

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTRONIKOS KATEDRA

Renatas Montvilas

OPERATORIAUS VEIDO SEKIMAS VALDANT  
KAMEROS KRYPTĮ

Magistro darbas

Vadovas  
doc. dr. D. Dervinis

ŠIAULIAI, 2012

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTRONIKOS KATEDRA

TVIRTINU  
Katedros vedėjas  
doc. dr. G. Daunys

2012 06

Renatas Montvilas  
OPERATORIAUS VEIDO SEKIMAS VALDANT  
KAMEROS KRYPTĮ  
Magistro darbas

Vadovas  
doc. dr. D. Dervinis

2012 06

Recenzentas  
doc. dr. G. Daunys

2012 06

Atliko  
RM-10 gr. stud.  
R. Montvilas

2012 06

ŠIAULIAI, 2012

## SANTRAUKA

Montvilas R., Operatoriaus veido sekimas valdant kameros kryptį: Signalų technologijos magistro darbas / mokslinis vadovas doc. dr. D. Dervinis; Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas, Elektronikos katedra, Šiauliai, 2012. – 43p.

Kai kurios žvilgsnio sekimo sistemos leidžia tik labai nedidelius žmogaus galvos judesius. Vienas iš galimų šios problemos sprendimo būdų yra sekti galvos judesius naudojant besisukančią vaizdo kamerą.

Šiame darbe aprašomas žmogaus veido sekimo sistemos kūrimas, bei sukurtos sistemos bandymas realiomis darbo su kompiuteriu sąlygomis. Pirmiausiai buvo atliekamas sistemai keliamų techninių parametrų nustatymas. Tuo tikslu atliktas eksperimentinis operatoriaus darbo zonos nustatymas. Žmogaus veido detektavimui ir sekimui buvo naudojami šie metodai: šablonų tapdinimo bei Violos ir Jones greitas veidų išskyrimo algoritmas, kuris realizuotas OpenCV kompiuterinės regos programinių funkcijų bibliotekoje. Sukurtos veido sekimo sistemos testavimo metu nustatytas naudotų veido detektavimo metodų tinkamumas esant skirtingiems veido judėjimo greičiams, bei gauti veido sekimo sistemą charakterizuojantys parametrai.

## SUMMARY

Montvilas R., The following of operator's face while ruling the direction of a camera: the master's Thesis of Signal Technologies / scientific advisor doc. dr. D. Dervinis; Šiauliai University, Technology Faculty, Electronics Department, Šiauliai, 2012. – 43p.

A great majority of the equipments of glance tracking system permit the allowance only of slight motions of a person's head. One of a possible and acceptable ways in order this problem to be solved is following the motions of a person's head while using a rotating video camera.

The methods of the creating of the system in order a person's face to be observed are described in this academical study and also the testing of this created system under the real condition while working with a computer is presented. At first the ascertainment of the certain technical paramethers, which were required in order the certain system to work appropriately, was carried out. The experimental ascertainment of the length of folcusing of the working area of an operator's head was carried out on the highly mentioned purpose. In order the detectations and followance of a person's head to be carried out the method of template matching and method by Viola and Jones of speedy algorithm of detectation of persons' faces, which has been being used at the OpenCV programming computering vision library, were used. While testing the already created system of the followance of a person's face the exactivity of the previously used methods of the detectation of the persons' faces was ascertained in case the speeds of the motions of a face were different and also the paramethers characterizing the system of the motions of a face were calculated.

## TURINYS

PAVEIKSLAI.....	6
LENTELĖS .....	8
1. ĮVADAS.....	9
2. TEORIJS APŽVALGA.....	10
2.1 Veidų detektavimo metodų apžvalga.....	10
2.1.1 Požymiais pagrįsti metodai.....	11
2.1.2 Vaizdu pagrįsti metodai.....	14
2.2 Žvilgsnio sekimo sistemų parametrai.....	15
3. DARBE TAIKYTI METODAI .....	16
3.1 Violos ir Jones greitas veidų išskyrimo algoritmas .....	16
3.1.1 Kaupiamasis vaizdas.....	16
3.1.2 AdaBoost apmokymo algoritmas.....	17
3.1.3 Kaskadinė struktūra.....	19
4. EKSPERIMENTIŠKAS OPERATORIAUS VEIDO JUDĖJIMO RIBŲ NUSTATYMAS .....	22
5. VEIDO SEKIMO SISTEMOS PROJEKTAVIMAS.....	28
5.1 Techninė dalis.....	28
5.2 Programinė dalis .....	30
6. SUKURTOS SISTEMOS BANDYMAS REALIOMIS DARBO SĄLYGOMIS.....	33
6.1 Lėtas judėjimas, kai judama 0,002 – 0,01 m/s.....	33
6.2 Judėjimas vidutiniu greičiu, kai judėjimo greitis 0,04 – 0,08 m/s .....	35
6.3 Greitas judėjimas, kai judėjimo greitis 0,1 – 0,15 m/s.....	37
7. IŠVADOS.....	42
8. LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	43

## PAVEIKSLAI

- 1.1 pav. Veidą sekančių kamerų, valdymo sistema, sudaryta iš dviejų kamerų, kurių viena skirta rasti veidui aplinkoje, o antra – tiksliai akių judesių filmavimui
- 2.1 pav. Veidų detektavimo metodų skirtymas pagal detektavimo būdus
- 2.2 pav. Judančių objektų detektavimas
- 2.3 pav. žvilgsnio sekimo sistemų galimos galvos judėjimo amplitudės
- 3.1 pav. Keturi Haro tipo požymiai
- 3.2 pav. Kaupiamasis vaizdas taške  $(x,y)$  naudojamas greitai apskaičiuoti Haro tipo požymį.
- 3.3 pav. 1 ir 4 taškais apibrėžto stačiakampio D taškų suma  $ii(4)+ii(1)-ii(2)-ii(3)$
- 3.4 pav. T silpnų klasifikatorių paieškos ir apjungimo metodika
- 3.5 pav. Kaskadų schematinis atvaizdavimas
- 3.6 pav. Neteisingų teigiamų / teisingai klasifikuotų veidų kreivė (ROC kreivė)
- 3.7 pav. AdaBoost algoritmu surasti pirmieji du geriausių veidų išskyrimo rezultata duodantys požymiai
- 4.1 pav. Operatoriaus veido judėjimo ribų nustatymo algoritmas
- 4.2 pav. Judesiai į šonus
- 4.3 pav. Judesiai aukštyn ir žemyn
- 4.4 pav. Judesiai į priekį ir atgal
- 4.5 pav. Atstumas iki kameros judant į priekį ir atgal
- 4.6 pav. Veido detektavimo neapibrėžtumų priklausomybė nuo veido atstumo iki vaizdo kameros
- 5.1 pav. Sistemos struktūrinė schema
- 5.2 pav. Status trikampis
- 5.3 pav. Suprojektuotos veido sekimo vaizdas
- 5.4 pav. Veido detektavimo greičio priklausomybė nuo lango dydžio
- 5.5 pav. Suprojektuotos veido sekimo sistemos algoritmas
- 6.1 pav. Veido centro x koordinatės, bei kampinio greičio kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,004 m/s
- 6.2 pav. Veido centro x koordinatės, bei vaizdo kameros pasukimo kampo kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,004 m/s
- 6.3 pav. Veido centro x koordinatės, bei kampinio greičio kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,052 m/s

6.4 pav. Veido centro x koordinatės, bei vaizdo kameros pasukimo kampo kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,052 m/s

6.5 pav. Veido centro x koordinatės, bei kampinio greičio kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,132 m/s

6.6 pav. Veido centro x koordinatės, bei vaizdo kameros pasukimo kampo kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,132 m/s

6.7 pav. Vaizdo kamerų pasukimo tikslumas judant visomis kryptimis, kai vidutiniai greičiai x ašimi 5,496 laipsn/s y ašimi 1,386 laipsn/s

6.8 pav. Vaizdo kamerų pasukimo tikslumas 1 min. įprastai dirbant kompiuteriu, kai vidutiniai greičiai x ašimi 0,542 laipsn/s y ašimi 0,02 laipsn/s

## LENTELĖS

1 lentelė. Eksperimentiškai nustatytos trijų asmenų veido judėjimo ribos.



# 1. ĮVADAS

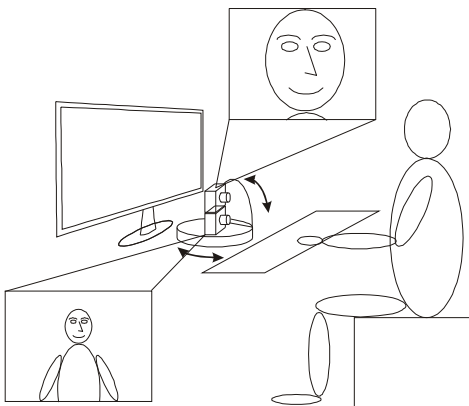
Siekiant žmogaus kompiuterio sąveiką padaryti dar lankstesnę yra kuriamos alternatyvios komandų įvedimo sistemos, kurios leistų dirbti su kompiuteriu nenaudojant rankų ar kojų. Alternatyvi sistema turi naudoti kitokias komandų aktyvavimo formas ar signalus, tokius kaip, kalbą, žmogaus smegenų signalus arba akies žvilgsnį. Žvilgsnio pagalba galima komunikuoti ir kontroliuoti įvairius įrenginius tiesiogiai jų neliečiant. Pasidomėjus egzistuojančiomis žvilgsnio sekimo sistemomis, pastebėta kad kai kurios sistemos leidžia tik labai nedidelius galvos judesius. Todėl dirbant ilgesnį laiką tai pradeda varginti. Šios problemos sprendimui yra keli būdai. Kai kurios sistemos naudoja judančius veidrodžius ar didelės skiriamosios gebos kameras leidžiančias išskirti dominančią vaizdo dalį. Dar vienas iš būdų yra sekti galvos judesius naudojant besisukančią vaizdo kamerą. Šiame darbe ir bus kuriama sistema operatoriaus veido sekimui.

## Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas: sukurti ir ištirti veidą sekančios kameros, valdymo sistemą, sudarytą iš dviejų kamerų, kurių viena skirta rasti veidui aplinkoje, antra – tiksliam akių judesių filmavimui.

Šiam tikslui pasiekti išskirti uždaviniai.

- Veidų detektavimo metodų apžvalga.
- Veido sekimo sistemų apžvalga.
- Pritaikyti veido sekimo būdus(-ą) kameros automatizuotam krypties valdymui.
- Eksperimentiškai nustatyti dirbančio operatoriaus veido maksimalias ribas.
- Suprojektuoti veido sekimo sistemą.
- Išbandyti sukurtą sistemą realiomis sąlygomis.



1.1 pav. Veidą sekančių kamerų, valdymo sistema, sudaryta iš dviejų kamerų, kurių viena skirta rasti veidui aplinkoje, o antra – tiksliam akių judesių filmavimui

## 2. TEORIJS APŽVALGA

### 2.1 Veidų detektavimo metodų apžvalga.

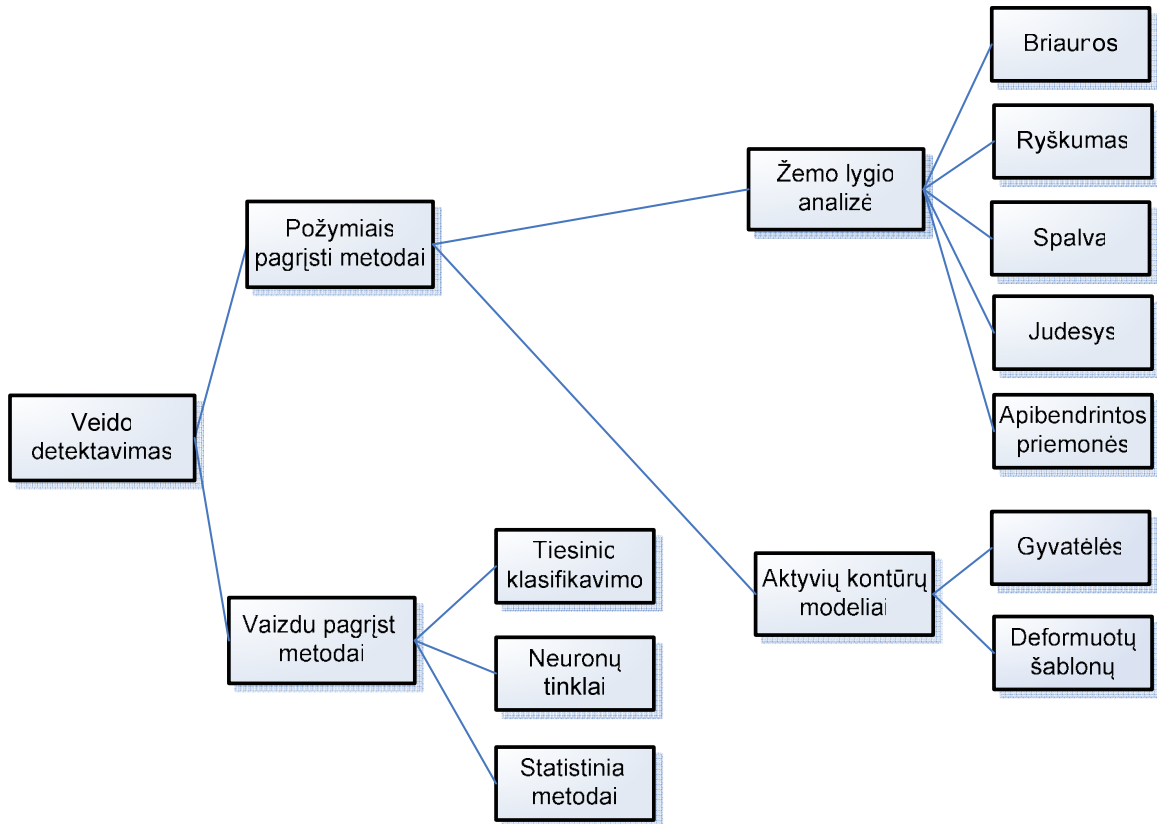
Veido radimas (face detection) vaizdo kadre yra kaip pirmas žingsnis sprendžiant sudėtingesnius uždavinius. Pavyzdžiui žmogaus identifikavimas, veido išraiškos nustatymas. Kuriant žmogaus kompiuterio sąsają reikalingas veido sekimas ir jo padėties nustatymas trimatėje erdvėje.

