvenciával való zavaróhatás kiszűrése, és az Intelligens csatlakozás (a Bluetooth eszköz igény szerint fel-le csatlakozik a mester eszközre, így energiát takarít meg).

A Bluetooth eszközök hubként és végpontként is tudnak működni, ami az IoT technológia terjedését segíti (az okos eszközök önállóan egymással is tudnak kommunikálni).

9. **Bluetooth 5:** Az egyik legjelentősebb újítás a Bluetooth 5.0-ban, mely 2018-ban jelent meg, az adatátviteli sebesség és a hatótávolság növekedése. A Bluetooth 5.0 jelentősen nagyobb adatátviteli sebességet kínál, akár négyszeresét az előző verziókhoz képest. Ez lehetővé teszi gyorsabb fájlátvitelt, zene- és videostreaminget, valamint jobb teljesítményt az olyan alkalmazásokban, mint a játékok és a virtuális valóság.

Emellett a Bluetooth 5.0 javítja a vezeték nélküli kapcsolat hatótávolságát is. Ezáltal nagyobb területeket fed le, és lehetővé teszi az eszközök közötti stabilabb kapcsolatot még nagyobb távolságokban is.

A Bluetooth 5.0 másik fontos újonsága az energiatakarékos módok továbbfejlesztése. Ez lehetővé teszi az eszközök számára, hogy még hosszabb ideig működjenek egyetlen töltéssel, ami különösen fontos az olyan eszközök esetében, amelyek kis akkumulátorral rendelkeznek, például okosórák vagy egészségügyi eszközök. Az 5.0 verzió továbbá bevezette az Audio Streaming Enhancement (ASE) funkciót, amely javítja a hangminőséget és stabilitást. Ez lehetővé teszi a jobb hangzást és a zavartalan zene hallgatását Bluetooth eszközökön keresztül.

10. **Bluetooth 5.1, 5.2:** Ezek a verziók további finomításokat és funkciókat hoztak a Bluetooth technológiához, például a pontosabb helymeghatározást és az audio minőség további javítását. Az egyik fő újonság az 5.1-es verzióban a Direction Finding (iránykeresés) lehetősége. Ez a funkció lehetővé teszi az eszközök számára, hogy pontosan meghatározzák a másik eszköz helyzetét és irányát, ami különösen hasznos lehet az ipari és térbeli helymeghatározású alkalmazásokban.

11. **Bluetooth 5.2:** Az 5.2-es verzióban jelent meg az Enhanced Attribute Protocol (EATT), amely lehetővé teszi az eszközök számára a hatékonyabb kommunikációt, és minimalizálja az adatforgalmat. Ezáltal javítja a rendszer teljesítményét és hatékonyságát, különösen az olyan alkalmazásokban, amelyek nagy mennyiségű adatot kezelnek.

Az 5.2-es verzió továbbá optimalizálja a Bluetooth Audio funkciókat, többek között az Adaptive Frequency Hopping (AFH) és a Low Complexity Communication Codec (LC3) fejlesztéseivel. Ezek a fejlesztések javítják a hangminőséget és a kapcsolat stabilitását, valamint csökkentik az energiafogyasztást, ami kényelmesebb és hatékonyabb audio streaming élményt biztosít. A Bluetooth 5.2 bevezette az LE Audio-t is, ami új lehetőségeket nyitott az audio streaming területén.

12. **Bluetooth 5.3:** 2021 -ben jelent még és számos új funkciót is vezetett be.

Connection Subrating: Ez a funkció lehetővé teszi a kapcsolatok jobb kezelését a paraméterek beállításával az energiafogyasztás és az adatátviteli képesség optimalizálása érdekében.

Periodic Advertisement Interval: Több rugalmasságot vezet be az időszakos hirdetési időközökben, javítva a Bluetooth alacsony energiafogyasztású (BLE) eszközök hatékonyságát.

Channel Classification Enhancement: Ez a fejlesztés javítja a csatornák osztályozását, ami jobb együttműködést eredményez más vezeték nélküli technológiákkal és csökkenti az interferenciát.

Encryption Key Size Control Enhancements: Ezek a fejlesztések megerősítik a biztonságot jobb ellenőrzéssel a titkosítási kulcsok méretéről, biztosítva a magasabb szintű adatvédelmet.

