

Zigbee ja Mesh tietoverkko



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

HAMK Riihimäki, Tieto -ja viestintäteknikka, insinööri

Kevätlukukausi, 2018

Rolle Alatensiö

Koulutus Tieto -ja viestintätekniikka, insinööri
Kampus Riihimäki

| | | |
|-----------------------|----------------------------|-------------------|
| Tekijä | Rolle Alateniö | Vuosi 2018 |
| Työn nimi | ZigBee ja mesh tietoverkko | |
| Työn ohjaaja/t | Marko Grönfors | |

TIIVISTELMÄ

Tämä Opinnäytetyö on tehty Hämeen ammattikorkeakoulun Älykkäät palvelut -tutkimusyksikön pyynnöstä. Tarkoituksena oli tutkia Hämeen ammattikorkeakoulun Riihimäen kampuksella sijaitsevaa ZigBee-verkkoa. Tutkimus sisälsi eTolppa-järjestelmän kartoittamista sekä sen toimintaa. Opinnäytetyössä tutkittiin myös järjestelmässä olevia mahdollisia vikoja ja parannusehdotuksia.

Työ alkoi tutustumalla ZigBee-verkkostandardiin, jonka jälkeen tutkittiin kampuksella sijaitsevaa eTolppa-järjestelmää. Järjestelmästä oli haastavaa löytää vikoja tai parannusehdotuksia, jonka vuoksi tutkimus jäi järjestelmän kartoittamiseen. ZigBee oli toimiva ratkaisu tässä järjestelmässä ja järjestelmä toimi hyvin niin isoilla, kuin pienilläkin parkkipaikoilla.

Langaton tekniikka, sekä sähköautojen lataaminen ovat moderni aihe, jonka ansiosta opinnäytetyötä oli mielenkiintoista tehdä.

Avainsanat ZigBee, tietoverkot, langaton kommunikointi

Sivut 36 sivua, joista liitteitä: 0 sivua

Name of degree programme Information and communication technologies
Campus Riihimäki

| | | |
|--------------------|-------------------------|------------------|
| Author | Rolle Alateniö | Year 2018 |
| Subject | ZigBee and Mesh network | |
| Supervisors | Marko Grönfors | |

ABSTRACT

This thesis was made for the Älykkäät Palvelut -research unit at Häme University of Applied Sciences (HAMK). The goal was to study the ZigBee network located at the HAMK Riihimäki campus. The thesis involves mapping the eTolppa system and its functions. An additional goal was to examine potential flaws in the system and to figure whether the system is the best one for its purpose.

The network standard used in this system was ZigBee and a major part of the work was to familiarize oneself with it. While conducting the project it became clear that it was difficult to find flaws or improvements in the system, which led to the project being mainly just a survey of the system. ZigBee was a functional solution for this system and the system worked well at small or big parking areas.

Wireless communication and electric cars are modern concepts which made this thesis a very interesting one.

Keywords ZigBee, Networks, Wireless communication

Pages 36 pages including appendices 0 pages

SISÄLLYS

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 1 |
| 2 | MIKÄ ON ZIGBEE? | 2 |
| 2.1 | ZigBee-nimen syntyperä..... | 2 |
| 2.2 | Zigbee-allianssi | 3 |
| 2.3 | Laite tyypit ja toimintatilat | 4 |
| 2.3.1 | Koordinaattori | 4 |
| 2.3.2 | Reititin | 4 |
| 2.3.3 | Päätelaite..... | 5 |
| 2.4 | ZigBee-topologiat | 5 |
| 2.4.1 | Mesh-topologia | 5 |
| 2.4.2 | Tähtitopologia | 7 |
| 2.4.3 | Puutopologia | 7 |
| 2.5 | Reititys ZigBee verkossa | 8 |
| 3 | ZIGBEE-TIETOVERKKO..... | 11 |
| 3.1 | IEEE 802.15.4 | 12 |
| 3.2 | Kanavointi..... | 12 |
| 4 | PROTOKOLLAPINO | 13 |
| 4.1 | Sovelluskerros (APL) | 14 |
| 4.2 | Verkkokerros (WPL)..... | 16 |
| 4.3 | MAC..... | 16 |
| 4.4 | Fyysinenkerros (PHY)..... | 17 |
| 5 | TIETOTURVA | 18 |
| 5.1 | Avaimet | 19 |
| 5.2 | Avainten hallinta | 19 |
| 6 | TUTKIMUS..... | 21 |
| 6.1 | Tutkimuksen aloittaminen | 21 |
| 6.2 | Järjestelmä | 22 |
| 6.3 | Yhteenvedo | 27 |
| | LÄHTEET..... | 28 |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä ZigBee-standardin periaatteisiin sekä verkon toimintaan Mesh-topologiassa. Opinnäytetyössä käydään läpi myös ZigBeen historiaa ja käyttökohteita tulevaisuutta ajatellen. Tutkitaan myös Riihimäen Hämeen ammattikorkeakoulussa olevaa ZigBee-verkkoa.

Nykypäivänä verkkoliikenne pyritään toteuttamaan mahdollisimman yksinkertaisesti, eli kaapelointi pyritään useasti korvaamaan langattomilla tukiasemilla. Automaatio ja etäohjaus ovat myös kasvattamassa suosiotaan ja tähän tarkoitukseen on kehitelty erilaisia langattomia verkkostandardeja. Kyseisissä käyttökohteissa verkolta ei vaadita suuria nopeuksia vaan kevyttä tiedonsiirtokäyttöä.

Langattomat tekniikat ovat paljon langallisia halvempia ja tarjoavat käyttäjille nopeamman käyttöönoton sekä kätevämmän pääsyn ulkomaailmaan. Langattomat tekniikat, jotka maksoivat pari vuotta sitten useita kymmeniä euroja, maksavat nykyään vain muutamia euroja. Langallisten verkkojen hinnat ovat pysyneet jo kauan samana, joten samalla kun langattomat tekniikat halpenevat, kaapelien hinnat pysyvät samana.

Langattomat tekniikat mahdollistavat myös erilaisten laitteiden käytön paikoissa, joissa ne eivät voi olla langallisena. Laitteiden liikutettavuus on oleellinen asia, jonka takia langattomat tekniikat yleistyvät nykypäivänä.

ZigBee on yksi käytettävissä olevista langattomista verkkotekniikoista. ZigBee käyttää Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance (CSMA/CA) varausmenetelmää, joka minimoi törmäysten todennäköisyyden samaa tiedonsiirtotietä käyttävien tietokoneiden välillä.

Zigbeeen ideana on verkottaa langattomasti yksinkertaiset ja pienet laitteet. Se kytkeytyy nopeasti verkkoon, ja verkot voivat sisältää kymmeniä tuhansia laitteita.

2 MIKÄ ON ZIGBEE?

ZigBee on yksinkertainen pakettidataprotokolla, joka on kehitetty kevyen liikenteen langattomia verkkoja varten. Sen ensisijaisena tarkoituksena on verkottaa pienet ja yksinkertaiset laitteet langattomasti. Yksi ZigBee-verkko voi sisältää kymmeniä tuhansia laitteita, joten pitkää kantamaa ei tarvita, kun käytetään laitteesta laitteeseen -tekniikkaa. ZigBee soveltuu kodin automatisointiin, sairaalan laitteiden yhdistämiseen tai muihin tarpeisiin, jotka vaativat pientä siirtonopeutta ja tehoa. Kotioloissa ZigBeen avulla voidaan mitata lämpötilaa, hallita valoja, avata ovia tai ohjata erilaisia hallintajärjestelmiä. (rfwireless-world n.d.)

ZigBee tyylisiä itsenäisesti toimivia digitaalisia radioverkkoja alettiin kehittää 1990-luvulla. IEEE 802.15.4-2003 ZigBee määrittely astui voimaan joulukuussa 2004.

2.1 ZigBee-nimen syntyperä

ZigBee-termi on alun perin peräisin mehiläisistä. ZigBeellä tarkoitetaan tekniikkaa, jolla mehiläiset informoivat yhdyskunnan jäsenille uusista ruoka-paikoista. Mehiläisten käyttämä kommunikaatiotekniikka on äänetön sekä tehokas kahdeksikonmuotoinen ”siksakki”-tanssi. Tämän siksakki-tanssin avulla mehiläiset välittävät tietoa kukkien sijainnista toisilleen. ZigBee -sana voitaisiin kääntää suomeksi Zig, eli siksakki ja Bee tarkoittaa mehiläistä. Kyseistä mehiläisten kommunikoivaa tapaa voidaan verrata Mesh-topologiaan. (UKessays, 2015.)

2.2 Zigbee-allianssi

ZigBee-allianssi perustettiin vuonna 2002. Se on Zigbee-standardin kehittämisestä sekä ylläpitämisestä vastaava ryhmä, johon kuuluu myös useita alan suuria yrityksiä. Allianssi julkaisi spesifikaation 1.0 kesällä 2005. Tästä spesifikaatiosta käytetään myös nimitystä ZigBee 2004, joka on ensimmäinen ZigBee versio. (zigbees n.d.) Syksyllä 2006 julkaistiin ZigBee spesifikaatio 2006, joka näin ollen korvasi edeltäjänsä, version 2004. ZigBee 2006 korvasi viesti/avain arvoparirakenteen uudella rykelmäkirjastolla. Rykelmäkirjasto on sarja standardisoituja komentoja, jotka ovat järjestetty rykelmiin, eli ryhmiin.

Seuraava ZigBee versio on ZigBee PRO, joka tunnetaan myös nimellä Zigbee 2007. ZigBee PRO sisältää pieniä parannuksia ja muutoksia aiempaan versioon nähden esimerkiksi ZigBeen hierarkkinen osoitteiden jako on ZigBee PRO:ssa korvattu sattumanvaraisella jaolla. ZigBee PRO:n edut tulevat esiin verkon skaalautuvuudessa, mutta hintana on hitaampi käynnistyminen, sillä se joutuu varaamaan aikaa osoitteiden konfliktien selvittämiseen, jota ZigBee:n ei tarvitse tehdä. Tämä versio on myös yhteensopiva edellisten versioiden kanssa. (eetimes 2018) (zigbees n.d.)

Allianssin päämääränä on kehittää tapaa, jolla ihmiset työskentelevät ja elävät. Visiona on intuitiivisempi, kekseliäämpi sekä älykkäämpi maailma. Allianssin julkaisemat standardit tulevat ensin julki jäsenille ja vasta myöhemmin avoimeen käyttöön. Jäsenet voivat myös vaikuttaa standardien kehitykseen. (zigbees n.d.)

