

# Trådløse ad-hoc nettverk



Niels Aakvaag  
Senior Systemarkitekt

# Agenda



- Hva er det egentlig?
- Standarder
- Fysiske begrensninger
- Anvendelser i industrien
- Forskning

# Hva er det egentlig?

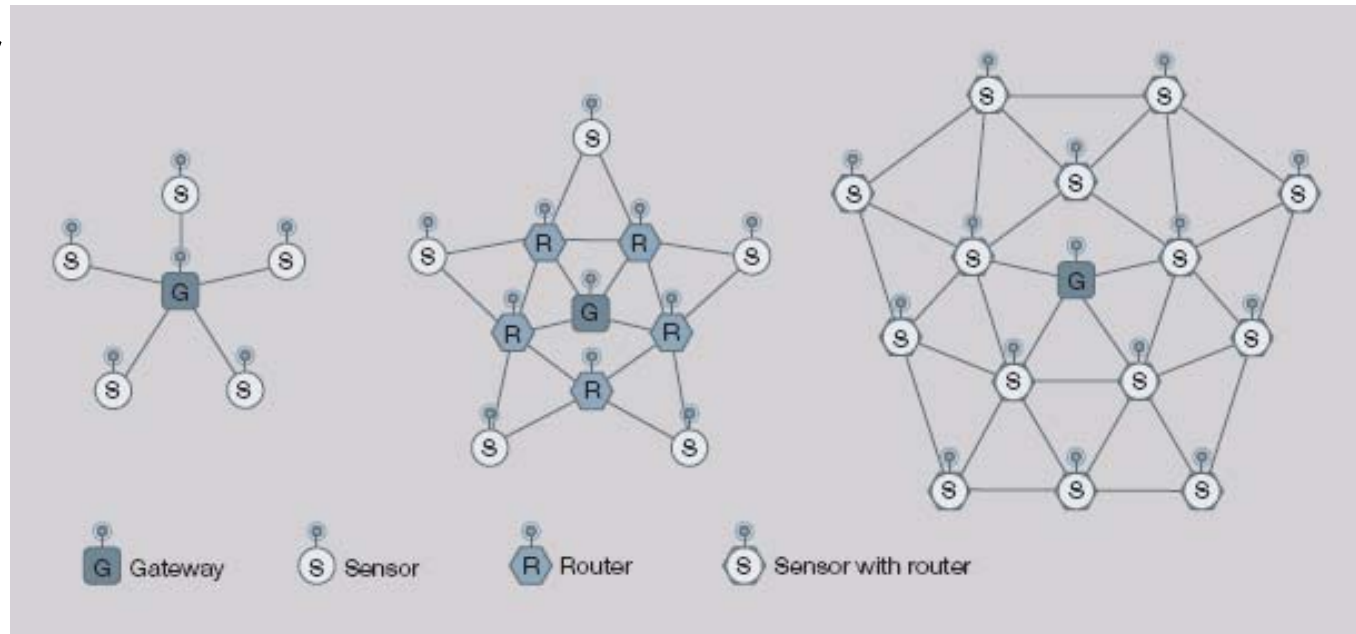


- Et stort antall autonome, billige, trådløse noder som samarbeider om å løse et problem:
  - Nettverket viktigere enn enkeltnode
  - Selvkonfigurerende
  - Kommunikasjon via *gateway* (ikke "*peer-to-peer*")
- I tillegg:
  - Selvrettende. Oppdager feil og ordner selv opp
  - Lite eller ingen infrastruktur
  - Multihop
  - Ofte energibegrenset

# Hva er det egentlig?

- Topologier

- Stjerne
- Tre
- Mesh



- Forskjellige typer noder:

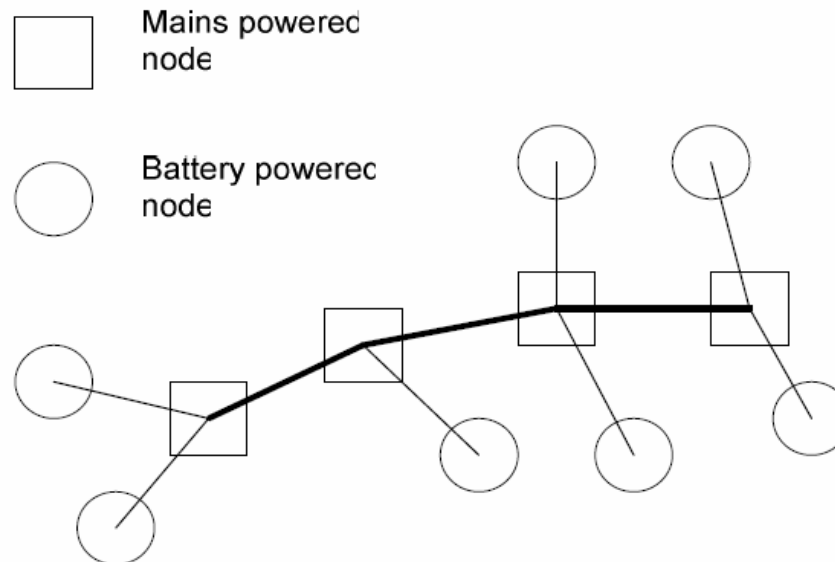
- Endenode (kan ikke rute for andre)
- Rutenode (kan rute for andre)
- Gateway (hovednode)

# Standarder

- ZigBee
- Blåtann
- Wireless HART
- ISA SP100

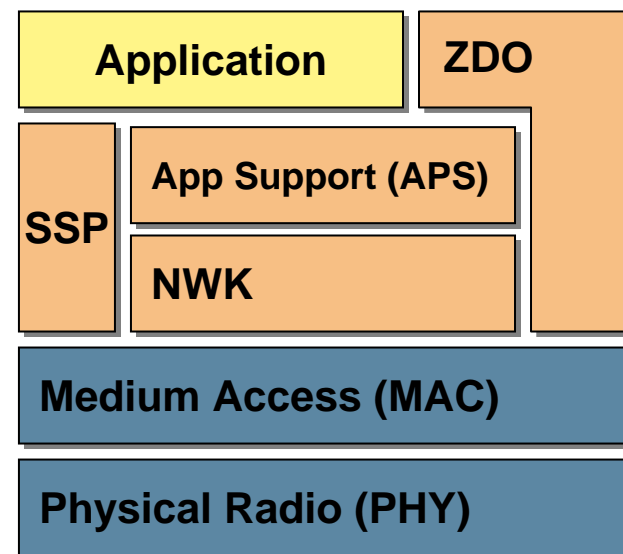


- Sjekk:
  - [zigbee.org](http://zigbee.org)
  - [bluetooth.com](http://bluetooth.com)
  - [hartcomm.org](http://hartcomm.org)
  - [isa.org](http://isa.org)



