

# RIBINIS TAIKINIO SEKIMO GREITIS ŽMOGAUS ŽVILGSNIU IR RANKA

**Raimondas Zemblys, Vincas Laurutis**

*Biomedicininės inžinerijos centras, Šiaulių universitetas*

## **Įvadas**

Regos sistema žmogaus gyvenime ir veikoje yra viena iš svarbiausiųjų: žmogus ne tik gauna reikiamą regimąją informaciją, bet ir orientuojasi erdvėje. Dėl išskirtinio tobulumo ir sudėtingumo regos organas – akis – dažnai apibūdinama kaip smegenų žievės dalis, išvesta į kūno paviršių. Akies tinklainė turi 200 tūkstančių receptorių, o centrinė nervų sistema (CNS) regimąją informaciją apdoroja 2 tūkstančių bitų per sekundę greičiu. Daugiausia receptorių akies tinklainėje sutelkta jos centrinėje dalyje – geltonojoje dėmėje (*angl.* fovea). Skirtinga receptorių koncentracija tinklainės centre ir aplink ją suformuoja centrinį ir periferinį matymą. Centrinis matymas suteikia galimybę matyti daiktus aiškiai ir suvokti juos, t. y. *nustatyti kas tai*, o periferinis – plačiame matymo lauke aptikti daiktą ir *nustatyti, kur tai* (Bridgeman, Peery, Anand, 1997). Centrinio matymo metu akį reikia nukreipti į pasirinktą objektą, o tuomet akies optinė sistema fokusuoja jį foveoje. Žmogus savo žvilgsnį gali nukreipti pasukdamas kūną, galvą bei akis. Taigi, žvilgsnio krypties valdymo sistemą sudaro trys pakopos: kūnas, galva ir akys. Kūno judesių diapazonas yra pats didžiausias, tačiau dėl didelės masės kūno judesys yra pats lėčiausias. Galva ir akys, valdydamos žvilgsnio kryptį, pasižymi dideliu tarpusavio koordinuotumu, greičiu ir tikslumu, todėl jie gali būti laikomi pagrindiniais žvilgsnio krypties valdymo sistemos elementais.

Rega iš esmės yra laikoma sensoriniu elementu, nes ji suteikia daugiausia informacijos apie mus supantį pasaulį. Tačiau dėl gerai išvystyto centrinio matymo ir dėl to atsiradusio poreikio nukreipti žvilgsnį į pasirinktą objektą, regos sistema taip pat pasižymi geromis motorinėmis savybėmis. Nors kitos žmogaus sensorinės sistemos – klausa, uoslė, lytėjimas, skonis – dėl savo jutiminių organų taip pat pagal poreikį gali keisti savo padėtį, tačiau šios dvigubos savybės – sensorinė ir motorinė – sunkiai sulyginamos su regos sistemos judėjimo dinaminėmis galimybėmis. Tokiu būdu regos sistemą išskirtinai galima laikyti kartu turinčią geras tiek sensorines, tiek motorines savybes. Nesunku suprasti, kad, tiriant regos sistemą, mokslininkų dėmesį traukia ne tik labai geros regėjimo savybės, bet ir regos sistemos krypties (akių ir galvos posūkių) valdymo galimybės.

Žiūros linijos krypties valdymo sistema, kaip regos sistemos motorinė dalis, yra vadinama okulo-motorine sistema. Ji pradėta tirti susidomėjus žmogaus akių judesiais ir jų savybėmis. Buvo nustatyta, kad akių judesių valdymo sistema turi kelias posistemas. Tai fiksacinių, šuolinių (sakadinių), sekimo akių judesių posistemės (Ciuffedra, Tannen, 1994). Išskirtinis vaidmuo, valdant žiūros linijos kryptį, tenka vestibulariniam akies refleksui (VOR – Vestibular Ocular Reflex). Tai akių judesių valdymo posistemė, kuri, pasukus galvą, akis pasuka tokiu pat kampu, bet priešinga kryptimi. Vestibularinis akies refleksas leidžia išsaugoti centrinį matymą tiek aktyviai, tiek pasyviai sukiojant galvą. Be jau minėtų akių judesių valdymo posistemių, dar yra optokinetinio ir vestibularinio nistagmų posistemės bei konvergenčinė posistemė, kontroliuojanti abi akis stebint arti esančius objektus.

