

Vpliv teksture predmeta, teksture podlage in nagiba vektorja gibanja na zaznavanje pospešenega približevanja predmeta

*Luka Komidar**

Univerza v Ljubljani, Oddelek za psihologijo, Ljubljana

Povzetek: Ljudje nenatančno zaznavamo pospešenost gibanja v čelni ravnini in v globini. Dosedanje raziskave zaznavanja pospešenega gibanja v globini so gibanje v globini simulirale zgolj z večanjem ali manjšanjem relativne velikosti predmeta. Namen raziskave je bil zato preučiti vpliv prikaza globine na zaznavanje pospešenosti gibanja (približevanja predmeta) v globini. Poleg spreminjanja relativne velikosti predmeta smo v dražljajski prikaz vključili še tri globinske vire informacij: teksturo predmeta, teksturo podlage in nagib vektorja gibanja predmeta (ali 0° ali 15°). Ugotovili smo, da izbrani viri informacij pomembno vplivajo na zaznavanje pospešenosti gibanja v globini. V primeru, ko je bilo gibanje v globini simulirano le z optičnim širjenjem, je moralo biti gibanje upočasnjeno, da so ga opazovalci zaznali kot enakomernega. Rezultat smo poskušali pojasniti s skrčenjem zaznane globine. Učinki vseh uporabljenih globinskih virov informacij so bili istosmerni: čeprav niso izboljšali globalne občutljivosti za spreminjanje hitrosti gibanja, pa je moralo biti za zaznavo enakomernega približevanja gibanje bolj pospešeno (oziroma manj upočasnjeno) v primeru prisotnosti virov informacij kot v primeru njihove odsotnosti. Tekstura predmeta je predstavljala najmanj vpliven vir informacij, nagib vektorja gibanja predmeta pa najvplivnejšega. Ko je nagib vektorja gibanja znašal 15° , je moralo biti gibanje pospešeno, da so ga opazovalci zaznali kot enakomernega. Premik točke subjektivne linearnosti s področja negativne na področje pozitivne pospešenosti smo poskušali razložiti s tem, da z nagibom vektorja gibanja za 15° gibanje predmeta dobi še eno dimenzijo, in sicer komponento gibanja v čelni ravnini, za katerega pa velja, da mora biti pospešeno, da je zaznano kot enakomerno. Viri informacij so interaktivno vplivali na zaznavanje pospešenosti gibanja v globini, pri čemer način sovplivanja nakazuje možnost, da so se viri kombinirali v skladu z modelom modificiranega šibkega zlitja.

Ključne besede: zaznavanje gibanja, vidno zaznavanje, pospeševanje, zaznavanje globine, integracija globinskih znakov

The effect of object texture, ground texture and motion vector tilt on perception of accelerated approach of the object

Luka Komidar

University of Ljubljana, Department of psychology, Ljubljana, Slovenia

Abstract: Human observers do not accurately perceive acceleration of neither motion in frontal plane nor motion in depth. Recent studies simulated motion in depth by changing only relative size of the object. The purpose of this study was to investigate the influence of various levels of representation of

**Naslov / address: asist. Luka Komidar, univ. dipl. psih., Univerza v Ljubljani, Oddelek za psihologijo, Aškerčeva 2, 1000 Ljubljana, Slovenija, e-mail: luka.komidar@ff.uni-lj.si*

depth on perception of accelerated motion (object approach) in depth. Additionally to using the changing size cue, we used three sources of depth information: object texture, ground texture, and motion vector tilt. We discovered that the chosen sources of information had significant effects on the perception of accelerated motion in depth. When only looming was present in the viewing scene, observers perceived decelerated motion in depth as constant. The result could be interpreted in terms of the foreshortening of perceived depth. The main effects of the three sources of depth information were similar: they did not improve sensitivity for motion acceleration, but with their presence motion had to be more accelerated (less decelerated) to be perceived as linear. Object texture was the least influential source of information, whereas motion vector tilt was the most influential. When motion vector was tilted for 15°, approach had to be accelerated in order to be perceived as linear. We argue that the latter effect was due to the frontal-plane motion vector when height in visual field was present, which in turn relates to the findings that motion in frontal plane has to be accelerated in order to be perceived as constant. We also found that object texture consistently decreased the effects of ground texture and motion vector tilt. The obtained interactions among the three sources of information indicate that these sources integrate as proposed by the modified weak fusion model.

Key words: motion perception, visual perception, acceleration effects, depth perception, depth cue integration

CC=2323

Gibanje opazovalca skozi okolje oziroma gibanje predmetov v prostoru predstavlja dinamični dražljaj, ki organizmu sporoča, da v okolju prihaja do sprememb. Sposobnost prilagajanja dinamičnim spremembam v okolju je za organizem izredno pomembna, še posebej takrat, ko obstaja možnost, da pride med opazovalcem in predmetom do stika. Opazovalec mora takrat za ustrezno reakcijo oceniti razdalje med predmeti, smer, hitrost in pospešenost bodisi svojega gibanja bodisi gibanja predmetov. S tovrstnimi situacijami se srečujemo kot udeleženci v prometu (kot pešci ali vozniki), udeleženci v zračnem in pomorskem prometu in pri večini športov, med katerimi izstopajo igre z žogo (glej npr. Gray in Regan, 2000; Regan, Kaufman in Lincoln, 1986; Yilmaz in Warren, 1995).

V pričujoči raziskavi nas je zanimalo, kako zaznavamo pospešenost gibanja v globini. Pri tem smo se osredotočili na reprezentacijo (simulacijo) globine¹ ali bolje rečeno prostorske razporeditve (*angl.* layout) in njenega vpliva za zaznavanje pospešenega gibanja (približevanja) predmeta.

Kako zaznavamo predmete, ki se v okolju gibljejo okrog nas oz. okrog katerih se premikamo sami? Gibson (1966) je v svojem ekološkem pristopu k vidnemu zaznavanju (Lee, 1980; Warren, 1995) vidne informacije v okolju opredelil kot optično vrsto. Na optično vrsto lahko gledamo kot na skupek ozkih stožcev, ki imajo svoje vrhe v točki opazovanja (očesu), svoje osnovnice pa na ločenih okoljskih teksturnih

¹Sodobna literatura o globinskem zaznavanju največkrat uporablja simuliranje globine (Yantis, 1998), čeprav to morda niti ni upravičeno, saj simulacije uporabljajo vedno okrnjen izsek vidnega polja, ki vsebuje le nekatere globinske znake, ki se sicer pojavljajo pri vidnem zaznavanju v naravnem okolju. Tudi v tej raziskavi je bila uporabljena računalniška simulacija globine.

elementih. Vsak stožec se razlikuje od drugega z ozirom na jakost in spektralno sestavo svetlobe, ki jo vsebuje. Na vsaki točki opazovanja imamo torej edinstveno optično vrsto. Zaradi premikov glave in oči optična vrsta nikoli ni enaka oziroma se ne more ohraniti za dalj časa. Stalno spreminjajočo se optično vrsto imenujemo polje optičnega toka (*angl.* optic flow field). Z matematično analizo polja optičnega toka (Lee, 1980; Todd, 1981) ugotovimo, da ima vidni sistem preko gradientov hitrosti v optičnem toku na razpolago naslednje informacije:

- relativni razporeditvi predmetov v okolju,
- vidnem kotu bližajočega/oddaljujočega se predmeta,
- spremembah v njegovi hitrosti in pospešenosti,
- smeri njegove hitrosti in pospešenosti,
- času do stika (*angl.* time to contact) in času do prehoda (*angl.* time to passage) ter
- tem, ali se bo predmet ustavil pred ali za koronalno ravnino (ravnino, ki povezuje obe očesi in je pravokotna na vidno os).

