



# Szenzorhálózatok és alkalmazásaik

---

Útvonalválasztás (hierarchikus routing). Lokalizáció.

# Útvonalválasztási paradigmák

- Hálózati struktúra alapú protokollok
  - Elosztott (flat)
  - **Hierarchikus**
    - LEACH, **TEEN**, **APTEEN**
  - Elhelyezkedés alapú (location based)



# TEEN

- TEEN = Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network protocol
- Klaszter alapú megoldás.
- Reaktív.
- Időkritikus alkalmazásokhoz javasolták.
- Alapötlet: A szenzorok folyamatosan figyelik környezetüket, de csak akkor küldenek adatot, ha a mért érték egy bizonyos küszöbérték felett van.

# TEEN

- A protokoll működése:
  - A klasztervezérlő egy „kemény” és egy „puha” küszöbértéket küld a hozzá tartozó szenzoroknak.
  - Ha egy szenzor által mért mennyiség a kemény küszöb felett van, bekapcsolja rádióadóját és elküldi az adatot a vezérlőnek, majd tárolja azt magának is.
  - A továbbiakban csak akkor küld adatot, ha
    1. az adatküldés után a mért érték továbbra is a kemény küszöb felett van, és
    2. az új mérés eredménye a puha küszöbértéknél jobban eltér a tárolt értéktől.
- Ha változik a klasztervezérlő, új küszöbértékeket küld szét a klaszteren belül.

# TEEN

- Előnyök:
  - Energiatakarékos megoldás.
  - A kemény küszöb miatt csak a minket érdeklő adatokat mérjük.
  - A puha küszöb állításával egy kompromisszum állítható be a pontosság és az adatforgalom mennyisége között.
  
- Módosítás: APTEEN – Adaptive Periodic TEEN

# APTEEN

- Hibrid protokoll: küszöbértékek + periodicitás
- A klasztervezérlő által küldött paraméterek:
  - Attribútum (fizikai mennyiség)
  - Küszöbértékek: kemény és lágy küszöb
  - TDMA ütemezési információ
  - Max periódusidő
- A küszöbértékek használata u.a. mint a TEEN esetén.
- Minden node a számára kijelölt TDMA időrésben küldhet adatot.
- Minden node-nak legalább periódusonként egyszer kell mérnie és adatot küldenie. (proaktív működés)

# APTEEN

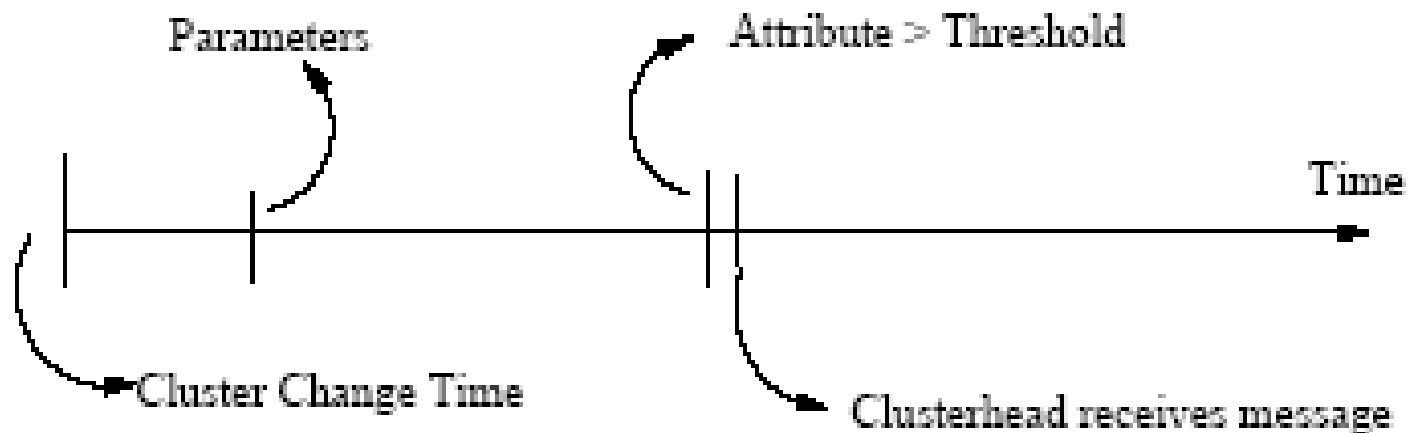
## Előnyök:

- Rugalmasan paraméterezhető.
- Reaktív és proaktív működés.