13. **Bluetooth 5.4:** A Bluetooth 5.4 verziójának nemrégiben történt elfogadása új izgalmas funkciók sorát hozza el a Bluetooth termékek számára, és minden előnyüket. A két fő fejlesztés közül kettő a Periodikus Hirdetés Válaszokkal (PAWR) és az Titkosított Hirdetési Adatok. Ezek együttesen lehetővé teszik a kapcsolat nélküli, kétirányú, biztonságos kommunikációt több ezer nagyon alacsony energiafogyasztású végponttal a csillag topológiában.[8][1][2]

Bluetooth Classic és Bluetooth Low Energy

A Bluetooth technológia hihetetlen sikerének egyik kulcsfontosságú oka az, hogy fejlesztők számára hatalmas rugalmasságot biztosít. Két rádióopciót kínálva a Bluetooth technológia rengeteg megoldást nyújt, amelyek megfelelnek a folyamatosan bővülő vezeték nélküli kapcsolódások iránti igényeknek.

Legyen szó arról, hogy egy termék magas minőségű hangot közvetít egy okostelefon és egy hangszóró között, adatokat továbbít egy táblagép és egy orvostechikai eszköz között, a Bluetooth Low Energy (LE) és a Bluetooth Classic arra lettek tervezve, hogy kielégítsék világszerte a felhasználók és a fejlesztők egyedi igényeit. Ez a rugalmasság biztosítja, hogy a Bluetooth technológia továbbra is a preferált választás maradjon számos alkalmazásban, különböző iparágakban.

Bluetooth Classic

A Bluetooth Classic, más néven Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR), egy alacsony energiafogyasztású technológia, amely adatokat továbbít 79 csatornán a 2,4 GHz-es engedély nélküli ipari, tudományos és orvosi (ISM) frekvenciasávban. A point-to-point eszközök közötti kommunikációt támogatva a Bluetooth Classic főként a vezeték nélküli hangátvitel lehetővé tétele érdekében használatos, és az vezeték nélküli hangszórók, fejhallgatók és autós szórakoztató rendszerek mögött meghatározó rádióprotokollá vált.

Bluetooth Low Energy

A Bluetooth Low Energy (LE) kifejezetten nagyon alacsony energiafogyasztású működésre lett tervezve. Az adatokat 40 csatornán továbbítva a 2,4 GHz-es engedély nélküli ISM frekvenciasávban, a Bluetooth LE hatalmas rugalmasságot biztosít a fejlesztők számára, hogy olyan termékeket alkossanak, amelyek megfelelnek piacuk egyedi kapcsolódási követelményeinek. A Bluetooth LE támogat több kommunikációs topológiát is, amelyek a ponttól-pontig terjednek, lehetővé téve megbízható, nagyméretű eszközhálózatok létrehozását. Míg kezdetben az eszközök közötti kommunikációs képességeiről volt ismert, a Bluetooth LE ma már széles körben használatos eszközpozicionáló technológiaként is, hogy kielégítse a magas pontosságú beltéri helymeghatározási szolgáltatások iránti növekvő igényt. A Bluetooth LE most már olyan funkciókat is magában foglal, amelyek lehetővé teszik egy eszköznek, hogy meghatározza egy másik eszköz jelenlétét, távolságát és irányát. [2]

	Bluetooth Low Energy (LE)	Bluetooth Classic
frekvenciasáv	2.4GHz ISM Band (2.402 – 2.480 GHz Utilized)	2.4GHz ISM Band (2.402 – 2.480 GHz Utilized)
Csatornák	40 csatorna 2 MHz térközzel	79 csatorna 1 MHz térközzel

