



Szenzorhálózatok

Szenzor MAC (folyt.), Hálózati réteg,
topológia, útvonalválasztás (2011.10.26)

Vidács Attila

Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

I.B.228, T:19-25, vidacs@tmit.bme.hu

Közeghozzáférési (MAC) technikák



- S-MAC (ism)

- S-MAC teljesítményelemzés



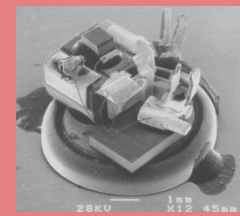
- Hálózati réteg

- WSN topológia
- Útvonalválasztás



Ütközés elkerülés (ism.)

- Az ütközések elkerülése a MAC protokoll egyik alapvető feladata.
- S-MAC eljárásai az ütközés elkerülésére:
 - Az IEEE 802.11 vivőérzékeléses eljárását alkalmazza a fizikai rétegben.
 - Az RTS-CTS mechanizmust alkalmazza a rejtett terminál problémájának elkerülésére.
 - Alkalmaz egy **virtuális vivőérzékeléses** eljárást is.
- Virtuális vivőérzékelés:
 - Ha egy állomás veszi egy nem neki címzett csomag fejrészét, akkor abból ki tudja olvasni a csomag hosszát.
 - Az adott időtartamig a csatornát foglaltnak tekinti anélkül, hogy közben megvizsgálná azt.
- Üzenetszórás (SYNC) esetén nincs RTS-CTS (?)
- Adatkommunikáció: RTS/CTS/DATA/ACK



Áthallás elkerülése (ism.)

- Az IEEE 802.11 szerint minden állomás figyeli a szomszédai adásait, hogy hatékony virtuális vivőérzékelést végezhesen.
 - A sok „felesleges” csomag vétele energiapazarló, különösen nagy node-sűrűség és nagy forgalom esetében.
- S-MAC az áthallások csökkentésére egy állomás aludni megy, ha hall egy RTS vagy CTS csomagot.
 - Így nem kell feleslegesen vennie egy (esetlegesen) hosszú adatcsomagot és az ACK csomagot.
- Pl. „A” ad „B”-nek. Kérdés: *Kinek kell aludni?*

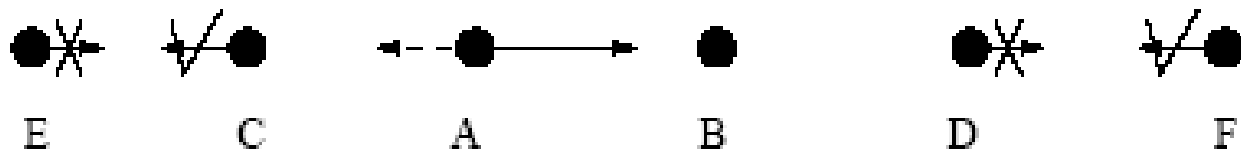
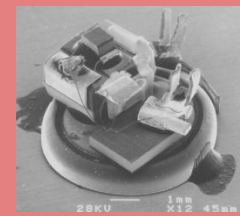


Fig. 4. Who should sleep when node A is transmitting to B?

- Válasz: Mind az adó, mind a vevő közvetlen szomszédjának. (Interferencia a vevőnél lép fel!)

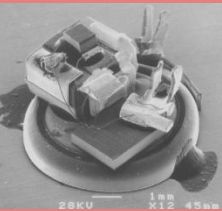
Üzenet továbbadás (ism.)

- Kérdés: Hogyan lehet egy hosszú adatcsomagot továbbítani energiatakarékosan és lehetőleg kis késleltetéssel? (?)
- Két lehetséges megoldás:
 1. Egyben továbbítjuk.
Hátrány: Ha néhány bit meghibásodik, az egész csomagot újra kell küldeni.
 2. Szegmensekre bontva továbbítjuk.
Hátrány: Nagy „overhead” a kontrollcsomagok miatt. (Minden szegmenshez szükség van egy RTS/CTS/ACK csomagra.)
- Ötlet: S-MAC esetén az üzenetet kis szegmensekre bontjuk, majd a szegmenseket börstben küldjük el.
 - Az összes szegmenshez egyetlen RTS-CTS pár tartozik.
 - Az RTS csomag az egész börst küldéséhez szükséges időt jelzi.



Energiatakarékosság kontra késleltetés

- A csomag-késleltetés összetevői multi-hop hálózatokban:
 - **Vivőérzékelés késleltetése.**
 - **Visszatartási idő:** Ha egy állomás foglaltnak találja a csatornát, várakozni kényszerül.
 - **Átviteli késleltetés.** A csatornkapacitás, csomaghossz és kódolás függvénye.
 - **Terjedési késleltetés.** Az adó és vevő távolságának függvénye. (Szenzorhálózatokban elhanyagolható.)
 - **Feldolgozási késleltetés.** Egy állomásnak (bizonyos mértékben) fel kell dolgoznia a csomagot továbbítás előtt. A node számítási kapacitásának függvénye.
 - **Sorbanállási késleltetés.** A forgalom intenzitásának függvénye.
- S-MAC esetében egy további késleltetést okoz az állomások inaktív periódusa (**alvási késleltetés**).



