



Harri Ahopelto

HALLAVAROITINJÄRJESTELMÄN  
VERKKOON

LIITTÄMINEN

GSM-

# HALLAVAROITINJÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN GSM- VERKKOON

Harri Ahopelto

2010

Tekniikan yksikkö, Tietotekniikan osasto

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Opinnäytetyö

# TIIVISTELMÄ

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Tietotekniikka	Insinöörityö	42	+	2
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Langaton tietoliikenne	2010			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
OAMK, Vinski Bräysy	Harri Ahopelto			
Työn nimi				
Hallavaroitinjärjestelmän liittäminen GSM-verkkoon				
<hr/>				
Avainsanat				
IEEE 802.15.4 -standardi, ZigBee, WPAN, GSM, AVR				
<hr/>				

Tässä työssä tavoitteena oli toteuttaa IEEE 802.15.4 -standardiin pohjautuvan ZigBee-tiedonkeruuverkon yhdistäminen GSM-tekniikan avulla suurempiin tiedonsiirtoverkkoihin. Tämän toteuttaminen mahdollistaa esimerkiksi langattoman sensoriverkon mittaustietojen siirron pitkien välimatkojen päähän tai langattomien etähallintasovellusten rakentamisen akkukäyttöisillä laitteilla.

Työ toteutettiin käyttämällä Matrix Multimedian sovelluskehityslaitteistoa ja -ohjelmistoa, Atmelin valmistamaa AVR-mikrokontrolleria sekä Nokian valmistamaa 1CQ-testialustaa, johon oli liitettyä Nokia 12i -GSM-moduuli.

Työssä onnistuttiin rakentamaan prototyyppikytkentä laitteiden välille ja kehittämään ohjelma, jolla AVR-mikrokontrolleri pystyy kommunikoimaan GSM-moduulin kanssa. Työ liitettiin loppuvaiheessa Lasse Mäkelän opinnäytetyönä toteuttamaan ZigBee-tiedonkeruuverkkoon.

# ABSTRACT

Degree programme	Thesis	Pages	+	Appendices
Information Technology		42	+	2
Line	Date			
Wireless communication	2010			
Commissioned by	Author			
OAMK, Vinski Bräysy	Harri Ahopelto			
Thesis title				
<u>Attaching frost alarm system to GSM network</u>				
Keywords				
IEEE 802.15.4 standard, ZigBee, WPAN, GSM, AVR				

Objective of this thesis was to implement the communication between IEEE 802.15.4 standard based ZigBee network and larger data networks by using GSM technology. This enabled for example the measurement data transfer from sensor network to over long distances and the develop of wireless remote management applications using battery-operated devices.

Communication between devices were achieved by using development hardware and software made by Matrix Multimedia, AVR microcontroller made by Atmel and Nokia 12i GSM module what was connected to Nokia 1CQ GSM test board.

The thesis resulted in a successful prototype connection between devices and to develop software that allowed the AVR microcontroller to communicate with the GSM module. This work is attached to Lasse Mäkelä's thesis named Sensor Network of Frost Alarm System.

## ALKUSANAT

Tämä työ on tehty osaksi isompaa järjestelmää Oulun seudun ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikölle. Lasse Mäkelä tekee opinnäytetyönä Zigbee-tekniikkaan pohjautuvaa tiedonkeruuverkkoa osana yhteistä järjestelmää.

Kiitän Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön opettaja Vinski Bräysyä työn tilauksesta, osastonjohtaja Jari-Pekka Rontua opinnäytetyön sisällönohjauksesta ja lehtori Tuula Hopeavuorta kielenohjauksesta sekä teknisen alan harjoittelija Mikko Karjalaista ja suunnittelija Hannu Teppoa, jotka ovat myös auttaneet ja opastaneet tämän työn tekemisessä. Lisäksi kiitän Lasse Mäkelää projektiyhteistyöstä ja perhettäni kannustamisesta opinnäytetyön tekemisessä.

Oulussa 30.11.2010

Harri Ahopelto

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
ALKUSANAT .....	5
SISÄLTÖ.....	6
LYHENTEET JA TERMIT .....	8
1 JOHDANTO .....	10
2 IEEE 802.15.4 -STANDARDI.....	11
2.1 Käytettävissä olevat radiotaajuudet.....	12
2.2 LR-WPAN-standardin muita tärkeitä määritteitä .....	13
2.2.1 Virrankulutus.....	13
2.2.2 Modulaatio .....	13
2.2.3 Suorasekvenssihajaspektritekniikka .....	13
2.2.4 Lähetysteho .....	14
2.2.5 Vastaanottoherkkyys .....	14
2.2.6 Palvelun laatu .....	14
2.2.7 Verkkokomponentit.....	15
2.2.8 Verkkotopologiat .....	15
2.3 LR-WPAN-tekniikoiden käyttökohteiden luokittelu .....	17
2.4 LR-WPAN-tekniikan käyttökohteita .....	17
3 ZIGBEE.....	21
4 MATRIX MULTIMEDIA .....	22
4.1 Flowcode v4 for AVR.....	22
4.2 E-Blocks .....	23
5 8-BITTINEN AVR-MIKROKONTROLLERI.....	28
5.1 ATmega324P-mikrokontrolleri .....	28
5.2 USART-laite .....	29

6 GSM-JÄRJESTELMÄ .....	32
7 NOKIA 1CQ -TESTIALUSTA JA 12I-GSM-MODUULI.....	33
8 SUUNNITTELU, TOTEUTUS JA TESTAUS.....	36
9 POHDINTA .....	40
LÄHTEET.....	41
LIITE 1 VUOKAAVIOKUVAT KOORDINAATTORIN OHJELMASTA	

## LYHENTEET JA TERMIT

ARM	ARM-mikropiiriarkkitehtuuri
AVR	AVR-mikrokontrolleriarkkitehtuuri
CPLD	Complex Programmable Logic Device, ohjelmitava mikropiiri
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum, suorasekvenssihajaspektri- tekniikka
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, elektronisesti pyyhittävä, vain luettavissa oleva, ohjelmitava muisti
FPGA	Field-Programmable Gate Array, ohjelmitava mikropiiri
GSM	Global System for Mobile Communications, maailmanlaajuinen matkaviestinjärjestelmä
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö
IP	Internet Protocol, Internet-protokolla
I2C	Inter-Integrated Circuit, kaksijohtoinen sarjaliikenneväylä
LLC	Logical Link Control, OSI-mallin siirtoyhteyshierarkian osa
LR-WPAN	Low-Rate Wireless Personal Area Network, matalanopeuksi- nen langaton verkko
MAC	Medium Access Control, OSI-mallin siirtoyhteyshierarkian osa



MSC	Mobile Switching Center, kytkentäkeskus
OSI-malli	Open Systems Interconnection -malli, kuvaa tiedonsiirtoprotokollien keskinäisen hierarkian
PAN	Personal Area Network, likiverkko
PICmicro	PIC-mikrokontrolleriperhe
PWM	Pulse Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio
RS232	Recommended Standard 232, atk-laitteiden väliseen kommunikointiin kehitetty standardi
SIM	Subscriber Identity Module, tilaajan yksilöllinen älykortti
SPI	Serial Peripheral Interface, synkroninen sarjaliikenneväylä
SRAM	Static Random Access Memory, nopeaa välimuistia
TCP	Transmission Control Protocol, tiedonsiirtoprotokolla
UDP	User Datagram Protocol, tiedonsiirtoprotokolla
USART	Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter, yleinen synkroninen ja asynkroninen sarjaliikenneväylä
USB	Universal Serial Bus, sarjapäätteenäarkkitehtuuri laitteiden kytkentään
WPAN	Wireless Personal Area Network, Langaton likiverkko

# 1 JOHDANTO

Tänä päivänä tietotekniikka kehittyy jatkuvasti ja uusia tekniikoita syntyy mitä erilaisimpiin käyttötarkoituksiin. Tietotekniikkaa liitetään yhä enemmän ja enemmän osaksi arkipäiväisiä laitteita, jotka aiemmin ovat toimineet pääasiassa mekaanisesti ja ihmisvoimin.

Tietotekniikan nopean kehityksen sekä vanhojen tarpeiden olemassa olon seurauksena kehittyi Lasse Mäkelän kanssa ajatus rakentaa langaton ja samalla mahdollisimman vähävirtainen sensoriverkko tarkkailemaan ja tarvittaessa hälyttämään maatilan viljelysalueiden kasvuolosuhteista: lämpötilasta, suhteellista ilmankosteudesta ja valoisuudesta. Olimme kumpikin havainneet maanviljelysten vaativan suuren työmäärän juurikin tässä valvonnassa, jota täytyy tehdä ympäri vuorokauden tietyin väliajoin. Tämän tyyppiselle verkolle olisi varmasti myös kysyntää helpottamaan maanviljelijöiden työtä. Lämpömittarit, kosteusmittarit ja valoisuusmittaritan itsessään ovat jo vanhoja keksintöjä, mutta mittaustiedon saanti esimerkiksi 10 km:n päässä sijaitsevilta viljelysalueilta maatilan hoitajan tietoon vaati lisäselvittelyjä.

Tässä työssä perehdytään jonkin verran Lasse Mäkelän opinnäytetyönä toteuttaman pienivirtaisen ZigBee-sensoriverkon taustoihin sekä esitellään muutamia Matrix Multimedia Ltd:n valmistamia sovelluskehitystuotteita ja GSM-tekniikkaa (Global System for Mobile Communications) hyödyntävä ratkaisu tiedon siirtämiseksi sensoriverkosta käyttäjälle pitkienkin välimatkojen päähän. Työn alkupuolella esitellään työssä käytettyjen tekniikoiden teoriaa ja työn loppupuolella kerrotaan tämän työn suunnittelusta ja toteutuksesta.

## 2 IEEE 802.15.4 -STANDARDI

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.15.4 -standardi on kehitetty määrittelemään pohja mahdollisimman pienitehoisten ja edullisten langattomien laitteiden kehitykselle. Standardi tunnetaan myös LR-WPAN (Low-Rate Wireless Personal Area Network) -nimellä, joka on yksi WPAN (Wireless Personal Area Network) -tekniikoista. Muita WPAN-tekniikoita ovat IEEE 802.15.1 (Bluetooth-standardi) sekä IEEE 802.15.3 (High-data rate WPAN -standardi). (1, s. 4.)

IEEE 802.15.4 -standardissa määritellään kehitettäville laitteille ainoastaan OSI-mallin (Open Systems Interconnection) mukainen fyysinen kerros (Physical layer) ja siirtokerroksen (Data Link layer) MAC-alikerros (Medium Access Control sublayer), joka mahdollistaa ylempien OSI-mallin kerrosten toteutuksen monin eri tavoin, jolloin fyysinen kerros ja MAC-alikerros ovat valmiiksi standardoituna mahdollisimman edullisiksi, pienivirtaisiksi ja samalla myös yksinkertaisiksi. Kuvassa 1 punaisella kehyksellä havainnollistetaan OSI-mallin kerroksia, joita IEEE 802.15.4 -standardissa on määritetty. Pienitehoisilla laitteilla ovat käytettävät lähetystehot pieniä, jolloin radiokantamat ovat lyhyitä. Pienitehoisia laitteita käytettäessä myös datan siirtokyky on rajoittunutta. (1, s. 4.) Tästä syystä LR-WPAN-standardiin pohjautuvat laitteet soveltuvatkin erittäin hyvin erilaisiin mittaustietojen ja yksinkertaisia sanomia välittäviin sovelluksiin.

