

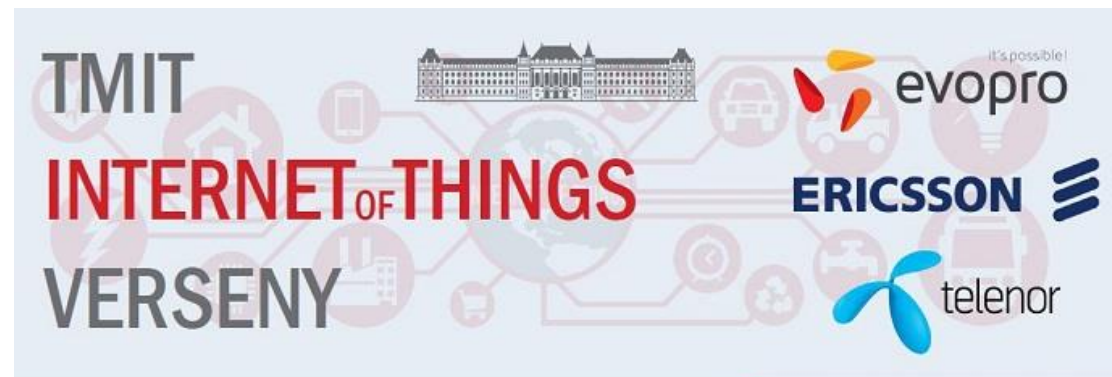


Szenzorhálózatok és alkalmazásaik

Adatkapcsolati réteg. MAC megoldások.

IoT versenyfelhívás

- A pályaműveket **2016. március 10-ig** küldhetitek be az iot-palyazat@tmit.bme.hu címre
- **Egyszemélyes** vagy **2-4 fős csapat**
- **Ötlet legfeljebb egy oldalban**
- **Március 16.:** 6 továbbjutó csapat
- **Április 21.:** prototípusok bemutatása



Fődíj: **250 000 Ft**

Közönségdíj: **100 000 Ft**

A prototípus elkészítéséhez: **6 x 50 000 Ft**

Jelentkezés:
március 10.

<http://www.tmit.bme.hu/iot-verseny-2016>

Adatkapcsolati réteg

Vezetéknélküli MAC technikák

Tartalom

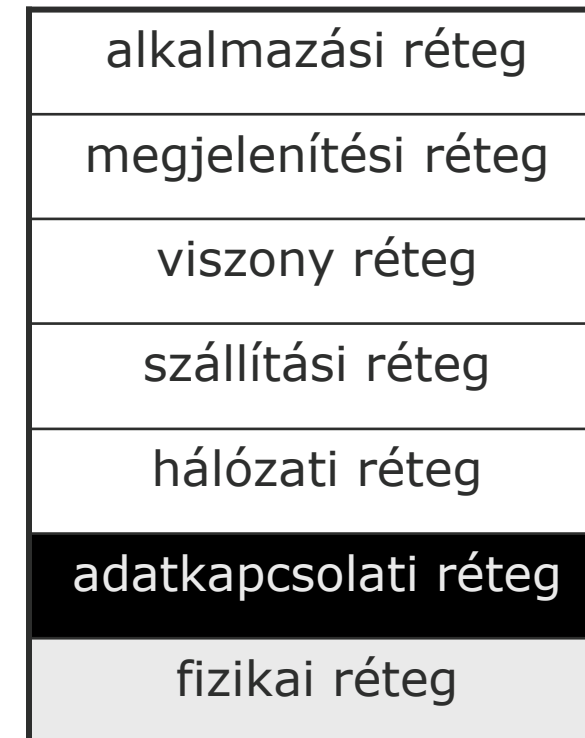
- Adatkapcsolati réteg
- Vezetéknélküli MAC technikák
 - ALOHA
 - CSMA – Vívőérzékeléses többszörös hozzáférés
 - Lekérdezés (Polling)
 - MD (Mediation Device) protokoll
- Szenzorhálózati megoldások
 - WINS
 - PicoRadio
 - S-MAC



