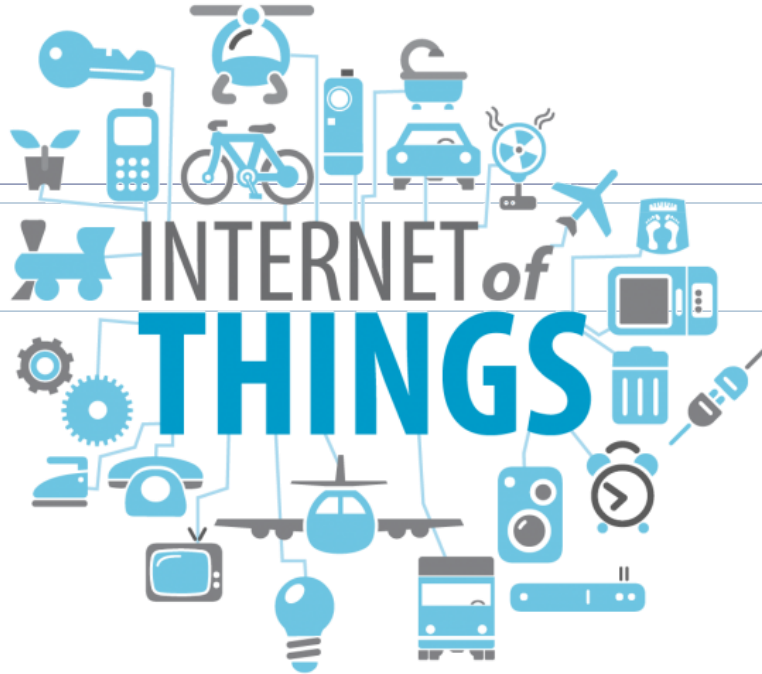
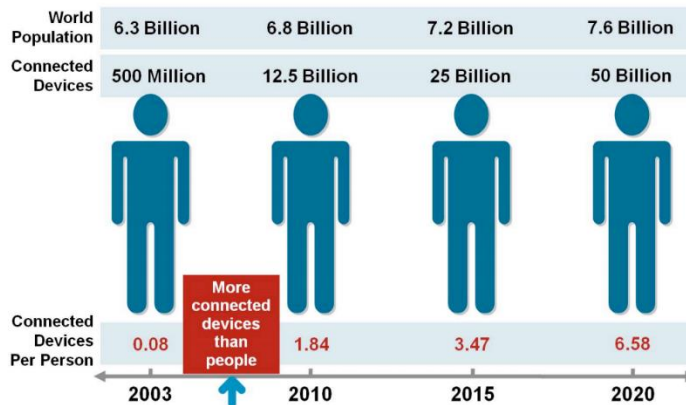


IoT



Internet of Things - IoT

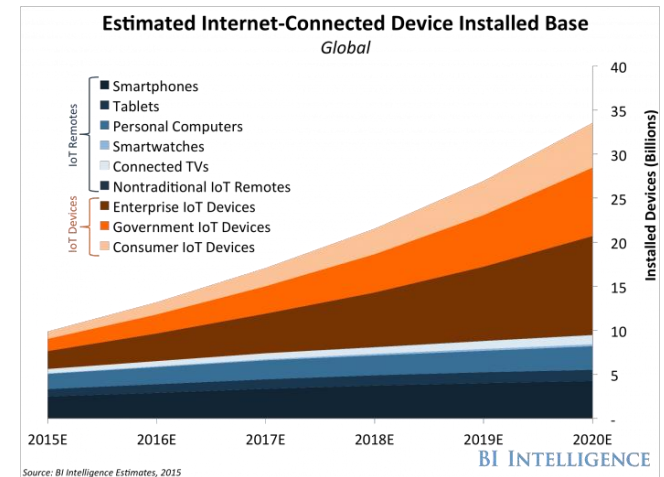
▶ 50 milliárd Internetes tárgy 2020-ig



Source: Cisco IBSG, April 2011

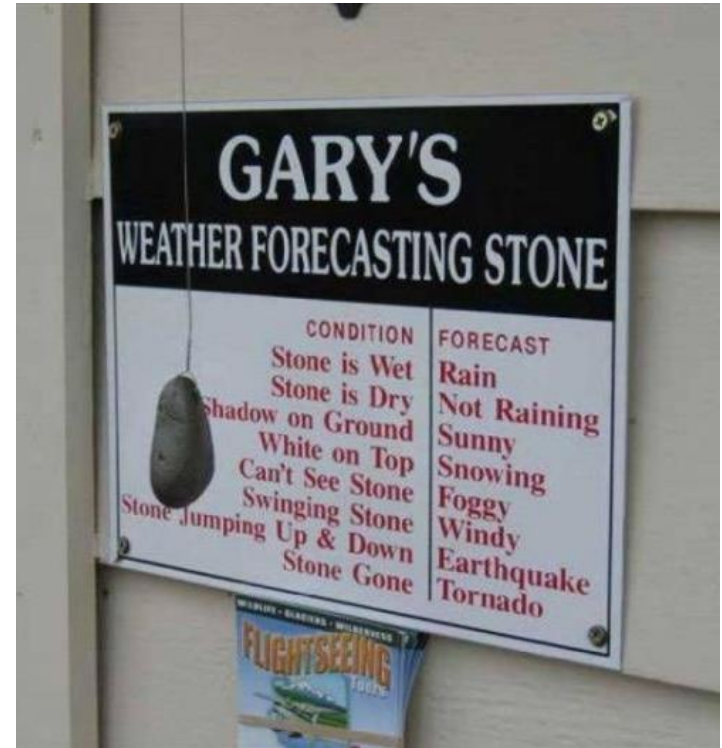
Mi is az IoT?

- ▶ A hagyományos Interneten is vannak tárgyak
 - ▶ A forgalmat a felhasználók generálják
 - ▶ Kommunikáció, dokumentum, fénykép, videó
- ▶ Korlátos emberi képességek
 - ▶ Nem megfelelő adatok követésére és rögzítésére



Okos dolgok vs. IoT

- ▶ Mitől okos?
 - ▶ Szenzorok
 - ▶ Kommunikáció



Az első IoT eszköz


- ▶ 1982: Coca-Cola automata Carnegie Mellon University
 - ▶ 4 diák az Internetre kötötte, lekérdezhető állapot



IoT

- ▶ 1999: Kevin Ashton
- ▶ Adatgyűjtés ember nélkül
 - ▶ Intelligens, azonosított szenzorok
 - ▶ Monitorozás
 - ▶ Kommunikáció
- ▶ Nem az adat az érték, hanem a feldolgozás

KEVIN ASHTON – “FATHER OF THE IOT”



“So you get stuff like the smart wine bottle, the smart bikini, and the smart water bottle. This stuff is not the Internet of Things – this stuff is all rubbish.”

He believed IoT could “turn the world into data” that could be used to make macro decisions on resource utilization.

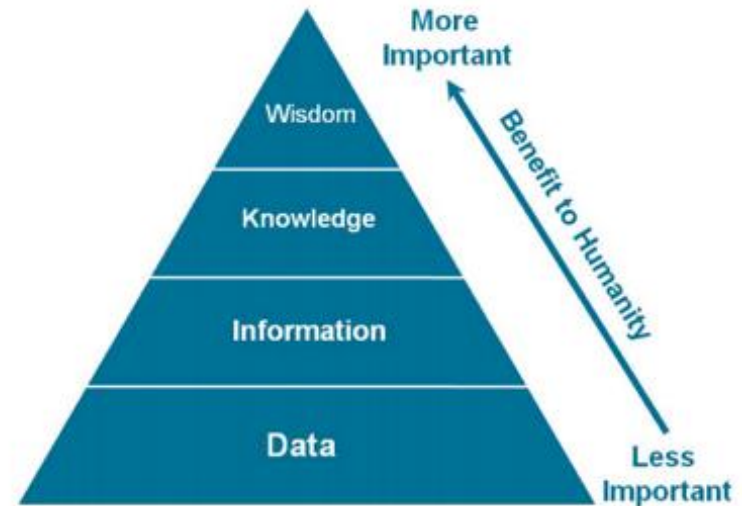
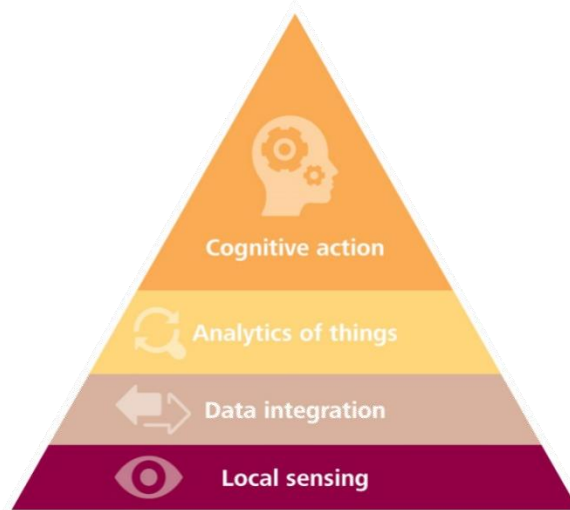
“Information is a great way to reduce waste and increase efficiency, and that’s really what the Internet of Things provides”

Kevin Ashton coined “Internet of Things” during his job at MIT Auto-ID Center

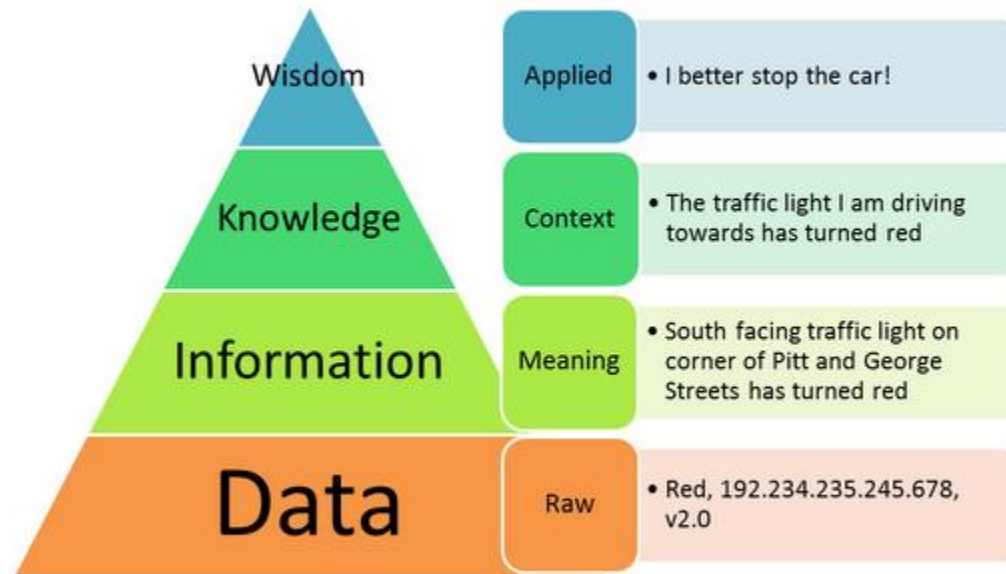
[Source: The Reimagination Thought Leaders Summit, Sydney, 17 November 2015]

IoT piramisok

- ▶ Adatból információ
- ▶ Információból tudás



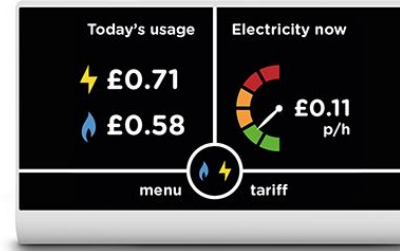
Példa: adat -> tudás



© 2011 Angus McDonald

IoT alkalmazás példák

- ▶ Smart City – Smart metering
- ▶ Smart Home, Smart Office
- ▶ Mezőgazdaság
 - ▶ Precision Farming
- ▶ Áruszállítás, árukövetés
- ▶ Egészségügy
- ▶ Közlekedés



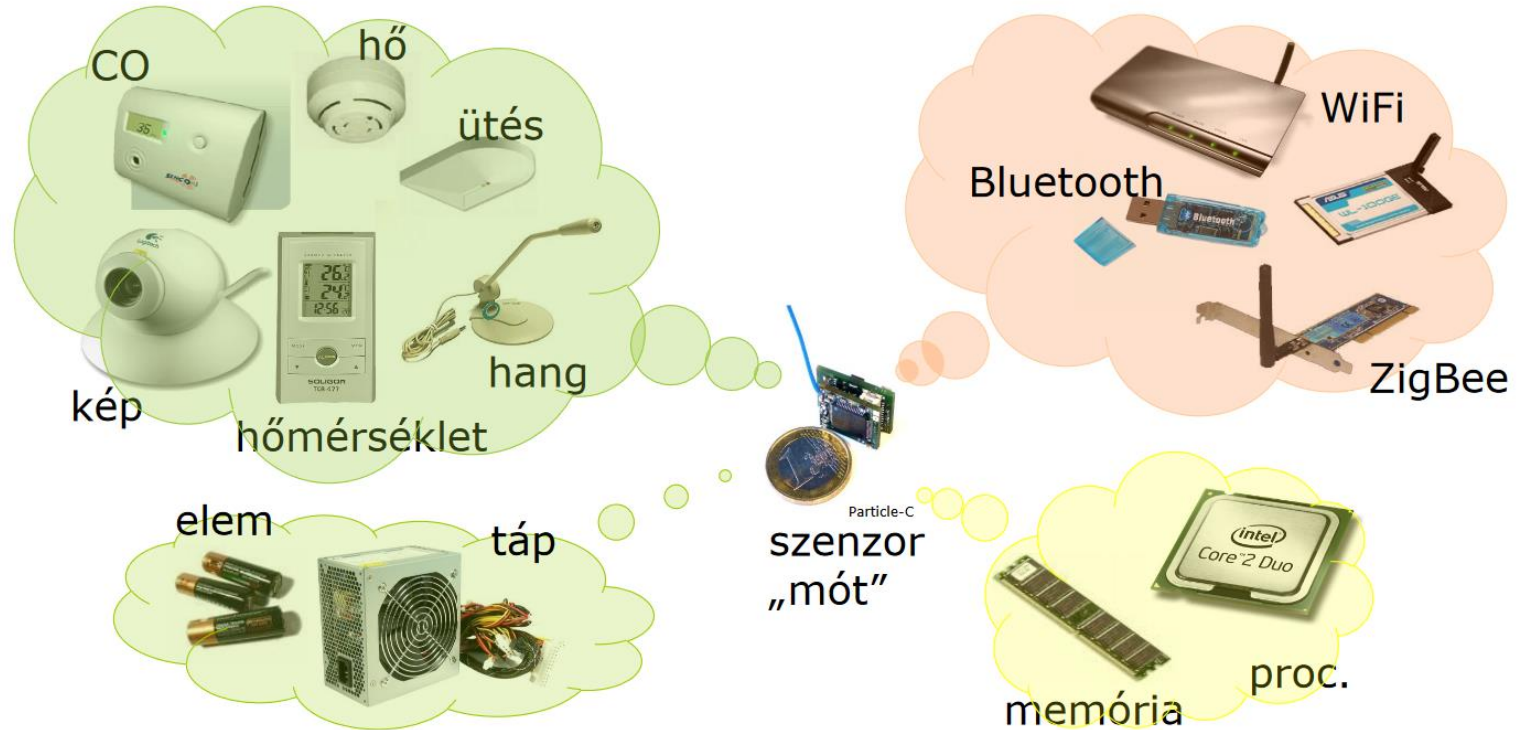
IoT megvalósíthatóság

Megvalósíthatóság

- ▶ Sok adat
 - ▶ Sok eszköz -> olcsó eszközök, kis méret, kis energiafogyasztás
- ▶ Kihívások
 - ▶ Kis érzékelők
 - ▶ Energiafogyasztás
 - ▶ Kommunikáció
 - ▶ Vezeték nélküli



