

Trådløse standarder og applikasjoner

Niels Aakvaag

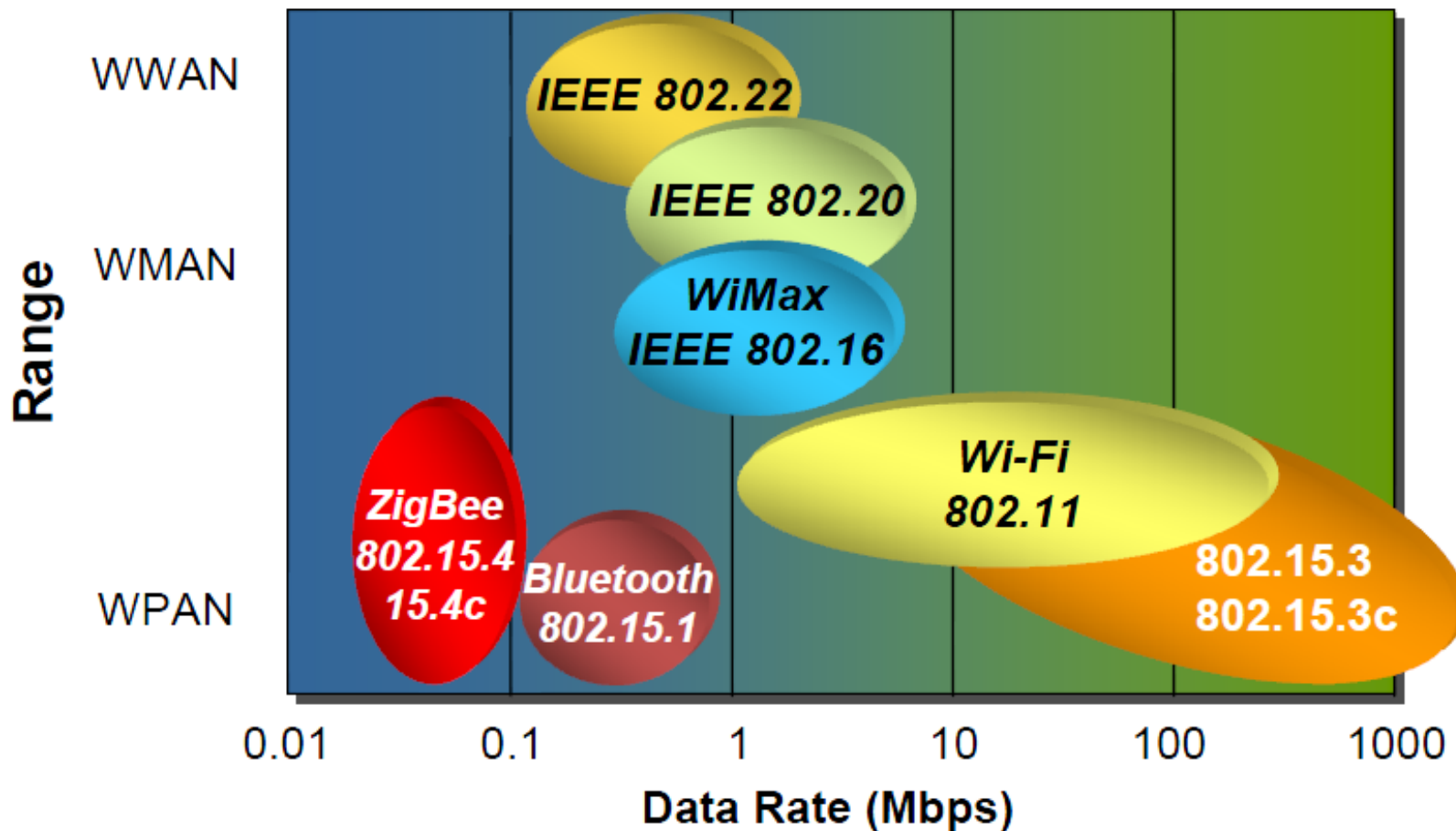
Agenda

- Bakgrunn
- Standarder
 - ZigBee
 - ISA / HART
 - Bluetooth
- Fysiske begrensninger
- Applikasjoner og forskning

Fundamentale trade-off

Range \leftrightarrow Data rate

kilde: www.zigbee.org



Gruppering

■ WSN

- Lite data, multihop (ZigBee, wirelessHART, ISA 100)
- Industrielt, medisinsk (observasjon og enkel kontroll)

■ Poit-to-point

- Data, lyd/bilde (Bluetooth)

■ Vil IKKE snakke om

- Proprietære
- WLAN
- WiMAX
- UWB
- WISA
- Wireless USB

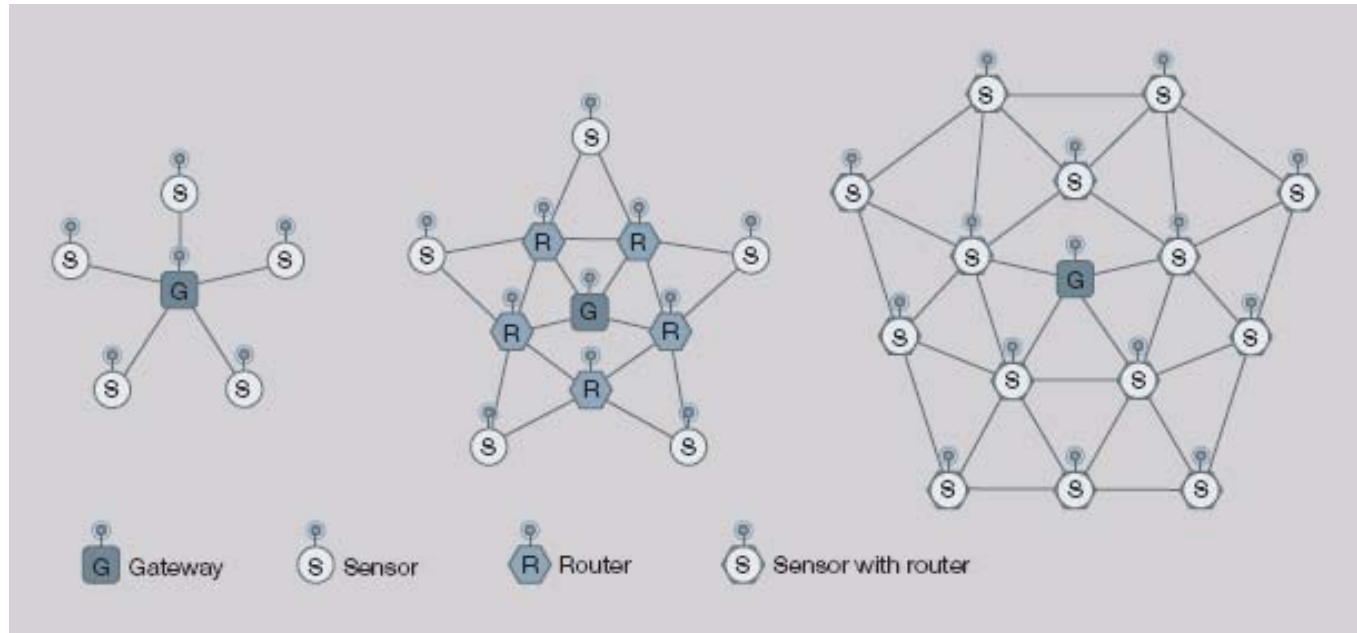
WSN: hva er det egentlig?

- 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
 - Multihopp
 - Ofte energibegrenset

WSN: hva er det egentlig?

