



Bluetooth Low Energy

Juha-Matti Nikki

Opinnäytetyö
Joulukuu 2012
Tietotekniikka
Tietoliikennetekniikka ja tie-
toverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikan ja tietoverkkojen suuntautumisvaihtoehto

NIKKI, JUHA-MATTI:
Bluetooth Low Energy

Opinnäytetyö 34 sivua.
Joulukuu 2012

Opinnäytetyössäni esittelen Bluetooth low energyn eri osa-alueita. Historiassa käsittelen miten Bluetooth sai alkunsa ja kuinka siitä muodostui yksi tärkeimmistä langattomista teknologioista. Kerron myös hauskan faktan siitä, minkä vuoksi tätä teknologiaa kutsutaan Bluetoothiksi.

Historian yhteydessä mainitsen järjestön nimeltä Bluetooth SIG. Se on Bluetoothin kannalta yksi kaikkein merkittävimmistä järjestöistä ja sillä on suuri rooli valvoa sekä kehittää Bluetooth-teknologiaa eteenpäin. Ilman SIG:n tukea Bluetooth ei olisi voinut kehittyä nykyiselle tasolle vaan olisi jotain aivan muuta.

SIG:n jälkeen kerron mitä Bluetooth on yleisellä tasolla ja kuinka Bluetooth LE liittyy tähän. Tärkeää on muistaa, että Bluetooth LE on vain osa Bluetooth 4.0, mutta erittäin tärkeä osa. Sen avulla ratkaistaan monia virrankulutusongelmia ja voidaan suunnitella uusia sensoreita, jotka voivat toimia pitkään ilman pariston tai akun vaihtoa.

Sitten kerron Bluetooth LE:n ominaisuuksista. Tärkein niistä on virrankulutus, sillä tässä koko teknologia on saanut nimensä. Sitten kerron millainen protokollapino on Bluetooth LE:llä käytössä. Tämä on osaltaan auttanut tuomaan virrankulutuksen alas, sillä verrattuna klassiseen Bluetoothiin, BLE:n protokollapino on paljon pienempi.

Vertailussa käsittelen miten Bluetooth LE eroaa klassisesta Bluetoothista protokollan, nopeuden ja virrankulutuksen osalta. Nämä ovat minusta kaikkein tärkeimmät asiat mitä verrata toisiinsa.

Käyttökohteissa mietin mihin kaikkeen voisimme käyttää Bluetooth LE-teknologiaa, sekä kerron missä sitä on jo käytössä. Yritän tuoda esille kuinka paljon eri mahdollisuuksia tällä teknologialla on. Kerron myös käyttäjistä sen verran että mihin yritykset ja yksityiset sitä käyttävät. Luettelen myös jo markkinoille tulleita laitteita.

Lopuksi mietin mitä mieltä todella olen Bluetooth LE-teknologiasta, mihin suuntaan sitä voidaan alkaa kehittää ja kuinka se voi mullistaa arkeamme. Tulevaisuudessa se on joko todella suuressa osassa tai sitten keksimme jonkin uuden teknologian korvaamaan tämän kokonaan. Vain mielikuvitus on rajana.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Bachelor of Engineering (Computer Systems)
Specialization in Telecommunication

NIKKI, JUHA-MATTI:
Bluetooth Low Energy

Bachelor's thesis 34 pages.
December 2012

In my thesis I will talk about Bluetooth Low Energy. In the history part I will tell you about how Bluetooth was first made and how it became one of the most important wireless technology. Also I will tell you a fun fact about how it got the name Bluetooth.

I also talk about history. The name of Bluetooth SIG comes to the surface. It is one of the most important organizations in the world. It has the responsibility to control and improve Bluetooth technology forward. Without SIG, Bluetooth would not be where it is today.

After telling you about SIG I will tell you about Bluetooth in common and how Bluetooth low energy relates to this. It is important to remember that Bluetooth LE is only a part of Bluetooth 4.0 but rather a very important piece of it. With it you can solve many power consumption problems and you can produce new kind of sensors that can operate a very long time without changing the battery.

Then I will talk about few of the properties of Bluetooth LE. Most important is power consumption. That is where the technology got its name. After that I will talk about protocol stack. It is one of the points how BLE has got its power consumption down. Compared to classic Bluetooth protocol stack, BLE has much smaller one.

When comparing some of the differences between classical Bluetooth and BLE. I will tell you about their protocol, speed and power consumption. They are the most important facts about them in my opinion.

Next I will think and tell you about where you can use and find this technology. I will try to present the possibilities that come with BLE. I will also tell you about where companies and consumers can use this technology. After that I am going to mention a few products that have already hit the market.

Finally I will tell you what I think about the BLE technology and how far it could be developed and how it can make our life easier. In the future this will be a really big part of our daily life or we will develop a new kind of technology to replace it. Only our imagination is our limit.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	BLUETOOTHIN HISTORIA	7
2.1	Miten Bluetoothin kehitys alkoi?.....	7
2.2	Miten Bluetooth sai nimensä?.....	7
3	BLUETOOTH SIG.....	8
3.1	Mikä on Bluetooth SIG?	8
3.2	Kuinka Bluetooth SIG sai alkunsa?	9
3.3	Bluetooth SIG tulevaisuudessa	10
4	MIKÄ BLUETOOTH ON?.....	11
4.1	Bluetooth yleisesti.....	11
4.2	Mikä on Bluetooth 4.0	12
4.3	Mikä on Bluetooth Low Energy	12
4.4	Eroavavuudet ja yhteenkuuluvuudet?	13
5	BLUETOOTH LOW ENERGY OMINAISUUDET	14
5.1	Virrankulutus	14
5.2	Protokolla.....	16
5.3	Topologia ja kuuluvuus	18
5.4	Taajuudet	19
5.5	Single-Mode ja Dual-Mode	19
6	VERTAILUA	21
6.1	Protokolla.....	21
6.2	Nopeuserot	22
6.3	Virrankulutus	22
7	KÄYTTÖKOHTEITA	23
7.1	Mihin käytetään?.....	23
7.2	Mihin voitaisiin käyttää?	23
7.2.1	Älykoti-idea.....	23
7.2.2	BAN ja sen mahdollisuudet.	25
8	KÄYTTÄJÄT.....	26
8.1	YRITYKSET	26
8.2	YKSITYISET	26
9	MARKKINOILLA OLEVAT LAITTEET	28
9.1	Bluetooth Smart ja Smart Ready.....	28
9.2	Markkinoilla olevia laitteita.....	29
10	LOPPUMIETTEET.....	31
	LÄHTEET.....	33

LYHENTEET JA TERMIT

AMP	RPC-protokolla
API	Application Programming Interface
ATT	Attribute Protocol
BAN	Body Area Network
BLE	Bluetooth Low Energy
GAP	Generic Access Point
GATT	Generic Attribute Profile
HCI	Host-Controller Interface
HS	High Speed
ISM	Industrial, Scientific and Medical
kb/s	Kilobittiä sekunnissa
L2CAP	Logical Link Control and Adaptation Protocol
LC	Link Control
LE	Low Energy
LL	Link Layer
LM	Link Manager
PAN	Personal Area Network
PHY	Physical Layer
RF	Radio Frequency
RPC	Remote Procedure Call
SIG	Special Interest Group
SM	Security Manager
SPI	Serial Peripheral Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus
Wi-Fi	Langaton paikallinen yhteys
WLAN	Wireless Local Area Network

1 JOHDANTO

Bluetooth oli aiheena ennestään tuttu Bluetoothin osalta, mutta en ollut ennen kuullut mitä low energy tarkoittaa, kun se yhdistetään Bluetoothiin. Selvitän opinnäytetyössäni sitä itselleni sekä kaikille työni lukijoille. Opinnäytetyössäni otan tietoni suoraan luotettavista lähteistä sekä sovellan niitä lukemani perusteella kirjoittajilta, jotka ovat tämän aiheen kanssa toimineet jo pitkään.

Tulen käsittelemään työssä hyvin monia eri asioita liittyen Bluetooth low energyyn tai kuten lyhyesti sanotaan BLE. Aloitan työn kertomalla Bluetooth low energyn historiasta ja miten se alkoi kehittyä nykyiseen muotoonsa. Sen jälkeen kerron yleisesti, mikä on Bluetooth SIG. Tämä on erittäin tärkeä ryhmittymä, joka käsittelee Bluetoothiin liittyviä asioita ja pohtii, miten kehittää Bluetoothia eteenpäin.

