



Lasse Mäkelä

HALLAVAROITTIMEN ANTUROINTI

HALLAVAROITTIMEN ANTUROINTI

Lasse Mäkelä
Opinnäytetyö
2.12.2010
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Tietotekniikan koulutusohjelma	Insinöörityö	40	+	2
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Langaton tietoliikenne	2010			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
OAMK, Vinski Bräysy	Lasse Mäkelä			
Työn nimi				
Hallavaroittimen anturointi				
Avainsanat				
Zigbee, IEEE 802.15.4, anturointi, Flowcode				

Opinnäytetyön aiheena oli hallavaroitinjärjestelmä. Järjestelmän tehtävänä on mitata maanviljelijän pelloilla lämpötilaa ja varoittaa viljelijää tarpeen tullen hallasta.

Järjestelmä toteutettiin käyttämällä IEEE 802.15.4 -standardin päälle rakennettua Zigbee-tekniikkaa. Tekniikka mahdollistaa vähävirtaiset langattomat radioverkot, joiden avulla on helppo rakentaa esimerkiksi sensoriverkkoja. Lisäksi työssä käytettiin GSM-tekniikkaa varoittimessa.

Työ toteutettiin fyysisesti Matrix Multimedian rakennussarjalla, joka sisältää Zigbee-radion sekä mikrokontrollerin. GSM-modeemina työssä oli Nokian 12i -moduuli. Työn ohjelmallinen osuus suoritettiin pääosin käyttämällä Matrix Multimedian luomaa vuokaavio-ohjelmointikieltä Flowcode ohjelmalla. Tämän lisäksi työssä käytettiin C-kieltä.

Lopputuloksena saatiin toimiva ratkaisu, joka ajaa tarkoituksensa. Anturiverkko kerää dataa mahdollisten anturien avulla ja toimittaa tiedon koordinaattorin kautta pääkäyttäjälle GSM-verkon avustuksella.

ABSTRACT

Degree Programme	Thesis	Pages	+	Appendices
Information Technology	B.Sc.	40	+	2
Line	Time			
Wireless Telecommunication	2010			
Commisioned by	Author			
OAMK, Vinski Bräysy	Lasse Mäkelä			
Thesis title				
Sensor Network of Frost Alarm System				
Keywords				
Zigbee, IEEE 802.15.4, Sensors, Flowcode				

The title of this thesis was a sensor network of Frost Alarm System. The system's function is to measure temperature and warn system user for possible frost.

The System was made with a Zigbee technology what is based on IEEE 802.15.4 standard. Zigbee allows to develop wireless networks with very low power. Different sensor networks is easy to build with Zigbee. Warning part of system was build with GSM-technology.

System was build with development board by Matrix Multimedia. It includes Zigbee radio and microcontroller. GSM modem what was used was Nokia 12i. Major programming part was made with Flowcode. Also C-language was used in this project.

The result of this project was working system. Sensor network collects data using sensors and sensor nodes will send data to coordinator. Coordinator will send data to system user via GSM.

ALKUSANAT

Haluan kiittää Oulun seudun ammattikorkeakoulua mahdollisuudesta toteuttaa tämä työ. Opinnäytetyön tilauksesta ja ohjauksesta kiitän tuntiopettaja Vinski Bräysyä sekä osastonjohtaja Jari-Pekka Rontua. Lehtori Tuula Hopeavuorta haluan kiittää työn kielellisestä tarkistuksesta ja ohjauksesta. Kiitokset myös harjoittelija Mikko Karjalaiselle ja suunnittelija Hannu Tepolle, jotka toimivat auttavina henkilöinä työn edetessä. Viimeisenä haluan erityisesti kiittää työpariani Harri Ahopeltoa, jonka ansiosta työ saatiin valmiiksi.

Oulussa 29.11.2010

Lasse Mäkelä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
SISÄLLYS	6
LYHENTEET JA TERMIT	7
1 JOHDANTO	9
2 MATRIX MULTIMEDIA -KEHITYSALUSTA.....	10
2.1 E-Blocks	10
2.2 Flowcode	13
3 IEEE 802.15.4 -STANDARDI.....	15
3.1 Laitetyypit	16
3.2 Liikennöinti	16
3.3 Arkkitehtuuri	17
3.3.1 Fyysinen kerros	18
3.3.2 MAC-kerros	19
3.4 Topologia	19
4 ZIGBEE	21
4.1 Zigbeen laityypit	21
4.2 Zigbeen topologiat	22
4.3 Unitilat.....	24
5 SUUNNITTELU	25
6 TOTEUTUS	26
6.1 Anturiyksikön toteutus	26
6.2 Koordinaattorin toteutus.....	30
7 VAIHTOEHTOISET MENETELMÄT.....	36
8 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	37
LÄHTEET	39
LIITTEET	
Liite 1. Koordinaattorin vuokaavio	
Liite 2. Anturiyksikön vuokaavio	

LYHENTEET JA TERMIT

CCA	Clear Channel Assessment, toiminto MAC-kerroksen tilan määrittämiseen
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, siirtotien varausmenetelmä
CSS	Chirp Spread Spectrum, hajaspektritekniikka
CTS	Clear to Send, kuittaus vapaaseen lähetykseen
FFD	Full Function Device, täysin toimiva laite
GTS	Guaranteed Time Slots, määrättyt aikavälit
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö
ISM	Industrial, Scientific and Medical, maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisointijärjestö
LCD	Liquid Crystal Display, nestekidenäyttö
LLC	Link Logical Control, siirtoyhteyskerroksen osa
LR-WPAN	Low Rate -Wireless Personal Area Network, vähävirtainen likiverkko
LQI	Link Quality Indication, radiotien laadun määrittäminen
MAC	Medium Access Control, siirtoyhteyskerroksen osa
OSI	Open Systems Interconnection Reference Model, tiedonsiirtoprotokollien yhteinen malli

PAN ID	Personal Area Network Identification, henkilökohtaisen verkon ID
RFD	Reduced Function Device, rajoitettu laitteen toiminta
RTS	Ready to Send, valmis lähetettäväksi
SSCS	Service Specific Convergence Sublayer, alikerros Zigbeeen liittämiseksi
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver Transmitter), sarjaliikenteen lähetys- ja vastaanotto piiri
USB	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri
UWB	Ultra-wideband, lyhyisiin pulsseihin perustuva radiotekniikka
WPAN	Wireless Personal Area Network, likiverkko

1 JOHDANTO

Nykypäivänä langattomuus näkyy lähes joka puolella. Erilaisia langattomia sovelluksia on oikeastaan joka paikassa, eikä niitä välttämättä aina huomata. Langattomuudesta on paljon hyötyä, sillä tietoa saadaan siirrettyä hankalista paikoista vaivatta ja nopeaa. Yksi langattoman tiedonsiirron sovelluskohde on maanviljely. Maanviljelyn parantamisessa ja tehostamisessa voidaan ottaa käyttöön langattomuus erilaisten anturien avulla. Antureilla voidaan mitata reaaliajassa säätä, maaperän koostumusta, happipitoisuutta tai mitä tahansa, mikä vaikuttaa viljelysten laatuun.

Idea tähän työhön lähti työparini Harri Ahopellon kanssa yhteisestä havainnosta, että mansikkatilat tarvitsevat jonkinlaisen varoitusjärjestelmän hallan uhkaa varten. Molemmilla on taustaa työskentelystä vastaavanlaisilla tiloilla, joten idea aiheelle tuli enemmän kokemuksen, kuin arvailujen varalta. Lopulta ideasta muokattiin lopputyöaihe.

Työ toteutettiin käyttämällä Zigbee-tekniikkaa anturoinnissa ja hälytysjärjestelmä toteutettiin käyttämällä GSM-tekniikkaa. Työnjako toteutettiin siten, että työparini työsti GSM-osuuden ja minä työstin anturiosuuden.

Työssä käydään läpi Zigbeeen teoriaa ja lisäksi tutustutaan Matrix Multimedia -nimisen yrityksen tuotteisiin, joilla työ osaksi suoritettiin. Työssä myös tutustutaan Matrix Multimedian kehittämään E-Blocks-rakennussarjaan, jonka avulla työn anturiosuus toteutettiin.

2 MATRIX MULTIMEDIA -KEHITYSALUSTA

Matrix on maailmanlaajuinen teknologia-alan yritys, jonka päämaja sijaitsee Englannin Halifaxissa. Matrixin tuotteista työssä on käytetty sekä Flowcode-ohjelmistoympäristöä sekä E-Blocks-rakennusarjaa. Nämä tuotteet ovat myös samalla Matrixin päätuotteet.

Päätuotteiden lisäksi Matrixin muita tuotteita on MIAC (Matrix Industrial Automotive Controller), joka on teollinen ohjausyksikkö, jolla voidaan kontrolloida laajoja erilaisia elektronisia järjestelmiä. Toinen oheistuote on Formula Flowcode, joka on kehitetty robotinohjaukseen. Kolmas Matrixin oheistuote on USB (Universal Serial Bus) -ohjelmoitava mikrokontrolleri, joka on tarkoitettu pieniin projekteihin sekä opiskelijoiden käyttöön. (1.)

2.1 E-Blocks

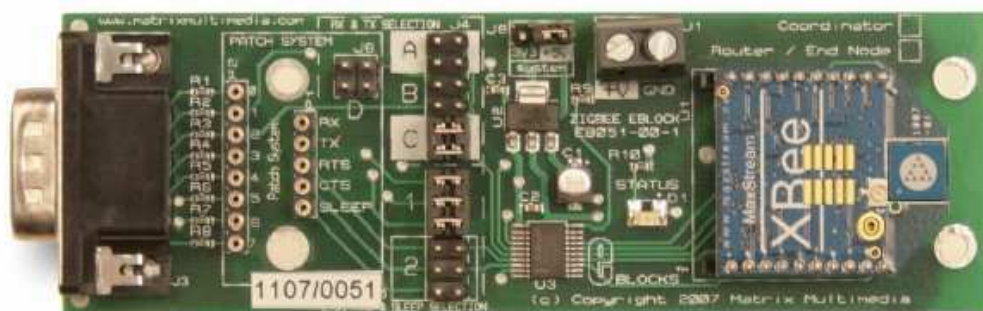
E-Blocks-rakennusarja on elektroniikkapiireistä koostuva kokonaisuus, jossa käytetään yleisimpiä sulautettujen järjestelmien komponentteja valmiiksi kasattuina rakennuspalikoissa. Yleisimpien komponenttien lisäksi sarjaan on mahdollista hankkia lukuisia langattoman median laitteita, kuten GSM-sovittimia, erilaisia radioita (Zigbee, Bluetooth, RFID jne), infrapunalähtimiä jne. Tarjonta on laaja ja laitteiston kehittyessä se kasvaa koko ajan. (2.)

