



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

| | |
|--|---|
| Studieprogram/spesialisering: Informasjonsteknologi: Signal- og bildebehandling | Vårsemesteret, 2010 Åpen |
| Forfatter: Emir Causevic | <hr/> (Emir Causevic) |
| Fagansvarlig: Reggie Davidrajuh Veileder(e): | |
| Tittel på masteroppgaven: Utvikling av et ZigBee-sensornettverk Engelsk tittel: Developing a ZigBee sensor network | |
| Studiepoeng: 30 | |
| Emneord: <ul style="list-style-type: none">- ZigBee- Mesh-nettverk- GSM- Posisjonering | Sidetall: 77 + vedlegg/annet: CD Stavanger, 15.06.2010 |

Sammendrag

Bakgrunnen for valget av oppgaven "Utvikling av et ZigBee-sensornettverk" ligger først og fremst i ønsket om å kunne ta i bruk husautomasjon på en lett og rimelig måte, både når det skal implementeres i eksisterende hus men også i nybygg, samt utforske den relativt nye, framtreddende, standarden ZigBee.

ZigBee er en trådløs kommunikasjonsprotokoll som er velegnet for store sensornettverk som brukes i husautomasjon, i hovedsak på grunn av lavt strømforbruk, lave kostnader og god brukervennlighet.

Leseren får grundig introduksjon til ZigBee-teknologien sine egenskaper, og hvordan denne teknologien er, sammenlignet med andre konkurrerende teknologier.

I oppgaven beskrives også hovedprinsippene i et moderne husautomasjonssystem, samt hvordan et slikt system kan lages fra bunn av.

Systemet som kan implementeres i et hus skal i utgangspunktet brukes til å styre og overvåke forskjellige elektriske artikler, som lys, varme og alarmer. Det vil også kunne utvides til å ha mer avanserte funksjoner som posisjonering/lokalisering og styring av intelligente husholdningsapparater som utvikles i stadig større grad. Systemet har en GSM-modul som muliggjør rapportering av alarmer og hendelser til brukeren, men også lar brukeren fjernstyre enhetene via mobilnettet.

Konfigurasjon av systemet og tilkobling av nye sensorer skjer ved hjelp av et egenutviklet program på datamaskinen, som også gir brukeren mulighet for detaljert sanntidsovervåking, noe som er unikt for dette systemet.

I oppgaven blir det tatt hensyn til hvilke krav som stilles til programvaren og maskinvaren for et system med denne funksjonaliteten, samt valg og oppsett av maskinvaren. I grove trekk kan kravene deles opp i energieffektivitet, pålitelighet og at det skal være rimelig å både produsere og anskaffe.

I en kortfattet markedsanalyse i oppgaven ble det avgjort at tilgjengelige systemer med tilsvarende funksjonalitet prises høyt, og forblir forebeholdt industrisektoren eller spesielt interesserte. Systemet i denne oppgaven er utviklet for et gjennomsnittlig hjem, og vil derfor være betydelig lavere priset.

Resultatet som er oppnådd viser at det er fullt mulig å utvikle et avansert trådløst automasjonssystem som presterer bedre enn tilsvarende produkter på markedet i dag, både med tanke på pris, funksjonalitet og brukervennlighet. Resultatet avviker likevel noe fra ønsket resultat, der de mest avanserte funksjonene som triangulering, mesh-nettverk og selvhelbreding ikke kunne testes godt nok på grunn av manglende tid og utstyr. Det ble likevel utført tester som demonstrerer disse funksjonene på en enklere og mer primitiv måte.

Videreutviklingspotensialet til systemet er stort, hvor systemet for eksempel kan utvides til å kobles til og styres via Internett. Utvidinger som implementering av støtte for GPRS og triangulering kan implementeres direkte uten å måtte bytte maskinvare. Dette, i tillegg til grunnlaget som er lagt, motiverer sterkt til videre arbeid med systemet.

Forord

Problemstillingen og ideen til oppgaven er vår egen, og bakgrunnen for valget er det aktuelle temaet husautomasjon og smarthjem. Vi ville også utforske og erverve kunnskap om de trådløse standardene for et slikt system.

Oppgaven er sammensatt av to individuelle deler, i hovedsak maskinvare og programvare, og en fellesdel som binder delene sammen til et komplett system.

Vi vil spesielt rette en stor takk til vår veileder og faglig ansvarlig Reggie Davidrajuh. Videre vil vi takke førsteamanuensis Ivar Austvoll for tilrettelegging av laboratorielokal, overingeniør Per Jotun for lån av datautstyr og Ståle Freyer for innkjøp av testutstyr.

Til slutt vil vi takke instituttkoordinatør Patricia Retamal for god administrativ hjelp.

Stavanger, 15.06.2010

Emir Causevic

Per Olaf Gomsrud

Innholdsfortegnelse

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INNLEDNING | 6 |
| 1.1 | OPPBYGGING AV RAPPORTEN | 7 |
| 1.2 | OVERORDNET SYSTEM | 8 |
| 2 | INTRODUKSJON TIL ZIGBEE | 9 |
| 2.1 | TRÅDLØSE ENHETER I HJEMMET; ZIGBEE, WiFi OG BLUETOOTH | 10 |
| 2.2 | SAMMENLIGNING AV ZIGBEE PRO, WIRELESSHART OG ISA100.11A | 11 |
| 2.3 | OPPBYGNING AV ZIGBEE-STAKKEN | 13 |
| 2.3.1 | Fysisk lag - PHY | 14 |
| 2.3.2 | Linklag – MAC | 14 |
| 2.3.3 | Nettverkslag - NWK | 15 |
| 2.3.3.1 | Nettverkslagets datainstans - NLDE | 15 |
| 2.3.3.2 | Nettverkslagets forvaltningsinstans - NLME | 15 |
| 2.3.4 | Applikasjonslag – APL | 16 |
| 2.3.4.1 | Applikasjonsunderlaget - APS | 16 |
| 2.3.4.2 | ZigBee-enhetsobjekter - ZDO | 16 |
| 2.4 | MELDINGSTYPER | 17 |
| 2.4.1 | Unicast-meldinger | 17 |
| 2.4.2 | Broadcast-meldinger | 17 |
| 2.4.3 | Multicast-meldinger | 17 |
| 2.5 | ENHETSTYPER | 18 |
| 2.5.1 | Fullfunksjonsenhet - FFD | 18 |
| 2.5.2 | Redusert funksjonsenhet - RFD | 18 |
| 2.6 | ZIGBEE ENHETSROLLER | 19 |
| 2.6.1 | Koordinator | 19 |
| 2.6.2 | Ruter | 19 |
| 2.6.3 | Endeenhet - End Device | 19 |
| 2.7 | NETTVERKSTOPOLOGI | 20 |
| 2.7.1 | Stjernetopologi | 20 |
| 2.7.2 | Treklyngetopologi | 20 |
| 2.7.3 | Mesh-struktur | 21 |
| 2.8 | SIKKERHETSHÅNTERING | 22 |
| 2.8.1 | Forskjellige sikkerhetsnivåer | 22 |
| 2.8.1.1 | Boligsikkerhet | 22 |
| 2.8.1.2 | Standardsikkerhet | 22 |
| 2.8.1.3 | Høynivåsikkerhet | 22 |
| 2.8.1.4 | Ingen sikkerhet | 22 |
| 2.8.2 | Sikkerhetssenter – Trust Center | 23 |
| 2.9 | INTERFERENS MED ANDRE ENHETER | 24 |
| 2.10 | EMBER "ZIGBEE PRO"-STAKK – EMBERZNET PRO | 26 |
| 3 | UTVIKLING AV ZIGBEE-SENSORNETTVERK FOR IMPLEMENTERING I HJEMMET | 27 |
| 3.1 | MASKINVARE | 27 |
| 3.1.1 | Overordnet oppsett av hardware | 27 |
| 3.1.2 | Krav for mikrokontrollere | 30 |
| 3.1.3 | Krav for ZigBee-modul | 32 |
| 3.1.4 | Krav for GSM-modul | 33 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.1.5 | Valg av mikrokontroller..... | 34 |
| 3.1.5.1 | Mikrokontroller for basestasjon | 35 |
| 3.1.5.2 | Mikrokontroller for node/sensor..... | 37 |
| 3.1.6 | Valg av ZigBee-modul..... | 39 |
| 3.1.7 | Valg av GSM-modul..... | 41 |
| 3.1.8 | Oppsett av mikrokontroller for basestasjon | 42 |
| 3.1.9 | Oppsett av mikrokontroller for ruter..... | 45 |
| 3.1.10 | Oppsett av mikrokontroller for sensor | 46 |
| 3.1.11 | Oppsett av ZigBee-modul..... | 47 |
| 3.1.12 | Oppsett av GSM-modul..... | 48 |
| 3.1.13 | Kommunikasjon med software | 49 |
| 3.1.14 | Pålitelighet..... | 51 |
| 3.1.15 | Kostnad | 52 |
| 3.1.16 | Stråling og miljø..... | 53 |
| 3.2 | PROGRAMVARE | 54 |
| 3.2.1 | Introduksjon | 54 |
| 3.2.2 | Valg av utviklingsverktøy | 55 |
| 3.2.3 | Programvare på datamaskinen..... | 55 |
| 3.2.4 | Meldingsoppsett..... | 57 |
| 3.2.4.1 | Kommunikasjonsrutine med intervall..... | 58 |
| 3.2.5 | Brukervennlighet | 59 |
| 3.2.6 | Ressurskrav..... | 60 |
| 3.3 | KOMPLETT SYSTEM | 61 |
| 3.3.1 | Prototype..... | 61 |
| 3.3.1.1 | Brukervennlighet, konfigurasjon og pålitelighet | 61 |
| 3.3.2 | Funksjonalitetstester | 61 |
| 3.3.3 | Sikkerheten til oppsettet | 62 |
| 3.3.4 | Eksisterende automasjonsprodukter på markedet | 63 |
| 3.3.4.1 | Elko..... | 64 |
| 3.3.4.2 | KNX (tidligere EIB): | 64 |
| 3.3.4.3 | Moeller X10-Comfort..... | 65 |
| 3.3.5 | Kostnader for ZigBee-systemet | 66 |
| 3.3.5.1 | Kostnadseksempel..... | 66 |
| 3.4 | VIDERE EKSPERIMENTERING MED SYSTEMET - LOKALISERING | 68 |
| 3.4.1 | Hovedteknologier brukt til posisjonering | 68 |
| 3.4.1.1 | Infrarød..... | 68 |
| 3.4.1.2 | Radiofrekvens - RF | 68 |
| 3.4.1.3 | Ultralyd | 68 |
| 3.4.2 | Avstandsberegning i detalj..... | 69 |
| 3.4.2.1 | Læremetode for klassifisering (SVM) | 70 |
| 3.4.3 | Lokaliseringsoppsett..... | 71 |
| 3.4.3.1 | Resultat..... | 71 |
| 3.4.3.2 | Konklusjon: | 72 |
| 4 | RESULTAT | 73 |
| 5 | KONKLUSJON | 74 |
| 6 | VIDEREUTVIKLING..... | 75 |
| 7 | KILDER | 77 |

1 Innledning

Smarthjem med mulighet for fjernstyring og overvåking som forenkler hverdagen samtidig som det sparer strøm og miljø er blitt et hett tema de siste årene.

Bakgrunnen for valget av denne oppgaven ligger nettopp i ønsket om å kunne implementere et husovervåkings- og styringssystem i nye så vel som eksisterende hjem, til en overkommelig pris.

Det finnes flere leverandører som tilbyr et komplett system for smarthjem, men de er i stor grad forbeholdt nye bygg på grunn av behov for omfattende infrastruktur for styringssystemet. I tillegg til at prisnivået fortsatt er i industriklassen, har slike systemer blitt forbeholdt teknologimesser og spesielt interesserte.

Kostnadene med å installere et slikt system i eksisterende hjem blir ofte svært høye, i hovedsak på grunn av at system som er tilgjengelige på markedet krever store mengder kabler fra basestasjonen til de forskjellige endeenhetene. For å få prisen ned til et mer realistisk og overkommelig nivå, er trådløs teknologi en god måte å unngå behovet for omfattende kabelinfrastruktur. ZigBee er en trådløs standard som egner seg svært godt til dette.

ZigBee er en relativt ny teknologi som med sitt lave strømforbruk, avansert nettverkstopologi og lave kostnader har blitt vinklet mot bruk i automatisering, styring og overvåking av både hjem og store industriområder.

Teknologien har avanserte funksjoner som støtte for mesh-nettverk, som er overlegent både stjerne- og treklyngenettverk med hensyn på rekkevidde, robusthet og pålitelighet. I et ZigBee-mesh-nettverk vil oppgavene til basestasjonen bli desentralisert etter førstegangsoppsett, slik at i tilfelle basestasjonen skulle falle ut, vil andre noder påta seg ansvaret for å opprettholde funksjonaliteten og integriteten til nettverket. Sammen med avansert ruting utgjør dette et selvhelbredende system.

I tillegg er ZigBee billig å produsere på grunn av lav kompleksitet i forhold til funksjonalitet, og er svært energieffektiv, noe som muliggjør batteridrevne enheter med svært lang batterilevetid.

Før oppstarten av oppgaven ble flere bedrifter i Norge kontaktet for å få innsikt i hvordan utbredelsen av ZigBee er. Tilbakemeldingene var i hovedsak at det var en lite utprøvd teknologi, og at det ville være dyrt å utvikle et slikt system.

1.1 Oppbygging av rapporten

Rapporten består i all hovedsak av fire deler, fordelt på sju kapitler. Den er delt i en introduksjon, en teoridel om ZigBee, en eksperimenterings- og utviklingsdel og en avslutning med resultat, konklusjon og videreutviklingspotensial.

Introduksjonen består av et kort sammendrag av oppgaven, forord, innholdsliste og en innledning som tar for seg bakgrunnen for valget av temaet.

Teoridelen om ZigBee tar for seg oppbygningen og virkemåten til ZigBee-standard, og beskriver hvordan teknologien har utviklet seg. Kapitlet avsluttes med en beskrivelse av Ember sin ZigBee-stakk, som er grunnlaget for systemet i denne oppgaven.

Utviklingskapitlet tar for seg de forskjellige stegene som er nødvendige for å kunne utvikle et robust og pålitelig system.

Delen om maskinvare tar for seg hva som kreves av maskinvaren til systemet, bakgrunnen for valget av maskinvare, samt oppsett og konfigurasjon før det kan brukes i systemet.

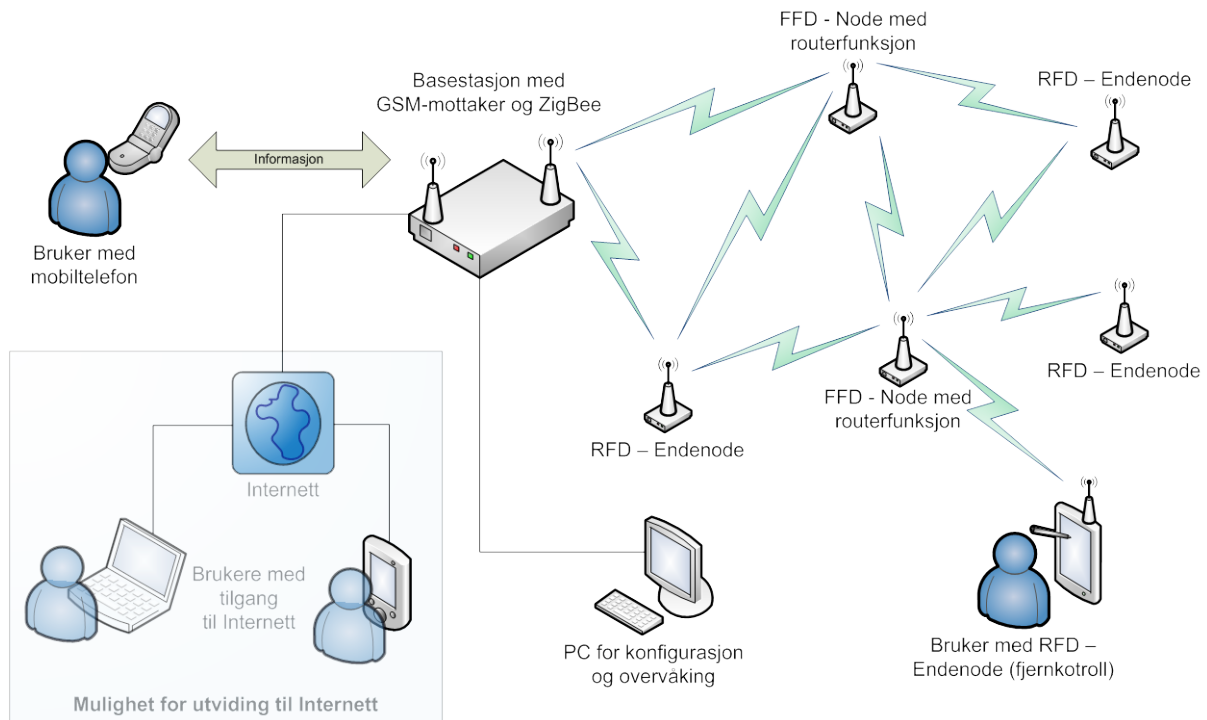
Programvaredelen tar for seg hvilke kriterier som stilles til systemet, valg av utviklingsverktøy og oppbygningen av selve programmet som skal brukes av systemet.

Maskinvare- og programvaredelen blir satt sammen til et komplett system, hvor tester utføres for å vurdere funksjonaliteten, brukervennligheten og integriteten til systemet.

Utviklingskapitlet avsluttes med en eksperimentell del om avstansberegning og lokalisering med ZigBee. Dette er gjort for å vurdere muligheten for implementering av denne teknologien i systemet.

Avslutningsdelen inneholder resultat, konklusjon, og utviklingspotensialet til systemet, samt referanser, mens vedlegg som kildekode, datablad og annen dokumentasjon legges på en CD. Bildene som er hentet fra Internett har kildehenvisning i bildeteksten; resten er egenprodusert.

1.2 Overordnet system



Figur 1

Systemet er illustrert i Figur 1. Basestasjonen vil være tilkoblet en PC som brukes for konfigurasjon og avansert overvåking. Datamaskinen vil ikke være nødvendig for bruk av systemet, og vil i utgangspunktet kun brukes for tilkobling og konfigurasjon av nye noder.

En GSM-modul i basestasjonen skal rapportere alarmer og hendelser til forhåndsdefinerte telefonnummer. Enkel styring av enheter vil være mulig over GSM-nettet.

De trådløse nodene som skal styres kobles til ZigBee-nettverket som vist ovenfor. Noder med rutingsfunksjon vil kunne fungere som basestasjoner ved eventuelle feil, slik at nettverksfunksjonene forblir operasjonelle.

Endenodene kan være temperatursensorer, lysbrytere, alarmer eller releer for gardinstyring, og andre elektriske artikler. Brukeren kan styre enhetene direkte fra brytere på veggen, eller med en trådløs ZigBee-fjernkontroll som kan installeres på mobiltelefoner eller være egne dedikerte enheter.

2 Introduksjon til ZigBee

ZigBee er en trådløs kommunikasjonsprotokoll basert på IEEE 802.15.4-standarden og blir utviklet av ZigBee Alliance¹. Teknologien er relativt ny og utviklingen ble startet i 1998. På dette tidspunkt viste andre trådløse teknologier seg utilstrekkelige for flere formål. Flere trådløse systemer ble da utviklet utenfor standarden, noe som skapte store problemer for kommunikasjon mellom de forskjellige variantene. IEEE 802.15.4 standarden ble ferdig i 2003, og i 2004 var ZigBee-protokollstakken utgitt. Denne hadde som hovedmål å skape en trådløs kommunikasjon med hurtig oppsett- og responstid, lavt strømforbruk og med hensyn på lave kostnader til produksjon, installasjon og vedlikehold. Dette var egenskaper verken Wi-Fi- eller Bluetooth-standarden kunne tilby.

ZigBee Alliance er en sammenslutning av flere bedrifter og organisasjoner som jobber for å danne en standard for pålitelige, kostnadseffektive og lite strømkrevende trådløse nettverk basert på en åpen global standard. ZigBee er ikke åpen kildekode og medlemskap i ZigBee Alliance er påkrevd for å kunne utvikle egne produkter basert på ZigBee-standarden.

Sensorer og kontrollenheter var bl.a. noen av enhetene som ZigBee-standarden ble utviklet med hensyn på. Disse har et lavt krav til båndbredde der kun et fåtalls bit er nok til å beskrive tilstand på en bryter, eller nivået på en temperatursensor. I tillegg har disse også et strengt krav til lavt strømforbruk.

Etter den første ZigBee spesifikasjonen i 2004 ble det utgitt en ny i 2006. Hovedforandringen med denne var i adresseringsstrukturen, der det tidligere ble brukt en treklyngestruktur som viste seg å være treg i store nettverk. Denne ble så fjernet og en stokastisk plasseringsstruktur ble implementert. Denne var ikke bakoverkompatibel og det skapte en del diskusjon rundt dette, men ZigBee Alliance mente eksisterende nettverk var isolerte og at dette ikke ville ha stor innvirkning på disse. Alliansen valgte likevel å gjøre den etterfølgende 2007-spesifikasjonen, der også ZigBee Pro ble introdusert, bakoverkompatibel med den forrige.

Enheter med 2007-spesifikasjonen kunne kobles til nettverk satt opp etter 2006-spesifikasjonen, men nettverket måtte da følge den spesifikasjonen det ble dannet med. ZigBee 2007-spesifikasjonen inneholdt støtte for nye etterlengtede teknologier, spesielt i industriområder. Hovedområder som ble forbedret var datafragmentering, sikkerhet og frekvenshopping, og 2007-spesifikasjonen er i skrivende stund den nyeste.

¹ www.zigbee.org

2.1 Trådløse enheter i hjemmet; ZigBee, WiFi og Bluetooth

I Tabell 1 er Wi-Fi, Bluetooth og ZigBee satt opp mot hverandre. Spesifikasjonen til ZigBee og Bluetooth ligger langt nærmere hverandre enn Wi-Fi, der Wi-Fi dekker et helt annet markedsbehov. I begynnelsen var det mye diskusjon om ZigBee og Bluetooth var komplementære eller konkurrerende teknologier. De har likevel såpass forskjellige egenskaper at de dekker to vidt forskjellige bruksområder. Bluetooth mer egnet for enhetstilkobling til bærbar PC, PDA, hodetelefoner o.l. der litt høyere båndbredde er nødvendig. ZigBee støtter flere enheter, har lavere reaksjonstid og betraktelig lavere strømforbruk, noe som gjør den godt egnet til sensornettverk for husautomasjon.

ZigBee har også støtte for et stort antall enheter i ett nettverk, $65\,536$ ved 16-bits^2 adressering. Dette er et teoretisk maksimum for antall noder i et nettverk, men den reelle kapasiteten vil være en del lavere siden overbelastning både på kommunikasjonssiden og prosesseringssiden, til tross den lave overføringshastigheten, vil oppstå lenge før $65\,536$ noder er tilkoblet.

| Standard | Båndbredde | Strømforbruk | Stakk-størrelse | Nøkkelegenskaper | Bruksområde |
|-----------|------------|---|-----------------|--------------------------------|------------------------------|
| Wi-Fi | 300 Mbps | Transmisjon: 400+ mA Ventemodus: 20 mA | 100+ kB | Høy overførings- hastighet | Internett, PC-nettverk |
| Bluetooth | 24 Mbps | Transmisjon: 40 mA Ventemodus: 0.2 mA | Ca. 100 kB | Samspill med andre enheter | Handsfree, hodetelefoner |
| ZigBee | 250 kbps | Transmisjon: 15 mA Ventemodus: 1 uA | < 32 kB | Lav kostnad og lavt forbruk | Kontrollenheter, sensorer |

Tabell 1

Som vist i Tabell 1 kan ikke disse teknologiene betraktes som utfordrende teknologier på grunn av vidt forskjellige bruksområder. Mer interessant er det å sammenligne standarder som ZigBee PRO, ISA.100.11 og WirelessHART, der alle bygger på IEEE 802.15.4-standarden, og konkurrerer på samme område.