Jeigu regos sistema yra pagrindinė sensorinė sistema, tai žmogaus rankų ir pirštų judesių valdymo sistemos yra pagrindinės motorinės sistemos. Rankų ir pirštų judesiais galima paimti įvairius daiktus, spaudyti kompiuterio klavišus, groti muzikos instrumentais, nurodyti kryptį ir atlikti daug kitų valdymo komandų. Ilgą laikotarpį sensorinės ir motorinės sistemos dėl jų skirtingos paskirties ir sandaros buvo tiriamos atskirai, tačiau pastaraisiais metais atkreiptas dėmesys į tai, kad, atliekant koordinuotus judesius, sensorinės ir motorinės sistemos veikia integraliai, t. y. kartu. Nesunku pastebėti, kad motorinės sistemos elementai – rankos, kojos, liemuo ir pirštai kartu turi ir sensorinę informaciją, nes mes, net ir nematydami jų, žinome, kokioje padėtyje jie yra. Kitaip tariant, centrinė nervų sistema (CNS), gavusi iš raumenų informaciją apie jų įtempimus, suformuoja kūno ir jo galūnių padėties erdvėje kopiją, kuri vadinama eferentine (vidine) kopija. Kai atlikdami koordinuotus rankų ar pirštų judesius stebime objektą, kurio siekiame, tuomet CNS iš regos sistemos papildomai gauna sensorinę informaciją apie daikto padėtį erdvėje ir suformuoja jo padėties aferentinę (išorinę) kopiją. Bejeso sprendimų teorija gerai tinka sensorinės, arba aferentinės, ir motorinės, arba eferentinės, informacijos integracijos procesui apibūdinti. Remiantis šia teorija, galima paaiškinti, kaip atliekamo veiksmo kokybė (mūsų atveju koordinuoto judesio tikslumas ir greitis) gali būti tobulinama gavus papildomos informacijos. Atlikdami koordinuotą judesį, mes turi-

me išspręsti uždavinį, kaip valdymo organą (ranką ar pirštus) efektyviausiai perkelti iš esamos padėties į naują padėtį. Jeigu remtumėmės vien tik eferentine informacija, gauta iš CNS apie valdymo organo esamą padėtį ir perkeltume jį į įsivaizduojamą naują padėtį, judesys būtų netikslus. Jeigu tuo pačiu metu naudotume aferentinę informaciją, gautą iš regos sistemos, t. y. stebėtume valdymo organo judesį iš pradinio taško į galutinį, judesys būtų tikslesnis.

Skirtingai nuo kūno ir jo galūnių koordinuotų judesių, kur rega, kaip sensorinė sistema, vykdo supervizoriaus funkciją, okulomotorinė sistema, nukreipdama akis reikiama kryptimi, kartu su rega sudaro vieningą sensomotorinį objektą. Detaliau susipažinus su okulomotorinės sistemos savybėmis, natūraliai kyla klausimas, ar ji, nurodydama kryptį į stebimą objektą, analogiškai kaip rankos ar pirštai gali būti panaudota kaip motorinis elementas valdymo komandoms formuoti. Į šį fundamentalų klausimą jau rastas ne vienas atsakymas, o, atlikus taikomuosius tyrimus, sukurti operatoriaus žiūros linijos kryptį panaudojantys įtaisai (Laurutis, Daunys, 2005).

