

Less Wires with Wireless

– en förstudie om trådlös kommunikation inom fastighetsautomation



Fredrik Brödje

Jonas Möller

Dept. of Industrial Electrical Engineering and Automation
Lund University

Less Wires with Wireless
– en förstudie om trådlös kommunikation
inom fastighetsautomation

Fredrik Brödje
Jonas Möller

Institutionen för Industriell Elektroteknik
och Automation IEA

AB Regin

19:e februari 2008

Sammanfattning

Inom fastighetsautomation har det länge varit önskvärt att inte behöva dra kabel till alla givare och sensorer som finns i en byggnad. Fönsterkontakter, IR-detektorer och rumstermostater behöver alla både ström- och datakabel för att fungera som de ska. Att detta kan bli både dyrt och svårt är lätt att inse och i känsliga arkitektoniska miljöer väger också den estetiska faktorn in. Detta examensarbete, som författarna gjort genom Institutionen för Industriell Elektroteknik och Automation, IEA, på Lunds Tekniska Högskola, LTH, förlagt till AB Regin i Landskrona, syftar till att undersöka vilka olika tekniker som finns och vilka av dessa som är relevanta för implementation inom fastighetsautomation. Speciellt fokus har lagts på att givare och sensorer är strömsnåla och att näten som skapas är robusta. För att arbetet inte skulle dra ut på tiden och för att det inte skulle bli oöverskådligt begränsades det till att innefatta de sensorer och givare som påträffas inom rummet, det vill säga de som ingår i så kallad zonreglering.

För att få en uppfattning om hur ett zonregleringssystem kan bete sig och vilka för- och nackdelar det finns byggdes ett litet, men fullt fungerande, zonregleringssystem med hjälp av den valda tekniken och Regins produkter. Tekniken som valts är EnOcean, vilket huvudsakligen är på grund av den strömsnåla designen, vilket efterfrågades, och det enkla protokollet. Arbetet mynnade ut i en rekommendation om hur Regin ska gå vidare i sin utveckling av trådlös zonreglering och även tre fullt fungerande prototyper.

Abstract

Within building automation there has long been a desire to avoid unnecessary wires to all actuators and sensors that are allocated in a building. Window contacts, infrared detectors and room thermostats all need both power and data cables to work properly. It is easy to realise that this may be both hard and expensive and that in many environments the aesthetics is a major factor. The authors wrote this master thesis for the department of Industrial Electrical Engineering and Automation, IEA, within the Faculty of Engineering of Lund University and on location at AB Regin in Landskrona. The goal was to do a feasibility study on the different wireless techniques on the market today and which of these is relevant to be implemented within building automation. Focus will be put on energy conserving of the sensors and actuators, and robustness of the network. To make sure the work does not take too much time, focus will be put on the actuators and sensors that are found within the room, i.e. the ones that are included in so called zone control.

To get an understanding on how a zone control system works and its advantages and disadvantages, a small but fully functional zone control system was built with the chosen technique and relevant products from Regin.

The chosen technique was EnOcean and the main reasons for this were its energy conservation characteristics and the simplicity of the protocol.

The result of the work is a recommendation to Regin on how to proceed with wireless zone control in the future. Three fully functional prototypes were also constructed.

For a longer summary in English please refer to appendix [A](#)

Förord

Denna rapport är vår sista del av civilingenjörsutbildningen i elektroteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Vi valde att göra den på institutionen för Industriell Elektroteknik och Automation, IEA, i samarbete med AB Regin. Arbetet utfördes under hösten 2007 med större delen av tiden förlagd på plats i Regins lokaler.

Under arbetets gång har vi fått värdefull hjälp från flera håll både på plats hos Regin och från högskolan. De vi vill tacka extra mycket är:

Anders Widén, chef över utvecklingsavdelningen på AB Regin för att han gav oss exjobbet och för att han alltid sett till att vi fått den hjälp vi behövt.

Lars Mattsson, vår handledare från AB Regin för att han hjälpt oss i ur och skur och alltid svarat på våra frågor.

Anders Petersson, vår handledare på AB Regin för att han har gett oss värdefull förståelse om de olika systemen från Regin AB och goda insikter om var trådlösa nät behövs.

Ulf Jeppsson, vår examinator vid IEA och Gunnar Lindstedt, vår handledare vid IEA, för att de gett oss viktig feedback på vårt arbete och hjälpt till med alla praktiska saker kring rapporten.

Övrig personal på AB Regin som har hjälpt oss med allt vi har behövt och gett oss en mycket trevlig höst.

Tack!

Landskrona den 11/2 2008

Fredrik Brödje
Jonas Möller

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Målgrupp	2
1.5	Disposition	3
2	Teori	4
2.1	Fastighetsautomation	4
2.1.1	Zonreglering	4
2.2	Radionätverk	5
2.2.1	Stjärnätverk	5
2.2.2	Meshnätverk	5
2.3	OSI-modellen	8
2.4	IEEE-standarden 802.15.4	9
2.4.1	Protokoll	9
2.5	ZigBee	11
2.5.1	ZigBee Alliance	11
2.5.2	Funktionalitet	11
2.5.3	Protokoll	11
2.5.4	Typer av noder	14
2.5.5	Olika stackstandarder	14
2.5.6	Kostnader	15
2.6	Z-Wave	15
2.6.1	Z-Wave Alliance	15
2.6.2	Funktionalitet	15
2.6.3	Protokoll	15
2.6.4	Typer av noder	19
2.6.5	Kostnader	21
2.7	Andra meshtekniker	21
2.7.1	Insteon	21
2.7.2	Wavenis	22
2.8	EnOcean	22

2.8.1	Funktionalitet	22
2.8.2	Protokoll	23
2.8.3	Olika typer av moduler	24
2.8.4	Spökpaket	25
2.8.5	Tekniska data	25
2.8.6	Energy Harvesters	26
2.8.7	Kostnader	26
2.9	Solceller	26
2.9.1	Teori	26
2.9.2	Olika typer	28
3	Teknisk utvärderingsmetodik	30
3.1	Upplägg	30
3.2	Materiel	31
3.3	Tester	31
3.3.1	Nättäckning	31
3.3.2	Väggtest	31
3.3.3	Line of sight-test	32
3.3.4	Strömförbrukning	32
3.3.5	Tillförlitlighet	32
4	Implementation	33
4.1	Inledning	33
4.1.1	Vad marknaden vill ha	34
4.1.2	Vad är möjligt	34
4.2	Varför EnOcean	34
4.3	Applikationer	35
4.3.1	Kommunikation	35
4.3.2	Styrning av analoga utgångar	35
4.3.3	Fyra- och enbyte-paket	36
4.4	Prototyper	36
4.4.1	DUC	37
4.4.2	Rumsenhet, RU	38
4.4.3	IR-detektor	40
4.4.4	Tryckknapp och fönsterkontakt	40
5	Resultat	42
5.1	Sammanfattning av teoridelen	42
5.1.1	IEEE 802.15.4	42
5.1.2	ZigBee	43
5.1.3	Z-Wave	43
5.1.4	EnOcean	44
5.1.5	Kostnader	44
5.1.6	Solceller	44

5.2	Resultat av testerna	45
5.2.1	Nättest ZigBee	45
5.2.2	Nättest Z-Wave	45
5.2.3	Inkludering och exkludering av noder	46
5.2.4	Väggtest	46
5.2.5	LOS-test	46
5.2.6	Strömförbrukning	46
5.2.7	Tillförlitlighet	48
5.3	Resultat av implementationen	48
6	Diskussion och slutsatser	50
6.1	Diskussion	50
6.2	Slutsatser	51
6.3	Fortsatt arbete	51
	Appendix	57
	A Summary in English	57
	B Signalvägar	60
	C Krettschema	66

Figurer

2.1	Ett typiskt rum	5
2.2	Stjärnnätverk	6
2.3	Fullt mesh samt partiellt mesh	6
2.4	Trädtopologi	7
2.5	Klusterträdtopologi	8
2.6	OSI-modellen	8
2.7	Phase Shift Keying	10
2.8	ZigBee's OSI-modell	12
2.9	ZigBee binding	13
2.10	Z-Waves protokollager	16
2.11	Z-Wave datapaket	16
2.12	Z-Wave Routing frame types	18
2.13	Z-Wave Routingtabell	18
2.14	EnOcean	23
2.15	EnOceans paketuppbyggnad	24
2.16	UI-karakteristik för batteri och solcell	27
2.17	Olika UI-karakteristiker för en solcell	28
4.1	Modifierad EXOCompact	37
4.2	Modifierad rumsenhet	38
4.3	PT1000-drivkrets	39
4.4	Modifierad IR-detektor	40
4.5	EnOcean fönsterkontakt och tryckknapp	41
5.1	Strömförbrukningen hos ZigBee	47
B.1	Signalväg med alla noder	61
B.2	Signalväg utan nod 1	62
B.3	Signalväg utan nod 2	63
B.4	Signalväg utan nod 3	64
B.5	Signalväg utan nod 4	65
C.1	Kopplingschema för rumsenheten	67
C.2	Kopplingschema för IR-detektorn	68

Tabeller

2.1	Tabell över EnOceans meddelandetyper	23
2.2	Solcellstabell	28
5.1	Sammanfattning över teknikerna	42

Akronymer

ASK	Amplitude Shift Keying
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DUC	Device Under Control eller DataUnderCentral
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
FLiRS	Frequently Listening Routing Slave
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
LOS	Line Of Sight
LSB	Least Significant Bit
MAC	Medium Access Control lagret
MSB	Most Significant Bit
OSI	Open Systems Interconnection Basic Reference Model eller kortare OSI Model
PAN	Personal Area Network
PHY	Det fysiska lagret
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RTC	Real Time Clock
RU	Room Unit, rumsenhet
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition

SIS	Static Uptade Controller ID Server
SUC	Static Update Controller
TCP	Transmission Control Protocol
WPAN	Wireless Personal Area Network

Kapitel 1

Inledning

I det här kapitlet ges en kort bakgrund till Regin som företag och även till projektet. Dessutom beskrivs syfte, avgränsning och disposition till resten av arbetet.

1.1 Bakgrund

Regin började strax efter andra världskriget som ett företag som sålde hygrostater. Detta var den huvudsakliga verksamheten fram till mitten på 70-talet då den utökades till att även innefatta triacregulatorer. I mitten på 80-talet köptes företaget som utvecklade triacregulatorerna upp och utvecklingen tog ny fart. I slutet av 2002 köpte Regin upp bolaget Exomatic och tog över deras sortiment och utveckling av produkter för fastighetsautomation. Utvecklingsbolaget ReginExomatic bildades och skötte fortsättningsvis utvecklingen av produkterna inom fastighetsautomation medan Regin skötte marknadsföring och försäljning. 2007 gick ReginExomatic och AB Osby Armatur upp i Regin vilket gör att Regin har utvecklats till ett företag som tillhandahåller fullständiga lösningar inom fastighetsautomation. De täcker hela kedjan från ventiler, ställdon och givare via regulatorer och reglercentraler upp till webbövervakade SCADA-system.

Regin har en längre tid haft funderingar på att närmre undersöka trådlösa lösningar för sina enheter. Att dra kabel mellan givare och styrenhet är kostsamt och kan vara svårt. Problemen dyker ofta upp i gamla byggnader som inte är förberedda för moderna lösningar, när en utegivare ska kopplas till en styrenhet inomhus eller när ett kontorslandskap ska byggas om. Speciellt för de delar som påträffas i stor mängd inom fastighetsautomation såsom fönsterkontakter, närvarogivare och rumsenheter skulle vinster göras om de kunde göras helt trådlösa och självförsörjande på energi.

1.2 Syfte

I nästan varje offentlig byggnad styrs klimatet inomhus för att det ska vara bekvämt att vistas där. Temperaturen ska vara behaglig, luftfuktigheten och koldioxidhalten lagom, etcetera. I ett kontorshus är det dessutom önskvärt att reglera klimatet individuellt i varje rum. För att detta ska fungera finns det flera olika givare och ställdon, i och omkring rummen, i en byggnad. Att förbinda dessa givare och ställdon med centralenheten med hjälp av kabel är både dyrt och tidskrävande. Dessutom kan det vara svårt att dra om allt kablage vid en ombyggnation eller installera nytt kablage i gamla byggnader utan förberedda kabelkanaler. Med detta i åtanke är vårt syfte att i möjligaste mån förkorta och förenkla installationsprocessen genom att undersöka vilka alternativ radiotekniken kan erbjuda.

För att det ska bli en så heltäckande lösning som möjligt kommer en mängd faktorer att vägas in i bedömningen av de olika teknikerna. Givetvis kommer de rent tekniska aspekterna, så som räckvidd, strömförbrukning, felfallshandtering med mera, att väga tungt men även kostnaderna för komponenterna kommer att tas i beaktning. Det är irrelevant att studera en teknik som i slutändan inte kommer att gå att sälja då den blir för dyr.

Undersökningen kommer till viss del att ligga till grund för hur Regin kommer att fortsätta sitt arbete med sin produktutveckling inom området.

1.3 Avgränsningar

För att detta arbete inte ska bli oöverskådligt och dra ut på tiden begränsas det till att behandla de rumsnära delarna av fastighetsautomation. Vi har titta på rummet och vilka komponenter det finns där och vad som är realistiskt att göra trådlöst. Arbetet inriktas mot att finna en teknik som är robust, kostnads- och energieffektiv. En del av arbetet inriktas mot solceller för att få en uppfattning om det går att använda dessa istället för batterier. Arbetet innefattar även att en test av de olika teknikerna samt byggande av en testuppsättning av rumsnära enheter, för att få en uppfattning om hur det skulle kunna fungera i en verklig rumsmiljö.

1.4 Målgrupp

Rapporten vänder sig till alla som vill veta mer om för- och nackdelarna vid val av trådlösa tekniker för fastighetsautomation. Främst är det personer antingen med erfarenhet av branschen eller personer med en teknisk bakgrund som kan dra nytta av att läsa rapporten.

1.5 Disposition

Rapporten är disponerad på följande sätt:

- Kapitel två syftar till att ge en teoretisk överblick över hur olika radionätverk är uppbyggda samt vilka olika tekniker det finns som kan vara av intresse för ett företag inom fastighetsautomation. Där finns även en kort introduktion till solceller.
- I kapitel tre redogörs för hur mer djupgående försök utförts på utvalda tekniker, detta så att läsaren ska få en djupare förståelse för hur de olika näten fungerar och ge en uppfattning av deras för- och nackdelar.
- I kapitel fyra ges en närmare beskrivning på EnOceans integrering med Regins produktsortiment. Det beskrivs vad Regins kunder vill ha i form av trådlösa produkter och varför just EnOceans lösningar är lämpliga. Här beskrivs även de olika prototyper som tagits fram och programvaran som installerats i Regins produkter.
- I kapitel fem presenteras resultatet. Det är uppdelat så att först presenteras resultatet från teorin och efter det presenteras resultatet från de genomförda testerna. I sista delen av kapitel fem presenteras resultatet från implementationen.
- Slutligen diskuteras de olika teknikernas för- och nackdelar i kapitel sex. Här kommer också slutsatser och rekommendationer att presenteras och även eventuellt framtida arbete.

Arbetet har också fördelats mellan författarna på följande sätt:

- Jonas har haft ansvaret för inhämtandet av information om Z-Wave, EnOcean och solceller samt implementerat applikationerna i EXOCcompact.
- Fredrik har haft ansvaret för inhämtandet av information om IEEE-standarderna 802.15.4 och ZigBee samt implementationen av hårdvaran.

Under diskussioner med Regin har författarna agerat företrädare för varsin teknik, för att på ett konstruktivt sätt ställa de olika teknikernas för- och nackdelar mot varandra.

Övriga delar i arbetet har utförts av författarna tillsammans.

Kapitel 2

Teori

Det här kapitlet börjar med en kort beskrivning av fastighetsautomation och zonreglering. Vidare består kapitlet av en teoretisk genomgång av de protokoll och radiotekniker som har varit mest intressanta för vårt syfte. Kapitlet fortsätter med fördjupning i vissa av dessa för att skapa oss en så bra bild som möjligt av för- och nackdelarna med att välja en viss teknik. Kapitlet innehåller också en kort genomgång av olika typer av radionätverk för att ge läsaren en klarare bild av vad vi vill komma fram till. Vi avslutar kapitlet med en kort presentation av solceller.

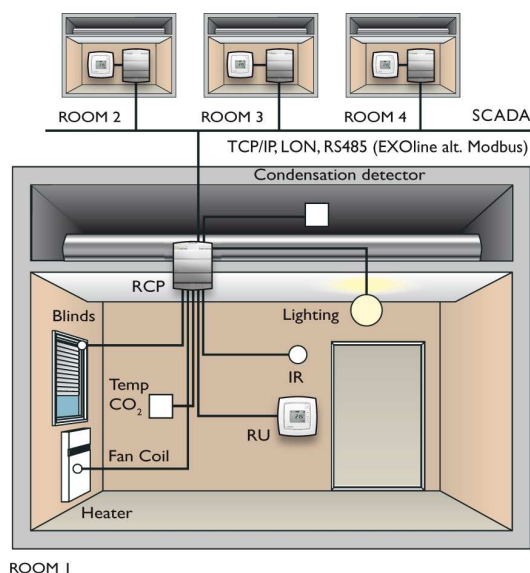
2.1 Fastighetsautomation

Inom en fastighet eftersträvas det att få ett behagligt klimat med så låg energiförbrukning som möjligt. För att detta ska vara möjligt måste klimatet regleras beroende på hur byggnaden används för tillfället. En gymnastiksal eller aula behöver till exempel mycket olika luftflöden om de är fulla med människor eller är tomma. I en kontorsbyggnad är det också önskvärt att det går att styra en avdelning, eller varje rum på avdelningen, individuellt så att de som arbetar i rummen upplever ett behagligt arbetsklimat. Denna typ av reglering kallas zonreglering och är det som det här examensarbetet kommer att inrikta sig mot.

2.1.1 Zonreglering

För att det ska vara möjligt att zonreglera ett rum behövs det en DataUnderCentral, DUC, som sitter i undertaket. Till DUC:en ansluts givare och sensorer för att mäta av klimatet i rummet. Typiska givare och sensorer kan vara IR-detektorer, termostater och CO₂-givare. Ut från DUC:en ansluts element, fläktar och belysning som styrs med hjälp av de insignaler som levereras till DUC:en från givarna och sensorerna. Ett typiskt rum med dess givare och sensorer kopplade till en DUC visas i figur 2.1. DUC:en i figuren är

i sin tur kopplad på ett backbone som kopplar ihop flera rum med varandra.



Figur 2.1: Ett typiskt rum med dess givare och sensorer kopplade till en DUC som i sin tur är kopplad på ett backbone.

2.2 Radionätverk

Ett radionätverk är ett nätverk där de olika noderna har förbindelse med varandra genom radiolänk istället för att vara fysiskt förbundna med varandra via en sladd.

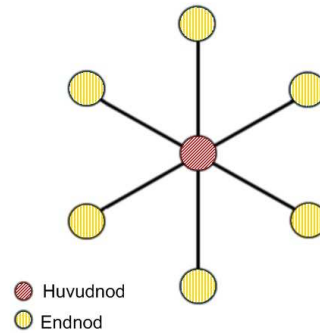
2.2.1 Stjärnnätverk

I ett stjärnnätverk har alla noder en dedikerad point-to-point förbindelse till ett centralt nav, kallat hub. Noderna kan inte kommunicera med någon annan utan att gå via hubben, se figur 2.2. Nätverkstypen skapar ett väldigt robust nät och om en nod eller förbindelse skulle bli obrukbar drabbar det bara den noden och de andra lämnas opåverkade [1]. Problem uppstår när hubben slutar fungera varpå alla noder som är anslutna till den hubben drabbas vilket leder till att de blir okontaktbara.