² $2^{16} = 65\,536$

2.2 Sammenligning av ZigBee PRO, WirelessHART og ISA100.11a

Automasjon av bygninger skjer først på industrielt nivå, og det er først i senere år at hjemmeautomasjon har blitt et hett tema. Selv om ZigBee er ment for husautomasjon og ZigBee PRO er ment for industriell automasjon, har likevel den nyere ZigBee PRO også vist seg nyttig å bruke i hjemmet på grunn av bedre funksjonalitet og minimale kostnadsforskjeller.

Alle standardene nevnt ovenfor deler den felles IEEE 802.15.4-basisen, men også den nye lavenergi-Bluetooth³-spesifikasjonen som er basert på IEEE 802.15.1-standarden har en utfordrende karakteristikk mot dette markedet med tanke på oppsettshastighet og strømforbruk, som tidligere var en flaskehals med tanke på bruk i trådløse sensornettverk. Denne standarden er såpass ny at den i skrivende stund kun finnes på papiret.

Den vanlige ZigBee standarden ble aldri en stor suksess innen bedriftsmarkedet siden teknologien viste seg å mangle noen av de viktige funksjonene som kreves i et slikt miljø, som frekvenshopping, skalering i store nettverk og avanserte sikkerhetsfunksjoner. I 2007 kom "ZigBee PRO"-teknologien, og ble utnevnt som den kommersielle industrispesifikasjonen til ZigBee Alliance.

| Egenskap | ZigBee | ZigBee PRO | ISA-100 | WirelessHART |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Transceiver-teknologi | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.15.4 |
| Trådløse mesh-nettverk | X | X | X | X |
| Mulighet for store nettverk | | X | X | X |
| Deterministisk forsinkelse | | | X | X |
| Pålitelighetsstyring | | | X | X |
| Utgivelsesår | 2004 | 2007 | 2009 | 2007 |

Tabell 2

En konkurrerende teknologi, WirelessHART, ble også utgitt i 2007. Noe av grunnen til at WirelessHART-teknologien ble introdusert, var at den allerede populære HART-teknologien⁴ hadde stort innsprang på markedet fra 80-tallet, og er svært mye brukt i industrien den dag i dag.

WirelessHART-teknologien ble ofte foretrukket, og ble for eksempel valgt av ABB til bruk i industriell automatisering da de i 2008 utgav "A comparison of WirelessHART and ZigBee for Industrial Application", der de sammenlignet WirelessHART-teknologien mot en eldre ZigBee-spesifikasjon som var rettet mot hjemmeautomasjon. En mer rettferdig sammenligning ville vært å sammenligne WirelessHART mot den industrielle spesifikasjonen til ZigBee, ZigBee PRO, som inneholder samtlige funksjoner som var påpekt å mangle i den eldre utgaven av ZigBee. I tillegg har det også blitt utviklet flere bedre egenskaper som ikke er tatt med i sammenligningen. Dette indikerer at bedrifter favoriserer kjente teknologier, og er påpasselige med å satse på nye teknologier.

³ Bluetooth 4.0 Low Energy

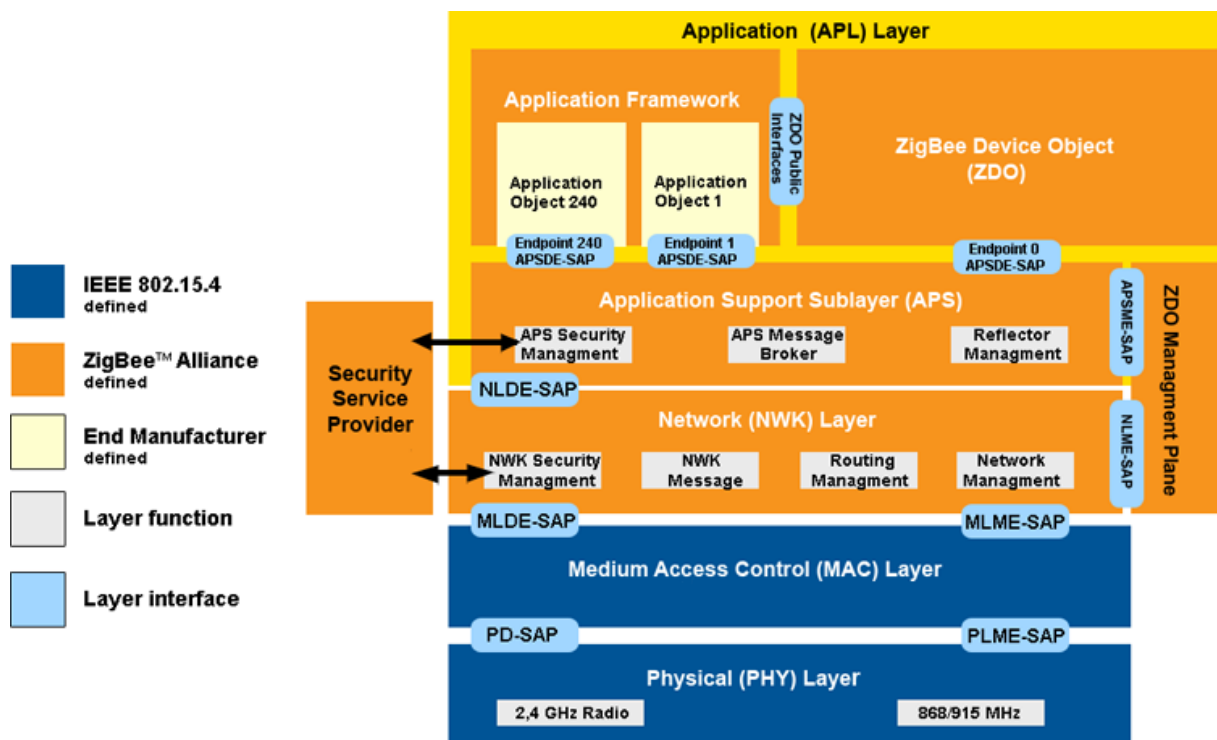
⁴ En felbussteknologi som bygget på overføring av signaler eksisterende instrumentkabler ved bruk av frekvensskifting

ISA-100.11a er også en trådløs teknologi rettet mot industriell automasjon, spesielt med tanke på prosesskontroll og relaterte oppgaver. ISA-komiteen er i likhet med ZigBee Alliance opprettet for å danne en standard. ISA-100.11.a er under et år gammel og har foreløpig ikke fått et stort innpass i industrien og heller ikke i hjemmeautomasjonen, men har potensialet og funksjonaliteten som for å bli en suksess.

Av disse standardene er ZigBee veteranen. Den har vært på markedet lengst, og har overkommet mange hinder som slike systemer har i oppstartsfasen.

2.3 Oppbygning av ZigBee-stakken

ZigBee-protokollstakken er definert av ZigBee Alliance. Den følger OSI-modellen, og er bygd opp av et nettverks- og applikasjonslag, og har i tillegg en sikkerhetstjener⁵ som fungerer som mellomledd mellom lagene sine sikkerhetssentre. Disse lagene fungerer på toppen av IEEE 802.15.4-standardens bestående av linklaget⁶ og det fysiske laget⁷. Figur 2 viser OSI-modellen, der oppbygningen er vist lagvis med hovedfunksjonene innen hvert lag. Kommunikasjonen mellom lagene foregår over grensesnitt kalt SAP⁸.



Figur 2 - http://www.meshnetics.com/netcat_files/11_142.png

⁵ SSP: Security Service Provider

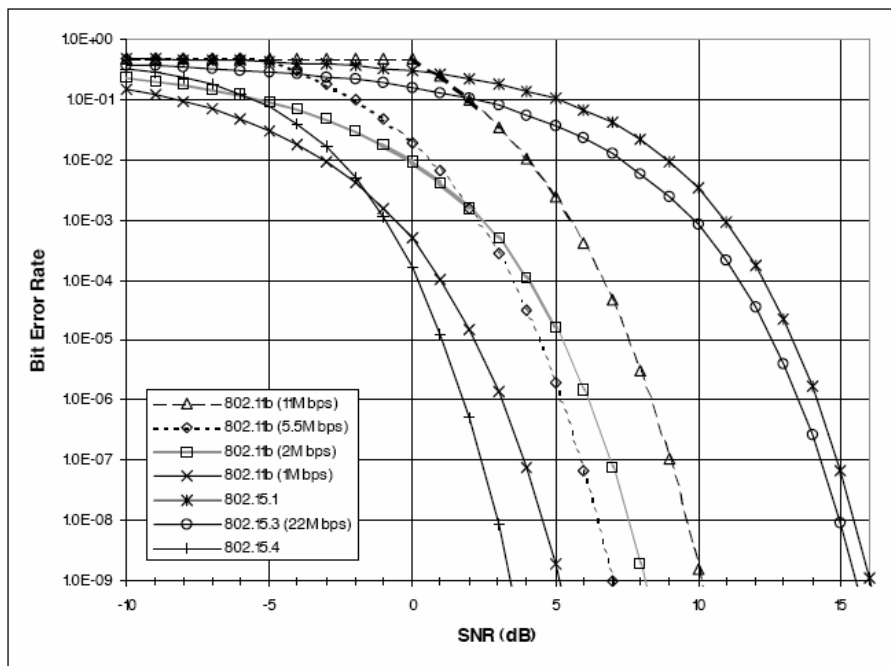
⁶ MAC-Layer

⁷ PHY-Layer

⁸ Service Access Points

2.3.1 Fysisk lag - PHY

Det fysiske laget er det første og nederst laget i stakken. Laget består av grunnleggende overføringsteknologi i et nettverk, og er inndelt i to forskjellige lag; et for det globale 2.4 GHz-frekvensområdet, og et som inneholder både det europeiske 868 MHz og det nordamerikanske 915 MHz-båndet. I Figur 3 sammenlignes 802.15.4-ytelsen på kommunikasjonen ved det fysiske laget opp mot standardene for Wi-Fi (802.11b), Høyrate-WPAN⁹ (802.15.3) og Bluetooth (802.15.1).



Figur 3 - http://www.dcg.ethz.ch/lectures/ws0506/seminar/materials/zb_slides.pdf

IEEE 802.15.4 har vist seg å ha betydelig lavere bitfeilrate. Dette gjør at det vil bli mindre retransmisjon av pakker, og gjør at ZigBee vil fungere bedre i støyfulle miljøer.

2.3.2 Linklag - MAC

Linklaget tilbyr funksjoner som adressering og kanalvalg. I dette laget adresseres enhetene ved bruk av en 16-bits lokal nettverksadresse, men har også en unik global 64-bits IEEE-definert adresse. 16-bits adressen blir brukt for lokal kommunikasjon, for å redusere størrelsen på meldingsoverskriften. Linklaget kontrollerer tilgangen til transmisjonskanalen ved bruk av CSMA/CA¹⁰.

⁹ Wireless Personal Area Network

¹⁰ Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance

Sikkerhetsmetoden som brukes av linklaget i ZigBee, baseres AES¹¹ 128-bits kryptering. AES er en velkjent krypteringsmetode som sikrer at uvedkommende ikke kan avlese informasjon, eller på noen måte etterligne enheter på nettverket.

2.3.3 Nettverkslag - NWK

Nettverkslaget har ansvaret for å sette opp nettverket. Dette inkluderer tilkobling og frakobling fra nettverket, konfigurering av nye enheter, adressering, synkronisering, sikkerhet og ruting.

Nettverkslaget sikrer at kommunikasjonen mellom linklaget og applikasjonslaget går smertefritt gjennom de to hovedtjenestene NLDE¹² og NLME¹³.

2.3.3.1 Nettverkslagets datainstans - NLDE

Nettverkslagets datainstans danner koblingen som applikasjonslaget tar i bruk for å kunne sende protokollenheter, APDU¹⁴, fra en ZigBee-enhet til en annen. I tillegg står den for både ruting av nettverksprotokollenheter og sikkerheten til denne koblingen.

2.3.3.2 Nettverkslagets forvaltningsinstans - NLME

Nettverkslagets forvaltningsinstans inneholder tjenestene initiering av nettverk, konfigurering av nye enheter, adressering og synkronisering. Initiering skjer ved at en node utnevnes som koordinator for nettverket. Etter at dette er fullført, består ansvaret til forvaltningsinstansen av konfigurering av enheter, adressering, ruting og oppdagelse av naboroder.

2.3.3.2.1 AODV-Rutingteknikk

AODV¹⁵ er en rutingteknikk som støtter både unicast- og multicast-ruting. Forskjellen fra en del andre rutingsprotokoller er at denne er reaktiv, som betyr at den bare danner stien ved etterspørsel, i motsetning til proaktive rutingsprotokoller som allerede har dannet denne, og oppdaterer den ved jevne mellomrom. Det betyr at trafikken i nettverket reduseres på grunn av redusert mengde forespørsler. Vektorruting er også en relativt simpel metode som sparer enhetene for tidkrevende matematiske beregninger, som også betyr mindre strømforbruk.

¹¹ Advanced Encryption Standard

¹² Network Layer Data Entity

¹³ Network Layer Management Entity

¹⁴ Application Protocol Data Units

¹⁵ Ad-Hoc On Demand Vector Routing

2.3.4 Applikasjonslag – APL

Applikasjonslaget består av et applikasjonsunderlag (APS¹⁶), en ZigBee-objektkontrollfunksjon (ZDO¹⁷) og et applikasjonsrammeverk. Det sistnevnte rammeverket muliggjør utvikling av applikasjonsobjekter fra forskjellige utviklere.

2.3.4.1 Applikasjonsunderlaget - APS

Applikasjonsunderlaget inneholder bindetabeller som brukes for vedlikehold av forbindelsene til enhetene i nettverket, og fungerer også som en bro mellom nettverkslaget og de andre objektene i applikasjonslaget.

2.3.4.2 ZigBee-enhetsobjekter - ZDO

ZigBee-objektkontrollfunksjonen definerer rollen til nodene i nettverket. Det er denne delen som danner nettverksprofilene for koordinator, ruter og endeenhet, som blir adoptert av nodene i nettverket.

ZDO inneholder seks hovedfunksjonsobjekter.

- Enhets- og tjenestegjenkjenning
- Nettverksstyring
- Paringskontroll
- Sikkerhetsstyring
- Nodestyring
- Gruppestyring

ZDO tar i bruk bindetabellene fra applikasjonsunderlaget for å initiere eller svare på paringsforespørsler

¹⁶ APS: Application Support Sub-Layer

¹⁷ ZDO: ZigBee Device Object

2.4 Meldingstyper

For sending av meldinger mellom de forskjellige enhetene i systemet kan det brukes tre forskjellige metoder. Før beskjedene kan sendes må de opprettes med en meldingsramme som bl.a. inneholder type og sikkerhetsnivå.

2.4.1 Unicast-meldinger

Unicast-beskjeder adresseres bare til en enhet ved hjelp av node-Iden. Denne typen meldinger sendes som regel kun fra de enkleste nodene i nettverket

2.4.2 Broadcast-meldinger

En broadcast-melding sendes til flere noder i nettverket samtidig. De forskjellige grupperingene kan enten være alle noder på nettverket, alle våkne noder eller alle ZigBee endeenheter.

2.4.3 Multicast-meldinger

Ved multicast-adressering vil informasjonen kunne sendes til flere mottakere. Eksempelvis dersom det finnes flere lyskilder i et nettverk, vil man kunne slå av flere eller alle med en multicast-melding. En multicast-melding blir sendt til alle enheter som deler en gruppe-ID, for eksempel gruppering av lysene i stuen.

2.5 Enhetstyper

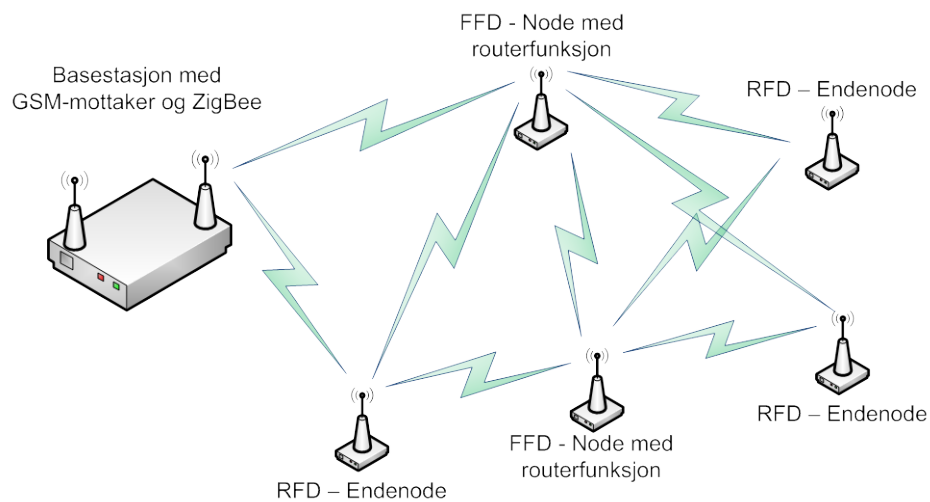
ZigBee har to typer enheter; en fullfunksjons enhet og en enhet med redusert funksjonalitet. Et eksempel på virkemåten til de forskjellige enhetstypene er vist i Figur 4.

2.5.1 Fullfunksjonsenhet - FFD

En FFD er enhet som har full funksjonalitet, og kan være bindeledd mellom flere noder. Den støtter alle typer nettverkstopologi som støttes av ZigBee-standarden; stjerne, treklynge og mesh, og kan innta alle nettverksrollene som støttes av standarden.

2.5.2 Redusert funksjonsenhet - RFD

En RFD er en enhet med redusert funksjonalitet, og kan bare innta rollen som en endeenhet. Nøkkelegenskapen er at den reduserer strømforbruket ved å sette enheten i søvnmodus, der den aktiverer seg selv med valgt tidsintervall for å kommunisere med en annen ruter eller en koordinator.



Figur 4

2.6 ZigBee enhetsroller

ZigBee-nettverket tilegner hver enhet i nettverket en av tre roller. De kan være en koordinator, en ruter eller en endeenhet.

2.6.1 Koordinator

ZigBee-koordinatoren har ansvaret for å initiere og vedlikeholde nettverket. Koordinatoren velger nettverkskanal, nettverks-ID (PAN-ID¹⁸) og utvidet nettverks-ID. Den skal la alle andre noder søke om tilkobling til nettverket. Deretter kan den ut fra sikkerhets- og unntaksregler bestemme om noden skal få være med i nettverket. Koordinatoren beholder informasjonen fra noder som forlater nettverket for å kunne gi hurtig klarsignal for ny tilkobling når eller hvis noden kommer tilbake.

Hvert nettverk har bare en koordinator og den kan fungere som en bro til andre nettverk. En ZigBee koordinator må være av enhetstype FFD, og er den enheten i nettverket som krever mest minnekapasitet og strøm. Denne er som regel koblet til nettstrøm og bør i tillegg ha et batteri som sørger for at nettverket er intakt ved et eventuelt strømbrudd.

2.6.2 Ruter

En ZigBee-ruter har i utgangspunktet ikke like stor funksjonalitet som en koordinator, men etter oppsett av nettverket vil en koordinator i hovedsak fungere som en ruter. Hovedoppgaven til ruter er nettopp å styre trafikken videre fra andre noder og dermed utvide rekkevidden til nettverket. En ruter skal i tillegg ivareta informasjon om tilkoblede noder, støtte søk fra foreldreløse noder og tillate gjenforening for tidligere tilkoblede noder. ZigBee-ruter er en nødvendig enhet for å kunne ta i bruk mesh-nettverk. Denne enheten vil også normalt vær tilkoblet nettstrøm.

2.6.3 Endeenhet - End Device

Denne enheten inneholder kun et minimum av funksjonaliteten til ZigBee, og blir tilkoblet en ruter eller en koordinator. Endeenheten kan sende og motta pakker, men kan ikke rute trafikk fra andre enheter. Den er ment å kunne gå på batteri og har som hovedmål å maksimere batterilevetiden, og er ofte en enhet med redusert funksjonalitet.

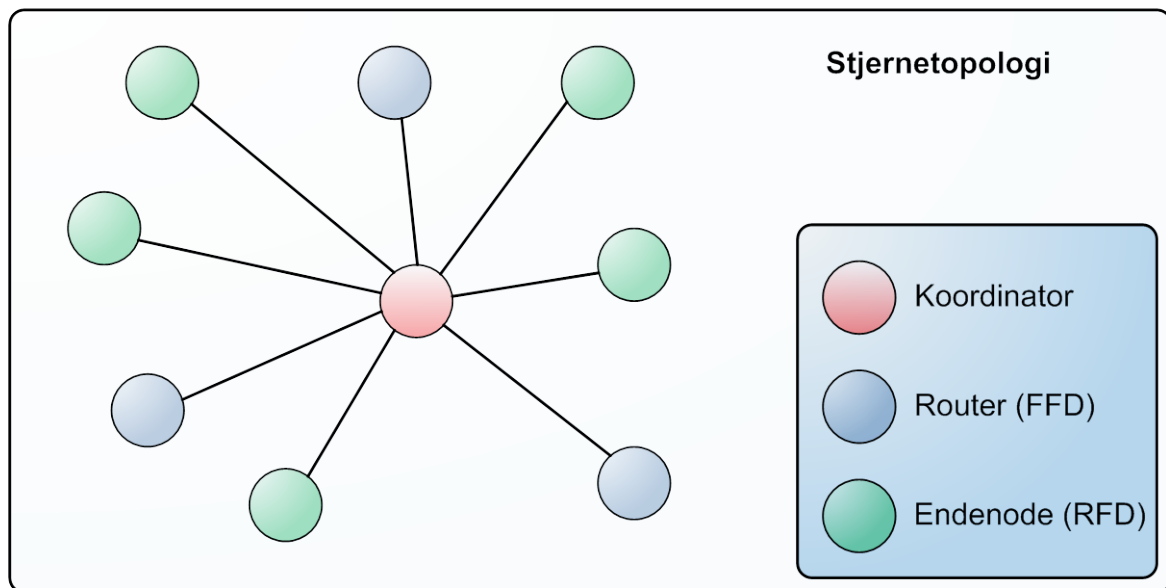
¹⁸ Personal Area Network Identifikasjon

2.7 Nettverkstopologi

ZigBee støtter tre forskjellige nettverkstopologier. Stjerne-, treklynge- og mesh-struktur.

2.7.1 Stjernetopologi

I stjernetopologi, vist i Figur 5, må all trafikk mellom nodene rutes gjennom kjerneenheten av nettverket. I et ZigBee-nettverk vil dette være koordinatorknoten. I slike nettverk stilles det et stort pålitelighetskrav til den sentrale enheten, og rekkevidden vil ikke kunne utvides ved bruk av flere noder.