Energiatakarékosság kontra késleltetés

- Egy teljes periódus (keret) hossza:

$$T_{frame} = T_{listen} + T_{sleep}$$

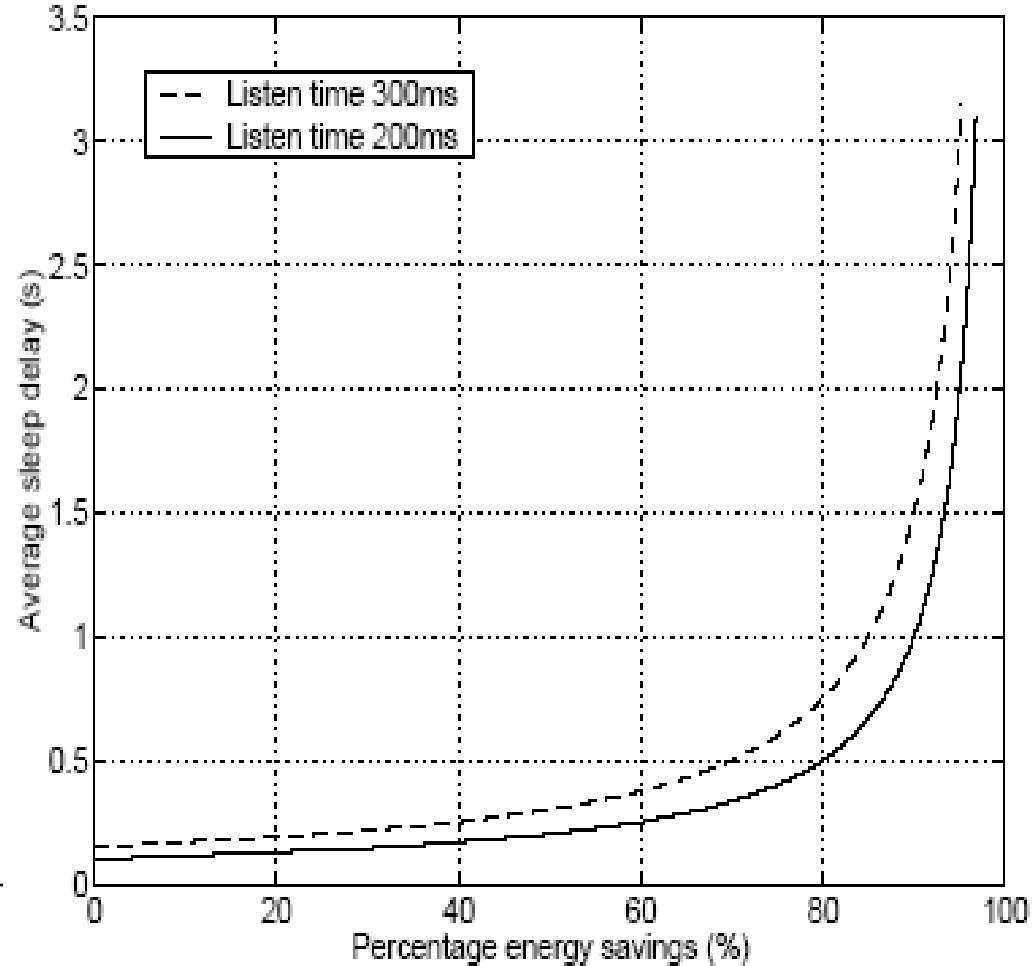
- Átlagos alvási késleltetés:

$$D_S = T_{frame} / 2$$

- Relatív energia-megtakarítás:

$$E_S = \frac{T_{sleep}}{T_{frame}} = 1 - \frac{T_{listen}}{T_{frame}}$$

Delay vs. energy savings



S-MAC implementációs kérdések

□ Rene Motes

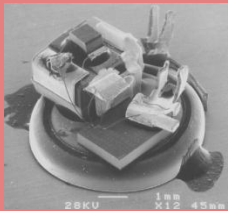
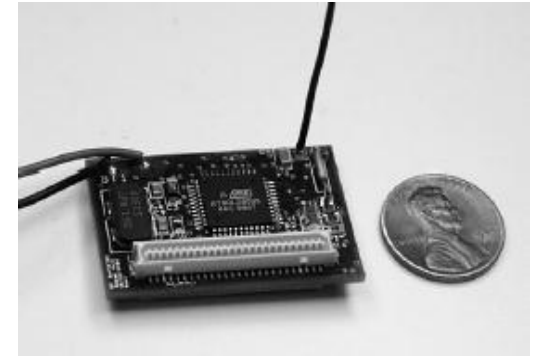
- Atmel AT90LS8535 mikrokontroller
- 8kbytes flash
- 512 bytes data memory

□ RF Monolithics TR1000 rádió

- 19.2 kbps
- Rx/Tx/sleep: 4.5mA/12mA/5 μ A

□ TinyOS

- 38 byte-os csomagok
- új CTRL csomagtípus (8byte)



Implementált MAC protokollok

1. Egyszerűsített IEEE 802.11

- fizikai és virtuális vivőérzékelés
- visszatartás (backoff) majd újra próbálkozás
- RTS/CTS/DATA/ACK
- szegmentálás támogatása
- Nincs alvó mód, a rádió vagy figyel, vagy ad.

2. Üzenet továbbadás áthallás elkerüléssel

- Egy állomás alvó módba kerül, ha egy szomszédja ad.

3. Teljes S-MAC

- Periódikus figyelés-alvás ciklus. (aktív/alvás: 300ms/1sec)
- Ütemezés frissítése 10 ciklusonként (SYNC csomagok)
- Csak a rádió alszik, a mikrokontroller nem.



Vizsgálatok

- Fő cél az energiafelhasználás vizsgálata mindhárom implementált MAC protokoll esetében.
- A vizsgált topológia:

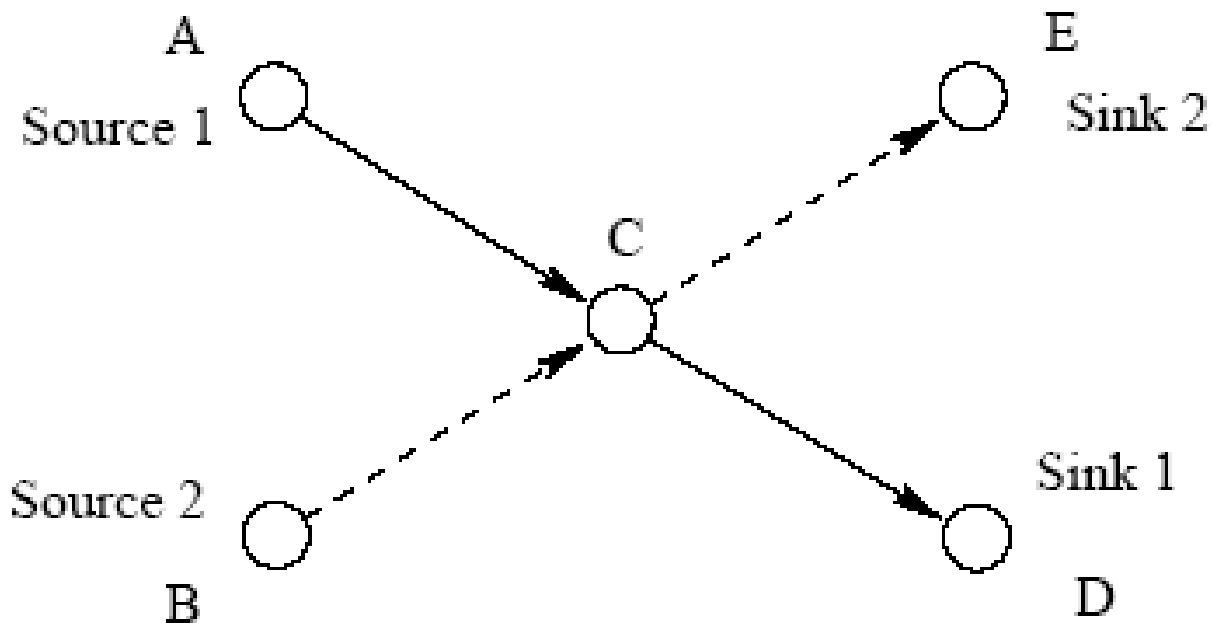


Fig. 7. Topology used in experiments: two-hop network with two sources and two sinks.

Vizsgálatok

- Az „A” és „B” források periódikusan generálnak üzeneteket.
- Mindhárom protokoll borsztben küldi a szegmenseket egyetlen RTS/CTS csomagpárral.
- Az üzenetek között eltelt idő változtatásával állítható a forgalom intenzitása. (1mp-10mp)
- Egy teszt során egy állomás 10 üzenetet küld, mindegyik üzenet 10 szegmensből áll. (200 szegmens/teszt)
- 10 független teszt minden kísérletnél.
- Megfigyelések:
 - Mennyi időt töltött egy állomás csomag továbbításával?
 - Mennyi ideig volt a rádiója bekapcsolva?
- Energiafelhasználás: idő x teljesítmény
 - Rx/Tx/sleep: 13.5mW/24.75mW/15μW
 - Nincs különbség figyelés és vétel között.



Eredmények – átlagos energia

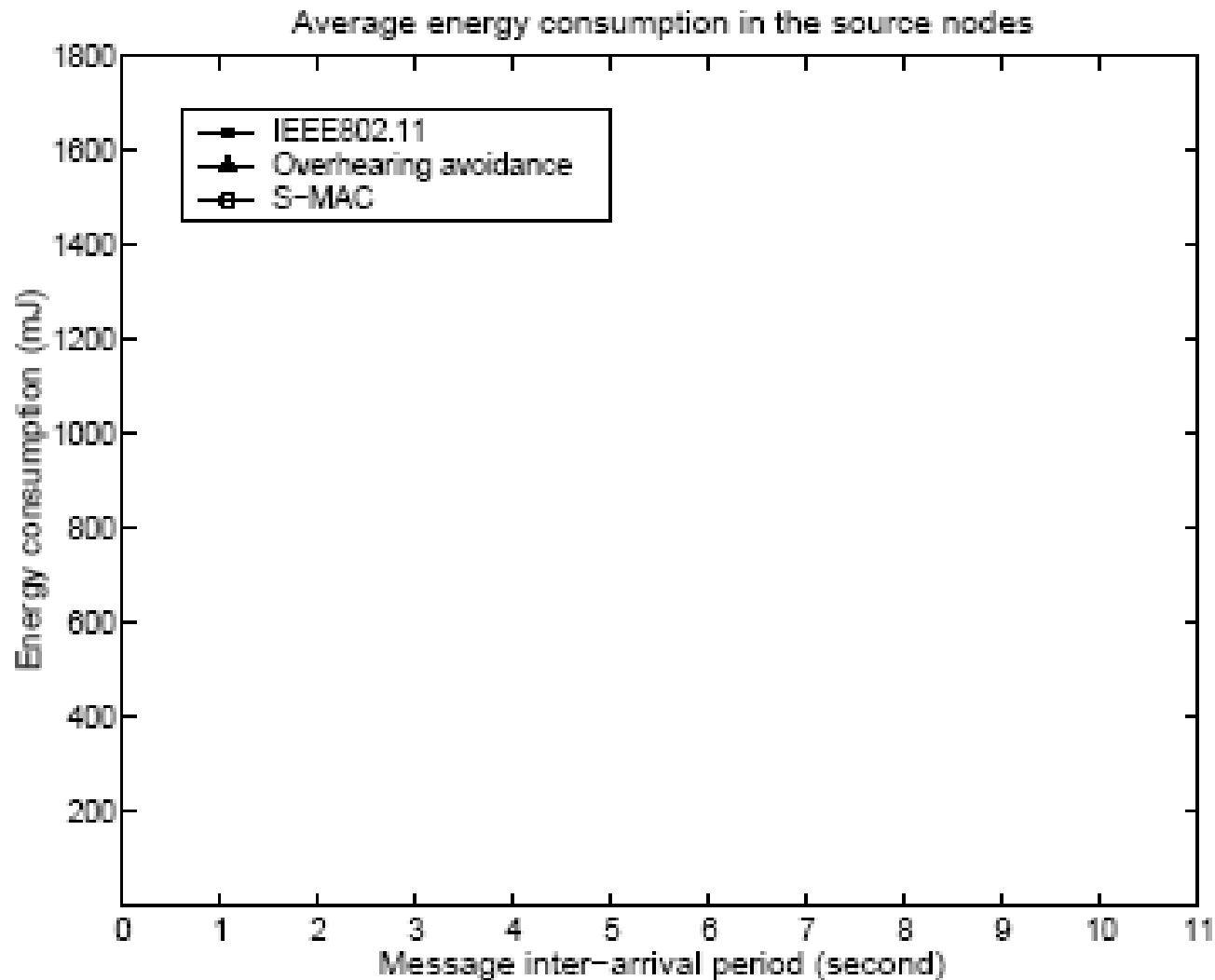


Fig. 8. Measured energy consumption in the source nodes.