IoT szenzor



IoT kommunikáció

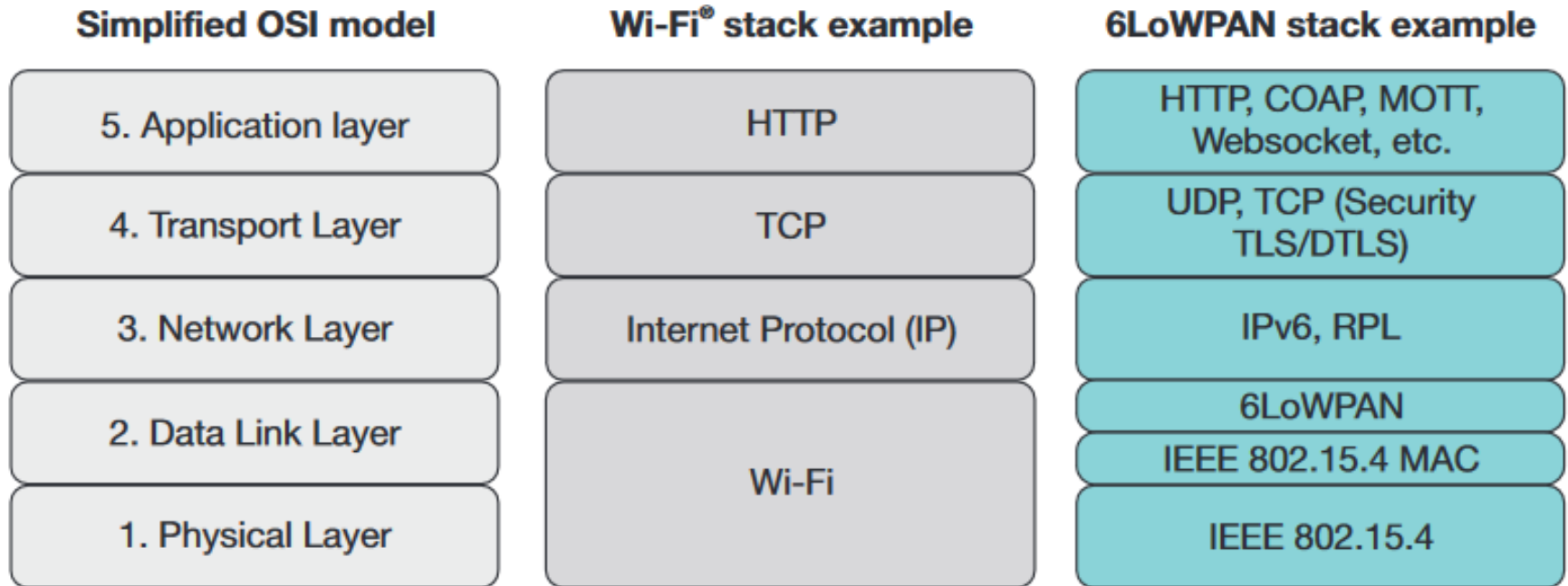
Vezetéknélküli szabványok

Market Name Standard	GPRS/GSM 1xRTT/CDMA	Wi-Fi™ 802.11b	Bluetooth™ 802.15.1	ZigBee™ 802.15.4
Application Focus	Wide Area Voice & Data	Web, Email, Video	Cable Replacement	Monitoring & Control
System Resources	16MB+	1MB+	250KB+	4KB - 32KB
Battery Life (days)	1-7	.5 - 5	1 - 7	100 - 1,000+
Network Size	1	32	7	255 / 65,000
Bandwidth (KB/s)	64 - 128+	11,000+	720	20 - 250
Transmission Range (meters)	1,000+	1 - 100	1 - 10+	1 - 100+
Success Metrics	Reach, Quality	Speed, Flexibility	Cost, Convenience	Reliability, Power, Cost

6LoWPAN

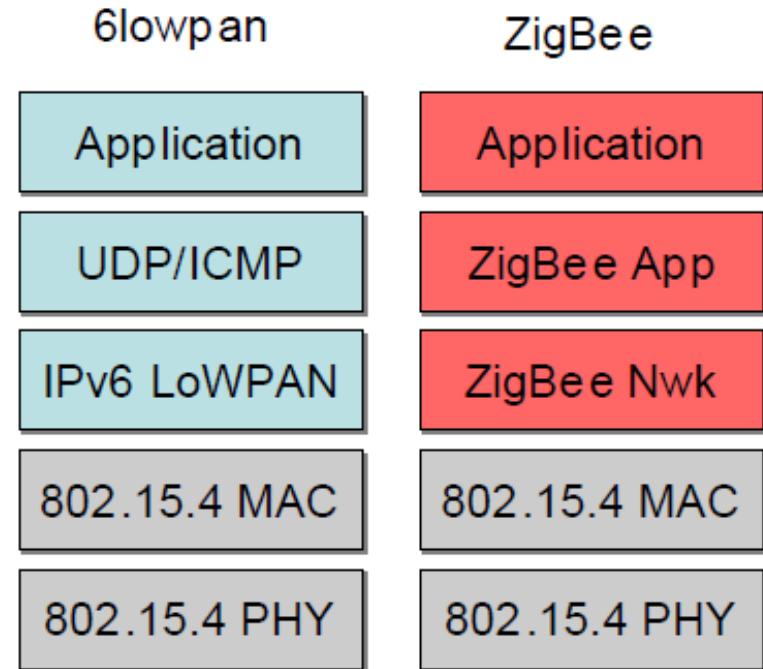
- ▶ IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks
- ▶ IETF (Internet Engineering Task Force) WG ajánlás
- ▶ Ötlet: „*IP mindenhol és mindenén*”
- ▶ IPv6 csomagok IEEE 802.15.4 felett
 - ▶ csomag beágyazás (encapsulation)
 - ▶ header compression (pl.: 2 byte azonos 6LoWPAN hálózaton belül, 12 byte ismert prefix-ű külső 6LoWPAN hálózatba, 20 byte egyébként)

6LoWPAN



ZigBee vs 6LoWPAN

- ▶ Versenyzők, hiszen mindkettő 802.15.4 feletti megoldás
- ▶ (Megj: 6LoWPAN más PHY felett is!)

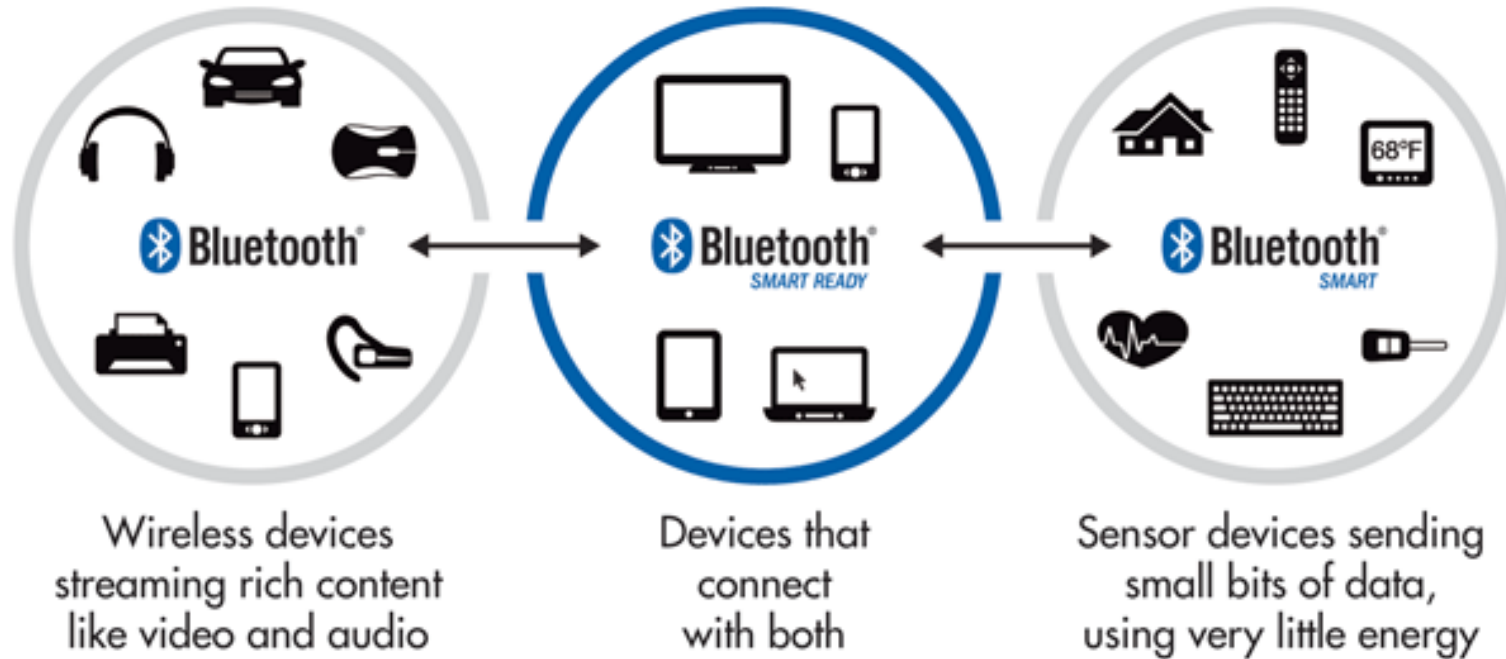


Bluetooth Low Energy (BLE)

- ▶ 1998-ban jelent meg, a standard Bluetooth alacsony energiafogyasztású változata
- ▶ A Bluetooth v4.0 része (v4.0 = legacy v3.0 + BLE)
- ▶ Marketing neve: „Bluetooth Smart”
- ▶ Standard BT:
 - ▶ 1600 ugrás/sec, 79 x 1MHz csatorna
 - ▶ 1, 2, 3 Mbps
- ▶ BLE:
 - ▶ 40 x 2MHz (megbízhatóbb nagyobb távolságra)
 - ▶ max 1 Mbps (bruttó = 260 kbps nettó)
 - ▶ 1 mW kimeneti teljesítmény, kb. 50 méter, kb 6 msec késleltetés



BLE

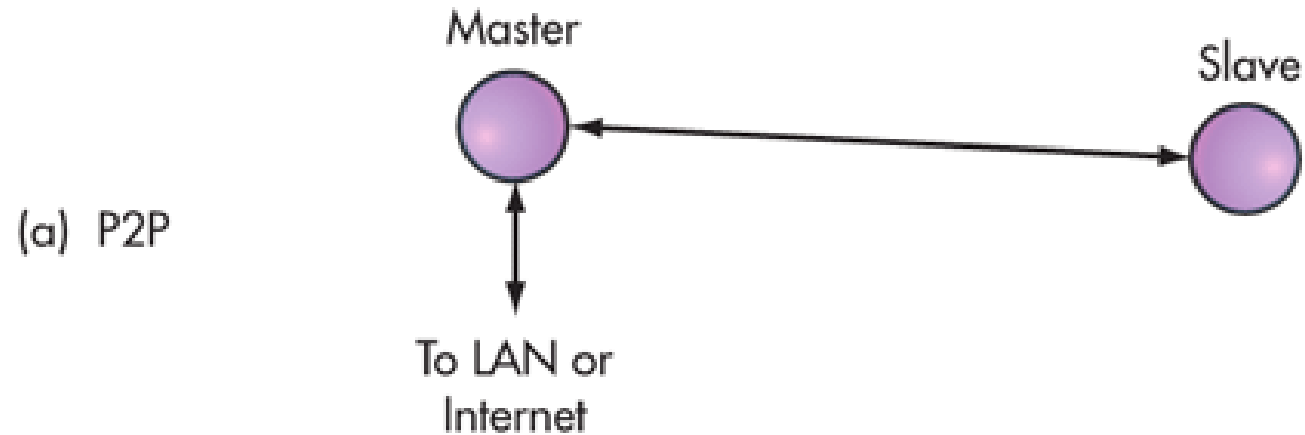


ANT+

- ▶ „ANT” = vezeték nélküli adatátviteli protokoll
- ▶ „ANT+” = az ANT egy „implementálása”
- ▶ ANT+ Alliance (Dynastream Innovations Inc. – Garmin)
- ▶ „ecosystem” kifejezetten **sport és fitness alkalmazások** számára
 - ▶ pl. lépésszámláló, pulzusmérő, ...
- ▶ **Jellemzők**
 - ▶ Fizikai-, hálózati- és transzport-réteg megoldás
 - ▶ Bluetooth-nál alacsonyabb energiaigény – „Ultra Low Power”
 - ▶ 2.4 GHz ISM sáv (2400 MHz – 2524 MHz)
 - ▶ TDMA
 - ▶ Topológiák: p2p / csillag / fa / mesh