AVR Multiprogrammer

Työssä käytettiin E-Blocksin AVR-mikrokontrolleri-multiprogrammeria. Korttiin voidaan liittää Atmelin AVR-perheen mikrokontrolleri. Kortissa on myös valmiit liitännät laajennuskorteille. Työssä käytettiin Atmelin Atmega 324P -mikrokontrolleria. Työ vaati mikrokontrollerilta kahta USART (Universal Synchronous / Asynchronous Receiver-Transmitter) -liitäntää, jotka molemmat löytyvät valitulta mikrokontrollerilta. (2.)

Zigbee-Radio

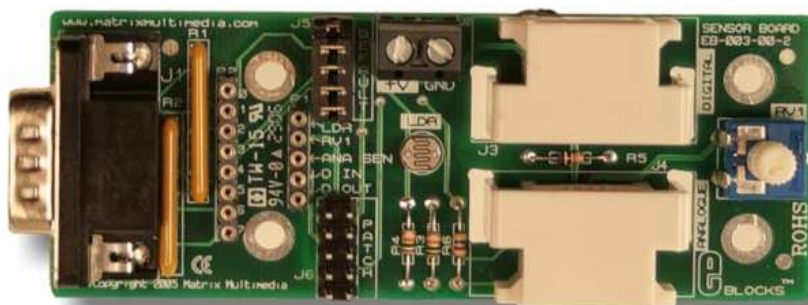
Työssä käytetään Zigbee-radiona Matrixin laajennuskorttia EB051C/R. Malli EB051C on esikonfiguroitu koordinaattoriksi. Vastaavasti EB051R on esikonfiguroitu reitittimeksi tai päätelaitteeksi. Laajennuskortin sisältämä Zigbee-radio on mallia Maxtreamin V2 XBEE. Kuvassa 1 on laajennuskortti EB051C/R. (2.)



KUVA 1. V2 XBee -moduuli (2)

Anturiliitäntäkortti

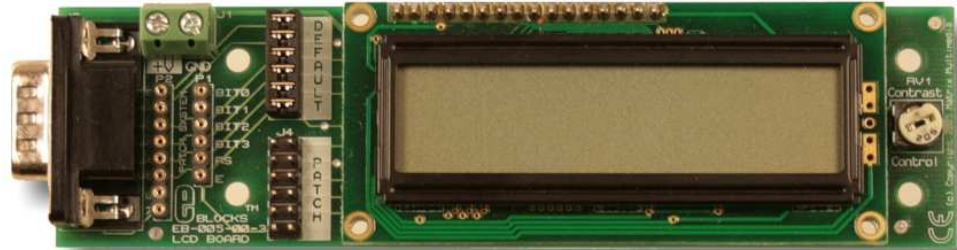
Anturin toiminnan mallintamisessa työssä käytetään Matrixin valmiista sensorilaajennuskorttia. Kortti sisältää valmiina valosensorin ja valmiin liitännän sekä analogiselle, että digitaaliselle sensorille. Lisäksi kortissa on potentiometri, jolla voidaan simuloida anturilta luettavaa dataa. Kuvassa 2 on anturilaajennuskortti. (2.)



KUVA 2. Anturiliitäntäkortti (2)

LCD-laajennuskortti

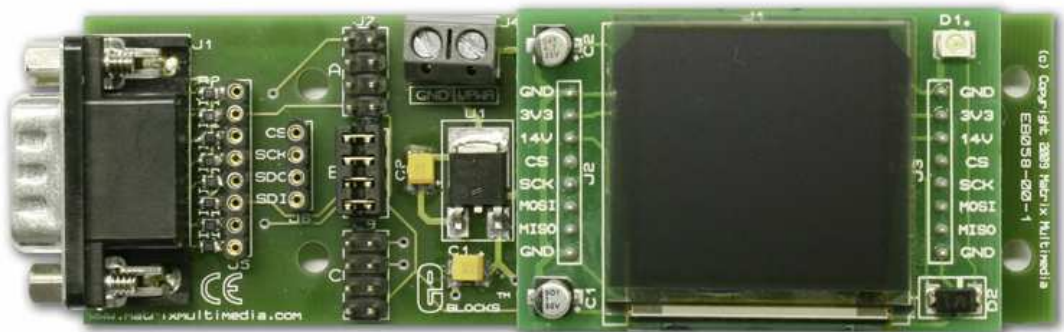
Työssä käytetään LCD (Liquid Crystal Display) -näyttöä testaukseen sekä anturiluvun havainnointiin. Näyttö kuuluu myös Matrixin valmiisiin laajennuskortteihin. Kuvassa 3 on LCD-laajennuskortti. (2.)



Kuva 3. LCD -laajennuskortti (2)

Graafinen LCD -laajennuskortti

Työssä käytetään graafista LCD -laajennuskorttia koordinaattorissa (kuva 4). Näytön tarkoituksena on esittää koordinaattorin eri vaiheita. Näytöllä on suuri merkitys laitteiston mahdollisten vikojen debuggauksessa (vian havainnoinnissa), koska sillä on helppo indikoida suoritettavan koodin eri osa-alueet. (2.)

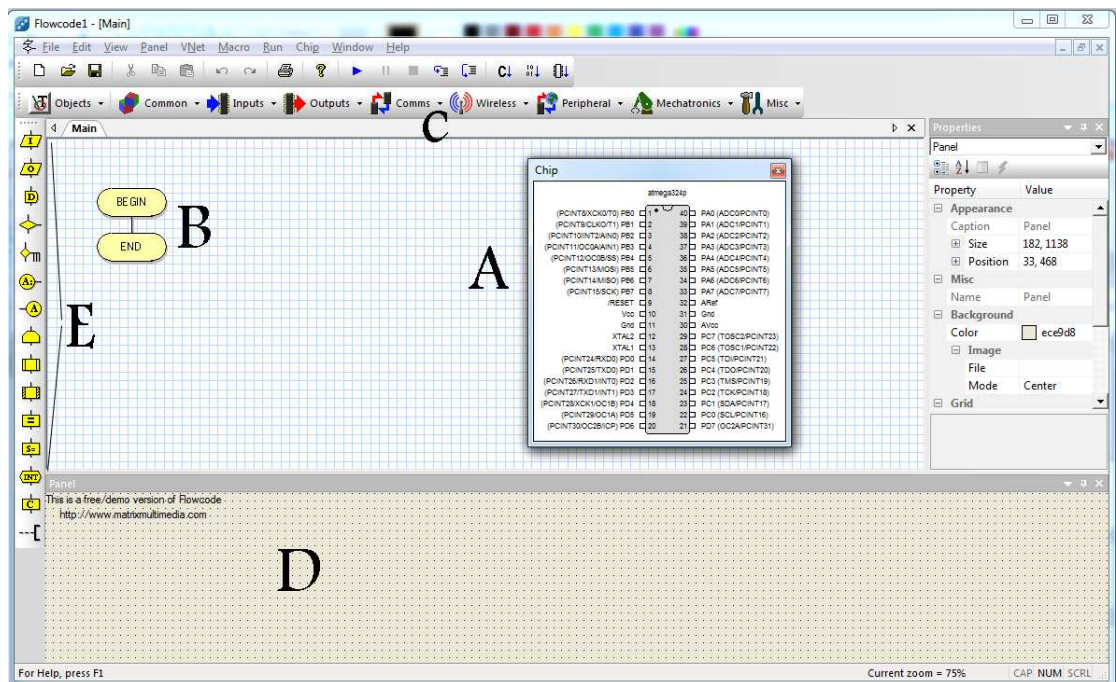


KUVA 4. graafinen LCD-laajennuskortti (2)

2.2 Flowcode

Flowcode on Matrixin kehittämä korkean tason ohjelmointiympäristö. Flowcodessa ohjelmointi on vuokaavio-ohjelmointia. Vuokaavio-ohjelmoinnissa ohjelman runko kuvataan piirroksilla ohjelman suorituksen alusta loppuun. Ohjelma muodostaa tehdystä kaaviosta C-kielisen sekä Assembly-kielisen koodin. Näiden lisäksi ohjelma kääntää koodin heksatiedostoksi, jonka voi ajaa ohjelmoitavalla prosessorille. Flowcodessa on laaja määrä esiohjelmoituja pohjia eri prosessoreille ja erilaisia komponentteja joiden määrittely koodin ohjelma suorittaa itse.

Työssä käytetty Flowcode-ohjelma on neljäs versio ja suunniteltu AVR-pohjaisille laitteille. Kuvassa 5 on ohjelman käyttöliittymä.



KUVA 5. Flowcode V4:n käyttöliittymä

Kuvan 5 kohdassa A näkyy valitun mikropiirin pinnikaavio sekä pinnien toiminta. Kohdassa B on ohjelman vuokaaviorunko, johon ohjelma ohjelmoidaan alku- ja loppupisteiden väliin (kuvassa 5 ruudut BEGIN ja END).

Kohdassa C on valikot erilaisille lisäkomponenteille, jotka voidaan liittää mikrokontrolleriin. Valikoista valitaan komponentti, ja se ilmestyy D-kohdassa olevalle ruudulle.

Kohdassa E on vuokaavio-ohjelmoinnin lohkot, joita voidaan ”vetää” ohjelman runkoon. Kuviot sisältävät ohjelmoinnin perustyökalut, kuten input- ja output-komennot, erilaisia makroja tai funktioita, laskutoimenpiteitä, ehtolauseita jne.