ZigBee-tekniikan käyttö tuotteissa edellyttää jäsenyyttä ZigBee allianssissa. Jäsenyyden tasoja on kolme, jokaisessa erilaiset oikeudet ja hyödyt. Jäsenyyden varmistaminen tapahtuu erihintaisilla vuosimaksuilla. Jäsenyyden tasojen alapuolella taulukossa yksi on lisätietoa tasoista. (zigbees n.d.)

Taulukko 1. ZigBee-allianssin jäsenyyden tasot.

| Hinta | Jäsenyyden taso | Oikeudet |
|----------------------------|-----------------|---|
| Noin 3300e | Adopter | Tarjoaa oikeudet viimeisimpiin hyväksytyihin standardeihin, ZigBee jäsen logon käyttöön, osallistumiseen yhteentoimivuustapahtumiin, sekä pääsyn työryhmädokumentteihin ja kehitystoimintaan. |
| Noin. 8100e | Participant | Tarjoaa osallisuuden Allianssin komiteassa, työryhmissä ja jäsentapaamisissa sekä äänestysoikeustyöryhmissä. Participant jäsenyys tarjoaa myös aikaisen pääsyn kaikkiin Allianssin standardeihin sekä myös kehitysvaiheessa oleviin spesifikaatioihin |
| Noin 45000e + aloitusmaksu | Promoter | Antaa automaattisen äänestysoikeuden kaikissa työryhmissä, viimeiset hyväksymisoikeudet kaikkiin standardeihin sekä paikan Allianssiohjaajien hallituksessa. |

2.3 Laite tyypit ja toimintatilat

ZigBee-verkossa on kolme eri laitetyyppiä: koordinaattori, reititin sekä päätelaitteet. Tässä osiossa käydään läpi nämä laitetypit. (Etahi & Gschwender, 2009, 3)

2.3.1 Koordinaattori

Verkon perustamiseen tarvitaan vain yksi koordinaattori. Se kerää kaikki kriittiset tiedot ZigBee-verkosta mukaan lukien salausavaimet ja huolehtii verkon ylläpidosta. Koordinaattori voidaan myös yhdistää toisen ZigBee-verkon koordinaattoriin. (Etahi & Gschwender, 2009, 3)

2.3.2 Reititin

Reititin toimii verkossa verkon laajentajana. Sen tehtävä verkossa on löytää paras mahdollinen tie viestin reitittämiselle kohteeseen. Reititin toimii samantyyllisesti kuin koordinaattori verkon luontia lukuun ottamatta ja on myös FFD-laite, eli full function device. (Etahi & Gschwender, 2009, 3)

2.3.3 Päätelaitte

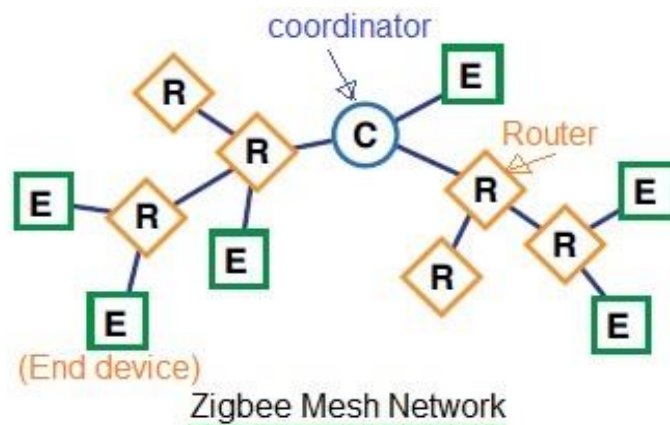
Päätelaitteet ovat ominaisuuksiltaan karsittuja ja hyvin yksinkertaisia laitteita. Niiden on aina kommunikoitava FFD-laitteen kanssa, eli reitittimen tai koordinaattorin, eikä ikinä toisen RFD-laitteen, eli päätelaitteen kanssa. Päätelaitteet ZigBee-verkossa ovat yleensä alhaisella pulssisuhteella, eli virran käyttö tapahtuu vain tietoa siirrettäessä. Tiedonsiirron pituus päätelaitteilla on yleensä todella lyhyt ZigBee-verkon arkkitehtuurin johdosta. (Etahi & Gschwender, 2009, 3)

2.4 ZigBee-topologiat

ZigBeeen käyttämä spesifikaatio IEEE 802.15.4 tarjoaa seuraavat topologiat: mesh, puu, klusteri puu sekä tähti. ZigBee tukee näistä topologioista tähti, puu ja mesh-topologioita, jotka määrittävät kuinka verkossa olevat komponentit on yhdistetty toisiinsa.

2.4.1 Mesh-topologia

Tunnetaan myös peer to peer (P2P) -verkkona, jossa ei ole kiinteitä palvelimia tai asiakkaita, vaan jokainen verkkoon kytketty laite toimii sekä palvelimena että asiakkaana verkossa. Kuvasta 2 nähdään, että Mesh-topologia ZigBeeen kanssa sisältää yhden koordinaattorin, useita reitittimiä sekä useita päätelaitteita. (latestemergingtechnology 2009).



Kuva 2. ZigBee Mesh tietoverkko (rfwireless-world n.d)

Mesh-topologia pystyy eliminoimaan kuolleita alueita verkossa. Se on itsestään parantuva verkko, eli se pystyy löytämään uuden reitin tiedon välittämiseksi, jos vanha reitti ei toimi. Mesh-verkkoon voi lisätä ja poistaa laitteita helposti. Laitteet pystyvät kommunikoimaan keskenään minkä tahansa verkossa olevan laitteen kanssa, kunhan ne ovat tarpeeksi lähellä toisiaan. (Bay 2015.)

Mesh-topologian hyviä puolia ovat verkon joustavuus, skaalautuvuus ja pieni viive. Huonoja puolia ovat hinta ja tilan varaaminen reititystaulussa. Mesh-topologia toimii hyvin ZigBeen kanssa teollisessa monitoroinnissa ja kontrolloimisessa sekä langattomissa sensori tietoverkoissa. Taulukko 2:sta voidaan tarkastella tarkemmin ZigBee-Mesh verkon ominaisuuksia.

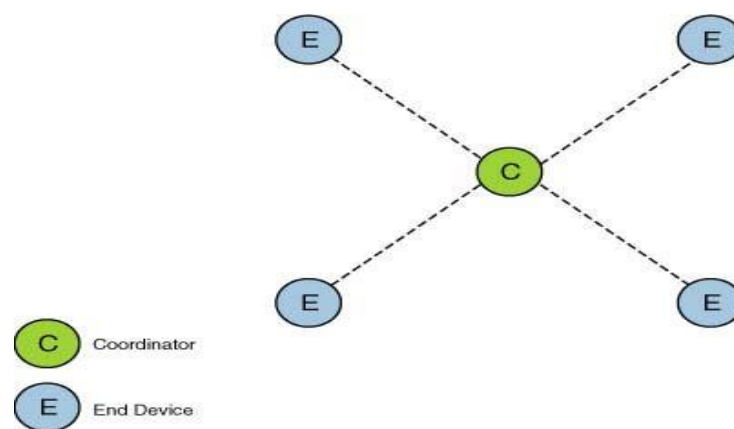
Taulukko 2. ZigBee Mesh-tietoverkon ominaisuudet (rfwireless-world n.d.).

| Specifications | Zigbee Mesh support |
|---|--|
| IEEE Standard | 802.15.4-2003 defines PHY and MAC layers, upper layers are managed by zigbee alliance |
| Frequency of operation | Supports 2.4G Hz, 900 MHz and 868 MHz |
| Data Rate | 250 kbps, 40kbps, 20kbps in different bands |
| Sleep operation | Only end devices can sleep, coordinator and routers can't sleep so that new devices can easily join the zigbee network |
| Coverage Range | Most devices have range of about 3.2 Km or less for each hop during transmission |
| Encryption/Security | Uses AES encryption |
| Zigbee Frame payload size | 80bytes |
| Interoperability between different vendor devices | Possible as it is open standard |
| Addressing | Two types are supported MAC addressing of size 64 bit and network addressing of size 16 bit |

2.4.2 Tähtitopologia

ZigBee-tähtitopologia koostuu koordinaattorista ja useasta päätelaitteesta, joka voidaan havaita kuvasta 3. Tässä topologiassa päätelaitteet kommunikoivat vain koordinaattorin kanssa. Topologian huonoja puolia on, että kaikkien pakettien on mentävä koordinaattorille ja käytössä on vain yksi reitti, joka saattaa tukkia koordinaattoriin menevän tietoliikenteen. Tähtitopologian hyviä puolia on yksinkertaisuus, pieni viive ja synkronoinnin helppous. Huonoja puolia on tähtitopologian pieni skaalautuvuus. (Elahi & Gschwender 2009, 4.)

Tähtitopologia-ZigBeen kanssa soveltuu parhaiten kodin automaatioon sekä henkilökohtaisen tietokoneen oheislaitteeksi.



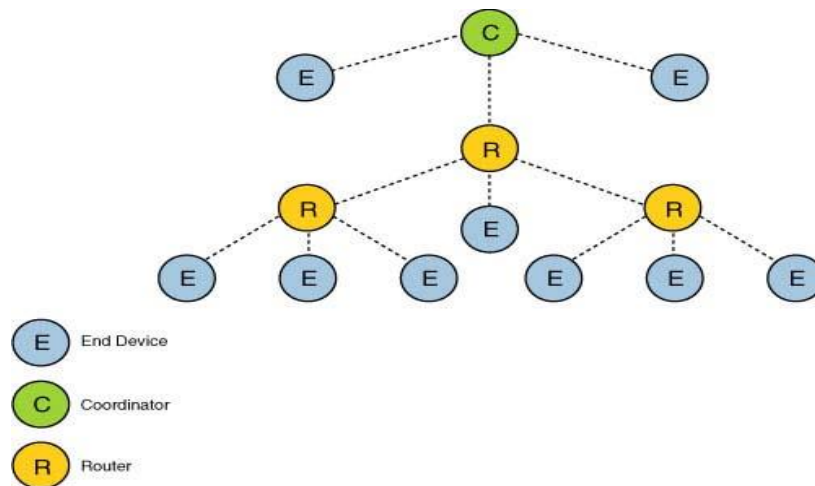
Kuva 3. Tähtitopologia (Elahi & Gschwender 2009, 4).