Veido radimą galima skirti į dvi grupes, tai veido lokalizacija (face localization) ir veido sekimą (face tracking). Veido lokalizacija tai veido padėties radimas vaizdo kadre, kai žinome kad kadre gali būti veidas. Veido sekimas tai veido padėties radimas vaizdo kadre, kai žinome jo padėtį prieš tai buvusiame kadre.

Žmogui veido detektavimas nėra sudėtingas uždavinys, tačiau kompiuteriniai regai tai gana sudėtingas uždavinys, nes susiduriama su įvairiomis problemomis:

- Žmonių veidai gali būti labai skirtingi.
- Net nežymus veido padėties pasikeitimas kameros atžvilgiu gali įtakoti ženklų veido pasikeitimą vaizdo kadre.
- Tam tikrų individualių bruožų (barzda, ūsai, akiniai, raukšlės ir t.t.) turėjimas gali apsunkinti automatizuotą veido paiešką.
- Nuo pačios veido išraiškos (linksmas, nuliūdęs, piktas ir t.t.) priklauso kaip veidas atrodis vaizdo kadre.
- Dalis veido gali būti užstota plaukais, ranka ar kitais pašaliniais objektais.
- Filmavimo sąlygos: apšvietimas, kameros šviesos balansas, kameros fokusavimas ir t.t.

Egzistuojančius veido detektavimo algoritmus galime suskirstyti į dvi grupes, tai veido požymiais (features) pagrįsti metodai ir antra grupė vaizdu pagrįsti metodai. Pirmoji grupė veido požymiais pagrįsti metodai yra daugiau orientuota į tai kaip pats žmogus atpažįsta veidą. Čia žmogaus turimą patirtį bandoma formalizuoti ir sukurti algoritmus automatizuotam veido detektavimui. Antroji grupė vaizdu pagrįsti metodai yra orientuoti į įvairių objektų atpažinimo priemones, kai bandoma išskirti charakteringus požymius, sudaromi apmokymo vektorių rinkiniai, atliekamas mokymas, atliekamas klasifikavimas.



2.1 pav. Veidų detektavimo metodų skirtymas pagal detektavimo būdus

### 2.1.1 Požymiais pagrįsti metodai

#### Briaunos

Taikant šį metodą yra svarbus tikslus briaunų radimas. Yra naudojami įvairūs briaunų radimo operatoriai. Vienas pirmųjų ir populiariausių yra Sobel operatorius. Briaunų radimo metodas gali būti taikomas ne tik pačio veido formos radimui, bet ir veido požymių radimui [4]. Taip randama akių, antakių, nosies, burnos kontūrai. Govindaraju's [5] ieškojo: kairės veido briaunos, plaukų linijos ir dešinės veido briaunos. Paskui taikydamas auksinio santykio taisykle lygino ar rasti kontūrai atitinka idealų veidą.

$$\frac{\text{aukštis}}{\text{plotis}} = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \quad (2.1)$$

Govindaraju's detektavimą atliko keliais žingsniais:

Briaunų radimas: naudojo Marr-Hildreth operatorių.

Skleidimas: taikė Pavlidžio klasikinį skleidimo algoritmą.

Atšakų šalinimas: atskiri atsišakojimai prijungiami prie centrinio.

Filtravimas: nereikalingų briaunų šalinimas.

Kampų radimas: briaunos atskiriamos pagal kampus.

Žymėjimas: gautos briaunos priskiriamos kairiam veido šonui, plaukų linijai ir dešiniam veido šonui.

Testuojant algoritma su 60 vaizdų, kuriuose buvo pavaizduota 90 veidų, buvo pasiektas 76% teisingas veidų detektavimas.

## Ryškus

Veido bruožai kaip akys, antakiai, lūpos yra paprastai tamsesni už juos supančią žmogaus odą. Pasinaudodami šita savybe galime naudoti algoritmus randančius lokalius minimumus, kurie ir būtų tam tikrų veido bruožų buvimo vietos. Kai kuriuose darbuose yra bandoma taikyti tam tikras schemas, kur tam tikras ryškumų išsidėstymas būdingas kažkuriam iš veido bruožų.

## Spalva

Mašininėje regoje daugumos užduočių sprendimui pilnai užtenka juodai balto vaizdo, kuriame nustatomas tam tikru sričių ryškumas ir aptinkami objektai. Spalva pagrįstas metodas, dėka gaunamos papildomos informacijos, yra kur kas geresnė priemonė spalvotų objektų detektavimui. Yra nustatyta kad žmonių odos spalva užima pakankamai siaurą dalį spalvų diapazone [6, 7]. Netgi skirtingų žmonių rasių odos spalva neturi pakankamos įtakos. Visas detektavimo tikslumas pagrįstai priklauso nuo ryškumo, kuris pastoviais keičiasi dėl kintamo apšvietimo.

Spalvoms aprašyti yra naudojami spalvų modeliai. Vienas populiariausių ir dažniausiai naudojamu yra RGB spalvų modelis. Yra pagrindinės trys spalvos: raudona, žalia ir mėlyna. Kitos spalvos gaunamos imant tam tikrų intensyvumų bazines spalvas. Keičiantis spalvoms keitėsi ir viso vaizdo skaistis (šviesumas). Šio nepageidaujamo efekto šalinimui buvo atliekama spalvų normalizacija [7].

$$r = \frac{R}{R + G + B} \quad (2.2)$$

$$g = \frac{G}{R + G + B} \quad (2.3)$$

$$b = \frac{B}{R + G + B} \quad (2.4)$$

Iš (2.2), (2.3), (2.4) formulių galime matyti, kad  $r + g + b = 1$ . Taip žinodami dvi spalvas galime išsireikšti ir surasti trečia nežinoma spalva.

Yang ir Waibel [7] panaudojo tūkstančius žmonių odos spalvos pavyzdžių ir surado Gauso pasiskirstymo funkciją, kuri charakterizuojama standartiniu nuokrypiu ir kovariacine matrica. Paskui buvo imamas pikselis ir skaičiuojamas Mahalanobio atstumas, pagal kurį ir nustatoma kaip pikselio spalva panaši i odos spalvą.

### Judesys

Jei turime filmuota ar iš kameros gaunama video medžiaga, tai joje esanti judesio informacija gali būti panaudojama judantiems objektams detektuoti [8]. Taikant šį metodą yra atliekama esamo ir prieš tai buvusio kadro skirtuminė analizė. Tokiu būdu gerai iš fono išsiskiria greičiau judantys objektai. O mažai judantys fono elementai gali būti filtruojami parenkant tam tikra slenkstį.



2.2 pav. Judančių objektų detektavimas

Dažniausiai taikant šį metodą jo pagalba yra detektuojama sritis kurioje gali būti veidas, o pačio veido radimui naudojami kiti detektavimo metodai.

### Apibendrintos priemonės

Šis metodas paremtas tam tikromis veido savybėmis. Nepaslaptis kad veido kairė pusė beveik tokia pat kaip ir dešinė. Todėl anksčiau paminėtais metodais surade tam tikrus veido požymius, bruožus

galime ieškoti jų simetriškumo [9,3]. Dar viena veido savybė kad žiurint iš priekio veido kontūras panašus į parabolės funkciją.

### 2.1.2 Vaizdu pagrįsti metodai

Pagrindinių komponentių analizė [2].

Šis metodas naudojamas kaip matavimų erdvės mažinimo metodas. Veidų detektavimo atveju yra sumažinama veidams būdingų požymių matavimų erdvė, kuo mažiau prarandant informacijos. Tai pasiekama duomenų dimensiją mažinant kiek galima geriau išlaikant duomenų dispersijas. Didžiausią dispersiją turinti kryptis vadinama pirmąja pagrindine komponente. Ji eina per centrą ir minimizuoja kiekvieno taško kvadratinį atstumą iki šios linijos, t.y. ši linija yra kiek galima arčiau visų duomenų taškų. Antrosios esminės komponentės ašis taip pat turi eiti per centrą ir ji turi būti nekoreliuota (ortogonal) pirmos pagrindinės komponentės ašiai. Atliekant veidų detektavimą yra atliekama testuojamo veido požymių projekcija į apmokymui skirtų veido požymių sumažintą matavimų erdvę. Randami du dydžiai: atstumas nuo projekcijos testuojamo požymių vektoriaus iki vidutinio treniruočių rinkinio vektoriaus (Distance in Feature Space DIFS) ir atstumas nuo testuojamo vektoriaus iki jo projekcijos pagrindinių komponentių pagalba sumažintos erdvės (Distance from Face Space DFFS). Įvertinus šiuos atstumus yra nusprendžiama testuojamas požymio vektoriaus priklausomybė veidų klasei.

## 2.2 Žvilgsnio sekimo sistemų parametrai

Prieš pradėdant veido sekimo sistemos kūrimą, kuri bus naudojama žvilgsnio sekimui su veido judėjimo kompensavimu buvo apžvelgti sukurtų žvilgsnio sekimo sistemų techniniai parametrai, kurie pateikti (2.3 pav.)

Survey of gaze tracking methods								
Manufacturer	Model	Method						
		Pupil and corneal reflection	Pupil only	Electro-potential	Accuracy (degrees visual angle)	Temporal resolution (Hz)	Tolerance of head movement (x,y,z cm)	Working distance (z cm)
Applied Science Laboratories	R6	X			0.5	50-60 100/120	30x30x30	50-200
Eye Response Technologies	ERICA	X			0.5	60	?	?
EyeTech Digital Systems	Quick Glance 1	X			1.0	30	4x4	?
EyeTech Digital Systems	Quick Glance 2	X			1.0	30	6x6	?
EyeTech Digital Systems	Quick Glance 2SH	X			1.0	15	10x10	?
H.K. EyeCan	VisionKey		X		7x7 grid	50	Not tracked	N/A
LC Technologies	Eyegaze System	X			0.45	60	3.8x3x3.8	66
Metrovision	Visioboard	X			1.0	30	20x20x15	40-55
Opportunity Foundation of America	EagleEyes			X	2.0	15	Not tracked	50-100
Sensomotoric Instruments	iViewX	X			0.5	50	40x40x10	40-100
TechnoWorks	TE-9100 Nursing System	X			1.4	60	5x5x5	?
Tobii Technology	My Tobii	X			0.5	50	30x15x20	60

2.3 pav. žvilgsnio sekimo sistemų galimos galvos judėjimo amplitudės

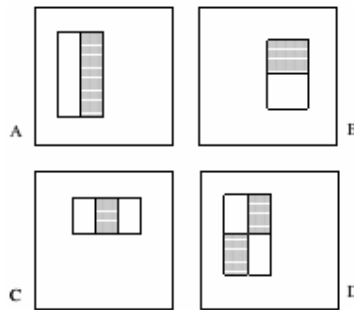
### 3. DARBE TAIKYTI METODAI

#### 3.1 Violos ir Jones greitas veidų išskyrimo algoritmas

Algoritmas sukurtas 2001 metais ir pavadintas jo autorių P. Viola ir M. J. Jones vardu [1]. Šiame algoritme galime išskirti pagrindinius tris momentus, kurie leidžia detektavimą atlikti realiu laiku.

- 1) Kaupiamasis vaizdas.
- 2) Klasifikatoriaus apmokymas pagal AdaBoost algoritmą.
- 3) Kaskadinė struktūra.

Viola ir Jones pasiūlė skaičiuoti labai paprastus ir greitai apskaičiuojamus parametrus. (3.1 pav.) iliustruoja šių požymių keturis pagrindinius tipus. Paveikslėlio šablonai balta spalva žymi pozicijas, kuriose esantys vaizdo taškeliai sumuojami su pliuso ženklu, o pilka spalva žymi pozicijas, kuriose esantys taškeliai sumuojami ir paaimami su minuso ženklu. Požymiu yra laikomas baltoje (-ose) ir pilkoje (-ose) srityje (-se) esančių taškių skirtumas.



3.1 pav. Keturi Haro tipo požymiai

##### 3.1.1 Kaupiamasis vaizdas.

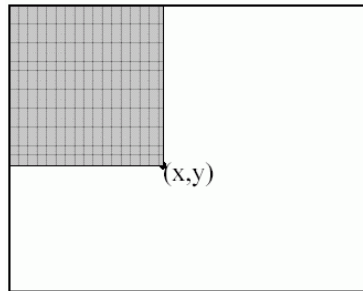
Savo darbe Viola ir Jones naudojo 24x24 taškių vaizdus, kuriuose galima priskaičiuoti iki 45396 Haro tipo požymių. Kad greitai apskaičiuoti požymio reikšmę, jie naudojo kaupiamąjį vaizdą. (3.2 pav.) iliustruoja jo reikšmę taške (x,y), kuri gaunama sumuojant vaizdo reikšmes pilkame stačiakampyje, kurio viršutinis kairysis taškas sutampa su vaizdo tuo pačiu kampiniu tašku, o apatinis dešinysis yra taške (x,y).



$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y')$$

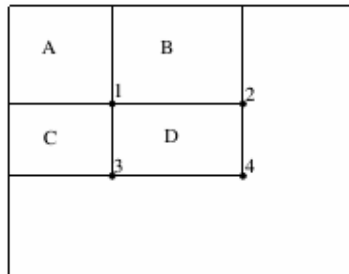
$ii(x, y)$  – kaupiamasis vaizdas,  $i(x', y')$  – pradinis vaizdas.