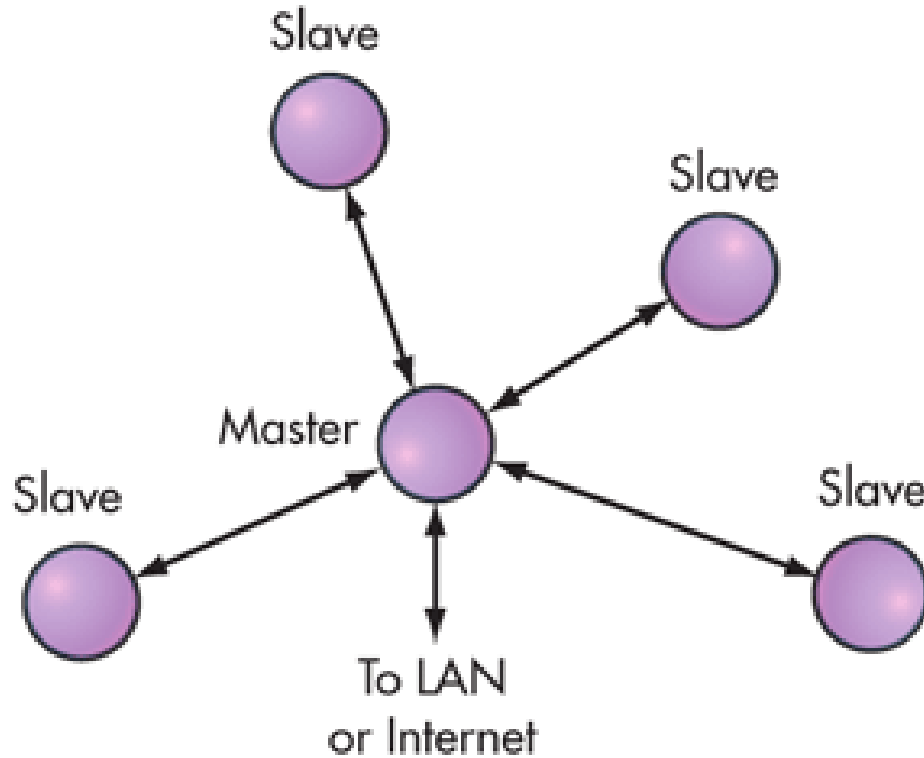


ANT+ p2p topológia

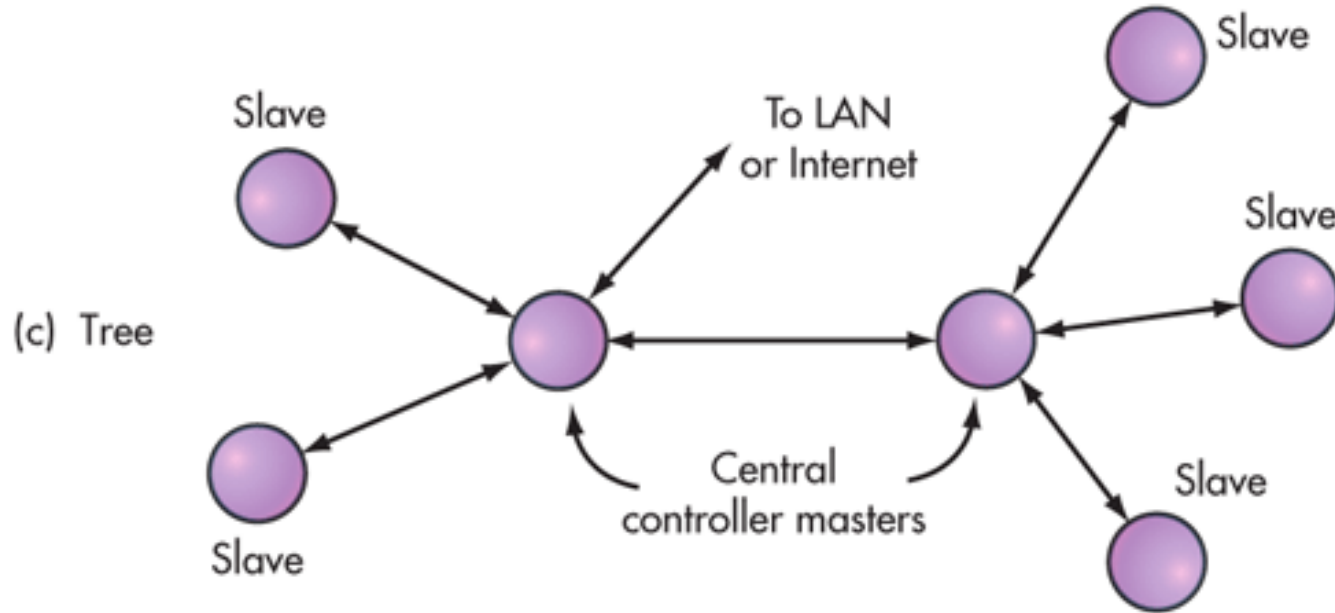


ANT+ csillag topológia

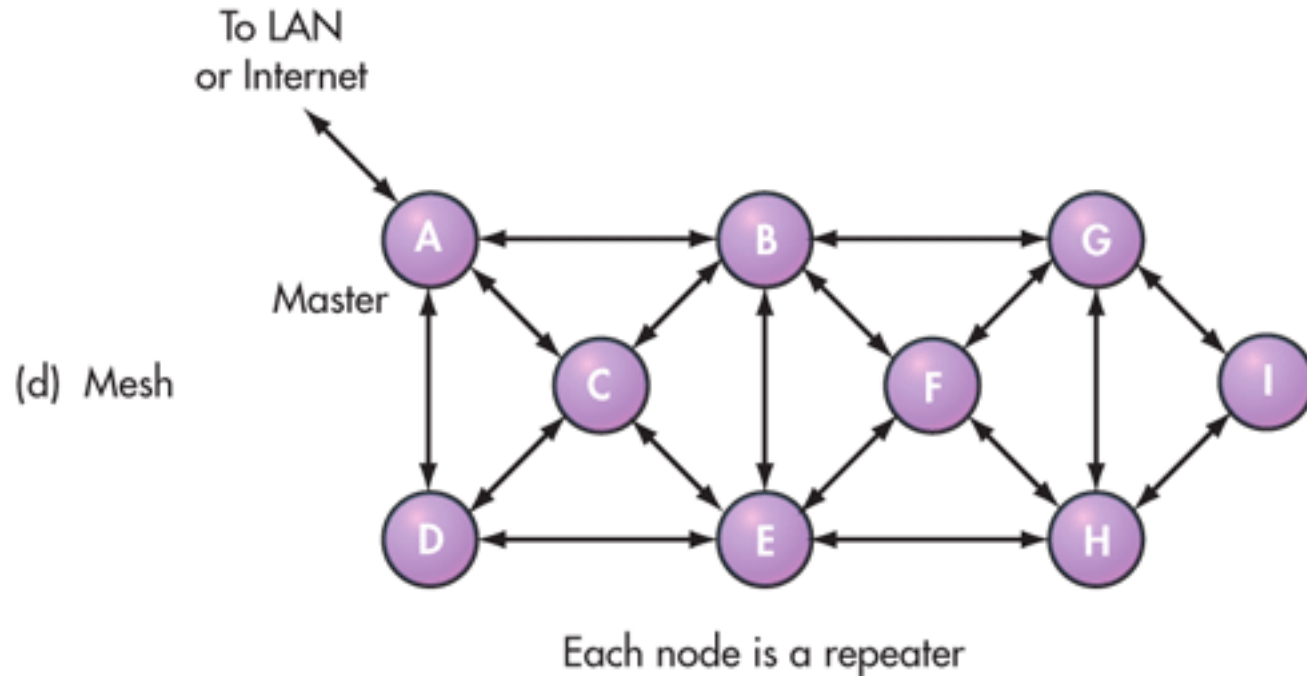
(b) Star



ANT+ fa topológia



ANT+ szövvényes (mesh) topológia



BLE vs ANT+

COMMON ANT AND BLUETOOTH LOW ENERGY FEATURES		
Technology	ANT	Bluetooth Low Energy
Frequency	2.4 to 2.483 GHz	2.4 to 2.483 GHz
Topologies supported	P2P, star, tree, mesh	P2P, star
Modulation	GFSK	GFSK
Channel width	1 MHz	2 MHz
Protocol	Simplest	More complex
Data rate	1 Mbit/s	1 Mbit/s
Range	50 meters	50 meters
Security	64-bit key	128-bit AES

Alacsony fogyasztású, nagy hatótávolságú kommunikációs

SigFox és a LoRa protokollok. A LoRaWAN és a NB-IoT
(Narrow-Band IoT) és LTE-M

IoT Long Range – nagy hatótávolság

Link budget

- ▶ Fontos a nagy távolság
 - ▶ A GW-ek száma csökkenthető (elhagyható)
 - ▶ Nagy lefedettségű hálózat épülhet
 - ▶ Alkalmas lehet a városi környezetre

▶ SigFox:

- ▶ -126 dBm @ 100 bps
- ▶ 60mW / 30mW

Ultra
Narrow
Band
(100Hz)

▶ LoRa:

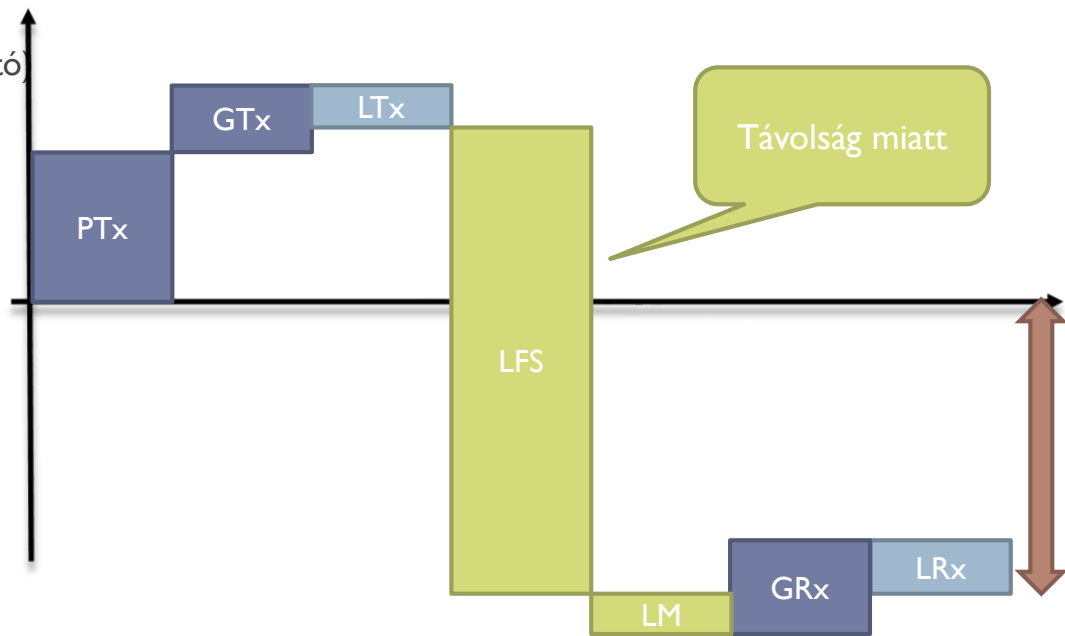
- ▶ -148 dBm @ 18 bps
- ▶ 60mW / 30mW

Extrém
Link
Budget

▶ RPMA (Ingeneu):

- ▶ 2.4 GHz ISM
- ▶ -142 dBm
- ▶ 156 / 624 Kbps

„Nagy”
sebesség



50km @ 868MHz ~ 125.2dB, 5km @ 868 MHz ~ 105.2dB

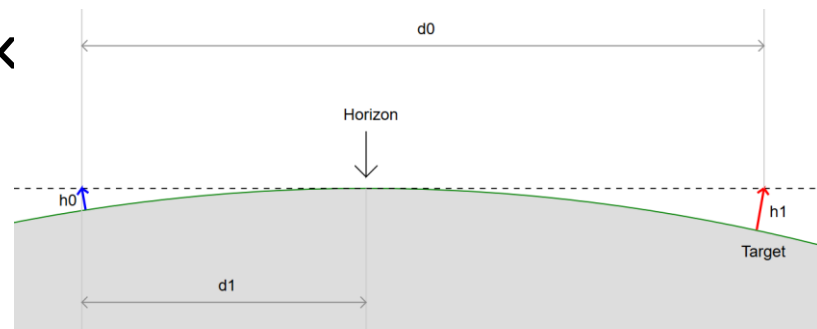
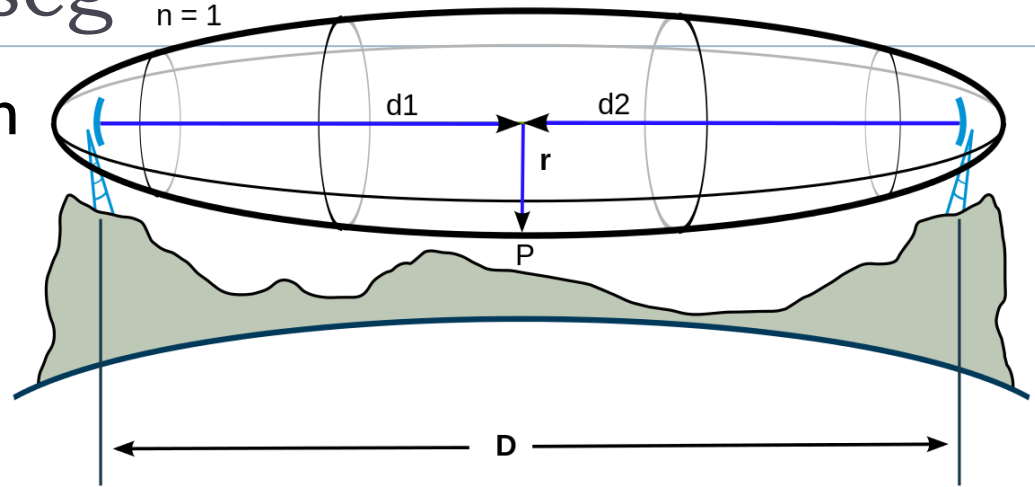
Terjedési veszteség

- ▶ Távolság függvényében

- ▶ Közvetlen rálátás
- ▶ Fresnel zóna

- ▶ Városi veszteségek

- ▶ Épületen belüli veszteségek



„We power the IoT with the simplest communication solutions.”