■ Topologier

- Stjerne
- Tre
- Mesh



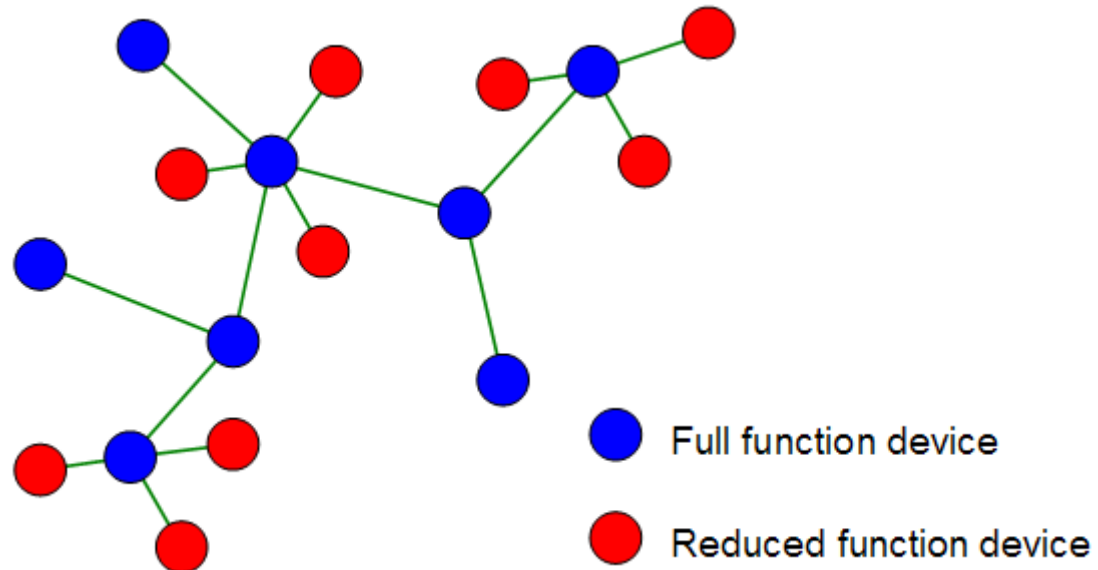
- Forskjellige typer noder:
 - Endenode (kan ikke rute for andre)
 - Ruternode (kan rute for andre)
 - Gateway (hovednode)

WSN: standarder

- ZigBee
- Wireless HART
- ISA SP100
- Wireless M-Bus



- Sjøkk:
 - zigbee.org
 - hartcomm.org
 - isa.org



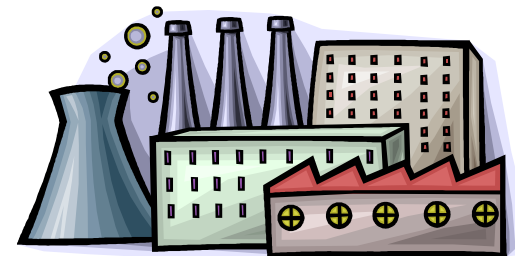
Standarder – ZigBee



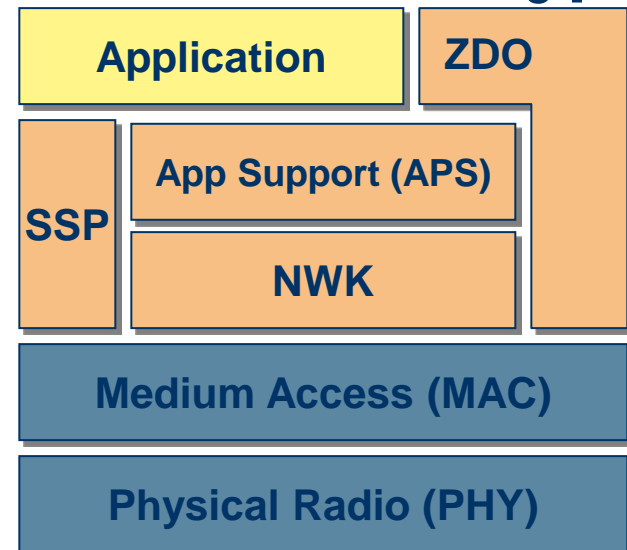
- *Home Automation [HA]*
- *Automatic Meter Infrastructure [AMI]*
- *Smart Energy [SE]*

- ZigBee definerer også stakkprofiler.
- Optimaliserer drift av nettverk og sikkerhet

kilde: zibee.org



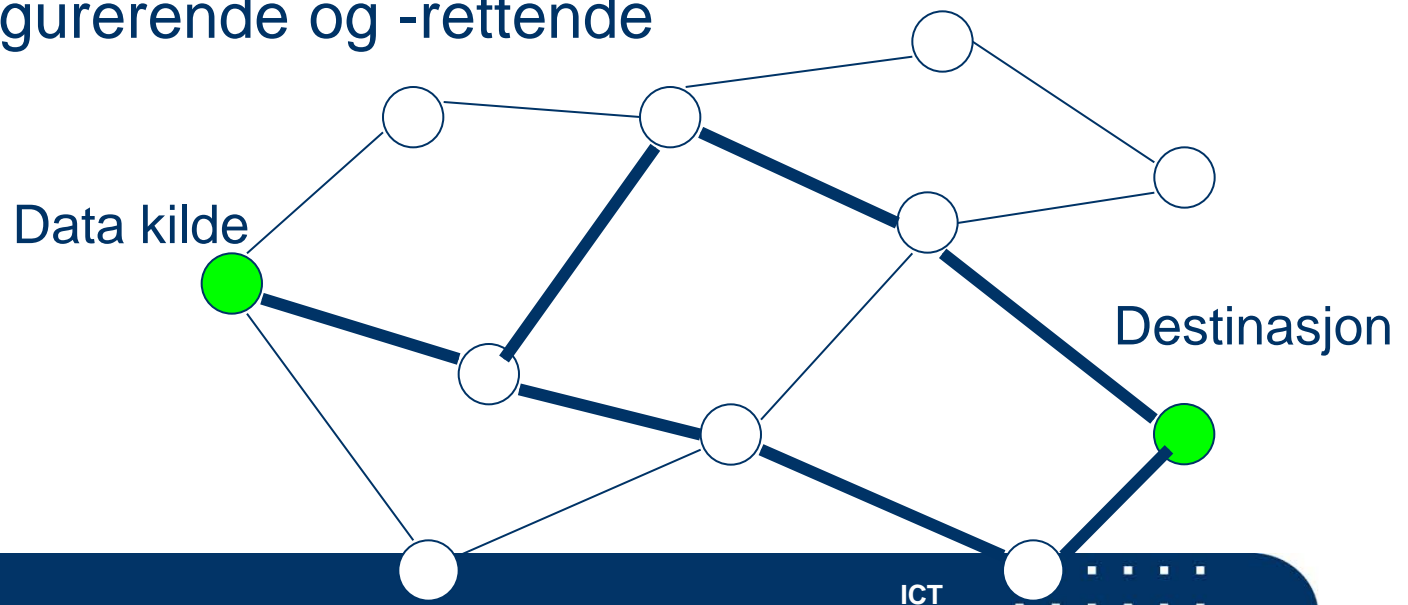
- *Industrial Plant Monitoring [IPM]*



kilde: zigbee.org

Standarder – ZigBee

- PHY/MAC 1.0 i 2003. IEEE 802.15.4
- NTW 1.0 i desember 2004. Basert på AODV
- PHY/MAC lag oppdatert 2006
- ZigBee PRO i 2007
- Spesen kan lastes ned gratis (>100.000 har gjort det)
- Selvkonfigurerende og -rettende



ZigBee Nettverkslag

- Ad Hoc On Demand (AODV)
- Holder KUN de rutene som trengs. Ikke all info i nettet
- Alle rutere har tabeller over:
 - Naboer
 - Hvilke noder man kan rute til (tabell har neste hopp)
- Route Request (RREQ) sendes på *broadcast*
 - Alle sender videre dersom de ikke har en sti til destinasjonen
 - Kalkulerer kost:

$$C(l) = \begin{cases} 7 \\ \min\left(7, \text{round}\left(\frac{1}{p^4}\right)\right) \end{cases}$$

