

Henri Mulari

LANGATTOMAN KEHOANTURIN TEHONHALLINTA

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Kevät 2011



Koulutusala Tekniikka	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Henri Mulari	
Työn nimi Langattoman kehoanturin tehonhallinta	
Vaihtoehtoiset ammattipinnot	Ohjaaja(t) Arto Partanen
	Toimeksiantaja Kajaanin ammattikorkeakoulu/ Pentti Romppainen
Aika Kevät 2011	Sivumäärä ja liitteet 27
<p>Tämä insinööri työ käsittelee langattoman kehoanturin tehonhallintaa. Langatonta kehoanturia käytetään kehotärinän mittaamiseen. Aihe insinööri työhön saatiin Mewex-projektista, joka on toteutettu Kajaanin ammattikorkeakoulun, Oulun yliopiston sekä CWC:n (Centre for Wireless Communications, Kainuu) yhteistyönä. Insinööri työn aiheena oli tutkia ja mahdollistaa langattoman kehoanturin tehonhallinta. Tavoitteena oli saada kehoanturi toimimaan yhdellä latauksella koko työpäivän eli vähintään kahdeksan tunnin ajan.</p> <p>Insinööri työssä selvitetään kehotärinämittauksen teoriaa sekä langattoman kehoanturin rakennetta. Langaton kehoanturi sisältää CC2430-SoC-piirin, jonka tehonhallintatilojen avulla voitiin vaikuttaa kehoanturin tehonhallintaan.</p> <p>Työssä esitellään erilaisia menetelmiä, joiden avulla tehonhallinta voitaisiin toteuttaa langattomalle kehoanturille. Näitä ovat tehonhallinta protokollapinon avulla, tehonhallinta ohjelman muokkaamisen avulla sekä tehonhallinta kiihtyvyyssanturin avulla. Kaikki mainitut menetelmät toteutettiin ohjelmoinnin avulla. Nämä menetelmät valittiin, koska suunnittelussa havaittiin, että ne mahdollistavat tehonhallinnan langattomalle kehoanturille.</p> <p>Menetelmien avulla akun kestoa saatiin parannettua, mutta tämä aiheutti virheitä langattoman kehoanturin lähettämään tietoon. Virheellisen tärinätiedon syyksi osoittautui tarkastelun jälkeen se, ettei langaton kehoanturi herää tehonhallintatiloista haluttuihin keskeytyksiin.</p> <p>Insinööri työstä on apua niille, jotka työskentelevät erilaisten laitteiden kanssa, joissa käytetään CC2430-SoC-piiriä. Työssä esitetään, kuinka kyseisen piirin tehonhallintatiloja voidaan ottaa käyttöön protokollapinon avulla.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Tehonhallinta, kehoanturi, CC2430
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Henri Mulari	
Title Power Management of a Wireless Body Sensor	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Mr Arto Partanen
	Commissioned by Kajaani University of Applied Sciences/ Mr Pentti Romppainen
Date Spring 2011	Total Number of Pages and Appendices 27
<p>This Bachelor's thesis discusses the power management of a wireless body sensor. The wireless body sensor was used to measure whole body vibration. The subject of the thesis was obtained from the Mewex project which was accomplished in cooperation with the Kajaani University of Applied Sciences, University of Oulu and Centre for Wireless Communications. The Mewex project is a follow-up to the Tärviö project, which was accomplished in 2006–2007. The subject of the thesis was to study and improve the power management of a wireless body sensor. The goal was to get the battery of a wireless body sensor to last a workday with one charge. In other words, the battery has to last for eight hours.</p> <p>The theory of this thesis handles the whole body vibration and the structure of the wireless body sensor. When it is known what body vibration is and what a wireless body sensor is, it is understood better why the power control of the device must be improved.</p> <p>This thesis describes three different methods which allow power management to be improved. These methods are power management with a protocol stack, power management with software and power management with an acceleration sensor.</p> <p>The aim of this thesis was to improve the power management of a wireless body sensor. The battery duration was improved but it caused errors in the received data of the wireless body sensor. This was due to the fact that the wireless body sensor does not react to the desired interrupt in the power management modes.</p> <p>This thesis is helpful for those who work with various devices using the CC2430 System-On-Chip. In the thesis it is presented how the CC2430 System-On-Chip power management modes are enabled.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Power management, body sensor, CC2430
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 KEHOTÄRINÄN MITTAAMINEN	2
2.1 Mittaaminen	2
2.2 Langaton Kehoanturi	3
3 SULAUTETUN LAITTEEN TEHONKULUTUKSEN MITTAAMINEN	7
4 CC2430-SOC-PIIRIN TEHONHALLINTA	10
5 TEHONHALLINNAN SUUNNITTELU	12
5.1 Langattoman kehoanturin ohjelma	12
5.2 Tehonhallintaan käytettävät menetelmät	13
6 TEHONHALLINNAN TOTEUTUS	14
6.1 Tehonhallinta protokollapinon avulla	14
6.2 Tehonhallinta ohjelmaa muokkaamalla	17
6.3 Kiihtyvyyssanturin vaikutus tehonhallintaan	17
7 TEHONHALLINNAN TESTAUS	18
7.1 Tehonkulutus ilman tehonhallintaa	19
7.2 Tehonkulutus protokollapinoa käytettäessä	20
7.3 Kiihtyvyyssanturin vaikutus tehonhallintaan	21
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	24
9 YHTEENVETO	26
LÄHTEET	27

SYMBOLILUETTELO

ADC	Analog-To-Digital Converter
HS-RCOSC	High Speed RC Oscillator
LiIon	Lithium-ion
mAh	Milliampeeritunti
mV	Millivoltti
PM0-3	Power Mode 0-3
ROSC	RC Oscillator
SoC	System-On-Chip
SPI	Serial Peripheral Interface
WPAN	Wireless Personal Area Network
XOSC	Crystal Oscillator

1 JOHDANTO

Kehotärinäksi kutsutaan tärinää, joka vaikuttaa työntekijään alustan tai istuimen välityksellä. Kehotärinä aiheuttaa haittaa työntekijän terveydelle ja turvallisuudelle. Yleisimpänä terveyshaittana on alaselän kivut. Muita haittoja ovat muun muassa välilevytyrät, selkärangan varhainen rappeutuminen sekä keholle kohdistuvan tärinän aiheuttama haitta niska- ja hartiaseudun lihaksille. Tärinä on yleensä epämukavaa ja se vähentää työntekijän työkykyä. Kehotärinää esiintyy lähes kaikissa työkonneissa, kuten esimerkiksi metsäkonneissa ja traktoreissa.[1.]

Kajaanin ammattikorkeakoulu on tehnyt monen vuoden ajan kehotärinätutkimusta. Aihe insinööriyöhön on saatu Mewex-projektista, joka on jatkoa vuonna 2006–2007 toteutetulle Tärviö-projektille. Tärviö-projektin tavoitteena oli muun muassa rakentaa mittauslaitteisto, jonka avulla kehotärinää pystyttiin mittaamaan sekä myös tuottamaan tietoa kehotärinän seurantaan liittyvistä velvoitteista.

Mewex-projekti on toteutettu yhteistyössä Kajaanin ammattikorkeakoulun, Oulun yliopiston Mittalaitelaboratorion sekä CWC:n (Centre for Wireless Communications, Kainuu) kanssa. Mewex-projektissa on tutkittu kehotärinän vaikutuksia ja sen mittausmenetelmiä. Projektin yhteydessä on suunniteltu langaton kehoanturi, joka mittaa tärinää ihmiskeholta ja siirtää sen langattomasti Tärviö-projektissa toteutetulle prosessorikortille.[2.]

Langattoman kehoanturin tarkoituksena on kerätä tietoa kehotärinästä, jotta työkonneen aiheuttamaa kehotärinää voitaisiin tutkia ja vähentää tulevaisuudessa. Langaton kehoanturi toimii akun avulla ja sisältää CC2430-SoC-piirin. Piirin ominaisuuksiin kuuluu erilaisia tehonhallintatiloja, joiden avulla akun käyttöikää yhdellä latauksella voidaan pidentää.

Insinööriyön tavoitteena oli pidentää langattoman kehoanturin akun käyttöaikaa. Tavoitteena oli, että langatonta kehoanturia voitaisiin käyttää kokonaisen työpäivän ajan eli kahdeksan tuntia. Ennen työn aloittamista langattoman kehoanturin käyttöaika akun avulla oli noin kolme tuntia.

Langattoman kehoanturin tehonhallintaan pyrittiin vaikuttamaan erilaisilla menetelmillä. Näihin menetelmiin lukeutuivat tehonhallintaan vaikuttaminen protokollapinon avulla, vaikuttaminen ohjelman muokkaamisen avulla sekä vaikuttaminen kiihtyvyyssanturin avulla.

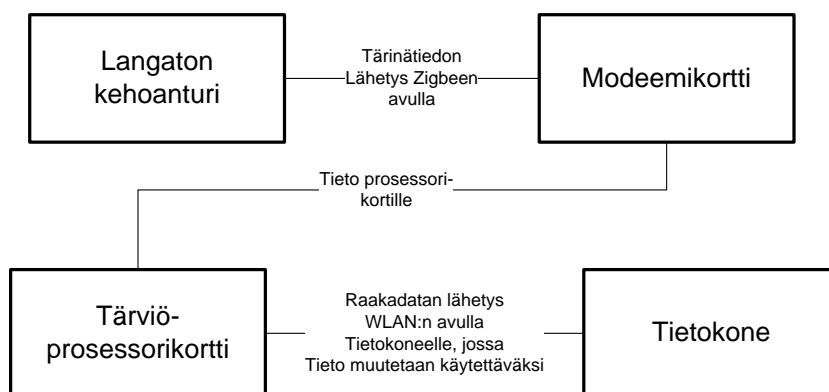
2 KEHOTÄRINÄN MITTAAMINEN

EU:n tärinädirektiivi ohjaa tärinäaltistuksen rajoittamiseen. Kehotärinää pyritään pienentämään, jotta sen aiheuttamia terveys- ja turvallisuushaittoja pystyttäisiin pienentämään. Kehotärinää voidaan vähentää työpisteen uudelleen suunnittelun avulla. Esimerkiksi erilaiset työkonemuimet vaikuttavat kehotärinään suuresti. Myös työkoneen jousitus ja työalusta vaikuttavat suuresti siihen, kuinka voimakasta kehotärinä on. Kaikkien kehotärinää pienentävien tekijöiden perustana on kuitenkin tutkimustyö, jota kehotärinän eteen on tehty ja tullaan tekemään.