We have a dream – Imagine a world where things can communicate with us”

(Sigfox)

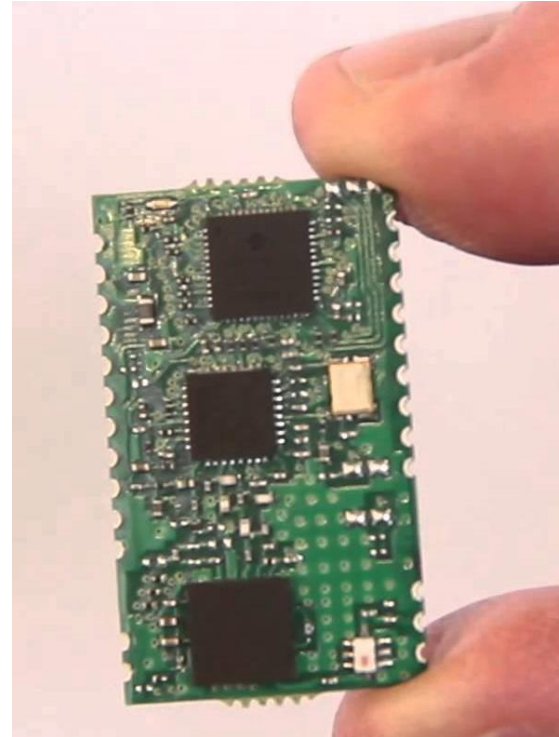
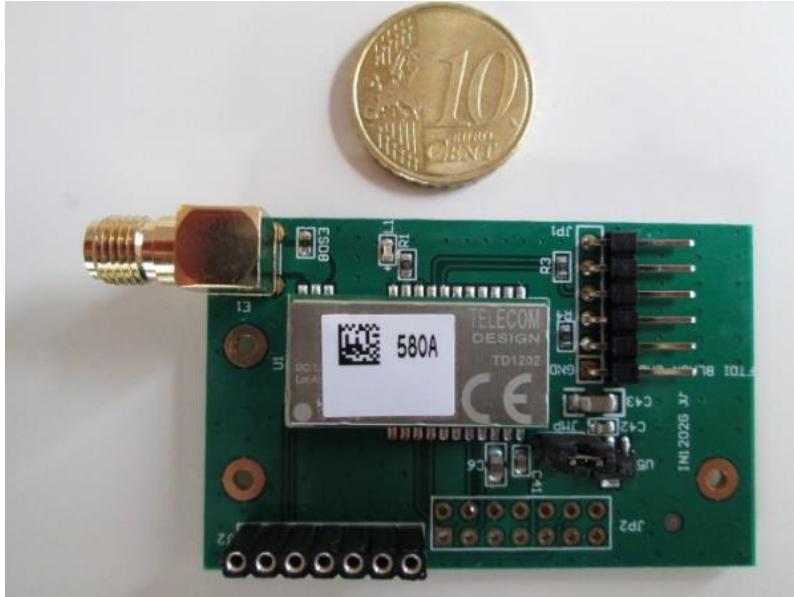
SIGFOX

- ▶ Francia vállalkozás, 2009-ben alapították. „proprietary solution”
- ▶ LPWAN (= low-power WAN) megoldás, alacsony adatátviteli sebességgel
- ▶ ISM sáv (868 MHz Európában)
- ▶ ultra keskenysávú (Ultra Narrow Band) LPWAN
- ▶ Csillag hálózati topológia, cellás (mobil) operátor hálózatával kiegészítve
- ▶ SIGFOX szabvány: 140 uplink üzenet naponta, 12 bájtos tartalommal + 4 downlink üzenet naponta 8 bájtos tartalommal
- ▶ Tipikus alkalmazási terület: okos mérők, távvezérlők, ...
- ▶ 30-50 kilométeres cellaméretek (városban kisebb)
- ▶ LOS (line-of-sight) üzenetek akár(*) **100 kilométerre is!** (*inkább 40 km)

SIGFOX

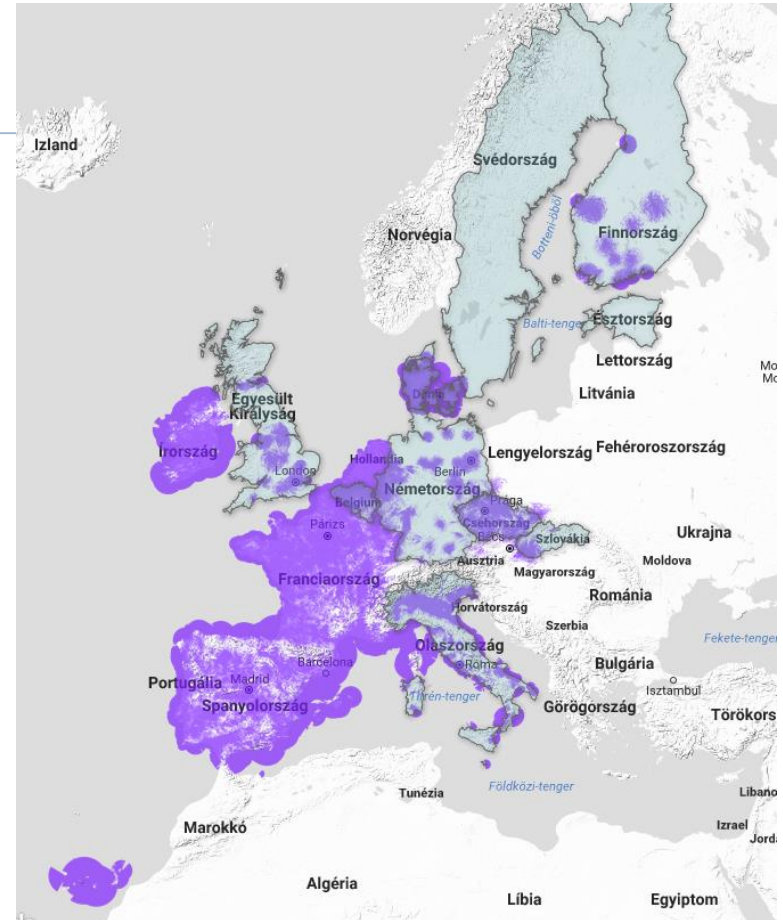
- ▶ 50 μ W egyirányú módban
- ▶ 20 éves élettartam 2500 mAh elemről
- ▶ < 1 EUR modem ár
- ▶ 3 bázisállomás egy 1 milliós nagyvárosban elég
- ▶ Több mint 10 millió regisztrált eszköz 2017 elején
 - ▶ főleg Nyugat-Európában, de USA-ban és Szingapúrban is terjed rohamosan

SIGFOX modem



SIGFOX lefedettség

▶ <https://www.sigfox.com/en/coverage>



*„ENABLING THINGS TO HAVE A
GLOBAL VOICE”*

(LoRa Alliance)

LoRa

- ▶ Nyílt szabvány: „carrier-grade IoT LPWAN” megoldás elemről üzemeltetett eszközökhöz.
- ▶ LoRaWAN = LoRa protokoll
- ▶ Hálózati topológia: „csillagok csillaga”
 - ▶ átjáró (gateway) elemek: standard IP a szerver felé, direkt (1-hop) rádiós link a végberendezéshez

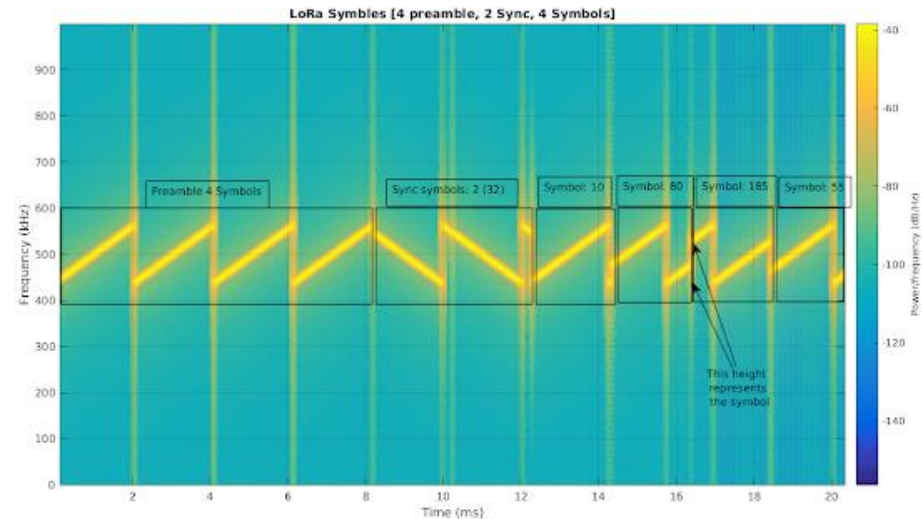
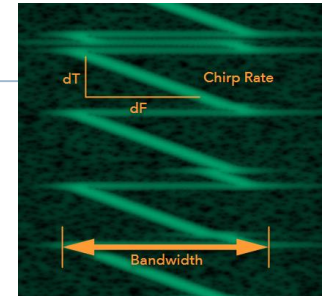
LoRa rádió

▶ Chirp Spread Spectrum

- ▶ BW - Bandwidth: 125 – 250 – 500 kHz
 - ▶ Minél szélesebb csatorna, annál több adat
- ▶ SF – Spreading Factor: 7-12
 - ▶ Hány chirp egy szimbólum: 2^{SF}
- ▶ CR – Coding Rate: 4/5 – 4/8
 - ▶ FEC hibajavítás
 - ▶ hány bitet/hány biten

▶ Európai (ETSI) szabályozások

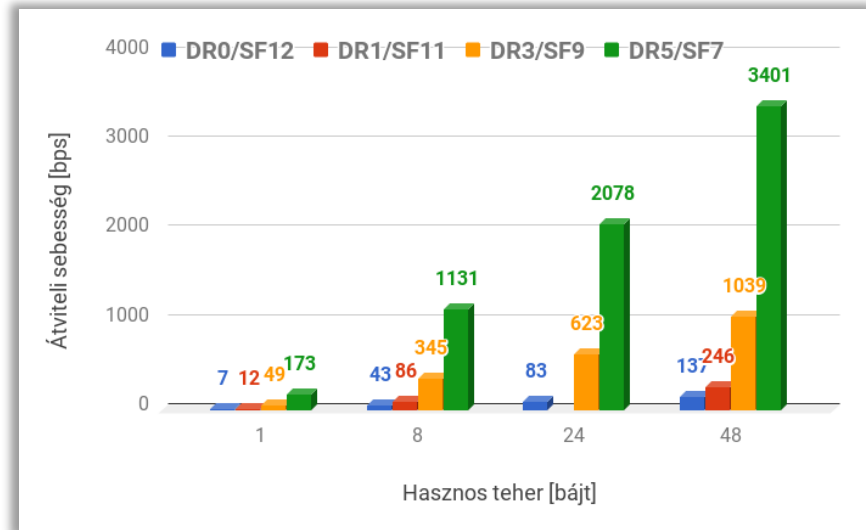
- ▶ 1 % adó



LoRa átviteli sebesség

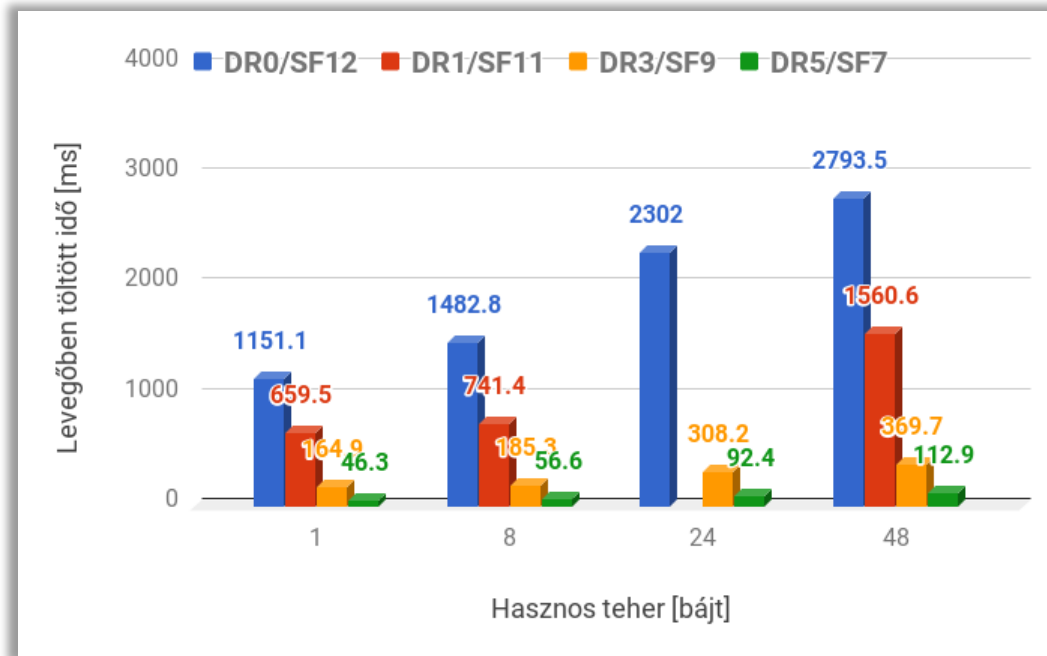
- ▶ Mérések az eszközök által (szerver és kliens is)
 - ▶ EU leglassabb átvitel (DR0): 1 bájt, 1151 ms
 - ▶ EU gyors átvitel (DR5): 48 bájt, 112.9 ms

De már „csak”
km távolság!

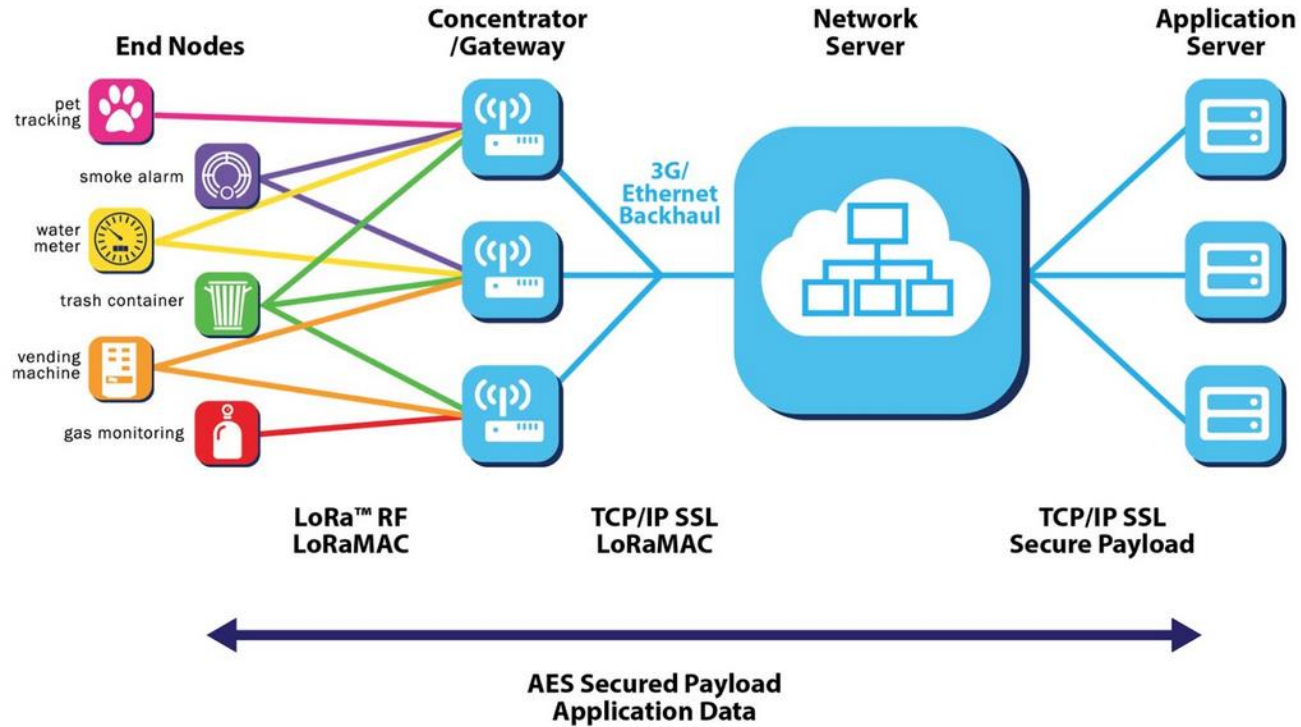


LoRa levegőben töltött idő

▶ Levegőben töltött idő



LoRa architektúra



LoRa

- ▶ Biztonságos, kétirányú kommunikáció, nyugtázott átvitel
- ▶ Lokalizációs szolgáltatások, mobilitás kezelése
- ▶ Adatsebességek: 0.3 kbps – 50 kbps
- ▶ ADR (Adaptive Data Rate): A szerver minden végberendezéshez egyenként határozza meg a RF kimenet paramétereit. („*Auto-magically manage SF for each end-device*” 😊)
- ▶ Különböző végberendezés osztályok: Class A, B, C

LoRa

- ▶ **Különböző végberendezés osztályok: Class A, B, C**
 - ▶ **Class A:** elemről működtetett
 - ▶ kétirányú kommunikáció
 - ▶ végberendezés kezdeményez (uplink)
 - ▶ **Class B:** kis késleltetésű
 - ▶ kétirányú kommunikáció ütemezett vételi ablakkal
 - ▶ periodikus beacon a gateway-től
 - ▶ szerver is kezdeményezhet átvitelt
 - ▶ **Class C:** real-time
 - ▶ unicast és **multicast** is
 - ▶ szerver kezdeményezhet bármikor átvitelt
 - ▶ a végberendezés folyamatosan kész a vételre

LoRa

- ▶ **Device Address**
 - ▶ 32 bites **egyedi azonosító** a hálózatban, minden adatkeretben
- ▶ **OTAA (Over-the-Air Activation)**
 - ▶ globális egyedi azonosítók alapján: Join Request – Join Accepts
- ▶ **ABP (Activation By Personalization)**
 - ▶ megosztott kulcsok „beégetése” a gyártás során, adott hálózathoz kötöten. Nincs szükség OTTA-ra, az eszköz egyből kész a kommunikációra.