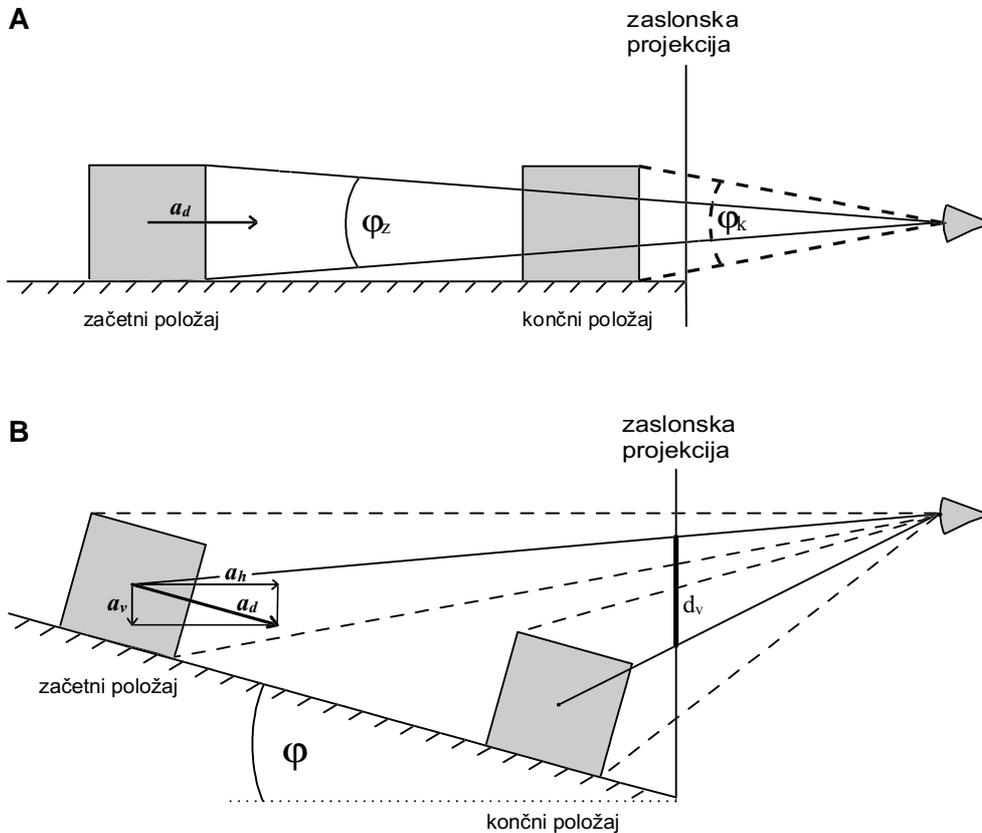
Polje optičnega toka nam torej nudi množico informacij, ki nam (potencialno) omogočajo ustrezno kontrolo naše aktivnosti.

V našem okolju se zelo pogosto pojavljata dve vrsti gibanja v globini: prvem približevanje predmeta po osi, ki sovpada z vidno osjo (torej neposredno približevanje predmeta; glej sliko 1A) in gibanje predmeta mimo opazovalca (npr. pod opazovalcem, kot bi ta stal na nadvozu nad avtocesto), pri katerem je vektor gibanja predmeta nagnjen, kar pomeni, da z vidno osjo zaobjema določen kot. Medtem ko se neposredno približevanje predmeta v polju optičnega toka in njegove projekcije na mrežnico izraža zgolj kot optično širjenje (večanje relativne velikosti predmeta), pri gibanju predmeta mimo opazovalca (pod opazovalcem) pri projekciji predmeta na mrežnici ne gre več zgolj za optično širjenje, temveč za kombinacijo optičnega širjenja predmeta ter gibanja reprezentacije predmeta po mrežnici (optično širjenje in translacijo; glej sliko 1B). Hitrost in pospešenost navpičnega gibanja sta odvisni od dejanske hitrosti in pospešenosti (a_d) predmeta in kota φ , ki ga oklepata vektor približevanja predmeta in normala projekcijske ravnine (projekcijska ravnina lahko npr. predstavlja poenostavljeno reprezentacijo mrežnice ali računalniški zaslon; glej sliko 1B):

$$\mathbf{a}_v = \mathbf{a}_d \times \sin\varphi \quad (1)$$

pri čemer vektor \mathbf{a}_v predstavlja pospešenost gibanja v čelni ravnini (v našem primeru navpičnega premika).

Gibanje mimo opazovalca vsebuje torej dve komponenti gibanja, ki sta v vidnem sistemu procesirani neodvisno (Regan in dr., 1986). Poleg optičnega širjenja predmetovega obrisa je prisotna še komponenta njegovega gibanja v čelni ravnini. Pri zaznavanju takega gibanja predmeta v globini (gibanja mimo opazovalca) so zato pomembne tudi značilnosti zaznavanja gibanja v čelni ravnini. Ker nekateri avtorji



Slika 1: (A) Gibanje v globini, pri katerem gre zgolj za optično širjenje oziroma večanje relativne velikosti predmeta. V tem primeru pride le do spremembe vidnega kota, ki ga zaobjema predmet (od φ_z do φ_k) in velikosti projekcije predmeta na zaslonu. (B) Gibanje predmeta, ki poleg optičnega širjenja vsebuje tudi komponento gibanja v čelni ravnini. Na sliki sta, poleg drugih (a_h - horizontalna komponenta pospešenosti in a_d - dejanska pospešenost), izpisana dva parametra, ki opisujeta translacijsko komponento gibanja, in sicer vektor a_v (vertikalna komponenta pospešenosti središča predmeta) in d_v , ki predstavlja pot, ki jo med gibanjem opravi središče predmeta na projekcijski ravnini.

(npr. Regan in dr., 1986) menijo, da je procesiranje gibanja v čelni ravnini osnova procesiranja gibanja v globini, nam poznavanje značilnosti zaznavanja gibanja v čelni ravnini lahko pomaga tudi pri razumevanju značilnosti zaznavanja gibanja v globini. Za gibanje v čelni ravnini velja, da običajno ni subjektivno enakomerno tisto gibanje, ki bi bilo dejansko enakomerno, pač pa mora biti gibanje nekoliko pospešeno, da opazovalci poročajo o enakomernem gibanju. Pri dejansko enakomernem gibanju opazovalci navadno poročajo o upočasnjem gibanju (Poljanšek, 2001; Runeson, 1974).

Pri zaznavanju globine in gibanja predmetov v globini pa opazovalcu poleg

informacij, vezanih na spreminjanje slike predmeta na mrežnici, pomagajo tudi druge informacije, ki so vezane na prostorsko razporeditev opazovanega predmeta in drugih predmetov v okolju. Prostorsko razporeditev opisujemo z natančno opredeljenimi in operacionaliziranimi globinskimi viri informacij (globinskimi znaki). Cutting in Vishton (1995) sta v svojo delitev vključila 9 najpomembnejših virov informacij:

- *slikovne vire informacij* (prekrivanje, relativno velikost, relativno gostoto, višino v vidnem polju in zračno perspektivo),
- *gibalne vire informacij* (gibalno paralakso/perspektivo),
- *fiziološko osnovane vire informacij* (binokularno neskladje, akomodacijo in konvergenco).