Aišku, kad kaupiamąją sumą kompiuteryje galima efektyviai apskaičiuoti ir išsaugoti masyve, kurio matmenys bus tokie patys kaip ir pradinio vaizdo.



3.2 pav. Kaupiamasis vaizdas taške  $(x, y)$  naudojamas greitai apskaičiuoti Haro tipo požymį.

Jei pažymėti kaupiamojo vaizdo reikšmes  $ii = ii(x, y)$ , tai norint gauti vaizdo taškelių sumą stačiakampyje D su kampiniais taškais 1 ir 4 pakaks keturių veiksmų:  $ii(4)+ii(1)-ii(2)-ii(3)$  (3.3 pav.)



3.3 pav. 1 ir 4 taškais apibrėžto stačiakampio D taškų suma  $ii(4)+ii(1)-ii(2)-ii(3)$

Haro tipo požymiai bus apskaičiuojami analogiškai sudedant ir atimant atitinkamuose stačiakampiuose gautas reikšmes. Norint apskaičiuoti 1 paveikslėlyje pavaizduotiems A ir B tipo Haro požymiams reikės 6 veiksmų, C tipo reikės 8 veiksmų ir D tipo devynių veiksmų.

### 3.1.2 AdaBoost apmokymo algoritmas.

Nežiūrint į greitą elementarių požymių apskaičiavimą vis viena naudoti visų požymių atpažinimui netikslinga. Kad išskirti geriausiai tinkamus klasifikacijai požymius, autoriai naudojo

AdaBoost apmokymo algoritmą. Šio algoritmo esmė yra tokia. Tarp didelio požymių parametru aibės ieškomas nedidelis skaičius požymių, kurie sumuojami su svoriais ir duoda geriausius atpažinimo rezultatus. Kraštutiniu atveju galite išrinkti vienintelį požymį, kuris kasifikuodamas pagal taisyklę:

$$h_j(x) = \begin{cases} 1 & \text{jei } p_j f_j(x) \leq p_j \theta_j \\ 0 & \text{priešingu atveju} \end{cases}$$

darys mažiausiai klaidų. Čia  $x$  žymi 24x24 vaizdo fragmentą,  $f_j$  - j-ąjį požymį,  $\theta_j$  - klasifikavimo slenkstį, o  $p_j$  - ženklą.

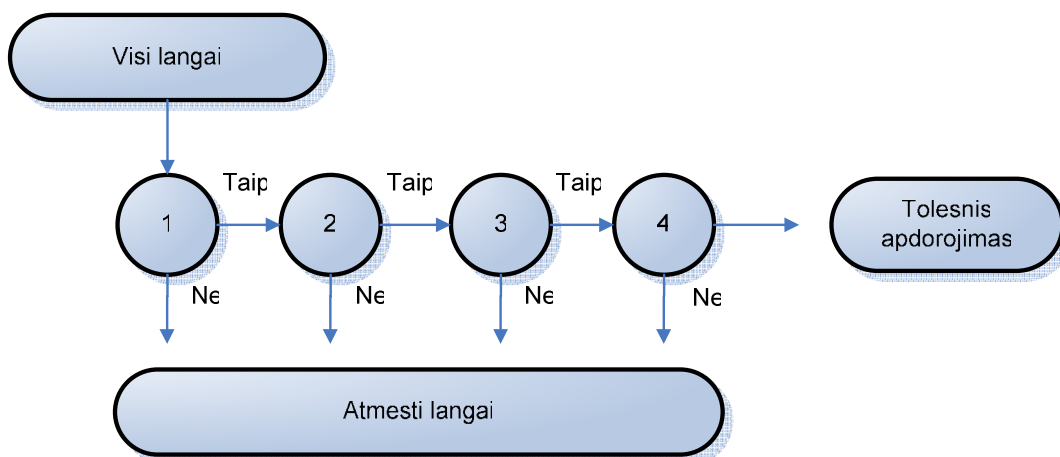
(3.4 pav.) aprašo požymio, svorių ir klasifikavimo schemą naudojant AdaBoost metodiką. Pagal šią metodiką silpni  $h_j(x)$  yra apjungiami į vieną su svoriais. Čia  $T$  žymi naudojamų atpažinimui požymių skaičių.

- Given example images  $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$  where  $y_i = 0, 1$  for negative and positive examples respectively.
- Initialize weights  $w_{1,i} = \frac{1}{2m}, \frac{1}{2}$  for  $y_i = 0, 1$  respectively, where  $m$  and  $l$  are the number of negatives and positives respectively.
- For  $t = 1, \dots, T$ :
  1. Normalize the weights,
 
$$w_{t,i} \leftarrow \frac{w_{t,i}}{\sum_{j=1}^n w_{t,j}}$$
 so that  $w_t$  is a probability distribution.
  2. For each feature,  $j$ , train a classifier  $h_j$  which is restricted to using a single feature. The error is evaluated with respect to  $w_t$ ,  $e_j = \sum_i w_i |h_j(x_i) - y_i|$ .
  3. Choose the classifier,  $h_t$ , with the lowest error  $e_t$ .
  4. Update the weights:
 
$$w_{t+1,i} = w_{t,i} \beta_t^{1-e_i}$$
 where  $e_i = 0$  if example  $x_i$  is classified correctly,  $e_i = 1$  otherwise, and  $\beta_t = \frac{e_t}{1-e_t}$ .
- The final strong classifier is:
 
$$h(x) = \begin{cases} 1 & \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \geq \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \alpha_t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
 where  $\alpha_t = \log \frac{1}{\beta_t}$

3.4 pav. T silpnų klasifikatorių paieškos ir apjungimo metodika

### 3.1.3 Kaskadinė struktūra.

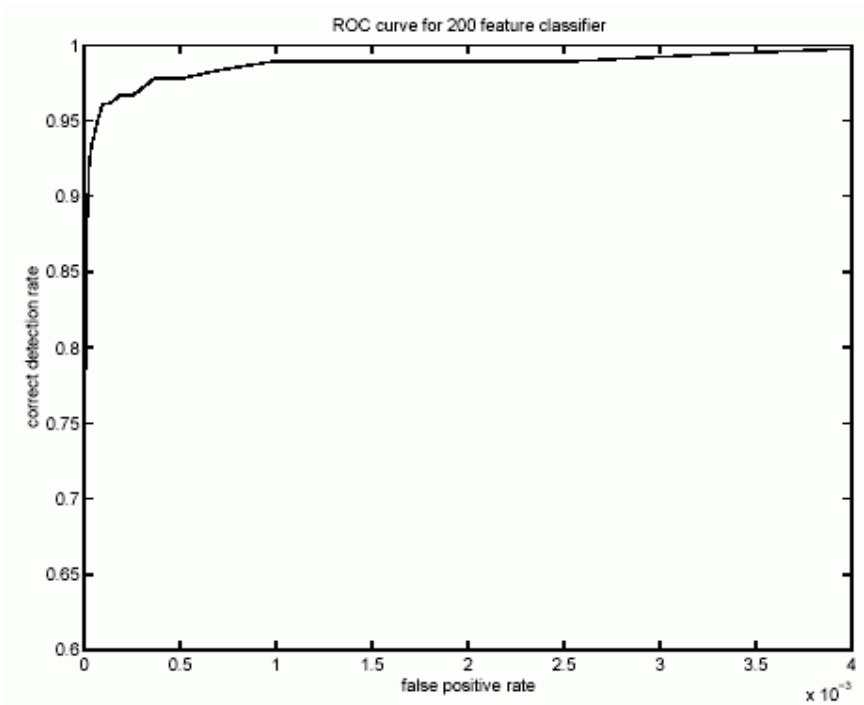
Kaskadų idėja yra tokia kad vietas kuriose nėra veido atmesti kuo ankstyvesnėje stadijoje 3.5 pav. Imamas langas kuriame gali būti veidas ir pagal klasifikatorių nustatoma ar čia galėtų būti veidas ar ne. Jei pirmasis klasifikatorius davė teigiamą rezultatą tuomet tikrinama su sekančiu. O jei davė neigiamą rezultatą tuomet tas langas yra atmetamas ir tikrinimui imamas sekantis langas. Tokiu būdu yra atmetama daug ne veidų labai greitai ir nereikalaujant daug skaičiavimų.



3.5 pav. Kaskadų schematinis atvaizdavimas

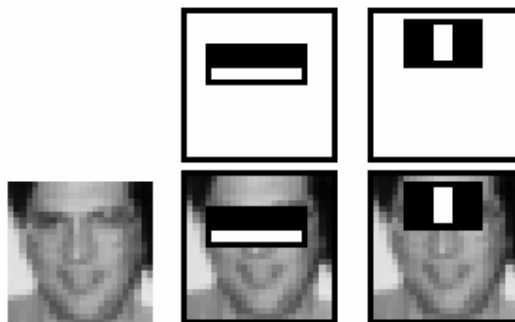
Viola ir Jones atlikdami sistemos apmokymą eksperimentiniu būdu išskyrė 200 požymių ( $T=200$ ), kuriuos naudodami gavo gerus atpažinimo rezultatus.  $384 \times 288$  taškelių vaizdui apdoroti užtenka apie 1 sekundę. Šis greičio pasiekimas jų darbo paskelbimo metu buvo rekordinis.

(3.6 pav.) iliustruoja jų sistemos veidų išskyrimo kokybę. Abscisių ašyje atidedamos neteisingų teigiamų išskyrimų dažnis (vaizdo fragmentas buvo pripažintas veidu, nors iš tikrųjų toks nėra), o ordinačių ašyje - teisingai atpažintų veidų dalis. Pavyzdžiui išskiriant veidus 14084 testavimui skirtų vaizdų imtyje algoritmas darė vieną klaidingą teigiamą veido išskyrimą ir teisingai atpažino 95 procentus veidų. Objektų išskyrimo ir atpažinimo kreivės vadinamos ROC kreivėmis (angl. receiver operating curves). Kuo ROC kreivė ribojamas plotas arčiau vieneto, tuo algoritmas geresnis. Taip pat svarbūs ROC kreivės ribiniai taškai, kurie atspindi kraštutinius atvejus - kokią dalį veidų algoritmas gali teisingai atpažinti nedarydamas nei vieno klaidingo teigiamo išskyrimo ir atvirkščiai - kokia bus dalis klaidingų teigiamų veidų išskyrimų išskiriant visus tikrus veidus teisingai.



3.6 pav. Neteisingų teigiamų / teisingai klasifikuotų veidų kreivė (ROC kreivė)

Atlikus AdaBoost apmokymo algoritmą surasti pirmieji du geriausių veidų išskyrimo rezultata duodantys požymiai (3.7 pav.) Su šiais požymiais gaunama mažiausiai veidų išskyrimo klaidų (tiksliau gaunamas maksimalus ROC kreivė ribojamos figūros plotas).



3.7 pav. AdaBoost algoritmu surasti pirmieji du geriausių veidų išskyrimo rezultata duodantys požymiai

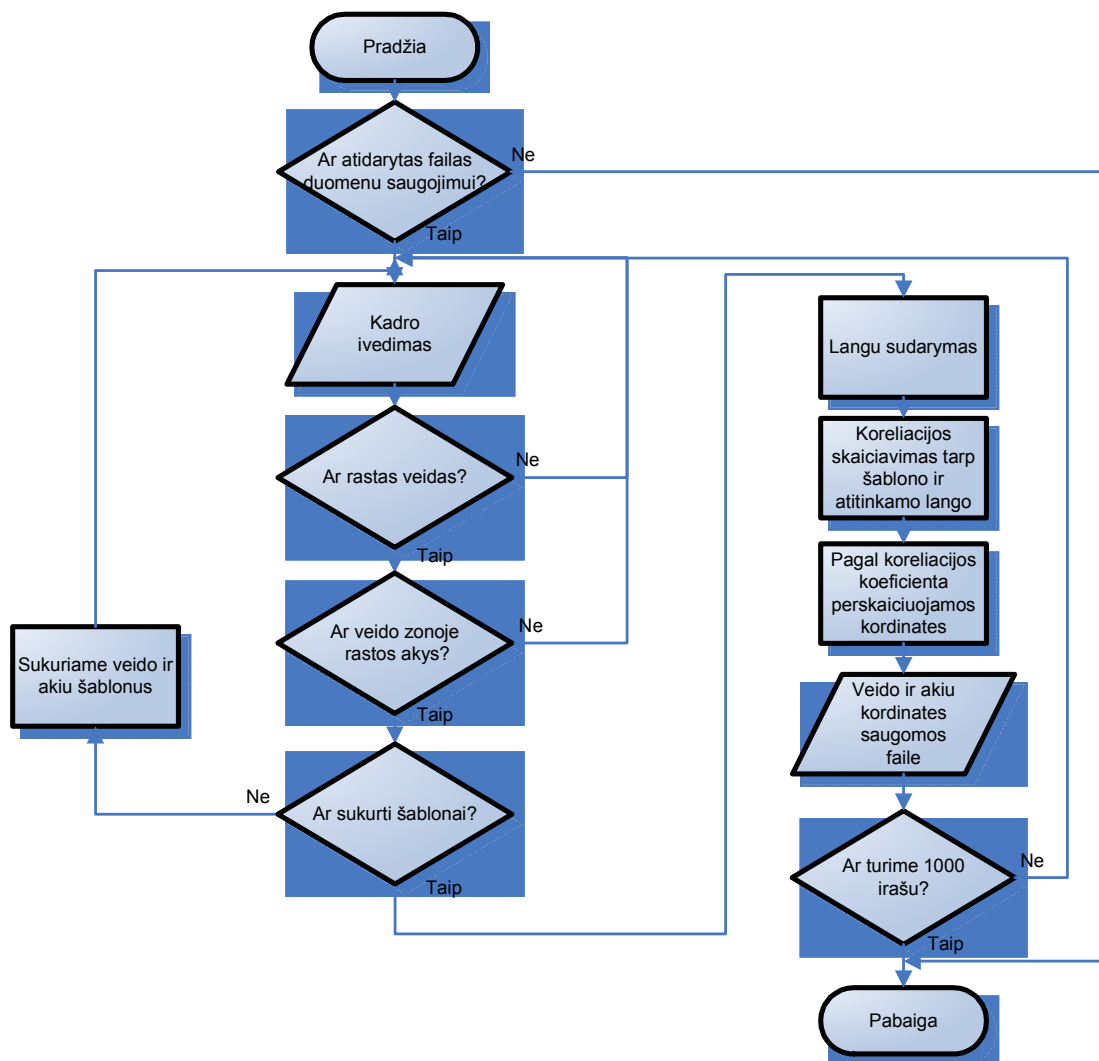
### 3.2 Šablonų tapdinimo metodas

Šis metodas paremtas koreliacijos skaičiavimu. Koreliacija (arba koreliacijos koeficientas) tikimybių teorijoje ir statistikoje yra statistinio ryšio tarp kintamųjų stiprumo matas.