Jeigu žmogaus okulomotorinė sistema analogiškai kaip rankos ar pirštai gali būti naudojama valdymo komandoms formuoti, tuomet kyla kitas klausimas, kokios yra jų lyginamosios savybės ir kokiems valdymo uždaviniams spręsti gali būti panaudota okulomotorinė sistema. Iš pirmo žvilgsnio daug kam gali pasirodyti, kad okulomotorinės sistemos judesių dinaminis diapazonas, greitis ir tikslumas žymiai didesni negu kūno ar jo galūnių judesių diapazonas, greitis ir tikslumas. Atsakymui į šį klausimą atlikta daugybė laboratorinių tyrimų. Pavyzdžiui, D. Miniotas ir V. Laurutis (2002) tyrė šuolinį kursoriaus perkėlimą iš pradinio taško į taikinio plotelį kompiuterio pele ir žvilgsniu. Palyginimui buvo naudojamas Fitso dėsnio modelis. Net ir didinant šuolio amplitudę bei mažinant taikinio plotą ir perkeliant kursorių, žvilgsniu nebuvo gauta žymiai geresnių rezultatų negu perkeliant kursorių kompiuterio pele. G. R. Barnes ir F. Mardsen (2002) tyrė akies ir rankos sekimo judesius kaip reakcijas į periodinius taikinio šuolius. Tiek pirmieji akių ir rankos šuoliai, tiek vėlesni nusistovėję periodiniai taikinio sekimo judesiai neatskleidė didesnio akių sekamųjų judesių tikslumo ir trumpesnio reakcijos vėlinimo laiko lyginant su sekimo judesiais atliekamais ranka.

Vieno iš šio tyrimo autorių (Laurutis, 2008) buvo pasiūlyta žmogaus okulomotorinę sistemą vertinti kaip informacijos perdavimo kanalą. Tuo atveju taikinio judesys vertinamas kaip į kanalą patenkančią informaciją nešantis signalas, o taikinį sekančios akies judesio trajektorija – kaip per informacijos perdavimo kanalą praėjusio signalo informacija. Skirtumas arba paklaida tarp šių signalų suprantama

kaip prarasta informacija. Didinant taikinio judėjimo greitį ar darant sudėtingesnę taikinio judesio trajektoriją, į kanalą patenkančios informacijos kiekis didės ir, suprantama, pasiekus tam tikrą ribą, okulomotorinė sistema nebesugebės atkartoti taikinio trajektorijos. Tuomet paklaida arba prarastos informacijos kiekis didės, o tai reiškia, kad gali būti apibrėžtas ribinis informacijos kiekis, per laiko vienetą perduodamas okulomotoriniui kanalui, ir tai bus šio kanalo praleidžiamoji geba.

Okulomotorinės sistemos, kaip informacijos perdavimo kanalo, modelis gali būti naudingas instrumentas žvilgsnio krypties kontrolės sistemai lyginti su kitais motorinių komandų perdavimo būdais. Šiame darbe pristatomi eksperimentų rezultatai, kuriuose lyginami okulomotorinės sistemos ir valdymo sistemos ranka sekimo judesių rodikliai. Šiam tikslui naudojamos tolydinės taikinio judėjimo trajektorijos, turinčios atsitiktinį pobūdį o tiriamieji instruktuojami sekti ekrane matomas trajektorijas žvilgsniu ir / arba kompiuterio pele.

### Tyrimo metodas

Vykdamas sekimo procesą, tiriamajam kompiuterio ekrane pateikiamas taikinys, dvimate atsitiktine trajektorija judantis ekrane, kuri tiriamasis turi sekti žvilgsniu arba ranka (kursoriumi valdomu kompiuterio pele). Dvimatę taikinio judesio trajektoriją horizontaliame  $x$  ir vertikaliame  $y$  kanaluose, patenkančią į žmogaus regos (sensorinę) sistemą, galima laikyti sensomotorinės sistemos įėjimo signalu –  $T_{xy}(t)$ . Tiriamojo žiūros linijos ar rankos taikinio sekimo trajektoriją ekrane galima laikyti žmogaus sensomotorinės sistemos išėjimo signalu  $A_{xy}(t)$ , o paklaidą  $L_{xy}(t)$  – paklaidos signalu.