Pri zaznavanju globine si lahko pomagamo tudi s še nekaj drugimi globinskimi viri informacij (npr. teksturnimi gradienti, linearno perspektivo, svetlostjo in sencami, kinetično globino, kinetičnim prekrivanjem/odkrivanjem ter gravitacijo), vendar so ti viri informacij bodisi odvisni od tistih, ki so vključeni v osnovni seznam Cuttinga in Vishtona, bodisi njihova učinkovitost ni dovolj prepričljiva (za natančen pregled značilnosti posameznih globinskih virov informacij glej Cutting in Vishton, 1995).

Vidni sistem (in posredno organizem) ima torej na razpolago množico informacij, ki mu potencialno omogočajo ustrezno predelavo in sproženje pravilne reakcije. Dosedanje raziskave na tem področju so pokazale, da nekatere razpoložljive informacije sistem učinkovito izkorišča, npr. pri ocenjevanju razdalj, oddaljenosti (Cutting in Vishton, 1995), prepoznavanju oblike predmetov, razločevanju v času ločenih hitrosti (npr. Clifford, Beardsley in Vaina, 1999), ocenjevanju časa do stika z enakomerno bližajočim se predmetom v primerih, ko je potrebno hitro reagiranje na predmet (Regan in dr., 1986). Nekaj raziskav (npr. Kaiser in Hecht, 1995; Poljanšek, 2001; Todd, 1981) pa je ugotovilo, da informacij o pospešenosti gibanja vidni sistem ne izkorišča ali jih izkorišča mnogo manj učinkovito. Vendar raziskave, ki so prišle do teh ugotovitev, zaradi pomanjkljivega dražljajskega prikaza ne omogočajo nujno veljavnega zaključevanja o zaznavanju gibanja predmeta v naravnem okolju.

Todd (1981) je na primer preučeval, kako opazovalci zaznavajo pospešenost neposrednega približevanja predmeta, pri katerem gre zgolj za optično širjenje. Bližajoči se predmet je predstavljal kvadrat, katerega stranice so bile sestavljene iz pik, urejenih v ravno črto. Pike so se v posameznem dražljaju 18-krat radialno premaknile, njihovo premikanje pa je simuliralo približevanje kvadrata. Skupno je dražljaj trajal 750 ms. Opazovalci so morali podati oceno, ali je bilo približevanje pospešeno ali pojemajoče, pri čemer so po podani oceni prejeli povratno informacijo o pravilnosti odgovora. Rezultati so pokazali zelo slabo občutljivost za zaznavanje pospešenosti približevanja, saj so opazovalci pri največji predvajani pospešenosti ($12,2 \text{ m/s}^2$) le v 80 % primerov pravilno razločili, ali je šlo za upočasnjeno ali pospešeno. Na osnovi dobljenih rezultatov je avtor zaključil, da opazovalci niso občutljivi na razpoložljive informacije o predmetovi pospešenosti in upočasnenosti pri gibanju proti točki opazovanja.

M. Kaiser in Hecht (1995) sta se v svoji raziskavi osredotočila na čas do

prehoda predmeta preko opazovalčeve koronalne ravnine, pri čemer sta uporabila simulacijo razpršenih, radialno premikajočih se pik (ni bilo prisotnega optičnega širjenja pik). Želela sta ugotoviti, ali prisotnost pospešenosti vpliva na ocene časa do prehoda. Pri izvedbi eksperimenta sta beležila tako ocene časov do prehoda kot tudi ocene gibanj – ali se je opazovalcem zdelo gibanje pospešeno ali upočasnjeno. Ugotovila sta, da so opazovalci čas do prehoda pri piki, ki je upočasnjevala, podcenjevali, pri piki, ki je pospeševala, pa precenjevali. Informacije o pospešenosti gibanja v globini torej niso upoštevali. Napake v ocenah so bile večje pri upočasnjevanju kot pri pospeševanju pik, saj je do prehoda pri upočasnjenem gibanju preteklo več časa. Opazovalci torej gibanje v globini napovedujejo na podlagi povprečne hitrosti gibanja ali pa na podlagi hitrosti, ki jo je predmet imel v zadnjem trenutku, ko je bil še viden, pri čemer sprememb hitrosti ne upoštevajo, ampak hitrost obravnavajo kot konstantno. Avtorja povzemata raziskavo z ugotovitvijo, da se rezultati ujemajo s paradigmo časa do stika, ki je osnovana na predpostavki o konstantni hitrosti bližajočega se objekta.

A. Poljanšek (2001) je preučevala, kako opazovalci zaznajo približevanje predmeta v globini. Iskala je tisto gibanje, pri kateri so udeleženci poročali o enakomernosti gibanja. Dražljaj je predstavljal kvadrat s homogeno površino, gibanje v globini pa je simulirala z večanjem njegove relativne velikosti. Naloga opazovalcev je bila, da so podali oceno, ali se jim je gibanje zdelo pospešeno, enakomerno ali upočasnjeno. Ugotovila je, da mora biti pri dolgotrajnih nizih (2400 ms) gibanje enakomerno ali nekoliko upočasnjeno, da je zaznano kot enakomerno (povprečni eksponent subjektivne linearnosti ali ESL, tj. eksponent v potenčni funkciji, ki določa, kolikšno razdaljo v določenem času prepotuje predmet, je znašal 0,86). S krajšanjem trajanja niza oziroma manjšanjem povprečne hitrosti gibanja so se ESL znižale, kar pomeni, da je moralo biti gibanje še bolj upočasnjeno, da je bilo zaznano kot enakomerno. Avtorica navaja, da so opazovalci kot enakomerno gibanje v globini označili tisto gibanje, ki je pri večji oddaljenosti vsebovalo prevelike spremembe, v bližini opazovalca pa prepočasne oziroma premajhne spremembe relativne velikosti tarče. Udeleženci so torej podcenjevali premike oddaljene tarče ter precenjevali premike tarče v bližini. Avtorica rezultate pojasnjuje s skrčenjem zaznane globine in dodaja, da "... je pri gibanjih v globini bil dražljajski prizor veliko manj jasen kot pri gibanjih v čelni ravnini, edini pokazatelj oddaljenosti predmeta je bila velikost predmeta... možno je, da so udeleženci zaradi pomanjkanja globinskih znakov ocenjevali večanje velikosti tarče in ne giba-nja v globini, oziroma, da je zaznava dvodimenzionalnega spreminjanja velikosti tarče prevladala nad vtisom njenega tridimenzionalnega gibanja" (str. 129).

Dosedanje raziskave zaznavanja gibanja v globini, predvsem tiste, ki so se ukvarjale z zaznavanjem njegove pospešenosti, so torej uporabljale zelo osiromašene dražljajske prikaze, v katerih so gibanje v globini simulirale le s spreminjanjem relativne velikosti predmeta (optičnim širjenjem). Zaključki o slabi občutljivosti za pospešenost in o nestvarnem zaznavanju pospešenosti gibanja v globini bi bili lahko zato preuranjeni.