2.1 Mittaaminen

Kehotärinän mittaus on perinteisesti tapahtunut dataloggerin ja istuinturinin avulla. Tämä ei kuitenkaan sovellu jatkuvaan mittaukseen. Tärviö- ja Mewex-projekteissa on kehitetty mittausjärjestelmä, joka soveltuu kaupallisia menetelmiä paremmin jatkuvaan mittaukseen.

Kehotärinää voidaan mitata erilaisten anturointiratkaisujen avulla. On olemassa sekä langallisia että langattomia kehoantureita. Langattoman kehoanturinin etuna on muun muassa mittauksen suorituksen helppous. Mittauksen paraneminen johtuu siitä, että ylimääräisten kaapeleiden määrä vähenee huomattavasti, kun kehotärinää mittaava anturi on toteutettu langattomasti. Langattoman kehoanturinin on tarkoitus välittää kehotärinätieto anturilta langattomasti modeemikortille. Kuvassa 1 on esitetty langattoman kehoanturinin kehotärinätiedon lähetys prosessorikortille.



Kuva 1. Langattoman kehoanturin kehotärinä tiedon lähetys.

Lähtökohtana Mewex-projektille oli Tärviö-projektin tulos. Tuloksena oli tiedonkeruu ja analysointikortti (Tärviö-kortti), johon liitettiin langallisilla digitaalisilla kiihtyvyyssantureilla. Mewex-projektissa kehotärinän mittaaminen laajennettiin langattomaksi mittaukseksi. Langattoman kehoanturin avulla tieto kerätään 3-dimensionaalisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että anturin avulla saatava tieto sisältää x-, y- ja z-suuntien tiedot. Anturin avulla tieto siirrettiin langattomasti modeemikortille, joka on kytketty Tärviö-korttiin, josta tieto lähetettiin eteenpäin esimerkiksi tietokoneelle.

2.2 Langaton Kehoanturi

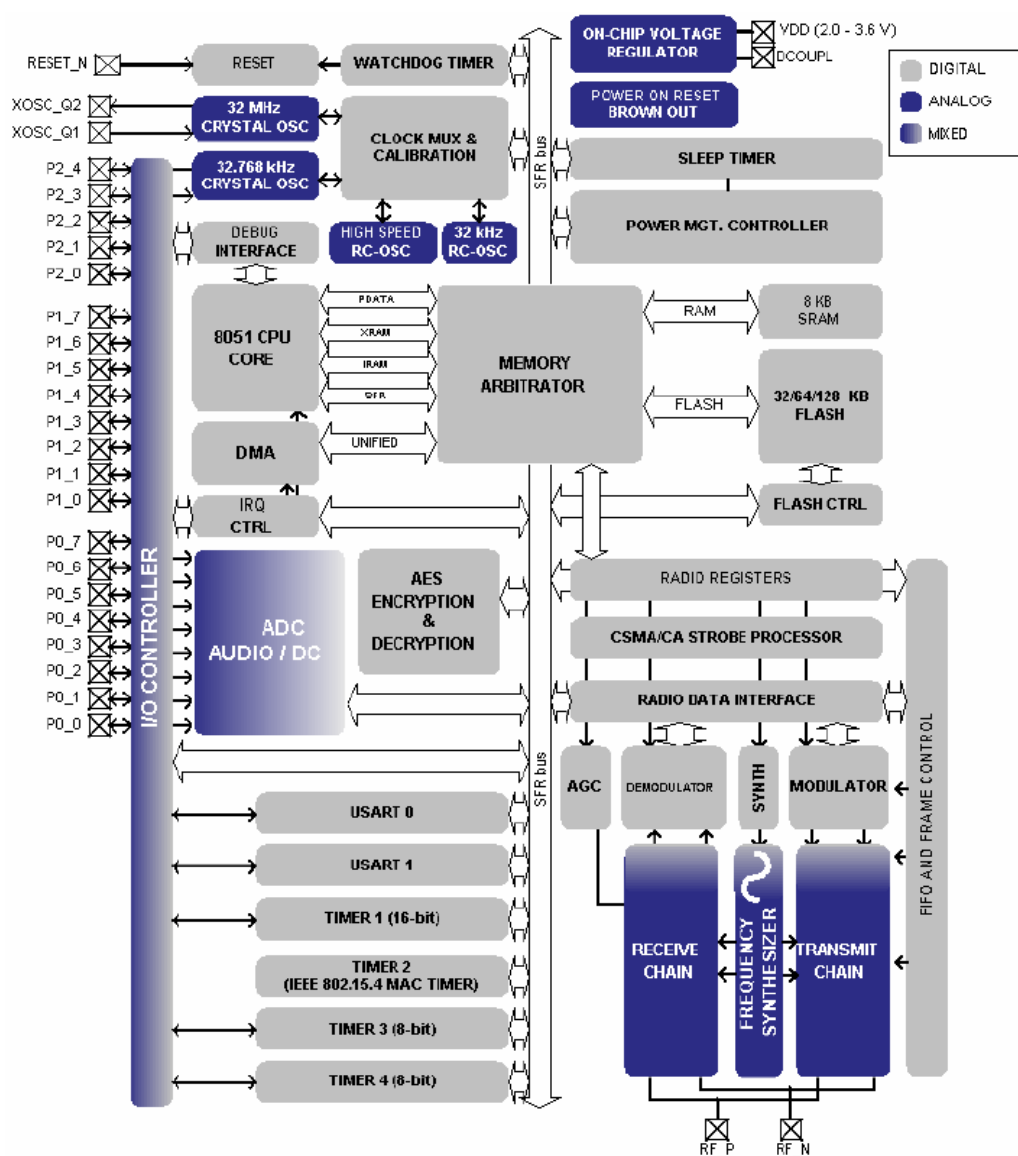
Langaton kehoanturi on laite, jonka avulla saadaan mitattua tietoa ihmiskehoon vaikuttavasta kehotärinästä. Kehoanturi pystyy lähettämään mitatun tiedon eteenpäin Tärviö-projektissa luodulle prosessorikortille. Langaton kehoanturi sisältää CC2430-SoC-piirin, kiihtyvyyssanturin, tehonsyötön sekä latauksen, antennin, ulkoiset tulot ja ohjelmointiliittimen. [3.]

CC2430-SoC-piiri

SoC-piirillä (System-On-Chip) tarkoitetaan järjestelmäpiiriä, joka sisältää monimutkaisia toimintoja ja järjestelmiä. Järjestelmäpiiri voi sisältää kaikki järjestelmän toimintaan tarvittavat komponentit. CC2430 on norjalaisen Chipconin kehittämä radiopiiri, johon on sisäänrakennettu IEEE 802.15.4:n lisäksi 8051-ydin ja monia oheislaitteita. IEEE 802.15.4 on standardi, jota Zigbee-tietoliikenneverkko noudattaa. Piirin sisältämät ominaisuudet käyvät ilmi kuvas-

sa 2, jossa on esitely CC2430-SoC-piirin lohkokaavio. CC2430 sisältää esimerkiksi langattomaan kehoanturiin tarvittavan mikrokontrollerin sekä radio-osan (ZigBee). [4, s. 6.]

Zigbeellä tarkoitetaan lyhyen kantaman tietoliikenneverkkoa, joka kuuluu WPAN-standardiperheeseen eli IEEE 802.15:een. Sen avulla pienet ja yksinkertaiset laitteet voidaan verkottaa langattomasti. Zigbee-laitteen hyvänä puolena on sen kytkeytyminen nopeasti haluttuun verkkoon. Verkossa voi parhaimmillaan olla kymmeniä tuhansia laitteita. Laitteiden välinen pisin mahdollinen toimintamatka on noin 100 metriä.



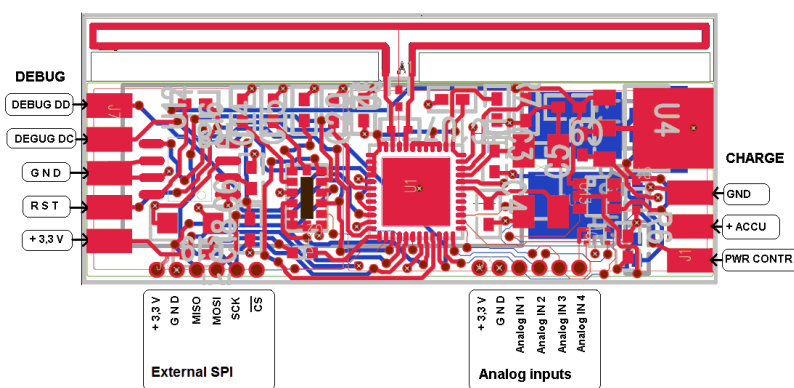
Kuva 2. CC2430-SoC-piirin lohkokaavio.[5, s. 25]

Langattoman kehoanturin muut komponentit

Kehoanturissa on käytetty kiihtyvyyssanturina Kionixin mallia KZPS5-2050, joka on liitetty CC2430:een SPI-väyläohjaimen avulla. Kehoanturin tehonsyöttö on toteutettu Li-Ioniakun avulla. Sen lataaminen on toteutettu omalle liitäntäkortille. Kehoanturin antennina toimii piirille suunniteltu Dipoli-antenni. Kehoanturi sisältää myös ulkoisia tuloja, joita ovat ulkoinen SPI-väylä sekä ADC-osio. Ohjelmointi tapahtuu CC2430-SoC-piirin Debug-liittimen kautta.[3.]

Langattoman kehoanturin fyysinen toteutus

Kuvassa 3 on esitetty langattoman kehoanturin liitäntöjen sijoittuminen käytettävissä olevalla kortilla sekä piirille suunniteltu Dipoli-antenni piirin ylälaidassa.



