

## OKULOMOTORINIŲ TYRIMŲ ĮRANGOS VĒLINIMO ELIMINAVIMAS

Saulius Niauronis<sup>1</sup>, Raimondas Zemblys<sup>2</sup>, Vincas Laurutis<sup>3</sup>

*Šiaulių universitetas*

*El. paštas: <sup>1</sup>s.niauronis@tf.su.lt; <sup>2</sup>r.zemblys@tf.su.lt; <sup>3</sup>v.laurutis@cr.su.lt*

**Santrauka.** Atliekant žmogaus okulomotorinės sistemos ar akies ir rankos koordinacijos tyrimus, naudojami optiniai stimulai, kurie atvaizduojami kompiuterio vaizduoklyje. Norint gauti tikslius tyrimų rezultatus, reikalinga šių stimulų sinchronizacija su žvilgsnio krypties registravimo įranga. Stimulo pasirodymo ir akies vaizdo užfiksavimo laikus sutapdinti galima tik įvertinus visas sistemos vėlinimo dedamąsias. Darbe apskaičiuotas naudojamos akių judesių registravimo įrangos vėlinimas ir pasiūlytas praktinis metodas kompiuterio grafinės posistemės vėlinimams išmatuoti. Atlikus eksperimentinius naudojamos sistemos tyrimus išmatuotos visos vėlinimo dedamosios ir apskaičiuotas bendras žvilgsnio sekimo įrangos vėlinimas – 28 ms ir vidutinis bendras kompiuterio grafinės posistemės ir vaizduoklio vėlinimas – 9,5 ms.

**Reikšminiai žodžiai:** stimulo vėlinimas, kompiuterio vaizdo posistemė, kompiuterio vaizdo vėlinimas, stimulo atvaizdavimas vaizduoklyje, videookulografinis metodas, stimulo sinchronizavimas.

### Įvadas

Gerokai padidėjus kompiuterių skaičiuojamajai galiiai, žmogaus ir kompiuterio sąsajos metodus tyrinėjančioje mokslinėje bendruomenėje vis labiau populiarėja žvilgsnio sekimo metodai (Laurutis, Daunys 2005). Susidomėjimas jais ir laisvai pasiekiamos informacijos pagausėjimas lėmė, kad žvilgsnio kryptį nustatančių sistemų pasiūla padidėjo, o kaina sumažėjo. Dėl visų minėtų veiksnių net mėgėjams atsirado galimybė nedidelėmis sąnaudomis kurti ir plėtoti žvilgsnio krypties matavimo metodus ir jų taikymo galimybes.

Dėl patogumo ir kainos šiuo metu populiariausias yra videookulografinis žvilgsnio kampo matavimo metodas. Tai neintervencinis nuotolinis metodas, kuris leidžia nustatyti žmogaus žvilgsnio kryptį kompiuteriu apdorojant viena ar keliomis vaizdo kameromis registruojamus signalus (Ramanauskas 2006). Galimos įvairios šio metodo modifikacijos ar papildymai: kamera be reguliuojamos optinės sistemos gali būti tvirtinama arti akies (naudojant šalną ar akinių rėmelį) arba naudojant optinius lęšius – kiek toliau (pvz., po vaizduokliu). Ragenos atšvaito naudojimas leidžia eliminuoti paklaidas, atsirandančias dėl galvos judesių kameros atžvilgiu (LC Technologies, Inc. 2003; Ramanauskas 2007).

Tiriant žmogaus okulomotorinės sistemos ar akies ir rankos koordinaciją, naudojami optiniai stimulai, kurie paprasčiausiai įgyvendinami kompiuterio vaizduokliu (Laurutis *et al.* 2010; Mrotek, Soechtin 2007). Norint gauti tikslius rezultatus, eksperimento programinėje įrangoje