Eredmények – átlagos energia

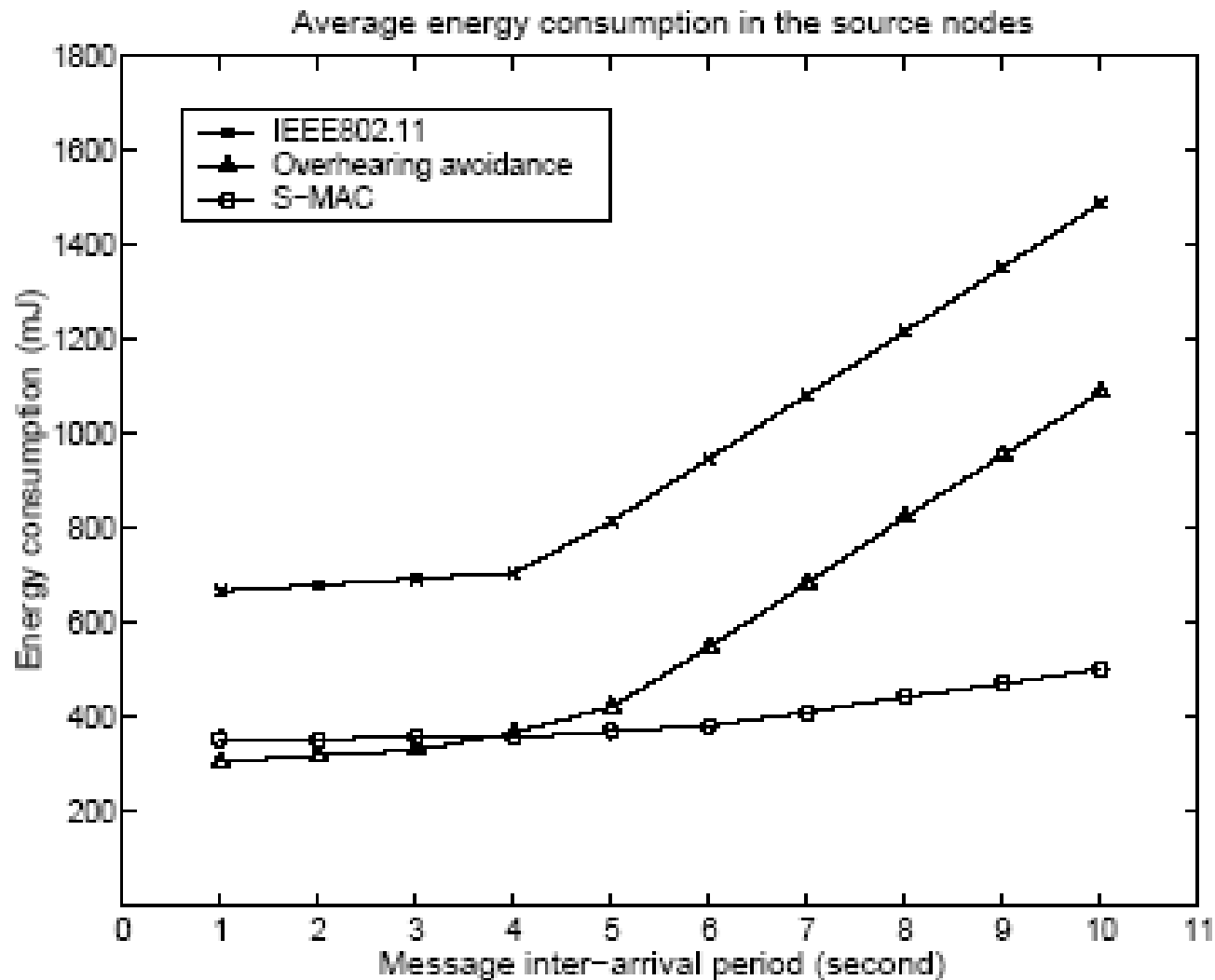


Fig. 8. Measured energy consumption in the source nodes.

Eredmények és értékelés

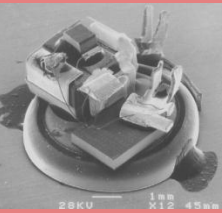
- Átlagos energiafelhasználás a forrás csomópontokban.

Nagy forgalom esetén (IAT < 4mp)

- 802.11 kb. kétszer annyi energiát használ, mint az S-MAC.
- A nagy forgalom miatt alvásra alig jut idő.
- Az S-MAC megtakarítása az áthallás elkerüléséből adódik, amikor az állomás kikapcsol, ha a szomszédja ad.

Kis forgalom esetén (IAT > 4mp):

- Az alvás energiamegtakarítása válik dominánssá.
- Az S-MAC mindkét protokollnál jobban teljesít.