Kuva 3. Langattoman kehoanturin piirilevy.[3, s. 13]

Kuvassa 3 on esitetty langattoman kehoanturin toinen versio, joka on jatkokehitystä ensimmäiselle versiolle. Suurin muutos ensimmäiseen versioon verrattuna on sen pienentynyt koko. Ensimmäinen versio on noin kolme kertaa suurempi kuin paranneltu toinen versio. Piirilevyn pienentäminen on mahdollistettu monikerrospiirilevyllä sekä komponenttien uudelleen sijoittelulla.

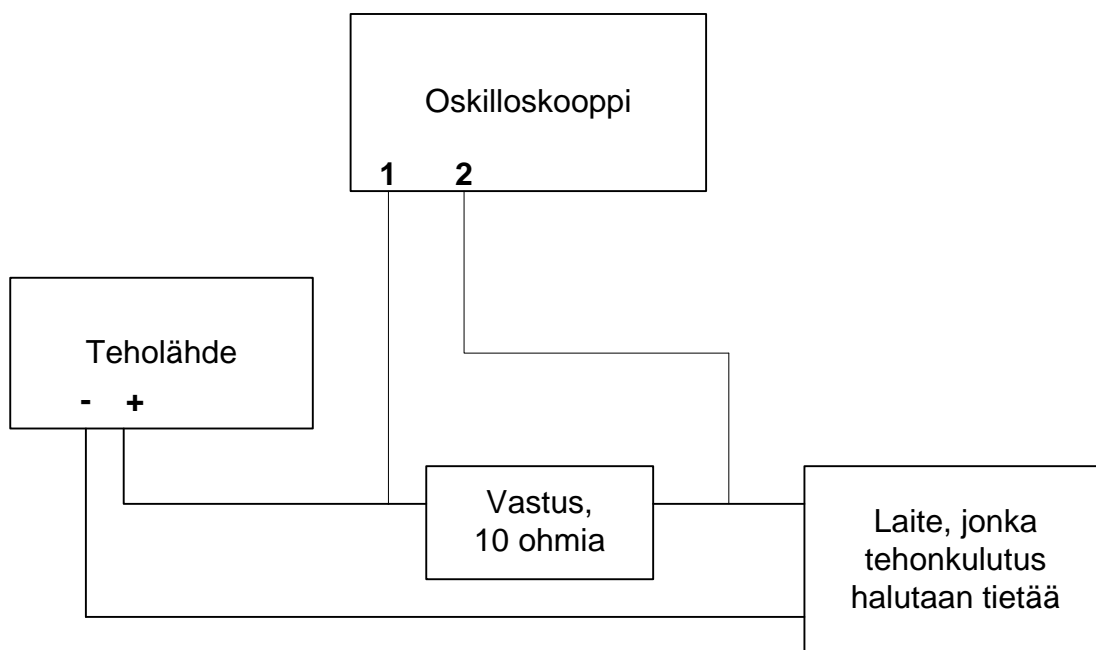


Kuva 4. Langattoman kehoanturin akku.

Kuvassa 4 on esitetty langattomassa kehoanturissa käytettävä akku. Kehonanturin tehonsyöttö on toteutettu 3,7 V:n Li-Ioniakun avulla. Sen kapasiteetti on 80 mAh. Akku on sijoitettu langattoman kehoanturin piirilevyn alapuolelle, koska se pienentää piirilevyn kokoa.

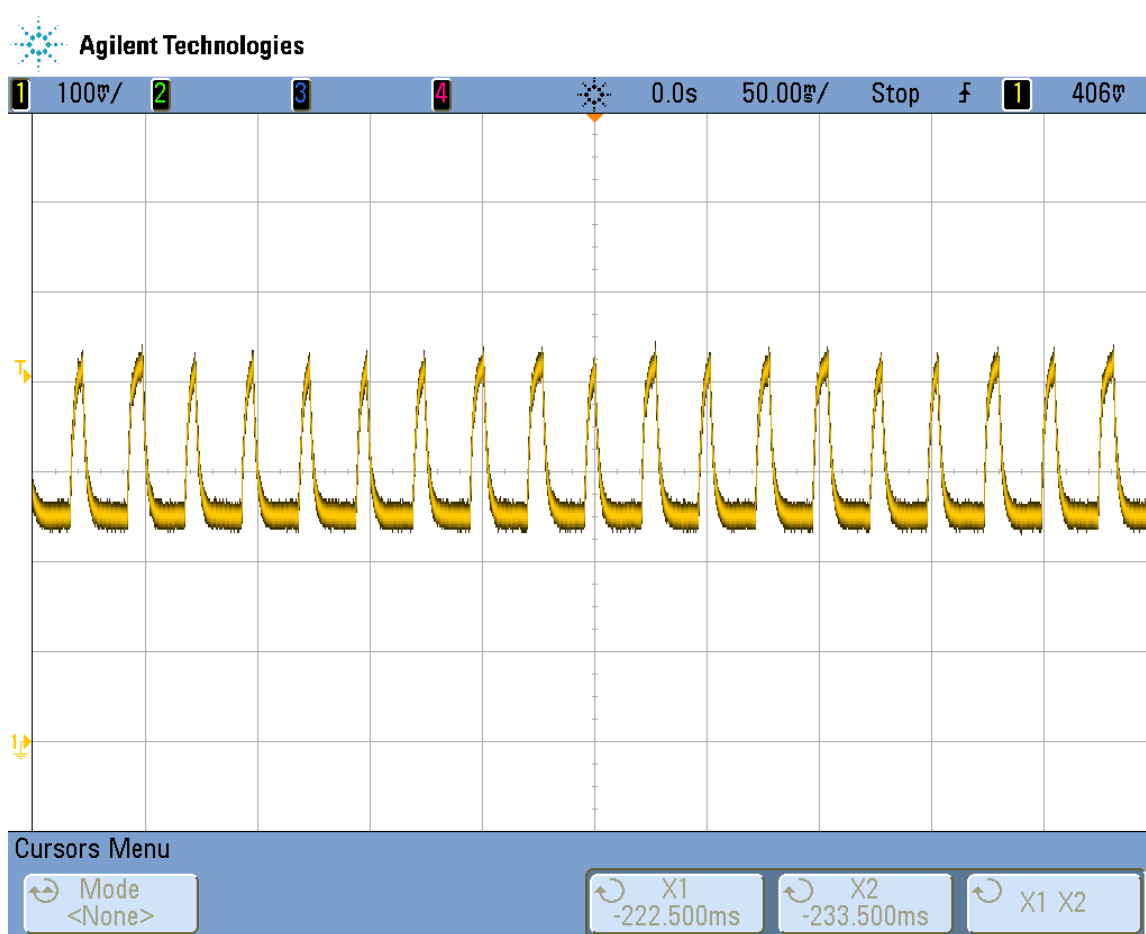
3 SULAUTETUN LAITTEEN TEHONKULUTUKSEN MITTAAMINEN

Sulautetun laitteen tehonkulutusta voidaan mitata kuvassa 5 esitetyn testikytkennän avulla. Laitteen kuluttama virta saadaan näkyviin käytössä olevan oskilloskoopin näytölle. Tämän avulla voidaan laskea sulautetun laitteen tehonkulutus sekä lepo- (idle) että lähetystilassa. Lepotilaa kutsutaan laitteen tilaksi, jossa laite odottaa käskyä toimimiseen. Lähetystilassa laite lähettää esimerkiksi äänitietoa. Kytkentään tarvitaan oskilloskooppi, teholähde, 10 ohmin vastus sekä käytettävä laite. Vastuksen tulee olla mahdollisimman lähellä arvoa 10 ohmia. Käytettävälle oskilloskoopille on tietty vaatimus. Oskilloskoopin avulla on pystyttävä pysäyttämään virrankulutusta osoittava kuva. Analogista oskilloskooppia ei siis voida hyödyntää mittauksissa.



Kuva 5. Sulautetun laitteen tehonkulutuksen mittaamiseen käytetty kytkentä.

Kuvassa 6 on esitetty langattoman kehoanturin tehonkulutus. Oskilloskooppikuvasta voidaan havaita lepotilan sekä tiedonlähetyksen tarvitsemat jännitteet. Kuvassa yksi vaakaruutu vastaa 50 millisekunnin ajanjaksoja ja yksi pystyruutu 100 millivoltin jännitettä. Kyseisessä tapauksessa lepotilan jännite on noin 235 mV. Lähetystilassa jännite on noin 430 mV. Kuvan avulla pystytään laskemaan kyseisen laitteen kokonaisvirrankulutus. Akun käyttöaika on mahdollista laskea kokonaisvirrankulutuksen sekä akun kapasiteetin avulla.



Kuva 6. Oskilloskoopin kuva sulautetun laitteen tehonkulutuksesta.

Haluttaessa laskea sulautetun laitteen tehonkulutus, hyödynnetään seuraavia yhtälöitä:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

jossa I = virta

U = jännite

R = resistanssi

Esiintymistiheys:

$$k = \frac{\text{näytteiden lkm sekunnissa}}{\text{kerralla lähetettävien näytteiden määrä}} \quad (2)$$

tai

$$k = \frac{\text{näytteistysaika}}{\text{näytteiden välissä kulunut aika}} \quad (3)$$

missä k = esiintymistiheys

Kokonaisvirrankulutus saadaan yhtälöstä:

$$I_{kok} = k_1 * t_1 * \Delta I_1 + k_1 * t_2 * I_2 \dots + k_n * t_n * \Delta I_n + I_{idle} \text{ ,jossa} \quad (4)$$

I_{kok} = kokonaisvirrankulutus

k_n = esiintymistiheys/sekunti

t_n = lähetykseen kulunut aika

ΔI_n = lähetyksen virrankulutus

I_{idle} = lepotilan virrankulutus

Akun käyttöaika saadaan yhtälöstä:

$$\text{Akun käyttöaika} = \frac{\text{akun kapasiteetti}}{\text{kokonaisvirrankulutus}} \quad (5)$$

4 CC2430-SOC-PIIRIN TEHONHALLINTA

CC2430-SoC-piiri on tarkoitettu käytettäväksi sovelluksissa, joissa tarvitaan mahdollisimman pientä tehonkulutusta. CC2430-SoC-piiri mahdollistaa nämä sovellukset, koska se sisältää erilaisia tehonhallintatiloja sekä lyhyet siirtymisajat näiden tilojen välillä. Aiemmin esitellyn langattoman kehoanturin akkukapasiteetti on 80 mAh. Tehonkulutuksen pienentämiseksi haluttiin käyttää CC2430-SoC-piiristä löytyviä tehonhallintatiloja, jotta kehoanturia voitaisiin käyttää mahdollisimman pitkään ilman akun uudelleen latausta.