Ohjelman haittapuoli ohjelmoijan näkökulmasta on sen generoima valtava määrä ylimääräistä koodia. Käytännössä ylimääräinen koodi ei haittaa ohjelman ajamista, mutta koodin manuaalinen selaaminen ja lukeminen ovat todella hankalaa. Esimeriksi graafisen näytön liittäminen ympäristöön luo toista tuhatta riviä koodia yhdelle tiedostolle. Lisäksi Flowcode muuttaa jokaisen luodun muuttujan sekä itse muodostetun funktion nimen. Tämä luo myös koodin manuaaliseen tarkasteluun haittoja.

3 IEEE 802.15.4 -STANDARDI

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.15.4 on standardi, joka määrittää WPAN (Wireless Personal Area Networks) -verkoille OSI-mallin (Open Systems Interconnection Reference Model) kaksi alinta kerrosta. Kerrokset ovat fyysinen kerros sekä siirtoyhteyskerroksen LLC (Link Logical Control) -osa. (3, s. 7.)

Standardin lähtökohtana oli tarve luoda halpa, pieni sekä energiatehokas radioverkko. Standardi toimii ISM (Industrial, Scientific and Medical) -taajuusalueilla. Toimintataajuudet ovat 868 MHz, 915 MHz ja 2400 MHz. Taulukosta 1 näkee, että jokaisella taajuudella on omat ominaisuutensa. (3, s. 9.)

TAULUKKO 1. IEEE 802.15.4 taajuudet (3, s. 9.)

Taajuusalue	Taajuuskaista (MHz)	Data nopeus (kbit/s)	Kanavien lukumäärä	Toiminta-alue
868 MHz	868.3	20	0 (1 kanava)	Eurooppa
915 MHz	902–928	40	1–10 (10 kanavaa)	Amerikka, Australia
2400 MHz	2405–2480	250	11–26 (16 kanavaa)	Maailemanlaajui nen

868 MHz:n ja 915 MHz:n taajuusalueilla on tiettyjä etuja verrattuna 2400 MHz:n taajuusalueeseen. Pienemmät taajuusalueet sisältävät vähemmän käyttäjiä, paremman häiriönsietokyvyn, vähemmän heijastusta sekä absorboitumista. (3, s. 9.)

2400 MHz:n taajuusalue on otettu laajemmin käyttöön maailmalla, koska se on kaikkialla vapaasti käytössä ja sillä on laajempi kanavajako. 2400 MHz:n taajuusalue kuluttaa vähemmän virtaa, koska lähetys sekä vastaanotto ovat päällä lyhyemmän ajan, mikä johtuu suuremmasta datanopeudesta. Pienemmillä datanopeuksilla datan lähetys ja vastaanotto voivat kestää kauemmin, mikä johtaa suurempaan virrankulutukseen. Lisäksi taajuusalue on maailmalla tunnetumpi, koska 2400 MHz on käytössä monessa muussa tekniikassa. (3, s. 9.)

3.1 Laitetyypit

WPAN-verkossa on mahdollista olla useita erilaisia komponentteja. Fyysisiä laitteita on kahden tyyppisiä: FFD (Full Function Device) sekä RFD (Reduced Function Device). FFD hyödyntää kaikki standardin luomat toiminnot ja RFD vain osan niistä. FFD-tyyppinen laite on pakollinen jokaisessa verkossa, koska sen rooli on toiminnan ohjaaminen eli koordinointi. Muiden verkon laitteiden ei tarvitse olla FFD-tyyppisiä, vaan RFD-tyyppiset laitteet riittävät verkon lopuiksi komponenteiksi. Tällä saavutetaan verkon ylläpito sekä rakennuskustannuksissa huomattava etu. (4, s. 13.)

3.2 Liikennöinti

IEEE 802.15.4 -verkossa liikennöinti tapahtuu FFD- ja RFD-tyyppisten laitteiden välillä. RFD voi keskustella vain FFD:n kanssa, koska sen toimintoja on rajoitettu. FFD voi myös keskustella toisen FFD-laitteen kanssa, mikäli toinen FFD on määritelty koordinaattoriksi. Yksinkertaisessa peer-to-peer-topologiassa (kaksi laitetta juttelee keskenään) molempien laitteiden on oltava FFD-laitteita. (4. s. 19–21.)

IEEE 802.15.4 -verkoissa on kolme erilaista liikennöintitapaa. Jokaisessa liikennöintitavassa on kaksi vaihtoehtoa sen mukaan, käytetäänkö beacon-signaalia vai ei. Tähtitopologiassa käytetään näistä liikennöintitavoista kahta ja peer-to-peer topologiassa voidaan käyttää kaikkea kolmea tapaa. (4. s. 19–21.)

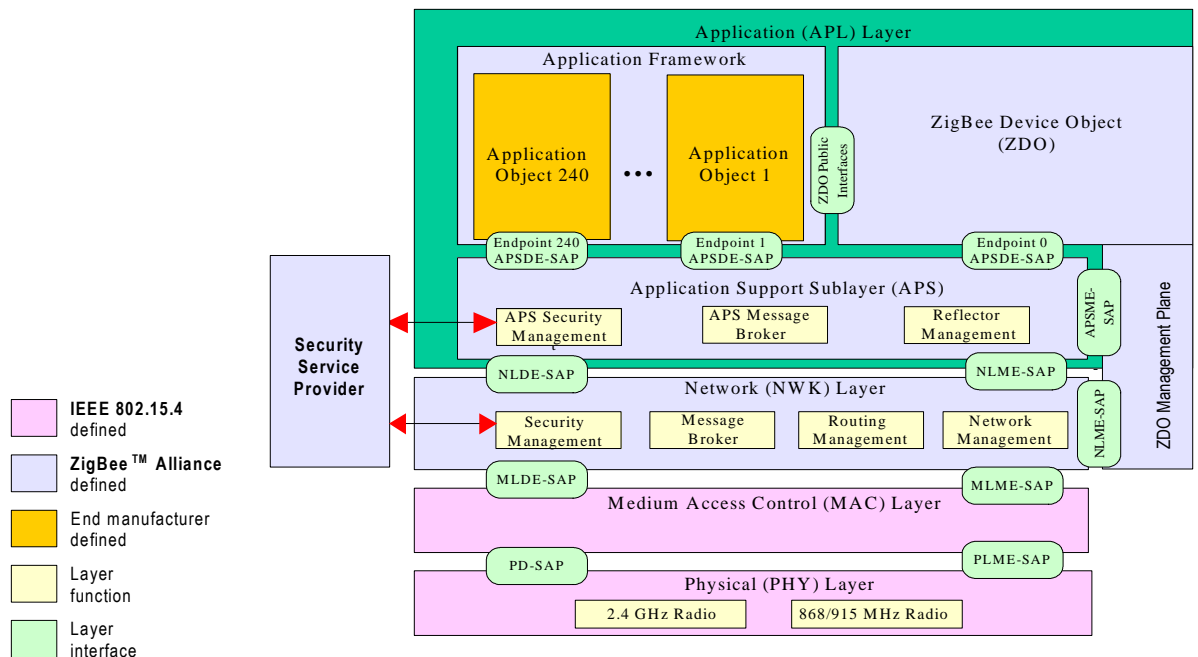
1. Lähetysmuoto, jossa päätelaite toimii datan lähettäjänä ja koordinaattori toimii vastaanottajana.
 - a. Mikäli verkossa on käytössä beacon-signaali ja päätelaite haluaa lähettää dataa, se kuuntelee ensin radiotietä ja etsii beacon-signaalia. Löydettyään signaalin synkronoi laite itsensä superframe-kehyyksen rakenteen tahtiin. Tämän jälkeen laite lähettää sopivalla ajalla datakehyyksen koordinaattorille käyttämällä aikajakoista CSMA/CA:ta. Mikäli kuittaukset on valittu käyttöön, koordinaattori kuittaa saapuneen datan.

- b. Mikäli verkossa ei ole beacon-signaalia, päätelaite vain lähettää datan koordinaattorille käyttämällä aikajaotonta CSMA/CA:ta. Koordinaattori voi kuitata saapuneen datan, mikäli kuittaus on kytketty päälle.
2. Lähetysmuoto, jossa koordinaattori toimii datan lähettäjänä ja päätelaite toimii vastaanottajana.
 - a. Kun koordinaattori on lähettämässä dataa päätelaitteelle, se indikoi beacon-signaalin kehyksessä, että sillä on dataa tulossa. Päätelaite huomaa säännöllisessä kuuntelussa, että koordinaattori on halukas lähettämään dataa, joten se lähettää datan lähetyspyynnön käyttämällä CSMA/CA-tekniikka. Koordinaattori voi kuitata lähetyspyynnön halutessaan. Data lähetetään käyttämällä aikajakoista CSMA/CA-tekniikkaa ja lähetetty data voidaan myös kuitata.
 - b. Ilman beacon-signaalia koordinaattori varastoi lähetettävän datan ja odottaa päätelaitteen pyyntöä lähettää data. Päätelaite lähettää pyynnön koordinaattorille, jolloin se kuittaa lähetyspyynnön ACK (acknowledgement) -kehyksellä. Varastoitu data lähetetään käyttämällä aikajaotonta CSMA/CA-tekniikkaa. Koordinaattori voi halutessaan kuitata lähetetyn datan.
3. Lähetysmuoto kahden samantyyppisen laitteen välillä
 - a. Kahden samantyyppisen laitteen välisen lähetyksen mahdollistaa peer-to-peer-tyyppinen topologia. Verkon laitteet lähettävät ja vastaanottavat dataa koko ajan. Laitteiden tulee olla synkronoituneena koko ajan, että vastaavanlainen lähetysmuoto on mahdollista. Datin lähetys tapahtuu käyttämällä aikajaotonta CSMA/CA-tekniikkaa. (4. s. 19–21.)

3.3 Arkkitehtuuri

Standardi 802.15.4 määrittelee verkon kaksi alinta tasoa, jotka ovat fyysinen kerros ja siirtoyhteyskerroksen MAC (Medium Access Control) -taso (kuvassa 6

vaaleanpunaisella värillä väritetyt kohdat). IEEE:n 802.2 -standardissa siirtoyhteyskerroksessa on myös LLC (Logical Link Control) -taso. Zigbeeen LLC on määritelty IEEE 802.2:n standardissa SSCS (Service Specific Convergence Sublayer). Se tarjoaa rajapinnan IEEE 802.15.4 -standardin MAC-kerroksen ja IEEE 802.2 LLC -kerroksen välille (4, s.17). Kuvassa 6 esitetyssä arkkitehtuurikaaviossa on myös esitelty Zigbeeen arkkitehtuuria (5). Zigbeestä kerrotaan tarkemmin neljännessä pääluvussa.