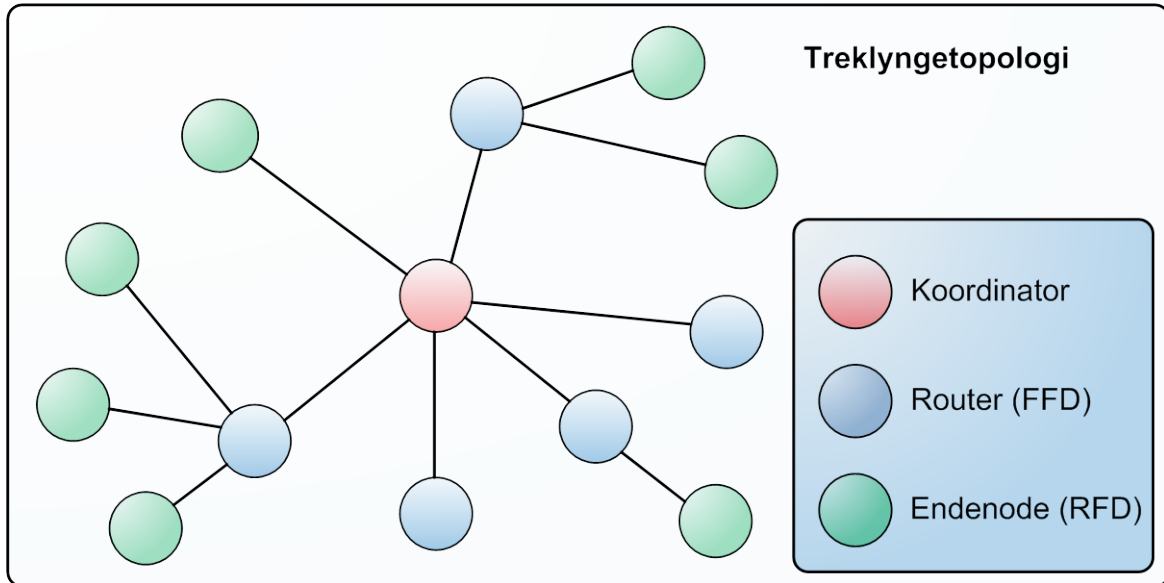
Figur 5

2.7.2 Treklyngetopologi

Et nettverk med treklyngetopologi har flere rutere koblet til den sentre enheten.

Kommunikasjonen blir da desentralisert og noe av rutingansvaret blir gitt til andre enheter på nettverket. I Figur 6 er det fem rutere koblet til koordinatoren. Tre av de har tilkoblede endeenheter som kan kommunisere med hverandre, uten å gå gjennom koordinatoren. Dette kalles en klynge.

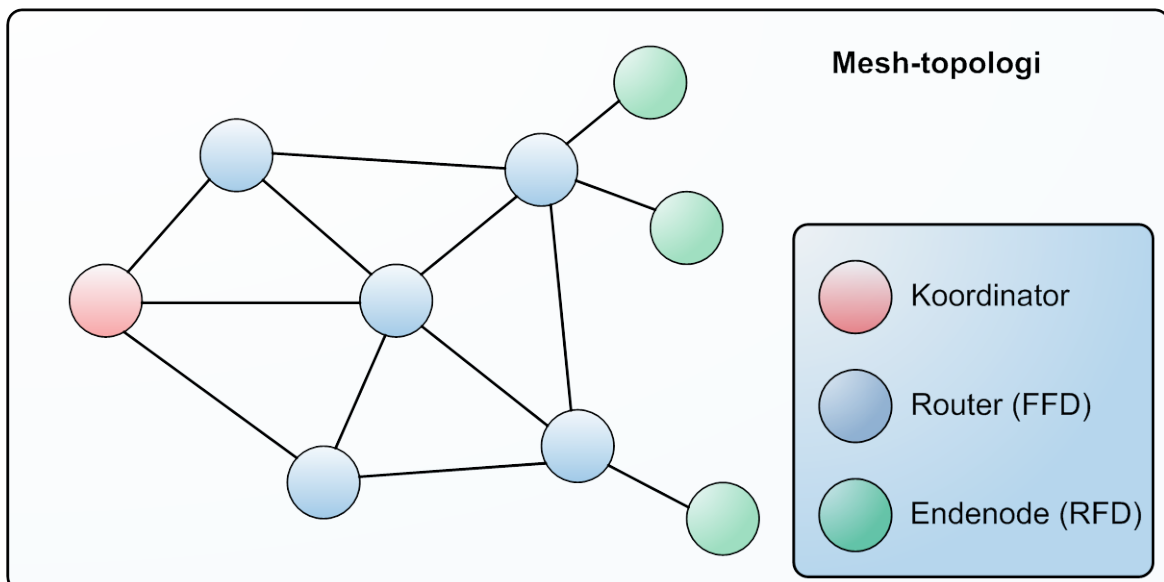
Ulempel med treklyngene er at nodene ikke kan gå gjennom andre rutere enn de som det er tilkoblet i utgangspunktet. Hvis ruterer som noder er tilkoblet skulle falle ut, vil noden ikke automatisk koble seg til en annen ruter.



Figur 6

2.7.3 Mesh-struktur

En av nøkkelegenskapene til ZigBee er at nettverket støtter mesh-topologi. Dette betyr at flere kommunikasjonskanaler mellom rutere og koordinatoren kan etableres, og om en node skulle bli frakoblet, vil nettverket raskt helbrede seg selv ved å finne en ny overføringssti for å opprettholde kommunikasjonen. Mesh-strukturen bygger på "Ad-Hoc peer-to-peer"-kommunikasjon¹⁹ og er vist i Figur 7.



Figur 7

¹⁹ Kommunikasjon uten et bestemt senterpunkt

2.8 Sikkerhetshåndtering

For at nettverket skal fungere uten uønsket påvirkning utenfra, er en god sikkerhetshåndteringsmetode viktig. Som i IT-verdenen vil det være mennesker som er ute etter å stjele kritisk informasjon eller sette nettverket ut av funksjon. I trådløse sensornettverket vil det største problemet være at kritiske funksjoner blir satt ut av funksjon eller at inntrengere kan overta styring og kjøre uønsket kode. Dette problemet er størst i industriell sektor, men er likevel et emne som også må adresseres i hjemmenettverk.

Frekvensblokkering kan være en trussel mot trådløse sensornettverk. Dette skjer ved at frekvensområdet blir fylt med hvit støy der det blir vanskelig å trekke ut den egentlige informasjonen. ZigBee støtter teknologien frekvenshopping som gjør det mulig å bytte mellom de 16 tilgjengelige frekvensområdene/kanalene i 2.4 GHz-båndet dersom en frekvenskanal blir blokkert, dvs. hvis det er mye interferens på kanalen. Dette er forklart nærmere i kapitlet om interferens.

I 2007-spesifikasjonen av ZigBee er det innført tre sikkerhetsnivåer; bolig-, standard- og høynivå sikkerhet. Selv om ZigBee benytter AES og CCM krypteringsmetodene som er definert i IEEE 802.15.4-standarden, har den i tillegg implementerte sikkerhetsteknologier på både nettverks- og applikasjonslaget for større pålitelighet.

Som vist i tidligere kapittel, kommuniserer sikkerhetstjeneren SSP med både nettverk- og applikasjonslaget, for å ytterligere sikre kommunikasjonen mellom nodene.

2.8.1 Forskjellige sikkerhetsnivåer

2.8.1.1 Boligsikkerhet

Dette er den enkleste formen for sikkerhet, og den bruker en nettverksnøkkel gjennom nettverkslaget. Dette er samme type sikkerhet som er med i ZigBee 2006-spesifikasjonen.

2.8.1.2 Standardsikkerhet

I tillegg til å ha sikkerheten implementert på bolignivå, har denne også sikkerhet gjennom koblingsnøkler på applikasjonslaget.

2.8.1.3 Høynivåsikkerhet

Dette er det høyeste sikkerhetsnivået og er kun støttet i "ZigBee PRO"-spesifikasjonen. Denne baserer seg på instansautentisering, tillatelsestabell og videreutviklede koblingsnøkler.

2.8.1.4 Ingen sikkerhet

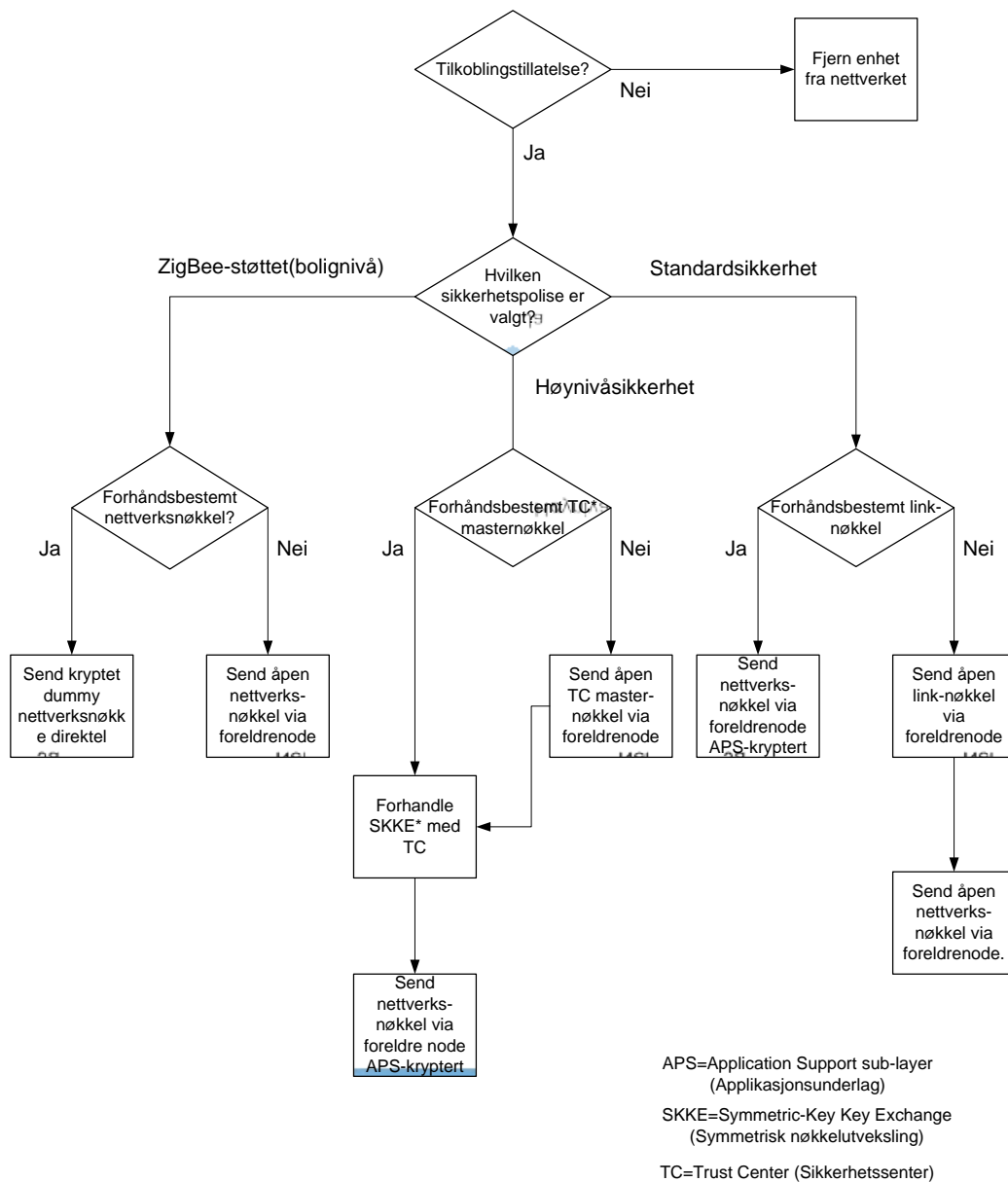
Det er mulig å slå av sikkerheten, men dette er sterkt frarådet og brukes bare i testsammenheng. En ZigBee node vil alltid initialiseres med standardsikkerhet.

2.8.2 Sikkerhetssenter – Trust Center

Både standard- og høynivå sikkerhet har innført et sikkerhetssenter²⁰

Sikkerhetspolisen blir satt opp av sikkerhetssenteret når nettverket blir dannet, og alle enhetene som vil være på nettverket må følge denne politen.

Sikkerhetssenteret har ansvar for at alle noder som kobles til nettverket må autentiseres, og dette skjer med utveksling av sikkerhetsnøkler. Figur 8 viser kommunikasjonen som gjøres for å sikre autentifiseringen til noden. Denne gir et overblikk over metodene brukt av de forskjellige sikkerhetsnivåene.



Figur 8

²⁰ Trust Center

2.9 Interferens med andre enheter

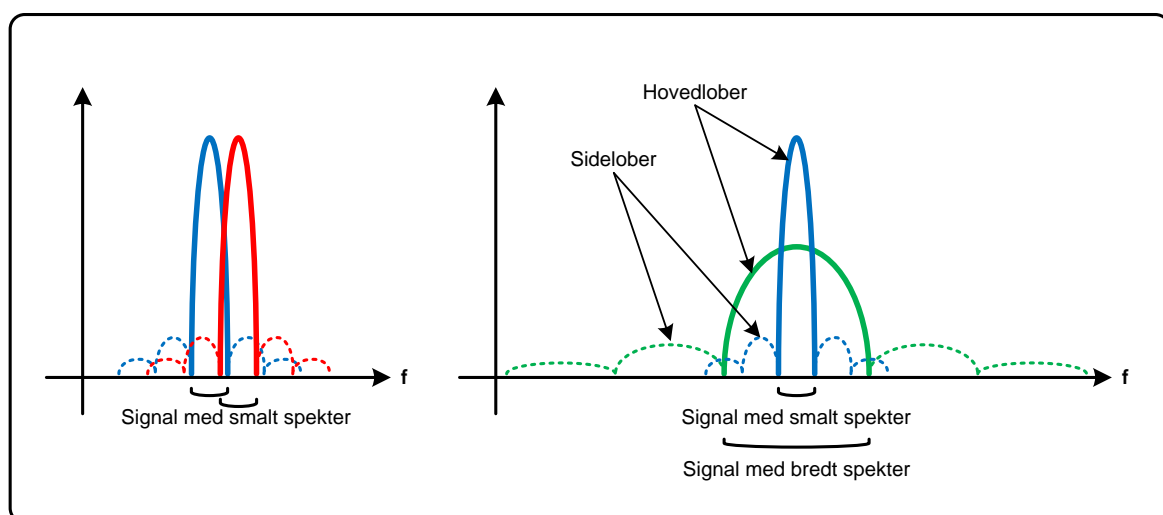
ISM-båndet ved 2.4 GHz-frekvensen er et lisensfritt verdensomspennende radiobånd der store deler av dagens trådløse kommunikasjon foregår. WLAN (802.11b/g/n), Bluetooth, trådløse telefoner og mikrobølgeovnen er bare noen av enhetene som benytter seg av dette frekvensbåndet. I dagens elektroniske hjem kan dette føre til kommunikasjonsproblemer hvor forstyrrelser og kollisjoner mellom enhetene oppstår. Når en ZigBee-kordinatorknode oppretter et nytt nettverk vil den søke gjennom tilgjengelige kanaler for å så velge den kanalen med minst interferens.

En rekke husautomasjonsprodukter utnytter det faktum at kommunikasjonen mellom enhetene ikke trenger høy båndbredde, og setter hastigheten helt ned til 9.6 kbps. IEEE 802.15.4 bruker en annerledes metode; ved å bruke 250 kbps hastighet, vil sendetiden for hver enhet bli svært lav og dermed redusere sjansen for at enheter kommuniserer samtidig og på den måten minker sannsynligheten for interferens.

I linklaget og det fysiske laget i ZigBee-stakken finnes det funksjoner for å forhindre interferens i kommunikasjonen. I hovedsak er dette løst med tre teknologier: Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS, Frequency Division Multiple Access, FDMA og Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance, CSMA/CA.

I det fysiske laget ligger DSSS. Denne teknologien går ut på å spre signalet utover et stort område, isteden for å ha det på et smalt bånd som ofte var tidligere gjort. Hvis et smalt signal overlapper et annet smalt signal, er det stor sannsynlighet for informasjonstap, selv om senterfrekvensen til signalene er forskjellig. Dette tilfellet er illustrert til venstre i Figur 9.

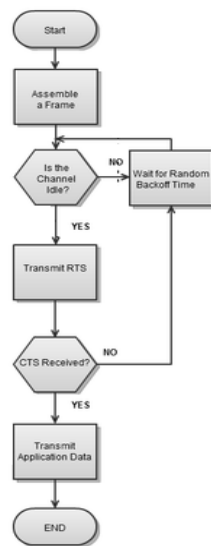
Dersom et signal med et smalt spekter overlapper et signal med et bredt spekter, vil det være lettere og skille signalene fra hverandre, og på den måten redusere feilraten kraftig. Dette er illustrert til høyre i Figur 9.



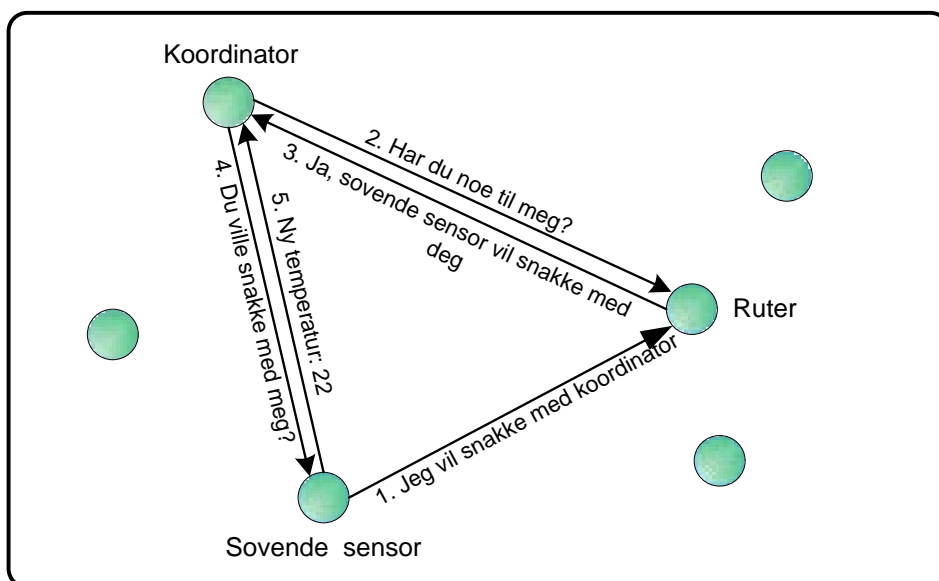
Figur 9 - DSSS

FDMA er en teknologi som brukes for å styre kommunikasjonen. FDMA deler 2.4 GHz båndet inn i 16 bånd/kanaler, der senterfrekvensen til hvert bånd/kanal ligger 5 MHz spredt fra hverandre. Dette gjør det enklere å distribuere kommunikasjonen til de mindre brukte kanaler hvis en kanal er overbelastet.

For å hindre at enheter kommuniserer samtidig på samme bånd, tar ZigBee i bruk en "lytt før du snakker" metode. Denne blir kalt CSMA/CA, og er blitt anvendt lenge i teknologier som Ethernet. Et flytskjema for kommunikasjonskontrollen til CSMA/CA er vist i Figur 10 og Figur 11. For å unngå nye forsøk på å kommunisere på samme tidspunkt, bruker CSMA/CA en eksponentiell ventetid.



Figur 10 - Flytdiagram som viser kommunikasjonskontrollen til CSMA/CA



Figur 11

2.10 Ember "ZigBee PRO"-stakk – EmberZNET PRO

EmberZNet PRO er bygget på "ZigBee PRO"-spesifikasjonen og oppfyller kravene satt av denne, i tillegg til å ha egne spesifikke forbedringer. I oppgaven er et prototypesett fra Ember med denne stakken valgt.

EmberZNET PRO vil også fungere i eksisterende "ZigBee PRO"-standardnettverk. Hovedforbedringene til EmberZNET PRO ligger spesielt i den mer avanserte tabellhåndteringen og de utvidede endeenhetsfunksjonene. Endeenheter kan i vanlig ZigBee gå i søvnmodus, mens Ember har delt opp denne til en til kortere hvilemodus og en til lengre dvalemodus. Denne avanserte utvidede funksjonaliteten vil kunne føre til bedre ytelse og strømsparing

| Egenskap | ZigBee | ZigBee PRO | EmberZNET PRO |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| Adressering | Trestruktur | Stokastisk struktur | Stokastisk struktur |
| Ruting | Tre- og Mesh-struktur | Mesh- struktur | Mesh-struktur |
| Aggregasjon | Nei | Påkrevd | Ja |
| Asymmetriske linker | Nei | Påkrevd | Ja |
| Frekvenshopping | Valgfritt | Påkrevd | Ja |
| APS multicast | Påkrevd | Støttet | Ja |
| Nettverks-multicast | Nei | Påkrevd | Støttet |
| Fragmentering | Valgfritt | Valgfritt | Ja |
| Basesikkerhet | Bolignivå | Standard | Standard |
| APS-kryptering | Valgfritt | Valgfritt | Ja |
| Høyere sikkerhet | Nei | Valgfritt | Nei |
| Utvidete endeenhetsfunksjon | Nei | Nei | Ja |
| Støtte for tette nettverk | Nei | Nei | Ja |

Tabell 3 - Tabellen er utviklet fra: "EmberZNET Application developer's Reference Manual"

3 Utvikling av ZigBee-sensornettverk for implementering i hjemmet

Dette kapitlet tar for seg framgangsmåten for utviklingen av hjemautomasjonssystemet som er laget i oppgaven. Første delkapittel inneholdt en del om krav, valg og oppsett av maskinvare. Andre delkapitlet er om utviklingen av programvaren for styring og konfigurasjon fra datamaskinen, og de siste to kapitlene er om det komplette systemet som er utviklet, samt en eksperimentdel for posisjonering som kan implementeres i systemet.

3.1 Maskinvare

3.1.1 Overordnet oppsett av hardware

Det overordnede systemet for basestasjonen ser ut som vist i Figur 12. Det skal ha en mikrokontroller som er hjernen, og som styrer kommunikasjonen mellom komponentene. Basestasjonen skal ha et LCD-display koblet til de generelle I/O-porter²¹, og skal vise forskjellig informasjon om basestasjonen, som status på kommunikasjon, versjon, menyer og eventuelle alarmer. Knapper for enkel kontroll vil også være tilkoblet de generelle I/O-porter.

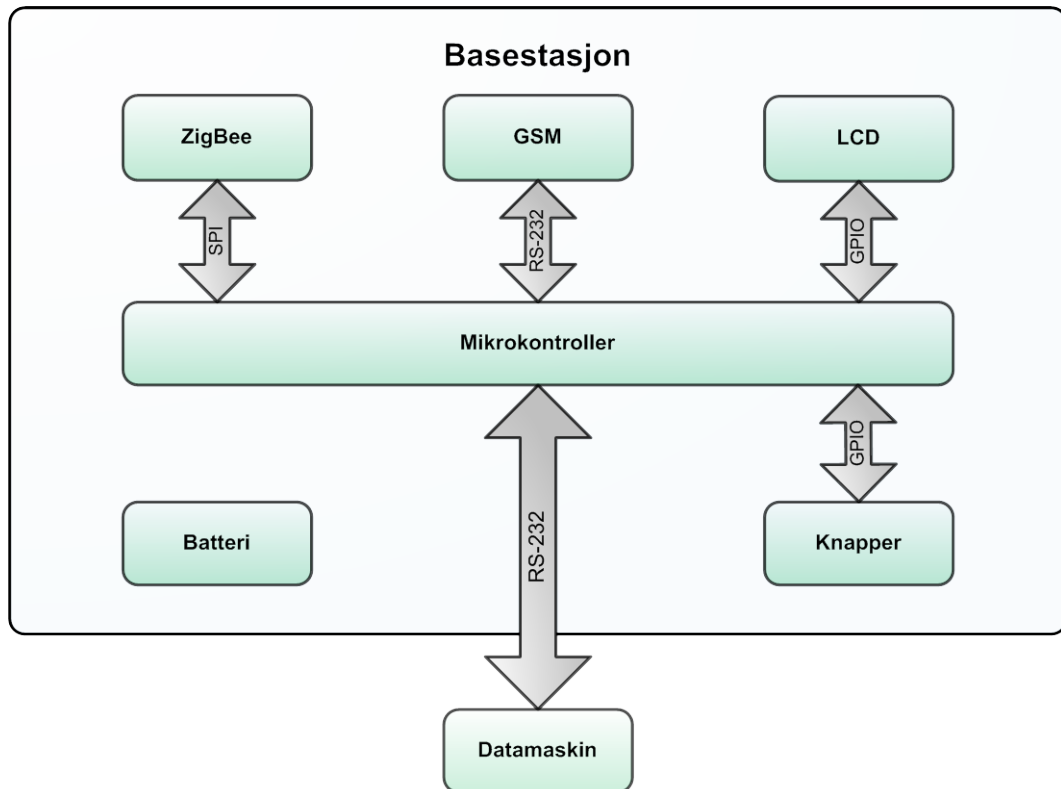
Systemet skal ha en GSM-modul som skal kunne sende meldinger til brukerregistrerte telefonnummer. Innholdet i meldingene skal være alarmer og annen informasjon som brukeren selv kan bestemme når systemet konfigureres. Brukeren vil også kunne sende meldinger for å styre forskjellige enheter som er tilkoblet systemet.