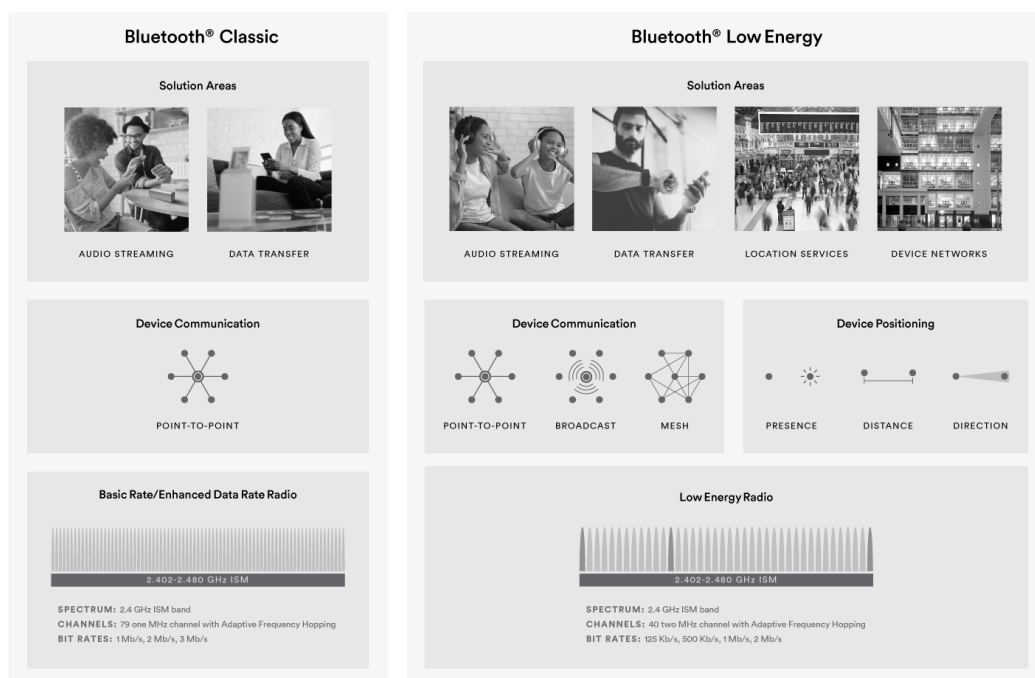
Csatornahasználat	Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)	Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)
Moduláció	GFSK	GFSK, $\pi/4$ DQPSK, 8DPSK
Adatsebesség	LE 2M PHY: 2 Mb/s LE 1M PHY: 1 Mb/s LE Coded PHY (S=2): 500 Kb/s LE Coded PHY (S=8): 125 Kb/s	EDR PHY (8DPSK): 3 Mb/s EDR PHY ($\pi/4$ DQPSK): 2 Mb/s BR PHY (GFSK): 1 Mb/s
Tx teljesítmény	≤ 100 mW (+20 dBm)	≤ 100 mW (+20 dBm)
Rx érzékenység	LE 2M PHY: ≤ -70 dBm LE 1M PHY: ≤ -70 dBm LE Coded PHY (S=2): ≤ -75 dBm LE Coded PHY (S=8): ≤ -82 dBm	≤ -70 dBm

*11.ábra A Classic és Low Energy különbségei
(saját fordítás)*

<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>



The global standard for simple, secure device communication and positioning



12.ábra Képi ábrás különbségek

<https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>

Bluetooth protokoll rétegek

Rádió (RF) réteg: Ez a réteg részletezi a légköri interfész részleteit, ideértve a frekvenciát, a frekvenciaugrást és a leadott teljesítményt. A rádiós jeleket adatainak modulálásával/demodulálásával hozza létre. Meghatározza a Bluetooth adó-vevők fizikai jellemzőit, és két típusú fizikai kapcsolatot definiál: kapcsolat nélküli és kapcsolatorientált.

Baseband Link réteg: A baseband a Bluetooth rendszer digitális motorja, és az LAN-ok MAC alrétegének felel meg. Ez a réteg végzi a piconet-en belüli kapcsolat kialakítását, címezést, csomagformátumot, időzítést és teljesítményvezérlést.

Link Manager protokoll réteg: Ez a réteg kezeli a már létrehozott kapcsolatokat, ideértve az azonosítást és az adatok titkosítását. Felelős a kapcsolatok létrehozásáért, monitorozásáért, és kezelésük leállításáért.

Logical Link Control and Adaption (L2CAP) Protokoll réteg: Ez a Bluetooth protokoll "lelke". Lehetővé teszi a kommunikációt a Bluetooth protokoll veremsor felső és alsó rétegei között. A felső rétegektől kapott adatcsomagokat a vártak megfelelő formában továbbítja az alsó rétegeknek. Továbbá szegmentálást és multiplexálást végez.

Service Discovery Protocol (SDP) réteg: Ez a réteg lehetővé teszi más Bluetooth-képes eszközökön elérhető szolgáltatások felfedezését.

