

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
DATORIKAS FAKULTĀTE

**ATTĒLU VEIDOŠANA IZMANTOJOT KUSTĪGUS GAISMAS  
OBJEKTUS**

MAĢISTRA DARBS

Autors: **Aldis Kotlers**

Stud. apl. Nr. ak08517

Darba vadītājs: Dr. Comp. Sc. Leo Seļāvo

RĪGA 2010

## ANOTĀCIJA

Darba tēma ir attēlu veidošana izmantojot kustīgus, piemēram, rotējošus gaismas objektus.

Darba mērķis ir apskatīt attēlu veidošanas iespējas izmantojot kustīgus gaismas objektus, piemēram, gaismas diodes, izveidot attiecīgu attēlu radīšanas ierīču prototipus, izstrādāt algoritmus un programmatūru patvaļīgu attēlu importēšanai un projicēšanai.

Darba gaitā tika izveidotas divas ierīces – velosipēda rata spieķos stiprināma ierīce, kas, ratam griežoties, spēj attēlot divdimensiju attēlu un ierīce, kas spēj attēlot trīsdimensiju attēlu, kurš ir apskatāms no visām pusēm gluži kā īsts objekts. Nepieriešamā programmatūra tika izstrādāta darbināšanai gan uz datora (Windows vidē), gan uz Tmote Sky moduļiem (MansOS vidē), kā arī uz Arduino moduļa.

### **Atslēgvārdi**

Kustīgi gaismas objekti, redzes persistence, divdimensiju attēls, trīsdimensiju attēls

## ABSTRACT

The main subject of this paper is image assembly using moving light sources.

The aim of this paper is to give insight in image assembly using moving light sources, such as light-emitting diodes, to create an appropriate image assembly device prototypes, to develop algorithms and software for import and viewing arbitrary images.

As a result of the work two devices were developed – a bike wheel display system capable of displaying two-dimensional images and device capable of displaying three-dimensional images which are viewable from all sides, just like a real objects. Required software was developed for run on personal computer (Windows operating system), Tmote Sky module (MansOS operating system) and Arduino module.

### **Keywords**

Moving light sources, persistence of vision, two-dimensional image, three-dimensional image

## AUTOREFERĀTS

Šī darba ietvaros autors iepazīstina ar attēlu veidošanas metodēm izmantojot kustīgus gaismas objektus. Tiek apskatīti veidi un principi, kādos gan divdimensiju, gan trīsdimensiju attēli var tik projicēti. Darba gaitā tika izveidotas divas ierīces, no kurām viena paredzēta iestiprināšanai velosipēda rata spieķos, un, ratam griežoties spēj attēlot iepriekš definētu divdimensiju attēlu, savukārt otra spēj attēlot trīsdimensiju attēlus, kas var tikt apskatīti no visām pusēm un uztverti kā reāli trīsdimensiju objekti. Ierīces tika izveidotas fiziski un tām tika izveidota arī atbilstoša programmatūra – gan darbināšanai uz datora, gan Tmote Sky un Arduino moduļiem. Trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīcei tika realizēta bezvadu attēlu pārraide.

## SATURS

APZĪMĒJUMU SARAKSTS.....	6
IEVADS.....	7
1. REDZES PERSISTENCE.....	8
1.1. Redzes persistences displeji.....	8
2. ATTĒLU VEIDOŠANA IZMANTOJOT KUSTĪGUS GAISMAS OBJEKTUS.....	9
2.1. Gaismas objektu kustība attiecībā pret rotācijas asi.....	9
2.2. Uzbūve.....	10
2.2.1. Vadības bloks.....	11
2.2.2. Attēlošanas bloks.....	11
2.2.3. Sinhronizācijas bloks.....	12
2.2.4. Barošanas bloks.....	12
2.3. Attēlu iedalījums pēc veida.....	12
2.3.1. Divdimensiju attēlu veidošana.....	13
2.3.2. Pseudotrīsdimensiju attēla veidošana.....	13
2.3.3. Trīsdimensiju attēlu veidošana.....	14
2.3.4. Rakstīšana(zīmēšana) ar gaismu.....	17
2.3.5. Piemēri.....	18
3. DIVDIMENSIJU ATTĒLU PROJICĒŠANAS IERĪCES IZVEIDE.....	22
3.1. Ievads.....	22
3.2. Realizācija.....	22
3.2.1. Attēlošana.....	22
3.2.2. Sinhronizācija.....	25
3.2.3. Attēla definēšana.....	26
3.2.4. Vispārīgā specifikācija un arhitektūra.....	27
3.3. Attēlu izveide.....	29
3.3.1. Darbības princips.....	29
3.3.2. Piemērs.....	30
3.4. Vispārīgais novērtējums.....	32
4. TRĪSDIMENSIJU ATTĒLU PROJICĒŠNAS IERĪCES IZVEIDE.....	33
4.1. Ievads.....	33
4.2. Realizācija.....	33
4.2.1. Attēlošanas bloks.....	33
4.2.2. Datu pārraide.....	34
4.2.3. Vadības bloks.....	36
4.2.4. Sinhronizācijas bloks.....	38
4.2.5. Attēla definēšana.....	38
4.2.6. Saskarne.....	38
4.2.7. Vispārīgā specifikācija un arhitektūra.....	39
4.2.8. Izveidotā ierīce darbībā.....	42
4.3. Vispārīgais novērtējums.....	42
NOBEIGUMS.....	44
ATSAUCES.....	45

## APZĪMĒJUMU SARAKSTS

Arduino Mega – kontrolieris ar ATmega1280 procesoru  
LED – gaismas diode  
Gaismas objekts – gaismas avots, piemēram, gaismas diode  
Halla sensors – sensors, kurš uztver magnētiskā laukā izmaiņas  
POV – redzes persistence  
Tmote Sky – IEEE 802.15.4 saderīgs bezvadu sensoru modulis

## IEVADS

Mūsdienu dzīves neatņemama sastāvdaļa ir ierīces informācijas attēlošanai, piemēram, displeji. Lielu displeji, mazi displeji, krāsaini un melnbalti. Displeji ir visur – gan mobilajos telefonos, gan televizoros, datoros, sadzīves tehnikā un citur. Lielākoties tie satur virsmu, uz kuras tiek attēlota informācija, taču ir gadījumi, kad ir nepieciešama cita informācijas attēlošanas pieeja.

Ir situācijas, kad ir nepieciešams attēlot informāciju uz kustīgām virsmām, vai, piemēram, attēlot trīsdimensiju objektus tā, lai tie būtu uztverami (bez papildierīču, piemēram speciālu briļļu izmantošanas) kā trīsdimensiju objekti. Šajos gadījumos var tikt izmantota informācijas attēlošanas pieeja izmantojot kustīgus, piemēram, rotējošus gaismas objektus. Pateicoties redzes persistencei cilvēks spēj uztvert vairākus, īsu brīdi vienu pēc otra sekojošus gaismas impulsus kā vienu veselumu, kā rezultātā, pārvietojot gaismas objektus telpā un vajadzīgajā brīdī tos ieslēdzot/ izslēdzot, ir iespēja attēlot kādu attēlu. Šo pieeju var izmantot, gan lai attēlotu informāciju uz kustīgām virsmām gan arī lai attēlotu trīsdimensiju objektus tā, ka tie ir apskatāmi no visām pusēm gluži kā reāli objekti.

Darba izvirzītais un sasniegtais mērķis ir apskatīt attēlu veidošanas iespējas izmantojot kustīgus gaismas objektus, izveidot attiecīgu attēlu radīšanas ierīču prototipus, izstrādāt algoritmus un programmatūru patvaļīgu attēlu importēšanai un projicēšanai, kā arī izveidot lietotāja saskarni šādu attēlu izveidei un bezvadu pārraidei.

Darba pirmajā nodaļā tiek dots ieskats par redzes persistenci un redzes persistences displejiem. Otrajā nodaļā tiek apskatīti attēlu veidošanas paņēmieni izmantojot kustīgus gaismas objektus, tiek dots ieskats redzes persistences displeju veidos, uzbūvē un izmantošanā. Trešajā nodaļā tiek aprakstīta ierīces izveide, kura, iestiprināta velosipēda rata spieķos, ratam griežoties, spēj attēlot divdimensiju attēlu. Ceturtajā nodaļā tiek aprakstīta ierīces izveide, kura spēj saņemt trīsdimensiju objektu attēlus pa bezvadu tīklu un attēlot tos tā, ka tie ir apskatāmi no visām pusēm gluži kā reāli objekti. Darba beigās tiek apkopoti rezultāti par paveikto.

# 1. REDZES PERSISTENCE

Attēlu veidošanas ar kustīgiem gaismas objektiem princips ir balstīts uz cilvēka redzes īpašībām, konkrētāk uz redzes persistenci.

Atbilstoši redzes persistences teorijai, cilvēka acs un/vai smadzenes vienmēr saglabā attēlu uz kādu laika brīdi. Tas nozīmē, ka viss ko mēs dotajā brīdī redzam notiek tagad un ir noticis kādu brīdi iepriekš. Tā ietekmē cilvēks spēj uztvert, piemēram, televīzijas raidīto kadru virkni kā vienu kustīgu attēlu.[1]

## 1.1. Redzes persistences displeji

Par POV (redzes persistences) displejiem tiek saukti tādi displeji, kas veido attēlu attēlojot vienu attēla daļu kādā laika momentā, piemēram, vienu attēla pikseļu kolonnu katras 3 milisekundes. Divdimensiju POV displeji bieži vien tiek saistīti ar kustīgām gaismas diodēm (LED), kas kustas pa lineāru vai cirkulāru trajektoriju. Tiek panākts, ka skatītājs dažādos laika momentos attēlotās attēlu daļas uztver kā veselu attēlu. Trīsdimensiju POV displeji parasti tiek veidoti izmantojot divdimensiju LED režģus, kas tiek virzīti vai rotēti telpā. POV displeji var tikt izmantoti kombinācijā ar kameru izmantojot ilgu ekspozīcijas laiku lai veiktu rakstīšanu ar gaismu (light writing).[2]

## 2. ATTĒLU VEIDOŠANA IZMANTOJOT KUSTĪGUS GAISMAS OBJEKTUS

Pateicoties redzes persistencei, kustīgi gaismas objekti var tikt izmantoti kā virtuālie displeji. Pastāv dažādi iemesli, kāpēc izmantot šos virtuālos displejus.

Viens no plašākajiem šo displeju pielietojumiem ir to izveide uz kustīgām virsmām, kur parasta displeja izveide varētu būt apgrūtināta vai pat neiespējama. Piemēram, velosipēda rata spieķos iestiprināta ierīce ratam griežoties var veidot attēlu, vai, piemēram, lidojoša helikoptera propellers ar uz tā izvietotiem gaismas objektiem arī var tikt izmantots kā virtuālais displejs.

Otra populārākā attēlu veidošanas pieeja izmantojot kustīgus (parasti rotējošus) gaismas objektus ir trīsdimensiju attēlu veidošana. Pastāv dažādi veidi, kā veicot gaismas objektu rotāciju var iegūt telpiska attēla projekciju, kurš izskatās telpisks bez speciālu briļļu lietošanas.

### **2.1. Gaismas objektu kustība attiecībā pret rotācijas asi**

Gaismas objektu, kas veic kustību/ rotāciju, var iedalīt pēc kustības veida attiecībā pret rotācijas asi. Taisnvirziena kustību attiecināsim uz kustību paralēli rotācijas asij.

#### **Gaismas objektu kustība paralēli rotācijas asij**

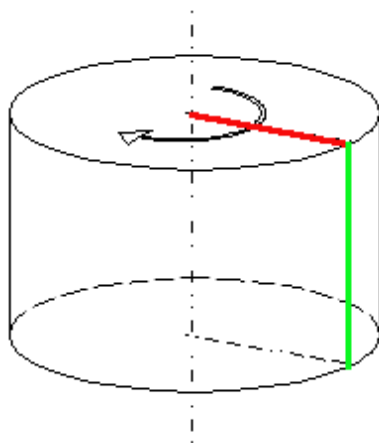
Par gaismas objektu kustību paralēli rotācijas asij uzskatīsim tādu kustību, kad gaismas objekti veido attēlu, kurš netiek šķelts ar asi, ap kuru šie objekti rotē. Ja iedomāsimies cilindru, caur kura augšas un apakšas centriem iet rotācijas ass, tad gaismas objekti atrodas uz cilindra malas. Attēlā 2.1.1. iekrāsots zaļā krāsā.

#### **Gaismas objektu kustība perpendikulāri rotācijas asij**

Par gaismas objektu kustību perpendikulāri rotācijas asij uzskatīsim tādu kustību, kad gaismas objekti veido attēlu, kurš tiek šķelts ar asi, ap kuru šie objekti rotē. Ja iedomāsimies cilindru, caur kura augšas un apakšas centriem iet rotācijas ass, tad gaismas objekti atrodas uz cilindra augšas un/ vai apakšas. Attēlā 2.1.1. iekrāsots sarkanā krāsā.