En ZigBee-modul skal stå for den trådløse kommunikasjonen mellom de forskjellige endenodene, som skal bestå av sensorer og brytere.

For konfigurasjon tilkobles basestasjonen en datamaskin. Datamaskinen kan også brukes for detaljert sanntidsovervåking, men vil ikke være nødvendig for operasjonen av systemet.

Basen vil ha et batteri slik at alarmvarsling og overvåking kan fortsette som normalt ved et eventuelt strømbrudd.

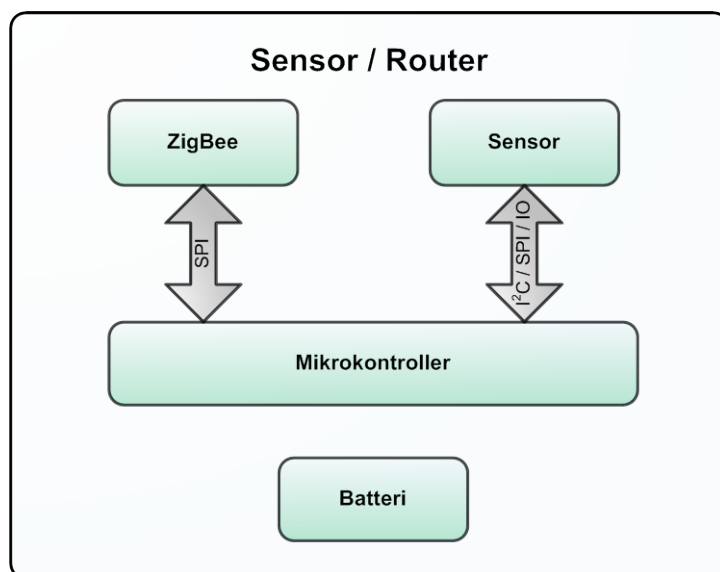
²¹ GPIO – General Purpose Input Output



Figur 12

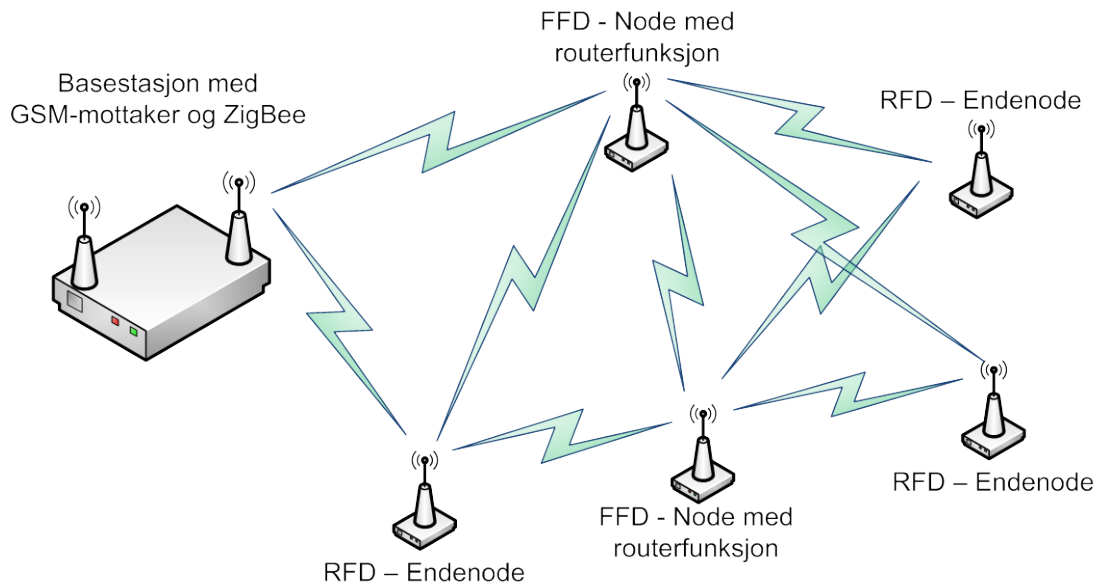
Det overordnede systemet for en sensor eller en ruter er vist i Figur 13. De skal også ha en mikrokontroller som er hjernen og som styrer kommunikasjonen og sensoren.

Sensoren skal sende sensorinformasjon til basestasjonen via ZigBee.



Figur 13

Systemet støtter mesh-nettverk, og i det tilfellet hvor sensoren er satt opp med rutingsfunksjonalitet, vil den kunne viderefremde informasjonen fra en annen sensor som er utenfor basestasjonen sin rekkevidde, som vist i Figur 14.



Figur 14

For tilkobling av en ny sensor, kan basestasjonen automatisk gi sensoren en adresse og sette den opp. Datamaskinen brukes for å definere flere parametre som hvor sensoren befinner seg, hvilken type sensor det er og om den skal rapportere alarmer via SMS.

Sensoren vil drives av et batteri og vil rapportere lavt batterinivå til basestasjonen.

3.1.2 Krav for mikrokontrollere

Systemet består av en basestasjon som er hovedenheten, og sensorer som er noder som kobles opp mot basestasjonen. Basestasjonen sin hovedprosessor må dimensjoneres slik at den har høy nok ytelse til å takle de mange oppgavene den må håndtere, som kommunikasjon mellom noder, nettverkstrukturering, GSM-kommunikasjon, og konfigurering fra bruker. Alt dette må skje uten at det påvirker stabiliteten eller kompromitterer sikkerheten og integriteten til systemet.

Mikrokontrolleren til basestasjonen må ha nok inn- og utganger for oppkobling av ZigBee radiokrets, GSM-modul, LCD-skjerm og kommunikasjon med PC. De forskjellige modulene krever forskjellige kommunikasjonsprotokoller, og mikrokontrolleren i basestasjonen bør støtte så mange som mulig, både for å spare eksterne komponenter og kostnader. Protokollene som kreves er SPI²² for ZigBee radiokrets, RS-232 for GSM-modul og PC, parallell kommunikasjon for LCD-skjerm, og I2C²³ for eventuelle sensorer som overvåker selve basestasjonen.

Minne er en svært viktig egenskap når det gjelder kommunikasjon, mottaksbufferer, nettverkskonfigurering og manipulering av data. Det er derfor viktig at mikrokontrolleren har nok minne til å kunne utføre disse operasjonene raskt og effektivt, men også å ha nok reserveminne for å støtte eventuelle forbedringer og oppgraderinger av enheten og programvaren, uten å måtte bytte ut fysiske komponenter. I første omgang vil det bli dimensjonert nok minne til at enheten på en enkel måte kan ekspanderes til å støtte nettverksprotokoll og nettverkstilkobling (Ethernet).

Prosessoren som sitter på nodene vil ikke trenge høy ytelse siden hovedoppgaven til nodene er å håndtere enkel sensordata. Her er det viktigere at prosessoren er energieffektiv, og har lavt strømforbruk, slik at den kan være kompakt og drives av små batterier over lenger tid. Ved å bruke en liten mikrokontroller med intern klokke vil sensoren være mindre og bestå av færre komponenter, noe som vil senke energiforbruket ytterligere. Mikrokontrolleren bør også ha et bredt spenningsområde siden sensorene vil drives av batteri, der spenningen vil avta med tid.

Sensorene vil variere fra raske til seie, d.v.s. at noen sensorer vil sende informasjon med ett sekunds mellomrom, mens andre kan sende informasjon med ett minutt mellomrom, eller mer. Typiske eksempel på raske sensorer er innbruddsalarmer og brannalarmer, mens trege sensorer kan være vanlige temperatursensorer som ikke trenger å sende informasjon så ofte. I det tilfelle kan det være ønskelig å kjøre prosessoren i dvale, og slå av all unødvendig maskinvare helt til den skal foreta en ny måling og sende den til basen. "nanoWatt"-teknologien som støttes i noen av Microchip sine mikrokontrollere vil være nyttig i en slik situasjon, og vil være en av hovedpreferansene for valg av mikrokontroller for nodene.

Ved lengre avstander kan det være nødvendig å sende informasjon fra en sensor til basestasjonen via en annen sensor. Siden ZigBee støtter "mesh"-nettverk, er dette mulig, og er en stor fordel for å kunne få god spredning av sensorene. Eneste kravet er at mellomnoden settes opp som en ZigBee-ruter, "Full Function Device", til forskjell fra endenodene, som settes opp som "Reduced Function

²² Serial Peripheral Interface Bus – En standard for synkron seriell datakommunikasjon som bruker full duplex master/slave-kommunikasjon.

²³ Inter-Integrated Circuit – En standard for lav-rate seriell kommunikasjon, ofte brukt i små digitale sensorer.

Device". Ruter-noden vil være innen basestasjonen sin rekkevidde, og på den måten fungere som et mellomledd mellom endenoder/sensorer som er utenfor rekkevidden til basestasjonen.

Programvaren og maskinvaren til en FFD og en RFD skiller seg minimalt fra hverandre. Litt mer minne er nødvendig for å kunne handtere data fra flere sensorer, samtidig som strømforbruket vil øke på grunn av hyppigere radioaktivitet. Programvaren vil settes opp på en litt annerledes måte, og vil kreve en minimal økning i minneforbruk, ca 5%.

Grunnet små forskjeller i kravene, og for å få minst mulig forskjell på sensorene, vil en mikrokontroller som er kraftig nok til å kunne brukes som ruter benyttes i alle typer noder. Prisdifferensen er neglisjerbar, og en vil på denne måten unngå for mye differensiering i utstyret, og gjøre oppsett og innkjøp lettere for sluttbruker.

For de minste sensorene kan en mindre variant av mikrokontrollere brukes. Eneste forskjellen mellom denne typen, og typen som er brukt i oppgaven vil være antall fysisk tilgjengelige pinner.

3.1.3 Krav for ZigBee-modul

ZigBee-standarden er definert, og de fleste kommersielle ZigBee-moduler oppfyller samtlige krav som er satt av standarden.

Siden PIC-mikrokontrollere fra Microchip brukes, vil det være fordelaktig å bruke ZigBee-moduler som har direkte støtte for PIC-mikrokontrollere. På denne måten unngås unødvendig konverteringselektronikk, noe som sparer både strømforbruket og kostnader, samtidig som det er mindre plasskrevende.

Kravene som stilles i denne oppgaven er støtte for batterisparing og avansert nettverkstopologi med støtte for mesh-nettverk.

Når det gjelder overføringshastighet, er dette ikke et viktig punkt, siden mengde trådløs data som sendes mellom enhetene er minimal. Det er likevel viktig å balansere datarate med hensyn på batterilevetid og for å minimalisere sannsynligheten for kollisjoner.

3.1.4 Krav for GSM-modul

En GSM-modul i basestasjonen vil stå for kommunikasjon via mobilnettet hvor fjernstyring og fjernrapportering vil foregå.

Det stilles ingen spesielle krav til GSM-modulen siden det finnes standarder som må oppfylles for at en produsent skal kunne selge moduler som går på det lisensierte mobilnettet. Det er likevel viktig at GSM-modulen har nok minne for innkommende meldinger, seriell port, lav arbeidsspenning og rett GSM-frekvensbånd for bruk i Europa. Dette er krav som de alle fleste GSM-moduler pr. dags dato oppfyller.

Ved utviding av systemet for bruk over Internett, vil det være en fordel om systemet har støtte for datatrafikk som GPRS, EDGE, 3G eller HSDPA. Hvis systemet utvides for overvåking og kontroll via Internett, vil denne funksjonaliteten være en redundant forbindelse til Internett hvis den primære²⁴ internettforbindelsen blir brutt.

Systemet skal automatisk kjøres over til batteridrift ved et eventuelt strømbrudd, og for å forlenge levetiden til batteriet, vil det være en fordel at GSM-modulen har lavt strømforbruk.

Stabilitets- og sikkerhetsfunksjoner i GSM-modulen som overspenningsvern, batterinivåmåling, nødavstenging og temperaturovervåking vil bidra til å få et enda mer driftsikkert system.

²⁴ Primær internettforbindelse vil i de fleste tilfeller være en ADSL-forbindelse

3.1.5 Valg av mikrokontroller

Aktuelle produsenter for mikrokontrollere som skal brukes er ATMEL, Motorola og Microchip. Mikrokontrollere som brukes i oppgaven er PIC fra Microchip.

Microchip er valgt som fabrikanten av mikrokontrollere først og fremst på grunn av egenskapene til mikrokontrollerne. De garanterer framoverkompatibilitet, slik at det både er lett å bytte til en nyere mikrokontroller hvis de gamle forsvinner fra markedet, eller oppgradere til en kraftigere mikrokontroller hvis det blir behov for mer datakraft.

Microchip utvikler også egne ZigBee-radiokretser som er kompatible med mikrokontrollerne, samtidig som det finnes flere andre aktører som også produserer kretser som direkte støttes av PIC-mikrokontrollere. Dette er en stor fordel med hensyn på kostnad, kompleksitet og fysisk størrelse, siden mellomledd mellom radiokrets og mikrokontroller i slike tilfeller ikke er nødvendig.

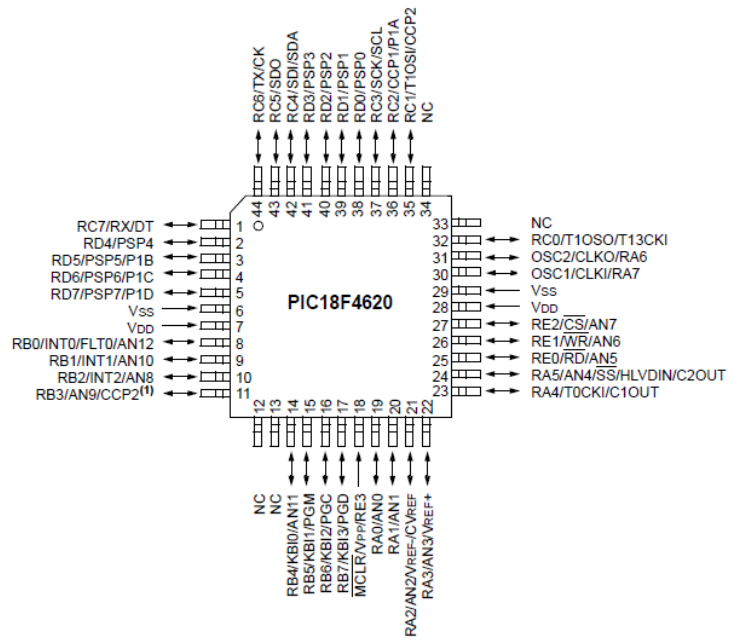
”nanoWatt”-teknologien i de nyere mikrokontrollerne til Microchip var et viktig punkt. Denne vil sette mikrokontrolleren i dvale når den ikke er i bruk, noe som er spesielt viktig for batteridrevne system.

Forkunnskap om mikrokontrollere fra Microchip har hatt en positiv innvirkning når de skulle velges. De er pålitelige, brukervennlige, allsidige og billige.

LF-serien av PIC mikrokontrollere har en bred arbeidsspenning fra 2.0 V til 5.5 V. Dette gjør at de er svært godt egnet til batteridrift og sammenkobling med andre moduler, som GSM og ZigBee. F-serien har en arbeidsspenning fra 4.2 V til 5.5 V, noe som ikke vil passe sammen med GSM-modulen som har en maksimal spenningstoleranse på 4.2V, og ZigBee som har en arbeidsspenning på 3.3 V.

3.1.5.1 Mikrokontroller for basestasjon

Mikrokontrolleren som brukes i basestasjonen er en 8 bits PIC 18LF4620, fra Microchip.



Figur 15 – Microchip PIC18F4620 Datablad

| PIC 18LF4620 | | | |
|--------------|------|------------------|-------------|
| PIC 18 | LF | 4 | 620 |
| Hovedmodell | Type | Fysisk størrelse | Undermodell |

Tabell 4

Hovedmodell: PIC 18 indikerer at dette er den øverste modellen av 8-bits mikrokontrollere. Alternative²⁵ mikrokontrollere på 8-bit er 10, 12, 14 og 16

Type: LF indikerer at denne modellen er en lavspenningsutgave. Operasjonsspenningen på en LF-utgave er mellom 2.0 V og 5.5 V. Standardutgaven F har en operasjonsspenning mellom 4.2 V og 5.5 V, noe som ikke egner seg for batteridrift.

Fysisk størrelse: 4 indikerer størrelsen på mikrokontrolleren, og 4 er en 40-pins PDIP eller 44 TQFP/QFN utgave. Alternativ for denne familien er 2, som er en 28-pins PDIP/SOIC utgave.

Undermodell: 620 angir hvilke egenskaper mikrokontrolleren har. Detaljene kan ikke bestemmes ut fra navnet alene, og en må se i datablad for fullstendig oversikt over hvilke funksjoner den har. En generell regel er at høyere nummer indikerer som regel en mer avansert mikrokontroller (minne, kommunikasjonsmoduler osv). En viktig egenskap som denne modellen har er "nanoWatt"-teknologi som gjør at den bruker 90 % mindre strøm enn standard mikrokontrollere uten nanoWatt, ved å gå i dvalemodus når den ikke er i bruk, eller når den ikke utfører operasjoner. Dette er en stor fordel for system som krever lavt strømforbruk, som trådløse sensorer og lignende.

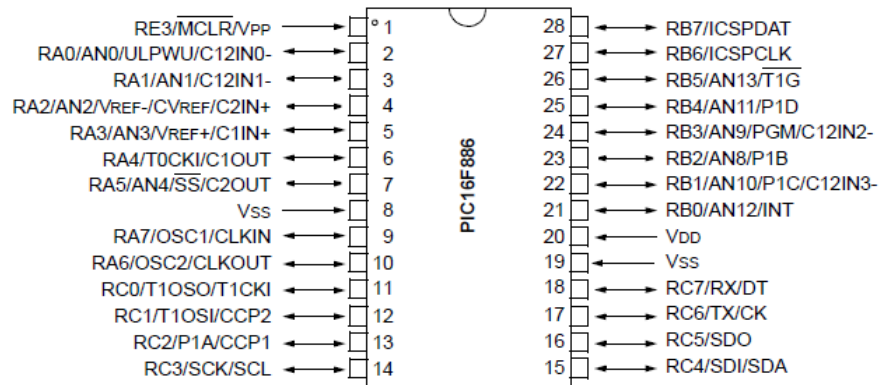
Denne modellen har følgende viktige egenskaper:

| | |
|------------------|---------------------------------------|
| Klokkefrekvens: | Maks 40 MHz |
| Arbeidsspenning: | 2.0 V – 5.5 V |
| Programminne: | 64 kB |
| RAM: | 3 968 Bytes |
| Data EEPROM: | 1 024 Bytes |
| Kommunikasjon: | RS-232, RS-485, I ² C, SPI |
| I/O Porter: | 36 |
| A/D Omformer: | 10 bit, 13 kanaler |

²⁵ Høyere nummer indikerer bedre ytelse og bedre funksjonalitet

3.1.5.2 Mikrokontroller for node/sensor

Mikrokontrolleren som brukes i sensorene er en 8 bits PIC 16LF886, fra Microchip.



Figur 16 - Microchip PIC16F886 Datablad

| PIC 16LF886 | | |
|-------------|------|-------------|
| PIC 16 | LF | 886 |
| Hovedmodell | Type | Undermodell |

Tabell 5

Hovedmodell: PIC 16 indikerer at dette er standardmodellen av 8-bits mikrokontrollere. Størrelsen på mikrokontrolleren er 28 eller 40-pins PDIP/SOIC, eller 28 eller 44 QFN. 28-pins SOIC er valgt her. Alternativ mikrokontrollere på 8-bit er 10, 12, 14 og 18

Type: LF indikerer at denne modellen er en lavspenningsutgave. Operasjonsspenningen på en LF-utgave er mellom 2.0 V og 5.5 V. Standardutgaven F har en operasjonsspenning mellom 4.2 V og 5.5 V, noe som ikke egner seg for batteridrift.

Undermodell: 886 angir hvilke egenskaper mikrokontrolleren har. Denne utgaven støtter også "nanoWatt"-teknologi som betyr at den bruker 90 % mindre strøm enn standard mikrokontrollere uten "nanoWatt". Dette er en stor fordel siden den skal brukes i nodene og sensorene.

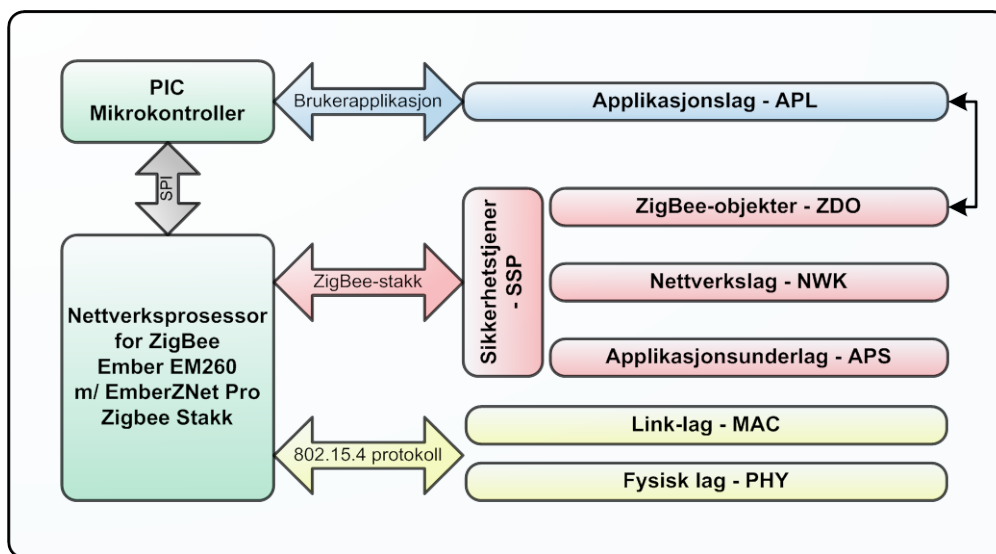
Denne modellen har følgende viktige egenskaper:

| | |
|------------------|---------------------------------------|
| Klokkefrekvens: | Maks 20 MHz |
| Arbeidsspenning: | 2.0 V – 5.5 V |
| Programminne: | 4 kB |
| RAM: | 368 Bytes |
| Data EEPROM: | 256 Bytes |
| Kommunikasjon: | RS-232, RS-485, I ² C, SPI |
| I/O Porter: | 24 |
| A/D Omformer: | 10 bit, 11 kanaler |

3.1.6 Valg av ZigBee-modul

To produsenter tilbyr ZigBee-moduler som støttes av PIC mikrokontrollere; Microchip og Ember. Det naturlige valget hadde vært å gå for samme produsent for både mikrokontrollere og ZigBee-moduler, men på grunn av mangelfull ZigBee-stakk fra Microchip, er ZigBee-moduler fra Ember brukt. Siden begge støttes direkte av PIC mikrokontrollere, er det ingen direkte ulemper.