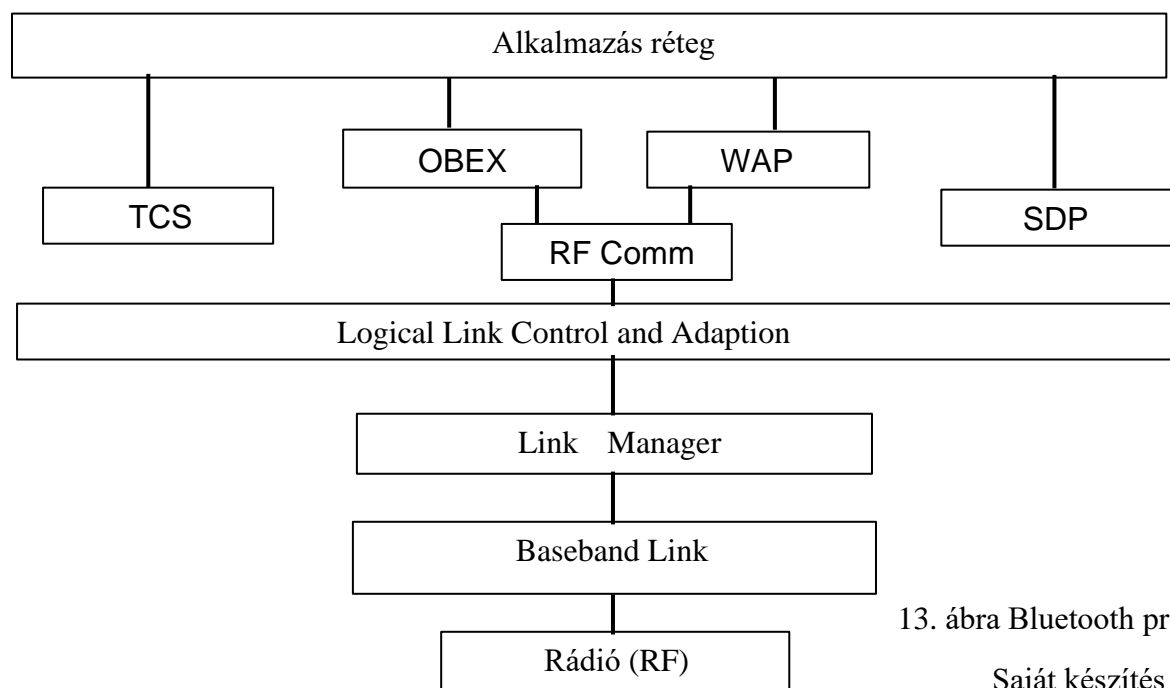
RF Comm réteg: Ez egy kábel helyettesítő protokoll. Egy soros felületet biztosít a WAP és az OBEX között. Emulálja a soros portokat a logikai linkvezérlés és az alakítási protokoll (L2CAP) felett. A protokoll az ETSI standard TS 07.10-re épül.

OBEX: Ez egy kommunikációs protokoll, amely lehetővé teszi az objektumok cseréjét két eszköz között.

Wireless Access Protocol (WAP): Ez a rövidítése. Az internet-hozzáféréshez használatos.

Telephony Control Protocol (TCS): Ez a rövidítése. Telefon-szolgáltatást biztosít. A réteg alapvető funkciója a hívásvezérlés (felállítás és felszabadítás) és a több eszközt kiszolgáló átjárócsoport kezelése.

Alkalmazás réteg: Ez az a réteg, amely lehetővé teszi a felhasználónak az alkalmazással való interakciót. [6]



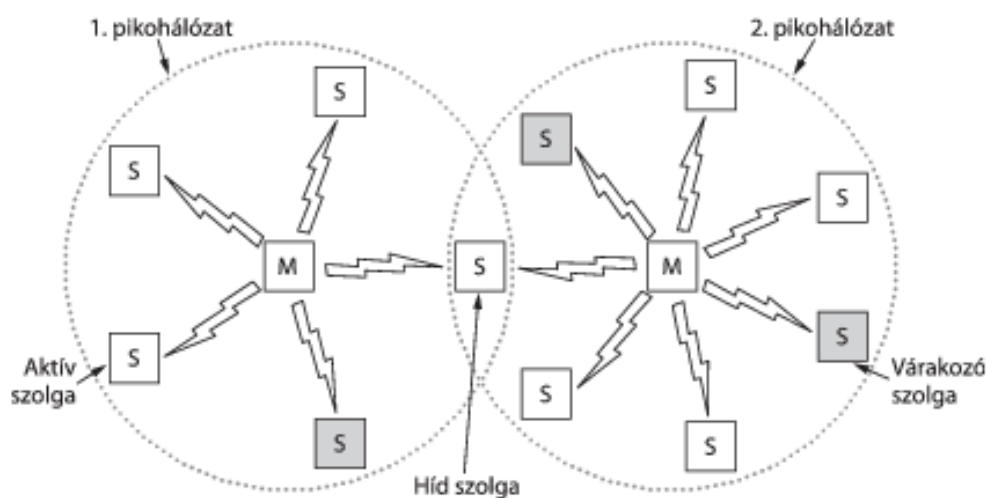
13. ábra Bluetooth protokoll
Saját készítés