Sen lisäksi käsittelen sitä, mitä Bluetooth yleisesti sisältää. Kerron, mitä Bluetooth 3.0 sisältää ja mitä 4.0 tuo tullessaan low energyn myötä. Tämän jälkeen kerron Bluetooth low energyn tärkeitä ominaisuuksia ja pohdin, millä tavoin sitä voidaan käyttää hyväksi ja mitä tulevaisuus voi tuoda tullessaan, kun tätä teknologiaa kehitetään pidemmälle.

En tule työssäni paneutumaan tarkasti yksityiskohtiin, sillä jo esimerkiksi Bluetooth LE:n protokollapinon, Link Layer-osiosta löytyy bluetooth.com:sta runsaasti tietoa. Työssäni tarkastelen siten vain Bluetooth LE-teknologian jäävuoren huippua.

2 BLUETOOTHIN HISTORIA

2.1 Miten Bluetoothin kehitys alkoi?

Teknologian kehittäminen alkoi jo vuonna 1940 armeijassa tehtyjen havaintojen perusteella. Lopullinen muoto tuli vasta vuonna 1994 ruotsalaisessa yrityksessä nimeltä Ericsson, jossa kyseinen teknologia lopulta keksittiin. Sen jälkeen 20.5.1998 muodostui ryhmittymä, joka ajaa eteenpäin Bluetoothin teknologiaa. Perustajiin kuuluivat Ericsson, Nokia, IBM, Intel ja Toshiba. (Bluetomorrow, Bluetooth History 2011.)

Bluetoothin ensimmäinen versio pystyi siirtämään 430 kb/s symmetrisessä siirrossa ja 721 kb/s lähtevässä sekä 57,6 kb/s saapuvassa asymmetrisessä (yourdictionary, Asymmetric - technical definition 2010). Symmetrinen siirto tarkoittaa sitä, että yhteys antaa yhtä suuren siirtonopeuden kumpaakin suuntaan. Asymmetrinen on optimoitu niin, että se suunta, jossa on suurempi kuorma, saa enemmän kaistaa. (TLU, Symmetrinen ja asymmetrinen yhteys 1999.)

Bluetooth 2.0 version myötä siirtonopeus nousi 3 megabittiin sekunnissa, jolloin nousi myös virrankulutus. Vertaillen molempien teknologioiden tiedonsiirtonopeutta tietyllä virtamäärällä 2.0 version virrankulutus oli puolet pienempi kuin Bluetoothin ensimmäisessä versiossa. (Absolute Astronomy, Bluetooth 2012.)

2.2 Miten Bluetooth sai nimensä?

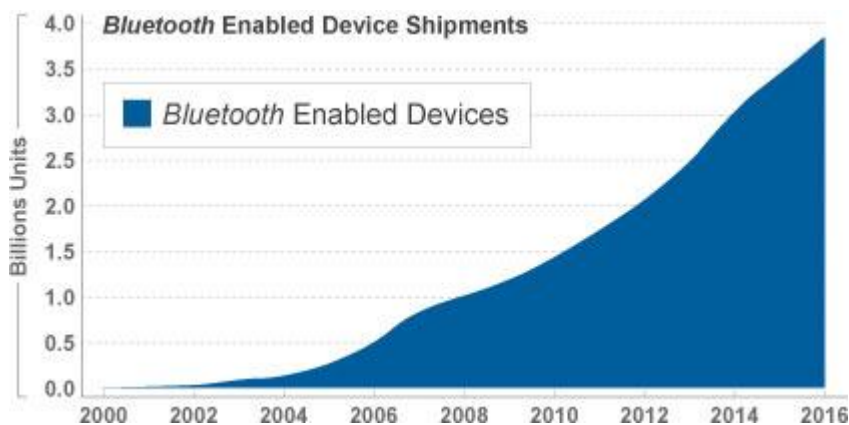
Bluetooth oli alun perin koodinimi SIG:lle eli Special Interest Groupille, joka alkoi työskennellä tämän teknologian parissa. Nimi perustuu 900-luvulla eläneeseen Tanskan kuninkaaseen Harald "Bluetooth" Gormsson, joka oli kuuluisa siitä, miten hän yhdisti Skandinavian, kuten SIG yhdistää nyt yrityksiä Bluetoothin parissa. (Kardach, J. Tech History: How Bluetooth got its name 2008.)

3 BLUETOOTH SIG

3.1 Mikä on Bluetooth SIG?

Bluetooth SIG on kansainvälinen yritysten muodostama järjestö, joka pitää huolta siitä, että Bluetoothin teknologiaa viedään kunnialla eteenpäin ja kehitetään jatkuvasti. Viimeisten tietojen mukaan, jotka ovat vuodelta 2012, tähän järjestöön kuuluu jo yli 17 000 yritystä. Kasvu on ollut huima, sillä alussa tähän kuului vain viisi yritystä, joista yksi on Nokia. (Bluetooth, SIG Membership 2012.)

Bluetooth SIG-järjestö (2012) valvoo Bluetoothin standardien kehitystä, teknologian lisensointia ja tavaramerkkiä. Järjestöön liittyminen on yritykselle helppoa, sillä vaihtoehtoista toinen on maksuton. Tässä saa tekijänoikeusvapaan lisenssin Bluetooth-laitteiden rakentamiseen. Samalla saa myös lisenssin, jolla voi käyttää Bluetooth-sanaa ja -logoa, sekä tehdä yhteistyötä yli 17 000 jäsenyrityksen kanssa ympärimaailmaa. (Bluetooth, SIG Membership 2012.)



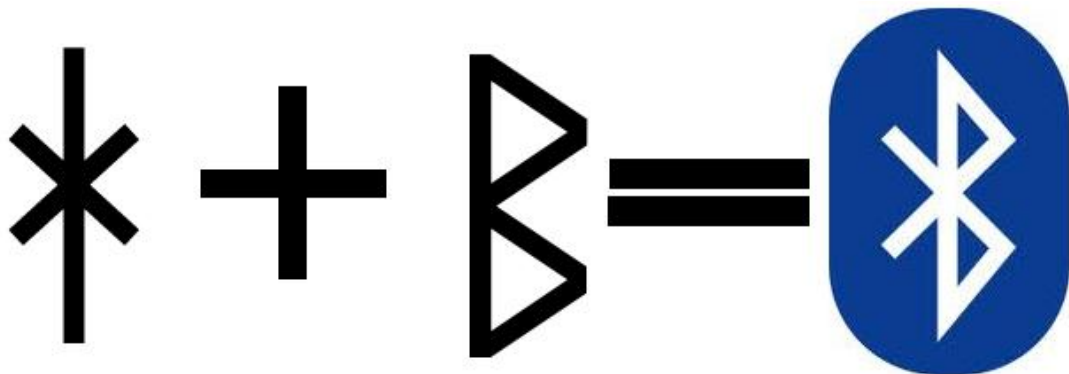
KUVIO 1. Bluetooth laitteiden toimitusten kasvu (Bluetooth SIG 2012)

Bluetooth-laitteiden toimitusten kasvu on todella jyrkässä nousussa (kuvio 1). Jos ennusteet pitävät paikkansa, vuonna 2016 laitteita toimitetaan jo 3,7 miljardia. Bluetooth SIG on tässä asiassa edistänyt toimintaa todella paljon. En usko, että käyttäisimme Bluetooth laitteita näin paljon, ellei SIG:tä olisi koskaan saatu aikaiseksi. SIG on tehnyt todella hyvää työtä tämän asian edistämiseksi. (Bluetooth, SIG Membership 2012.)

3.2 Kuinka Bluetooth SIG sai alkunsa?

Bluetooth SIG sai alkunsa vuonna 1998, kun tarvittiin ryhmittymä hoitamaan ja kehittämään Bluetoothia eteenpäin. Perustava kokous järjestettiin Ruotsissa, Ericssonin tehtaalla, jossa lyötiin lukkoon SIG:n muodostaminen. (Bluetomorrow, Bluetooth History 2011.)

Alussa oli vain viisi yritystä perustamassa ryhmittymää: Ericsson, IBM, Nokia, Intel ja Toshiba. Tällöin Intel ehdotti SIG:n koodinimeksi Bluetoothia, kunnes markkinointipuoli keksisi uuden nimen. Kuten historia kertoo, Bluetooth-nimi jäi lopulliseksi nimeksi sekä tälle ryhmittymälle että teknologialle. (Bluetomorrow, Bluetooth History 2011.)



KUVA 1. Riimujen yhdistäminen logoksi

Bluetoothin logo keksittiin yhdistämällä kaksi riimua, Hagall (*) ja Bjarkan (ᚢ). Ne kuvaavat Harald Bluetoothin nimikirjaimia. Nämä kaksi yhdistämällä, saadaan nykyinen Bluetoothin logo (kuva 1). Väri tietysti valittiin siniseksi, nimen alun vuoksi (blue). (Bluetomorrow, Bluetooth History 2011.)