ZigBee-modulen fra Ember kommer med EmberZNet Pro ZigBee-stakk, som oppfyller ZigBee Pro kravene i tillegg til at den har egne avanserte funksjoner som avansert styring av vente- og dvalemodus, samt bedre ruting og håndtering av tette ZigBee-nettverk.



Figur 17

Ember tilbyr to hovedtyper ZigBee-moduler; Systemchip (SoC²⁶) og nettverksprosessor (NCP²⁷).

Nettverksprosessor er den delen som tar seg av de tidskritiske operasjonene som har med ZigBee-protokollen å gjøre. Denne knyttes opp mot en ekstern mikrokontroller, som programmeres etter behov.

Systemchip er en fysisk chip som inneholder både en primitiv mikrokontroller og nettverksprosessor. Fordelen med dette er at systemet vil være minimalt, og ha mindre strømforbruk. Ulempen er at brukerprogrammet som kan programmeres i den integrerte mikrokontrolleren vil være svært begrenset sammenlignet med å bruke en egen ekstern mikrokontroller som kan spesifiseres etter hvilke egenskaper systemet skal ha, og derfor brukes en nettverksprosessor, EM260, i oppgaven. Overordnet oversikt over systemet og nettverksprosessen er vist i Figur 17.

Ved eventuell utvidning av systemet, vil systemchip kunne brukes til de minste sensorene som ikke har avanserte funksjoner. I det tilfellet vil ikke ekstern mikrokontroller være nødvendig, noe som vil gjøre sensoren billigere, mer kompakt og mer energieffektiv

²⁶ System-on-Chip

²⁷ Network Co-Processor

Noen viktige egenskaper til nettverksprosessoren EM260:

- Håndterer all tidskritisk ZigBee-funksjonalitet (som ruting) og frigjør mikrokontrolleren til å ta seg av brukerprogrammet
- SPI-kommunikasjon til mikrokontroller
- Implementert batteriovervåking
- Lavt strømforbruk ved dvale
- Bred arbeidsspenning

| | |
|-------------------|---------------|
| Dvalestrøm: | Maks. 1 uA |
| Sendestrøm: | 35.5 mA |
| Mottakstrøm: | 35.5 mA |
| Arbeidsspenning: | 2.1 V – 3.6 V |
| Fysisk størrelse: | 6 mm x 6 mm |
| Datarate: | 250 kbps |

3.1.7 Valg av GSM-modul

GSM-modulen som brukes i basestasjonen er 1802G fra RIM²⁸. Modulen er robust, oppfyller kravene som kreves av systemet og er produsert av en anerkjent produsent innen mobiltelefoni.

Modulen er en "Dual-band²⁹"-modul med GPRS klasse 8³⁰ og støtte for GSM Phase 2+³¹. Arbeidsspenningen er fra 3.5 V til 4.75 V og den har mulighet for å slå av GSM-radio når den ikke brukes.

Den har en 3 V seriell port som vil passe rett inn på mikrokontrolleren uten å bruke konverteringslogikk, noe som vil spare plass, strøm og kostnader.

RIM er en anerkjent produsent av profesjonelle mobile enheter, og har et godt rykte når det gjelder stabilitet og sikkerhet. Modulen har de funksjonene som kreves av systemet, i tillegg til at den har funksjoner som gjør det mulig å utvide systemet uten å måtte bytte GSM-modulen.

RIM har også en begrenset garanti for bakoverkompatibilitet, som betyr av hvis modulen som brukes i oppgaven går ut av produksjon, så vil de gi ut en etterkommer som vil være direkte utskiftbar med denne modulen.

Strømforbruket er oppgitt til 15 mA ved standby.

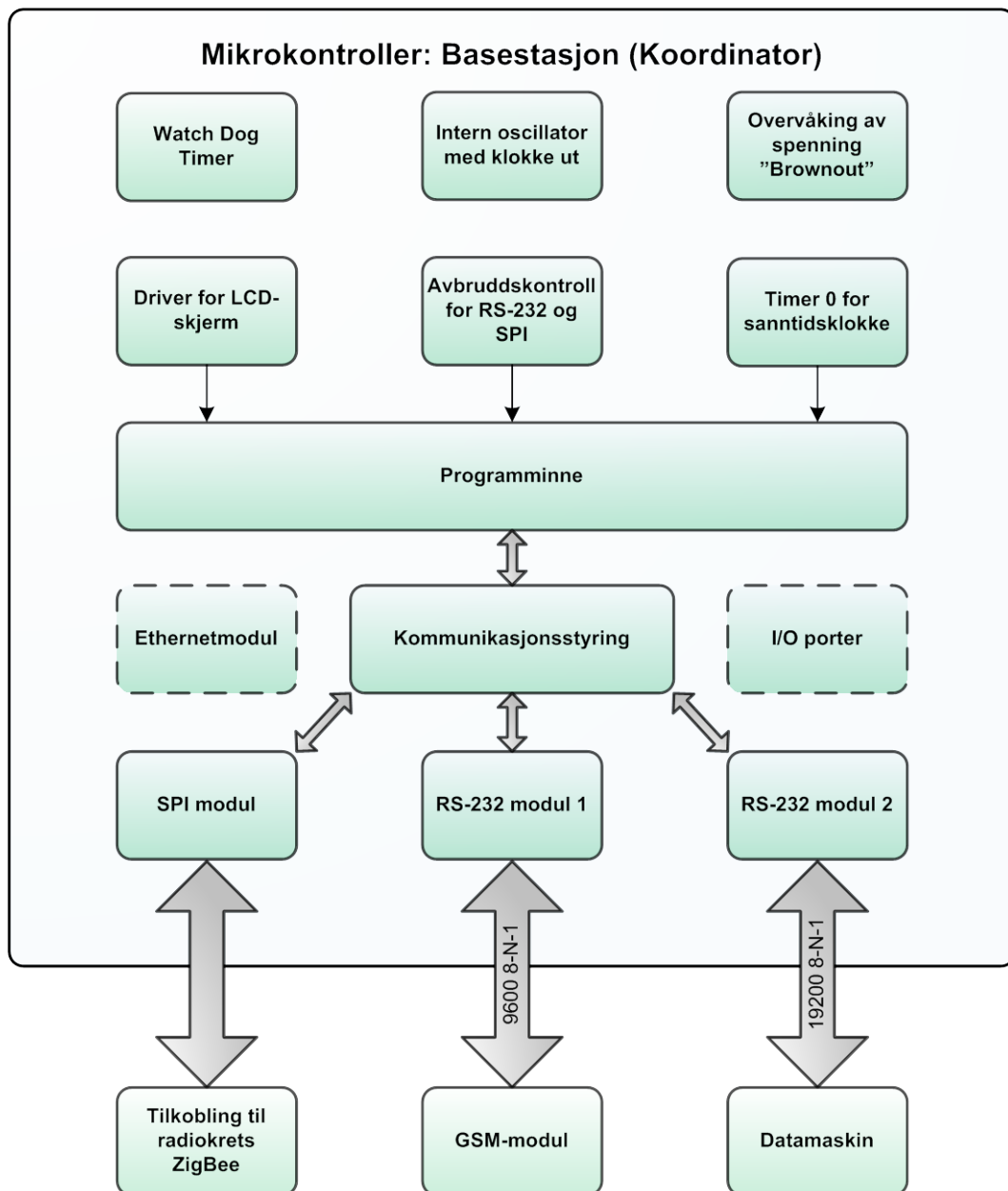
²⁸ Research In Motion, Kanadisk mobilprodusent, mest kjent for businessmobilen BlackBerry

²⁹ EGSM 900, GSM 1800 (MHz)

³⁰ GPRS Klasse 8 støtter hastigheter opp til 80 kbps nedstrøm og 20 kbps oppstrøm.

³¹ Bruker separat kode for "Mobile Terminated Short Message", som gjør det mulig å bruke tekstbaserte kommandoer for nettverksgodkjenning og terminering av SMS.

3.1.8 Oppsett av mikrokontroller for basestasjon



Figur 18

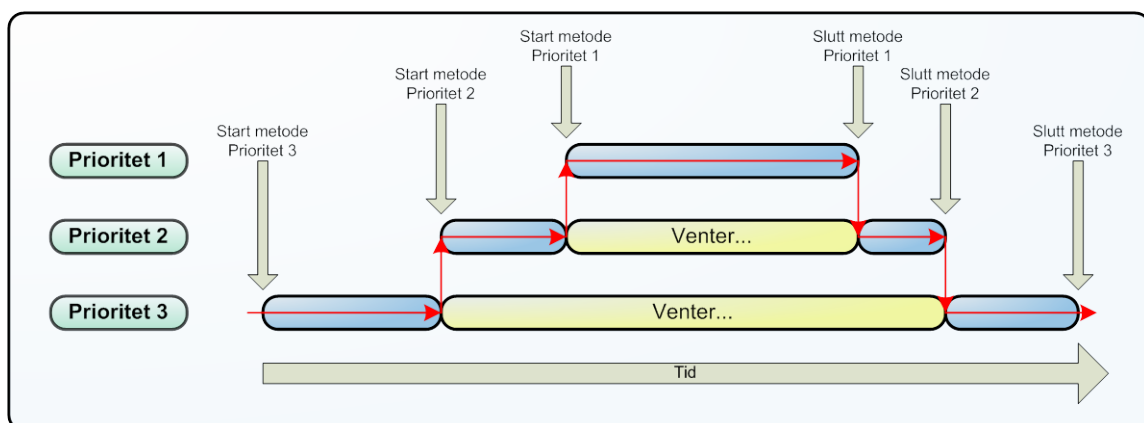
Figur 16 gir en skjematisk oversikt over moduler som må settes opp i mikrokontrolleren for at basestasjonen skal ha de nødvendige funksjonene som kreves av systemet. Det er oppsett for forskjellige kommunikasjonsmoduler som RS232 og SPI, klokkefrekvens, kommunikasjonshåndtering, drivere og forskjellige stabilitetsfunksjoner som gir et robust system.

For å få et stabilt system, er det viktig å implementere disse sikkerhets- og stabilitetsfunksjonene på en fornuftig måte, slik at de kan samarbeide med programvaren som skal kjøres på mikrokontrolleren.

Watch-Dog Timer er en funksjon som er svært utbredt, og er en av de mest brukte funksjonene for stabilitetssjekk. Den går ut på å sette opp en "watch dog"/vakthund som må nullstilles med et forhåndssett intervall. Viss den ikke nullstilles innen den tiden, vil den gå ut fra at systemet har låst seg, og tvangsutføre en reset på hele mikrokontrolleren, slik at systemet kjøres opp igjen fra grunn. Denne metoden blir omtalt som "petting the dog", og er en svært anerkjent metode innen digital elektronikk. Å programmere en WDT krever en del beregning av kjøretiden til koden, slik at den nødvendige nullstillingen kommer når den skal og systemet ikke blir unødvendig restartet. Spesielt må en ta hensyn til de "tidkrevende" løkkene i C-programmering når en WDT skal implementeres.

En annen side av sikkerhets- og stabilitetsaspektet er basert på maskinvaresiden. Her er det viktig å implementere metoder for å unngå problem ved maskinvarefeil eller strømbrudd. Til dette blir "brownout"-metoden brukt. Brownout betyr strømvbrudd og brukes til å slå av mikrokontrolleren og systemet på en kontrollert og feilsikker måte. Systemet vil konstant overvåke forsyningsspenningen, og hvis spenningen går under er gitt nivå, vil den gå inn i en sikker avstengningsmetode. Mikrokontrolleren blir slått av på en måte som ikke vil medføre skade på den selv og systemets komponenter, samtidig som den ikke vil utløse uønskede alarmer.

Siden basestasjonen skal kommunisere med flere enheter samtidig, er det viktig å implementere en kommunikasjonsmegler. Dette må implementeres av utvikler og er ikke noe som finnes som standard, siden det finnes utallige måter å løse dette på. I oppgaven blir denne håndteringen omtalt som kommunikasjonsstyring, og består av avbruddsrutiner for de forskjellige modulene, og prioritering av avbruddene. Avbruddsrutinene i oppgaven kan grovt deles inn i tre deler; kommunikasjon via RS-232 (GSM), kommunikasjon via SPI (ZigBee) og kommunikasjon via den andre RS-232-modulen (PC). Den som er satt med høyest prioritet er RS-232 for GSM, etterfulgt av SPI, og til slutt RS-232 for PC. Det innebærer at hvis det foregår kommunikasjon med ZigBee, og det kommer inn en SMS til GSM-modulen, vil kommunikasjonen med ZigBee settes på vent til GSM-modulen er ferdig, og først da kan ZigBee fortsette med sin del, illustrert i Figur 19.



Figur 19

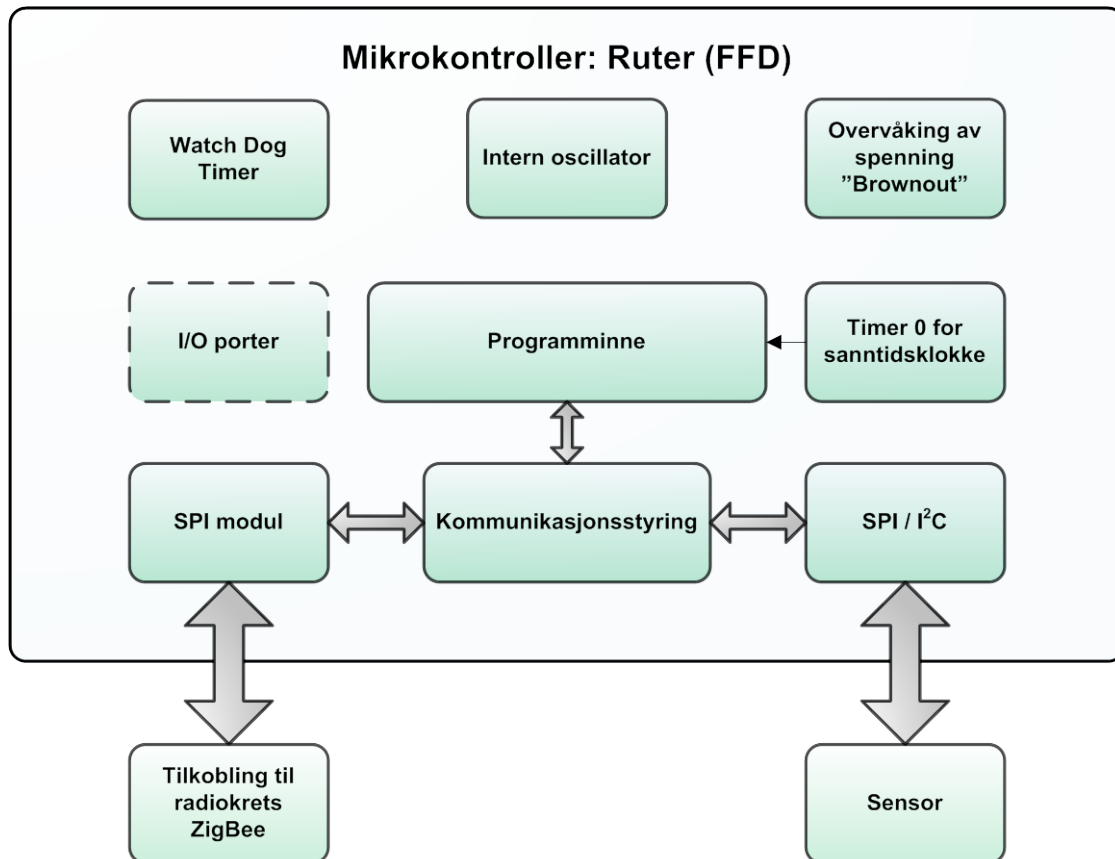
Grunnen til dette er at den mest tidskritiske kommunikasjonen foregår mellom mikrokontrolleren og GSM-modulen på grunn av at GSM-modulen ikke bufferer innkommende SMS, men sender de direkte til mikrokontrolleren. ZigBee benytter en mottaksbuffer, og kan på den måten mellomlagre data til

mikrokontroller er klar til å ta i mot. Til slutt prioriteres kommunikasjon med PC, siden denne delen i utgangspunktet kun brukes til overvåking.

Tiden som modulene bruker på venting ved et avbrudd er neglisjerbar i brukersammenheng, men er svært viktig når det gjelder dataoverføring, der overføring av lange meldinger skjer på brøkdeler av sekund. Eksempelvis vil en SMS fra GSM-modulen som inneholder maks antall tegn, 160, bruke rett i overkant av 0.1 sekund³² på å overføre hele meldingen til mikrokontrolleren med innstillingene som er gjort i denne oppgaven. I praksis vil meldingene bestå mellom 16 og 32 tegn, slik at overføringstiden vil være betydelig lavere, noe som betyr at en eventuell melding fra ZigBee som blir satt på vent pga. innkommende SMS, vil ankomme mikrokontrollerens mottaksregister senest 0.1 sekund at den ble sendt. Dette kan anses som sanntid i et slikt system.

³² Ved bruk av 9600 baud, 8 bit melding, ingen startbit og ett stoppbit, 9600 8N1 modellen

3.1.9 Oppsett av mikrokontroller for ruter



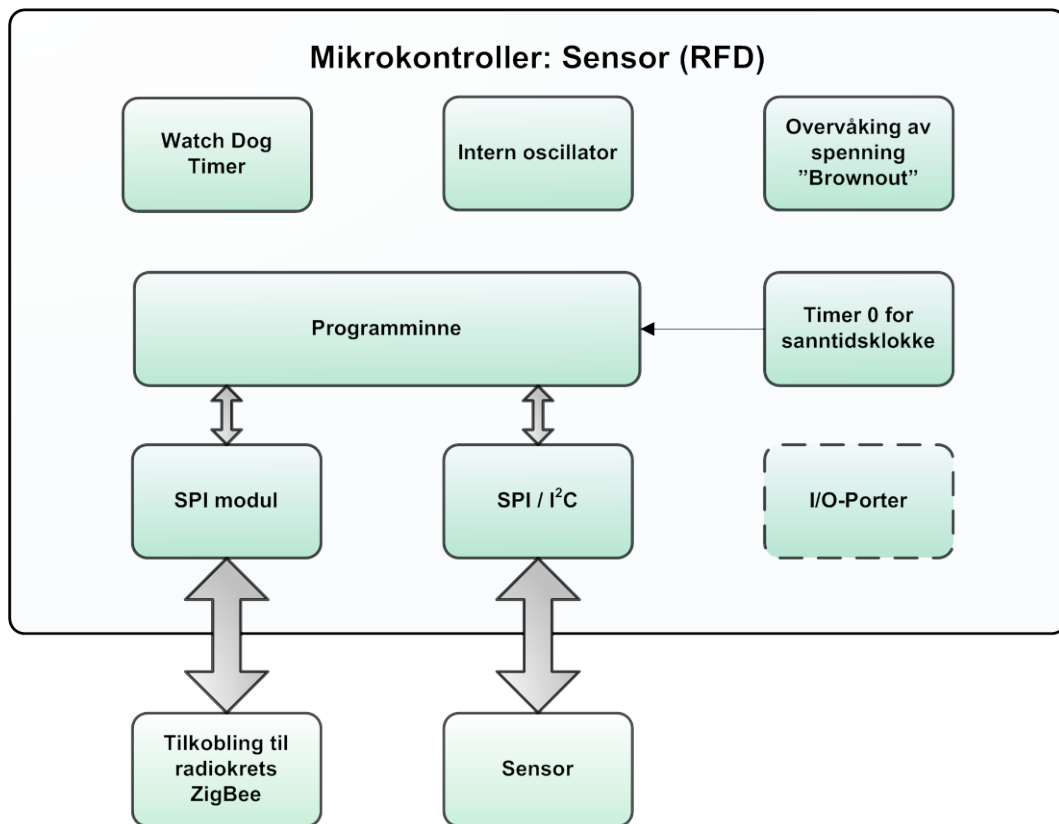
Figur 20

Oppsettet til en ren ruter, eller en sensor som skal ha rutingsfunksjonalitet er betydelig mindre kompleks enn oppsettet til basestasjonen.

Samme stabilitets- og sikkerhetsfunksjoner vil bli implementert i ruterens som i basestasjonen, Watch-Dog Timer og Brownout. På denne måten unngås det at ruterens blir ustabil eller slås av uten forvarsel. Ved å implementere disse funksjonene, vil den kunne ha kontroll ved eventuelle stabilitetsproblem, og på den måten slå seg av kontrollert, og gi beskjed om dette til basestasjonen.

Ruterens trenger også en kommunikasjonsmegler, men denne skal kun identifisere hvilken sensor en melding kommer fra, og sende den videre til basestasjonen. Meldinger fra andre sensorer skal ha høyere prioritet enn egne meldinger i det tilfellet hvor ruterens selv fungerer som en sensor. Grunnen til dette er at lagringsregisteret for egen data er betydelig større enn lagringsregisteret for mottatt data via ZigBee.

3.1.10 Oppsett av mikrokontroller for sensor



Figur 21

Oppsettet til en ren sensor er den minst komplekse, men den vil likevel benytte de samme stabilitets- og sikkerhetsfunksjoner som basestasjonen og ruterer.

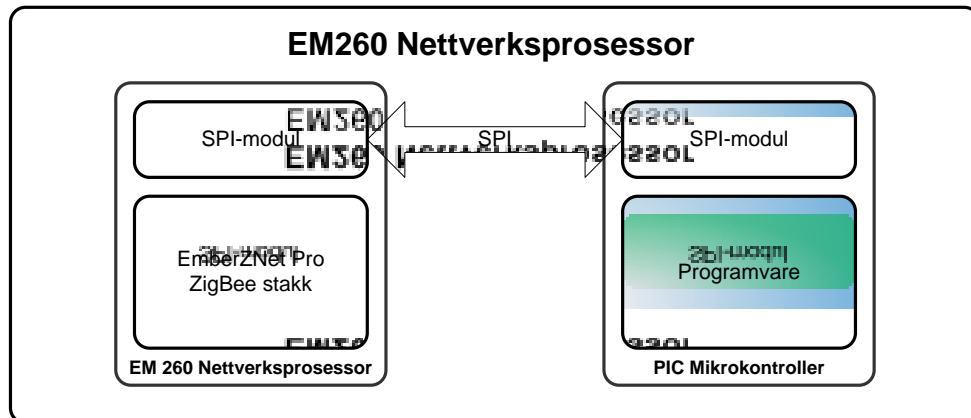
Ved å implementere "brownout" unngås det at sensoren slutter å fungere midt i en melding, noe som kan utløse en alarm, samtidig som den kan brukes til å overvåke batterinivået, og si i fra når det blir lavt.

Watch-Dog Timeren vil resette sensoren ved en eventuell feil, og bidrar til at sensoren blir mer driftssikker.

Det er ikke behov for en kommunikasjonsmegler, siden den eneste kommunikasjonen går til ZigBee. Avlesing av digital sensor skjer ved "polling", som innebærer at mikrokontrolleren sender beskjed til sensoren at den skal leses med bestemte tidsintervall, og forventer å få et svar innen en gitt tid. Hvis ingen svar mottas fra sensor innen den angitte tiden, vil den prøve igjen. Flere feil etter hverandre vil utføre en omstart av mikrokontrolleren, og hvis feilen fortsatt er til stede, vil den rapportere en mulig defekt sensor.