hvor p er sannsynligheten for vellykket transmisjon

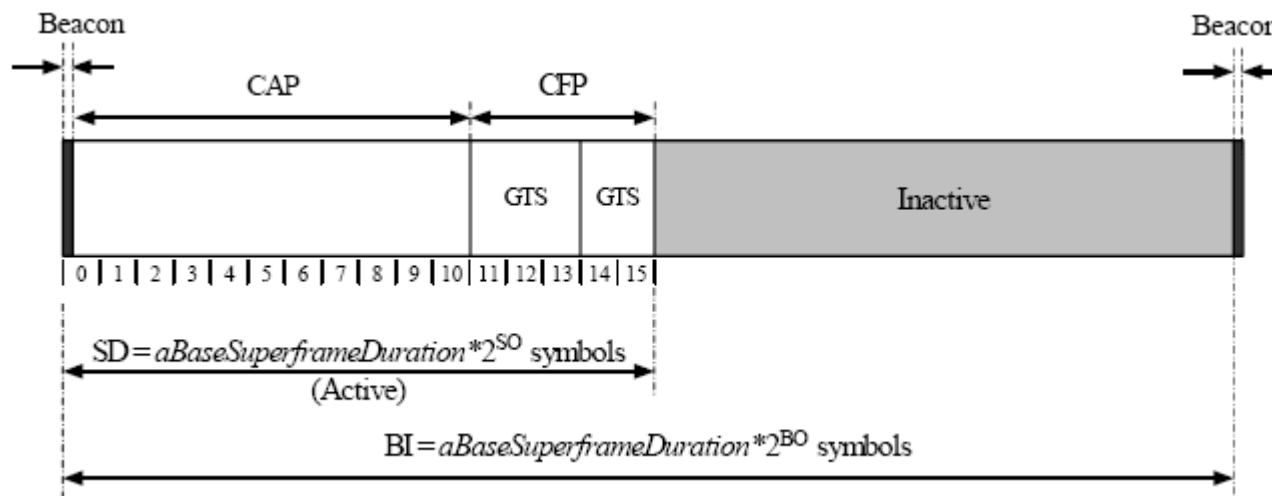
ZigBee Nettverkslag

- RREQ kommer frem til destinasjon, via forskjellige stier
- Destinasjonsnoden svarer med Route Response (RRES) akkumulert kost den sti som har lavest kost

- Vedlikehold av ruter
 - Tabell-entries går ut på dato
 - RERR meldinger ved feil
- Fordeler:
 - *Loop free!*
 - Skalerer bra
 - Lite overhead
- Ulemper:
 - Bryter sammen når mobilitet blir for stor
 - Symmetriske stier er ikke alltid lurt!

ZigBee MAC – 802.15.4

- *Beacon / Non-Beacon*
- CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access*)
 - Deler av båndbredden brukes til random aksess
- GTS (*Guaranteed Time Slot*)
 - Kan holde av deler for spesielle applikasjoner



ZigBee PHY – 802.15.4

- 2.4GHz ISM (*Industrial, Scientific, Medical*)
- Globalt tilgjengelig og lisensfritt
- 250kbps per kanal, 16 kanaler
- Hver kanal 5MHz med 2Mbps chiprate
- 16 bit adresseringsrom (64k enheter)
- Semi-statiske kanaler

Radioer for 802.15.4

Radio	Tx/Rx (mA)	Sensitivitet (dBm)	SoC	Standard
CC2520 (Texas Instr.)	26/18	-98	Nei	ZigBee++
ML7222 (OKI)	24/26	-90	Ja	ZigBee++
EM260 (Ember)	35/35	-97	Ja	ZigBee kun
86RF230 (Atmel)	17/16	-101	Nei	ZigBee++
MC1322V (Freescale)	29/22	-96	Ja	ZigBee++
DN2510 (Dust)	7/6	-90	Ja	HART kun

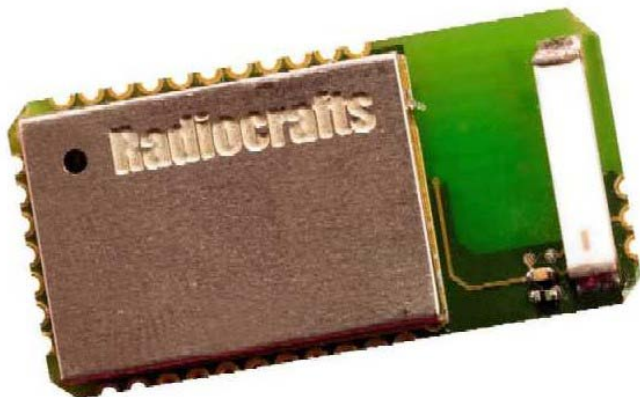
Tydelig trade-off: Effektforbruk \leftarrow \rightarrow Sensitivitet

Andre viktige parametre i radioer

- *”Turnaround time”*
 - Tid fra Tx → Rx (og visa versa)
 - 192µs maks etter 802.15.4 spekk
- Startopp tid fra kald (typisk 4ms)
- Effekt i sove-modus
 - Varierer fra 0.1µA opp til flere mA.
 - Med lav duty cycle kan dette bli dominerende i energibudsjettet

Moduler for 802.15.4

- Brukes ved små serier
- Kort vei til marked
- Lav risiko (ingen RF design)



802.15.4 2006

- Bedre støtte for sikkerhet
- Øket bitrate i lave frekvenser
 - EU: Øket rate til 250kbps i 868MHz (med mindre dekning)
 - USA: Antall kanaler øket i 915MHz samt øket bitrate
- Minner om dempning i *free space* (konstant *gain*):

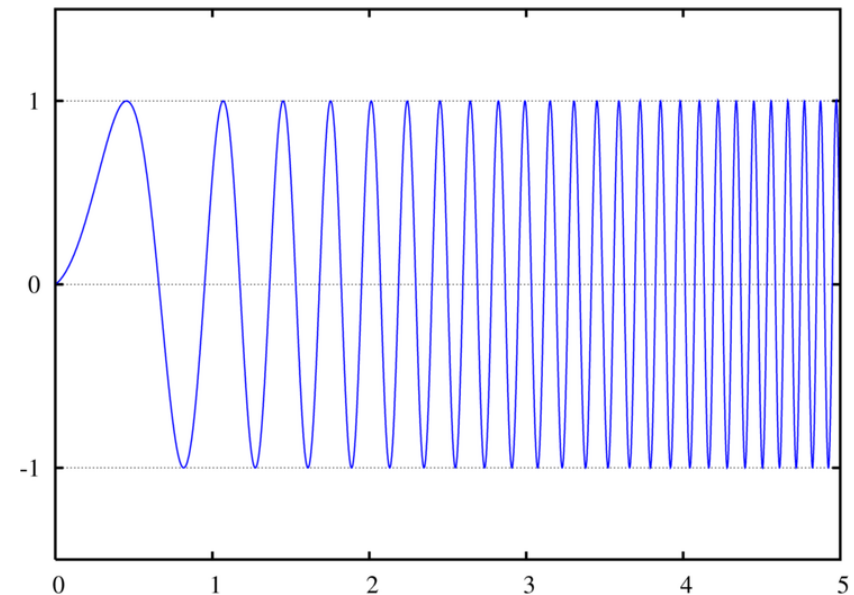
$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{c}{4\pi f D} \right)^2$$

