

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond
Tarkvarateaduse instituut

Rauno Pügi 120448 IABB

**NUTIHELKURI KONTSEPT JA ANALÜÜS –
INTELLIGENTSE TRANSPORDISÜSTEEMI
ARENDAMINE KERGLIikleja OHUTUSE
TÕSTMISEKS**

bakalaureusetöö

Juhendaja: Martin Rebane
MSc

Tallinn 2017

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Rauno Pügi

22.05.2017

Annotatsioon

Transpordisüsteemide arendamine peab aitama muuta liiklust efektiivsemaks ja mugavamaks, tagades ohutuse selle kasutajatele. Ohutuse nõrgim lüli on kergliikleja, jalakäija ja jalgrattur, sest neid on kaasliiklejatel keerulisem märgata. Seetõttu on ka ohutusmeetmete rakendamine raskendatud, kui kergliikleja ei suuda ennast ise märgatavaks teha. Bakalaureusetöö eesmärgiks on välja pakkuda kontsept, mis aitaks ennetada kergliiklejate osalusel juhtuvaid liiklusõnnetusi. Lõputöö raames realiseeritakse nutitelefoni rakendus, mis visualiseerib kontsepti põhifunktsionaalsuse, olles kergliiklejale abiks andmaks enda olemasolust märku teistele liiklejatele.

Lõputöö tulemusena selgub, kuidas ja kas on võimalik kasutada IoT-maailmas (*Internet of Things*) tuntud tehnoloogiat intelligentsete transpordisüsteemide arendamiseks. Analüüsime erinevaid võimalusi, süsteemi keerukust, teostatavust ja hinda, pakkudes mõtteainet analoogsete süsteemide arendamiseks.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 38 leheküljel, 6 peatükki, 17 joonist.

Abstract

The concept and analysis of Nutihelkur - developing intelligent transportation system to improve pedestrians' safety

When it comes to developing transportation systems, safety, efficiency and convenience should be the paramount goals. The weakest link regarding safety is the pedestrian and cyclist, because they are the hardest to spot.

That's why implementing safety procedures might be ineffective when the weakest can just not be noticed. The purpose of this thesis is to propose a concept that would reduce accident rates regarding pedestrians.

The thesis will include a mobile application that will help to highlight the core functionality of the concept with the purpose of making pedestrians more visible in traffic.

The thesis will bring forth if and how technology from IoT can be used to develop an intelligent transportation system. Pros and cons, pricing and difficulty of the implementation will be analysed which in turn will be helpful for similar projects in the future, especially the practical aspect of the mobile application.

The thesis is in Estonian and contains 38 pages of text, 6 chapters, 17 figures.

Lühendite ja mõistete sõnastik

bait	infoühik
BLE	Bluetooth Low Energy
Bluetooth <i>tracker</i>	kaotamisvastane seade
BR/EDR	<i>Basic Rate/Enhanced Data Rate</i>
FFD	<i>Full Function Device</i> , täisfunktsionaalne seade
GHz	perioodilise protsessi ühik
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IEEE	Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut
IoT	<i>Internet of Things</i>
ITS	Intelligentne transpordisüsteem
kB	infoühik, 1024 baiti
MAC aadress	meediumipöörduse juhtimise aadress
<i>mesh</i>	silmusvõrk, võrgutopoloogia
MHz	perioodilise protsessi ühik
PROLOG	Eesti Tarneahelate Juhtimise Ühing
puuvõrk	puukujuline võrgutopoloogia
RFD	<i>Reduced Function Device</i> , piiratud funktsionaalsusega seade
RFID	<i>Radio-frequency identification</i> , raadiosagedustuvastus
räsifunktsioon	funktsioon tekstistringide kodeerimiseks
sardtarkvara	<i>embedded software</i>
silmusvõrk	võrgutopoloogia
tähtvõrk	võrgutopoloogia
Wi-Fi	raadiokohtvõrk
ZC	<i>ZigBee coordinator</i> , ZigBee koordinaator
ZED	<i>ZigBee end device</i> , ZigBee lõppseade
ZR	<i>ZigBee router</i> , ZigBee ruuter

Sisukord

JOONISTE LOETELU	7
1 SISSEJUHATUS.....	8
2 TEHNILINE TAUST	9
INTELLIGENTNE TRANSPORDISÜSTEEM	9
2.1 INTELLIGENTNE TRANSPORDISÜSTEEM EESTIS	9
2.2 INTELLIGENTSETES TRANSPORDISÜSTEEMIDES KASUTATAVAD TEHNOLOOGIAD	10
2.2.1 <i>RFID</i>	11
2.2.2 <i>Bluetooth</i>	13
2.2.3 <i>ZigBee</i>	16
2.3 NUTIHELKURI KONTSEPT	17
3 PROTOTÜÜBI LOOMINE.....	20
3.1 SOBILIKU TEHNOLOOGIA ANALÜÜS.....	20
3.1.1 <i>Maksumus</i>	20
3.1.2 <i>Turvalisus</i>	22
3.1.3 <i>Tehnilised parameetrid</i>	23
3.2 SOBILIKU TEHNOLOOGIA VALIK	24
3.3 KASUTUSJUHUD	25
3.3.1 <i>Kergliiklejast sõidukijuhile teavitamine</i>	25
3.3.2 <i>Kergliikleja teavitamine ohtlikust kohast</i>	26
3.3.3 <i>Statistika edastamine</i>	27
4 NUTIHELKURI REALISATSIOON	29
4.1 KASUTATUD TÖÖVAHENDID	29
4.2 TÖÖLOOGIKA	30
4.3 RAKENDUSE KASUTAJALIIDES	34
5 TULEMUSED JA JÄRELDUSED TEHTUD TÖÖST	36
5.1 PROTOTÜÜBI KATSETAMINE	36
5.1.1 <i>Rakenduse toimivus ideaaloludes</i>	37
5.1.2 <i>Rakenduse toimivus piiratud nähtavusega kohas</i>	38
5.1.3 <i>Rakenduse toimivus eritasapinnalisel ja piiratud nähtavusega kohas</i>	39
5.1.4 <i>Rakenduse toimivus otsese visuaali puudumisel</i>	40
5.1.5 <i>Signaalide avastamise katsed liikuva sõidukiga</i>	40
5.2 JÄRELDUSED	41
5.3 NUTIHELKURI EDASISEST ARENDAMISEST	43
5.3.1 <i>Nõuded sensorile</i>	43
5.3.2 <i>Arengupotentsiaal</i>	44
5.3.3 <i>Populariseerimine</i>	45
5.3.4 <i>Privaatsus</i>	45
6 KOKKUVÕTE.....	46
KASUTATUD KIRJANDUS	47

Jooniste loetelu

Joonis 1. RFID-märgiste võrdlus. [12]	12
Joonis 2. RFID-märgiste lugejate võrdlus. [12].....	12
Joonis 3. <i>Piconet</i> ja <i>scatternet</i> visuaalse skeemina. [18].....	13
Joonis 4. iBeaconi põhilised saadetavad andmed. [24].....	15
Joonis 5. Eddystone ja iBeacon võimaluste visualiseering. [23].....	16
Joonis 6. Tähtvõrk (a), puuvõrk (b), silmusvõrk (c). [28]	17
Joonis 7. Nutihelkuri kontsept.	18
Joonis 8. Beacon'ite interferentsi vältimine Wi-Fi võrkudest. [39]	24
Joonis 9. Nutihelkuri rakenduse ehitus struktuuriliselt.....	30
Joonis 10. Lihtsustatud skeem rakendusest.	31
Joonis 11. Avastatud Nutihelkuri sensorite töötlemine.	34
Joonis 12. Nutihelkuri rakenduse prototüübi kasutajaliides.	35
Joonis 13. Ideaalolu, pikk sirge ilma takistusteta.	37
Joonis 14. Piiratud nähtavust imiteerivad olud.	38
Joonis 15. Vaade sensorilt jalakäija suunas (a) ja kergliikleja liikumise suunas (b).	39
Joonis 16. Otsese visuaali puudumine.	40
Joonis 17. Katsel sõidukiga saadud erinevad tulemused.	41

1 Sissejuhatus

Kergliiklejatega seotud liiklusohutuse kirjeldamiseks on värskem statistika bakalaureusetöö kirjutamise algushetkel 2015. aastast. Statistika andmeil juhtus 2015. aastal 377 jalakäijaõnnetust ja 187 jalgrattaõnnetust ning suurimaks kaasosalisteks olid mootorsõidukid – vastavalt 90% ja 68% õnnetustest [1]. Suurem osa õnnetustest leiab aset asulasisestel teedel (90% ja 78%) ja neljas suuremas Eesti linnas [1]. Positiivseks trendiks on väljaspool asulaid juhtuvates liiklusõnnetustes hukkunud kergliiklejate arvu vähenemine, kuid ka üldine liikluses hukkunute arvu vähenemine [1]. Statistika tumedamalt poolelt on jalgrattaõnnetused kasvutrendis, liikluses hukkunutest on 36% jalakäijad, olles vaid 16% liikluseõnnetustesse sattunud inimestest ja vigastatute arv on püsinud stabiilsena – hinnanguliselt neljandik liiklusõnnetustes vigastatutest ei ole võimelised jätkama õnnetuse-eelse eluga [1].

Statistikast lähtuvalt võime defineerida mõned põhjused, miks oleks vaja uut, kergliiklejatele mõeldud liiklusohutust tõstvat lahendust. Statistika järgi on tavapärase helkuri kandmine madalam linnaelanike, noorte ja meeste seas, kuid linnas juhtub suurem osa õnnetusi ja kannatanutest on mehi rohkem kui naisi [1]. Teisalt on reguleeritud ülekäiguradadel jalakäijatele otsasõitude arv püsinud stabiilsena, moodustades ligikaudu 10% õnnetustest, samas foorita ülekäiguradadel õnnetused sagenevad [1]. Kolmandaks, surmavate tagajärgedega jalakäijaõnnetused sagenevad hilissügisel ja talvel, 24-st hukkusid 16 pimedal ajal, samas jalgrattaõnnetused juhtuvad enamasti valgel ajal ja kõik hukkunuga õnnetusedki olid valgel ajal [1]. Viimaks, statistiliselt oht saada vigastada jalakäijana (7-18a) või jalgratturina (13-18a) on suurem lastel ja noortel, kuid oht jalakäijana liiklusõnnetuses hukkuda on suurem pensioniealistel [1].

2 Tehniline taust

Intelligentne transpordisüsteem

Intelligentsed transpordisüsteemid (ITS) on nüüdisaegsed rakendused, mis kasutavad info- ja sidetehnoloogiat transpordis ning mille abil osutatakse uuenduslikke transpordisüsteemi korraldamisega seotud teenuseid mitmesugustele kasutajatele – otsesed ja kaudsed ehk teekasutajaid ja taristuhaldajaid [2].

Kasutajatele muutuvad intelligentsed transpordisüsteemid järjest vajalikumaks, sest Euroopa Liidu riikides on 2000-2020 prognoositud kaubavedude 50% ja reisijavedude 35% kasv [2]. Kasutamata lisameetmeid on liiklusintensiivsuse suurenemisel kahjulik mõju liiklusohutusele, teedevõrgustikule ning keskkonnale [2]. Juba praegusel ajal mõjutavad liiklusummikud 10% teedevõrgustikku, mille kulu on 0,9-1,5% Euroopa Liidu sisemajanduse kogutoodangust [2]. Keskkonnale avalduv mõju tuleneb sellest, et transpordisüsteemi CO₂ heidetest 72% pärineb maanteetranspordist, mis on 15 aastaga suurenenud 32% [2]. Liiklusõnnetustes hukub aastas üle 40 000 inimese [2]. Nende probleemide järgi võime jaotada intelligentsete transpordisüsteemide eesmärgid kolmeks: liikuvus, ohutus ning keskkonna- ja energiasäästlikkus [2].

2.1 Intelligentne transpordisüsteem Eestis

Eestis vastutavad intelligentsete transpordisüsteemide arengu eest Majandus- ja Kommunikatsiooniministerium, Maanteeamet, Teede Tehnokeskus ja Eesti Tarneahelate Juhtimise Ühing (PROLOG) [3]. Autori silmis on väga positiivseks nähtuseks, et intelligentsete transpordisüsteemide arendamisse püütakse kaasata kõiki võimalikke osapooli alates ülikoolidest ja ettevõtetest ning lõpetades täidesaatva võimuga [3], [4]. Eesti IKT Klatri initsiatiivil on loodud erinevaid osapooli koondav ITS Estonia koostöövõrgustik [5].

Eestis loodud intelligentseid transpordisüsteeme võib klassifitseerida avaliku sektori ja erasektori rakendusteks. Näidetena võib välja tuua ühistranspordisüsteemi ÜTRIS,

liiklusinfo rakenduse Tark Tee, mobiilse parkimise, elektriautode kiirloomisvõrgustiku, automaatse liiklusjärelvalve ehk kiiruskaamerate võrgustiku, vabade parkimiskohtade teavituse, reisiplaneerijad ja sõidukite mobiilsed jälgimissüsteemid [2]. Erinevaid materjale ja rakendusi uurides võib öelda, et Eestis ei ole veel olemas intelligentset transpordisüsteemi, mis oleks keskendunud kergliikleja ohutuse tõstmisele ja õnnetuste ennetamiseks [2], [6].

Nutihelkuri kontsepti ülesanne on olla toeks ja abiks avalikes dokumentides avaldatud probleemidele ja vajadustele seoses intelligentsete transpordisüsteemidega Eestis. Suurimaks probleemiks Eesti intelligentse transpordisüsteemidega peetakse nende juhuslikku laadi, mis teenindavad üksikute operaatorite huve ja ei avalda seetõttu transpordisüsteemi üldistele eesmärkidele märkimisväärset mõju [2]. Intelligentsete transpordisüsteemide arendamist käsitleb ka 2014-2020 hõlmav transpordi arengukava, mis näeb ette transpordisüsteemi andmete töötlemist ja analüüsi, mille üks eesmärkidest võiks olla liiklusohutuse suurendamine ennetavate meetmete vahendusel [6]. Seetõttu on Nutihelkuri ülesanneteks varustada süsteemi haldureid statistikaga ning ühendada võimalikult palju asjaosalisi – kergliiklejaid, autojuhte ja süsteemi haldureid.