LoRa Alliance

▶ Sponsor Members / Contributor Members / Adopter

Sponsor Members



Comcast Cable Communications
Management LLC



FLASHNET



SAGEMCOM



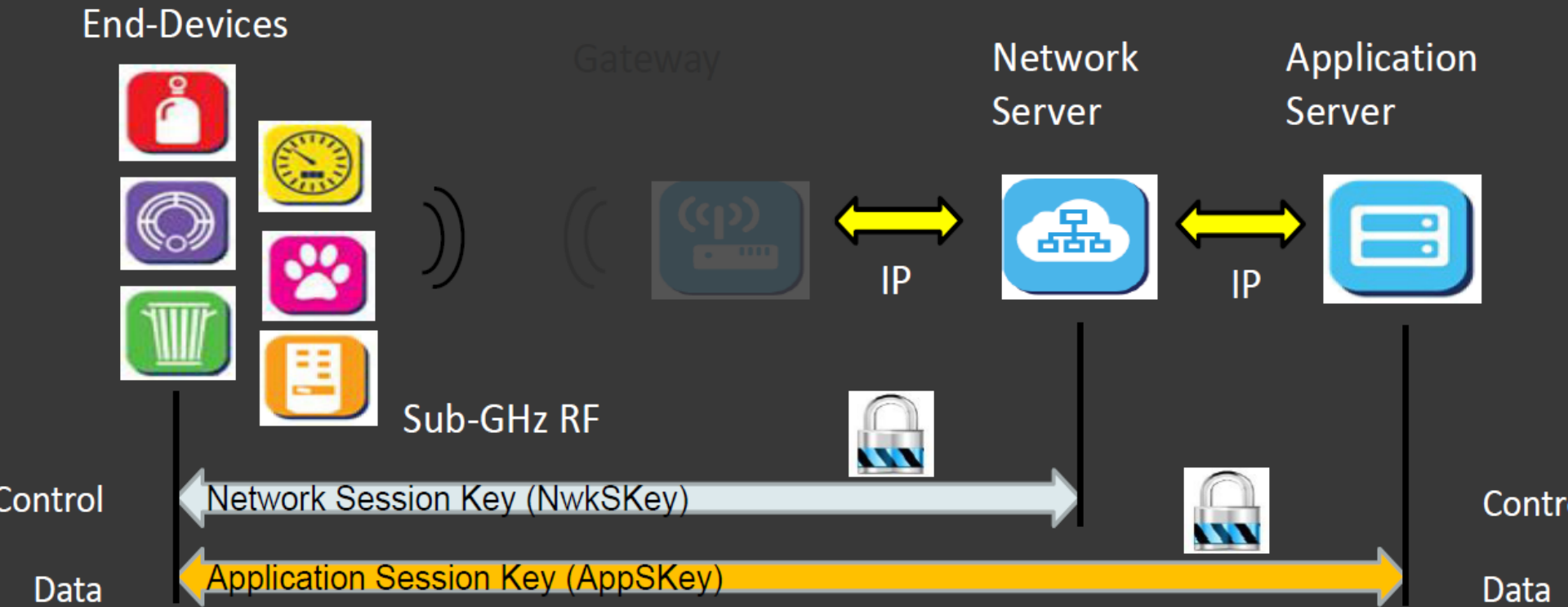
Giesecke & Devrient



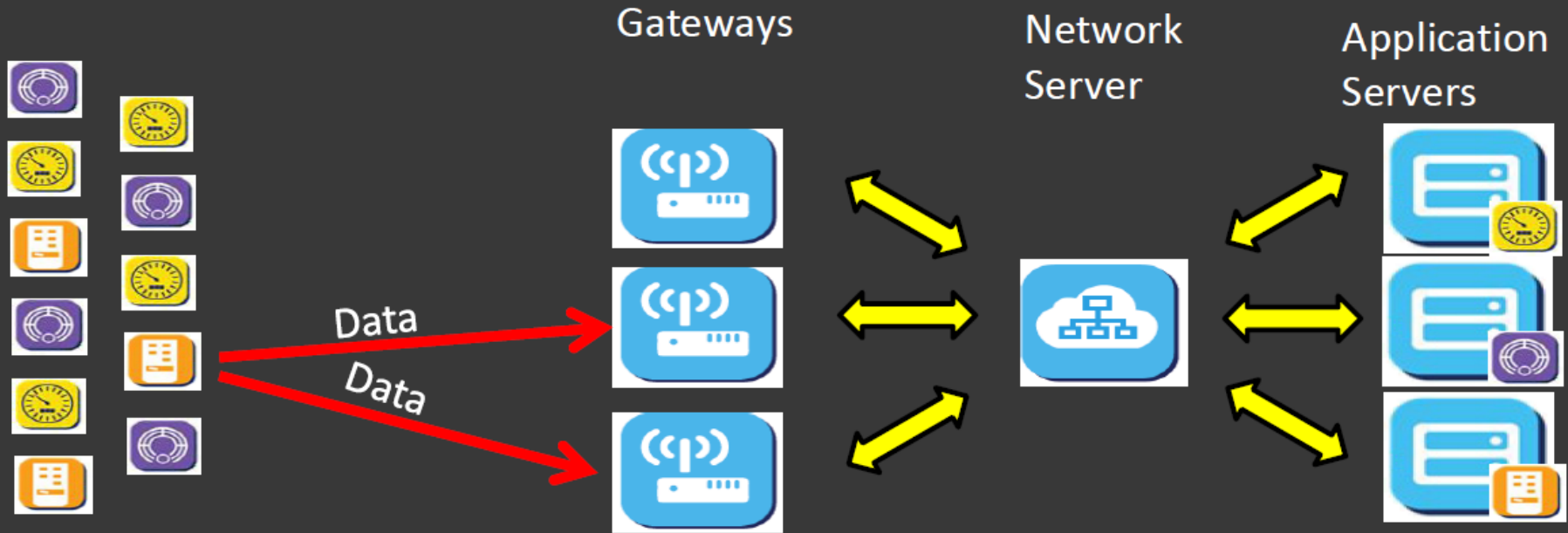
ZTE



Logical Data Flow (Programmer's Model)

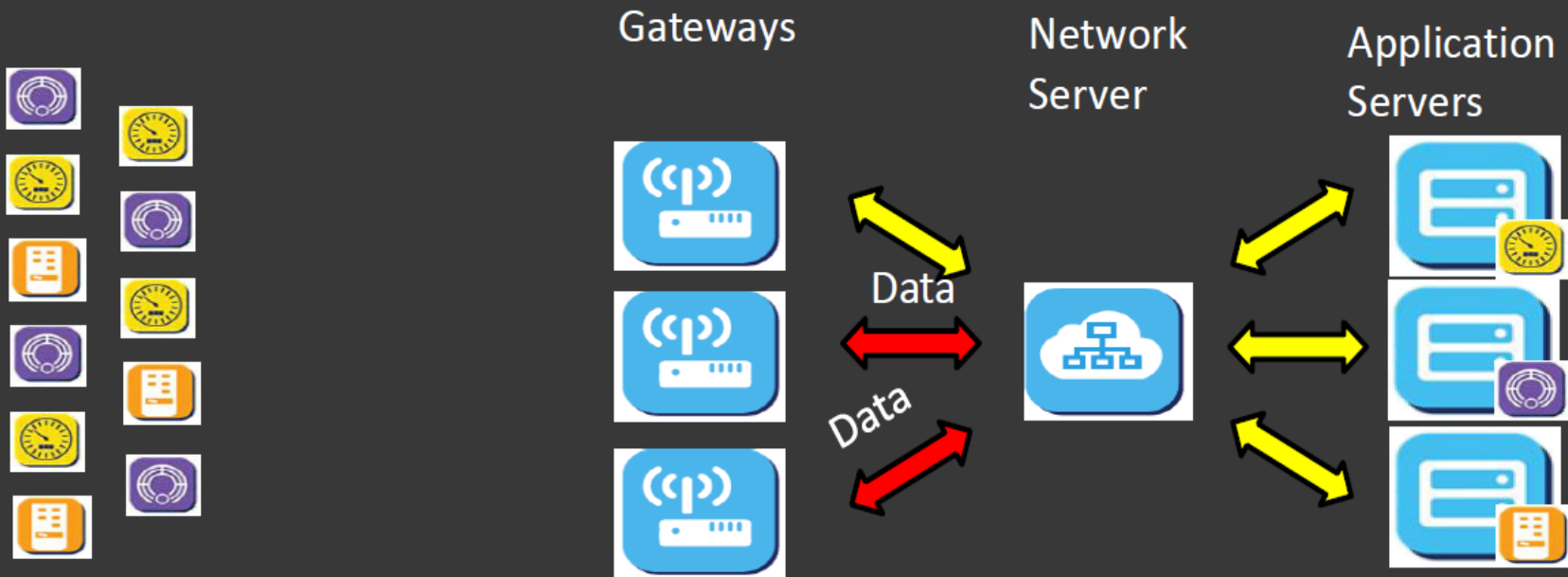


Confirmed-Data Message



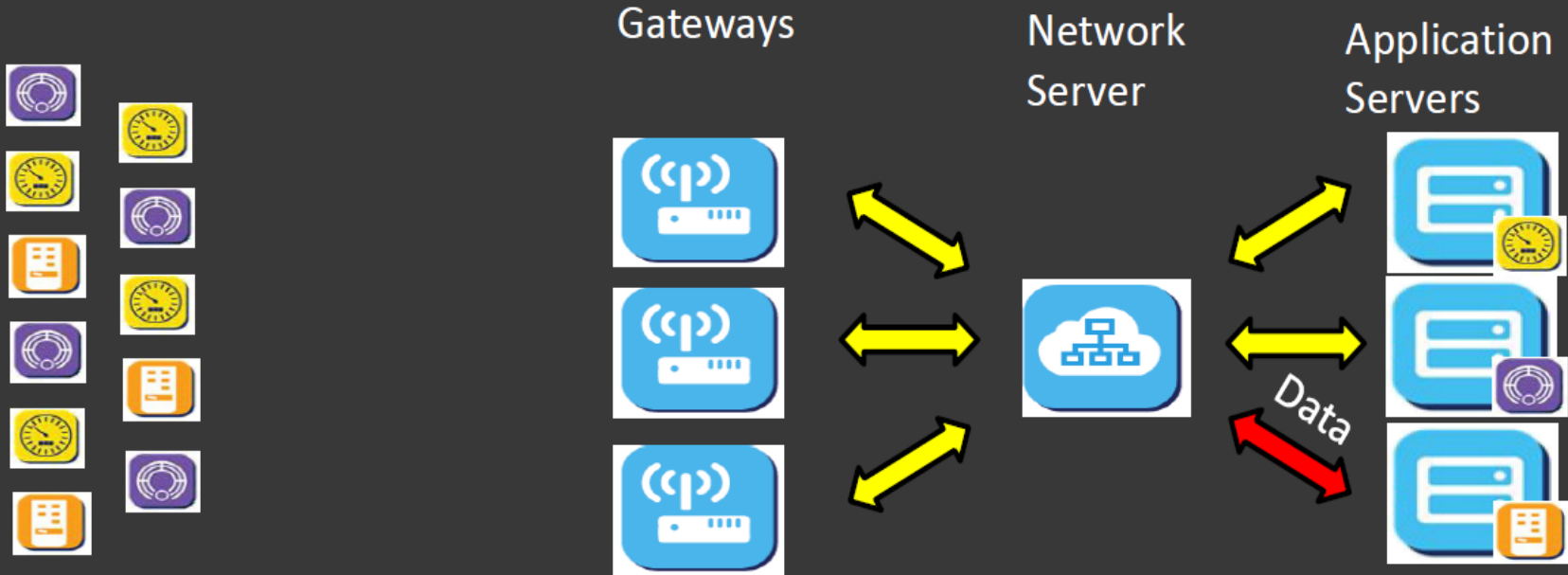
1. Vending Machine transmits data.
It is received by two Gateways.

Confirmed-Data Message



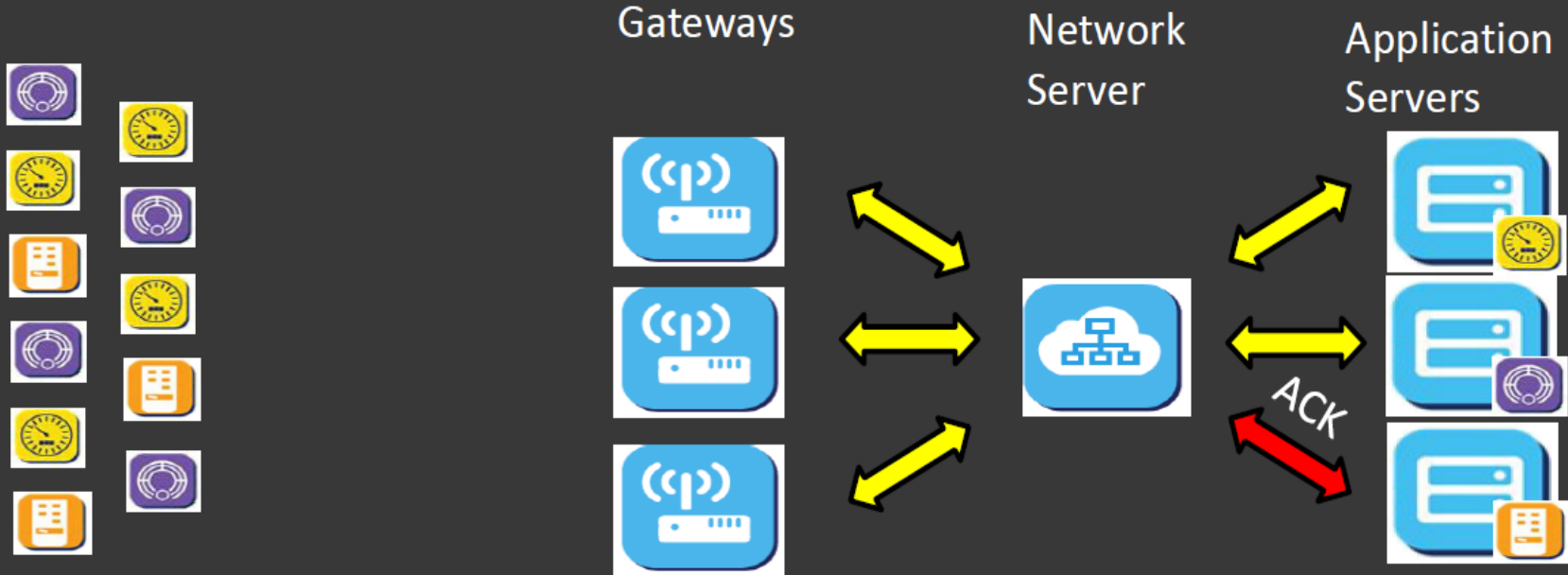
2. Both gateways “pass through” the data to the Network Server.