Le redke raziskave so prikaz obogatile z dodatnimi viri informacij. Schiff in Detwiler (1979) sta, na primer, preučevala čas do stika s črnimi diski, ki so se gibali v globini po podlagi. V nekaterih pogojih sta podlagi in "nebu" dodala tudi teksturo v

obliki mreže iz črt. Ugotovila sta, da je spreminjanje velikosti tarče opazovalcem služilo kot primarni vir informacij pri ocenjevanju časa do stika, tako tekstura podlage kot tudi tekstura neba pa nista pomembno vplivali na rezultate. Larish in Flach (1990) pa sta preučevala, ali na zaznavanje enakomerne hitrosti gibanja opazovalca skozi okolje (egohitrost) vpliva tekstura podlage, po kateri se opazovalec premika. V enem primeru je teksturo predstavljala množica naključno razporejenih točk, v drugem pa mreža iz črt. Ugotovila sta, da na zaznavanje egohitrosti tekstura ne vpliva. Zaključkov raziskav, ki so raziskovale vpliv nekaterih globinskih virov informacij, pa žal ne moremo neposredno prenesti v kontekst zaznavanja pospešenosti gibanja v globini, saj so simulirale zgolj enakomerno gibanje v globini. Tako je še vedno možno, da bi dodajanje različnih globinskih virov informacij lahko pripomoglo k boljšemu izkoriščanju informacij o pospešenosti gibanja predmeta v globini.

V pričujoči raziskavi smo zato želeli natančneje preučiti, kako zaznavamo pospešenost gibanja v globini, če dražljajski prikaz ne vsebuje le optičnega širjenja, temveč ga obogatimo z več viri informacij. Izbrali smo tri vire informacij, ki so učinkoviti na različnih oddaljenostih. Tako smo želeli ugotoviti, kakšno gibanje v globini zaznajo opazovalci kot enakomerno, kakšna je občutljivost za pospešenost gibanja v globini in kako *tekstura predmeta*, *tekstura podlage* ter prisotnost dvignjene perspektive v prikazu (*nagib vektorja gibanja predmeta*) vplivajo na zaznavanje pospešenosti gibanja predmeta v globini.

Za teksturo je v dosedanjih raziskavah bilo ugotovljeno, da pri zaznavanju gibanja v globini igra pomembno vlogo, saj nudi informacije o toku robov in globalnem toku (Larish in Flach, 1990), pri čemer pa tip oziroma vrsta teksture ne vpliva na zaznavanje gibanja v globini. Vpliv nagiba vektorja gibanja predmeta pa v kontekstu zaznavanja (pospešenega) gibanja v globini še ni bil natančneje in neposredno raziskan. Z nagibom vektorja gibanja predmeta njegovemu gibanju v globini dodamo komponento gibanja v čelni ravnini. Zaznavanje pospešenosti gibanja v čelni ravnini se razlikuje od zaznavanja pospešenosti gibanja v globini (Poljanšek, 2001), zato nas je zanimalo, kaj se zgodi z zaznavo pospešenosti, ko gibanje predmeta opisujeta obe vrsti gibanja hkrati.

Ker v primeru statične razporeditve velja pravilo, da se z večanjem števila virov informacij v okolju izboljšuje tudi natančnost in konsistentnost pri zaznavanju prostorske razporeditve (Cutting in Vishton, 1995; Landy in dr., 1995), smo predvidevali, da bo enako veljalo tudi za zaznavanje značilnosti dinamičnih dražljajev, tj. gibanja v prostoru.

Metoda

Udeleženci

V raziskavi je sodelovalo 28 udeležencev, 14 žensk ter 14 moških v starostnem razponu od 20 do 32 let ($M = 23$ let), z normalnim ali z očali korigiranim vidom. Razen dveh nihče od udeležencev ni imel vpogleda v raziskovalni problem, pri čemer pa je večina

že imela izkušnje s psihofizikalnimi poskusi.

Dražljaji in eksperimentalni načrt

V raziskavi smo se naslonili na metodo posamičnih dražljajev (za pregled glej Podlesek in Brenk, 2004), pri kateri predvajamo nize spreminjanj dražljajskih intenzitet, iščemo pa tak niz, ki vzbudi enakomerno spreminjanje intenzitete občutka. Namesto običajne rabe dražljajskih nizov, ki sledijo potenčni funkciji (glej npr. Poljanšek, 2001), smo predvajali gibanja z različnimi linearnimi pospeški. Iskali smo tisti pospešek gibanja v globini, ki pri udeležencih vzbudi občutek enakomernosti gibanja. Za naraščanje intenzitete dražljaja (hitrosti) smo uporabili funkcijo linearno pospešenega gibanja:

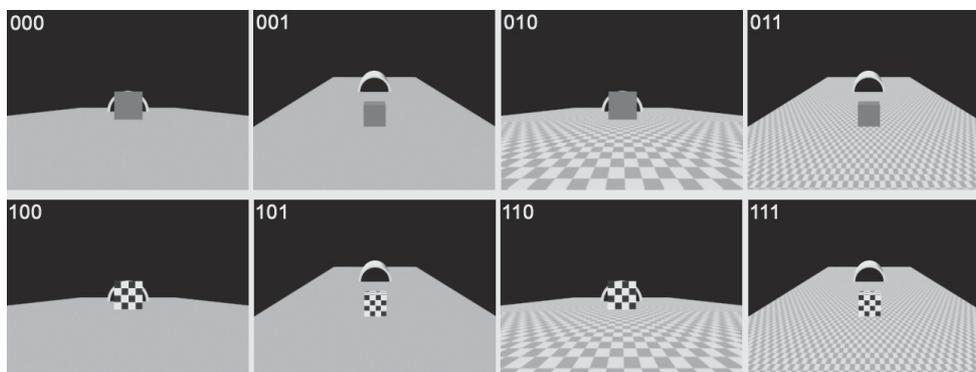
$$s_i = v_0 t_i + \frac{a t_i^2}{2} \quad (2)$$

kjer je s_i pot, ki jo predmet opravi do trenutka i , a pospešek in t_i čas, ki je pretekkel od začetka gibanja do trenutka i . V nadaljevanju so navedene vrednosti posameznih parametrov, ki so opisovali gibanje predmeta v eksperimentu: pot ($s = 1633$ e), povprečna hitrost ($\bar{v} = 700$ e/s) in trajanje gibanja (2,3 s). Uporabljene so generične enote (označene z e) računalniškega programa 3ds max (2001), predvsem zaradi natančnosti in konsistentnosti – v nadaljevanju so namreč vse prikazane vrednosti v tej enoti.

V vseh primerih je šlo za gibanje (približevanje) kocke po podlagi. Uporabili smo 7 različnih gibanj, ki so se med seboj razlikovala po stopnji pospešenosti oz. pojemka: v razponu od 600 do -600 e/s², s korakom 200 e/s²; tako smo dobili 3 različno pospešena gibanja, 3 različno pojemajoča gibanja ter 1 enakomerno gibanje. Primerljivost in zato tudi ustreznost dražljajev je bila določena z omejitvijo, da mora predmet vedno prepotovati enako pot v enakem času. Zaradi tega so bile začetne in končne hitrosti pri vsakem pospešku drugačne (od 0 do 1400 e/s, s korakom 233 e/s).