KUVA 6. Zigbee arkkitehtuuri (5)

3.3.1 Fyysinen kerros

Fyysinen kerros on protokollapinin alin kerros. Se tarjoaa rajapinnan MAC-kerroksen ja fyysisen median välille. IEEE 802.15.4:n määrittelemän fyysisen kerroksen tehtäviin kuuluu datan lähettämisen ja vastaanottamisen lisäksi

- radiolähtetimen aktivointi ja deaktivointi
- energy detection measurement, saapuvan signaalin voimakkuuden arviointi. Verkkokerros käyttää tätä yhtenä osana kanavanvalinta-algoritmissa.

- LQI (link quality indication), kuvaus vastaanotettavien pakettien laadusta ja voimakkuudesta. LQI on määritelty käytettäväksi verkkokerroksella, mutta miten, sitä ei ole vielä määritelty.
- CCA (clear channel assesment), toiminto jolla voidaan tunnistaa tietyn kanavan olevan jo jonkun toisen laitteen käytössä. CCA:lla on kolme erilaista toimintatapaa ja parhaimmillaan se pystyy tunnistamaan kanavan protokollasta riippumatta. CCA:ta käytetään CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance) -mekanismin kanssa. (4, s. 27.)

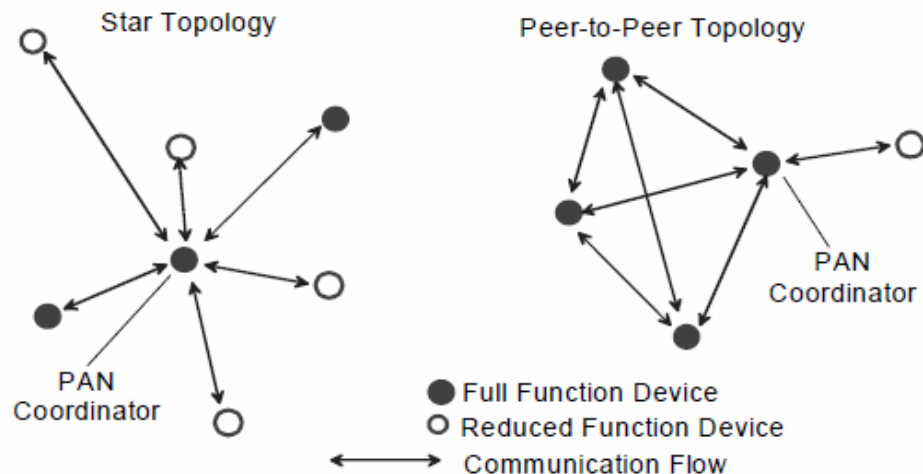
3.3.2 MAC-kerros

MAC-kerros sijaitsee fyysisen kerroksen yläpuolella. IEEE 802.15.4 -standardin mukainen MAC-kerros on vastuussa seuraavista tehtävistä

- CSMA/CA-mekanismi siirtotielle pääsemiseksi
- luo verkon beaconit, mikäli kyseinen laite toimii koordinaattorina
- saavuttaa synkronointi beaconeihin
- mahdollistaa laitteille verkkoon liittyminen sekä siitä poistuminen
- tukea laitteen turvallisuutta
- käsitellä ja ylläpitää laitteen GTS (Guaranteed Time Slots) -mekanismia (4, s. 67.)

3.4 Topologia

IEEE 802.15.4 -standardi on määritelty toimimaan kahdenlaisessa topologiassa. Valittu topologiamalli riippuu täysin järjestelmän toiminnasta. Kuvassa 7 on esitetty molempien topologioiden yleinen toimintamalli.



KUVA 7. IEEE 802.15.4 -topologiamallit (4, s. 14)

Kuvassa esiintyvä PAN Coordinator esiintyy tekstissä nimellä koordinaattori, koska se on vakiintunut suomenkielinen nimitys laitteelle. Nimitystä koordinaattori käytetään käsiteltäessä Zigbee-verkkoa.

Tähtiverkossa koordinaattori on FFD-tyyppinen laite. Se aktivoituu ja valitsee itselleen PAN ID -numeron. Koordinaattoriin voi liittyä muita RFD tai FFD-tyyppisiä laitteita. Muut FFD-laitteet voivat olla myös verkon koordinaattoreita, mutta ne kuuluvat eri PAN ID -verkkoon. Tällöin ne muodostavat oman tähtiverkon.

Peer-to-peer-topologiassa kaksi laitetta keskustelelee aina keskenään. Kun tähtiverkossa kaksi FFD-laitetta keskustelelee keskenään ja kumpikin muodostaa oman tähtiverkon, ovat nämä kaksi FFD-laitetta tuolloin peer-to-peer verkossa. Topologiamalleista kerrotaan tarkemmin luvussa 4.2, jossa käsitellään Zigbeeen käyttämiä eri topologiamalleja. (4, s. 14–15.)

4 ZIGBEE

Zigbeeen kehityksestä vastaa Zigbee-allianssi. Se on maailmanlaajuinen suuryritysten yhdistys, joka on avoin uusille jäsenille ja sen tarkoitukselliset ovat ei-kaupallisia. Syyskuun 2010 mennessä allianssiin kuului 370 yritystä. (6).

Zigbee on vähävirtainen lyhyen kantaman radioverkkojärjestelmä, joka on kehitetty 802.15.4-standardin pohjalta. Se kuuluu LR-WPAN-tyyppisiin verkkoihin, koska Zigbee on vähävirtainen lyhyen kantaman radioverkko. Zigbeellä voi olla monenlaisia eri käyttökohteita, esimerkiksi kodin automaatio, terveydenhuolto, monitorointi, maatalous, jne. (3, s. 8.)

4.1 Zigbeeen laitetypit

Huolimatta siitä, että IEEE 802.15.4 määrittelee kahdenlaisia laitetyppejä verkkoon, voi Zigbee-verkossa kolmenlaisia laitteita. Jokaisella laitetypillä on oma tehtävänsä Zigbee-verkossa.

Koordinaattori

Zigbee-verkossa pitää olla aina yksi koordinaattori. Useampaa koordinaattoria ei verkossa voi olla. Koordinaattorin tehtäviä verkossa on PAN ID:n määrittäminen verkolle. PAN ID (Personal Area Network Identification) on uniikki tunnus verkolle. Koordinaattori valitsee verkolle sopivan radiotaajuuden sekä määrittää itselleen osoitteen mihin muut laitteet voivat ottaa yhteyttä. Koordinaattori välittää viestejä laitteelta toiselle sen mukaan, mikä topologia on käytössä. (3, s. 15.)

Reititin

Reititin on laitetyyppi, joka reitittää viestejä laitteelta toiselle. Se on käytössä eniten puutopologiassa, missä sen käyttötarkoitus on parhaiten esillä. Reititin toimii

Zigbee-verkossa samalla lailla ns. välikätenä, kuin esim. IP (Internet Protocol) - verkoissa. (3, s. 15.)

Päätelaite

Päätelaite on verkon viimeinen laite, johon on liitetty jokin toiminto, esimerkiksi lämpötila-anturi, jonka lukemaa tietoa pitää lähettää koordinaattorille. Päätelaite voi vastaanottaa sekä lähettää tietoa, muttei välittää. Termiä ”End Device” eli päätelaite ei ole määritelty virallisessa IEEE:n standardissa, mutta sitä käytetään yleisesti maailmalla. (3, s. 15.)

4.2 Zigbeeen topologiat

Topologia on malli, jolla laitteet juttelevat keskenään. Topologioita voi olla useanlaisia. Zigbee mahdollistaa kolme erilaista topologia-mallia. Mallit ovat tähti, puu sekä mesh. Jokaisessa topologiamallissa on oltava aina koordinaattori, joka ohjaa verkkoa. (3, s. 11.)

Tähti

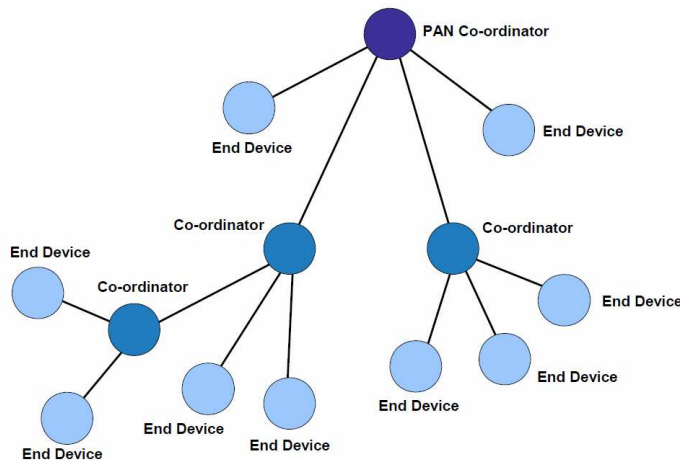
Tähtiverkko on tunnetuin topologiamalli tietoliikenteessä. Tähdessä on yksi ohjaava laite, johon muut laitteet ottavat yhteyttä. Zigbeeen tapauksessa tämä ohjaava laite on koordinaattori, sekä siihen liittyvät laitteet ovat päätelaitteita

Tähtiverkossa päätelaitteet ei voi keskustella keskenään, vaan niiden keskinäisten viestien pitää kulkea koordinaattorin kautta. Tästä ilmenee tähtiverkon huono puoli, että vikatilanteen sattuessa ei ole varayhteyttä. Kuvassa 7 on tähtiverkon topologia. (4, s. 14.)

Puu

Puutopologia, jota kutsutaan myös hierarkkiseksi topologiaksi, koostuu yhdestä ydinlaitteesta. Zigbee-verkossa ydinlaite on koordinaattori. Kuvasta 8 näkee puutopologian yleisen rakenteen. Kuvassa Co-ordinator-laitteet ovat reititintyyppisiä.

