



# vitmma09

## Szenzorhálózatok és alkalmazásaik

---

Tudnivalók a tárgyról

# MME gólya projekt

Show / hide individuals

speed 0,5 sec

Interval 1 day

2014-08-01

Magyar Madártani Egyesület

2017-02-21

PLAY >  repeat

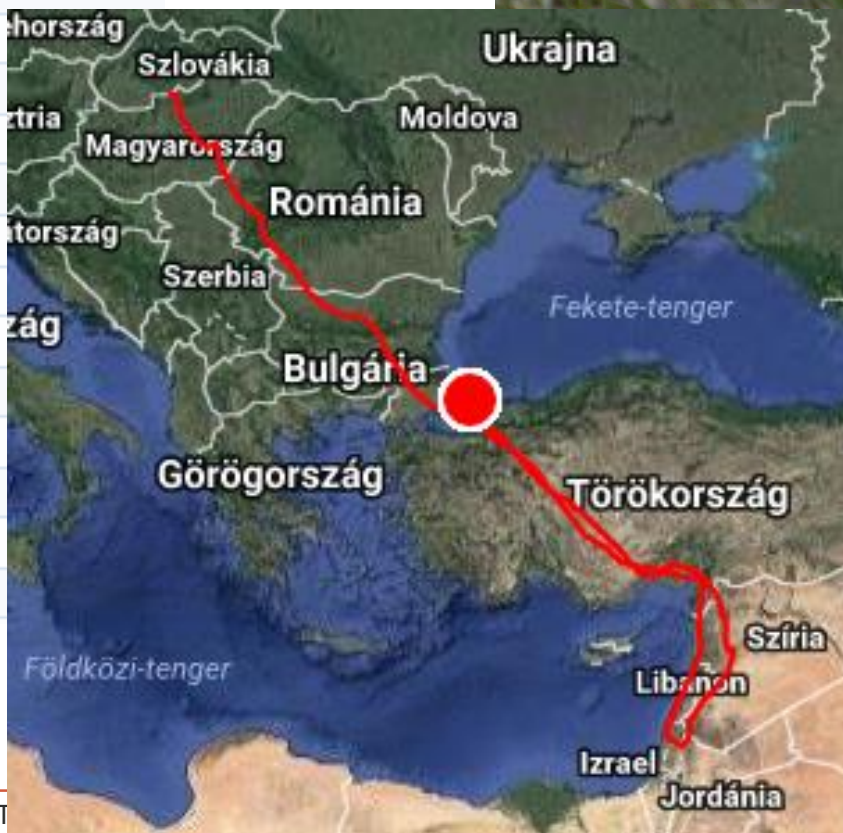




# Báró (fehér gólya)

[Jump to map >>](#)

Name	Báró
Active	✓
Species	White Stork
Country	Hungary
Organisation	MME
Project	Bordless Birds (HUSK 2012-2014)
Sponsor	ERDF - HUSK
Sex	male
Age	Adult
Ring code	HN67
Manufacturer	Ecotone Telemetry
PTT code	HUNG17
PTT weight	21
Accumulator type	Solar
Tagging date	2016-03-27
Tagging place	Órhalom
First data	2016-08-15 02:00:01
Last data	2017-02-19 20:00:07
Number of data	1483





# MME (fehér gólya) HW



# MME Bátor fészke webcam



<http://golya.mme.hu/golyakamera/orhalomstream/>



# Fizikai réteg

---

Létező megoldások, tervezési kérdések

# Példák a fizikai rétegre

- Szenzorhálózatokban a kommunikáció történhet elektromágneses (RF, IR) vagy akusztikus úton.
- Létező rádiófrekvenciás (RF) megoldások:
  - Bluetooth
  - IEEE 802.11b (WLAN)
  - (IEEE 802.15.4)
  - nRF24
- Speciális WSN megoldások
  - PicoRadio
  - $\mu$ AMPS

# Bluetooth

- WPAN (Wireless Personal Area Network) megoldás
- 2.4 GHz ISM sáv;
- Moduláció: 1 MBaud bináris GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
- frekvenciaugratásos szórt spektrumú (FHSS), 1600 ugrás/mp, 79 db 1-MHz-es csatorna (USA-ban)



## Problémák WSN alkalmazásnál:

- A hálózat felderítés FHSS esetében hosszadalmas, mert a node-ok aszinkron működésűek.
- A viszonylag keskenysávú (1MHz) moduláció miatt a csatornaszűrő megvalósítása bonyolult és költséges.
  - (Az alacsony-frekvenciás áramköri elemek nagy mérete és a nagy kapacitorok, valamint a nagy „warm-up” periódus miatt.)
- A közeli csatornák szétválasztása is bonyolult.