CC2430-SoC-piirillä on olemassa neljä tehonhallintatilaa, jotka ovat PM0, PM1, PM2 ja PM3. Ne eroavat toisistaan siten, että eri tiloissa on käytössä enemmän ominaisuuksia kuin toisissa. Tehonhallintatilojen tarkoituksena on saada virrankulutus mahdollisimman pieneksi eri tilanteisiin. Käyttötarkoitus määrää sen, mitä tehonhallintatilaa voidaan käyttää. CC2430-SoC-piirin tehonhallintatiloista pienin tehonkulutus on tilassa PM3. Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty CC2430-SoC-piirin tehonhallintatilat.

Taulukko 1. CC2430-SoC-piirin tehonhallintatilat.[5, s. 28]

Power Mode	High speed oscillator	Low-speed oscillator	Voltage regulator (digital)
Configuration	A None	A None	A Off
	B 32 MHz XOSC	B 32.768 kHz RCOSC	B On
	C HS RCOSC	C 32.768 kHz XOSC	
	D Both		
PM0	B, C, D	B, C	B
PM1	A	B, C	B
PM2	A	B, C	A
PM3	A	A	A

Tehonhallintatila PM0

Tehonhallintatila PM0 on täysin toiminnallinen tila. Tällä tarkoitetaan sitä, ettei CC2430-SoC-piirin ominaisuuksista ole poistettu mitään käytöstä. Jänniteregulaattorin ydin voi olla joko 32 MHz XOSC (Crystal Oscillator) tai HS-RCOSC (High Speed RC Oscillator). CC2430-piirissä XOSC toimii ulkoisena kellona ja RCOSC sisäisenä kellona. Tehonsäästötila PM0:ssa on myös mahdollista, että kumpikin jänniteregulaattorin ydin voi olla käytössä. Tehonhallintatila PM0:ssa on käytössä joko 32,768 kHz:n ulkoinen kello tai 32,768 kHz:n sisäinen kello.[5, s. 28.]

Tehonhallintatila PM1

Tehonhallintatilassa PM1 jänniteregulaattorin digitaalinen osa on käytössä kuten tehonhallintatilassa PM0. Kumpikaan nopeammista oskillaattoreista ei ole käynnissä, vaan käytössä on joko 32,768 kHz:n ulkoinen kello tai 32,768 kHz:n sisäinen kello. Järjestelmä saadaan täysin toiminnalliseen tilaan (PM0) resetin, ulkoisen keskeytyksen tai sleep-ajastimen avulla. [5, s. 28.]

Tehonhallintatila PM2

Tehonhallintatilassa PM2 jänniteregulaattorin digitaalinen osa ei ole käytössä. Kumpikaan nopeammista oskillaattoreista ei ole käynnissä. Käytössä on joko 32,768 kHz:n ulkoinen kello tai 32,768 kHz:n sisäinen kello. Järjestelmä saadaan täysin toiminnalliseen tilaan (PM0) resetin, ulkoisen keskeytyksen tai sleep-ajastimen avulla.[5, s. 28.]

Tehonhallintatila PM3

Tehonhallintatilassa PM3 jänniteregulaattorin digitaalinen osa ei ole käytössä. Myöskään yksikään oskillaattori ei ole käytössä. Järjestelmä saadaan täysin toiminnalliseen tilaan (PM0) resetin, ulkoisen keskeytyksen tai sleep-ajastimen avulla.[5, s. 28.]

5 TEHONHALLINNAN SUUNNITTELU

Tehonhallinnan suunnittelu aloitettiin muokkaamalla langattoman kehoanturin ohjelmaa siten, että se sopisi käyttötarkoitukseen. Suunnittelun avulla kartoitettiin myös menetelmiä, joiden avulla pyrittiin tehonkulutuksen pienentämiseen. Kaikki suunnittelun avulla valitut menetelmät toteutettiin ohjelmoinnin avulla.

5.1 Langattoman kehoanturin ohjelma

Langattoman kehoanturin ohjelmistossa on hyödynnetty piirinvalmistajan tarjoamaa ilmaista protokollapinoa. Sitä on rakennettu uudelleen, jotta pino soveltuisi käyttötarkoitukseen sopivaksi. Protokollapinon uudelleen rakennuksen avulla mittausdata voidaan lukea sekä lähettää edelleen prosessorikortille. Tieto voidaan tallentaa prosessorikortilta PC:lle myöhempiä analysointeja varten. CC2430-SoC-piirin tehonhallintatiloja käytettäessä tuli piirinvalmistajan protokollapinoa kuitenkin muokata. Se tapahtui muuttamalla ohjelma keskeytyspohjaiseksi. Tämän avulla kehoanturin keräämä tieto saatiin paketoitua oikeanlaiseksi ja tieto voitiin siirtää prosessorikortille.

Ohjelman muokkaus

Ohjelman muokkaaminen tapahtui keskeytysaliohjelman luonnin avulla. Ohjelmaa lähdettiin muokkaamaan piirinvalmistajan tarjoamasta protokollapinosta. Kehoanturin ohjelmaa muokattiin siten, että ohjelma toimi keskeytyksien avulla. Tämä tarkoittaa, että kehoanturin tiedonlähetytys tapahtui timer- ja SPI-keskeytysten avulla. Keskeytysaliohjelman avulla tiedot lähetettiin kehoanturin prosessorikortille keskeytyspohjaisena. Aliohjelman luontia varten protokollapinosta selvitettiin käyttötarkoitukseen sopiva keskeytysvektori. Protokollapinon tarkastelun jälkeen valittiin UTX0-vektori. Kyseisen vektorin valintaan jouduttiin tarkastelemaan CC2430-SoC-piirin datisivuja. Vektorin valinnan jälkeen keskeytyslippu täytyi alustaa.

Tärinämittaukseen tarvittavien suuntien x-, y- ja z-tiedot lähetettiin switch-case-rakenteen avulla. Keskeytysaliohjelmassa x-, y- ja z-suuntien tiedot kerättiin oikean kokoiseen pakettiin

taulukon ja rengaspuskurin avulla. Paketin koko on 72 tavua. Sen valmistumista seurataan if-rakenteen avulla. Kun datapaketti täytti if-lausekkeen ehdon, se lähetettiin kehoanturikortin prosessorikortille `osal_set_eventin` avulla. Tämän jälkeen keskeytysaliohjelman näytelaskurin arvo nollattiin, jotta voitiin aloittaa seuraavan paketin talteenotto.

5.2 Tehonhallintaan käytettävät menetelmät

Langattoman kehoanturin tehonhallinnan suunnittelu aloitettiin keräämällä erilaisia menetelmiä, joilla tehonhallinta pystyttäisiin toteuttamaan. Optimointiin oli tarkoitus vaikuttaa CC2430-SoC-piirin tehonkulusta pienentämällä. SoC-piirin tehonkulutus pyrittiin minimoimaan siten, että kehoanturin akku kestäisi vähintään yhden työpäivän ajan tai vastaavasti mahdollisimman pitkään.

Tehonhallintaa lähdettiin toteuttamaan protokollapinon avulla, ohjelman muokkaamisen sekä kiihtyvyyssanturin avulla. Tietoa lähdettiin hakemaan piirinvalmistajan datasivujen avulla. CC2430-SoC-piirin datasivujen ansiosta pystyttiin tarkastelemaan erilaisten tehonhallintatilojen eroavaisuuksia toisiinsa nähden.

Tehonhallintatiloja tarkastelemalla voitiin todeta käytettävissä olevat tilat. Esimerkiksi tilaa PM3 ei voitu käyttää, koska tarvittavat oskillaattorit olivat poissa käytöstä kyseisessä tilassa. Käytettävissä olivat siis tilat PM1 ja PM2. Suunnittelussa tarkasteltiin myös protokollapinosta löytyviä ohjeita. Protokollapinon havaittiin sisältävän valmiiksi tehonhallintaan tarvittavat työkalut. Ohjeen avulla voitiin käyttää CC2430-Soc-piirin tehonhallintatiloja.

Yhdeksi tehonhallintavaihtoehdoksi valittiin tehonhallinta ohjelmaa muokkaamalla. Sen avulla voitiin ohjelmoimalla vähentää ominaisuuksia, joita ei tietyllä ajanhetkellä tarvita. Tällä tavoin saatiin tehonkulutus hetkellisesti pienemmäksi, mikä mahdollistaa pienemmän kokonaistehonkulutuksen. Myös kiihtyvyyssanturin asettaminen lepotilaan otettiin yhdeksi tehonhallintavaihtoehdoksi. Kiihtyvyyssanturin avulla oli myös mahdollista pienentää tehonkulutusta. Asettaminen lepotilaan on mahdollista, jos anturia ei tarvita tärinämittauksessa.