## Gaismas objektu kustība paralēli un perpendikulāri rotācijas asij

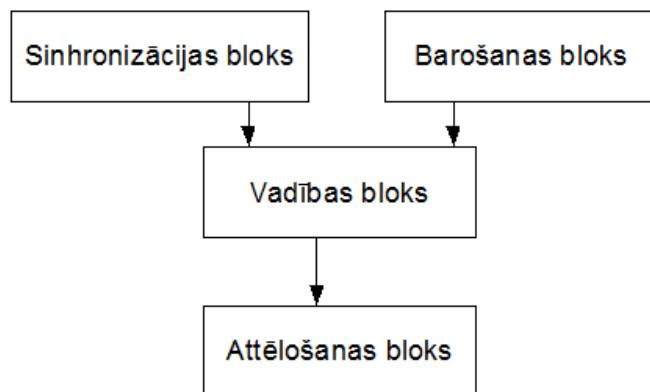
Par gaismas objektu kustību paralēli un perpendikulāri rotācijas asij uzskatīsim gaismas objektu kustības paralēli rotācijas asij un gaismas objektu kustības perpendikulāri rotācijas asij apvienojumu. Ja iedomāsimies cilindru, caur kura augšas un apakšas centriem iet rotācijas ass, tad gaismas objekti atrodas gan uz cilindra malas gan augšas un/ vai apakšas. Attēlā 2.1.1. iekrāsots zaļā un sarkanā krāsā.



2.1.1. att. Gaismas objektu rotācija

## 2.2. Uzbūve

Iekārtas, kas veido attēlus izmantojot kustīgus gaismas objektus, uzbūvi var iedalīt četros pamatblokos (sk. att. 2.2.1. ) – vadības bloks, attēlošanas bloks, sinhronizācijas bloks un barošanas bloks. Katram no šiem blokiem ir svarīga loma iekārtas darbības nodrošināšanā.

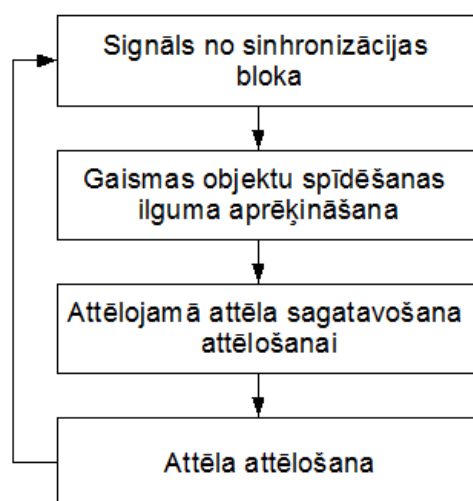


2.2.1. att. Pamatbloku iedalījums

### 2.2.1. Vadības bloks

Vadības bloks atbild par sistēmas darbību kopumā un to var uzskatīt par sistēmas centru. Kā redzams attēlā 2.2.1., vadības bloks ir saistīts ar visiem pārējiem sistēmas blokiem un veic informācijas apstrādi (sk. att. 2.2.1.1. ).

Saņemot signālu no sinhronizācijas bloka tiek aprēķināts katra gaismas objekta spīdēšanai nepieciešamais laiks. Piemēram, ja gaismas objekta pilnas rotācijas laiks ir viena sekunde, un attēls sastāv no 100 līnijām, tad vienas līnijas attēlošanai ir nepieciešama sekundes simtdaļa, t.i. *līnijas attēlošanas laiks = pilnas rotācijas laiks / līniju skaits*. Gadījumā, ja starp līnijām ir vajadzība veidot atstarpes, tad arī tas ir jāņem vērā veicot aprēķinus. Ja ir vēlme veidot ļoti precīzus attēlus, jāņem vērā, ka gaismas objektu kustības ātrums kustības laikā var atšķirties. Piemēram, gaismas objektiem veicot rotāciju perpendikulāri rotācijas asij, gaismas avoti, kas atrodas tuvāk rotācijas centram pārvietojas ar mazāku ātrumu nekā tie, kas atrodas tālāk no rotācijas centra, pieņemot, ka gaismas objekti atrodas uz nogriežņa, kas savieno rotācijas centru ar rotējošā objekta malu, piemēram, nogriežņa, kas savieno riņķa centru ar riņķa līniju. Šādos gadījumos var tikt veikta gaismas objektu spīdēšanas laika aprēķināšana balstoties gan uz pilnas rotācijas laiku, gan arī uz gaismas objekta attālumu no rotācijas centra.



2.2.1.1. att. Vadības bloka darbība

### 2.2.2. Attēlošanas bloks

Attēlošanas bloks sastāv no gaismas objektiem un atbild par attēla vizuālo

reprezentāciju. Kā gaismas objekti visbiežāk tiek izmantotas gaismas diodes un tās tiek piemeklētas atbilstoši projekta vajadzībām. Populārākie kritēriji, pēc kuriem projektiem tiek piemeklētas gaismas diodes ir to spīdēšanas leņķis, krāsa un izmērs.

### **2.2.3. *Sinhronizācijas bloks***

Lai varētu veidot kontrolētu attēlu, ir jāzina, kur kādā brīdī atrodas kāds gaismas objekts, jo tikai tā var precīzi noteikt, kurā brīdī kuram gaismas objektam ir jāspīd un kuram nav jāspīd. Tas tiek panākts ar kustības kontrolēšanu.

Ierīcēs, kur gaismas avoti veic rotējošu kustību, sinhronizēšana tiek veikta balstoties uz kādu rotācijas daļu, parasti pilnu rotāciju. Pilnas vai daļējas rotācijas noteikšanai visbiežāk tiek izmantoti vai nu Halla sensori (reaģē uz magnētiskā lauka izmaiņām) vai arī gaismas sensori (reaģē uz uz tiem krītošās gaismas izmaiņām). Taisnvirziena kustības impulsa noteikšanai parasti tiek izmantoti akseliometri (reaģē uz kustības izmaiņām attiecībā pret miera stāvokli).

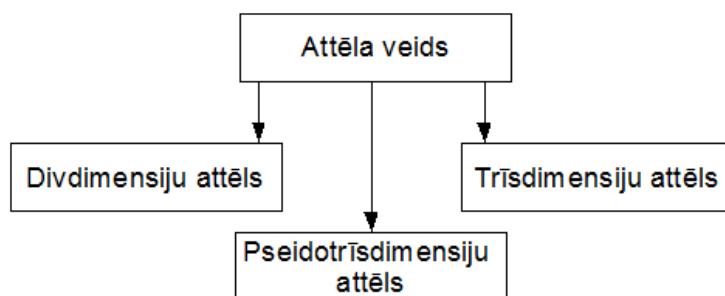
### **2.2.4. *Barošanas bloks***

Sistēmas darbībai ir nepieciešama elektrība. Atkarībā no sistēmas veida, tā var tikt apgādāta ar līdzstrāvu no dažādiem līdzstrāvas avotiem, vai, specifiskos gadījumos - maiņstrāvu. Pārvietojamās ierīcēs parasti izmanto ķīmiskos strāvas avotus - baterijas un/ vai akumulatorus. Atkarībā no sistēmas īpašībām, līdzstrāvas ieguvei var tikt izmantots arī līdzstrāvas ģenerators. Stacionāro iekārtu gadījumā līdzstrāvu parasti iegūst no maiņstrāvas izmantojot taisngriežņus, kuri sadzīvē bieži vien tiek saukti par barošanas blokiem.

## **2.3. Attēlu iedalījums pēc veida**

Attēlus varam iedalīt pēc to veida – divdimensiju, pseidotrīsdimensiju un trīsdimensiju attēlos (sk. att. 2.3.1.). Par divdimensiju attēliem uzskatīsim tādus attēlus, kuri satur tikai 2 dimensijas – augstumu un platumu. Neatkarīgi no skatīšanās pozīcijas mēs redzam vienu un to pašu objektu. Par trīsdimensiju attēliem uzskatīsim tādus attēlus, kuri satur 3 dimensijas – augstumu, platumu un garumu. Atkarībā no skatīšanās pozīcijas var mainīties tas, ko mēs redzam, tāpat kā apskatot reālus objektus. Par pseidotrīsdimensiju

attēliem uzskatīsim tādus attēlus, kas pēc savas būtības ir divdimensiju attēli, taču cilvēks spēj tos uztvert kā telpiskus attēlus.



2.3.1. att. Attēlu iedalījums

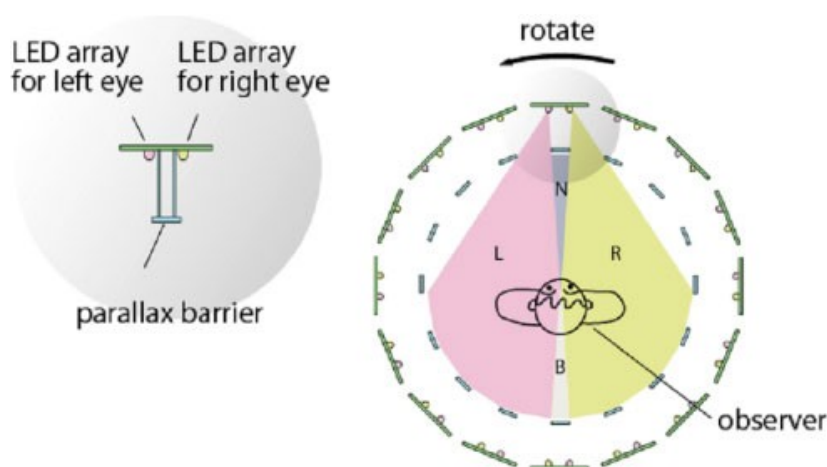
### **2.3.1. Divdimensiju attēlu veidošana**

Divdimensiju attēlu veidošana ir populārākais attēlu veidošanas veids izmantojot kustīgus gaismas objektus. Lai gaismas objekti pārvietotos telpā, tie tiek piestiprināti pie kādas rotējošas vai kādu citu kustību veicošas virsmas. Gaismas objekti var tikt pārvietoti gan paralēli (attiecas arī uz taisnvirziena kustību), gan perpendikulāri rotācijas asij, tas galvenokārt atkarīga no ierīces pielietojuma veida un specifikas. Gaismas objektiem pārvietojoties telpā un noteiktos momentos spīdot/ nespīdot tiek attēloti attēli. To ieslēgšana/izslēgšana var būt gan mehāniska, attēlojamie attēli – gan kontrolējami, gan patvaļīgi. Sīkāk par divdimensiju attēlu veidošanas principiem apskatīts nodaļās 2.1, 2.2 un 3.

### **2.3.2. Pseudotrīsdimensiju attēla veidošana**

Lai cilvēks divdimensiju attēlu uztvertu kā telpisku attēlu, ir jāspēj katrai acij nodot savs attēls, kā rezultātā smadzenēm saliekot no abām acīm saņemto informāciju rodas ilūzija par telpisku attēlu. To sauc par binokulārās paralakses principu. Visbiežāk tas tiek darīts izmantojot speciālas brilles, kuras no apskatāma attēla nofiltrē nevajadzīgo informāciju un ļauj katrai acij uztvert savu attēlu. Tāda pieeja visbiežāk tiek izmantota kinoteātros. Taču šai pieejai ir viens liels trūkums – lai redzētu telpisku attēlu, ir jālieto speciālas brilles. Lai artisinātu šo problēmu, var tikt izmantots divdimensiju attēlu veidošanas princips ar gaismas objektu nošķiršanas iespēju.

Gaismas objektu nošķiršanai var tikt izmantota šāda pieeja (sk. att. 2.3.2.1.): uz cilindriskā displeja diodes ir sagrupētas kolonnās. Uz katras kolonnas atrodas diožu masīvi, kuri veido attēlu paredzētu gan kreisajai (LED array for left eye), gan labajai (LED array for right eye) acij. Starp kreisajai un labajai acij paredzēto diožu blokiem atrodas “gaismas sargi” (parallax barrier), kas neļauj kreisajai acij redzēt labajai acij paredzēto attēlu, kā arī neļauj labajai acij redzēt kreisajai acij paredzēto attēlu. Cilindriskajam displejam rotējot (rotate) redzes persistences iespaidā skatītājs (observer) var redzēt attēlu, taču tā kā šajā gadījumā displejs satur arī gaismas barjeras, tad katra acs redz tikai tai paredzētu attēlu. Šādā veidā var tikt panākts, ka attēls tiek uztverts kā telpisks, nelietojot nekādus palīgīdzekļus.[3]

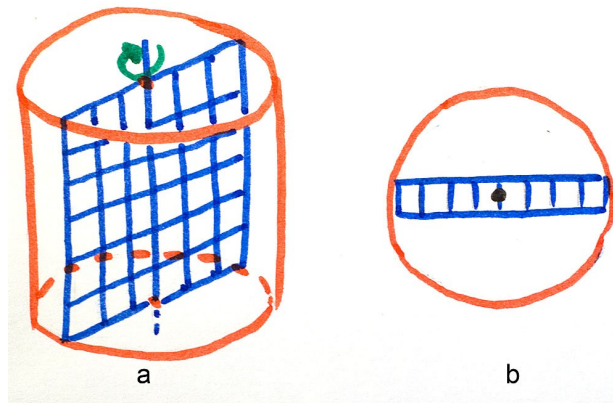


2.3.2.1. att. Pseudotrīsdimensiju attēla veidošana[3]

### 2.3.3. Trīsdimensiju attēlu veidošana

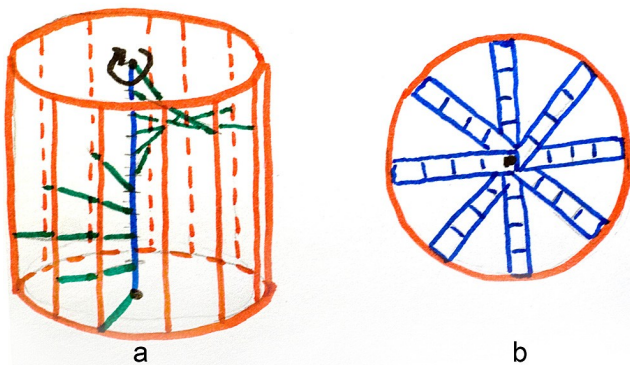
Trīsdimensiju attēlu veidošana izmantojot kustīgus gaismas objektus var tikt izmantots tāds pats pamatprincips, kā divdimensiju attēlu veidošanā (nodaļa 2.3.1.) ar tādu atšķirību, ka trīsdimensiju attēla gadījumā tiktu rotēts gaismas objektu režģis vai kāda cita konstrukcija, kas rotējot nosegtu attēlojamā trīsdimensiju attēla telpu. Rotējošā virsma var būt gan kā displejs, kurš pats izstaro gaismu vai arī displejs, uz kuru gaisma tiek projicēta[4].