Seitsemän kerroksinen OSI-malli	IEEE 802 malli
Sovelluskerros	Ylemmät kerrokset
Esitystapakerros	
Istuntokerros	
Kuljetuskerros	
Verkkokerros	
Siirtokerros	Loogisen linkin ohjaus-LLC(Logical Link Control)
	MAC-kerros (Media Access Control sublayer)
Fyysinen kerros	Fyysinen kerros

KUVA 1. IEEE 802.15.4 -standardissa määritetyt OSI-mallin kerrokset (muokailen 1, s. 6)

## 2.1 Käytettävissä olevat radiotaajuudet

Langattomien tekniikoiden lisääntyessä käytettävät taajuudet on tarkoin säädelty eri maissa ympäri maailman. LR-WPAN-tekniikassa yleisimmin käytössä olevat taajuudet ovat

- 868,0–868,6 MHz lähes kaikissa Euroopan maissa
- 902–928 MHz Pohjois-Amerikassa
- 2,40–2,48 GHz lähes kaikkialla maailmassa
- 5,7–5,89 GHz lähes kaikkialla maailmassa. (1, s. 10.)

Eri taajuusalueilla on signaalin etenemisen kannalta merkittäviä eroja, joista syntyy myös eroja radiokantamiin LR-WPAN-sovellusten välillä. Käyttämällä esimerkiksi 868 MHz:n taajuusalueen radioita pystytään laitteiden väliä pidentämään käyttösovelluksesta riippuen. Käytettäessä 2,4 GHz:n taajuus- aluetta radiokantamat ovat lyhyempiä. Tämä ei ole varsinaisesti käytettävän taajuuden ominaisuus, vaan ominaisuus liittyy sovelluksissa käytettäviin antenneihin. Suuremmalla taajuudella puolen aallon mittaista dipoliantennia

käytettäessä antennin fyysiset mitat pienenevät ja tehollinen peittoalue on pienempi kuin pientä taajuutta käytettäessä. (1, s. 56.)

## **2.2 LR-WPAN-standardin muita tärkeitä määritteitä**

IEEE 802.15.4 -standardi sisältää paljon määritteitä laitteiden vähimmäisvaatimuksille, mutta tässä työssä esitetään tarkemmin vain osa näistä määritetyistä vaatimuksista. Erittäin hyvä lähde lisätiedon hankkimiseen on lähde luettelossa mainittu lähde numero 1.

### **2.2.1 Virrankulutus**

IEEE 802.15.4 -standardi määriteltiin tukemaan erittäin vähäistä tehtäväkierotoimintaa. Standardin mukaan hyvin vähäisillä toimenpiteillä laitteiden tulee pystyä toimimaan vaaditulla tavalla. Näin pystytään säästämään tehokkaasti virrankulutusta. Joissakin laitteissa tällaisia ratkaisuja käyttämällä pystytään toimimaan täysin normaalisti, vaikka vastaanotin ja lähetin olisivat 99 % ajasta käyttämättä. (1, s. 25–26.)

### **2.2.2 Modulaatio**

Standardissa on protokolla määritelty tukemaan vain digitaalista tiedonsiirtoa, jolla mahdollistetaan tehokkaiden modulointimenetelmien käyttö. Protokolla on myös määritelty tukemaan vain yhdensuuntaista liikennöintiä samaan aikaan, jolloin lähettimen ja vastaanottimen ei tarvitse olla päällä samanaikaisesti. (1, s. 26–27.)

### **2.2.3 Suorasekvenssihajaspektritekniikka**

Käyttämällä suorasekvenssihajaspektritekniikkaa (Direct Sequence Spread Spectrum) muokkaamaan ilmatielle lähetettävää signaalia pystytään parantamaan signaalin laatua, mutta samalla myös kulutetaan käytettävissä olevaa taajuusaluetta. Suorasekvenssihajaspektritekniikassa lähetettävä tieto-

virta moduloidaan ennalta sovittuun kohinaa muistuttavaan satunnaiseen digitaaliseen sekvenssiin nopeampaa kuin mitä lähetettävän tietovirran nopeus on. Tällöin siis lähetettävä tieto sekoittuu kohinaan ja näin lopullisen signaalin kaistanleveys on huomattavasti suurempi, joskin sen spektrinen tehotiheys on pienempi. Vastaanottimessa vastaanotettu signaali demoduloidaan alkuperäiseksi käyttämällä saman ennalta sovitun satunnaisen sekvenssin jäljennöstä. Jäljennös tehdään vastaanottimessa tekniikalla joka varmistaa, että jäljennös on tarpeeksi yhdenmukainen lähetetyn signaalin modulaation kanssa. (1, s. 27–28.)

#### **2.2.4 Lähetysteho**

Standardin mukaan on sallittua käyttää mitä tahansa laillisesti hyväksyttävää lähetystehoa. Ainoana vaatimuksena on, että laite pystyy lähettämään  $-3$  dBm:n teholla edullisilla akuilla ja erittäin tehokkaasti integroiduilla sekä edullisilla järjestelmäpiireillä. (1, s. 29.)

#### **2.2.5 Vastaanottoherkkyys**

Vastaanottoherkkyydelle standardi määrittelee vähimmäisrajat  $-92$  dBm, kun käytössä 868/915 MHz:n taajuusalue ja  $-85$  dBm herkkyuden, kun käytössä on 2,4 GHz:n taajuusalue. Nämä vähimmäisrajat täytyy saavuttaa edullisilla vastaanotinratkaisuilla sekä erittäin pienillä vahvistustehoilla. (1, s. 29.)

#### **2.2.6 Palvelun laatu**

Standardi ei tue useiden eri luokkaisten palvelujen käyttöä yhden verkon sisällä, mutta mahdollistaa vapaavalintaisen taattujen aikavälien käytön. Taattuja aikavälejä käyttämällä pystytään takaamaan laitteille kommunikointivälit tietyin väliajoin, jolloin ei synny mahdollisia viiveitä radiokanavalle viestimiseen. Tämä mahdollistaa tekniikan käytön sovelluksissa, joissa tarvitaan mahdollisimman pieniä vasteaikoja, kuten langattomissa hiirissä tai peliohjaimissa. (1, s. 29.)

## 2.2.7 Verkkokomponentit

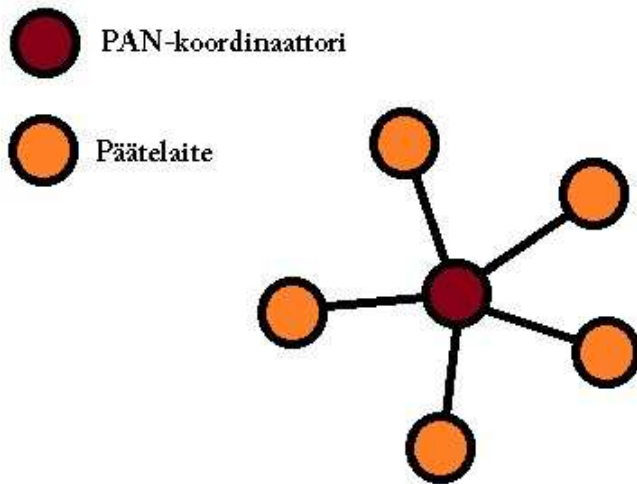
Verkon komponenteista IEEE 802.15.4 -standardissa on määritelty, että vain yksi laite verkossa voi olla pääkoordinaattori, jota kutsutaan PAN-koordinaattoriksi (Personal Area Network). Vain PAN-koordinaattori pystyy muodostamaan uuden verkon ja sen tehtävä on määritellä verkon rakenne ja toimintatila. Muut verkon laitteet voivat liittyä verkkoon kysymällä PAN-koordinaattorilta pääsylvuan. Näin verkon muodostamista varten tarvitaan aina yksi koordinaattori ja vähintään yksi päätelaite. Yksi koordinaattorin tehtävistä on hoitaa useampien laitteiden välinen liikennöinti toimimalla välityspalvelimena tiedonvälitykselle. (1, s. 29–30.)

## 2.2.8 Verkkotopologiat

IEEE 802.15.4 -standardissa on määritelty kaksi verkkotopologiaa ja yksi verkko voi toimia vain yhden topologian mukaisesti. Nämä topologiat ovat tähtitopologia (Star topology) ja peer-to-peer-topologia (Peer-to-peer topology). Myös muita topologioita on mahdollista toteuttaa, mutta niitä ei ole standardoitu IEEE 802.15.4:ään. (1, s. 30.)

### Tähtitopologia

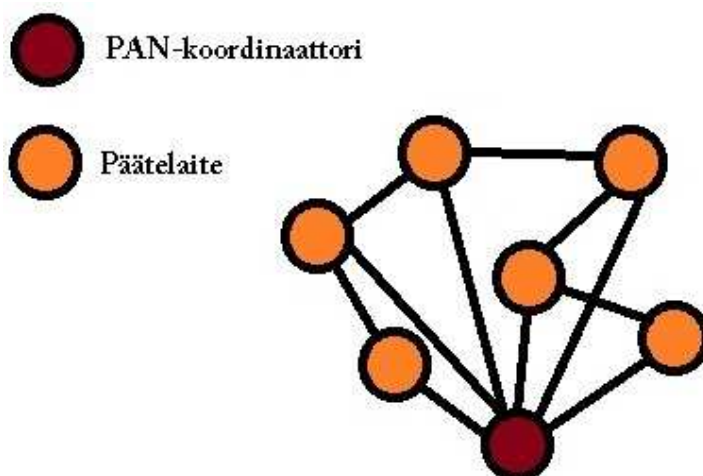
Tähtitopologian (kuva 2) nimitys tulee tähden muodosta, jossa on keskipiste ja useita sakaroita. Tähtitopologiassa PAN-koordinaattori on muiden laitteiden keskellä ja muut laitteet toimivat PAN-koordinaattorin ympärillä. Tähtitopologiassa PAN-koordinaattori on ainoa laite, joka on yhteydessä useampaan kuin yhteen laitteeseen, jolloin kaikki sanomat kulkevat PAN-koordinaattorin kautta. (1, s. 30.)



KUVA 2. Tähtitopologia (mukaillen 1, s. 67)

### Peer-to-peer-topologia

Peer-to-peer topologiassa (kuva 3) päätelaitteet voivat kommunikoida keskenään ilman, että PAN-koordinaattori vaikuttaa suoranaisesti tiedon välitykseen. Tällöin osa päätelaitteista voi toimia viestin välittäjinä laitteelta toiselle kohti PAN-koordinaattoria ja päinvastoin. Tällöin myös päätelaitteiden välinen viestintä on mahdollista ilman, että viestit kulkevat koordinaattorin kautta. Peer-to-peer-topologian avulla on mahdollista rakentaa toimintavarmempi tiedonvälitys, mutta tällöin verkon monimutkaisuus lisääntyy. (1, s. 30.)