Eredmények – alvással töltött idő

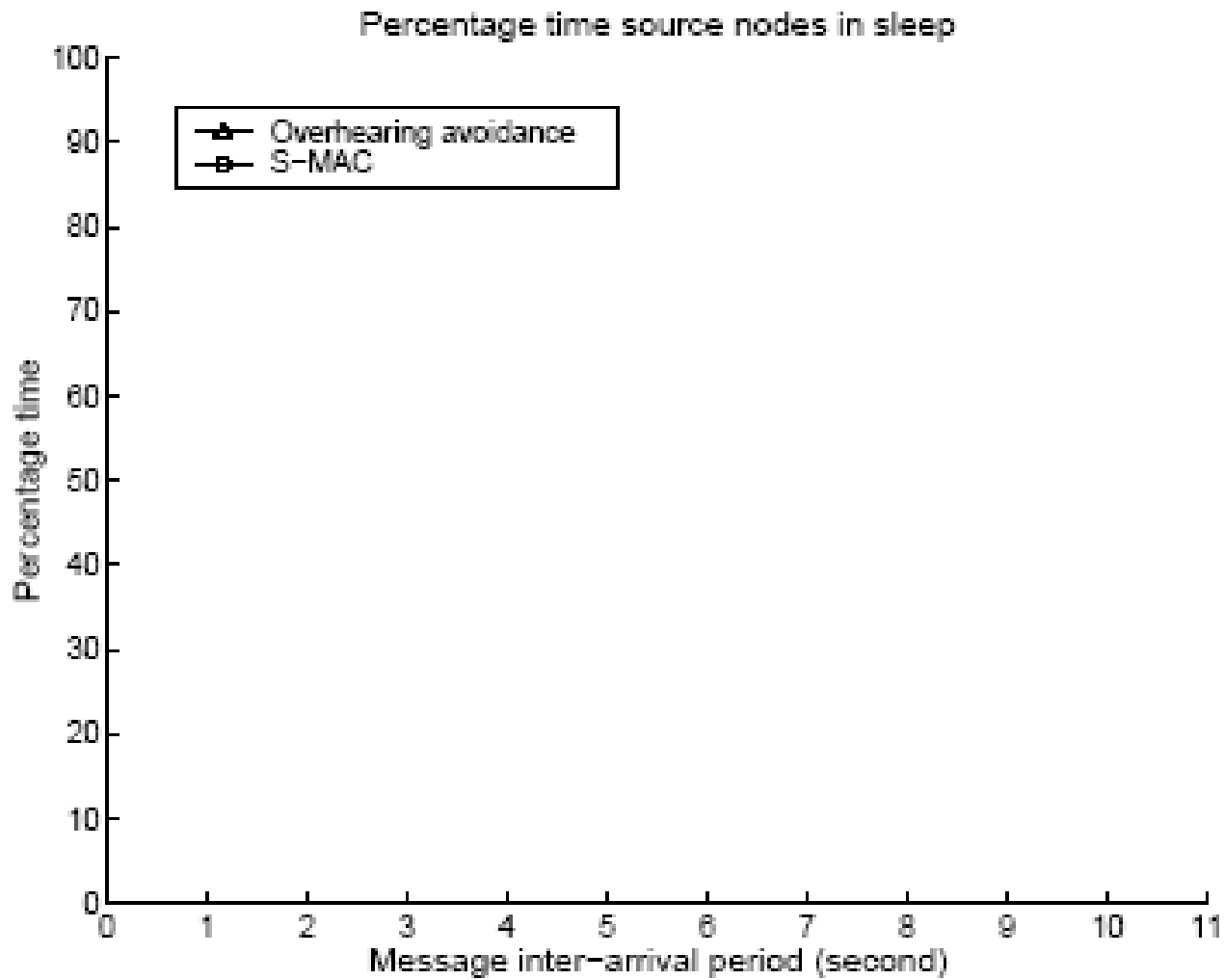


Fig. 9. Measured percentage of time that the source nodes in the sleep mode.

Eredmények – alvással töltött idő

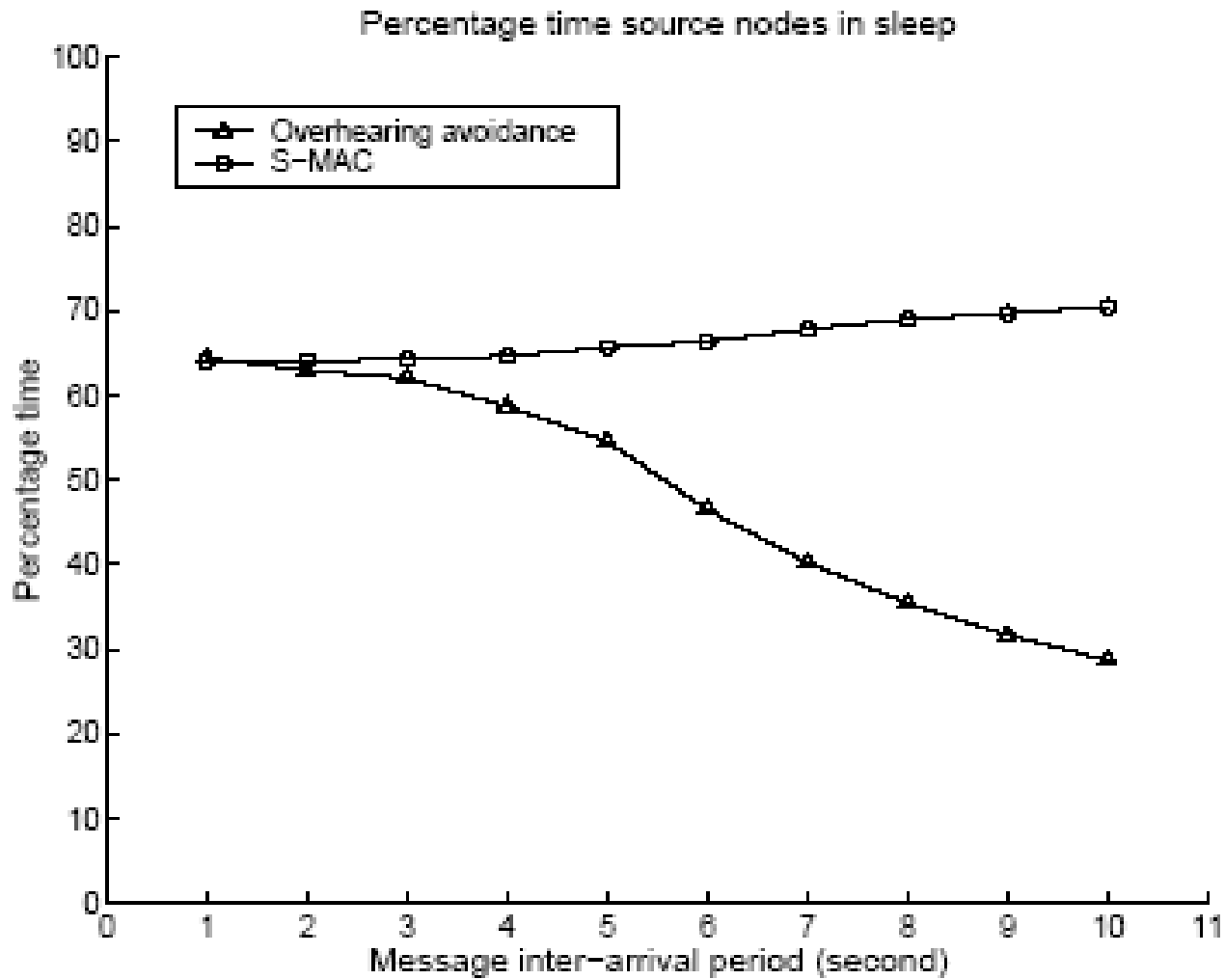
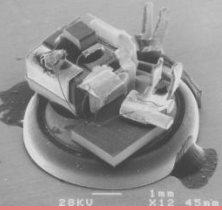