Jeigu dvikoordinate trajektorija  $T_{xy}(t)$  judančio taikinio informacijos kiekis bus nusakomas trajektorijos entropija  $H(T_x, T_y)$ , tuomet per sensomotorinį kanalą perduotos informacijos kiekis bus:

$$I_{xy}(T_{xy}, L_{xy}) = H(T_x, T_y) - H(T_{xy}/L_{xy}), \quad (1)$$

kur  $H(T_{xy}/L_{xy})$  yra sąlyginė entropija, nusakanti prarastos informacijos kiekį arba sekimo procese likusį neapibrėžtumą.

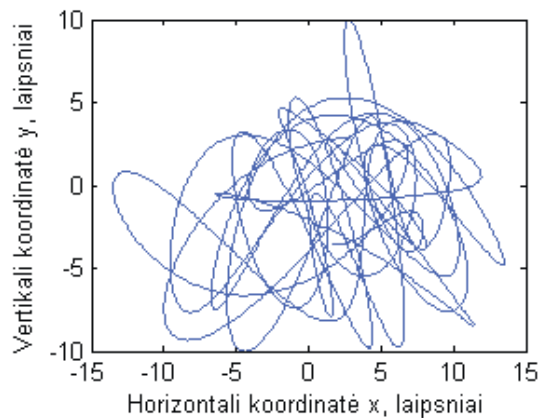
Jei sekimo eksperimento trukmė  $t$  būtų pakankamai ilga, tolydinės trajektorijos nepriklausomų atskaitų skaičius horizontaliame  $n$  ir vertikaliame  $m$  kanaluose, tai per žmogaus sensomotorinę sistemą perduodamos informacijos greitis būtų (Laurutis, 2008):

$$C_{txy} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{n}{t} \log\left(1 + \frac{\sigma_{Tx}^2}{\sigma_{Lx}^2}\right) + \frac{m}{t} \log\left(1 + \frac{\sigma_{Ty}^2}{\sigma_{Ly}^2}\right), \quad (2)$$

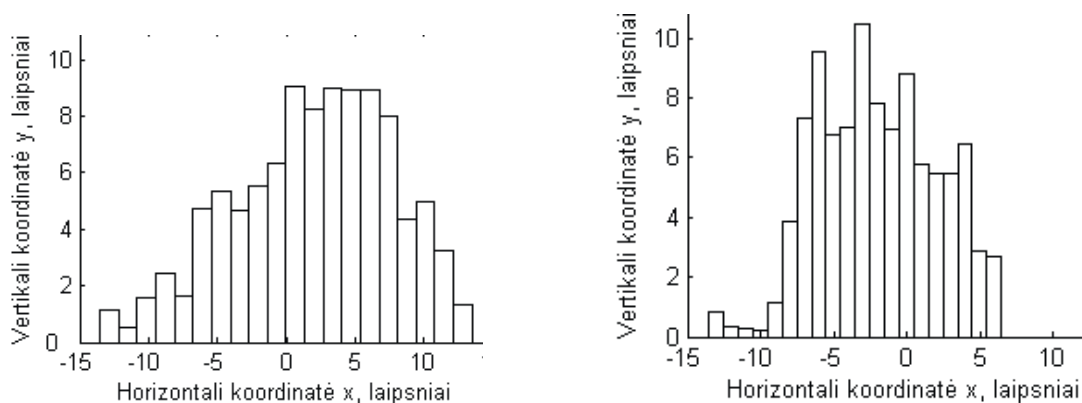
kur  $\sigma_{Tx}$ ,  $\sigma_{Ty}$  ir  $\sigma_{Lx}$ ,  $\sigma_{Ly}$  – taikinio trajektorijos ir jos sekimo paklaidų standartinės nuokrypos horizontaliame x ir vertikaliame y kanaluose.