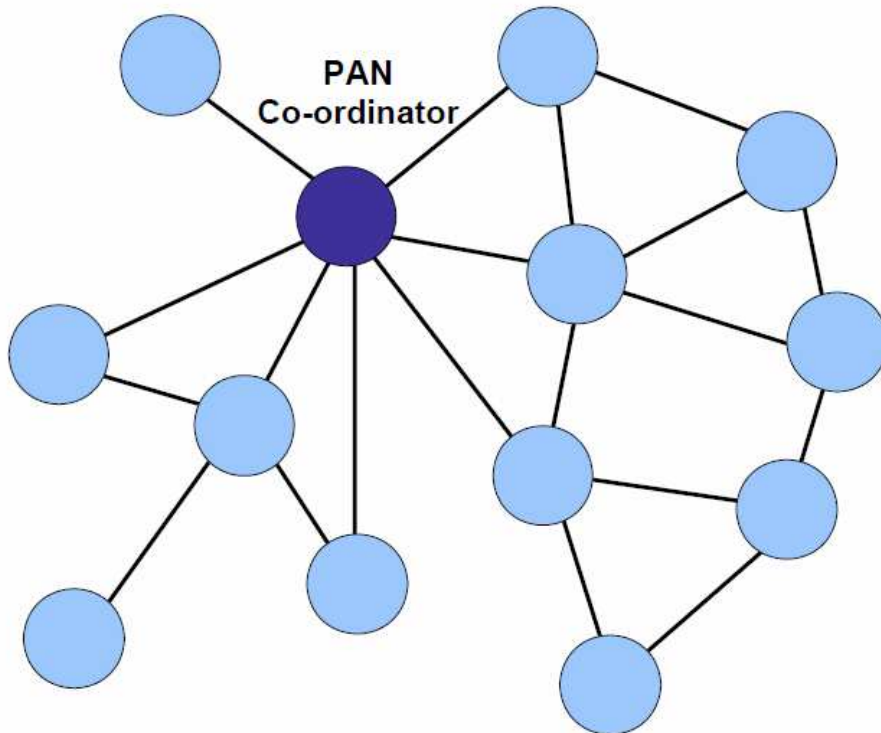
Puutopologiassa laitteiden suhde on isä-lapsityyppinen. Kaikki laitteet lukuun ottamatta koordinaattoria ovat ns. lapsia, eli niillä on oma isäntä. Jokaisella laitteella voi olla useita ns. lapsia. Puussa voi yhdistyä useita tähtiverkkoja ja kuvainnollisesti se näyttääkin puulta. (3, s. 13.)



KUVA 8. Puutopologia (3, s.13)

Mesh

Mesh-topologia näyttää kuvainnollisesti nimensä mukaiselta sotkulta. Siinä kaikki laitteet voivat olla identtisiä, lukuun ottamatta kuitenkin verkon koordinaattoria, joka on aina pakollinen. Laitteet voivat keskustella suoraan toistensa kanssa siten, ettei viestiä tarvitse välittää koordinaattorin kautta. Tällä saavutetaan hyöty siitä, että kahden laitteen ei välttämättä tarvitse olla keskenään verkon kantavuuden sisällä, vaan ne voivat keskustella toisten laitteiden läpi. Mesh-topologian etu on myös se, että yhteysreittejä on monta. Mikäli tulee tilanne, että tarvitaan varayhteyksiä, Mesh-topologia mahdollistaa sen. Kuvassa 9 on esitetty mesh-topologian rakenne. (3, s. 14.)



KUVA 9. Mesh topologian rakenne (3, s. 14)

4.3 Unitilat

Horrostilassa Zigbee-radion käyttämä virta on alle 10 mikroampeeria käyttämällä 3 voltin järjestelmää. Horrostilassa radion heräämisaika on 13,2 ms. Herätys ja uneen vaipuminen tapahtuvat asettamalla jännitemuunnos radion sleep-pinnille, joka on radiossa pinni 9. (7, s. 22–23.)

Torkkutila eroaa horrostilasta ainoastaan käytetyn virran määrässä, sekä heräämisnopeudessa. Torkkutilassa radion käyttämä virta on alle 50 mikroampeeria, ja sen heräämisaika on 2 ms. Torkkutila on siis huomattavasti enemmän virtaa käyttävä unitila, mutta heräämisaika vastaavasti paljon nopeampi. (7, s. 22–23.)

Kolmas Zigbee-radion käyttämä unitila on syklinen unitila. Syklisessä unitilassa radio herää itsestään tietyissä sykleissä tarkistamaan, onko mahdollista radiodataa luettavissa. Syklisen unen käyttämä virta on alle 50 mikroampeeria ja herätysaika on alle 2ms. Radio voidaan herättää ja asettaa uneen kahdella eri tavalla, joko suoraan ohjelmallisesti tai sleep-pinnin jännitemuunnoksilla. (7, s. 22–23.)

5 SUUNNITTELU

Suunniteltu järjestelmä on varoitusjärjestelmä, jonka tarkoitus on varoittaa järjestelmän käyttäjää ensisijaisesti hallalta. Järjestelmää pitää voida myös muokata muiden mahdollisten mitattavien suureiden mukaiseksi. Mitattu anturitieto tulee lähettää jotakin radiotietä pitkin GSM-yksikölle, joka hoitaa varoituksen eteenpäin.

Hallavaroittimen suunnittelu aloitettiin valitsemalla työlle sopivat laitteistot. Työn anturointiosuuteen valittiin Matrix Multimedian E-Blocks-kehitysympäristö. Valintaan vaikutti se, että koululla oli valmiina kyseinen järjestelmä, sekä oma laitteiston tuntemus. Lisäksi Matrixin ympäristö sopi työhön hyvin valmiiden komponenttien takia. Laitteistoa ei tarvinnut erikseen hankkia, koska se oli valmiiksi koululla.

Anturoinnin lisäksi työhön piti valita GSM-rajapintaa varten laitteisto. Laitteistoksi valittiin Nokian testikäyttöön suunniteltu testausalusta Nokia 1CQ, johon on liitettyä Nokia 12i-moduuli. GSM-laitteisto oli valmiiksi koululla, joten erillisiä hankintoja ei tarvinnut tehdä.

Zigbee-verkkoa suunniteltaessa pitää ottaa huomioon verkon PAN ID sekä käytettävät kanavat. Lisäksi laitteelle tulee valita nimi ja suurin mahdollinen hyppymäärä solmujen välillä.

PAN ID:ksi valittiin 0x234, joka on Flowcoden oletusarvo PAN ID:lle. Perusteluna oletusarvoiselle ID:n valinnalle on se, että lähistöllä ei ole muita Zigbee-verkkoja. Kanavaksi valittiin kanava 1A. Laitteiden nimet päätettiin jättää oletusarvoisiksi. Päätelaitteelle nimeksi tuli End ja koordinaattorille Coordinator. Maksimihyppymääräksi valittiin yksi, koska verkko on topologiamalliltaan tähti.

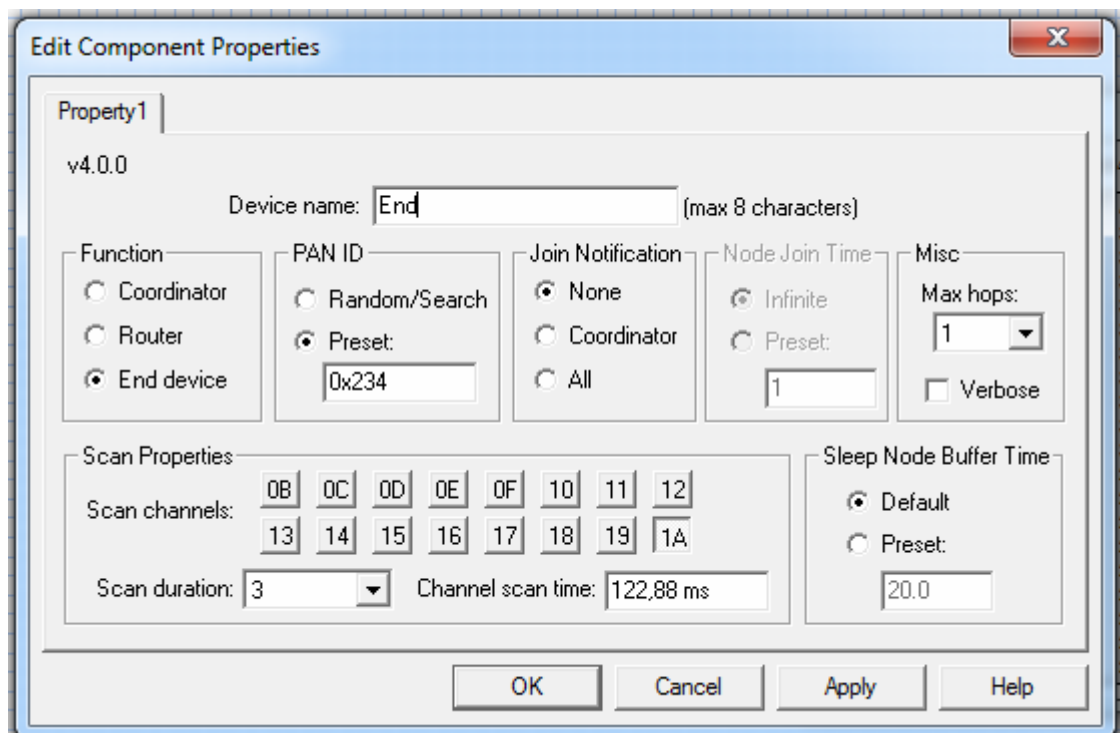
Työtä suunniteltaessa yksi tärkeä vaihe on hälytysraja. Koska työn tarkoitus on varoittaa maanviljelijää mahdollisesta hallasta, anturilaitteen lähettämä varoitus on säädettävä sopivalle välille.

6 TOTEUTUS

Järjestelmän toteutus tapahtui Matrix Multimedian kehittämällä Flowcode V4 for AVR -ohjelmistolla. Toteutettavia kohteita on kaksi, päätelaite, joka toimi myös anturiyksikkönä sekä koordinaattori, joka toimi verkon ohjaajana. Koordinaattori on myös kiinni GSM-yksikössä.