3.3 Bluetooth SIG tulevaisuudessa

Bluetooth SIG tulee olemaan vielä tulevaisuudessakin todella merkittävä tekijä tällä alalla. Koko ajan kasvava ja alalla tunnettu ryhmittymä tukee ja tarjoaa todella paljon kaikille jäsenilleen. Uskon, että alalla tulee tapahtumaan monia merkittäviä teknologia-uudistuksia. Saatetaan keksiä jopa urauurtava uusi langaton tiedonsiirtotapa, joka on entistä nopeampi ja vähemmän virtaa kuluttava kuin Bluetooth 4.0:ssa mukana olevassa low energyssä.

4 MIKÄ BLUETOOTH ON?

4.1 Bluetooth yleisesti



KUVA 2. Langaton Bluetooth-kuuloke (PRLOG.org 2008)

Bluetooth on langaton tiedonsiirtotekniikka, joka käyttää hyväkseen radioaaltoja 2400 MHz:n ja 2480 MHz:n välillä. Tätä käytetään todella yleisesti matkapuhelinten ja tietokoneiden välillä, mutta on myös monia muita laitteita, jotka käyttävät Bluetoothia kommunikointiin. Esimerkiksi langaton hands-free-laite (kuva 2) tai tavalliset langattomat kuulokkeet ovat suosittuja esimerkkejä Bluetoothin käytöstä jokapäiväisessä elämässä. (Absolute Astronomy, Bluetooth 2012.)

Uusien uudistusten myötä Bluetooth tulee olemaan vielä tärkeämmässä roolissa tulevaisuudessa. Siirtonopeus on noussut huimasti jokaisen uudistuksen myötä alkuvaiheiden hitaista nopeuksista. Ensimmäinen versio Bluetoothista antoi vain vähän päälle 1 Mb/s, kun nykyään toimitaan jo 24Mb/s nopeudella. (Absolute Astronomy, Bluetooth 2012.)

4.2 Mikä on Bluetooth 4.0

Bluetooth 4.0 sisältää klassisen Bluetoothin ja Bluetooth high speed- sekä Bluetooth low energy-protokollat. Yleisesti käytetään pelkästään BLE-nimitystä Bluetooth 4.0:sta, vaikka se on vain osa suurempaa kokonaisuutta. Tämä on ymmärrettävää, sillä BLE oli suurin uudistus 4.0:n myötä.

Yhteensopivuus on tärkeää, joten tässäkin on mahdollisuus käyttää laitetta vanhempien mallien kanssa. Bluetooth 3.0:sta mukana tullut ”high speed” auttaa isojenkin tiedostojen kanssa. Se käyttää hyväkseen Wi-Fi:ä, jolloin se voi saavuttaa jopa 24Mb/s nopeuden. (Absolute Astronomy, Bluetooth 2012.)

Bluetooth 4.0:n suurin uudistus on Bluetooth low energyn tuoma, vähän virtaa kuluttava malli. Aiemmin Bluetooth-yhteyttä ei voinut pitää kovin pitkään päällä, sillä se kulutti todella paljon virtaa. Esimerkiksi matkapuhelinten akku ei kestänyt pitkäkestoista yhteyttä. Sen sijaan Bluetooth 4.0:lla varustetuissa matkapuhelimissa yhteyttä voidaan pitää päällä niin paljon kuin halutaan, sillä virrankulutus ei nouse juuri ollenkaan.

4.3 Mikä on Bluetooth Low Energy



KUVA 3. Wibree-logo (dailytech.com 2006)

Bluetooth low energyn ansiosta virrankulutus on saatu laskemaan todella paljon. Sitä voidaan käyttää jopa pari vuotta yhtäjaksoisesti valmiustilassa pelkän nappipatterin kanssa. Bluetooth LE luotiin sitä varten, että voidaan lähettää pieniä määriä dataa kerralla kuluttamalla vähän virtaa verrattuna normaaliin Bluetoothiin. (Absolute Astronomy, Bluetooth low energy 2012.)

Vuonna 2007 SIG:n jäsenten kanssa käytyjen neuvottelujen jälkeen tämä teknologia sovittiin sisällytettävän seuraavaan Bluetooth-teknologiaan. Tällöin saatiin nimeksi

Bluetooth Low Energy, kun aikaisemmin sitä oli kutsuttu Wibreeksi. (Nokia Developer, Wibree 2012.)

4.4 Eroavuudet ja yhteenkuuluvuudet?

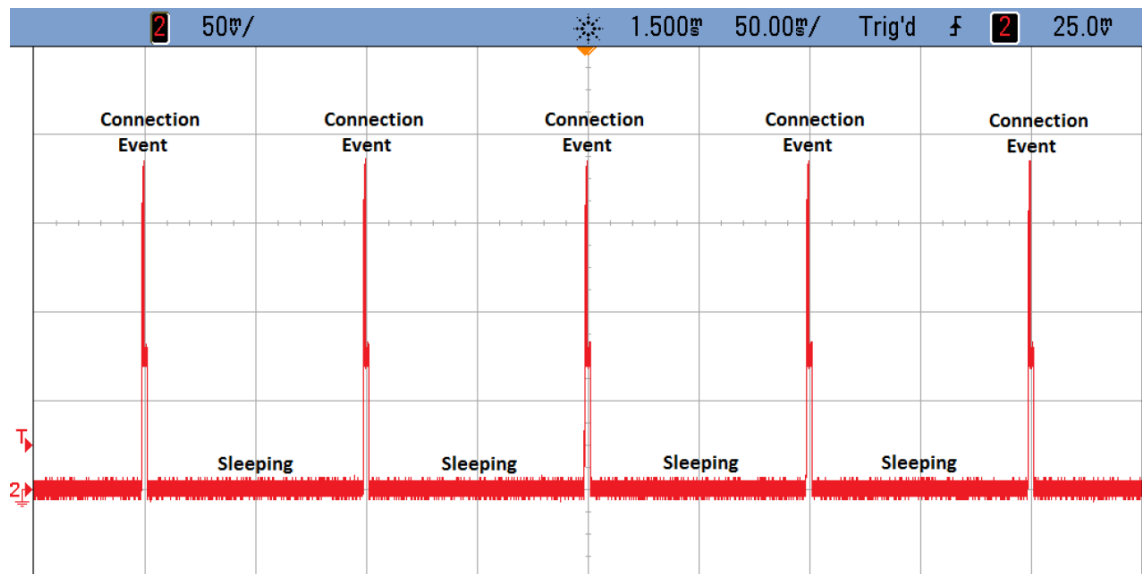
Bluetooth ja Bluetooth Low Energy eivät eroa paljoakaan toisistaan. Molemmat kuuluvat samaan teknologiaan, mutta Low Energy on sulautettu osaksi kokonaisuutta, jota kutsutaan Bluetooth 4.0:ksi.

Kuten verkkolehti EETimesin toimittaja Mikhail Galeev (2011) sanoi ytimekkäästi artikkelissaan, Bluetooth 4.0:ssa yhdistyy kaksi laitetta. Toinen on dual mode-laite, joka on kykeneväinen käyttämään Bluetooth LE:tä normaalin Bluetoothin kanssa, sekä single mode-laite, joka tukee vain Bluetooth LE-protokollia.

Bluetooth SIG:n myötä sekä Bluetooth että Bluetooth LE ovat muodostuneet erottamattomaksi yhdistelmäksi. Kummatkin ovat yhdistyneet hyvin ja tuoneet Bluetooth-teknologian uudelle tasolle. Uusien Bluetooth 4.0:lla varustettujen matkapuhelinten myötä on tarvittu teknologiaa, joka kuluttaa vähemmän virtaa kuin ennen. Älypuhelimet ovat kuuluisia siitä, että niiden akkukesto ei ole kovin pitkä, mutta BLE mahdollistaa pidemmän akkukeston.