2.2.2 Meshnätverk

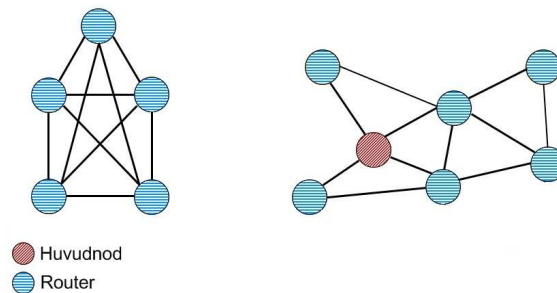
Fullt Mesh

Ett fullt mesh-nätverk är ett nätverk där varje nod har en point-to-point förbindelse med varje annan nod i nätverket. Detta har flera fördelar. Bland



Figur 2.2: Konfigurationen av ett stjärnätverk med en hub i mitten och noder i periferin.

annat har varje nod en dedikerad förbindelse med vilken annan nod som helst i nätverket vilket gör att noderna inte behöver dela på kablarnas bandbredd eller vänta på varandra. Om någon av noderna eller förbindelserna fallerar kommer dessutom trafiken att omdirigeras via andra noder vilket gör att nätet kommer att vara mycket robust [1]. Den stora nackdelen är att om alla noder ska få en point-to-point förbindelse med alla andra noder kommer noderna att behöva sända med så stor effekt att de når fram till den nod som ligger längst bort. Detta kan bli ett problem i de frekvensband där det finns en effektbegränsning på radiosignalen. I till exempel det fria 2,4 GHz-bandet är den maximala sändeffekten 100 mW [17].



Figur 2.3: Fullt mesh till vänster där alla noder har en dedikerad förbindelse med varandra. Partiellt mesh till höger där alla noder på något sätt kan få kontakt med varandra.

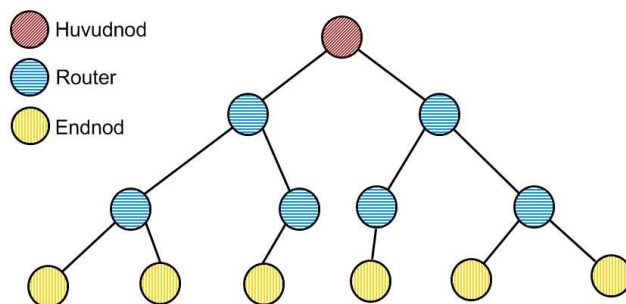
Partiellt mesh

I ett partiellt meshnätverk har inte alla noder förbindelse med alla andra noder utan bara med de som kan nås med den effekt som noden sänder med. Resultatet är att nätverket kan använda den redundans som finns i ett meshnätverk men inte behöver sända med den effekt som skulle krävas för att skapa ett fullt mesh [24]. Figur 2.3 visar skillnaderna mellan fullt och partiellt mesh.

Trädtopologier

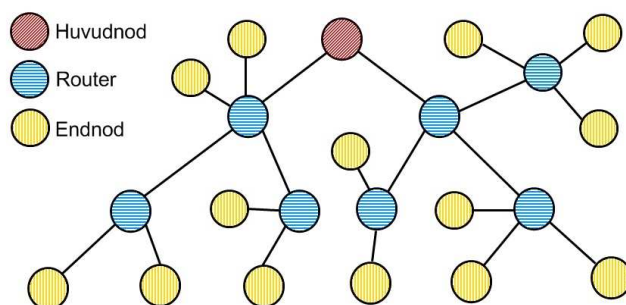
I ett träd grenar sig noderna ut nedåt från den huvudnod som sitter i toppen på trädet, vilket åskådliggörs i figur 2.4. De noder som har kontakt med huvudnoden har i sin tur noder under sig, vilka i sin tur har noder under sig och så vidare [24]. Detta ger ett nätverk som är enkelt att överblicka eftersom noderna vet hur de är förbundna till varandra. Därmed blir det lätt att beräkna vart data ska skickas. Nackdelen är att nätet blir sårbart då alla de underliggande noderna blir okontaktbara om en nod över dem slutar fungera.

Figur 2.5 visar en kombination av träd- och ett stjärnnätverk. Detta nätverk



Figur 2.4: Principen för ett träd med dess huvudnod högst upp och flera noder som grenar ut sig däriifrån.

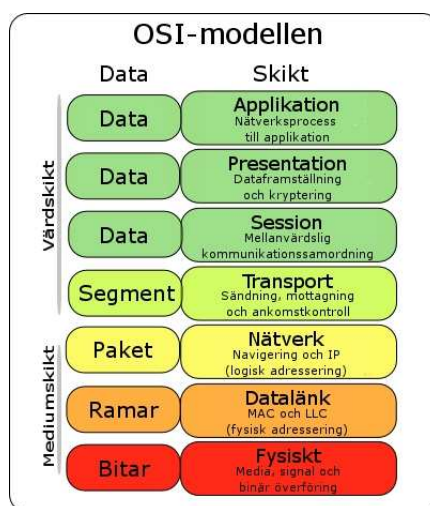
benämns som ett klusterträd eftersom det har trädets struktur, med en huvudnod högst upp, och stjärnnätverkets stjärnor som bildas av endnoder. Klusterträdet är alltså likt ett träd men varje nod bildar ett kluster som består av den själv och de noder som är placerade under den. För- och nackdelar är precis som i trädstrukturen. Det är väldigt lätt att beräkna vilken väg ett paket ska ta för att komma till rätt destination. Men nätet blir också sårbart eftersom alla noder till en högre liggande nod blir okontaktbara om den noden slutar fungera.



Figur 2.5: Principen för ett klusterträd med dess huvudnod högst upp och flera kluster som grenar ut sig därifrån.

2.3 OSI-modellen

OSI-modellen är en standardiserad modell över hur datorkommunikation kan vara uppdelat, vilken visas i figur 2.6. Den bygger på en modell av sju lager där varje lager bara kommunicerar med de närmaste lagren och därav inte behöver veta vad som finns längre ner. Även om det inte finns speciellt många protokoll som fullt ut bygger på denna standarden är det en bra jämförelse då det oftast finns stora likheter [1].



Figur 2.6: OSI-modellen

2.4 IEEE-standarden 802.15.4

IEEE 802.15.4 är en IEEE-standard som definierar de undre lagren i ett radionätverk. Grundprincipen för denna standard är låg komplexitet och låg strömförbrukning. Den faller under kategorin Wireless Personal Area Network, vidare kallat WPAN. Tilltänkta applikationer är till exempel sensornätverk, leksaker, fjärrkontroller och hemautomation. Områden där just låg strömförsörjning och lågt pris är viktigt. För närvarande stödjer standarden tre olika hastigheter: 20, 40 och 250 kBit/s [4].

2.4.1 Protokoll

Protokollet definierar de två första lagren i ett radionätverk nämligen det fysiska lagret och MAC-lagret. För att få ett fungerande protokoll behöver användaren definiera någon form av nätverkslager och applikationslager ovanpå detta. Exempel på detta är ZigBee [5] och WirelessHART [6].

Det fysiska lagret, PHY

Det fysiska lagret har hand om aktivering/deaktivering av radion och även själva sändning/mottagning. Det ansvarar för val av frekvens och val av kanal och även funktioner som till exempel energidetektion och indikator av länkkvalite. [4]. Det fysiska lagret i IEEE 802.15.4 är jämförbart med det fysiska lagret i OSI-modellen.

Medium Access Control layer, MAC-lagret

MAC-lagret ansvarar för nätverket och leverans av data till mottagaren. Detta sker bland annat genom:

- Generering av beacons¹ alternativt synkronisering till beacons
- Associering till rätt nätverk genom PAN-ID²
- Säkerställande av att paketen levereras till högre lager hos mottagaren genom acknowledgment och omsändning
- Stödjande av peer to peer och stjärnät
- Användning av CSMA-CA för kanalaccess och kollisionshantering

[4]

MAC-lagret i IEEE 802.15.4 är inte direkt jämförbart med lager två i OSI-modellen, datalänk lagret, utan det implementerar i princip halva lagret,

¹Beacons är en periodisk signal som skickas från koordinatören som alla synkroniserar sig efter

²PAN-ID definierar nätverkets adress och är det som skiljer det från andra nätverk.

MAC-delen. Den andra halvan, logical link control, får användaren implementera själv tillsammans med ett nätverkslager och någon form av applikation. De övriga lagren i OSI-modellen är överflödiga då deras funktioner antingen inte behövs eller redan finns implementerade.

Frekvenser

Totalt används tre olika frekvensband:

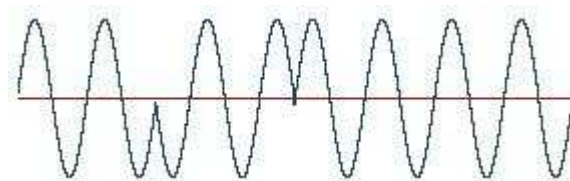
- 868-868,8 MHz: Europa
- 902-928 MHz: Nordamerika
- 2400-2483,5 MHz: Hela världen

Banden 868 och 915 MHz ger en bandbredd på 20 eller 40 kBit/s emedan 2,4 GHz ger en bandbredd på 250 kBit/s. [4]

Radiokodning och modulation

Radiokodning som används är Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS, vilken enkelt beskrivet fungerar genom att signalen multipliceras med en pseudoslumpmässig sträng av 1 och -1. Detta gör att radiosignalen sprids ut över hela bandbredden och blir därför mindre störningskänslig. För att få tillbaka originalsignalen multipliceras den mottagna signalen med samma sträng igen [1].

Modulationen som används är Binary Phase Shift Keying, BPSK, och Quadrature Phase Shift Keying, QPSK [5]. Båda dessa tekniker bygger på att bärvågen fasmoduleras, det vill säga att där finns två respektive fyra lägen fasen kan anta [4]. Detta visas i figur 2.7.



Figur 2.7: Visar ett exempel på BPSK där signalen byter fas två gånger.

Kollisionshantering CSMA-CA

CSMA-CA står för Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance och fungerar genom att när en nod vill skicka data på nätverket så lyssnar den först och känner på så sätt av om någon annan använder mediet för tillfället. När mediet är ledigt väntar noden en slumpmässig tid för att sedan skicka och vänta på svar [1].

2.5 ZigBee

ZigBee bygger på 802.15.4-standardens PHY- och MAC-lager där det utöver dessa är lagt ett nätverkslager och ett applikationslager. Nätverkslagret har hand om bland annat routingfunktionerna och säkerheten i nätet medan applikationslagret har hand om applikationen.

Ett ZigBee-nät kan teoretiskt bestå av en koordinator och upp till 65000 andra noder, vilka i sin tur kan vara av typen Router och End device [5]. Användningsområdena för ZigBee är samma som hos IEEE 802.14.5, här finns dock möjlighet till mer avancerade applikationer.

2.5.1 ZigBee Alliance

ZigBee Alliance är ett samarbete mellan flera aktörer på marknaden för att skapa en trådlös standard för automationstillämpningar av såväl hem som industri. Tanken är att som köpare ska det vara möjligt att välja fritt bland medlemmarnas produkter och de ska kunna kommunicera med varandra genom att använda sig av så kallade profiler som presenteras vidare på sidan 13.

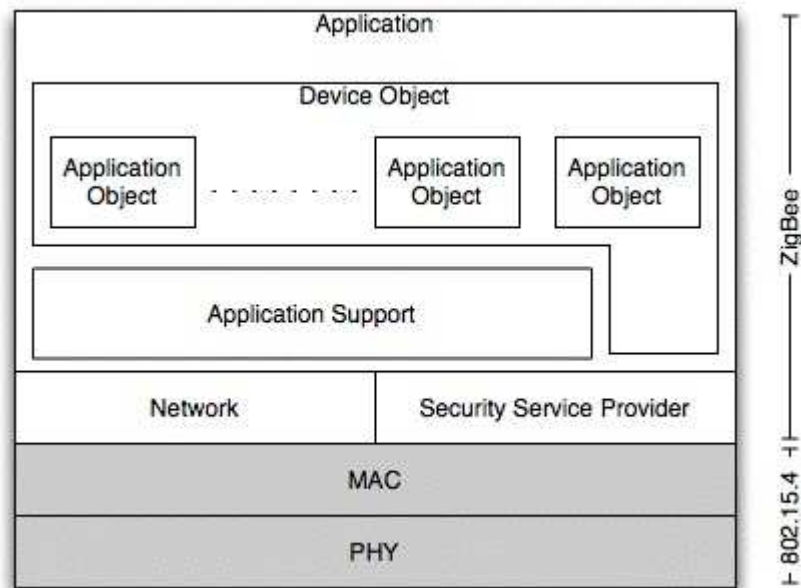
I dagsläget består alliansen av ca 200 medlemmar och här ingår allt från chiptillverkare till rena mjukvaruutvecklare. Bland medlemmarna kan företag som TI, Renesas, Ember och Meshnetics nämnas [18].

2.5.2 Funktionalitet

Ett ZigBee nät består av en koordinator som efter uppstart lyssnar efter andra enheter som vill ansluta sig till nätet och beslutar om dessa ska få tillgång till detsamma. Noderna kan bestå av både end-devices och routrar. Routrarna kan i sin tur ha flera noder kopplade till varandra. Skulle en nod falla bort ska dess barn finna nya föräldrar automatiskt och routingtabellerna uppdateras [5]. ZigBee konfigurerar sig alltså som ett klusterträd, vilket visas i figur 2.5. Skillnaden mellan ZigBee och ett normalt klusterträd är att ZigBee har självläkande egenskaper när noder slutar fungera. Nätverket blir alltså mycket stabilare än ett konventionellt klusterträd eftersom det automatiskt söker nya kommunikationsvägar. Denna egenskap ger många gånger ZigBee det missvisande namnet mesh.

2.5.3 Protokoll

ZigBee protokollet bygger som tidigare nämnts på IEEE-standard 802.15.4 där det, utöver de definierade MAC- och PHY-lagren, har implementerats ett nätverkslager, för att ta hand om routing och säkerhet, och ett applikationslager, som har hand om själva applikationen. Applikationslagret har även hand om nyckelhanteringen för krypteringen av nätverket [5]. De olika lagren åskådliggörs i figur 2.8 och beskrivs mer i detalj i nedanstående avsnitt.



Figur 2.8: ZigBee lagermodell

Nätverkslagret

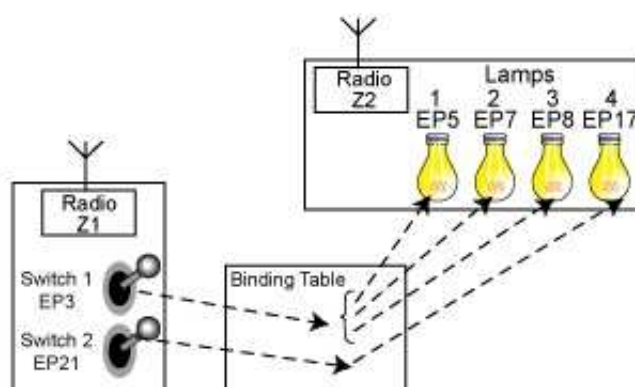
Den huvudsakliga och mest framträdande funktionen hos nätverkslagret är hantering av routingen. Det är just möjligheten att läsa av adresser och veta vart paket ska skickas vidare som gör de meshliknande funktionerna möjliga. Nätverkslagret har även hand om skapande av nya nät och att hitta nya vägar när kommunikationen går ner [5]. Nätverkslagret hos ZigBee går att jämföra med motsvarande lager hos OSI-modellen. Då nätverkslagret implementeras ovanpå IEEE 802.15.4 innefattar den även logical link control, den del som saknas i datalänk lagret.

Applikationslagret

Applikationslagret kan vara uppbyggt på lite olika sätt beroende på tillverkare men enligt ZigBee Alliance består det av ett "application support sub-layer" som kommunicerar med nätverkslagret nedåt och olika objekt uppåt i hierarkin. Dessa objekt har hand om varsin slutapplikation som kan bestå av till exempel en temperatursensor. Totalt kan varje ZigBee-nod hantera upp till 240 olika objekt [5]. Även här går det att jämföra detta lager med motsvarande hos OSI-modellen.

Binding

Varje nod består av flera olika objekt och för att kunna få dessa att kommunicera med varandra används binding. Det är helt enkelt en tabell där olika objekt har parats ihop enligt figur 2.9. På detta sätt skapas en direktförbindelse mellan till exempel en lampa och en strömbrytare. Denna tabell sparas i nätverkets koordinators [5].



Figur 2.9: Exempel på binding där switch 1 har bundits till lamporna 1 – 3 och switch 2 har bundits till lampa 4.

Adressering

Zigbee använder sig av en 64-bitars IEEE-adress³ för att upprätta kommunikationen. När koordinators sedan godkänt noden tilldelas den en kortare adress på 16-bitar som den sedan använder sig av inom nätverket. Koordinators ansvarar även för att bestämma nätverksadressen, PAN-ID, som gör att upp till 16 nätverk kan samexistera utan att interferera med varandra [5].

Profiler

En av de stora fördelarna med ZigBee är just deras profiler. Med Profilernas hjälp ska produkter från olika tillverkare kunna kommunicera med varandra. Tanken är att om en sluttillverkare ska göra till exempel en trådlös termometer som använder sig av ZigBee-teknik ska den uppfylla en "Termometerprofil". I den profilen är det specificerat hur den ska kommunicera med andra enheter och vilka kommandon den får använda [5]. I ZigBee-standarden från 2006 finns det dock inga profiler släppta, vilket försvårar interaktionen mellan olika tillverkarens produkter.

³I det här fallet kan IEEE-adressen motsvaras av till exempel MAC-adressen inom IP-protokollet.

Kluster

Ett kluster är ett kommando, eller uppsättning av kommandon, som används för specificeringen av en profil. När en profil skapas väljs helt enkelt lämpliga kluster ut till den [5].

Det bör tilläggas att en hel del av dessa funktioner inte är implementerade eller bara delvis implementerade i praktiken.

2.5.4 Typer av noder

Koordinator

Koordinatorn är kärnan i ett ZigBee-nät och den har till uppgift att initiera nätet. När nätet sedan är i drift är det koordinators uppgift att godkänna nya noder som vill in i nätet. I varje nät får det bara finnas en koordinator [5].

Router

En router kan förutom att samla in data från diverse applikationer även skicka vidare data från andra routrar, eller end-devices, mot slutdestinationen. Dessa noder skapar ryggraden i ett ZigBee-nät. Nackdelen med en router är att den alltid måste vara vaken vilket får till följd att den inte kan drivas på batteri utan måste nätspänningsmatas [5].

End-device

En end-device är ofta själva sensorn som samlar in data, det vill säga den är avskalad av all annan funktionalitet till exempel den routande funktionen. Detta gör att den kan vara inaktiv stora delar av tiden och därmed spara energi. Detta gör att den inte kan vara med och routa i nätverket. End-devicen kan bara prata med routrar eller direkt med koordinatoren och inte med andra end-devices [5].

2.5.5 Olika stackstandarder

I dagsläget finns ingen gemensam standard utan det är upp till var och en av tillverkarna att få den teoretiska beskrivningen att stämma överens med verkligheten. Detta gör att i princip alla olika tillverkares stackar är olika och alltså inte kan kommunicera med varandra.

En annat stort problem är att ZigBee för närvarande inte släppt en enda profil. Detta gör att tillverkarna för närvarande måste implementera egna, vilket i sin tur gör att de bara kan prata med samma tillverkares produkter.

2.5.6 Kostnader

För att som företag få använda Zigbee måste man gå med i Zigbee-Alliance och detta kostar från \$3500 upp till \$40000 beroende på hur mycket inflytande som eftertraktas. Vid det billigaste medlemskapet tillkommer även en kostnad på \$500 (\$1000 för den första) per produkt som släpps. Detta medlemskap gäller i 12 månader. Utöver detta kommer kostnader för utveckling och komponenter [18].