# IEEE 802.11b

- WLAN (Wireless LAN) szabvány
- 2.4 – 2.5 GHz ISM sáv
- 14 db 22 MHz-es átlapolódó csatorna, 5 MHz-enként (USA-ban csak az első 11 használható)
- 802.11 szabvány három 1 Mb/s (ill. 2 Mb/s) fizikai réteg opciót definiál:
  - infravörös (IR)
  - frekvenciaugratásos szórt spektrumú (FHSS)
  - direkt szekvenciális szórt spektrumú (DSSS)
    - 1 Mb/s esetén: különbségi bináris fázisugratás (DBPSK)
    - 2 Mb/s esetén: különbségi kvadratúra fázisugratás (DQPSK)
- 802.11**b**: kiterjesztés 5.5 Mb/s-ra ill. 11 Mb/s-ra
  - Complementary Code Keying (CCK), 11 Mc/s és DQPSK, 8 bit/szimbólum

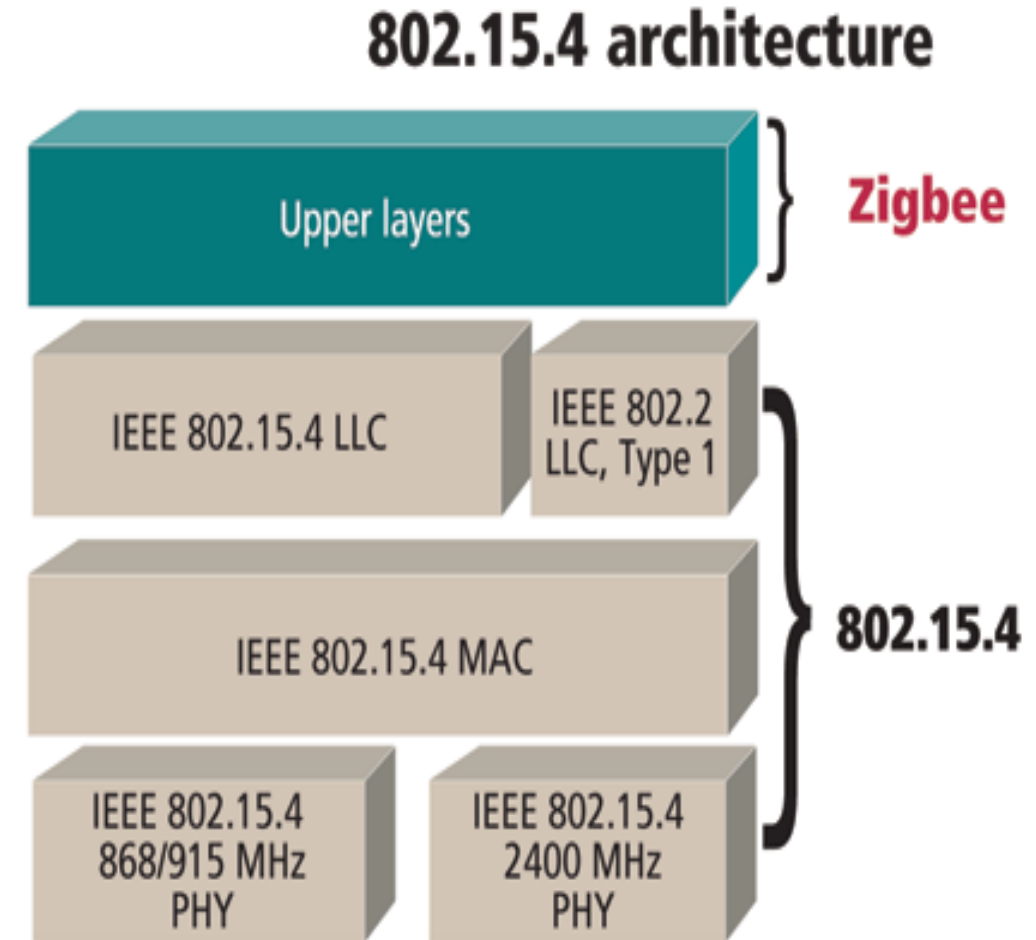


# IEEE 802.11b

- Az eredeti 1 és 2 Mb/s-os direkt szekvenciális 802.11 fizikai réteg egy lehetséges megoldás WSN-ek esetében:
  - Egyszerű hardver.
  - Megfelelő adatátviteli sebesség.
  - A direkt szekvenciális kódolás mentes a frekvenciaugratásos módszerek hátrányaitól.
  - Hátrány: A 11 Mc/s-os chip-sebesség túlságosan magas egy alacsony fogyasztású eszköznek.
- A 11 Mb/s-os 802.11b kiterjesztés energiafelhasználása és ára (komplexitása) messze meghaladja egy WSN korlátait!

# IEEE 802.15.4 (ZigBee)

- LR-WPAN (Low-Rate Wireless Personal Area nw)
- 868 (EU) / 915 (US) / 2450 MHz (ISM)
- <10 m kommunikációs távolság
- 250 kbps (opciók: 20, 40, 100 kbps)
- Eredetileg DSSS (direkt szekvenciális szórt spektrum), majd sok más megoldás is...





# nRF24L01

- Ultra low power
  - $< 14 \text{ mA}$  csúcs RX/TX áramfelvétel,  $< 1 \mu\text{A}$  „power down” mód (1.9 – 3.6V)
  - Szó szerint hónapokig/évekig működik egy(-két) ceruzaelemről!
- 2.4GHz ISM sáv (GSFK)
- 250 kbps, 1 és 2 Mbps (GFSK)
  - Enhanced ShockBurst protokoll (auto ack, auto retransmit)
  - olcsó +/-60 ppm 16MHz kristály