Populārākais paņēmiens trīsdimensiju attēla iegūšanai ir diožu režģa rotēšana (sk. att. 2.3.3.1. (a)). Režģim rotējot un atrodoties konkrētā pozīcijā tiek attēlots attēlojamā objekta atbilstošais šķērsgriezums. Redzes persistences dēļ šie šķērsgriezumu attēlojumi cilvēka uztverē tiek “apvienoti” un cilvēks tos uztver nevis kā atsevišķus šķērsgriezumus, bet gan vienu veselu trīsdimensiju objektu. Tā kā režģī visas diodes atrodas vienā plaknē, tas skatoties no “augšas” (paralēli rotācijas asij) tad augšējās diodes aizsedz zem tām esošās diodes, kā rezultātā skatoties tieši paralēli rotācijas acij telpisks attēls nav redzams (sk. att. 2.3.3.1. (b)).



2.3.3.1. att. Diožu režģa rotēšana

Kā risinājums problēmai, ka augšējās diodes aizsedz apakšējās diodes varētu būt diožu izkārtošana nevis režģī, bet gan kā savādāk, piemēram, pielietojot spirālveida izvietojumu (sk. att. 2.3.3.2. (a)). Šis piegājiens problēmu atrisina, taču tikai daļēji – diodes, kas atrodas pie rotācijas centra/ rotācijas centrā, tik un tā pārklājas (sk. att. 2.3.3.2. (a)).



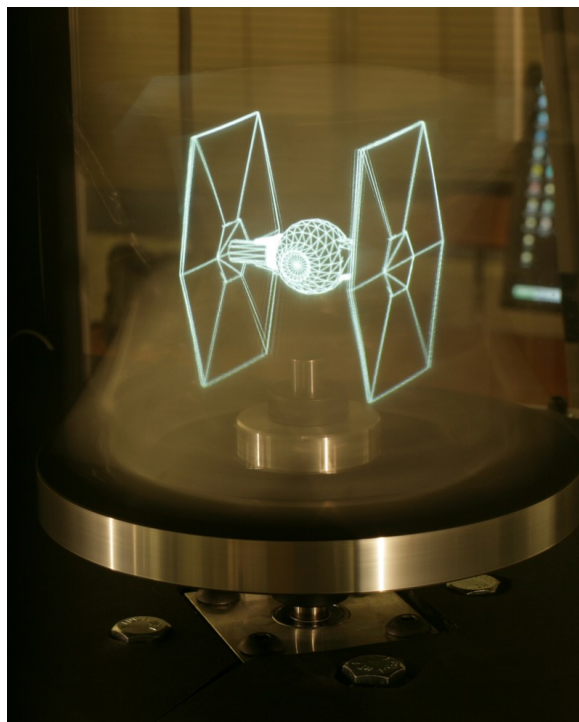
2.3.3.2. att. Spirālveida izkārtojums

Iepriekš apskatījām paņēmienus, ka paši gaismas avoti tiek rotēti. Pastāv arī cits variants, piemēram, attēla projicēšana uz rotējoša spoguļa (sk. att. 2.3.3.3.), kas nostiprināts  $45^\circ$  leņķī attiecībā pret rotācijas asi.



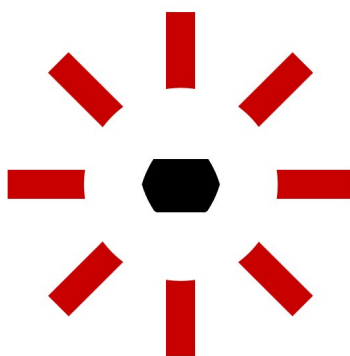
2.3.3.3. att. Spogulis, uz kura tiek projicēts attēls[5]

Atkarībā no spoguļa stāvokļa, uz tā tiek projicēts atbilstošas perspektīvas attēls, kā rezultātā, redzes persistences dēļ, skatītājs attēlu uztver kā trīsdimensiju attēlu (sk. att. 2.3.3.4.). [5]



2.3.3.4. att. Projicētais trīsdimensiju attēls[5]

Lai attēlotu kādu trīsdimensiju attēlu, tas sākumā ir jāiegūst. Šādus trīsdimensiju attēlus var iedalīt divās daļās – modelētajos un fotografētajos. Pie modelētajiem attēliem var pieskaitīt tos attēlus, kas iegūti izmantojot kādu 3 dimensiju objektu modelēšanas rīku. Par fotografētajiem attēliem saucim tos attēlus, kas iegūti fotografējot (vai filmējot) attēlojamo objektu. Lai iegūti kāda objekta trīsdimensiju attēlu, tas ir jānofotografē (jānofilmē), vienlaicīgi no vairākām pusēm tādējādi iegūstot objekta attēlus konkrētajā laika momentā. Attēlā (sk. att. 2.3.3.4.) parādīts kameru (sarkanā krāsā) un objekta (melnā krāsā) izvietojums skatoties no “augšas”. Tad apstrādājot iegūto materiālu ar speciālām programmām no tā var iegūt nofotografētā objekta trīsdimensiju modeli.



2.3.3.5. att. Objekta fotografēšana

Attšķirībā no divdimensiju attēlu veidošanas ierīcēm, trīsdimensiju attēlu veidošanas ierīces nav pārāk izplatītas. To varētu daļēji pamatot ar konstrukcijas īpatnībām. - neliela izmēra šāda tipa ierīces nav diezko lietderīgas, jo, tāpat kā neliela izmēra monitors, nespēj attēlot daudz informācijas. Palielinot izmērus praktiskā lietderība pieaug – trīsdimensiju displejus var izmantot kā monitorus trīsdimensiju attēlu vizualizācijai, taču kļūst sarežģītāka to izveide (ierīces darbības klusums, vibrāciju slāpēšana, datu pārraides un apstrādes ātrumi, utt.). Šobrīd šāda tipa displeji ir lielākoties entuziastu projekti.

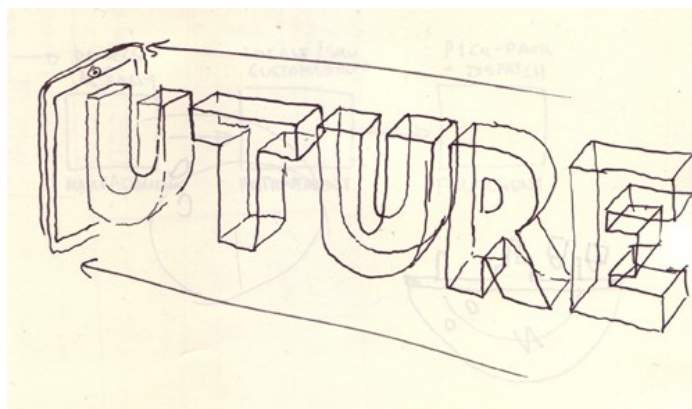
#### **2.3.4. Rakstīšana(zīmēšana) ar gaismu**

Attēlu veidošana izmantojot kustīgus gaismas objektus var tikt izmantota rakstīšanai (zīmēšanai) ar gaismu. Par rakstīšanu ar gaismu tiek izskatīta fotografēšanas tehnika, kad kadra eksponēšana notiek tumsā vai pustumsā izmantojot ilgu ekspozīcijas laiku un pārvietojot telpā fotoaparāta virzienā pavērstus gaismas objektus. Tajās attēla vietās, kur būs bijuši pārvietoti gaismas objekti iegūtajā attēla būs redzamas iezīmētas to trajektorijas. [6]

Vienkāršākais zīmēšanas ar gaismu paņēmieni ir pārvietot telpā kādu gaismas objektu, piemēram, lukturi. Tajās attēla daļās, kur būs bijis gaismas stars būs redzamas attiecīgās krāsas līnijas.

Lai zīmējot ar gaismu iegūtu kādus iepriekš definētus attēlus, var tikt izmantotas nodaļās 2.3.1, 2.3.2. un 2.3.3. aprakstītie attēlu veidošanas principi un metodes.

Interesants veids, kā veikt rakstīšanu ar gaismu veidojot trīsdimensiju objektus, ir kā gaismas avotu izmantot displeju, piemēram, portatīvā datora ekrānu. Sākotnēji tiek uzmodelēts trīsdimensiju attēls, kurš tiks attēlots. Tad uzmodelētā objekta šķērsriezumu attēli tiek pārvērsti par video. Atskaņojot šo video un pārvietojot displeju telpā tiek iegūta iepriekš uzmodelētā objekta projekcija (sk. att. 2.3.4.1).[7]



2.3.4.1. att. Rakstīšana ar gaismu izmantojot displeju[7]

### 2.3.5. Piemēri

#### Divdimensiju attēlu veidošanas ierīce

Monkey Lectric piedāvā pēc pasūtījuma izgatavotas velosipēda rata displeja sistēmas Video Pro m464q profesionālai izmantošanai, kā, piemēram, šoviem un reklāmām. Kā apgalvo ražotājs, tad tā uz doto brīdi ir visprogresīvākā velosipēda rata displeja sistēma. Tā ir pirmā tāda tipa sistēma, kas piedāvā pilnkrāsu stabilizēta attēla un video attēlošanu, kā arī bezvadu kontroli. Video un attēli var tikt ielādēti no datora reālajā laikā. Sistēma attēlo pilnkrāsu attēlus un video, aizpildot telpu starp velosipēda rata asi un aploci (sk. att. 2.3.5.1.). [8]



2.3.5.1. att. Divdimensiju attēls[8]

Specifikācija:

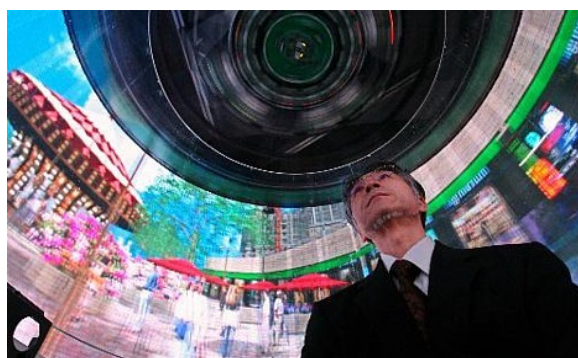
Velosipēda ātrums	Attēli var tikt attēloti pie braukšanas ātruma 12 – 45 km/h
Datu formāti	Dažādi attēlu formāti var tikt izmantoti, kā piemēram JPG, AVI, u.c.
Datu pārraide	USB bāzēts Zigbee bezvadu adapteris
Iebūvētā atmiņa	1000+ attēli vai 90 sekunžu video var tikt saglabāts. Atmiņu iespējams palielināt.
Efektīvā izšķirtspēja	Apmēram 70x70 pikseļi
Krāsu daudzums	12 biti (4096 krāsas)
Diožu skaits	256 pilnkrāsu diodes
Cena	Orientējoši sākot no \$2000

### **Pseudotrīsdimensiju attēla veidošana**

Tokijas Universitātē (University of Tokyo) pētnieku grupa ir izveidojusi rotējošu panorāmisku displeju, kas ļauj skatīties trīsdimensiju video. The Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope jeb TWISTER ir pasaulē pirmais pilnkrāsu 360° trīsdimensiju displejs, kas ļauj skatīties trīsdimensiju video bez speciālu briļļu izmantošanas.

Iekārta ir 1.2 metrus augsts un 2 metrus plats cilindrisks displejs, kas satur 50000 diodes sagrupētas kolonnās. Rotējot ar ātrumu 1.6 apgriezieni sekundē kolonnās sagrupētās diodes attēlo attēlus radot ilūziju par trīsdimensiju attēlu. Tas tiek panākts izmantojot "binokulārās paralaksēs" ("binocular parallax") principu, nododot katrai acij savu attēlu. Starp katru kolonnu ir novietota videokamera, kas video apskates laikā spēj uzņemt trīsdimensiju attēlus, kas varētu sniegt videotelefona iespējas.