2.2 Intelligentsetes transpordisüsteemides kasutatavad tehnoloogiad

Intelligentse transpordisüsteemi väljatöötamiseks on vajalik analüüsida erinevaid info- ja sidetehnoloogilisi võimalusi ja uurida olemasolevaid lahendusi. Kontseptuaalse nutihelkuri loomiseks on kõige kriitilisema tähtsusega asukoht, mis võimaldaks meil käivitada järgmise, ennetava sündmuse. Nii teoorias kui ka praktikas on asukohapõhiste vajadustega intelligentsete transpordisüsteemide loomiseks kasutatud selliseid juhtmevabasid tehnoloogiaid nagu Bluetooth, ZigBee ja RFID (raadiosagedustuvastus).

RFID-tehnoloogiat kasutades on loodud nutikas valgusfoor smartPort Traffic Light, mille peamine eesmärk on tagada sujuv liiklusvool veokitele tiheda liiklusega aladel – suured veokid on liiklust aeglustvad ning keskkonda rohkem saastavad [7].

Analoogsete eesmärkidega süsteemide loomiseks on väga laialdaselt kasutust leidnud Bluetooth tehnoloogial põhinevad seadmed: BLIDS, BluFax, BlipTrack, BlueTOAD, Vantage Velocity [8]. BlipTrack, mis on välja töötatud BLIP Systems'i poolt, avastab Bluetooth'i ja Wi-Fi (raadiokohtvõrk) signaale ja kasutab kogutud andmeid

hinnanguliste reisiaegade arvutamiseks [9]. Reisiaegsid analüüsides püütakse ennustada teevõrgustiku ülekoormuse teket, mida püütakse vältida liikluses osalejatele reaajas infot kuvades [9]. Integreerituna igasse nutitelefonisse, on Bluetooth'i kasutatud sensori kui ka andmevahetuse eesmärkidel erinevates liiklusohutust tõstvates mobiilirakendustes: Tug, Rider Alert, Yield! [10]. ZigBee tehnoloogia abil on välja töötatud mitmeid teoreetilisi rakendusi, näiteks juhiabi rakendusi [11]. Praktilisi intelligentse transpordisüsteemi rakendusi, mis oleks loodud kasutades ZigBee'd on keeruline välja tuua.

2.2.1 RFID

RFID ehk raadiosagedustuvastus on raadiolaineid kasutatav tehnoloogia objektide identifitseerimiseks ja jälgimiseks, mille eelkäijaks võib pidada vöötkoodi [12]. Vöötkoodi asemel on RFID-märkis infot talletava mikrokiibi ja antenniga [12]. Elektroonika kasutamine võimaldab esemete samaaegset tuvastamist otsese nähtavuse puudumisel, mis on raadiosagedustuvastuse kasutamise põhiline argument [12]. RFID-tehnoloogiat kasutatakse praktikas näiteks logistikas [12], sissepääsusüsteemides ja jooksuvõistlustel ajavõtusüsteemides.

RFID süsteem koosneb märgistest, lugejatest ja tarkvarast [12]. Joonistel 1 ja 2 on välja toodud erinevate märgiste ja lugejate erinevused. Märgiste energiavajaduse järgi eristatakse süsteemid aktiivseteks ja passiivseteks [12]. Aktiivsed märgised vajavad raadiolainete saatmiseks eraldi toiteallikat, millest üldjuhul jätkub 3-5 aastaks [13]. Lisaks jagunevad aktiivsed märgised omakorda kaheks veel tööpõhimõttelt: majakad (inglise keeles *beacon*) ja transponderid. Esimesed edastavad signaale intervalliti, teised hakkavad signaale edastama lugeja saadetud "käsu" peale [13].

RFID Frequency	Band	Range	Tag Cost (approx)	Considerations	Typical Use
Low Frequency (LF)	30 KHz - 300KHz	Short range; ~10cm	50¢ - \$2	Slower read speed but low sensitivity to radio wave interference	Access control; livestock trading
High Frequency (HF)	3 - 30 MHz	10cm - 1m	50¢ - \$2	Moderate sensitivity to interference	Ticketing, Payment and Data Transfer
Ultra High Frequency (UHF)	300 MHz - 3 GHz (typical is 860 - 960MHz band)	up to 12m	1¢ - 15¢	Single global standard Fastest read speed Most subject to interference	Inventory management, anti-counterfeiting, wireless device configuration
Active RFID Tags (UHF)	300 MHz - 3 GHz (typical is 860 - 960MHz band)	up to 100m	\$15-\$50	Emit their own signal every 30 seconds	Large containers, railway cars, transportation systems

Joonis 1. RFID-märgiste võrdlus. [12]

Reader Type	How it works	Typical Uses	Approx. Cost
Handheld	Passive RFID handheld readers. A human being waves the scanner near assets	Manual auditing of a location, data center rack, etc.	~\$3,000 each
Fixed Position	Portal readers installed in a doorway that detect assets moving through	Events and ticketing (e.g. ski-lift passes, transport smart cards)	~\$10,000-20,000 per portal for hardware, installation and configuration
Active RFID readers	Zonal readers that cover about 3,000 square feet detecting active RFID tags in their zone	Railway/ cargo hubs, distribution warehouses	~\$1,250-\$1,500 each
Active RFID Rack/Room Locators	Work in conjunction with Active RFID readers to report the precise rack or room location of the active RFID-tagged asset	Micro-location positioning; retail, amusement parks, etc.	~\$150-\$200 each

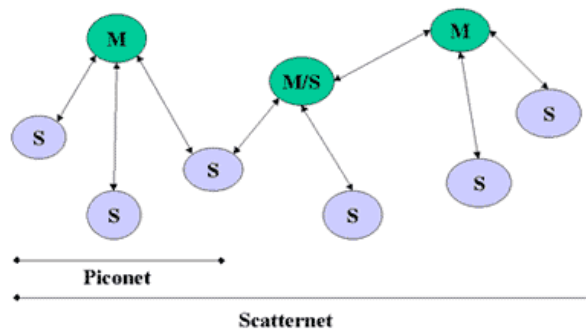
Joonis 2. RFID-märgiste lugejate võrdlus. [12]

2.2.2 Bluetooth

Bluetooth on traadita personaalvõrgu tehnoloogia, mis kasutab ultrakõrgsagedusala (*Ultra High Frequencies*) vahemikus 2,4-2,5GHz [14]. Olulisemad uuendused on tulnud aastatel 2004 (v2.0), 2009 (v3.0), 2010 (v4.0), 2013 (v4.1), 2014 (v4.2) ja 2016 (v5.0), mistõttu võime Bluetoothi pidada aktiivselt arenevaks tehnoloogiaks [15]. Autori silmis ilmestab see ka põhjust, miks Bluetooth Special Interest Groupi ja Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut (IEEE), mis tegeleb elektroonikaalaste standardite väljatöötamise ja arendamisega, lõpetasid omavahelise koostöö [14].

Bluetooth'i kiire arengu juures on oluline mõista selle erinevaid osasid, kuna iga uuendusega on lisandunud uusi võimalusi. Bluetooth spetsifikatsioonide kaks kõige enam kasutatavat rakendust on Bluetooth BR/EDR (*Basic Rate/Enhanced Data Rate*, alates v2.0/2.1) ehk Bluetooth Classic ja Bluetooth Low Energy (alates v4.0) ehk Bluetooth Smart [16]. Lisaks on ühendab eelpool mainitud tehnoloogiaid Bluetooth Smart Ready, mille kõige paremaks näiteks on nutitelefon – Bluetooth Classicu abil kasutame auto kätel vabad süsteemi, Bluetooth Smart võimaldab suhtluse nutikellaga [16].

Erinevatele spetsifikatsioonidele vastavatel seadmetel on erinevad võimalused infovahetuseks. Bluetooth Classic omab selleks kahte *ad hoc* võrgu varianti: *piconet* ja *scatternet* [17]. *Piconet* on kõige tavalisem viis ühendamaks seadmeid, mis koosnevad kuni kaheksast (1+7) aktiivsest ülem-alluv suhtes olevast seadmest [17]. *Scatternet*'iks nimetatakse süsteemi, kus alluvseadmetel on lubatud samaaegselt olla ülemseadmeks teisele *piconet*'ile, mis tähendab ühendatakse omavahel kaks või enam *piconet*'i [17]. *Scatternet*'i abil on võimalik suurendada ühenduses olevate seadmete arvu ja tegevusraadiust, kuid nende loomine realsuses võib osutuda keeruliseks [18].



Joonis 3. *Piconet* ja *scatternet* visuaalse skeemina. [18]

Bluetooth Low Energy võimaldab kolmes erinevas variandis andmete edastamist: *piconet* (alates v4.0), *scatternet* (alates v4.1) ja "kuulutamine" (inglise keeles *advertising*, alates v4.0) [19], [20]. Rakenduste loomise puhul võib osutuda oluliseks teadmine, et erinevalt Bluetooth Classic tehnoloogiast, ei ole BLE (Bluetooth Low Energy) puhul piiratud maksimaalne seadmete arv [21]. Kui eelnevalt tuttavad *piconet* ja *scatternet* vajavad ühenduse loomiseks ja andmete vahetamiseks paaritamist, siis "kuulutamine" seda ei vaja ja saadetavad andmed on saadavad kõigile seadmetele, mis on neid valmis vastu võtma [19]. Kuna paaritumist ja aktiivse ühenduse loomist ei toimu, siis info liikumine toimub vaid ühes suunas [19]. Sellist lahendust kasutavad *beacon*'id, mille eestikeelne vaste on majakas, mis ka tööpõhimõttelt selleks sobiks. Korrektsama eestikeelse tehnilise termini puudumisel, kasutatakse lõputões sõna "*beacon*".

Bluetooth Low Energy *beacon*'id on energiasäästlikud ühesuunaliselt informatsiooni edastavad seadmed. *Beacon*'ite abil saadetakse väikseid, maksimaalselt 47-baidiseid andmepakette, millede tabamisel saab rakenduse või operatsioonisüsteemi tasemel käivitada järgmise sündmuse [22], [23].

Beacon'id erinevad kasutatavate protokollide poolest. *Beacon*'ite protokollid on Bluetooth Low Energy kommunikatsiooni standardid, mis määravad andmepakettide struktuuri [23]. Enamlevinud standardid on iBeacon, Eddystone (algse nimetusega UriBeacon) ja AltBeacon [19]. AltBeacon on iBeaconi vabavaraline alternatiiv [19], seega vaatleme täpsemalt kahe suure tehnoloogiaettevõtte protokolle – iBeacon ja Eddystone. Mõlemad standardid on kasutatavad nii iOS kui ka Android seadmetega [23].

iBeacon on Apple arendatud protokoll, mida tutvustati iOS 7 tulekuga 2013. aastal Apple Worldwide Developers Confernce'l [24]. Joonisel 4 on kujutatud iBeacon'i andmepaketis sisalduv kasulik informatsioon, mida saab kasutada rakenduste loomisel.

Field	Size	Description
UUID	16 bytes	Application developers should define a UUID specific to their app and deployment use case.
Major	2 bytes	Further specifies a specific iBeacon and use case. For example, this could define a sub-region within a larger region defined by the UUID.
Minor	2 bytes	Allows further subdivision of region or use case, specified by the application developer.

Joonis 4. iBeaconi põhilised saadetavad andmed. [24]

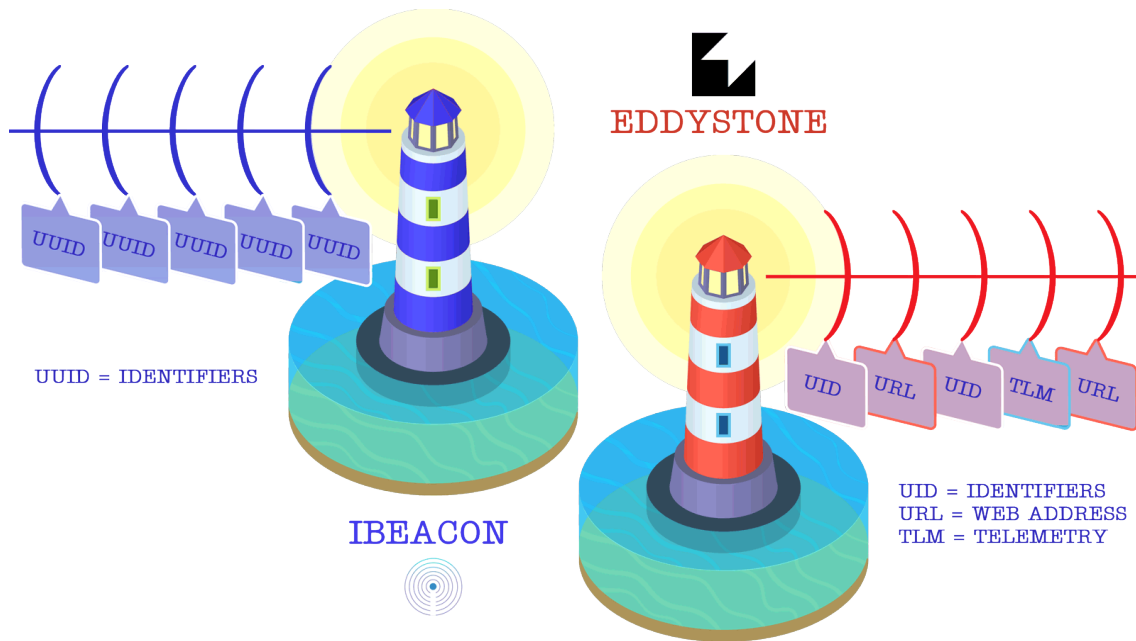
Eddystone on Google'i poolt arendatud avatud lähtekoodiga protokoll, mis on võimeline saatma nelja erinevat andmepaketti: Eddystone-UUID, Eddystone-URL, Eddystone-TLM ja Eddystone-EID [25]. Eddystone protokollide kasutamine võib tulevikus pakkuda arendajatele hulgaliselt lisavõimalusi, kui need seotakse Google'i teiste toodetega nagu näiteks Google Maps või Waze [26]. Google on aktiivselt arendamas Physical Web'i [26], mistõttu on antud lootus autori arvates täiesti asjakohane.

Eddystone-UUID on mõeldud *beacon*'i identifitseerimiseks mobiilirakenduse vahendusel. Erinevalt iBeaconi kolmest osast koosneb Eddystone-UUID kahest osast: 10-baidine *Namespace* ja 6-baidine *Instance* [25].