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

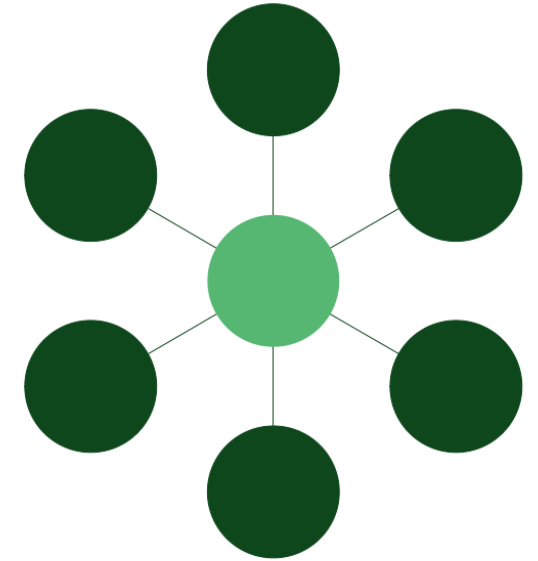
- **Spec. WSN követelmények:**
 - A node-ok aktív részvétele csak az idő kis töredékében biztosítható. (energiatakarékosság)
 - Az frekvenciagenerátorok (MEMS, olcsó kristály) pontossága csekély, így az időosztásos technikák nem hatékonyak.
 - Egyszerűen implementálható (olcsó) megoldások.

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.

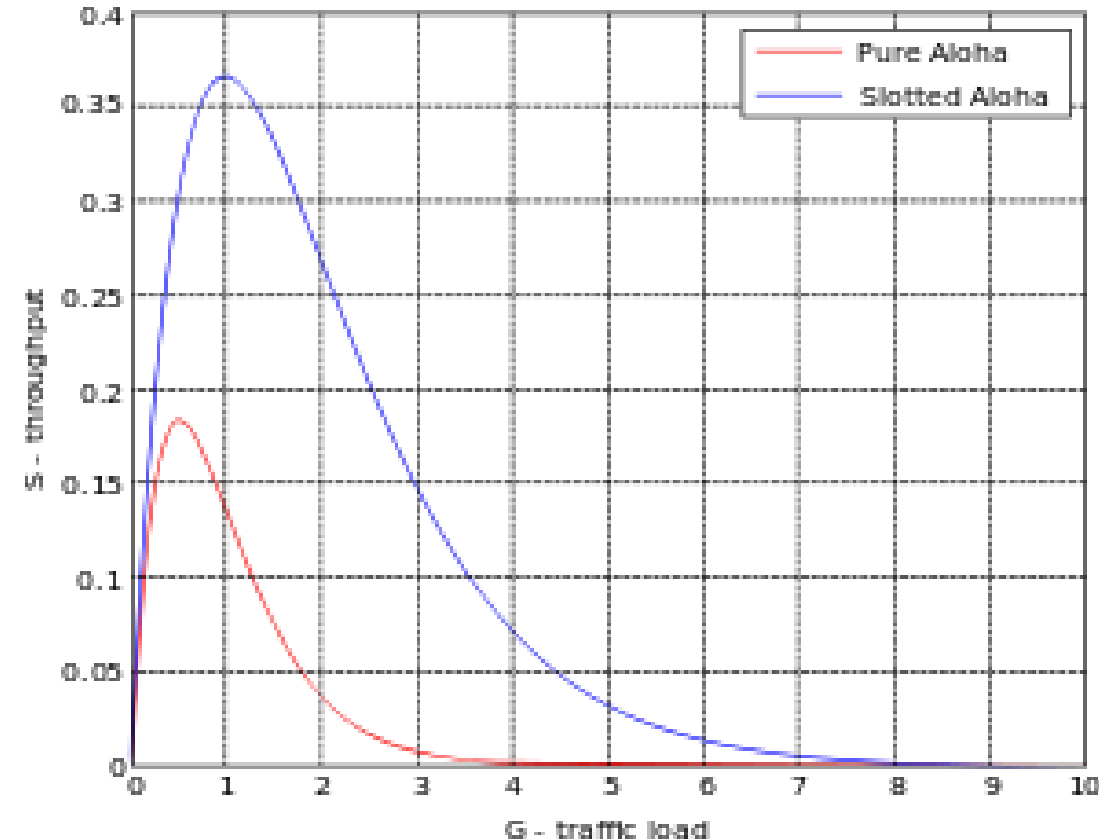


ALOHA

- 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.