KUVA 3. Peer-to-peer-topologia (mukaillen 1, s. 68)



## 2.3 LR-WPAN-tekniikoiden käyttökohteiden luokittelu

Erilaisia käyttökohteita LR-WPAN-tekniikoille on olemassa erittäin laajalta alueelta. Tämä onkin ollut LR-WPAN-standardin kehityksessä tärkeä suunnittelun lähtökohta. Käyttökohteet voidaan luokitella neljään eri luokkaan:

- Kiinnitettävät sensorit: Nämä sovellukset ovat langattomia antureita, jotka voivat toimia täysin langattomasti, mikä taas tarkoittaa akkukäyttöisten lähettimien käyttöä. Näiden sovellusten päätarkoitus on erilaiset monitorointi- ja etävalvontajärjestelmät.
- Virtuaaliset johdot: Nämä sovellukset ovat tarkoitettu käyttökohteisiin joissa langallisen tekniikan käyttö on mahdotonta. Tällainen käyttökohte voi olla esimerkiksi renkaan ilmanpaineanturi tai moottorin liikkuvien komponenttien tarkkailu.
- Langattomat hubit: Tällaisia käyttökohteita ovat keskitetyt hubit, jotka luovat langattoman sillan langallisen verkon ja LR-WPAN-verkon välille sekä toimivat kuten reititin ohjaamalla liikenteen eteenpäin kohti haluttua määränpäättä. Useissa tapauksissa tämä toteutetaan kahdella lähettimellä, joista toinen toimii hubina ja toinen toimii LR-WPAN-laitteena esimerkiksi kämmentietokoneessa.
- Kaapelien korvaajat: Nämä sovellukset on tarkoitettu korvaamaan johtoja kulutuselektronikan kannettaviin laitteisiin. Osa näistä sovelluksista on jo määritelty IEEE 802.15.1 -standardissa, jolloin LR-WPAN-tekniikka tarjoaa pienitehoisen ja edullisen vaihtoehdon. Nämä sovellukset eroavat kiinnitettävistä sensoreista käyttämällä joko jatkuvaa virtalähdettä tai ladattavissa olevia akkuja. (1, s. 13.)

## 2.4 LR-WPAN-tekniikan käyttökohteita

### **Teollinen ja kaupallinen hallinta sekä monitorointi langattomilla sensoreilla**

Teollisuuden ja kaupallisen sektorin tarpeet keskittyvät pienentämään kustannuksia luotaessa kattavaa matalan tason sensorointiympäristöä älykkäille

järjestelmille. Tämän tyyppiset sovellukset eivät välitä kriittistä tietoa, jolloin pidemmät viiveajat ovat hyväksyttäviä. Myöskään suurten tiedonsiirtonopeuksien tarvetta ei ole. Nämä sovellukset keskittyvätkin pieneen virrankulutukseen akkukäyttöisissä laitteissa, jotka mahdollistavat verkon muodostamisen. (1, s. 14.)

### **Kodin automaatio ja verkostoituminen**

Mahdollisia käyttökohteita kotiympäristöön on olemassa valtavan suuri määrä. Monia jo olemassa olevia sovelluksia on mahdollista muuttaa entistä pienivirtaisemmiksi ja edullisemmiksi käyttämällä LR-WPAN-tekniikkaa. Tällaisia käyttökohteita voisivat olla esimerkiksi kuluttajaelektronikan tuotteet kuten radiot, televisiot, cd-soittimet, dvd-soittimet, kauko-ohjaimet, tietokoneiden lisälaitteet ja liitännät. Näiden lisäksi kodin lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien kauko-ohjaus ja valvonta, valaistuksen ohjaus, sälekaihtimien automatisointi sekä kodin turvajärjestelmien anturit ja ohjaimet voivat olla tulevaisuudessa LR-WPAN-pohjaisia. (1. s.16–18.)

### **Henkilökohtainen terveydenhuolto**

Henkilökohtaisissa terveydenhuollon laitteissakin voidaan hyödyntää LR-WPAN-pohjaisia tiedonsiirtoratkaisuja. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi sykemittarit, askelmittarit, lämpömittarit, henkilövaa'at ja sukeltajien syvyysmittarit. Nämä kaikki laitteet voisivat välittää mittaustietoja esimerkiksi kämmenitietokoneeseen, josta mittaustuloksia voidaan tarkastella. (1, s. 18.)

### **Lelut ja pelit**

Erytisesti tietokoneen kanssa kommunikoivat lelut voivat hyödyntää erittäin paljon LR-WPAN-tekniikan tuomia mahdollisuuksia. Puhetta tunnistavien ja puhesynteesiä tuottavien lelujen valmistus on kallista, mikäli leluun itsessään joudutaan rakentamaan laskentaa suorittavia ratkaisuja. Lelujen valmistus muuttuu edullisemmaksi, kun leluun kehitetään ratkaisu, jossa vain mikrofooni, kaiutin ja lähetin ovat lelun sisällä ja varsinainen laskenta voidaan suorit-

taa esimerkiksi läheisellä tietokoneella käyttämällä hyödyksi langatonta yhteyttä lelun ja tietokoneen välillä. Pelien valmistajat voivat käyttää LR-WPAN-tekniikkaa hyödyksi esimerkiksi langattomien pelin tekemiseen pelaajien välille, jolloin langaton linkki välittää tietoa pelaajalta toiselle. (1, s. 18.)

### **Ajoneuvojen langattomat sovellukset**

Langattomat tiedonsiirtotekniikat ovat hiljalleen siirtymässä myös ajoneuvojen järjestelmiin erilaisten sähköisten laitteiden lisääntyttyä ajoneuvojen tekniikan osina ja mukavuusvarusteina. Näissä sovelluksissa Bluetooth-tekniikka on ottanut suuren roolin erityisesti matkapuhelinten ja ajoneuvon tietojärjestelmien yhteensovittamisessa. Ajoneuvot sisältävät kuitenkin tänä päivänä erittäin paljon erilaisia antureita joka puolella ajoneuvoa. Antureita käytetään esimerkiksi mittaamaan renkaiden pyörimisnopeuksia tai tarkkailemaan moottorin toiminnallisuutta. Näitä antureiden vaatimia kalliita kaapelointeja voitaisiin korvata edullisilla langattomilla tekniikoilla. Yksi mahdollinen sovellusesimerkki on renkaan ilmanpainevalvonta ajoneuvossa, jolloin langattoman ja vähävirtaisen tekniikan käyttö on ehdotonta. Akunkeston tulisi olla vähintään 3 vuotta renkaan sisällä, koska akunvaihto renkaan sisään olisi erittäin epäkäytännöllistä renkaanvaihdon yhteydessä. (1, s. 19–20.)

### **Täsmällinen maanviljely**

Täsmällinen maanviljely on haastava käyttökohde LR-WPAN-tekniikoille. Täsmällinen maanviljely on ympäristöystävällinen ratkaisu, joka optimoi tuotteiden laatua ja tuottavuutta. Samalla pystytään minimoimaan maatalouden kustannuksia, ihmisen työpanoksen tarvetta ja sään vaihteluiden aiheuttamia tuhoja. Vielä tänä päivänä maanviljely on erittäin ympäristö- ja ihmisriippuvaista. Erilaiset työkoneet ovat vain apuvälineitä viljelyssä, jossa ihmisen työpanos ja kasvuolosuhteiden seuranta ovat tärkeässä roolissa mahdollisimman laadukkaan ja hyvän sadon aikaansaamiseksi. (1, s. 20–21.) Edellä mainittuihin tarpeisiin perustuukin tämän opinnäytetyön idea.

Kasvuolosuhteiden seurantaan varten tässä opinnäytetyössä suunniteltu tiedotusjärjestelmä ja hälytysjärjestelmä voisi toimia erittäin suurena apuna auttaen havaitsemaan kasvuolosuhteissa tuhoja aiheuttavia sääilmiöitä, kuten hallan, kuivumisen tai esimerkiksi valoisuuden puutteen.

### 3 ZIGBEE

ZigBee on ZigBee-allianssin rekisteröimä nimitys tietoliikenneverkkotekniikasta, joka on kehitetty IEEE 802.15.4 -standardiin pohjautuen. ZigBee-allianssi on useiden tunnettujen suurten yritysten ja lukuisten pienempien yritysten muodostama yhteenliittymä, joka tarjoaa luotettavan, kustannustehokkaan ja pienivirtaisen langattoman verkkotekniikan valvonta- ja hallintatuotteisiin avoimeen standardiin pohjautuen. ZigBee-allianssin tavoite on tarjota kuluttajille perimmiltään joustava, liikkuva ja helppokäyttöinen tietoliikenneverkkotekniikka mahdollistamaan langatonta älykkyyttä ja ominaisuuksia sisältäviä laitteita jokapäiväiseen käyttöön. (2.)

ZigBee on ainoa standardipohjainen langaton teknologia, joka

- määrittelee etävalvonta-, hallinta- ja anturiverkkojen yksilölliset tarpeet
- mahdollistaa laaja-alaista käyttöönottoa langattomissa verkoissa edullisia ja vähävirtaisia ratkaisuja käyttäen
- tarjoaa mahdollisuuden käyttää edullisia paristoratkaisuja vuosien paristokestävyydellä tyypillisissä valvontasovelluksissa (3).

Tämän opinnäytetyön matkapuhelimeen lähetettävänä tietona on käytetty Lasse Mäkelän opinnäytetyönä toteutetun ZigBee-verkon mittaamia lukuarvoja. Tässä työssä ei käsitellä tarkemmin ZigBee-verkon ominaisuuksia ja toiminnallisuutta, mutta lisätietoa ZigBeestä löytyy tarvittaessa kattavasti esimerkiksi osoitteesta <http://www.zigbee.org/>.

## 4 MATRIX MULTIMEDIA

Matrix Multimedia on johtava maailmanlaajuinen teknologiayhtiö, jonka pääkonttori on Halifaxissa, Englannissa. Matrix Multimedian valmistamia tuotteita on suunnattu niin opetus-, teollisuus- kuin kotikäyttöönkin. Päätuotteita Matrix Multimedialla ovat Flowcode ja E-Blocks. (4.)

Tässä opinnäytetyössä on käytetty molempia Matrix Multimedian päätuotteista kehittämään tavoitteena olleen järjestelmän prototyyppi.