reikalinga šių stimulų sinchronizacija su žvilgsnio krypties registravimo įranga. Bet kuri videookulografijos metodu veikianti žvilgsnio kampo matavimo įranga pateikia duomenis esant tam tikram vėlinimui, kuris gali atsirasti dėl kameros ekspozicijos laiko, signalo perdavimo į apdorojimo įrenginį, analoginio signalo diskretizavimo, skaitmeninio signalo apdorojimo ir duomenų parengimo vartotojo (eksperimento) programinei įrangai. Stimulus kompiuterio vaizduoklyje pasirodo taip pat esant tam tikram vėlinimui. Pagrindinės šio vėlinimo priežastys: programinis stimulo generavimas, kompiuterio vaizdo plokštės vėlinimas, papildomų vaizdo plokštės tvarkyklių funkcijų (pvz., *VSync* – vertikalaus kadrų sinchronizavimo) vėlinimas, monitoriaus kadrų sinchronizacija, LCD plokštės vėlinimas. Siekiant tikslių tyrimų rezultatų, visų minėtų priežasčių įtaka turi būti įvertinama ne tik tiriant stimulo valdymo sinchronizavimą, bet ir apdorojant surinktus eksperimentinius duomenis. Stimulo pasirodymo ir akies vaizdo užfiksavimo laiką sutapdinti galima tik įvertinus visas sistemos vėlinimo dedamąsias.

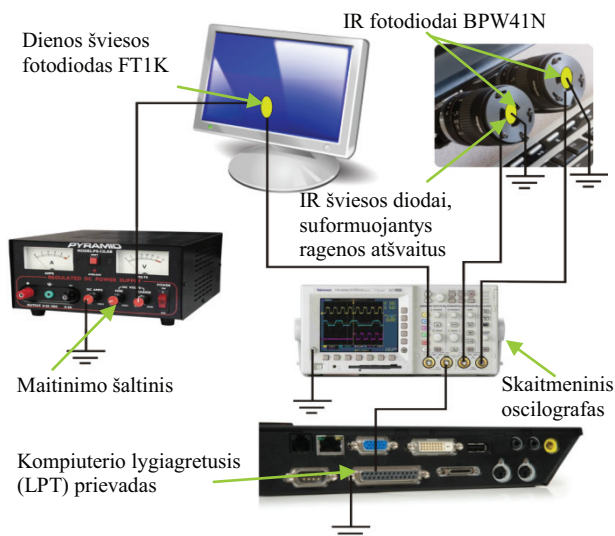
### Metodas

Atliekant eksperimentinius tyrimus, vaizduoklyje buvo vaizduojamas mirgantis baltos spalvos stimulus, kurio aktyvumo ir neaktyvumo laikas varijavo nuo 40 iki 160 ms. Naudojant skirtingas šių laikų kombinacijas buvo atlikta 11 eksperimentų, kurių kiekvieno metu stimulus pasirodydavo ir išnykdavo 20–60 kartų. Aprašyti eksperimentai buvo kartojami keturis kartus: naudojant vienspalvį stimulą

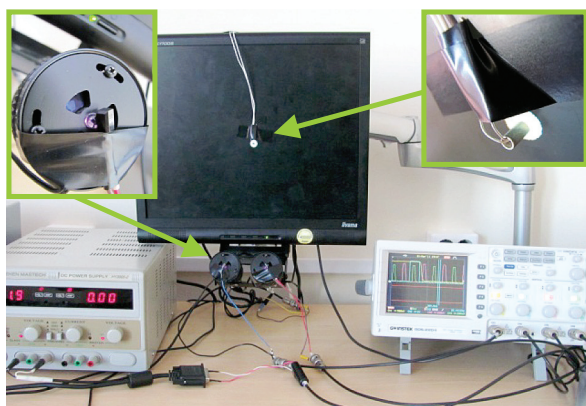
(išjungus *VSync*), penkis vienspalvius stimulus (išjungus *VSync*), vienspalvį stimulą (įjungus *VSync*) bei stimulą ir paveikslėlį (įjungus *VSync*).

1 pav. pateikta tyrimų stendo blokinė schema. Kompiuterio (*Intel Pentium D 2x2,8 GHz, 1Gb RAM, nVidia GeForce 7300GT*) vaizdo posistemės vėlinimai buvo matuojami skaitmeniniu oscilografu fiksuojant programine įranga valdomo lygiagreto prievado išėjimo ir prie vaizduoklio (*Ilyama ProLite E1700S*) pritvirtinto dienos šviesai jautraus fotodiodo FT1K įtampas lygius. Prie *LC Technologies Eye Gaze System* įrangos IR šviesos diodų (skirti ragenų atšvaitams formuoti) buvo pritvirtinti IR šviesai jautrūs fotodiodai BPW41N, o jų įtampų lygiai buvo matuojami tuo pačiu skaitmeniniu oscilografu. Realus stendo vaizdas pateiktas 2 pav.