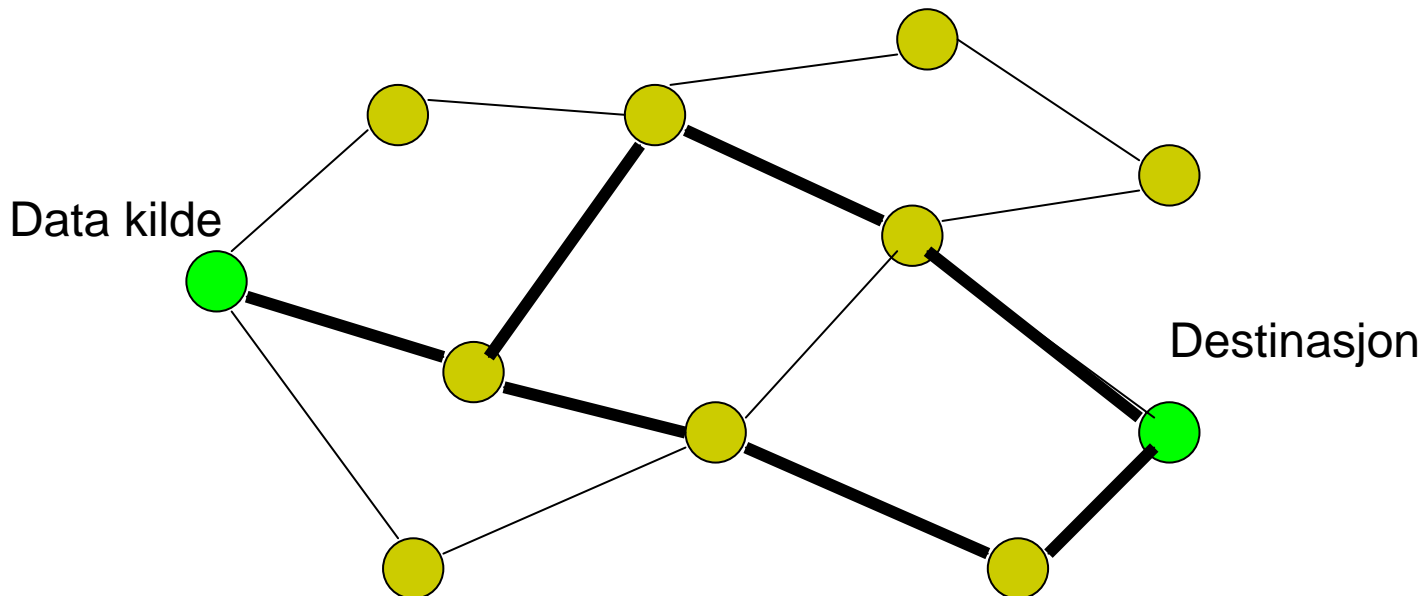
# Standarder – ZigBee

- 2.4GHz ISM, 250kbps per kanal, 16 kanaler
- 16 bit adresseringsrom (64k enheter)
- Basert på IEEE 802.15.4 PHY og MAC
- Støtter alle topologier
- Laget for lav effekt (særlig endenode)
- Semi-statiske kanaler
- Anvendelser:
  - Lyskontroll
  - Lett prosess industri
  - Intelligente hjem
- Applikasjonsprofiler



# Standarder – ZigBee

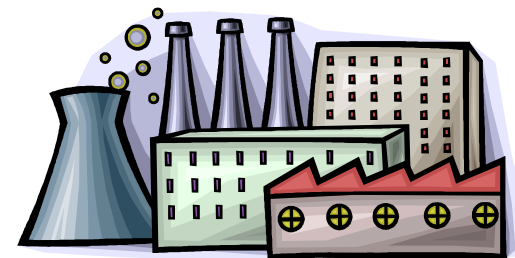
- MAC 1.0 i 2003
- NTW 1.0 i desember 2004. Basert på AODV.
- Spesen kan lastes ned gratis (43000 har gjort det)
- Selvkonfigurerende og -rettende



# Standards – ZigBee



- *Home Automation [HA]*



- *Industrial Plant Monitoring*

- *Automatic Meter Reading* er “underveis”
- ZigBee definerer også stakkprofiler.
- Optimaliserer drift av nettverk og sikkerhet



# Standarder – Blåtann



- 2.4GHz ISM, 3Mbps, FFH i 80 kanaler (1600hps)
- Profiler for kamera, mobiltelefon, printere, etc
- Støtter stjernenett og "scatter-net"
- Problemer i industri:
  - Kun syv aktive noder per master
  - Lang oppvåkning gir høyt energiforbruk
- Finner anvendelser i:
  - PDA aksess til noder
  - Veldig små nettverk med nok effekt

# Standards – Trådløs HART



- HART stammer fra 80' tallet (Emerson)
- Langsom seriell buss
- Over 90% av smarte instrumenter har HART
- Trådløs HART basert på Dust Networks
- Ikke ferdig spesifisert. Ventet i løpet av 2007
- Krever kraftig sentral kontroller