- Dette gir bedre dekning i lavere frekvensbånd

802.15.4a Chirp modulation

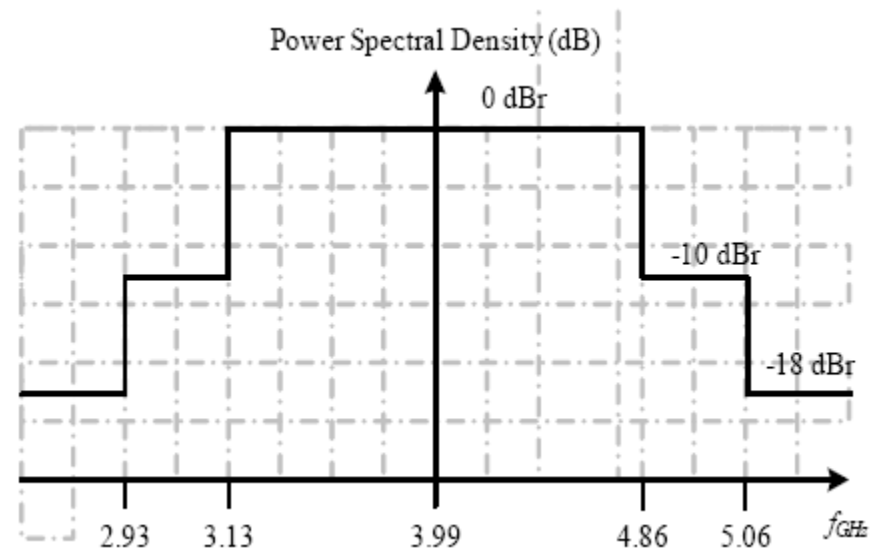
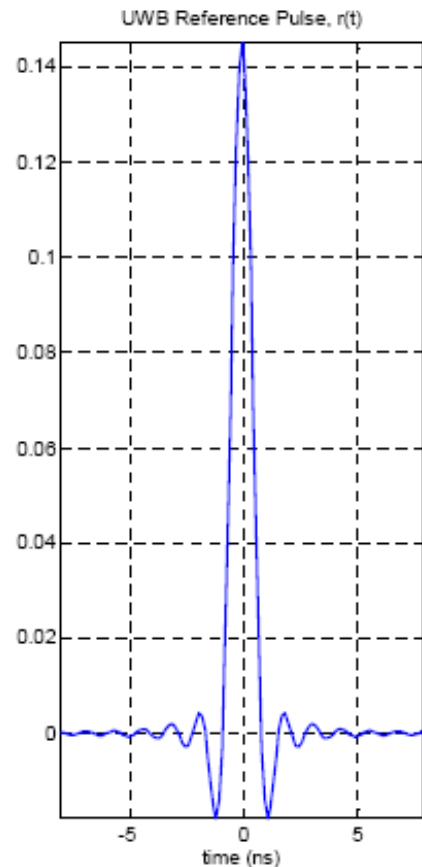
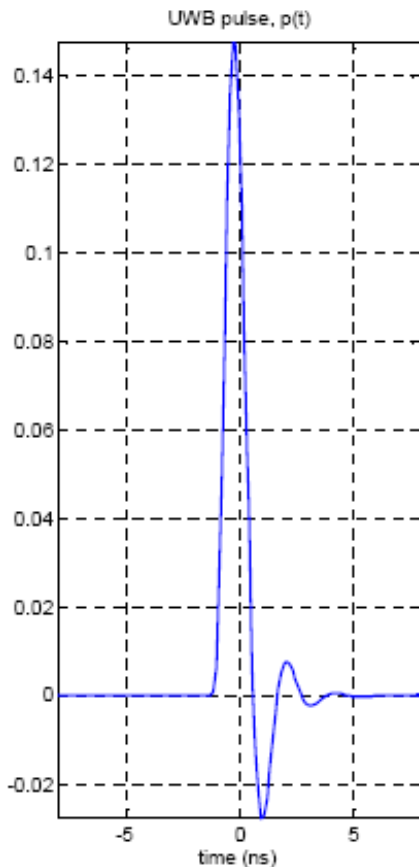
- Initially championed by Nanotron
- Limited to the 2.4GHz band
- Two data rates:
 - 1Mbps using coding $r=3/4$
 - 250kbps optional using $r=3/16$
- Chirp is a linear frequency sweep:

$$s(t) = \exp(i(\omega_o + \mu t)t)$$



802.15.4a UWB pulses

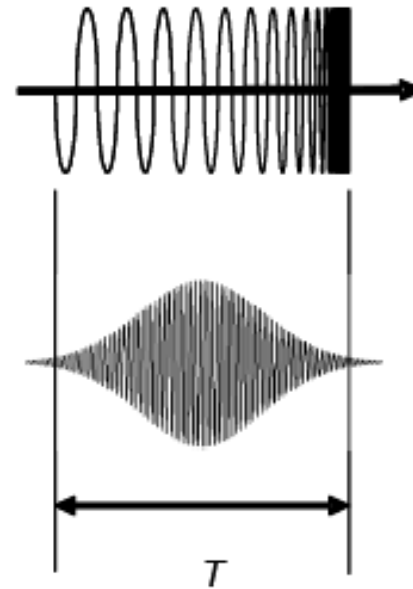
- No unique baseband pulse definition
- Limited only by cross correlation with reference pulse



kilde: zigbee.org

802.15.4a UWB – optional pulses

- CoU (Chirp on UWB)
 - Six different pulses available
- CS (Continuous Spectrum)
 - Any legal pulse, after passing through all pass filter to control group delay
- LCP (Linear Combination Pulse)
 - Any linear combination of legal pulses



kilde: zigbee.org

$$p_{LCP}(t) = \sum_{i=1}^N a_i p(t - \tau_i)$$

Wireless M-Bus

- Tysk standard EN13757-4
- Kun i 868MHz bånd
- 12 kanaler
- Datarater fra 4.8kbps til 100kbps avhengig av kanal
- Variabel sendeeffekt
- Viktig: Lav frekvens gir gode transmisjons-egenskaper
- **Problemer:**
 - ikke multihopp
 - smalt bånd

Sammenligning mellom HART og ISA

- HART (Highway Addressable Remote Transceiver)
- Designet av Emerson på 1980 tallet
- MEGET enkel protokoll som overlager data på 4-20 mA sløyfe
- Wireless HART utviklet for instrumenter som er vanskelig å komme til og for å spare kabling

- ISA kommet opp som konkurrent

Group into performance classes

- Both use the following definition:

Category	Class	Application
Safety	0	Emergency action
Control	1	Closed loop control, process regulation
	2	Closed loop control, process supervision
	3	Open loop control
Monitoring	4	Alert
	5	Logging etc

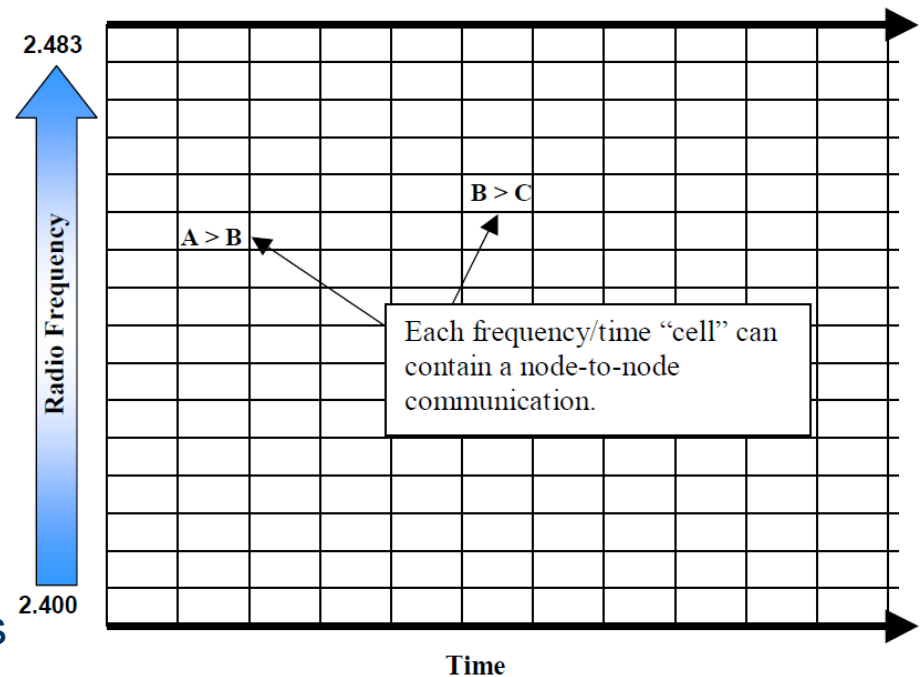
- HART aims at 3 to 5 (although not explicitly)
- ISA aims at class 1 to 5

Similarities

- More similarities than differences:
 - Built on 802.15.4 PHY layer (250kbs, 16 channels, ...)
 - Frequency hopping
 - TDMA based medium access with tight timing control (no routing node off by more than 1ms)
 - Tree based network
 - Redundancy in order to handle occasional communication failure
 - Central controller schedules all communication in network
 - Similar battery lifetime
 - Multihopping and graph-based routing
- To understand the main difference we need to start from the origin of wireless HART: TSMP from Dust

TSMP (and wireless HART)