2.6 Z-Wave

Z-Wave tillverkas av det danska företaget Zensys. Z-Wave är tänkt att vara en trådlös, pålitlig och billig styr- och övervakningsteknologi. Tekniken ska kunna användas till allt från att styra funktioner i ett hem till att övervaka givare och styra ställdon [19]. Alla produkter som använder sig av Z-Waves logotyp ska också fungera tillsammans, oberoende om produkterna kommer från olika tillverkare. För att detta ska fungera i praktiken har Z-Wave Alliance bildats [20].

2.6.1 Z-Wave Alliance

Z-Wave Alliance är det organ som ska verka för att det finns en standard som gör att alla produkter som tillverkas med Z-Wave logotypen ska kunna interagera med vilken annan produkt som helst som bär Z-Wave logotypen. Därför finns det ett certifieringsprogram inom alliansen som ska se till att de produkter som släpps följer standarden. Alliansen består av mer än 160 tillverkare vilka tillverkar olika typer av produkter som bygger på Z-Wave. Bland de tillverkare som är medlemmar i alliansen kan nämnas stora företag som Danfoss, Logitech, Panasonic och Intel [20].

2.6.2 Funktionalitet

Z-Wave fungerar som en klusterträdtopologi med en nod i toppen vilken i Z-Waves fall kallas för controller. Till kontrollern ansluts sedan fler controllers och end-nodes och även en rörlig controller, till exempel en fjärrkontroll [7], kan anslutas.

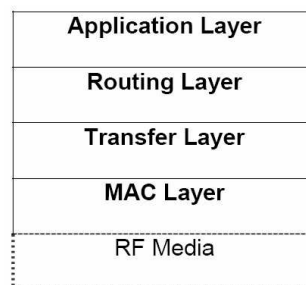
2.6.3 Protokoll

Protokollet i Z-Wave består av fyra lager vilka visas i figur 2.10. De fyra lagren är:

- MAC-lagret som definierar det fysiska mediet. Motsvaras av det fysiska lagret och MAC-lagret i OSI-modellen.

- Transfer-lagret som styr överföringen av paket vilket motsvaras av transportlagret i OSI-modellen.
- Routinglagret som beskriver routingen av paket i nätverket. Detta lager motsvaras av nätverkslagret i OSI-modellen och här ligger även delar av sessionlagret.
- Applikationslagret som definierar innehållet i paketen.

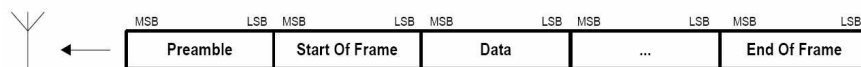
De fyra lagren beskrivs mer i detalj nedan [7].



Figur 2.10: De fyra protokollagren i Z-Wave.

MAC-lagret

MAC-lagret styr överföringsmediet som i Z-Waves fall är radiobaserat vilket benämns som RF Media i figur 2.10. Data som sänds innehåller **preamble**, **start of frame**, textbfdata samt **end of frame** i enlighet med figur 2.11. All data skickas i 8-bitars block i little endian-format⁴. Kodningen är manch-



Figur 2.11: Uppbyggnaden av Z-Wave datapaket.

esterkod⁵ för att förhindra att signalen blir likström [7].

För att förhindra kollisioner mellan paket finns det en collision avoidance funktion i MAC-lagret. Den fungerar genom att låta noden gå över i mottagarläge (receive mode) när den inte sänder. På så sätt kan den kontinuerligt

⁴Little Endian betyder att Least Significant byte kommer först

⁵I manchesterkod representeras en nolla med ett hopp från ett högt värde till ett lågt värde och en etta med ett hopp från ett lågt värde till ett högt värde vilket gör att det inte förekommer likström under överföringen av data [1]

lyssna och undvika att ett paket skickas när ett annat paket är på väg att tas emot [7].

Transfer-lagret

Transfer-lagret definierar överföringen av data mellan två noder. Lagret använder sig av fyra fördefinierade ramverk (frame-format) som alla innehåller information om nät-id, hemnod, pakethuvud, paketlängd, destination, data och checksumma. De fyra olika ramverken är:

Singelcast Frame vilket är ramverket för att sända mellan två olika noder.

Ramverket kräver normalt att det skickas en bekräftelse på att data har kommit fram. Om ett paket eller en bekräftelse går förlorad kommer paketet att sändas igen och för att undvika kollisioner sänds paketen om med ett slumpmässigt intervall. Singelcast frame kan i undantagsfall användas utan bekräftelse. Detta leder dock till att det inte går att garantera att data som sänds kommer fram.

Transfer Acknowledge Frame är en **Singelcast Frame** där storleken på datafältet är noll.

Multicast Frame sänder ut ett paket till flera noder på samma gång. Detta ramverk stödjer dock inte att det skickas en bekräftelse vilket gör att de inte ska användas i kritiska miljöer där det är av vikt att veta att all data som skickats kommit fram till rätt destination.

Broadcast Frame sänder ut samma paket till alla noder i hela nätverket.

Denna typ av ramverk stödjer inte heller att det skickas bekräftelser och ska således, precis som **Multicast Frame**, inte användas i kritiska miljöer.

[7]

Routing-lagret

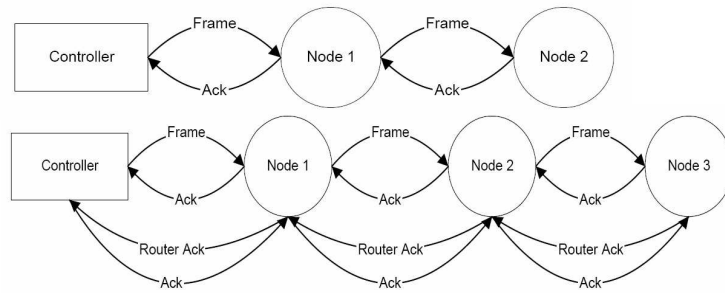
Routing-lagret definierar vilken väg ett paket ska ta när det sänds från en nod till en annan. Lagret är också ansvarigt för att paketet som sänds har en korrekt repeaterlist⁶, att paketet skickas vidare mellan noder samt att scanna nätet med jämna mellanrum för att hålla routing-tabellen i Controllern uppdaterad [7].

När ett paket skickas kan det routas på två olika sätt. Dels kan det skickas som en **Routed Singelcast Frame Type** vilket betyder att paketet skickas till en nod och blir bekräftat när paketet kommer fram till nästa nod. Paketet kan också skickas med **Routed Acknowledge Frame Type** vilket innebär

⁶Repeaterlist innehåller de noder som meddelandet ska gå via för att nå sin slutdestination. Beräknas ur routing-tabellen.

att paketet får en bekräftelse mellan varje nod men också att paketet blir slutgiltigt bekräftat när det har kommit fram till slutdestinationen [7], se figur 2.12.

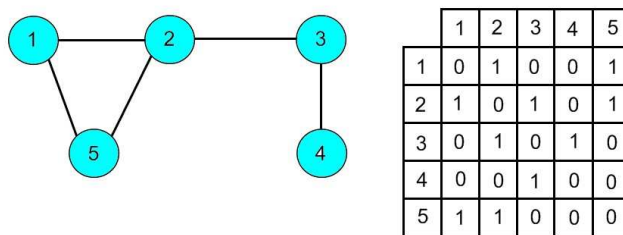
För att ett paket ska hitta från en nod till en annan behövs en routing-



Figur 2.12: Figur över de olika routing frames som Routing-lagret skickar. Överst en Routed Singelcast Frame Type där det skickas en bekräftelse mellan varje nod och nedanför en Routed Acknowledge Frame Type där det även skickas en bekräftelse att meddelandet har kommit fram till slutdestinationen.

tabell. Routingtabellen lagras i kontrollern som ett bit-fält där alla noder rapporterar sina grannar. Figur 2.13 visar hur routingtabellen är uppbyggd med avseende på det nät som visas till vänster i samma figur [7].

Att beräkna vägen från den portabla kontrollern till en nod i nätverket är mycket svårt eftersom den portabla kontrollern inte finns på en fix plats i nätet. Därför försöker denna alltid att skapa direktkontakt med den nod som den vill prata med utan att gå via andra noder. Om detta inte är möjligt försöker den att ta reda på var i nätverket den befinner sig och därefter beräkna den bästa vägen [7].



Figur 2.13: Nätverkstopologin till vänster representeras av routing-tabellen till höger.

Applikationslagret

I applikationslagret läggs de applikationer som bestämmer vad den enskilda produkten ska utföra. Det som alltid finns i applikationslagret är hur tilldelningen av Home ID och Node ID ska gå till eftersom dessa måste vara samma för alla produkter. Allt annat som skrivs in i detta lager är användarspecifikt.

2.6.4 Typer av noder

Det finns två huvudtyper av noder i Z-Wave. Dessa är **Controller Nodes** och **Slave Nodes**. De två huvudtyperna delas sedan upp i undergrupper för att definiera olika egenskaper hos de olika nodtyperna.

Controller Node

En Controller Node är per definition en nod som har en routingtabell över hela nätverket och som därför kan beräkna vägen för ett datapaket mellan två noder. Det finns förutom den grundläggande varianten fyra olika typer av Controller Nodes med specifika egenskaper.

Portable Controller är en styrnod som kan flyttas runt. Det kan till exempel handla om en fjärrkontroll och eftersom den flyttas runt i nätverket måste dess placering hela tiden beräknas.

Installation Controller är en **Portable Controller** som har utökad funktionalitet. Den utökade funktionaliteten kan till exempel användas då det behövs utökade verktyg vid installation av ett Z-Wavenätverk.

Static Controller är en styrnod som hela tiden måste vara placerad i en fix position i nätverket när den väl har blivit inkluderad. Static Controllern måste också alltid, när den inte sänder, vara i lyssningsläge, vilket gör att den måste vara spänningsmatad med en stabil spänning. Anledningen till att den alltid är i lyssningsläge är att den innehar information om nätverket och att alla andra noder därför kan kontakta den statiska controllern för att få aktuell information om till exempel aktuella routingtabeller.

En Static Controller kan konfigureras till att bli en **Static Update Controller, SUC**. Detta innebär att den har uppgiften att alltid ha aktuell nätverksinformation ifrån Primary Controllern⁷. När en ny nod inkluderas informeras SUC och om en controller i nätverket behöver information om nätverket frågar den SUC.

En SUC kan också konfigureras till en **SUC ID Server, SIS**. Med en SIS i nätverket kan alla andra controllers inkludera/exkludera noder ur

⁷Primary Controllern är den nod som har all information om nätverket. Vilken nod som helst kan bli Primary Controller men det kan bara finnas en i varje nätverk. Primary Controllern är också den nod som har ansvaret för inkludering/exkludering av noder.

nätverket vilket i vanliga fall enbart primary controllern kan göra. SIS får också huvudansvaret för nätverket och samlar alla noders positioner och dess ID.

Bridge Controller är en **Static Controller** som har en funktion för att integrera noder från andra typer av nätverk, till exempel X10 eller TCP/IP, som virtuella noder i ett Z-Wavenätverk.

[8]

Slave Node

En slavnod är en nod som inte har en routingtabell som standard. Routing Slaves och Enhanced Slaves kan dock innehålla ett par förkonfigurerade vägar som slaven har fått från en controller.

Alla slavnoder kan agera som repeaters men måste då hela tiden lyssna på nätet och drar då så mycket ström att de behöver vara nätanslutna. Noder som inte kontinuerligt lyssnar på nätet kommer att strykas från controllerns routingtabell.

Slave Node tar emot paket och svarar om det är nödvändigt. Slavnoden har ingen routingtabell eller förkonfigurerade routingvägar och skickar inga paket om den inte blir beordrad att göra så.

Routing Slave kan använda sig av ett antal förkonfigurerade routingvägar för att skicka meddelanden till andra slavar eller controllers. Dessa noder skickar också automatiskt vissa paket som till exempel alarm till andra noder.

Ett specialfall av Routing Slave är **Frequently Listening Routing Slave, FLiRS**, vilken är en Routing Slave som vaknar upp med bestämda intervall för att kunna ta emot eller skicka vidare paket som skickas till eller via den.

Enhanced Slave är en Routing Slave med utökat mjukvarustöd för till exempel externt EEPROM och RTC.

Zensor Net Routing Slave är ännu ett specialfall av en slavnod. Denna slavnod är en del i ett eget nätverk som kallas Zensor Net. Detta nätverk används vid kritiska applikationer som till exempel vid brandlarm och bildar ett eget nätverk med en egen controller inom ett existerande Z-Wave nätverk. En Zensor Net Routing Slave har möjlighet till bindning med andra Zensor Net Routing Slaves och den har också möjlighet till flooding⁸.

⁸Flooding innebär att en nod sänder ut ett meddelande till alla sina grannar som i sin tur sänder ut till alla sina grannar och så vidare. Detta betyder att alla noder kommer att få en kopia av det ursprungliga meddelandet [1]. Baksidan är att onödigt mycket bandbredd utnyttjas och det finns risk för att hela nätet överbelastas.

[8]

2.6.5 Kostnader

För att kunna använda Z-Wave fullt ut måste medlemskap i Z-Wave alliance lösas. Detta kostar mellan \$300 och \$30 000 beroende på vilken nivå som eftersträvas. I den lägsta nivån ingår bara ett medlemskap. För att kunna certifiera sina produkter mot Z-Wave måste nästa nivå på medlemskapet lösas, vilket kostar \$2 500. Den tredje och högsta nivån på medlemskap ligger på \$30 000 per år och då ingår även plats i alliansens styrelse [20].

Förutom medlemskostnader tillkommer givetvis kostnader för radiochipen samt utvecklingskostnader. Båda dessa kostnader är väldigt svåra att förutse eftersom det i radiochipens fall handlar om antalet chip som köps in och att det krävs djupare kunskaper om hur lång utvecklingstid som behövs och hur mycket den tiden kostar. Klart är dock att det behövs en utvecklingsansats från Z-Wave som kostar runt \$5 000, samt en kompilator till plattformen, vilken kan kosta upp mot 35 000 kr.

2.7 Andra meshtekniker

Förutom ZigBee och Z-Wave finns det ett par andra företag som tillverkar trådlösa meshtekniker. Två av dessa verkade i ett inledningsskede vara av intresse för detta arbete men förkastades senare av olika anledningar. Här följer en kort beskrivning av de två.

2.7.1 Insteon

Insteon är en meshteknik framtagen av Smartlabs Inc. Det speciella med den här tekniken är att den bygger på något som av tillverkaren kallas för Dual Band. Med Dual Band menar tillverkaren att tekniken baseras på två olika kanaler för att överföra information mellan noderna. I detta fall både genom ett radioprotokoll och genom elnätet. Smartlabs menar att genom att använda sig av två kanaler för överföring mellan noder ökar tillförlitligheten i hela nätet eftersom om radionätverket av någon anledning skulle sluta fungera kommer informationen i stället att ta vägen via elnätet och vice versa [15]. Alla noderna i Insteons nät fungerar som fullfunktionsnoder [15]. Det finns alltså ingen möjlighet att välja om en nod ska fungera som en slavnod för att spara batterikraft.

I protokollet som Insteon har skrivit för sitt nätverk finns ingen routingtabell. Detta gör att när en nod vill skicka ett paket till en annan nod finns det ingen information angående vilken väg som är den snabbaste mellan dessa två noder. Nätverket kommer att bli utsatt för flooding varje gång som en nod har något att säga. Detta resulterar i att alla noder hela tiden kommer

att få paket som inte är menade för dem. Dessa paket hade inte blivit skickade till dem överhuvudtaget om det hade funnits en routingtabell. Att en nod ofta får paket som inte är till den får till följd att den ofta får använda mycket beräkningskraft för att ta emot paket vilket minskar batteritiden väsentligt.

På grund av att det är ett system som helt och hållet är utvecklat för den amerikanska marknaden fungerar Insteon bara på 904 MHz [15] vilket gör att det inte går att använda i någon annan del av världen.

2.7.2 Wavenis

Wavenis tillverkas av Conronis Systems vilket är ett företag som är beläget i Frankrike. Systemet är ett fullt utvecklat meshnätverk som är framtaget för fjärravläsning av till exempel vattenmätare och elmätare. Tanken är att det ska vara möjligt att läsa av och överföra data från mätarna utan att en person måste åka ut till varje hus [25].

Systemet har även utvecklats till att möta krav från hemautomation och det finns en del produkter utvecklade för denna marknad. Det ska även finnas en OEM-licens att tillgå men ytterligare information i detta ärende har varit besvärligt att finna.

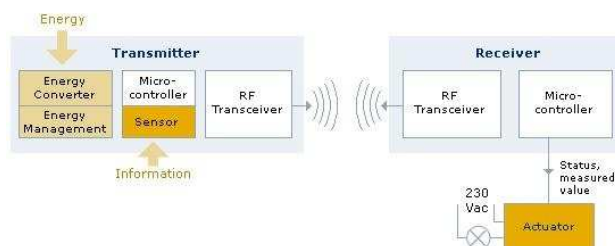
2.8 EnOcean

EnOcean är ett tyskt företag, avknoppat från Siemens. De har specialiserat sig på trådlösa produkter som kan fungera helt utan batteri [21]. Tanken med produkterna är enkel. När till exempel en knapp trycks in bildas rörelseenergi i knappen. Denna rörelseenergi är i sig tillräcklig för att generera den energi som behövs för att skicka iväg ett datapaket via radio så långt som 300 meter [21]. I företagets vision finns förhoppningar att utvinna energi ur små vibrationer samt ur temperaturdifferenser.

EnOceans teknologi finns redan implementerad i ett flertal produkter. Bland de som kan nämnas finns helt självförsörjande och trådlösa fönsterkontakter, strömbrytare och IR-detektorer [21].

2.8.1 Funktionalitet

Principen för hur tekniken fungerar visas i figur 2.14. När till exempel en knapp trycks in genereras energi som antingen används på en gång eller lagras i kretsen. En microcontroller håller reda på vad som ska sändas och vart det ska sändas. Ett paket skickas till sändaren som skickar ut paketet i etern. Mottagaren tar emot paketet, lämnar över det till microcontrollern som tolkar meddelandet och ger en styrsignal till det ställdon som ska påverkas, till exempel en lamparmatur.



Figur 2.14: När knappen trycks in genereras energi som kan användas för att skicka ett paket.