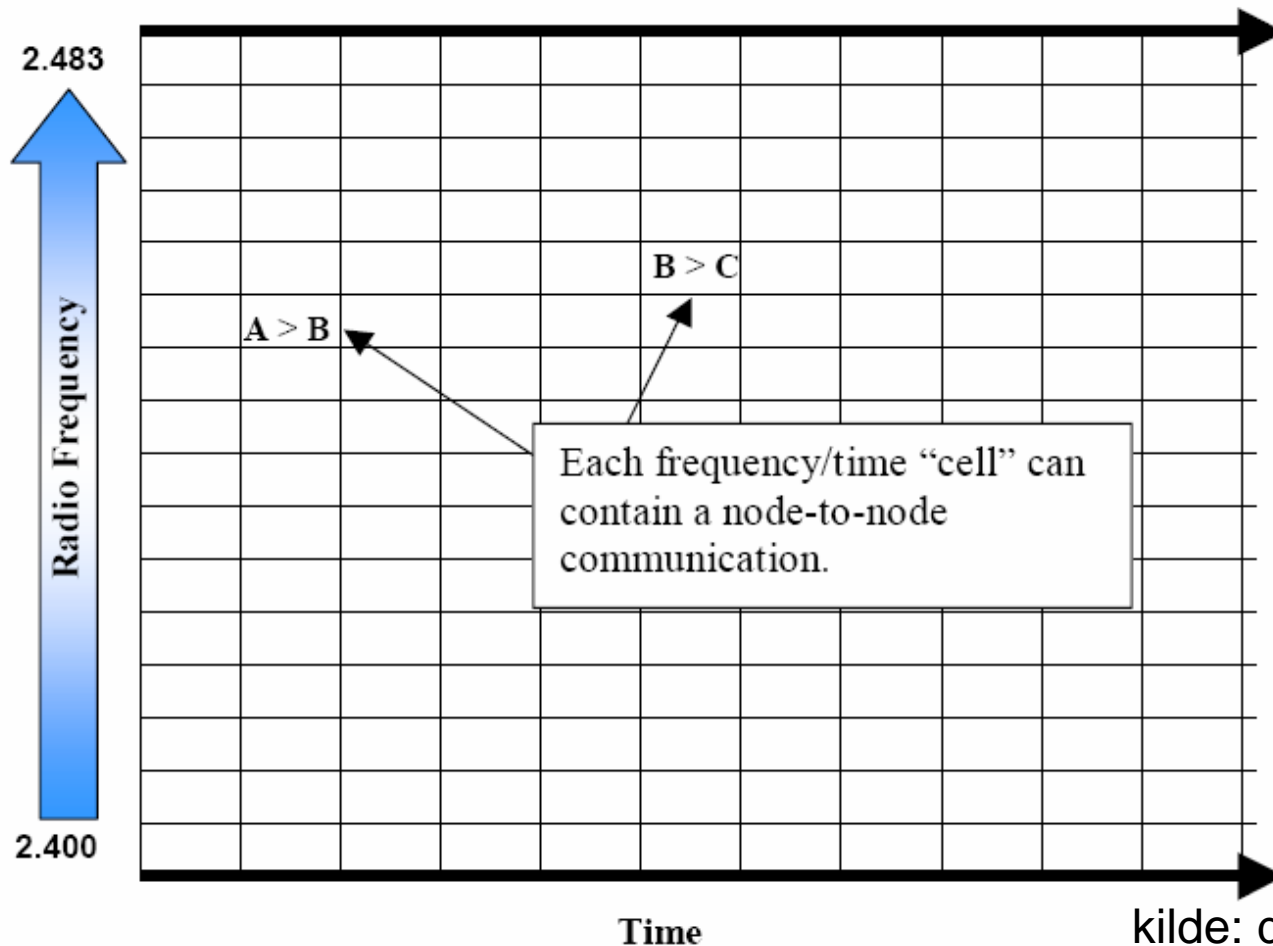
# Standards – Trådløs HART



- Krav som trådbundet HART
- Basert på TSMP (Time Synchronised Mesh Protocol) fra Dust
- Basert på 802.15.4 PHY (billig radio)
- Tett synkronisering:  $<1.0\text{ms}$  mellom noder
- Redundant trestrukt. All ruting langs treet
- Lang levetid på nettet
- Frekvenshopp unngår statiske fade

# Standards – Trådløs HART

- Tid - frekvens



kilde: dustnetworks.com

# Standards – ISA SP100



- Ligger et stykke etter HART
- Mange selskaper – mye politikk!
- Kunde, heller enn leverandør, orientert
- Krevende spekk. Kan gi bra produkter

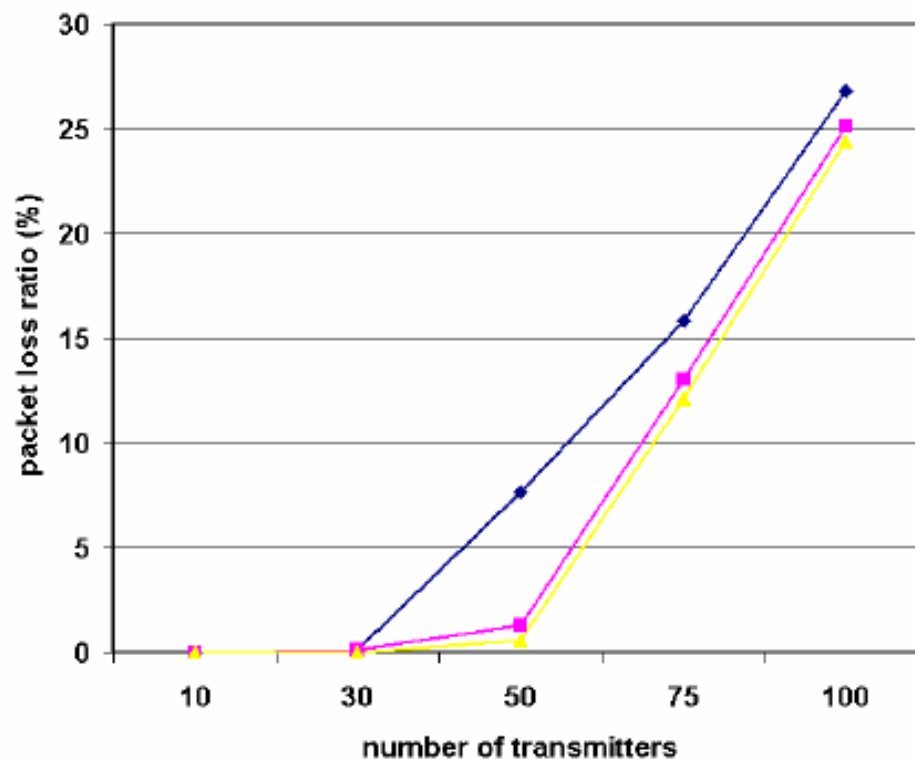
# Fysiske begrensninger



- Endelig båndbredde
- Batteri
- Interferens
- Statiske fade

# Fysiske begrensninger - Endelig båndbredde

Vil alltid ha noen  
kollisjoner →  
Kollisjon gir  
ødelagt rute →  
Det gir ny RREQ  
(mer trafikk) →  
Flere kollisjoner...



kilde: ntnu

**Konklusjon: en øvre begrensning når man søker  
avveining mellom båndbredde, antall noder, antall  
hopp og oppdateringsrate**