CSMA – Vivőérzékeléses többszörös hozzáférés

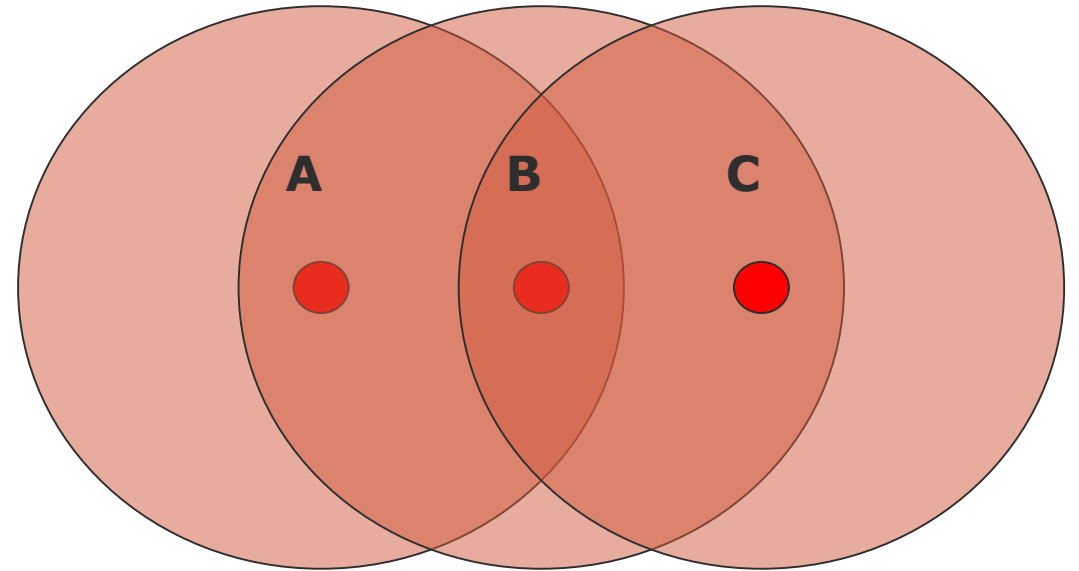
- CSMA alapú protokoll-család, az ALOHA csatorna-kihasználtságán próbál meg javítani.
- **Alapötlet: Minden állomás az adás előtt behallgat a csatornába, és csak akkor kezd el adni, ha a csatorna szabad.**
- nem-perzisztens CSMA:
 - Ha a csatorna szabad, továbbítja a csomagot.
 - Ha a csatorna foglalt, egy véletlen ideig várakozik, majd újra próbálkozik.

Hátrány:

- A várakozás ideje alatt a csatorna kihasználatlan.
- Ha a csatorna szabaddá válik, egyszerre többen is próbálkozhatnak adással.
- p -perzisztens CSMA:
 - Ha a csatorna szabad, p valószínűséggel azonnal ad, $(1-p)$ valószínűséggel viszont várakozik.
 - A p paraméter optimális értéke a forgalom függvénye.