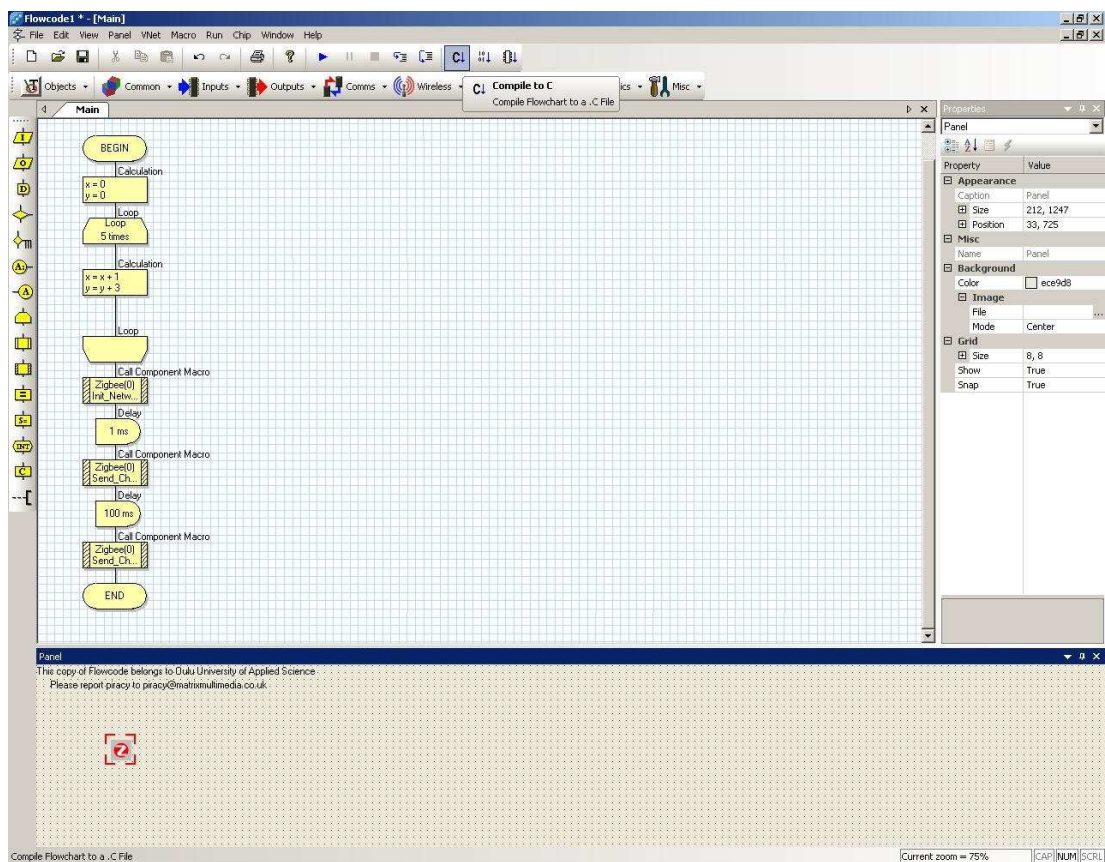
### 4.1 Flowcode v4 for AVR

Flowcode on Matrix Multimedian valmistama yksi maailman monipuolisimmista graafista ohjelmointikielistä eri tyyppisten mikrokontrollerien ohjelmointia varten, jolla kokemattomampikin ohjelmoija voi kehittää monimutkaisiakin järjestelmiä. Flowcodea käytetään erittäin laajasti opetuksessa ja teollisuudessa. (4.)

Flowcode v4 for AVR -ohjelmisto on Matrix Multimedian uusin Flowcoden versio AVR-mikrokontrollerien ohjelmointia varten. Flowcode on C-kielisen ohjelmoinnin perusteet ymmärtävälle kohtalaisen helppokäyttöinen työkalu, jolla mikrokontrollerin ohjelmointi onnistuu pienen ohjelmiston toimintaan perehtymisen jälkeen. Graafisena ohjelmointikielenä ohjelmointi on käytännössä erilaisten muuttujien määrittelyä ja niiden käyttöä erilaisissa valmiissa graafisissa vuokaaviokuvakkeissa, jotka linkitetään toisiinsa graafisesti. Nämä valmiit kuvakkeet sisältävät C-koodikielen perusrakenteita ja makrokutsuja. Myös omien makrojen ja funktioiden kirjoittaminen ja käyttäminen on mahdollista.

Tässä työssä tarpeen ovat olleet myös omat makrot, jotta tiedonsiirto mikrokontrollerin ja GSM-testialustan välillä on saatu mahdolliseksi. Omia makroja hallitaan ohjelmassa olevan erillisen Makrot-valikon kautta. Makrojen kautta on mahdollista tehdä useita erilaisia funktioiden ja muuttujien määrittelyjä

koodin alkuun ennen varsinaista pääohjelmaa C-koodissa. Myös tavallista C-koodia voidaan kirjoittaa suoraan vuokaavioon sisällytetyksi, mutta tällöin tulee huomioida lopullinen rakenne, jonka Flowcode-ohjelma kääntää C-koodiksi. Vuokaavioon sisällytetyt C-koodikielen rivit kääntyvät lopullisessa C-koodissa pääohjelman sisälle. Flowcode-ohjelma kääntää C-kielisen koodin vielä Assembly-koodiksi, jonka jälkeen koodi käännetään vielä heksamuotoiseksi. Tämän jälkeen ohjelma voidaan siirtää AVR ISP II -koodauslaitteella AVR-piiriin flash-muistiin. Flowcode v4 for AVR -ohjelman käyttöliittymä on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Flowcode v4 for AVR -ohjelman käyttöliittymä

## 4.2 E-Blocks

Matrix Multimedian toinen päätuote ovat E-Blockit, jotka ovat erilaisin komponentein varustettuja toisiinsa suoraan liitettävissä olevia valmiita järjestelmän osia. E-Blockeissa on mahdollista suorittaa pinnikytkentöjä omiin tar-

peisiin soveltuviksi, jolloin ne mahdollistavat mitä erilaisimpien sovellusten kehittämisen.

E-Blockien tärkeimpiä ominaisuuksia ovat

- tuki PICmicro, AVR, ARM ja Altera CPLD & FPGA -piireille
- tukeva rakenne, joka on valmistettu luokkahuoneiden karut vaatimukset täyttäväksi
- enemmän kuin 150 liitettävissä olevaa valmista E-Blockia
- tuki laajalle valikoimalle erilaisia kommunikointitekniikoita. kuten SPI:lle, RS232:lle, I2C:lle, TCP/IP:lle ja USB:lle (5).

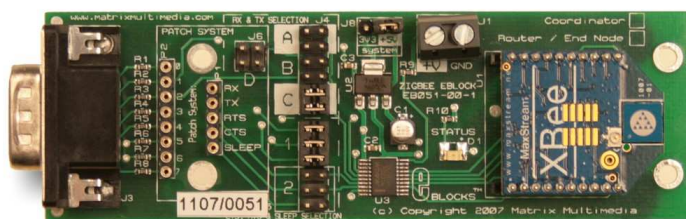
E-Blockeja löytyy varustettuna esimerkiksi ZigBee-radiolla, LCD-näytöllä, RS232-muuntimella, analogisella ja digitaalisella inputilla, Bluetoothilla ja PS2/VGA-liittimillä (5). Tässä työssä käytössä on ollut E-Blockeista

- AVR-mikrokontrollerialusta EB194-00-2 (kuva 5)
- ZigBee-koordinaattoriradio EB051-00-1 (kuva 6)
- graafinen näyttö EB058-30-1 (kuva 7)
- prototyyppialusta EB016-30-1 (kuva 8)
- metallinen kiinnityslevy E-Blockien kiinnitystä varten (kuva 9).

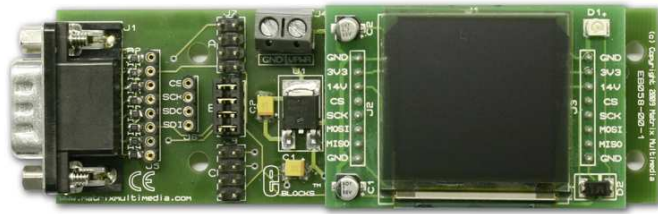




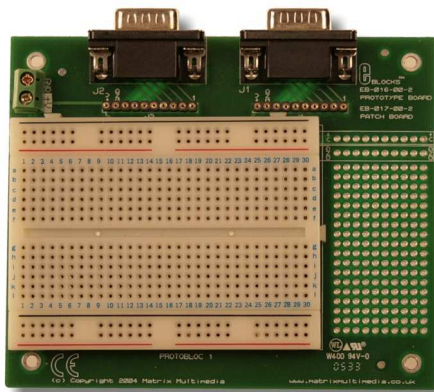
*KUVA 5. AVR-mikrokontrollerialusta -pakkaus EB194-00-2 (5)*



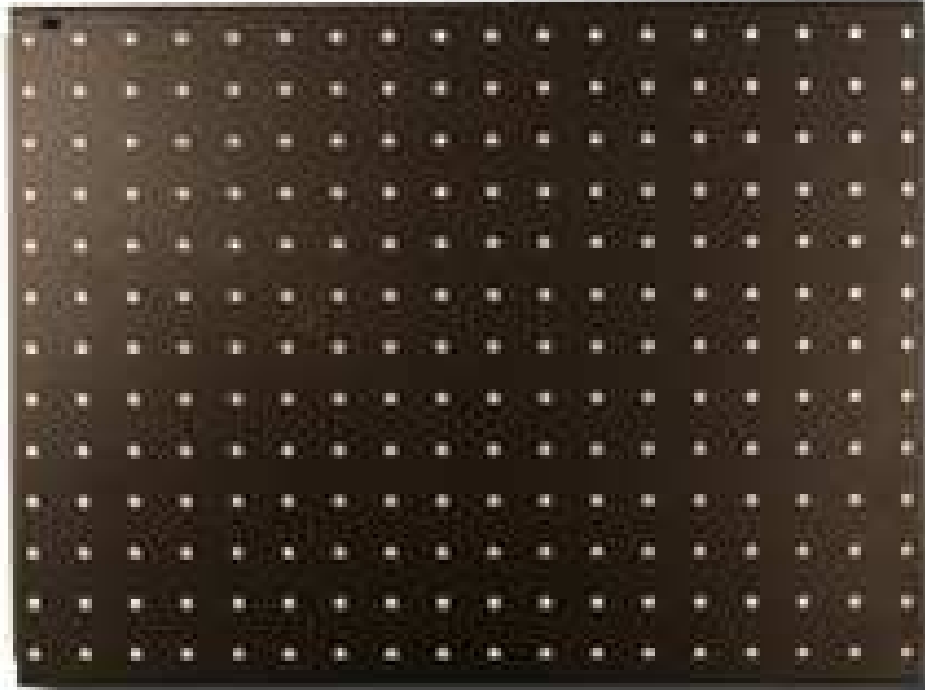
*KUVA 6. ZigBee-koordinaattoriradio EB051-00-1 (5)*



KUVA 7. Graafinen näyttö EB058-30-1 (5)



KUVA 8. Prototyypialusta EB016-30-1 (5)



*KUVA 9. Metallinen 270 mm x 250 mm kiinnityslevy E-Blockeja varten (5)*

ZigBee-koordinaattoriradio mainitaan tässä sen vuoksi, että valmistajan toimittamaa valmista E-Blockin kytkentää jouduttiin hieman muokkaamaan, jotta signaalit AVR-piirin pinneistä eivät menisi päällekkäin USART-laitteissa (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter). Varsinaisesti tässä työssä ei siis ole tarvittu ZigBee-koordinaattoriradiota, vaan ZigBee-koordinaattoriradio toimii osana Lasse Mäkelän opinnäytetyötä, johon tämä työ on liitetty. LCD-näyttöä on käytetty ilmaisemaan GSM-modeemille lähetettävät lukuarvot ja prototyypialustaa käytettiin alustana jännitemuuntopiirin kytkentää varten. Tässä työssä käytössä ollut AVR-mikrokontrollerialusta on varustettu 20 MHz:n ulkoisella oskillaattorilla ja seuraavassa luvussa esiteltävällä 8-bittisellä ATmega324P-mikrokontrollerilla.