2.4.3 Puutopologia

ZigBee-puutopologiassa koordinaattori käynnistää verkon ja on ylin osa verkkoa. Verkkokoordinaattori voi verkon käynnistyksen jälkeen yhdistyä joko reitittimiin tai päätelaitteisiin. Jokaiseen yhdistettyyn reitittimeen voi yhdistyä lisää päätelaitteita tai reitittimiä muodostaen tasoja. Kuvassa 4 havaitaan, että tieto puutopologiassa kulkee taso kerrallaan alimmalta tasolta saavuttaen loppujen lopuksi ylimmän tason, eli verkkokoordinaattoriin.

Topologian huonoja puolia on epäluotettavuus, jos yksikin reititin vikaantuu, niin kaikkien siihen liittyvien laitteiden tiedonvälitys katkeaa. Myös verkon uudelleenrakentaminen on kallista.

Puutopologian hyviä puolia on pitkä kantama, mutta se luo yleensä viivettä tiedonsiirtoon.



Kuva 4. Puutopologia (Elahi & Gschwender 2009, 4).

2.5 Reititys ZigBee verkossa

AODV (Ad-hoc on-demand distance vector) on protokolla, jota käytetään reititykseen ZigBee tietoverkossa. ZigBee määrittelee laitteille kaksi eri osoitetta, 16-bittisen verkko-osoitteen sekä 64-bittisen osoitteen, jota kutsutaan jatketuksi osoitteeksi tai MAC-osoitteeksi. Laitteille määrätty 64-bittinen osoite on pysyvä sekä uniikki. (digi n.d.)

Tietoverkkoon liityttyä jokaiselle laitteelle määrätään oma 16-bittinen osoite. Nämä 16-bittiset osoitteet eivät ole staattisia, vaan voivat myös vaihtua. Laite saa uuden verkko-osoitteen seuraavissa tilanteissa:

Laite joutuu jättämään tietoverkon ja liittymään siihen uudestaan kommunikaatio ongelman takia.

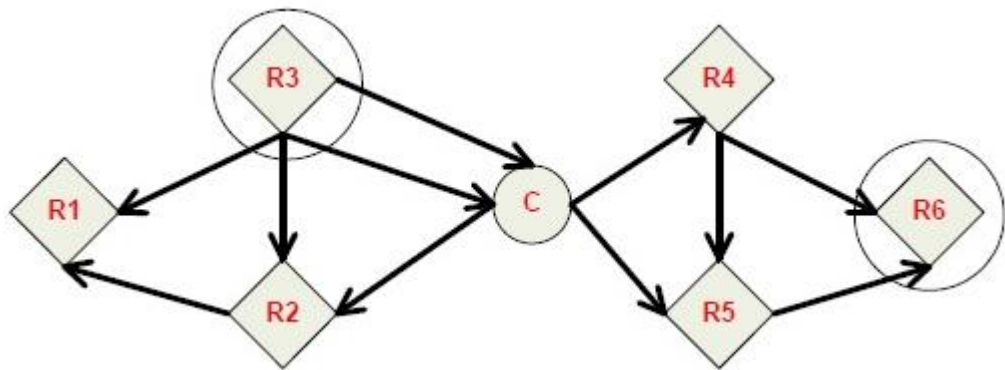
Laitteen tyyppi muuttuu päätelaitteesta reitittimeksi tai toisinpäin. Laite lähtee verkosta ja liittyy siihen uudestaan uutena laitetyyppinä.

Reititys AODV protokollalla tapahtuu taulukoiden avulla. Jokaisella verkon laitteella on taulukko, johon tallennetaan seuraavan verkossa olevan laitteen (Next Hop) osoite (Taulukko 2). Mikäli seuraavan laitteen osoite ei ole tiedossa käynnistetään reitin etsintä. Reitin etsintä tapahtuu isoissa verkoissa useammin, sillä reitittimeen pystytään tallentamaan vain rajattu määrä reittejä. (rfwireless-world n.d.)

Taulukko 3. AODV taulukko.

| Laite | Kohde osoite | Seuraavan laitteen osoite |
|-------|--------------|---------------------------|
| R3 | Router 6 | Coordinator |
| C | Router 6 | Router 5 |
| R5 | Router 6 | Router 6 |

Lähdelaitte lähettää reittipyynnön etsiessä reittiä kohdelaitteeseen. Kuvasta 5 voidaan havaita reittipyynnön liike laitteiden välillä verkossa. Reittipyynnö sisältää kentät lähteen verkko-osoitteesta, kohteen verkko-osoitteesta sekä reitin kustannuksesta (path cost). Jokainen laite joka lähettää pyyntöä eteenpäin verkossa päivittää reitin hinta-arvo kenttää ja lisää väliaikaisen tiedon reitin etsintä taulukkoon. Kohdelaitteen saadessa pyynnön se vertailee reitin hinta-arvioita aikaisempiin reittipyynnöihin, jos hinta-arvio on parempi kuin aikaisemmat se lähettää vastauksen reitistä alkuperäiselle laitteelle välissä olevien laitteiden kautta. (rfwireless-world n.d.)



Kuva 5. Esimerkki reittipyynnöstä, jossa R3 yrittää saada selville reittiä reittimeen R6 (rfwireless-world n.d.)

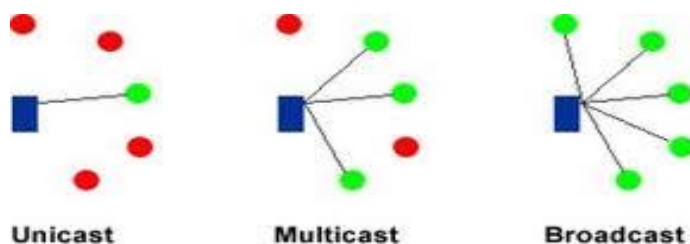
Datapaketit osoitetaan laite sekä sovelluskerroksen osoitealueita käyttäen. Dataa voidaan lähettää kolmella eri tavalla (kuva 6), yhdelle (unicast), monelle (multicast) tai jokaiselle verkon osalle (broadcast) (rfwireless-world n.d.)

Broadcast: Data lähetetään koko ZigBee-verkolle. Tämän saavuttamiseksi laitteet, jotka saavat lähetyksen lähettävät dataa eteenpäin. Jokainen laite joka lähettää dataa eteenpäin luo myös merkinnän paikalliseen lähetystaulukkoon, joka jää taulukkoon 8 sekunnin ajaksi. Nämä merkinnät pitävät kirjaa jokaisesta saadusta lähetyksestä estääkseen pakettien loputtoman lähettämisen. Taulukko pitää sisällään 8 merkintää. (rfwireless-world n.d.)

Unicast: Data lähetetään vain yhdelle verkon laitteelle. Unicast-tekniikka käyttää hyväkseen 16-bittistä kohde osoitetta. Tämä osoite ei ole pysyvä,

jonka takia se joudutaan selvittämään käyttäen laitteen MAC-osoitetta ennen datan lähettämistä. Osoitteen selvittämiseen käytetään omaa protokollaa. Protokolla perustuu laitteen 64-bittisen osoitteen käyttämiseen, joka on laitekohtainen, sekä yleisessä tiedossa verkossa olevien laitteiden kesken. Datun lähettäminen laitteiden välillä vaatii verkko-osoitteen tietämistä ja tämän selvittämiseen laite, jolla on tarkoitus lähettää dataa antaa verkossa oleville laitteille osoitteen selvittämiseen tarkoitettua yleislähetystä. Lähetys sisältää 64-bittisen osoitteen laitteelta, johon halutaan yhteys. Laitteet jotka saavat lähetystä vertaavat omaa 64-bittistä osoitettaan lähetyksessä olevaan osoitteeseen. Laite lähettää lähetystä alulle pistäneelle laitteelle verkko-osoitteen, mikäli 64-bittinen osoite on sama kuin yleislähetyksessä ja tämän jälkeen datansiirto laitteiden välillä on mahdollista. (rfwireless-world n.d.)

Multicast: Datun lähetys suunnataan monelle laitteelle verkossa, mutta ei kaikille. Tämä datun lähetystekniikka käy ongelmalliseksi ZigBee-verkossa, jossa laitteet ovat hyvin kaukana toisistaan. Laitteet joille dataa ei ole suunnattu joutuvat lähettämään multicast lähetystä eteenpäin, joka saattaa jopa johtaa epäonnistumiseen, sillä viestien uudelleen lähettämisessä on numeraalinen raja. (Reinisch, Kastner & Neugschwandtner n.d, 380-383.)



Kuva 6. Unicast, Multicast, Broadcast (Saurav 2011)

3 ZIGBEE-TIETOVERKKO

ZigBee tietoverkko mahdollistaa laitteiden langattoman kommunikoinnin useamman eri topologian kanssa. Data paketit lähetetään solmujen, eli nodejen välillä ja ne voidaan myös ohjata välittäjä laitteille, jotka mahdollistavat datapakettien pääsyn laitteille, jotka muuten olisivat kantaman ulkopuolella. Jokaisella laitteella on oma MAC-osoite sekä ZigBeen määrittelmä verkko-osoite. ZigBee-verkolla on oma PAN ID, joka jaetaan kaikille siihen kuuluville laitteille. (mwrinfosecurity n.d.)

ZigBeellä on kaksi toimivaa taajuusaluetta, 868/915MHz sekä 2450MHz. Alempi taajuusalue kykenee antamaan noin 20-40 kb/s tiedonsiirtonopeuden ja 2450MHz kykenee hieman parempaan tiedonsiirtonopeuteen, eli noin 250 kb/s. Nopeudet eivät ole päättä huimaavia, mutta ZigBeen päätarkoitus on toimia pienellä kulutuksella. Tämän lisäksi ZigBee-verkon päätelaitteet voivat mennä lepotilaan, joka säästää virrankulutusta ja myös parantaa turvallisuutta. (rfwireless-world n.d.)

ZigBee-verkko koostuu koordinaattorista, reitittimistä sekä päätelaitteista (kuva 2). Jokaisessa ZigBee-verkossa on oltava yksi koordinaattori, joka ottaa vastaan uusia laitteita verkkoon. Koordinaattori aloittaa verkon luomisen etsimällä käytettävän RF kanavan, joka ei mene päällekkäin langattomien LAN verkkojen kanssa. Seuraavaksi koordinaattori luo verkon antamalla sille PAN ID:n, se tapahtuu joko manuaalisesti tai dynaamisesti. Dynaamisella tavalla koordinaattori tarkistaa läheisien verkkojen PAN ID:t ja valitsee omansa niin, ettei tule päällekkäisyyksiä. (rfwireless-world n.d.)