Fig. 9. Measured percentage of time that the source nodes in the sleep mode.

Eredmények és értékelés

□ Alvással töltött idő.

- A forgalom csökkenésével S-MAC esetében növekszik az alvással töltött idő.
- Áthallás elkerülés esetén az alvási idő csökken(!) a forgalom csökkenésével. Ennek magyarázata, hogy az alvást felváltja a tétlen figyelés.



Eredmények – energia a köztes állomásnál

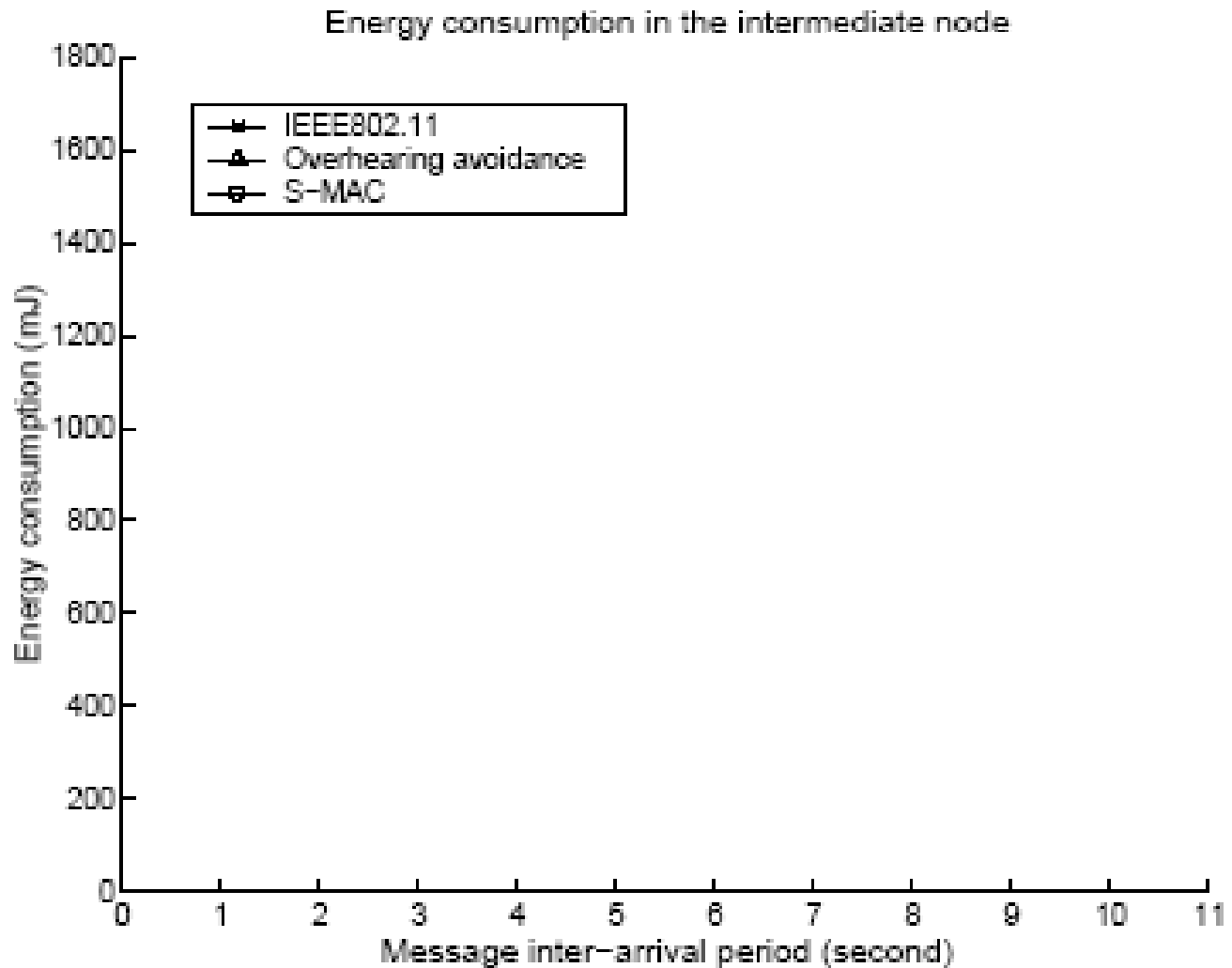


Fig. 10. Measured energy consumption in the intermediate node.