Ji parodo objekto dviejų požymių priklausomumą ar nepriklausomumą. Apdorojant vaizdinę informaciją yra ieškomas priklausomumas tarp dviejų vaizdo pikselių grupių. Paprasčiausiu atveju yra skaičiuojamas atitinkamų pikselių reikšmių skirtumas tarp vaizdo ir šablono. Šių skirtumų suma ir bus koreliacijos koeficientas, bet praktikoje siekiant išvengti kontrasto ar šviesumo įtakos ieškomas normuotos koreliacijos koeficientas.

## 4. EKSPERIMENTIŠKAS OPERATORIAUS VEIDO JUDĖJIMO RIBŲ NUSTATYMAS

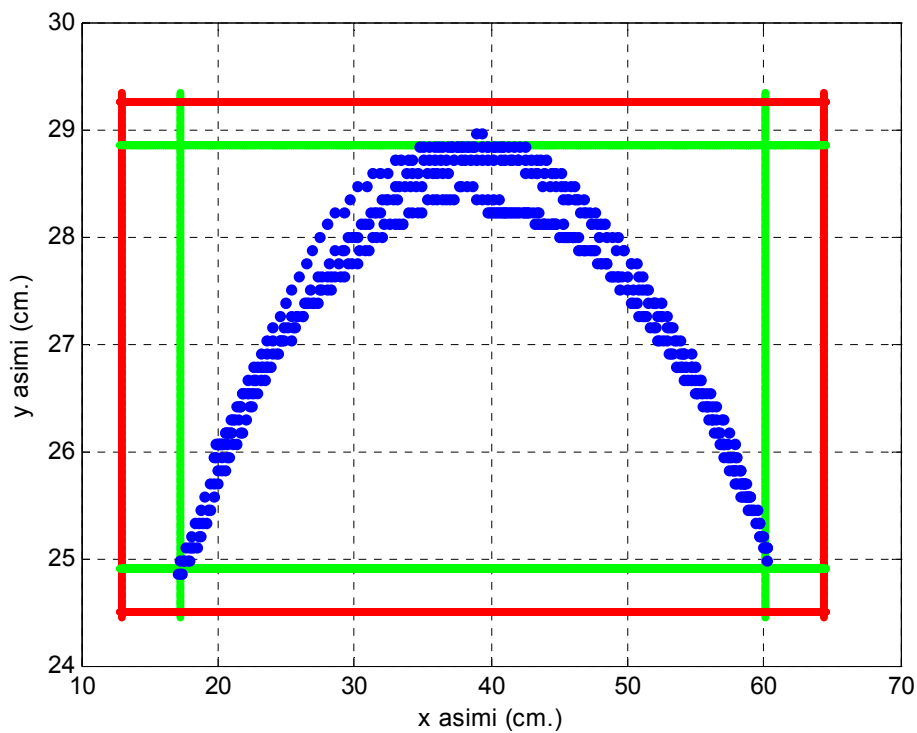
Prieš pradėdant veido sekimo sistemos kūrimą, reikėjo išsiaiškinti kokie techniniai reikalavimai yra keliami sistemai. Buvo nuspręsta eksperimentiškai nustatyti žmogaus dirbančio kompiuteriu (operatoriaus) darbo zoną. Darbo zoną galima išvaizduoti kaip erdvinę figūrą, kuri parodo žmogaus veido ir jo akių galimas buvimo vietas. Taigi žmogaus galva gali judėti: į šonus (x ašimi), aukštyn ir žemyn (y ašimi), į priekį ir atgal (z ašimi). Įprastai dirbant kompiuteriu tie judesiai nėra labai didelių amplitudžių, bet siekiant kad veido sekimo sistema dirbtų stabiliai, buvo ieškomos maksimalios amplitudės. Kad matavimų rezultatai būtų tikslesni, matavimai buvo atliekami su keliais žmonėmis. Buvo parašyta programa ir sukurtas algoritmas operatoriaus darbo zonos nustatymui (4.1 pav.)



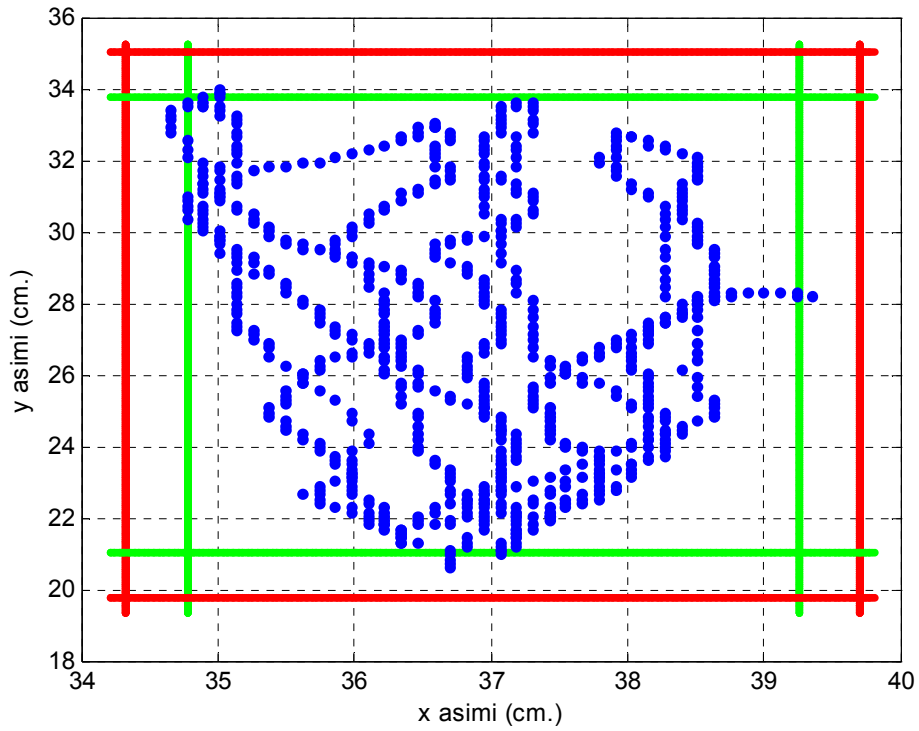
4.1 pav. Operatoriaus veido judėjimo ribų nustatymo algoritmas

Gautų duomenų apdorojimui ir analizei buvo pasirinkta matematinių skaičiavimo automatizavimo programa Matlab 7.5.0. Duomenys buvo fiksuojami kas 50 ms. Iš viso padaryta po 1000 įrašų kas atitinkamai yra 50 sekundžių laiko intervalas. Matavimo metu buvo stengiamasi, tolygiai judant, pasiekti maksimalias pokrypio ribas. Siekiant išvengti tam tikrų paklaidų, atsirandančių veido ar akių detektavimo metu, buvo skaičiuojamas reikšmių vidurkis. Jo skaičiavimui buvo imama 20 kraštinių reikšmių kas atitinkamai yra 2% nuo turimų reikšmių skaičiaus. Tokiu būdu buvo surandamos veido ar akių koordinatinių galimos kraštinės ribos. Kad projektuojama sistema veiktų stabiliai esant maksimaliems pokrypiams, reikalingas pasisukimo rezervas. Todėl atliekamas, kraštutinių koordinatinių, ribų padidinamas. Jos didinamos 10% atsižvelgiant į reikšmių diapazoną.

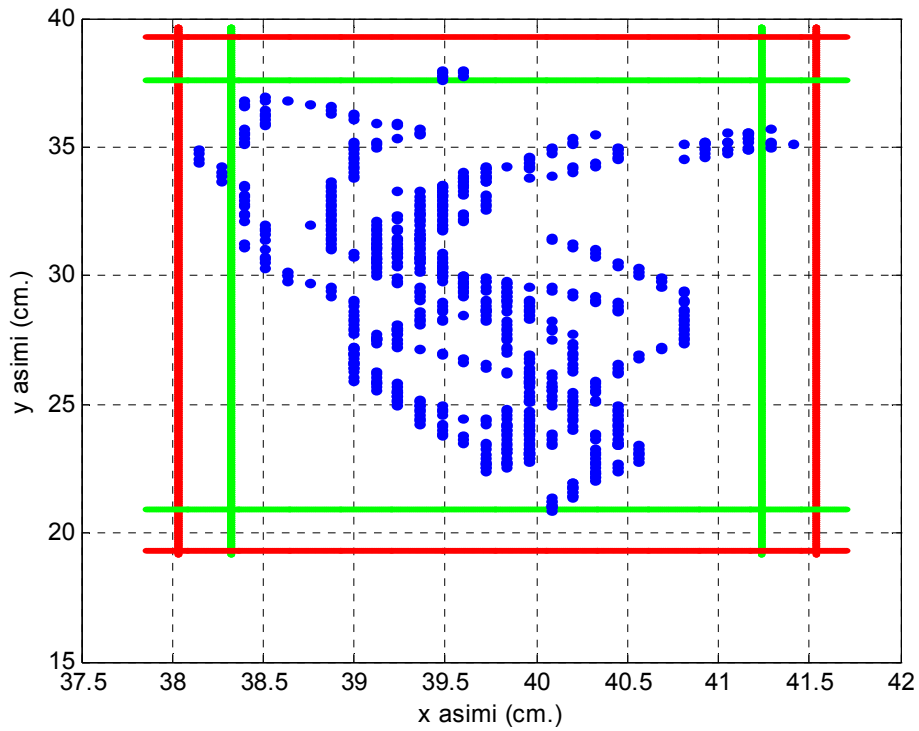
Žemiau grafikuose (4.2 pav.), (4.3 pav.), (4.4 pav.) pateikiama veido koordinatinių pokytis ir kraštinės ribos, atitinkamai judinant galvą.