Analoge sensorer avleses syklisk i programmet og omformes til digital verdi, som kan sendes direkte.

3.1.11 Oppsett av ZigBee-modul



Figur 22

EM260 nettverksproessoren kjører EmberZNet ZigBee-stakk som gir tilgang til toppnivået av API³³ over SPI. Før mikrokontrolleren som brukes kan sende og motta forespørsler over SPI, må den sende en oppstartskonfigurasjon til nettverksproessoren.

Først konfigureres SPI-kommunikasjon i selve mikrokontrolleren som senere skal konfigurere ZigBee-modulen etter brukerens ønsker.

Konfigurasjonen som sendes skal inneholde informasjon om noden skal være en koordinator, ruter eller endenode. Dette bestemmes av bruker i programvaren på datamaskinen.

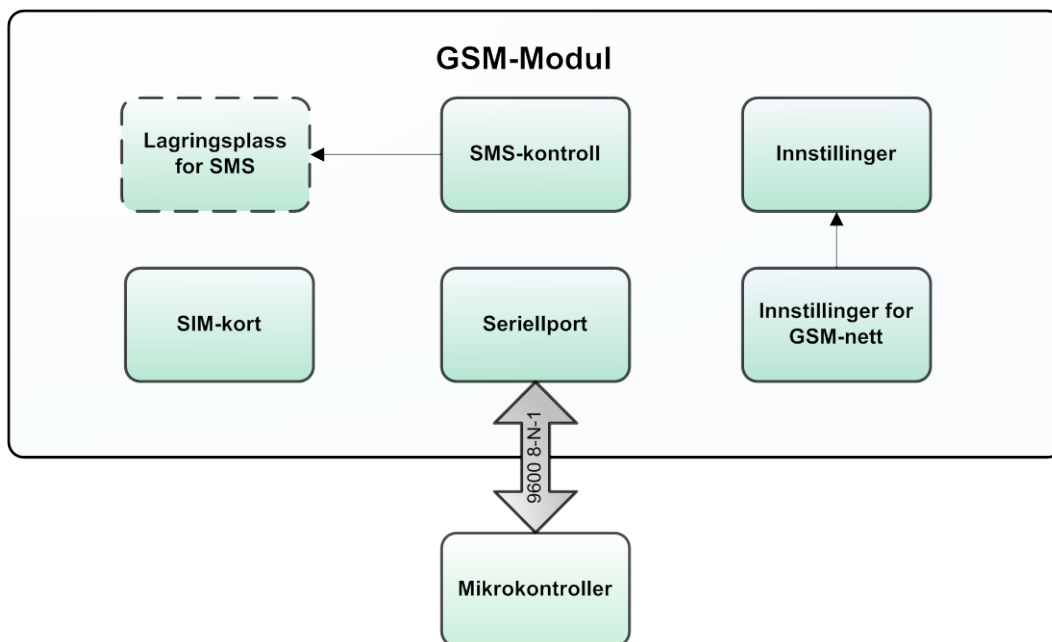
I tillegg konfigureres mikrokontrolleren til å automatisk sende nødvendig konfigurasjon som beskriver adresseområder, tilkoblingsmuligheter, kanalområder og rensing av gamle rutingtabeller. Dette medfører at systemet vil kunne beskrives som et "Zero Configuration" system, som krever minimal konfigurasjon fra sluttbrukeren.

Mikrokontrolleren i basestasjonen vil programmeres til å automatisk konfigurere ZigBee-modulen som en koordinator, og dette vil ikke kunne endres av sluttbruker.

Sensornodene skal konfigureres til å være enten en ruter eller en ren endenode. Dette gjøres av bruker i programvaren på datamaskinen.

³³ Application programming interface

3.1.12 Oppsett av GSM-modul



Figur 23

Figur 23 gir en skjematisk oversikt over oppsettet til GSM-modulen.

Førstegangskonfigurasjon av GSM-modulen gjøres via v.24 og HyperTerminal, som er en industriell standard for lavnivåkonfigurasjon av enheter. Modulen må settes opp med samme parametre for seriellkommunikasjon som mikrokontrolleren, 9600 8N1.

Innkommende SMS skal sendes direkte til mikrokontroller som en tekststreng, og så slettes fra modulen for å unngå minneoverbelastning.

GSM-nettverket krever godkjenning av mottatt SMS, og for å unngå problemer, settes GSM-modulen til å gjøre denne oppgaven, og ikke mikrokontrolleren. Mikrokontrolleren vil sende bekreftelse på mottatt melding til GSM-modulen med en enkel bokstavterminering, og GSM-modulen vil melde videre til nettverket at meldingen er mottatt. For å tillate denne type kontroll, må modulen konfigureres til å bruke GSM Phase 2+ språk.

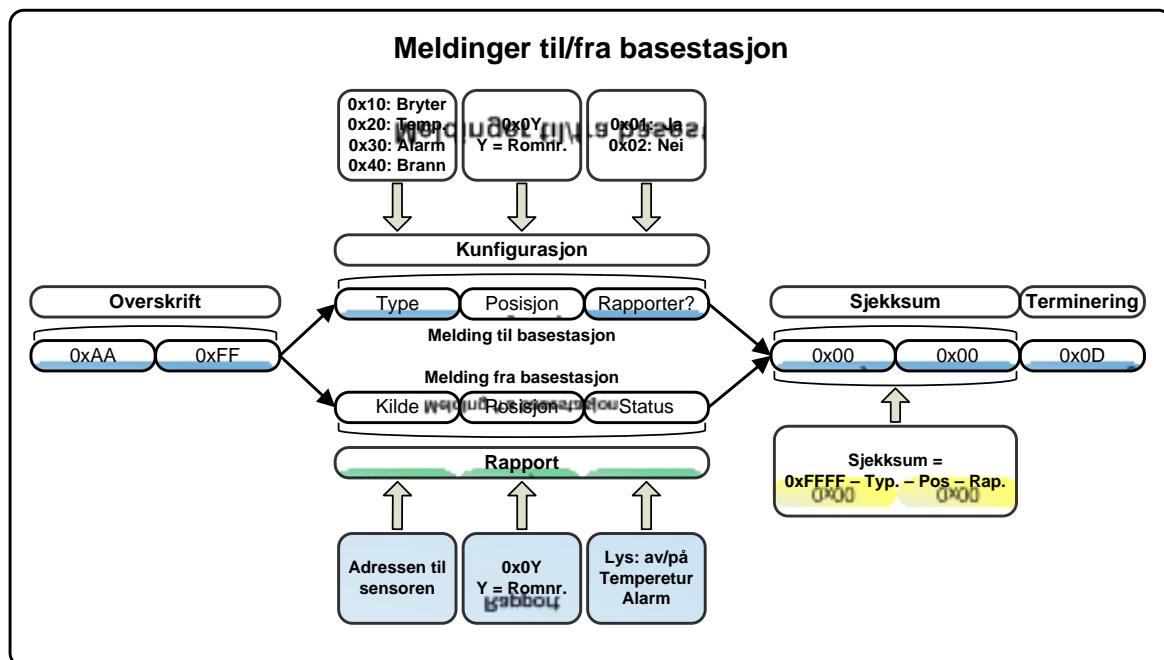
Alle innstillinger må lagres i GSM-modulen sitt minneområde for konfigurasjon, og den må konfigureres til å laste opp de nye brukerinnstillingene ved hver oppstart.

En "heartbeat"-puls³⁴ fra GSM-modulen vil sendes til mikrokontrolleren med jevne mellomrom for å bekrefte at GSM-modulen er operativ og har signal.

³⁴ Puls som sendes med jevne mellomrom for å indikere at det er "liv" i senderen

3.1.13 Kommunikasjon med software

Oppbyggingen av seriell data som skal sendes mellom datamaskin og basestasjon må ha en bestemt form, og meldingene skal bygges opp som vist i Figur 24.



Figur 24

Meldingene skal bestå av åtte byte, hvor de to første bytene skal være en fast, unik, overskrift som skal gi beskjed til mottaker at det som kommer etter overskriften er en gyldig melding. Dette er første punkt for å forsikre at tilfeldig støy ikke blir registrert som en potensielt farlig kommando.

Etter overskriften vil de tre neste bytene i meldingen som sendes til basestasjonen være selve konfigurasjonen av ZigBee-noden. Her sendes informasjon om hvilken type node/sensor det er som skal kobles til. Det kan være en bryter, temperaturføler, innbruddsalarm eller brannalarm. I det tilfellet hvor ZigBee-noden skal ha rutingfunksjonalitet, vil det legges til 0x01 til "type-bytet" for å indikere dette. En posisjon som defineres i programvaren av brukeren vil kunne legges til, slik at brukeren har oversikt hvor denne befinner seg. Det siste konfigurasjonsbyttet vil konfigurere om noden skal sende en alarm til brukerdefinerte telefonnummer.

I meldingen som sendes fra basestasjonen vil de tre bytene være adressen til avsendernoden, romnummer som er knyttet mot en brukerdefinert posisjon i programvaren og statusen som rapporteres av noden. Dette kan være om en bryter er av eller på, temperatur eller alarm.

For å forhindre feil i overføring og feiltolkning av kommandoer, brukes de to neste bytene til å sende en enkel, kalkulert sjekksum. Sjekksummen blir beregnet ved å ta det heksadesimale tallet 0xFFFF og trekke fra de heksadesimale tallene fra de tre konfigurasjonsbytene type, posisjon og rapport.

Denne beregnes av senderen, og settes inn i meldingen. Når mottakeren mottar meldingen, vil den uavhengig beregne sjekksum på samme måte, og så sammenligne svaret den får med svaret som senderen fikk og sendte i meldingen. Hvis sjekksummen er lik den som den fikk av senderen, blir meldingen godkjent, og sendt videre inn i programmet for utførelse. Ellers vil mottakeren sende en feilmelding tilbake, og be om få meldingen tilsendt på nytt. På denne måten får systemet en sikkerhetsbarriere som kan forhindre et ustabil system, feilaktig konfigurasjon eller feilaktig utløsning av alarmer.

Ved konfigurasjon av nytt telefonnummer for styring og alarm- og hendelsesrapportering, vil meldingene som mottas inneholde ni konfigurasjonsbyte, hvor det første bytet indikerer at dette er et nytt telefonnummer, og de åtte neste bytene er telefonnummeret.

3.1.14 Pålitelighet

Påliteligheten til basestasjonen bestemmes ut fra det minst pålitelige elementet i basestasjonen. I dette tilfelle er det ingen ledd som kan anses som spesielt upålitelige.

Programmet i basestasjonen bruker mekanismer som Watch-Dog Timer og brownout for å forsikre stabil og kontrollert operasjon av basestasjonen.

I tilfellet hvor basestasjonen skulle komme ut for programfeil, et tilfelle som er svært usannsynlig, vil Watch-Dog Timer restarte mikrokontrolleren, som vil forsikre riktig operasjon, gitt at det ikke er noen fysiske skader på systemet.

Ved et eventuelt strømbrydd har basestasjonen et innebygget batteri som fungerer som en UPS³⁵, som vil forsikre uavbrutt operasjon. Hvis batterinivået blir lavt, eller spenningen på mikrokontrolleren faller av andre grunner, vil brownout-funksjonen sørge for kontrollert nedkjøring av systemet, slik at ingen unødvendige alarmer eller funksjoner trigges.

ZigBee-teknologien er beskyttet mot ettpunktsfeil³⁶, og støtter et desentralisert styringssystem, noe som betyr at hvis basestasjonen som fungerer som en koordinator skulle falle ut, så vil en ruter overta som et midlertidig senterpunkt og på den måten bevare integriteten og funksjonaliteten til systemet.

GSM-modulen er utstyrt med overspenningsvern, temperaturvern, overflytvern³⁷ og nødstop, som beskytter modulen mot de fleste feil som kan oppstå.

I tillegg er basestasjonen utstyrt med sikringer på strømforsyningssiden samt et overspenningsvern.

Til sammen vil disse funksjonene sørge for et robust, stabilt og pålitelig system både sett på de fysiske komponentene og programvaren som kjøres i mikrokontrolleren.

³⁵ Uninterruptible Power Supply

³⁶ Single Point of Failure

³⁷ Sørger for at minnet ikke blir overbelastet

3.1.15 Kostnad

En enkel estimering av kostnadene for maskinvaren er satt opp i Tabell 6 for basestasjonen og Tabell 7 for en sensor eller en ruter.

I utregningene er det ikke tatt hensyn til arbeid eller utvikling siden det ikke regnes som direkte materialkostnader. Prisene som er brukt er estimerte kostnader for lave innkjøp.

De direkte materialkostnader til en basestasjon vil ligge på ca. 250 kr, en pris som er svært lav i forhold til funksjonaliteten, og med hensyn på at dette er hovedenheten.

| Basestasjon | | |
|--------------|----------------------------|-----------------|
| Microchip | PIC 18LF4685 | \$ 4,50 |
| Ember | EM260 | \$ 5,00 |
| RIM | 1802G - GSM Modul | \$ 15,00 |
| | Antenne | \$ 2,00 |
| | LCD skjerm 4x20 | \$ 5,00 |
| MAXIM | Max 2323 | \$ 2,00 |
| | LED, Resistorer og diverse | \$ 2,00 |
| | Kretskort | \$ 5,00 |
| TOTAL | | \$ 40,50 |

Tabell 6

Materialkostnader for en sensor vil ligge på ca. 80 kr. Dette kan være noe høyt, men kostnadene vil synke betraktelig ved større innkjøp, og er realistisk pris vil ligge mellom 30 - 50kr

| Sensor / Ruter | | |
|----------------|----------------------------|-----------------|
| Microchip | PIC 16F866 | \$ 1,50 |
| Ember | EM260 | \$ 5,00 |
| | LED, resistorer og diverse | \$ 2,00 |
| | Kretskort | \$ 3,00 |
| | Valgfri sensor/rele ca. | \$ 2,00 |
| TOTAL | | \$ 13,50 |

Tabell 7

3.1.16 Stråling og miljø

Strålingen fra lavfrekvente elektromagnetiske radiosignaler er et hett tema, og både i USA og Storbritannia har skoler redusert bruken av trådløst nettverk i klasserom, pga frykt for strålingskader. Wi-Fi, Bluetooth og ZigBee er alle elektromagnetiske radiosignaler i frekvensbåndet 2.4 GHz, men har forskjellig effekt, hvor ZigBee er den teknologien som har lavest styrke, mens Wi-Fi er den som har sterkest stråling.

Det finnes ingen utvetydige studier som beviser at denne typen stråling er farlig, men dokumentasjon på det motsatte finnes, og ved bruk av enkel matematikk, kan en regne på strålingen og trekke en kvalifisert konklusjon fra utregningen.

Tester utført av helsemyndigheter verden over viser at strålingen fra Wi-Fi er ca. $1/20\,000\,000$ ³⁸ del av de anbefalte internasjonale retningslinjene. Til sammenligning blir en person som snakker i en mobiltelefon utsatt for 50 % stråling av den anbefalte grensen. Det betyr at å snakke i mobiltelefon i 20 minutter tilsvarer å sitte i et rom med Wi-Fi-nettverk i over ett år, konstant! Strålingen fra Wi-Fi er omtrent den samme som strålingen fra vanlige FM-radiosignaler og TV-signaler, som internasjonalt er ansett som trygge.

Alt dette tatt i betraktning, i tillegg til det faktum at energien til strålingen fra ZigBee er lavere enn strålingen fra Wi-Fi, kan ingen annen logisk konklusjon trekkes utenom at det er et tema som er ikke-eksisterende, og at teknologien er trygg både for mennesker og omgivelsene.

Systemet brukes til å fjernstyre og overvåke hjemmet, og kan medføre stor energibesparing ved implementering. En vil kunne styre varme, lys og andre elektriske artikler uten å være tilstede i hjemmet, eller ved å bruke et brukerdefinert skjema. Huset vil også kunne "tenke" selv, som for eksempel ved å slå av lys når ingen er tilstede i rommet.

Selve teknologien bygger også på lavenergikomponenter som gjør at produktet kan anses som miljøvennlig grønt produkt.

³⁸ http://www.radiationtalk.com/info/wifi_radiation.php

3.2 Programvare

3.2.1 Introduksjon

Programvaren for datamaskinen er satt opp til å motta og tolke meldinger fra basestasjonen, og på samme måte er det satt opp et program på mikrokontrolleren i basestasjonen for kommunikasjon mot datamaskinen. For selve kommunikasjonen trengs i hovedsak åtte byte per melding, der de forskjellige byte er knyttet til en verdi som for eksempel identifikator for "dette er en temperaturmåling", der de påfølgende data inneholder selve målingen. Basestasjonen behandler data fra sensorene og brukeren kan selv stille inn hvordan han vil ha det for eksempel med hensyn på oppdateringsfrekvens. Eksempelvis trenger en romtemperaturmåling ikke å sende temperaturen hvert sekund og det holder som regel med intervaller på flere minutt. På den andre siden bør en alarmsensor sende informasjon med ett sekunds mellomrom eller mindre.

Programvaren som er satt opp er i hovedsak ment som prototypeversjon for å realisere hovedfunksjonene til oppsettet. Dersom endelig realisering vil bli gjort, vil det tas mer hensyn til flere aspekter med tanke på programflyt, sikkerhet og design.

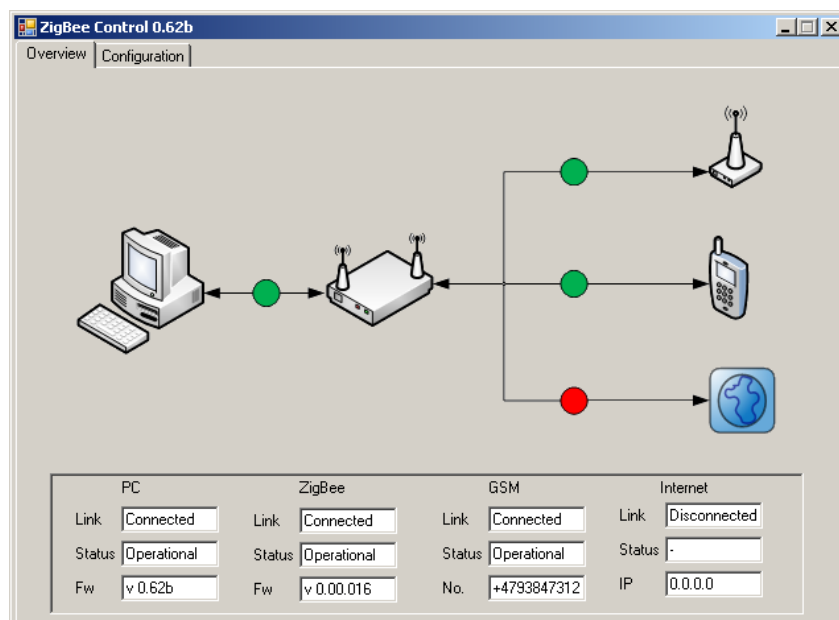
3.2.2 Valg av utviklingsverktøy

Til utvikling av programvaren er Microsoft Visual Studio 2010 brukt med Microsoft sin akademiske lisens. Programmeringsspråket som er brukt er C#. C# er et objektorientert programmeringsspråk som forenkler utviklingsprosessen ved å avskille brukeren fra lavnivåoppgaver som minnehåndtering, typesikkerhet, oppbygning av lavnivåbibliotek og tabellgrenser. Både Java med Java-plattformen og C# med .NET plattformen deler disse egenskapene. Disse to inneholder mange likheter, men valget falt på C# siden nyere Microsoft Visual Studio har flere finesser som akselererer utviklingen.

3.2.3 Programvare på datamaskinen

Programmet på datamaskinen er laget for å overvåke og sette opp basestasjonen. Det utviklede programmet har fått navnet Home Control w/ZigBee. Selv om basestasjonen skal kunne fungere selvstendig, med eget display som gir nødvendig informasjon, er den avhengig av å bli konfigurert via datamaskinen. Avanserte funksjoner til basestasjonen vil få en mye bedre grafisk fasade på datamaskinen for at brukerterskelen skal minskes.

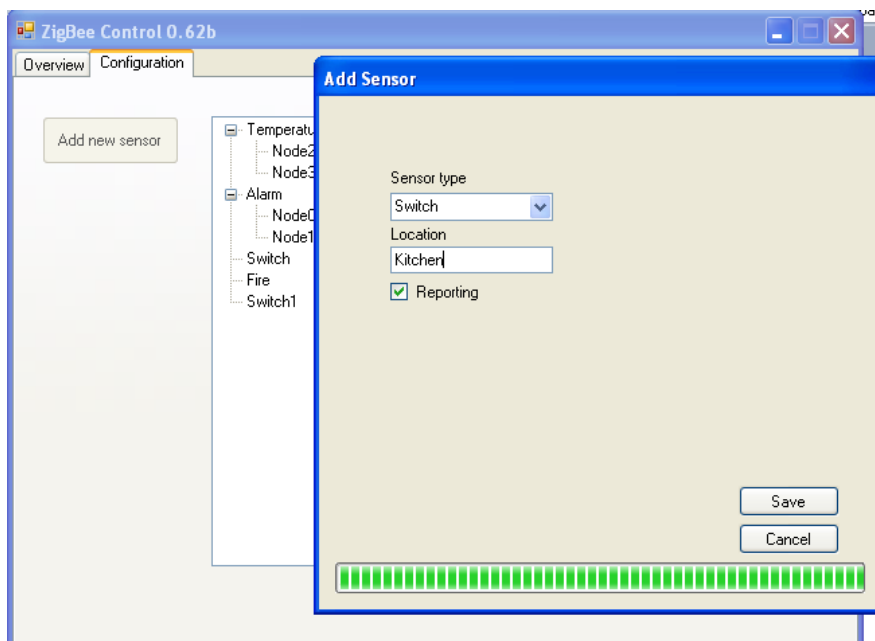
Figur 25 viser oversiktsvinduet for programmet. Det inneholder kritisk informasjon som operasjonell status på selve enheten, tilkoblingsstatus, firmware og adresse for de forskjellige enhetene i systemet. Dynamiske lys er lagt til for å vise tilkoblingsstatus på tegningen. Foreløpig har disse bare grønn og rød status, som betyr tilkoblet/frakoblet, men en mellomstatus kan også legges til der f.eks. feil med koblingen vises.



Figur 25

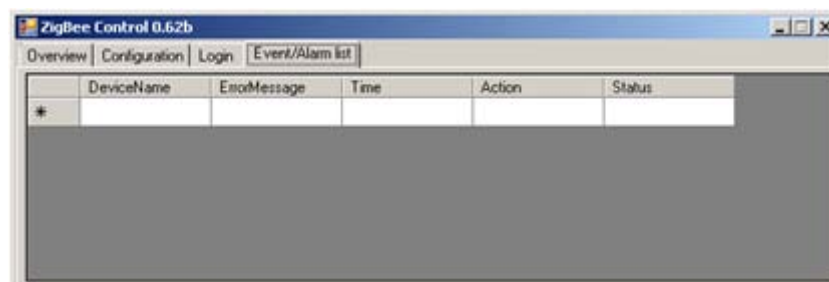
Selv om nye noder blir lagt til automatisk i basestasjonen må denne kobles opp mot navn og adresse i programmet. Når den blir lagt til skal informasjonen sendes over til datamaskinen hvor noden identifiseres etter flere kriterier som: hvilken type den er, hvor i huset den er plassert og generell

brukerdefinert informasjon. Noden blir lagt til i konfigurasjonsmodus ved hjelp av "legg til node"-funksjonen vist i Figur 26. Når noden er lagt til, vil brukeren få den opp i den tekstbaserte listen over eksisterende enheter i systemet. For de mer avanserte brukerne kan den også plasseres på et kart over huset. Dette blir litt mer avansert grunnet at et kart over huset må implementeres, og den gjennomsnittligere brukeren vil ikke ha kunnskap nok til å lage og importere dette uten at en tegnefunksjon implementeres i programmet, eller at en avansert importfunksjon blir utviklet. Uavhengig av dette, vil brukerne få opp tilstand med nåværende verdier for de eksisterende noder på en oversiktlig måte.