Eredmények – energia a köztes állomásnál

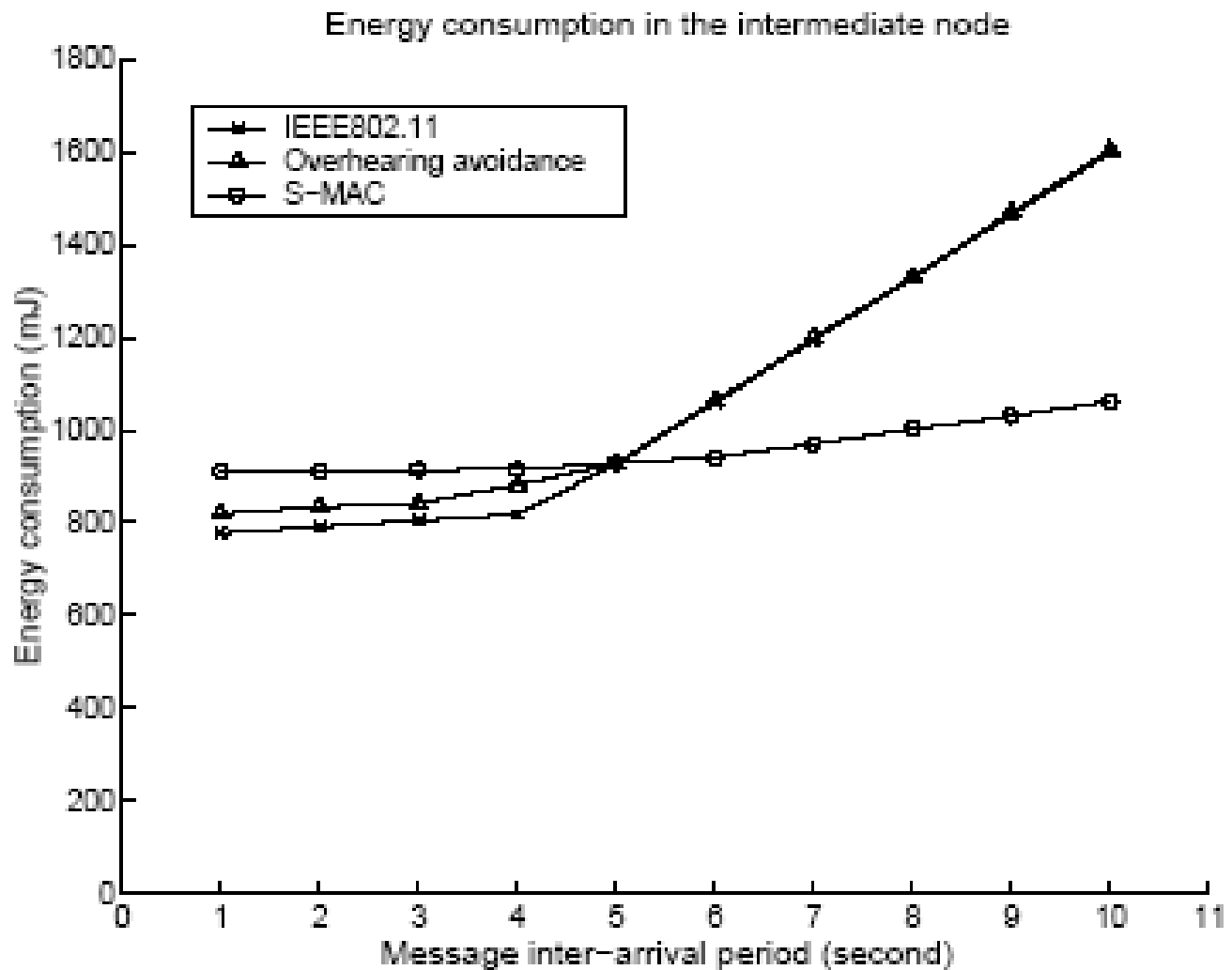


Fig. 10. Measured energy consumption in the intermediate node.

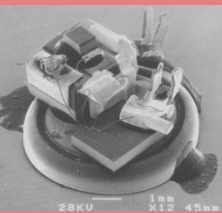
Eredmények és értékelés

□ Energiafelhasználás a köztes állomásban

- Nagy forgalom esetén az S-MAC több energiát használ, mint a 802.11. Ennek oka: SYNC üzenetek adása és vétele.
- Kis forgalom mellett van lehetőség alvásra, itt az S-MAC jobban teljesít.

Összegezve:

- A periódik ébrenlét/alvás nem segít, ha a nagy forgalom miatt nincs idő aludni.
- Az üzenet továbbadás és az áthallás elkerülés minden forgalmi helyzetben hatékony.



Közeghozzáférési (MAC) technikák



- S-MAC (ism)

- S-MAC teljesítményelemzés



- Hálózati réteg

- WSN topológia
- Útvonalválasztás



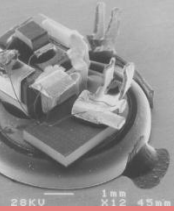
Hálózati réteg

□ A hálózati réteg feladatai:

- Vég-vég hálózati kapcsolat létrehozása és karbantartása bármely két hálózati csomópont között.
- A hálózat működésének szabályozása.
- Útvonalválasztás.
- Forgalm szabályozás, QoS biztosítás.
- ...

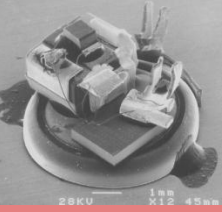
ISO OSI

alkalmazási réteg
megjelenítési réteg
viszony réteg
szállítási réteg
hálózati réteg
adatkapcsolati réteg
fizikai réteg



Hálózati réteg tervezési kérdései

- A szenzorhálózatok hálózati rétegének két, egymással szorosan összefüggő fontos területe:
 - A hálózat struktúrája (topológia)
 - A hálózaton belül az üzenetek továbbítására használt algoritmus (routing)

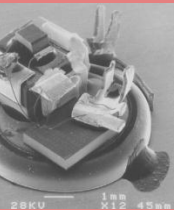


WSN topológiája

- Mivel tipikusan a szenzorhálózatok önszerveződő ad-hoc hálózatok, a hálózati struktúra „nem tervezhető”.
- A fizikai összeköttetések (linkek) véletlenszerűen jönnek létre, véletlen (fizikai) topológiát alkotva.
- A logiai topológia kialakítása azonban fontos!
 - Különös tekintettel a skálázhatóságra.