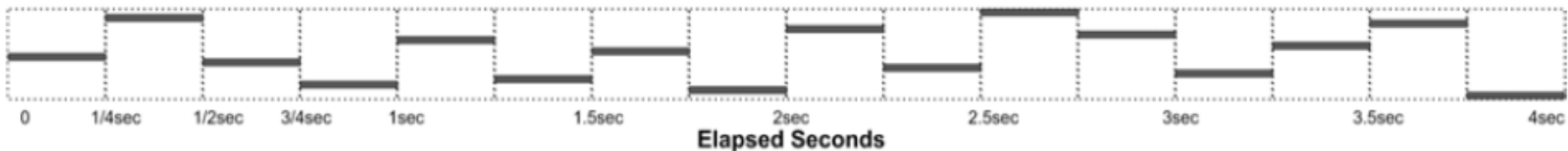
- Basic premise:
 - ALL nodes in mesh network MUST be routers
 - ALL nodes in mesh MUST be battery powered
- Implications:
 - Current consumption when active is most important (at the expense of sensitivity)
 - No general CSMA bandwidth available because it would consume too much energy
 - No support for general end devices
- Also:
 - All slots equal length of 10ms



source: dustnetworks.com

ISA frequency hopping schemes

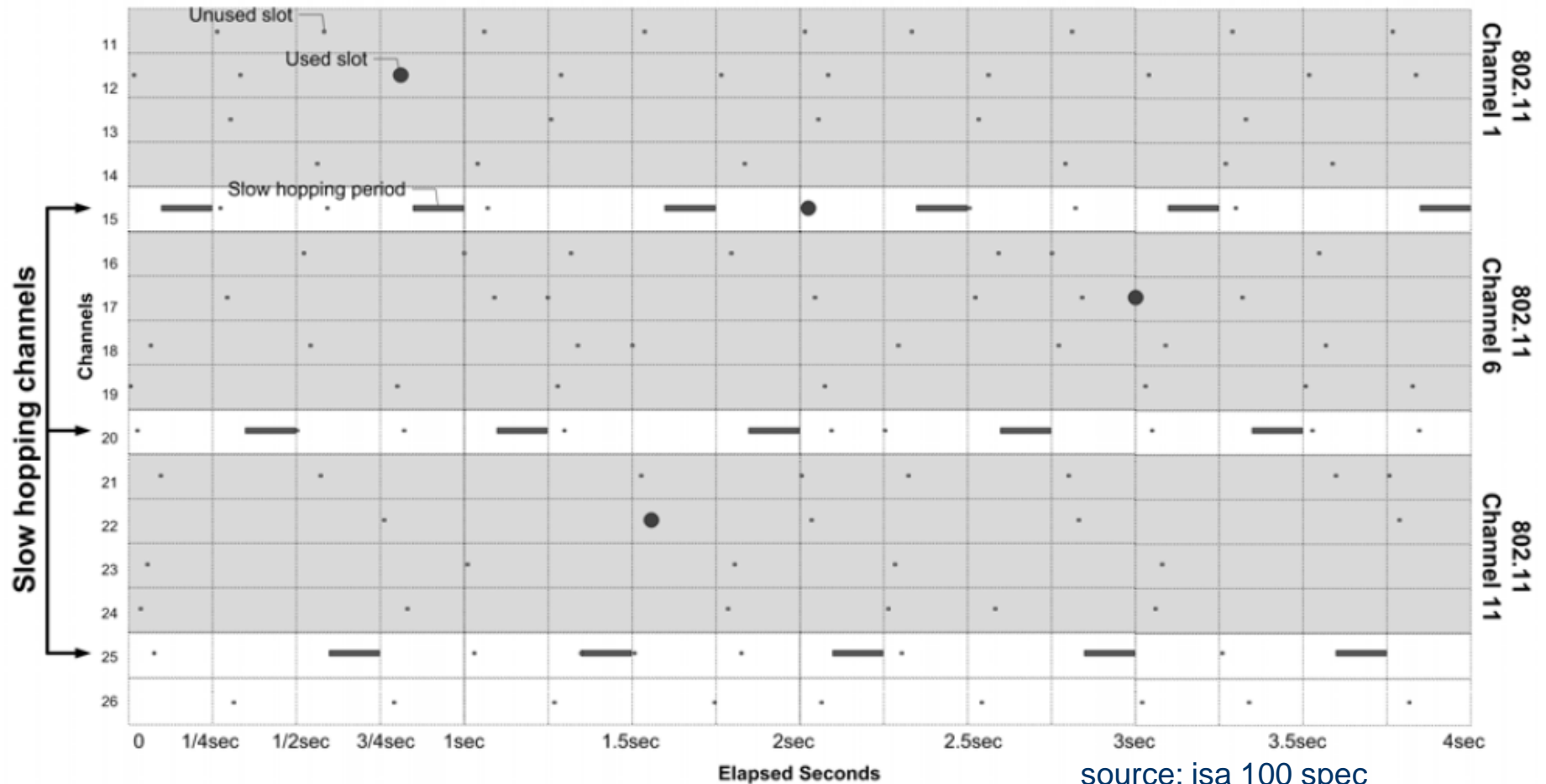
- Normal hopping (SLOTTED) may have different slot length in different subnets
- This flexibility has downside of complexity
- Can set aside bandwidth for CSMA (SLOW)
- Frame length typically 250ms
- Bandwidth is "free for all" and requires mains powered routers



source: isa 100 spec

ISA hybrid mode

- Operate slow and slotted hopping in HYBRID mode



source: isa 100 spec

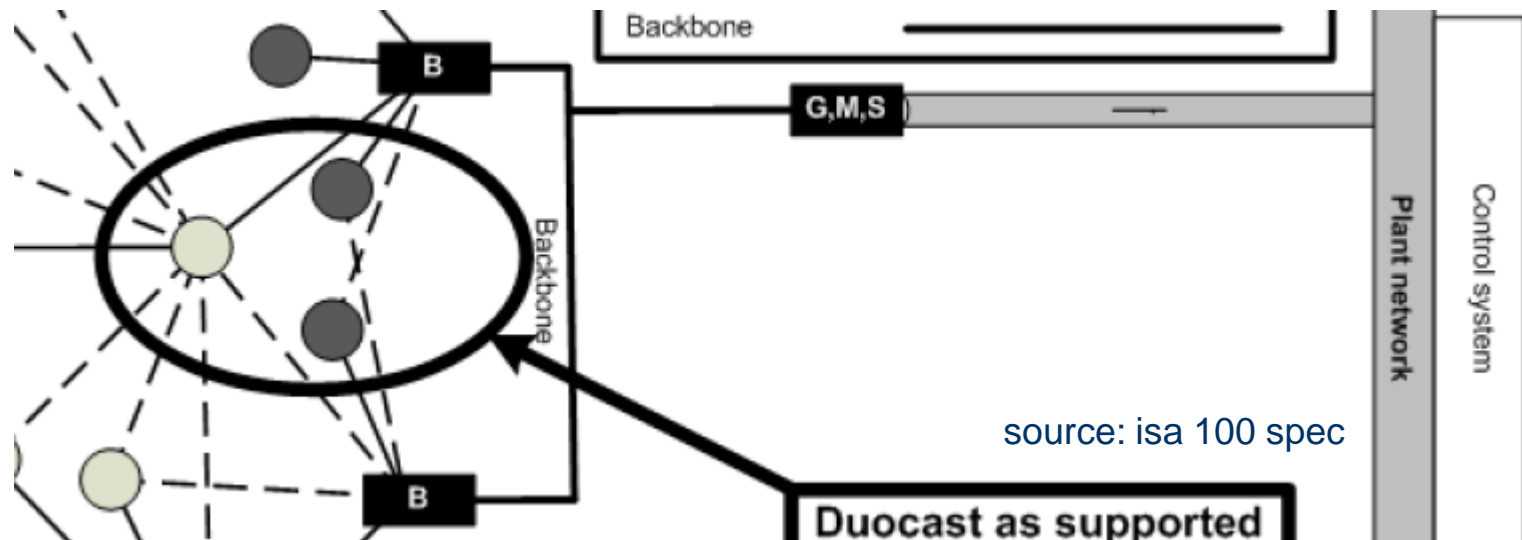
Duo-cast

■ HART

- One-to-one relationship only
- Single ACK in frame
- If link fails, next transmission to alternate gateway (delay)

■ ISA

- One-to-two relationships may be defined to GW
- May have two acks in frame
- Link fails to one, may reach other without added delay.



Application and user level

■ HART

- Standard HART commands
- May define vendor specific commands

■ ISA

- Object oriented communication
- May tunnel different protocols

HART is tailored to the HART commands.