Confirmed-Data Message



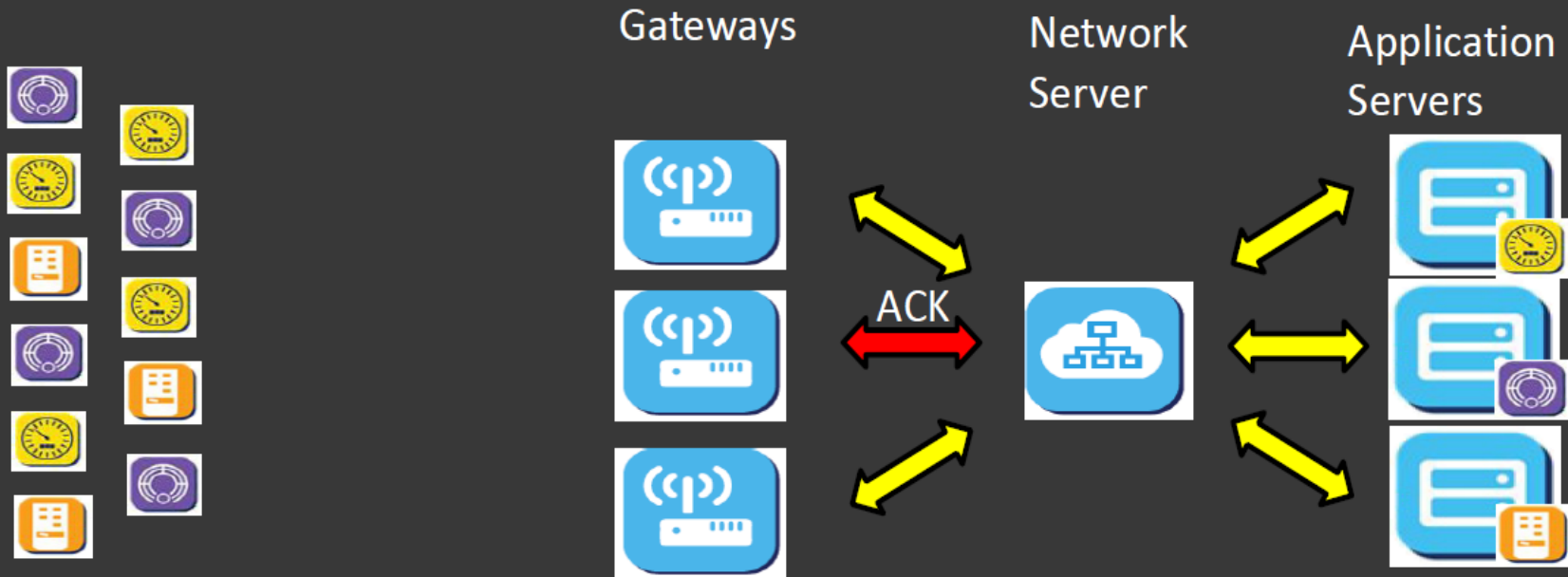
3. The Network Server forwards the data to the Vending Machine Applications Server

Confirmed-Data Message



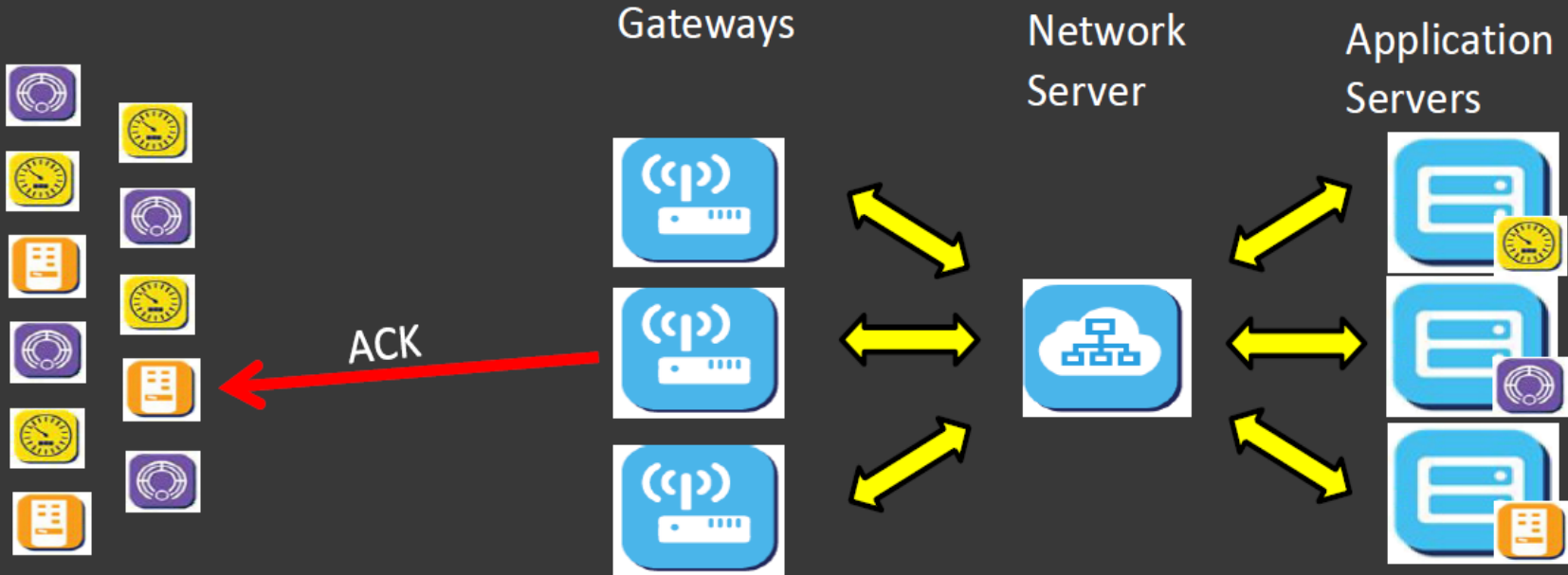
4. The Vending Machine Applications
Server sends an acknowledgement

Confirmed-Data Message



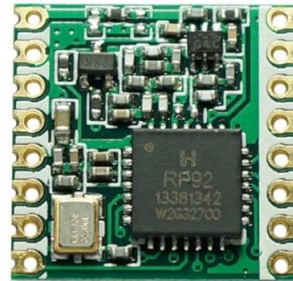
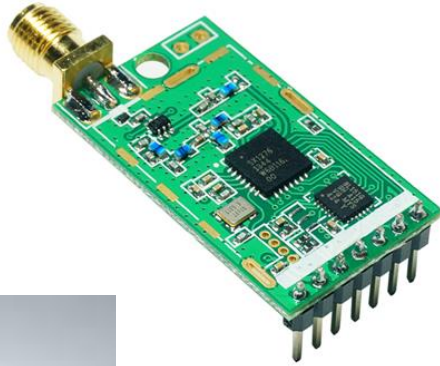
5. The Network Server selects the best path (gateway) to transmit the acknowledgement to the end-device.

Confirmed-Data Message



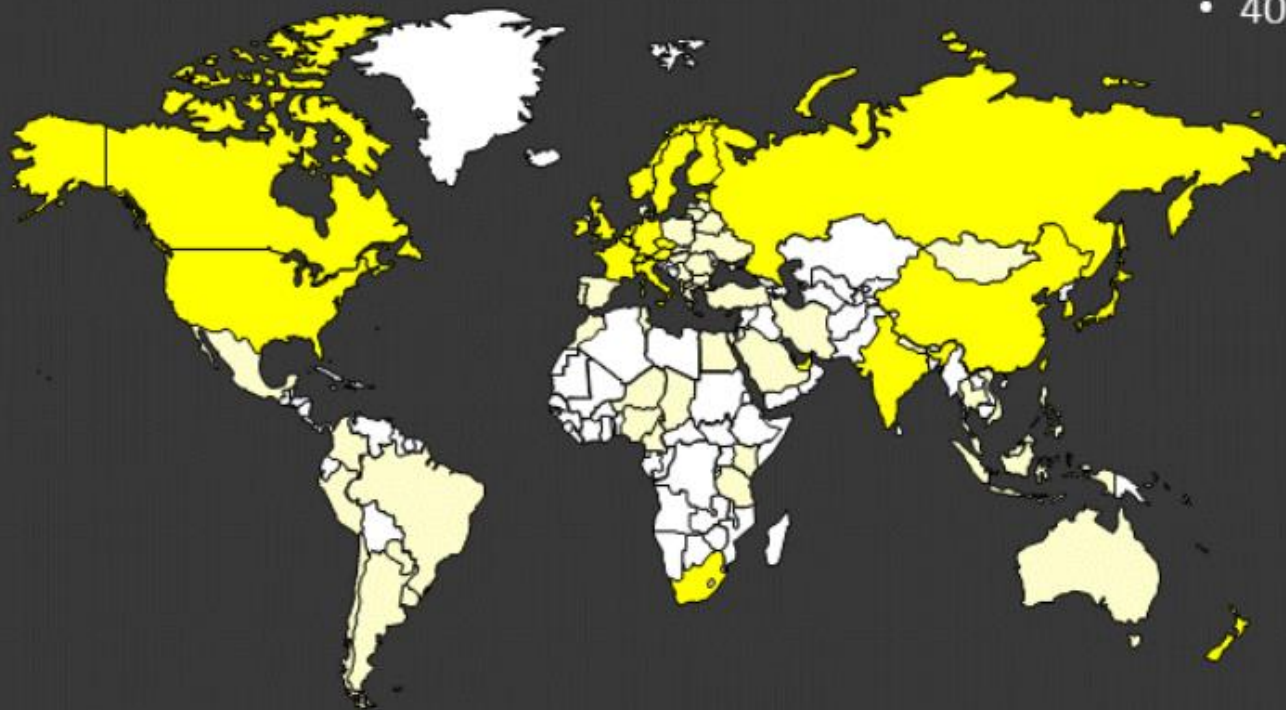
6. The Gateway transmits the acknowledgement to the end-device

LoRa modemek



Countries – LoRaWAN Networks

- 34 Publically Announced Operators
- 150+ on-going trials & city deployments
- 400+ members in the Alliance



Legend:

- Publicly Announced
- Other deployments



NB-IoT

- ▶ NarrowBand IoT – LPWAN megoldás
- ▶ 3GPP szabvány (Rel 13 LTE-Advanced Pro, 2016. június)
- ▶ A mobil szolgáltatók **meglévő cellás hálózatain**, de **NEM LTE alapon**.
- ▶ Beltéri lefedettség, alacsony ár, hosszú élettartam elemről, nagyszámú eszköz
- ▶ Lehet telepíteni...
 - ▶ LTE sávon belül
 - ▶ LTE védősávokban
 - ▶ külön sávban (dedikált spektrumsávban, akár GSM sáv újrahatszósításával)
- ▶ SC (Single Carrier) FDMA

NB-IoT

3GPP Release

NB-IoT

Release 13

Downlink Peak Rate

250 kbps

Uplink Peak Rate

250 kbps (multi-tone) 20 kbps (single-tone)

Latency

1.6s-10s

Number of Antennas

1

Duplex Mode

Half Duplex

Device Receive Bandwidth

180 kHz

Receiver Chains

1 (SISO)

Device Transmit Power

20 / 23 dBm

NB-IoT alkalmazási területek

- ▶ Okos mérők: NB-IoT gáz és víz fogyasztás mérésére
- ▶ Smart City - Okos Város A közvilágítás és a parkolóhelyek foglaltsága
- ▶ Szállítás és logisztika Konténer követés és újratölthető tartályok
- ▶ Ipar NB-IoT raklapok és csővezetékek
- ▶ Földművelés és erdőgazdálkodás Állatok megfigyelése
- ▶ Elektronikai termékek: NB-IoT és követés

NB IoT modemek



u-blox SARA-N2 NB-IoT module



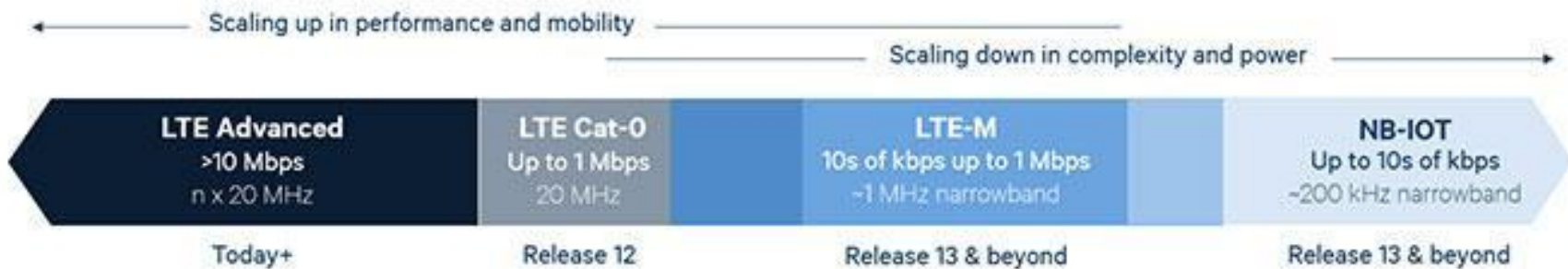
Sequans Communications' LTE Cat M1/NB1 Chip