nRF24L01



nRF24LE1 (SoC)



nRF24LU1 (SoC, USB2.0)

# PicoRadio

- PicoRadio program
  - Uni California (Berkeley), 1999
- DSSS, CSMA MAC protokol
- UWB (ultrawide band)
  - Könnyen integrálható, a sáv szélesség-hatékonyság nem annyira fontos.
  - Fontos tulajdonsága: „wake-up” rádió „sleep” móddal
  - „Wake-up” rádióvevő:
    - $1\mu\text{W}$  átlagos teljesítménnyel működik
    - A „wake-up” jel vételekor „felébreszti” a fő rádiót.
    - A „wake-up” jel tartalmazza az állomás ID-jét, így csak a szükséges csomópontok ébrednek fel.
    - Nincs szükség a node-ok közötti szigorú időszinkronra.

# μAMPS

- μAMPS Program
  - Massachusetts Institute of Technology (Cambridge)
  - Teljes WSN rendszer, hangsúly az energiatakarékosság.
  - (LEACH – Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy protokoll kifejlesztése, ld. később)
- Cél a „sleep time” maximalizálása
  - többszintű jelzés
  - „start-up” energia problémája a sleep->aktív átmenet esetén



# Tervezzük szenzor PHY-t!

---

# Fizikai réteg tervezési kérdései

- A két legfontosabb követelmény:

**alacsony ár**

**és**

**hosszú élettartam.**

# Ár, mint tervezési kérdés...

- A fizikai réteg költsége elsősorban a hardver ára
  - chip-ek ára + külső alkatrészek ára
- Cél: egyetlen chip + antenna + elemek
  - (Az antenna és az elemek integrálása nem lehetetlen, de nehéz.)
- Az egyik legnehezebb feladat a referencia frekvenciához használt kvarc kristály integrálása.
  - Lehetséges alternatíva: MEMS (mikro-elektromechanikai) rezonátor
  - Egyenlőre azonban még nem kiforrott technológia, a pontossággal és stabilitással bajok lehetnek.
- Következmény: Olyan fizikai réteget tervezünk, amely nem követel meg túl szigorú előírásokat a rezonátorral szemben.