2.8.2 Protokoll

Protokollet som EnOcean använder sig av skiljer sig väldigt mycket från det som används av till exempel ZigBee och Z-Wave. Det använder sig inte av någon routande funktion eller meshfunktionalitet. För att begränsa tiden som EnOceans noder sänder och därmed hålla nere strömförbrukning är protokollet mycket kort. Det består bara av 14 bytes, det vill säga 112 bitar. Ett paket innehåller uppfifrån och ner två byte med synkroniseringsinformation. Därefter följer en byte med information huruvida det är ett sändpaket eller mottagarpaket, om det sänds via radio eller på serieporten samt hur långt paketet är. Denna byte är uppdelad så att tre bitar definierar pakettyp och fem bitar definierar längden. Vidare kommer en byte med typ av meddelande. Det finns sex olika typer av meddelande vilka visas i tabell 2.1 Efter medde-

ORG	Beskrivning	Akronym
0x05	Telegram från en PTM-switch mottaget	RPS
0x06	1 byte data telegram från en STM-sensormodul mottaget	1BS
0x07	4 byte data telegram från en STM-sensormodul mottaget	4BS
0x08	Telegram från en CTM-modul mottaget	HRC
0x0A	6 byte modem telegram	6DT
0x0B	Modem acknowledge telegram	MDA

Tabell 2.1: De olika meddelandetyperna i EnOceanprotokollet. Som synes finns det också en primitiv modemfunktion. Används den här funktionen kan paket med upp till 6 byte data skickas.

landebyten kommer fyra byte med den data som sänds och efter det följer fyra byte med den sändande nodens ID-information. Näst sist kommer en byte med statusinformation. I den här byten finns information om hur många gånger meddelandet har repeterats om det skickas via repeaters. Om det är en tryckknapp (PTM) som används finns här information om vilken typ av

tryckknapp som används och vilken typ av meddelande den i så fall sänder. Olika tryckknappar stödjer nämligen olika typer av tryckkombinationer. Sist kommer en byte med checksumma. Allt detta åskådliggörs i figur 2.15 [11]. Sändningstiden för att skicka ett paket ligger på ungefär 1.2 ms. Inom 40

Bit 7	Bit 0
SYNC_BYTE1 (A5 HEX)	
SYNC_BYTE1 (5A HEX)	
H_SEQ	LENGTH
ORG	
DATA_BYTE3	
DATA_BYTE2	
DATA_BYTE1	
DATA_BYTE0	
ID_BYTE3	
ID_BYTE2	
ID_BYTE1	
ID_BYTE0	
STATUS	
CHECKSUM	

Figur 2.15: EnOceans paketuppbyggnad som endast är 112 bitar lång.

ms är meddelandet dessutom repeterat två gånger med ett slumpmässigt intervall. Anledningen till detta är att protokollet inte använder sig av någon bekräftelse på att paketet kommit fram. Eftersom meddelandet är så kort är tillförlitligheten ändå mycket hög även om ett stort antal noder sänder inom ett begränsat område. Statistiskt sett är tillförlitligheten 99.99 % om 100 noder sänder en gång i minuten inom ett begränsat område, till exempel i ett kontorslandskap. Räckvidden är densamma som för andra produkter som sänder på 868 MHz, det vill säga upp till 30 meter inomhus och upp till 300 meter utomhus i LOS.

2.8.3 Olika typer av moduler

STM110

STM110 är en sensormodul som i grunden är konstruerad för solcellsdrift även om det går alldeles utmärkt att driva den med batteri eller annan strömkälla. Tanken med modulen är att den vaknar periodiskt, läser av de tre analoga och fyra digitala ingångarna och om dessa har förändrats sedan sist så skickar den ett paket med de nya värdena. Perioden ställs enkelt in med hjälp av två ingångar till 1, 10, 100 eller 110 sekunder. Modulen har även möjlighet att skicka en närvarosignal, dvs att den skickar utan att någon förändring skett för att visa att den fungerar. Även detta ställs in med hjälp av två ingångar. En annan funktion hos STM110 är "wake", vilket innebär att den när som helst kan väckas [9].

STM250

Denna trådlösa fönsterkontakt drivs med hjälp av solceller och skickar ett paket vid förändring av statusen för fönstret. Energi från solcellen lagras i en kondensator på motsvarande sätt som STM110 [10].

RCM1xx

RCM modulerna finns i flera olika utförande, de som använts i detta arbete är RCM110 och RCM120. RCM110 är en mottagare som kan styra fyra olika kanaler med on/off- eller dimmerfunktionalitet. RCM120 har ett seriellt interface där alla mottagna paket skickas ut som seriell data för att kunna bearbetas av till exempel en dator. Mottagaren är till skillnad från sändaren oftast nätmatad. Detta på grund av att mottagaren drar mer ström och oftast ändå är ansluten till en nätmatad applikation [12].

TCM120

Till skillnad från RCM120 kan TCM120 både skicka och ta emot data. Den kan även användas som modem och skicka data åt båda hållen mellan flera TCM120. Den har precis som RCM120 seriellt interface och kan därför fungera som en gateway mellan EnOcean och till exempel en dator [11].

PTM200

PTM200 är en trådlös strömställare som drivs av en energy harvester. Strömställaren skickar ett paket vid varje knapptryck med den aktuella statusen. Den består av två kanaler och kan till exempel styra on/off eller dimmerfunktionen hos en RCM110 [13].

2.8.4 Spökpaket

Eftersom EnOceans protokoll är väldigt begränsat, med framförallt en väldigt primitiv checksumma, kan det från och till uppkomma så kallade spökpaket. Ett spökpaket är en bitsträng som inte har sänts av en EnOceanmodul men som ändå tolkas av en EnOceanmottagare som ett korrekt paket. Bitsträngen har korrekt huvud och korrekt checksumma. Men däremellan kan det vara vilken information som helst. Problem med spökpaket kan lätt undvikas genom att i mjukvaran implementera ett ID-filter som filtrerar bort okända ID-nummer [14].

2.8.5 Tekniska data

EnOcean sänder på frekvensen 868,3 MHz vilken är en fri frekvens i Europa så länge en sändare inte sänder oftare än 1 % av tiden. Detta kan tyckas lite men det betyder att 9 000 paket kan skickas per timme [11]. Eftersom

fältstyrkan är så låg är den här frekvensen även tillåten i USA och Kanada trots att det inte normalt är en fri frekvens i dessa länder. Signalen moduleras med inkoherent amplitudmodulation, ASK, vilket gör sändningen mycket energibesparande [11].

2.8.6 Energy Harvesters

Av stort intresse är de energy harvesters som EnOcean har och håller på att utveckla. Förutom de produkter som har tagits upp tidigare finns det en thermal converter utvecklad, vilken utvinner energi ur temperaturdifferenser på bara ett par Kelvin. Vidare finns det under utveckling energy harvesters som utvinner energi ur roterande massa såsom hjul eller gas- och vattenmätare samt vibration harvesters som utvinner energi ur vibrerande motorer, vibrerande maskiner eller människor i rörelse [23].

Alla dessa tekniker är intressanta att titta närmre på och följa utvecklingen av. Att utvinna energi ur omgivningen är ett stort steg mot att utveckla givare och sensorer som inte behöver batteri eller nätspänning. Tekniken behöver dock utvecklas och förfinas ytterligare för att kunna kombineras med till exempel ett radioprotokoll som inte är så strömsnålt och sänder så sällan som EnOceans eget protokoll.

2.8.7 Kostnader

För att få använda EnOceans moduler tillkommer ingen kostnad förutom kostnaden för modulerna. I gengäld blir modulerna något dyrare, men det ska även vägas in att utvecklingskostnaden är låg på grund av enkelheten i protokollet. För att få lov att kalla sina produkter ”enabled by EnOcean” ska de certifieras, detta för att säkerställa att de kan interagera med andra EnOceanprodukter.

2.9 Solceller

I många fall behövs det en intern strömkälla för att driva en krets. Ett batteri har bara en viss mängd energi lagrad och har dessutom en självurladdning vilket leder till en begränsad livslängd. Den obegränsade mängd energi som finns runt omkring oss i form av ljus är därför av största intresse när det talas om trådlösa tekniker. En helt självförsörjande krets utan batteribyte är något att sträva efter.

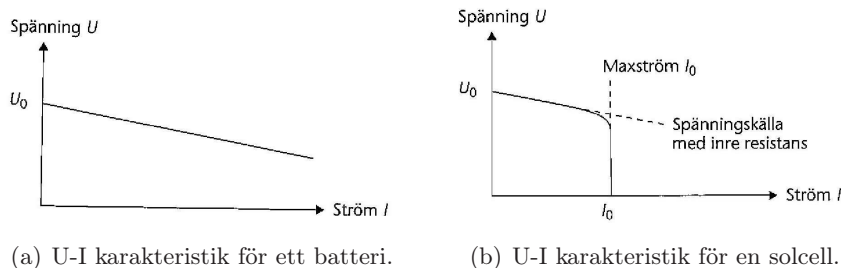
2.9.1 Teori

Som namnet antyder drivs en solcell av det infallande solljuset mot solcellens yta. Det finns flera olika typer av solceller, här ges en allmän beskrivning av hur de vanligaste fungerar.

En typisk solcell består av ett kiselskikt som är p-dopat på undersidan och n-dopat på ovansidan. På undersidan sitter ett tunt metallskikt som fungerar som minuspol och på ovansidan finns det ett metallnät som fungerar som pluspol. Att det är ett metallnät och inte en metallplatta på ovansidan beror på att solljuset måste nå ner till kiselplattan för att kunna alstra elektrisk ström. När de p- och n-dopade skikten läggs samman diffunderar en del elektroner in i p-skiktet och bildar då ett utarmningsområde. I och med att elektroner diffunderar in i p-skiktet får de en potentiell energi som sedan kan användas i solcellen för att producera elektricitet. När solljusets fotoner träffar solcellen avger de sin energi till elektroner i p-skiktet. Om energin är tillräckligt hög hoppar elektronen från valensbandet upp till ledningsbandet. Elektronen som nu finns i ledningsbandet kan användas till att driva elektriska kretsar genom att ansluta kablar till metallskikten på solcellen [2].

Avståndet mellan valensbandet och ledningsbandet kallas bandgapet och det är höjden på detta som anger vid vilken våglängd som solcellen fungerar optimalt. Genom att dopa kisel med olika ämnen fås olika storlek på bandgapet. Våglängden bestämmer sedan i sin tur hur mycket energi som finns i det infallande ljuset, rött ljus ger lite energi och blått ljus mycket energi. Är solcellen optimerad för blått ljus och den belyses med rött ljus kommer inte fotonerna att avge nog med energi för att elektronerna ska kunna hoppa ända upp till ledningsbandet. Vidare kommer en solcell som är optimerad för rött ljus inte att kunna ta till vara på all energi som tillförs om den belyses med blått ljus. Elektronerna kommer helt enkelt att hoppa för högt. En solcell fungerar alltså bäst inom det område den är optimerad för. Detta är förklaringen till varför solceller har så låg verkningsgrad i solljus då detta ljus har ett väldigt brett spektrum [2].

Solcellen fungerar inte som ett batteri när den belastas. Ett batteri har en linjär spänning-strömkaraktäristik där spänningen över batteriet sjunker ju mer ström som tas ur det enligt figur 2.16(a). En solcell fungerar på samma sätt till en början men vid ett visst strömuttag kommer spänningen sjunka rakt ner till noll enligt figur 2.16(b). Detta beror på att det bara finns ett begränsat antal elektroner som kan förflyttas i solcellen. Överskrids den-

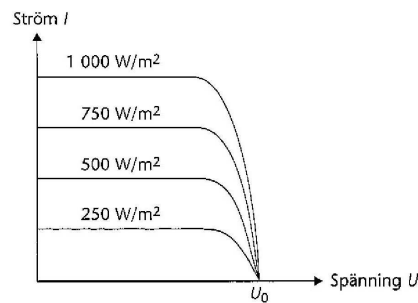


Figur 2.16: UI-karakteristiken för ett batteri till vänster och för en solcell till höger.

na ström kommer inte solcellen att kunna leverera någon spänning. Denna

ström kallas för kortslutningsström och betecknas I_0 . På samma sätt finns U_0 vilket betecknar spänningen när det inte tas ut någon ström. För att få ut maximal effekt ska spänning och ström optimeras till att ligga ungefär vid knäet på kurvan. Problem finns dock även vid detta resonemang. När ljuset ändras påverkas också I_0 vilket gör att den optimala strömmen inte är den samma vid olika ljusintensitet vilket visas i figur 2.17 [2].

Spänningen över en solcell ligger runt 0,55 V [2] och för att få en högre



Figur 2.17: Olika UI-karakteristik vid olika solinstrålningar gör det svårt att alltid få optimal last på solcellen.

spänning seriekopplas flera solceller. Tabell 2.2 visar några solceller baserade på amorft kisel [26]. I tabellen går det att se att för en normalstor solcell i en miniräknare, $\sim 3 \text{ cm}^2$, går det att få ut mellan 9 och 15 μW vid 200 lux.

Area (cm^2)	U_0 (V)	I_0 (μA)
1,9	2	4,8
2,5	2	7,2
2,8	3	3
7,42	2	16
11	4	17

Tabell 2.2: Tabell över typiska solcellsareor och den spänning och ström som går att utvinna ur dem vid en ljusintensitet på 200 lux.

2.9.2 Olika typer

Det finns flera olika typer av solceller på marknaden. Den vanligaste typen av solcell är gjord av kristallint kisel. Denna grupp delas sedan in i flera undergrupper där enkristallint och flerkristallint kisel är vanligast. Av dessa två har solceller av enkristallint kisel bäst verkningsgrad. Anledningen till detta är att i den flerkristallina solcellen fastnar elektronerna mellan kiselkristallerna innan de når ut i den elektriska kretsen som ska drivas. I gengäld är de flerkristallina solcellerna billigare att tillverka. Verkningsgraden för en solcell

gjord på kristallint kisel ligger för de bästa runt 25% men för standardsolceller är den snarare 15–16% [3].

På stark frammarsch ligger tunnfilmssolceller. Dessa kan baseras antingen på en tunn film av amorft kisel eller en film av kadmiumtellurid. Solceller som baseras på amorft kisel har lägre verkningsgrad, mellan 7 och 11%, än enkristallina solceller. Fördelen ligger i att tillverkningsprocessen är snabbare och enklare. Dessutom tillverkas tunnfilmssolceller i flera tunna skikt som har olika valensband, det vill säga kan ta tillvara olika våglängder i solspektrat för att få högre verkningsgrad. En stor nackdel för solceller tillverkade av amorft kisel är att de är något instabila och tenderar att försämra sin verkningsgrad under sin livstid. På frammarsch ligger amorfa solceller av ämnet kadmiumtellurid. Solcellerna får hög verkningsgrad, runt 16% för laboratorieceller, är lätta att tillverka och är robusta. Till nackdelarna hör att de innehåller det giftiga ämnet kadmium [3].

CIGS är en solcellstyp som tillverkas av en legering mellan kopparridiumdiselen, CuInSe_2 , och koppargalliumdiselen, CuGaSe_2 . Denna legering går att optimera till de för solceller optimala bandgapet på 1,2 eV. Verkningsgraden ligger runt 16% men produktionen är fortfarande på pilotstadiet. Flera aktörer har dock börjat intressera sig för tekniken [3].

Genom att kombinera flera enkelceller som reagerar på olika våglängder i solljuset går det teoretiskt att uppnå en väldigt hög verkningsgrad för solceller. Ett ämne som lämpar sig mycket bra för detta är galliumarsenid, GaAs. Galliumarsenidceller kan pressas upp till en verkningsgrad runt 40% men de är i gengäld mycket dyra. I princip används de uteslutande inom rymdindustrin [3].

En helt annan typ av solceller är de nanokristallina cellerna eller Grätzel-solceller efter dess uppfinnare, Michael Grätzel. Dessa solceller bygger på en elektrolyt och ljusabsorptionen sker i ett färgämne istället för en halvledare. De nanokristallina solcellerna har hittills kommit upp i en verkningsgrad av 10% men utvecklingen har mer eller mindre stått still sedan början på nittioalet. Det finns dock en potential för låg tillverkningskostnad eftersom tillverkningsprocessen är enkel och de kemikalier som används är billiga [3].

Kapitel 3

Teknisk utvärderingsmetodik

Vi har genomfört en del teknisk utvärdering av ZigBee, Z-Wave och EnOcean. Utvärderingen har utförts för att ta reda på om de lever upp till det som tillverkarna hävdar och för att få en uppfattning om hur systemen fungerar i verkligheten. Det här avsnittet kommer ägnas åt att beskriva dessa utvärderingar.

3.1 Upplägg

För att få en uppfattning om hur de olika teknikerna fungerade gjordes ett antal tester. Det som testades var strömförbrukning, räckvidder och även tillförlitlighet. På grund av att de olika utvärderingssatserna såg olika ut och innehöll olika delar blev inte testerna fullständigt jämförbara med avseende på strömförbrukningen. I ZigBees och EnOceans fall går det lätt att ta reda på hur mycket ström de drar i aktiva och inaktiva perioder eftersom det på de korten inte finns mer logik än vad som behövs för att driva kretsen. På den utvärderingssats som kom från Z-Wave fanns det på varje nod även ett serieinterface samt en hel del logik som inte var direkt nödvändig för radiodelens funktion. Detta gjorde att det inte fanns någon anledning att försöka mäta hur mycket ström som en nod konsumerade eftersom det inte skulle ge några relevanta värden. Här fick vi istället lita på databladen.

När det gäller avståndstesterna har de genomförts på liknande sätt avseende alla tre teknikerna. Skillnaderna ligger i att ZigBee och Z-Wave, till skillnad från EnOcean, har stöd för routing vilket gör att de kan täcka in ett större område än vad EnOcean kan göra. Ytterligare en skillnad ligger i att utvärderingssatsen med ZigBee innehöll en display som visade nätets uppbyggnad vilket gjorde det möjligt att på ett enkelt sätt få reda på hur signalerna gick mellan olika noder.

Mycket av arbetet här inriktar sig mot ZigBee och EnOcean vilket beror på att de teknikerna helt enkelt var de som var enklast att göra relevanta undersökningar på.

3.2 Materiel

Till försöken har tre utvärderingssatser från de olika tillverkarna använts. I de olika satserna finns material för att utföra enklare tester av de olika teknikerna.

I ZigBee-satsen finns det en basenhet med en display samt fem noder som kan placeras ut på valfria platser. En av noderna sitter med fördel på basenheten för att displayen ska kunna nyttjas. Noderna kan programmeras till att antingen vara slavar, fullfunktionsnoder med routande egenskaper eller koordinator. I räckviddsförsöket är alla noderna fullfunktionsnoder för att de ska kunna styra om signalvägarna om någon nod slutar fungera.

Satsen som kommer från Zensys innehåller en basenhet och fem noder. Genom att trycka på en knapp på basenheten simuleras en tändning/släckning eller dimmning av de lysdioder som sitter på noderna. Noderna kan inte programmeras om utan är låsta till att vara fullfunktionsnoder.

EnOceansatsen innehåller en testplatta med ett seriegränssnitt till PC, en receiver med dimmerfunktion, en receiver med seriegränssnitt, en transmitter, en tryckknapp samt mjukvara för att analysera vilka paket som tas emot av receivern och vad de innehåller.

3.3 Tester

3.3.1 Nättäckning

Testet utfördes för att få en uppfattning om hur stort område som kunde täckas in med relativt få noder och i ZigBees fall, hur nätet såg ut. Noderna programmerades så att de skulle ruta varandra. De placerades sedan ut i Regins lokaler såsom bilaga B.1 visar. Tanken är att testet ska visa om det går att täcka in ett relativt stort område med ett fåtal noder. Dessutom stängs noderna av en och en för att få en uppfattning om hur nätet konfigurerar sig vid bortfall av noder, och om hur nätet beter sig när noder kommer tillbaka. Varje nod kopplas på igen innan nästa kopplas bort. Hur lång tid det tar för nätet att reparera sig självt om en nod blir okontaktbar samt hur lång tid det tar för en nod att bli inkluderad igen är frågor som det söks svar på. Testet är även intressant ur aspekten hur ett nät konfigurerar sig i ett kontorshus med alla de typer av störningar som uppkommer i en byggnad full med datorer, nätkablage och annan teknisk apparatur.

Just detta test lämpar sig inte för EnOcean då det inte är ett routande protokoll.

3.3.2 Väggtest

För att få en uppfattning om hur många väggar en nod når igenom genomfördes detta test. Testet delades upp i olika typer av väggar: innerväggar i

gips utan isolering och betongväggar.

I testet med gipsväggar placerades basenheten i ett rum och sedan flyttades en nod bort från basenheten tills dess att signalen tappades.

Testet med betongväggar utfördes i E-husets källare på LTH. Väggarna där är gjorda av armerad betong, konstruerat som skyddsrum och därmed minst 50 cm tjocka. Även här testades hur många väggar signalen gick genom.

3.3.3 Line of sight-test

I testet avseende hur lång räckvidd radiosignalen har i öppen terräng, Line Of Sight, LOS, fick vi gå utanför Regins lokaler. På en rak gata med fri sikt mättes avståndet upp då noderna slutgiltigt tappade kontakten med varandra.