ISA is object oriented and ports easily to different protocols

Stack

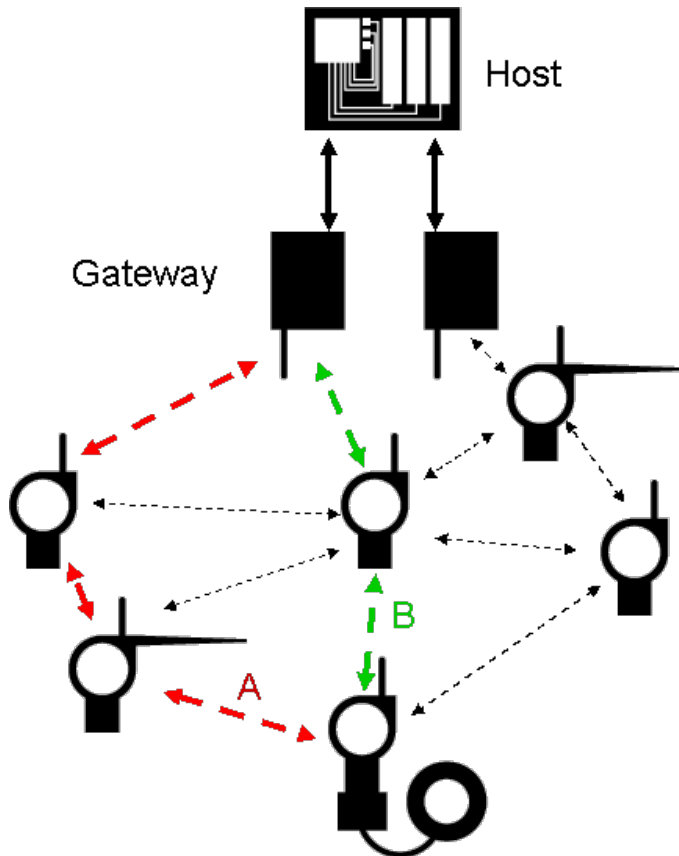
Layer	WirelessHART	ISA100.11a
Application	HART command	Object oriented
Data Link	TDMA, Mesh	TDMA/CSMA, Mesh
Physical	802.15.4, 2.4GHz	802.15.4, 2.4GHz

Other major differences:

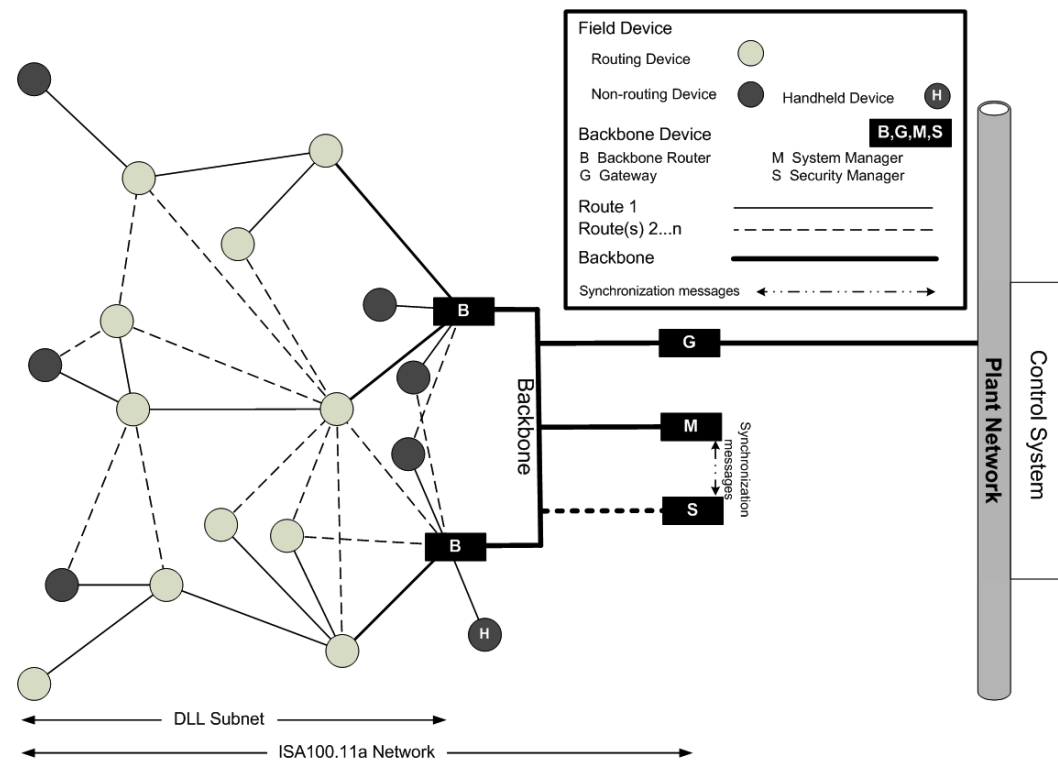
- In ISA 100, the end devices can request contracts with the gateway in order to obtain a certain QoS.
- ISA has defined five hopping sequences. HART only one.
- ISA supports fragmented packets. In HART needs to be done by application

Architectural differences

wirelessHART



ISA 100



source: isa 100 spec

What about the customers?

- Some don't need the CSMA capability
- Some aren't constrained by the HART command structure
- Some have mains power readily available

-but all end customers want the two standards to merge
- There are political (rather than technical) reasons why this has not been done

Immediate future

- Live with two standards:
 - Brown field → wireless HART
 - Green field → ISA 100
- Will see several vendors supporting both standards with same hardware
- May see both standards operative in same space

Bluetooth

- 1MHz kanaler i samme 2.4GHz bånd.
 - Frekvenshopping
 - Stort antall profiler
 - Kun syv slaver i et piconet
-
- 1994. V1.0 Original spesifikasjon
 - 1998. Special Interest Group (SIG)
 - 2004. V2.0 EDR som muliggjør 3Mbps
 - 2009. V3.0 High speed. Gjør at WLAN kan være bærer
 - 2010. V4.0 Bluetooth low energy kommer inn

Bluetooth low energy

- Lavenergi stakk utviklet av NOKIA:
- Bruker 1Mbps fysisk lag fra 1994
- Modifisert m.h.p:



Parameter	Klassisk blåtann	Low energy
Latens (fra ikke koblet)	100ms	6ms
Tid til å sende	100ms	3ms
Tale	Ja	Nei
Topologi	Scatternet	Stjerne
Maks strømtrekk	30mA	15mA