# Fysiske begrensninger – Batteri

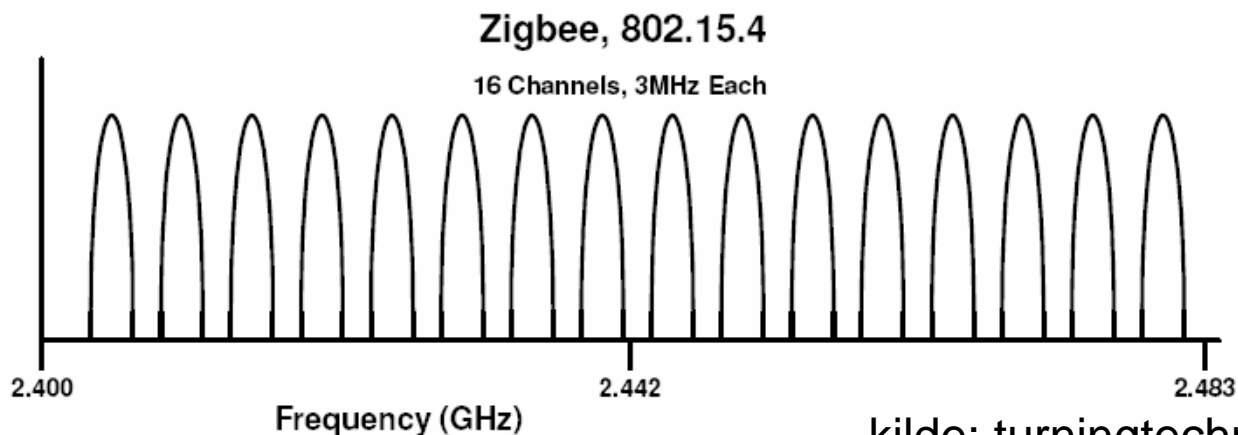
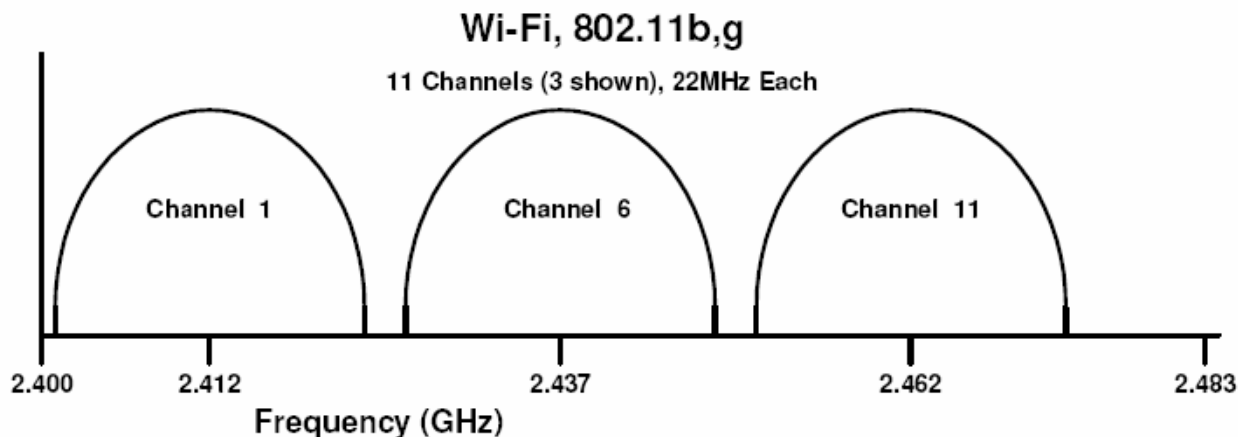


- Eksempel: CC2420 + AtMega128L
  - Radio: Tx 18mA, Rx 20mA
  - Prosessor: 8mA
  - → 5 dager på 3000mAh batteri
- Løsning: *duty cycle* prosessor
  - Prosessor dyp søvn: 12uA
  - På 0.1% av tiden
  - → 9 år på 3000mAh batteri
- Moderne kretser bedre, radio og prosessor integrert
  - CC2430, EM250, Dust Networks Gold (6mA)



# Fysiske begrensninger – Interferens

## WLAN interferens: frekvens



# Fysiske begrensninger – Interferens



WLAN interferens: tid

- Bruker også CSMA/CA. Gir noe beskyttelse
- WLAN har større spredning

Blåtann interferens: frekvens

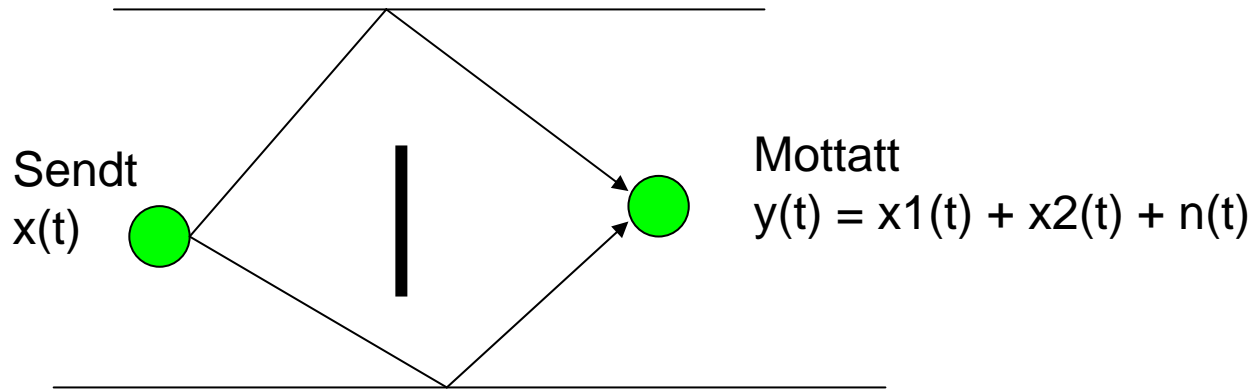
- Alle!

Blåtann interferens: tid

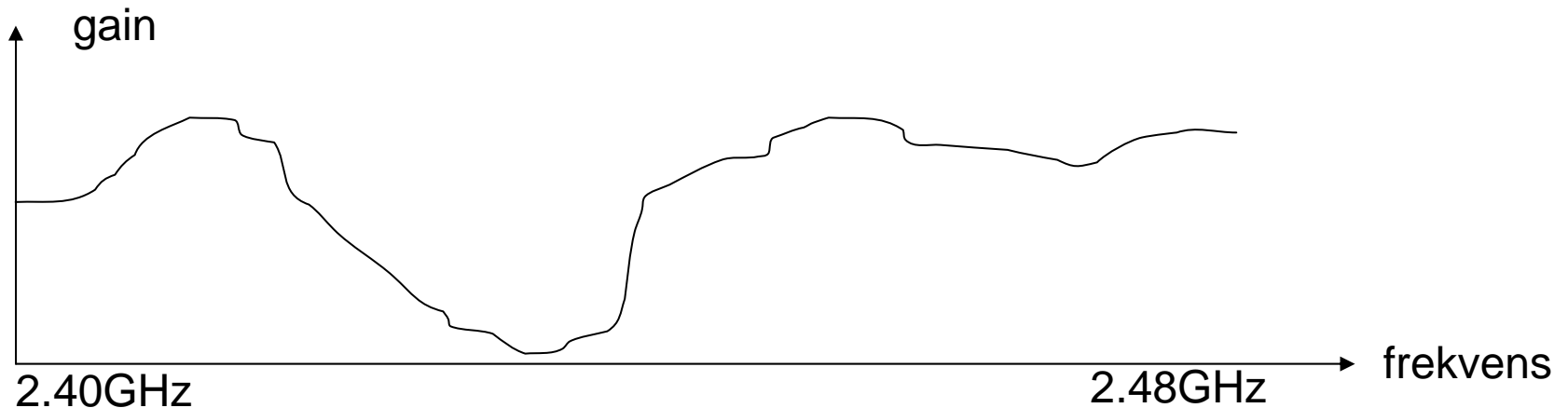
- Ingen CSMA/CA, men lav effekt

# Fysiske begrensninger - Statistiske fade

- Større problem enn interferens



- Problem: disse er frekvens selektive



# Anvendelser i industrien - oversikt

- Krav:

- Latens typisk  $<20\text{ms}$  for høy-ende. 1min for trege prosesser
- Pålitelighet typisk 99.9%
- Batterilevetid  $>5$  år
- Beskjeden båndbreddekrav ( $<10\text{kbs}$ )
- Antall noder  $> 10.000$

kilde: boliden.com

- Mindre konvensjonelle:

- Overvåking av miljø
- Militære applikasjoner
- Medisin

- Konvensjonell industri

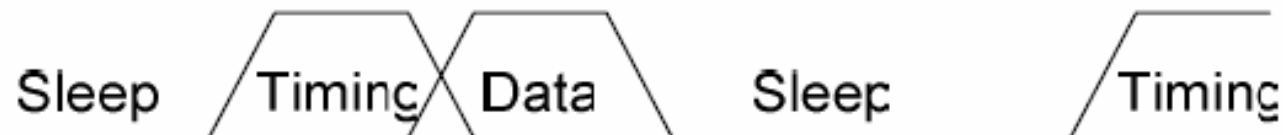
- Prosess
- Stykkproduserende industri



# Anvendelser i industrien – praktisk erfaring



- ABB: Skellefteå i Sverige
  - Evalueringsarbeide av teknologi
  - Før tilgjengelige ZigBee stakk
  - Basert på Embernet, forløperen til ZigBee
- Simulerte data. Sample 1 gang per minutt
- Problem med Embernet: rutere ikke på batteri



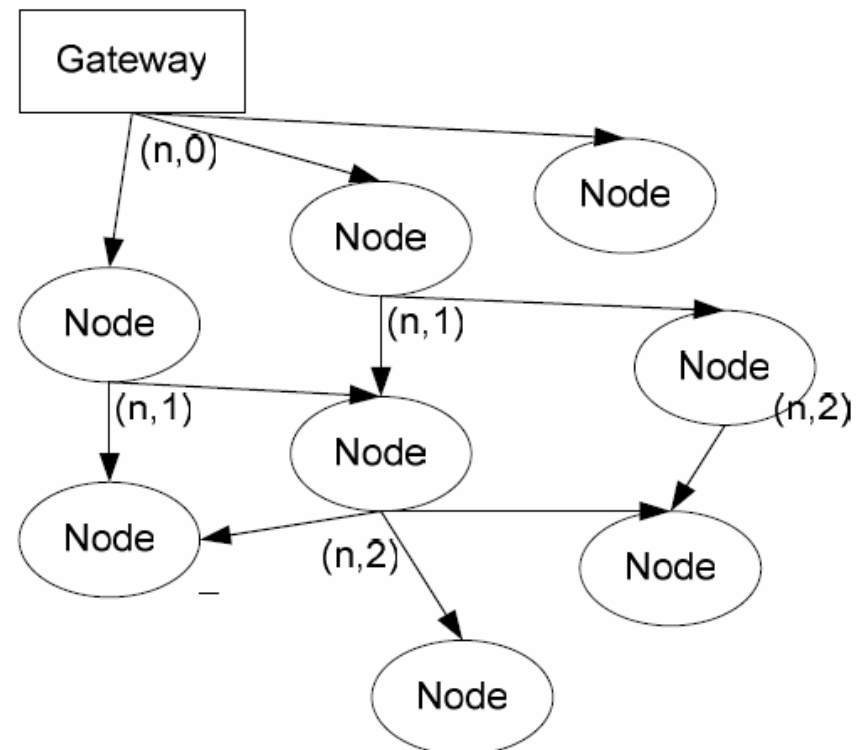
# Anvendelser i industrien – praktisk erfaring

- Løsning:

- Synkronisert søvn
- Sende timer fra gateway
- Skalerbart

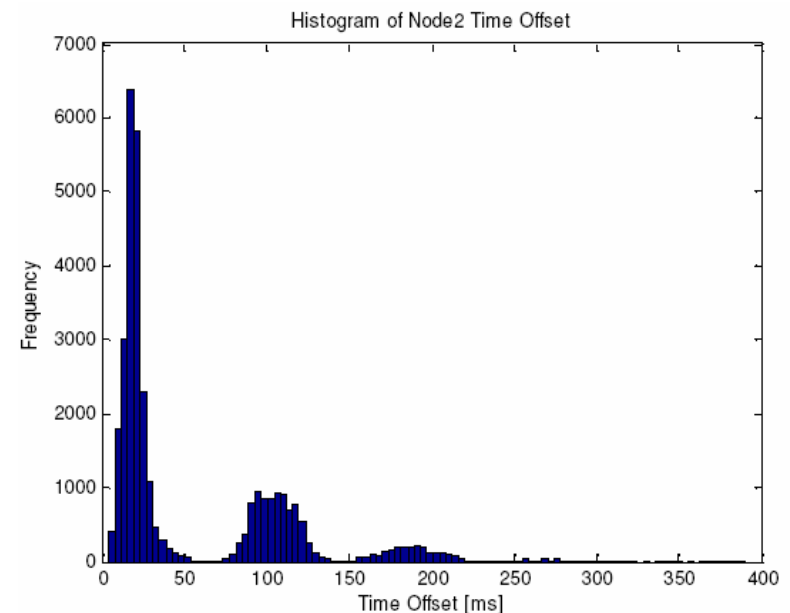
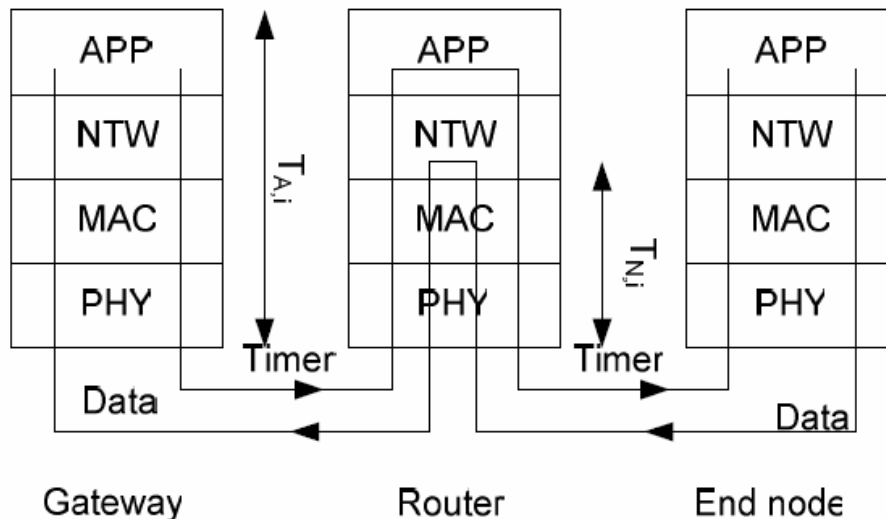
- Problemer:

- Total båndbredde lider veldig
- Aksess kun på APP nivå
- Bruker effekt på synk



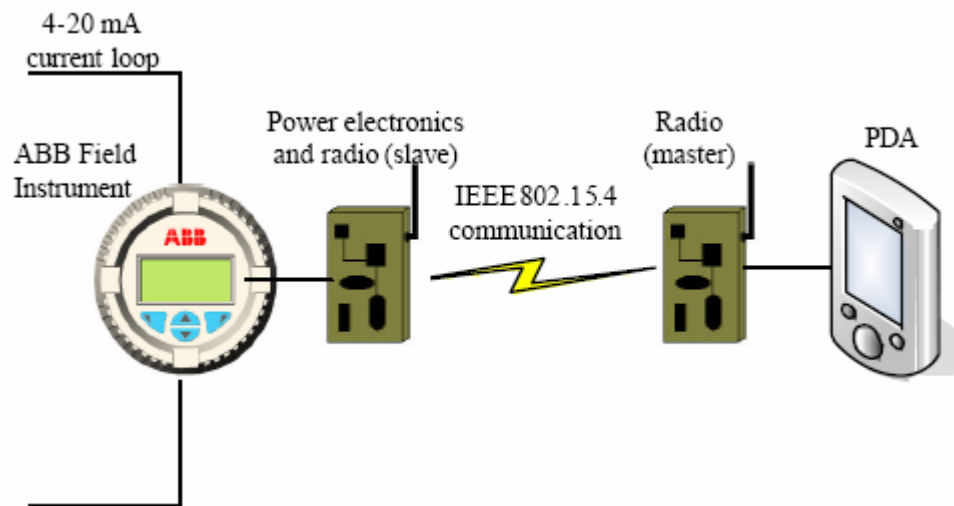
# Anvendelser i industrien – praktisk erfaring

- Tidsforsinkelse i stakk
  - Ukjent *pdf*
  - Eksempel på tre noder:
- Summen av mange, likt fordelte, ukjente *pdf*er gir Gaussisk fordeling (C.L.T)



# Anvendelser i industrien – praktisk erfaring

- ABB: PDA aksess til instrumenter

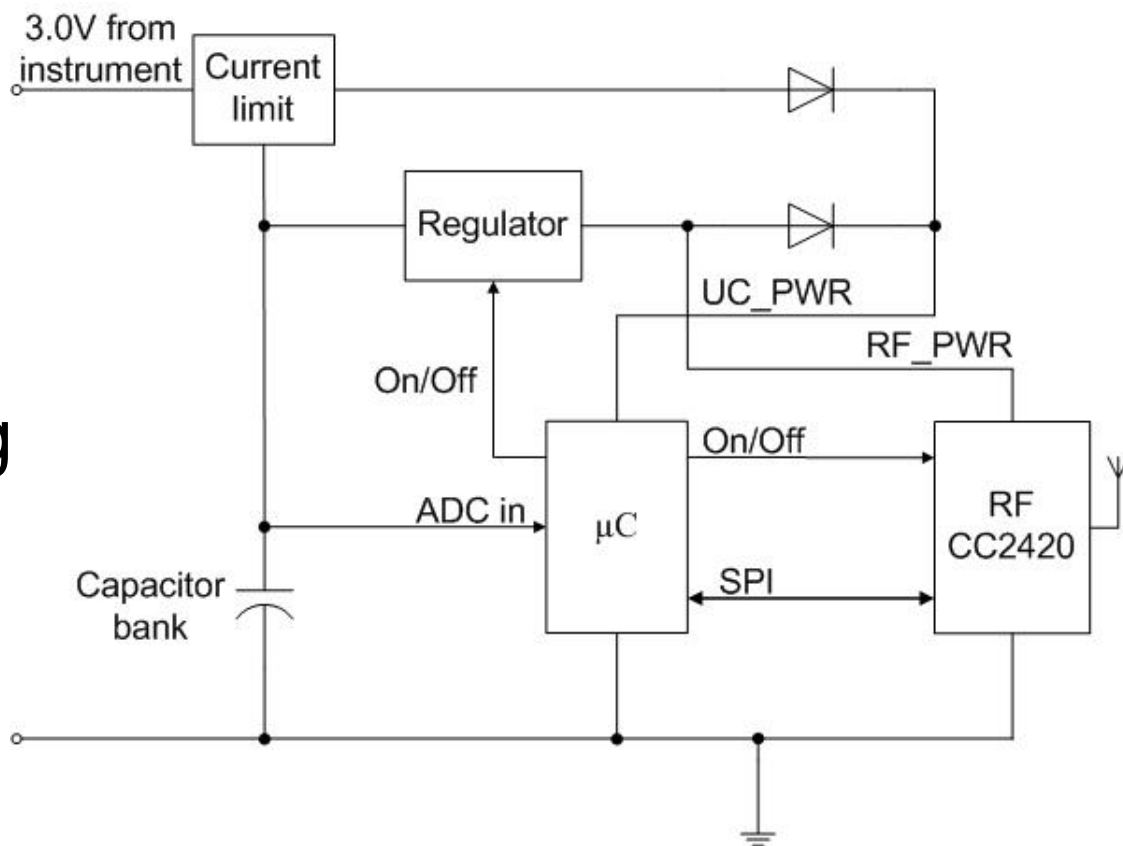


- Oppdatering minst hvert sekund
- Trådløs enhet på instrumentsiden kan kun bruke 400uA!
- Full ZigBee stakk klarer ikke disse kravene