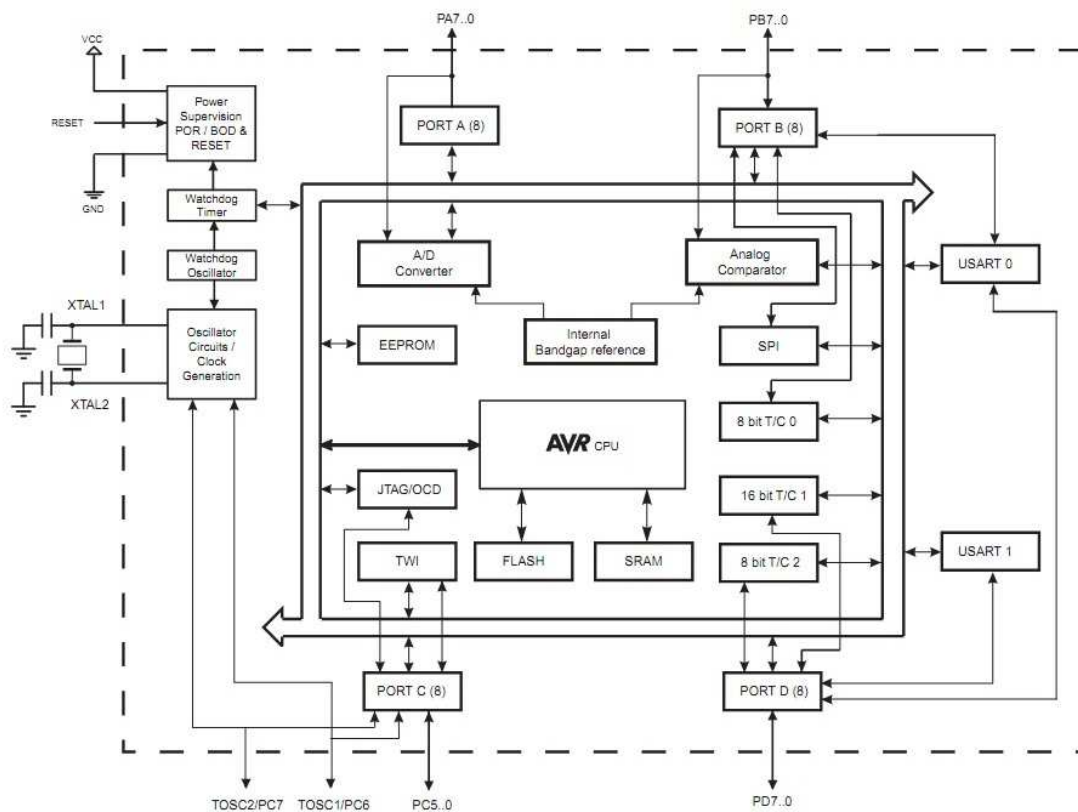
## 5 8-BITTINEN AVR-MIKROKONTROLLERI

Tässä työssä aiemmin esiteltyyn Matrix Multimedian AVR-mikrokontrollerialustaan kiinnitettynä on käytetty Atmel Corporationin valmistamaa 40-pinnistä, 8-bittistä megaAVR-mikrokontrolleria, ATmega324P:tä.

Atmelin valmistamat 8-bittiset megaAVR-mikrokontrollerit on suunniteltu sovelluksiin, joissa vaaditaan suurta ohjelmakoodin tallennuskapasiteettia. Nämä mikrokontrollerit ovat edullisia, tehokkaita ja erittäin hyvin integroitavissa olevia pienivirtaisia vaihtoehtoja lukemattomiin eri käyttökohteisiin. Piirin mallin mukaan megaAVR-mikrokontrollerit sisältävät useita erilaisia ominaisuuksia, kuten flash-muistia, SRAM-muistia, analogisen vertailijan, yleisiä I/O-piinejä sovellusten käyttöön, ajastimia ja useita erilaisia kommunikointiväyliä. (6.)

### 5.1 ATmega324P-mikrokontrolleri

Tässä työssä käytetty ATmega324P-mikrokontrolleri sisältää 32 kilotavua flash-muistia ohjelmakoodia varten, yhden kilotavun EEPROM-muistin (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) ja kaksi kilotavua sisäistä SRAM-muistia (Static Random Access Memory). Lisäksi mikrokontrollerista löytyy IEEE 1149.1 -standardiin yhteensopiva JTAG-liitäntä, kaksi 8-bittistä laskuria, yksi 16-bittinen laskuri, reaaliaikalaskuri erillisellä oskillaattorilla, kuusi PWM-kanavaa (Pulse Width Modulation), kahdeksankanavainen 10-bittinen ADC-muunnin, tavuperustainen kaksijohtoinen sarjaväylä, kaksi ohjelmoitavaa USART-laitetta (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter), SPI sarjaliitäntä, ohjelmoitava vahtikoira-ajastin erillisellä oskillaattorilla, analoginen vertailija ja useita erilaisia keskeytys sekä herätystoimintoja. (7.) Edellisten lisäksi kuvassa 10 esitettyssä ATmega324P-mikrokontrollerin lohkokaaviossa voidaan havaita ulkoiset porttiliitännät A, B, C ja D.



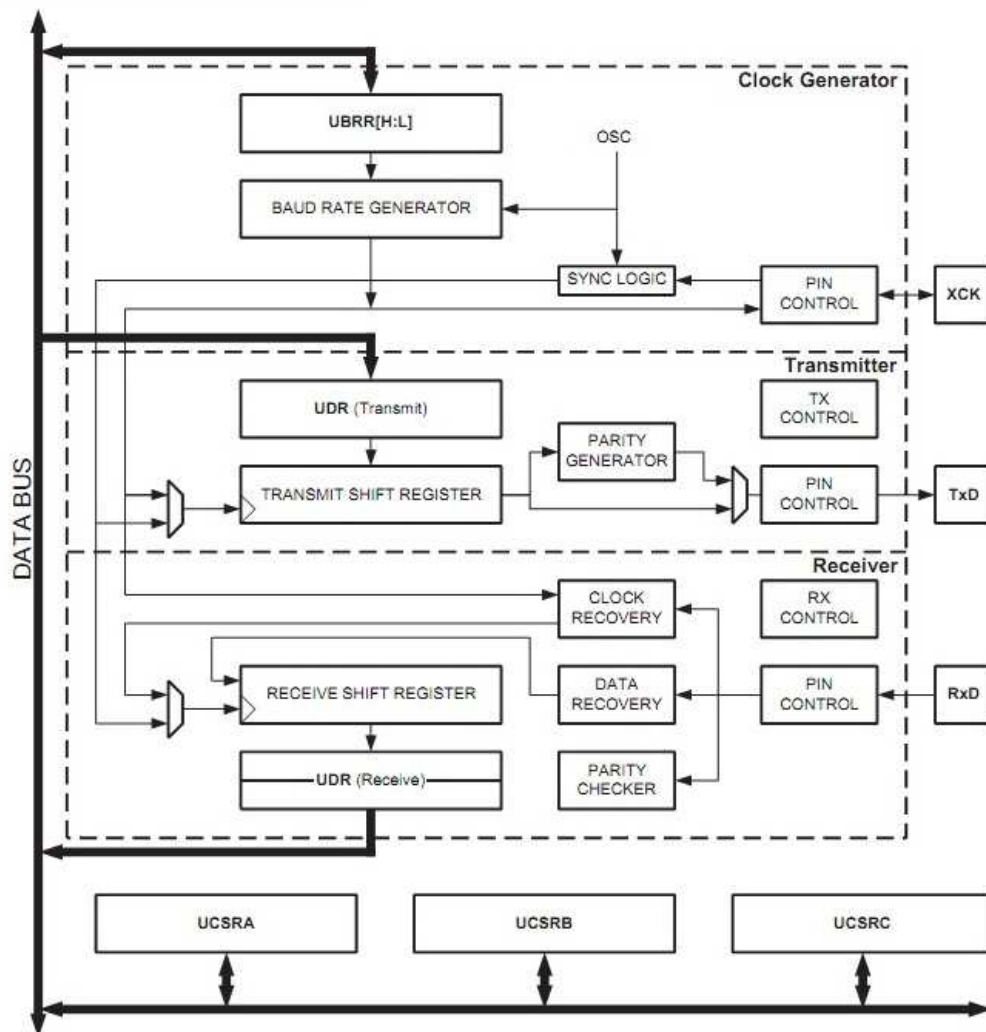
KUVA 10. ATmega324P- mikrokontrollerin lohkoakaavio (7)

Tässä työssä on käytetty hyödyksi ATmega324P:n kahta USART-laitetta, jotka ovat erittäin joustavia kommunikointiväyliä laitteiden väliseen kommunikointiin. Toinen näistä USART-laitteista on ZigBee-koordinaattoriradion käytössä ja toista USART-laitetta käytetään GSM-testialustan kanssa kommunikoitaessa. Lisäksi työssä on käytetty hyödyksi vapaasti ohjelmoitavissa olevia pinnejä ja laskureita viiveiden laskentaa varten.

## 5.2 USART-laite

USART-laite on erittäin joustava sarjamuotoinen liitäntäväylä, joka on ohjelmoitavissa toimimaan usein eri tavoin. USART-laite sisältää erilliset sarjamuotoisen liikenteen vastaanottimen ja lähettimen rekisterit, mikä mahdollistaa yhtäaikaisen liikennöinnin molempiin suuntiin. USART-laitetta voidaan käyttää tarpeen mukaan asynkronisessa tai synkronisessa toiminnassa. USART-laite sisältää oman baudrate-generaattorin (bittiä per sekunti) ja USART-laite tukee sarjaliikennepaketteja, jotka sisältävät viidestä yhdek-

sään databittiä ja yhden tai kaksi stop-bittiä. Lisäksi USART-laite sisältää pariteetilaskimen, datan ylivuodon havaitsemisen, kehystysvirheiden havaitsemisen, kohinasuodattimen, useita erillisiä keskeytystoimintoja, usean prosessorin kommunikointitilan ja tuplanopeuksisen asynkronisen kommunikointitilan. (7, s. 171.) Kuvassa 11 on USART-laitteen lohkokaavio.



KUVA 11. USART-laitteen lohkokaavio (7)

Kuvasta 11 voidaan havaita USART-laitteen muodostuvan kolmesta eri päälohkosta: kellogeneraattorista, lähettimestä ja vastaanottimesta. Lohkojen ohjauksessa käytettäviä rekisteriarvoja on määritetty kolmeen rekisteriin: UCSRA:han, UCSRB:hen sekä UCSRC:hen ja niitä luetaan sekä kirjoitetaan paksuilla nuolilla merkittyä dataväylää pitkin. USART-laitteen ulkopuolella

olevista pinneistä (TxD ja RxD) voidaan sarjamuotoinen data lähettää toiselle laitteelle ja vastaanottaa toiselta laitteelta USART-laitteen sisään. XCK (Transfer Clock) -pinniä käytetään ainoastaan synkronisessa lähetystilassa. (7. s. 173.)

Kellogeneraattori sisältää baudrate-generaattorin, joka määrää siirtolinjalle lähetettävien ja siirtolinjalta vastaanotettavien bittien kirjoitus- ja lukunopeuden (7, s. 172).

Lähetin koostuu kirjoituspuskurista (UDRn), siirtorekisteristä, pariteetti-generaattorista ja ohjauslogiikasta, joka hallitsee erikokoisten sarjapakettien ohjauksen. Kirjoituspuskuri mahdollistaa jatkuvan lähetyksen ilman viiveitä pakettien välillä. (7, s. 172.)

Vastaanotin on USART-laitteen monimutkaisin osa sisältämiensä data- ja aikakorjausyksiköiden vuoksi, joita käytetään asynkronisessa vastaanotossa. Korjausyksiköiden apuna vastaanottimessa toimii pariteettitarkistin, ohjauslogiikka, siirtorekisteri ja kaksitasoinen vastaanottopuskuri (UDRn). (7, s. 172.)

