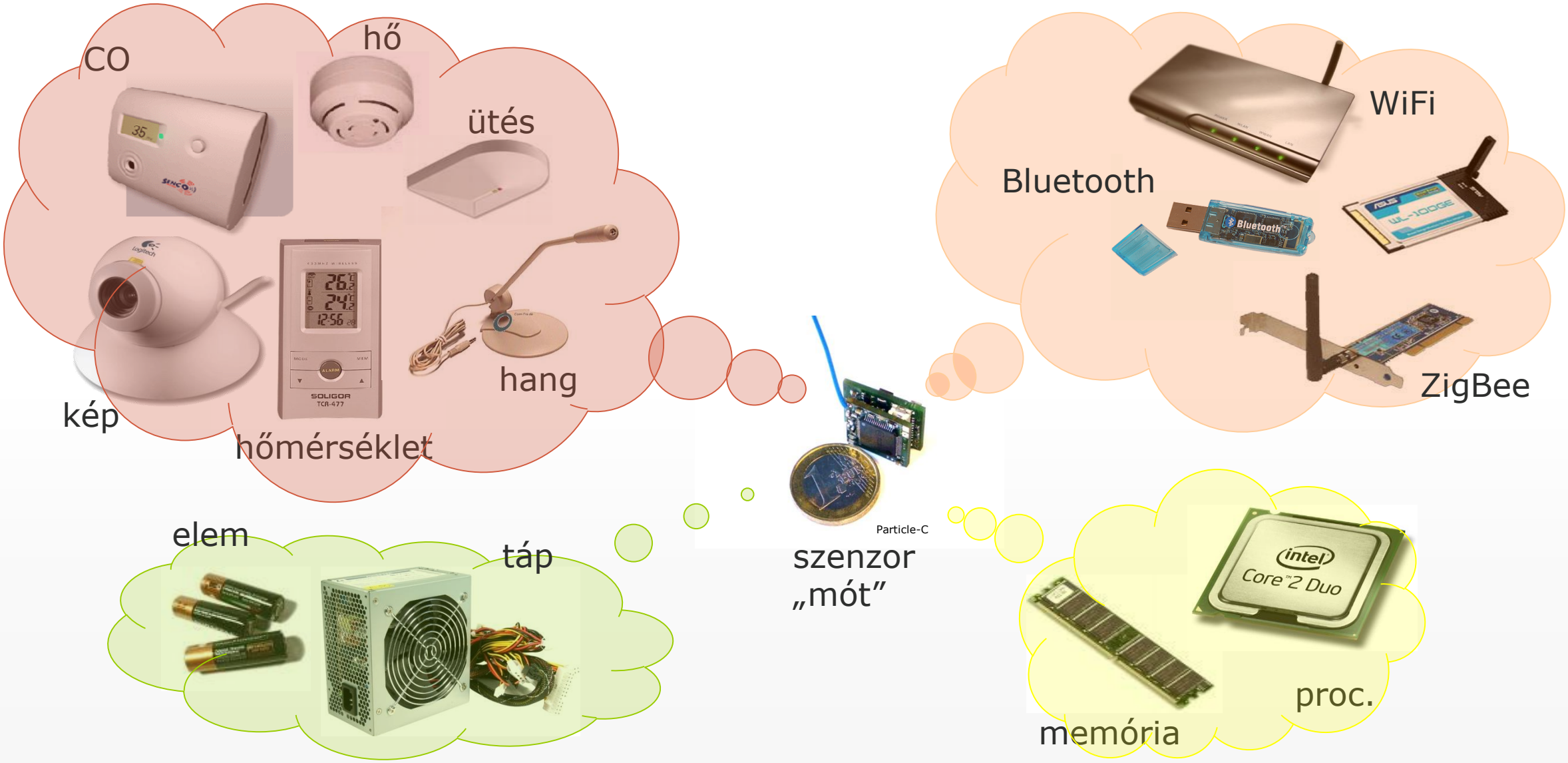
Szenzorhálózatok és alkalmazásaik

Bevezetés

Tartalom

- Bevezetés (szenzorok, „mót”-ok)
- A fizikai világ és az internet kapcsolata

Szenzorok + intelligencia + hálózat...



Legyen pici, olcsó és sok...

Követelmények a szenzorokkal szemben:

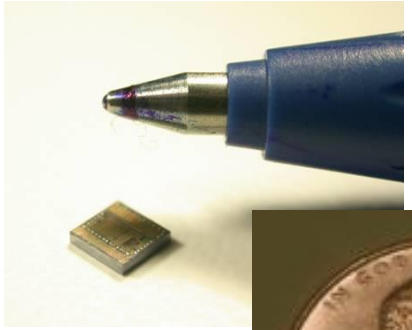
- kis méret
- **olcsó**
- alacsony fogyasztás

Következmény:

- korlátozott számítási kapacitás
- korlátozott energiakészlet
- korlátozott rádiós sugár
- „**egyszerűbb**” megoldások

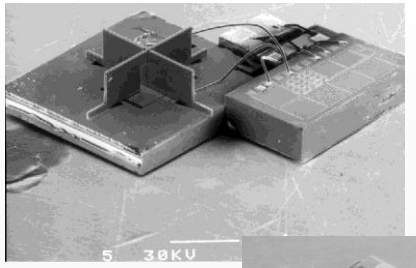
Követelmény a szenzorhálózattal szemben:

- tipikusan **sok** csomópont
- hosszú élettartam
- megbízható
- önszerveződő, felügyelet nélküli
- hibatűrő, öngyógyító

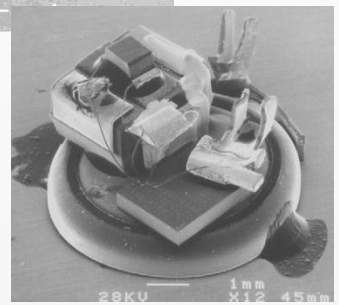


Hitachi

Uni California, Berkeley



MEMS



Legyen mindenhol és mindenben...