Matavimų duomenys nusiųsti į kompiuterį ir apdoroti naudojant MATLAB programinės įrangos paketą.



1 pav. Blokinė tyrimų stendo schema  
Fig. 1. Block diagram of the research system

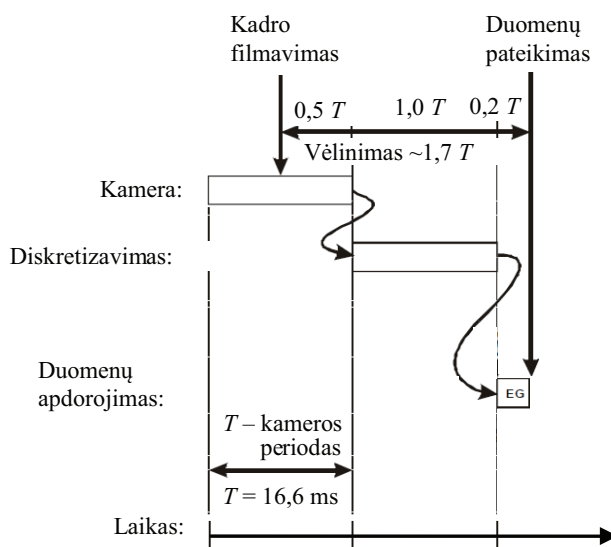


2 pav. Tyrimų stendas  
Fig. 2. View of the reasearch system

### LC Technologies Eye Gaze System įrangos vėlinimas

Laboratorijoje naudojama kompanijos „LC Technologies“ pagaminta *Eye Gaze System* žvilgsnio kampo matavimo įranga. Ši sistema filmuoja vaizdą dviem kameromis, kurių kiekviena veikia 60 kadru per sekundę dažniu. Gamintojas deklaruoja, kad duomenų pateikimas nuo akies judesio vėluoja  $\sim 1,7 T$  ( $T$  – kameros periodas 16,6 ms). Pagal gamintojo pateikiamą grafiką (3 pav.) (*LC Technologies, Inc. 2003*), šis vėlavimas susideda iš:

- laiko tarp ekspozavimo periodo vidurio ir filmavimo pabaigos ( $0,5 T$ );
- signalo perdavimo iš kameros į diskretizavimo įrenginį ir jo diskretizavimo ( $1 T$ );
- skaitmeninio signalo apdorojimo (apie  $0,2 T$ ).



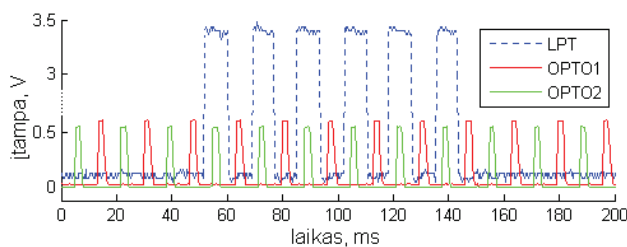
3 pav. Laiko duomenų apdorojimo schema  
Fig. 3. Gaze point measurement operations

Kaip matome, šioje skaičiavimo schemoje yra keletas neapibrėžtų intervalų (pvz., ekspozicijos laikas), taip pat nėra pateikiama duomenų apie laiko intervalus, kai naudojamos dvi kameros (daroma prielaida, kad kameroms skaičiavimo resursai reikalingi pakaitomis, o diskretizavimo įrenginys turi atskirus kanalus abiejų kamerų vaizdo signalams, taigi jos viena kitai netrukdo).