Eddystone-URL pakett sisaldab vaid ühte välja, veebiaadressi, mille maksimaalne suurus on 17 baidi [25]. Pakettide avastamiseks pole vajalik spetsiaalne rakendus, piisab Physical Web'i valmidusega veebilehitsejast [25]. iOS ja Androidil on selleks Google Chrome ja Androidil lisaks Opera [25].

Eddystone-TLM pakett sisaldub info *beacon*'i tööparameetrite kohta. Statistika temperatuuri, toiteallika pingi, saadetud pakettide arvu ja ärkveloleku aja kohta aitab hõlpsustada keskket haldamist [25].

Eddystone-EID on pakett turvalisuse tõstmiseks, mis aitab vältida kolmanda osapoolte rakendustel ja *beacon*'itel sama sisuga andmepakettide kasutamist – pilvest korrektse vaste leidmisel ajas muutuvale identifikaatorile, tagastatakse rakendusele soovitud andmed [25].



Joonis 5. Eddystone ja iBeacon võimaluste visualiseering. [23]

2.2.3 ZigBee

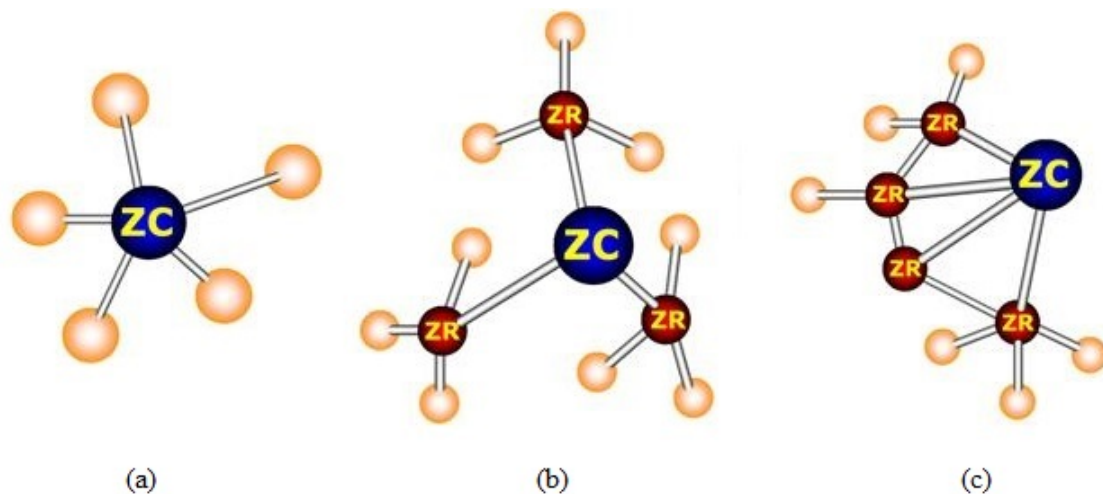
ZigBee on nagu Bluetooth'ki, traadita personaalvõrgu tehnoloogia, mis kasutab 2,4GHz raadiosagedusala [27]. ZigBee töötati välja energiasäästlikuks väiksemahuliste andmete kahe-suunaliseks edastamiseks ning selle arhitektuur põhineb standardil IEEE 802.15.4 [27].

ZigBee võrk koosneb kuni kolmest eri tüüpi seadmest: ZC ehk ZigBee koordinaator, ZR ehk ZigBee ruuter ja ZED ehk ZigBee lõppseade [28]. Võrgu keskseks seadmeks on ZigBee koordinaator, mis omab internetiühendust ja seeläbi ülesanneid tekitada võrk, edastada käsklusi ning pärida infot ühendatud lõppseadmetelt [27]. Lõppseadmed on madala energiatarbega, mis lülituvad võrku lühikeseks ajaks, vahetavad info teiste seadmetega ja ülekande lõppedes lülitatakse madala energiatarbega režiimi [28]. ZigBee võrku on võimalik modifitseerida ZigBee ruuteritega, mis on olemustelt sarnased lõppseadmetega, kuid erinevalt lõppseadmest võimelised suunama sõnumeid naaberseadmetele – võrgu pikendamine [27].

Seadmeid jagatakse funktsionaalsuse alusel piiratud funktsionaalsusega seadmeteks (RFD), milledeks on ZigBee lõppseadmed ja täisfunktsionaalseteks seadmeteks (FFD) ehk ZigBee koordinaatorid ja ZigBee ruuterid [27]. Täisfunktsionaalsed seadmed

vajavad toidet elektrivõrgust, kuid piiratud funktsionaalsusega seadmed on tavaliselt patareitoitel [27].

ZigBee seadmetega on võimalik ehitada kolme erineva arhitektuuriga võrke, mida võrgutehnoloogia topoloogias nimetatakse tähtvõrguks, puuvõrguks ja silmusvõrguks (inglise keeles *mesh*) [27], [28]. Kõige uuem ja töökindlam on silmusvõrk [27]. Joonisel 6 on esitatud ZigBee erinevate võrkude struktuur, kus lühendid tähistavad eelnevalt selgitatud ZigBee seadmeid.



Joonis 6. Tähtvõrk (a), puuvõrk (b), silmusvõrk (c). [28]

2.3 Nutihelkuri kontsept

Nutihelkuri kontsepti infrastruktuur koosneb nutitelefonide rakendusest ja seda toetavatest veebiteenustest, sensorite võrgustikust ning füüsilisel kujul helkurist. Sensorid on vajalikud asukoha määramiseks ja nutirakenduse lisafunktsioonide arendamiseks. Sensorite puhul on oluline hoida maksumus võimalikult väikesena, et süsteemi oleks võimalik viia massidesse. Füüsilisel kujul helkur on vajalik kasutajatele, kes ei kasuta nutitelefonide rakendust, kuid sooviksid saada osa infrastruktuuri pakutavast lisaohutusest. Olgu öeldud, et Nutihelkuri rakenduse kasutamine ei ole mõeldud ja ei vabasta helkuri kandmise kohustusest ning on mõeldud ennetava lisaseadmena.

Nutihelkuri kontsept on esitatud visuaalselt joonisel 7. Numbritega on esitatud ülesanded, mis teatud elementide puhul kattuvad, sest nendes peituv põhimõte on sama. Füüsilise Nutihelkuri põhifunktsiooniks on kasutajast märku andmine infrastruktuurile

(1). Nutihelkuri rakendusele on võimalik omistada sama ülesanne koos teavitusega (1, 3). Infrastruktuur teavituse saanuna sütitab ennetava tegevusena lisamärguande. Lisamärguande on signaaliks sõidukijuhtidele (3), et läheduses on kergliikleja, kes soovib ületada ristmikku või võib ilmuda välja varjatud nähtavusega kohast. Kontseptis teavitab sensor kasutajat lisameetmena (2) ohtlikku kohta olemasolust, mis edastatakse signaalina rakendusele. Kasutaja saab teavituse ohtlikust kohast, kui ta nutitelefoni ekraan on aktiivne ja/või kasutatakse kõrvaklappe (3) – telefoni kasutamise kontrollimisega püütakse mõista kasutaja tähelepanu hajuvust. Lisameetmena edastatud signaal (2) peaks sisaldama andmeid sensori töö kohta, mis aitaksid teostada liiklusintensiivsuse analüüsi. Võimalik on teostada lahendus, kus infrastruktuur on võimeline teavitama autojuhti lisaks teavitustulele ka rakenduse vahendusel.



Joonis 7. Nutihelkuri kontsept.

Liiklusintensiivsuse analüüsiks vajaliku statistika edastamiseks on mitu varianti. Väiksemaid nõudmisi esitab olemasolevale infrastruktuurile sensor, mis on võimeline loendama kergliiklejate saadetud signaale ja edastab statistikana Nutihelkuri rakendusele (2), mis omakorda internetiühenduse olemasolu korral talletab andmed taristuhaldaja serverisse (4). Keerulisem moodus statistika edastamiseks oleks internetiühendusega sensor, mis vastutaks andmete salvestamise eest iseseisvalt. Internetiühendusega sensori pakutavaks lisaboonuseks oleks andmete reaaliajase omamine, mille põhjal oleks võimalik luua lisafunktsionaalsusi.

Kontsepti skeemi on joonistatud infovoog serverist rakendusse (5) uuenduste saamise eesmärkidel – Nutihelkuri ökosüsteemi kasvades ja sensorite lisandudes on vajalik uuendada rakenduse andmebaasi.

Kontsepti kirjelduse põhjal saame leida Nutihelkuri kui intelligentse transpordisüsteemi infovajadused – koht, kellaeg ja kuupäev ning sõltuvalt statistika edastamise meetmest on vajalik numbriline väärtus liiklusintensiivsuse kirjeldamiseks.

Konkreetselt defineeritud kontsepti või analoogset intelligentset transpordisüsteemi oleks võimalik teostada kasutades erinevaid eelpool mainitud tehnoloogiaid. Analüüsime neid rakenduse puhul kasutatud Bluetooth tehnoloogiaga – tõestamaks valitud tehnoloogia sobilikkust ja paremust või lükata see ümber. Erinevateks variantideks on:

1. RFID füüsiline helkur, internetiühendusega RFID sensor, nutitelefonirakendus.
2. ZigBee füüsiline helkur, internetiühendusega ZigBee sensor, nutitelefonirakendus.
3. Bluetooth füüsiline helkur, Bluetooth sensor, nutitelefonirakendus.

3 Prototüübi loomine

3.1 Sobiliku tehnoloogia analüüs

Nutihelkuri kontsepti tekkides omas autor visiooni teostuseks Bluetooth tehnoloogia abil. Kontsepti arendamise käigus tekkis põhjalikum taustainfo ja leiti ka alternatiivseid variante. Vaatleme täpsemalt erinevaid tehnoloogiaid nende puuduste ja eelistega, selgitamaks välja parima võimaliku. Kriteeriumiteks võtame maksumuse, turvalisuse ning tehnoloogilised parameetrid.

3.1.1 Maksumus

Infotehnoloogiliste lahenduste loomine on alati seotud suurte investeeringutega, mistõttu on planeerimise faasis oluline arvestada võimalikke komponente, millega oleks võimalik kulusid optimeerida. Nutihelkuri intelligentse transpordisüsteemi puhul on üheks suurimaks kuluks arvestatud tarkvara loomine, mis on üsna konstantne suurus – igal juhul tuleb luua sard tarkvara (inglise keeles *embedded software*), nutirakendus ja veebiportaal koos toetavate veebiteenustega. Kulusid on võimalik optimeerida, valides võimalikult soodne tehnoloogia intelligentse transpordisüsteemi loomiseks, arvestades nii tellija kui ka tema klientide vajadustega.

Nutihelkuri otsestele kasutajatele, eelnevalt mainitud kui klient, on võimalik süsteemi pakutavad võimalused teha kättesaadavaks lisainvesteeringuteta. Hinnanguliselt on 2018. aastal 90% mobiilsetest seadmetest olemas BLE tugi, mis tähendab nutitelefonide omanikele sobiliku riistvara olemasolu Nutihelkuri rakenduse funktsionaalsuste kasutamiseks [29]. Nutitelefonide levik noorte seas on suur ning Bluetooth tehnoloogia kasutamine aitab katta ühe riskigrupi – lapsed ja noored. Oluline on prognoosida maksumust ka sihtgrupile, kes ei kasuta nutiseadmeid ja kellele on mõeldud füüsiline Nutihelkur. Selle prognoosi koostamiseks võttis autor aluseks masstootmisesse jõudnud Bluetooth *tracker*'ite hinnad internetikaubamajas Amazon, sest oma olemuselt on *tracker*'ite kasutatav elektroonika sarnane – Bluetooth Low Energy. Masstootmises olevate *tracker*'ite hinnad jäävad vahemikku 4-25\$, vastades erineva kvaliteediga riist- ja tarkvarale – hinnang pärineb autori isiklikust kogemusest. Soodsamate toodete hinnad annavad aluse eeldada analoogset maksumust ka füüsilise Nutihelkuri elektroonikale masstootmises.

Nutihelkuri süsteemi tellijatele vajalike sensorite eeldatava maksumuse saame, kui vaatleme *beacon*'ite hindasid. Kontakt.io Tough Beacon konfigureeritavad välikasutusse mõeldud *beacon*'id maksavad kuni 27\$ tükist, sisaldades korralikku tarkvara haldamiseks ja tarkvaraarenduseks [30]. *Beacon*'ite hinnad algavad alates 5 dollarist, mis annab analoogselt füüsilise helkuri puhul, arusaama elektroonika soodsast maksumusest masskoguste puhul [31]. Nutihelkuri sensori disainimise puhul tuleb meeles pidada, et kontseptis esitatud funktsionaalsuste tagamiseks oleks vajalik ka signaalide otsimise võimekus.

Tunduvalt keerulisem on anda hinnang ZigBee helkuri ja sensori maksuvusele, sest ZigBee puhul ei olnud võimalik leida analoogsel rakendusosalal ühtegi müügil olevat toodet. Seetõttu toetume väitele, et Bluetooth Low Energy ja ZigBee tehnoloogiate realiseerimisel samadel eesmärkidel ei ole kulud märkimisväärse erinevusega [32]. Maksumuse analüüsi käigus läbitöötatud materjalidest tuli esile Bluetooth ja ZigBee tehnoloogiaid ühendav BlupZi kiibistik [33], mille abil saaksime jagada ülesandeid erinevate osapoolte vahel – sensoriga suhtlus ZigBee vahendusel, nutitelefoniga Bluetooth vahendusel. Sellisel süsteemil võib olla positiivne mõju töökindlusele ja infrastruktuurile nõuete alandamiseks, mis väljenduks sensori puhul internetiühenduse olemasolust loobumist. Seevastu andmevahetuseks kahe erineva tehnoloogia kasutamine muudaks keerulisemaks süsteemi infrastruktuuri, mistõttu igal Nutihelkuri otsesel kasutajal peab olema füüsiline Nutihelkur.

RFID-tehnoloogial põhinevaid märgiseid on nelja erinevat tüüpi, millest igal on omad head ja vead, kuid suurimaks erinevuseks on tööulatus. Tööulatus on Nutihelkuri puhul kõige olulisem, mistõttu peaksime valima aktiivsed RFID-märgised tööraadiusega kuni 100m. Aktiivsed RFID-märgised maksavad 15-50\$ tükk ning selliste märgiste lugejad 150-1500\$, millega osutub tehnoloogia märkimisväärselt kallimaks kui alternatiivid. Juhul, kui lepiksime tööraadiusega kuni 12m, saaksime kasutada passiivseid märgiseid, mille tükihind on kuni 0.15\$, kuid antud märgiste lugejad maksavad 10000-20000\$, mis ei ole jätkusuutlik sensoritest koosneva süsteemi ehitamiseks [12].