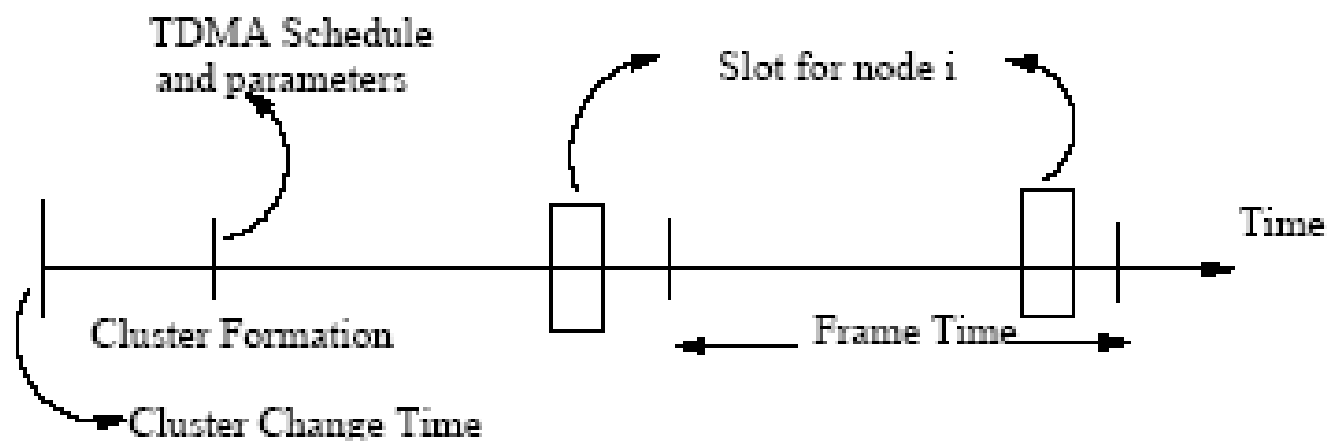
## Hátrányok:

- Komplexitás (küszöbértékek és periódusidő)
- Klaszterképzés és vezérlő-választás.

# TEEN és APTEEN



(a) operation of TEEN



(b) operation of APTEEN



# Útvonalválasztási paradigmák

- Hálózati struktúra alapú protokollok
  - Elosztott (flat)
  - Hierarchikus
  - **Elhelyezkedés alapú (location based)**



# Elhelyezkedés alapú útválasztás

- A node-okat **helyzetük alapján címezhetjük** meg.
- Szükség van a node-ok helyzetének ismeretére.
  - GPS (drága!)
  - Távolság mérhető a vett rádiójel erősségéből vagy egyéb (pl. akusztikus) úton.
  - Háromszögelés.

# Lokalizáció

---

Taxonómia, módszerek, nyomkövetés

# Tartalom

- A lokalizációról (taxonómia)
- Lokalizációs módszerek, nyomkövetés



# Lokalizáció szenzorhálózatokban

- A legtöbb alkalmazás megköveteli a **helytudatos működést!**
  - Pl. környezet-monitorozás, jármű nyomkövetés, stb.
- Helytudatos működéssel **energia is spórolható**
  - Pl. elhelyezkedés-alapú útvonalválasztás
    - Nincs szükség útvonal felderítésre
- A GPS használata messze túl költséges szenzorhálózati node-okban!

# Lokalizáció – taxonómia

- A lokalizációs információ lehet...
  - **fizikai**
    - Pl: Épület elhelyezkedése: 47°39'17"N 122 °18'23"W 20.5m
  - **szimbolikus**
    - Pl: „a konyhában”, „Berlin felé tartó vonaton”, ...
- Fizikai lokalizációs információt nyújtó rendszer kibővíthető szimbólikus lokalizációs infók nyújtására.
  - Pl. **Adatbázis**, ahol a fizikai lokációhoz egyéb információkat/szolgáltatásokat rendelhetünk.
  - Sokszor pont ezért használjuk!



# Lokalizáció – taxonómia

- A különféle információs rendszerek együtt is használhatók lokalizációra.
  - Pl. GPS a vonatban + jegyfoglalási adatbázis + személyes naptárbejegyzések -  
> adott személy pozíciójának meghatározása

# Lokalizáció – taxonómia (folyt.)

- Abszolút vs. relatív pozíció
  - **Abszolút** rendszerekben közös referencia grid használata (pl. GPS – földrajzi szélesség, hosszúság, magasság)
  - **Relatív** rendszerekben akár objektumonként más-más referencia keret. (pl. relatíve saját magához képest)
- Abszolút pozíció könnyen átalakítható (egy másik ponthoz képest) relatív információvá, és viszont.
  - Pl: Domorzati viszonyok feltérképezése háromszögelési pontok segítségével, majd egy referencia-magassági pont hozzáadásával.
- Kivétel: Az abszolút  $\leftrightarrow$  relatív nem megy, ha a referenciapontunk pl. mobil, a(z abszolút) pozícióját nem ismerjük.