Siekiant nustatyti, kaip iš tikrųjų veikia sistema, kai naudojamos dvi kameros, buvo analizuojami fotodiodų, pritvirtintų prie kiekvienos kameros IR spindulių šaltinio, signalų laiko duomenys ir kompiuterio lygiagrečiojo prievado signalo laiko duomenys, kai signalo lygis pasikeičia kaskart, kai pateikiami nauji žvilgsnio krypties matavimo rezultatai.

Išanalizavus 4 pav. galima teigti, kad hipotezė dėl kamerų filmavimo pakaitomis yra teisinga. Kadangi kamerų filmuojamas vaizdas diskretizuojamas atskirais vaizdo įvesties įrenginio kanalais, dvigubai didesnis informacijos kiekis įtakos diskretizavimo trukmei neturi. Procesorius kadro duomenis apdoroja greičiau nei per  $0,5 T$ , taigi, skirtingų kamerų užfiksuotų kadru apdorojimas nesidubliuoja ir dalytis skaičiavimo resursais šiems procesams netenka.

Žinant, kad akies vaizde visuomet matomas IR atspindys, galime daryti prielaidą, jog kameros ekspozicija vyksta laiko intervale, kai IR šviesos šaltinis būna aktyvus. Iš 2 pav. matome, kad šio intervalo trukmė yra 2 ms. Vadinasi, kameros ekspozicijos laikas yra mažesnis nei 2 ms. Apibendrinus visą pateiktąją informaciją, galima manyti, kad žvilgsnio krypties matavimo rezultatai vėluoja  $28 \pm 1$  ms.



4 pav. Kameros ekspozicijos ir matavimo duomenų pateikimo oscilograma

Fig. 4. Oscillogram of camera exposition and measurement data delivery

### Kompiuterio vaizdo išvesties sistemos vėlinimai

Stimulo pasirodymo vaizduoklyje vėlinimas priklauso nuo: stimulą generuojančios programinės įrangos vėlinimo, kompiuterio vaizdo plokštės vėlinimo, monitoriaus kadru sinchronizacijos, LCD plokštės vėlinimo.

Pakoregavus stimulą generuojančią programinę įrangą taip, kad ji, kaskart parengusi atvaizduoti naują kadra (su stimulu), užfiksuotą laiką byloje, buvo nustatyta, kad stimulai kompiuterio vaizdo plokštei pateikiami dažniau nei kas 1 ms.

Stimulo vėlinimu buvo laikomas laikas tarp komandos generuoti naują, kitokį nei prieš tai buvęs, kadra (su stimulu ar be jo) (užfiksuota oscilografu kaip LPT prievado įtampos lygio pasikeitimas) ir stimulo pasirodymo ar pranykimo monitoriuje (užfiksuota oscilografu kaip optinio daviklio įtampos lygio pasikeitimas). Vienspalvio stimulo pasirodymo ar pranykimo vėlinimų tyrimo rezultatai pateikti 5 pav.

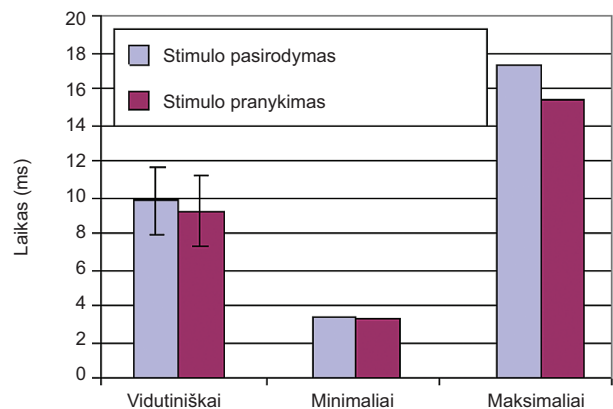
Iš 5 pav. matome, kad stimulo pranykimas vėluoja mažiau nei pasirodymas, tačiau skirtumas tarp šių dviejų

laikų yra gana mažas (vidutiniškai mažesnis nei 1 ms) ir skaičiuojant bendrą sistemos vėlinimą gali būti nevertinamas.

Minimali stimulo vėlinimo trukmė 3,5 ms gali būti laikoma pastoviaja kompiuterio vaizdo plokštės, duomenų perdavimo į vaizduoklį, vaizduoklio elektronikos ir vaizduoklio LCD plokštės vėlinimo dedamąja.