V računalniškem programu za 3D modeliranje in animacijo 3ds max 4.0 smo narisali osnovne elemente dražljaja oziroma dražljajske situacije: *ravnino* – podlago za gibanje predmeta, *kocko* – predmet gibanja, *šahovnico z manjšim kontrastom svetlosti*, ki je predstavljala teksturo podlage, *šahovnico z večjim kontrastom svetlosti*, ki je predstavljala teksturo predmeta, in *predor*, ki je služil kot fiksacijska točka za usmeritev pozornosti ter za primeren začetek gibanja predmeta.

Variirali smo ravni štirih neodvisnih spremenljivk, in sicer treh, ki so bile merjene ponovljeno (tj. treh globinskih virov informacij) ter ene, ki je bila merjena neponovljeno, tj. spola. S takim načrtom smo dobili 8 različnih eksperimentalnih pogojev (2'2'2) oziroma dražljajev, ki so predstavljali vse možne kombinacije ravni neodvisnih spremenljivk, merjenih ponovljeno. Na sliki 2 so prikazani primeri vseh pogojev, iz katerih so razvidni vsi elementi dražljajske situacije ter ravni vključenih spremenljivk. Pogoji so poimenovani s tremi številkami, pri čemer lahko vsaka zavzame vrednost 0



Slika 2: Elementi dražljajske situacije ter ravni vključenih spremenljivk (glej besedilo za podrobnejšo razlago).

ali 1. Logika takšnega opisovanja je enostavna: 0 pomeni, da spremenljivka v pogoju ni bila prisotna, 1, da je bila prisotna. Prva številka opisuje prisotnost teksture predmeta, druga teksture podlage, tretja pa nagiba vektorja gibanja predmeta.

Pripomočki

Eksperiment smo izvajali na osebem računalniku s procesorjem Intel Celeron II 900 MHz, z 256 MB SDRAM-a in v okolju Windows 98 SE. Dražljaji so bili predvajani na računalniškem CRT zaslonu Nokia Multigraph 446XPRO pri ločljivosti 1024 × 768 in vertikalnem osveževanju 100 Hz. Eksperiment smo izvajali s pomočjo računalniškega programa *Gibanje* (napisanega v programskem jeziku Visual basic 6.0; avtor: Damir Odlak), ki je nadziral vse vidike poskusa (predvajanje filmov, beleženje odgovorov ipd.).

Postopek

Udeleženci so bili nameščeni na stolu in sicer tako, da je bil zaslon od njihovih oči oddaljen 100 cm. Dražljaji so bili predvajani v višini oči (vidna os je bila pravokotna na sredino zaslona), udeleženci pa so jih opazovali binokularno. Glavo so naslonili na mehko oprijemajoče naslonjalo, ki je onemogočalo premikanje glave, a hkrati omogočalo udobno opazovanje dogajanja na zaslonu.

Vsak udeleženec je vse naloge opravil s pritiskom na levi miškin gumb. Predvajanje filma je sprožil s pritiskom na gumb "predvajaj naslednji film", ki se je, tako kot odgovorni gumbi, nahajal na dnu zaslona. S tem se je začelo predvajanje filma, pri čemer je udeleženec najprej opazoval statično situacijo (trajala je 1 s, vidni so bili vsi elementi dražljajske situacije razen predmeta), kateri je sledilo gibanje predmeta. Po koncu predvajanja filma so se pojavili odgovorni gumbi – *pojemažoč*,

enakomerno, pospešeno in preskok. Udeleženec je med prvimi tremi alternativami izbral ustrezní odgovor, ki je opisoval njegovo zaznavo pospešenosti gibanja tarče, nakar se je ponovno pojavil gumb za predvajanje naslednjega filma. Eksperimentalni načrt je predvideval 10 ponovitev vsakega dražljaja, kar pomeni, da je oseba med poskusom podala 560 ocen o gibanju (8 pogojev \times 7 različnih gibanj \times 10 ponovitev). Dražljaji so bili predvajani po naključnem vrstnem redu, ki ga je določil računalniški generator naključnih števil. Pri izbiri odgovora *preskok* je bil ustrezní film ignoriran (odgovor in ponovitev nista bila upoštevana) in predvajan pozneje, spet po naključnem izboru. Udeleženec je odgovor *preskok* izbral takrat, ko so objektivni moteči dejavniki (zunanje motnje, film se ni predvajal zvezno ipd.) povzročili, da ni bilo možno podati veljavne ocene. Pred pričetkom eksperimentalnih meritev je udeleženec sodeloval v vaji, v kateri se je seznanil z delovanjem programa in z različnimi dražljaji (z različnimi kombinacijami virov informacij in različnimi pospešenostmi gibanj).

Na podlagi dobljenih porazdelitev treh možnih odgovorov smo za vsak pogoj izračunali *prage za pojemanje* (prag D – decelerirano, tj. tisto pospešeno gibanje, ki je pri udeležencu v 50 % primerov vzbudilo občutek upočasnjenosti), *prage za pospešeno* (prag A – akcelerirano, tj. tisto pospešeno gibanje, ki je pri udeležencu v 50 % primerov vzbudilo občutek pospešenosti) in *točke subjektivne linearnosti* (TSL; načeloma naj bi se nahajala približno na polovici intervala med pragoma A in D oziroma predstavlja njuno povprečje). Izračun pragov in TSL je temeljil na Spearmanovi metodi določanja aritmetične sredine nekumulirane porazdelitve (Guilford, 1954; Podlesek in Brenk, 2004). Praga A in D smo izračunali na podlagi nekumulirane distribucije odgovorov *pojemaajoče in pospešeno*, medtem ko TSL temelji na odgovorih *linearno*. Vse tri izračunane mere (prag A, prag D, TSL) so predstavljale osnovo za nadaljnje analize, s katerimi smo preverjali vpliv neodvisnih spremenljivk na zaznavanje pospešenosti gibanja v globini. Ker eksperimentalni načrt združuje tri ponovljeno merjene spremenljivke in eno, merjeno neponovljeno, smo v prvi fazi uporabili analizo variance za mešane načrte. V drugi fazi smo iz analize izločili spremenljivko spol in opravili trismerno analizo variance za ponovljene meritve.

Rezultati

V prvi fazi obdelave podatkov, tj. analizi variance za mešane načrte, ki je vključevala tudi preverjanje vpliva spola, se je pokazalo, da je spol vplival na dve meri, in sicer na TSL in prag A (za moške in ženske sta bili značilni različni skupni povprečji pri teh dveh merah). Za udeležence so bili značilni nižji pragi za pospešeno ($M_{\text{ženske}} = 159,1 \text{ e/s}^2$, $M_{\text{moški}} = 268,6 \text{ e/s}^2$, $F(1, 26) = 5,36$, $MSE = 125193$, $p = 0,29$), medtem ko med spoloma ni bilo razlik pri pragih za upočasnjenost. Posledično so bile za ženske značilne tudi nižje vrednosti TSL ($M_{\text{ženske}} = -64,9 \text{ e/s}^2$, $M_{\text{moški}} = 27,2 \text{ e/s}^2$; $F(1, 26) = 11,02$; $MSE = 43106$, $p = ,003$). Ti rezultati so zanimivi, saj nismo pričakovali, da se bodo mere zaznavanja pospešenosti gibanja v globini pri moških in ženskah pomembno

razlikovale. V nadaljevanju smo se odločili, da se bomo osredotočili le na rezultate, ki smo jih dobili v drugi fazi obdelave podatkov. Ta odločitev je bila sprejeta na osnovi podatka, da tudi pri merah, kjer se je učinek spola izkazal za pomembnega, pripadnost spolu ni bila v interakciji z nobeno od ponovljeno merjenih spremenljivk oziroma ni z nobenim od uporabljenih globinskih virov informacij pomembno sovplivala na zaznavanje pospešenosti gibanja v globini.