3.3.4 Strömförbrukning

För att mäta strömförbrukningen används det faktum att strömmen är lika över två motstånd i en seriekoppling. Om kretsen då ses som ett okänt motstånd så ger en mätning av spänningen över det kända motståndet och en enkel beräkning med Ohms lag strömmen [16]. En fördel med denna mätupställning är att spänningen kan mätas med ett oscilloskop och därav få fram inte bara ett värde utan ett diagram för strömförbrukningen vid varje tidpunkt, där alla olika steg i en sändningen kan visualiseras och identifieras. Negativt med detta är att matningsspänningen sjunker över modulen då det blir ett spenningsfall över mätmotståndet. Sjunker spänningen för mycket kan sändningarna påverkas och även strömförbrukningen kan ändras. Med tanke på att storleksordningen på det vi vill få fram av denna mätning är hur många år modulen kan vara igång, med batteri eller solcellsdrift, så är dessa osäkerheter försumbara.

3.3.5 Tillförlitlighet

Efter att en teknik har valts och den har implementerats i ett fungerande system kommer detta att testköras under en begränsad tid för att försöka utröna om det finns några direkta brister i tillförlitligheten av systemet.

Kapitel 4

Implementation

Här ges även en kort genomgång av varför vi har valt EnOcean som teknik för vårt fortsatta arbete. Det här kapitlet kommer även att beskriva integreringen mellan Regins produkter och EnOceans Moduler. Extra fokus kommer att läggas på kommunikationen och att det ska fungera utan att det behövs nätspänning. Helst även utan batterier, det vill säga att enheterna ska vara självförsörjande med hjälp av till exempel solceller.

4.1 Inledning

För att få en inblick i hur ett system som integrerar EnOcean och Regins DUC:ar fungerar och vilka hinder det finns, byggdes prototyper av de enheter som skulle komma ifråga för eventuell vidareutveckling. Den DUC som används i implementationen är en EXOCompact, men systemet kommer att vara så generellt att det går att applicera på alla Regins DUC:ar. Som tidigare beskrivits är det i det enskilda rummet som dessa enheter kommer att sitta. Det är här som det är utmärkt med enkla korta protokoll som inte drar mycket ström och därför kan drivas av alternativa energikällor. Systemet kommer vara uppbyggt runt en friprogrammerbar DUC, EXOCompact, som agerar som huvudenhet för rummet. Till DUC:en kommer det att anslutas en tryckknapp, en dörr-/fönsterkontakt, en rumsenhet samt en IR-detektor. Dessa enheter har valts för att det är dessa som är mest troliga att bli trådlösa då det finns mest att vinna på att inte behöva dra kommunikations- och strömkablage till dessa. Det är också dessa enheter som inte behöver någon större effekt för att fungera. Alla enheter får dessutom den fördelen att de kan placeras var som helst och är lätta att flytta på om det skulle behöva möbleras om i till exempel ett kontorslandskap. Av de fem enheterna är det IR-detektorn, rumsenheten, samt EXOCompact:en som har fått genomgå förändringar för att fungera ihop med EnOcean. Vad gäller tryckknappen och dörr-/fönsterkontakten är dessa standard EnOceanprodukter. Det skulle gå att utveckla egna enheter av denna typ, men det går utanför

ramen för det här examensarbetet.

4.1.1 Vad marknaden vill ha

När det utvecklas nya produkter är det nödvändigt att veta vad de tänkta köparna vill ha för produkt och vad som ska vara inkluderat i den produkten. Därför engagerades marknadsavdelningen på Regin för att undersöka vad som kan tilltala framtida köpare. Framförallt var det de små enheterna, som till exempel fönsterkontakter och IR-detektorer, vilka installeras i stora volymer som bedöms vara av intresse.

4.1.2 Vad är möjligt

Mycket av arbetet i det här examensarbetet har inriktats mot att undersöka vad som är möjligt att göra trådlöst och framförallt vad som är möjligt att göra självförsörjande på energi. Det har snabbt visat sig att det inte är något problem att göra en produkt trådlös på det radiotekniska planet. Problemet har istället varit att göra den så energisnål att den klarar sig på andra energikällor än batteri. Eftersom energiperspektivet är centralt betyder det att det inte kan göras några större beräkningar eller sändas så ofta. EnOceans radioprotokoll är extremt kort och energieffektivt vilket gör att det ställe där det kan sparas ytterliggare energi är i enheterna. Enheterna konstrueras därför så att de drar så lite energi som möjligt.

4.2 Varför EnOcean

Examensarbetet inriktar sig mot den rumsnära regleringen av klimatet, så kallad zonreglering. Vidare var kraven att enheterna skulle vara så energisnåla att de kunde fungera utan att strömförsörjas med nätström och helst vara självförsörjande på energi. Det vill säga att de inte behöver ett batteri för att fungera eller drar så lite ström att ett batteri inte behöver bytas under hela produktens livslängd. Med dessa krav är det EnOcean som visar sig vara det bästa alternativet. Systemet är extremt energisnålt och det finns en utvecklad teknik för att utvinna energi ur miljön runtomkring. Både ZigBee och Z-Wave är bättre än EnOcean i många avseenden. De har högre överföringskapacitet, alla meddelanden bekräftas och nätet blir mer robust eftersom det finns routande och självläkande egenskaper. Men alla dessa bra egenskaper medför också att ZigBee- och Z-Wavesystemen använder mycket mer energi och de är därför beroende av batterier. De är till och med så att om dessa system ska utnyttja sina routande funktioner drar de så mycket ström att de måste vara nätmatade. Eftersom ett av kraven var att enheterna i rummet inte skulle behöva nätmatas kan de inte använda sina routande egenskaper och blir därmed som vilka noder som helst i ett stjärnnätverk.

Att alla meddelanden som skickas blir bekräftade är givetvis något att sträva efter. Men om det betyder att noderna måste använda sig av batteri som måste bytas regelbundet, faller även denna egenskap bort.

I ljuset av dessa argument står EnOcean som vinnare med en bra kompromiss mellan tillförlitlighet och energieffektivitet. En viss osäkerhet kommer att finnas eftersom det inte finns någon funktion för bekräftelse av skickade paket. Men ställt mot den extrema energieffektiviteten, och det faktum att missade paket inte är kritiska, ses detta som en godtagbar kompromiss.

4.3 Applikationer

EXOCcompact:en är fritt programmerbar, vilket betyder att det går att programmera valfria applikationsprogram som inkluderas. För att få den funktionalitet som vi efterfrågar har vi skrivit ett par applikationsprogram. Dessa applikationsprogram är generella vilket gör att de går att använda på alla Regins DUC:ar.

4.3.1 Kommunikation

För att ta emot de datapaket som skickas ut på EnOceanmodulens serieport har det skrivits en kommunikationsapplikation. Applikationen ligger och lyssnar på serieporten och när det kommer ett paket hämtar den hem det. Den tar sedan reda på om det är en adress som stämmer överens med vektorn för godkända adresser. Vidare skickas informationen i paketet vidare till den applikation som ska ha den. Några problem har uppkommit varav två har varit dels de så kallade spökpaketerna och dels att det ibland kommer två meddelanden med så kort mellanrum att det kommer, av DUC:ens serieport, att tolkas som ett meddelande som är dubbelt så långt.

Problemet med spökpaketerna var enkelt att lösa enligt instruktioner från EnOcean. Ett ID-filter implementerades vilket filtrerar bort de ID-nummer som inte finns i vektorn med godkända ID-nummer.

Fenomenet med de dubbla paketen löstes genom en kontroll av längden på det inkomna meddelandet. Om meddelandet är mer än fjorton bytes långt så delas det upp i två paket. De två paketens ID-nummer kontrolleras mot vektorn med godkända ID-nummer och det paket som först uppvisar ett validerat ID-nummer anses vara det rätta.

4.3.2 Styrning av analoga utgångar

De analoga utgångarna på DUC:en levererar mellan 0 och 10 volt. I vår implementation används dessa utgångar till lampstyrning men principen är densamma för alla analogt styrda applikationer som till exempel gardinstyrning eller styrning av en ventil.

Det speciella med att skriva en applikation för EnOceans tryckknapp är

att det inte kommer kontinuerliga uppdateringar från knapparna utan att det kommer ett paket när knapparna trycks ned och ett när knapparna släpps upp. Detta gör att programmet hela tiden måste gå i en loop för att få reda på när knapparna har påverkats. Eftersom tanken var att ett snabbt knapptryck skulle betyda att lamporna tänds/släckts och ett långt knapptryck att lamporna dimmas måste programmet hålla reda på hur lång tid det går från det att knappen har tryckts ner tills dess att den släppts upp igen. Detta ska dessutom fungera för en lampa åt gången, båda lamporna samtidigt eller en lampa som dimmar upp och en lampa som dimmar ner. Ytterligare en funktion som implementerades var att om lamporna hade dimmats upp till en, för rumsinnehavaren, optimal nivå och sedan släckts med ett snabbt knapptryck, skulle de vid ett snabbt knapptryck gå tillbaka till den optimala nivån och alltså inte tändas fullt. Vile rumsinnehavaren sedan dimma upp eller ner ytterligare eller tända fullt går det att göra som vanligt.

4.3.3 Fyra- och enbyte-paket

Det skrevs även två korta applikationer för att ta hand om de paket som skickades från rumsenheten, IR-detektorn och fönsterkontakten. Rumsenheten och IR-detektorn skickar båda två fyrabytepaket eftersom dessa är baserade på en TCM120 vilken skickar den typen av paket, medan fönsterkontakten skickar ett enbytepaket. De båda applikationerna tog hand om den informationen som fanns i paketen och placerade värden i rätt variabler som sedan skrevs ut på DUC:ens display.

4.4 Prototyper

För att få en uppfattning om hur olika rumsenheter fungerar tillsammans med en DUC och vilka problem som kan uppstå vid en implementation har ett par prototyper konstruerats. Till att börja med har givetvis en DUC utrustats med en mottagare för att den ska kunna ta emot de paket som skickats av de andra enheterna. DUC:en har utrustats med två kontakter för att det ska vara möjligt att använda både en ren mottagare eller en mottagare/sändare. I det här arbetet kommer det läggas störst fokus på att ta emot paket eftersom det inte finns någon annan enhet att sända data till då DUC:en är den enda enheten med en mottagare.

Vidare har det konstruerats en primitiv rumsenhet, som kan sända information om rummets status, en IR-detektor, som kan sända information om rörelser i rummet, en tryckknapp för lampstyrning samt en fönsterkontakt. Hur de har konstruerats beskrivs mer i detalj nedan.

4.4.1 DUC

DUC:en, som visas i figur 4.1(a) är spindeln i nätet och den enhet som tar hand om de datapaket som skickas av de övriga enheterna i rummet. I ett riktigt system är det DUC:en som står för beräkningar och reglering av klimatet i rummet. För att den ska kunna ta emot paket från de andra enheterna försågs den med en EnOcean mottagarenhet RCM120. Mottagarenhetens serieport anslöts till DUC:ens serieport, vilket kan ses i figur 4.1(b), och möjliggjorde kommunikation mellan enheterna. Eftersom mottagarenheten från EnOcean bara kunde ta emot paket och skicka ut på sin serieport kommer ingen information att kunna skickas från DUC:en ut till de andra enheterna. För att få feedback på tryckningar från lampknappen monterades även två lysdioder på två analoga utgångar. Dessa dimmades/tändes/släcktes då respektive knapp trycktes in.

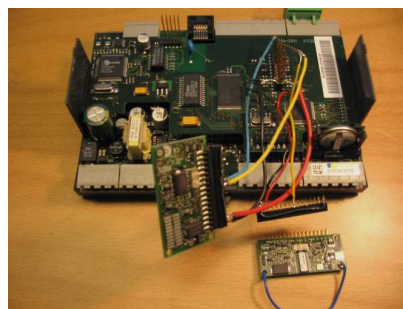
För att få en ännu större återkoppling till vad som händer när det sker en förändring i rummet används DUC:ens display. På displayen visas lampornas nivå, fläkthastighet, temperatur, temperaturens börvärde, närvaro samt om ett fönster är öppet eller alla är stängda.

I slutskedet av projektet anslöts även en EnOcean-modul av modell TCM120 vilken också kan skicka ut meddelanden som skickas till den via serieporten. Det finns även ett begränsat antal konfigurationsmöjligheter som kan ställas genom att skicka speciella paket på serieporten. Anslutningen av TCM120 gjordes för att få en förståelse för hur det går till att skicka data från serieporten på DUC:en till en EnOcean-modul och har ingen annan praktisk betydelse i det här examensarbetet.

Att ansluta EnOcean-modulerna till DUC:en var väldigt enkelt. Allt som



(a) EXOCcompact med kåpa.



(b) EXOCcompact utan kåpa.

Figur 4.1: Till vänster visas en EXOCcompact som den ser ut när den är monterad ute på fältet. EnOceanmodulen TCM120, som visas i sitt fäste till serieporten i figuren till höger, är gömd inne under kåpan.

behövdes anslutas var matningsspänning, jord och en datakabel till rätt ben på EnOceanmodulen. Dessa löddes fast på en stiftlist för det skulle vara enkelt att byta modul. De tre kablarna fästes sedan på motsvarande plats

på DUC:en. Det enda problem som uppstod var att eftersom benkonfigurationen inte var densamma på RCM120 och TCM120 var det nödvändigt att konstruera två olika stiftlistor för att användas till de olika modulerna.

4.4.2 Rumsenhet, RU

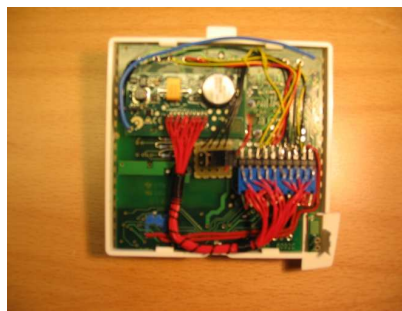
En rumsenhet (Room Unit, RU) är en enhet som sitter i rummet och som samlar in mätdata som sedan skickas till rumsregulatorn. En rumsenhet kan se ut på många olika sätt men i vårt fall innehåller den temperaturgivare, börvärdesratt, knapp för forcerad ventilation/närvaro samt fläkthastighet. Vår enhet kommer att vara en ren rumsenhet men den bygger på Regins rumsregulator RC-FO. Skillnaden mellan en rumsregulator och en rumsenhet ligger i att rumsregulatorn gör mycket beräkningar och styr sina utgångar själv. Detta är dock alldeles för effektkrävande för att det ska vara möjligt att lösa detta med energikällor som solceller eller batterier.

Rumsregulatorn strippades ner till ett minimum och det enda som sparades var ett tomt kretskort, reglagen och ytterhöljet. På kretskortet monterades sedan EnOceanmodulen STM110 och till dess ingångar kopplades reglagen från rumsregulatorn, vilket åskådliggörs i figur 4.2(b). För att driva rumsenheten monterades den medföljande solcellen i ett fräst hål på framsidan av rumsenheten, vilket figur 4.2(a) visar. Några större problem att sätta ihop rumsenheten uppkom inte annat än att det var svårt att löda fast kablar på ingångarna eftersom dessa satt väldigt tätt och var svåra att komma åt.

Efter tester i ett typiskt kontorsrum med rumsenheten placerad längst bort



(a) Stängd rumsenhet



(b) Öppen rumsenhet

Figur 4.2: Till vänster visas en rumsenhet som den ser ut när den är monterad på väggen. Lägga märke till solcellen i nederkanten. Till höger visas den öppnad och längst upp sitter EnOceanmodulen STM110 vilken sköter kommunikationen.

från fönstret, har det konstaterats att den fungerar utmärkt. Under den ljusa delen av dygnet fungerar den utan några problem alls och den fungerar även ett par timmar efter att det blivit mörkt i rummet. Med ett par strömsnålare komponenter kan drifttiden i mörker dessutom ökas ytterligare. Kopplingschemat för rumsenheten kan ses i bilaga C.1.

Börvärde

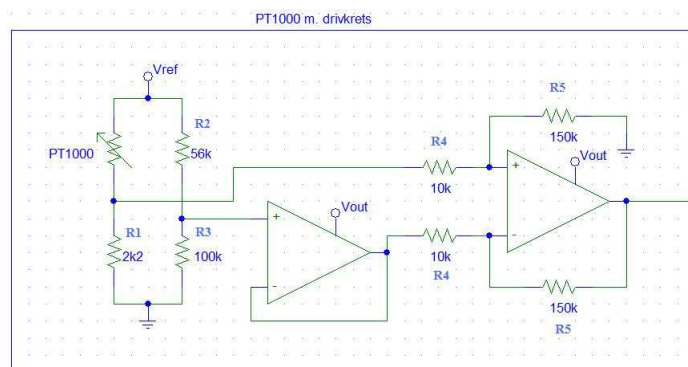
Inställning av börvärde sker på en analog ingång hos STM110. En potentiometer används för att ställa ingångsspänningen mellan 0 och V_{ref} som i vårt fall är 2 V.

Fläktställare

Fläktställaren kan ställas i fem olika läge, 0, 1, 2, 3 och Auto. En skjutströmställare flyttas över en serie motstånd som i sin tur delar spänningen i 5 olika nivåer mellan 0 och V_{ref} som sen kan skickas in på en av de analoga ingångarna.

Temperatursensor

Som temperatursensor användes ett PT1000-element. PT1000-elementet består av en upplindad platinatråd som vid temperaturen 0°C har en resistans på 1000 ohm. Vid högre temperatur ökar resistansen och vid lägre sjunker den. Genom att placera givaren i en bryggkoppling kan en differensspänning proportionell mot temperaturen skapas. Därefter används en differentialförstärkare för att ge en utspänning proportionell mot temperaturen. Förhållandet mellan resistorerna R4 och R5 bestämmer förstärkningen och därmed också intervallet för temperaturmätningen medan förhållandet mellan R2 och R3 bestämmer referensen. Förfarandet kan ses i figur 4.3 vilket är en detaljbild från rumsenhetens kretsschema.



Figur 4.3: Detaljfigur över PT1000-drivkretsen som ingår i rumsenheten.

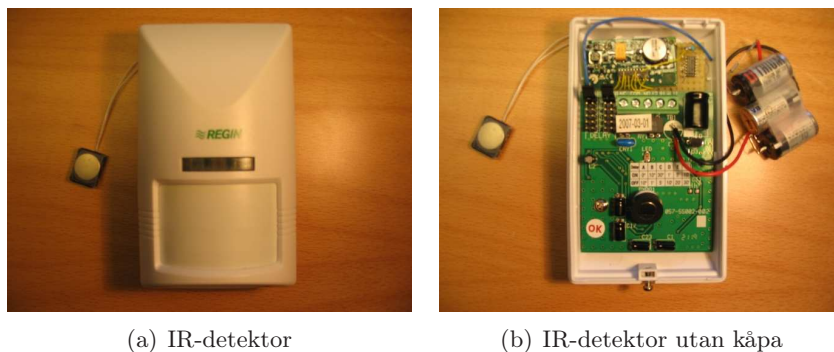
Närvaroknapp

På grund av att RU:n är solcellsdriven och därav har ett begränsat förråd av energi kommer den att sova under stora delar av tiden. Ett resultat av detta är att den bara mäter insignalerna med ett bestämt tidsintervall som bestäms av sovperioden hos STM110. Det finns dock en vaknaingång (wake)

som när den jordas genast väcker STM110 ur sin sömn och skickar ett paket. För att kunna särskilja detta från de vanliga paketen sätts även en av de digitala bitarna i paketet när denna knapp används.