4.2 pav. Judesiai į šonus

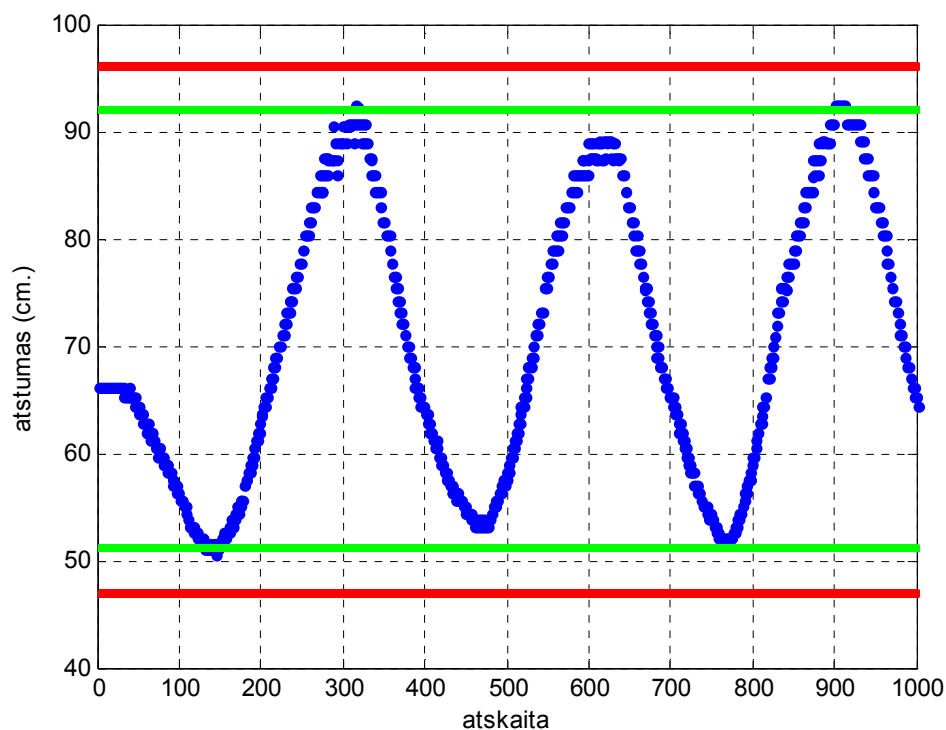


4.3 pav. Judesiai aukštyn ir žemyn



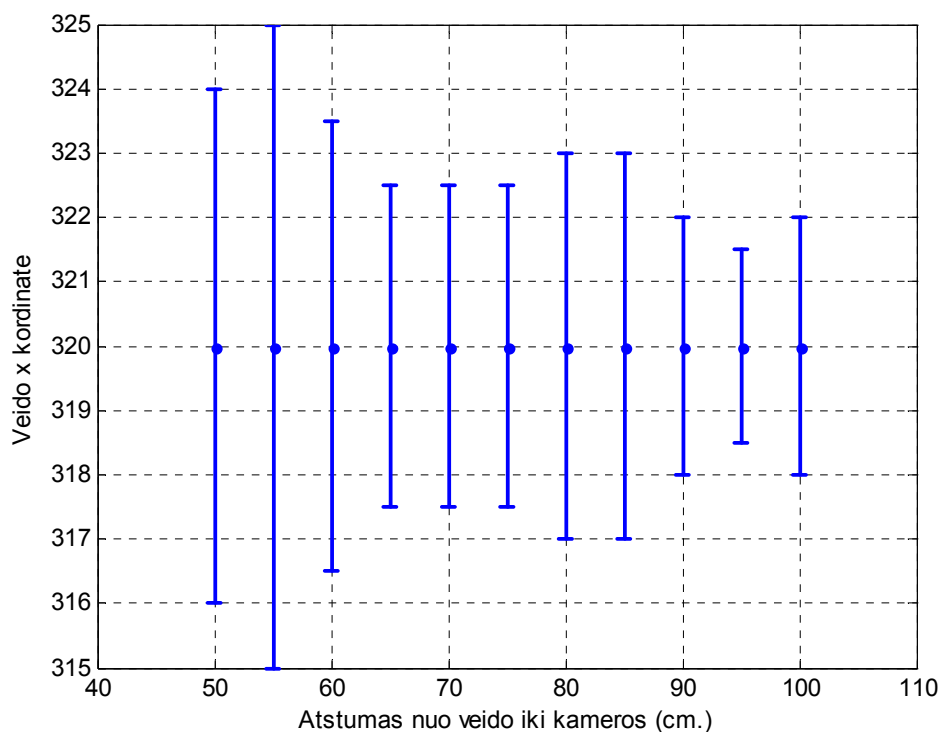
4.4 pav. Judesiai į priekį ir atgal





4.5 pav. Atstumas iki kameros judant į priekį ir atgal

Atstumo nuo veido iki vaizdo kameros apskaičiavimui (4.5 pav.) buvo fiksuojamos akių koordinatės ir surandamas atstumas tarp akių. Akivaizdu kad veidui artėjant prie kameros atstumas vaizdo kadre tarp akių didėja, o tolstant atstumas mažėja. Tokiu būdu apskaičiuojamo atstumo tikslumas labai priklauso nuo to kaip tiksliai yra detektuojamos akys. Buvo patebėta kad detektuotų akių sekimui, o vėliau ir atstumo skaičiavimui AdaBoost algoritmas nėra tinkamas, nes dėl santykinai mažo akių dydžio ( 40 x 40 pikselių ) buvo gaunama per didelė detektavimo neapibrėžtumo įtaka. Žemiau grafike pateikta veido detektavimo neapibrėžtumų priklausomybė nuo veido atstumo iki vaizdo kameros 4.6 pav.



4.6 pav. Veido detektavimo neapibrėžtumų priklausomybė nuo veido atstumo iki vaizdo kameros

Tokio veido atstumo iki kameros įvertinimo metodo, kai žinomas atstumas tarp akių, trūkumas yra tas kad prieš atliekant skaičiavimus reikia žinoti koks yra atstumas tarp akių.

Dar vienas svarbus parametras, tai judėjimo greitis. Jo nustatymui buvo matuojamas veido centro koordinatė pokytis per tam tikrą laiko tarpą. Matavimui buvo pasirinktas veido judėjimas į šonus, nes tuomet gaunamas maksimalus veido judėjimo greitis. Nustatyta kad  $v_{\max} = 0.2m/s$

Visų matavimų rezultatai pateikiami 1 lentelėje. Atstumas nuo veido iki vaizdo kameros, matuojant judesius į šonus, bei aukštyn ir žemyn buvo 80 cm. Kampo skaičiavimas buvo atliekamas, kai atstumas nuo vaizdo kameros iki veido yra mažiausias ( 50 cm. ), nes tuomet gaunami maksimalūs posūkio kampai.

1 lentelė. Eksperimentiškai nustatytos trijų asmenų veido judėjimo ribos.

Eil. nr.	Į šonus				Aukštyn ir žemyn			
	x ašimi		y ašimi		x ašimi		y ašimi	
	Poslinkis cm.	Kampas laipsn.	Poslinkis cm.	Kampas laipsn.	Poslinkis cm.	Kampas laipsn.	Poslinkis cm.	Kampas laipsn.
1	51,4	91,56	4,7	10,83	5,38	12,28	15,24	33,90
2	45,92	85,13	3,29	7,53	5,04	11,51	8,48	19,25
3	48,4	88,14	4,1	9,38	5,25	11,99	13,02	29,19

Eil. nr.	Į piekį ir atgal					
	x ašimi		y ašimi		Atstumas	
	Poslinkis cm.	Kampas laipsn.	Poslinkis cm.	Kampas laipsn.	min. cm.	max cm.
1	3,5	8,01	20	43,60	47,15	96,24
2	4,48	10,24	25,37	53,81	56,39	92,37
3	3,4	7,78	22,6	48,65	51,94	92,46

Apibendrinus gautus duomenis nustatyti techniniai reikalavimai kuriamai veido sekimo sistemai.

x ašimi pasukimo kampas turėtų būti nuo -45 iki +45 laipsnių.

y ašimi pasukimo kampas turėtų būti nuo -15 iki +15 laipsnių.

Maksimalus judėjimo greitis  $v_{\max} = 0.2m/s$

## 5. VEIDO SEKIMO SISTEMOS PROJEKTAVIMAS

Veido sekimo sistemos projektavimą galime skaidyti į dvi dalis: techninės įrangos kūrimą ir programinę dalį.

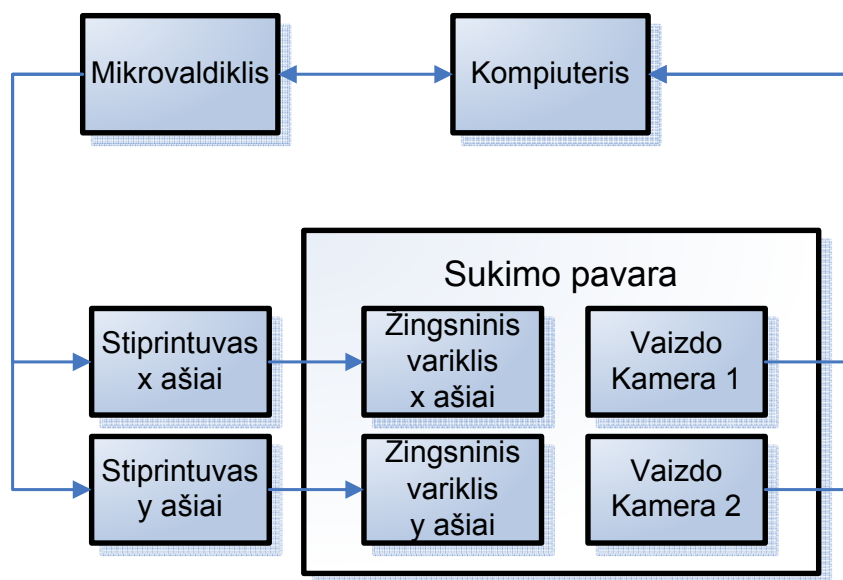
### 5.1 Techninė dalis

Prieš atliekant techninės įrangos kūrimą buvo iškirti techninės įrangos parametrai, pagal kuriuos galėtų būti atliekamas sukurtos veido sekimo sistemos įvertinimas.

Techniniai parametrai:

1. Reakcijos laikas.
2. Sukimo greitis.
3. Pasukimo kampas.
4. Pasukimo tikslumas.

(5.1 pav.) pateikiama naudojamos techninės įrangos struktūrinė schema.



5.1 pav. Sistemos struktūrinė schema

Vaizdo kamerų sukimo pavaros realizacijai buvo pasirinkti žingsniniai varikliai. Jų pasirinkimas buvo grindžiamas tokiais argumentais: tikslus pasukimo kampas, nesudėtingas pasukto kampo apskaičiavimas, tikslus sukimo greičio reguliavimas.

Atlikus pirminius bandymus su 3,5 colio diskasukių varikliukais pastebėtas nepakankamas galingumas. Todėl buvo pasirinkti galingesni Vextra firmos, PX 244–11A–C5 modelio žingsniniai varikliai. Jų techninės charakteristikos: darbinė įtampa 4 V, srovė 1,2 A, žingsnio dydis 1,8 laipsnių. Atlikus žemiau matematiniam modelyje pateiktus skaičiavimus nustatyta kad 1,8 laipsnio vieno metro atstumu atitinka 3,14 cm. atstumą, kas atitinkamai yra 20,8 pikselių kompiuterio monitoriaus ekrane. Todėl siekiant pagerinti veido sekimo tikslumą buvo padarytas lėtinamasis reduktorius. Jo gamyboje buvo ištekinti skirtingų diametrų skriemuliai ir sujungti diržine pavara. Skriemulių diametrai 74 mm. ir 19 mm. Suradus diametrų skirtumą gautas 3,895 perdavimo skaičius ir paskaičiuotas naujas žingsnio dydis, kuris lygus  $1,8 / 3,895 = 0,462$  laipsnių.

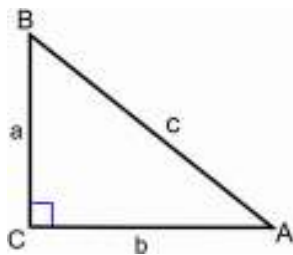
#### Matematinio modelio sudarymas

Matematinis modelis buvo sudarytas rasti sąryšius tarp skirtingu duomenų. Kaip pavyzdžiu žmogaus veido erdvėje poslinkį mes matuojame centimetrais, o tuo tarpu kompiuterio monitoriaus ekrane veido poslinkis gaunamas kaip veido centro koordinatų pasikeitimas per tam tikrą pikselių skaičių. Pirmiausiai buvo surandamas internetinės web kameros regos kampas. Šios kameros paskirtis plačiu kampu filmuoti žmogaus veidą ir jį supančią aplinką. Regos kampo apskaičiavimui buvo naudojama tangento funkcija, kuri yra statinio esančio priešais kampą ir statinio esančio šalia kampo santykis. (5.2 pav.) pavaizduoti statiniai ir kampas.

$$\operatorname{tg}(A) = \frac{a}{b} \quad (5.1)$$

a – pusė vaizdo kameros filmuojamo paviršiaus ilgio

b – atstumas iki vaizdo kameros



5.2 pav. Status trikampis

Vaizdo kameros filmuojamam paviršiui gauti, buvo imama 200 x 40 cm. sugraduota plokštuma ir pastatoma b atstumu prieš vaizdo kamera. Apskaičiuotas kameros regos kampas yra 51,5 laipsnių.

Surandama kiek 1 cm. paviršius, nutolęs 1 m. atstumu nuo kameros, atitiks pikselių vaizdo kameros kadre. Pritaikę (5.1) formulę gauname kad 1 cm. = 6.628 pikselių, o vienas žingsninio variklio žingsnis atitinka 5,346 pikselių.



5.3 pav. Suprojektuotos veido sekimo vaizdas

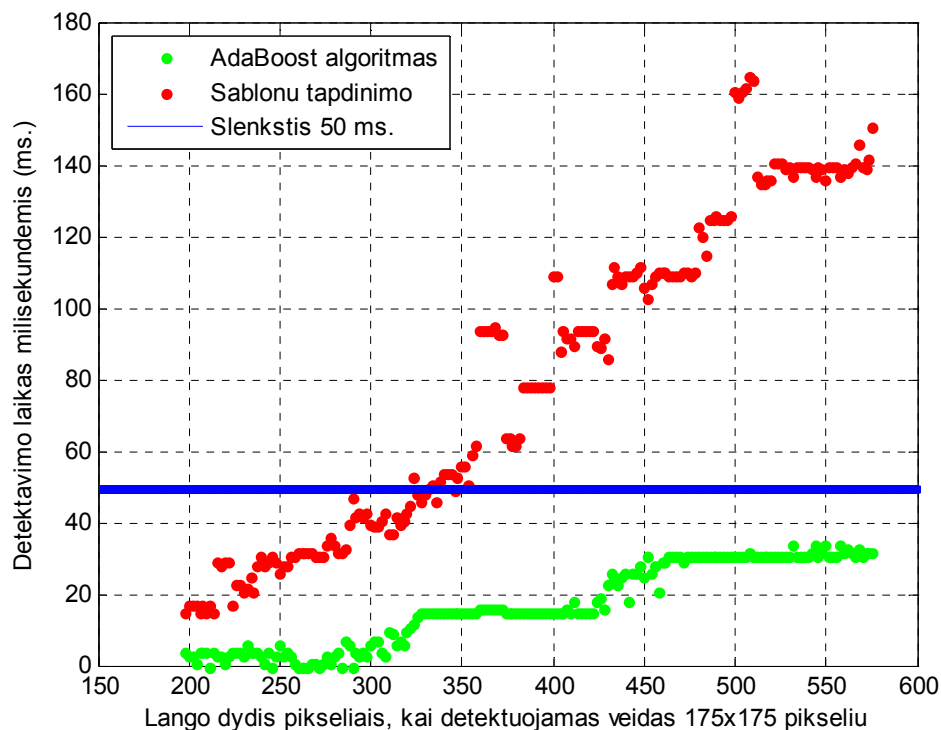
Iš (5.3 pav.) matyti kad vaizdo kameros objektyvas gali būti tvirtinamas per x ir y sukimosi ašių susikirtimo tašką. Tokiu būdu yra užtikrinama kad kameros sukimo metu nebus gaunamas pačios kameros poslinkis. Todėl matavimų rezultatai gaunami tikslesni nes išvengiame paklaidų dėl kameros padėties kitimo.

## 5.2 Programinė dalis

Veido sekimo sistemos programinė dalis yra sudaryta iš dviejų programinių algoritmų. Tai yra algoritmo veikiančio kompiuteryje ir mikrovaldiklyje.