# Ár: analóg kontra digitális

- A chip árát befolyásolja az analóg és digitális integrált alkatrészek aránya.
  - A digitális elemek mérete a litográfiai eljárások fejlődésével csökken.
  - Az analóg elemek mérete tipikusan nem csökken a technológia fejlődésével. (Pl. passzív komponensek paramétereit a fizikai méreteik függvénye, pl. kapacitor felület)
- A lehetséges két alternatíva:
  - Analóg elemek „nagy” dimenziójú „rég” (és ezért olcsó) technológiával.
  - Csak digitális komponensek, új technológia, így apró (és ezért olcsó) áramkörök.
- Hosszú távon a trend az „all-digital” technológiának kedvez.
  - Az RF áramkörök energiafogyasztása is a mérettel arányos.



# Ár: nagy darabszám...

- Nagy darabszám csökkenti az egységárat.
- Következmény: Olyan fizikai réteget tervezünk, amely összhangban van a lehető legtöbb ország szabályozási környezetével.
- Megoldás: ISM sáv használata
  - (De melyik? 2.4 GHz, 5.8 GHz vagy 24 GHz?)

# Ár: rendelkezésre álló technológiák...

- Magas (pl. 60 GHz) frekvenciatartományban működő áramkörök gyártástechnológiája (pl. SoC szilikon CMOS) jelenleg még drága és nem energia-optimális.
- Alacsony (pl. 1 GHz) frekvencián a node mérete miatti kis antenna okoz problémát.
- A megfelelő ISM sáv kiválasztása egy kompromisszum az ár és energiafogyasztás, valamint a méret és antenna-hatékonyság között.
- Jelenlegi optimum: 2.4 GHz ISM sáv

## 2.4 GHz ISM sáv

- A 2.4 GHz-es ISM sáv jelenleg egyáltalán nem „üres”:
  - Pl. IEEE 802.11b (Wi-Fi) WLAN, Bluetooth WPAN
  - A különböző technológiák más-más csatorna-hozzáférési stratégiát használnak -> erősen „unfair” lehet!
- A különböző szolgáltatások együttélése és kompatibilitása a fizikai réteg tervezésének kulcskérdése!
  - Pl: szórt spektrumú megoldások a robusztusság miatt
- Lehetséges alternatíva: 3.1-10.6 GHz UWB (ultra-szélessáv)
  - Helymeghatározási képesség nagyon jó (néhány cm).
  - Nagy node-sűrűség lehetséges.
  - Egyelőre csak az USA-ban szabványos.



# Energiafelhasználás (élettartam)

- Az energia-probléma két komponense:
  1. Az energiaforrás (elem)
  2. A rendszer energiafogyasztása.



# Energiaforrások

- A szenzorok alacsony energiafogyasztása ( $\sim 50 \mu\text{W}$ ) lehetővé teszi újszerű energiaforrások használatát
  - Pl: napenergia-cella, RF, mechanikus vibrációs eszközök
- A „hagyományos” szárazelemek mégis a legáltalánosabbak.
- **Töltésmegújulás jelensége**: Egy elem kapacitása sorozatos impulzusokkal kisütve jóval nagyobb, mint folyamatos állandó lemerítés esetében.
- WSN esetében a borsztös adatküldés mellett az alacsony átlagos energiafogyasztás kiválóan illeszthető a jelenséghez: a nagy fogyasztású komponensek (pl. rádióadó) aktiválása csak rövid időkre, megfelelően nagy időközönként.

# Energiafogyasztás - példa

- 2db AAA elem (750 mAh), 1 éves élettartam (8760 óra)

$$I_{avg} = 750mAh / 8760h = 86\mu A$$

- Átlagos felvett teljesítmény (1.8 V feszültségszabályozóval)

$$P_{avg} = 1.8V \cdot 86\mu A = 154.8\mu W$$

- Tipikus 2.4 GHz CMOS adóvevő 32 mW teljesítménnyel ad és 38 mW teljesítménnyel vesz. (átlag ~35 mW)