Figur 26

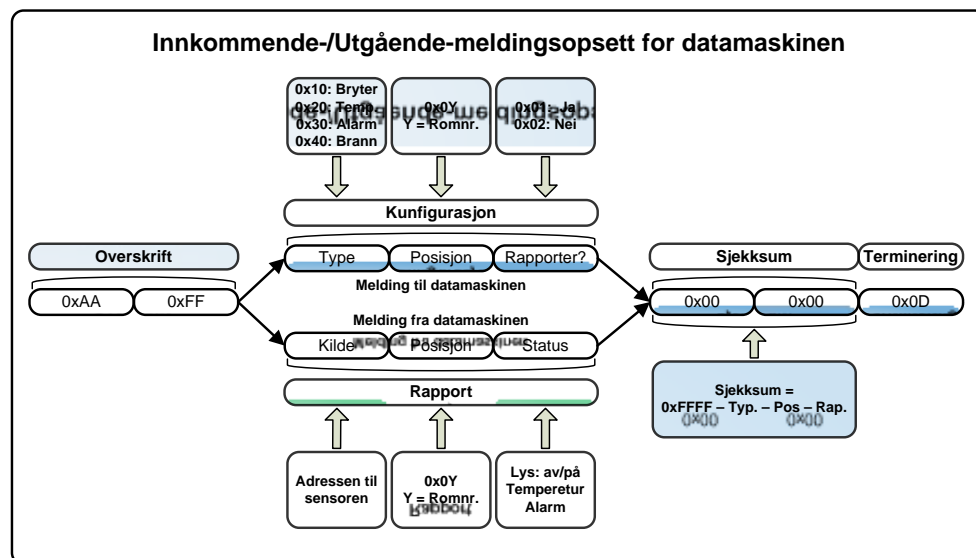
Dersom det oppstår feil på en node eller overordnet system, vil tilgjengelig informasjon legges til i hendelses- og alarmlisten. Denne listen er satt opp i en tabellfunksjon hvor informasjonen rangeres etter tidsrom, og hvor kritisk hendelsen er. Programmet inneholder også en lydfunksjon som utløses av de mest kritiske alarmer og hendelser. Informasjonen fra denne tabellen vil jevnlig bli lagret til en fil som garanterer databevaring dersom programmet eller maskinen skulle få problemer. Programmet vil i oppstart lese inn denne og autogenerere tabellen.



Figur 27

3.2.4 Meldingsoppsett

Både i basestasjonen og på datamaskinen er det lagt inn et meldingsoppsett for kommunikasjon i mellom. Oppsettet er som vist i Figur 28 og differerer ikke mye fra oppsettet på basestasjonen beskrevet i tidligere kapittel, men selve kodingen vil foregå litt annerledes. I likhet med basestasjonen inneholder programmet en sjekksumfunksjon som hindrer feilinformasjon og sender tilbake en forespørsel om omsendelse dersom sjekksummen ville vise seg å ikke stemme. Denne er inneholdt i de to siste bytes før termineringsbytet.



Figur 28

De første to byte av meldingen vil inneholde en overskrift. Denne brukes som forsikring for at meldingen er gyldig. De tre neste bytene vil for utgående meldinger inneholde selve konfigurasjonen brukeren har gitt i programmet. Det første bytet beskriver sensortypen noden skal opptre som. Det andre bytet i konfigurasjonsdelen inneholder posisjon og blir satt av brukeren til f.eks. romnr. Det siste bytet inneholder en status om rapportering til GSM-modulen skal gjøres.

For innkommende meldinger til datamaskinen vil oppbyggingen være mye lik. Forskjellen vil være at konfigurasjonsdelen blir byttet ut med en rapportdel som inneholder adresse, satt posisjon og status til selve noden.

Meldingsformen for oppsett av telefonnummer vil ha ni konfigurasjonsbyte, hvor det første bytet er et prefiks for at det som sendes er et telefonnummer. Resten av meldingsoppbyggingen er lik konfigurasjonsmeldingene for sensorene.

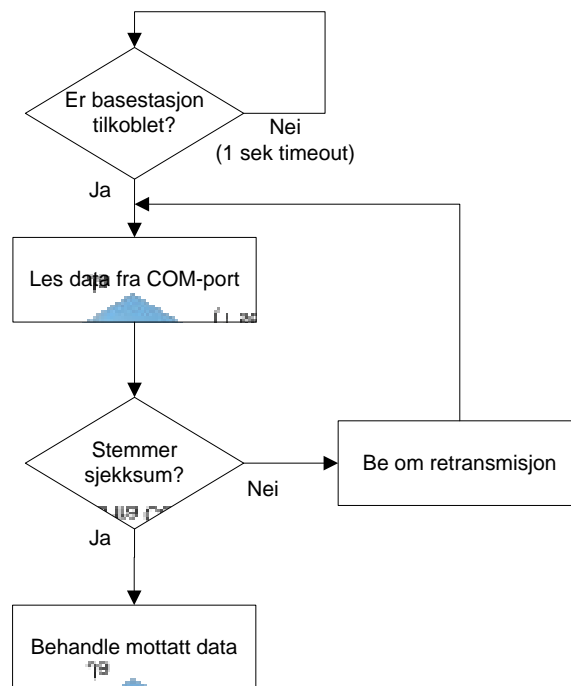
Mer informasjon om meldingsoppsett i programmet fra et utviklingsperspektiv finnes i vedlegget på CD.

3.2.4.1 Kommunikasjonsrutine med intervall

Både programmet og basestasjon er satt opp til å sende og motta data synkront. Dette skjer med et intervall på et sekund når tilkoblingen er aktiv. Kommunikasjonen foregår over seriellport med overgang til USB. Overgangen til USB er gjort siden seriellkommunikasjonen ikke lenger er standard på datamaskiner. Overføringshastigheten til denne kommunikasjonen er lav, men selve kommunikasjonsoppsettet går svært raskt. Dette systemet har ikke bruk for stor hastighet, men heller pålitelig kommunikasjon med rask respons. I overføringen brukes en sjekksum for å unngå feildata.

Ved bruk av USB-overgangen opprettes det en virtuell COM-port på datamaskinen, og den bruker en generisk driver som støttes av de fleste operativsystemer.

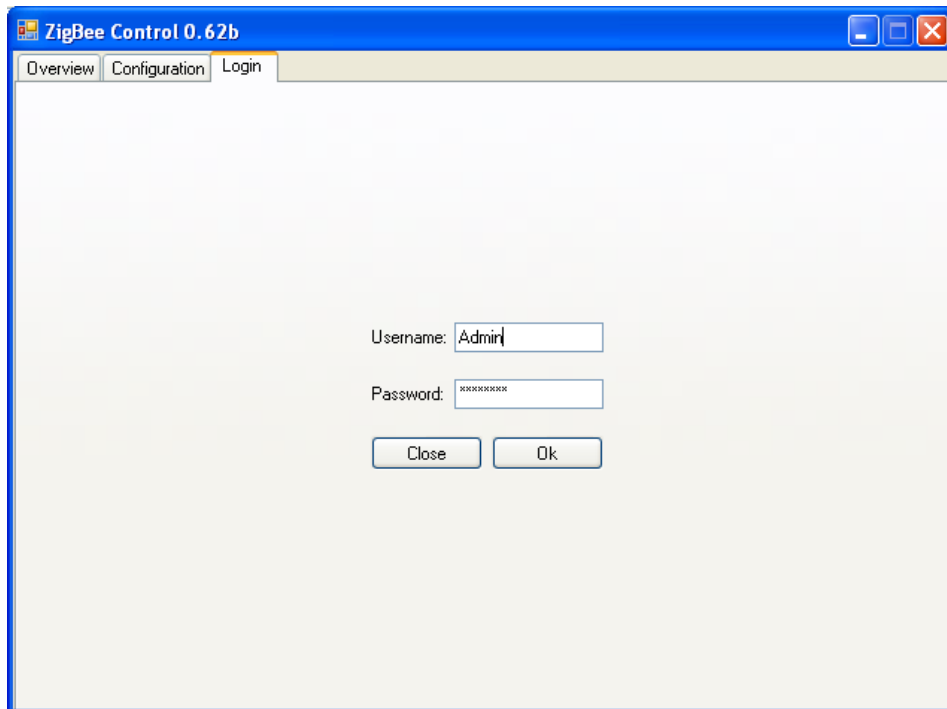
Et flytskjema for kommunikasjonen mellom datamaskinen og basestasjonen er vist i Figur 29.



Figur 29 - Flytskjema for COM-port-kommunikasjonen

3.2.5 Brukervennlighet

Som Figur 25 og Figur 26 viser er programmet satt opp til å ha en enkel brukerterskel. Informasjonen gis med både tekst og grafikk. Programmet skal kunne settes opp for to moduser; en overvåkningsmodus uten direkte kontroll over systemet, og en konfigureringsmodus der endringer på komponenter i systemet kan gjøres. Sistnevnte vil kreve ytterlig autorisering av brukeren gjennom en innloggingsfunksjon, vist i Figur 30.



Figur 30

3.2.6 Ressurskrav

Programmet er i likhet med systemet designet med tanke på lave ressurskrav. Dette skal fungere som en portal for enkel konfigurering og overvåking av basestasjonen med tilkoblede enheter. Kontinuerlig kjøring av programmet eller kjøring kun ved konfigurering er valgfritt, men som nevnt tidligere er basestasjonen ment å kunne fungere som en selvstendig enhet. Basestasjonens programvare vil i realiteten kunne flyttes til datamaskinen, og en ZigBee-modul direkte koblet til USB-porten, men dette er ikke ønskelig siden en dedikert datamaskin med store krav til pålitelighet ville vært nødvendig. Med en enklere modul, som basestasjonen i oppgaven, vil det være færre muligheter for feil.

Programvaren er utviklet på .NET-rammeverket og har som krav at siste versjonen³⁹ av denne kjøres på datamaskinen. Dette finnes tilgjengelig på hjemmesiden til Microsoft, men er allerede forhåndsinstallert med de fleste nyere utgaver av operativsystemet Microsoft Windows.

³⁹ Siste versjon av .NET-rammeverket er i skrivende stund v4.0

3.3 Komplet system

3.3.1 Prototype

Utstyr som er brukt i oppgaven er et testsett fra CCS og Ember. Denne inneholder to trådløse sensorer, og en liten basestasjon. Ember tilbyr ikke ZigBee-moduler som bruker systemchip på grunn av begrensede muligheter for egen utvikling, og derfor er alle ZigBee-modulene er baserte på nettverksprosessen EM260.

3.3.1.1 Brukervennlighet, konfigurasjon og pålitelighet

Prototypen til systemet skal gjenspeile brukervennligheten og funksjonaliteten til det endelige systemet.

Systemet konfigureres via programvaren på datamaskinen, der oppsett som telefonnummer og tilkobling av nye sensorer gjøres. På maskinvaresiden trenger ikke brukeren å tenke på annet enn å trykke på tilkoblingsknappen når ny sensor skal tilkobles. Resten gjøres automatisk av systemet.

De avanserte og potensielt farlige funksjonene i programvaren, som sletting av noder og endring av alarmoppsett, vil være passordbeskyttet, slik at bare de rette personene kan utføre endringer i oppsettet. Administratoren av systemet vil kunne velge om overvåkningsdelen skal være passordbeskyttet, eller åpen for alle.

3.3.2 Funksjonalitetstester

Siden det kun er to sensorer i testsettet, er det vanskelig å få fullverdig mesh-nettverk, men sending fra en node til basestasjonen via en mellomliggende node er mulig. Hvis sendenoden er innenfor basestasjonens rekkevidde, kan en teste ZigBee-nettet sin mulighet for selvhelbreding ved å koble fra den mellomliggende noden som fungerer som en ruter. Hvis kommandoene fortsatt når basestasjonen etter at ruterer er koblet fra, betyr det at nettverket har selvhelbredingsfunksjonalitet.

En test for å bestemme om desentraliseringsfunksjonalitet fungerer kan gjøres ved å programmere den ene noden til å være en fjernkontroll og den andre noden til å være en lysbryter med ruterfunksjonalitet, mens basestasjonen fortsatt fungerer som koordinator. Etter at alle tre nodene er slått på og nettverket er konfigurert, testes systemet ved å slå på/av lys på lysbryternoden med fjernkontrollnoden. Systemet fungerer da som det skal, og desentraliseringsfunksjonaliteten kan testes ved å simulere at basestasjonen faller ut. Hvis systemet fortsatt fungerer som det skal, betyr det at basestasjonen sin oppgave er delegert til og, overtatt av, lysbryteren som også fungerer som ruter, og nettverket fortsatt er intakt.

3.3.3 Sikkerheten til oppsettet

For eksperimentoppsettet er sikkerhetsnivået satt til standard. Dette er det høyest mulige oppsettet som EmberZNET støtter da høynivåsikkerheten ikke er inkludert i EmberZNET-stakken, og heller ikke er nødvendig for et hjemmenettverk. Dette innebærer, som beskrevet i sikkerhetshåndteringsseksjonen i teoridelen, at nettverket er satt opp med kryptering på både nettverk og applikasjonsnivå.

3.3.4 Eksisterende automasjonsprodukter på markedet

For å være godkjent distributør av ZigBee-produkter må bedriften være tilknyttet ZigBee Alliance. Medlemskap i ZigBee-alliansen tilbys i tre forskjellige former:

- Promotør
- Deltaker
- Adoptant

På verdensbasis finnes det flere ZigBee-promotører. Noen av de største er Philips, Schneider, Texas Instruments og Ember. Flere av disse implementerer ZigBee-stakken direkte uten store modifikasjoner, mens for eksempel Ember har tilrettelagt applikasjonsutvikling for brukerne ved å tilby et godt applikasjonsgrunnlag i tillegg til utvidede nettverkløsninger.

I Norge finnes ingen ZigBee-promotører. Noen butikker har diverse enheter for salg men ingen har komplette ZigBee-løsninger for automatisering av hjemmet, slik at en gjennomsnittlig person skal kunne installere dette selv. Dersom det dreier seg om installasjon direkte i elektriske anlegg må dette utføres av godkjent elektriker.

Det finnes produkter som "ring-hytta-varm" løsninger (med GSM-modul) og RF-fjernkontroll til utvidelsesstikkontakter for en rimelig pris, men disse har minimal funksjonalitet og produktene er ikke laget rundt en standard slik at flere produkter i hjemmet kan knyttes sammen. Disse innehar ingen basestasjon eller hovedsentral for styring.

I den andre enden av prisskalaen finnes smartere systemer som kan styre det meste av produkter i hjemmet. Disse er sjeldne å se i et hjem siden de er betydelig dyrere. Prising for et system i hjemmet ligger fra 30 000 – 150 000 avhengig av produsent, leverandør og størrelse. Ingen av disse bygger på ZigBee eller 802.15.4-standarden. Noen populære automasjonssystem som er tilgjengelige på det norske markedet er listet under.

3.3.4.1 Elko

Elko har flere avanserte systemer for styring av hjemmet, og har satt opp diverse pakker til forskjellige formål. Elko har hovedsaklig to produktserier.

3.3.4.1.1 Elko Living Systems⁴⁰.

En komplett lysstyringspakke for en 100 kvm bolig:

- 5 stk. trådløse 4 knappes batteribrytere
- 5 stk. skjult dimmere 250W
- 2 stk. 6A rele
- 1 stk. Visual Controller m/Viewer
- 1 stk. 72W strømforsyning

En komplett temperaturstyringspakke for elektrisk oppvarming:

- 8 stk⁴¹ digitale universaltermostater
- 8 stk 16A releutganger
- Kontroller med Viewer funksjon og over 100 timerfunksjoner.

Disse systemene vil i pris ligge på ca 10 000 – 20 000 kr hver, og er også simple med tanke på styringsmuligheter.

3.3.4.1.2 Elko Wireless:

Elko Wireless er som navnet tilsier et trådløst system for automasjon. Systemet er dyrt, men har pent design. Programmering av systemet er enkel, men styringsmulighetene er ikke spesielt avansert.

3.3.4.2 KNX (tidligere EIB):

KNX er en standard som dekker flere forskjellige områder som radio, buskabel og TCP/IP. Det meste av eksisterende automasjon i Norge foregår over bussdelen.

⁴⁰ www.elko.no

⁴¹ Antallet er avhengig av antall rom med varmekilde.

3.3.4.3 Moeller X10-Comfort

X10-Comfort har produkter i begge ender av prisskalaen på markedet. Disse varierer fra enkle fjernkontrollenheter til ett komplett system. Flere av enhetene kommuniserer over husets eksisterende kabelnett.

En enkel startpakke for et mer avansert system kan kjøpes for i underkant av 10 000 kroner og inneholder:

2 enkle brytere.

1 enkel bryter.

1 romtermostat.

2 sjalteaktuatorer.

1 dimmeraktuator.

En ekstra enkelbryter har en kostnad på over 800 kr⁴².

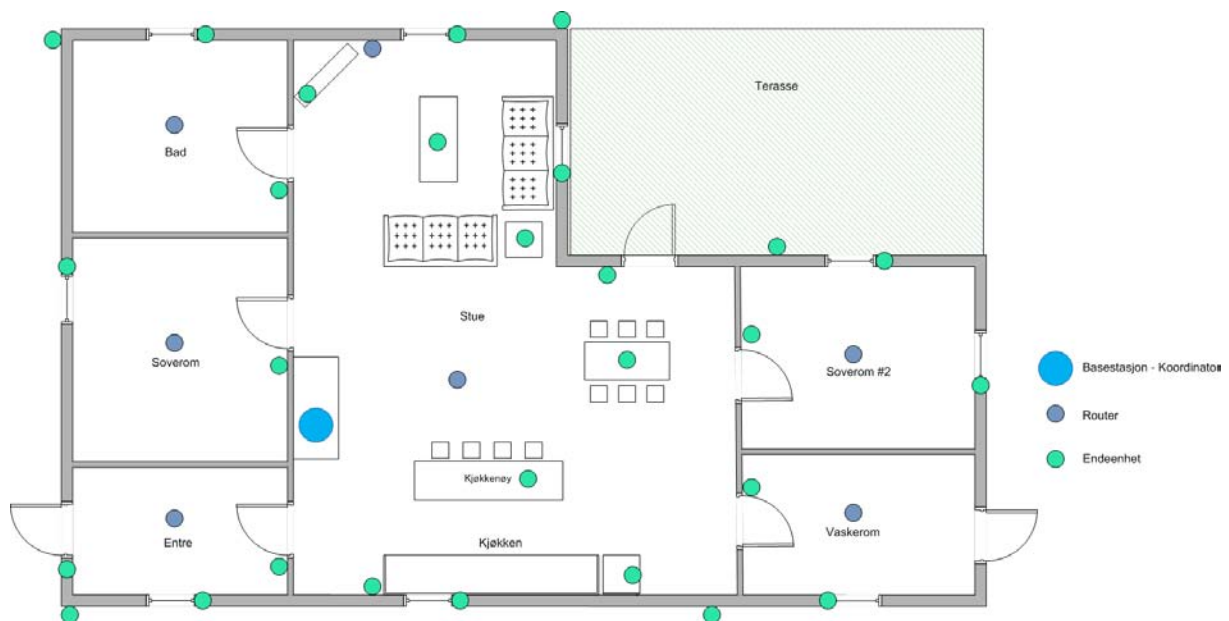
⁴² www.elhandel.no

3.3.5 Kostnader for ZigBee-systemet

Et av hovedmålene til ZigBee er at det skal være svært billig å produsere og drifte. Dette er avhengig av lav kompleksitet, som gir lavt strømforbruk og maksimal utnyttelse av tilgjengelige ressurser.

3.3.5.1 Kostnadseksempel

I Figur 31 er et installasjonseksempel med inntegnet ZigBee-automasjonsløsning gitt.



Figur 31

3.3.5.1.1 Enhetskostnader

Direkte enhetskostnaden for systemet i Figur 31 til et gjennomsnittlig hjem blir som følger.

| Enhet | Antall | Kostnad |
|------------------------------|--------|---------|
| Komplett basestasjon | 1 | 250 kr |
| Rutere | 7 | 280 kr |
| Endeenheter med sensor | 28 | 1120 kr |
| Totalt antall ZigBee-enheter | 36 | 1650 kr |

Sensorene kan være lysmålere, kameratilkobling, gardinsstyring, temperaturmåling, luftkvalitetsmålere, regn- og vindmåler, kontroll for elektriske artikler som kjøleskap, tv, stereo, o.l.

3.3.5.1.2 Installasjonskostnader

Systemet skal i hovedsak kunne installeres av enhver kunde. Der det er krav for direkte installasjon i strømmettet, vil det i henhold til norsk lov være nødvendig med en sertifisert elektriker. Dette vil likevel ikke utgjøre store kostnader, siden store deler av systemet kan gjøres klart før elektrikerarbeid er nødvendig. Avhengig av mengde sensorer, vil estimert elektrikerarbeid variere fra 1-5 timer.

3.3.5.1.3 Drift- og vedlikeholdskostnader

Uten hensyn på maskinvarefeil og andre uforutsette eksterne innvirkninger, vil systemet ikke kreve annet vedlikehold enn batteriskift. Batteriskift kan variere fra sensortype til sensortype, men vil i hovedsak ikke utgjøre en stor forskjell.

Oppdatering av programvare i basestasjonen og på datamaskinen vil brukeren kunne gjøre selv, noe som medfører ytterligere reduksjon av drift- og vedlikeholdskostnadene.

3.3.5.1.4 Strømforbruk

ZigBee-alliansen har gjort beregninger på strømforbruket til et gjennomsnittlig ZigBee-automasjonssystem med 40 noder, og har vurdert kostnadene til å være neglisjerbare. Strømforbruket til systemet er så lavt, at det er snakk om 10-15 kr i året i strømutgifter for dette systemet. Systemet vil også brukes til å spare strøm ved å slå av lys og andre elektriske artikler ved predefinerte tidspunkt eller når ingen er til stede. Det kan derfor sies at systemet har en positiv innvirkning på strømforbruket.

3.4 Videre eksperimentering med systemet - Lokalisering

I dag brukes GPS vidt for å lokalisere enheter hvor som helst på jordkloden, og selv om utviklingen har vært ekstremt stor på dette området, har ikke GPS nådd så langt at det har god lokalisering inne i bygninger. Usikkerhetsmarginene blir for store på grunn av dårlig signal innendørs. Ved bruk av ZigBee-noder for lokalisering kan en få til et slikt posisjoneringssystem innendørs. Avhengig av antall noder kan en få en svært nøyaktig lokasjon på en annen node i systemet.

Lokalisering ved bruk av ZigBee foregår ved at en endeenhet sender signal til flere rutere. Dersom tre ZigBee-rutere måler signalstyrken mellom seg selv og endenoden vil de alle kunne få en viss beregning på hvor langt enheten ligger fra hver av dem og eventuelt hvilken som er nærmest. Dette er også kjent som triangulering.

Innendørs posisjoneringssystemer støter på nye problemer som utvendige systemer ikke har. Signaler spres langs flere veier og vil ofte komme frem flere ganger med forskjellige tidsintervall.

3.4.1 Hovedteknologier brukt til posisjonering

3.4.1.1 Infrarød

Denne teknologien fungerer bra til for eksempel termografi, som brukes for å lage et varmekart over alt fra kretskort til husvegger. Frekvensen til infrarød stråling er høy og ligger på mikrometernivå. Infrarød stråling har likevel sine begrensninger når det brukes til posisjonering; rekkevidden er lav og den fungerer dårlig for posisjonering dersom hindringer oppstår.