Tyrimas atliktas su penkiais tiriamaisiais, kurių amžius tarp 20 ir 50 metų. Sekamieji ir šuoliniai akių judesiai buvo registruojami *LC Technologies, Ltd* sukurtu įtaisu *EyeGaze System*. Sekamieji judesiai ranka buvo atliekami įprasta kompiuterio pele. Taikinio judėjimo amplitudė kompiuterio ekrane tiriamojo atžvilgiu buvo 27 kampiniai laipsniai hori-

zontalia kryptimi ir 20 laipsnių – vertikalia. Taikinio judėjimo tolydinės trajektorijos pavyzdys pateiktas 1 paveiksle. Tolydine trajektorija judančio taikinio pikinis greitis buvo keičiamas nuo 2,5 iki 10 laipsnių per sekundę. 2 paveiksle pateiktos eksperimentuose naudotos taikinio trajektorijos skirstiniai horizontaliame ir vertikaliame kanaluose. Iš jų galima nustatyti, kad skirstinio horizontalaus kanalo standartinis nuokrypis  $\sigma_{Tx} = 5,7$  laipsnio, o vertikalaus –  $\sigma_{Ty} = 4,1$  laipsnio.



1 pav. Tolydinė taikinio judesio trajektorija



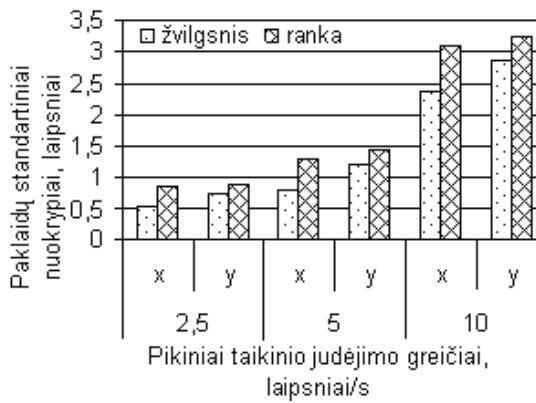
2 pav. Taikinio, pateikto 1 paveiksle, skirstiniai horizontaliame ir vertikaliame kanaluose

### Tyrimo rezultatai ir diskusija

Tolydinės taikinio judesio trajektorijos nepriklausomų atskaitų skaičius įvertintas atskirai apskaičiavus horizontalios ir vertikalios taikinio judesio trajektorijų dedamųjų koreliacinius intervalus. Nustatyta, kad, esant pikiniam taikinio judesio greičiui 5 laipsn/s, koreliacinis intervalas yra 0,65 s horizontaliame kanale ir 0,5 s – vertikaliame. Kadangi eksperimento trukmė tuo metu buvo 30 s, todėl nepriklausomų atskaitų skaičius antroje formulėje  $n = 46$  ir  $m = 60$ . Kai pikinis taikinio judesio grei-

tis buvo 2,5 ir 10 laipsn/s, nepriklausomų atskaitų skaičius buvo atitinkamai dvigubai mažesnis ir dvigubai didesnis.

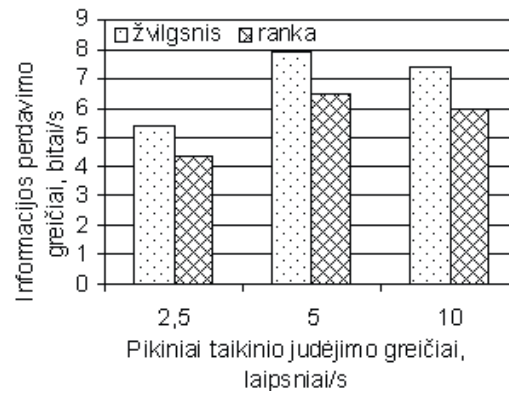
Atlikus eksperimentus, nustatyta, kad, sekant taikinį tiek žvilgsniu, tiek ranka, sekimo paklaidų standartiniai nuokrypiai, didinant taikinio greitį, nuolat didėja, tačiau sekimo žvilgsniu rezultatai išlieka truputį geresni negu sekant taikinį kompiuterio pele. 3 paveiksle pateikti visų penkių tiriamųjų suvidurkinti duomenys (standartinės nuokrypos horizontaliame ir vertikaliame kanaluose), vykdant sekimą žvilgsniu ir ranka prie trijų pikinių taikinio judesio greičių.