$$I_{on} = 19.5mA \quad I_{stby} = 30\mu A$$

- Ekkor az

$$I_{avg} = T_{on} \cdot I_{on} + (1 - T_{on}) \cdot I_{stby}$$

- összefüggésből:

$$T_{on} = 0.0029$$

# Energiafogyasztás

- $T_{on}=0.0029$  praktikusan 4 perc naponta.
- A kevés információközlés ellenére az aktív kommunikáció időtartama alatt nagy bitsebességet követel meg.
- $T_{on}$  tartalmazza a „warm-up” periódust is.
  - Sok de rövid kommunikáció esetében a „warm-up” periódusokban elfolyó áram lehet a döntő!
- A DSSS rendszerek 250 kbps (nyers) adatátviteli sebességgel előnyösek.

# IoT versenyfelhívás

- A pályaműveket **2017. március 6-ig** küldhetitek be az [iot-palyazat@tmit.bme.hu](mailto:iot-palyazat@tmit.bme.hu) címre
- **Egyszemélyes vagy 2-4 fős csapat**
- **Ötlet legfeljebb egy oldalban**
- **Március 6.:** 6 továbbjutó csapat
- **Április 28.:** prototípusok bemutatása

**TMIT**  
**INTERNET OF THINGS**  
**VERSENY**

evopro  
ERICSSON  
telenor  
NATIONAL INSTRUMENTS

**Fődíj: 300 000 Ft**

**Közönségdíj: 100 000 Ft**

A prototípus elkészítéséhez: 6 x 50 000 Ft

**Jelentkezés:  
március 6.**

<http://www.tmit.bme.hu/iot-verseny-2017>

# Adatkapcsolati réteg

---

Vezetéknélküli MAC technikák



# Tartalom

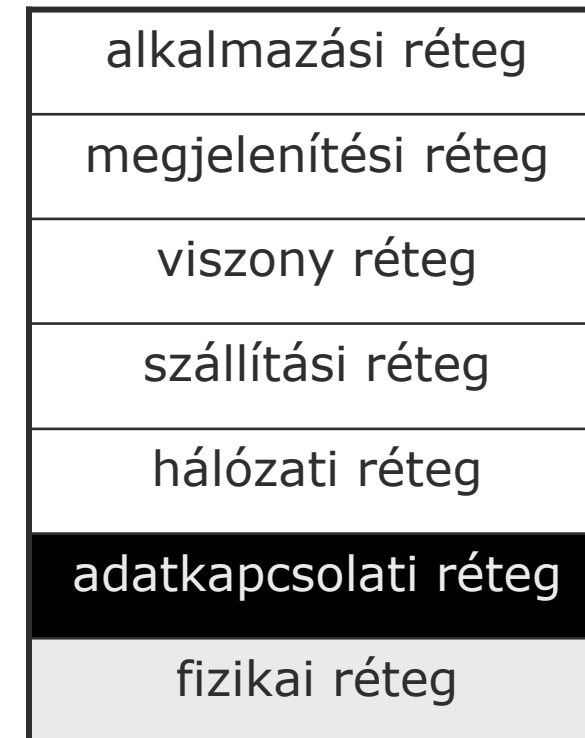
- Adatkapcsolati réteg
- Vezetéknélküli MAC technikák
  - ALOHA
  - CSMA – Vívőérzékeléses többszörös hozzáférés
  - Lekérdezés (Polling)
  - MD (Mediation Device) protokoll
- Szenzorhálózati megoldások
  - WINS
  - PicoRadio
  - S-MAC



# Adatkapcsolati réteg

- Adatkapcsolati réteg fő feladatai:
  - keretképzés
  - hibadetektálás és –javítás
    - pl Hamming kód, CRC, Go-Back-n
  - forgalomszabályozás (flow control)
    - pl: ACK, Stop&Wait
  - közeghozzáférés vezérlése  
**MAC – Medium Access Control**

ISO OSI



# Közeghozzáférés vezérlése (MAC)

- A hálózatokat két csoportba oszthatjuk:
  1. **pont-pont** közötti összeköttetés bármely két csomópont között
  2. **üzenetszórásos** csatorna az összes csomópontnak
- Pont-pont összeköttetés esetén a csatorna dedikált, nincs szükség MAC-re.
- Üzenetszórásos csatorna esetében a fő kérdés:  
**„A közös csatorna hozzáférési jogáért folytatott küzdelemben ki lesz a győztes?”**
- *Alternatív elnevezések:*
  - *Többszörös hozzáférésű = Multiple Access*
  - *Véletlen hozzáférésű = Random Access*