4.4.3 IR-detektor

IR-detektorn är baserad på Regins IR-detektor IR24-P. I originalutförande drivs givaren av 24 volt lik- eller växelspanning vilket medför modifikationer för att det ska vara möjligt att driva den med andra källor. Då den drar



Figur 4.4: Till vänster visas IR-detektorn som den ser ut när den hänger på väggen. Till vänster ligger knappen som ska simulera rörelse när detektorn demonstreras. Till höger är IR-detektorn utan bakstykke med EnOceanmodulen STM110 högst upp.

för mycket ström för att det ska vara intressant att driva den med solceller kommer den att drivas av batteri till att börja med. Givaren utrustas med en STM110 sändarmodul. Till en av sändarmodulens digitala ingångar kopplas givarens utgång. När det blir en förändring på givarens utgång triggas sändarmodulen att skicka ut ett paket. I figur 4.4(a) och figur 4.4(b) visas hur IR-detektorn ser ut efter integration med EnOcean STM110. När knappen till vänster trycks in simuleras en rörelse. Kopplingsschema för IR-detektorn kan ses i bilaga C.2.

4.4.4 Tryckknapp och fönsterkontakt

Tryckknappen och fönsterkontakten som användes är EnOceans standardprodukter STM250 och PTM200 vilka kan ses i figur 4.5. Därför har det inte gjorts något ingrepp i någon av dessa produkter. Tryckknappen skickar ut ett RPS-paket¹ och fönsterkontakten ett 1-bytepaket som tas om hand av mottagaren i DUC:en. Då det är produkter som har utvecklats av EnOcean och är i originalutförande kan de anses vara optimerade med avseende på strömförbrukning. Fönsterkontakten drivs av en solcell och en kondensator

¹Ett RPS-paket är den paketstruktur som används av tryckknappen. Se tabell 2.1



Figur 4.5: Högst upp ligger fönsterkontakten STM250 och nedanför till höger ligger dess magnet som fästs på fönster eller dörr. Nedan till vänster ligger tryckknappen PTM200.

och fungerar även i totalt mörker efter uppladdning av kondensatorn. Tryckknappen drivs av energin som alstras när knappen trycks in och fungerar alltså i alla inomhusmiljöer så länge som någon trycker på knappen.

Kapitel 5

Resultat

I det här kapitlet presenteras resultatet från den teoretiska jämförelsen, de praktiska testerna och implementationen.

5.1 Sammanfattning av teoridelen

De fyra olika teknikerna som har behandlats har det gemensamt att de kommunicerar via radio. För övrigt är det en hel del som skiljer dem åt. En kort sammanfattning av de olika teknikerna kan ses i tabell 5.1.

Teknik	802.15.4	ZigBee	Z-Wave	EnOcean
Datahastighet	20 – 250 kbps	20 – 250 kbps	9,6 kbps	9,6 kbps
Frekvens	868/2400 MHz	868/2400 MHz	868 MHz	868 MHz
Modulation	BPSK/QPSK	BPSK/QPSK	FSK	ASK
Radiokodning	DSSS	DSSS	FHSS	?
Bekräftelse	Ja	Ja	Ja	Nej
Komplexitet	Medel	Hög	Hög	Låg
Licens	Nej	Ja	Ja	Nej

Tabell 5.1: Kort sammanfattning av de olika teknikerna

5.1.1 IEEE 802.15.4

IEEE-standarden 802.15.4 definierar de två lagren PHY och MAC och är tänkt som en teknik som ska vara billig och enkel. Tekniken bygger på CSMA-CA vilket betyder att den har kollisionsundvikande egenskaper. Tekniken inkluderar också bekräftelse på de paket som skickas vilket gör det till en robust och pålitlig teknik att använda.

5.1.2 ZigBee

ZigBee i sin tur är en utökning av 802.15.4. Ovanpå det fysiska lagret, PHY, och MAC-lagret är det lagt ett nätverkslager och ett applikationslager. I nätverkslagret definieras den routing-funktion som ska vara ZigBee's styrka jämfört med 802.15.4. Routing-funktionen ser till att två noder som normalt inte skulle kunna nå varandra ändå kan få kontakt genom att signalen skickas via andra noder som ligger på vägen. ZigBee har också en självläkande funktion som ser till att det väljs en ny väg för signalen om en av noderna, som signalen normalt skickas via, av någon anledning skulle sluta fungera.

I applikationslagret ska det ligga standardiserade profiler för styrning av olika typer av utrustning, till exempel lampor, persienner eller ventilation. Tyvärr finns det för närvarande inga standardiserade profiler vilket gör att tillverkarna av ZigBee-komponenter måste skriva egna. Detta gör i sin tur att alla profiler är tillverkar-specifika och inte alla kan interagera.

I ZigBee finns det olika typer av noder vilka har olika egenskaper. För att hålla nere strömförbrukningen används så kallade end-devices vilka sover större delen av tiden. Nackdelen med att de sover är att de inte kan vara med i routingen av signalen utan skickar bara information under de korta stunder då de är vakna. Fördelen är att de blir strömsnåla och kan drivas på batteri under en längre tid. Är ett nät uppbyggt av många end-nodes kommer det dock att få en sämre självläkande förmåga eftersom det inte finns så många alternativa vägar som en signal kan ta.

Motsatsen till end-nodes är fullfunktionsnoder. Dessa är med i routingen av signalen och behöver således vara vakna hela tiden. Detta kräver mycket ström och därför måste dessa vara nätmatade.

5.1.3 Z-Wave

Z-Wave är precis som ZigBee en routande teknik. Till skillnad från ZigBee bygger Z-Wave på en helt egen teknik som tillverkas av ZenSys. Att det bara finns ett företag som tillverkar Z-Wave har den fördelen att det är lätt för tillverkaren att bestämma vad systemet ska kunna göra och sätta standarden. I Z-Wave finns det en standard definierad och det finns ett flertal produkter från olika tillverkare ute på marknaden som använder sig av Z-Wave.

Även Z-Wave använder sig av olika typer av noder med olika egenskaper i sitt nätverk. För att hålla nere strömförbrukningen finns det slav-noder som sover större delen av tiden och masternoder som har till uppgift att administrera nätet. Precis som i ZigBee's fall är inte slavnoderna med i routingen och om ett nät består av många slav-noder och få masternoder kan nätet bli instabilt.

I Z-wave finns också en specialnod som kallas för Zensor-net. Nät uppbyggda av dessa specialnoder är till för ytterst kritiska funktioner som till exempel brandlarm och har den extra funktionen flooding implementerat. Flooding-

funktionen används normalt inte av nätet då detta lätt skulle kunna leda till att nätet snabbt överbelastas. Funktionen används endast för att kunna nå så många noder på så kort tid som möjligt och därmed kunna garantera att till exempel ett utrymningslarm aktiveras.

5.1.4 EnOcean

Den sista tekniken som har undersökts är EnOcean. Detta är ingen routande teknik utan en teknik som har tagits fram för att vara så energieffektiv som möjligt. Den bygger på moduler som drivs av alternativa strömkällor som solceller eller rörelseenergi. Eftersom tekniken är så inriktad på att vara strömsnål är den också väldigt begränsad. Det finns ingen bekräftelse på att paket har kommit fram till mottagaren. Istället sänds alla paket tre gånger med ett slumpmässigt intervall och detta menar tillverkaren ger en sannolikhet på 99,9% att paketet kommer fram till mottagaren om 100 enheter sänder en gång i minuten inom ett begränsat område. Vidare är protokollet extremt kort. Paketet som sänds är bara fjorton bytes långt och kan normalt bara innehålla fyra bytes data.

Även denna teknik tillverkas av en enda aktör vilket gör att den standard som satts är den som gäller. Det finns flera produkter, från olika tillverkare, ute på marknaden vilka använder sig av EnOceans teknik.

5.1.5 Kostnader

För att få lov att använda sig av deras tekniker kräver två standarder, Zig-Bee och Z-Wave, medlemskap i deras allianser och licensavgifter. Avgifterna varierar beroende på graden av inflytande över utformningen av standarden men de ligger mellan ett par hundra dollar upp till \$40 000. IEEE 802.15.4 och EnOcean har inga krav på licenser för att få använda deras standarder, dock kräver EnOcean att produkten certifieras för att det ska garanteras att den kan interagera med övriga EnOceanprodukter.

5.1.6 Solceller

Att integrera solceller i applikationerna har visat sig svårt. En normal solcell av hanterbar storlek, $\sim 3 - 5 \text{ cm}^2$, levererar helt enkelt inte tillräckligt mycket ström och de som gör är alldeles för dyra för att det ska vara aktuellt. I de applikationer där det har varit möjligt att använda solceller har det varit på bekostnad av funktionalitet och datahastighet. Men forskningen på området är lovande och förhoppningsvis kommer det att komma ett genombrott som gör det realistiskt att använda solceller även i krävande applikationer.

5.2 Resultat av testerna

Nättestet utfördes främst med ZigBee eftersom det var möjligt att se hur det nätet kopplade upp sig och routade om när olika noder försvann. Z-Wave testades också men det blev endast ett test för att se om det var möjligt att täcka ett kontorslandskap även med deras noder.

5.2.1 Nättest ZigBee

Både ZigBee- och Z-Wavenätet kopplades upp i enlighet med bilaga B.1. I figuren ses hur de olika noderna har kontakt med varandra enligt den display som finns på ZigBee's basenhet vilken är benämnd med C. Som synes går det bra att täcka in Regins lokaler med de fem noder som användes i försöket. Anmärkningsvärt är att koordinatören valde att koppla upp sig mot nod 2 istället för nod 4 som ligger närmre. En orsak kan vara att det i princip är fri sikt till nod 2 emedan signalen måste passera ett par väggar för att nå nod 4 och därför är det bättre signalstyrka mellan koordinatören och nod 2 trots att avståndet är drygt 50 meter. Z-Waves noder placerades ut på samma ställen och även i det nätet svarade alla noder på kommandon. Men det fanns ingen möjlighet att ta reda på exakt hur signalvägarna såg ut.

När nod 1 kopplades bort hände inget märkvärdigt med nätet. Den del av lokalerna där nod 1 sitter förlorade sin nod men inget hände med nätet i övrigt vilket var väntat. Hur nätet såg ut när nod 1 var bortkopplad kan ses i bilaga B.2.

Vid bortkopplandet av nod 2 började det hända saker i nätet. Koordinatören förlorade sin granne och fick söka en ny. Även nod 3 förlorade sin granne. Koordinatören hittade nod 4 och kopplade upp sig mot den emedan nod 3 inte hittade någon vilket kan ses i bilaga B.3. Nätet blev märkbart skadat eftersom nod 3 inte kunde hitta någon att koppla upp sig mot vilket medförde att varken nod 2 eller nod 3 längre var med i nätet. Detta innebar att nästan halva lokalytan förlorade sin kommunikation.

Att koppla bort nod 3 gav liknande resultat som vid bortkopplandet av nod 1. Nod 3 har också bara en granne och således påverkades bara den del av lokalerna där nod 3 var belägen. Hur nätet såg ut kan ses i bilaga B.4.

När slutligen nod 4 kopplades bort fick nätet det utseende som illustreras i bilaga B.5. Signalen från nod 2 routas om så att den får direktkontakt med nod 1 vilket gör att det även i det här fallet bara är området kring den nod som har blivit urkopplad som drabbas.

5.2.2 Nättest Z-Wave

Samma förfaringssätt användes för att koppla in och ur noderna i Z-Wavenätverket. Nätet betedde sig på samma sätt det vill säga den enda gång som nätet förlorade en nod som inte blev urkopplad var när nod 2 kopplades

ur. Detta tyder på att Z-Wavenätet konfigurerade sig på samma sätt som ZigBeenätet. Tyvärr fanns det dock inget sätt att verifiera detta.

5.2.3 Inkludering och exkludering av noder

Inkludering och exkludering av noder som lades till och kopplades ur tog ungefär tio sekunder. På denna tid konfigurerade även nätet om sig för att hitta nya vägar eller återställa sig till ursprungsläget. Detta är i sammanhanget en tillfredsställande tid vilket garanterar att en nod som kan nås av andra noder bara kommer att vara okontaktbar under en kort tidsrymd. En ytterligare kommentar är att trots att det finns väldigt mycket datorer, elektronisk utrusning och väggar i byggnaden lyckades ett nätverk upprätthållas i fyra fall av fem. Detta borgar för att ett system med flera noder än de fem som vi har använt kommer att vara mycket robust och tillförlitligt.

5.2.4 Väggtest

Vid genomförandet av väggtestet så klarade ZigBee att ta sig genom sex innerväggar i kontorslandskapet hos Regin medan Z-Wave klarade åtta väggar och EnOcean klarade fem. När det kom till betongväggarna så klarade ZigBee och EnOcean endast av två stycken medan Z-Wave klarade av tre stycken varav den ena var på diagonalen.

För att förklara skillnaden mellan de olika teknikerna så måste det tas hänsyn till de olika egenskaperna som skiljer dem åt. ZigBee använder frekvensen 2,4GHz emedan Z-Wave och EnOcean utnyttjar 868 Mhz. Det finns även skillnad i antennen och uteffekten. I de satsar som använde oss av så har Z-Wave en stor rundstrålande antenn medan ZigBee har en kretskortsantenn och EnOcean har en bit kabel. På grund av sin fokus på strömsnålhet sänder EnOcean också med mindre effekt. Sammantaget ger detta en förklaring av resultatet, Z-Wave var överlägset bäst i tuff miljö nere i en källare med betongväggar, även i kontorslandskapet uppvisade den bättre räckvidd. Detta på grund av frekvensvalet och lämplig antenn. EnOcean däremot förlorar då de valt att satsa på strömsnålare design och därmed mindre uteffekt samt en sämre antenn.

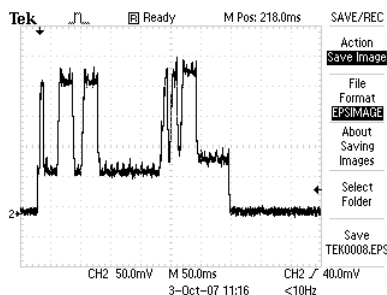
5.2.5 LOS-test

Både ZigBee och Z-wave klarade i detta testet av strax över 300meter. Även om det i praktiken aldrig kommer att komma upp i dessa avstånd ger det ändå en bra fingervisning om kapaciteten hos teknikerna.

5.2.6 Strömförbrukning

Då ZigBeemodulerna medgav flest inställningsmöjligheter och insyn i kod så började strömförbrukningstesterna på dessa. Noderna valdes till att vara

end-devices då det är dessa som kommer sitta på de batteridrivna applikationerna. Programvaran som styrde modulerna vid leverans vaknade en gång i sekunden och då skickades ett paket och en bekräftelse mottogs. Totalt drog en vaken period 22 mAs och med ett batteri på 3000 mAh så klarade sig noden i nästan sex dagar. Minskas periodtiden till en gång var tionde sekund så klarar den sig i 56 dagar och en gång i minuten ger en livslängd på 340 dagar. Detta är inte i närheten de förväntade värdena så en misstanke uppstod om att programkoden inte var helt optimal. Efter att ha minskat ner programkoden och minimerat perioden då enheten var vaken gick förbrukningen ner till 1,5 mAs per vaken period. Hur strömförbrukningen såg ut vid detta tillfälle visas i figur 5.1. Detta ger då en operationell tid på 83



Figur 5.1: Figuren visar en oscilloskopbild över strömförbrukningen hos ZigBee-radion med en minimal paketstorlek.

dagar vid sändning en gång i sekunden och 13,7 år vid sändning en gång i minuten. De krav som ställts från Regin är att batteri helst inte ska behövas bytas mer än en gång var tionde år och max en gång var femte år.

När vi gjorde motsvarande beräkning hos EnOcean så fick vi fram att rumsenheten drar cirka 1,5 mAs per vaken period. I rumsenheten har vi förutom EnOceans modul även OP-förstärkare och annan elektronik som tillsammans drar cirka 1 mAs. Fördelen med EnOceans modul är kondensatorn som gör att den kan drivas med en solcell då den inte behöver ha 1.5 mAs under just den perioden utan kan få kondensatorn uppladdad även under perioder då den sover. Rumsenheten vi konstruerar har en periodtid på 110 sekunder och om inga förändringar inträffat så skickar den bara paket var 100:e gång den är vaken, dvs var tredje timme.

Då det på Z-Waves moduler fanns mer elektronik än nödvändigt och det faktum att deras programkod inte fanns tillgänglig ansågs mätningar på deras moduler vara irrelevanta.

5.2.7 Tillförlitlighet

I vår implementation har vi valt att använda oss av EnOcean och sedan modulerna blev klara har de varit monterade i vårt rum för ett primitivt drifttest. Mottagaren har varit i gång i tre veckor utan några missöden och rumsenheten har varit igång i cirka två månader och har under den tiden fungerat problemfritt. Därav dras slutsatsen att tillförlitligheten från EnOceans sida är mycket bra.

5.3 Resultat av implementationen

Resultatet efter implementationen blev bättre än väntat. Ett enkelt, men likväl fullt fungerande, styrsystem för ett rum har implementerats. I systemet ingår följande:

En centralenhet vilken har rollen som huvudnod i hela systemet. Centralenheten bygger på en EXOCompact till vars serieport det har kopplats en RCM120 vilken tar emot paket och sänder dem vidare till EXOCompact:en. Vidare har det skrivits ett par applikationsprogram i EXOCompact:en som behandlar den data som kommer in via serieporten och styr utgångar samt visar värden på displayen.

En rumsenhet som är baserad på Regins Room Controller RC-FO. Den här enheten har temperaturgivare, börvärdesratt, knapp för forcerad ventilation och fläktställare och drivs helt av solcellen på dess framsida. Radiokretsen är en EnOcean STM110 till vars ingångar funktioner som ska skickas över till centralenheten är anslutna.

En närvarogivare i form av en IR-detektor. Även denna har en EnOcean STM110 som radiomodul. Tyvärr har den inte kunnat drivas av solceller ännu utan går på batteri. Den uppmätta batteritiden för denna är ungefär en månad. Anledningen till den korta batteritiden är att denna prototyp egentligen är nätmatad med 24V och därför inte är optimerad för batteridrift.

En fönsterkontakt och en **tryckknapp**. Fönsterkontakten är en standard solcellsdriven EnOcean STM250 som med hjälp av en magnetkontakt vet om ett fönster eller en dörr är öppen och skickar informationen till centralenheten. Tryckknappen är en standard EnOcean PTM200 vilken fungerar med hjälp av den rörelseenergi som alstras när knappen trycks in. Då skickar den ett paket till centralenheten som tänder/släcker eller dimmar de analoga utgångarna upp/ner.

Systemet fungerar mycket bra och EnOceans moduler har fungerat över förväntan.

Inga stora svårigheter infann sig och när allt var klart fungerade systemet

som det var tänkt. Två problem visade sig dock vilka inte har blivit helt lösta ännu. Det första handlar om energibesparing. Rumsenheten fungerar inte så länge i mörker som vi trodde den skulle göra. Tyvärr håller den inte ut ens en hel natt och detta är ett bakslag då vi trodde att den skulle klara en hel helg på den energi som lagrats i kondensatorn. Anledningen till att den inte fungerar så länge som vi trodde kan ha ett par orsaker. För det första är det vinter, det vill säga det är relativt mörkt ute. För att kondensatorn ska bli helt fulladdad behövs en viss mängd ljus under en viss tid och det är möjligt att den inte får tillräckligt med ljusenergi för att bli fullt uppladdad. Den andra orsaken till att den inte fungerar tillfredställande kan bero på att de komponenter som vi har haft tillgång till inte är de optimala och därför drar värdefull ström. Dessa problem är inte oöverbärliga. Rumsenheten börjar fungera i samma stund som det tänds en lampa eller annan ljuskälla när solcellen. Det vill säga så länge som rummet används frekvent kommer det inte att uppstå något problem då enheten kommer att vara död i som mest ett par timmar. Men under längre perioder av mörker kan det bli problem. Även om enheten fungerar optimalt kommer den bara att fungera under som mest ett par dagar utan tillfört ljus. I den applikation som skrivs för att styra rummet måste det alltså tas hänsyn till att det inte kommer någon information från rummet under en lång tid.