3 pav. Sekimo paklaidų standartiniai nuokrypiai prie trijų pikinių taikinio judesio greičių

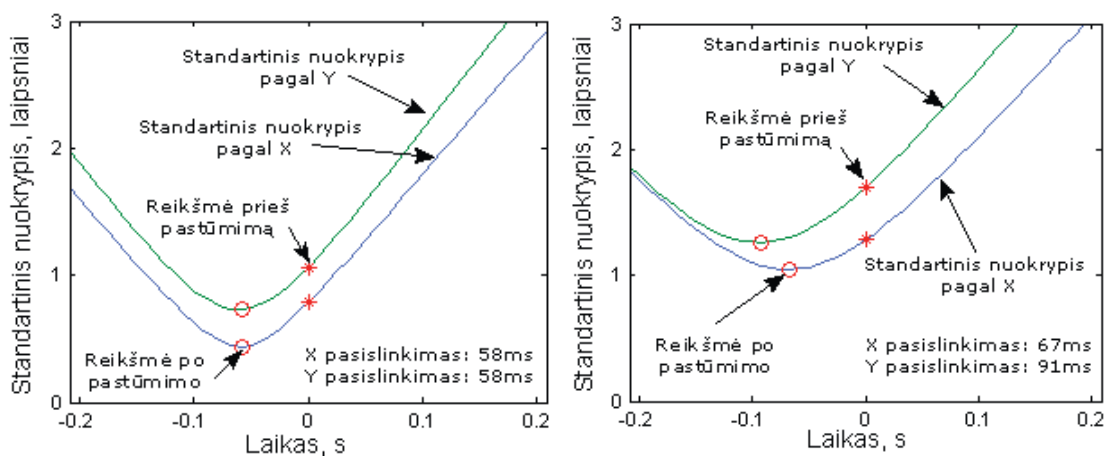
4 paveiksle pateikti informacijos perdavimo greičio tyrimo rezultatai, vykdant sekimą žvilgsniu ir ranka, apskaičiuoti pagal 2 formulę. Iš jų matome, kad tyrimo metu pavyko nustatyti okulomotorinės ir rankos sensomotorinės sistemų, kaip informacijos perdavimo kanalų, maksimalų informacijos perdavimo greitį, t. y. kanalų praleidžiamąją gebą, ir įrodyti, kad okulomotorinio kanalo praleidžiamoji geba yra didesnė negu rankos sensomotorinės sistemos praleidžiamoji geba. Nors, didėjant taikinio judesio greičiui, sekimo paklaidos nuolat didėjo (3 pav.) bei dėl to didėjo ir prarastos informacijos kiekis, tačiau kartu didėjo ir į informacijos perdavimo kanalą patenkančios informacijos kiekis. Todėl per kanalą perduotos informacijos kiekis, kaip galima matyti iš 1 formulės, tam tikru momentu igauna didžiausią reikšmę. Vadinasi informacijos praleidžiamoji geba yra labai parankus kiekybinis parametras, leidžiantis nustatyti ne tik šią reikšmę konkrečiam informacijos perdavimo kanalui, tačiau ir akivaizdžiai juos palyginti. Be to, verta prisiminti, kad tuomet, kai į kanalą informacija patenka greičiau, atitinkančiu kanalo praleidžiamąją gebą, ryšio kanalas veikia efektyviau-

siai, ir šį informacijos perdavimo greitį reikia laikyti ribiniu. Okulomotorinei sistemai toks informacijos perdavimo greitis yra apie 8 bitus/s, o rankos sensomotorinei – apie 6,5 bitus/s. Pikinis taikinio judesio greitis tuomet yra apie 5 laipsn/s.