## 6 GSM-JÄRJESTELMÄ

GSM-järjestelmät (Global System for Mobile Communications) ovat tänä päivänä maailmalla hyvin yleisesti käytössä ja ne mahdollistavat useiden niihin kytkettyjen järjestelmien sekä tekniikoiden avulla monenlaisien tiedonsiirtopalveluiden käytön. Tällaisia palveluita ovat muun muassa äänen siirto, tekstiviestien välitys ja datapakettien lähetys sekä vastaanotto. Uusia järjestelmiä ei kehitetä korvaamaan GSM-järjestelmiä, vaan järjestelmiä on tarkoitus käyttää yhdessä. (8, s. 121.)

Tässä työssä tärkein GSM-verkon palveluista on tekstiviestin välitys. Tekstiviesti lähetetään päätelaitteesta tukiasemajärjestelmään, josta se ohjataan keskusjärjestelmän kautta eteenpäin kohti määränpäänä olevaa toista päätelaitetta.

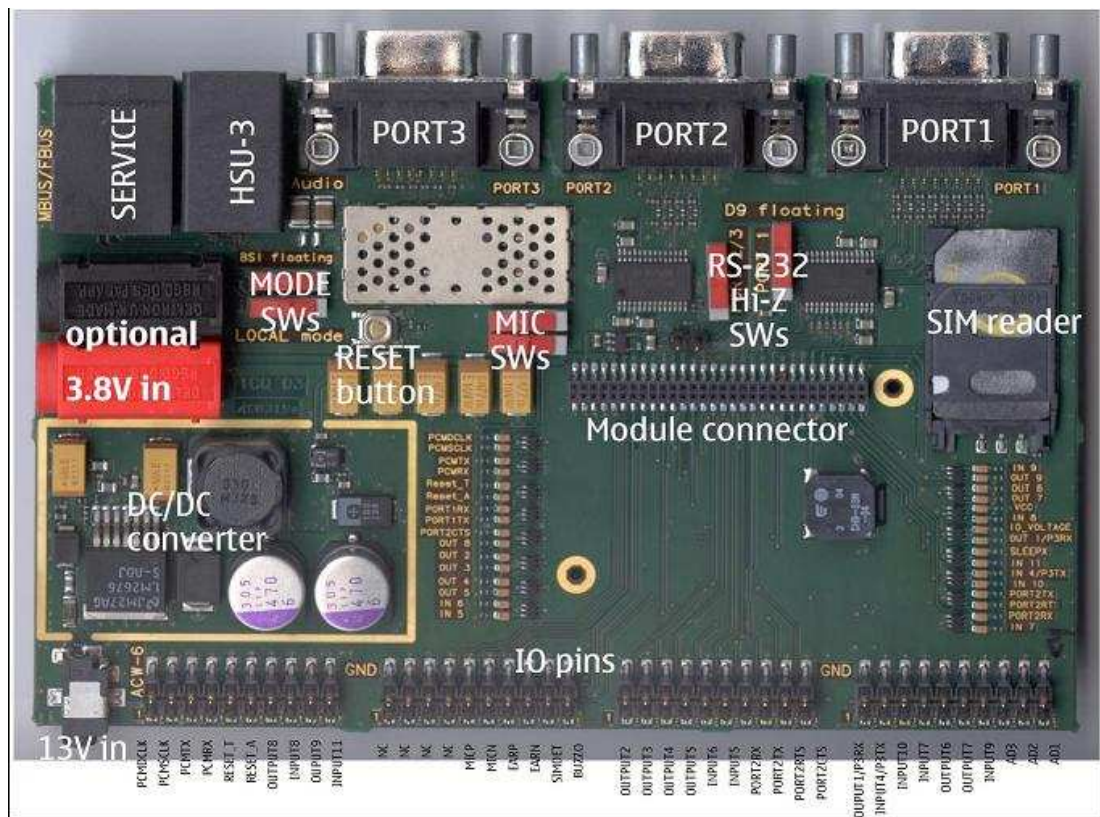
GSM-päätelaite koostuu matkaviestinlaitteesta ja siihen kytketystä SIM-kortista (Subscriber Identity Module). GSM-päätelaitteeseen ei ole määritelty pakolliseksi näppäimistöä, kunhan numeroiden 0–9 ja erikoismerkkien \* sekä # syöttäminen on mahdollista. Syöttö voi tapahtua esimerkiksi ohjelmallisesti tai puheentunnistuksen avulla. Perusaakkosnumeeristen merkkien sijoittelu näppäinten numeroita vastaaviin paikkoihin on määritetty GSM-spesifikaatiossa. (8, s. 132–134.) Tässä työssä GSM-päätelaitteena on käytetty Nokia 1CQ -testialustaa, jossa ei ole omaa näppäimistöä.

Päätelaitteella on aina jokin GSM-verkko, jota kutsutaan kotiverkoksi. Tukiasemajärjestelmä koostuu tukiasemista ja tukiasemaohjaimista. Tukiasemaohjaimien päätehtävä on toimia oman alueensa radioresurssien hallitsijana. Tukiasemaohjaimet ovat yhteydessä keskusjärjestelmän MSC:hen (Mobile Switching Center), joka taas puolestaan on yhteydessä useisiin rekistereihin, jotka sisältävät esimerkiksi verkossa vierailevien laitteiden ja verkossa olevien ”omien” päätelaitteiden sijainti- ja omistajatietoja. Sijaintitietojen perusteella sanomien välityspyyntöjä osataan ohjata oikean tukiaseman peittoalueelle kutsumaan vastaanottajaksi merkittyä laitetta. (8, s. 121–131.)



## 7 NOKIA 1CQ -TESTIALUSTA JA 12I-GSM-MODUULI

Nokia 1CQ -testialusta on GSM-moduulilla varustettu suunnittelu- ja testausalusta, joka sisältää normaalien GSM-toimintojen ja liitäntöjen lisäksi useita analogisia ja digitaalisia liitäntöjä, joihin on mahdollista liittää useita erilaisia laitteita. Kuvassa 12 on Nokia 1CQ -testialusta ja kuvassa 13 on Nokia 12i -GSM-moduulia edeltänyt versio Nokia 12 -GSM-moduuli.



KUVA 12. Nokia 1CQ -testialusta (9)

Nokia 1CQ -testialustasta löytyy kuvassa 9 esiintyvät portit 1–3, joihin voidaan liittää DB9-liittimellä useita erilaisia laitteita. Porteissa on valintakytkimillä valittavissa RS232-sarjaliikennemuuntimet käyttöön tai pois käytöstä, jolloin voidaan käyttää tarvittaessa joko RS232-standardin mukaisia jännitteitä tai TTL-jännitteitä (Transistor Transistor Logic). Lisäksi 1CQ-testialustassa on SIM-korttiliikija, handsfree-liitäntä, huoltoliitäntä, jännitemuuntopiiri, valinnaiset Input/Output-pinnit, porttien 1–3 toimintatilavalitsimet ja valinnaiset 3,8

voltin virtaliitännät sekä GSM-moduulin liitännätäräma.



*KUVA 13. Nokia 12 GSM-moduuli (9)*

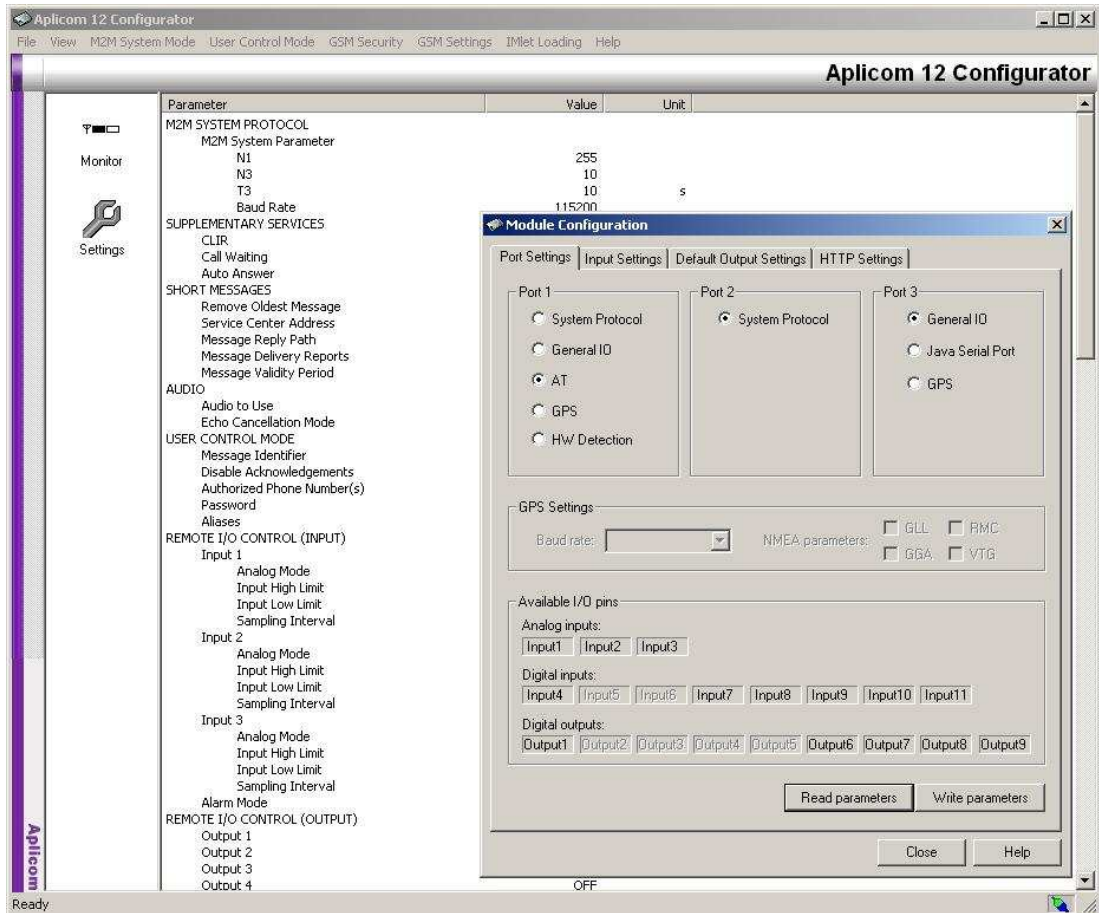
Nokia 12i -GSM-moduuli sisältää paljon käytettävissä olevia valmiita ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi

- Java IMP 1.0 virtual machine
- kaksitaajuustoiminta EGSM900/GSM1800MHz
- EDGE, GPRS, HSCSD, CSD, SMS tuki
- sisäänrakennettu tuki TCP/IP-, UDP/IP-, http- ja CORBA-protokollille, joita voidaan käyttää Java-sovellusten kautta
- AutoPIN, GSM-salaus ja GSM-turvallisuuskoodit
- GPS-tuki (NMEA-183)
- tuki perus-AT-komennoille. (10.)

Moduuli mahdollistaa esimerkiksi monenlaisien etähallintasovellusten rakentamisen hyödyntäen GSM-verkkojen tiedonsiirtomahdollisuuksia. Tässä työssä on tullut esille muutamia laajennusmahdollisuuksia, joita mainitaan tämän työn loppupuolella.

Nokia 12i -moduulia sekä sen alustana toimivaa Nokia 1CQ -testialustaa voidaan konfiguroida erillisellä hallintaohjelmalla, Aplicom 12 Configuratorilla.