Vse vrednosti, ki so v nadaljevanju navedene bodisi pod slikami bodisi v besedilu, predstavljajo pospešek z enoto e/s^2 , pri čemer je e generična enota računalniškega programa 3ds max. Zaradi večje preglednosti so enote ponekod izpuščene.

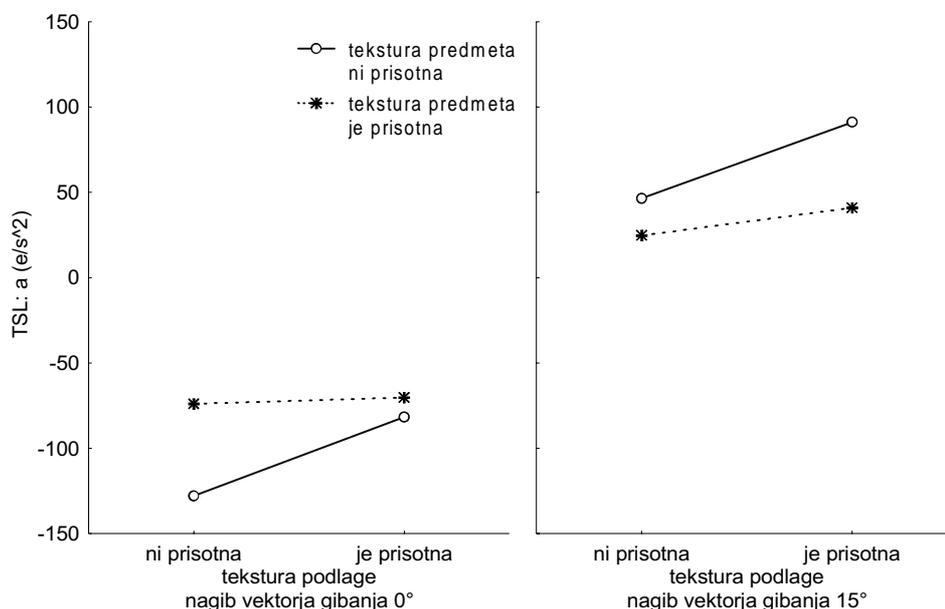
Točka subjektivne linearnosti preko vseh pogojev je znašala $-18,8 e/s^2$, kar pomeni, da je moralo biti gibanje, da je bilo zaznano kot enakomerno, v povprečju rahlo pojemajoče. To nakazujeta tudi oba pragova, saj je bila absolutna vrednost praga za pojemajoče gibanje večja od praga za zaznavo pospešenosti ($|\text{pragD}| > |\text{pragA}| = |-271,9| > |213,9|$), kar pomeni, da je moralo biti gibanje, da je bilo zaznano kot pospešeno, relativno manj pospešeno, kot je moralo biti gibanje pojemajoče, da je bilo kot tako tudi zaznano.

V nadaljevanju bomo pregledali, kako so posamezni globinski viri informacij vplivali na zaznavanje pospešenosti v globini oziroma, kako so posamezni globinski viri informacij vplivali na TSL in oba praga. V tabelah 1, 2 in 3 so prikazani rezultati analiz variance teh treh mer, kjer lahko vidimo, kateri viri informacij so statistično pomembno vplivali na zaznavanje pospešenosti gibanja v globini. V nadaljevanju opisujemo samo te vplive.

Tabela 1: Povzetek analize variance točk subjektivne linearnosti (TSL).

vir	vsota kvadratov	df	srednji kvadrat	F	p
tekstura predmeta	11716,1	1	11716,1	5,43	,03
napaka	58233,9	27	2156,8		
tekstura podlage	21216,1	1	21216,1	5,91	,02
napaka	96933,9	27	3590,1		
nagib vektorja gibanja	1796444,6	1	1796444,6	167,19	,00
napaka	290105,4	27	10744,6		
tekstura predmeta tekstura podlage	1116,1	1	1116,1	0,57	,46
napaka	52833,9	27	1956,8		
tekstura predmeta nagib vektorja gibanja	95287,5	1	95287,5	37,25	,00
napaka	69062,5	27	2557,9		
tekstura podlage nagib vektorja gibanja	1,8	1	1,8	0,00	,98
napaka	74548,2	27	2761,0		
tekstura predmeta tekstura podlage nagib vektorja gibanja	4644,6	1	4644,6	1,61	,22
napaka	78105,4	27	2892,8		

Opomba: Statistično pomembni glavni učinki in interakcije so v krepkem tisku ($p < ,05$).



Slika 3: Vpliv teksture predmeta, teksture podlage in nagiba vektorja gibanja predmeta na točko subjektivne linearnosti (TSL).

Slika 3 kaže, kakšni so bili učinki globinskih virov informacij na TSL. Če je imela podlaga teksturo, je moralo biti gibanje manj upočasnjeno, da je bilo zaznano kot enakomerno ($M = -5,0$; $SD = 81,8$), kot v primeru, ko tekstura na podlagi ni bila prisotna ($M = -32,6$; $SD = 94,1$). Kadar je nagib vektorja gibanja znašal 15° , je moralo biti gibanje pospešeno, da je bilo zaznano kot enakomerno ($M = 50,8$; $SD = 82,8$), medtem ko je moralo biti upočasnjeno, ko je vektor gibanja predmeta sovpadal z opazovalčevo vidno osjo ($M = -88,5$; $SD = 111,0$). Samo v primeru 15° nagiba vektorja gibanja je prišlo do obrata oziroma do premika TSL na področje pozitivne pospešenosti.