Kompiuteryje veikiančio algoritmo pagrindinis tikslas – realiame laike atlikti veido detektavimą ir perduoti veido centro koordinatas mikrovaldikliui. Veido detektavimui buvo naudojami du metodai, tai Violas ir Jones greitas veidų išskyrimo algoritmas, kuris realizuotas OpenCV kompiuterinės regos programinių funkcijų bibliotekoje ir šablonų tapdinimo metodas. Vienareikšmiškai vieno ar kito metodo tinkamumu nustatyti nepavyko, nes šie veido detektavimo metodai turi savų pliusų ir minusų. OpenCV bibliotekoje realizuoti AdaBoost algoritmo trūkumas, tai gaunamas veido detektavimo neapibrėžtumas, kuris įtakoja vaizdo kameros pasukimo tikslumą. Tai gerai pastebima prie lėto

žmogaus veido judėjimo. Šio metodo pliusas jį lyginant su šablonų tapdinimo metodu, tai veido detektavimo sparta. Abiejų metodų veido detektavimo greičio palyginimas pateikiamas (5.4 pav.)



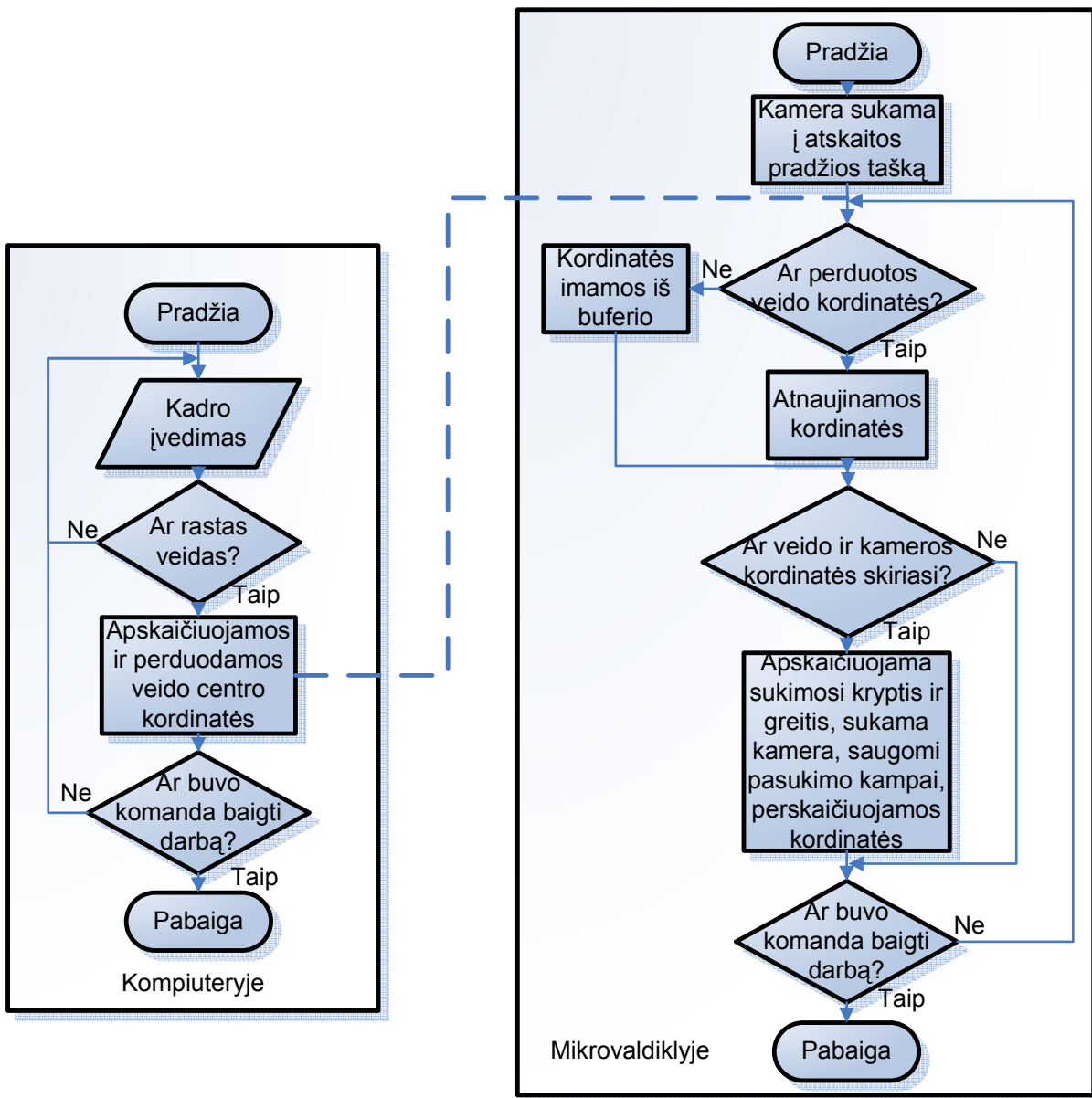
5.4 pav. Veido detektavimo greičio priklausomybė nuo lango dydžio

Iš pateikto grafiko matyti kad šablonų tapdinimo metodo sparta smarkiai priklauso nuo lango dydžio, todėl padidėjus lango dydžiui ar sumažėjus slenksčiui metodas yra nebetinkamas. Grafike pavaizduotas slenkstis, tai vaizdo kameros kadrų perdavimo greitis. Galime padaryti išvadą kad lėtam judėjimui geriau tinka šablonų tapdinimo metodas, o greitam kai naudojamas didesnio pločio langas ar naudojama didesnį vaizdo kadrų per sekundę perduodanti vaizdo kamera geriau naudoti AdaBoost algoritmą. Atsižvelgiant į tai programinėje įrangoje buvo numatytas tiek rankinis, tiek automatinis veido detektavimo metodo parinkimas. Pasirinkus automatinį režimą veido detektavimo metodas keičiamas priklausomai nuo veido judėjimo greičio.

(5.5 pav.) pateikiamas suprojektuotos veido sekimo sistemos algoritmas. Pateiksiu trumpą mikrovaldiklyje veikiančio algoritmo paaiškinimą.

Pirmiausiai galime sakyti yra atliekamas automatinis sistemos pasiruošimas darbui. Nepriklausomai nuo to kur veido sistemos įjungimo metu buvo nukreipta kamera, ji yra pastatoma į centrinę padėtį, nuo kurios ir bus atliekamas kameros pasukimo kampo fiksavimas. Tai yra pasiekama vaizdo kamerą sukant iki ribinių pasukimo padėčių x ir y ašimis, o vėliau kamera atsukama 45 laipsnių

kampu x ašimi ir 15 laipsnių kampu y ašimi, nes visas kameros sukinėjimosi diapazonas yra atitinkamai 90 ir 30 laipsnių.



5.5 pav. Suprojektuotos veido sekimo sistemos algoritmas



## 6. SUKURTOS SISTEMOS BANDYMAS REALIOMIS DARBO SĄLYGOMIS

Kadangi kuriamos sistemos pagrindinis tikslas realiu laiku detektuoti veidą ir pagal jo padėtį atlikti kamerų pasukimą. Sistemos bandymui buvo sudarytos įprastinės darbo su kompiuteriu sąlygos ir fiksuojami parametrai:

- Veido centro koordinatės
- Momentiniais vaizdo kameros sukimo greičiai x ir y ašių kryptimis
- Vidutinis vaizdo kameros sukimo greitis x ir y ašių kryptimis
- Pasukimo kampas x ir y ašimi

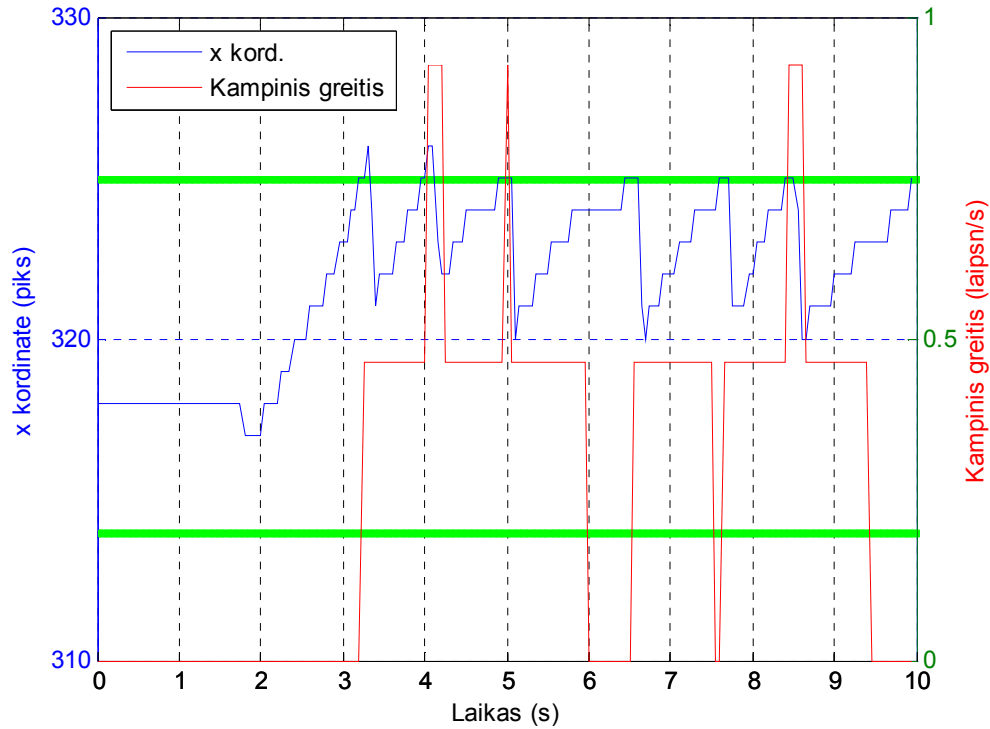
Kadangi visi šitie parametrai priklauso nuo to koku greičiu juda žmogaus veidas, buvo nuspręsta sistemą išbandyti esant trimis judėjimo greičiams:

- Lėtas judėjimas, kai judama 0,002 – 0,01 m/s
- Judėjimas vidutiniu greičiu, kai judėjimo greitis 0,04 – 0,08 m/s
- Greitas judėjimas, kai judėjimo greitis 0,1 – 0,15 m/s

### 6.1 Lėtas judėjimas, kai judama 0,002 – 0,01 m/s

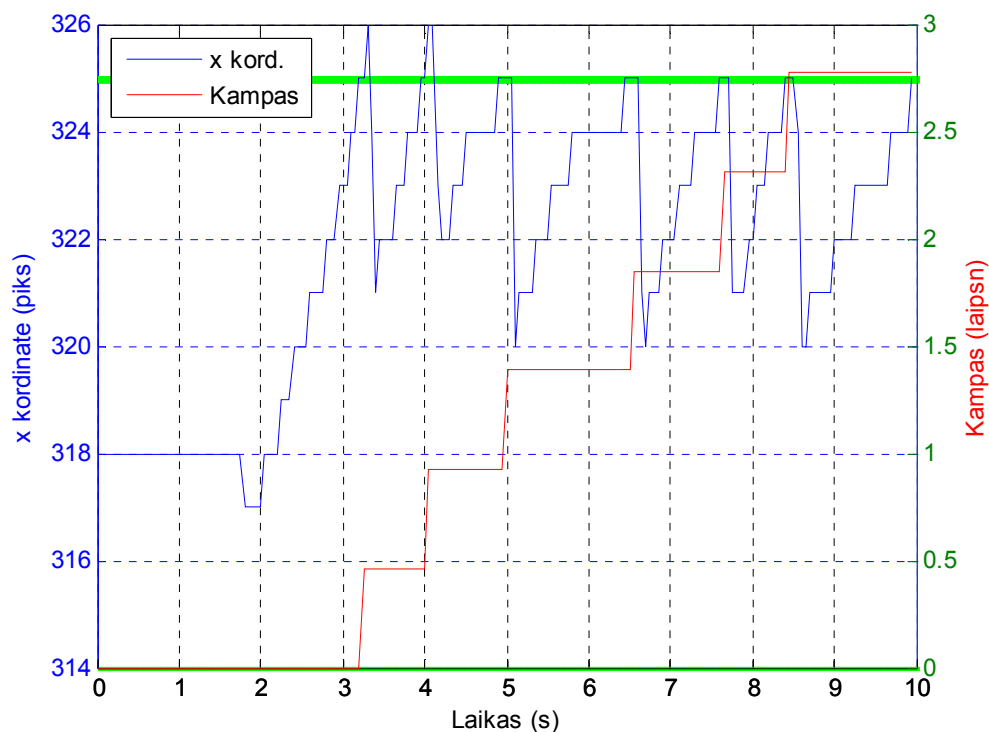
Bandymu metu gauti rezultatai yra atvaizduojami grafiškai (6.1 pav.). Čia pavaizduotas veido centro x koordinatės kitimas bėgant laikui. Iš grafiko matome kad pirmas dvi sekundes veidas beveik nejuda jo koordinatė nesikeičia. Paskui pradeda lėtai judėti į viena pusę. Veido centro x koordinatė pradeda didėti. Veido centro koordinatės reiktų suprasti kaip vaizdo kadre detektuojamo veido padėtį, kur vaizdo kadro stulpelis kuriame yra veido centras atitinka x koordinatę, o vaizdo kadro eilutė kurioje yra veido centras atitinka y koordinatę. Galiausiai veido centro x koordinatė viršija ribinę reikšmę (grafike žalia linija). Tai reškia kad vaizdo kadre veidas per daug nukrypo nuo vaizdo kadro centro. Toliau yra atliekamas vaizdo kameros pasukimas. Kamera yra pasukama per 5,346 pikselius, nes tai minimali, vieną žingsninio variklio žingsnį atitinkanti, reikšmė. Būtent nuo šios reikšmės ir priklauso veido centro koordinatė ribinės reikšmės. Šiuo atveju ribinės reikšmės buvo parinktos taip, kad atlikus pasukimą veido centras būtų pačiame vaizdo kadro centre. Taigi gaunamos ribinės reikšmės, kurias viršijus atliekamas sukimas. Veidui judant x kryptimi ribinės reikšmės yra 314 ir 325, kai vaizdo kadro centriniais stulpeliais yra 319 ir 320 (stulpeliu

numeracija pradeda nuo 0). Atitinkamai veidui judant y kryptimi ribinės reikšmės yra 234 ir 245, kaip vaizdo kadro centrinės eilutės yra 239 ir 240.