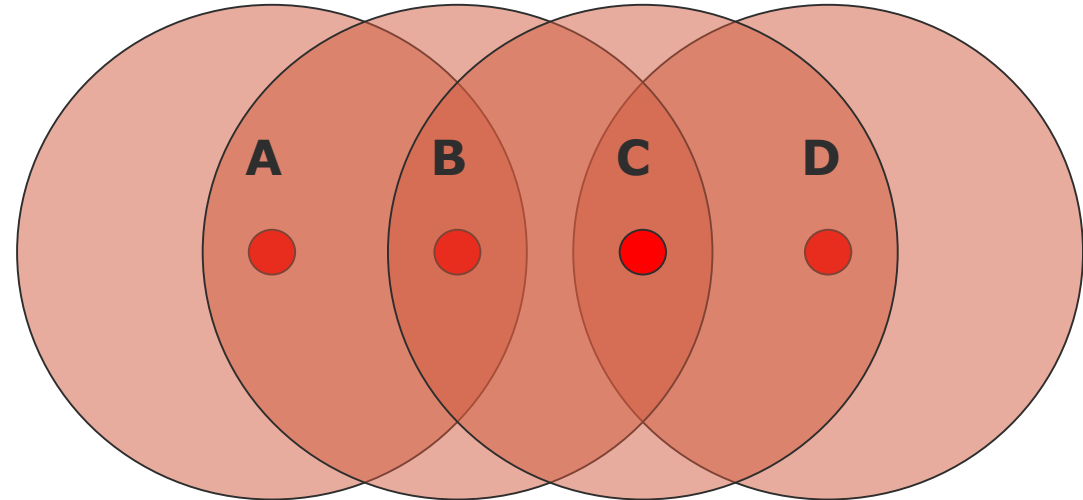
CSMA – rejtett terminál problémája

- A éppen ad B-nek.
- C is szeretne adni B-nek. Belehallgat a csatornába, üresnek találja azt, ezért elkezd adni.
- B-nél interferencia lép fel, a csomagok elvesznek.



CSMA – látható terminál problémája

- B éppen ad A-nak.
- C szeretne adni D-nek. Belehallgat a csatornába, de foglaltnak találja azt, így nem kezd el adni.
- A C-D kommunikáció nem jöhet létre, pedig B nem okozna interferenciát D-nél.



CSMA foglalt jelzéssel

- A rejtett és látható terminál problémája jelentősen rontja a csatornakihasználást WLAN rendszerekben.
- Megoldás: „Foglalt jelzés” adása egy másodlagos csatornán
 - Az éppen csomagot fogadó állomás foglalt jelzést küld egy külön csatornán.
 - Minden állomás adás előtt ellenőrzi a foglalt jelet is.
- Hátrány:
 - A node-oknak képesnek kell lenniük egyszerre adni és venni. (Nagyobb komplexitás, nagyobb fogyasztás, magasabb ár)
 - Nagyobb sáv szélességigény a két csatorna miatt.

MACA – Többszörös hozzáférés ütközés elkerüléssel

- MACA – Multiple Access with Collision Avoidance
- **Ötlet: RTS-CTS („kérés küldéshez” – „szabad küldeni”)**
jelzéscsere a kommunikáció kezdetekor.
 - A küldő egy RTS csomagot küld a célnak.
 - Ha nem foglalt, a cél visszaküld egy CTS csomagot.
 - A küldő elkezd adni.
- További variációk RTS-CTS kézfogásra:
 - CSMA/CA (Collision Avoidance): IEEE 802.11 WLAN szabványban
 - MACAW: Xerox Palo Alto research Center
 - FAMA (Floor Aquisition Multiple Access)



CSMA szenzorhálózatokban

- CSMA alkalmazásakor probléma, hogy az állomásoknak adott ideig hallgatniuk kell a csatornát mielőtt adnának.
- Globális időszinkron hiányában, nagy szomszédszám esetén egy node különböző időkben kell figyeljen a különböző szomszédaira. (Nincs idő „alvásra”.)
- Globális időszinkron egy ad-hoc, multi-hop hálózatban tetszőleges fizikai topológia esetén egyáltalán nem triviális feladat.

Lekérdezés (Polling)

- CSMA alternatívája lehet a lekérdezés (poll).
 - Lekérdezés esetén egy node csak akkor adhat, ha erre engedélyt kap egy mester node-tól.
 - Ez megköveteli, hogy időről időre a mester lekérdezze a node-okat, hogy kívánnak-e adni.
 - Ha egy node jelzi, hogy adni szeretne, a mester kijelöli, hogy mikor teheti ezt meg.
 - Így a mester vezérli a csatorna-hozzáférést.