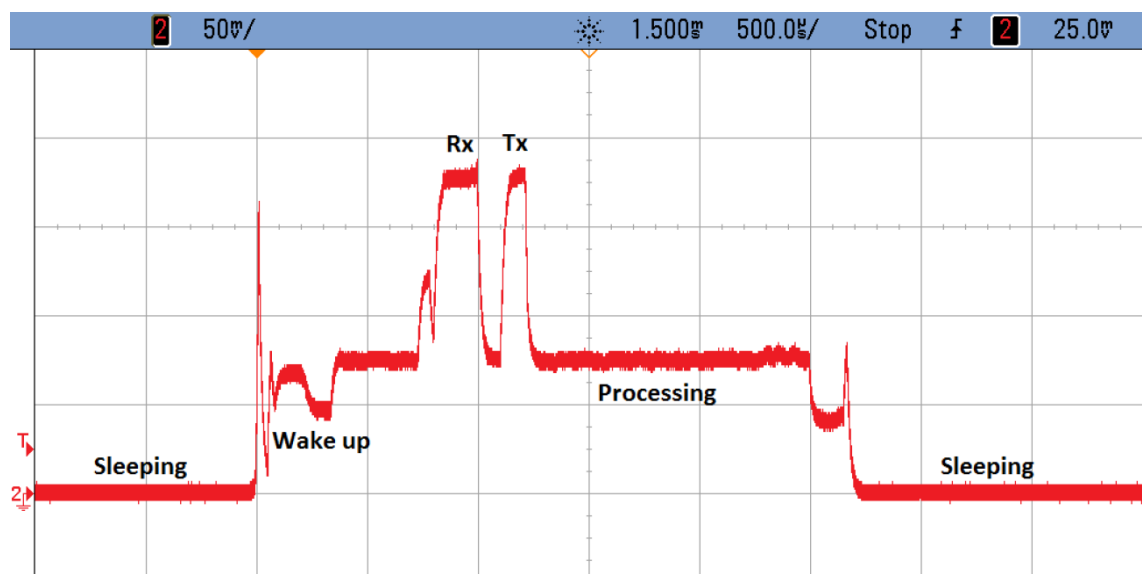
5 BLUETOOTH LOW ENERGY OMINAISUUDET

5.1 Virrankulutus



KUVIO 2. Virrankulutus aika-akselilla BLE-yhteydessä (Texas Instruments 2012)

Kaikkein tärkein ominaisuus on tietysti vähäinen virrankäyttö. Bluetooth Low Energy käyttää vain 15 mA hetkellisessä huippuvirrankulutuksessa. BLE lähettää siis pieniä paketteja nopeassa rytmissä, jolloin saadaan nopeita piikkejä, tietyn väliajoin eli kuvion 2 mukaan 100 ms välein. BLE:n ollessa lepotilassa virrankulutus on vain vähäiset 1 μ A. (Kamath, S. & Lindh, J. Measuring Bluetooth Low Energy Power Consumption 2012.)



KUVIO 3. BLE yksittäinen tapahtuma (Texas Instruments 2012)

Kuviossa 3 tulee esille mitä tapahtuu tämän hetkellisen piikin aikana. Ensin laite on lepotilassa (Sleeping), kunnes se herää (Wake up) ja alkaa vastaanottaa (Rx). Tämän jälkeen se lähettää tiedon (Tx), että seuraava data voi tulla, jonka jälkeen alkaa prosessoida (Processing) saatua dataa ja taas menee lepotilaan (Sleeping), kunnes tulee lisää paketteja. (Kamath, S. & Lindh, J. Measuring Bluetooth Low Energy Power Consumption 2012.)

Datan lähetyksen latenssi on todella pieni verrattuna normaaliin Bluetoothiin. Kun normaalilla kestää 100 ms, niin BLE lähettää saman datan alle 6 ms:ssa. Tämä vaikuttaa osaltaan siihen, kuinka kauan akku kestää. (Absolute Astronomy, Bluetooth low energy 2012.)

Joe Decuir esittelee hyvän esimerkin sensorin patterin kestosta (Bluetooth 4.0: Low Energy 2010). Oletetaan, että kuluu vain 3ms jokaisessa lähetyksessä.



KUVA 4. Lenmar WC357 (ebay.com 2012)

Kuvan 4 patteri (1,55 V, 180 mAh, 1-3 €) käytettäessä sensorin kanssa kuluttaa todella vähän. Lähetykseen kuluva teho on noin 15 mW (yleinen lähetysteho). Tässä patterissa kulutus on siis 9,677...mA. Tämä on saatu yhtälön (1) avulla.

$$P = U * I \tag{1}$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{15mW}{1,55V} = 9,677 \dots mA \tag{2}$$

$$Tunnit = \frac{180mAh}{9,677\dots mA} = 18,6h \tag{3}$$

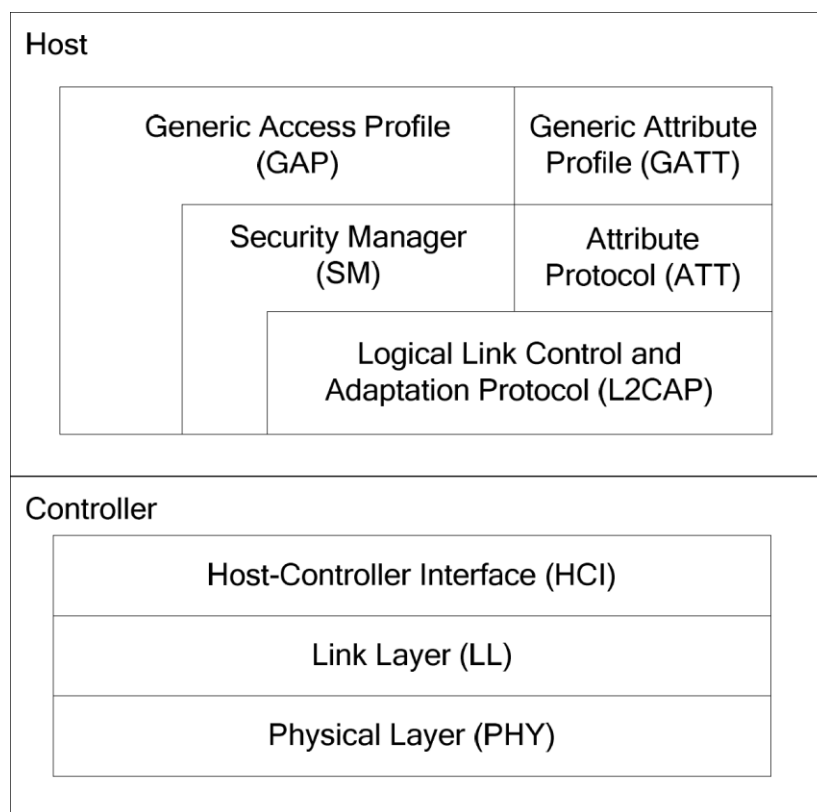
Tuloksena saadaan siis 18,6 tuntia eli 66 960 sekuntia, joka tarkoittaa 3 ms lähetyksen kestossa, ja että lähetyksiä on 22 320 000 kappaletta. Jos oletetaan, että sensori lähettää dataa kerran minuutissa, saadaan 1 440 kappaletta per päivä. Päiviä saadaan yhteensä 15 500, eli melkein 42,5 vuotta. (Decuir, J. Bluetooth 4.0 2010.)

Mitä tästä voimme siis päätellä? BLE:n avulla saamme todella pitkän käyttöiän jokaiselle sensorille, jossa sitä käytetään.

5.2 Protokolla

Mitä protokollat ovat? Ne ovat kasa sääntöjä, jonka avulla kaksi eri laitetta voi kommunikoida keskenään.

Texas Instruments on kertonut hyvin Bluetooth LE:n käyttämästä protokollapinosta.



KUVIO 4. BLE protokollapino (Texas Instruments 2012)

Kuviossa 4 esitellään Bluetooth LE:n protokollat. Prosessi alkaa, kun käyttäjä tekee ohjelmalla jotakin General Access Profilen ja General Attribute Profilen yläpuolella, ja

päätyy siihen, kun Physical Layeriltä lähtee signaali eteenpäin. (Texas Instruments, Low Energy Software Developer's Guide v1.2 2012, 5-6.)

Physical Layer on se, missä lähetys tapahtuu. Tässä kohtaa tulee käyttöön BLE:n käyttämä adaptiivinen taajuushyppely GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying), joka operoi 2,4 GHz:n taajuudella. (Texas Instruments, Low Energy Software Developer's Guide v1.2 2012, 5-6.)

Link Layer käytännössä kontrolloi radiotaajuuden tilaa laitteessa. Siinä on yhteensä viisi eri tilaa, standby, advertising, scanning, initiating tai connected. Standby tarkoittaa sitä että laite on odotus-tilassa, odottamassa yhteyttä. Kun laite on advertising-tilassa, niin se kertoo muille laitteille olevansa valmis saamaan yhteyden, kun taas scanning tilassa olevat etsivät näitä. Initiating on tila, jolloin otetaan yhteyttä advertising-tilassa olevaan, ja kun kummatkin ovat yhteydessä toisiinsa, ne ovat connected-tilassa. Laitteiden master-/slave -tila määräytyy siten, että yhteydenoton hyväksynyt laite tulee slaveksi ja toisesta masteriksi. (Texas Instruments, Low Energy Software Developer's Guide v1.2 2012, 5-6.)