Ohjelman kautta voidaan määrittää esimerkiksi toimintatilat porteille 1–3 ja I/O-pinneille, HTTP-yhteysasetukset, käytettävä operaattori ja GSM-suojausasetukset. Kuvassa 14 on Aplicom 12 Configurator -ohjelma.



KUVA 14. Kuvankaappaus Aplicom 12 Configurator -ohjelmasta

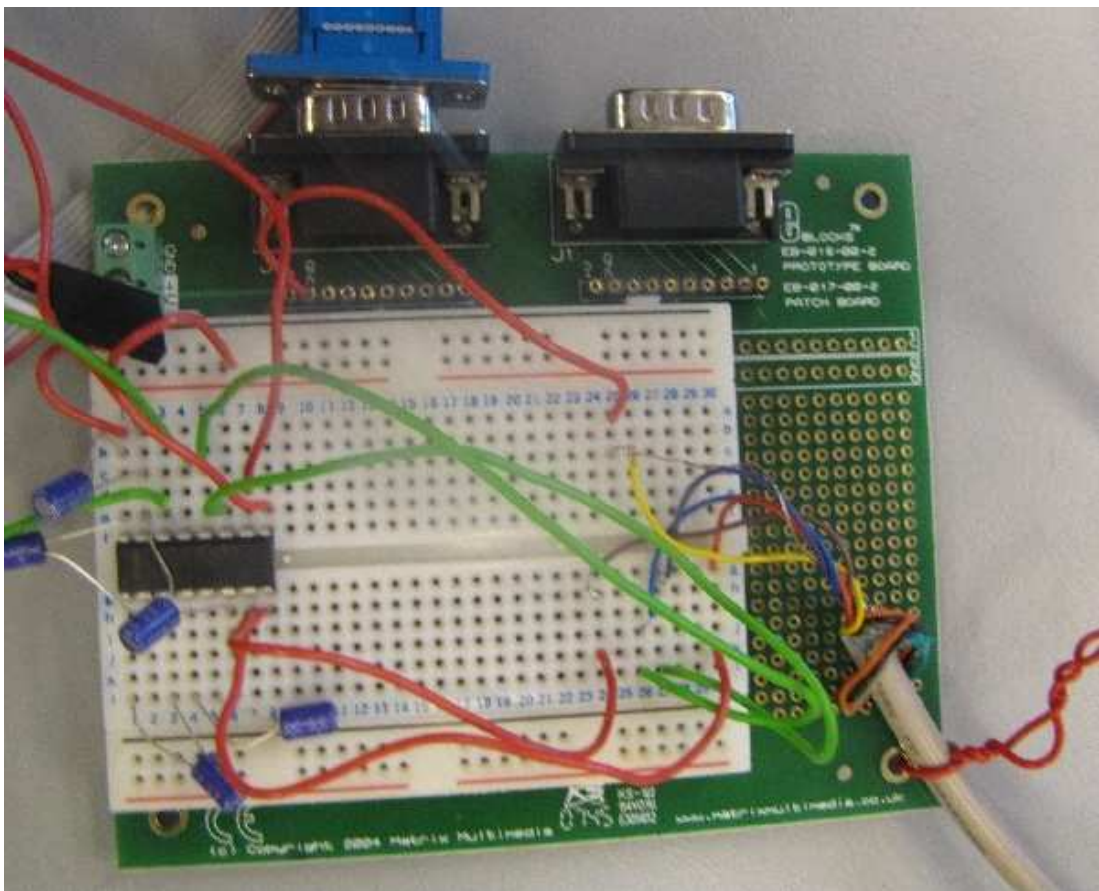
## 8 SUUNNITTELU, TOTEUTUS JA TESTAUS

Työn suunnittelu aloitettiin miettimällä Lasse Mäkelän kanssa yhdessä tehtävän projektin vaatimuksia. Alussa esille tulleita asioita olivat akkukäyttöisyys, langattomuus, muutaman sadan metrin radiokantomatkat sensoriverkossa ja kilometrien kantomatkasta käyttäjälle. Jo varsin pian selvisi, että ZigBee-verkkotekniikka olisi tarpeisiin hyvin soveltuva pienivirtainen langaton verkkotekniikka, jolla sensoriverkko toteutettaisiin, ja GSM-teknikka olisi hyvä vaihtoehto pitkien välimatkojen tiedonsiirtoon. Tässä vaiheessa ajatus oli, että tieto voidaan välittää käyttäjälle tavallisen SMS-tekstiviestin avulla. Pitkien välimatkojen tiedonsiirtoon vaihtoehtona kävi myös WLAN-teknikka, mutta se hylättiin vaihtoehtona hyvin nopeasti huonojen radiokantamien ja suurehkon virrankulutuksen vuoksi.

Työ alkoi varsin pian perehtymällä koulun työtä varten käyttöön tarjoamaan Nokian 1CQ-testialustaan ja sen tarjoamiin mahdollisuuksiin. Selvisi, että käyttämällä sarjaliikennöintiväylää pystyttäisiin AT-komentoja käyttäen ohjaamaan GSM-moduulia. Tässä vaiheessa oli vielä hieman epäselvää, mikä ZigBee-laitevalmistajan verkkolaitteita tulaisiin lopulta käyttämään järjestelmässä. Lasse Mäkelän perehdyttyä asiaan päädyttiin käyttämään Matrix Multimedian E-Blockeja. Niistä löytyi myös sarjaliikennöintimahdollisuus. Lisäksi pohdittiin GSM-teknikan mahdollisuuksia tiedonsiirtoon tietokantapalvelimelle. Tiedonsiirtoa tietokantapalvelimelle suunniteltiinkin muutamia päiviä työn edetessä, mutta Java-ohjelmoinnin osaamisen puutteen vuoksi tästä ratkaisusta luovuttiin. Tiedonsiirron tietokantapalvelimelle käyttämällä GSM-moduulin TCP/IP- tai UDP/IP-protokollapinoja todettiin kuitenkin olevan hyvin todennäköisesti tähän projektiin laajennettavissa oleva mahdollisuus.

Tekstiviestin lähetys AVR-mikrokontrollerilta on toteutettu käyttämällä hydroksi AVR-mikrokontrollerin sisäistä USART-laitetta. AVR-mikrokontrollerin pinnit käyttävät TTL-jännitetasoja, jolloin vaadittiin erillistä ulkoista jännitemuuntopiiriä muuntamaan jännitteet Nokia 1CQ -testialustan käyttämää

RS232-sarjaliikennemuotoa varten. Tähän tarkoitukseen valittiin Maxim Integrated Products Inc.:n valmistama MAX232CPE-piiri, joka liitettiin Matrix Multimedian valmistamaan prototyypialustaan ja johon kytkentä rakennettiin AVR-mikrokontrollerin ja Nokia 1CQ -testialustan välille. Kytkennässä tarvittiin RS232-standardin mukaisista johdoista lähetys (Tx)-, vastaanotto (Rx)-, RTS (Ready To Send)-, CTS (Clear To Send)- ja maasignaali johdot. Lisäksi kytkentä vaati virta- ja maakytkennät MAX232CPE-piirille. Kuvassa 15 on MAX232CPE-piiri kytkettynä laitteiden välille prototyypialustalla.



*KUVA 15. Prototyypikytkentä AVR ja GSM laitteiden välille*

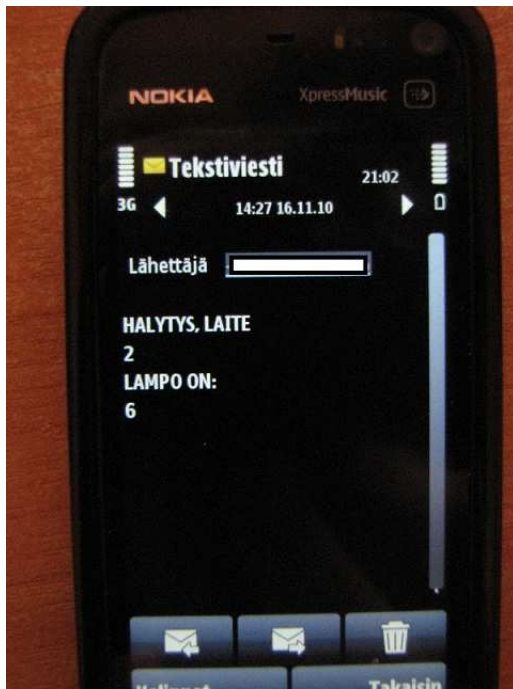
Kytken jälkeen AVR-mikrokontrolleriin on luotu C-kielinen ohjelma, joka lähettää GSM-moduuliin AT-komentoja käyttäen tekstiviestin lähetyskomentot. AVR-mikrokontrollerin sisältämään ohjelmaan on lisätty myös vuonohjaus, jonka tehtävä on huolehtia laitteiden pysyminen synkronissa keskenään eikä näin ollen merkkejä AT-komennoista jäisi välittämättä perille GSM-moduuliin mahdollisten välitysviiveiden johdosta. Vuonohjaus on toteutettu

käyttämällä AVR-mikrokontrollerin rekisteriarvojen tarkastelua.

Ohjelman toimivuutta testattiin useita kertoja käynnistämällä laitteita uudelleen, irrottelemalla kytkennästä johtoja yksi kerrallaan ja toteamalla näiden vaikutus ohjelman ja järjestelmän laitteiden toimivuuteen. Järjestelmän toimivuuden testauksen jälkeen oli vuorossa C-kielisen ohjelman toteutus myös Flowcode-ohjelmalla, jotta sen liittäminen Lasse Mäkelän Flowcodella toteutettuun ZigBee-koordinaattorin ohjelmaan olisi mahdollista. Kun AVR-mikrokontrollerin ohjelma viimein oli kääntynyt Flowcode-ohjelmistollakin oikein, testattiin sen toimivuus kuten aiemmin oli testattu C-kielinen ohjelma.

Ohjelman toimivuuden testauksen jälkeen työtä alettiin liittää Lasse Mäkelän opinnäytetyönä rakentaman ZigBee-verkon PAN-koordinaattoriin, joka lukee tietoa ZigBee-verkossa olevilta päätelaitteilta. PAN-koordinaattorin saadessa mittaustietoa päätelaitteilta on sen tehtävänä välittää tiedot eteenpäin tekstiviestinä haluttuun matkapuhelinnumeroon. Tässä vaiheessa järjestelmän toimivuus joutui koetukselle, kun laitteet välillä toimivat halutulla tavalla ja välillä ne eivät toimineet, niin kuin niiden olisi ollut tarkoitus toimia. Ilmeni, että AVR-mikrokontrolleriin kytketyt ZigBee-koordinaattoriradio ja GSM-testausalusta käyttivät koodissa osittain samoja pinnejä. ZigBee-koordinaattoriradion alkuperäistä kytkentää hieman muokattiin ja pinnimääriä tehtiin koodissa uudelleen, jonka jälkeen järjestelmä viimein alkoi toimia taas halutulla tavalla.

Järjestelmää testattiin kymmeniä kertoja vaihtelemalla sensoriverkosta mitattavia lukuarvoja, jonka jälkeen järjestelmän voitiin todeta toimivan kuten tavoitteena oli ollut: ZigBee-päätelaitteen sensori mittaa lukuarvon, päätelaite lähettää lukuarvon sekä päätelaitteen tunnuksen ZigBee-koordinaattorille ja ZigBee-koordinaattori lähettää tekstiviestin GSM-testialustan kautta haluttuun puhelinnumeroon. Kuvassa 16 on kuva tekstiviestistä, joka on saapunut matkapuhelimeen. Tämän työn liitteessä 1 olevissa vuokaaviokuvissa on esitetty lopullinen vuokaavio, jossa tämä työ on yhdistetty Lasse Mäkelän tekemään ZigBee-koordinaattorin vuokaavioon.