Koordinaattori luo itselleen verkko-osoitteen tässä vaiheessa. Tämän jälkeen koordinaattori lähettää merkkisignaali, jonka avulla se saa selville lähellä olevien reitittimien ja päätelaitteiden PAN ID: t. Reitittimet ja päätelaitteet voivat myös lähettää samanlaisen signaalin kysyäkseen koordinaattorilta liittymislupaa verkkoon. Liittymisluvan saamisen jälkeen ne lähettävät koordinaattorille liittymispyynnön, jonka saamisen jälkeen laitteet voivat liittyä verkkoon. (rfwireless-world n.d.)

3.1 IEEE 802.15.4

Standardi 802.15.4 i on perusta monelle teollisuuspohjaiselle langattomalle protokollalle. Myös ZigBee on tehty IEEE 802.15.4 spesifikaation päälle, joka määrittelee fyysisen sekä MAC tason pienen nopeuden likiverkoille. Tämän päälle ZigBee lisää verkkotason (NWL) ja sovellustason (APL), jotka lisäävät tietoverkon ja sovelluksen älykkyyttä. ZigBeeen lisäksi standardeja käyttävät ISA100.11a-, WirelessHART ja MiWi-spesifikaatiot. (mwrinfosecurity n.d.)

IEEE 802.15.4 jakaa verkossa olevat laitteet kahteen eri kategoriaan niiden ominaisuuksien perusteella, täyden toiminnallisuuden omaavat laitteet (Full-function devices, FFD) sekä rajoitetun toiminnan laitteet (Reduced-function devices, RFD). Täyden toiminnallisuuden laitteet voivat toimia verkossa joko verkkokoordinaattorina tai välikäsinä reitittiminä. Verkkokoordinaattori-laite tarkoittaa laitetta, joka on vastuussa verkon muodostamisesta ja tunnuksen antamisesta verkolle. FFD-laitteet kykenevät kommunikoimaan minkä tahansa laitteen kanssa verkossa ja pystyvät myös vastaanottamaan viestejä. Nämä laitteet pysyvät yleensä koko ajan päällä, sillä verkon liikenne olisi epävakaata FFD-laitteen ollessa pois päältä.

Rajoitetun toiminnan laitteet ovat ominaisuuksiltaan hyvin riisuttuja laitteita. Ne eivät kykene reitittämään verkossa. RFD -laitteet ovat yleensä pieniä laitteita, paristollisia ja saattavat viettää suurimman osan ajastaan virransäästötilassa tai jopa pois päältä säästääkseen virtaa.

IEEE 802.15.4 käyttää suorasekvenssi hajaspektri-tekniikka (DSSS) modulointia, joka suvaitsee hyvin erilaisen kohinan sekä häiriöt. Se tarjoaa myös koodi vahvistuksen, jolla voidaan lisätä linkkien toimintavarmuutta. Suorasekvenssi mahdollistaa usean lähettimen samanaikaisen toiminnan samalla alueella ilman toisistaan aiheutuvaa häiriötä. (Elahi & Gschwender, 2009, 3)

3.2 Kanavointi

Kanavointiin standardi käyttää hyväkseen tietoliikenteen siirtotien varausmenetelmää (CSMA/CA). Tämä tekniikka mahdollistaa useamman laitteen yhtäaikaisen yhteyden samalle kanavalle ilman häirintää. Häirintää ehkäistään estämällä kahden samanaikaisen lähetyksen lähettäminen.

Saatuun signaalin vastaanotin tarkistaa kanavan muiden lähetysten varalta ennen sen välittämistä eteenpäin. Signaalin käyttämän siirtotien ollessa vapaa tarkistamisen jälkeen, lähetetään pakettitiedosto eteenpäin. Ennen pakettitiedoston lähettämistä vastaanotin varoittaa muita laitteita lähetyksestä, estäen mahdolliset törmäykset, joka saattaa usein aiheuttaa ruuhkaa verkossa hidastaen sen käyttöä. Vastaanotin odottaa ja lähettää

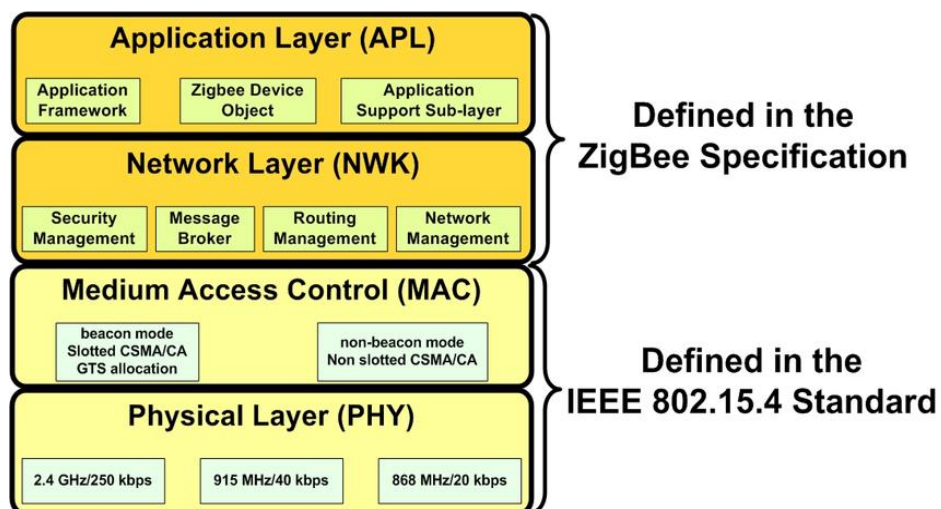
tarkistuksen uudelleen tietyn ajan jälkeen, mikäli siirtotie ei ole vapaa tarkistuksen yhteydessä (techopedia n.d.) (sq 2009)

4 PROTOKOLLAPINO

Protokollapinolla tarkoitetaan ryhmää, joka koostuu erilaisista samanaikaisesti toimivista protokollista, jotka ovat vastuussa verkon toimeenpanosta. Se saa nimensä hierarkkisesta tasomaisesta muotoilustaan, jokainen taso tukee ylempää tasoaan sekä käyttää alempia tasojaan. (techopedia n.d.)

Yksittäiset protokollat on yleensä luotu suorittamaan tiettyä asiaa. ZigBeessä on neljä tasoa, jokaisella oma tehtävänsä tasomaisessa hierarkiassa. ZigBeen tasoja on Sovellustaso (APL), Verkkotaso (NWK), Median käsittely kerros (MAC) sekä alimpana fyysinen kerros (PHY).

Kuvista 7 ja 8 voidaan havaita, miten ZigBeen soveltama protokollapino eroaa OSI-mallista. Vaikka ZigBeen käyttämä malli eroaa OSI-mallista jonkin verran, on silti hyvä ymmärtää myös OSI-mallin periaate.



Kuva 7. IEEE820.15.4/ZigBee protokollapino (ResearchGate n.d.).



Kuva 8. Osi-malli (Wikipedia.n.d.)

4.1 Sovelluskerros (APL)

Sovelluskerros (kuva 9) on ZigBee spesifikaation määrittelemä efektiivinen rajapinta ZigBee systeemeistä sen käyttäjille. Sovellustaso koostuu seitsemästä alitasosta, pääasiassa Sovellus tuki alitasosta (APS), sovelluskehys, ZigBee laite objektista (ZDO) sekä sovellus profiilista. (digi n.d.)

Sovellus tuki alitaso huolehtii taulukoiden yhteen sitomisesta, viestien välittämistä sidonnaisten laitteiden välillä, ryhmä osoitteiden määrittelemisestä ja hoitamisesta. Se myös kartoittaa 64 bittiset osoitteet 16 bittisiksi NWK osoitteiksi sekä huolehtii luotettavasti tiedonsiirrosta. (digi n.d.)

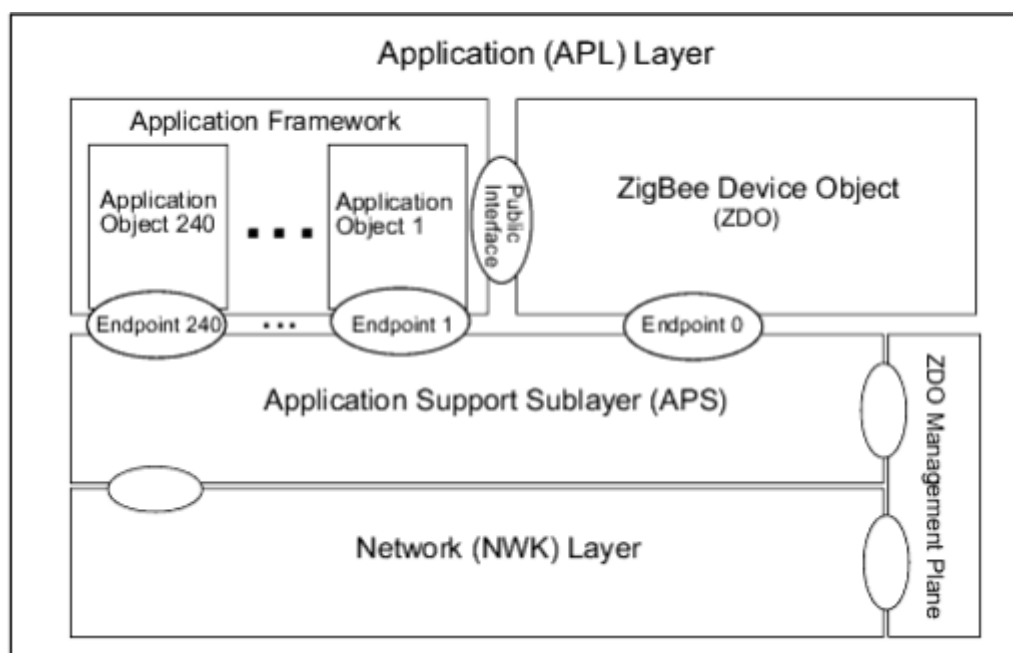
Sovelluskehys on suoritussympäristö sovellus objektien datan lähetykselle sekä saannille. Sovellus objektit on määritelty ZigBee laitteen valmistajan toimesta. ZigBeen määritysten mukaan sovelluskehys on sovellustason ylimmässä osassa ja on vastuussa sovelluksen toimelle panosta. Sovellus voi olla esim. lamppu, valo katkaisija tai LED-lamppu. (digi n.d.)

ZigBeen sovelluskerros määrittelee päätepisteitä ja klusteri-tunnisteita (cluster IDs), joita käytetään osoittamaan tiettyjä palveluita sekä sovelluksia. Päätepiste on ZigBee laitteessa toimiva sovellusobjekti, joita voi olla yhdessä laitteessa 240. Jokainen ZigBee laite pystyy tukemaan yhtä tai useampaa päätepistettä. Klusteri-tunniste määrittelee tietyn toimenpiteen laitteessa, esimerkiksi "TurnLightOn". (rfwireless-world n.d.)