6 TEHONHALLINNAN TOTEUTUS

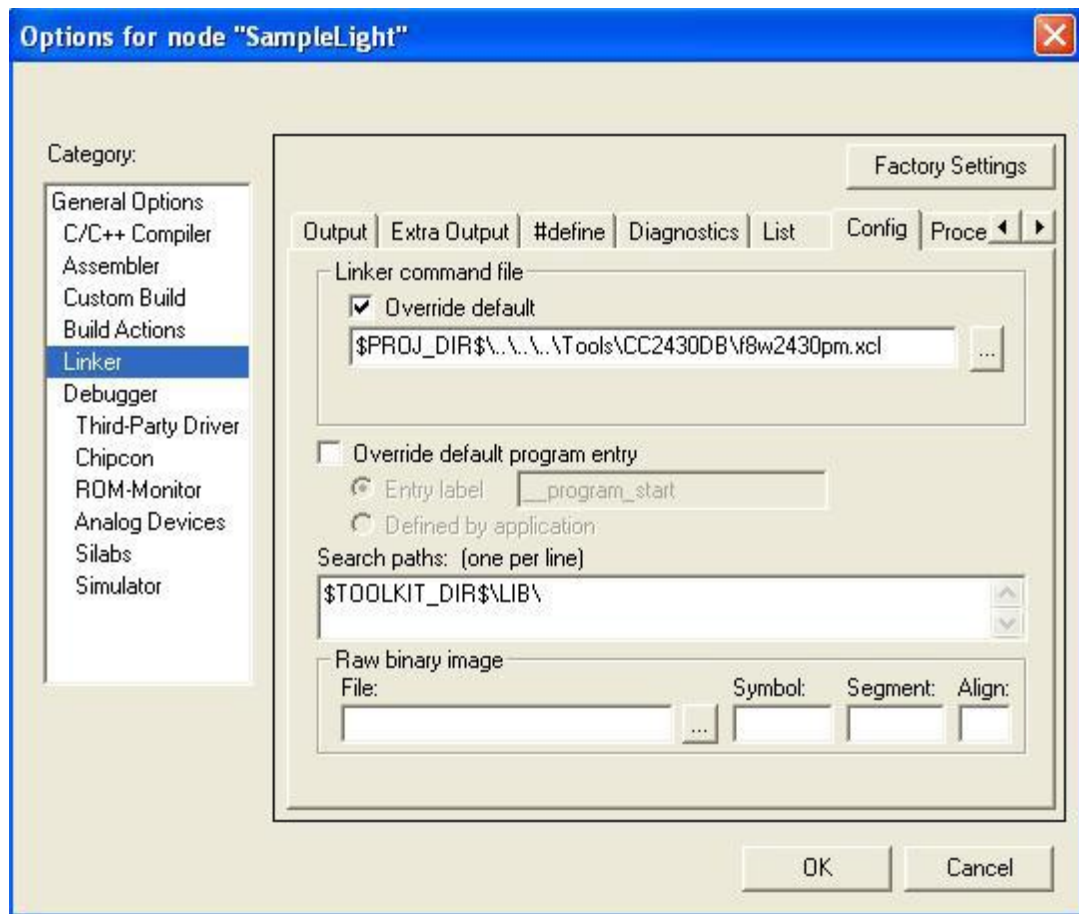
Langattoman kehoanturin tehonhallintaan pyrittiin vaikuttamaan edellisessä luvussa esiteltyjen menetelmien avulla. Niiden toteutukset eroavat toisistaan, joten alla on esitelty kunkin menetelmän toteutus.

6.1 Tehonhallinta protokollapinin avulla

Ensimmäisenä menetelmänä, jolla tehonkulutusta pyrittiin vähentämään, käytettiin protokollapinosta löytyvää tehonhallinnan käyttöönottopaata. CC2430-piirin tehonkulutuksen mittaamisen liittyvän ohjeen [6.] avulla oli mahdollisuus ottaa tehonhallinta käyttöön protokollapinin avulla. Ohjeesta löytyi myös kytkentä, jonka avulla tehonkulutusta voitiin mitata sen jälkeen, kun jokin tehonhallintatiloista olisi käytössä. Kytkentää voitiin myös käyttää mittaamaan tehonkulutus ilman tehonhallintatiloja. Tehonkulutuksen mittauksen avulla saatuja tuloksia voitaisiin verrata myöhemmin tulevissa testeissä ja näin ollen todeta, toimivatko tehonhallintatilat halutulla tavalla.

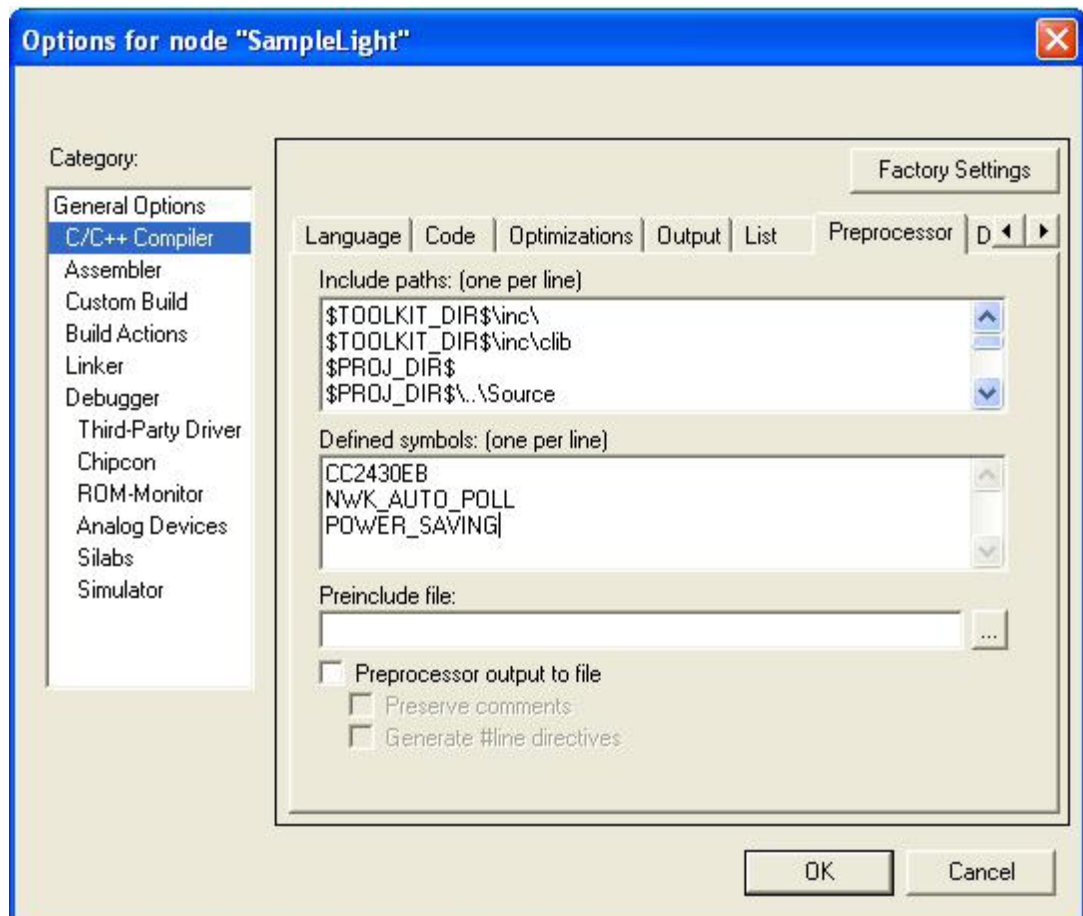
Tehonhallinta protokollapinin avulla aloitettiin siten, että muutettiin käytettävän projektin asetuksia. Tämä tehtiin siksi, että saatiin SoC-piirin tehonhallinta käyttöön kääntäjän avulla. Perustilassa tehonhallinta ei ollut käytössä. Protokollapinin muokkaamiseen käytettiin IAR-kääntäjää.

Kääntäjän asetusten muokkaus aloitettiin avaamalla projektitiedosto IAR-kääntäjän avulla. Tämän jälkeen valittiin käytettävän laitteen asetukset eli *EndDeviceEB configuration*. Kun käytettävän laitteen asetussivu oli avattu, valittiin oikea linkkaaja tehonhallinnalle. Tämä tapahtui avaamalla projekti-välilehti (*project*) ja avautuvasta listasta projektin asetukset (*options*). Avautuvasta ikkunasta valittiin kategoriasta linkkaaja (*linker*) ja seuraavaksi sen asetukset (*config*). Linkkaajan komentotiedostoksi etsittiin kääntäjän tiedostoista seuraava: `§PROJ_DIR§\..\..\Tools\CC2430DB\fw2430pm.xml`. Tämä komentotiedosto mahdollistaa tehonhallintatilojen käyttämisen. Kun komentotiedosto oli vaihdettu, suljettiin asetusikkuna OK-painikkeella. Linkkaajan komentotiedoston vaihto on esitetty kuvassa 7. [6, s. 5.]



Kuva 7. Linkkaajan komentotiedoston vaihto.[6, s. 5.]

Tämän jälkeen määriteltiin symbolit. Tämä tapahtui valitsemalla projekti-välilehti ja avautuvasta listasta projektin asetukset. Avautuvasta ikkunasta valittiin kategoriaksi C/C++ kääntäjä (*C/C++ Compiler*), jonka sisältä valittiin Preprocessor-välilehti. Seuraavaksi lisättiin määriteltujen symboleiden (*defined symbols*) listaan seuraavat symbolit: *CC2430EB*, *NWK_AUTO_POLL* sekä *POWER_SAVING*. Edellä mainitut symbolit lisättiin projektin asetuksiin, koska niiden avulla määriteltiin käytettävä laitteisto, sallittiin *NWK_AUTO_POLL* sekä tehonhallinta. Määritettävien symboleiden asetukset on esitetty kuvassa 8.[6, s. 6.]



Kuva 8. Määritettävät symboleiden asetus.[6, s. 6.]

Symboleiden määrittämisen jälkeen asetettiin *poll rate* -arvo laitteelle. Tämä parametri määrittelee, kuinka usein laite herää tehonhallintatilasta ja lähettää tiedot emolaitteelle. *Poll rate* -arvo asetettiin protokollapinosta löytyvään *f8wConfig.cfg*-tiedostoon riville 141. Viimeisenä vaiheena tehonhallinnan käyttöön ottamiseksi protokollapinon avulla poistettiin key polling käytöstä. Poistaminen tapahtui sallimalla *key interrupt*. *Key interrupt* sallittiin *Onboard.c*-tiedostosta. Salliminen tapahtui muuttamalla *OnboardKeyIntEnable* = *HAL_KEY_INTERRUPT_DISABLE* seuraavaksi: *OnboardKeyIntEnable* = *HAL_KEY_INTERRUPT_ENABLE*. [6, s. 6.]