4 pav. Okulomotorinės ir rankos sensomotorinės sistemų, kaip informacijos perdavimo kanalų, informacijos perdavimo greičiai

Stebint žvilgsnio bei rankos užregistruotas sekimo trajektorijas horizontaliame ir vertikaliame kanaluose ir palyginus jas su taikinio trajektorijomis, nesunku išvelgti, kad sekimo procesas vyksta atsilikdamas. Tai ir suprantama, nes sekama trajektorija turi atsitiktinį pobūdį. Antra, sensorinei sistemai nustatant taikinio judesio greitį bei kryptį ir motorinei sistemai suformuojant reikiamą komandą, susidaro tam tikras suvėlinimo laiko intervalas. Atlikę okulomotorinės ir rankos sensomotorinės sekimo sistemų horizontalios x ir vertikalios y trajektorijų perstūmimus laike taikinio trajektorijos atžvilgiu, apskaičiavome suvėlinimo laiko įtaką paklaidų standartiniams nuokrypams. Skaičiavimo rezultatai okulomotorinei sistemai (kairėje) ir rankos sensomotorinei sistemai (dešinėje) pateikti 5 paveiksle.



5 pav. Suvėlinimo laikų tarp taikinio ir okulomotorinės sistemos sekimo trajektorijų (kairėje) ir tarp taikinio ir rankos sensomotorinės sistemos trajektorijų (dešinėje) eliminavimo įtaka sekimo paklaidoms horizontaliame x ir vertikaliame y kanaluose

Iš jų matome, kad vėlinimų eliminavimas žymiai sumažina sekimo paklaidas, tačiau okulomotorinei sistemai šis poveikis yra labiau ryškus. Kartu matome, kad suvėlinimo dydis okulomotorinei sistemai yra mažesnis ir siekia apie 60 ms, kai tuo tarpu rankos sensomotorinei sistemai yra apie 70 ms horizontaliam kanalui ir apie 90 ms – vertikaliai. tyrimo rezultatai patvirtina, kad okulomotorinė sistema ne tik turi didesnę informacijos praleidžiamąją gebą, bet jai būdingas ir mažesnis vidinis vėlinimas.

### Išvados

1. Ryšio kanalo informacijos perdavimo teorija pritaikyta žmogaus sekamųjų akių judesių kontrolės (okulomotorinės) ir rankos sensomotorinės (kompiuterio pelės) sistemų savybėms tirti, teigiant, kad įėjimo signalas (dvimatė taikinio trajektorija kompiuterio ekrane) nusakoma kaip į sekimo sistemą patenkanti informacija, žvilgsnio krypties ir kursoriaus trajektorija ekrane – kaip per ryšio kanalą perduota informacija, o sekimo paklaida – kaip prarasta informacija.
2. Didinant taikinio judesio trajektorijos greitį, kuomet sekimo paklaidos žymiai padidėja, nustatytas okulomotorinės ir rankos sensomotorinės sekimo sistemų maksimalus informacijos perdavimo greitis – kanalo praleidžiamoji geba. Okulomotorinei sistemai tai apie 8 bitus/s, o rankos sensomotorinei sistemai – apie 6,5 bitus/s.
3. Sekant dvimate atsitiktine trajektorija judantį taikinį okulomotorinė ir rankos sensomotorinė sistemos veikia efektyviausiai, kai pikinis taikinio judesio greitis – 5 laips/s, kurį galima laikyti ribi-

niu taikinio greičiu. Esant didesniai greičiui, sekimo paklaidos žymiai padidėja, o informacijos perdavimo greitis – sumažėja.