Maksumuse analüüsi läbivaks märksõnaks tekib keerukus ning spetsiifiliste seadmete kõrge hind – kergliiklejatele on võimalik pakkuda teenust ilma lisakoormust tekitamata. Keerukuse loetelu jätkub, kui teostada statistika edastamise funktsioon – sensorid, mis ei suhtle otse rakendusega, vajavad andmete edastamiseks internetiga ühendust. Pääs

interneti seab kõrgemad nõudmised olemasolevale infrastruktuurile sensorite paigaldamiseks, kuid ka sensorite projekteerimisele ja teostusele. Bluetooth andmeside on olemas kõigil nutitelefonidel ning see on ainukeseks tehnoloogiaks, mis võimaldaks ehitada täisfunktsionaalse Nutihelkuri ökosüsteemi ilma internetiühenduseta infrastruktuurile. Keerukuse vältimisega on võimalik optimeerida kulusid.

3.1.2 Turvalisus

Intelligentset transpordisüsteemi ohustavad erinevad turvalisusega seotud kitsaskohad, mis läbi on võimalik mõjutada süsteemi tööd. Kahesuunaliselt suhtlevate Bluetooth ja ZigBee seadmete puhul on võimalik konkreetselt väita, et turvalisus oleneb seadistamisest – autoriseerimisprotsess tuleb põhjalikult läbi mõelda planeerimise ja disainimise faasis [34]. Peituvate ohtude tõsidusest saame aru, kui kirjeldame neid *beacon*'ite põhjal – RFID tehnoloogia puhul peituv oht ühtib kirjeldatavaga [12], [35]. Turvalisusega seotud probleemid peituvad nende seadmete tööpõhimõttes, kus suhtlus toimub vaid ühes suunas.

Beacon'ite puhul on neli erinevat võimalikku tegevust, mis on potentsiaalseks ohuks. Lihtsakoelisemaks kahjustavaks tegevuseks on kaaperdamine, kui selleks vajalikud andmed, paroolid satuvad valedesse kättesse [35]. Kaaperdamine on võimalik ainult tänu sellele, et *beacon*'itele on jäetud suhtluskanal nende tegevuse seadistamiseks ja haldamiseks [35]. Kõige vähem kujutab süsteemile ohtu sensori saadetavate andmete kasutamine kolmanda osapoole rakenduses. Nutihelkuri sensori võrgustiku saadetavaid andmeid omades, on võimalik kolmandal osapoolel luua konkureeriv või halbadel eesmärkidel töötav rakendus [35]. Piisavalt suure sensorivõrgustiku puhul võib selliseks halvaks eesmärgiks olla kasutaja jälgimine sensorite positsioneerimine abil. Nutihelkuri süsteemile tunduvalt halvavam oleks sensori või Nutihelkuri kloonimine [35]. Edukalt kloonitud helkuri või sensoriga on võimalik esile kutsuda valehäireid, paigaldades neid kohtadesse, kus need paiknema ei peaks – meelehärmi tekitav nii otsestele kui kaudsetele kasutajatele. Viimaseks ja kõige vähem tõenäoliseks vastutegevuseks on muukimine – demonteerimine andmeteni jõudmiseks [35].

3.1.3 Tehnilised parameetrid

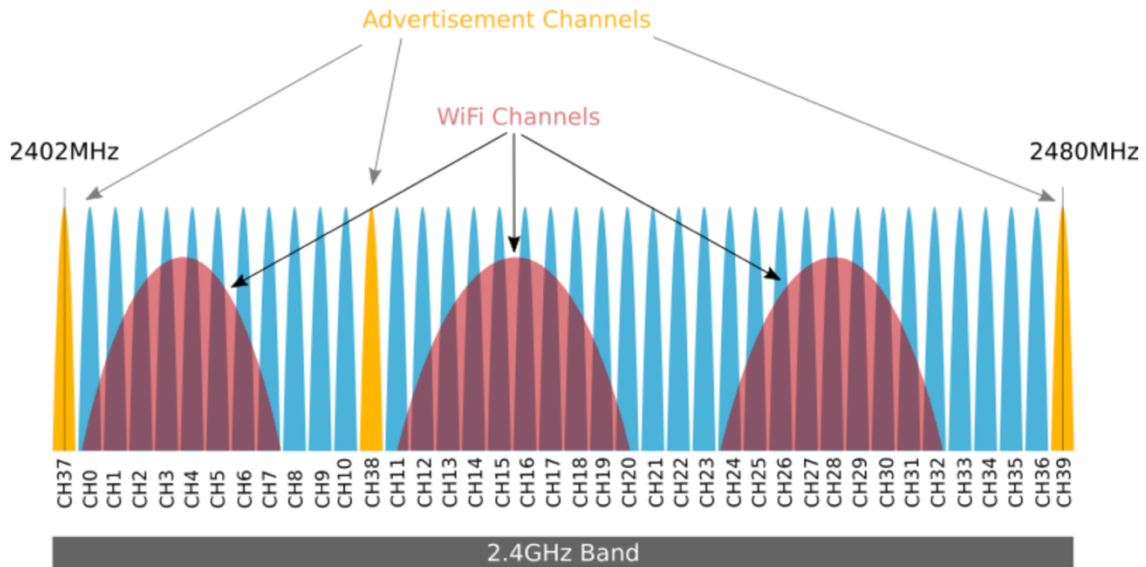
Nutihelkuri ökosüsteemi loomiseks on olulisemad tehnilised parameetrid tööulatus ja töökindlus. Andmeside mahud ja kiirused on väheolulised, kuna süsteemi tööks vajalikud andmed on väiksemahulised – olgu öeldud, et RFID-märgisedki suudavad pakkuda 64kB ruumi andmetele, kui eelnevalt tutvustatud *beacon*'id edastavaid vaid kuni 47 baidi suuruseid andmepakette [36].

RFID-märgiste võimalikud tööulatused on välja toodud joonisel 1, pakkudes maksimaalseks tööulatuseks 100m. ZigBee ja Bluetooth Low Energy'ga konkureerivat tehnoloogiat arendav ettevõtte LinkLabs pakub nende arvutuslikuks tööulatusteks vastavalt 291 ja 77 meetrit [37]. Arvestades jalakäija keskmiseks kiiruseks 1,4m/s ja jalgratturi kiiruse kolm korda suurema, siis tuvastamiseks piisavat kaugust ideaaloludes pakuvad kõik kolm tehnoloogiat. Seetõttu on tööulatuse kõrval samaoluline parameeter töökindlus.

RFID-seadmete töökindlust on võimalik väga hästi mõõta täpsusega. RFID-tehnoloogial põhinevast füüsilisest helkurist võiks oodata veatut täpsust. Lugejad on olenevalt kasutatavast märgisest võimelised tuvastama sekundi jooksul 1000 märgist ilma vigadeta [12].

ZigBee ja Bluetooth tehnoloogiat ühendab ühine murekoht, mis seostub töökindlusega - interferents [38], [39]. Seoses kasvava seadmete arvuga, mis kasutavad sama ultrakõrgsagedusala, suureneb tõenäosus, mil kahe raadiolaine liitumisel saadakse uus laine. Interferentsi tõttu tekivad andmekaod, mis Nutihelkuri süsteemi puhul võib saada problemaatiliseks [40].

BLE kasutada on 40 2.0MHz laiust kanalit, millest 37 on andmete vahetamiseks ja 3 andmeside loomiseks [39]. Need kolm kanalit on valitud selliselt, et vältida ühtimist Wi-Fi võrkude kasutatavate kanalitega, mida on võimalik näha jooniselt 8 [39]. Tänu andmeside loomiseks mõeldud kanalite kasutamisele, maandavad BLE *beacon*'id interferentsiga seotud probleemide tekkimise riski [39]. ZigBee ja teiste Bluetooth seadmete puhul jääb probleem siiski alles [38], [39].



Joonis 8. Beacon'ite interferentsi vältimine Wi-Fi võrkudest. [39]

Töökindluse puhul võiks tarvilik olla mainida maksimaalsete seadmete arvu ühes võrgus. ZigBee silmusvõrk on võimeline ühendama kuni 65 000 seadet, kuid Bluetooth Classic *piconet* võib maksimaalselt koosneda 8 seadmest [41]. Bluetooth 4.0 spetsifikatsioon ei sea enam limiite BLE seadmete *piconet*'i alluvseadmete arvule, kuid praktilise limiidi seavad kasutatavad seadmed ning rakendused [42]. Nii on näiteks Bluetooth Low Energy tehnoloogiat kasutavaid Tile *tracker*'eid võimalik ühendada Android nutitelefoniga 4 tükki ja iOS seadmetega 8 tükki [43]. *Beacon*'ite kasutamisega likvideerime tõstatatud maksimaalsete seadmete arvu piirangu, sest ühesuunalise andmevooga ühendamist ei toimu [19].

Intelligentsete transpordisüsteemide arendamiseks on antud soovitus vältida sensoreid, mis on Bluetooth *ad hoc* võrgus – Bluetooth on väga sõltuv keskkonnast, mistõttu ei peeta seda piisavalt usaldusväärseks andmete kogumiseks ja edastamiseks [8]. Bluetooth *beacon*'id edastavad intervallidena väikseid andmepakette, mistõttu puudub aktiivne ja kahesuunaline suhtlus ja hoidume *ad hoc* võrgu kasutamisest.

3.2 Sobiliku tehnoloogia valik

Bluetooth'i praegust levikut, tulevikuprognose, elektroonika maksumust ja tehnilisi võimalusi arvestades, eeldame just selle tehnoloogia abil saavutada kõige optimaalsema kulu Nutihelkuri täisfunktsionaalse süsteemi loomiseks nii tellijatele kui ka kasutajatele.

Bluetooth'i tehnoloogilised võimalused lubavad ehitada süsteemi ühele andmesidetehnoloogiale baseeruvaks ja esitada väiksemaid nõudmisi sensori disainile – RFID ja ZigBee kasutamise puhul tekib paratamatult küsimus internetiühenduse vajalikkuse kohta. Seetõttu on autori arvamus, et ZigBee või RFID kasutamine oleks otstarbeks juhul, kui realiseeritavaks osutuks ainult füüsilisel kujul helkur ilma rakenduseeta ja nende tehnoloogiate eelised kaaluksid üles Bluetooth tehnoloogia puudused. Seega jätkub kontsepti edasine arendamine kasutades Bluetooth Low Energy *beacon*'eid, mis aitavad likvideerida tavapärase Bluetooth'iga seotud probleeme ja puuduseid.

Beacon'ite kasutamise vastu räägivad enim turvalisusega seotud probleemid. Sellistel kaalutlustel on Google loonud Eddystone-EID protokoll, millega on võimalik saavutada märkimisväärne kaitse väärkasutamiste vastu. Turvalisuse tõstmiseks on soovituslik kasutada Eddystone-EID protokoll või luua selle analoog – räsifunktsioon, mis töötab autonoomselt telefoni rakenduses ning vajadusel ka sensoris. Vajadus tuleb välja selgitada vastavalt kliendi nägemusele, sest turvalisusele võib osutada kasulikuks seada prioriteete. Kloonitud sensor vales kohas tekitab valehäireid, kuid kloonitud helkur õiges kohas genereerib tõenäolisemalt korrektseid märguandeid. Lisaks ei ole keeruline statistikat edastavasse süsteemi ehitada kloonitud helkurite avastamiseks kaitsemehhanismi - MAC aadressi viibimise aeg sensori tööraadiuses.

3.3 Kasutusjuhud

Defineerime lõputöö raames realiseeritava Android rakenduse Nutihelkuri põhifunktsionaalsuse kasutusjuhud, mis sisaldavad endas Nutihelkurit toetavaid sensoreid. Tegu on visiooniga, kuidas antud süsteem praktikas üheskoos peaks töötama. Füüsilise Nutihelkuri puhul on toimingud sarnased, kuid puudub teavituste edastamine helkuri kasutajale ja statistika kogumine ning edastamine.

3.3.1 Kergliiklejast sõidukijuhile teavitamine

Osapooled ja nende huvid:

- kergliikleja – liiklusohutlikke olukordade ennetamine
- sõidukijuht – liiklusohutlikke olukordade vältimine

Käivitav sündmus: Nutihelkuri rakenduse saadetakse teavitada tuvastatakse sensori poolt.

Eeltingimused: Kergliikleja Nutihelkuri rakendus on aktiivne ja asub sensori tööulatuses.

Stsenaarium:

1. Nutihelkuri rakendus töötab või hakkab tööle kergliikleja liikuma hakates.
2. Kergliikleja siseneb Nutihelkuri rakenduse kasutatava sensori tööraadiusesse.
3. Sensor avastab kergliikleja Nutihelkuri rakenduse edastatud teavituse ja sütitab ohtlikkus kohas lisamärguande sõidukijuhil teavitamiseks nõrgema osapoole olemasolust läheduses.
4. Nutihelkuri rakendus avastab sensori kui potentsiaalse ohtlikku koha ja käivitab kasutusjuhu "Kergliikleja teavitamine ohtlikkus kohast".
5. Käivitatakse kasutusjuht "Statistika edastamine".
6. Kergliikleja väljumisel sensori tööraadiusest kustutatakse lisamärguanne ja lõpetatakse kasutusjuht "Statistika edastamine".

Laiendused (või alternatiivne sündmuste käik):

3a. Sensor avastab kergliikleja, sütitab ohtlikkus kohas lisamärguande ja saadab teavituse sõidukijuhil nutitelefonil nõrgema osapoole olemasolust läheduses.

3.3.2 Kergliikleja teavitamine ohtlikust kohast

Osapooled:

- kergliikleja – liiklusohutuse olukordade vältimine

Käivitav sündmus: ohtlikust kohast teavitava sensori signaal on kinni püütud Nutihelkuri rakenduse poolt.

Eeltingimused: Kergliikleja Nutihelkuri rakendus on aktiivne ja asub sensori tööulatuses. Nutihelkuri rakendus on tuvastanud telefonikasutamise tähelepanu hajutava võimaluse.