Bluetooth architektúrája

A Bluetooth rendszer alapegysége a pikohálózat (piconet), mely egy mester (master) csomópontból és legfeljebb hét darab, 10 méteres távolságon belül levő aktív szolga (slave) csomópontból áll. Ezek a pikohálózatok többnyire egy nagyobb helyiségben, például egy szobában vagy irodában, működnek együtt. Ebben a környezetben több pikohálózat is létezhet egyszerre, és egy híd csomópont segítségével ezek az egyes hálózatok össze is kapcsolhatók. Ezt a kapcsolatot szórt hálózatnak (scatternet) nevezzük.

Egy pikohálózatban legfeljebb hét aktív szolga csomópont mellett akár 255 várakozó (parked) csomópont is lehet. Ezek az eszközök olyan alacsony teljesítményű állapotban vannak, hogy csökkentsék az akkumulátoruk fogyasztását. Várakozó állapotukban ezek az eszközök csak a mester aktivációs vagy jelzőfény jelzésére reagálnak, és egyéb tevékenységet nem végeznek. Bár léteznek köztes teljesítményállapotok, mint a tartás (hold) és a szimatolás (sniff), ezekkel most nem foglalkozunk.

A mester és a szolga felépítését az indokolja, hogy a Bluetooth rendszer tervezői a rendszer olcsóságát szem előtt tartva olyan megoldást kerestek, amely lehetővé teszi egy komplett Bluetooth-lapka (chip) kivitelezését 5 dollár alatt. Ennek következtében a szolgák viszonylag egyszerűek és gyakorlatilag mindig csak a mestertől kapott utasításokat követik. A pikohálózat egyfajta központosított időosztású multiplex (TDM) rendszert alkot, ahol a mester irányítja az időt és eldönti, hogy melyik eszköz kommunikálhat egy adott időablakban. A kommunikáció mindig csak a mester és egy szolga között történik; a szolgák közvetlenül nem kommunikálnak egymással.[12]