Altair Semiconductor FourGee-1160 chipset

LTE-M

- ▶ LTE-M
 - = LTE-MTC (Machine Type Communication)
 - = LTE Cat-M1
 - = Long Term Evolution (4G), Category M1
- ▶ 3GPP javaslat
- ▶ IoT eszközök direkt csatlakoztatása **meglévő 4G** cellás (mobil) hálózatokhoz (overlay), azaz **kompatibilis az LTE hálózattal**
- ▶ 1 Mbps fel- és letöltési sebesség
- ▶ DL sávszélesség: 1.08 MHz (v.ö. NB-*IoT*(=*Cat-M2*) 180 kHz-es sávszélességével!)
- ▶ Hasonló az NB-*IoT*-hez, hasonló célokkal



Sample use cases



Mobile



Video security



Wearables



Object Tracking



Utility metering



Environment monitoring



Connected car



Energy Management



Connected healthcare



City infrastructure



Smart buildings

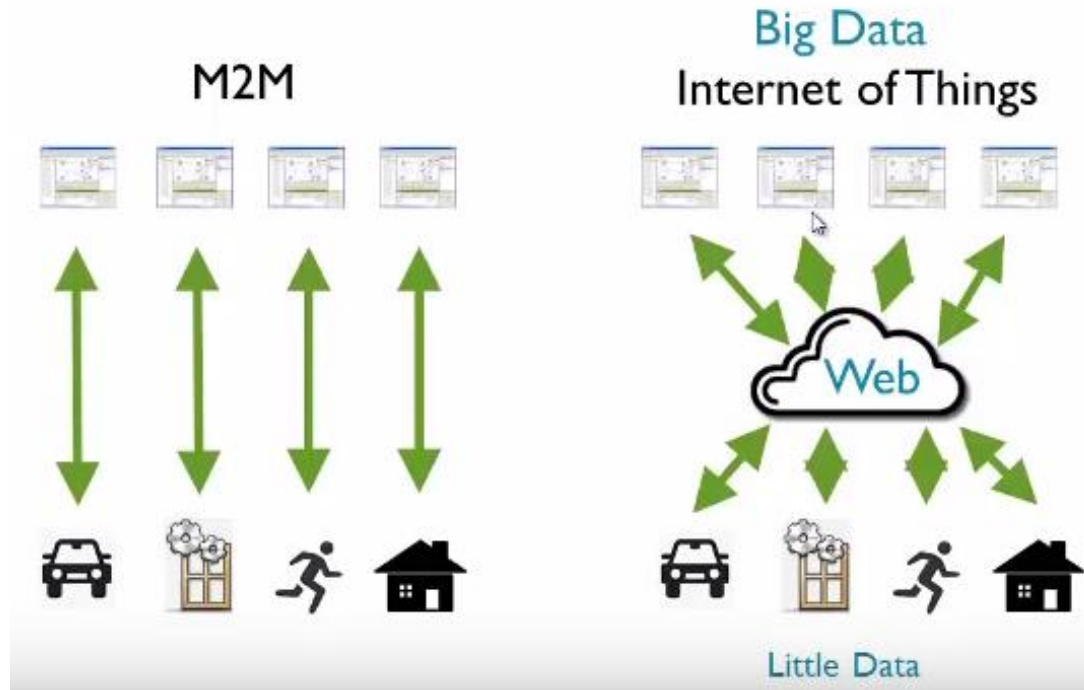
SIGFOX – LoRa – NB-IoT – LTE-M

LPWAN technologies in the market

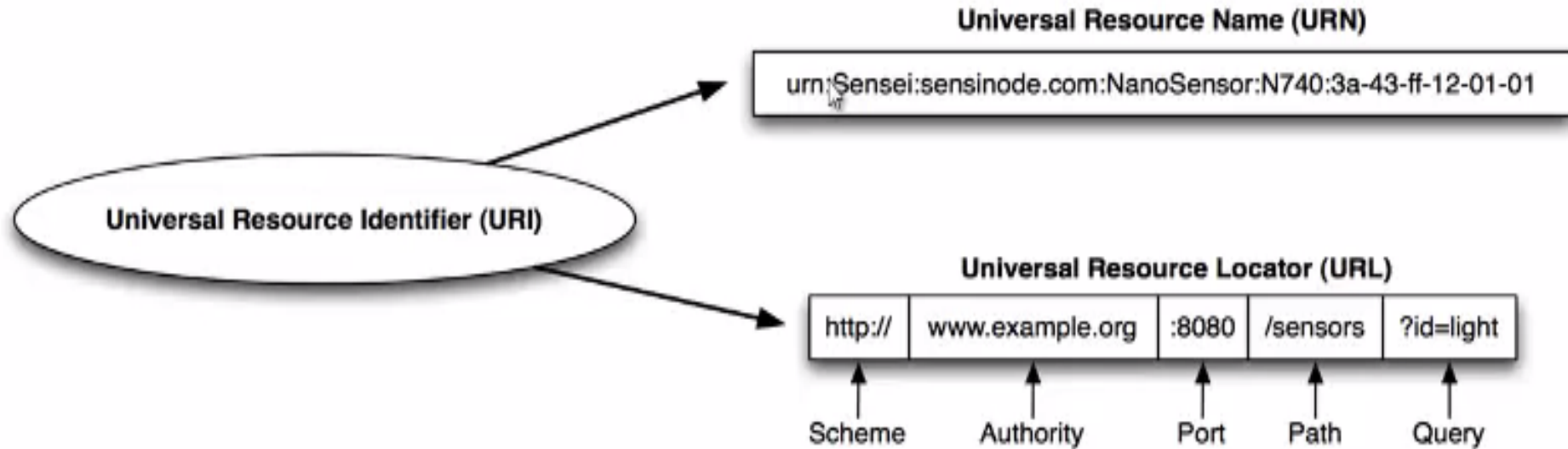
	LoRa	SIGFOX	LTE-M	NB-IoT
Coverage	~ 10 Km	~ 12 Km	~ 11 Km	~ 15 Km
Frequency Band	Unlicensed	Unlicensed	Licensed (LTE)	Licensed (LTE)
Data Rate	10 Kbps	~ 100 bps	~ 10 Mbps	100 Kbps
Standardization	De-facto Standard	De-facto Standard	3GPP Rel. 8	3GPP Rel. 13 (planned)
Battery Life	~ 10 years	~ 10 years	~ 10 years	~ 10 years
Commercialization (in Korea)	2016	Not defined	2016	2017 (planned)

Kommunikáció a szenzoron túl

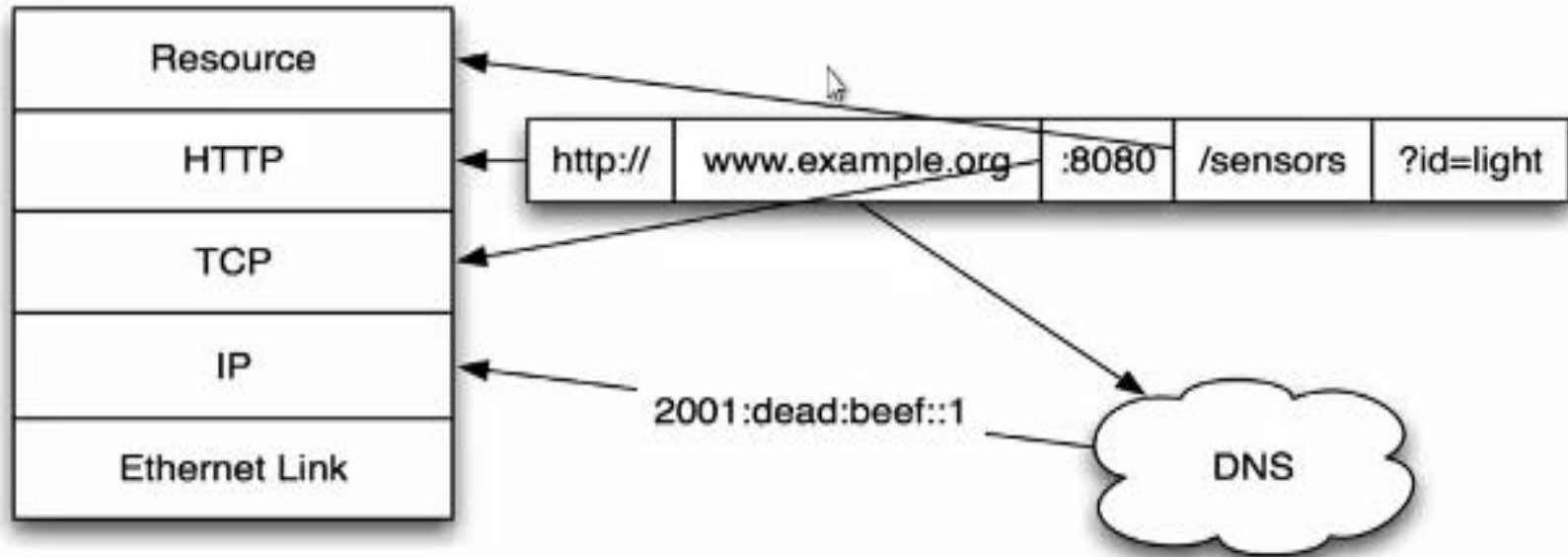
M2M kommunikációtól az IoT felé



REST, URI/URN/URL



REST, URI/URN/URL



CoAP

- ▶ CoAP = RFC 7252 Constrained Application Protocol
- ▶ IETF ajánlás (CoRE Workgroup – Constrained RESTful Environment)
- ▶ Aka: „CoAP: The Web of Things Protocol”
- ▶ Alkalmazás réteg-beli protokoll: web (dokumentum) átviteli protokoll kis erőforrású (alacsony erőforrású) eszközök részére, veszteséges átvitelű („lossy”) hálózatok felett.
- ▶ REST modell: A szerverek erőforrásokat tesznek elérhetővé URL-ek használatával. A kliensek elérhetik az erőforrásokat metódusok hívásával: GET, PUT, POST, és DELETE.

CoAP kontra HTTP

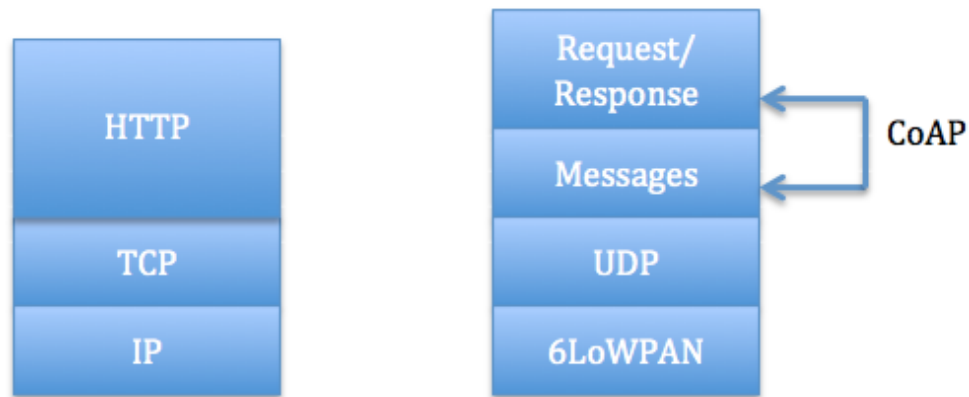
- ▶ Az alkalmazási rétegben tipikusan HTTP-t használunk web szolgáltatások eléréséhez.

- ▶ A HTTP...

- ▶ komplex megoldás,
- ▶ nagy energiafogyasztású,
- ▶ kis adatsebességű.

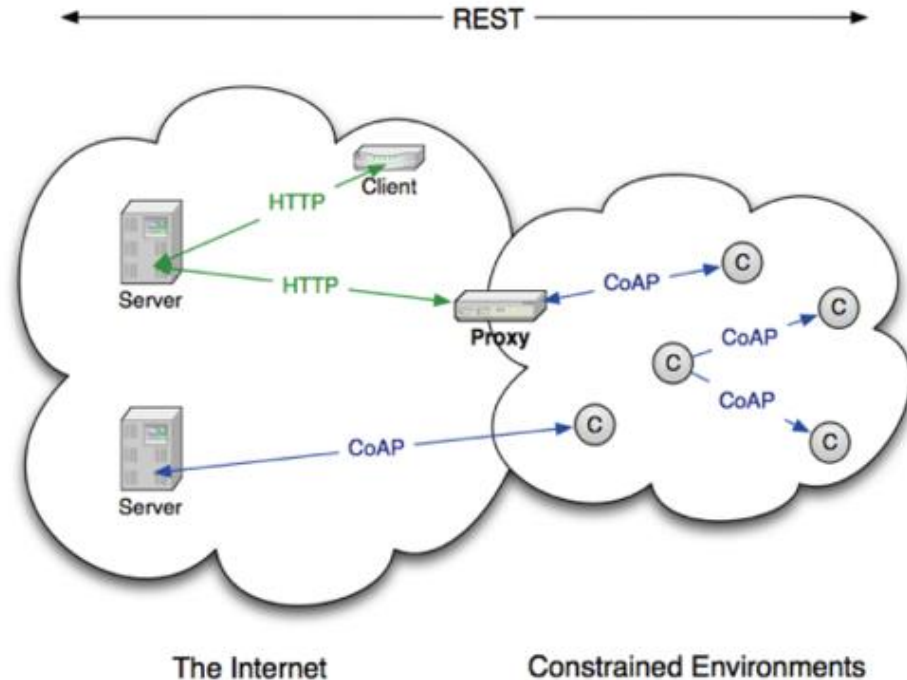
- ▶ A CoAP...