Det andra problemet bestod i att det inte gick att driva IR-detektorn på solceller som det var tänkt. Anledningen var helt enkelt att den drog för mycket ström. Så länge som det är ljust i lokalen går det bra men så fort det blir mörkt laddas kondensatorn ur mycket fort. En lösning kan vara att driva detektorn med både solceller och batteri eller att sätta in en större kondensator. Att tänka på när en större kondensator monteras är att den drar mer energi för att laddas upp vilket gör att det behövs fler solceller eller längre exponeringstid för att den ska laddas upp till full kapacitet.

Kapitel 6

Diskussion och slutsatser

I det här kapitlet förs det en diskussion om de olika teknikerna. Vidare dras slutsatser och lämnas förslag på vidare arbete inom detta område.

6.1 Diskussion

Som det beskrivits i kapitel fyra blev det EnOceans teknik som ansågs som den bästa för vårt ändamål. Många faktorer spelade in och den främsta var att det är en extremt energieffektiv teknik som trots det är både robust och tillförlitlig. EnOceans energibesparande teknik är idealisk för den här typen av enkla applikationer som inte har några stora datamängder att överföra eller krav på att meddelande som skickas bekräftas. Detta kan givetvis bli ett problem eftersom datapaket kan försvinna utan att det upptäcks. Därför kommer det att vara viktigt att det görs en bra fältstudie där systemet ska installeras för att minimera dessa risker.

ZigBee är den teknik som kan ses som en god tvåa. Trots problem med att det inte finns några profiler än och att protokollet inte är helt färdigutvecklat, har den goda förutsättningar att lyckas. Även om den drar mer ström än EnOcean så är den fortfarande strömsnål och kan drivas på batteri i flera år. Fördelarna med ZigBee jämfört med EnOcean är att ZigBee använder sig av kryptering, skickar bekräftelser på att meddelanden har kommit fram och klarar av betydligt större datamängd. Detta gör nätet mycket mer robust och driftsäkert, men i det begränsade utrymme som rummet ändå utgör har den här funktionen inte så stor betydelse. Särskilt inte om de sker på bekostnad av att systemet blir mycket mer effektkrävande. ZigBee med sin självläkande funktion och den relativt stora dataöverföringshastigheten skulle däremot fungera utmärkt som ett stamnätverk för att koppla ihop centralenheter med till exempel en huvuddator.

IEEE-standarderna 802.15.4 kan ses som ett första steg mot ett trådlöst nätverk som klarar större trafik i väntan på att ZigBee blir fullt utvecklat. Det faktum att ZigBee sedan bygger vidare på den här standarden gör den

ännu attraktivare då det kommer att finnas en färdig infrastruktur att bygga vidare på när den tekniken kommer fullt ut.

Även om Z-Wave, precis som ZigBee, är en lösning med självläkande nätverk och relativt stor dataöverföringshastighet så hamnar den på tredje plats. Anledningen är till stor del på grund av den bristande insynen i standarden. Precis som för ZigBee så kostar det även stora summor att bli medlem och få använda sig av deras produkter och namn.

Att det är så stor skillnad mellan EnOcean och ZigBee gör att det egentligen inte går att utse en generell vinnare. Hade ZigBee varit längre fram i sin utveckling med färdiga profiler och om det hade gällt ett system som kräver att större datamängd transporteras hade de vunnit. Men nu eftersträvades en teknik som var framför allt strömsnål och då stod EnOcean som segrare.

6.2 Slutsatser

Målet för detta arbete var att vi skulle ta fram en rekommendation till Regin om hur deras fortsatta produktutveckling inom trådlös teknik skulle se ut. Vilken teknik de skulle använda och hur mycket arbete de skulle behöva lägga ner för att ta en del av marknaden inom detta området. Under arbetets gång har vi haft kontinuerliga samtal med personal på Regin där vi diskuterat vad vi kommit fram till och hur vi ska gå vidare. På detta sätt har vi hela tiden fått respons på våra resultat.

Då den trådlösa marknaden är relativt ny inom fastighetsautomationsbranschen och därmed också osäker, vill Regin gå in och undersöka och eventuellt etablera sig på marknaden med minsta möjliga kostnad och risk. Att välja EnOcean som teknik föll då naturligt då både ZigBee och Z-Wave innebar mycket större kostnader i form av inte bara utveckling utan även stora licenskostnader.

Inte bara i jämförelse med ZigBee och Z-Wave utan med alla tekniker på marknaden idag är EnOcean överlägset den som förbrukar minst energi och därmed den enda som fullt ut lämpar sig för solcellsbruk.

Enkelheten och det faktum att det är den enda av de tre tekniker vi tittade närmare på som i dagsläget är fullt fungerande gör att EnOcean har överlägset kortast "time to market".

6.3 Fortsatt arbete

Nästa steg blir att förbättra de prototyper som tillverkats, få ner energiförbrukningen så mycket som möjligt och sedan göra produkter av det. På mottagarsidan finns där en hel del kvar att göra i form av integrering med Regins befintliga programvara.

Då EnOcean har moduler för dubbelriktad kommunikation med möjlighet för modemuppkoppling mellan två TCM120, så finns där en stor potential

för vidareutveckling.

Genom att skapa gateways mot andra typer av nätverk kommer det att gå att bygga ett stomnät som bygger på till exempel ZigBee för att sedan transportera runt data i byggnaden. Som förslag blir då att titta närmare på 802.15.4 för att bygga ett nät. När så ZigBee blir utvecklad och klar för kommersiell användning kommer det att gå relativt snabbt att få ut ett fungerande system som bygger på den tekniken.

Under arbetets gång har ZigBee alliance släppt en ny standard, ZigBee 2007, där de ska ha löst flera av de problem som standarden hade innan. Att utvärdera denna uppdatering är lämpligt vid fortsatta studier om trådlösa tekniker.

Litteraturförteckning

Litteratur

- [1] B.A. Forouzan, *Data Communication and Networking, third edition*, McGraw-Hill, 2004, ISBN 0-07-251584-8
- [2] M. Areskoug, *Miljöfysik, Energi för hållbar utveckling*, Studentlitteratur, 2006, ISBN 91-44-03587-X

Rapporter

- [3] *Solceller. Teknik, marknad och svensk forskning 2000–2005*, Statens Energimyndighet

Manualer och dokument

- [4] *IEEE Standard 802.15.4, 2006*
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2006.pdf>
- [5] *ZigBee Specification*, ZigBee Alliance 2006
Document number 053474r13
- [6] *WirelessHart, Simple, Wireless, Secure*
<http://www.hartcomm2.org/>
- [7] *Z-Wave Protocol overview*, Zensys A/S 2006
Document number SDS10243, version 2
- [8] *Z-Wave Node Type Overview and Network Configuration*, Zensys A/S 2006
Document number INS10244, version 4H
- [9] *STM110 User Manual v1.2 July 2007*, EnOcean 2007
http://www.enocean.com/en/enocean_modules/stm-110-stm-110c/

- [10] *STM250 User Manual v1.52 May 2007*, EnOcean 2007
http://www.enocean.com/en/enocean_modules/stm-250/
- [11] *TCM120 User Manual v1.51 May 2007*, EnOcean 2007
http://www.enocean.com/en/enocean_modules/tcm-120/
- [12] *RCM110/120 User Manual v1.93 April 2007*, EnOcean 2007
http://www.enocean.com/en/enocean_modules/rcm-110-112/
- [13] *PTM200 User Manual v1.25 July 2007*, EnOcean 2007
http://www.enocean.com/en/enocean_modules/ptm-200/
- [14] *EnOcean Application note AN005*, EnOcean 2007
<http://www.enocean.com/en/application-notes/>
- [15] *Insteon the details August 2005*, Smartlabs 2005
<http://www.insteon.net/pdf/insteondetails.pdf>
- [16] *Measuring power consumption with CC2430 & Z-Stack*, Texas Instruments 2004
<http://focus.ti.com/lit/an/swra144/swra144.pdf>
- [17] Reglering för trådlös radiosändning inom EU, *ETSI EN 300 328 V1.4.1 (2003-04)*
<http://www.wenshing.com.tw/SERVICE/pdf/CE2.4g.pdf>

Internet

- [18] ZigBee Alliance (besökt 18/1-2008)
<http://www.zigbee.org>
- [19] Zensys (besökt 21/1-2008)
<http://www.zen-sys.com>
- [20] Z-Wave alliance (besökt 21/1-2008)
<http://www.z-wavealliance.com>
- [21] Om EnOcean (besökt 28/9-2007)
<http://www.enocean.com/en/company-profile/>
- [22] EnOcean's koncept (besökt 30/9-2007)
http://www.enocean.com/en/enocean_concept/
- [23] EnOcean's vision om Energy Harvesting (besökt 17/10-2007)
<http://www.enocean.com/en/energy-harvesting/>
- [24] Nätverkstopologier från Wikipedia (besökt 29/1-2008)
http://en.wikipedia.org/wiki/Network_topology

- [25] Wavenis (besökt 24/9-2007)
<http://www.coronis.com>
- [26] Tillverkaren av EnOceans solceller (besökt 16/1-2008)
<http://www.sinonar.com.tw>

Appendix

Appendix A

Summary in English

Within building automation there has long been a desire to avoid unnecessary wires to all actuators and sensors that are allocated in a building. Window contacts, infrared detectors and room thermostats all need both power and data cables to work properly. It is easy to realise that this may be both hard and expensive and that in many environments the esthetics is a major factor.

Introduction

The goal with this master thesis report is to investigate different wireless and power saving solutions to implement in to products in building automation. Different requirements were set and the most important is that the chosen technique is very low on power. The final goal is to make a totally autarkic product that only rely on it self when it comes to power generation.

Mesh networks

In an early part of this work the focus was set on so called mesh networks. A mesh network is a network that consists of several nodes, all of which can talk to there closest neighbours. Given that there also is a routing function in the network, nodes that normally are to far from each other are able to communicate with each other via other nodes in the network.

ZigBee

The first mesh networking technique that was looked upon was ZigBee. ZigBee is a standard that is developed by the ZigBee Alliance. The standard is an extension of the IEEE standard 802.15.4 which is a standard for small, power conservative, application networks. The idea of the ZigBee standard is that so called profiles is developed for different products. When a manufacture wants to implement a product with ZigBee it takes the profile and

include it in the product. By doing so the manufacture guarantees that the product interact with other ZigBee products.

In ZigBee the network consists of three kinds of nodes. The coordinator is the head node of the network. This node has all information of the network and is the one the routers ask if they need directions. The routers in the network are the ones that carry the data around. They know about there closest neighbours and provide the coordinator with this information. These two node types have the drawback that they perform quite heavy calculations and data transmission. This leads to that they need to be fed with a reliable power source and can not be supplied by battery. The final node type in ZigBee is the end node. This node is not capable of transmitting any data in the network apart from the data that it self transmit to its parent node. To suppress power consumption the end node sleeps most of its time and only wakes up in short intervals to transmit sampled data. This makes the end node power conservative enough to function on a battery alone. The end node is preferably put in sensors and actuators that do not need any power source apart from a battery since this will make the sensor or actuator completely wireless.

The major drawback with ZigBee is that the standard is not complete yet. There are products on the markets that have ZigBee implemented but products from different manufactures are unable to interact.

Z-Wave

The second mesh networking technique that was studied was Z-Wave. Z-Wave belongs to the Z-Wave Alliance that is similar to the ZigBee Alliance. Apart from ZigBee Z-Wave is developed by a single developer and therefore it has been easier to come up with a standard that actually works. The technique works similar to ZigBee but the node types have different names and a slightly different functionality.

The fact that Z-Wave has a standard that works gives it a head start against ZigBee. There are several products on the market from different manufactures that implements Z-Wave. However, the standard is more closed than ZigBee and is also slightly more expensive.

EnOcean

Apart from ZigBee and Z-Wave, EnOcean is not a mesh technique. Its strength lays in the techniques extreme power conservation. The technique is built around a module that easily integrates in almost any product.

Extreme power conservation means in this case that the modules are able to function on the energy from solar cells, the energy produced from pushing a button or the energy produced by vibrating machines or humans. The en-

ergy is used instantly or stored in a capacitor for further use. To be able to send messages with the finite amount of power that is produced, EnOcean has developed a protocol with packages only 14 bytes long. This means that there is not much data transmitted in each package but it is enough for the purpose.

Implementation

The technique that was chosen for the implementation was EnOcean. This was because of the extreme power conservation and the no need for the complexity of the mesh techniques.

The products that were converted to communicate with EnOcean were three products from Regins standard assortment. A movement detector, a room unit and a Device Under Control (DUC). The movement detector and the room unit were equipped with an EnOcean transmitter that transmits data from the devices to the DUC that was equipped with an EnOcean receiver. The receiver contains a serial interface that was connected to the serial port of the DUC. Applications in the DUC get the data from the wireless devices and performed different actions.

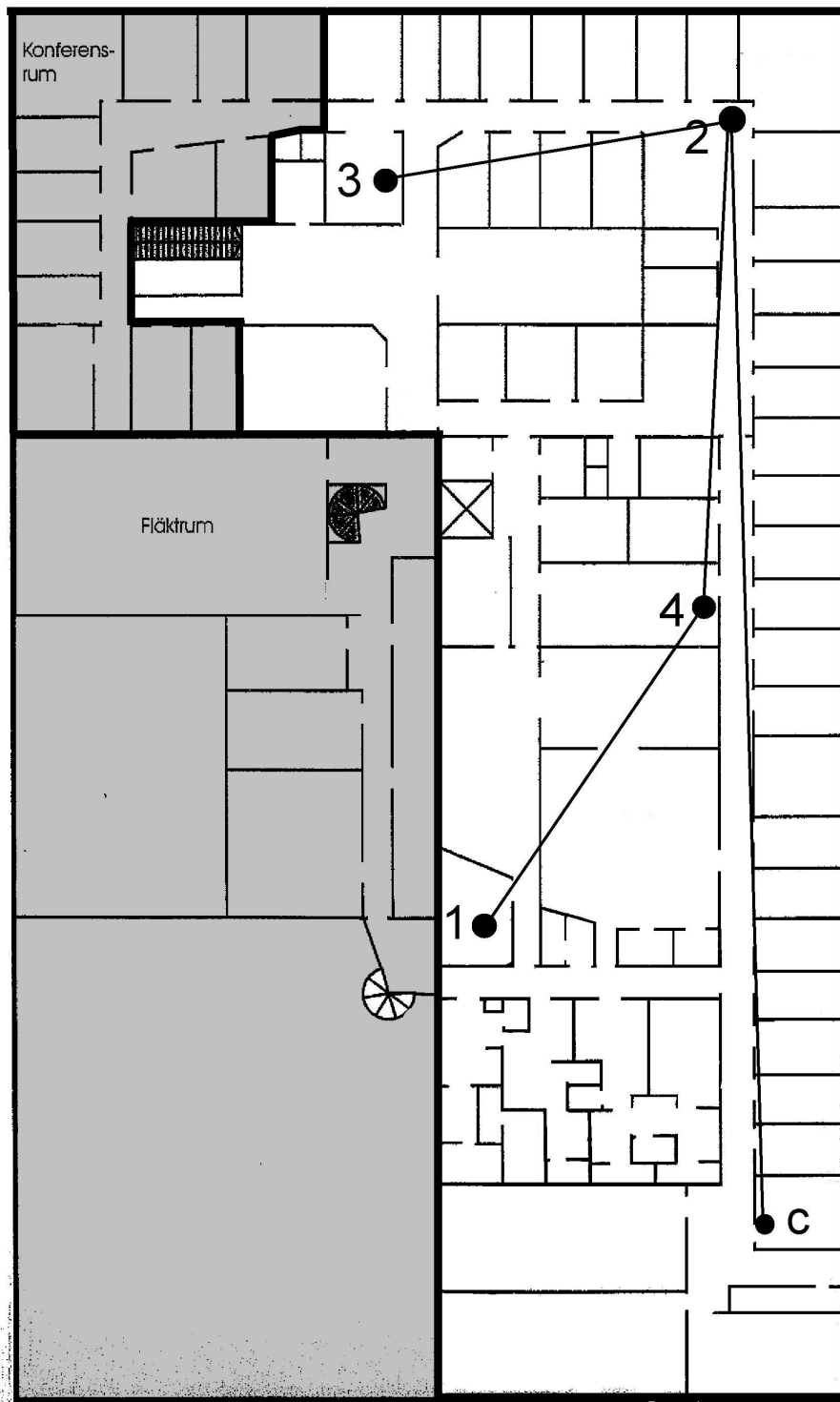
Future

The products are far from complete and therefore the future will contain much work to make those products ready for the market.

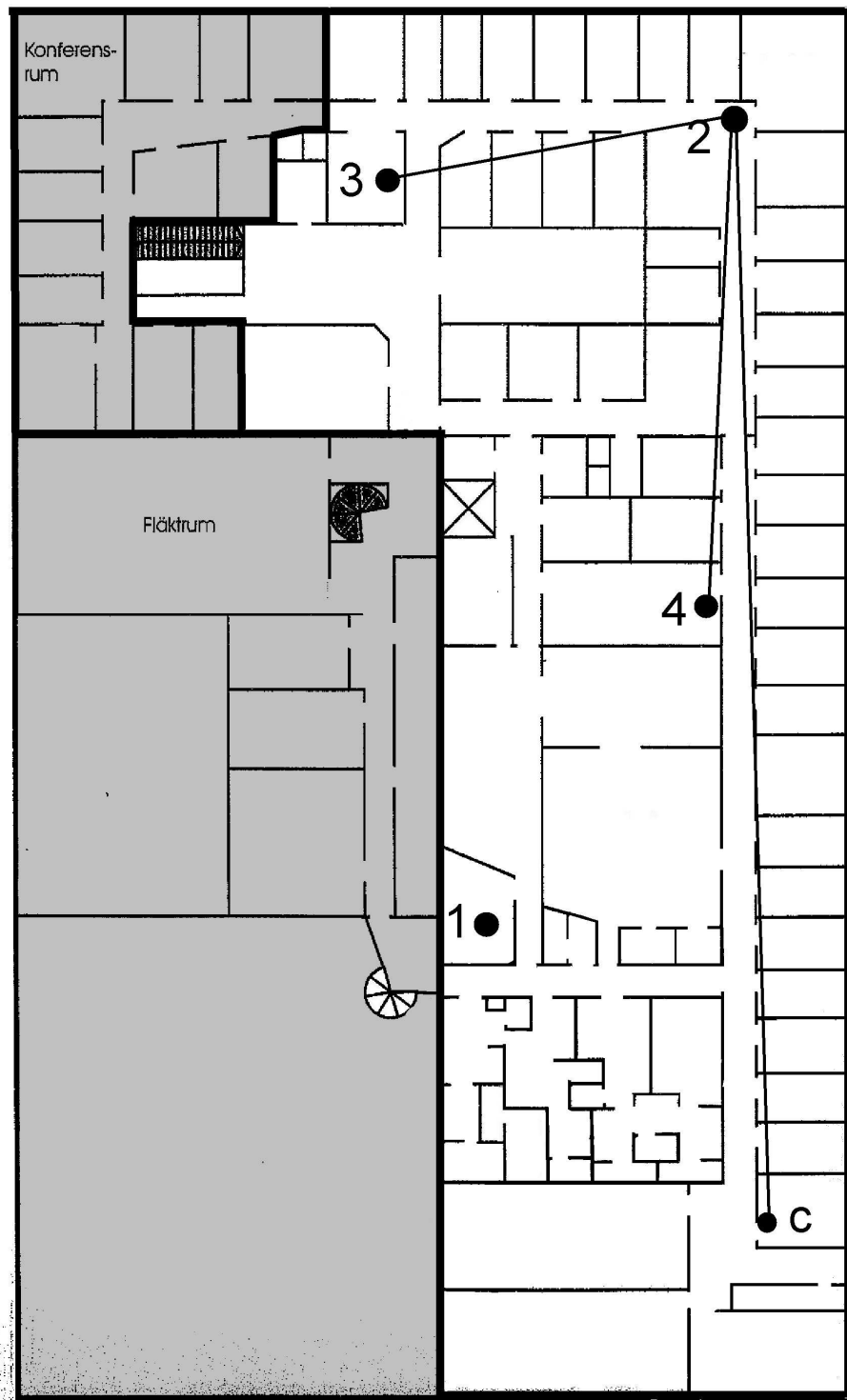
The technology from EnOcean suits the room environment quite well. There are short distances and very little data to transmit. However the communication paths between rooms and from the rooms to the main computer require much higher data rates. In this case the technology from e.g. ZigBee is more suitable. This technology provides the security and the data rates required. Therefore it is natural to continue research in this area.