Jokainen sovellusobjekti on osoitettu niiden päätepisteiden mukaisesti. Päätepiste numeroidaan väliltä 1-240. Päätepiste 0 on osoite ZigBee laiteobjektille (ZDO). Osoite 255 on lähetysosoite ja päätepisteet 241-254 on varattu tulevalle käytölle. (rfwireless-world n.d.)

ZigBee laiteobjekti (ZDO) on vastuussa yleisestä laitteen käsittelystä. Se käynnistää APS alitason sekä NWK tason, määrittelee laitteen toimintatilan (Verkkokoordinaattori, reititin tai päätelaite), ottaa selville mitä sovelluspalveluita laite tarjoaa sekä huolehtii tietoturvasta. (digi n.d.)

Sovellusobjektit käyttävät sovellusprofiilia. Sovellusprofiili on käytännössä viestejä käsittelevä sopimus sovellusten ja laitteiden välillä. Suurin syy käyttää sovellusprofiilia on yhteensopivuus eri valmistajien välillä. On olemassa kolme erityyppistä profiilia, julkinen, yksityinen sekä julkaistu. ZigBee Allianssi huolehtii julkisista profiileista. Yksityiset profiilit on määritelty rajoitettuun käyttöön. Yksityisestä profiilista voi tulla julkaistu, jos profiilin omistaja päättää julkaista sen. Jokaisella sovellusprofiililla on oltava uniikki tunnistus. ZigBee Allianssi myöntää uniikkeja tunnistuksia yksityisiin profiileihin. (digi n.d.)



Kuva 9. Zigbee sovelluskerros (digi n.d.).

4.2 Verkkokerros (WPL)

Verkkokerros on toinen protokollapinon kerroksista, joka on ZigBeen määrittelemä. Sen tehtävä on MAC alitason oikeanlaisen käytön valmiiksi laittaminen sekä huolehtia yhteyksien luomisesta, yhteyksien katkaisemisesta sekä tietoverkkojen järjestämisestä. Tämä kerros lisää verkkoja, jakaa osoitteita sekä lisää tai poistaa tietyntylaisia laitteita. Se käyttää aikaisemmin mainittuja tähti-, mesh-, tai puutopologioita ja antaa käyttöliittymän ylemmälle tasolle, eli sovellustasolle. Verkkokerros tarjoaa verkkoon myös tietoturva. Se pitää huolen lähetyksen todentamisesta sekä salaamisesta. (digi n.d.)

4.3 MAC

MAC (Media access control) on vastuussa fyysisen yhteyden jakamisesta tietoverkon laitteille. Jokainen MAC-kehys koostuu kolmesta osiosta, MAC otsikko, MAC tietosisältö sekä MAC alatunniste (MFR, FCS) (kuva 10). Jokainen MAC-kehys sisältää 16 bittisen hallinta alueen, mikä kertoo kehyksen tyyppiin, osoittaa alueen sekä muita hallinta ilmoituksia.

Hallinta-alue sisältää myös kehyksen tyyppi alueen, joka on 3 bittiä pitkä ja suurin erottava tekijä MAC-kehysten tunnistamisesta toisistaan. Kehyksen tyyppi määrittelee, onko se majakka kehys, data kehys vai MAC komento kehys. (rfwireless-world n.d.)

ZigBee laitteet käyttävät MAC-kehysten neljää eri kategoriaa, radiomajakka, data, vastaanottoilmoitus sekä MAC käsky.

| Octets:2 | 1 | 0/2 | 0/2/8 | 0/2 | 0/2/8 | Var | 2 |
|-------------------|-----------------|--------------------|---------------------|---------------|----------------|---------------|-----|
| Frame control | Sequence number | Destination PAN ID | Destination Address | Source PAN ID | Source Address | Frame Payload | FCS |
| Addressing fields | | | | | | | |
| MHR | | | | | | MAC Payload | MFR |

Kuva 10. Geneerinen MAC kehys formaatti (rfwireless-world n.d.).

4.4 Fyysinenkerros (PHY)

Fyysinen kerros on ensimmäinen ja alin kerros protokollapinossa. Sen tehtävänä on antaa rajapinta MAC kerroksen ja verkon fyysisten yhteyksien välille, erilaisten laitteiden dataa varten. Fyysinen kerros tarjoaa kahta eri palvelua, joihin se antaa pääsyn käyttäen kahta eri SAP:ta. SAP, eli Service Access Point on yksityiskohta protokollapinossa, jonka avulla pinon kerrokset pyytävät tai antavat palveluita viereisille kerroksille. (rfwireless-world n.d.) (oxfordreference n.d.)

Fyysinen kerros tarjoaa datapalvelun ylemmälle kerrokselleen, johon pääsee käsiksi PD-SAP:n kautta ja hallintapalvelun johon pääsee PLME-SAP:n kautta.

Datapalvelu mahdollistaa fyysisen protokollan datayksiköiden (PPDU) lähettämisen ja vastaanottamisen fyysisen radio kanavan halki. PPDU koostuu synkronointi otsikosta (SHR), fyysisestä otsikosta (PHR) sekä fyysisestä tietosisällöstä (PHY payload). PSDU kantaa fyysistä pakettia ja on muuttuva pituudeltaan. (rfwireless-world n.d.)

Kuvasta 11 voidaan tarkastella tarkemmin fyysisen protokollan datapaketin rakennetta.

| | | | | |
|----------|-----|----------------------|-----------------|-------------|
| Octets:4 | 1 | 1 | | variable |
| Preamble | SFD | Frame length(7 bits) | reserved(1 bit) | PSDU |
| SHR | | PHR | | PHY payload |

Kuva 11. ZigBee PHY paketti rakenne (rfwireless-world n.d.).

Fyysisen tason hallinta palvelu (PLME) tarjoaa pääsyn kerroksen hallinta funktioihin sekä ylläpitää tietokantaa, joka sisältää tiedot fyysisen kerroksen attribuuteista. (techtargget n.d.)

Fyysisen tason tehtäviin kuuluu myös hallita RF vastaanotinta ja tehdä kanavan valintaa sekä energia ja signaalin hallinta funktiot. Fyysinen taso myös tarjoaa kolme mahdollista taajuutta. Ensimmäinen taajuus on käytössä Euroopassa, joka toimii taajuusalueella 868.0-868.6 MHz ja tarjoaa yhden kommunikoivan kanavan. Toinen taajuus on käytössä Pohjois-Amerikassa, se toimii taajuusalueella 902-928 MHz ja tarjoaa yhdestä kymmeneen kanavaan, myöhemmin nostettu kolmeenkymmeneen. Viimeinen taajuus on taajuusalueella 2400-2483.5 MHz ja on maailmanlaajuisesti käytettävissä. Se tarjoaa yhdestä kuuteentoista kanavaa. (digikey 2011)

Taulukko 4:stä voidaan tarkastella tarkemmin taajuuksien ominaisuuksia.

Taulukko 4. standardin IEEE 802.15.4 kanavien ominaisuudet

| Taajuusalue | Kanavien määrä | Siirtonopeus | Käyttöalue |
|-----------------|----------------|--------------|-------------------|
| 868.0-868.6 MHz | 1 | 20 kb/s | Eurooppa |
| 902-928 MHz | 1-10 | 40 kb/s | Pohjois-Amerikka |
| 2400-2483.5 MHz | 1-16 | 250 kb/s | Maailmanlaajuinen |

5 TIETOTURVA

Langatonta verkkoa suunniteltaessa tietoturva on hyvin tärkeä osa verkkoa. ZigBee on ottanut tämän huomioon ja panostanut tietoturvaansa paljon. Tietoturvaan kuuluu todentaminen (authentication), salaus (symmetrinen avain kryptologia) sekä koskemattomuus (Integrity), eli laitteen MIC (Message integrity code) tarkistetaan varmistaen, että lähetettyjä kehyksiä ei olla manipuloitu. MIC kentän lisääminen, joka sisältää numeraalisen arvon verkkokehykseen estää viestin muuntamisen hyökkääjän puolesta. MIC tarkistus käytännössä tarkoittaa MIC kentän tarkistusta jokaisen kehyksen kohdalla, jos ne eivät tule numeraalisesti oikeassa järjestyksessä viesti pudotetaan. ZigBee-verkossa protokollapinon kerrokset luottavat toisiinsa, joka tarkoittaa, että salaustekniikalla sovellettu suojaus on vain laitteiden välillä. (tech-faq n.d.) (INCIBLE 2016.)

Laite tarvitsee turvalliseen toimintaan verkossa vastaparin, joka antaa laitteelle avaimia sekä hallitsee yhteyksiä. ZigBee-verkossa on tämän takia laite, jota kutsutaan luottamuskeskukseksi. Luottamuskeskuksen tehtävänä on käyttää tietoturvapalveluita tietoverkon avainten varastoimiseksi, laitteen konfiguroimiseksi tälle tarkoitetuilla avaimilla sekä laitteen valtuuttamiseksi tietoverkkoon. Yleensä luottamuskeskukseksi verkossa määrätään ZigBee koordinaattori -laite. (Robert Cragie 2009)

5.1 Avaimet

ZigBeen tietoturva perustuu symmetrisiin avaimiin. Tietoturvasta vastaa- van -ja vastaanottavan laitteen pitää jakaa sama avain. Käytössä on kolme erilaista avainta, isäntäavain (Master key), linkkiavain (Link key) sekä tietoverkkoavain (Network key). (INCIBLE 2016.)

Isäntäavain: käytetään vain linkki avainten luomiseen. Avaimen tärkeyden vuoksi sen saa vain ennalta asentamisen tai avaimen siirron kautta.

Linkkiavain: salaa kahden pisteen kommunikation sovellustasolla. Tieto avaimesta on vain näiden kahden laitteen välillä. Toinen laite on normaalisti luottamuskeskus. Linkki avain luodaan dynaamisesti, mutta se voidaan myös ennalta asentaa tai siirtää luottamuskeskukselta.

Tietoverkkoavain: Globaali avain jota käytetään verkkotasolla. Avain on kaikkien verkossa olevien laitteiden tiedossa ja sitä käytetään yleensä ryhmässä, joissa on useampi kuin kaksi laitetta. Luottamuskeskus hallitsee tietoverkko avaimia. (INCIBLE 2016.)

5.2 Avainten hallinta

ZigBeellä on kolme tapaa avainten perustamiseen, joista muutama on mainittu viime osiossa. Avain voidaan luoda ennalta asentamisella, avain siirrolla tai avaimen luonnilla ilman kommunikaatiota. (INCIBLE 2016.)