- ▶ HTTP-hez hasonlóan hálózat központú,
- ▶ UDP-t használ (a komplex TCP helyett), optimalizált datagram mérettel.
- ▶ REST architektúrán alapul,
- ▶ lehetővé teszi az IP multicast-ot (IoT csoportos kommunikáció)

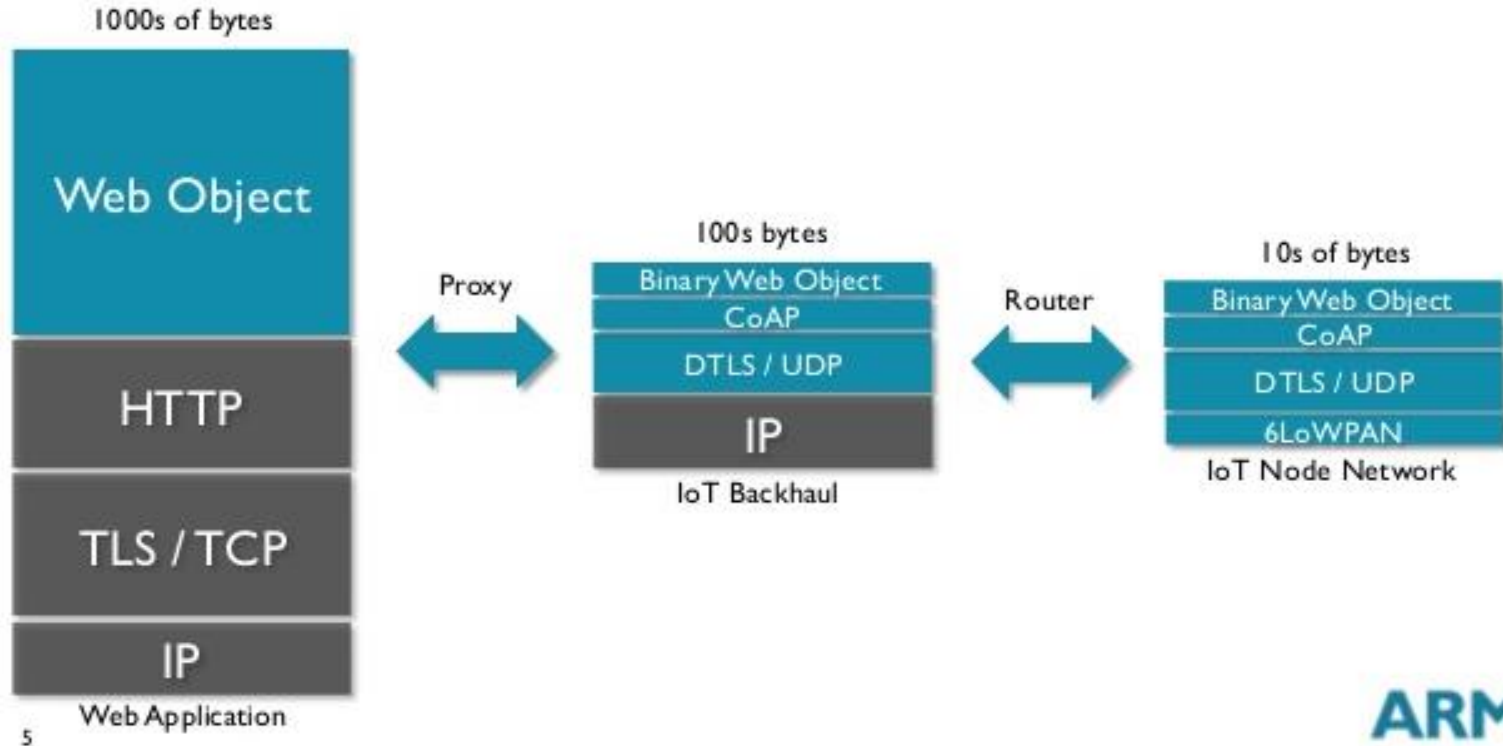


CoAP

- ▶ Beágyazott web transzport protokoll (coap://)
- ▶ Kompakt fejléc (4 byte)
- ▶ UDP, SMS támogatás (TCP is)
- ▶ Erős DTLS biztonság
- ▶ Aszinkron működés
- ▶ Multicast támogatás



CoAP



5

„MQTT is a machine-to-machine (M2M)/"Internet of Things" connectivity protocol.

It was designed as an extremely lightweight publish/subscribe messaging transport.”

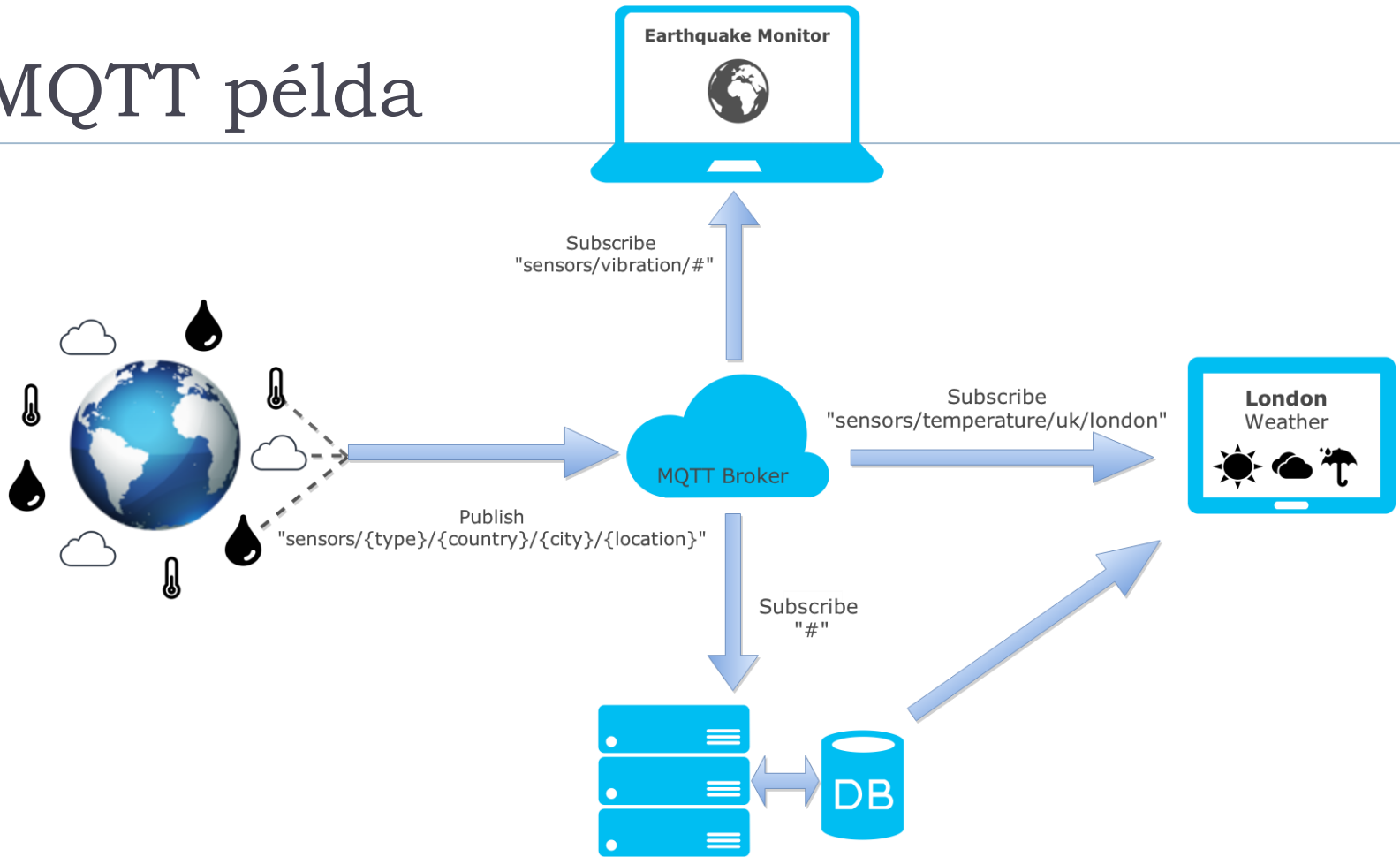
<http://mqtt.org/>

MQTT

MQTT

- ▶ MQTT = Message Queueing Telemetry Transport
- ▶ Nyílt, ingyenes
- ▶ publish/subscribe (one-to-many) modell
 - ▶ A küldő félnek semmit sem kell tudnia a vevő(k)ről
- ▶ Ideális kényszerekkel terhelt hálózatoknál
 - ▶ Pl. kis sávszélesség, nagy késleltetés, csomagvesztés, instabil kapcsolatok...
- ▶ Szűkös erőforrásokkal rendelkező eszközök számára
 - ▶ Kevés memória, kis teljesítményű processzor
- ▶ Cél: Megbízható üzenetküldés a lehető legegyszerűbb üzenet-formátumban

MQTT példa



MQTT

▶ Publish-subscribe

- ▶ A kliensek (*client*) feliratkoznak (*subscribe*) ún. *topic*-okra. Feliratkozás után a *topic*-ra publikált (*publish*) összes üzenetet megkapják.

▶ Szolgáltatási szintek

- ▶ 3 QoS szint definiált. Magasabb szolgáltatásminőség nagyobb megbízhatóságú üzenet célba juttatást valósít meg – ennek ára a nagyobb sávszélesség és/vagy késleltetés.

▶ Megőrzött üzenetek

- ▶ A szerver meg is tartja az utoljára elküldött üzenetet. Egy új feliratkozó esetén egyből elküldi az utolsó üzenetet is a kliensek.

MQTT

▶ Clean session flag

- ▶ Amikor egy MQTT kliens csatlakozik a szerverhez, beállíthat egy ún. *clean-session* flag-et. Ha ez a beállítás „1”-es, a kliens összes feliratkozása törlődik, ha az eszköz lekapcsolódik a szerverről.
- ▶ Ellenkező esetben a kliens előfizetése továbbra is élő marad mindaddig, amíg az vissza nem kapcsolódik. Eközben a magas QoS beállítás esetén érkezett összes üzenet eltárolódik, majd újracsatlakozás után elküldésre kerül.

▶ Végrendelet (Will)

- ▶ Kérésre a szerver egy üzenetet küld a kliens által előre meghatározott topic-ba, ha a kliens váratlanul lecsatlakozik. (Pl. riasztás, ha egy érzékelő lecsatlakozik a hálózatról)

MQTT kliens

- ▶ Egy MQTT kliens (aka kliens alkalmazás)...
 - ▶ **adatokat gyűjt** egy telemetriai eszkörről, csatlakozik egy MQTT szerverhez, majd egy topic string segítségével **publikálja** az információt, ÉS/VAGY
 - ▶ **feliratkozik** egy topic-ra, ahol **fogadja** a publikált adatokat, ÉS/VAGY
 - ▶ parancsok segítségével **vezérli** a telemetriai eszköz(öke)t.

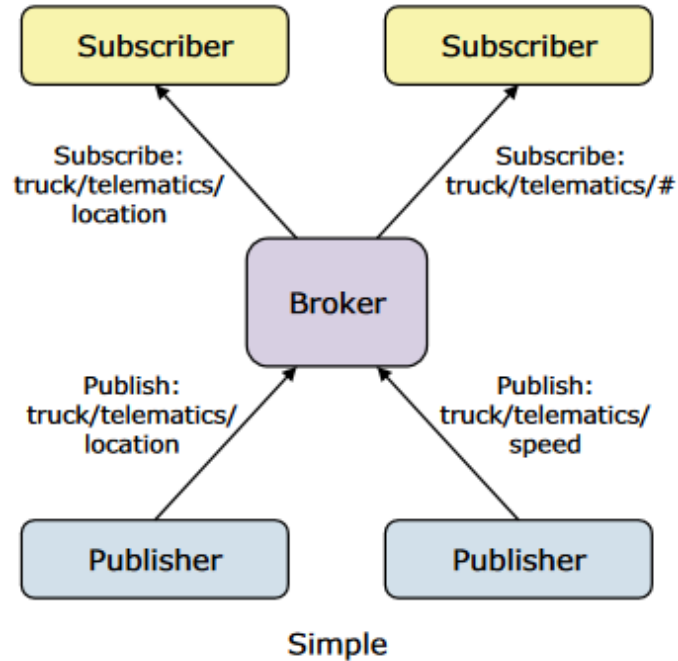
- ▶ Pl: Eclipse Paho MQTT kliens: <http://www.eclipse.org/paho/>
 - ▶ C és Java alapú implementáció

MQTT bróker

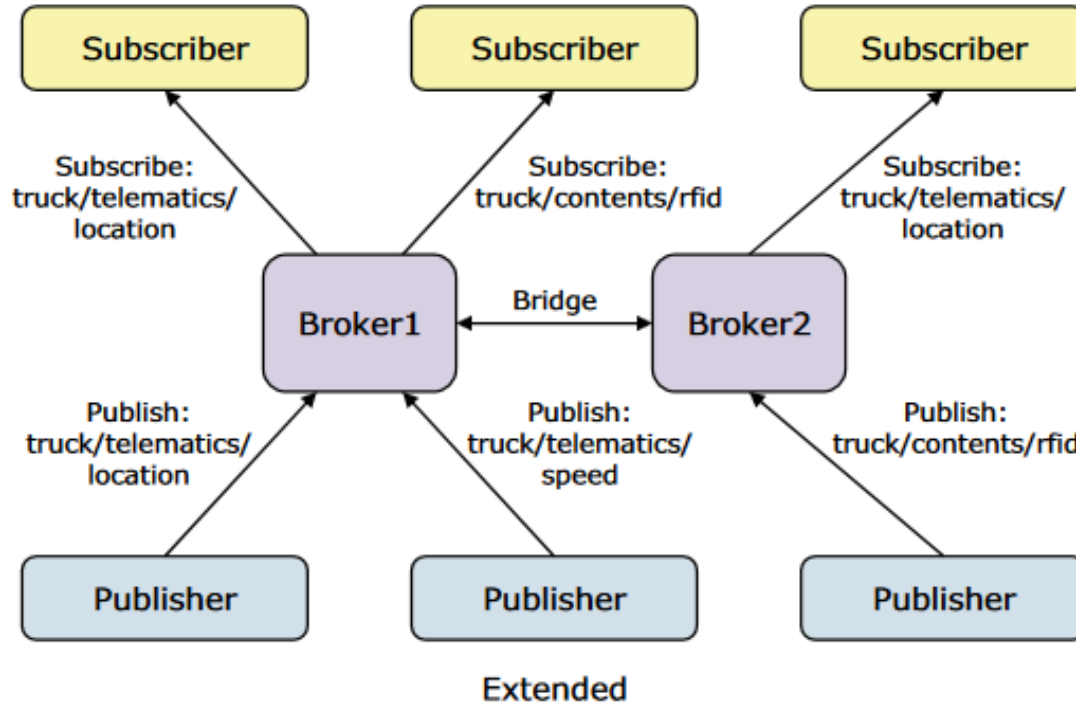
- ▶ **MQTT bróker** = Egy szerver, amely implementálja az MQTT protokollt.
- ▶ Feladata: Közvetít az MQTT kliensek közötti kommunikációban.

- ▶ **Pl: Mosquitto**
 - ▶ Egyszerű, nyílt, ingyenes implementáció (MQTT v3.1):
<http://mosquitto.org>

MQTT üzenetküldés



MQTT üzenetküldés



MQTT topikok, fák, sztringek

▶ topic

- ▶ Az üzenetek osztályozását szolgálja, definiálja az üzenet tartalmát.
- ▶ Pl: „truck”

▶ topic-tree

- ▶ Tipikusan a topic-ok hierarchikusan szervezettek.
- ▶ A „/” karakter használatával hozhatók létre al-topikok.
- ▶ Pl: „truck/contents”, „truck/contents/rfid”

▶ topic-string

- ▶ Egy karakterlánc, amely meghatározza az üzenet topikját. (wildcard használható!)
- ▶ Pl: „truck/contents/#”, „truck/+”

MQTT és HTTP összehasonlítás

	MQTT	HTTP
Design orientation	Data centric	Document centric
Pattern	Publish/subscribe	Request/response
Complexity	Simple	More complex
Message size	Small, with a compact binary header just two bytes in size	Larger, partly because status detail is text-based
Service levels	Three quality of service settings	All messages get the same level of service
Extra libraries	Libraries for C (30 KB) and Java (100 KB)	Depends on the application (JSON, XML), but typically not small
Data distribution	Supports 1 to zero, 1 to 1, and 1 to n	1 to 1 only