Stsenaarium:

1. Nutihelkuri rakendus töötab või hakkab tööle kergliikleja liikuma hakates.

2. Kergliikleja siseneb Nutihelkuri rakenduse kasutatava sensori tööraadiusesse.
3. Nutihelkuri rakendust kasutava telefoni ekraan on aktiivne ja/või on ühendatud kõrvaklapid.
4. Nutihelkuri rakendus tuvastab ohtlikkust kohast teavitava sensori teadetise.
5. Nutihelkuri rakendus teavitab nutitelefoni kasutajat helimärguandega ohtlikkust kohast.
6. Käivitatakse kasutusjuht "Statistika edastamine".
7. Kergliikleja väljumisel sensori tööraadiusest lõpetatakse kasutusjuht "Statistika edastamine".

3.3.3 Statistika edastamine

Osapooled:

- kergliikleja – statistika kogumine sensoritelt ja selle edastamine taristuhaldajatele rakenduse vahendusel.
- taristuhaldajad – statistika kogumine ja analüüsimine.

Käivitav sündmus: Kergliikleja Nutihelkuri rakendus on aktiivne, asub sensori tööulatuses ning avastatakse statistika sisuga andmepakett.

Eeltingimused: Nutihelkuri rakenduse väljastav teadetus on sensori poolt avastatud.

Stsenaarium:

1. Nutihelkuri rakendus töötab või hakkab tööle kergliikleja liikuma hakates.
2. Kergliikleja siseneb Nutihelkuri rakenduse kasutatava sensori tööraadiusesse.
3. Sensor avastab kergliikleja Nutihelkuri rakenduse edastatud teavituse, sensor hakkab edestama teavitust, milles sisaldub statistika sensori tööst.
4. Nutihelkuri rakendus tuvastab ja salvestab statistikalise sisuga teavituse.
5. Internetiühenduse olemasolul edastatakse kogutud statistika veebiteenuse abil taristuhaldajate serverisse.

Laiendused (või alternatiivne sündmuste käik):

- 4a Nutihelkuri rakendus ei avasta statistilise sisuga teavitust.

5b Nutihelkuri rakendus on võimeline iseseisvalt saatma logi serverisse, mis on koostatud konkreetse kasutaja Nutihelkuri rakenduse tuvastatud ohtlike kohtade teavituste baasil.

4 Nutihelkuri realisatsioon

Realisatsiooni eesmärk oli luua rakendus, mis vastaks kirjeldatud põhifunktsioonide kasutusjuhtudele. Skoopi vähendati kasutusjuhu "Statistika edastamine" raames kuni punktini 4.

4.1 Kasutatud töövahendid

Nutihelkuri rakenduse arendamiseks kasutati erinevat riist- ja tarkvara. Rakendus arendati Android 6.0.1 operatsioonisüsteemiga Samsung Galaxy Note 4-le ja arendatud funktsioonide testimiseks oli kasutusel sama operatsioonisüsteemiga ja rakendusega Beacon Scanner & Transmitter varustatud Sony Ericsson Z3. Rakenduse integreeritud arenduskeskkonnaks oli Android Studio 2.3.1 ning märkimisväärseks abiks oli teegid Android Beacon Library 2.9.2 ja Realm for Java 3.1.4.

Rakenduse arendamise algusfaasi keerulisemaks ülesandeks oli leida sobilikud töövahendid. Arendamine algas erinevate *beacon* signaalide skanner ja emitter Android rakenduste testimisega, milles käigus selgus nende erinev koostöökvaliteet. *Beacon*'ite protokollid, mida eelnevalt tutvustasime, on erinevate tootjate poolt küll standardiseeritud, kuid erinevad rakendused klassifitseerivad neid valesti või halvimal juhul ei tuvasta üldse signaale – selgusid esimesed probleemid, mis arendamise käigus võivad avalduda. Testseadme rakenduseks sai valitud rakendus Beacon Scanner & Transmitter, mis osutus ainsaks emitteri funktsionaalsust toetavaks ja ka töötavaks rakenduseks konkreetse telefonil. Antud rakendus on arendatud kasutades sama teeki, mida kasutati Nutihelkuri rakenduse loomiseks.

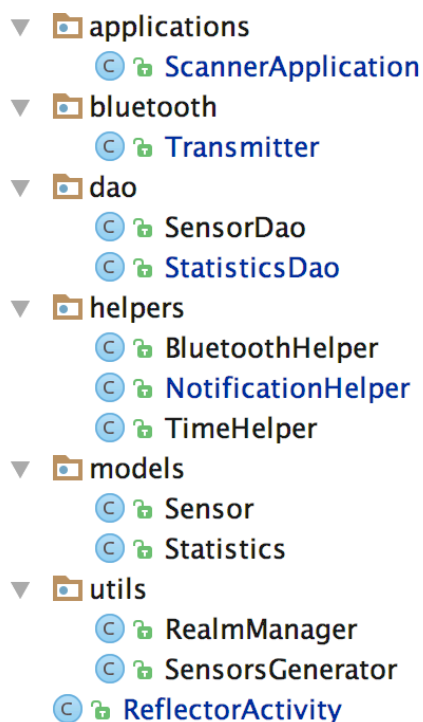
Android Beacon Library on enimkasutatud teek *beacon*'eid toetavate Android rakenduste loomisel, mis on loodud ettevõtte Radius Network poolt – AltBeacon standardi arendajad [44]. Eksisteerib teisigi Android teeke, mida oleks võimalik kasutada emitter ja skanner funktsioonide realiseerimiseks, kuid Nutihelkuri rakenduse loomisesks pakub mõlemat põhifunktsiooni korraga Android Beacon Library [44]. Teegi abil loodavateks põhifunktsionaalsusteks on *beacon*'ite avastamine (alates Android 4.3+) ja *beacon*'ite imiteerimine (alates Android 5.0+). Toetatud on enimlevinud *beacon*'ite protokollid, kuid vaikimisi on seadistatud teek töötama AltBeacon protokolliga [44].

Algeks realisatsiooni eesmärgiks oli luua Eddystone protokolle kasutatav rakendus. Loodava rakenduse funktsioone oli vajalik testida kahes suunas ehk kontrollima pidi rakenduse Eddystone signaale otsimist ja edastamist. Testseadme puhul õnnestus edastamise funktsiooni tööle saada ainult Beacon Scanner & Transmitter rakendusega, mis kasutas edastamiseks vaid AltBeacon'i formaadis andmepakette – rakendus tuli luua AltBeacon standardile vastav.

Andmete salvestamiseks kasutati Realm for Java 3.1.4 ehk tootenimega Realm Mobile Database'i, mis on tõsiseltvõetavaks konkurendiks SQLite'ile, pakkudes lihtsamat arendamist ning parimat töökiirust [45].

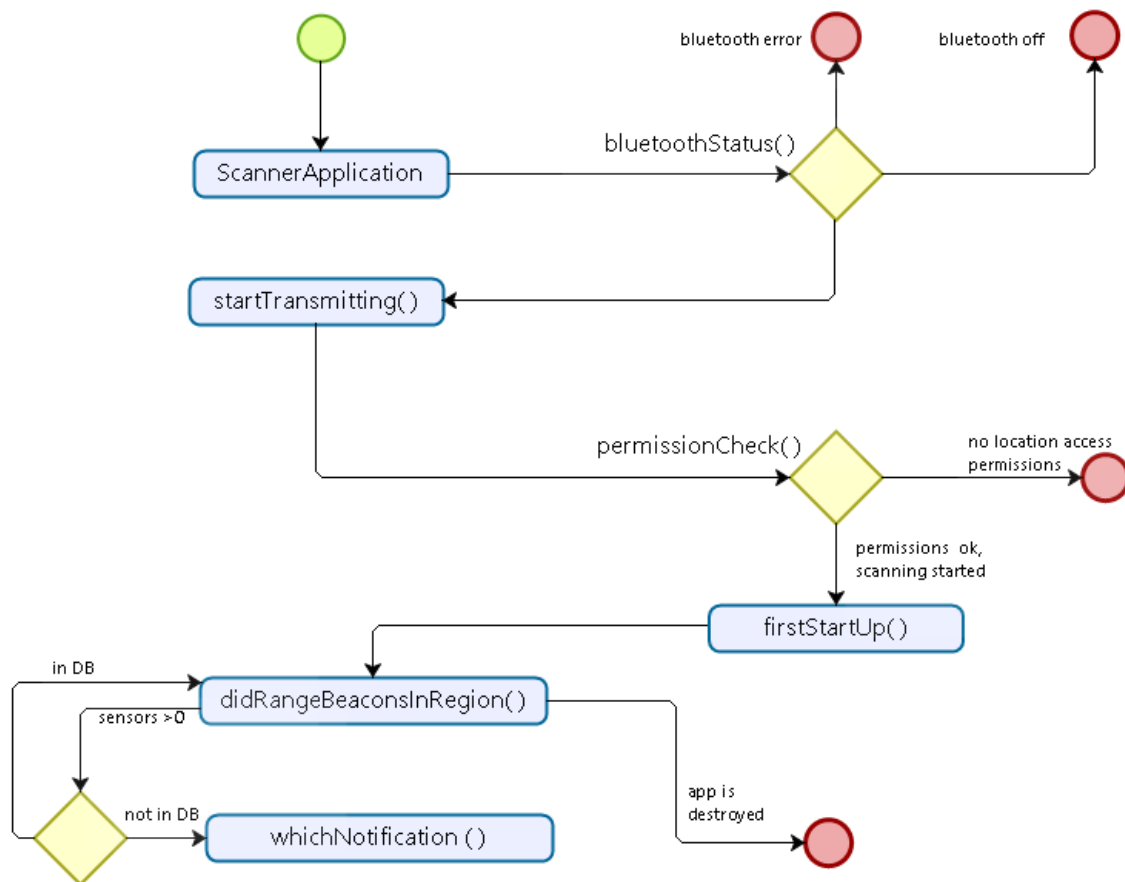
4.2 Tööloogika

Nutihelkuri rakenduse tööloogika loomisel olid abiks analoogsete funktsioonidega vabavaraliselt arendatud rakenduste lähtekoodid, mis olid saadaval GitHub'is – omamata varajasemat kokkupuudet, oli tarvilik mõista üldist rakenduste ülesehitust. Tutvutud koodidele on viidatud Nutihelkuri rakenduse lähtekoodis. Loodud rakenduse struktuuriline ülesehitus on näha joonisel 9.



Joonis 9. Nutihelkuri rakenduse ehitus struktuuriliselt.

Nutihelkuri rakenduse põhifunktsioonid realiseeriti klassis ScannerApplication, mis võimaldab nende toimimist tagataustal - Nutihelkuri rakendus peab olema võimeline signaalide edastamiseks ja püüdmiseks ka siis, kui rakendus ei ole avatud. Koodi selguse ja loetavuse huvides on Realm andmebaasi päringud klassides SensorDao ja StatisticsDao ning samal eesmärgil on paketti "helpers" loodud klass NotificationHelper. BluetoothHelper ja TimeHelper vajavad ligipääsu mitmetest klassidest, seetõttu on nende eksistents antud paketi rohkem õigustatud. Rakenduse töö on kirjeldatud joonisega 10.



Joonis 10. Lihtsustatud skeem rakendusest.

Rakenduse töö algab Bluetooth kontrolliga, mida kontrollib meetod bluetoothStatus(). Kui Bluetooth ei ole rakendatud, siis rakendus sulgetakse ja tuleb Bluetooth'i sisselülitamisel uuesti käivitada. Bluetoothi olemasolul võib aga tekkida viga – seade ei toeta skanneerimist või edastamist. Veahalduseks on loodud meetod bleCompatibility(int), mis tõlgib Android Beacon Library checkTransmissionSupported() tagastatud väärtuse tekstilise sisuga teabeks kasutajale.

Eelneva edukal läbimisel rakendatakse meetodit `startTransmitting()`, mis hakkab edastama AltBeacon standardile vastavat andmepakette. Andmepaketid tuleb enne eetrisse saatmist väärtustada, millest antud rakenduse puhul on olulisem esimene identifikaator – meenutame, et neid on kokku kolm, sest AltBeacon on iBeacon'i analoog. Nutihelkuri rakenduse puhul on esimene identifikaator deklareeritud väärtusega "6fb0e0e9-2ae6-49d3-bba3-3cb7698c77e2". Heaks tavaks peetakse, kui esimene identifikaator on unikaalne ja seostatav kindla organisatsiooniga [46]. Signaalide edastamine võib esile kutsuda Bluetooth'i olemasolu ning puuduliku riistvaraga seotud probleeme ja nende haldamine on lahendatud samade meetoditega nagu meetodis `bluetoothStatus()`.

Enne skanneerimise funktsionaalsuse käivitamist on vaja kasutajalt küsida luba asukoha määramiseks. Rakendus arendati Android 6.0.1 operatsioonisüsteemiga telefonile ning alates sellest operatsioonisüsteemist on sellise päringu esitamine kohustuslik[47]. Selle realiseerimiseks on loodud meetod `permissionCheck()`, mille edukal läbimisel on voli hakata rakenduse vahendusel tuvastama *beacon*'ite saadetavad andmepakette. Enne nõusoleku saamist skanneerimine võimalik ei ole.

Nutihelkuri rakenduse ülesanne on saata teavitusi kasutajatele liiklusohtlikest asukohtadest, kuid liigutatavad andmed ei eksisteeri just kasutajale arusaadavas keeles. Seetõttu on vajalik salvestada Nutihelkuri ökosüsteemi sensorid rakenduse andmebaasi. Andmebaasi salvestatakse defineeritud sensorid kolme väärtusega: esimene identifikaator, teine identifikaator ja teisele identifikaatorile vastav tekstiline väärtus ehk asukoha nimetus. Kolmandat identifikaatorit ei salvestata, see täidab sensori statistika edastamise funktsiooni. AltBeaconi teine ja kolmas identifikaator saab olla maksimaalselt 2-baidine arv väärtus ehk maksimaalselt 65355 – autori otsusena määrati sensori saadetava signaali teine identifikaator sensori asukoha määramiseks. Algse realisatsiooni käigus oli asukoha määramiseks esimene identifikaator, kuid teadmiste täienedes osutus õigemaks ja paremaks variandiks selleks kasutada teist identifikaatorit. Nutihelkuri sensorite identifikaatorite ja asukohtade testandmete Realm andmebaasi salvestamiseks on meetod `firstStartUp()`. Testandmed on vaja salvestada vaid üks kord ja seda tehakse liidese `SharedPreferences` abil, mis kontrollib, kas rakendust on varem avatud.