Projektin muokkauksen jälkeen tehonhallintatilan käyttö oli mahdollista. Tehonhallintatilan toiminta protokollapinon avulla testattiin testikytkennän avulla, jolla saatiin mitattua langattoman kehoanturin kuluttama virta.

6.2 Tehonhallinta ohjelmaa muokkaamalla

Kun tehonhallintaan haluttiin vaikuttaa ohjelmallisesti, täytyi kehoanturin ohjelmaa muokata. Ohjelman muokkaukseen löytyi apua myös ohjeen avulla. Ohjeen avulla voitiin tiedostaa, mitä täytyi ottaa huomioon, kun haluttiin ottaa käyttöön jokin tehonhallintatila.

Jotta saataisiin haluttu tehonhallintatila käyttöön ohjelmallisesti, tarvittiin SLEEP.MODE- ja PCON.IDLE-bittejä. SLEEP.MODE-bittien avulla CC2430-SoC-piiri saatiin haluttuun tehonhallintatilaan. Jotta piiri saadaan heräämään tehonhallintatiloista, täytyi sallia keskeytykset. Tehonhallintatilasta PM0 2430-SoC-piiri herää millä tahansa keskeytyksellä, kun taas tehonhallintatiloissa PM1–PM3 heräämiseen vaaditaan, että sleep-timer- tai Portti 0/1/2- keskeytys on sallittu.[7.]

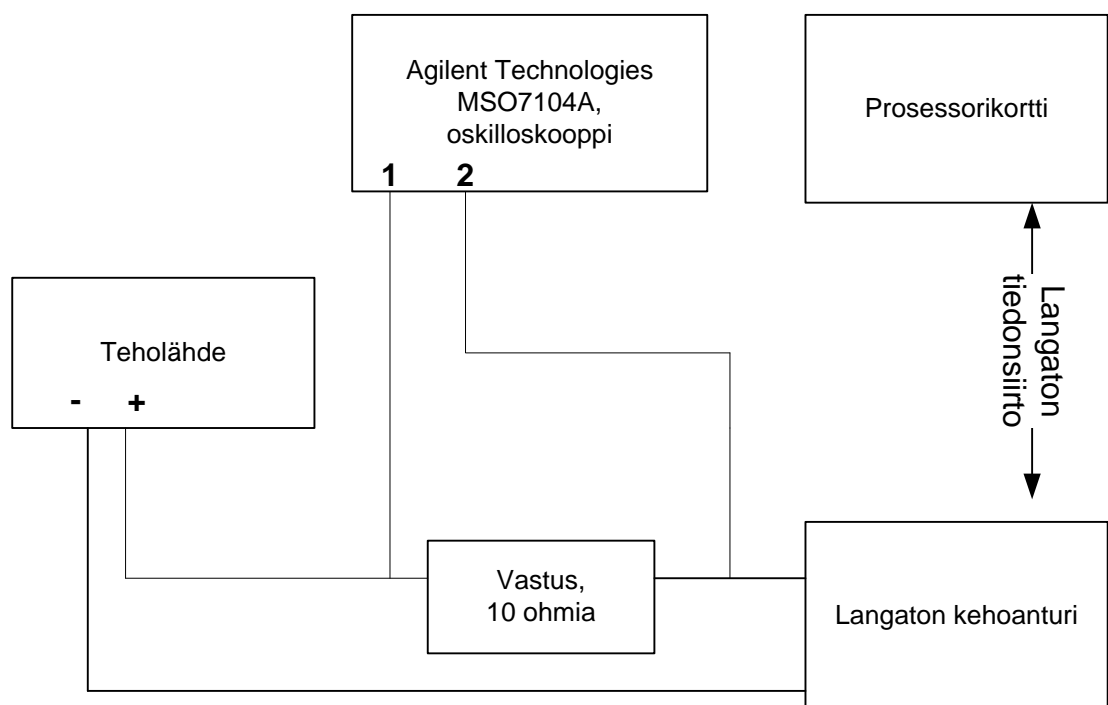
Kun CC2430-SoC-piiri asetetaan tehonhallintatiloihin PM1–PM3, HS-RSOSC tulee olla järjestelmän kellona. CC2430-SoC-piirin tulee aina palata aktiiviseen tilaan HS-RSOSC:n ollessa käytössä. Jos käytettävä ohjelma tarvitsee HS XOSC:n järjestelmäkelloksi aktiiviseen tilaan, täytyy kello manuaalisesti käynnistää asettamalla CLKCON.OSC =0.[7.]

6.3 Kiihtyvyyssanturin vaikutus tehonhallintaan

Tehonhallintaan pyrittiin vaikuttamaan myös kiihtyvyyssanturin avulla. Kiihtyvyyssanturina langattomassa kehoanturissa toimi jo aiemmin esitelty Kionixin KZPS5-2050. Kiihtyvyyssanturin avulla tehonkulutukseen vaikutettiin asettamalla anturi lepotilaan. Tällä tarkoitetaan sitä, että kiihtyvyyssanturi poistetaan käytöstä ohjelmallisesti tehonkulutuksen vähentämiseksi. Kiihtyvyyssanturin poistossa täytyi ottaa huomioon, että se voitiin ottaa pois käytöstä vain silloin, kun anturia ei tarvita. Käytännössä tällä tarkoitetaan sitä, että anturi on tällöin lepotilassa. Anturia ei tarvita silloin, kun langaton kehoanturi lähettää tietoa prosessorikortille. Anturi kuitenkin pitää olla käytössä aina kun kiihtyvyystietoa tulee. Tarkoituksena kiihtyvyyssanturin asettamisella lepotilaan oli tarkastella, kuinka paljon tehonkulutus pienenee pelkän kiihtyvyyssanturin avulla.

7 TEHONHALLINNAN TESTAUS

Tehonhallinta testattiin testikytkennän avulla, jolla saatiin oskilloskoopille näkyviin langattoman kehoanturin tehonkulutus. Tehonkulutukseen rakennettu kytkentä oli yksinkertainen. Kytkentään tarvittiin oskilloskooppi, teholähde, 10 ohmin vastus, langaton kehoanturi sekä vastaanottolaite, joka tässä tapauksessa oli prosessorikortti. Tehonkulutukseen käytetty kytkentä on esitetty kuvassa 9.

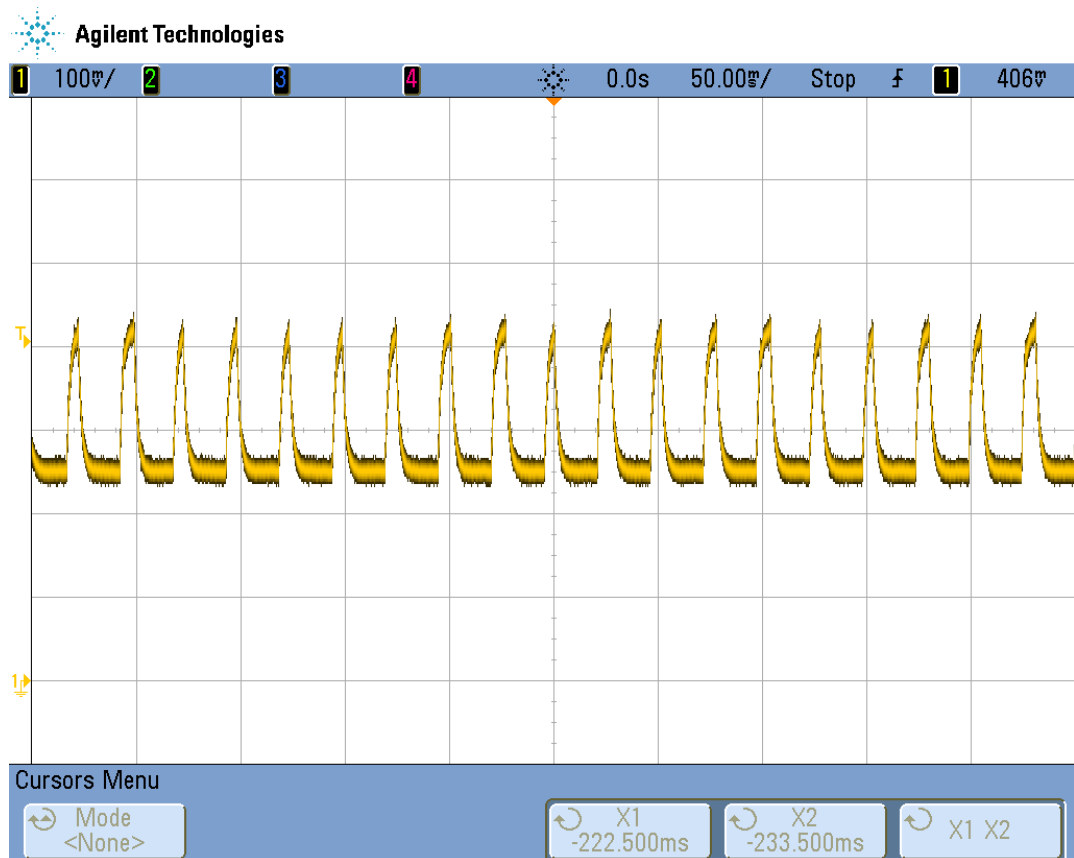


Kuva 9. Tehonkulutuksen mittaukseen käytetty kytkentä.

Kun langattomalla kehoanturilla lähetettiin tietoa, vastuksen yli oleva jännite mitattiin oskilloskoopin avulla. Näin oskilloskoopin näytölle syntyi kuva, josta pystyi näkemään vastuksen yli olevan jännitteen. Oskilloskoopin näytölle syntyneestä kuvasta voitiin katsoa myös aika, kuinka kauan kyseinen jännite tiedonsiirrosta kestää. Jännitteen ja vastuksen avulla voitiin laskea tarvittu virta. Oskilloskoopin kuvan avulla saatiin tietoon, kuinka kauan langaton kehoanturi on sekä lepo- että lähetystilassa. Näiden tietojen avulla voitiin selvittää langattoman kehoanturin kokonaisvirrankulutus ja myös laskea, kuinka kauan akun kapasiteetilla voitiin työskennellä.