14.ábra Bluetooth architektúra

<https://gyires.inf.unideb.hu/GyBITT/30/ch04s06.html>

Bluetooth és az IoT

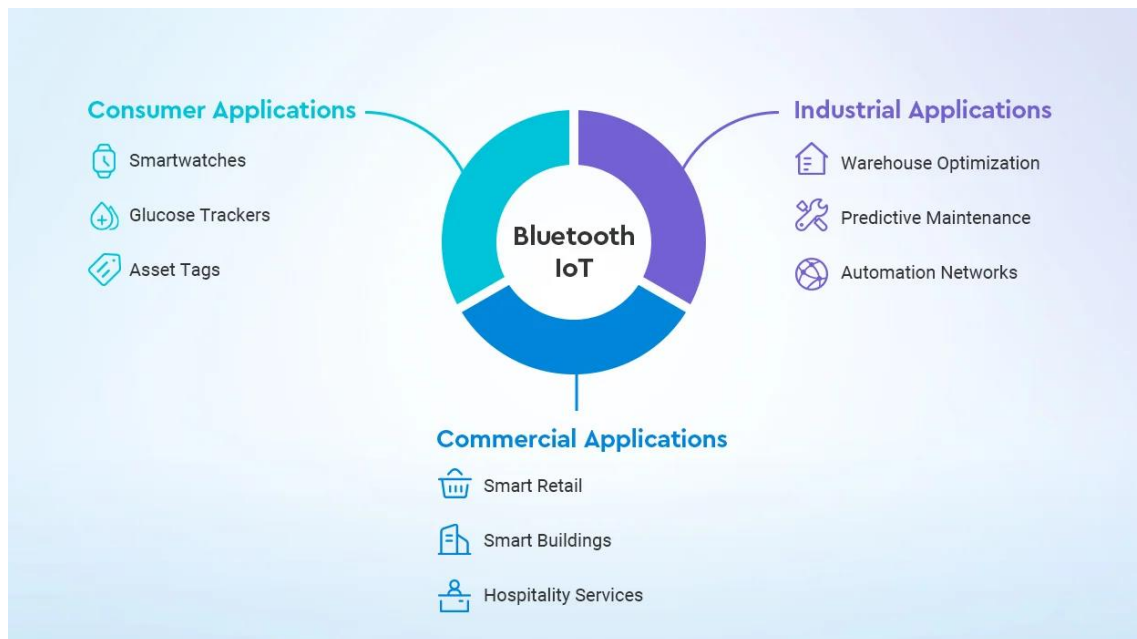
MI is az az IOT

Az Internet of Things (IoT) valóban lenyűgöző koncepció, ami hasonló a sakkhöz, ahol minden bábú egy érzékelőt jelképez, adatokat gyűjtve a környezetéből. Ahogyan a sakkban, ahol minden bábú helyzetfelismerést biztosít, ezek az érzékelők egyénileg betekintést nyújtanak az azonnali környezetükbe. Az IoT igazi ereje azonban akkor jelentkezik, amikor ezeket az elemeket összekapcsolják, tükrözve a képzett sakkjátékos koordinált lépéseit. Ez a kapcsolódás lehetővé teszi számukra az észleléseik megosztását, létrehozva ezzel a teljes tábla átfogó képét.

Ebben az analógiában az IoT technológiák a játékos kezeiként szolgálnak, irányítva az érzékelők mozgását és interakcióját. Az érzékelők összekapcsolása révén az IoT átalakítja az átlagos tárgyakat intelligens rendszerekké, amelyek képesek kollektív cselekvésre és döntéshozatalra. Ez az analógia a valóságban a világszerte telepített, milliárdokban mérhető IoT eszközökben nyilvánul meg. Ezek az eszközök, a háztartási gépektől az ipari gépekig, a raktári logisztikai rendszerektől az okos mezőgazdasági megoldásokig, kapcsolt érzékelőkkel vannak felszerelve. Ezek az érzékelők folyamatosan figyelik, elemzik és kezelik a különböző tevékenységeket, értékes betekintést nyújtva és hatékony működést biztosítva.

A Bluetooth szerepe

A Bluetooth IoT kifejezetten arra vonatkozik, hogy ezeket az IoT eszközöket Bluetooth vezeték nélküli protokollok segítségével kapcsoljuk és hálózunk össze. Apró, energiatakarékos Bluetooth eszközök közvetlenül beépülnek a csatlakoztatott konstrukciókba, mint például a jelzőtáblák, érzékelők és nyomkövetők, lehetővé téve számukra a vezeték nélküli hálózati kapcsolatot titkosított peer-to-peer linkeken keresztül. Ezek a kütyük automatikusan felfedezik és adatot cserélnek közeli a IoT Bluetooth eszközökkel, valamint kapcsolatot teremtenek tágabb hálózatokkal Bluetooth IoT átjárók és Bluetooth hálózatok segítségével. Ez a rugalmas, vezeték nélküli kapcsolatkeret lehetővé teszi a gépek, készülékek, eszközök és terek tömeges összekapcsolását okos IoT rendszerekbe. [11]



15.ábra Bluetooth használata IoT-ben

(balról jobbra fordítva: fogyasztói alkalmazások, kereskedelmi alkalmazások, ipari alkalmazások)

<https://www.mokosmart.com/what-is-bluetooth-iot-and-why-choose-it/>

Bluetoothos IoT megoldások

Fogyasztói alkalmazások

Okosórák – Egészségmérők, mint például a pulzus vagy alvási mintázatok figyelése. Néhány most már akár 6 hónapot is kibír egy töltéssel.

Cukormérők – Fájdalommentesen nyomon követik a vércukorszintet a cukorbetegéknél. Értesítik a viselőt a veszélyesen magas/alacsony értékekről.

Eszköz címkék – Apró Bluetooth címkék, amelyek segítségével a kulcsokat vagy más elveszett tárgyakat okostelefonos alkalmazáson keresztül lehet megtalálni.

Kereskedelmi alkalmazások

Okos Kereskedelem – Bluetooth Low Energy jelekkel pontos beltéri helymeghatározás, hogy a vásárlóknak helyhez kapcsolódó promóciókat küldjenek.

Okos Épületek – Az általános létesítmény kihasználtsága alapján az érzékelők optimalizálják a világítást és a fűtés-hűtést a hatékonyság érdekében.

Szolgáltatások a Vendéglátásban – A vendégek okostelefonjaikkal nyitják ki a szállodai szobákat be- és kijelentkezés érdekében.

Ipari alkalmazások

Raktár Optimalizáció – Az önállóan navigáló BLE raklapok segítségével akár +/- 97%-os pontossággal lehetővé teszik az árukészlet-pontosságot.