Nutihelkuri rakenduse teise põhifunktsiooni töö, mis on kujutatud joonisel 11, algab meetodis `didRangeBeaconsInRegion()`, pärinedes `Android Beacon Library`'st. See meetod kutsutakse välja kord sekundi jooksul, saades sisenditeks avastatud *beacon*'ite loendi regiooni kohta. `Android Beacon Library`'s on regioon defineeritud `AltBeacon`i identifikaatoritega, mis võimaldab rakenduse panna otsima konkreetsele või konkreetsetele identifikaatoritele vastavaid *beacon*'eid. Antud võimaluse avastamine tingiski esmase realisatsiooni muutmise, mille järgselt kohandati regiooniks esimene identifikaator. Nii on sensori edastatav signaal vastavuses hea tavaga ning muutus kergemaks kord sekundis siseneva infovoe töötlemine. Lisaks on täpse regiooni defineerimisega välistatud võimalus, et avstatakse Nutihelkuri ökosüsteemi mittekuuluva sensori signaal ja tekkis võimalus loobuda ühest mahukast andmebaasi päringust – sensori kuuluvus antud süsteemi. Algselt osutus keeruliseks ka kontrolli realiseerimine teavituste saatmiseks ja statistika kogumiseks, sest kasutajatele ei ole vajalik saata teavitusi kord sekundis ega ka statistikat niisama tihti salvestada. Keerulisele probleemile leidis lihtne lahendus, kui aja arvestamiseks kasutusele võtta möödunud millisekundid aastast 1970, mida võimaldab meetod `System.currentTimeMillis()`. Andmebaasi uue kirje lisamiseks ja teavituse saatmise tingimuseks on seatud vähemalt 120-sekundiline erinevus võrreldes viimase andmebaasi salvestatud statistikaga konkreetse sensori kohta. 120-sekundiline ajaline määrand on hinnanguline, kuid määratava aja jooksul peaks kasutaja olema Nutihelkuri sensori tööraadiusest väljunud, et vältida korduvate teavituste saamist. Funktsionaalsete nõuete hulgas oli eesmärk kontrollida kasutaja hajuvust, mida tehakse meetodi `whichNotification()` abil – meetod kontrollib 3,5mm audioväljundi ja ekraani aktiivsust. Kui avastatakse hajuvus, 3,5mm audioväljund on kasutuses ja/või ekraan aktiivne, siis saadetakse kasutajale teavitus koos heliga.

Rakenduse terviklik lähtekood asub aadressil <https://github.com/rMobDeA/Nutihelkur>.

```

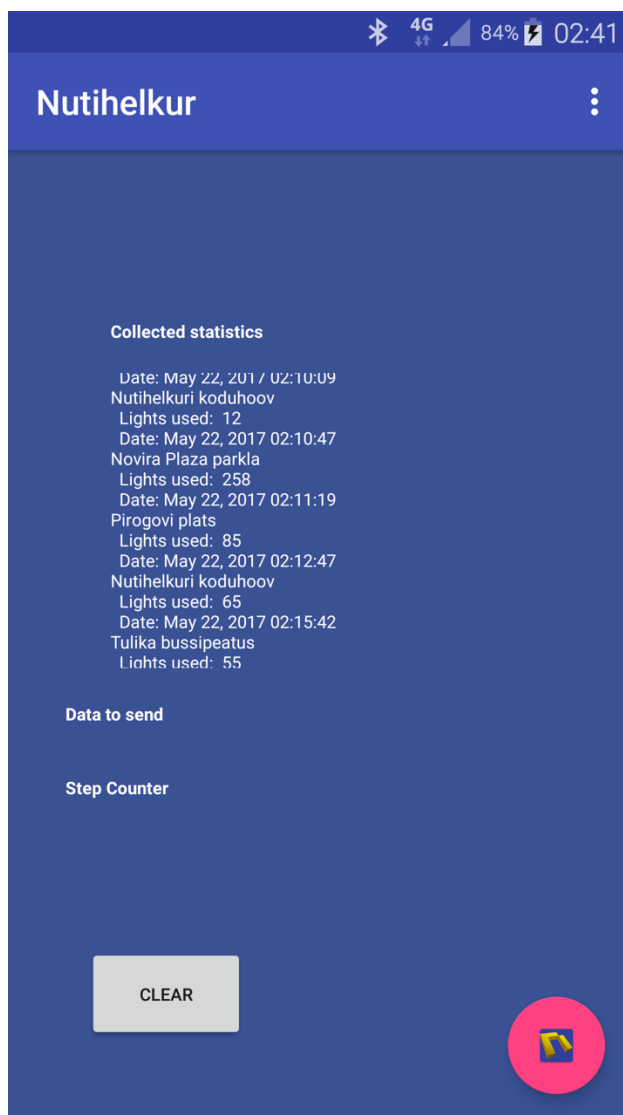
public void didRangeBeaconsInRegion(Collection<Beacon> sensors, Region region) {
    RealmManager.open();
    if (sensors.size() > 0) {
        for (Beacon sensor : sensors) {
            int sensorLocationId = sensor.getId2().toInt();
            long locatingTime = TimeHelper.getTime();
            if (RealmManager.createStatisticsDao().notInDatabase(
                sensorLocationId, locatingTime)) {
                //getCoordinates();
                String beaconLocation = RealmManager.createSensorDao().
                    getSensorLocation(sensorLocationId);
                int usageCount = sensor.getId3().toInt();
                RealmManager.createStatisticsDao().writeToDatabase(
                    beaconLocation,
                    sensorLocationId,
                    locatingTime,
                    usageCount);
                whichNotification(beaconLocation);
            } else {
                Log.d(TAG, "SENSOR ALREADY IN DATABASE!");
            }
        }
    }
}
}
}
}

```

Joonis 11. Avastatud Nutihelkuri sensorite töötlemine.

4.3 Rakenduse kasutajaliides

Nutihelkuri prototüübi kasutajaliides on prototüübi tasemel vaid testimise eesmärkidel. Rakenduse seadistamiseks puuduks vajadus ka tulevasel kasutajal. Tarvilik oleks kasutajaliides täita võimalustega, mis köidaksid rakendust kasutama ka muudel eesmärkidel peale liiklusohutuse suurendamisele, milleks võiks näiteks olla bussiaegade kuvamine. Joonisel 12 paremal all olev nupp on kogutud statistika värskendamiseks.



Joonis 12. Nutihelkuri rakenduse prototüübi kasutajaliides.

5 Tulemused ja järeldused tehtud tööst

Lõputöö eesmärgiks oli välja töötada Nutihelkuri kui intelligentse transpordisüsteemi kontsept ning realiseerida selle ühe komponendi, Android rakenduse, prototüüp. Katsetame prototüübi sobivust intelligentssesse transpordisüsteemi, mille põhjal proovime saada kirjeldusliku tulemuse töökindlusest ning võimekusest – kui hästi toimub sensorite ja Nutihelkuri rakenduse edastavate signaalide avastamine.

5.1 Prototüübi katsetamine

Nutihelkuri rakenduse testimine viidi läbi juhuslikel tingimustel, et säilitada võimalikult reaalsusele vastavad olud – antenni suund määrab olulisel määral süsteemi tööulatuse, mida võime järeldada varem läbiviidud testide põhjal [48]. Katsed on jagatud kahte gruppi, sensori avastamine ja Nutihelkuri avastamine, mis on vajalik baasfunktsionaalsuste testimiseks.

Juhuslikusele aitas kaasa ka erineva riist- ja tarkvara kasutamine. Mobiiltelefonide tootjad kasutavad erinevaid kiibistikke, milledes kajastub nende erinev töövõime. Seetõttu oli katseseadme Sony Ericsson Z3 ülesanne imiteerida sensori tegevust rakenduse Beacon Scanner & Transmitter abil ja Nutihelkuri rakendus töötas seadmes Samsung Galaxy Note 4.

Nutihelkuri rakenduse toimivuse kontrolliks sooritati katseid samas keskkonnas eraldi mõlemale baasfunktsioonile. Katsetuste eesmärk oli saada visuaalne ettekujutus Nutihelkuri rakenduse toimivusest erinevates oludes. Visuaalse ettekujutuse saamiseks on katsetustes joonised ja pildid, mis kirjeldavad tulemusi ja olustikku. Teatud katsete puhul on püütud aimu anda numbriliselt, kuid nende hankimise mood oli kaheldava matemaatilise statistika saamise väärtusega. Numbritesse tuleb suhtuda kui katset illustreerivasse elementi, mõõdetavate andmete hankimine ei ole eesmärgiks. Tulemus on esitatud sõnaliselt ja selle väärtuslikumaks osaks on hinnang – kuidas saab Nutihelkuri rakendus hakkama erinevates stsenaariumites.

5.1.1 Rakenduse toimivus ideaaloludes

Katse iseloomustus: ideaaltingimustes statsionaarselt paikneva sensori signaali avastamine ja sensorile signaali saatmise testimine liikumiselt. Ideaalolud on selgitatud joonisel 13.

Hüpotees: signaalide avastamine töötab korrektselt kuni hinnangulise 45 meetri kauguselt.

Sooritatud katsed: 4 katset, mis hõlmasid 2 korda sensori saadetava signaali avastamist ja 2 Nutihelkuri rakenduse saadetava signaali avastamist.

Katse tulemus: GPS koordinaatidega määratud sensori statsionaarse asukoha ja Nutihelkuri signaali saatnud nutitelefoni asukoha vahemaa arvutamine andis maksimaalseks vahemaaks 67m. Katsete korduv läbiviimine näitas, et Nutihelkuri rakenduse saadetav signaal avastatakse sensori poolt varem, kui sensori saadetav signaal Nutihelkuri rakenduse poolt. Sellist tulemust on võimalik põhjendada erineva riistvara ja tarkvara kasutamisega. Sensorit imiteeriv tarkvara on küll vabavaraline, kuid Google Play'st allalaetuna ei ole võimalik kindlaks teha täpseid seadistusi, mis võimsusga signaale edastatakse. Ideaaltingimustes on Nutihelkuri rakendus võimeline täitma seatud eesmärki.



Joonis 13. Ideaalolu, pikk sirge ilma takistusteta.

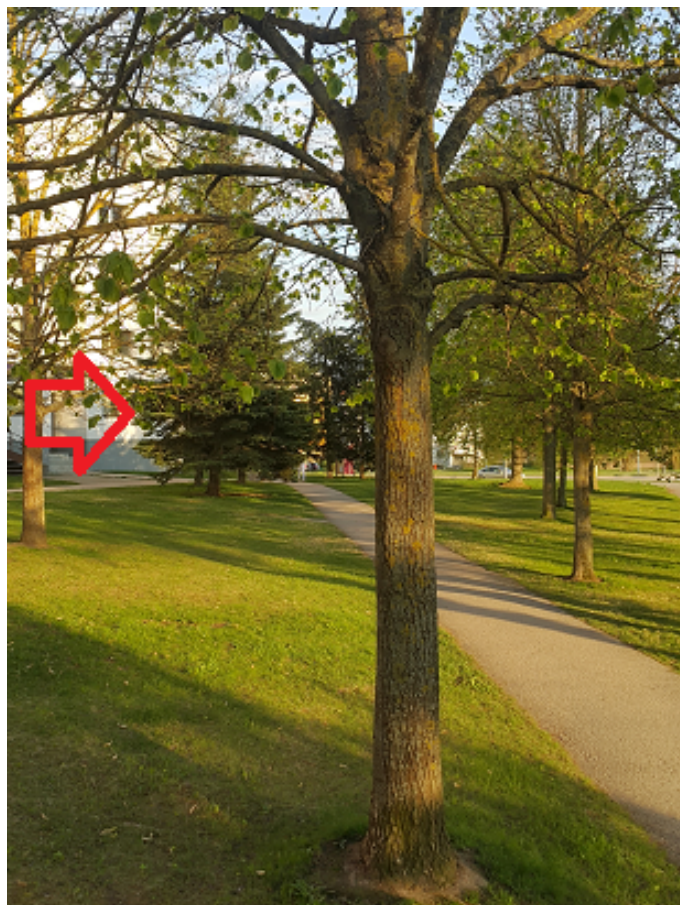
5.1.2 Rakenduse toimivus piiratud nähtavusega kohas

Katse iseloomustus: piiratud nähtavusega kohas statsionaarselt paikneva sensori signaali avastamine ja sensorile signaali saatmise testimine liikumiselt. Olustik on näha joonisel 14, kus punase noolega on viidatud puudele, mille varjus olles loodi piiratud nähtavuse tingimused.

Hüpotees: tööulatus on märkimisväärselt vähenenud võrreldes katsega 5.1.1.

Sooritatud katsed: 4 katset, mis hõlmasid 2 korda sensori saadetava signaali avastamist ja 2 Nutihelkuri rakenduse saadetava signaali avastamist.

Katse tulemus: GPS koordinaatidega määratud sensori statsionaarse asukoha ja Nutihelkuri signaali saatnud nutitelefoni asukoha vahemaa arvutamine andis maksmalaseks vahemaks 29m. Katsete tulemused olid üsna varieeruvad, sõltudes arvatavasti enim Nutihelkuri rakendusega telefoni liikumistrajektoorist.



Joonis 14. Piiratud nähtavust imiteerivad olud.

5.1.3 Rakenduse toimivus eritasapinnalisel ja piiratud nähtavusega kohas

Katse iseloomustus: piiratud nähtavusega ja ligikaudu 1m võrra madalamale tasapinnale statsionaarselt paigaldatud sensori signaali avastamine ja sensorile signaali saatmise testimine liikumiselt. Tingimused on näha joonisel 15, kus taimestik on piiravat nähtavust tekitavaks elemendiks ja maapind tekitab kõrguste erinevuse. Sinine nool näitab maksimaalset distantsi, mil sensor avastati. Punane nool esitab sensori asukohta, mis on korrektselt pildil (a).

Hüpotees: tööulatus on vähenenud võrreldes katsega 5.1.2, kuid mitte oluliselt.

Sooritatud katsed: 4 katset, mis hõlmasid 2 korda sensori saadetava signaali avastamist ja 2 Nutihelkuri rakenduse saadetava signaali avastamist.

Katse tulemus: signaalide avastamine mõlema seadme puhul oli vahemaadelt vähenenud hinnanguliselt 3 korda võrreldes katsega 5.1.2. Signaalide avastamine leidis mõlemal juhul aset alles otsese visuaali tekkides. Liikudes mööduti piiravat nähtavust tekitavast takistusest, vähenes ka kõrguste erinevus. Katsest võime järeldada, et on väga oluline paigalda sensor korrektsele asukohale ja õigele kõrgusele, arvestades kergliikleja võimalik trajektoori. Katse vajab kindlasti täpsemat läbiviimist selleks kohandatud sensoriga.