- Muliggjør applikasjoner innen sensorer og aktuatorer

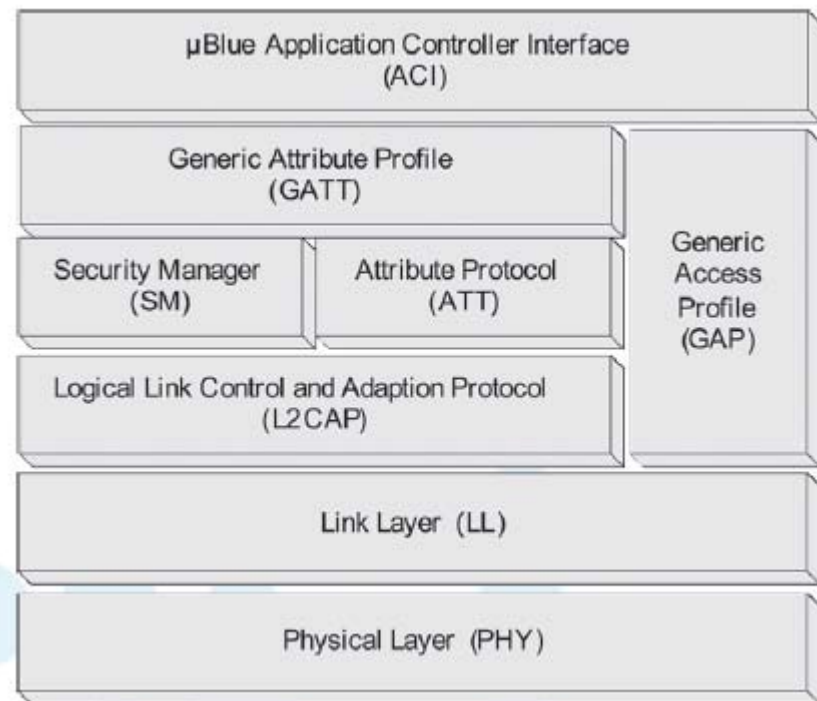
Bluetooth low energy



■ Radio fra f.eks Nordic semiconductor

■ Radio inneholder

- PHY
- Full stakk
- MCU i tillegg for APP



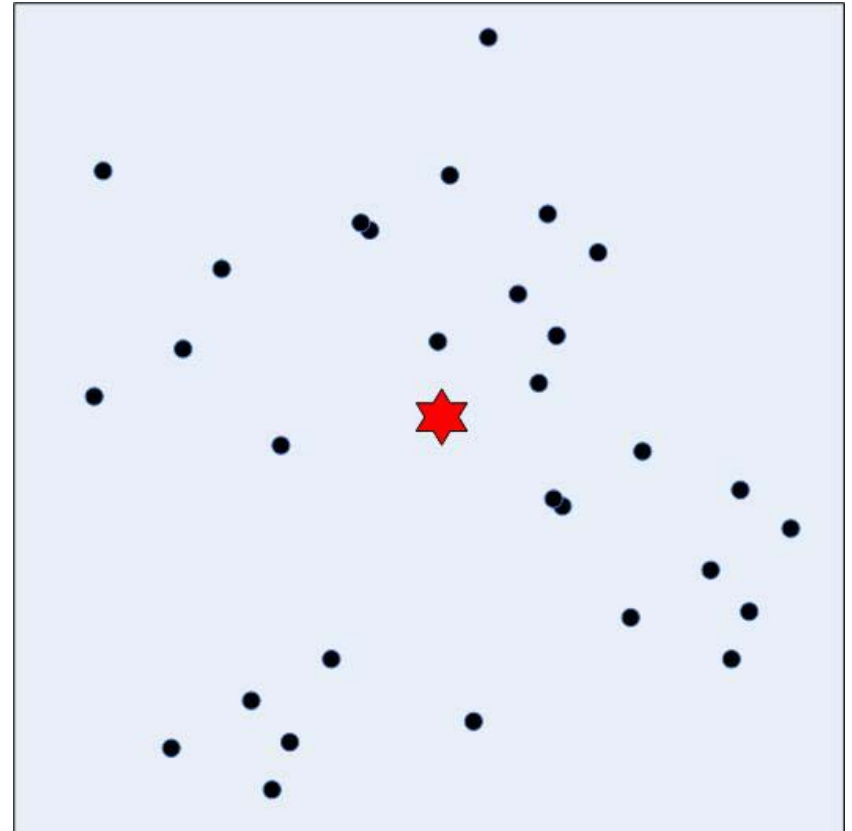
kilde: nordic semiconductor

Fysiske begrensninger

- Endelig båndbredde
- Batteri
- Interferens
- Statiske fade

Fysiske begrensninger - Endelig båndbredde

- Simulering av ZigBee
- Brukte NS-2 simuleringsverktøy
 - Én kanal
 - 100 * 100 meter, noder tilfeldig plassert
 - Snitt 2.5 hopp til gateway
 - 40 byte pakkelengde
 - Alle noder sender hvert 15, 30, 60 sekund



Varierte antall noder og målt pakketap

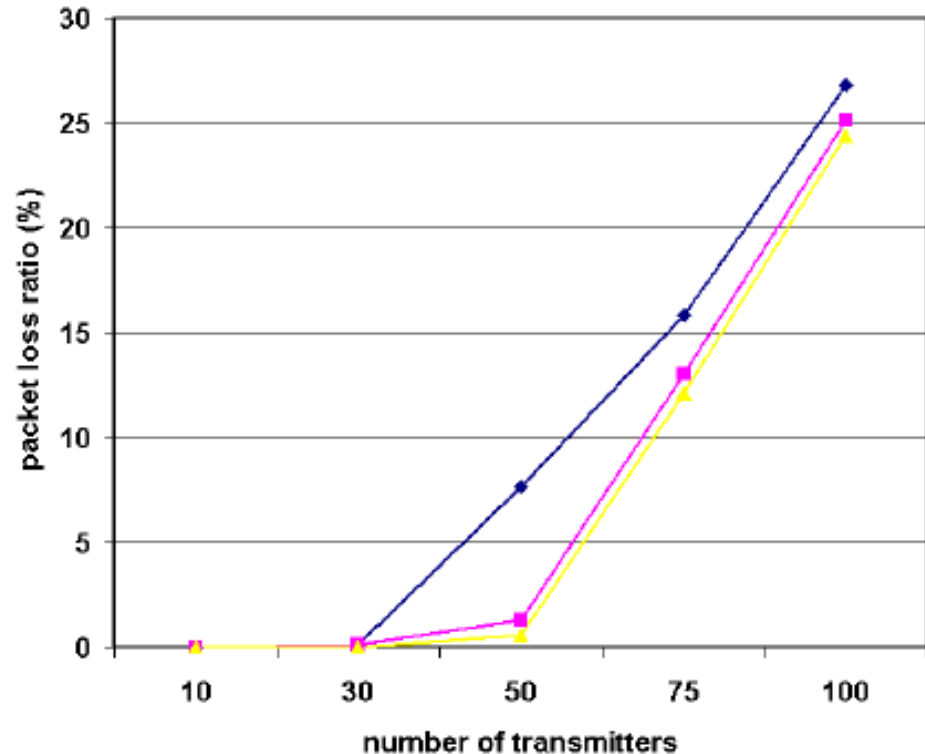
Fysiske begrensninger - Endelig båndbredde

Vil alltid ha noen kollisjoner →

Kollisjon gir ødelagt rute → RERR

Det gir ny RREQ (mer trafikk) →

Flere kollisjoner...



kilde: ntnu

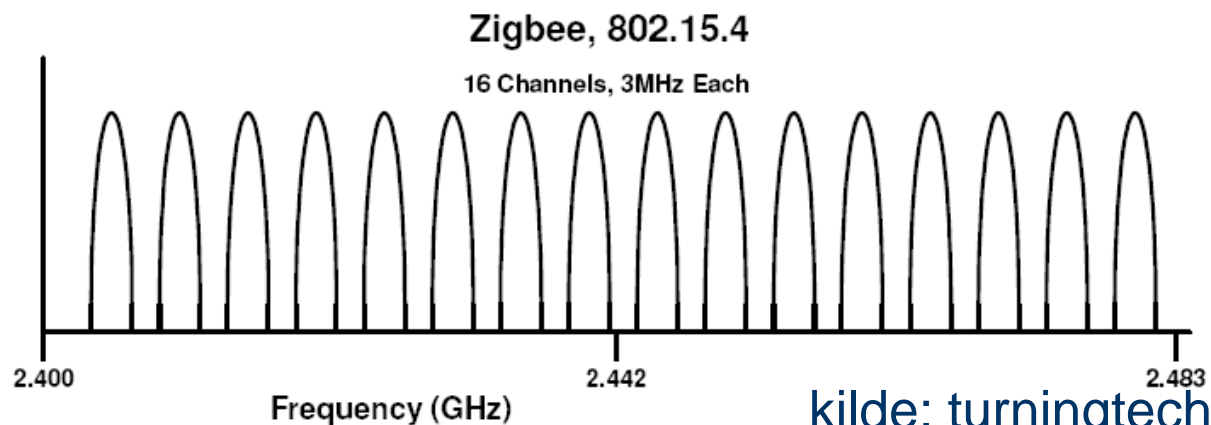
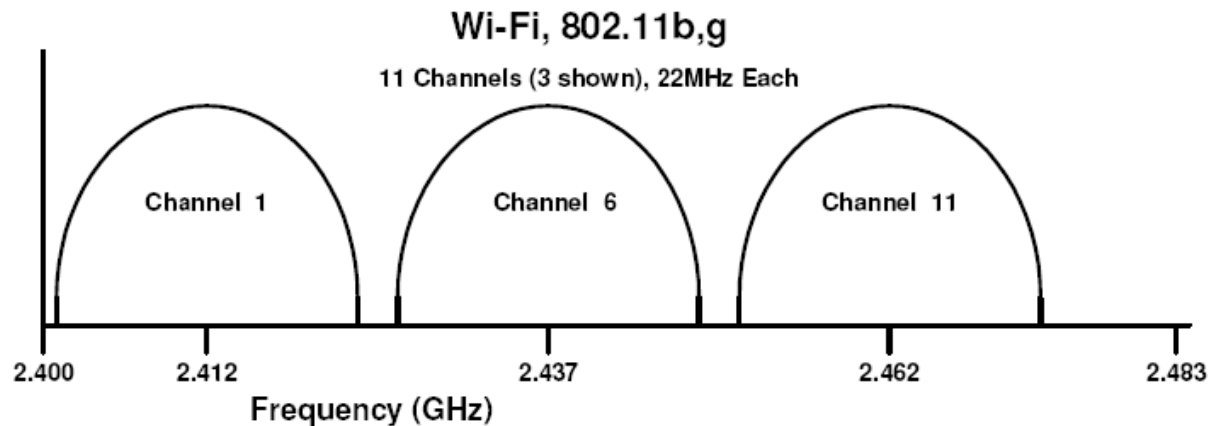
Konklusjon: en øvre begrensning når man søker avveining mellom båndbredde, antall noder, antall hopp og oppdateringsrate