Előrejelző Karbantartás – A gépeken található rezgésérzékelők korai hibajelzéseket észlelnek és lehetővé teszik a proaktív karbantartást.

Automatizálási Hálózatok – A robotok, AGV-k és berendezések intelligensen együttműködnek, a pozicionálási pontosság akár 1 méter alatti.

A klasszikus "párosítás és lejátszás" funkciókat messze meghaladva a Bluetooth ma csodákat tesz lehetővé, amelyet korábban csak sokkal drágább vagy energiaigényesebb kommunikációs platformokkal társítottak. Mégis az alapvető technológia megőrzi az egyszerűségét és költséghatékonyságát, könnyítve az integrációt szinte bármely térbe, készülékbe vagy tevékenységbe az emberek mindennapi életében.

A Bluetooth technológia készen áll arra, hogy lehetővé tegye a következő generációs vezeték nélküli kapcsolatokat. A jövőbeli Bluetooth verziók nagyobb sebességet és kibővített közelségérzékelési funkciókat hoznak majd. Mindenesetre a Bluetooth által működtetett IoT (Internet of Things) ökoszisztémák ígéretesek, hogy az új technológiai forradalmat hajtsák előre. [11]

Bluetooth „hátrányok”

A Bluetooth technológia lehetővé teszi eszközeinknek, például telefonjainknak vagy számítógépeinknek, hogy automatikusan kapcsolódjanak egymáshoz és adatokat cseréljenek. Bár ez kényelmes, az adatvédelem szempontjából kockázatokat is rejthet magában, mivel mások hozzáférhetnek személyes információinkhoz anélkül, hogy mi ezt engedélyeztük volna.

Néhány egyszerű, de hatékony biztonsági tanács:

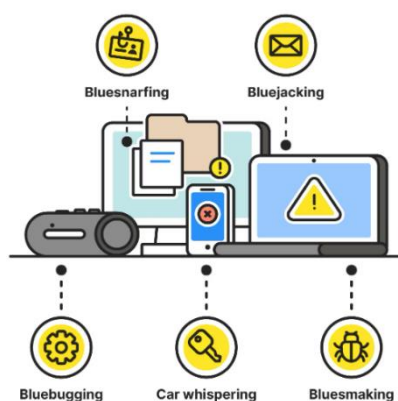
- Csak akkor kapcsoljuk be a Bluetooth-t az eszközünkön (például telefonon), amikor valóban használni szeretnénk, és használat után mindig kapcsoljuk ki.
- Használjunk hosszú és bonyolult PIN kódot az eszközök párosításához. Az "1234" vagy más könnyen kitalálható kódok nem biztonságosak.
- Miután sikeresen párosítottunk egy eszközt, állítsuk azt "rejtett" módba, hogy ne legyen látható más eszközök számára.
- Mindig utasítsuk vissza az ismeretlen kapcsolódási kísérleteket.
- Engedélyezzük a titkosítást az adatok védelme érdekében.
- Időnként ellenőrizzük, hogy nincs-e olyan eszköz a párosított listán, amelyet mi nem ismerünk fel.
- Frissítsük rendszeresen az eszközünk firmware-ét a legújabb verzióra a gyártó honlapjáról.

Ezek a lépések segíthetnek megvédeni az eszközeinket és adatainkat az illetéktelen hozzáféréstől és a biztonsági fenyegetésektől.

Biztonsági fenyegetések

1. **Bluebugging:** A bluebugging egy olyan technika, amely lehetővé teszi a támadóknak, hogy a tulajdonos tudta nélkül átvegyék az irányítást a Bluetooth-eszköz felett. Ez lehetővé teszi a hívások lehallgatását, üzenetek küldését és fogadását, valamint más eszközfunkciók távoli elérését.