# Lokalizáció – taxonómia (folyt.)

- „**Lokális lokalizáció**”: A meghatározandó objektum saját maga határozza meg a pozícióját, rajta kívül más ezt nem tudja megtenni.
  - Előnyös lehet a biztonság (privacy) szempontjából.
  - PI: GPS
- Más esetben a meghatározandó objektumnak (telemetrikus vagy egyéb) adatokat kell szolgáltatnia egy külső infrastruktúrának.
  - PI: jeladó badge-ek, RFID tag-ek
- Sok esetben a lokalizációs információ személyes és védendő adatnak számít!

# Lokalizáció – taxonómia (folyt.)

- **Pontosság** (accuracy) vs. **precízió** (precision)
  - Pl. Egy GPS vevő képes mérésenként 10 m-es pontosság meghatározására az esetek 95%-ában.
- A megkövetelt pontosság nagyon alkalmazásfüggő!
  - Pl: „*Merre vándorolnak telente a hosszúszárnyú bálnák?*”
  - vagy: „*Melyik szobában voltam dél körül?*”
  - vagy: „*A légtér melyik köbcentiméterében helyezkedett el a mutatóujjam körme 12:01:59.412-kor?*”
- Tipikusan a megkövetelt pontosság csökkentésével nagyobb megbízhatóság (precízió) érhető el.

# Lokalizáció – taxonómia (folyt.)

- **Költség** – szenzorhálózatoknál fontos!
  - „Időben”: telepítés folyamata + adminisztráció a működés során
  - „Térben”: infrastruktúra + egyedi hardver node-onként
- **PI: GPS** esetében műholdak telepítése + menedzsmentje (US Air Force) + GPS vevő/node + esetleges földi kiegészítő infrastruktúra
- **Korlátok:** Egyes rendszerek nem működnek bizonyos körülmények között.
  - **PI. GPS** nem használható zárt térben.

# Lokalizációs megoldások

---

# Lokalizáció...

- Lokalizáció megoldható...
  - 1. referenciapontok, és**
  - 2. távolságmérés** segítségével.
  
- Problémák lehetnek általánosságban
  - Speciális hardvertől való függés
    - A pontos mérés tipikusan precíz(=drága) hardvert takar.
  - Hálózati topológiától való függés
    - Pl. több, egyenletesen elosztott referenciapont szükséges a hálózaton belül.
    - Pl. referenciapontok nélküli megoldásokban tipikusan sűrűn és egyenletesen elhelyezkedő node-okat feltételeznek.

# Lokalizáció...

- Jó lenne, ha nem kéne spec. hardver, néhány referenciapont, egyenlőtlen node eloszlás, mozgó szenzorok esetében is működne...

# Lokalizációs technikák

- **Centralizált:**

- Begyűjtött (globális) információ alapján, egy központi helyen számítjuk ki a pozíciókat.

- **Elosztott:**

- Minden node a saját helyzetét határozza meg, néhány szomszédos node-dal kommunikálva.

- **Elosztott megoldások**

- **Hatókör (range) alapú**
- **Hatókör nélküli** (vett csomagok tartalma alapján)



# Lokalizációs technikák

- Hatókör (range) alapú megoldások:
  - **érkezési idők** alapján;
  - **vett jel erőssége** alapján;
  - két különféle jel **érkezési idő különbsége** alapján;
  - **irányszög** mérés alapján.
- Hatókör nélküli megoldások
  - Lokális megoldás **referenciapontok** (sok!\*) segítségével
  - **„Hop”-számon alapuló** megoldások

\*: Ha a referenciapontok rádiós hatósugara nagy, akkor sok referenciapont hallható.