Ennalta asentaminen: Pätee ainoastaan isäntä avaimiin. Valmistaja liittää isäntäavaimen laitteeseen, joista käyttäjä voi valita yhden asennetuista avaimista. (INCIBLE 2016.)

Avaimen siirto: Toimii kaikissa kolmessa eri avaimessa. Laite pyytää luottamuskeskukselta avainta lähetettäväksi. Luottamuskeskus voi joko pitää itsellään listaa kaikista laitteista ja avaimista, jolloin muistin tarve kasvaa verkon kasvaessa. Toinen vaihtoehto on, että luottamuskeskus pitää itsellään vain tietoverkko avaimen ja hallitsee tietoverkkoon pääsyä, muut tiedot tallennetaan jokaiseen laitteeseen. Tässä tapauksessa luottamuskeskus ei vaadi ylimääräistä muistia verkon kasvaessa, mutta se ei pysty monitoroimaan sarjanumeroita avaimissa.

Avaimen siirto ilman kommunikaatiota: Tällä metodilla luodaan linkki avaimia isäntä avaimen perusteella. Kahden laitteen välille luodaan linkki avain SKKE-tekniikkaa käyttäen (Symmetric-key key establishment). Yhteydessä olevilla laitteilla pitää olla isäntäavain, jonka voi saada ennalta asentamisen tai avaimen siirron kautta. (INCIBLE 2016.)

Avaimet luodaan laitteiden muistiin, jolloin tunkeilija pystyy lukemaan ne suoraan muistista, jos hänellä on fyysinen pääsy soveltuvan ohjelman kautta siihen ja muistia ei ole suojattu tai jos hänellä on pääsy tietoturva ohjelmaan. Tällaisten ongelmien ehkäisemiseksi käytetään mikrokontrolleja turvalliseen tunnistautumiseen, jolloin estetään verkon fyysinen manipulointi. (INCIBLE 2016.)

6 TUTKIMUS

Työn tarkoituksena on tutkia Hämeen ammattikorkeakoulun kampuksella olevaa eTolppa järjestelmää

eTolppa on pihalla olevien pistorasioiden etäohjausjärjestelmä, joka on kehitetty korvaamaan parkkipaikoilla olevat tavalliset lämmitystolpat. Se soveltuu taloyhtiöille ja erilaisille julkisille pysäköintialueille. eTolppaa voidaan ohjata suoraan tolpasta tai etänä, se myös mahdollistaa sähkö -tai hybridautojen latauksen. Tolpasta voidaan asettaa nuolinäppäimillä lähtöaika ja NFC tai, RFID -kortilla voidaan säätää lisäoptioita. Etäohjaus tapahtuu tietokoneelta, tai mobiililaitteen kautta. Tietokoneella käytetään hallintasivua ja mobiililaitteilla käytetään eTolppa -sovellusta. (xortec n.d.)

ETolppien pistorasiakotelot asennetaan, kytketään ja kaapeloidaan samalla lailla kuin tavalliset pistorasiakotelot. eTolpat ovat yhteydessä toisiinsa langattoman verkon kautta, jonka tolpat muodostavat keskenään. Verkon tukiasema tulee olla suositellusti 300m sisällä lähimmästä eTolpasta. Xodem-tukiasema voidaan asentaa kiinteään verkkoon tai langattomaan 3g/4g verkkoon. Hämeen ammattikorkeakoulun kampuksella verkko on toteutettu 4G yhteydellä. (neuvoo 2015.)

ETolppa mittaa yksilöllisesti pistorasian sähkönkulutuksen ja rekisteröi sen järjestelmään käyttäjäkohtaisesti. Eko-optio, jota tolpassa käytetään lämmittää autoa ulkolämpötilan mukaan. Ennen asetettua aikaa järjestelmä tarkistaa lähimmän sääpisteen kautta ulkoilman lämpötilan ja valitsee sen mukaan sopivan ajan auton lämmitykselle. (xortec n.d.)

Järjestelmään kuuluu eTolpan lisäksi myös eParking, joka on pysäköintipaikkojen varaus ja hallintajärjestelmä.

6.1 Tutkimuksen aloittaminen

Tutkimuksen tekeminen vaati järjestelmän tutkimista paikan päällä Riihimäen kampuksella. Järjestelmä koostuu 25 eTolpasta, xodem-tukiasemasta, jonka sisällä on ZigBee lähetin, pilvipalvelusta (kuva 12) sekä toisesta tukiasemasta, joka yhdistää parkkipaikat Xodem-tukiasemaan, jossa zigbee on kiinni. Toinen tukiasema siis on parkkipaikkojen välissä luomassa lisää pinta-alaa signaalin kantamalle. Järjestelmän hallinta tapahtuu puhelin-sovelluksella tai tietokoneella eParking hallintasivulta. Järjestelmän toimivuus ja helppokäyttöisyys kävivät ilmi tutkimuksen alkuvaiheessa.

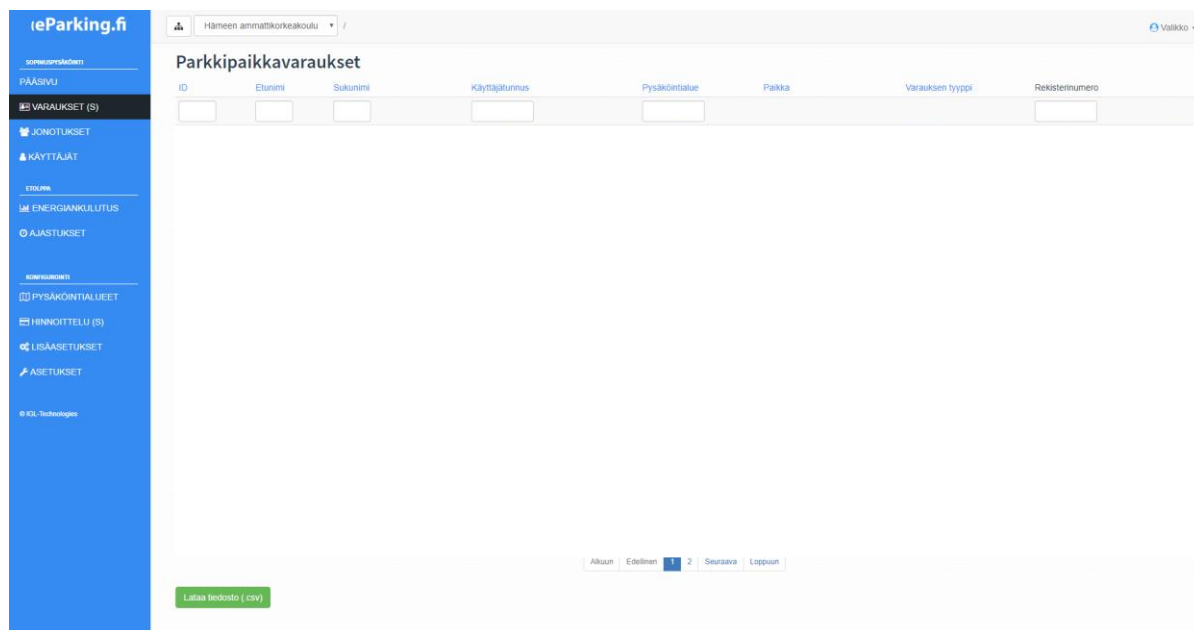
6.2 Järjestelmä

Kuvasta 12 tarkastellaan Riihimäen kampuksella sijaitsevaa eParking järjestelmää. Järjestelmä koostuu kahdesta eri pysäköintialueesta ja yhteensä 25:stä parkkipaikasta. Pääsivulla eTolpalle annetaan ID, sekä käyttäjän etunimi, sukunimi ja käyttäjätunnus. Pysäköintialueet ovat merkitty värillä riippuen siitä onko parkkipaikka varattu vai vapaa. Pääsivulta pystyy katsoomaan myös mahdollisia saapuneita vikailmoituksia. Kokonaisuudessaan pääsivu on selkeä kokonaisuus, jota on helppo hallinnoida.

The screenshot shows the eParking.fi web application interface. The left sidebar contains navigation options: PÄÄSIVU, VARAUKSET (5), JONOJUKSET, KÄYTTÄJÄT, ETOLPPA, ENERGIANKULUTUS, AJASTUKSET, KÄYTTÖOHJEET, PYSÄKÖINTIALUEET, HINNOITTELU (5), LISÄASETUKSET, and ASETUKSET. The main content area is titled 'Hämeen ammattikorkeakoulu' and shows a map of the campus with parking spots. The right sidebar contains a table of users (ETOLPPA) and a table of vehicle status (KULUTUSTIEDOT(1)).