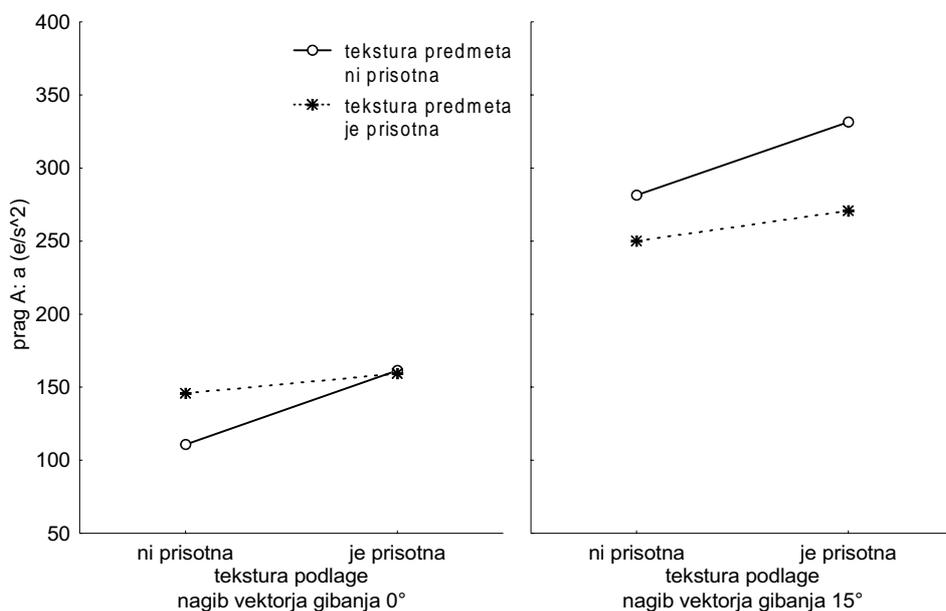
V primeru, ko je bila prisotna samo tekstura podlage, je moralo biti gibanje malenkost pospešeno, da je bilo zaznano kot enakomerno ($M = 4,7$; $SD = 87,8$), ko se je pojavila še tekstura predmeta, pa je moralo biti gibanje pojemajoče, da je bilo zaznano kot enakomerno ($M = -14,7$; $SD = 77,8$). Na sliki 3 je razvidno, da je tekstura predmeta zmanjšala učinek teksture podlage. Iz slike 3 lahko tudi razberemo, da je pri 15° nagibu vektorja gibanja moralo biti gibanje za zaznavo enakomernosti bolj pospešeno ($M = 68,8$; $SD = 82,4$) kot v primeru, ko se je nagibu pridružila še tekstura predmeta ($M = 32,8$; $SD = 90,2$). Tekstura predmeta je imela v interakciji z nagibom vektorja gibanja podobno vlogo kot pri interakciji s teksturo podlage – tudi tokrat je zmanjšala učinek drugega vira informacije.

Slika 4 kaže, kakšni so bili učinki globinskih virov informacij na prag A. Če je bila prisotna tekstura na podlagi, je bil prag za zaznavo pospešenega gibanja ($M =$

Tabela 2: Povzetek analize variance pragov za pospešeno gibanje (prag A).

vir	vsota kvadratov	df	srednji kvadrat	F	p
tekstura predmeta	12301,8	1	12301,8	2,76	,11
napaka	120448,2	27	4461,0		
tekstura podlage	63787,5	1	63787,5	12,18	,00
napaka	141362,5	27	5235,6		
nagib vektorja gibanja	1083644,6	1	1083644,6	43,02	,00
napaka	680105,4	27	25189,1		
tekstura predmeta tekstura podlage	15444,6	1	15444,6	5,61	,03
napaka	74305,4	27	2752,1		
tekstura predmeta nagib vektorja gibanja	54687,5	1	54687,5	10,28	,00
napaka	143662,5	27	5320,8		
tekstura podlage nagib vektorja gibanja	144,6	1	144,6	0,06	,81
napaka	65005,4	27	2407,6		
tekstura predmeta tekstura podlage nagib vektorja	216,1	1	216,1	0,09	,76
gibanja napaka	63533,9	27	2353,1		

Opomba: Statistično pomembni glavni učinki in interakcije so v krepkem tisku ($p < ,05$).

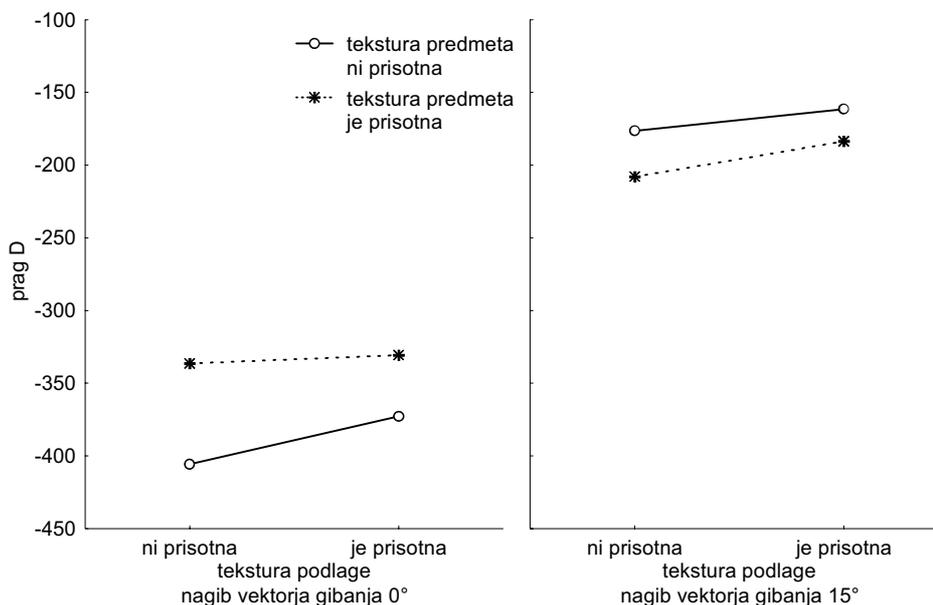


Slika 4: Vpliv teksture predmeta, teksture podlage in nagiba vektorja gibanja predmeta na prag za pospešeno gibanje (prag A).

Tabela 3: Povzetek analize variance pragov za upočasnjeno gibanje (prag D).

vir	vsota kvadratov	df	srednji kvadrat	F	p
tekstura predmeta	11716,1	1	11716,1	5,43	,03
napaka	58233,9	27	2156,8		
tekstura podlage	21216,1	1	21216,1	5,91	,02
napaka	96933,9	27	3590,1		
nagib vektorja gibanja	1796444,6	1	1796444,6	167,19	,00
napaka	290105,4	27	10744,6		
tekstura predmeta tekstura podlage	1116,1	1	1116,1	0,57	,46
napaka	52833,9	27	1956,8		
tekstura predmeta nagib vektorja gibanja	95287,5	1	95287,5	37,25	,00
napaka	69062,5	27	2557,9		
tekstura podlage nagib vektorja gibanja	1,8	1	1,8	0,00	,98
napaka	74548,2	27	2761,0		
tekstura predmeta tekstura podlage nagib vektorja gibanja	4644,6	1	4644,6	1,61	,22
napaka	78105,4	27	2892,8		

Opomba: Statistično pomembni glavni učinki in interakcije so v krepkem tisku ($p < ,05$).



Slika 5: Vpliv teksture predmeta, teksture podlage in nagiba vektorja gibanja predmeta na prag za upočasnjeno gibanje (prag D).

230,7; $SD = 129,5$) višji kot v primeru, ko tekstura ni bila prisotna ($M = 197,0$; $SD = 144,5$). Prav tako je tudi 15-stopinjski nagib vektorja gibanja zvišal prag za pospešeno gibanje, vendar spet v precej večji meri kot tekstura podlage. Ko je nagib znašal 15° , je bil prag za pospešenost približno dvakrat večji ($M = 283,4$; $SD = 138,6$) kot takrat, ko ga ni bilo oziroma je znašal 0° ($M = 144,3$; $SD = 152,9$).