Lekérdezés (Polling)

- **Előnyök:**
 - **Determinisztikus időzítés**, nincs véletlen késleltetés (azaz a késleltetés ingadozás kicsi).
 - A központosított csatornavezérlés lehetővé teszi a rugalmas, igény szerinti kiosztást (**QoS biztosítása**).
 - A **fair** csatornahozzáférés biztosítható.
 - Mentés a rejtett terminál problémától.

Lekérdezés (Polling)

- **Hátrányok WSN-ben:**
 - A mester node terhelése magas.
 - A node-oknak figyelniük kell a lekérdezésekre, esetlegesen a nemleges választ is továbbítaniuk kell.
 - A node-ok számával arányosan a lekérdezésre szánt idő is növekszik. (Több száz ill. ezer node esetében ez időtrabló!)
 - Az architektúra feltételezi, hogy minden node a mester rádiókörnyezetén belül van (single-hop kommunikáció).

- Megj.: Léteznek kiterjesztések multi-hop esetre is.

Lekérdezés (Polling)

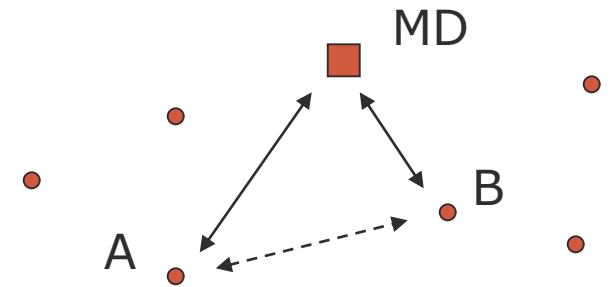
- A **Bluetooth** is lekérdezéses algoritmust használ.
 - Single-hop,
 - maximum 7 slave node,
 - szinkron átvitel (pl. valós idejű hang)
 - Három energiatakarékos mód:
 - HOLD: adott fix ideig alszik, de szinkronban marad
 - SNIFF: időről időre felébred néhány lekérdezésre
 - PARK: hosszabb ideig alszik
- A különböző módok menedzselése messze nem triviális feladat.

MD – Mediation Device protokoll

- Egy node a hálózat üzemideje alatt az idő 99.9%-ában „alszik”

→ A rövid ideg ébren lévő node-ok felfedezése és szinkronizálása a hálózatban nem triviális feladat!

- Lehetséges megoldás: **közvetítő állomás** (MD - mediation device)



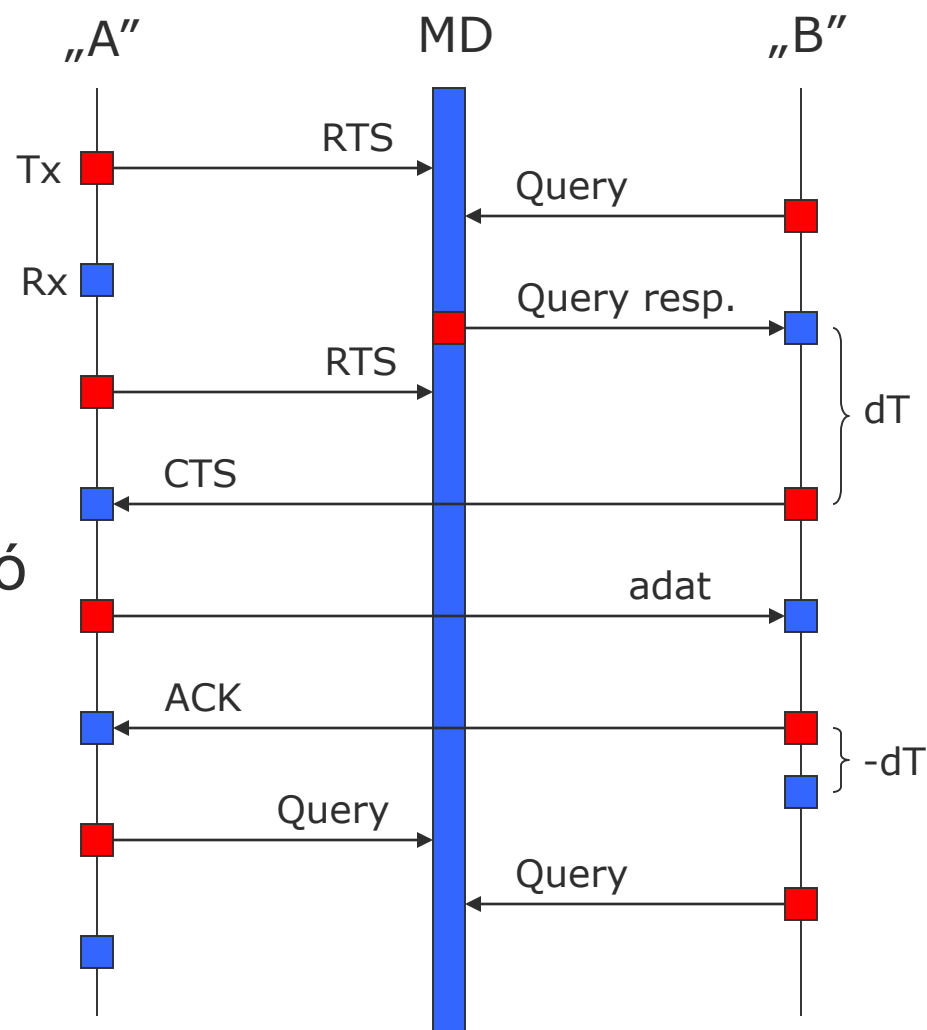
- Az MD közvetít két hálózati csomópont között.
- Képes kontroll üzenetek rögzítésére és továbbadására.
- A csatornát mindig figyeli, van elég energiája.