Elosztott (flat) struktúra

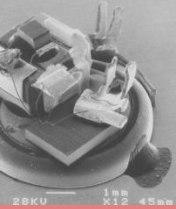
- Nincs kialakított logiai struktúra, minden node részt kell vegyen a hálózat vezérlésében.
- Mivel a node-ok csak a szomszédaikról rendelkeznek közvetlen információval, időről időre terjeszteniük kell ezt az információt a hálózatban.
 - Pl. periódikusan minden állomás szétküldi az általa tárolt routing táblát.
- Hátrány: skálázhatatlan! (pl. több ezer node esetén...)



WSN topológiája

Klaszterezés

- A hálózatot ún. **klaszterekre** (cluster) bontjuk úgy, hogy minden node legalább egy klaszterben szerepeljen.
- Minden klaszternek vagy egy **vezérlője** (cluster head), amely állomás vezérli a klaszteren belüli node-okat.
- **Átjáró** (gateway) állomások biztosítják a klaszterek közötti kommunikációt.
- Jobban skálázható.
- Probléma: Minden klaszter ismeri a szomszéd klasztereket, de honnan értesül a távolabbi klaszterekről?
 - Ugyanazon probléma egyvel magasabb hierarchiaszintre került!
- Megoldás: A klaszter vezérlők hierarchikus fába szervezése.

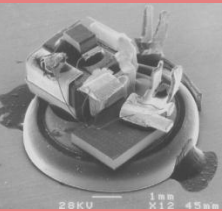


WSN topológiája

Klaszterezés (folyt.)

- A klaszterek optimális kialakítása nem egyszerű
 - „NP-nehéz”, de $O(n^2)$ heurisztikus klaszterképző eljárások is léteznek

- További probléma, hogy a klasztervezérlők (sokkal!) nagyobb terhelésnek vannak kitéve.
 - Megoldás: A vezérlő szerepét időnként cserélik.

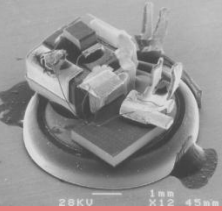


Szenzorhálózatok sajátosságai

- A hálózati csomópontok (szenzorok) nagy száma:
 - **Nem lehetséges a globális címzés**, mert nem menedzselhető önálló ID minden node számára.
 - Következmény: A „hagyományos” IP alapú protokollok nem(?) alkalmazhatóak.

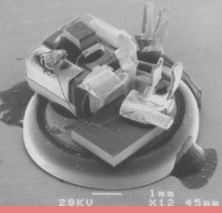
- A szenzorok ad-hoc módon telepítettek:
 - A hálózatnak **önszerveződőnek** kell lennie.
 - Meg kell birkóznia az esetleges **véletlenszerű** node-eloszlással.
 - Biztosítani kell a **felügyelet nélküli** működést.

- Tipikusan a szenzorok stacionáriusak a telepítés után.
 - Ellentétben a mobil ad-hoc hálózatokkal, ahol az állomások szabadon mozoghatnak.
 - Alkalmazástól függően lehet néhány mobil állomás is (tipikusan alacsony mobilitással).



Szenzorhálózatok sajátosságai

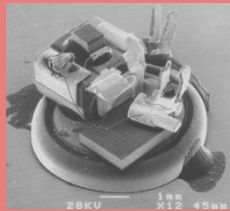
- Tipikusan több forrástól (szenzortól) áramlik az információ egy nyelő (bázisállomás) felé.
 - De lehet akár multicast, vagy peer-to-peer forgalom is!
- A szenzorok erősen energia-, számítási- és tárolási-kapacitás korlátozottak.
 - Hatékony **erőforrás-menedzsment** szükséges.
- A szenzorhálózatok alkalmazás specifikusak.
 - A tervezési követelmények alkalmazásról alkalmazásra változnak.
Pl. precíziós felügyeleti rendszerek kontra periódikus időjárás-monitorozás.



Szenzorhálózatok sajátosságai

- A **helytudatos működés** fontos, tipikusan az adatgyűjtés elhelyezkedéshez kötötten történik.
 - Pl. a GPS hardver alkalmazása nem lehetséges, mert túl költséges.
 - A helymeghatározás tipikusan háromszögelésen és jelszint mérésen alapul, referenciapontok segítségével.
- A forgalmazott adatok tipikusan **redundánsak**.
 - Pl. Több szenzor érzékel és küld adatokat ugyanarról a jelenségről.
 - A redundancia kihasználható útvonalválasztáskor.
- A legtöbb szenzorhálózat **adatcentrikus**.
 - Az adatokra bizonyos attribútumok alapján vagyunk kíváncsiak. (Pl. Hol magasabb a hőmérséklet, mint 40 fok?)

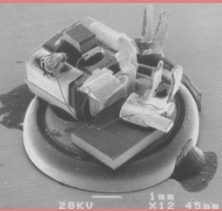




Útvonalválasztás

Routing feladata, definíciója

- Egy igény felmerülésekor a hálózatnak 3 kérdést kell megválaszolnia:
 1. Létezik-e útvonal a két csomópont között? (routing)
 2. Megengedett-e a használata? (forgalomszabályozás)
 3. Ha 1-re nemleges a válasz, mit kell tenni?
- Routing = szabályok + adatok
 - Szabályok: Döntés, hogy melyik útvonalon továbbítódjék az üzenet.
 - Adatok: A döntés meghozatalához szükséges info.
- Döntés helye szerint: **centralizált** vagy **elosztott**
- **Adaptivitás**: Képes-e alkalmazkodni a hálózat állapotához.



Routing protokollok csoportosítása

□ Hálózati struktúra szerint:

- elosztott (flat)
- hierarchikus
- elhelyezkedés alapú

□ Protokoll működése alapján:

- többutas (multipath-based)
- lekérdezésen alapuló (query-based)
- megállapodáson alapuló (negotiation-based)
- szolgálatminőségi (QoS-based)
- koherens (coherent-based)

(ld. következő előadás(ok))