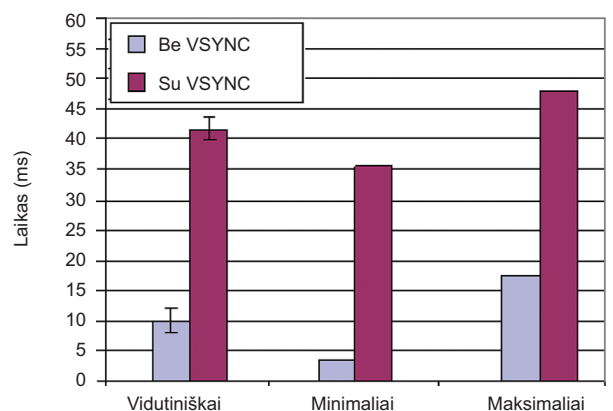
Skirtumas tarp maksimalios ir minimalios stimulo vėlinimo trukmių ( $16,5 \text{ ms} - 3,5 \text{ ms} = 13 \text{ ms}$ ) rodo maksimalų vėlinimą, atsirandantį dėl vaizduoklio kadru atnaujinimo dažnio. Atliekant šiuos tyrimus, vaizduoklis dirbo 75 Hz dažniu. Esant tokiam dažniui, apskaičiuojamas kadru atnaujinimo periodas ir yra 13 ms ( $1/75 \text{ Hz}$ ).

Vertikalaus kadru sinchronizavimo kompiuterio vaizdo plokštės funkcija (*VSync*) lemia geresnę vaizdo (ypač naudojant judančius stimulus) kokybę, tačiau atsiranda papildomas didelis vėlinimas dėl prailgėjusio kadru sinchronizavimo laiko. 6 pav. matome, kad *VSync* funkcija vidutiniškai padidina stimulo vėlinimo laiką 32 ms.



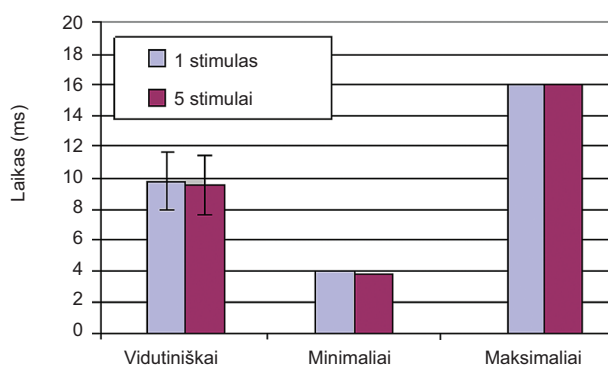
5 pav. Stimulo pasirodymo / pranykimo vėlinimo laikas

Fig. 5. Delay of stimuli appearance / disappearance



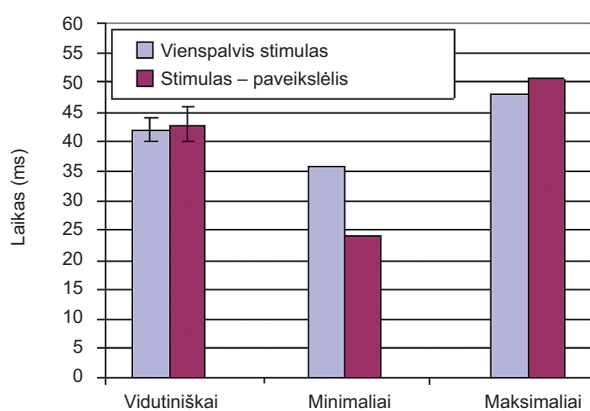
6 pav. Stimulo pasirodymo vėlinimo laiko padidėjimas naudojant vaizdo plokštės *VSync* funkciją

Fig. 6. Delay of stimuli appearance when *VSync* function is used



7 pav. Stimulo pasirodymo vėlinimo laiko palyginimas, kai naudojamas vienas arba keli stimulai

Fig. 7. Delay of stimuli appearance when one or several stimuli are used



8 pav. Stimulo pasirodymo vėlinimo laiko palyginimas kai naudojamas paprastas (vienspalvis) arba sudėtingas (paveikslėlis) stimulai

Fig. 8. Delay of stimuli appearance when stimulus is one-coloured or bitmap

Eksperimentų, kai naudojami keli stimulai arba sudėtingi (šiuo atveju – paveikslėlis) stimulai, rezultatai pateikti 7 ir 8 pav. Matome, kad tyrimams naudoto kompiuterio skaičiavimo resursų visiškai pakanka, kad vaizdo posistemės vėlinimo parametrai liktų stabilūs.