MD protokoll

- Normál üzemmódban minden node periódikusan (2 mp-enként) küld egy rövid ($< 1\text{ms}$) „beacon” csomagot az MD-nek, majd egy rövid ideig hallgatja a csatornát.
- Query-beacon: node ID, nincs küldenivaló, szabad.
- Az MD veszi az összes node beacon-jét, miközben a node-ok nincsenek szinkronban egymással. (réseletlen ALOHA)
- Ha egy node küldeni akar, a query-beacon helyett RTS-beacon-okat küld periódikusan.
- RTS-beacon: node ID, cél ID

MD protokoll

1. „A” RTS beacon-okat küld MD-nek.
2. Az MD értesíti „B”-t ,
és elküldi „A” időszinkronját.
3. „B” szinkronizálódik „A”-ra, és a
következő RTS csomag után küld
egy CTS csomagot közvetlenül „A”-nak.
4. Egy ACK után kezdődik a kommunikáció
„A” és „B” között.



Elosztott MD protokoll

- Az MD protokoll hátrányai:
 - Minden node rádiótávolságon belül kell legyen.
 - Az MD mindig be van kapcsolva, mindig figyeli a csatornát.
 - A központosított rendszer nem robosztus.
- Megoldás: elosztott MD protokoll
 - Az MD szerepét a node-ok elosztottan megosztva végzik.
 - Minden node időről időre átkapcsol a normál és MD üzemmód között, a többiektől függetlenül, egy véletlen változótól vezérelve.
 - Amikor egy node MD módba kapcsol, egy teljes beacon periódusideig aktív marad, és begyűjti szomszédai adatait (ID, időszinkron).
 - A kommunikáció felépítésében az éppen MD módban működő közvetít

Elosztott MD protokoll

- Előny:
 - Nincs kitüntetett MD node.
- Hátrány:
 - A késleltetés nem fix. (Adás előtt meg kell várni, hogy egy szomszéd MD módba váltson.)
 - Ha egynél több node lép MD módba, a beacon csomagra mindketten válaszolnak, így ütközés lép fel.
- Variációk:
 - Ha egy node MD módba lép és feltérképezi szomszédait, a ciklus végén bejelenti ezt. A további MD módban lévő node-ok hallják ezt, és...
 1. visszatérnek normál módba.
 2. továbbra is figyelik, hogy az első MD milyen beacon csomagokat nyugtáz. Lehetnek olyan állomások is, amelyeket az MD nem hall, csak ők maguk. Ebben az esetben MD-ként viselkednek a fennmaradó node-ok számára.