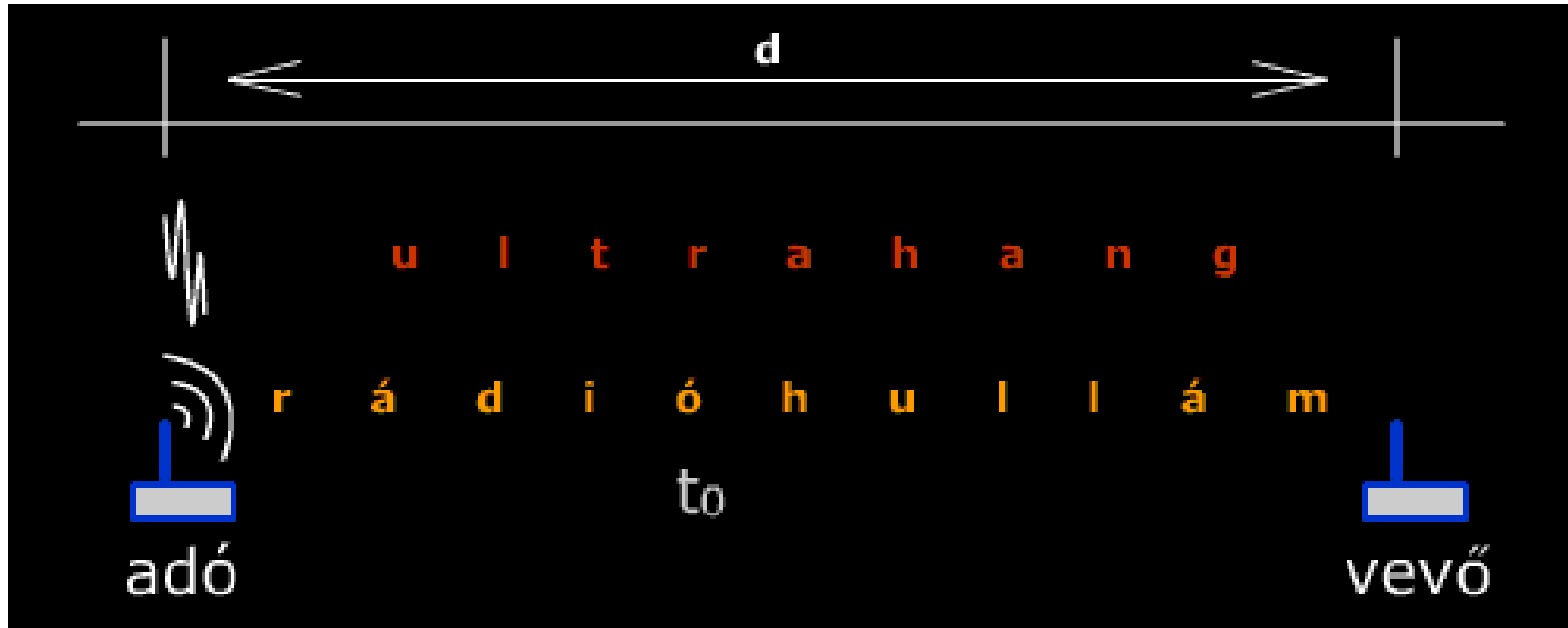




# Hatókör (range) alapú megoldások

akusztikus:

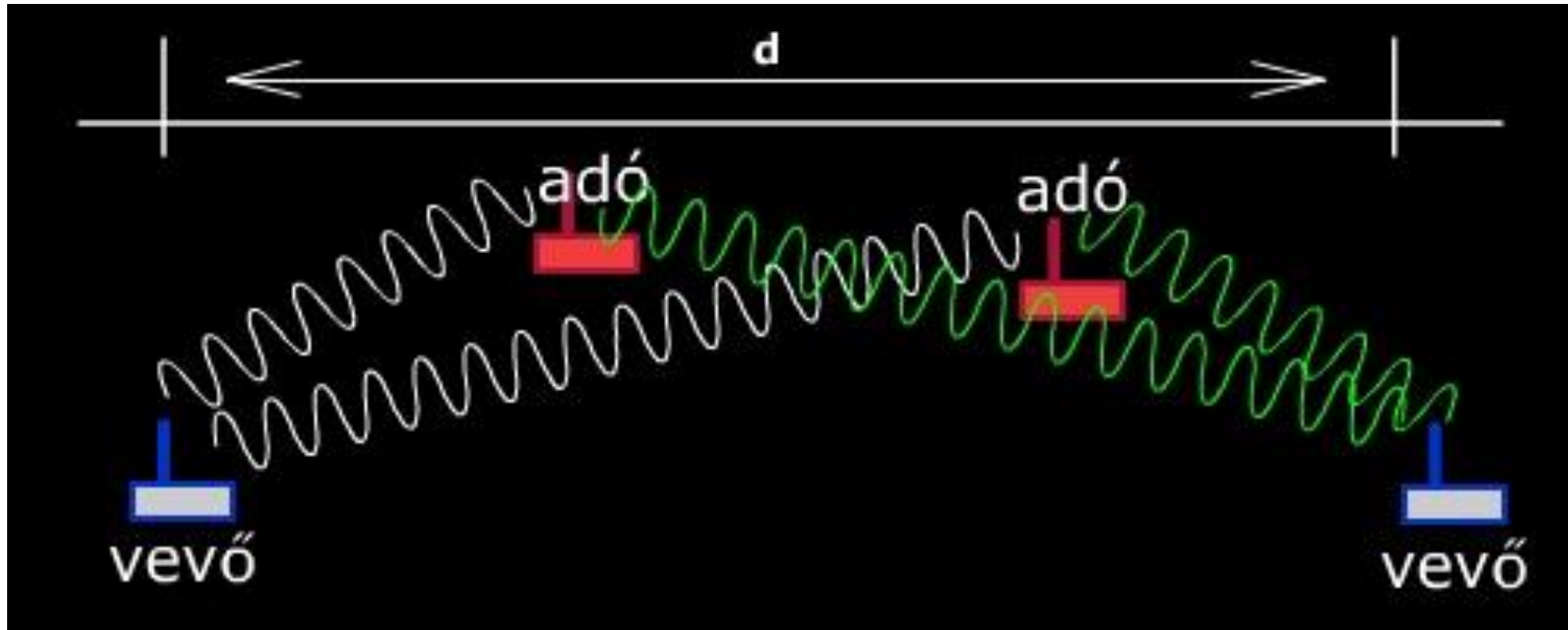
ultrahangos adóvevő szenzor, ultrahang és rádiós csomag elküldése egyszerre a két jel beérkezésének időkülönbségéből becsli a távolságot



# Hatókör (range) alapú megoldások

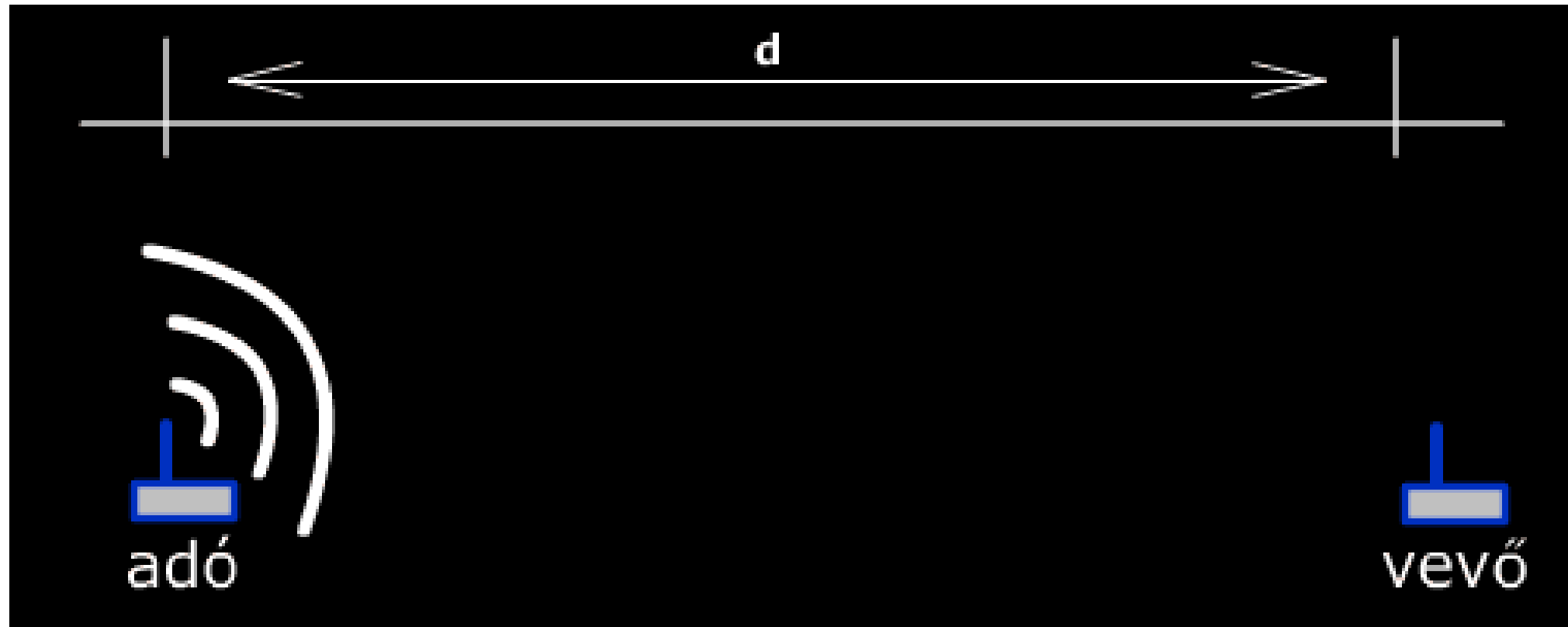
rádióhullám interferenciás:

- két adó, két vevő;
- A két adó vivőfrekvenciájának változtatásával a vevőknél fellépő interferencia jel relatív fázisának eltolódásából következtet a végpontok távolságára.



# Hatókör (range) alapú megoldások

rádiós jelerősség alapú:  
becslés a vett rádiójel erősségéből



# Hatókör nélküli megoldások

## ▪ Centroid módszer:

- Lokális megoldás referenciapontok segítségével.
- Minden node az általa hallható referenciapontok középpontjába pozicionálja magát.
- A módszer sikeréhez a referenciapontoknak egyenletesen és sűrűn kell elhelyezkednie.

## ▪ DV-HOP:

- „Distance-vector routing” alapú megoldás.
- Minden node nyilvántartja az út hosszát (hop-szám) minden általa ismert referenciaponthoz.
- Szükséges az úthosszak hirdetése a hálózaton belül.
  - Ezt a referenciapontok kezdeményezik elárasztással.
- A módszer „ritkásabb” referenciapont-halmaz esetén is használható.

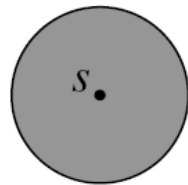
# További ötletek lokalizációhoz

## ▪ „Zajtérképen” alapuló megoldások

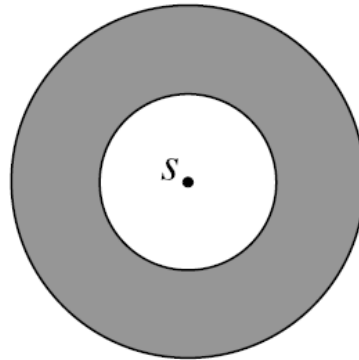
- Beléri, statikus környezetben használható az RF jelerősség mintázaton alapuló megoldás is.
- A node-ok referencia RF források jelerősségét figyelve, egy előre felvett „zajtérkép” segítségével tájékozódhatnak.

## ▪ „Hallom - nem hallom”

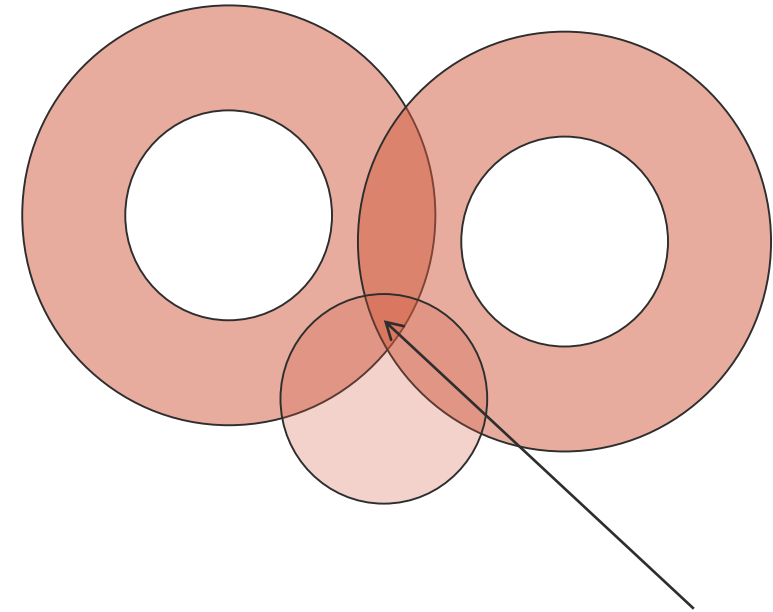
- Ha nem hallunk egy referenciapontot, az is információ!