## Išvados

1. Pagrindiniai sistemos vėlinimo šaltiniai:
  - a) žvilgsnio kampo registravimo įranga (kamos, diskretizavimo įrenginys, duomenų apdorojimas):  $28 \pm 1$  ms;
  - b) programinė įranga, įskaitant *OpenGL* funkcijas, kadru esant skirtam stimului generuoti:  $< 1$  ms;
  - c) vaizdo posistemės ir vaizduoklio vėlinimo pastovioji dalis: 3–4 ms;
  - d) vėlinimas dėl vaizduoklio kadru atnaujinimo dažnio (šiuo atveju 75 Hz): 0–13 ms;
  - e) vėlinimas dėl VSYNC funkcijos: 32 ms.

2. Bendras sistemos vėlinimas  $39 \pm 8$  ms yra pakankamai didelis, todėl turi būti įvertinamas.
3. Stimulo sudėtingumas taikant praktiškai turi nedidelę įtaką vėlinimui, todėl gali būti nevertinamas.
4. Pagrindinis vėlinimo neapibrėžtumas  $\pm 6,5$  ms atsiranda dėl vaizduoklio kadru atnaujinimo ir programinės įrangos kadru pateikimo dažnių nesutapimo.
5. Vertikalaus kadru sinchronizavimo funkcija (*VSync*) išsaugo tolygų judančio stimulo vaizdą, tačiau gerokai (82 %) padidina kompiuterio vaizdo posistemės vėlinimą.
6. Naudotas kompiuterio vaizdo posistemės vėlinimų matavimo metodas yra nesudėtingas ir pakankamas 1 ms tikslumo rezultatams gauti.

## Literatūra

- Lauritis, V.; Daunys, G. 2005. Akių judesių tyrimai: taikomas aspektas, *Lietuvos katalikų mokslo akademijos suvažiavimo darbai* 19: 1405–1414.
- Lauritis, V.; Niauronis, S.; Zemblys, R. 2010. Coordination of hand and gaze movements in humans during oculo-manual tracking, in *Proceedings of International Conference "Biomedical Engineering"*. Kaunas: Technologija, 78–81.
- LC Technologies, Inc. 2003. The eyegaze development system for windows NT/2000, *User's manual*: Section 2.
- Mrotek, L. A.; Soehtin, J. F. 2007. Predicting curvilinear target motion through an occlusion, *Experimental Brain Research* 178(1): 99–114.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s00221-006-0717-y>
- Ramanauskas, N. 2006. Calibration of video-oculographical eye-tracking system, *Electronics and Electrical Engineering* 8(72): 65–68.
- Ramanauskas, N. 2007. *Point of Gaze Error Investigation in Video Based Eye Tracking Systems*: Summary of Doctoral Dissertation. Kaunas.

## ELIMINATION OF DELAYS TO OCULOMOTOR RESEARCH EQUIPMENT

S. Niauronis, R. Zemblys, V. Lauritis

Abstract

Optic stimulus used for human oculomotor system or eye-hand coordination researches is often represented on a computer screen. They must be synchronised with the eye tracker to achieve the accurate results of the conducted experiments. Relation between stimulus presence and eye image capturing times can be defined only with reference to knowledge of all system delays. The suggested research evaluates our eye tracking system delay and propose a practical method for measuring and evaluating delays to the computer graphic subsystem. Experimental research shows that LC Technologies eye tracker reports gaze angle with 28 ms lag and the average stimulus lag of the computer graphic subsystem is 9,5 ms.

**Keywords:** stimuli delay, computer graphics subsystem, monitor delay, stimuli presentation in the monitor, videooculography, stimulus synchronization.