Közeghozzáférési (MAC) technikák

- Vezetéknélküli MAC technikák
 - ALOHA
 - CSMA – Vívőérzékeléses többszörös hozzáférés
 - Lekérdezés (Polling)
 - MD (Mediation Device) protokoll

- Szenzorhálózati megoldások
 - WINS
 - PicoRadio
 - S-MAC

WINS megoldás

- **Lekérdezéses** megoldás **relatív TDMA** rendszerben.
 - Multi-hop rendszer.
 - Nincs globális „beacon”.
 - A TDMA keret aszinkron a node-ok között.
 - A node-ok páronként megegyeznek egy mindkettőjük által elfogadható időrésben.
- **Hátrányok:**
 - Egy sűrű hálózatban sok aktív, véletlenszerűen allokált időrés lesz a TDMA keretben.
- **Előnyök:**
 - Könnyen implementálható.
 - Alkalmas valós idejű forgalom átvitelére a kontrollált késleltetés-ingadozás miatt.



PicoRadio

- Javaslat egy többcsatornás (~30), **kódosztásos többszörös hozzáférésre (CDMA)**.
 - Minden node és a szomszédai különböző kódokat kapnak.
 - Ortogonalis CDMA kódok esetében nincs csomagütközés.
 - A node-ok aszinkron működésűek, így nincs lehetőség „alvásra”, mindig figyelni kell a csatornát.
- Ultra-low-power „wake-up radio”
 - 1 μW aktív energiafelhasználású
 - Egy egyszerű RF erősítő + szűrő + detektor
 - Figyeli a csatornát, és felébreszti a node-ot ha vesz egy „wake-up” beacon-t.

S-MAC

- Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, „**An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks**”, *Proc. of Infocom 2002*, pp. 1567-1576, New York, USA, June 2002
- Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, „**Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks**”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 12(3):493-506, June 2004

S-MAC

- S-MAC = Sensor Medium Access Control
- Cél: Szenzorhálózatokban alkalmazható MAC protokoll kifejlesztése, amely
 - energiatakarékos,
 - önszerveződő,
 - skálázható és adaptív
 - pl: A hálózat mérete, topológiája, node-sűrűsége változik.
- Megjegyzés: A node „fairness” és az alacsony késleltetés nem elsődleges követelmény.

S-MAC - feltevések

- A modellezés feltevései a szenzorhálózatról és alkalmazásokról:
 - Sok, apró, ad-hoc módon telepített csomópont.
 - Többugrásos (multi-hop) kommunikáció.
 - A kommunikáció főleg egyenrangú csomópont-párok (p2p) között zajlik. (Nem csak egyetlen bázisállomás felé.)
 - A hálózat ön-konfiguráló kell legyen.
 - Az egész hálózat egyetlen alkalmazás céljából jött létre.
 - Pl. Az internet nem ilyen!
 - Az alkalmazás során előfordulnak hosszú tétlen időszakok.
 - Az alkalmazás bizonyos késleltetést elvisel.
 - Pl. nem valós idejű felügyeleti vagy megfigyelő rendszerek.

S-MAC: Az energiapazarlás okai

Az energiafogyasztás szempontjából kritikus kérdések:

- **Ütközések.**
 - Ha egy elküldött csomag megsérül, azt újra kell adni.
 - (A késleltetést is növeli.)
- **Áthallás.**
 - Másnak címzett csomagok vétele.
- **Járulékos kontroll csomagok.**
 - Jelzésinformációk adása és vétele nem „hasznos” adatátvitel.
- **Tétlen figyelés.**
 - Várakozás esetleges adatok fogadására, csatornafigyelés.



S-MAC építőkövek

A 4 fő építőelem:

- **Periodikus figyelés és alvás.**
- **Ütközés elkerülése.**
- **Áthallás elkerülése.**
- **Üzenet továbbadás.**
 - Hosszú üzenetek hatékony továbbítására.

(folyt. köv.)