(a)



(b)

Joonis 15. Vaade sensorilt jalakäija suunas (a) ja kergliikleja liikumise suunas (b).

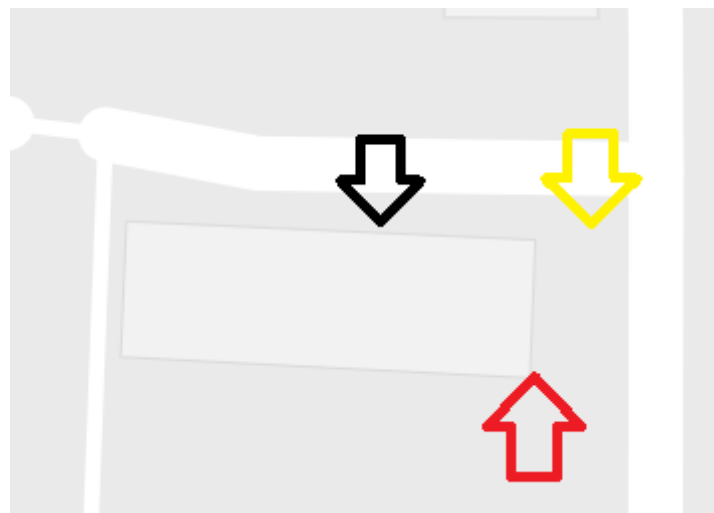
5.1.4 Rakenduse toimivus otsese visuaali puudumisel

Katse iseloomustus: varjatult ning statsionaarselt paigaldatud sensori signaali avastamine ja sensorile signaali saatmise testimine liikumiselt. Katset selgitab joonis 16, kus punane on sensori asukoht, must Nutihelkuriga varustatud telefoni algasukoht ja kollane asukoht, kust alates oli võimalik signaale leida ning teavitusi edastada.

Hüpotees: signaale on võimalik avastada enne otsese visuaali tekkimist.

Sooritatud katsed: 4 katset, mis hõlmasid 2 korda sensori saadetava signaali avastamist ja 2 Nutihelkuri rakenduse saadetava signaali avastamist.

Katse tulemus: signaale ei avastatud ennem, kui seadmete vahel oli olemas otsene visuaal. Katsest järeldatuna võib osutada teatud kohtades vajalikuks mitme sensori kasutamine ühel asukohal.



Joonis 16. Otsese visuaali puudumine.

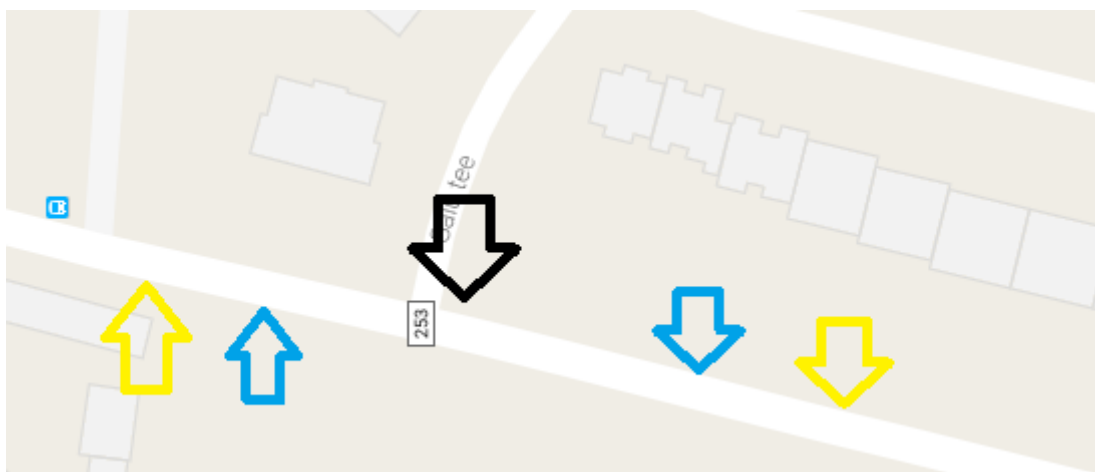
5.1.5 Signaalide avastamise katsed liikuva sõidukiga

Katse iseloomustus: statsionaarselt paikneva sensori signaalide avastamine liikuvast sõidukist ja Nutihelkuri rakenduse signaalide otsimine liikuvast sõidukist. Sõiduki kiirus 30km/h ja 50km/h, aknad suletud ja Nutihelkuri rakendusega telefon paigaldatud armatuurile vertikaalselt. Joonisel 17 vastab sinisele sõiduki liikumiskiirus 50km/h ja kollasele 30km/h. Must on sensori statsionaarne asukoht ning sellest vasakule jäävad nooled väljendavad tulemusi, mis mõõdeti sensorile kaugemast sõidurajast lähenedes.

Hüpotees: signaalid avastatakse.

Sooritatud katsed: 4 katset Nutihelkuri rakenduse saadetava signaali ja 4 katset sensorit imiteeriva rakenduse signaali tuvastamiseks

Katse tulemus: statsionaarse sensori signaali püüdmise liikuvalt sõidukilt kiirusega 30-50km/h tunnistab autor ebaõnnestunuks. 2 katsel signaale ei avastatud üldse, 3. katsel avastati signaal olles sensoriga kohakuti ja 4. katsel avastati signaal peale sensorist möödumist. Seevastu Nutihelkuri rakenduse signaalide otsimine liikuvast autost andis üllatuslikke tulemusi, kus tulemused olid katse 5.1.1 tulemustele sarnased. Tulemused sõltusid liikuva auto kiirusest ja sõiduraja kaugusest signaale skanneerivast sensorist, mida ilmestab joonis 17. Liikudes sensorile lähimal sõidurajal 30km/h, oli tulemus katse 5.1.1 tulemusele visuaalselt sama, 50km/h liikudes tulemus 1/3 võrra kehvem. Liikudes sensorist ühe sõiduraja võrra kaugemal, vähenesid avastamise kaugused veel 1/3 võrra.



Joonis 17. Katsel sõidukiga saadud erinevad tulemused.

5.2 Järeldused

Kontsepti väljatöötades oli arusaam, et intelligentse transpordisüsteemi loomiseks on leitud uus ja huvitav tehnoloogia, mis oma ehitusliku ning kasutusliku lihtsusega kõrvutab konkurendid – BLE *beacon*'id. Lihtsale tehnoloogilisele seadmele on võimalik mõelda palju erinevaid kasutusalasid ning ka nutitelefon on võimalik käituma panna kui *beacon*. Selle tehnoloogia eeskujul arendati lõputöö raames rakenduse prototüüp, mis täidaks tähtsat rolli Nutihelkuri intelligentse transpordisüsteemi ökosüsteemis – osaleda liiklusohutlike olukordade ennetustegevuses ja koguda sensoritelt statistikat

kergliiklejate liiklusintensiivsuse kohta. Prototüüprakenduse testimine pidi looma nägemuse, kas selline süsteem suudaks leida koha liiklusõnnetuste ennetamisel.

Erinevad sooritatud katsetused pakuvad vastakaid tundeid *beacon*'ite kasutamiseks välistingimustes lõputöös seatud eesmärkidel. Tulemustest võime järeldada, et antud tehnoloogia on tunduvalt nõudlikum keskkonna suhtes, kui seda osati kahtlustada kontsepti loomise ajurünnaku ajal. *Beacon*'id on võimelised ideaaltingimustes, mil seadmete vahel on visuaalne kontakt, töötama täpselt nii, nagu seda oleks vaja töökindla intelligentse transpordisüsteemi loomiseks. Rahuldavaks võib lugeda olukorra, kus on vaja edastada ja vastu võtta andmepakette piiratud nähtavusega alal. Keskkonnatingimuste edasisel raskendamisel jääb antud tehnoloogia seatud eesmärkidel puudulikuks ning realisatsiooniks kasutatud tehnoloogial ei ole soovituslik realiseerida ühtegi tegevust, mis hõlmaks signaalide edastamist või püüdmist liikuvast sõidukist. Liikuva sõiduki teavitamine kergliikleja olemasolust peaks praegusel juhul jääma visuaalsete meetodite kasutamise juurde või vajalikke nõudmiste ja vahendite olemasolul realiseerida reaalses statistika edastamine kesksele süsteemile, mis edastab teavitusi sõidukijuhile rakendustele. Reaalses statistika edastamine eeldab internetiga ühendatud sensorit kõigi kolme võimaliku tehnoloogia puhul, mis suurendab projekti keerukust ja maksumust. Seega elimineerides Bluetooth'i kasutamise üks pooltargument, peaks kaaluma alternatiivsete tehnoloogiate kasutamist.

Katsete tulemustel ei tohiks välistada *beacon*'ite kasutamist, vaid täpsemalt tuleks läbi mõelda nende asukoht ja ehituslik disain sidetehnoloogilises mõttes. Juhul, kui otsustatakse edasi minna antud intelligentse transpordisüsteemi kontsepti arendamisega, siis osutuks vajalikuks rätseplahendus sensori näol – lõputöö autor on defineerinud erinevaid nõudeid, mida ei täida jaekaubanduses saadaolevad *beacon*'id. Spetsiaalriistvara arendades oleks võimalik Nutihelkuri sensor varustada parema antenniga, millelt võiks eeldada paremaid tulemusi teavituste saatmisel Nutihelkuri rakendusele. Samuti on võimalik abi leida uuest Bluetooth 5 spetsifikatsioonist, mille tehnilised näitajad on paljulubavad. *Beacon*'ite ning Bluetoothi puhul on kahtlamata tegu huvitava ja käepärase tehnoloogiaga ning nendel põhineva intelligentse transpordisüsteemi täpsema elujõulisuse hindamiseks on soovitus läbi viia katsed kohandatud riistvaraga konkreetsemates liiklusohtlikes kohtades, kaasates olukorda rohkem signaale edastavaid Nutihelkuri rakendusi. Rakenduse loomise protsessist

lähtuvalt tuleb tunnistada, et vajaliku tarkvara areng toetab igati sarnaste lahenduste kasutusele võtmist.

5.3 Nutihelkuri edasisest arendamisest

5.3.1 Nõuded sensorile

Nutihelkuri rakenduse ja füüsilise helkuri edasiseks arendamiseks oleks vajalik prototüüpida sensor, mis vastaks järgnevatele tingimustele ja võtaks arvesse kontsepti loomisel ning testimisel ilmnenuid puuduseid:

- on võimeline edastama Google Eddystone formaadile vastavaid andmepakette.
- on võimeline avastama Eddystone formaadile vastavaid andmepakette.
- on võimeline avastatud andmepaketist välja lugema infot ja võimeline loetud info baasil käivitama sündmusi – märguandetule juhtimine, statistika arvutamine ja Eddystone formaadile vastavate teiste andmepakettide eetrisse saatmine.
- on võimeline võtma statistika arvutamise aluseks MAC aadressi ja ajalise piirangu, mis on analoogne Nutihelkuri rakenduse realiseeritud prototüübil – kui ajalise piirangu sees tuvastatakse rohkem kui üks kord sama seade, siis avastatud andmepakkettide arv statistikas ei suurene.
- on võimeline teatud ajapiirangu juures, mille piires ei ole avastatud ühtegi järgnevat sündmust käivitavat andmepaketti, lõpetama märguandetule edastamise.
- on mõeldud väliskeskkonnas kasutamiseks.
- on kohandatud liikuva kergliikleja signaali avastamiseks, mis hõlmaks vastavat riistvaralist disaini ja paigaldustingimuste selgitamist.

Prototüübitud sensorit testides on võimalik välja selgitada selle energiavajadus praktikas ning mobiilse sensori loomise võimalused. Mobiilse sensori puhul on oodata suurimat energiavajadust märguandetulel, mistõttu oleks vajalik uurida sellise sensori paigaldamise võimalustest kehvade tingimustega infrastruktuuri - liiklusohutlike olukordi põhjustavad keskkonnad, kus puudub mõistlikke kuludega ligipääs elektrivõrgule.

5.3.2 Arengupotentsiaal

Nutihelkuri kontsept näeb ette kasutada selle loomiseks lihtsaid ja kättesaadavaid tehnoloogiaid, mis tagaksid mõistlikud kulud selle otsestele ja kaudsetele kasutajatele kuid ka süsteemi loojatele. Selline eesmärk on seatud tagamaks Nutihelkuri kui intelligentse transpordisüsteemi arengupotentsiaal - süsteemi kasulikkus peitub selle levikus, kasutajate ja sensoritega varustatud kohtade arvus. Mõistlikud majanduslikud kulud on üheks suurimaks eelduseks süsteemi edukal elluviimisel.

Nutihelkuri rakendust toetavate sensorite võrgustikku on võimalik suurendada ka teiste liiklusohutust tõstvate ja õnnetusi ennetavate meetmete raames. Väikse kuluga võib paigaldada Bluetooth Low Energy beaconeid sellistesse kohtadesse, kus on vajalik ainult kergliikleja teavitamine. Sellisteks kohtadeks võivad olla kergliiklusteed ületavad autode väljapääsud parkimismajadest, pimedad nurgad ja raudtee ülesõidud.

Nutihelkuri kontsepti keskseks seadmeks on Nutihelkuri rakendus, kuid sihtgruppi mittekuuluvatel inimestel peab olema võimalus saada osa kontsepti põhifunktsioonist, enda olemasolu teavitamisest sõidukijuhile. Seetõttu hõlmab kontsept füüsilisel kujul helkurit, mis sisaldab *beacon*'i funktsionaalsusega elektroonikat. Füüsilisel kujul nutika helkuri arendamine on üks võimalikest variantidest süsteemi tulevaseks arenguks, mida toetab Bluetooth 5 spetsifikatsioon – tööulatuse kasv ning Bluetooth silmusvõrgu arendamine võivad muuta atraktiivseks kahesuunalise andmevahetuse kasutamise. [49] Praeguse tehnoloogia leviku põhjal oleks autori soovitus keskenduda nutitelefonide rakenduse ja sensorite võrgustiku arendamisele, mille tulemusel oleks kasutajatel multifunktsionaalne abiline igapäeva liiklemistes – ühildada Nutihelkuri rakendus teiste teenuste ja intelligentsete süsteemidega, mis läbi tekitab kasutajates huvi, vajadus ja hasart rakenduse vastu. Sellisteks funktsionaalsusteks võivad olla aktiivsusmonitor, lähedal asuvate bussipeatuste väljumisaegade kuvamine, personaliseeritud sooduspakkumiste tegemine, ülekäiguraja roheline laine tekkimiseni jäänud aja pärimine vms. Kasutades asukohapõhist tuvastamist, nutitelefonide rakenduste pakutavaid hüvesid ja võimalusi ning erinevate infosüsteemide teenuseid, on võimalik Nutihelkuri rakendust siduda väga erinevate lisafunktsioonidega

5.3.3 Populariseerimine

Liiklusohutust tõstva intelligentse transpordisüsteemi efektiivsus sõltub suurel määral selle kasutamise populaarsusest. Suurim keerukus peitub Nutihelkuri populariseerimises – teavitamistöö ja kasutajate kaasamine

5.3.4 Privaatsus

Tänapäeva digitaliseeritud maailmas tõuseb järjest rohkem esile privaatsus. Meenutades NFC-sõidukaartide tulekuga tekkinud poleemikat, on oluline jälgida kehtivat seadusandlust ja tagada kasutajatele läbipaistvus - sellised rakendused on võimelised koguma teavet kasutajate kohta.