6.1 pav. Veido centro x koordinatės, bei kampinio greičio kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,004 m/s

Tame pačiame grafike, dešinėje pusėje esančioje skalėje yra atvaizduotas vaizdo kameros kampinio greičio kitimas bėgant laikui. Iš grafiko matome kad pirmas tris sekundes veido x koordinatė neviršija ribinių reikšmių todėl neatliekamas kamerų sukimas ir greitis lygus nuliui. Įvykus kameros pasukimui kampinis greitis gaunamas 0,462 laipsn/s. Tai reiškia kad per vieną sekundę kamera pasukama vienu žingsninio variklio žingsniu. Momentinio kampinio greičio nustatymui buvo atliekamas slenkamo lango reikšmių vidurkinimas. Eksperimentiškai nustatytas lango dydis, kuris yra 20 reikšmių kas atitinkamai yra viena sekundė. Tokiu būdu gaunamas tolygesnis greičio kitimas, bet tuo pačiu kaip nepageidaujamas efektas gaunamas greičio kitimo inertiškumas.



6.2 pav. Veido centro x koordinatės, bei vaizdo kameros pasukimo kampo kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,004 m/s

Iš (6.2 pav) matyti kad pradinio laiko momentu vaizdo kamera yra atskaitos pradžios taške ir kampas lygus nuliui. Maždaug apie trečią sekundę, kaip pradeda sukti vaizdo kamera kampas pradeda didėti. Iš pavaizduoto grafiko matyti kad pasukimo kampas yra diskretinis dydis. Jo diskretizavimo dydis priklauso nuo žingsninio variklio minimalaus žingsnio dydžio, kuris lygus 1,8 laipsnių, bet panaudojus reduktorių gaunamas 0,462 laipsnių minimalus pasukimo kampas.

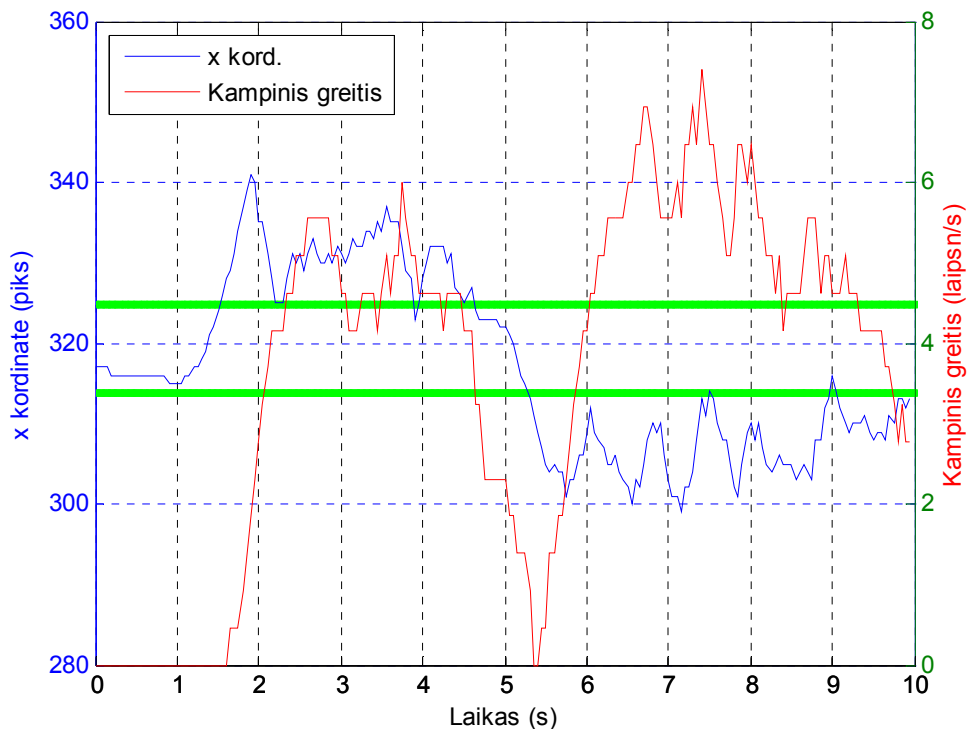
Apibendrinant lėtai judant gautus rezultatus galime sakyti, kad veido centro x koordinatė yra tarp ribinių reikšmių, o tai reiškia kad veido centras yra per patį vaizdo kadro vidurį.

#### 6.2 Judėjimas vidutiniu greičiu, kai judėjimo greitis 0,04 – 0,08 m/s

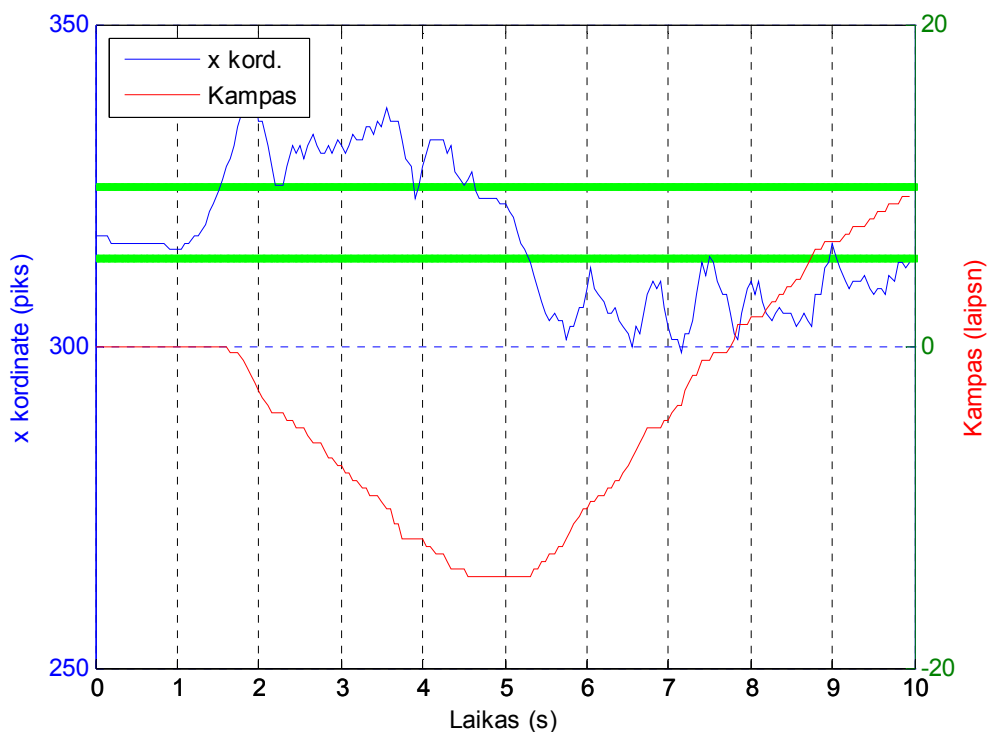
Bandymo metu gauti duomenys pavaizduoti (6.3 pav.). Čia taip pat duomenų fiksavimui buvo imamas 10 sekundžių intervalas, tik šiuo atveju judėjimas buvo atliekamas abiem kryptimis. Pirmas 5 sekundes buvo judama į dešinę pusę, o likusias 5 sekundes į kairę. Iš veido centro x koordinatės kitimo kreivės matyti, kad koordinatė yra išėjusi iš ribinių reikšmių ribojamos dalies.

Taip nutinka todėl kad veidui judant didesniu greičiu vis didesnę įtaką turi perduodamų duomenų sparta. Suprojektuotos veido sekimo sistemos lėčiausia grandis yra internetinė web kamera, kuri vaizdo kadrus perduoda kas 50 ms. Gavus vaizdo kadimą ir perdavus veido centro koordinatas į mikrovaldiklį yra atliekamas kamerų pasukimas reikiamu kampu. Paskui yra laukiama kol bus perduotas naujas kadras iš kameros. Būtent šio laukimo metu ir gaunamas veido centro koordinatų poslinkis vaizdo kadro centro atžvilgiu, nes žmogaus veidas juda ir toliau kai tuo tarpu vaizdo kameros jau buvo atsuktos reikiamu kampu. Šio nepageidaujamo reiškinio šalinimui galima naudoti vaizdo kameras turinčias didesni apdorojamų kadimų skaičių per sekundę arba atlikti veido centro koordinatų ekstrapoliavimą tai yra atsižvelgiant į veido judėjimo greitį bandyti nuspėti būsimas veido centro koordinatas. Tačiau šiuo atveju iš grafiko matome kad veido centro koordinatų vidutinis poslinkis vaizdo kadro centro atžvilgiu siekia apie 13 pikselių, kas atsižvelgiant į detektuojamo veido dydį (180 x 180 pikselių) tesudaro tik apie 7,2%. Todėl galime laikyti šį neatitikimą nereikšmingu.

Veidui judant vidutiniu greičiu matome kad kameros kampinis greitis vidutiniškai yra apie 5 laipsni/s. Dar galime gerai pastebėti greičio inertiškumą kaip staigiai pakeičiama veido judėjimo kryptis.



6.3 pav. Veido centro x koordinatės, bei kampinio greičio kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,052 m/s



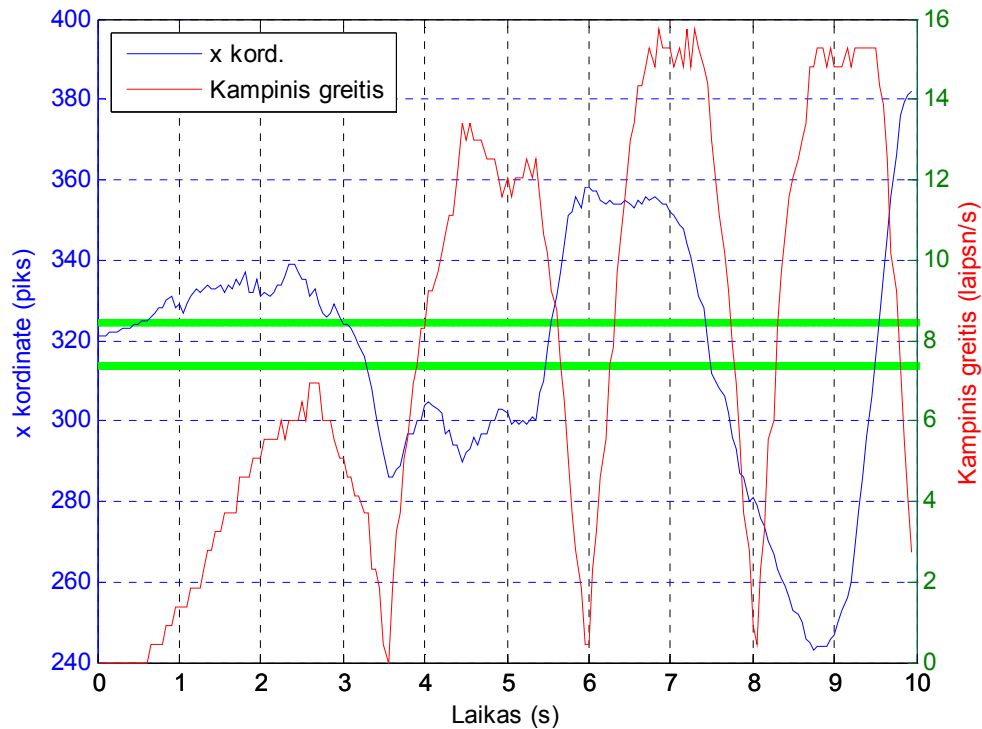
6.4 pav. Veido centro x koordinatės, bei vaizdo kameros pasukimo kampo kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,052 m/s

Apibendrinant vidutiniu greičiu judant gautus rezultatus galime sakyti, kad veido centro x koordinatė yra nedaug nutolusi nuo ribinių reikšmių, o tai reiškia kad veido centras yra beveik per vaizdo kadro vidurį.