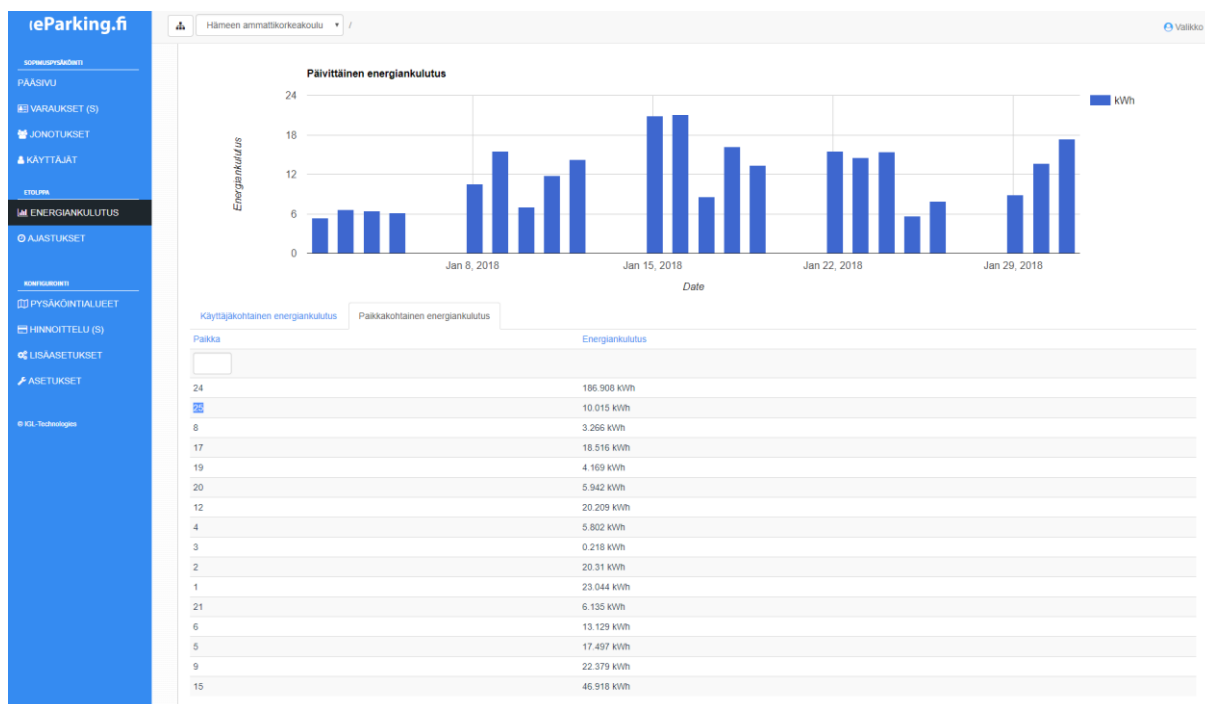
| ID | Paikan numero | Etunimi | Sukunimi | Käyttäjätunnus |
|-------|---------------|-----------|--------------|-----------------------|
| - | - | - | - | - |
| 20537 | - | Seppo | Vihavainen | svihavainen@hank.fi |
| 20365 | 24 | Pasi | Vähämä | pvahamaa@hank.fi |
| 20446 | 26 | Pirjo | Puukko | ppuukko@hank.fi |
| 20545 | 25 | Esa | Vyyryläinen | evyyrylainen@hank.fi |
| 18845 | 8 | Ari-Pekka | Nieminen | arnieminen@hank.fi |
| 18928 | 7 | Mika | Vartiainen | mvartiainen@hank.fi |
| 35171 | 17 | Petri | Pakkanen | petri1@hank.fi |
| 18778 | 18 | Johanna | Nikkola | jnikkola@hank.fi |
| 18401 | 19 | Annika | Alastalo | aalastalo@hank.fi |
| 19815 | 20 | Raimo | Ponkkonen | rponkkonen@hank.fi |
| 18939 | 11 | Jyrki | Hapulahti | jhapulahti@hank.fi |
| 18780 | 12 | Tina | Saario | tsaario@hank.fi |
| 19184 | 4 | Timo | Kärppä | tkarppa@hank.fi |
| 18838 | 3 | Merita | Aronen | maronen@hank.fi |
| 34438 | 2 | Hari | Saartenkorpi | hsaartenkorpi@hank.fi |
| 29888 | 1 | Tuukka | Rohta | tuukka1@hank.fi |

Kuva 12. eParking.fi, pääsivu.



Kuva 13 eParking.fi parkkipaikkavaraukset

Kuvassa 13 tarkastellaan järjestelmän parkkipaikkavarusta. Järjestelmän hallitsija syöttää kentissä vaaditut tiedot, jolloin ne siirtyvät varauslistaan. Sivulta voidaan myös hallita muita parkkipaikkoja alasetusvalikosta. HAMK:lla on tällä hetkellä vain yksi eTolppa-järjestelmä.



Kuva 14. eParking.fi energiankulutus

Järjestelmän energiankulutus havaitaan sivustolta pylväsdiagrammina (kuva 14). Sivulta nähdään energiakulutus tietyltä parkkipaikalta parkin ID:tä käyttäen. Näkymä voidaan myös vaihtaa niin, että ID:n sijaan sivulla näkyy parkkipaikan varaajan nimi.

Tallenna

eTolpan ominaisuudet ja sähköauton lataajan rajoitukset

| Rajoitettut sähköt? | Max wattimäärä | Max ajastuksia | Max kesto | EKO-ominaisuus | Jatkuva ajastaminen | |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------|--|
| Peruskäyttäjä | <input type="text" value="3600"/> | <input type="text" value="2"/> | <input type="text" value="120"/> | EKO ja normaali | Jatkuva ajastaminen | <input type="button" value="Päivitä"/> |
| Sähköauton käyttäjä | <input type="text" value="3600"/> | <input type="text" value="2"/> | <input type="text" value="120"/> | EKO ja normaali | Jatkuva ajastaminen | <input type="button" value="Päivitä"/> |
| Sisätalialmittimen käyttäjä | <input type="text" value="3600"/> | <input type="text" value="2"/> | <input type="text" value="120"/> | EKO ja normaali | Jatkuva ajastaminen | <input type="button" value="Päivitä"/> |

Kuka voi varata paikan?

Router1 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

Router2 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

Router3 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

4 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

5 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

6 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

7 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

8 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

9 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

10 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

11 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

12 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

13 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

14 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

15 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

16 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

17 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

18 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

19 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

20 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

21 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

22 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

23 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

24 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

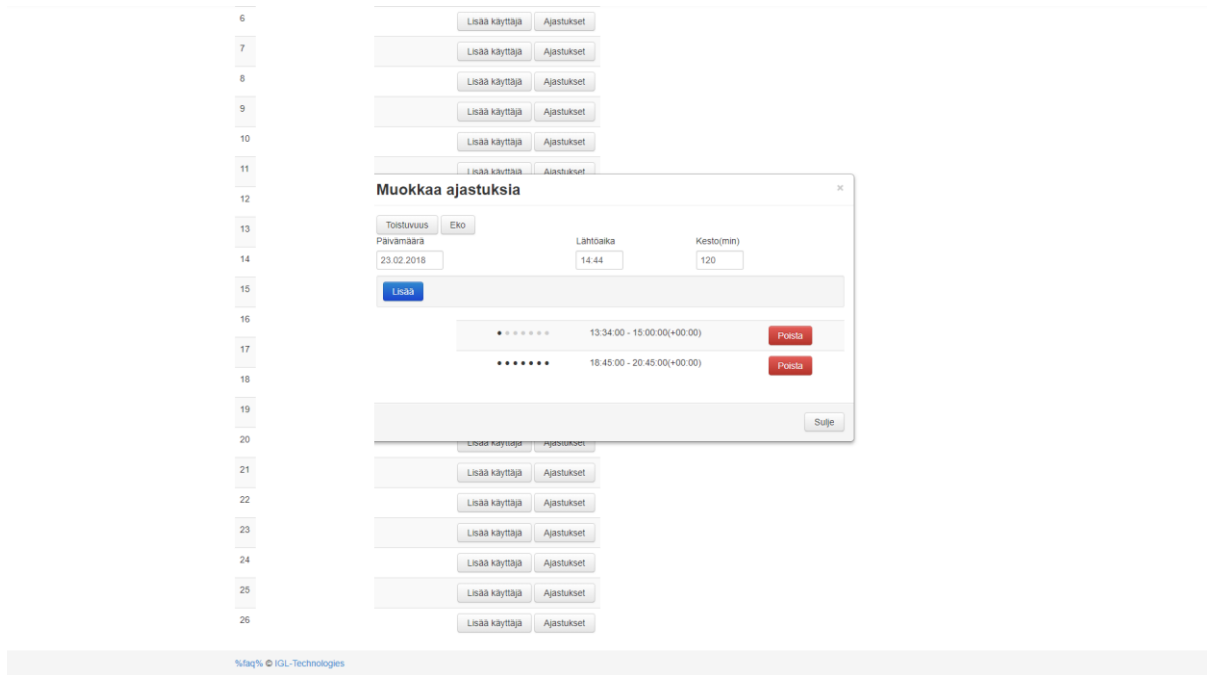
25 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

26 - eTolppa-paikka
 Personnel Visitor Resident

Nimeämätön paikka
 Personnel Visitor Resident

Kuva 15. eTolpan ominaisuudet

eTolpan ominaisuudet -sivulta nähdään tarkemmin parkkipaikkakohtaisesti parkkipaikan varaajan tyyppi (kuva 15). Varaajilla on järjestelmään määritelty kolme eri arvoa, personnel (henkilökunta), visitor (vieras) tai resident (asukas). Nämä arvot näkyvät järjestelmässä vakiona riippumatta siitä onko kyseisiä arvoja ollenkaan. Tällä sivulla hallitaan myös auton lataamisen rajoituksia. Sivulla on määritelty latauksien ajastuksiksi kaksi tuntia kaksi kertaa päivässä ja maksimissaan 3600 wattia. Näitä arvoja voidaan tarpeen tullen muokata.



Kuva 16. eTolpan ajastus

Ajastuksia pystytään hallita etänä eTolppa järjestelmää käyttäen. Käyttäjä määrittelee kellonajan ja keston ajastukselle. Ajastus voidaan myös tarvittaessa poistaa samalta sivulta.

| Yritykset | Hämeen ammattikorkeakoulu | HAMK_Riihimäki | | |
|-----------|---------------------------|----------------|---------|-------|
| Router1_ | 000D6F000D56073 | 220 | Muokkaa | Päätä |
| Router2_ | 000D6F0001808142 | 221 | Muokkaa | Päätä |
| 25, 26 | 000D6F0004BB5558 | 229 | Muokkaa | Päätä |
| 22, 21 | 000D6F0004BC4CFB | 206 | Muokkaa | Päätä |
| 5, 6 | 000D6F0004BC69F6 | 220 | Muokkaa | Päätä |
| 23, 24 | 000D6F0004BC73A8 | 211 | Muokkaa | Päätä |
| 20, 19 | 000D6F0004CCBC0F | 220 | Muokkaa | Päätä |
| 3, 4 | 000D6F0004CCCD58 | 205 | Muokkaa | Päätä |
| 10, 9 | 000D6F0004CCD70F | 203 | Muokkaa | Päätä |
| 1, 2 | 000D6F0004CCDB7B | 184 | Muokkaa | Päätä |
| 16, 15 | 000D6F0004FF14EB | 219 | Muokkaa | Päätä |
| 7, 8 | 000D6F000502D04D | 206 | Muokkaa | Päätä |
| 12, 11 | 000D6F00053628B4 | 193 | Muokkaa | Päätä |

HAMK_Riihimäki

Tyypit

Yhteyslaitteet

Koordinaattori tukiasema

Tyhtiä

IEEE Osoite

ID

354293066137590

MAC

00:1D:C2:00:DF:5E

Yhteysaikaleima

2018-02-23 08:46:30

Aikaleima

2018-02-23 12:48:29

Versio

2.07

Tila

[ON]

Osoite

Käärikatu 2

Kaupunki

Riihimäki

Maa

Finland

Kuva 17. eTolppa -Järjestelmän hallintanäkymä

Hallintanäkymältä nähdään järjestelmän laajempi kuva (kuva 17). Käyttäjä näkee järjestelmään yhdistetyt laitteet sekä niiden MAC-osoitteet. Tarjolla on myös tietoa järjestelmien aktiivisten eTolppien määrästä ja offline-tilassa olevista laitteista.