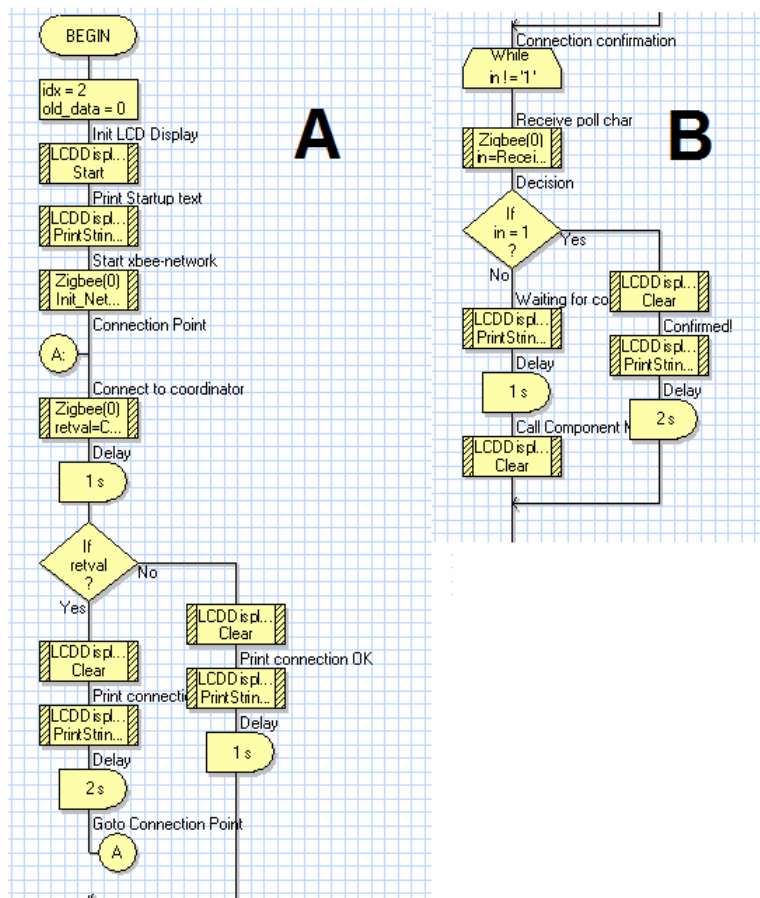
6.1 Anturiyksikön toteutus

Anturiyksikön toteutus aloitettiin asettamalla sille kuuluvan Zigbee-radion asetukset oikein. Asetusten määrittely on esitelty luvussa 5. Kuvassa 10 on asetusten määrittely Flowcode-ohjelmassa.



KUVA 10. Anturiyksikön radion asetukset

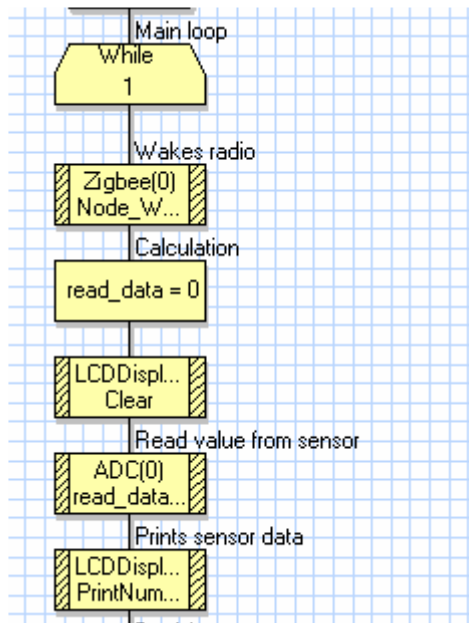
Ohjelman alustus tapahtuu näytön alustuksella sekä Zigbee-verkon käynnistämällä. Tämän jälkeen anturiyksikkö yhdistää itsensä koordinaattoriin. Kuvassa 11 on anturiyksikön käynnistäminen kohdassa A.



KUVA 11. Anturiyksikön käynnistäminen

Kuvan 11 kohdassa B on anturiyksikön yhteyden varmistaminen koordinaattorin kanssa. Varmistuksessa anturiyksikkö jää silmukkaan, kunnes on saanut koordinaattorilta arvon 1. Tällä varmistetaan, että tieto liikkuu anturiyksikön ja koordinaattorin välillä varmasti. Varmistusprosessin jälkeen anturiyksikkö siirtyy pääohjelmaan.

Pääohjelman alussa sensoriyksikkö herättää Zigbee-radion. Herätys tapahtuu aina, riippumatta siitä, nukkuuko radio oikeasti vai ei. Mikäli radio ei oikeasti nuku, herätyksellä ei ole ohjelman kulkuun mitään vaikutusta. Herätyksen jälkeen ohjelmassa alustetaan sensorin luettava data ja luetaan data sensorilta. Luettu data tulostetaan näytölle. Datan tulostus tapahtuu ainoastaan testausmielessä, eikä sitä lopullisessa oikeassa tuotteessa välttämättä tarvita. Kuvassa 12 on sensoriyksikön pääohjelman alkuosio.



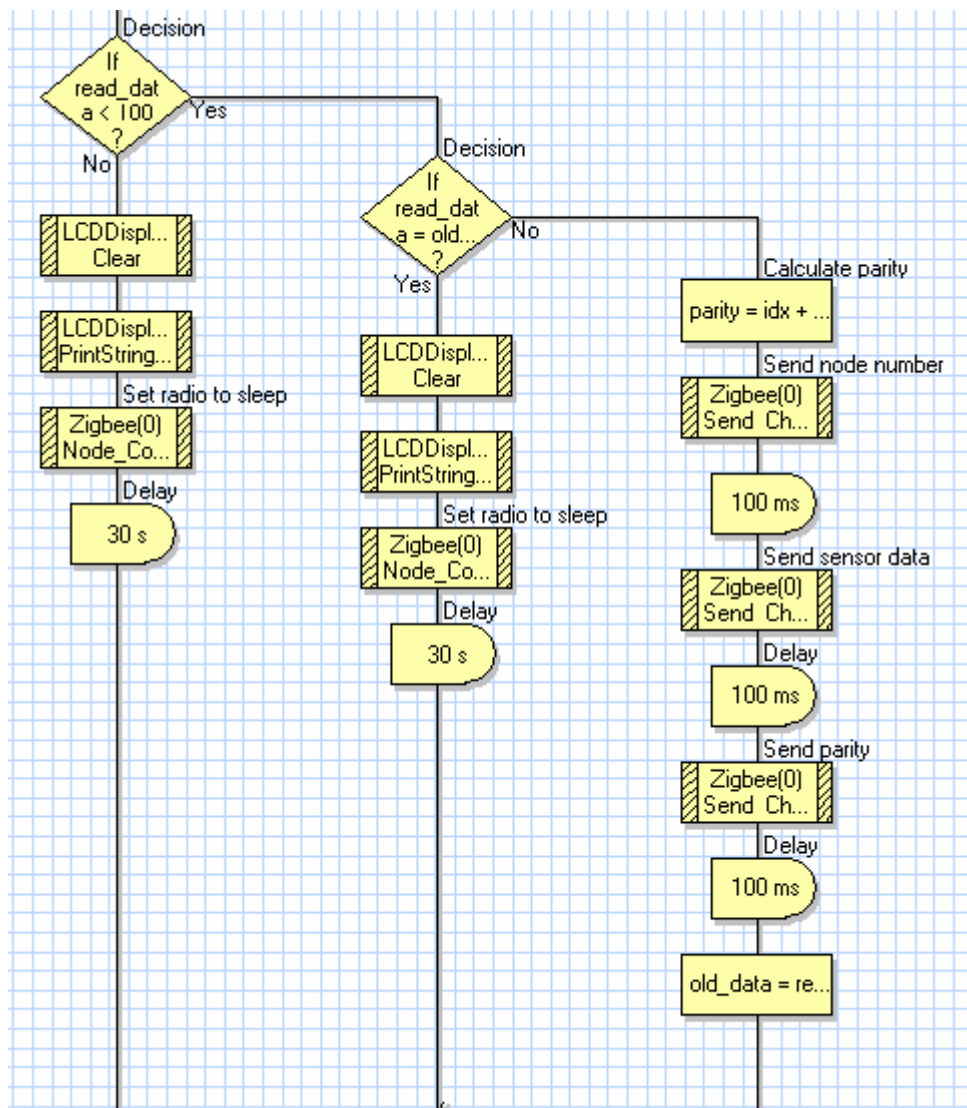
KUVA 12. Sensoriyksikön pääohjelman alku.

Sensoryksikkö ei automaattisesti lähetä luettua dataa koordinaattorille, vaan data analysoidaan ja ohjelma päättää, onko tarvetta lähettää dataa koordinaattorille. Mikäli ohjelma ei päättää lähettää dataa koordinaattorille, asettaa ohjelma Zigbee-radion unitilaan.

Ohjelmassa on tehty lämpötilan luku simuloimalla luettavaa dataa potentiometrillä, joka on laitteistoon liitettävässä lisäkortissa. Esimerkkihjelmassa on tehty siten, mikäli luettava arvo alittaa ennalta määrätyn arvon 100, laite menee seuraavan tarkistuspisteeseen, jossa se tarkistaa, onko luettava arvo sama kuin edellisellä lukukerralla. Mikäli arvo on sama, ohjelma asettaa Zigbee-radion nukkumaan ja odottamaan uutta lukuhetkeä.

Syy tälle tarkastuspisteelle on se, että todellisessa tilanteessa lämpötila tuskin muuttuu kovin nopeasti, vaan se pysyy kutakuinkin samana pitkän aikaa. Tässä tarkastuspisteessä on tarkoitus säätää anturiluvun lähetystä siten, ettei laitteiston käyttäjälle tule turhia uusia hälytyksiä. Tämän hetkessä esimerkihjelmassa luettavaa lukua verrataan edellisen luvun täsmällisyyteen, mutta todenmukainen tarkistus voi olla paljon laajemmalla skaalalla.