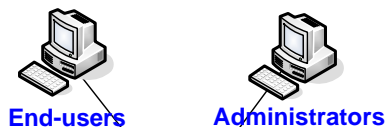
# Anvendelser i industrien – praktisk erfaring

- Skru av alt som kan skrues av!
- Skru ned  $\mu\text{C}$  frekvens når mulig
- Starter på ladning i dekoblings-kondensatorer
- Kjører alt på grensen av spec

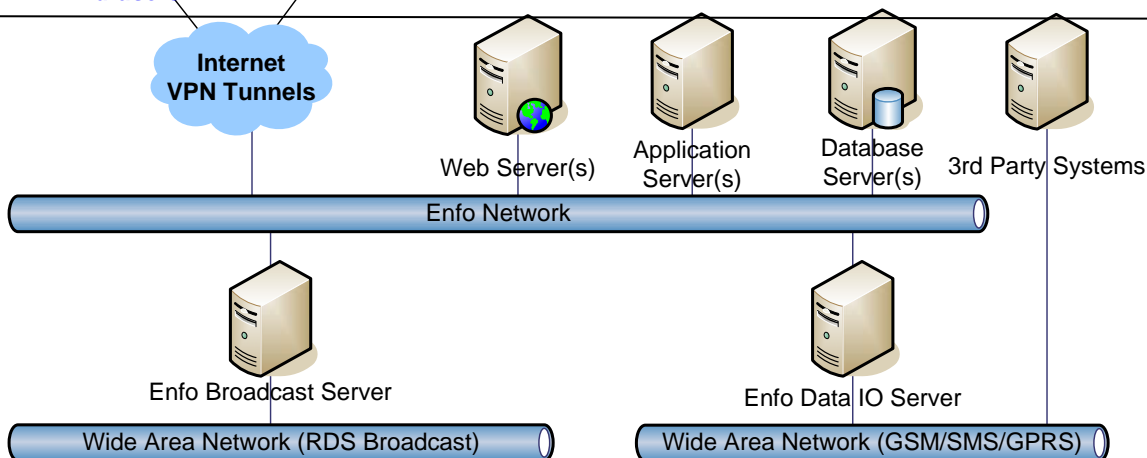


# Anvendelser i industrien – pågående arbeid

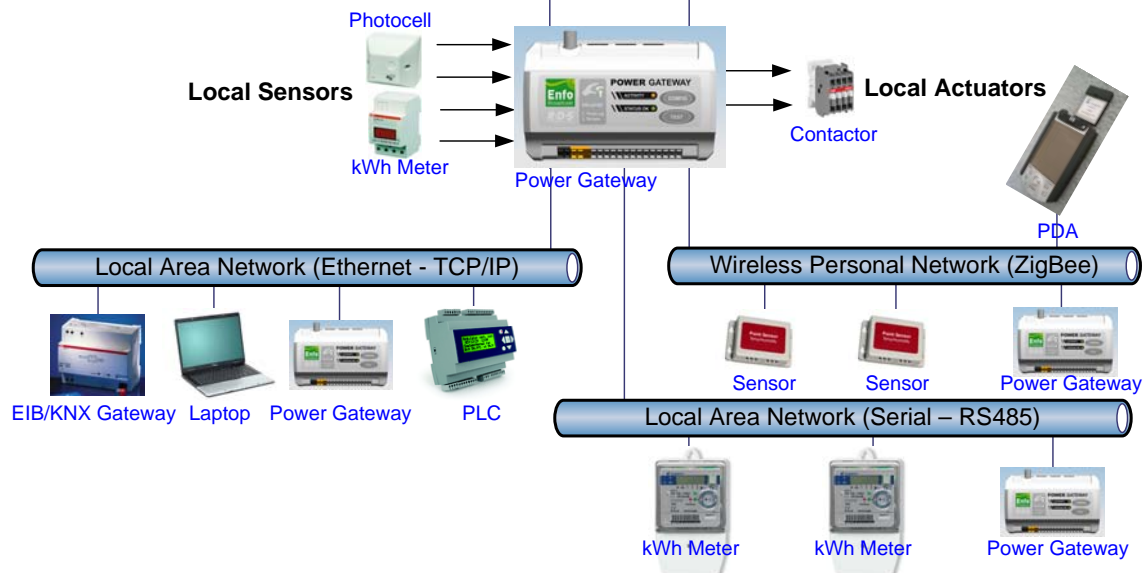
User



Control Level



Device Level



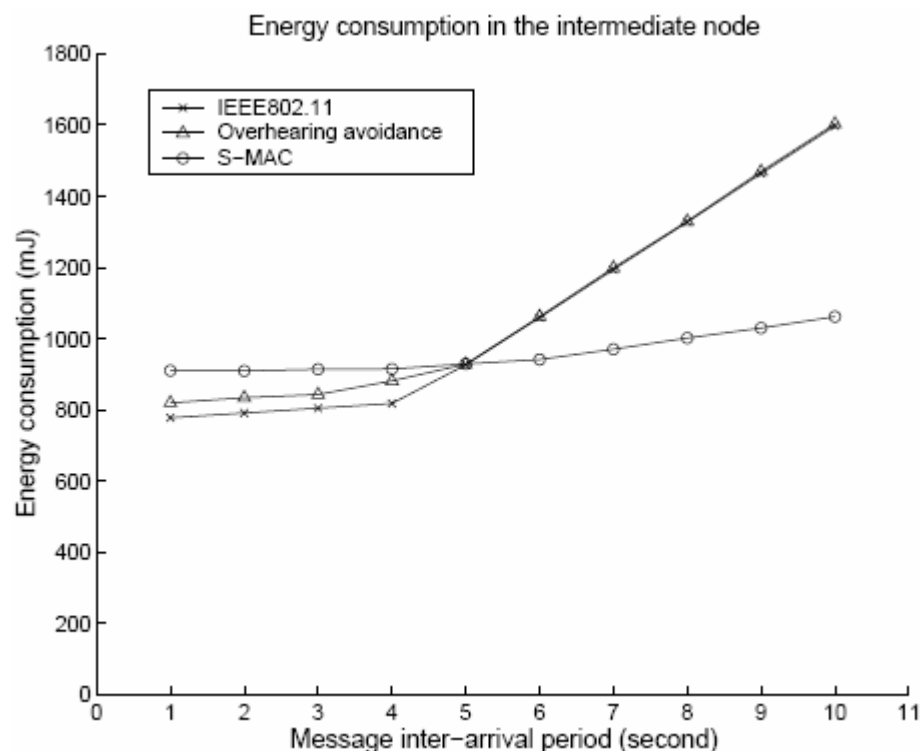
# Forskning



- Standardisering
- Effektminimering (algoritme og krets)
- MAC lag (S-MAC, B-MAC, L-MAC, P-MAC, ...)
- Aggregering (*data fusion*)
- Cross-layer optimalisering
  