Host-Controller Interface antaa keinon ottaa yhteyttä hostin ja controllerin välille, standardin mukaisen rajapinnan avulla. Tämä rajapinta voidaan panna toimeen ohjelmakohtaisen API:n avulla tai vaihtoehtoisesti standardilla laitteella, kuten UART, SPI tai USB. (Texas Instruments, Low Energy Software Developer's Guide v1.2 2012, 5-6.)

Logical Link Control and Adaptation Protocol, on kerros, joka antaa datan kapsulointipalvelun ylemmille kerroksille, jolloin looginen end-to-end kommunikaatio on mahdollista. (Texas Instruments, Low Energy Software Developer's Guide v1.2 2012, 5-6.)

Security Manager tekee salauksen. Se tekee myös mahdolliseksi laitteiden yhteenliittämisen, toiminnolla nimeltä ”pairing”. Tämä myös jakaa avaimia sekä turvaa muiden kerrosten toiminnan, kun otetaan yhteyttä muihin laitteisiin. (Texas Instruments, Low Energy Software Developer's Guide v1.2 2012, 5-6.)

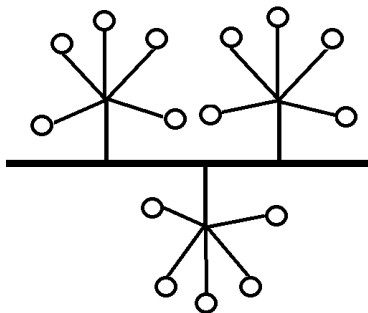
Generic Access Profile kerros käsittelee suoraan sovellusta ja/tai profiileja, ja käsittelee laitteen löytöön ja yhteyteen liittyviä palveluita. GAP myös käsittelee turvallisuusomi-

naisuuksien aloituksen. (Texas Instruments, Low Energy Software Developer's Guide v1.2 2012, 5-6.)

Attribute Protocol antaa laitteen paljastaa tiettyjä paloja dataa, jotka tunnetaan nimellä attributes (ominaisuudet tai attribuutti), toiseen laitteeseen. Laitetta, joka paljastaa näitä attribuutteja, kutsutaan serveriksi (server) ja laitetta joka ottaa vastaan näitä, kutsutaan clientiksi (client). (Texas Instruments, Low Energy Software Developer's Guide v1.2 2012, 5-6.)

Generic Attribute Protocol on palvelukehys, joka määrittelee aliprosessit (subprocedure) ATT:n käyttöön. GATT määrittelee profiilien rakenteen. Bluetooth LE:ssä kaikkea dataa, joka on profiilin tai palvelun käytössä, kutsutaan "characteristics" nimellä. Kaikki datakommunikaatio kahden laitteen välillä tapahtuu GATT-kerroksessa aliprosessissa. (Texas Instruments, Low Energy Software Developer's Guide v1.2 2012, 5-6.)

5.3 Topologia ja kuuluvuus



KUVA 5. Star-bus topologia

Bluetooth LE käyttää hyväkseen star-bus topologiaa (tähti-väylä topologia, kuva 5). Se on star topologian ja bus topologian yhdistelmä. Kaksi tai useampi star-topologiaa on yhdistetty bus-topologiaa hyväksi käyttäen. (Bluetooth, Bluetooth Basics 2012.)

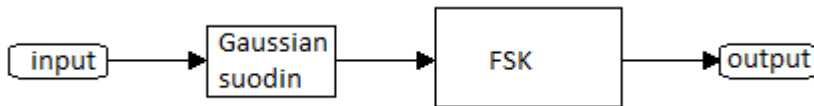
Kuuluvuusalue riippuu radion luokituksesta. Luokan 3 radion kuuluvuus liikkuu 1 metrin sisällä. Luokan 2 radio, joka on käytössä suurimmassa osassa mobiililaitteista, kuuluvuus on 10 metrin luokkaa. Luokan 1 radion kuuluvuus on jopa 100 metriä. (Bluetooth, Bluetooth Basics 2012.)

5.4 Taajuudet

$$\text{Keskitajuus} = 2402 + k * 2\text{MHz} \quad (4)$$

$$k = 0, \dots, 39$$

Bluetooth LE käyttää samaa taajuutta kuin normaali Bluetooth. 2,4 GHz:n ISM taajuutta (2400 - 2483,5 MHz). Tämä taajuus on jaettu 40 kanavaan, jotka ovat kooltaan 2 MHz. Näistä kanavista 37 on datan käytössä ja loput kolme käytetään muodostamaan yhteys. Näillä taajuuksilla on keskitajuus, joka saadaan laskulla 4. (Decuir, J. Bluetooth 4.0: Low Energy 2010, 17.)



KUVA 6. GFSK (muokattu kuvasta UCLA Engineering, GFSK 2012)

Bluetooth LE käyttää GFSK-modulaatiota lähetyksissään. Löysin UCLA Engineering-sivuilta hyvän tavan selittää miten GFSK toimii. Gaussian frequency shift keying on helppointa selittää kertomalla ensin, miten FSK (frequency shift keying) toimii. (UCLA Engineering, GFSK 2012.)

FSK:ssa signaali vaihtelee kahden taajuuden välillä, modulaatioindeksi päättää kuinka kaukana toisistaan nämä taajuudet ovat. Normaalille Bluetoothille tämä arvo on yleensä noin 0,32 ($\pm 1\%$). Bluetooth LE sen sijaan käyttää tässä modulaatiota, joka liikkuu 0,45 ja 0,55 välillä. Gaussian frequency shift keying taas tehdään niin, että sisääntulo menee gaussian-suotimen läpi. Suotimen tehtävänä on tasoittaa positiiviset ja negatiiviset taajuuspoikkeamat. (UCLA Engineering, GFSK 2012.)

5.5 Single-Mode ja Dual-Mode

Single-mode laitteita ovat itsenäisiä ja paristolla toimivia laitteet (tunnetaan myös nimellä Smart-laitteet). Ne on optimoitu pienille paristokäyttöisille laitteille, jotka on hal-

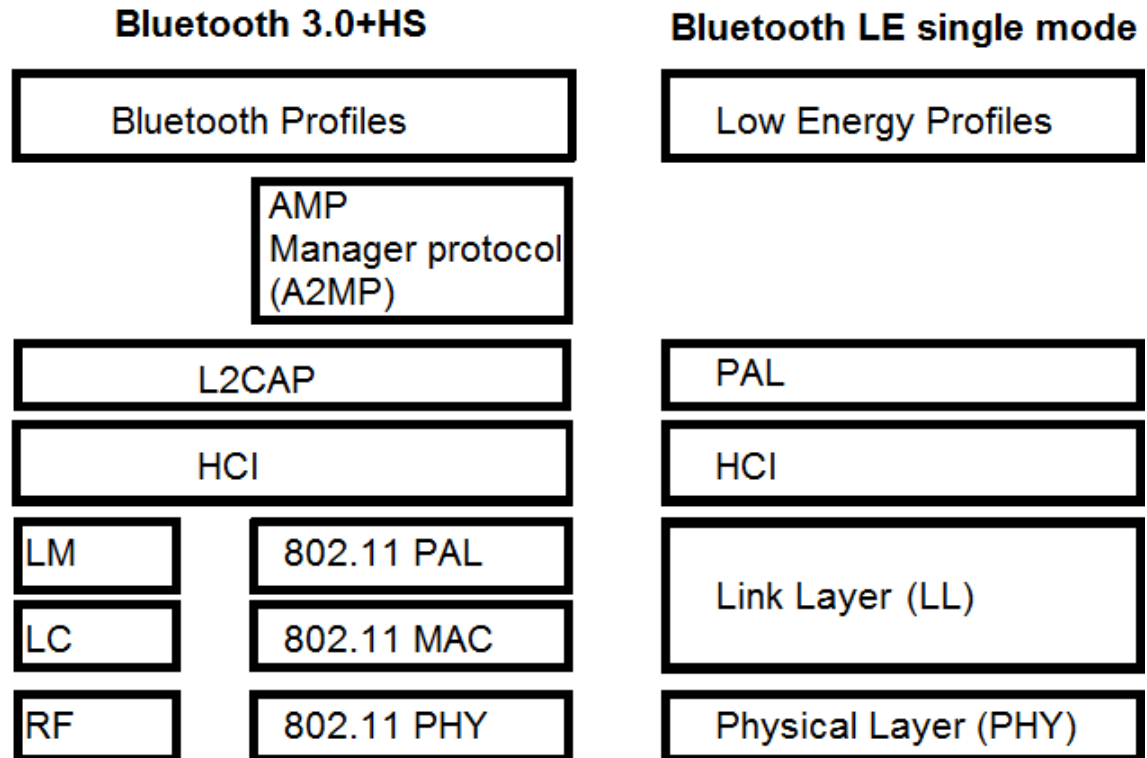
pa tehdä ja kuluttaa vähän virtaa. Tyypillinen single-mode -laite on esimerkiksi sydämensyke-sensori. (MED, Bluetooth Low Energy vs. Classic Bluetooth 2012.)