Attēls tiek veidots skatītājam apkārt – skatītājs atrodas displeja centrā (sk. 2.3.5.2. att.).[9]



2.3.5.2. att. Skatītājs pseudotrīsdimensiju attēla iekšpusē[9]

Specifikācija:

Kolonas	36
Vertikālie pikseļi	600
Horizontālie pikseļi (360 grādos)	3168
Displeja rādiuss	1 m
Displeja augstums	1,2 m
Ātrums	1,66 apgriezieni sekundē
Kadru skaits sekundē	60
Krāsu attēlojums	10 bitu RGB

### **Trīsdimensiju attēla veidošana**

Sony ir izstrādājusi 360°, trīsdimensiju ekrāna, prototipu (sk. att. 2.3.5.3.), kurš ļauj aplūkot trīsdimensiju attēlus no jebkuras puses neizmantojot speciālas brilles. Prototips ir realizēts kā 13x27cm liela ierīce.

Displejs tika prezentēts izstādē "digital content EXPO2009" (Place: National Museum of Emerging Science and Tokyo International Exchange Center & More, sponsored : Digital Content Association Foundation "Sony President Ryoji Chubachi Vice President") 2009. gada 22. – 25. oktobrī.

Sony plāno turpināt darbu pie šāda tipa displeju izveides.

Īpašības: Kompakts dizains, 360° trīsdimensiju attēls apskatāms no jebkuras puses, lai redzētu trīsdimensiju attēlu nav nepieciešamas speciālas brilles, vairāki cilvēki var apskatīt attēlu vienlaicīgi.

Izmantošana: izstādēs, trīsdimensiju medicīnas attēlu vizualizācijā, virtuāli dzīvnieki, trīsdimensiju foto rāmīši, trīsdimensiju televīzija un telefonija utt. [10]



2.3.5.3. att. Sony 3D displejs[10]

Specifikācija:

Gaismas avots	LED
Izšķirtspēja (horizontāli x vertikāli)	96 x 128 pikseļi
Skata leņķis	360 grādi
Attēlojamās krāsas	24 biti
Izmērs (diametrs x augstums)	130 x 270 mm

### **Rakstīšana ar gaismu**

Rakstīšanai ar gaismu var tikt izmantotas dažnedažādi gaismas avoti, piemēram, portatīvais dators, kurš tiek pārvietots telpā un uz monitora attēlojot attēlojamajam objektam atbilstošus attēlus (sk. att. 2.3.5.4.).[7]



2.3.5.4. att. Rakstīšana ar gaismu izmantojot portatīvā datora ekrānu[7]

### 3. DIVDIMENSIJU ATTĒLU PROJICĒŠANAS IERĪCES IZVEIDE

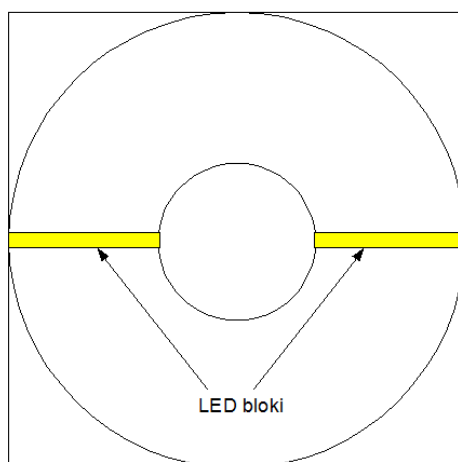
#### 3.1. Ievads

Kā apskatījām iepriekšējajās nodaļās, pastāv dažādi veidi, kā veidot gan divdimensiju, gan trīsdimensiju attēlus. Šajā nodaļā apskatīsim, kā praktiski tika veikta ierīces izveide, kuru var iestiprināt velosipēda rata spieķos un kura, ratam griežoties, veidotu kontrolētu attēlu.

#### 3.2. Realizācija

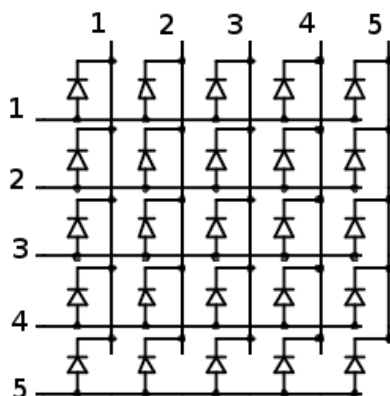
##### 3.2.1. Attēlošana

Attēla veidošanai tiek izmantoti divi LED bloki (sk. att. 3.2.1.1.), kuri paredzēti stiprināšanai velosipēda spieķos. Kā zināms, jo vairāk tādu LED bloku ir izmantots, jo mazāks ir minimālais ātrums, ar kādu rats var griezties, lai attēls būtu pilnībā skaidri uztverams. Izvēle par labu 2 LED bloku risinājumam tika veikta kā kompromiss starp minimālo rata griešanās ātrumu, kas nepieciešams, lai veidotu normāli uztveramu attēlu un maksimāli mazu rata aizpildījumu ar elektroniku. Aptuvenais minimālais ātrums, ar kuru jāpārvietojas ar 26 collu ratiem (populārākais kalnu velosipēdu ratu izmērs) aprīkotam velosipēdam, lai tiktu iegūts skaidrs attēls ir aptuveni 16km/h.



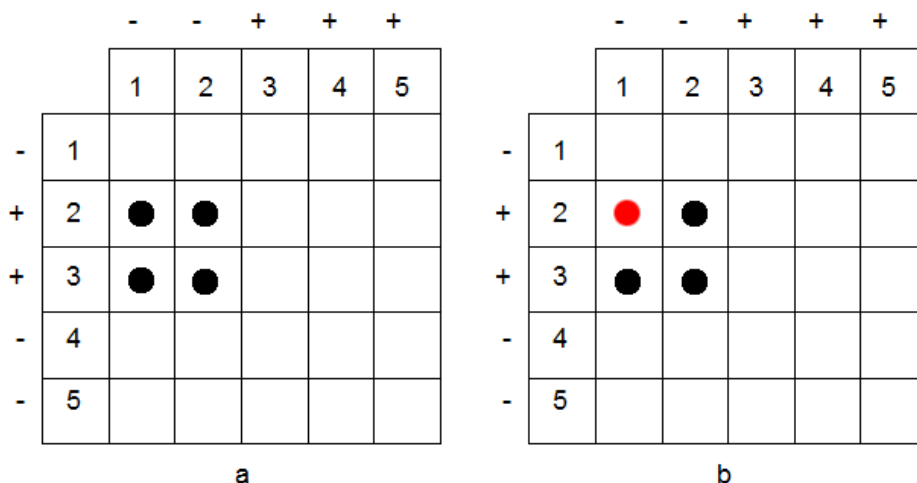
3.2.1.1. att. LED bloki

Katrs bloks satur 25 gaismas diodes, kuras ir saslēgtas pēc matricas principa (sk. att. 3.2.1.2.). Tādējādi, lai ieslēgtu kādu diodi, ir jāpadod pareizā virziena strāva uz diodes koordināšu kontaktiem, piemēram, ja mēs gribam ieslēgt diodi, kas atrodas 2. rindā un 3. kolonnā, tad uz 2. rindas kontaktu jāpadod “+” polaritātes līdzstrāva un uz 3. kolonnas kontaktu jāpadod “-” polaritātes līdzstrāva. Lai izslēgtu diodi jāizdara pretējais - uz 2. rindas kontaktu jāpadod “-” polaritātes līdzstrāva un uz 3. kolonnas kontaktu jāpadod “+” polaritātes līdzstrāva. Šādas pieejas izmantošanai ir gan savi plusi, gan mīnusi. Galvenais šīs pieejas pluss, salīdzinot ar pieeju, kad katra diode tiek kontrolēta individuāli, t.i. katras diodes kontrolēšanai ir savi kontakti, ir tāds, ka tiek ietaupīts uz nepieciešamo kontaktu skaita, kas nepieciešami, lai kontrolētu diodes. Matricas slēguma gadījumā nepieciešami “kolonnu skaits + rindu skaits” kontakti, t.i. vismaz  $\sqrt{\text{diožu skaits}} * 2$  kontakti. “Parastā” slēguma gadījumā būtu nepieciešams vismaz “diožu skaits + 1” kontakti. Tādējādi izmantojot matricas slēgumu “parastā” slēguma vietā, katrā blokā tika ietaupīts uz 16 kontaktiem, kas ir būtiski, jo uz vadības plātes kontaktu skaits ir ierobežots.



3.2.1.2. att. Matricas tipa slēgums

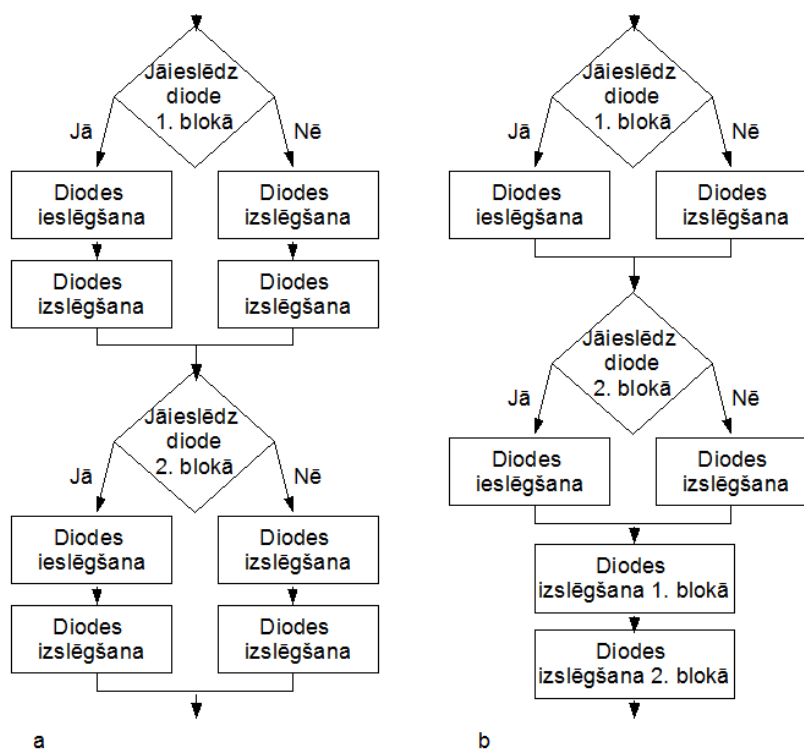
Lai arī matricas slēgums ir ērti izmantojams, tam ir viens liels mīnuss – eksistē tādas ieslēdzamo diožu kombinācijas, kādās diožu ieslēgšana vienā laika momentā nav iespējama. Apskatīsim attēlu (3.2.1.3. (a)). Vairāku diožu (2-1; 2-2; 3-1; 3-3) vienlaicīga ieslēgšana problēmas nesagādā, taču mēs nevaram panākt, lai būtu ieslēgtas diodes (2-2; 3-1; 3-3) un būtu izslēgta diode (2-1) (sk. att. 3.2.1.3. (b)). No tā izriet, ka vienā laika momentā varam pilnvērtīgi kontrolēt tikai vienu matricas diodi.



3.2.1.3. att. Matricas tipa slēgums

Vairāku diožu vienlaicīga kontrolēšana bija pirmā problēma ar ko nācās saskarties matricas slēguma izvēles dēļ. Kā risinājums tika izvēlēta secīga diožu ieslēgšana/ izslēgšana, kas redzes persistence dēļ rada ilūziju, ka vienlaicīgi ir ieslēgtas vairākas diodes. Lai vienlaicīgi spīdētu 4 diodes (sk. att. 3.2.1.3. (a)), secīgi tiek iets caur katru matricas rindu un vajadzīgā diode (2-1; 2-2; 3-1; 3-3) tiek ieslēgta un tad uzreiz izslēgta. Arī 3 diožu spīdēšanas gadījumā (sk. att. 3.2.1.3. (b)) tiek izmantots tas pats princips, kā rezultātā tiek panākts, ka vienlaicīgi var tikt ieslēgta jebkāda diožu kombināciju.

Šāda diožu ieslēgšana/ izslēgšana ciklā ļāva ieslēgt diodes jebkādā kombinācijā, taču parādījās cita problēma – gaišuma zudums. Sākotnējais diožu ieslēgšanas/ izslēgšanas algoritms paredzēja diodes ieslēgšanu/ izslēgšanu sākumā pirmajā blokā un tad attiecīgās koordinātes diodes ieslēgšanu/ izslēgšanu otrajā diožu blokā (sk. att. 3.2.1.4. a). Tā kā diodes tika ieslēgtas/ izslēgtas tik ātri, cik ātri plates procesors spēja apstrādāt ieslēgšanas/ izslēgšanas komandas, tad diodes paspēja saņemt tikai ļoti mazu strāvas impulsu, kā rezultātā gaismas intensitāte bija nepietiekama. Lai novērstu šo problēmu, bija jāpalielina laiks, cik ilgi gaismas diode nepārtraukti saņem strāvu. Nelielas izmaiņas algoritmā (sk. att. 3.2.1.3. (b)) deva gaidītos rezultātus – diodes sāka spīdēt daudz gaišāk.