7.1 Tehonkulutus ilman tehnhallintaa

Langattoman kehoanturin alkuperäisellä protokollapinon ohjelmalla, joka ei sisällä tehnhallintatiloja, saatiin oskilloskoopilla mitattujen tulosten perusteella kuvassa 10 esitetty tehonkulutuksen laskemisen mahdollistava kuva.



Kuva 10. Tehonkulutus ilman tehnhallintatilaa.

Kuvassa 10 esitetyn langattoman kehoanturin tehonkulutus voitiin laskea seuraavasti. Lähetystilan virrankulutus laskettiin yhtälön (1) avulla ja tulokseksi saatiin 19,3 mA. Lepotilan virrankulutus laskettiin yhtälön (1) avulla ja tulokseksi saatiin 23,3 mA. Tiedonlähetyksen esiintymistiheys (k) voitiin laskea yhtälön (2) avulla. Laitteen kokonaisvirrankulutus voitiin laskea yhtälön (4) avulla.

$$k_1 = \frac{512}{20} = 25,6$$

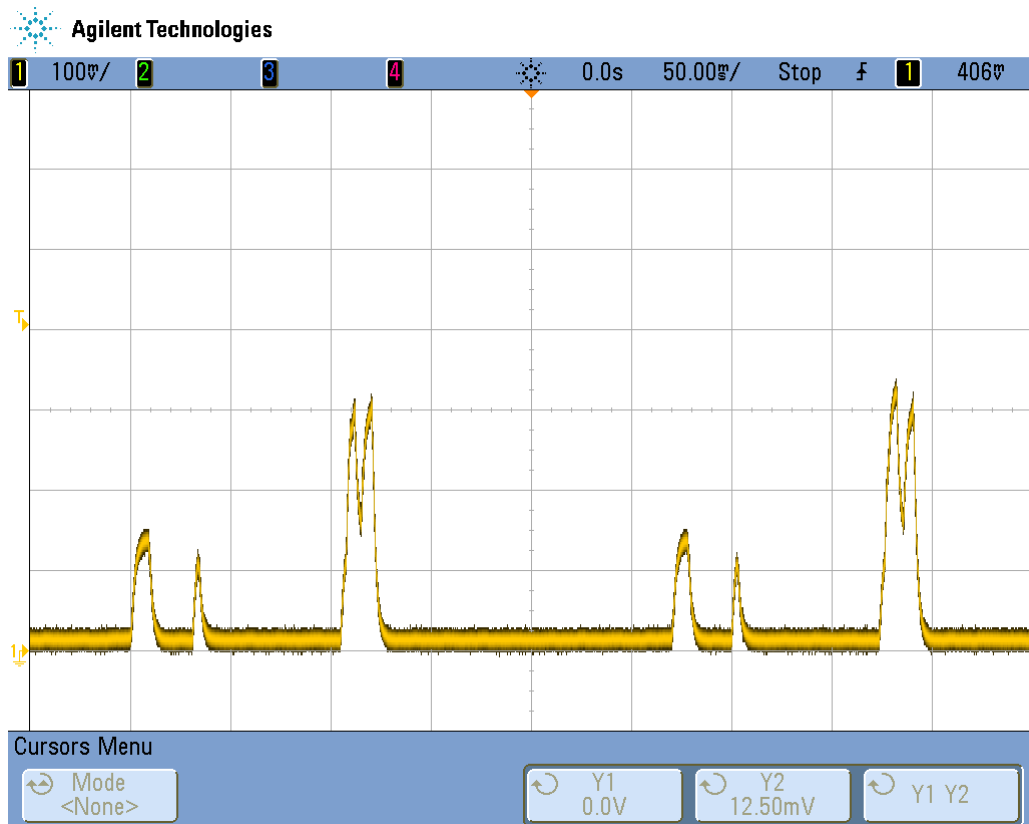
$$I_{kok} = k_1 * t_1 * \Delta I_1 + I_{idle} = 25,6 \frac{1}{s} * 8 \text{ ms} * 19,3 \text{ mA} + 23,3 \text{ mA} = 27,25 \text{ mA}$$

Kun kokonaisvirrankulutus oli laskettu, oli mahdollista laskea akun kapasiteetin avulla akun käyttöaika yhtälön (5) avulla ja tulokseksi saatiin 2,93 tuntia.

Mittausten avulla selvisi, että langattoman kehoanturin akun kapasiteetin avulla voitiin kehoanturia käyttää noin kolme tuntia. Seuraavaksi tarkasteltiin, kuinka paljon tehonhallintatilan avulla voitiin pidentää langattoman kehoanturin käyttöaikaa.

7.2 Tehonkulutus protokollapinoa käytettäessä

Kun otettiin käyttöön tehonhallinta protokollapinon avulla, saatiin oskilloskoopin näytölle kuvassa 11 esitetty tehonkulutusta osoittava kuva.



Kuva 11. Tehonkulutus protokollapinon tehonhallintatiloja käytettäessä.

Kuvassa 11 esitetyn langattoman kehoanturin tehonkulutus laskettiin seuraavasti. Lähetystilan virrankulutus laskettiin yhtälön (1) avulla. Tehonhallintatiloja käytettäessä lähetys sisältää erisuuruisia jännitetasoja. Kunkin jännitetason virrankulutus tuli laskea erikseen. Jännitetasojen virrankulutuksiksi saatiin 13,6 mA, 11,1 mA ja 29,5 mA. Lepotilan virrankulutus laskettiin yhtälön (1) avulla. Sen virrankulutukseksi saatiin 1,24 mA.

Tiedonlähetyksen esiintymistiheydet (k) saatiin selville kuvan 11 avulla siten, että selvitettiin jännitetasojen arvot sekä tiedon lähteyksen kesto sekunnin aikana. Esiintymistiheydet voitiin laskea yhtälön (3) avulla. Tiheyksiksi saatiin 3,39, 3,57 sekä 3,85. Kokonaisvirrankulutukseksi yhtälön (4) saatiin 4,42 mA.

Kun kokonaisvirrankulutus oli laskettu, oli mahdollista laskea akun kapasiteetin avulla akun käyttöaika yhtälön (5) avulla. Tulokseksi saatiin 18,1 tuntia.

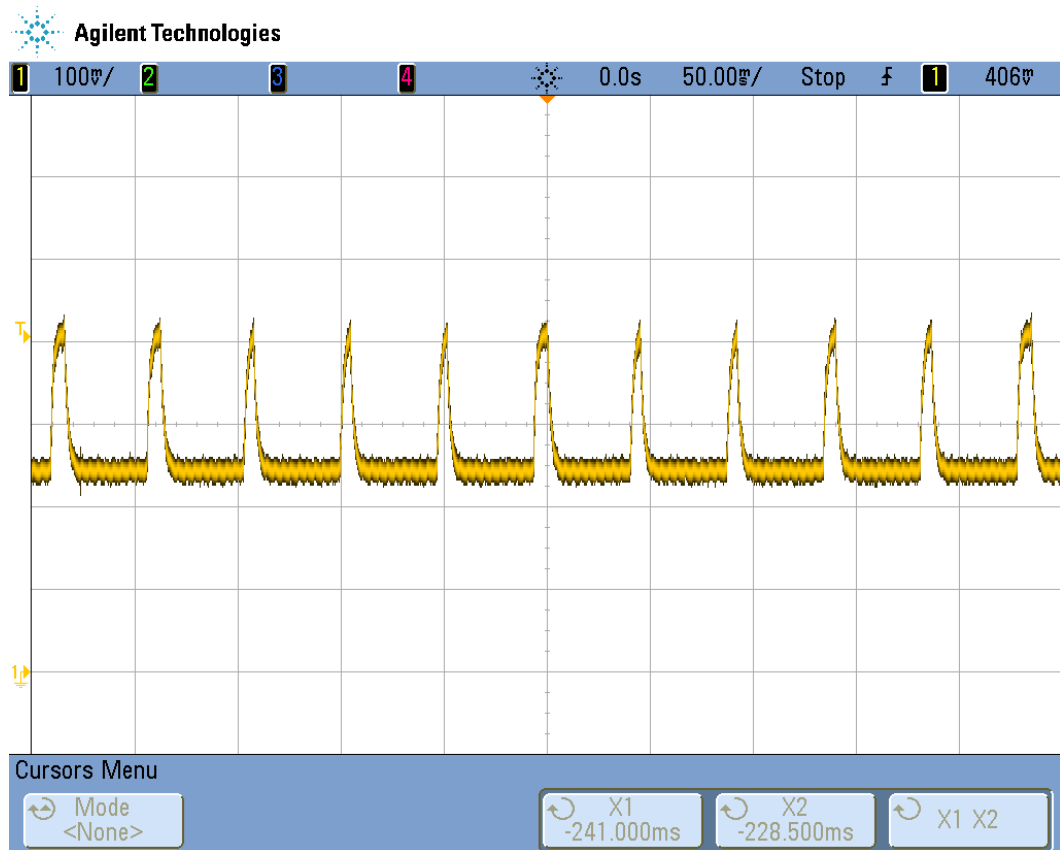
Kuvan 11 tarkastelu vaati enemmän tarkkuutta, koska tehonkulutusta osoittava kuva ei ollut niin säännöllinen kuin se oli ilman tehonhallintatilaa. Laskenta osoitti, että käytettäessä tehonhallintatilaa tehonkulutus pienentyi huomattavasti. Saatujen tulosten perusteella akun kesto kasvoi noin kolmesta tunnista noin 18 tuntiin.