2. **Bluejacking:** A bluejacking egy olyan tevékenység, amely során a támadók olyan üzeneteket vagy fájlokat küldenek Bluetooth-képes eszközöknek a közelben, amelyek nem kérték azokat. Bár a bluejacking inkább zavaró, mint komoly fenyegetés, rávilágított a Bluetooth-eszközök engedély nélküli hozzáféréseinek és kommunikációjának lehetőségére.
3. **BlueSnarfing:** Ez a sérülékenység lehetővé tette a támadóknak, hogy hozzáférjenek a Bluetooth-képes eszközökön tárolt adatokhoz, például a névjegyekhez, naptárinformációkhoz és üzenetekhez, anélkül, hogy a tulajdonosok tudnának róla.
4. **Bluesmacking:** A bluesmacking egy olyan szolgáltatásmegtagadással járó támadás (DoS) támadás, amelynek célja az eszközöd túlterhelése és kikényszerítése, hogy leálljon. A kiberbűnözők túlméretezett adatcsomagokat küldenek az eszközödre. A hackerek a bluesmackinget gyakran egy kapunak használják komolyabb támadásokhoz, miután az eszközöd le lett állítva. Sok esetben az eszközöd újraindításával visszatérhet a normál működés.
5. **Car whispering:** Az autó "whispering" egy Bluetooth biztonsági sebezhetőség, amely a Bluetooth képességekkel rendelkező járműveket veszélyezteti. A hackerek ezt a támadást arra használják, hogy meghallgassák az autó belsejében zajló beszélgetéseket és telefonhívásokat. Más esetekben a hackerek használhatják a kapcsolatot ahhoz, hogy hangot játszanak le az autóba, gyakran rosszindulatú szándékkal



16.ábra Hackelhető eszközök

<https://us.norton.com/blog/mobile/bluetooth-security>

Összegzés

A Bluetooth technológia az elektronikus eszközök közötti vezeték nélküli kommunikáció alapvető eszköze lett az elmúlt évtizedekben. Eredetileg a mobiltelefonok és fejhallgatók közötti hangátvitelre tervezték, ma már azonban szinte mindenféle eszközben megtalálható, kezdve az autóktól és számítógépektől, egészen a háztartási gépekig és az egészségügyi eszközökig. Folyamatos fejlődése lehetővé tette egyre nagyobb adatmennyiségek és magasabb sebességek vezeték nélküli átvitelét. Az újabb Bluetooth verziók gyorsabb adatátvitelt és nagyobb hatótávolságot biztosítanak, ami különösen fontos az okos otthonok és az IoT eszközök terén.

Bár a számos előnyt kínál, még mindig szembesül néhány kihívással. Az interferencia és a kompatibilitási problémák néha zavarokat okozhatnak a vezeték nélküli kommunikáció során. Emellett a biztonsági kockázatok, mint például a hackelés és a távoli adatlopás, továbbra is fontos kérdések maradnak, amelyekkel foglalkozni kell.

A Bluetooth technológia folyamatosan fejlődik és széles körben elterjedt. Az egyszerű használhatóság, a széles körű kompatibilitás és az egyre növekvő funkcionalitások miatt továbbra is fontos szerepet fog játszani az elektronikus eszközök közötti kommunikációban és az IoT fejlődésében.

Források

- [1]. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Bluetooth> (elérés 2024.05.09)
- [2]. <https://aioth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/> (elérés 2024.05.11)
- [3]. <https://www.tutorialspoint.com/bluetooth-architecture/> (elérés 2024.05.11)
- [4]. <https://www.howtogeek.com/bluetooth-in-space-is-officially-a-thing/> (elérés 2024.05.09)
- [5]. <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/bluetooth-core-specification-version-5-4-technical-overview/> (elérés 2024.05.09)
- [6]. <https://www.geeksforgeeks.org/bluetooth/> (elérés 2024.05.09)
- [7]. <https://www.howtogeek.com/343718/whats-different-in-bluetooth-5.0/> (elérés 2024.05.09)
- [8]. <https://latestbluetooth.com/version/> (elérés 2024.05.09)
- [9]. https://www.youtube.com/watch?v=eJKkEzeGuuo&ab_channel=NesoAcademy (elérés 2024.05.11)
- [10]. <https://www.creativebloq.com/news/bluetooth-logo-secret/> (elérés 2024.05.11)
- [11]. <https://www.mokosmart.com/what-is-bluetooth-iot-and-why-choose-it/> (elérés 2024.05.11)
- [12]. <https://gyires.inf.unideb.hu/GyBITT/30/ch04s06.html> (elérés 2024.05.12)
- [13]. <https://leet.hu/2021/04/26/manapsag-mar-mindenben-ott-van-mi-az-a-bluetooth-es-mi-lehet-az-utodja/> (elérés 2024.05.12)
- [14]. <https://www.bluetooth.com/about-us/> (elérés 2024.05.12)
- [15]. <https://ericssoners.wordpress.com/2014/09/02/bluetooth-headset-hbh-10-limited-edition-kit/> (elérés 2024.05.12)
- [16]. <https://www.cassianetworks.com/blog/bluetooth-security/> (elérés 2024.05.12)
- [17]. <https://us.norton.com/blog/mobile/bluetooth-security/> (elérés 2024.05.12)