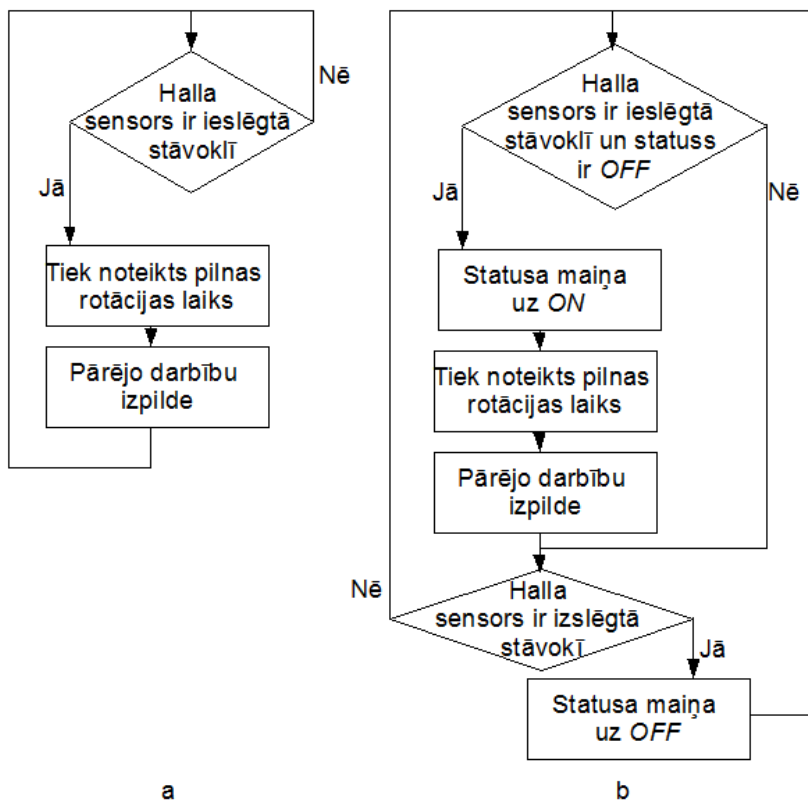
3.2.1.4. att. Ieslēgšanas/ izslēgšanas algoritms

### 3.2.2. Sinhronizācija

Pilnas rotācijas noteikšanai tiek izmantots Halla sensors, kurš ir iestiprināts rata spieķī, savukārt magnēts, kurš padot impulsu sensoram ir piestiprināts pie velosipēda rāmja. Pēc katra pilna rata apgrieziena Halla sensors padot signālu uz vadības bloku, kur tas tiek tālāk apstrādāts. Pilnais apgrieziens tiek uzskatīts par atskaites punktu attēla attēlošanas sākšanai, pilnas rotācijas beigu laika un sākuma laika starpība ir laiks, kas tiek atvēlēts visu attēla rindu attēlošanai. Zinot šo laiku un attēla rindu skaitu tiek aprēķināts vienas rindas attēlošanai paredzētais laiks. Šī laika pārrēķināšana pēc katras pilnas rotācijas nodrošina to, ka mainoties rata griešanās ātrumam neradīsies attēla līniju nobīdes un attēls tiks attēlots pilnībā.

Tā kā vadības plate visas darbības izpilda vienā galvenajā ciklā, tad Halla sensors ir jāpārbauda ne tikai uz savienošānu, bet arī uz atvienošānu, pretējā gadījumā pie mazākiem rata apgriezieniem pilnas rotācijas laiks netiek pareizi aprēķināts. Apskatīsim attēlu 3.2.1.5. (a). Ja Halla sensors ir ieslēgtā stāvoklī, tiek aprēķināts rotācijas laiks un tad attiecīgi tiek veiktas pārējās darbības, ņemot vērā iegūto laiku. Tā kā pie maziem rata apgriezieniem nokļūšana līdz Halla sensora stāvokļa pārbaudei var notikt ātrāk nekā sensors fiziski ir

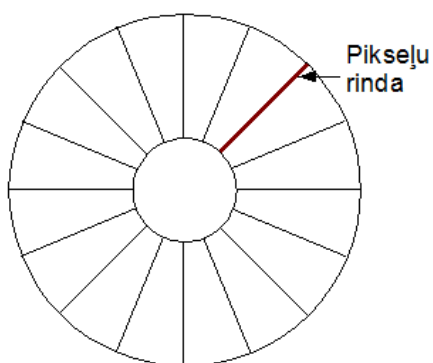
pārvietojies no magnēta prom, tad aprēķināts tiek nevis pilnas rotācijas laiks, bet gan laiks līdz sensora stāvokļa pārbaudei. Lai šo nepilnību novērstu, sensora stāvokļa pārbaudei tika pievienots papildus pārbaudes mainīgais - statuss (sk. att. 3.2.1.5. b). Tas norāda pēdējo Halla sensora statusu un neļauj veikt pilnas rotācijas laika aprēķināšanu, ja sensora stāvoklis pēc ieslēgtā nav ticis nomainīts uz izslēgtu. “Pārējo darbību izpilde” sevī ietver arī pārbaudi uz sensora stāvokļa maiņu un darbību pārtraukšanu, ja pilna rotācija tiek veikta ātrāk nekā pabeigts izpildīt plānotās darbības.



3.2.1.5. att. Sinhronizācijas algoritms

### 3.2.3. Attēla definēšana

Attēla definēšana notiek ar divdimensiju masīva palīdzību. Tā kā diožu blokos tiek izmantotas vienas krāsas diodes, tad tika nolemts izmantot Būla tipa masīvu, kur “1” nozīmē ieslēgtu diodi un “0” izslēgtu diodi. Masīva rinda definē attēla rindu, kolonnas definē attiecīgās diodes stāvokli diožu blokā. Šajā gadījumā attēla rinda nenozīmē klasisko attēla pikseļu rindu vai kolonnu – šajā gadījumā tā ir attēla pikseļu rinda (sk. att. 3.2.3.1.), kas iet no attēla centra uz attēla malu.



3.2.3.1. att. Pikseļu rinda

Līdz ar rata griešanos, griežas arī diožu bloki. Kad diožu bloks atrodas pozīcijā, kas atbilst iepriekš definētā attēla pikseļu rindai, notiek attēla rindas attēlošana ieslēdzot atbilstošās diodes. Tā kā ierīcē tiek izmantoti divi diožu bloki, tad vienlaicīgi tiek attēlotas divas attēla rindas. Redzes persistences dēļ secīgā attēla rindu attēlošana tiek uztverta kā viens vesels attēls.

### 3.2.4. *Vispārīgā specifikācija un arhitektūra*

#### **Vispārīgā specifikācija**

Attēlošanas bloks (sk. att. 3.2.4.1. (1)) tika realizēts kā divi diožu bloki. Katrs diožu bloks satur 25 diodes, kuras savā starpā ir saslēgtas pēc matricas principa un ir iestiprinātas organiskā stikla karkasā. Diožu bloki ir iestiprināti velosipēda spieķos viens otram pretī.

Kā vadības bloks (sk. att. 3.2.4.1. (2)) tiek izmantots Arduino Mega modulis. Izvēle par labu šim modulim krita tāpēc, ka tam ir tas ir salīdzinoši kompakts, tam ir 54 digitālās ieejas/izejas, tam ir USB interfeiss un tas nopērkams salodētā veidā.

Sinhronizācijas blokam (sk. att. 3.2.4.1. (3)) tiek izmantots Halla sensors, kurš iepriekš tika izmantots kopā ar velosipēda spidometru. Halla sensors ir iestiprināts spieķī un savienots ar vadības bloku. Uz velosipēda rāmja ir piestiprināts magnēts, kas pēc pilnas rata rotācijas padot magnētisko impulsu Halla sensoram.

Kā elektrības avots (sk. att. 3.2.4.1. (4)) tiek izmantots 7.4V Li-ion akumulators, kas nodrošina apmēram tādu pat strāvas spriegumu, kā 6 AA tipa akumulatori / baterijas, taču

ir aptuveni 3 reizes vieglāks un kompaktāks, kas ir būtiski, jo tas atrodas velosipēda spieķos un ietekmē velosipēda dinamiku.

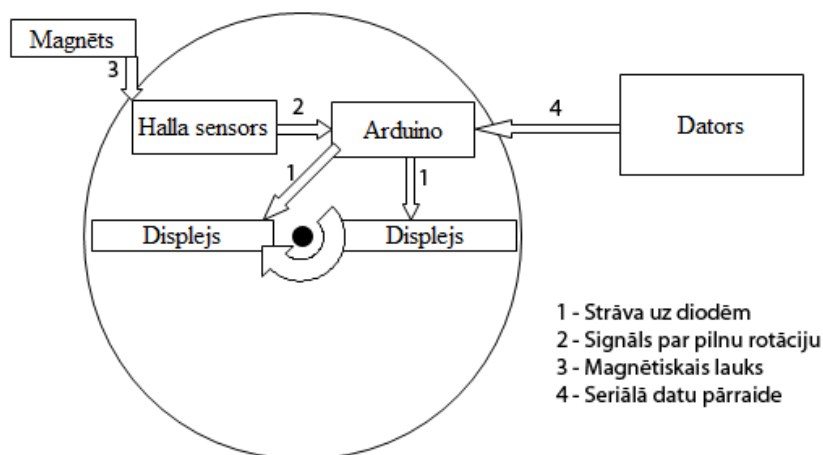


3.2.4.1. att. Rats ar izveidoto attēlošanas ierīci

### **Arhitektūra**

Izveidotās trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīces shematiskā uzbūve attēlota attēlā 3.2.4.2. Diožu bloks (Displejs), vadības bloks (Arduino) un Halla sensors ir iestiprināti velosipēda rata spieķos. Magnēts ir piestiprināts pie velosipēda rāmja tā, ka ratam griežoties tas var padot signālu Halla sensoram, kad tas pārvietojas garām magnētam. Attēlojot attēlu notiek šādas darbības:

- Vadības bloks (Arduino) tiek pieslēgts pie datora un tajā tiek ielādēts attēls, kuru vēlamies attēlot. Pēc attēla ielādes vadības bloks tiek atvienots no datora.
- Velosipēda ratam griežoties griežas arī diožu bloki (Displejs), vadības bloks un Halla sensors.
- Pēc katras pilnas rotācijas, kad Halla sensors atrodas blakus magnētam, tas nosūta signālu uz vadības bloku par pilnu rotāciju.
- Balstoties uz laiku, cik aizņem viena pilna rotācija, vadības blokā tiek aprēķināts, kurā brīdī kura attēla daļa jāattēlo un attiecīgajos laika momentos attiecīgās diodes tiek iedegtas.



3.2.4.2. att. Arhitektūra

### 3.3. Attēlu izveide

Lai izveidotā ierīce varētu attēlot kādu attēlu, ir vajadzīgs arī pats attēls, kurš atbilstu ierīces attēlu apstrādes principam. Šādu attēlu iegūšanai tika izveidota programma “burkaani”, kas ļauj lietotājam uzzīmēt attēlu un eksportēt to attēlošanas ierīcei saprotamā formātā – Būla tipa divdimensiju masīvā. Programmas pašreizējā versijā ir realizētas tikai attēla izveides pamatfunkcijas – iespēja zīmēt/ dzēst attēlu un eksportēt to.