Tuloksen jälkeen haluttiin varmistaa, että langaton kehoanturi lähettää halutun datan prosessorikortille käytettäessä protokollapinon tarjoamaa tehonhallintaa. Langattoman kehoanturin toimintaa tarkasteltiin SPI-väylästä logikka-analysaattorin avulla. Kävi ilmi, että langaton kehoanturi herää satunnaisesti haluttuihin protokollapinon keskeytyksiin eikä näin ollen lähetä kaikkea haluttua dataa. Tämän jälkeen langattoman kehoanturin lähettämää dataa tutkittiin hyperterminal-ohjelman avulla keräämällä lähetetty data satunnaisella aikavälillä. Huomattiin, ettei langaton kehoanturi lähetä enää kaikkea tietoa prosessorikortille. Langattoman kehoanturin lähettämä tieto oli vain 11,2 % halutusta tietomäärästä.

7.3 Kiihtyvyyssanturin vaikutus tehonhallintaan

Protokollapinon avulla käytettyjen tehonhallintatilojen mittausten jälkeen testattiin kiihtyvyyssanturin vaikutus akun keston asettamalla anturi lepotilaan. Edellä esitettyä mittauskyt-

kontrollia voidaan myös käyttää tehonkulutuksen mittaamisen kiihtyvyyssanturin avulla. Oskilloskoopille syntynyt kuva on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Tehonkulutus kiihtyvyyssanturi sammutettuna.

Kuvassa 12 esitetyn langattoman kehoanturin tehonkulutus voidaan laskea seuraavasti. Lähetystilan virrankulutus laskettiin yhtälön (1) avulla ja tulokseksi saatiin 19,3 mA. Lepotilan virrankulutus laskettiin yhtälön (1) avulla ja tulokseksi saatiin 23,3 mA.

Tiedonlähetyksen esiintymistiheys (k) saatiin selville kuvan 11 avulla siten, että selvitettiin jännitetasojen arvot sekä tiedon lähetyksen kesto sekunnin aikana. Esiintymistiheys voidaan laskea yhtälön (3) avulla. Tulokseksi saatiin 22,2. Kokonaisvirrankulutukseksi saatiin 26,73 mA yhtälön (4) avulla.

Kun kokonaisvirrankulutus oli laskettu, oli mahdollista laskea akun kapasiteetin avulla akun käyttöaika. Akun käyttöaika voidaan laskea yhtälön (5) avulla. Käyttöajaksi saatiin 2,99 tuntia.

Tehonkulutuksen laskemisen jälkeen huomattiin, että kiihtyvyyssanturin asettaminen lepotiilaan vaikuttaa tehonkulutukseen hyvin vähän. Akun kesto pysyi melkein samanlaisena kuin se oli alkuperäisellä protokollapinollakin.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Langattoman kehoanturin teoreettinen tehonkulutus voitiin laskea yhtälöiden (1), (2) ja (4) avulla. Näytteitä laskennan avulla saadusta tehonkulutuksessa otettiin 160 kappaletta sekunnissa. Laskennassa käytetyt arvot saatiin langattomasta kehoanturista oskilloskoopin avulla. Laitteen kokonaisvirrankulutukseksi saatiin 8,04 mA, jonka avulla voitiin laskea myös akun käyttöaika. Teoreettisesti laskettuna langattoman kehoanturin tehonkulutusta olisi mahdollista pienentää siten, että langattoman kehoanturin akku kestäisi yhdellä latauksella noin 10 tuntia.

Tehonhallintaan käytettyjen menetelmien avulla huomattiin, että tehonkulutusta pystyttiin pienentämään tehonhallintatilojen avulla. Tehonhallintatilojen käyttö aiheutti kuitenkin ongelmia langattoman kehoanturin toimintaan. Kun langaton kehoanturi saatettiin tehonhallintatilojen avulla tehonsäästötilaan eli niin sanottuun unitilaan, huomattiin, ettei anturi toimi kuten sen pitäisi. Tämä oli havaittavissa langattoman kehoanturin lähettämästä tiedosta, eli tärinä tietoa ei saatu niin paljon kuin langattoman kehoanturin kuului lähettää.

Kun tehonhallintaan vaikutettiin protokollapinon avulla, tehonkulutusta saatiin pienennettyä huomattavasti. Ilman tehonhallintaa kehoanturin akku antoi laitteelle noin kolmen tunnin käyttöajan. Kun käytettiin protokollapinon mahdollistamia tehonhallintatiloja, kehoanturia pystyttiin käyttämään 18 tuntia. Langaton kehoanturi ei kuitenkaan enää toiminut halutulla tavalla. Langaton kehoanturi heräsi satunnaisesti haluttuihin keskeytyksiin, mikä aiheutti ongelmia tiedonlähetykseen. Anturin lähettämä tieto oli vain 11,2 % halutusta tiedosta.

Käytettäessä protokollapinossa olevia tehonhallintatiloja huomattiin, että langaton kehoanturi ei herää haluttuihin keskeytyksiin kuten pitäisi. Kehoanturi heräsi keskeytyksiin satunnaisesti eikä näin ollen voi lähettää tietoa niin kuin sen pitäisi.

Kun tehonhallintaan pyrittiin vaikuttamaan ohjelmallisesti, huomattiin, että anturi ei tehonhallintatilaan menemisen jälkeen herännyt mihinkään keskeytykseen. Tämän avulla selvisi, ettei tehonhallintatiloja saanut ohjattua ohjelmallisesti pienellä protokollapinon ohjelman muokkaamisella. Ongelmaksi muodostui langattoman kehoanturin herääminen tehonhallintatilasta.

Kun tehonhallintatilaan pyrittiin vaikuttamaan kiihtyvyyssanturin asettamisella lepotilaan, huomattiin, että tehonkulutus pieneni hyvin vähän eli käyttöaika saatiin lisää alle puoli tuntia. Oskilloskooppikuvan perusteella voitiin myös olettaa, ettei anturi lähetä kaikkea tarvittavaa tietoa kuten pitäisi. Kuvassa 8 on havaittavissa, että langaton kehoanturi ei lähetä enää tärinä tietoa niin usein kuin kuvassa 6.

Langattoman kehoanturin tehonhallintaa ei voida suorittaa protokollapinin avulla. Protokollapinosta löytyvien tehonhallintatilojen avulla laite ei toimi odotetulla tavalla. Langattoman kehoanturin tehonhallinta on mahdollista suorittaa ohjelmoinnin avulla. Käytettävissä olevan ajan puitteissa lisäohjelmointia ei kuitenkaan ollut mahdollista suorittaa. Näin ollen langattoman kehoanturin tehonhallinnan suorittaminen vaatisi jatkokehitystä, jossa langattoman kehoanturin ohjelmaa muokattaisiin lisää tehonhallinnan toimimiseen halutulla tavalla.

9 YHTEENVETO

Insinööriyön tavoitteena oli kehittää kehotärinän mittaukseen soveltuvan langattoman kehoanturin tehonhallintaa. Laitteen käyttöaika voitiin kasvattaa tehohallinnan parantamisen avulla. Tavoitteena oli käyttää langatonta kehoanturia työpäivän ajan ilman välilatausta. Työtä aloiteltaessa langatonta kehoanturia voitiin käyttää akun avulla noin kolme tuntia. Työpäivän keston ollessa kahdeksan tuntia, tehonhallintaa täytyi parantaa siten, että akun käyttöaika pitäisi pystyä yli kaksinkertaistamaan.

Työssä tutustuttiin kehotärinän mittaamiseen. Erityisesti keskityttiin siihen, kuinka kehotärinää mitataan Mewex-projektissa valmistetun langattoman kehoanturin avulla. Langattoman kehoanturin sisältämän CC2430-SoC-piirin ominaisuuksiin tutustuttiin huolellisesti, koska piirin ominaisuuksien avulla insinööriyön tavoitteeseen pääseminen oli mahdollista.

Tehonhallintaan pyrittiin vaikuttamaan protokollapinin avulla, ohjelmallisesti sekä kiihtyvyyssanturin avulla. Protokollapinin ja kiihtyvyyssanturin avulla tehonkulutusta saatiin pienennettyä, mikä mahdollisti laitteen pitemmän käyttöajan. Esimerkiksi protokollapinin avulla akun kesto saatiin kasvamaan kolmesta tunnista lähes 18 tuntiin ja kiihtyvyyssanturin avulla akun kesto saatiin lisää vain alle puolituntia. Kun tehonhallintaan pyrittiin vaikuttamaan ohjelmallisesti, langaton kehoanturi saatiin sammutettua täysin.

Vaikka tehonhallintaa saatiin kasvatettua protokollapinin avulla huomattavasti, ongelmaksi muodostui anturin lähettämä tärinä tieto. Langattoman anturin lähettämän tiedon sisältö ei enää vastannut haluttua, koska kehoanturi ei herännyt haluttuihin keskeytyksiin tehonhallintatilasta.

LÄHTEET

1. Työterveyslaitos, Työympäristö
<<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/tarina/kehotarina/sivut/default.aspx>>
(Luettu 1.2.2011)
2. Kajaanin ammattikorkeakoulu, Tärinän mittaus- ja tutkimusympäristö
<http://www.kajak.fi/suomeksi/Tyoelamapalvelut/Tarinan_mittaus_ ja_tutkimusymparisto/Tutkimustoiminta.iw3> (Luettu 1.2.2011)
3. Honkanen, H. Langaton kehoanturointi tärviö -tärinämittausjärjestelmään. Julkaistu 5.1.2010 [PDF-dokumentti] (Luettu 1.2.2011)
4. TIES530, Mikrokontrollerit - arkkitehtuuri
<<http://users.jyu.fi/~jupeihal/Kontrollerit4.pdf>> (Luettu 1.2.2011)
5. Texas Instruments, CC2430-datasheet
<http://www.ece.msstate.edu/courses/design/2008/invivo/datasheets/CC2430_Data_Sheet_rev1p03.pdf> (Luettu 1.2.2011)
6. Texas Instruments, Measuring power consumption with CC2430 & Z-Stack
<<http://focus.ti.com/lit/an/swra144/swra144.pdf>> (Luettu 11.2.2011)
7. Texas Instruments, Power Modes in CC111xFx, CC243x, and CC251xFx
<<http://focus.ti.com/lit/an/swra162b/swra162b.pdf>> (Luettu 11.2.2011)