A környező fizikai valóság minden léptékben megfigyelhető!

- bármely mérhető, fizikai mennyiség
- környezet monitorozás (földfelszín, víz, levegő)
- intelligens épületek, okos város
- intelligens otthon, munkahelyek
- testen belüli monitorozás
- világűr
- ...

forrás: S. Gyula

```
> Keress egy nyulat!
> keresés... megtalálva
>
> Hol van a nyúl?
> www.aniel-
  wallpapers.hu/ALLATOK/aa14.jpg
>
> Mutasd a nyulat!
>
>
>
>
>
>
>
>
>
```

„A nyúlról...” – az interneten

> **Keress egy nyulat!**
> keresés... megtalálva
>
> **Hol van a nyúl?**
> 47°31’07.46’’ N 19°04’39.22’’ E elev 109 m
>
> **Mutasd a nyulat!**
>
>
>
>
>
>
>
>
>

„A nyúlról...” – a világban

Konvergencia...

- Az igazán érdekes a valós, fizikai világ és a virtuális adattér összekapcsolása!

- A folyamat már javában tart, pl:
  - GoogleEarth
  - térfigyelő kamerák
  - időjárás-előrejelzés weboldalak
  - riasztó- és távfelügyeleti rendszerek
  - navigáció és tájékozódás
  - (telefon- és videokonferenciák)
  - ...

CHARLES' GEORGE ORWELL LINKS

Fizikai réteg

Létező megoldások, tervezési kérdések

Tartalom

- Fizikai réteg
  - létező és spec. WSN megoldások
  - energiahatékonyság

A fizikai réteg

Fizikai réteg:

„Azok az eszközök és eljárások, mely az adatok átviteléhez, az adatkapcsolati entitások közti fizikai összeköttetés létrehozásához, fenntartásához, és bontásához szükségesek.”

„Cross-layer design”

ISO OSI

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

Jellemzők és követelmények

- Tipikusan nagyon kis átvitt adatmennyiség.
  - néhány bit/nap
- Inkább kisebb átviteli sebesség és nagyobb késleltetés az alacsonyabb árért és hoszabb élettartamért cserébe.
  - Pl: Egy (vagy több) év üzemidő 750 mAh AAA elemmel
- Univerzális (globális), licensz nélküli üzemeltethetőség.
  - Nagyban limitálja a lehetséges frekvenciasávot és modulációt

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)

- Speciális WSN megoldások
  - PicoRadio
  - WINS
  - µAMPS

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)

<u>Problémák WSN alkalmazásnál</u>:

- A hálózat felderítés FHSS esetében hosszadalmas, mert a node-ok aszinkron működésűek.
- A viszonylag keskenysávú (1MHz) modulácó 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)
- 802.11b: 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!

PicoRadio

- PicoRadio program
  - Uni California (Berkeley), 1999
- DSSS, CSMA MAC protokol
- UWB (ultrawide band)
  - Könnyen integrálható, a sávszélesség-hatékonyság nem annyira fontos.
  - Fontos tulajdonsága: „wake-up” rádió „sleep” móddal

„Wake-up” rádióvevő:

- 1μW 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.

WINS

- WINS – Wireless Integrated Network Sensors Project
  - Uni California, Los Angeles és Rockwell Science Center
  - 1998-ban piacra vitték Sensoria Corp. néven (San Diego)
- Szórt spektrumú, 900 MHz vagy 2.4 GHz ISM sávban
- CMOS technológiára épült és optimalizált az alacsony előállítási költség miatt.

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

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 tervezzünk, 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 paraméterei a fizikai méreteik függvénye, pl. kapacitor felület)
- A lehetséges két alternatíva:
  - Analóg elemek „nagy” dimenziójú „régi” (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: csatornaszűrő...

- Az RF adóvevők egyik legnagyobb alkatrésze a vevő-oldali csatornaszűrő.
  - Analóg esetben szükségesek nagy méretű kapacitorok.
  - Digitális esetben az AD konverter elé szükséges egy anti-alias szűrő.
- A csatornaszűrő mérete fordítottan arányos a szűrő sarokfrekvenciájával (azaz egyenesen arányos az árával).
- Következmény: <u>Olyan fizikai réteget tervezzünk, ahol a szükséges vevőszűrő sarokfrekvenciája maximális (azaz nagy sávszélességű).</u>

Ár: nagy darabszám...

- Nagy darabszám csökkenti az egységárat.
- Következmény: Olyan fizikai réteget tervezzünk, 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 robosztusság 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 (~50 μW) 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 börsztös 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)

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

- Ekkor az

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

- összefüggésből:

$$\boxed{T_{on} = 0.0029}$$

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.