Appendix B

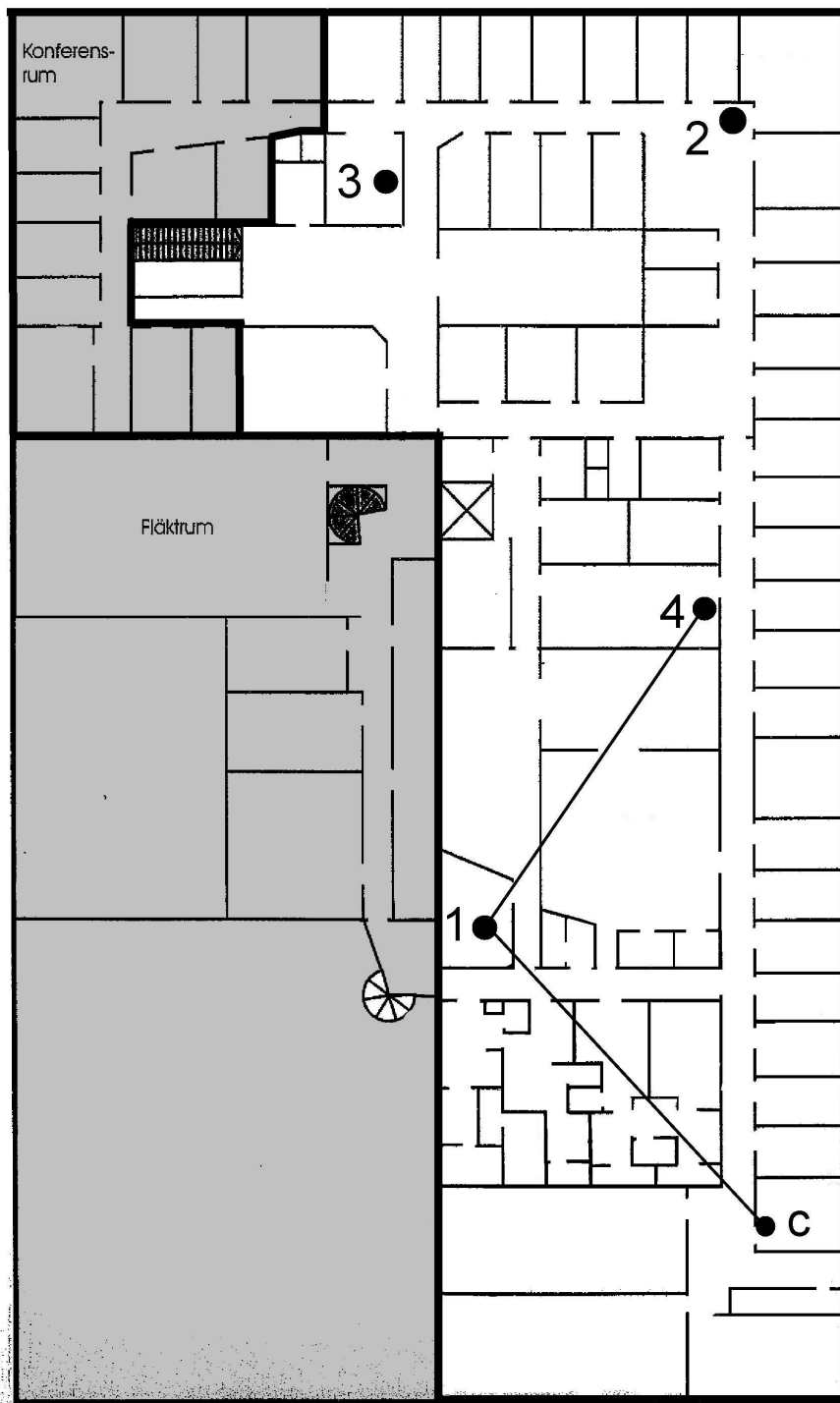
Signalvägar



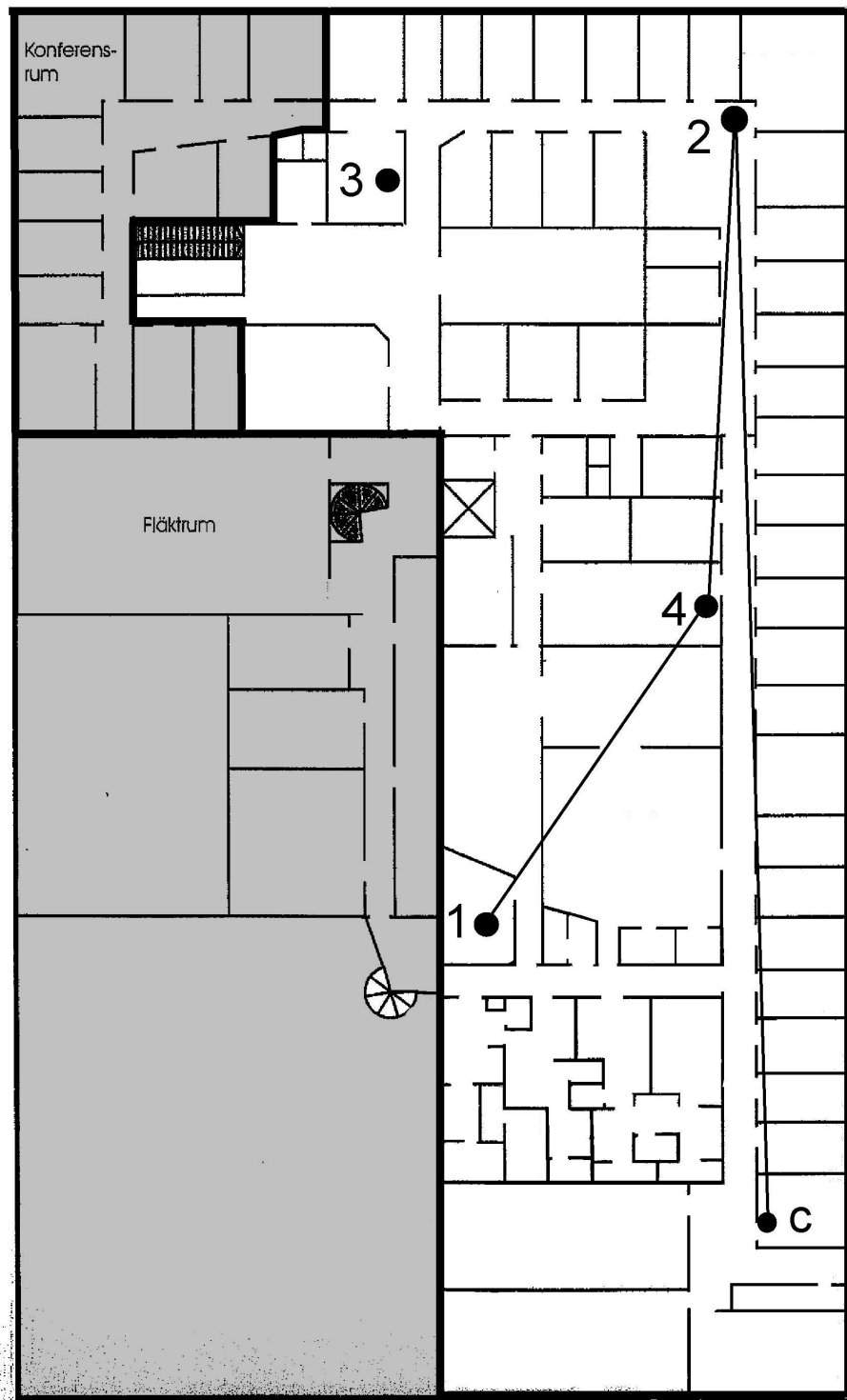
Figur B.1: Originaluppställningen med alla noder på plats och fullt fungerande. Som synes täcker dessa fem noder in hela Regins kontor.



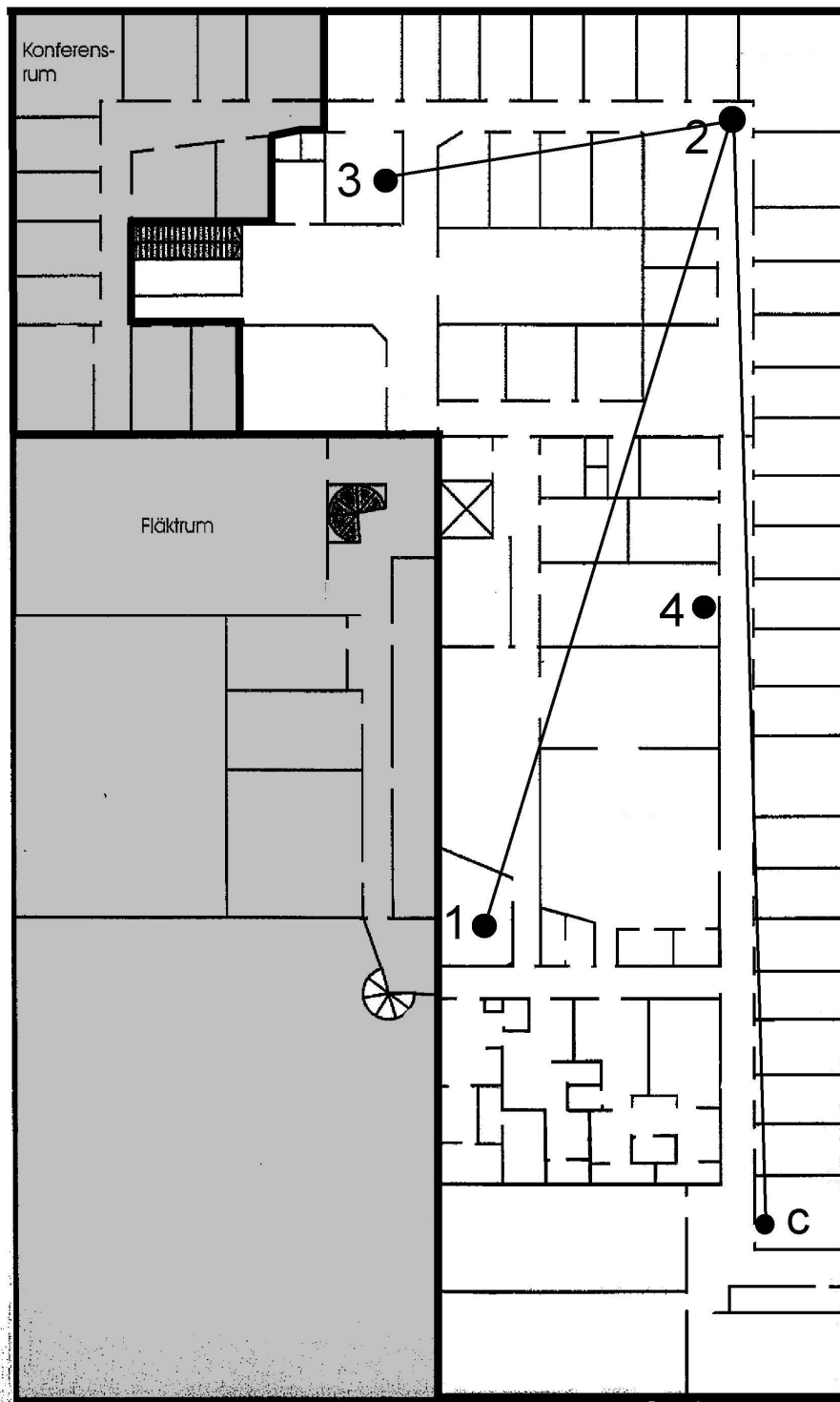
Figur B.2: Då nod 1 inte fungerar längre kommer den delen av kontoret att bli utan router. Men resten av nätet fungerar som det ska.



Figur B.3: När nod 2 slutar fungera routar nätet om så att koordinatorn kopplar upp direkt mot nod 1. Dock försvinner nod 3 från nätet då det inte finns nog med signalstyrka för att nå fram till nod 1.



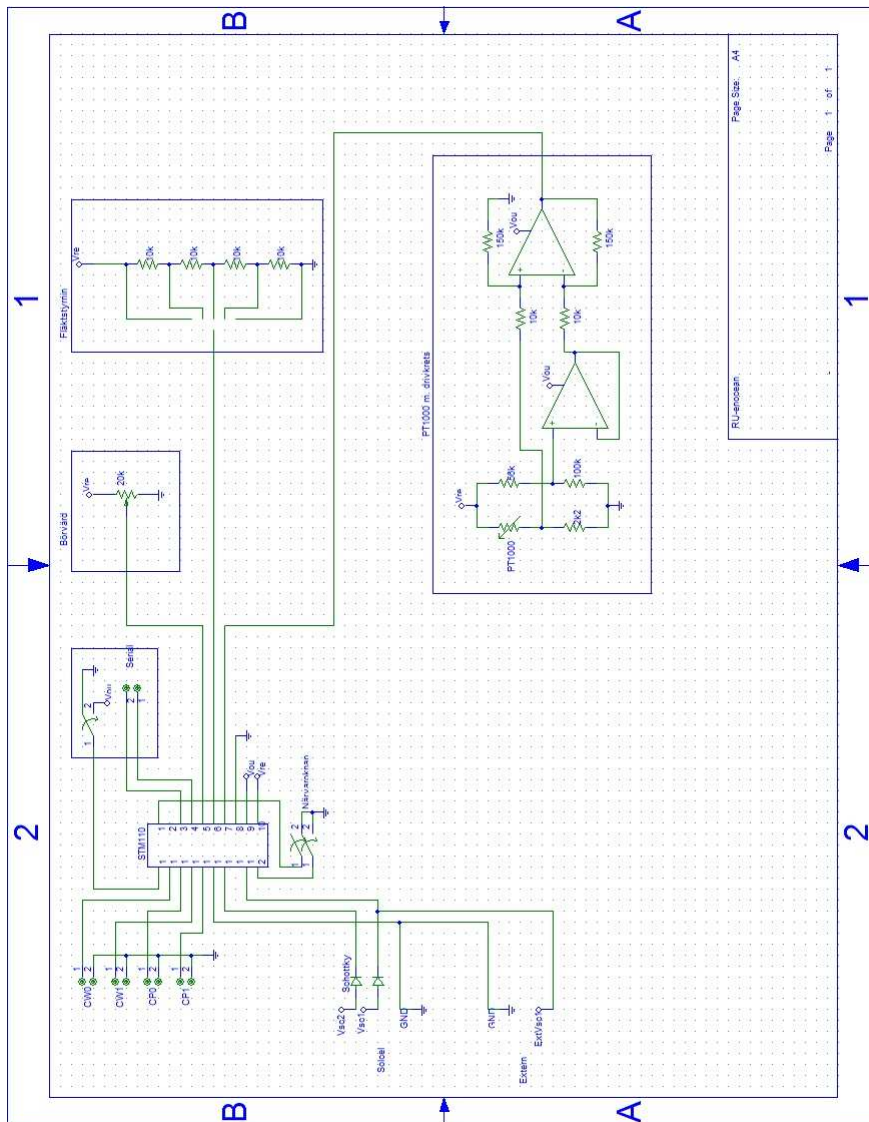
Figur B.4: Då nod 3 slutar fungera blir den här delen av kontoret utan nät. Resten av nätet fungerar som det ska.



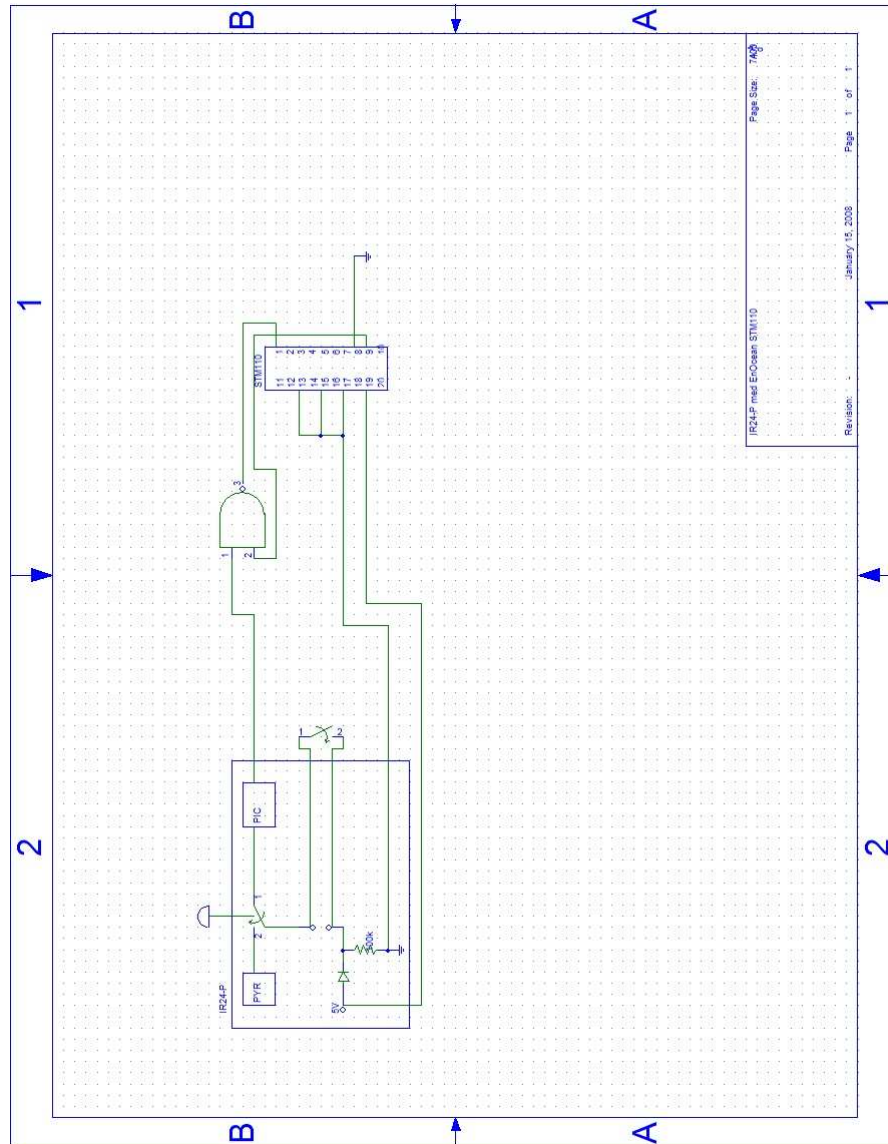
Figur B.5: När nod 4 slutar fungera routas signalen från nod 2 till nod 1 om så att dessa två får direktkontakt. Resten av nätet påverkas inte.

Appendix C

Krettschema



Figur C.1: Kopplingschema för rumsenheten.



Figur C.2: Kopplingsschema för IR-detektorn.