Kuva 18. Xodem-tukiasema

Pysäköintialueen lähetyvillä on Xodem-tukiasema. Tukiaseman sisällä on ZigBee -lähetin, joka on yhteydessä parkkipaikalla oleviin eTolppiin. Tukiasema pyritään asettamaan 300metrin sisälle lähimmästä eTolpasta kuuluvuuden varmistamiseksi. Asentaminen on suositeltavaa kiinteistön tekniseen tilaan ikkunan viereen, tai ulos vesisuojattuun rasiaan. eTolppaa voidaan etäyhteyden lisäksi hallita myös paikanpäältä. Tolpan sisällä on selkeät ohjeet ajatuksen asettamiselle (Kuva 19).



Kuva 19. eTolppa sisältä

eTolppaa voidaan etäyhteyden lisäksi hallita myös paikanpäältä. Tolpan sisällä on selkeät ohjeet ajatuksen asettamiselle (Kuva 19).

6.3 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua ZigBee-verkkostandardiin ja kartoittaa Hämeen ammattikorkeakoulun Riihimäen kampuksella sijaitseva eTolppa-järjestelmä.

Työssä tehdyn tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että eTolppa on hyvin toimiva ja käyttäjä ystävällinen järjestelmä sekä loistava modernimpi vaihtoehto autojen lämmitykseen kuin tavalliset auton lämmitystolpat. Järjestelmä sopii erityisen hyvin paikkoihin, joissa on myös tarve sähköautojen lataukselle. Ongelmana järjestelmässä on hinta, joka tulee ongelmaksi varsinkin taloyhtiöissä. Sähköautot eivät ole vielä niin yleisiä, että taloyhtiöt lähtisivät hankkimaan niille erillistä järjestelmää. Parhaiten järjestelmä toimii kampuksilla, joissa työntekijä, tai oppilas voi halutessaan varata itselleen parkkipaikan.

Järjestelmästä oli hankala löytää huonoja puolia hinnan lisäksi, eikä kilpailijoitakaan juurikaan ole. Tulevaisuudessa hybridi- ja sähköautojen lisääntyessä eTolpan kaltaisten järjestelmien tarve tulee kasvamaan ja sen mukana kilpailu tulee myös kasvamaan.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen alusta asti, vaikka se olikin hyvin teoriapainotteinen. Aihe oli ajankohtainen, sekä sisälsi paljon opittavaa. Työn tekeminen sujui mallikkaasti ja töitä tuli tehtyä hyvällä tahdilla. Kaiken kaikkiaan tavoitteet saavutettiin.

LÄHTEET

Bay, B. (2015). What is mesh topology. Blogijulkaisu15.09.2015. Haettu 26.01.2018 osoitteesta
<https://www.link-labs.com/blog/what-is-mesh-topology>

digi (n.d.) AODV mesh routing. Haettu 06.02.2018 osoitteesta
https://www.digi.com/resources/documentation/Digi-docs/90002002/Content/Concepts/c_zb_AODV_mesh_routing.htm?TocPath=Transmission%2C%20addressing%2C%20and%20routing%7CRF%20packet%20routing%7C_____2

digi (n.d.) ZigBee specification. Haettu 29.01.2018 osoitteesta
<ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/html/manuals/ZigBee/Introduction/zigbee.htm>

digikey (2011). ZigBee: A Global Wireless Standard. Haettu 28.02.2018 osoitteesta
<https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2011/aug/zigbee-a-global-wireless-standard>

eetimes (2008). ZigBee and ZigBee PRO: Which feature set is right for you? Haettu 17.04.2018 osoitteesta
https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1276377

Elahi, A & Gschwender, A. (2009) Introduction to the ZigBee wireless sensor and control network. Zigbee topologies, 4. Haettu 25.01.2018 osoitteesta
<http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1409785>

Elahi, A & Gschwender, A. (2009) Introduction to the ZigBee wireless sensor and control network. Zigbee topologies, 3. Haettu 27.02.2018 osoitteesta
<http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1409785&seqNum=3>

electronicdesign (2013) What's the difference between IEEE 802.15.4 and ZigBee wireless? Haettu 30.01.2018 osoitteesta
<http://www.electronicdesign.com/what-s-difference-between/what-s-difference-between-ieee-802154-and-zigbee-wireless>

Gragie, R. (2009) ZigBee security. Haettu 13.02.2018 osoitteesta
<http://modsec.zimmerle.org/wireless-sec-papers/zigbee%20-%20sec.pdf>

Hammoshi.M & Sayed.A (2014) ANALYSIS FOR A CLUSTER TREE ZIGBEE TOPOLOGY.

INCIBLE (2016). Security in ZigBee communications. Blogijulkaisu 26.04.2016. Haettu 13.02.2018 osoitteesta <https://www.certs.es/en/blog/security-zigbee-communications>

Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 674-680. Haettu 26.01.2018 osoitteesta <http://www.jatit.org/volumes/Vol64No3/12Vol64No3.pdf>

latestmergingtechnology (2016) ZigBee Components and Network Topologies. Blogijulkaisu 04.09.2009. Haettu 26.01.2018 osoitteesta <http://latestmergingtechnology.blogspot.fi/2009/09/zigbee-components-and-network.html>

mwrinfosecurity (n.d.) An Overview of ZigBee Networks. Haettu 22.01.2018 osoitteesta <https://www.mwrinfosecurity.com/assets/Whitepapers/mwri-zigbee-overview-finalv2.pdf>

neuvoo (2015) eTolppa etähallittavat lämmitys- ja lataustolpat. Haettu 07.03.2018 osoitteesta http://www.neuvoo.fi/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/eTolppa-energia_ilta17112015.pdf

oxfordreference (n.d.) service access point. Haettu 28.02.2018 osoitteesta <http://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803100456475>

ResearchGate (n.d.). IEEE820.15.4/ZigBee protocol stack architecture. Haettu 22.01.2018 osoitteesta https://www.researchgate.net/figure/IEEE820-15-4-ZigBee-protocol-stack-architecture_265150617

Reinisch, C., Kastner, W. & Neugschwandtner, G. (n.d.). Multicast Communication in Wireless Home and Building Automation. ZigBee and DCMP, 1380-1383. Haettu 07.02.2018 osoitteesta <https://www.auto.tuwien.ac.at/~creinisch/papers/MC-ETFA07.pdf>

rfwireless-world (n.d.). Features of Zigbee Mesh Network haettu 26.01.2018 osoitteesta <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee-mesh-network-tutorial.html>

rfwireless-world (n.d.) 7 Generic MAC frameformat. Haettu 07.02.2018 osoitteesta <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee-MAC-layer-frameformat.html>

rfwireless-world (n.d.) Zigbee AODV protocol basics. Haettu 07.02.2018 osoitteesta

<http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee-AODV-protocol.html>

rfwireless-world (n.d.) Zigbee Mesh Network. Haettu 01.02.2018 osoitteesta

<http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee-mesh-network-tutorial.html>

rfwireless-world (n.d.) Zigbee MAC layer frame format. Haettu 31.01.2018 osoitteesta

<http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee-MAC-layer-frame-format.html>

rfwireless-world (n.d.) Zigbee Physical Layer. Haettu 31.01.2018 osoitteesta

<http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee-physical-layer.html>

rfwireless-world (n.d.) Zigbee protocol stack. Haettu 29.01.2018 osoitteesta

<http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee-protocol-stack.html>

rfwireless-world (n.d.) Sample Route request (Broadcast) Transmission Where R3 is trying to discover a route to r6. Haettu 07.02.2018 osoitteesta

<http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee-AODV-protocol.html>

rfwireless-world(n.d.). What is zigbee? Haettu 10.01.2018 osoitteesta

<http://www.rfwireless-world.com/Terminology/what-is-zigbee.html>

rfwireless-word(n.d.). zigbee tutorial | zigbee protocol, frame, PHY, MAC. Haettu 22.01.2018 osoitteesta

http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Zigbee_tutorial.html

<http://www.satmatic.fi/files/products/001/8MMO459eTolppa.pdf>

Saurav (2011) Unicast, Multicast, Broadcast. Haettu 07.02.2018 osoitteesta

<http://networkingconcepts4u.blogspot.fi/2011/08/unicastmulticastbroadcast.html>

Sinem coleri ergen (2004) ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary. haettu 31.01.2018 osoitteesta

<http://home.iitj.ac.in/~ramana/zigbee.pdf>

Studytonight (n.d.) DATA LINK Layer – OSI Model. Haettu 21.02.2018 osoitteesta

<https://www.studytonight.com/computer-networks/osi-model-datalink-layer>

sqa (2009) CSMA/CA. Haettu 02.05.2018 osoitteesta

https://www.sqa.org.uk/e-learning/NetInf101CD/page_18.htm

tech-faq (n.d.) MIC (Message Integrity Check) haettu 15.05.2018 osoitteesta

<http://www.tech-faq.com/mic-message-integrity-check.html>

techopedia (n.d.) Carrier Sense Multiple Access/with Collision Avoidance (CSMA/CA). Haettu 27.02.2018 osoitteesta

<https://www.techopedia.com/definition/11271/carrier-sense-multiple-accesswith-collision-avoidance-csmaca>

techopedia (n.d.) Logail Link Control (LLC). Haettu 21.02.2018 osoitteesta

<https://www.techopedia.com/definition/5689/logical-link-control-llc>

techopedia (n.d.). Protol Stack. Haettu 29.01.2018 osoitteesta

<https://www.techopedia.com/definition/9005/protocol-stack>

techtarget (n.d.) 802.11 PHY Layers. Haettu 28.02.2018 osoitteesta

http://media.techtarget.com/searchMobileComputing/downloads/CWAP_ch8.pdf

UKEssays (2015) Zigbee: Overview and Analysis. Haettu 22.01.2018 osoitteesta

<https://www.ukessays.com/essays/information-technology/origin-of-name-zigbee-information-technology-essay.php>

Wikipedia (n.d.) OSI-Malli. Haettu 31.01.2018 osoitteesta:

<https://fi.wikipedia.org/wiki/OSI-malli>

xortec (n.d.) Case: eTolppa – Innovatiivista autonlämmitystä. Haettu 07.03.2018 osoitteesta:

<http://xortec.fi/cases/etolppa/>

zigbee (n.d.) Benefits at a glance. Haettu 01.02.2018 osoitteesta

<http://www.zigbee.org/zigbeealliance/join/>

zigbee(n.d.) membership levels. Haettu 22.01.2018 osoitteesta

<http://www.zigbee.org/zigbeealliance/join/>

Zigbees(n.d.). Zigbee. Haettu 10.01.2018 osoitteesta

<http://www.zigbees.com/>