Jos ohjelman lukema anturilukema sallitaan kulkemaan tarkastuspisteen ohi, ensimmäisenä ohjelma laskee pariteettiarvon yksinkertaisesti käyttämällä siihen luettua arvoa ja omaa indeksiansa. Ohjelma lähettää radiotielle kolme arvoa järjestyksessä indeksinumero, sensorin lukema data ja viimeiseksi laskettu pariteettiarvo. Tämän jälkeen ohjelma asettaa radion unitilaan. Kuvassa 13 on esitelty ohjelman loppuosa, jossa on tarkistushaara sekä datan lähetys. Liitteessä 1 on koottuna koko anturiyksikön vuokaavio.

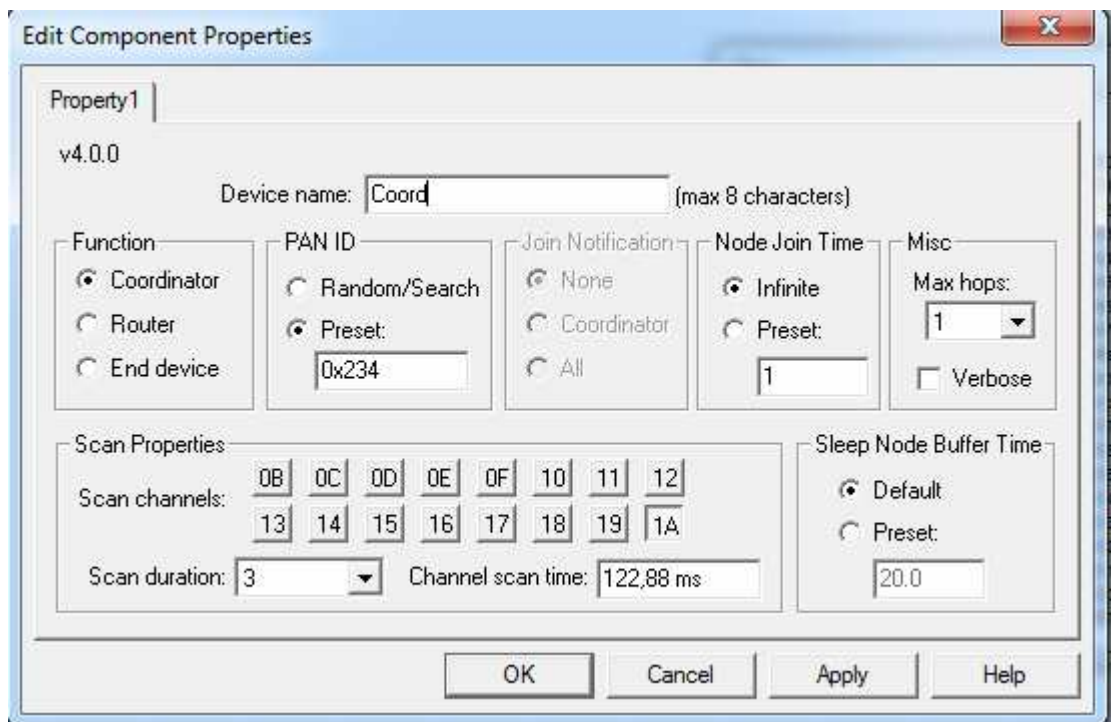


KUVA 13. Anturiyksikön ohjelman loppuosa.

6.2 Koordinaattorin toteutus

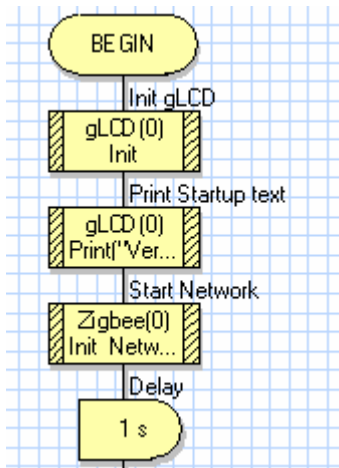
Ensimmäisenä koordinaattorin asettamisessa täytyi vaihtaa Zigbee-radio laajennuskortista käytettäväksi eri CTS- (Clear to Send), RTS- (Ready to Send) ja Sleep-pinnit. Tämä siksi, koska oletusarvoiset pinnimäärittelyt menivät päällekkäin USART0-portin pinnien kanssa. USART0:aa tarvittiin käyttöön GSM-modeemia, joten Zigbee-radiolle täytyi määrittellä uudet pinnit kyseisiä toimintoja varten.

Koordinaattorin toteutus alkoi asettamalla Zigbee-radiolle koordinaattorin ominaisuudet sekä asettamalla PAN ID, käytettävä kanava sekä suurin mahdollinen hyppyjen määrä. Kuvassa 14 näkyy edellä mainittujen asetusten määrittäminen.



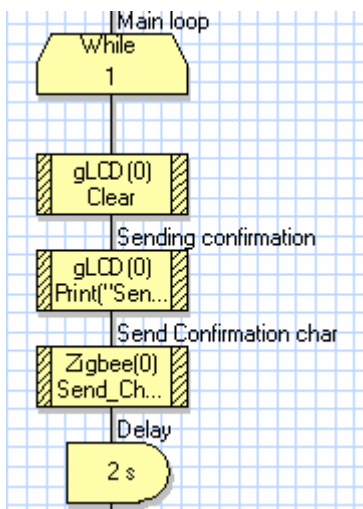
KUVA 14. Koordinaattorin radion asetukset

Ohjelman alustus on paljon yksinkertaisempi kuin sensoryksikön. Koordinaattorissa ei ennen pääohjelmaa tarvitse tehdä erikseen yhteydenmuodostusta anturiyksikköön. Koordinaattorin alustuksessa ja verkon käynnistämisen yhteydessä käynnistetään myös graafinen näyttö, jonka tehtävä on näyttää ohjelman suorituksen eri vaiheita. Kuvassa 15 on koordinaattorin alustus.



KUVA 15. Koordinaattorin alustus

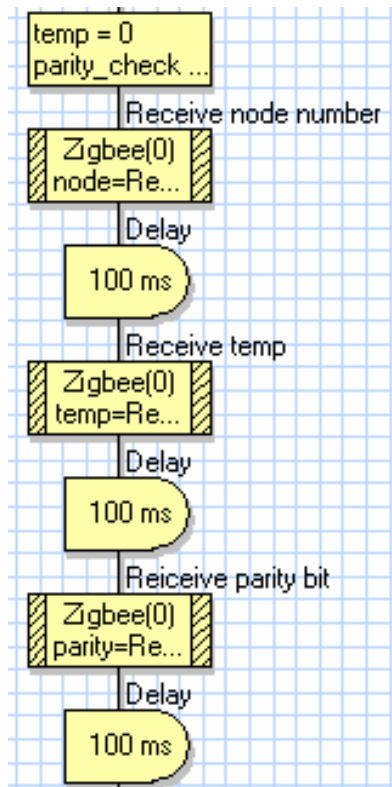
Alustamisen jälkeen ohjelmassa alkaa välittömästi pyöriä pääohjelman osuus. Pääohjelman alussa tapahtuu yhteyden varmistus sensoriyksikölle jokaisen kerran, kun pääohjelma ajaa itsensä, koordinaattori lähettää radiotielle arvon 1. Lähetys tapahtuu sen vuoksi, että kun mahdollinen sensoriyksikkö liitetään verkkoon, on se ohjelmoitu siten, että toiminta alkaa vasta, kun se on varmistanut yhteyden koordinaattorin kanssa. Kuvassa 16 näkyy varmistusdatan lähetys.



KUVA 16. Yhteyden varmistus sensoriyksikölle

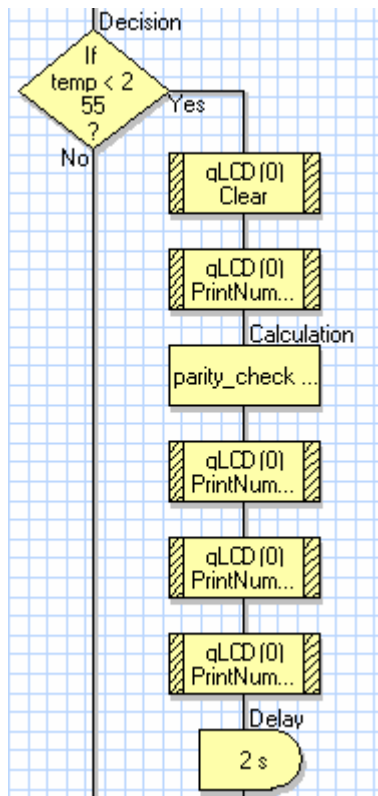
Yhteyden varmistuksen jälkeen pääohjelma alustaa muuttujat vastaanotettavaa dataa varten. Koordinaattori vastaanottaa kolme eri arvoa ja tallentaa ne omiin muuttujiinsa. Arvot, jotka koordinaattori ottaa vastaan ovat järjestyksessä anturiyksikön indeksi

numero, anturin lukuarvo ja viimeiseksi pariteetti-arvo. Vastaanottoväleissä on asetettu 100 millisekunnin viive, joka on sama kuin anturiyksikön puolella asetettu viive lähetysten välissä. Kuvassa 17 näkyy koordinaattorin vastaanotto anturiyksiköltä.



KUVA 17. Koordinaattorin vastaanotto anturiyksiköltä

Seuraavaksi ohjelma tarkistaa, onko se oikeasti saanut jotain vastaanotettua dataa. Tarkistaminen tapahtuu yksinkertaisella ehtolauseella, jossa tarkastellaan temp-muuttujan arvoa (kuva 18). Ehtona on, että mikäli arvo on pienempi kuin 255 jatketaan ohjelman suoritusta GSM-puolelle. Muuten ohjelma menee suoraan pääohjelman loppuun ja pyörittää takaisin alkuun. Tarkistus perustuu siihen, että kun vastaanottomakro suoritetaan ja mikäli radio ei kuule mitään, se palauttaa arvon 255. Tämän perusteella voidaan tehdä yksinkertainen ehtohaara, jossa päätetään seuraava toimenpide sen perusteella, onko radio saanut dataa oikeasti vai ei.