Dual-mode -laitteita ovat ne joissa on sisässä BLE-teknologiaa sekä klassista Bluetooth-teknologiaa. Dual-mode -laitteet harvoin saavuttavat mitään säästämällä virtaa sillä niiden pitää tukea kumpaakin teknologiaa, virransäästö saavutetaan vain single-mode optiolla. Tyypillisiä laitteita ovat matkapuhelimet ja tietokoneet. (MED, Bluetooth Low Energy vs. Classic Bluetooth 2012.)

6 VERTAILUA

6.1 Protokolla

Vertailen tässä Bluetooth- ja Bluetooth LE Single Mode- protokollapinoja.



KUVA 7. Bluetooth 3.0+High Speed ja BLE Single Mode protokollapino (Bluetooth.org 2009)

Täytyy muistaa, että näillä kahdella on lopulta aivan eri käyttötarkoitus. Kun Bluetooth 3.0 on käytössä laitteissa kuten matkapuhelin ja kannettava tietokone, niin Bluetooth LE single mode on vain pienissä laitteissa. Näitä ovat rannekellot ja sykemittarit, joissa pitää olla pitkä akkukesto.

Kuten kuvassa (kuva 7) näkyy, Bluetooth LE:llä on paljon kevyempi protokollapino kuin Bluetooth 3.0:lla. Siinä mukana on High Speed, joka käyttää hyväkseen WLAN-standardia lähetyksissään. Siksi on pitänyt ottaa mukaan 802.11 (WLAN) standardin mukaisia protokollia. Siinä onkin kaikkein tärkein eroavaisuus näiden kahden välillä. (Hassan, A. Bluetooth v3+HS 2009.)

Samaa näissä kahdessa protokollapinossa on HCI-kerros ja osaltaan fyysinen kerros. Jotain, mitä Bluetooth LE:stä ei löydy, on AMP Manager Protocol. AMP on RPC-protokolla, jonka vastuulla on lähettää asynkronisia pyyntö-/vastauspareja yli saman yhteyden. Tämä on vastuussa siitä että se löytää muita kaukaisia AMP:tä ja määrittelee niiden saatavuuden. Se kerää oleellista tietoa kaukaisista AMP:stä. Tätä tietoa käytetään AMP fyysisten linkkien pystytyksessä sekä ylläpidossa. AMP manager käyttää dedikoidua L2CAP signaali kanavaa kommunikoidessaan kaukaisen AMP managerin kanssa. (Hassan, A. Bluetooth v3+HS 2009; AMP - Asynchronous Messaging Protocol 2012.)

6.2 Nopeuserot

Klassinen Bluetooth saavuttaa 1-3 Mb/s nopeuden, kun taas Bluetooth LE vain 1 mb/s. BLE onkin tarkoitettu vain erilaisille sensoreille lähettämään dataa tietyn väliajoin. Siksi BLE-teknologia ei sovellu jatkuvaan lähetykseen. (Absolute Astronomy, Bluetooth low energy 2012.)

6.3 Virrankulutus

Kaikkein yleisin käytetty radio on luokaltaan 2 ja käyttää 2,5 mW virtaa. Bluetooth-teknologia on suunniteltu niin, että se käyttää todella vähän virtaa. Bluetooth low energy-teknologia on optimoitu laitteille, jotka tarvitsevat pitkän akkukeston suuren siirtonopeuden sijaan. Virrankulutus on 1/2 ja 1/100 välillä normaalista Bluetooth-teknologiasta. (Bluetooth, Bluetooth Basics 2012.)

7 KÄYTTÖKOHTEITA

7.1 Mihin käytetään?

Bluetooth LE on suunniteltu käytettäväksi sensoreilla, joilla mitataan monia asioita, kuten lämpötilaa, kosteutta, kulutusta jne. Bluetooth LE:n myötä on voitu alkaa valmistaa pieniä ja vähän virtaa kuluttavia laitteita. Aikaisemmin on tehty todella paljon laitteita, jotka sisältävät Bluetooth 3.0-version teknologiaa. BLE:n myötä on voitu alkaa miettimään uusia käyttötarkoituksia.

Bluetooth SIG:n internetsivuilla on todella monia esimerkkejä siitä mihin kaikkeen on alettu käyttää tätä teknologiaa. SIG on tehnyt sivustolleen videoita esittelemään aihetta. Yhdessä videoista keuhataan, kuinka Bluetooth low energy-teknologia soveltuu kodin laitteisiin. Videolla esitellään mahdollisina kohteina televisio, videokamera, kauko-ohjain, konsolin ohjain, DVD-soitin ja äänentoistojärjestelmä. Bluetooth LE ei sovellu kovinkaan hyvin jatkuvaan lähetykseen vaan enemmänkin nopeaan ja lyhytkestoiseen. Hyvä esimerkki tästä on kaukosäädin ja sen signaalin lähetys. (Bluetooth low energy technology - Entertainment applications 2010.)

7.2 Mihin voitaisiin käyttää?

Bluetooth LE:n teknologiaa on mahdollista käyttää todella moneen asiaan. Se voi olla todella rajattu, vain ihmisen mukana kulkeva, tai käytössä suureen teollisuushalliin. Vain jokaisen mielikuvitus on rajana.

7.2.1 Älykoti-idea

Bluetooth LE tuo mukanaan mahdollisuuden yhdistää enemmän laitteita jokapäiväiseen elämäämme. Kun kuuluvuus on 50 metrin luokkaa, voimme leikkiä yhä enemmän ajatuksella luoda älykoti, jossa jokainen laite on yhdistetty Bluetooth-teknologialla.

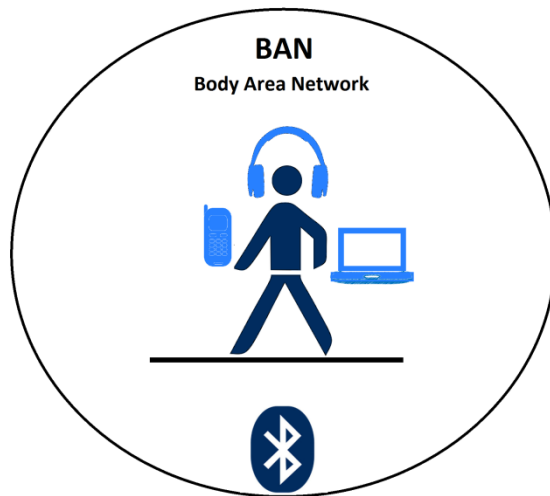
Aamulla heräät kun herätyskello alkaa soida. Nouset ylös ja lähdet liikkeelle sängyltä. Sängyssä oleva sensori huomaa tämän ja aloittaa aamurutiinit, jotka olet valmiiksi jo valinnut helposti tietokoneen tai taulutietokoneen avulla. Sängyn sensori lähettää pää-tietokoneeseen signaalin, että olet noussut sängystä. Tämän jälkeen verhot aukeavat ja radio tai televisio menevät päälle. Samalla valot menevät päälle sitä mukaa mitä liikut, ilman että painat mitään katkaisijaa.

Kuljet kohti vessaa ja liikeseensorit huomaavat tämän. Vessan valot menevät päälle, lattian lämmitys nousee ja ammeen täyttö alkaa. Hampaita harjattaessa amme on vähitellen täyttynyt ja saatuasi harjauksen valmiiksi, amme on jo täysi ja valmiina odottamassa. Liikeseensorit huomaavat sinun kulkevan kohti ammetta ja radio lähtee soimaan lempikanavaltasi.

Kun olet noussut ylös ammeesta, liikeseensorit huomaavat tämän. Silloin ohjelma ”aamukahvi” alkaa. Kahvinkeitin menee päälle ja alkaa keittää lempikahviasi, joka valmistuu juuri kun kävelet sen hakemaan. Menet pöydän ääreen katsomaan uutiset televisios-ta, joka on juuri auennut kun olet mennyt pöydän ääreen.