6 Kokkuvõte

Nutihelkuri kui intelligentse transpordisüsteemi ülesanne on olla liiklusohutust tõstvaks meetmeks, pakkudes mitmesuguseid teenuseid erinevatele osapooltele. Meetme rakendamise käigus kogutud teabe alusel võimaldab Nutihelkuri ökosüsteem koguda statistikat kergliiklejate liiklusintensiivsuse kohta, mis on vajalik teiste liiklusohutlikke tõstvate lahenduste väljatöötamiseks.

Lõputöö käigus loodud kontsepti prototüübi arendamiseks oli vajalik omada teavet erinevatest tehnoloogiatest. Sobiliku tehnoloogia valiku analüüsi tulemusel osutus eelistatuks kasutada Bluetooth Low Energy'l põhinevaid *beacon*'eid, mis võimaldaks tagada optimaalseima kulu täisfunktsionaalse väljapakutud Nutihelkuri ökosüsteemi arendamiseks. Antud tehnoloogia suurimaks eeliseks peab autor võimalust, esitada infrastruktuurile leebemaid nõudmisi internetiühenduse puudumise näol – nutitelefonidel olemasoleva andmeside kasutamine võimaldab sensoril statistika edastamise rolli üle kanda rakendusele.

Realiseeritud Nutihelkuri rakenduse abil visualiseeriti võimalikud kitsaskohad *beacon*'ite kasutamiseks välitingimustes, pakkudes võimalikke lahendusi töökindluse suurendamiseks ja edasiseks konkreetsemaks katsetusteks. Tulemustest ja eeldatavast töökindluse suurendamise võimalikkusest lähtuvalt on autori seisukoht, et Nutihelkuri kontsepti põhifunktsioonide (sõidukijuhtide teavitamine märguandetule ja kergliikleja teavitamine rakenduse vahendusel) teostamiseks on antud tehnoloogia valik õigustatud. Katsetused näitasid tehnoloogia mitesobilikkust sõidukijuhi teavitamiseks rakenduse vahendusel ning vastava funktsionaalsuse nõude tekkides tuleks põhjalikumalt kaaluda teiste võimalike tehnoloogiate kasutamist – reaalaja statistika vajadusega on iga tehnoloogia puhul tarvis internetiühendusega sensorit.

Loodud kontsepti ja realisatsiooni tulemina on näidatud BLE *beacon*'ite kasutamise võimalikkust tavapärasest elemendist väljaspool, mis võiks innustada looma analoogsel visioonil mitmesuguseid huvitavaid rakendusi.

Kasutatud kirjandus

- [1] Maanteeamet, Politsei- ja Piirivalveamet. (2016). Liiklusaasta 2015. – [WWW] <https://www.politsei.ee/dotAsset/580361.pdf> (08.02.2017)
- [2] AS Teede Tehnokeskus, OÜ Stratum. (2010). Eesti maanteetranspordi intelligentsete transpordisüsteemide kontseptsioon. – [WWW] https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/ma_2010-23_2_its_kontseptsioon.pdf (08.02.2017)
- [3] Estonian Clusters. (2016). KUTSE: ITS aruteluseminar: ajurünnak MKM-i ning Maanteeametiga, ITS Estonia võrgustiku loomine. – [WWW] <http://www.estonianclusters.ee/kutse-its-aruteluseminar-ajurunnak-mkm-i-ning-maanteeametiga-its-estonia-vorgustiku-loomine/> (08.02.2017)
- [4] Eesti Asfaldiliit. (2017). ITS konverents "iTee Süsteemid". – [WWW] http://www.asfaldiliit.ee/mod_catalogue_9bf31c7ff062936a96d3c8bd1f8f2ff3 ITS-konverents-iTee-Ssteemid_est (08.02.2017)
- [5] ITS Estonia. – [WWW] <https://its-estonia.com/et/its-estonia-et/> (16.05.2017)
- [6] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. (2013). Transpordi arengukava 2014-2020. – [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/aktiilisa/3210/2201/4001/arengukava.pdf> (08.02.2017)
- [7] KATHREIN-Werke KG. (2015). RFID Technology from Kathrein Makes Traffic Light Smart. – [WWW] https://www.kathrein.com/en/newsroom/news/announcement/news/rfid-technology-from-kathrein-makes-traffic-light-smart/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=0b36627b6110bbdbcc7db6734f00f0d5 (09.02.2017)
- [8] Friesen, M. R., McLeod, R. D. (2015). Bluetooth in Intelligent Transportation Systems: A Survey. – [WWW] <http://link.springer.com/article/10.1007/s13177-014-0092-1> (09.02.2017)
- [9] BLIP Systems A/S. (2016). Bangkok Expands BlipTrack Bluetooth Solution to Ease Traffic. – [WWW] <https://blipsystems.com/bangkok-expands-bliptrack-traffic-solution/> (10.02.2017)
- [10] GCN. (2014). 8 apps for safer city intersections. – [WWW] <https://gcn.com/articles/2014/10/27/apps-traffic-pedestrian-safety.aspx> (10.02.2017)
- [11] Chakravarty, S., Jain, V., Midha, N., Bhargava, P. Low-Cost Driver Assistance Using ZigBee®/ IEEE® 802.15.4. – [WWW]

- <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/brochures/LowCostDriverAssist.pdf>
(10.02.2017)
- [12] Lighthouse.io Inc. Indoor location technologies compared: RFID. – [WWW]
<https://lighthouse.io/indoor-location-technologies-compared/rfid/>(18.05.2017)
- [13] Smiley, S. (2016). Active RFID vs. Passive RFID: What's the Difference? – [WWW]
<http://blog.atlasrfidstore.com/active-rfid-vs-passive-rfid> (18.05.2017)
- [14] Wu, C.-H., Irwin, J. D. (2013). Introduction to Computer Networks and Cybersecurity. – [WWW]
https://books.google.ee/books?id=bInNBQAAQBAJ&pg=PA385&lpg=PA385&dq=802.15.1+standard+in+fast&source=bl&ots=bIYU-IW4yn&sig=caDaIviMs2tHQ8isW77rpBIMufQ&hl=et&sa=X&ved=0ahUKEwi4kv-urYjTAhXFJSwKHTw7Dvo4ChDoAQg_MAU-v=onepage&q=uhf&f=false
(11.02.2017)
- [15] Bluetooth SIG. Our History. – [WWW] <https://www.bluetooth.com/about-us/our-history> (11.02.2017)
- [16] Bluetooth SIG. Bluetooth Core Specification. – [WWW]
<https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification> (11.02.2017)
- [17] Skočir, B. (2014). Multi-hop communication in Bluetooth Low Energy ad hoc network. – [WWW]
http://kt.ijs.si/markodebeljak/Lectures/Seminar_MPS/2012_on/Seminars2013_14/Branko_Skocir/Branko_Skocir_seminar_I.pdf (13.02.2017)
- [18] Quinnell, R. A. (2001). The Wireless LAN Rush. – [WWW]
<http://www.embedded.com/design/communications-design/4018040/The-Wireless-LAN-Rush> (13.02.2017)
- [19] ARM Ltd. (2015). Understanding the different types of BLE Beacons. – [WWW]
<https://developer.mbed.org/blog/entry/BLE-Beacons-URIBeacon-AltBeacons-iBeacon/> (17.02.2017)
- [20] Shen, W. (2015). Bluetooth Smart mesh – why does it make sense for it? – [WWW]
<https://www.ericsson.com/research-blog/internet-of-things/bluetooth-smart-mesh-make-sense-iot/> (18.02.2017)
- [21] Laird Technologies Inc. (2013). BLE Overview. – [WWW]
<http://www.summitdata.com/blog/ble-overview/> (18.02.2017)
- [22] ARM Ltd. Custom GAP advertising packet. – [WWW]
<https://docs.mbed.com/docs/ble-intros/en/latest/Advanced/CustomGAP/>
(18.02.2017)
- [23] Obey Proximity. (2016). Apple iBeacon vs. Google Eddystone. – [WWW]
<http://obeyproximity.com/2016/04/09/apple-ibeacon-vs-google-eddystone/>(18.02.2017)

- [24] Apple Inc. (2014). Getting Started with iBeacon. – [WWW] <https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf> (20.02.2017)
- [25] Estimote Inc. What is Eddystone? – [WWW] <http://developer.estimote.com/eddystone/-eddystone-url> (20.02.2017)
- [26] Tomova, Z. (2016). Eddystone or iBeacon? What is the best for your project? – [WWW] <http://www.onyxbeacon.com/eddystone-or-ibeacon-what-is-the-best-for-your-project/> (21.02.2017)
- [27] Ensling, H. ZigBee – veel üks juhtmevaba ühenduse tehnoloogia. – *Tehnikamaailm*, 2013 [E-ajakiri] <http://www.tehnikamaailm.ee/zigbee-veel-uks-juhtmevaba-uhenduse-tehnoloogia/> (17.05.2017)
- [28] Brindfeldt, E., Lepiksoo, U. (2011). Mehhatroonikaseadmed. Digitaalsed juhtmevabad liidesed. ZigBee. – [WWW] http://www.tthk.ee/MEH/Andurid_10.html (17.05.2017)
- [29] Coombs, J. (2015). The Straight Goods on Bluetooth: How Many Consumers Have it on? – [WWW] <https://m.rover.io/the-straight-goods-on-bluetooth-how-many-consumers-have-it-on-d0ebe3b5d718> (27.02.2017)
- [30] Tough Beacon. [WWW] – <https://store.kontakt.io/our-products/28-tough-beacon.html> (20.05.2017)
- [31] Lighthouse.io Inc. Indoor location technologies compared: Beacons. – [WWW] <https://lighthouse.io/indoor-location-technologies-compared/beacons/> (18.05.2017)
- [32] GreenPeak Technologies BV. ZigBee compared with Bluetooth Low Energy. – [WWW] <http://www.greenpeak.com/Company/Opinions/CeesLinksColumn19.pdf> (27.02.2017)
- [33] Salzar, A. R. (2014). Zigbee and Bluetooth: Low Energy and Smartphone Integration. – [WWW] https://www.academia.edu/15804664/ZigBee_and_Bluetooth_Low_Energy_and_Smartphone_Integration (27.02.2017)
- [34] Donovan, J. (2012). Security Issues with Wi-Fi, Bluetooth, and ZigBee. – [WWW] <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2012/may/security-issues-with-wifi-bluetooth-and-zigbee> (14.03.2017)
- [35] Gąsiorek, A. (2016). Beacons Are Vulnerable; It's Time We Made Beacons Secure. – [WWW] <https://kontakt.io/blog/beacon-security/> (14.03.2017)
- [36] Fujitsu Limited. (2014). Datasheet. World's Largest-Capacity 64KByte FRAM Metal Mount RFID Tag. – [WWW] <https://www.fujitsu.com/jp/group/frontech/documents/en/solutions/business-technology/intelligent-society/rfid/ait64k/brochure-ait64k.pdf> (20.04.2017)
- [37] Link Labs. (2015). ZigBee Vs. Bluetooth: A Use Case With Range Calculations. – [WWW] <https://www.link-labs.com/blog/zigbee-vs-bluetooth> (17.03.2017)

- [38] Crane, J. ZigBee and WiFi Coexistence. – [WWW] <https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/203845040-ZigBee-and-WiFi-Coexistence> (17.03.2017)
- [39] Argenox Technologies LLC. A BLE Advertising Primer. – [WWW] <http://www.argenox.com/a-ble-advertising-primer/> (17.03.2017)
- [40] Kriz, P., Maly, F., Kozel, T. (2016). Improving Indoor Localization Using Bluetooth Low Energy Beacons. – [WWW] <https://www.hindawi.com/journals/misy/2016/2083094/> - B22 (17.03.2017)
- [41] Christiano, M. (2015). ZigBee vs Bluetooth and Bluetooth Smart. – [WWW] <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/zigbee-vs-bluetooth-and-bluetooth-smart/> (18.03.2017)
- [42] Gomez, C., Oller, J., Paradells, J. (2012). Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. – [WWW] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3478807/> (18.03.2017)
- [43] Tile Inc. How many Tiles can I register to my account? – [WWW] <https://support.thetileapp.com/hc/en-us/articles/201013498-How-many-Tiles-can-I-register-to-my-account-> (18.03.2017)
- [44] Android Beacon Library. – [WWW] <https://altbeacon.github.io/android-beacon-library/> (29.03.2017)
- [45] Realm Mobile Database – [WWW] <https://realm.io/products/realm-mobile-database/> (18.04.2017)
- [46] AltBeacon Protocol Specification v1.0. – [WWW] <https://github.com/AltBeacon/spec> (06.05.2017)
- [47] Android Beacon Library. Requesting Permission. – [WWW] <https://altbeacon.github.io/android-beacon-library/samples.html> (06.05.2017)
- [48] Fanstel Corporation. (2016). BlueFan BLE 4.1 Module Range Measurements. – [WWW] <https://static1.squarespace.com/static/561459a2e4b0b39f5cefa12e/t/58b24ac137c5814e3bd57e12/1488079555013/BlueFan+Range.pdf> (15.05.2017)
- [49] Girish, D. (2016). Bluetooth 5: How it will impact IoT, Beacons and more. – [WWW] <https://blog.beaconstac.com/2016/06/bluetooth-5-how-it-will-impact-iot-beacons-and-more/> (24.03.2017)