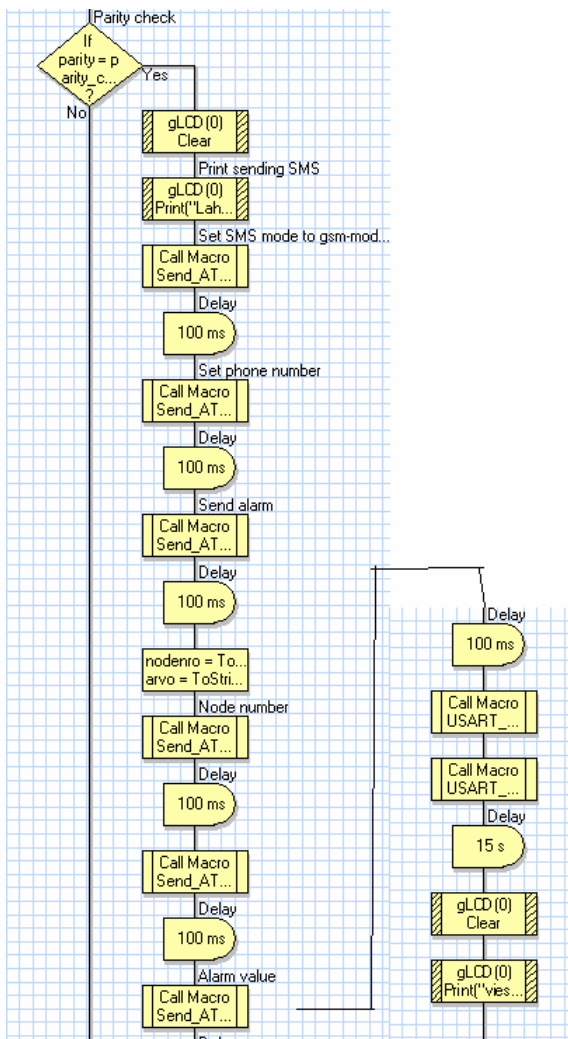
KUVA 18. Koordinaattorin vastaanottotarkistus

Kun ohjelma siirtyy GSM-puolelle, ensimmäiseksi se laskee pariteettiarvon vastaanotetuista arvoista. Tämän lisäksi ohjelma tulostaa näytölle saadut arvot, jotta voidaan tarkastella reaaliaikaisesti laitteen toimintaa. Pariteetilaskennan jälkeen verrataan juuri laskettua pariteettiarvoa vastaanotettuun pariteettiarvoon. Mikäli arvot eivät täsmää ohjelma menee suoraan pääohjelman loppuun ja pyörähtää uudelleen käyntiin.

Kun pariteettiarvot täsmäävät, ohjelma suorittaa SMS (Short Message Service) -lähetyksen siihen ohjelmoituun puhelinnumeroon. Lähettävä viesti sisältää tekstin ”HALYTYS, LAITE Y, LAMPO ON: N”, Viestissä Y korvaa lähettävän anturiyksikön indeksinumeron ja Y korvaa lähetettävän anturilukeman. Kuvassa 19 on esitetty vastaanotettu viesti matkapuhelimessa.



KUVA 19. Hälytysviesti matkapuhelimessa



KUVA 20. SMS-lähetys flowcodessa.

Kuvassa 20 on Koordinaattorin SMS-lähetys. Koordinaattorin toteutettu tekstiviestinlähetykseen tarvittavat makrot täytyi luoda itse. Koordinaattorin liitettävien GSM-makrojen luominen kuului Harri Ahopellon tehtäviin. GSM-osuudesta voi lukea tarkemmin hänen työstään.

7 VAIHTOEHTOISET MENETELMÄT

Zigbeeen huono puoli anturiverkkona on sen pieni kantama. Se toimii hyvin sisätiloissa ja pienissä pihapiireissä. Mikäli verkkoa aletaan rakentaa laajemmalle alueelle, tarvitaan vaihtoehtoista radioverkkoa pidemmän kantaman takia.

Työssä käytetty Zigbee-radio käyttää 2,4 GHz:n taajuutta. Vaihtoehtoisesti Suomessa on mahdollista käyttää pienempää 868 MHz:n taajuutta (taulukko 1), jolla on parempi kantomatka 2,4 GHz taajuuteen verrattuna.

Tärkeä ominaisuus vaihtoehtoisia verkkoja mietittäessä on virran kulutus, jonka takia Zigbee on etusijalla järjestelmän toiminnan kannalta. Muita vähävirtaisia radiomenetelmä on UWB (Ultra-wideband) -tekniikkaan perustuva radio. UWB:tä ei kuitenkaan voi vakavasti harkita järjestelmän korvaajaksi, koska sen kantama on erittäin pieni. (8, s. 48.)

Toinen tekniikka, joka mahdollisesti soveltuisi radiotien käyttöön on CSS (Chirp Spread Spectrum) -tekniikka. CSS-tekniikalla on päästy parhaimmillaan 570 metrin kantamaan, joka olisi lähes optimaalinen maatalojen anturiverkon kantamaksi. CSS on myös hyvin vähän virtaa kuluttava tekniikka, joten sen käyttö radiotienä hallavaroitinjärjestelmässä on perusteltua. (9.)

Vähävirtainen pitkän kantaman tekniikoita on kuitenkin kovin vähän käytettävissä tällä hetkellä. Pitkän kantaman tekniikoita on paljon kuin myös vähävirtaisia, mutta näiden kahden ominaisuuden yhdistäminen on hankala tekijä.

8 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli kehittää ja luoda hallavaroitinjärjestelmä. Sen tarkoituksena on varoittaa maanviljelijää mahdollisesta hallan vaarasta. Työn toteutustavaksi valittiin Zigbee-verkko sekä sitä tukemaan GSM-modeemi. Työn toteutus minun osaltani jäi anturiverkon rakentamiseen ja GSM:än osuus Harri Ahopellolle.

Oma osaaminen työn edetessä karttui valtavasti. Lähtökohtaiset taidot työn tekemiselle oli hyvin pienet. Aikaisempaa kokemusta oli ainoastaan Flowcode V4 -ohjelmistosta. Työtä tehtäessä kokeiltiin erilaisia toteutustapoja. C-kieli tuli tutuksi työn ohella, vaikkei se pääasiallisesti työni sisällössä ilmene. Flowcoden generoima C-kieli auttoi usein erilaisten ongelmien ratkaisemisessa ja ohjelman rakenteen ymmärtämisessä. Harrin työosuus oli suurilta osin C-kielillä toteutettu ja sitäkin kautta kieli ja sen osuus mikrokontrollereissa tuli hyvinkin tutuksi. Myös Zigbee-verkon osaaminen vahvistui ja uutta ymmärrystä koko verkon toiminnasta tuli runsaasti aikaisemmilta kursseilta saatujen oppien tueksi.

Ajallisesti työn toteutus ontui. Työllä ei ollut varsinaista pääaikataulua, jonka johdosta työn toteuttaminen ei tapahtunut alkuperäisen suunnitelman mukaisesti.

Yksi ongelmakohta työn edetessä oli USART-ominaisuuksien toiminta. Zigbee-radion ja GSM-modeemin yhtäaikainen toiminta ei aluksi meinannut onnistua, mutta ratkaisu löytyi ongelmaan ajan saatossa. Lisäksi koko GSM-modeemin liittäminen mikrokontrolleriin oli pitkän aikaa suuri ongelma kokonaistyössä.

Toinen ongelmakohta oli digitaalisen lämpötila-anturin liittäminen mikrokontrolleriin Flowcoden avulla. Ongelmaksi muodostui digitaalisen anturin C-kielisen lähdekoodin liittäminen Flowcodeen. Ohjelma sisälsi viittauksia ja pointtereita, joita Flowcode ei jostain syystä ymmärtänyt. Lisäksi en onnistunut luomaan manuaalisestikaan vastaavanlaisia makroja, koska en löytänyt koko ohjelmasta minkäänlaista toimintoa, jolla olisi voitu ottaa C-kielen viittaukset käyttöön. Mahdollisella lisäselvityksellä tai anturin lähdekoodin muokkaamisella se olisi saatettu saada toimintaan, mutta oma osaaminen on C-kielen osalta hyvin rajoitettu ja siksi en löytänyt sille vaihtoehtoista ratkaisua.

Tavoitteeseen työssä päästiin hyvin. Saatiin toteutettua verkko, johon voidaan liittää mahdollinen anturi ja sen lukutietoja analysoimalla voidaan lähettää tekstiviestihälytys järjestelmän käyttäjälle. Järjestelmän voi helposti muokata esimerkiksi hapen määrän keruuseen tai johonkin muuhun vastaavaan. Hälytystapaa voidaan muuttaa tekstiviestilähetyksestä esimerkiksi hälytyssoitoksi, jolloin hälytyksen perille meno on varmempi.

LÄHTEET

1. About Matrix Multimedia. 2010. Saatavissa: <http://www.matrixmultimedia.com/about.php>. Hakupäivä 17.11.2010.
2. E-Blocks Hardware. Matrix Multimedia. 2010. Saatavissa: <http://www.matrixmultimedia.com/abouteblocks-X.php?C1=Browse%20All%20Products&CAT=E-Blocks%20hardware>. Hakupäivä 23.11.2010.
3. IEEE 802.15.4 Wireless Networks User Guide. 2010. Saatavissa: http://www.jennic.com/files/support_files/JN-UG-3024-IEEE802.15.4-1v1.pdf. Hakupäivä 17.11.2010.
4. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Standard Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). 2006.
5. Zigbee Technical Overview. 2010. Zigbee Alliance. Saatavissa: http://www.Zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=13710. Hakupäivä 19.11.2010.
6. Member Companies 2010. Zigbee Alliance. Saatavissa: http://www.Zigbee.org/en/press_kits/latest/documents/Member_List.pdf. Hakupäivä 19.11.2010.
7. XBee™ / XBee-PRO™ OEM RF Modules. Saatavissa: <http://www.matrixmultimedia.com/datasheets/XBEEV2.pdf>. Hakupäivä 19.11.2010.
8. Junttila, Timo - Salokannel, Juha - Palin, Arto - Ranta, Pekka 2004. UWB-Tekniikka. Saatavissa: http://www.proessori.fi/es04/ARKISTO/PDF/UWB_TEKNIikka.PDF. Hakupäivä 29.11.2010

9. Chirp Spread Spectrum. 2010. Wikipedia. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Chirp_spread_spectrum. Hakupäivä 22.11.2010.