Tämä voi olla tulevaisuudessa aivan mahdollista. Varmuutta siitä ei ole onko sensorien teknologia toteutettu juurikin Bluetoothin kaltaisella, mutta se olisi mahdollista toteuttaa jo nyt.

7.2.2 BAN ja sen mahdollisuudet.



KUVA 8. Body Area Network

Bluetooth LE mahdollistaa teknologian tuomisen ihmisen mukaan jokaisessa vaatekapaleessa. Voimme laittaa kenkiin sensorit, jotka mittaavat eri kohdista kenkää kuinka astut ja kuinka pitkiä matkoja kävelet päivittäin. Kengässä olevat sensorit lähettävät datan eteenpäin, vaikkapa henkilön omaan matkapuhelimeen, jolloin voimme seurata koko ajan näitä tietoja oman ohjelman avulla.

Voimme käyttää ohutta ranneketta, joka mittaa sydämen sykkeen reaaliajassa ja lähettää tiedon eteenpäin. Voisin kuvitella tämän olevan todella hyödyllinen esimerkiksi sairaalassa. Potilaan ei tarvitsisi kannella mitään suurta ja painavaa mukanaan, vaan tarvitsisi vain pienen rannekkeen. Samassa rannekkeessa voi olla nappi, jota painamalla voi kutsua paikalle jonkun apuun, jos sitä kaipaa. Siihen voitaisiin myös laittaa talteen potilas-tiedot, jotka voi saada näkyviin lääkärin omalla taulutietokoneella.

Mahdollisuuksia on siis rajattomasti. Vain sinun itsesi pitää keksiä erilaisia käyttötapoja ja käyttötarkoituksia. Todella pienestä asiasta voi lähteä liikkeelle ja vähitellen kasvat-taa se suurempaan käyttötarkoitukseen. Uusia innovaatioita aina tarvitaan.

8 KÄYTTÄJÄT

8.1 YRITYKSET

Mitä yritykset voivat tehdä ensin kun haluavat käyttää tai kehittää Bluetoothia? Silloin kannattaa liittyä Bluetooth SIG:en. Sitä kautta saa parhaiten vastauksia sekä suuren verkoston, jonka kautta tutustua muihin yrityksiin. Liittyminen on tehty todella helpoksi ja halvaksi, joten tätä mahdollisuutta kannattaa käyttää hyväkseen. (Bluetooth, SIG Membership 2012.)

Suurin etu SIG:en liittymisessä onkin se, että siihen kuuluu jo moni yritys. Aloitteleva yritys, joka käyttää tai suunnittelee käyttävänsä Bluetoothia, saa todella paljon hyvää yhteistyöstään Bluetooth SIG:n kanssa. (Bluetooth, SIG Membership 2012.)

Yritykset voivat luoda sisäisiä verkkoja toimistolleen tai luoda tehtaalleen sensoriverkoston Bluetooth LE:n avulla. Se voi mitata tehtaan lämpötiloja, kosteutta tai ihan mitä tahansa mitä halutaan tietää säännöllisesti. Akkukeston ansiosta sensoreista ei tarvitse huolehtia usein, vain jos sensori menee rikki.

8.2 YKSITYISET

Nykyään jokaisella on taskussaan laite, joka käyttää Bluetooth-teknologiaa. Matkapuhelinten yleistymisen myötä olemme päässeet kunnolla tutustumaan Bluetoothin tarjomiin mahdollisuuksiin.

Voimme yhdistää matkapuhelimeen Bluetoothin avulla handsfree-kuulokkeen, joka lisää turvallisuutta, kun puhutaan puhelimessa autolla ajaessa. Pystymme lähettämään kuvia vaivatta kavereiden kesken Bluetoothin ansiosta. Voimme kuunnella kotona musiikkia langattomista kuulokkeista ja liikkua talon sisällä paikasta toiseen ilman että musiikki loppuisi kesken.

Bluetoothin kanssa elämä on tullut johtovapaaksi ja tätä yritetään viedä koko ajan eteenpäin. Voin kuvitella, että tulevaisuudessa saamme suurimman osan johdoista pois ja korvattua sen joko Bluetoothilla tai sen kaltaisella teknologialla.

9 MARKKINOILLA OLEVAT LAITTEET

9.1 Bluetooth Smart ja Smart Ready

Uusia Bluetooth-laitteita tulee koko ajan lisää. Laitteet, joissa on Bluetooth Smart- tai Bluetooth Smart Ready-logo, sisältävät Bluetooth 4.0:n. Bluetooth.com-sivustolla on sivu, jolla kerrotaan muutamista laitteista enemmän. (Bluetooth, Momentum Builds for Bluetooth Smart Devices 2012.)



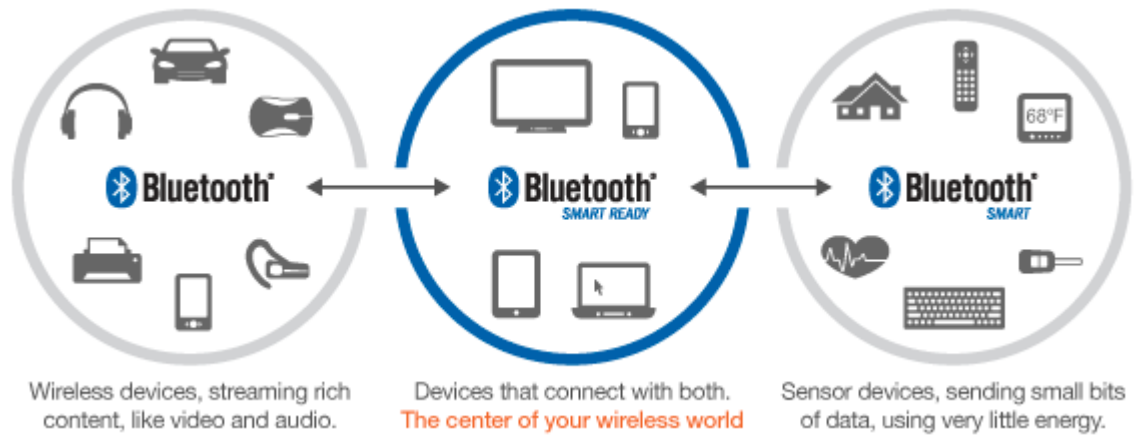
KUVA 9. Bluetooth Smart-logo (bluetooth.com 2012)

Bluetooth Smart (kuva 9) merkinnän saavat ne laitteet, jotka tekevät vain tiettyä asiaa. Ne esimerkiksi seuraavat sydämensykeä, ovatko ovet tai ikkunat lukossa, mitä vain mikä on helposti mitattavissa sensorilla. Näitä tietoja voidaan lähettää eteenpäin laitteisiin, joissa on Bluetooth Smart Ready-logo. (Bluetooth, Momentum Builds for Bluetooth Smart Devices 2012.)



KUVA 10. Bluetooth Smart Ready-logo (bluetooth.com 2012)

Smart Ready (kuva 10) merkin saavat vain ne laitteet, joihin voidaan yhdistää periaatteessa mitä vain Bluetooth-laitteita. Näitä laitteita ovat esimerkiksi matkapuhelimet, televisiot, pelikonsolit ja kannettavat tietokoneet. (Bluetooth, Momentum Builds for Bluetooth Smart Devices 2012.)



KUVA 11. Bluetooth ekosysteemi (bluetooth.com 2012)

Bluetoothin toimivuuden keskenään voidaan havainnollistaa helposti (kuva 11). Kaiken keskellä on Bluetooth Smart Ready-leimatut laitteet. Ne voivat ottaa yhteyttä kaikkiin Bluetooth-laitteisiin ja kaikki siihen.

9.2 Markkinoilla olevia laitteita

Markkinoilla on jo monia Bluetooth 4.0 laitteita. Esittelen tässä muutaman.



KUVA 12. Apple iPhone 5 (bluetooth.com 2012)

Apple on tuonut eniten Bluetooth 4.0 Smart Ready-tuotteita markkinoille. Sellainen on esimerkiksi iPhone 5 (kuva 12), joka tuli markkinoille tänä vuonna. Näitä on myös kak-

si kannettavaa tietokonetta, kaksi puhelinta, normaali tietokone, mp3-soitin ja taulutietokone. (Bluetooth, Bluetooth Smart Devices List 2012.)



KUVA 13. Nike-urheilukengät (bluetooth.com 2012)

Myös monia Bluetooth Smart-laitteita on tullut markkinoille ja yksi niistä on Niken Bluetooth Smart-kengät. Pohjaan on kiinnitetty painesensoreita, joiden avulla mitataan korkeushyppyä, nopeutta, kaloreita, "NikeFuel"-pisteitä ja muita suorituksia. (Bluetooth, Momentum Builds for Bluetooth Smart Devices 2012.)