- Sjekk [scholar.google.com](https://scholar.google.com)

# Forskning – S-MAC

- Fra Berkley
  - Periodisk sov og lytt
  - Unngå kollisjon og sov når andre sender
  - *Message passing.*  
Lokal synkronisering
  - RTS/CTS for å unngå "*hidden terminal*"
  - CSMA/CA

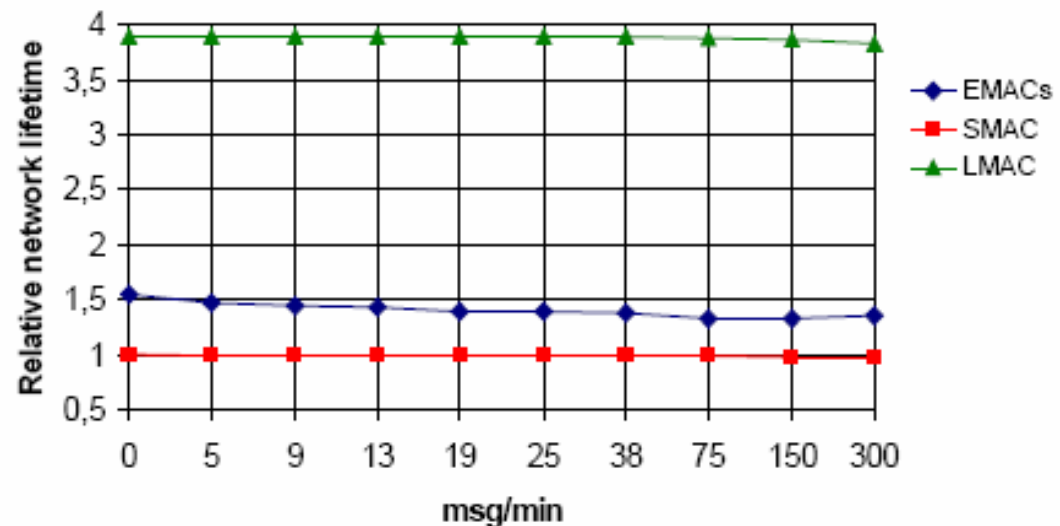


kilde: Ye, Heidemann, Estrin

# Forskning – L-MAC

- Fra Nederland

- TDMA basert (kollisjons fri, men vanligvis lavere gjennomstrømming)
- Hver node sender kontroll melding periodisk
- Hver node har egen tidsluke
- Lengre levetid
- Sammenligner "epler og pærer" pga NTW



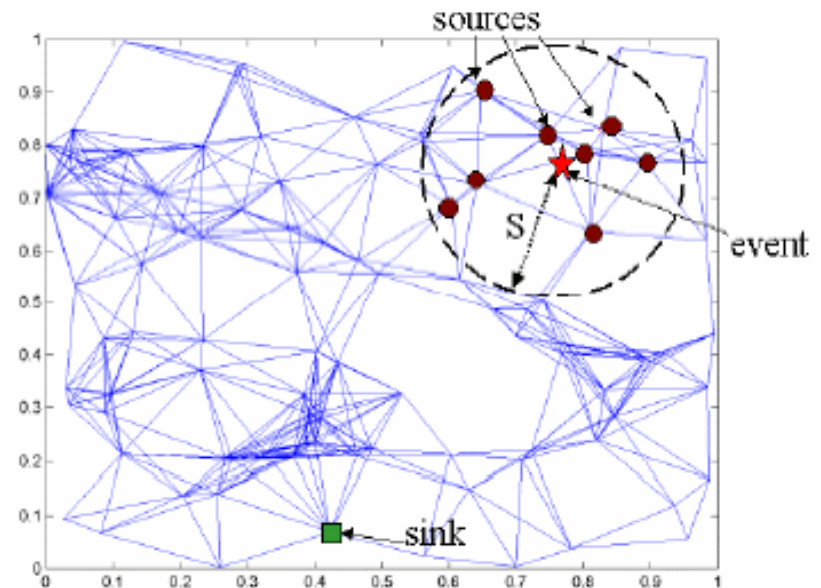
kilde: Hoesel, Havinga

# Forskning – Aggregering

- Område:

- *Eventer* er korrelert geografisk
- Nok å sende én gang
- Artikkel gir teoretiske og simuleringsresultater med besparelse

kilde: Krishnamachari, Estrin, Wicker



- Overhead:

- Fast overhead forbundet med hver pakke
- Hvis vi samler mange pakker kan de dele overhead

## Forskning – *Cross layer optimisation*



- Anerkjennelse av at OSI modell er sub-optimal
- Ønske om å optimalisere på tvers av lagene
- Sammarbeidsprosjekt CROPS:
  - NTNU, TKK, KTH
  - Har lang horisont → mange år

# Hvor går veien videre?



- Applikasjoner i industrien for åpen sløyfe systemer
  - Mye industri er tradisjonell, og tør ikke lukke sløyfen
  - Lukket sløyfe KREVER frekvenshopp.
- 
- Med andre ord:
    - Blåtann passer kun for de aller enkleste uten effektbegrensning
    - ZigBee OK for enkle, ikke kritiske applikasjoner
    - Wireless HART og/eller ISA trengs for mer krevende applikasjoner



## Oppgave #1, Håndholdt ZigBee konfigurering

- Mål

- Målet med oppgaven er å utvikle et grafisk brukergrensesnitt for PDA for konfigurering av operasjonsparametere over ZigBee.

- Arbeidets art og omfang

- Arbeidet vil involvere .NET programmering på PDA for parameter innhenting. Derneft vil studenten kommunisere med ZigBee node i CF innstikkskort i PDA for å sende disse over luften. På motstående side vil en annen ZigBee node ta imot oppsettet.

- Praktisk

- Arbeidssted vil bli hos Enfo Broadcast på Skøyen
- Veileder: Niels Aakvaag og/eller Steve Pedersen

## Oppgave #2, ZigBee sensorikk

- Mål
  - Oppgavens mål er å utvikle en demonstrator av en trådløs sensor basert på ZigBee teknologi
- Arbeidets art og omfang
  - Arbeidet vil i all hovedsak basere seg på eksisterende hardware og noe eksisterende software. Studenten forventes å ta i bruk Embers ZigBee noder sammen med Enfos infrastruktur for å få et operativt trådløst sensorsystem.
- Praktisk
  - Arbeidssted vil bli hos Enfo Broadcast på Skøyen
  - Veileder: Niels Aakvaag og/eller Steve Pedersen