3.4.1.2 Radiofrekvens - RF

Radiosignaler går gjennom hindringer og har lang rekkevidde. Problemet med hensyn på posisjonering er at denne ikke tillater like bra nøyaktighet som infrarød- og ultralydteknologiene.

3.4.1.3 Ultralyd

Ultralyd har ekstrem god nøyaktighet for bruk i posisjoneringssammenheng. Avhengig av hva som skal måles kan den ha presisjon helt ned til millimeternivå. Hovedproblemet med denne teknologien er rekkevidden er lav og robustheten med tanke forstyrrelser er lav.

3.4.2 Avstandsberegning i detalj

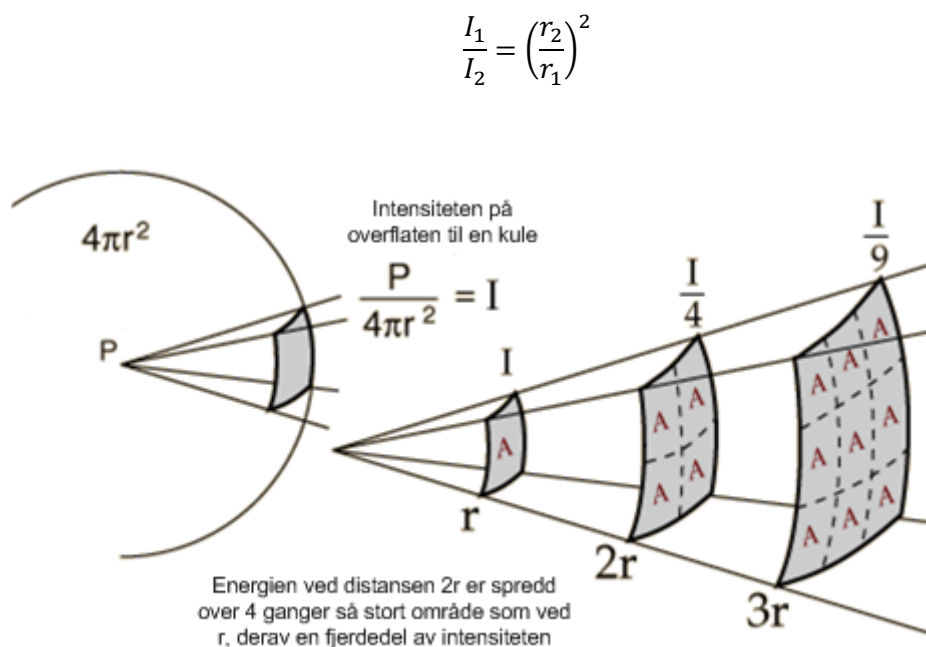
For å beregne avstander mellom noder kan flere forskjellige metoder brukes. Målt mottatt signalstyrke, RSSI⁴³, er en standard som er blitt vanlig i radioenheter. RSSI gir et svar på hvor mye energi som blir mottatt på den aktuelle kanalen. Den lavest målte RSSI-verdien er også kalt sensitivitetsgrensen. For en god kommunikasjon ønsker en normalt høy sensitivitet, men i dette tilfellet vil det gjerne være ønskelig å stille ned sendestyrken til nodene for å kunne mer nøyaktig skille mellom sonene de dekker. Dersom denne er for høy vil overlappende noder bli vanskeligere å skille. Hovedutfordringen til avstandsmålingen er bestemt av presisjonen og treffsikkerheten til et slikt system.

Formelen for utregning av RSSI er gitt:

$$RSSI = \frac{kI}{r^2},$$

der r er avstanden fra sender, I er intensiteten til sender og k er en konstant proporsjonal for hver sender.

Den inverse kvadratloven, også kalt avstandsloven, som er velkjent innen overføring av elektromagnetisk energi brukes i utregningen. Denne er mye brukt i for eksempel radiologi. Stråleintensiteten på en gitt avstand (fra kilden) er omvendt proporsjonal med kvadratet av avstanden.



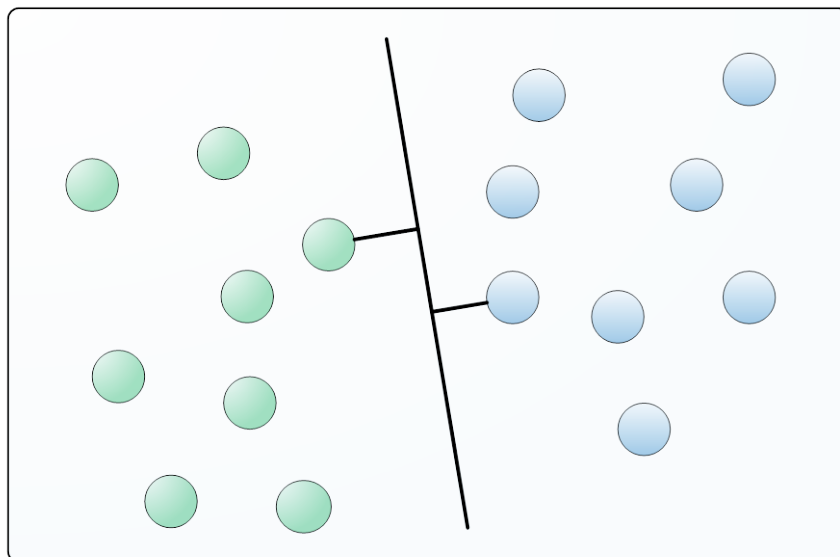
Figur 32 - <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/forces/isq.html>

⁴³ Recived Signal Strength Indicator

I et trianguleringstilfelle er det mange usikkerheter. Radiosignaler reflekteres ulikt fra forskjellige medier, og inne i en bygning er det mange signalrefleksjonskilder. Tidligere eksperimenter har vist at slike beregningsmetoder kan ha en usikkerhet på 1-2 meter, selv over lave avstander. Likevel vil en ikke nødvendigvis trenge triangulere i hjemmet, da en ikke er interessert i absolutt posisjon, men heller om endeenheten befinner seg nærheten av en koordinator eller ruter i stuen, på soverommet eller badet. Ved å ta i bruk dette vil en kunne utvikle en "følg meg"-kommunikasjon, der nettverket hele tiden har kunnskap om hvor du befinner deg i huset. Dette kan brukes til å regulere temperatur og lys, låse opp og åpne dører, få musikken til å følge deg fra et stereoanlegg i stuen til et annet på kjøkkenet. Mulighetene er mange, men selv om kostnadene til selve ZigBee-enhetene er ekstremt lave, vil dette fremdeles være avhengig av en standard for tilkobling til elektroniske artikler.

3.4.2.1 Læremetode for klassifisering (SVM⁴⁴)

Et mer presist og avansert lokaliseringssystem vil bruke statistiske metoder for å estimere posisjon ut fra et predefinert treningssett. SVM er en slik statistisk læremetode som brukes til klassifisering og regresjon. SVM-metoden danner et hyperplan⁴⁵ eller ett sett med hyperplan i høyere dimensjoner. Separasjonen av settene skjer ved at den lengste avstanden mellom den gjennomsnittlige grenselinjen blir målt. Dette er illustrert i Figur 33. Gitt et testsett, kan SVM beregne hvilken kategori en ny verdi faller innenfor.



Figur 33

Denne metoden krever store mengder prosesseringskraft og lagringskapasitet og vil ikke egne seg i et vanlig husautomasjonssystem.

⁴⁴ Support Vector Machines

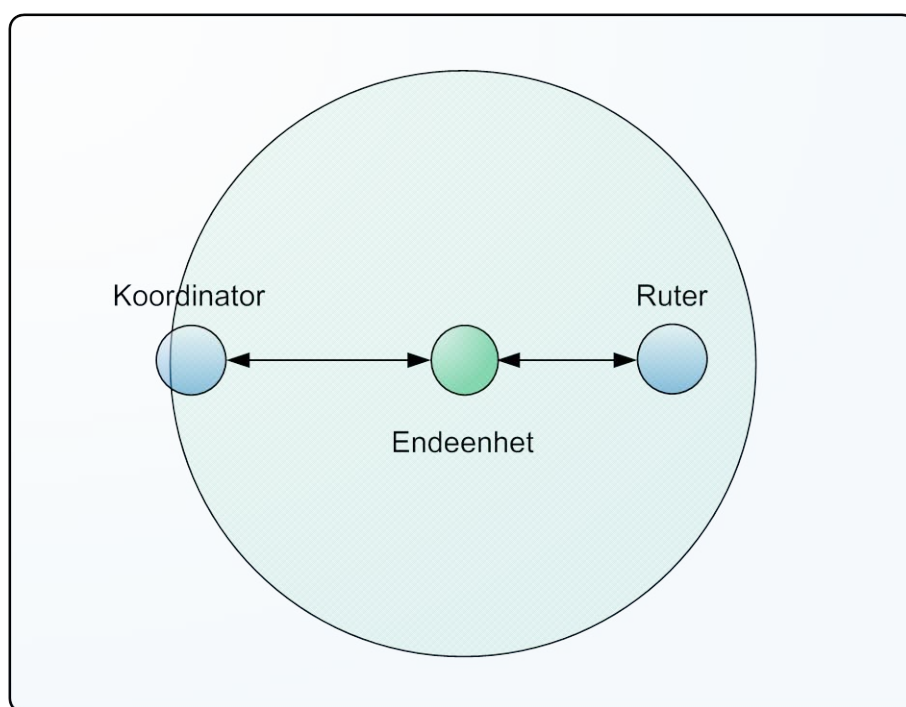
⁴⁵ Et hyperplan er et plan med $n-1$ dimensjoner i et n -dimensjonelt rom V .

3.4.3 Lokaliseringsoppsett

En enklere metode for posisjonering som kan brukes i slike system og som ikke krever tung maskinvare, er å kun bruke signalstyrken som indikator på hvor enheten befinner seg. Et eksperiment på dette er gjort.

Eksperimentet er satt opp til å måle signalstyrke ved forskjellige avstander for å knytte disse sammen til et primitivt radiokart over området. Et åpent område er tatt i bruk ved Universitetet i Stavanger. Radiosignalstyrken reduseres til ca 50 % for å gjøre eksperimentet i et mindre skala, og på den måten gjøre det mer nøyaktig for bruk over korte avstander.

Signalstyrken til den bevegelige enheten vil bli målt opp mot to stasjonære ZigBee-enheter, koordinatoren og en ruter.

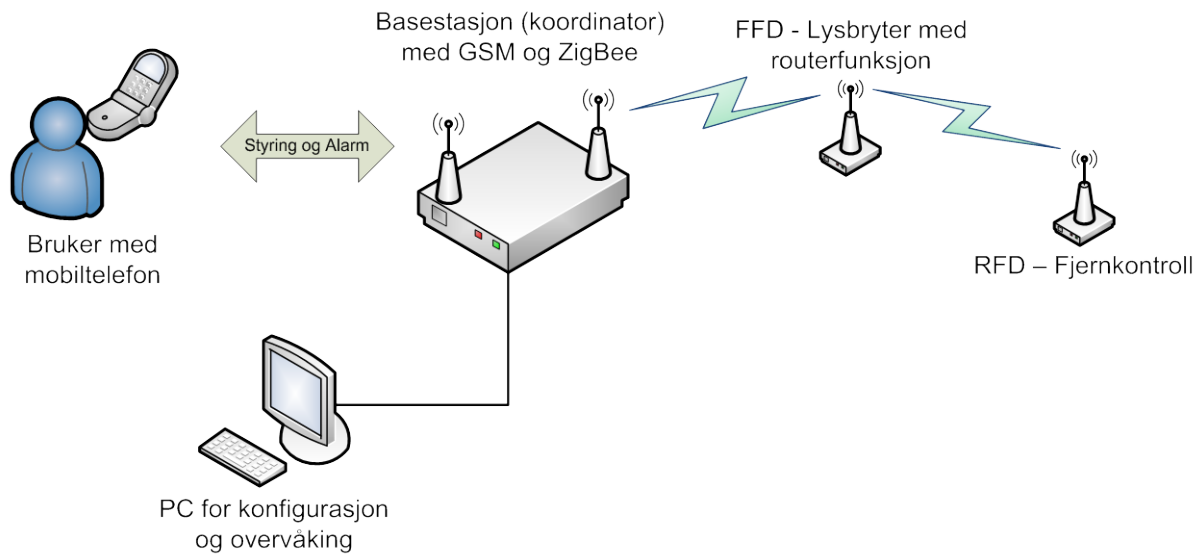


Figur 34 - Testoppsett

3.4.3.1 Resultat

Resultatet er som forventet; usikkerheten ved å måle signalstyrke for å bestemme posisjon er alt for stor til å brukes til tradisjonell posisjonering. Likevel finnes det mulighet og bruksområder for å implementere en slik funksjon i et husautomasjonssystem. Tabell 8 viser resultatet for målinger som er gjort.

4 Resultat



Figur 36

Prototypen av systemet som ble laget er vist i Figur 36.

At det kun var to sensornoder tilgjengelig, medførte at systemet ikke kunne bli komplett. Likevel har funksjonaliteten til systemet blitt testet, og det har fungert som det skulle. De avanserte ZigBee-funksjonene som selvhelbreding og mesh-nettverk er blitt satt opp, og har fungert.

Siden testsettet kun hadde tre trådløse noder, kunne ikke mer avansert nettverkstopologi oppnås enn det som er illustrert i Figur 36. Den ene noden var satt opp som koordinatør på basestasjonen, den andre var en lysbryter med rutingsfunksjonalitet og den siste var en trådløs fjernkontroll. Med dette enkle oppsettet var det likevel mulig å sette opp systemet til å ha en primitiv mesh-nettverkstopologi og ha selvhelbredende egenskaper. Vellykkede tester for dette var utført.

Systemet kan enkelt utvides med flere noder for å skape et mer komplett produkt, men de økonomiske midlene som var tilgjengelige strakk ikke til.

Konfigurasjon av sensorer og mobilnummer via programmet på datamaskinen har fungert som spesifisert. Drivere som brukes for basestasjon er generiske drivere som støttes av de fleste operativsystemer på markedet. Programmet er basert på .NET Framework, og vil fungere på alle operativsystemer som har versjon 4.0 eller nyere installert.

Overvåking av ZigBee-nettverket fra programmet på datamaskinen ble utprøvd, og nøkkelfunksjonene ble verifisert.

GSM-modulen i basestasjonen fungerte som spesifisert, og sendte melding til mobiltelefon når en alarmtilstand ble aktivert. Bekreftelse av alarm, og styring av lysbryteren via SMS fungerte også som ønsket.

5 Konklusjon

Å implementere selve basestasjonen for et trådløst system vil være enkelt og billig. Basestasjonen har lave produksjonskostnader, og er enkel å sette opp og bruke.

Det største problemet ligger i implementeringen av ZigBee-endenoder i eksisterende utstyr. Pr. dags dato foreligger det ingen gode løsninger for dette, og det vil heller ikke eksistere før en standard for ekstern styring av elektriske artikler kommer. Dagens løsninger som baserer seg på mellomstykke mellom støpsel og apparat er svært begrensede, og ansees som upraktiske. Denne måten å styre enheter på går som regel på å kutte strømtilførselen til apparatet, noe som i svært liten grad er ønskelig. En form for styring der kommunikasjon med apparatet er mulig vil åpne for avanserte styremåter, som for eksempel å stille ønsket temperatur på en ovn eller å slå på tv på en spesifikk kanal. Det er viktig å merke seg at dette ikke bare gjelder ZigBee, men også alle andre automasjonsstandarder.

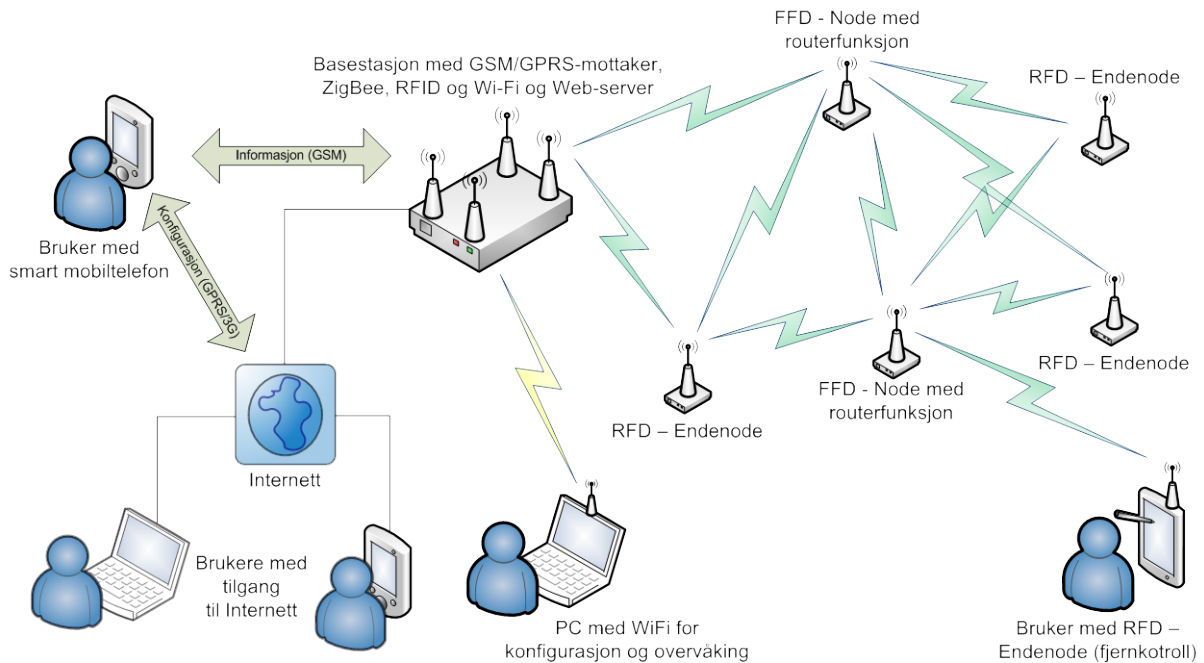
Smarte produkter med mulighet for ekstern styring blir likevel utviklet i atskillig større grad enn før, og derfor ble denne problemstillingen tatt opp i oppgaven.

Opgavens kompleksitet har vært stor, og store deler av tiden gikk til å lese og sette seg inn i ZigBee-stakken fra Ember. Stakken var svært dårlig dokumentert, og den dokumentasjonen som fantes gikk ikke inn i dybden, noe som viste seg å være nødvendig når de mest avanserte funksjonene skulle tas i bruk. Mye av tiden gikk til å prøve ut forskjellige metoder og å få innsyn i den udokumenterte delen av stakken.

Som nevnt i innledningen, ble flere lokale bedrifter kontaktet før arbeidet med oppgaven startet for å få et innblikk i utbredelsen av ZigBee i det norske markedet. Inntrykkene vi fikk var at det var en lite utprøvd teknologi, og at det ville være for dyrt å utvikle et slikt system. Bedriftene tvilholdt på den gamle og utprøvde RF-teknologien som de allerede hadde, og var lite villige til å satse på noe nytt.

I oppgaven har vi bevist at det absolutt er mulig å utvikle et avansert, funksjonsrikt og pålitelig system uten at kostnadene vil være høyere enn for de eldre systemene som bruker gammel og foreldet teknologi. Resultatet som er oppnådd motiverer sterkt til videre arbeid med systemet, som beskrives ytterligere i kapitlet om videreutviklingspotensial.

6 Videreutvikling



Figur 37

Eksempel på et utvidet system er vist i Figur 37. Systemet har muligheter til å utvides med GPRS/3G-funksjonalitet, trådløst nettverk (Wi-Fi) i basestasjonen og tilgang via Internett.

Siden GSM-modulen som er brukt støtter GPRS, vil det kun være nødvendig med endringer i programvaren for at denne funksjonaliteten skal kunne utnyttes. Brukeren vil da kunne få tilgang til basestasjonen direkte fra mobiltelefonen.

Ved å implementere en nettverksmodul for direkte tilgang fra Internett, må systemet utvides til å ha en enkel web-server. Siden mikrokontrolleren er dimensjonert til å kunne utvides med dette, vil ikke utskifting av maskinvare være nødvendig, og eneste som må gjøres er å koble til en Ethernet-modul til mikrokontrolleren.

Trådløst nettverk i basestasjonen vil gjøre det lettere å koble seg basestasjonen via det trådløse nettverket i huset, og gjøre nødvendig konfigurasjon. Dette ville vært den mest omfattende utvidelsen, fordi Wi-Fi er en stor og tung standard som krever relativt mye datakraft. Grunnen til at det ikke er dimensjonert for denne typen oppgradering er at tilkobling til basestasjonen i utgangspunktet kun er nødvendig for konfigurasjon. I tillegg vil det være mulig å koble seg til basestasjonen ved å koble til en USB-ZigBee-modul og gå direkte inn i basestasjonen via ZigBee-nettverket.

De aller minste sensorene, som eksterne temperaturfølere og enkle brytere kan forbedres ved å bruke systemchip i stedet for en nettverksprosessor og en separat mikrokontroller. Dette vil både gjøre sensoren mindre strømkrevende og fysisk mindre.

En annen mulig oppgradering kan være å implementere radiofrekvensidentifikasjonstranspondere (RFID)⁴⁶ i sensorene, og en radiofrekvensidentifikasjonstransponderlesermodul i basestasjonen. På denne måten kan sensorer legges til ved å holde de inntil basestasjonen. De forskjellige typer sensorer vil ha et unikt identifikasjonsprefiks, slik at sensortype blir detektert av systemet, og all konfigurasjon blir gjort automatisk, uten å bruke datamaskin.

Lokaliserings- og posisjoneringsteknologi kan også implementeres i systemet. Kravet for å få til et brukbart resultat er å ha nok noder plassert rundt om i huset. Den enkleste typen lokalisering, som går på å måle signalstyrken til en mobil node og finne ut hvilken stasjonær node som er nærmest, vil være relativt enkelt å implementere i eksisterende system. For å kunne implementere et avansert sporingssystem, trenges både mer datakraft og mer minne for å kunne lagre informasjonen som trenges i et radiokart, og for å kunne utføre de avanserte sannsynlighetsberegningene for presis posisjonering.

⁴⁶ Radio-frequency identification

7 Kilder

[1] A comparison of WirelessHART and ZigBee for Industrial Applications, Fredrik Hekland, T. L. (2008).

[2] Indoor Local Positioning System for ZigBee based on RSSI, Shashank Tadakamadla

[3] Microchip PIC 18F4620 Datasheet

[4] Microchip PIC 16F886 Datasheet

[5] Research In Motion - RIM 1802G GSM-module Datasheet

[6] Ember EM260 Network Co-Processor Datasheet

[7] Wireless Triangulation Using RSSI Signals, Michael Harney

[8] Understanding low-power wireless network standards, Niek Van Dierdonck

[9] EmberZNET Application Developers's Reference Manual

http://www.ember.com/pdf/120-3021-000_App_Dev_Ref_Manual.pdf

[10] "Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing", AODV

http://en.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc_On-Demand_Distance_Vector_Routing

[11] Support Vector Machine, SVM, statistisk klassifiseringsmetode.

http://en.wikipedia.org/wiki/Support_vector_machine

[12] SVM tutorial, Microsoft

<http://research.microsoft.com/en-us/um/people/cburgess/papers/svmtutorial.pdf>

[13] Meshnetics ZigBee FAQ

<http://www.meshnetics.com/zigbee-faq/>

[14] Home Networking with ZigBee, Mikhail Galeev - 2004

http://www.embedded.com/columns/technicalinsights/18902431?_requestid=13078