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

Fysiske begrensninger – Interferens

WLAN interferens: frekvens



kilde: turningtechnologies.com

Fysiske begrensninger – Interferens

WLAN interferens:

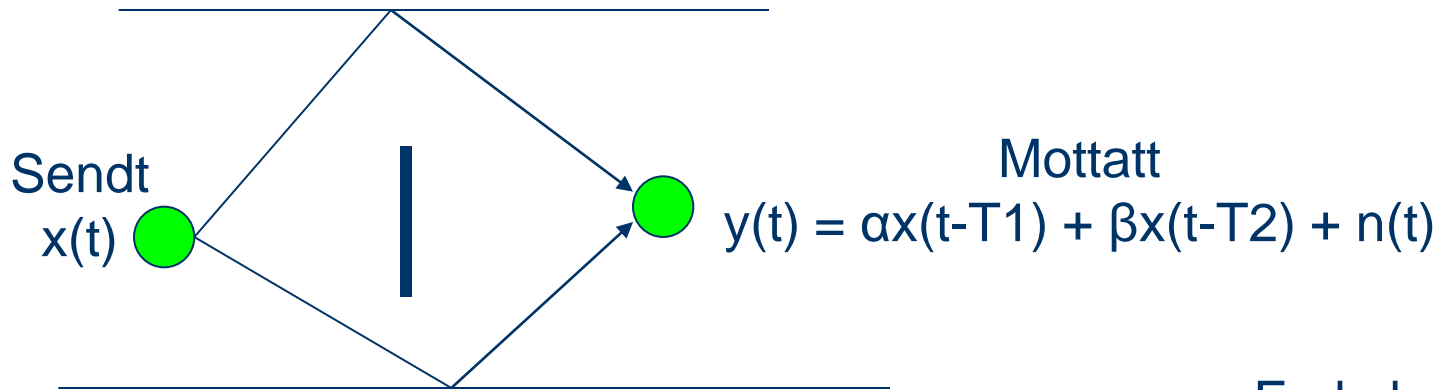
- Tid – Bruker også CSMA/CA. Gir noe beskyttelse
- Frekvens – WLAN har større spredning

Blåtann interferens:

- Tid – Ingen CSMA/CA, men lav effekt
- Frekvens – Alle!

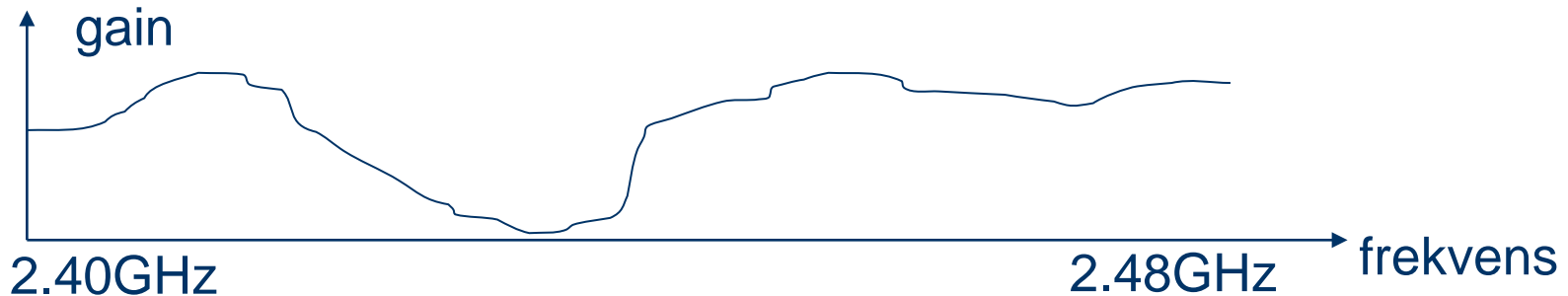
Fysiske begrensninger - Statistiske fade

- Større problem enn interferens



Fade kan dekke flere
802.15.4 kanaler

- Problem: disse er frekvens selektive



Anvendelser 1 – Medisin

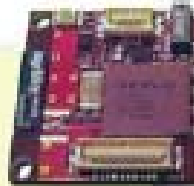
- Overvåkning av eldre og pleietrengende
- Kan bo hjemme eller omsorgsbolig heller enn sykehus
 - Øket livskvalitet
 - Sparer penger
- Samarbeidsprosjekt Melody
 - Rikshospitalet, NTNU, FFI, UiO, industrielle partnere

Anvendelser 1 – Medisin



WSN Mote

- Wireless UWB
- Relaying nodes
- In range
- Small and battery operated



Heart rate & breathing sensor

- Medical UWB radar
- Local detection and analysis
- Wireless

Implanted Glucose sensor

- Wireless
- Local analysis
- Controlling insulin pump
- Alarms

Smart chair - smart bed

- Vital signs detection
 - heart rate
 - cardiac output
 - Blood pressure

WSN <-> WAN bridge

- Data aggregation
- Local proc/interpretation
- Alarms
- Encryption

Ear lobe oximeter

- Blood oxygen saturation
- Body temperature
- Accelerometer
- Wireless WSN using UWB

Implanted Insuline pump

- Wireless control of injection
- Local drug delivery control
- Smart delivery assessment

Anvendelser 2 – Medisin

- Samarbeidsprosjekt Sampos
 - Rikshospitalet, NTNU, Norsk Regnesentral, industri
- Basal forskning på UWB Body Sensor Networks
- Typiske forskningsområder
 - Håndtering av smalbåndet interferens i UWB
 - MAC lag i WSN
 - Smart effekt kontroll
 - MPEG21

Anvendelser 3 – Olje og gass

- Samarbeidsprosjekt Statoil, ABB, SINTEF
- Ønsket å teste trådløs offshore
- Gullfaks. Haleproduksjon og problemer med trykk som forsvinner
- Ønsker rask deteksjon. I dag manuelt 1 gang per seks timer
- Idé: Temperaturmåling på inntakene



kilde: Statoil/SINTEF

Anvendelser 3 – Olje og gass

■ Krav:

- ATEX. Kan brukes i eksplosive områder
- 99,9% pålitelig
- Latens < 2 sek
- Temp 35°C - 85°C
- Oppløsning 1°C

■ wirelessHART med 5 sek oppdatering



kilde: Statoil/SINTEF

Anvendelser 3 – Olje og gass

- Observasjon 1
 - Dårlig sensitivitet gir problemer med dekning
 - Må ha ekstra GW for å overholde latenskrav (multihopp ikke mulig)
- Observasjon 2
 - Høy stabilitet. 100% i hele testperioden
- Konklusjon
 - Flere tester på Gullfaks B og C

Anvendelser 4 - Gassdeteksjon

- GasSecure. Nystartet norsk selskap som utvikler trådløs gassdetektor for bruk i olje og gass sektoren
- Spin-off fra SINTEF
- Har demonstrert basisteknologi
- Basert på ISA 100
- Samarbeider med:
 - Statoil
 - ABB
 - SINTEF
 - Datarespons
 - DNV



Annen 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

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:
 - ZigBee PRO OK for enkle, ikke kritiske applikasjoner (hjem, industri, ...)
 - Wireless HART og/eller ISA trengs for mer krevende applikasjoner
 - Bluetooth low energy kan brukes til lav effekt applikasjoner, single hopp, middels BW krav

Destination always known with wired signals.....



source: www.isa.org