Monet valmistajat ovat huomanneet että Bluetooth 4.0 antaa todella paljon mahdollisuuksia valmistaa monenlaisia erilaisia tuotteita. Ehkä yhä useammat alkavat ymmärtää, kuinka paljon mahdollisuuksia Bluetooth 4.0 tuo tullessaan Bluetooth LE:n myötä. Voimme odottaa tulevaisuudessa tulevan enemmän laitteita, jotka kantavat Smart- ja Smart Ready-logoja kyljessään.

10 LOPPUMIETTEET

Olen pohtinut, onko Bluetooth LE hyvä vaiko huono uudistus tuntemaamme Bluetoothiin? Minusta se on todella hyvä. Sen avulla olemme saaneet karsittua virrankulutuksen laitteissamme aivan minimiin ja BLE:n avulla voimme alkaa suunnitella uudenlaisia sensoreita, jotka eivät juuri ollenkaan kuluta virtaa. Kuten opinnäytetyöni esimerkissä kerroin kuinka kauan sensorin akku voi kestää, noin 42 vuotta on todella pitkä ikä mille tahansa sensorille. Todennäköisesti patterin ikä on pidempi kuin sensorin muun teknologian.

Omasta mielestäni tämä teknologinen uudistus tulee kestävänsä todella kauan Bluetoothiin mukana. Virrankulutuksen minimointi on tärkeä osa mitä vain laitetta, sillä nykyään jokainen kannettava laite toimii akulla eikä korvattavilla paristoilla. Myyntipuheissa mainitaan aina akkukesto ja siitä kuluttajille tärkeä tieto. Täten siitä on muodostunut yksi ostokriteeri jokaiselle kannettavan laitteen ostajalle.

Voimme valmistaa yhä pienempiä sensoreita ja käyttää niitä todella moneen tarkoitukseen. Monet yritykset jotka ovat olleet pitkään sensorialalla, ovat alkaneet valmistaa langattomia sensoreita. Tästä on siis heille yksi teknologia, jota voidaan käyttää hyväksi tuotekehityksessä ja sitä kautta nostaa myyntiä. Langattomat sensorit tuovat mukanaan sekä helppokäyttöisyyttä että erittäin halvan tavan valmistaa korvaavia sensoreita. Bluetooth LE-sensorit ovat edullisia valmistaa, joten ne ovat erittäin kustannustehokkaita, jos tarvitsee uusia rikki menneet laitteet.

Missä Bluetooth LE tulee olemaan tulevaisuudessa? Itse näen sen osana jotain uutta Bluetooth-teknologiaa. Joko se on yleisessä käytössä teollisuudessa erilaisissa sensoreissa tai tieteen käytössä, kun tarvitsee mitata erilaisia tietoja. Bluetooth LE pystyy muuntautumaan moneen käyttötarkoitukseen. Se tulee pysymään teknologian mukana varmasti kauan, kunnes sen syrjäyttää toinen teknologia, joka on entistä vähemmän virtaa kuluttavampi.

Aiheesta pystyy kirjoittamaan helposti paljon tekstiä keskittymällä tiettyihin alueisiin. Työssäni olen kuitenkin kertonut vain pääpiirteitä aiheesta. Mahdollisessa jatkotutkimuksessa voidaan keskittyä esimerkiksi Bluetooth LE:n protokoliin, sillä niistä löytyy todella paljon tietoa. Tehdessäni tätä työtä olen oppinut lisää Bluetoothista, etenkin

Bluetooth LE:stä ja uskon että jokainen joka tämän lukee, oppii paljon uutta Bluetooth LE:stä.

LÄHTEET

Absolute Astronomy. 2012. Bluetooth. Luettu 22.11.2012.

<http://www.absoluteastronomy.com/topics/Bluetooth>

Absolute Astronomy. 2012 Bluetooth low energy. Luettu 22.11.2012.

http://www.absoluteastronomy.com/topics/Bluetooth_low_energy

AMP. 2012. Asynchronous Messaging Protocol. Luettu 20.11.2012.

<http://amp-protocol.net/>

Bluegiga. 2011. BLE Getting Started. Luettu 13.11.2012.

http://www.glynstore.com/content/docs/bluegiga/BLE_getting_started.pdf

Bluegiga. 2011. Bluetooth Low Energy Technology: How it works. Luettu 8.10.12.

http://www.bluegiga.com/files/bluegiga/LE%20Public/LowEnergy_HowItWorks.pdf

Bluetomorrow. 2011. Bluetooth History. Luettu 8.10.2012.

<http://www.bluetomorrow.com/about-bluetooth-technology/history-of-bluetooth/bluetooth-history.html>

Bluetooth. 2009. Annual report 2009. Luettu 20.11.2012

<http://www.bluetooth.org/About/AnnualReport/AnnualReport09/Specification.htm>

Bluetooth. 2012 Bluetooth Basics. Luettu 20.11.2012.

<http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx>

Bluetooth. 2012 Bluetooth Smart Devices List. Luettu 20.11.2012.

<http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Smart-Devices-List.aspx>

Bluetooth low energy technology. 2010. Entertainment applications. Katsottu 14.11.2012.

http://www.youtube.com/watch?v=3bifVc_iC2Y

Bluetooth. 2012. Momentum Builds for Bluetooth Smart Devices. Luettu 20.11.2012.

<http://www.bluetooth.com/pages/Bluetooth-Smart-Devices.aspx>

Bluetooth. 2012. SIG Membership. Luettu 29.10.2012 .

<http://www.bluetooth.com/Pages/SIG-Membership.aspx>

Bluetooth. 2012. The Essentials of the Bluetooth SIG. Luettu 8.10.2012.

https://www.bluetooth.org/About/bluetooth_sig.htm

Bluetooth. 2012. The Smart Way to Connect. Luettu 8.10.2012.

<http://www.bluetooth.com/Pages/Smart-Logos.aspx>

Decuir, J. 2010. Bluetooth 4.0: Low Energy. Luettu 8.10.2012.

<http://chapters.comsoc.org/vancouver/BTLER3.pdf>

- Galeev, M. 2011. Bluetooth 4.0. Luettu 6.11.2012.
<http://www.eetimes.com/design/communications-design/4218319/Bluetooth-4-0--An-introduction-to-Bluetooth-Low-Energy-Part-II>
- Hassan, A. 2009. Bluetooth v3+HS. Luettu 20.11.2012.
<http://www.slideshare.net/phpmax/bluetooth-v3hs#btnNext>
- Kamath, S. & Lindh, J. Measuring Bluetooth Low Energy Power Consumption. Luettu 10.11.2012.
<http://www.ti.com/lit/an/swra347a/swra347a.pdf>
- Kardach, J. 2008 Tech History: How Bluetooth got its name. Luettu 8.10.2012.
<http://www.eetimes.com/electronics-news/4182202/Tech-History-How-Bluetooth-got-its-name>
- MED. 2012 Bluetooth Low Energy vs. Classic Bluetooth. Luettu 20.11.2012.
<http://www.medicalelectronicsdesign.com/article/bluetooth-low-energy-vs-classic-bluetooth-choose-best-wireless-technology-your-application>
- Nokia Developer. 2012. Wibree. Luettu 20.10.2012.
<http://www.developer.nokia.com/Community/Wiki/Wibree>
- PCWorld. 2011. Bluetooth 4.0 Becomes ‘Smart’: What It Means For You. Luettu 8.10.2012.
http://www.pcworld.com/article/242517/bluetooth_4_0_becomes_smart_what_it_means_for_you.html
- PRLOG. 2008. Sony Ericsson Bluetooth headset. Luettu 31.10.2012.
<http://www.prlog.org/10154928-sony-ericsson-hbh-608-akono-bluetooth-headset-black.html>
- Texas Instruments. 2012. Bluetooth Low Energy Software Developer’s Guide. Luettu 12.11.2012.
www.ti.com/lit/ug/swru271b/swru271b.pdf
- TLU. 1999. Symmetrinen ja asymmetrinen yhteys. Luettu 25.10.2012.
http://www.tlu.ee/~matsak/telecom/lasse/communication/symmetrinen_ja_asymmetrinen_yhteys.html
- UCLA Engineering. 2012. GSFK. Luettu 13.11.2012.
www.ee.ucla.edu/~lerong/ee202a/hw2/
- yourdictionary. 2010. Asymmetric - technical definition. Luettu 22.11.2012.
<http://computer.yourdictionary.com/asymmetric>