#### 3.3.1. Darbības princips

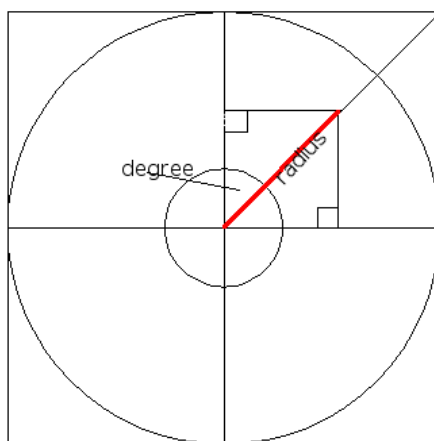
Attēls tiek definēts divdimensiju masīvu, kas satur informāciju par 180 attēla rindām un attiecīgo diožu stāvokli tajās. Tā kā pilna rotācija ir  $360^\circ$  un attēls tiek definēts ar 180 līnijām, tad katrai līnijai tiek atvēlēti  $360/180 = 2^\circ$ . Tā kā attēlošanas ierīce savas uzbūves dēļ nespēj attēlot attēla centrālo daļu, tad veicot attēlo eksportēšanu, informācija attēla centrālajā daļā netiek ņemta vērā, taču tiek ņemts vērā attēla centram tuvāko diožu attālums no centra. Zinot katras attēla līnijas leņķi attiecībā pret koordinātu asīm un attiecīgās diodes attālumu no rotācijas centra, tiek aprēķinātas interesējošā pikseļa koordinātes. Ja uzzīmētajā attēlā pikselis nav baltā krāsā, tad masīvā tas tiek atzīmēts ar “1” (jāieslēdz), pretējā gadījumā tas tiek atzīmēts ar “0” (nav jāieslēdz) (sk. att. 3.3.1.1.). Tādā veidā izejot caur visām attēla līnijām tiek izveidota attēlam atbilstošā matrica, kas var tikt ielādēta attēlošanas ierīcē. Koda

fragments:

```
if (degree <= 45)
{
    currentDegree = degree;
    currentLED = ledCount - 1;
    for (int radius = radiusBegin; radius < radiusBegin + (ledCount * pixelDistance); radius += pixelDistance)
    {
        posX = imageCenterLocationX + (int)(radius * Math.Sin(currentDegree * (Math.PI / 180)));
        posY = imageCenterLocationY - (int)(radius * Math.Cos(currentDegree * (Math.PI / 180)));

        if (((pictureBox1.Image as Bitmap).GetPixel(posX, posY)).R == 0)
            image[currentLED, counter] = true;
        else
            image[currentLED, counter] = false;

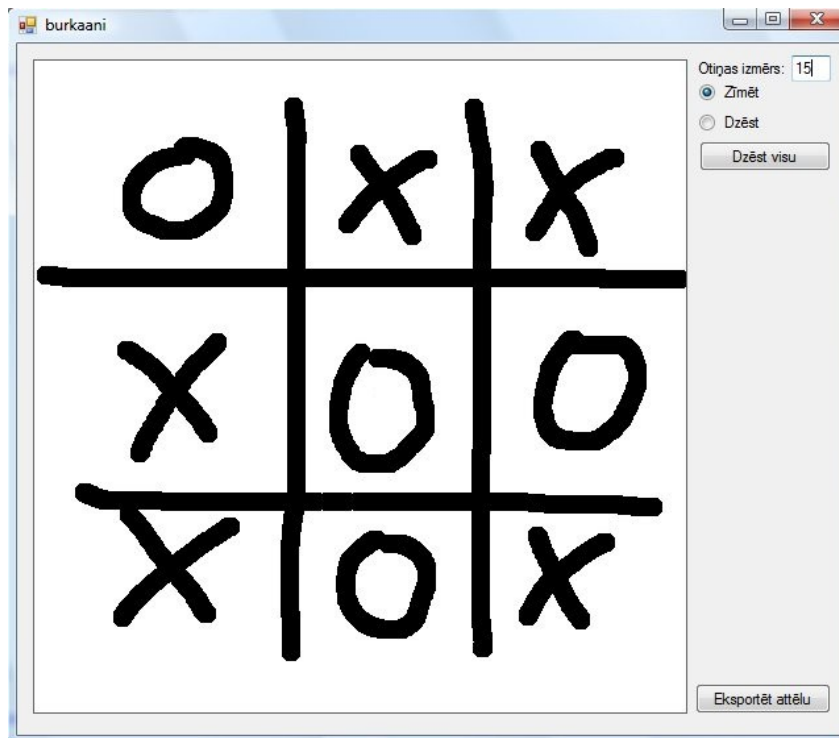
        currentLED--;
    }
}
```



3.3.3.1. att. Pikseļa koordinātes noteikšana

### 3.3.2. Piemērs

Programmā “burkaani” tika izveidots attēls (sk. att. 3.3.2.1.), kurš pēc tam tika eksportēts un ielādēts attēlošanas ierīcē. Ratam griežoties tika iegūts tāds pat attēls, kāds tika uzzīmēts (sk. att. 3.3.2.2.).



3.3.2.1. att. Attēlu sagatavošanas programma “burkaani”



3.3.2.2. att. Izveidotā ierīce darbībā

### 3.4. Vispārīgais novērtējums

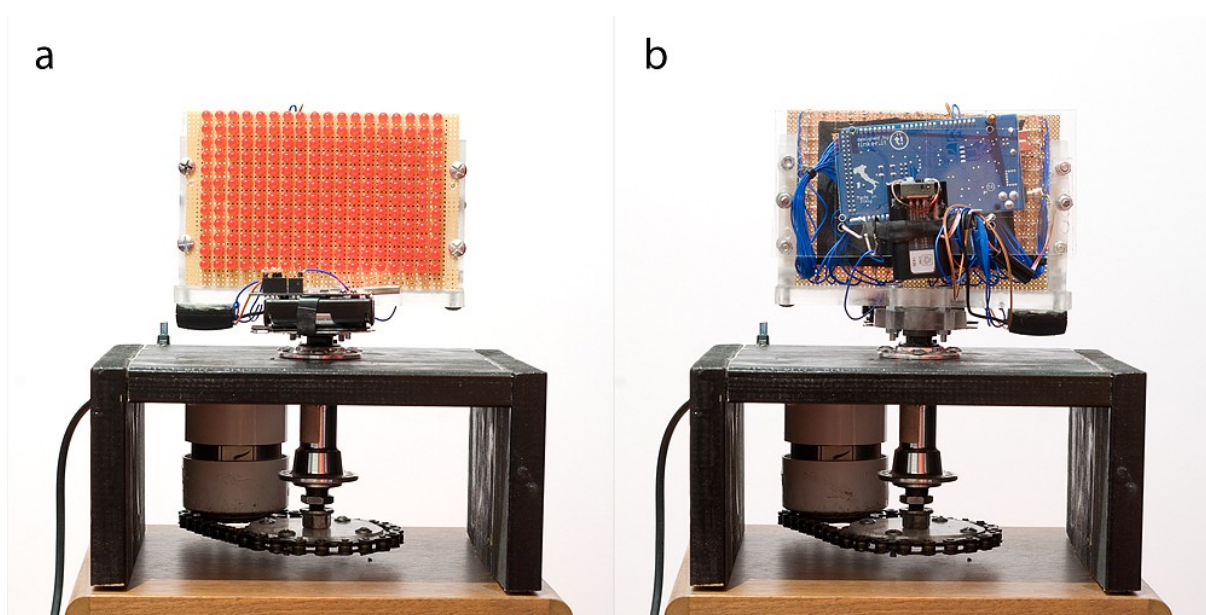
Pēc ierīces izveides un un izmēģināšanas praksē tika izdarīti šādi secinājumi:

- Izveidotā ierīce spēj attēlot kontrolētu divdimensiju attēlu.
- Izveidotā programmatūra ir vienkārši konfigurējama izmantošanai pēc šāda pat principa strādājošās divdimensiju attēlu projicēšanas ierīcēs ar dažādu diožu skaitu.
- Attēls ir pilnībā uztverams velosipēdam pārvietojoties ar ātrumu 15 - 30km/h. Palielinot diožu bloku skaitu minimālais kustības ātrums var tikt samazināts.

## 4. TRĪSDIMENSIJU ATTĒLU PROJICĒŠNAS IERĪCES IZVEIDE

### 4.1. Ievads

Iepriekšējā nodaļā (nodaļa 3) apskatījām, kā var tikt izveidota ierīce divdimensiju attēlu projicēšanai. Šajā nodaļā apskatīsim, kā praktiski tika veikta ierīces (sk. att. 4.1.1.) izveide, kura spēj attēlot trīsdimensiju attēlu, kurš ir redzams telpisks bez speciālu briļļu lietošanas un projicējamie objekti ir apskatāmi no visām pusēm gluži kā reāli objekti.



4.1.1. att. Izveidotā trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīce

### 4.2. Realizācija

#### 4.2.1. Attēlošanas bloks

Attēla veidošanai tiek izmatots 12x18 diožu režģis (sk. att. 4.2.7.1 (1)), kas sastāv no diviem diožu blokiem. Režģis ir iestiprināts karkasā, savukārt karkass ir izvietots uz ass, ap kuru notiek rotācija. Diožu slēguma princips ir tāds pats kā divdimensiju attēlu projicēšanas ierīces gadījumā – katrā diožu blokā diodes ir saslēgtas pēc matricas principa un vienlaicīgi diožu spīdēšanai tiek izmantota pieeja, ka diodes secīgi tiek ieslēgtas un izslēgtas. Sīkāk ideja un principi aprakstīti nodaļā 3.1.2.

#### **4.2.2. Datu pārraide**

Datu pārraidei no datora un uztveršanai uz trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīces tiek izmantoti Tmote Sky moduļi, ar kuru palīdzību tiek realizēta bezvadu datu pārraide. Viens Tmote Sky modulis(sk. att. 4.2.7.1 (2)) atrodas uz trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīces un ir savienots ar Arduino moduli (vadības bloks (sk. att. 4.2.7.2 (1)) un darbojas kā datu uztvērējs, otrs Tmote Sky modulis ir pieslēgts datora USB portam un darbojas kā raidītājs. Uz Tmote Sky moduļiem darbojas MansOS[11],[12] operatīvā sistēma.

##### **Datu pārraide “dators → Tmote Sky raidītājs”**

Tmote Sky modulis ir pieslēgts pie datora caur USB portu un realizē seriālo datu pārraidi. Lai pārsūtītu datus no datora uz Tmote Sky moduli tika izveidota bibliotēka (C#) (nodaļa 4.2.6.), kā rezultātā veidojot programmas, no kurām ir vajadzība sūtīt datus uz trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīcei ir jau gatavs risinājums datu pārraidei.

##### **Datu pārraide “Tmote Sky raidītājs → Tmote Sky uztvērējs”**

Bezvadu datu pārraidei tiek izmantota iekš MansOS esošā bezvadu datu pārraides funkcionalitāte.

##### **Datu pārraide “Tmote Sky uztvērējs → Arduino modulis”**

Datu pārraide starp Tmote Sky un Arduino tika realizēta izmantojot SPI (Serial Peripheral Interface Bus) datu pārraides principu un izveidojot programmatūras līmeņa datu pārraidi[13]. Tmote Sky ar Arduino tika saslēgti izmantojot 4 vadus: SS (*Slave Select*) - padod signālu uz Arduino ka tas ir izvēlēta par datu uztvērēju, MOSI (*Master Output, Slave Input*) - datu pārraide, SCLK (Serial Clock) – nosaka, kad jānolasa signāls no MOSI un GND – zemējums.

Lai trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīce spētu projicēt attēlus, tai ir jāpadod punktu, no kuriem sastāv attēls, koordinātes – x, y, z un vērtība, kas norāda uz to, vai attiecīgajā koordinātē diodei ir jāspīd. Kad uztvērējs ir saņēmis 3 koordinātes un vērtību, kas norāda uz diodes stāvokli, tiek veikta šo datu pārraide uz Arduino sekojošā veidā:

- Uz SS tiek padots signāls, ka ir jāveic datu nolasīšana un kādu brīdi tiek *nogaidīts* līdz datu pārraides sākumam. Iekš Arduino kods paralēli signālu padošanai uz diodēm pārbauda, vai netiek sūtīti dati, un, ja dati tiek sūtīti, tad citas darbības tiek pārtrauktas un tiek uzsākta datu nolasīšana.

- Uztvērējs saņemtās koordinātes konvertē binārajā kodā un pa vienam bitam pārraida uz Arduino. Ja pārraidāmais bits ir “0”, tad uz *MOSI* signāls netiek padots, ja bits ir “1”, tad signāls tiek padots. Kad tas ir izdarīts, uz *SCLK* tiek padots signāls, ka jāveic bita nolasīšana un Arduino nolasa signālu un saņemto vērtību noglabā masīvā. Kad masīvā ir 8 biti, tie tiek pārvērsti skaitliskā vērtībā un masīva aizpildīšana sākas no jauna.
- Pēc visu bitu nosūtīšanas tiek pārtraukta signāla padošana uz *SS*, Arduino pāriet no datu nolasīšanas režīma uz attēlošanas režīmu.

Datu sūtīšanas koda fragments (Tmote Sky):

```
// select device
pinSet(SELECT_PORT, SELECT_PIN);
wait(5000);
// send bits 7..0
for(arrayCounter = 0; arrayCounter < 4; arrayCounter++)
{
    wait(100);
    data = array[arrayCounter];
    for(i = 0; i < 8; i++)
    {
        // consider leftmost bit set line high if bit is 1, low if bit is 0
        if (data & 0x80)
        {
            wait(5);
            pinSet(DATA_PORT, DATA_PIN);
        }
        else
        {
            wait(5);
            pinClr(DATA_PORT, DATA_PIN);
        }
        // pulse clock to indicate that bit value should be read
        pinSet(CLK_PORT, CLK_PIN);
        wait(900);
        pinClr(CLK_PORT, CLK_PIN);
        // shift byte left so next bit will be leftmost
        data <<= 1;
    }
}
// deselect device
pinClr(SELECT_PORT, SELECT_PIN);
```

Datu uztveršanas koda fragments (Arduino):

```
while (digitalRead(SELECT_PIN) == HIGH){

    if(digitalRead(CLK_PIN) == HIGH && flag == 1){
        tmpbuff[bufferCounter] = digitalRead(DATA_PIN);
        bufferCounter++;
        flag = 0;
    }else if (digitalRead(CLK_PIN) == LOW && flag == 0){
```

```

        flag = 1;
    }

    if (bufferCounter == 8){
        receivedBuffer[receivedBufferCounter] = GetIntFromByte(tmpbuff);
        receivedBufferCounter ++;
        bufferCounter = 0;
    }

    if (receivedBufferCounter == 4){
        image[(int)receivedBuffer[0]][(int)receivedBuffer[1]][(int)receivedBuffer[2]] =
(byte)receivedBuffer[3];
        break;
    }
}

```

### **Problēmas**

Tā kā iekš Arduino viss kods strādā vienā ciklā, tad tas nevar vienlaicīgi strādāt gan attēlošanas, gan datu saņemšanas režīmā – tam starp šiem režīmiem jāpārslēdzas. Kā redzams koda paraugā, veicot datu pārraidi starp Tmote Sky un Arduino ir jāietur pauzes, pretējā gadījumā Arduino var “nokavēt” datu saņemšanu un sūtītie dati netiks uztverti.