*KUVA 16. Järjestelmän lähettämä tekstiviesti matkapuhelimen näytöllä*

## 9 POHDINTA

Tässä työssä esille on tullut esimerkiksi työn jatkokehittäminen siirtämällä tietoa TCP/IP-protokollan avulla suoraan tietokantapalvelimelle, josta tieto voitaisiin lukea esimerkiksi web-sivulle erilaisiin taulukoihin ja kaavioihin. Kuitenkin ajanpuutteen vuoksi tyydyttiin rakentamaan ratkaisu, jossa tieto välitetään tekstiviestien avulla matkapuhelimeen ja näin ollen saadaan arvokas tieto siirrettyä kauempana sijaitsevasta lähetysasemasta tietoa tarvitsevalle käyttäjälle. Lisäksi jatkokehittämisen mahdollisuus voisi olla erilaisien etäohjaussovelluksien rakentaminen käyttämällä GSM- ja ZigBee-tekniikoita hyödyksi päinvastaisella tavalla, kuin tässä työssä on käytetty.

Tätä työtä tehdessä on saanut oppia monenlaista uutta asiaa, kuten ZigBee-tekniikkaa, GSM-laitteiden AT-komennoilla-ohjausta ja projektityöskentelyä. Tässä työssä haastavinta oli kytkennän suunnittelu ja testaus sekä AVR-mikrokontrollerin USART-laitteen ohjelmointi, johon kuluikin aikaa huomattavasti oletettua enemmän. Lopullinen toteutus eli yhteensovittaminen sensoniverkon kanssa onnistui varsin nopeasti heti sen jälkeen, kun AVR-mikrokontrollerin ja GSM-testialustan yhteys todettiin toimivaksi. Kokonaisuutena tämä opinnäytetyö on ollut erittäin antoisa, mielenkiintoinen ja hyvin mieleenpainuva.



## LÄHTEET

1. Gutiérrez Jose A. – Callaway Edgar H. Jr. – Barrett Raymond L. Jr. 2007. Low-Rate Wireless Personal Area Networks: Enabling Wireless Sensors with IEEE 802.15.4, Second Edition.
2. Our Mission. 2010. Saatavissa: <http://www.zigbee.org/About/OurMission.aspx>. Hakupäivä 19.11.2010.
3. FAQ. 2010. Saatavissa: <http://www.zigbee.org/About/FAQ.aspx#4>. Hakupäivä 19.11.2010.
4. Matrix Multimedia - About - Company Information. 2010. Saatavissa: <http://www.matrixmultimedia.com/about.php>. Hakupäivä 19.11.2010.
5. Matrix Multimedia - E-Blocks rapid electronic development kits. 2010. Saatavissa: <http://www.matrixmultimedia.com/abouteblocks-X.php?C1=Browse%20All%20Products&CAT=E-Blocks%20hardware>. Hakupäivä 20.11.2010.
6. Atmel Products - AVR Solutions - 8-bit megaAVR. 2010. Saatavissa: [http://www.atmel.com/products/AVR/megaavr.asp?family\\_id=607](http://www.atmel.com/products/AVR/megaavr.asp?family_id=607). Hakupäivä 21.11.2010.
7. 8-bit AVR® Microcontroller with 16K/32K/64K Bytes In-System Programmable Flash. ATmega324P/V. Saatavissa: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8011.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8011.pdf). Hakupäivä 19.11.2010.
8. Penttinen, J. 2006. Tietoliikennetekniikka: Perusverkot ja GSM. Helsinki: WSOY.
9. Nokia 12 (Aplicom 12) GSM Test Board << Epromfoundry. Saatavissa:

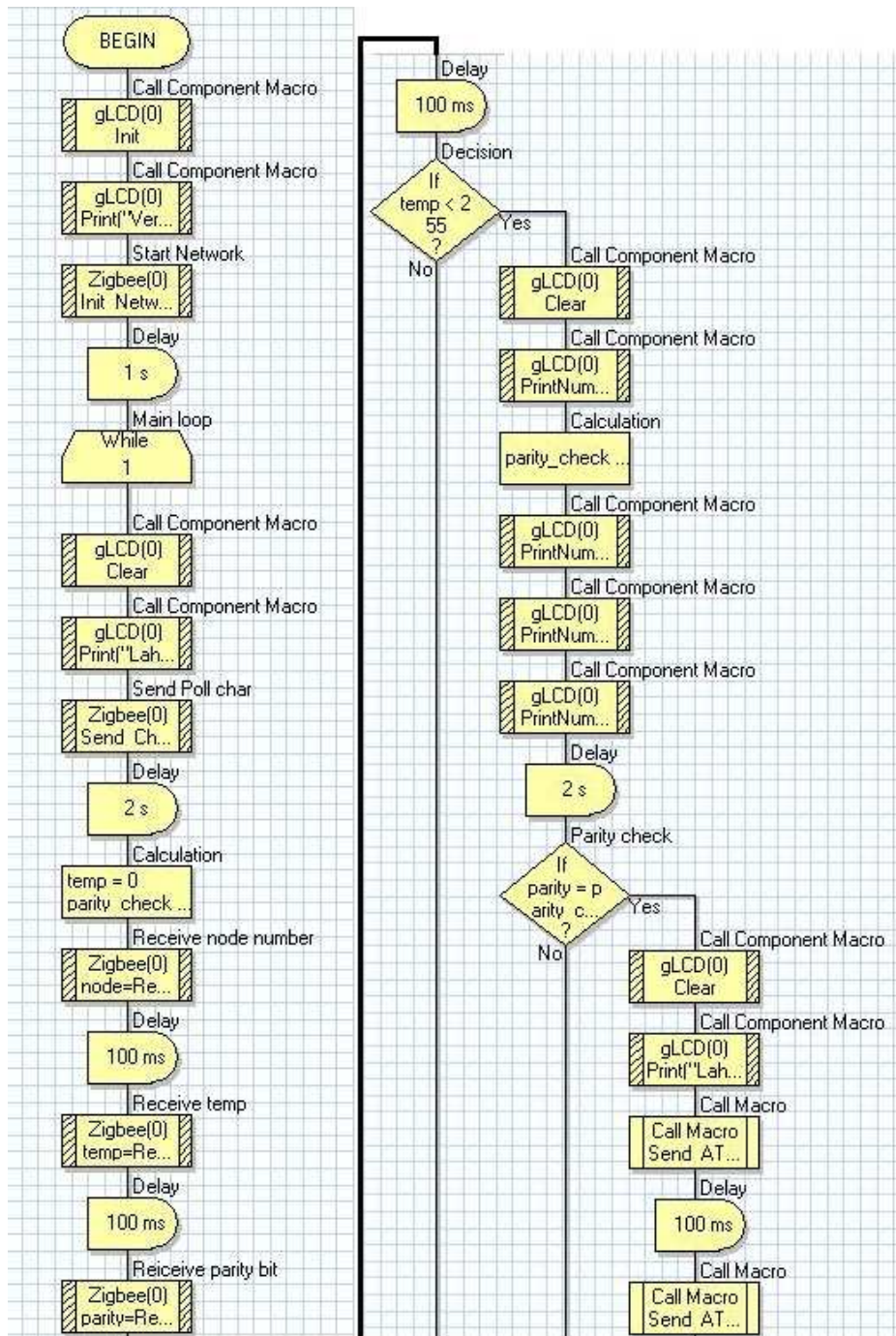
[http://www.epromfoundry.com/home/?page\\_id=359](http://www.epromfoundry.com/home/?page_id=359). Hakupäivä 21.11.2010.

10. Nokia 12i GSM module. Saatavissa: [http://www.d-d-s.nl/fotos-nokia/n12i\\_datasheet\\_a4\\_v2.pdf](http://www.d-d-s.nl/fotos-nokia/n12i_datasheet_a4_v2.pdf). Hakupäivä 21.11.2010.

# VUOKAAVIOKUVAT KOORDINAATTORIN OHJEL- MASTA

LIITE 1/1

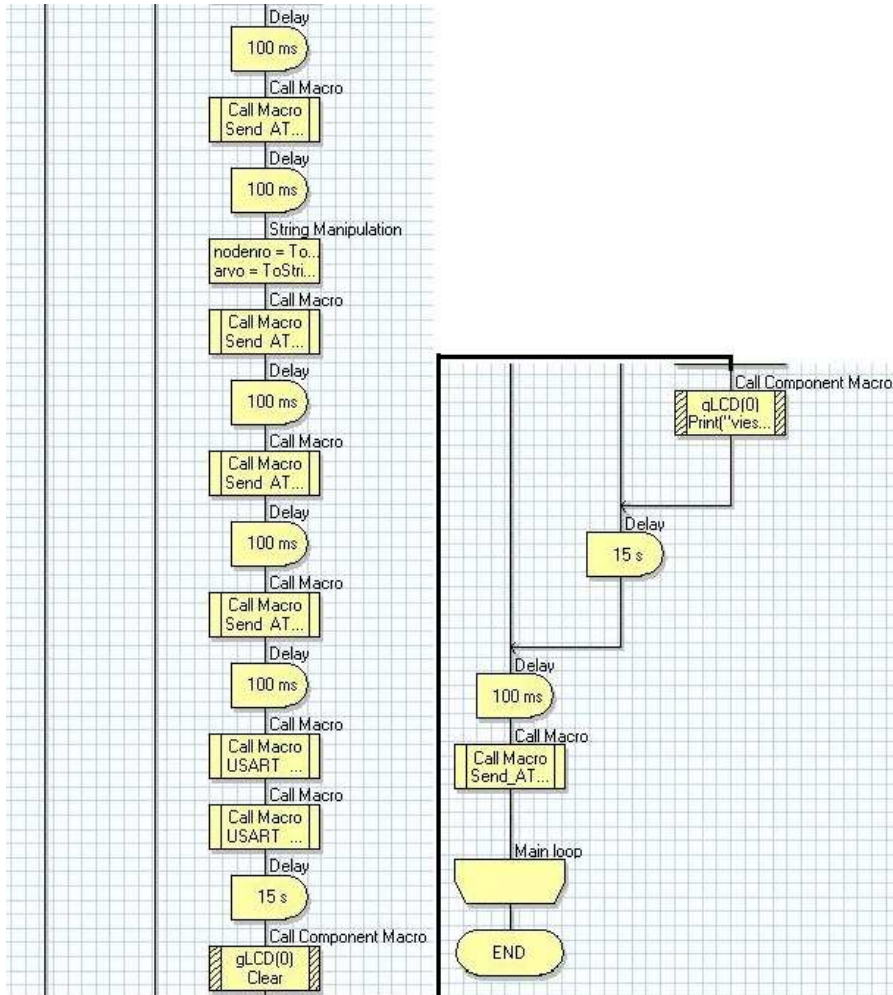
a) Vuokaavion alku



# VUOKAAVIOKUVAT KOORDINAATTORIN OHJELMASTA

LIITE 1/2

## b) Vuokaavion loppu



## b) USART\_vSendByte ja USART\_SendString -makrot