Direct Seed

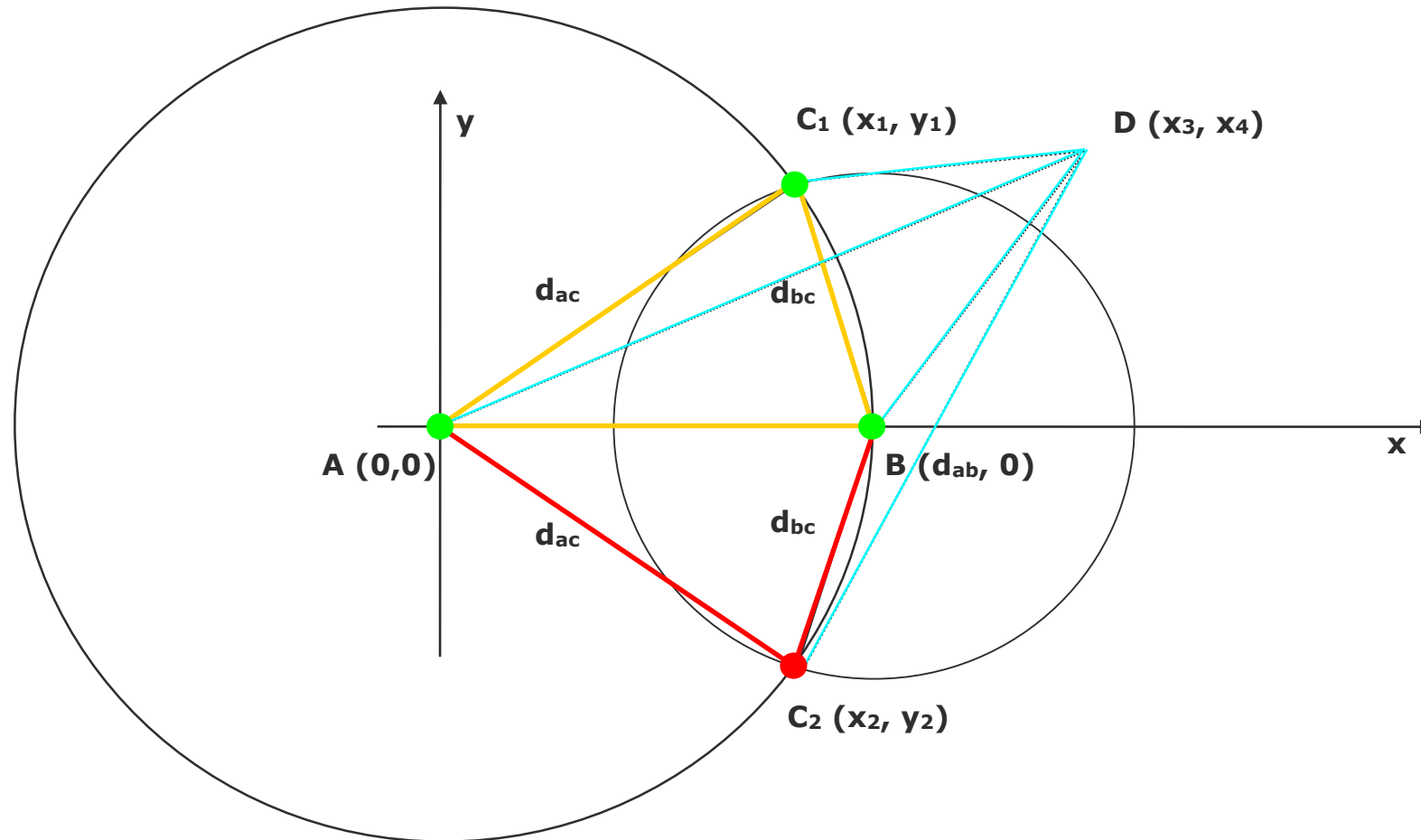


Indirect Seed



# Háromszögelés...

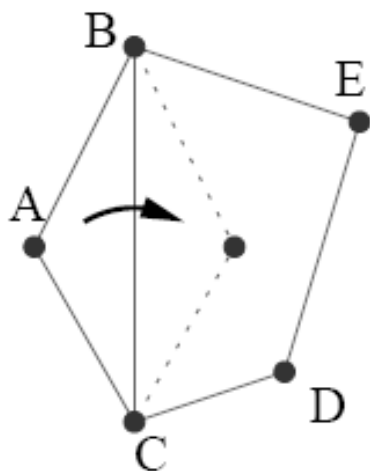
- Távolságmérés  $\rightarrow$  pozícióbecslés