Pie vērtību konvertācijas no *double* uz *int* formātu saskaros ar īpatnību, ka dažreiz iegūtā vērtība atšķirās no sākotnējās vērtības par 1. Tāpēc nācās pielikt pārbaudi uz to, vai pēc konvertācijas abas vērtības ir vienādas. Koda piemērs:

```

int result = 0;
double sum = 0;
.....
result = sum;
if (result < sum){
    result = result + 1;
}

```

### **4.2.3. Vadības bloks**

Kā vadības bloks (sk. att. 4.2.7.2. (1)) tiek izmantots Arduino Mega modulis. Tas atbild par attēlu saņemšanu no Tmote Sky uztvērēja un saņemtā attēla tālāku padošanu uz attēlošanas bloku. Tā kā iekš Arduino viss kods izpildās vienā galvenajā ciklā, tad vadības bloka darbība tika realizēta divos režīmos – uztveršanas uz attēlošanas režīmos. Attēls tiek Būla tipa trīsdimensiju masīvā, kur x un y koordinātes norāda uz diodi attēlošanas blokā, z koordināte norāda uz attēla šķērsriezumu un vērtība norāda, vai konkrētā diode ir jāieslēdz.

### **Uztveršanas režīms**

Noteiktu funkciju izpildes laikā tiek pārbaudīts, vai uz SS kontakta (sīkāk nodaļā 4.2.2) nav padots signāls. Ja uz SS kontakta ir signāls, tad pašreizējā darbība tiek pārtraukta

un tiek pāriets uz datu uztveršanas režīmu. Dati tiek uztverti līdz brīdim, kamēr 4 baiti informācijas nav uztverti (diodes x, y, x koordināte un vērtība) vai arī līdz brīdim, kamēr uz SS kontaktu tiek pārtraukta signāla padošana.

### Attēlošanas režīms

Attēlošanas režīma darbības princips iepriekš tika apskatīts nodaļā 3.2.1. Līdzīgi kā velosipēda spieķos stiprināmās divdimensiju attēlu projicēšanas ierīces gadījumā, arī trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīces gadījumā vienlaicīgi tiek ieslēgtas maksimums 2 diodes (pa vienai diodei katrā blokā). Attēlošanas blokam rotējot ar Halla sensora palīdzību tiek noteikta pilna rotācija, no kā var aprēķināt, cik ilgu laiku aizņem pilna rotācija un pēc tā tiek noteikts, cik ilgs laiks nepieciešams vienas šķērsriezuma līnijas (attēla masīva z dimensija) attēlošanai.

```
void setInterval(){
    interval =(micros() - startTime) / LINECOUNT;
    startTime = micros();
}
```

Zinot laiku, kāds atvēlēts katra šķērsriezuma attēlošanai, ciklā tiek iests pa attēla z dimensiju un katrs šķērsriezums tiek attēlots. Paralēli tiek pārbaudīts, vai nav notikusi pilna rotācija vai arī vai nav jāpārslēdzas uz datu uztveršanas režīmu. Koda fragments:

```
if (digitalRead(SWITCH_PIN) == HIGH && switchON == false){
    switchON = true;
    flag = false;
    setInterval();
    for (int i = 0; i < LINECOUNT; i++){
        RefreshSwitchPosition();
        while (startTime + (interval * (i + 1)) > micros()){
            //refresh object-cut
            Refresh(i);

            //check for input data
            if(digitalRead(SELECT_PIN) == HIGH){
                break;
            }

            //check on full rotation
            if (digitalRead(SWITCH_PIN) == HIGH && switchON == false){
                flag = true;
                break;
            }
        }
    }

    if (flag == true){
        break;
    }
}
```

```
}else{  
    RefreshSwitchPosition();  
}
```

#### 4.2.4. *Sinhronizācijas bloks*

Pilnas rotācijas noteikšanai tiek izmantots Halla sensors (sk. att. 4.2.7.2. (3)), kurš diožu režģim rotējot padod signālu uz vadības bloku (sk. att. 4.2.7.2. (1)) attēla sinhronizēšanai. Sīkāk par sinhronizācijas principiem tika apskatīts nodaļā 3.2.2.

#### 4.2.5. *Attēla definēšana*

Attēls tiek definēts ar trīsdimensiju masīvu, kas satur informāciju par 40 attēla šķērsgriezumiem un attiecīgo diožu stāvokli tajos. Lai būtu vieglāk saprast, varam iedomāties tortes griešanu – ar divdimensiju masīvu tiek definēts iegriezums līdz tortes vidum, trešā dimensija definē katru nākošo iegriezumu. Kad diožu matrica atrodas pozīcijā, kas atbilst iepriekš definētā attēla šķērsgriezuma pozīcijai, notiek attēlojamā objekta šķērsgriezuma attēlošana ieslēdzot atbilstošās diodes.

#### 4.2.6. *Saskarne*

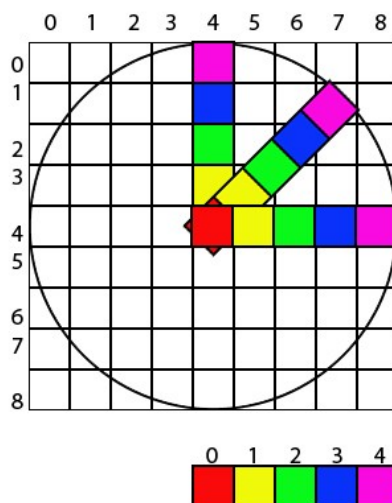
Lai izveidotā ierīce spētu attēlot kādu attēlu, tas vispirms ir jāiegūst ierīcei saprotamā formātā un tad tas attēls jānosūta uz ierīci. Šim nolūkam tika izveidota speciāla bibliotēka ar attēla transformēšanas un attēla nosūtīšanas funkcionalitāti.

#### Attēla transformēšana

Attēla transformēšanai tika izveidota metode `public bool[,.] GetTorpedoImage(bool[,.] image)`, kur kā ieejas parametrs ir 19x19x12 vērtības liels trīsdimensiju Būla tipa masīvs, iekš kura ir definēts trīsdimensiju attēls – 0 norāda, ka konkrētajā koordinātē diode nav jāieslēdz, 1, ka diode ir jāieslēdz. Kā atgriežamais parametrs ir trīsdimensiju masīvs, kurš satur sākotnējo attēlu nu jau ierīcei saprotamā formātā.

Attēla transformēšana notiek pēc principa, ka tie iet cauri padotajam masīvam un tiek veidoti tā šķērsgriezumi (sk. att. 4.2.6.1), par pamatu ņemot masīva centru. Aktuālās

šķērsriezuma vērtības tiek glabātas jaunā masīva x un y dimensijās, z dimensija definē šķērsriezumu pēc kārtas.



4.2.6.1. att. Attēla transformēšana

### **Attēla nosūtīšana**

Attēlu nosūtīšanai tika izveidota metode, ar kuras palīdzību tiek veikta attēlu nosūtīšana no datora uz trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīci. Lai samazinātu pārraidāmo datu apjomu, tiek nosūtīta informācija tikai par to attēla daļu, kas atšķiras no iepriekš ielādētā attēla, attiecīgi tiek pārraidīti dati tikai par attēla izmaiņām.

### **4.2.7. Vispārīgā specifikācija un arhitektūra**

#### **Vispārīgā specifikācija**

Attēlošanas bloks (sk. att. 4.2.7.1. (1)) tika realizēts kā diožu režģis, kas iestiprināts karkasā. Diožu režģis sastāv no diviem diožu blokiem, kuri katrs satur pa 108 diodei. Katrā diožu blokā diodes ir saslēgtas pēc matricas principa.

Kā vadības bloks (sk. att. 4.2.7.2. (1)) tiek izmantots Arduino Mega modulis. Izvēle par labu šim modulim krita tāpēc, ka tam ir tas ir salīdzinoši kompakts, tam ir 54 digitālās ieejas/izejas, tam ir USB interfeiss un tas nopērkams salodētā veidā.

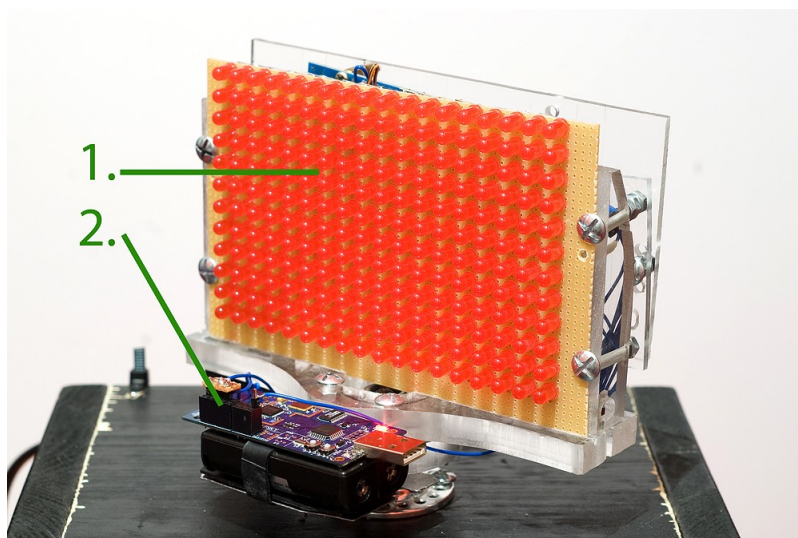
Sinhronizācijas blokam (sk. att. 4.2.7.2. (3)) tiek izmantots Halla sensors, kurs ir savienots ar vadības bloku. Pēc pilnas diožu režģa rotācijas uz vadības bloku tiem nosūtīts

signāls par pilnu rotāciju, kas tur tiek tālāk apstrādāts.

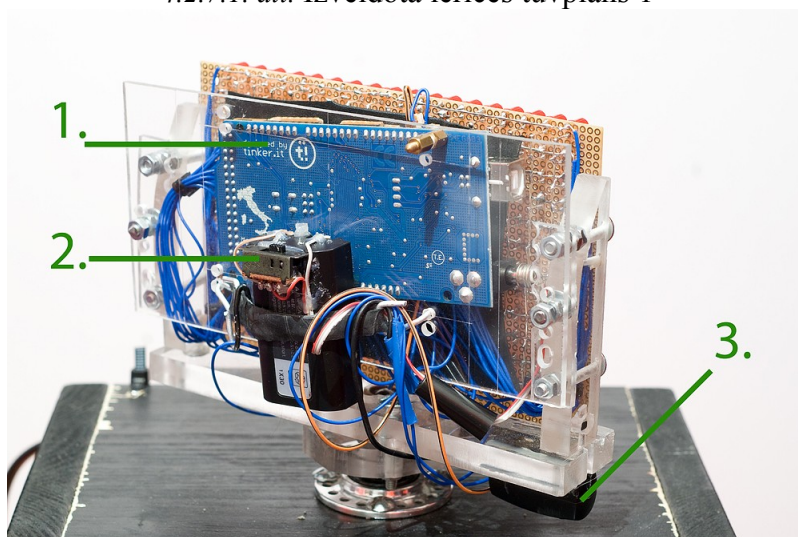
Datu pārraidei tiek izmantoti divi Tmote Sky moduļi, no kuriem viens darbojas kā raidītājs, otrs – kā uztvērējs (sk. att. 4.2.7.1. (2)).

Kā elektrības avots (sk. att. 4.2.7.2. (2)) Arduino barošanai tiek izmantots 7.4V Li-ion akumulators, Tmote Sky uztvērējam – divi AA tipa elementi.

Rotējošā konstrukcija izvietota uz velosipēda rumbas ass, kura, savukārt, tiek griezta ar ķēdes pievada palīdzību izmantojot motoru.