# Közeghozzáférés vezérlése (MAC)

- A csatornakiosztás lehet **statikus** vagy **dinamikus**
- **Statikus** megosztási módszerek:
  - frekvenciaosztásos (FDM – Frequency Division Multiplexing)
  - időosztásos (TDM – Time Division Multiplexing)
  - kódosztásos (CDM – Code Division Multiplexing)

Hátrány: Nagy állomásszám és/vagy nem egyenletes forgalom esetén a kihasználtság drasztikusan lecsökken.

- **Dinamikus** csatornakiosztás esetén a változó igényeknek megfelelően oszthatjuk ki a csatornahozzáférés jogát.

# MAC – Feltételézések, követelmények

- **Feltételezések** a csatornakiosztás vizsgálatánál:
  - $N$  független állomás, egymással kommunikálnak
  - Egyetlen csatorna, minden állomás ezen ad és vesz
  - **Ütközés:** Ha két keretet időben átlapolódik, a jelek összekeverednek, ütközés lép fel.
  - Az ütközést az összes állomás érzékeli.
  - Folyamatos idő vs. résekre osztott idő.
  - **Csatornafigyelés:** Képesek-e az állomások adás előtt megállapítani, hogy a csatornát már használja-e valaki?



# MAC – Feltételézések, követelmények

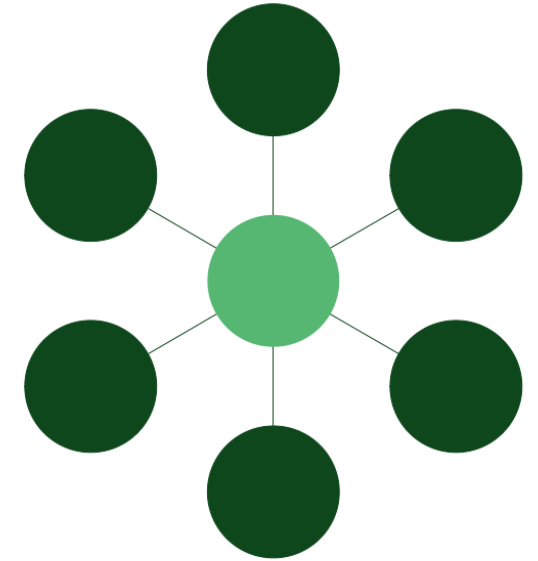
- **Spec. WSN követelmények:**
  - A node-ok aktív részvétele csak az idő kis töredékében biztosítható. (energiatakarékosság)
  - Az frekvenciagenerátorok (MEMS, olcsó kristály) pontossága csekély, így az időosztásos technikák nem hatékonyak.
  - Egyszerűen implementálható (olcsó) megoldások.

# Közeghozzáférési (MAC) technikák

- Vezetéknélküli MAC technikák
  - ALOHA
  - CSMA – Vívőérzékeléses többszörös hozzáférés
  - Lekérdezés (Polling)
  - MD (Mediation Device) protokoll
- Szenzorhálózati megoldások
  - WINS
  - PicoRadio
  - S-MAC

# ALOHA

- Az első, véletlen hozzáférésű vezeték nélküli MAC.
- Csillag hálózati topológia, a központban egy vezérlővel.
- Külön csatornák a be- és kimenő forgalomnak.
- Az állomások a csatornához aszinkron módon férnek hozzá.
- Ütközés után az állomások újra próbálkoznak egy véletlen várakozási idő után.



# ALOHA

- Poisson érkezési folyamat esetén az áteresztőképesség:

$Ge^{-2G}$ , ahol  $G$  a felajánlott forgalom.

- Az elérhető maximális áteresztőképesség:  $1/(2e)=0.184$ .
- Spec: réselt ALOHA-val a csatornakihasználtság javítható
- WSN szempontból a csillag topológia a mester csomóponttal nem megfelelő.