### 6.3 Greitas judėjimas, kai judėjimo greitis 0,1 – 0,15 m/s

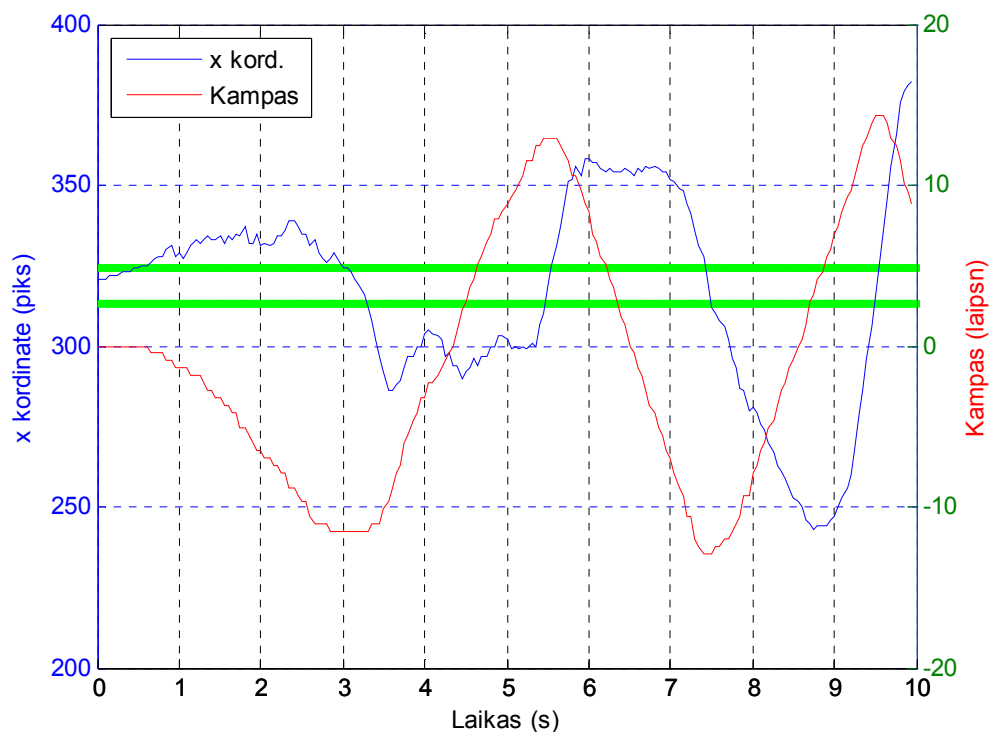
Iš (6.5 pav.) matyti kad kampinio greičio svyravimo amplitudė laikui bėgant didėja. Atitinkamai galime pastebėti ir veido centro x koordinatės amplitudės didėjimą. Todėl galime daryti išvadą kad veido centro x koordinatė reikšmė yra proporcinga žmogaus veido judėjimo greičiui. Šios priklausomybės priežastys ir jų šalinimo būdai jau buvo aptarti analizuojant judėjimą vidutiniu greičiu. Tik ten veido centro x koordinatė buvo nedaug nutolusi nuo ribinių reikšmių ir neatitikimo galėjome nepaisyti. Šiuo atveju gaunamas net 70 pikselių maksimalus veido centro x koordinatės ir vaizdo kadro centro nesutapimas, kurį išreiškus procentais atsižvelgiant į detektuojamo veido dydį yra 38,8%. Iš pateikto grafiko galime matyti ir to priežastis. Matome kad buvo pasiekta maksimali kampinio greičio riba apie 15 laipsnių per sekundę. Pagal tai galime įvertinti maksimalų žmogaus

galvos judėjimo greitį, kad neviršyti maksimalaus vaizdo kameros sukimo greičio. Kadangi veido sekimo sistema suprojektuota sekti žmogaus veidą nutolusi nuo kameros 50 – 100 cm. atstumu, tai atitinkamai gaunamas maksimalus galvos judėjimo greitis 0,134 – 0,268 m/s.



6.5 pav. Veido centro x koordinatės, bei kampinio greičio kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,132 m/s

Apibendrinant greitai judant gautus rezultatus galime sakyti, kad buvo pasiektas maksimalus kameros sukimo greitis 15 laipsn/s, kurį viršijus gaunamas ženklus veido centro x koordinatės nesutapimas su vaizdo kadro centro x koordinate. Todėl galimas veido išėjimas iš kameros filmavimo ribų. Neviršijus maksimalaus sukimo greičio nesutapimas gaunamas sąlyginai nedidelis, o tai reiškia kad veido centras yra beveik per vaizdo kadro vidurį.



6.6 pav. Veido centro x koordinatės, bei vaizdo kameros pasukimo kampo kitimas x ašimi, kai vidutinis judėjimo greitis 0,132 m/s

Apibendrinant visus gautus matavimų rezultatus sistema įvertinama pagal šiuos techninius parametrus:

1. Reakcijos laikas.
2. Sukimo greitis.
3. Pasukimo kampas.
4. Pasukimo tikslumas.

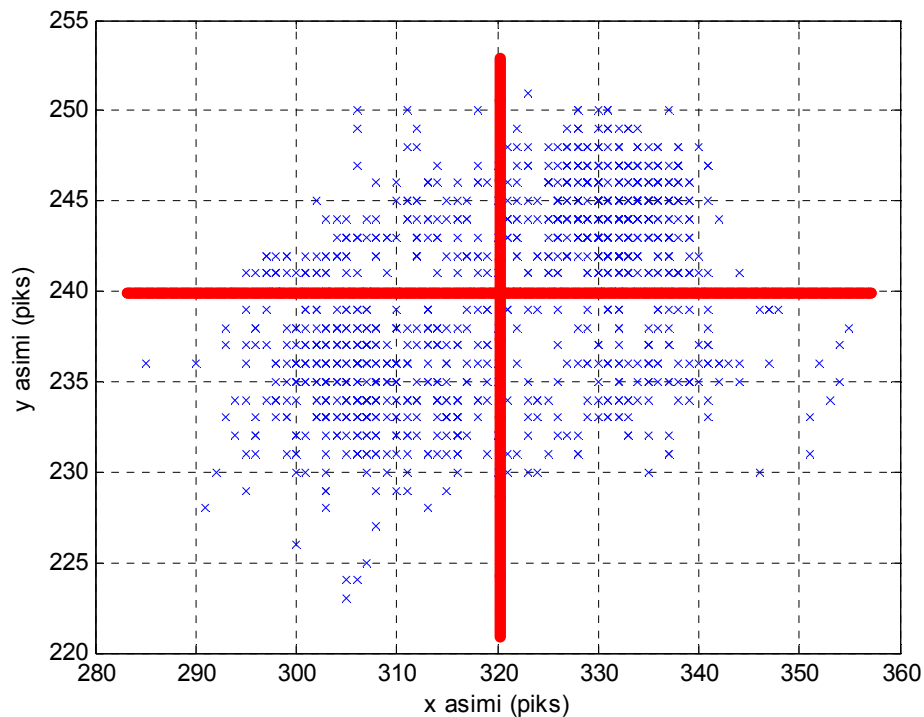
Reakcijos laikas, tai laiko tarpas nuo to kaip žmogus pradėjo judėti iki tol kol bus pradėtas vykdyti kamerų pasukimas. Tiriamos sistemos reakcijos laikas yra 60 - 100 ms. Pagrindė jis priklauso nuo video kadrų gavimo dažnio (FPS - frames per second). Kadangi naudojamos internetinės web kameros FPS = 20 kadrų per sekundę, tai vaizdo kadrai yra atnaujinami kas 50 ms. Vaizdo kadrų duomenų nuskaitymui iš kameros yra naudojama OpenCV bibliotekos funkcija `cvQueryFrame()`, kuri naudoja vieno kadro buferi. Tai reiškia kad pradėjus judėti funkcija gražins ne esama kadra, bet kadra iš buferio. Taip gaunamas 50 ms. vėlinimas tarp realaus ir turimo vaizdo. Dar bandydamas sistemą pastebėjau kad vaizdo kameros FPS nėra pastovus dydis. Jis priklauso nuo

aplinkos apšvietumo. Todėl vakare, esant blogesniai apšvietimui kadrai bebuvo perduodami tik kas 200 ms. kas atitinkamai yra 5 FPS. Todėl siekiant pagerinti reakcijos laiką vienas iš būdų yra naudoti vaizdo kameras turinčias didesni FPS.

Sukimo greitis, tai kameros pasukimo kampas per 1 sekundę. Bandytu metu buvo surastas maksimalus sukimo greitis 15 laipsn/s.

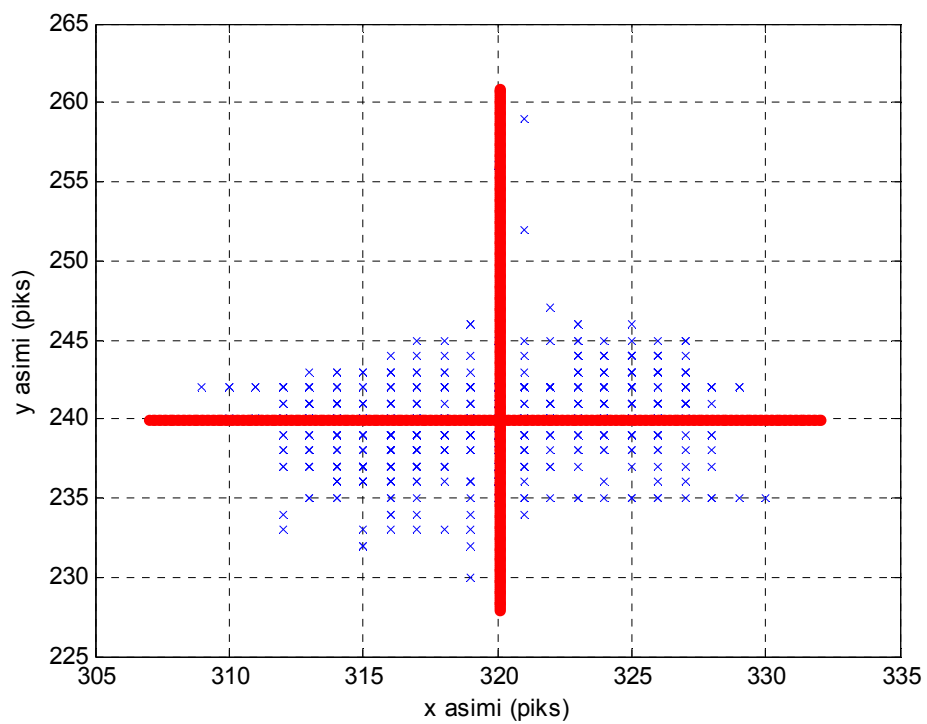
Pasukimo kampas, tai kameros pasukimas į vieną ar į kitą pusę nuo atskaitos pradžios taško. Kameros pasukimo kampas yra diskretinis dydis, bet tai pastebima kai veido judėjimas yra lėtas.

Pasukimo tikslumas, tai veido centro koordinatų ir vaizdo kameros kadro centro koordinatų skirtumas. Nustatyta kad jis atvirkščiai proporcingas nuo kameros sukimo greičio. Greičiui didėjant tikslumas mažėja. Esant maksimaliam kameros sukimo greičiui gaunamas 40 pikselių tikslumas, kurį išreiškus procentais atsižvelgiant į detektuojamo veido dydį (180 x 180 pikselių) yra 22,2%



6.7 pav. Vaizdo kamerų pasukimo tikslumas judant visomis kryptimis, kai vidutiniai greičiai x ašimi 5,496 laipsn/s y ašimi 1,386 laipsn/s





6.8 pav. Vaizdo kamerų pasukimo tikslumas 1 min. įprastai dirbant kompiuteriu, kai vidutiniai greičiai x ašimi 0,542 laipsn/s y ašimi 0,02 laipsn/s

## 7. IŠVADOS

1. Darbe buvo apžvelgtos panašios žvilgsnio sekimo sistemos. Daugelis sistemų neturi galvos judėjimo kompensavimo, todėl operatoriui pasislinkus į šoną žvilgsnio registravimas nutrūksta.
2. Apžvelgti ir suklasifikuoti veido detektavimo ir sekimo algoritmai ir būdai, buvo išskirti pagrįsti požymiais ir viso vaizdo algoritmai.
3. Eksperimentiškai nustatyti operatoriaus galvos judėjimas prie kompiuterio ekrano. Statistiškai apdorojus rezultatus nustatyta, kad horizontaliai galva juda 50cm ribose, o vertikaliai iki 15cm. Pasinaudojant duomenimis buvo perskaičiuota, kad kamera turi sukinėtis horizontaliai  $-+45^0$ , o vertikaliai  $-+15^0$ . Taip pat buvo vertintas ir galvos priartėjimas / nutolimas nuo kameros, gauta, kad galva juda 0,50 m. – 1 m. ribose, sėdint normaliu atstumu nuo ekrano.
4. Sukurtame įtaise veido pirminiam detektavimui yra naudojamas greitas iš OpenCV bibliotekos AdaBoost algoritmas, kuriuo nustatomos pirminės veido ir akių koordinatės. Toliau veido sekimui realiu laiku naudojama vaizdų šablonų tapdinimo metodas. Taip pat ištirta, kad lėtam judėjimui geriau tinka šablonų tapdinimo metodas, o greitam, kai naudojamas didesnio pločio langas ar naudojant didesnę vaizdo kadrų per sekundę perduodančią vaizdo kamerą, geriau naudoti AdaBoost algoritmą.
5. Sukonstruota platforma kamerų sukinėjimui x ir y ašimis, išvestos ir programiškai realizuotos platformos matematinės lygtys, leidžiančios apskaičiuoti posūkio kampus pagal automatiškai detektuotas veido taškų koordinatas.
6. Atlikti sukurtos sistemos bandymai, kurių metu gauti sistemos techniniai parametrai:
  - Reakcijos laikas 60 – 100 ms.
  - Maksimalus sukimo greitis 15 laipsn/s
  - Minimalus sukimo kampas  $0,462^0$
  - Pasukimo tikslumas prie maksimalaus greičio 40 pikselių

## 8. LITERATŪROS SARAŠAS

1. Viola, Paul and Michael J. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features", Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. Volume: 1, pp.511–518.
2. B. Moghaddam and A. Pentland, "Probabilistic visual learning for object representation," IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No. 7, pp. 696–710, 1997
3. G. Loy and A. Zelinsky, Fast Radial Symmetry for Detecting Points of Interest, Pattern Analysis and Machine Intelligence, Aug. 2003
4. R. Herpers, H. Kattner, H. Rodax, and G. Sommer, Gaze: An attentive processing strategy to detect and analyze the prominent facial regions, inIEEE Proc. of Int. Workshop on Automatic Face- and Gesture-Recognition, Zurich, Switzerland, Jun. 1995, pp. 214–220.
5. V. Govindaraju, Locating human faces in photographs,Int. J. Comput. Vision19, 1996.
6. M. Hunke and A. Waibel, Face locating and tracking for human-computer interaction, in28th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Monterey, CA, 1994.
7. J. Yang and A. Waibel, A real-time face tracker, inIEEE Proc. of the 3rd Workshop on Applications of Computer Vision, Florida, 1996.
8. S. McKenna and S. Gong, Tracking Faces, in the Proceed-ings of the 2nd International Conference on Auto-matic Face and Gesture Recognition, Killington, Vermont, 1996.
9. T. Kondo and H. Yan, Automatic human face detection and recognition under nonuniform illumination, Pattern Recog.32, 1999, 1707–1718.