4.2.7.1. att. Izveidotā ierīces tuvplāns 1



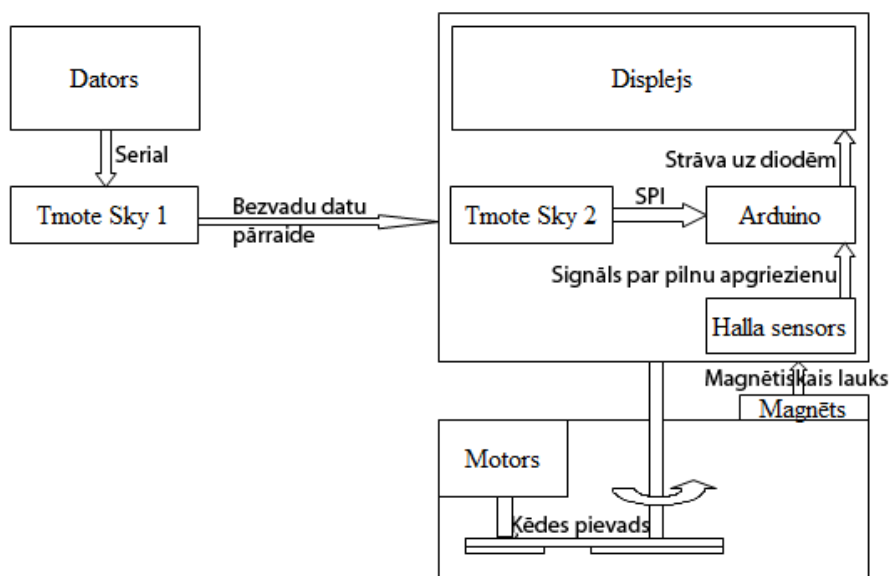
4.2.7.2. att. Izveidotā ierīces tuvplāns 2

## Arhitektūra

Izveidotās trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīces shematiskā uzbūve attēlota

attēlā 4.2.7.3. Diožu bloks (Displejs), Tmote Sky uztvērējs (Tmote Sky 2), vadības bloks (Arduino) un Halla sensors ir ievietoti organiskā stikla karkasā un piestiprināti pie ass, ap kuru notiek rotācija, savukārt ass ar ķēdes pievada palīdzību ir savienota ar motoru, kurš griežoties veic šī bloka rotāciju. Dators ir savienots Tmote Sky moduli (Tmote Sky 1), kurš darbojas kā raidītājs. Attēlojot attēlu notiek šādas darbības:

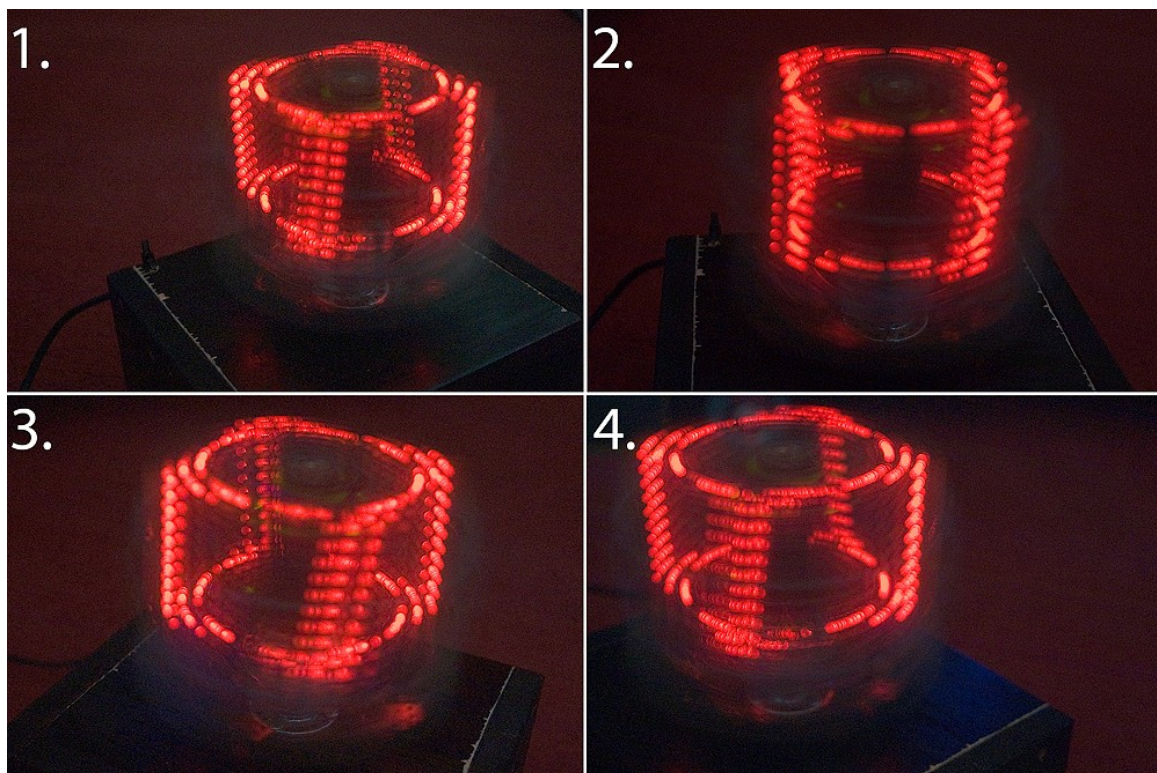
- No datora tiek nosūtīti attēla dati uz bezvadu raidītāju (Tmote Sky 1)
- Pa bezvadu tīklu no raidītāja uz uztvērēju (Tmote Sky 2) tiek nosūtīti attēla dati
- No uztvērēja saņemtie dati tiek pārsūtīti uz vadības bloku (Arduino) izmantojot SPI protokolu
- Motors griež organiskā stikla karkasu, attiecīgi notiek arī diožu bloka (Displejs) un Halla sensora rotācija
- Pēc katras pilnas rotācijas, kad Halla sensors atrodas virs magnēta, tas nosūta signālu uz vadības bloku par pilnu rotāciju.
- Balstoties uz laiku, cik aizņem viena pilna rotācija, vadības blokā tiek aprēķināts, kurā brīdī kurš attēla šķērsgriezums jāattēlo un attiecīgajos laika momentos attiecīgās diodes tiek iedegtas.



4.2.7.3. att. Arhitektūra

#### 4.2.8. Izveidotā ierīce darbībā

Darba gaitā tika izveidota ierīce, kura spēj attēlot trīsdimensiju attēlus, kuri ir uztverami kā trīsdimensiju objekti un apskatāmi no visām pusēm gluži kā reāli objekti. Attēlā (sk. att. 4.2.8.1.) parādīta kuba attēlošana. Kā redzams attēlā, skatoties uz attēlu no dažādām pusēm, attēlojamais objekts arī reāli tiek apskatīts no dažādām pusēm.



4.2.8.1. att. Kuba attēlošana

### 4.3. Vispārīgais novērtējums

Pēc ierīces izveides un un izmēģināšanas praksē tika izdarīti šādi secinājumi:

- Izveidotā ierīce spēj attēlot kontrolētu trīsdimensiju attēlu, kurš var tikt apskatīts no visām pusēm gluži kā reāls objekts.
- Ierīce spēj attēlot aptuveni 5 kadrus sekundē, pieņemot, ka viena kadra attēlošanai nepieciešams viens pilns attēlošanas bloka apgrieziena.
- Izveidotā programmatūra ir vienkārši konfigurējama izmantošanai pēc šāda pat principa strādājošās trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīcēs ar dažādu diožu skaitu.

- Pašreizējā realizācijā bezvadu datu pārraide ir salīdzinoši lēna (apmēram 10-15 attēla punktu koordinātes sekundē) un galvenokārt derīga statisku attēlu pārraidei. Tā kā datu pārraidē tiek pārraidītas tikai attēla izmaiņas salīdzinot ar iepriekšējo attēlu, tad arī kustīgi attēli var tikt attēloti, ja to izmaiņas iekļaujas 10-15 pikseļu/sekundē izmaiņu robežās.
- Attēlojot vertikālas līnijas tika novērots, ak tās nav gluži paralēlas rotācijas asij – tas izskaidrojams ar to, ka diodes tiek ieslēgtas/ izslēgtas secīgi viena pēc otras un pa to laiku, kamēr tiek nonākts no attēlojamās līnijas sākumpunkta līdz līnijas galapunktam, attēlošanas bloks iespēj pagriezties uz dažiem grādiem.

## NOBEIGUMS

Darba mērķis ir iepazīstināt ar attēlu veidošanas principiem izmantojot kustīgus gaismas objektus, kā arī šos principus pielietot praksē, izveidojot ierīces, kuras spētu attēlot informāciju izmantojot kustīgus gaismas objektus.

Kā pirmā tika izveidota ierīce, kura, iestiprināta velosipēda rata spieķos, ratam griežoties, spēj attēlot iepriekš definētu attēlu, kā arī programmatūra šādu attēlu izveidei. Izveidotā ierīce tika izmēģināta ar velosipēda kustības ātrumu 15-30km/h un šajā ātruma intervālā spēja vienlīdz precīzi attēlot ielādēto attēlu.

Kā otrā ierīce tika izveidota trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīce, kas spēj attēlot trīsdimensiju objektus tā, ka tie var tikt apskatīti no visām pusēm gluži kā reāli objekti. Tika izveidota arī programmatūra, kas trīsdimensiju masīvā definētu trīsdimensiju attēlu spēj konvertēt ierīcei saprotamā formātā un to nosūtīt attēlošanai izmantojot bezvadu tīklu.

Izvirzītā mērķa sasniegšanai autoram nācās strādāt gan pie ierīču projektēšanas, gan pie to fiziskas izveides un atbilstošas programmatūras izstrādes. Programmatūra tika rakstīta darbināšanai gan uz datora(Windows vidē), gan uz Tmote Sky moduļiem (MansOS vidē), kā arī uz Arduino moduļa. Apvienojot iepriekšminētās iemaņas un pielietojot tās praksē, divdimensiju un trīsdimensiju attēlu projicēšanas ierīces tika izveidotas un izvirzītie mērķi sasniegti.

## ATSAUCES

- [1] *Persistence of Vision* [tiešsaite] – [atsauce 20.01.2010.]. Pieejams: <http://www.mediacollege.com/glossary/p/persistence-of-vision.html>
- [2] *Persistence of vision* [tiešsaite] – [atsauce 10.11.2009.]. Pieejams: [http://en.wikipedia.org/wiki/Persistence\\_of\\_vision](http://en.wikipedia.org/wiki/Persistence_of_vision)
- [3] *Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope* [tiešsaite] – [atsauce 12.10.2009.]. Pieejams: <http://projects.tachilab.org/TWISTER/>
- [4] FAVALORA , G. E., NAPOLI , J., H ALL , D. M., D ORVAL , R. K., G IOVINCO , M. G., R ICHMOND , M. J., AND C HUN , W. S. 2002. 100 million-voxel volumetric display. Proceedings of the SPIE 4712, 300–312.
- [5] *USC Lab Creates 3-D Holographic Displays, Brings TIE Fighters to Life* [tiešsaite] – [atsauce 10.11.2009.]. Pieejams: <http://www.wired.com/gadgetlab/2008/06/usc-lab-creates/>
- [6] *Light painting* [tiešsaite] – [atsauce 08.11.2010.]. Pieejams: [http://en.wikipedia.org/wiki/Light\\_painting](http://en.wikipedia.org/wiki/Light_painting)
- [7] *Making Future Magic: light painting with the iPad* [tiešsaite] – [atsauce 08.11.2010.]. Pieejams: <http://berglondon.com/blog/2010/09/14/magic-ipad-light-painting/>
- [8] *MonkeyLectric* [tiešsaite] – [atsauce 10.11.2009.]. Pieejams: <http://www.monkeylectric.com/m464q.htm>
- [9] *TWISTER: Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope* [tiešsaite] – [atsauce 12.10.2009.]. Pieejams: <http://pinktentacle.com/2007/06/twister-telexistence/>
- [10] *"Digital content EXPO2009" Exhibit* [tiešsaite] – [atsauce 20.12.2009.]. Pieejams: <http://translate.google.com/translate?hl=en&sl=auto&tl=en&u=http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/200910/09-123/&rurl=translate.google.com>
- [11] *MansOS operating system* [tiešsaite] – [atsauce 20.11.2010.]. Pieejams: <http://mansos.net/>
- [12] Girts Strazdins, Atis Elsts, and Leo Selavo. 2010. MansOS: easy to use, portable and resource efficient operating system for networked embedded devices. In Proceedings of the 8th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '10). ACM, New York, NY, USA, 427-428. DOI=10.1145/1869983.1870057

[13] *Serial Peripheral Interface Bus* [tiešsaite] – [atsauce 08.11.2010]. Pieejams:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface\\_Bus](http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus)

Maģistra darbs: **Attēlu veidošana izmantojot kustīgus gaismas objektus**

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: \_\_\_\_\_  
(Autora paraksts)

Ar savu parakstu apliecinu, ka esmu lasījis augstāk minēto maģistra darbu un atzīstu to par **p i e m ē r o t u / n e p i e m ē r o t u** (nevajadzīgo svītrot) aizstāvēšanai Latvijas Universitātes datorzinātņu maģistrantūrā.

Darba vadītājs(-ja): \_\_\_\_\_  
(Vadītāja paraksts)

Darbs iesniegts **maģistrantūras sekretariātā** \_\_\_\_\_.  
(Iesniegšanas datums)

Ar šo es apliecinu, ka darba elektroniskā versija ir augšupielādēta LU informatīvajā sistēmā.

Studiju metodiķe: \_\_\_\_\_  
(Metodiķes paraksts)

Recenzents: Doc. Kārlis Freivalds

Darbs aizstāvēts maģistra gala pārbaudījuma komisijas sēdē

\_\_\_\_\_ prot. Nr. \_\_\_\_\_, vērtējums \_\_\_\_\_  
(Darba aizstāvēšanas datums)

Komisijas sekretārs: \_\_\_\_\_  
(Sekretāra paraksts)