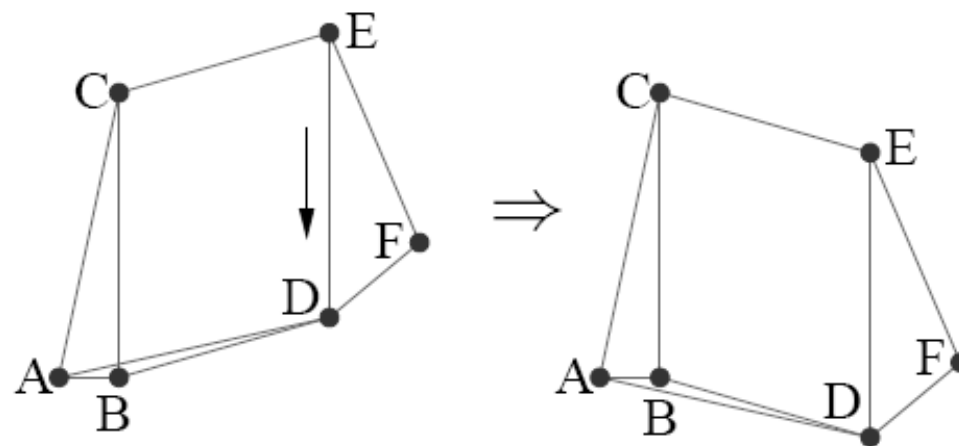
# Gráf realizáció

- **Gráf-realizáció problémája:** A csomópontok geometriai (euklideszi) pozícióinak meghatározása.
  - A probléma NP-nehéz kétdimenziós esetben is!
- A gráf élhosszúságainak ismerete még nem garantálja az egyértelmű realizációt!
  - **Nem merev gráfok** folytonosan deformálhatók a realizációk végtelen számának előállításához.
  - **Merev gráfokban** is előfordulhat kétféle deformáció, amely megakadályozza az egyértelmű realizációt: „**tükrözéses kétértelműség**” és „**hajlításos kétértelműség**”

# Problémák gráf realizációnál



Tükrözéses kétértelműség



Hajlításos kétértelműség

A gráfelméleti eredmények még merev gráfok esetében sem garantálnak realizációt, ha a távolságmérések (élhosszak) hibával terhelt mennyiségek!



# Illusztratív példák...

- Létező lokalizációs megoldások (példák!)
  - Active Badge
  - Active Bat
  - Cricket
  - (RADAR)
  - ...

# Aktív badge

- Olivetti és AT&T fejlesztés
- Infravörös (IR) jeladókat használó, beltéri, cellás (proximity) pozícionáló rendszer.
- A jeladó periódikusan egy egyedi ID-t sugároz 10 másodpercenként, vagy igény szerint.
- Az IR szenzorok által gyűjtött adatokat egy központi szerver dolgozza fel.
- Abszolút lokalizációs információt nyújt (szobák)
- Problémás lehet a napfény vagy neonfény az IR komponens miatt.



# Active Bat

- AT&T megoldás
- Ultrahangos jeladók az IR helyett
- A jeladót a felhasználók viselik magukon, ami a vezérlő (rádiós) kérésére egy ultrahang impulzust ad ki.
- A vevők egy grid-struktúrában a menyezeten helyezkednek el.
- A vezérlő a jeladóval történő kommunikációval egyidőben vezetékes hálózaton a vevőt is reset-eli, így a vevő az érkezési időkülönbség alapján tud távolságot számolni.
- A helyi vezérlő elküldi a mért adatokat egy központi vezérlőnek.
- Nagy pontosság! (kb. 9 cm, 95%)



# Cricket

- Az Active Bat-tel pont ellentétben a vevő egység van a felhasználónál, és a jeladók telepítettek fixen.
- A vevőegység saját maga kell elvégezze a háromszögelésen alapuló helymeghatározást.
- Több jeladó esetén mindegyik saját egyedi beacon-t küld.
- Nincs szükség a grid-ben elhelyezett vevőkre, de a pontosság is csekélyebb (kb. négyzetméteres pontosság).

# RADAR

- Microsoft, IEEE 802.11 WLAN-alapú rendszer
- Minden WLAN bázisállomásban mérik a vett jel erősségét és a jel-zaj viszonyt, amiből az épületen belüli 2D elhelyezkedés meghatározható.
- Előny:
  - Nem kell külön infrastruktúra, WLAN „van mindenhol”
- Hátrány:
  - IEEE 802.11-es eszköz kell, ez szenzorok esetében tipikusan nem megengedhető
- (Megjegyzés: Egyébként a WLAN alapú helymeghatározás széles körben használt, fontos terület!)