4. Dirbtinai eliminavus suvėlinimą tarp taikinio trajektorijos ir okulomotorinės bei rankos sensomotorinės sistemų sekimo trajektorijų, nustatyta, kad okulomotorinei sistemai vidutinis suvėlinimas (apie 60 ms) yra mažesnis negu rankos sensomotorinei sistemai (apie 70 ms horizontaliame ir 90 ms vertikaliame kanaluose).

### Literatūra

1. Bridgeman B., Peery S., Anand S., 1997, Interaction of cognitive and sensorimotor maps of visual space, *Perception & psychophys.* No. 59. P. 456–469.
2. Barnes G. R., Mardsen F., 2002, Anticipatory control of hand and eye movements in humans during oculomotor tracking, *Journal of Physiology*. No. 591 (1). P. 317–330.
3. Kiuffedra K. J., Tannen B., 1994, *Eye movement basics for the clinician*. St. Louis: Mosby. P. 226.
4. Laurutis V., Daunys G., 2005, Akių judesių tyrimai: taikomasis aspektas, *Lietuvos katalikų mokslų akademijos suvažiavimo darbai*. T. 19. P. 1405–1413.
5. Laurutis V., Zemblys R., 2009, Bayesian decision theory application for double-step saccades, *Electronics and Electrical Engineering*. No. 4 (92). P. 99–102.
6. Laurutis V., 2008, Channel information capacity of the sensorimotor system of the eye, *Electronics and Electrical Engineering*. No. 5 (85). P. 85–88.
7. Miniotas D., Laurutis V., 2000, Relationship between movement speed and accuracy during gaze control of computer cursor, *Electronics and Electrical Engineering*. No. 2 (22). P. 63–66.

## OPTIMAL TARGET SPEED FOR SMOOTH PURSUIT AND MANUAL CONTROL

*Raimondas Zemblys, Vincas Laurutis*

### Summary

Using information transmitted over channel concepts human's smooth pursuit eye movements control system parameters were compared with manual control parameters during target pursuit by computer mouse. In this case two-dimensional target trajectory on the computer screen was defined as input information of the channel (control system) and line of sight or computer cursor trajectories – as output information. It was found that during smooth pursuit channel capacity of the oculomotor system is 8 bits/sec, and during mouse control channel capacity of the manual sensorimotor system is 6.5 bits/sec. Both systems act effectively and have the largest channel capacities when peak velocity of the two-dimensional target trajectory is around 5 degrees/sec.

**Keywords:** smooth pursuit, target speed, oculomotor system, channel capacity, sensorimotor system.

---

**RIBINIS TAIKINIO SEKIMO GREITIS ŽMOGAUS ŽVILGSNIU IR RANKA***Raimondas Zemblys, Vincas Laurutis***Santrauka**

Šiame straipsnyje, pritaikius informacijos perdavimo ryšio kanalu teorijos metodus, žmogaus sekamųjų akių judesių kontrolės sistemos rodikliai lyginami su taikinio sekimo kompiuterio pele (sekimo ranka) rodikliais. Tuo metu dvimatė taikinio trajektorija kompiuterio ekrane – įvertinama kaip į sekimo sistemą patenkanti informacija, o žvilgsnio krypties ar kursoriaus trajektorija ekrane – kaip per kanalą perduota informacija. Nustatyta, kad, sekant taikinį žvilgsniu, maksimalus informacijos perdavimo greitis per okulomotorinę sistemą, arba kanalo praleidžiamoji geba, yra 8 bitai/s, o, sekant kompiuterio pele, rankos sensomotorinio kanalo praleidžiamoji geba – 6,5 bitai/s. Abi sekos sistemos turi didžiausią praleidžiamąją gebą ir veikia efektyviausiai, kai dvimate trajektorija judančio taikinio pikinis greitis yra apie 5 laipsn/s.

**Prasminiai žodžiai:** žmogaus žvilgsnis, sekimo greitis, okulomotorinė sistema, kanalo praleidžiamoji geba, sensomotorinė sistema.

Įteikta 2009-08-27