Ko sta bili prisotni tako tekstura podlage kot tudi tekstura predmeta, je bil prag za pospešeno gibanje manjši ($M = 215,0$; $SD = 124,4$) kot v primeru, ko je bila prisotna samo tekstura podlage ($M = 246,4$; $SD = 141,8$). Iz slike 4 je razvidno, da je tekstura predmeta vplivala na učinek teksture podlage in sicer ga je spet zmanjšala. Tekstura predmeta je zmanjšala tudi učinek 15-stopinjskega nagiba vektorja gibanja. Prag za pospešeno gibanje je bil v primeru, ko je bil v dražljajskem prikazu prisoten samo 15-stopinjski nagib vektorja ($M = 306,4$; $SD = 145,5$), večji kot takrat, ko sta bila prisotna oba vira informacij ($M = 260,4$; $SD = 140,2$).

Slika 5 kaže, kakšni so bili učinki globinskih virov informacij na prag D. Ko je imel predmet teksturo, je bil prag za zaznavo pojemajočega gibanja, ($M = -264,6$; $SD = 112,2$) nižji (upoštevamo absolutno odstopanje od 0) kot v primeru, ko tekstura na predmetu ni bila prisotna ($M = -279,1$; $SD = 109,9$). Učinek teksture podlage je bil po jakosti in smeri skoraj identičen učinku teksture predmeta – ko je bila na podlagi tekstura prisotna, je bil prag za pojemajoče gibanje ($M = -262,1$; $SD = 108,1$) nižji kot v primeru, ko na podlagi ni bilo teksture ($M = -281,4$; $SD = 115,5$). Tudi 15-stopinjski nagib vektorja gibanja predmeta je zmanjšal prag za pojemajoče gibanje, le da je bila sprememba zelo velika. Ko je nagib znašal 15° , je bil prag D približno za polovico manjši ($M = -182,3$; $SD = 110,3$) kot takrat, ko perspektiva gledanja ni imela naklona ($M = -361,4$; $SD = 121,1$).

Na sliki 5 lahko vidimo, da je tudi pri pragu za pojemajoče gibanje tekstura predmeta zmanjšala učinek nagiba vektorja gibanja. V primeru, ko je bil dražljajski prikaz obogaten samo s perspektivo, je bil prag manjši ($M = -168,9$; $SD = 109,3$) kot takrat, ko je nagib vektorja gibanja znašal 15° in je predmet imel teksturo ($M = -195,7$; $SD = 116,6$).

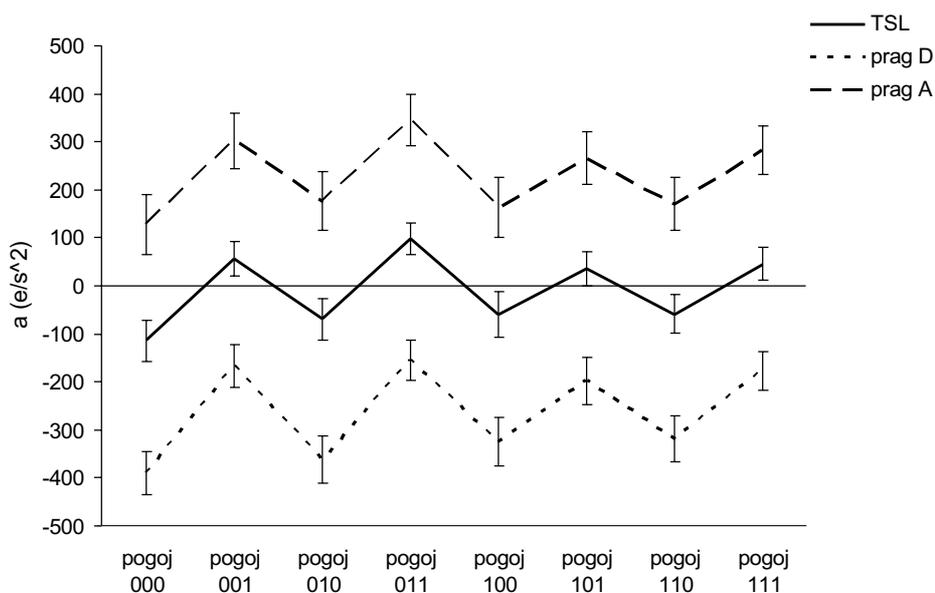
Povzetek rezultatov

Na tem mestu bomo na kratko še enkrat povzeli rezultate in izpostavili glavne ugotovitve. V tabelah 1, 2 in 3 lahko vidimo, da so vse vključene spremenljivke vplivale na zaznavanje pospešenosti gibanja predmeta v globini, in sicer so vrednosti vseh mer pomaknile v smeri bolj pospešenega gibanja (prag A so pomaknile v smer bolj pospešenega gibanja, prag D v smer manj upočasnjenega gibanja, tako da je moralo biti gibanje pri TSL manj pojemajoče).

Pri trendu zvišanja vrednosti vseh treh mer zaznavanja pospešenosti gibanja v globini, nagib vektorja gibanja za 15° (od osi opazovanja) močno izstopa, saj je imel v primerjavi s teksturo predmeta in teksturo podlage neprimerljivo večje učinke, pri čemer je potrebno poudariti, da je bil učinek pri TSL tako velik, da se je točka subjektivne

linearnosti s področja negativne pospešenosti pomaknila na področje pozitivne pospešenosti. Z drugimi besedami, kadarkoli je bila v dražljajskem prikazu prisotna višina v vidnem polju, je moralo biti gibanje pospešeno, da je bilo zaznано kot enakomerno (glej sliko 6 za jasno ponazoritev robustnosti učinka nagiba vektorja gibanja za 15° v vseh 8 pogojih).

Če bi razvrščali dejavnike oziroma neodvisne spremenljivke po jakosti učinkov, bi nagibu vektorja gibanja sledila tekstura podlage. Učinki teksture podlage so imeli v vseh razpoložljivih primerih (TSL, prag A in prag D) enako smer kot vplivi nagiba vektorja gibanja, vendar so bili ti učinki precej manj izraziti. Tekstura predmeta je imela pomemben vpliv le na eno izmed prikazanih mer (prag D), pri čemer je bila smer učinka konsistentna z učinki teksture podlage in nagiba vektorja gibanja za 15° . Zanimivo je, da je bila tekstura predmeta udeležena pri *vseh* pomembnih interakcijah med spremenljivkami in sicer je prisotnost teksture predmeta vsakič zmanjšala učinek drugih dveh globinskih virov informacij.



Slika 6: Povprečja (s 95% intervali zaupanja) vseh treh psihofizikalnih mer (TSL, prag A in prag D) preko vseh osmih pogojev. Pogoji so poimenovani s tremi števkami, pri čemer lahko vsaka zavzame vrednost 0 ali 1. Vrednost 0 pomeni, da spremenljivka v pogoju ni bila prisotna, 1, da je bila prisotna. Prva številka opisuje prisotnost teksture predmeta, druga teksture podlage, tretja pa nagiba vektorja gibanja predmeta. Bralec naj bo pozoren predvsem na konsistentno pojavljajočo se razliko med pogoji, ki imajo na zadnjem mestu vrednost 0 (nagiba vektorja gibanja v tem primeru ni bilo), in pogoji, ki imajo na zadnjem mestu vrednost 1 (nagib vektorja gibanja predmeta je v teh pogojih znašal 15°).

Razprava

V najbolj osiromašenem pogoju (pogoj 000) je bilo gibanje v globini simulirano zgolj z večanjem relativne velikosti (optičnim širjenjem) homogenega kvadrata na mrežnici. Opazovalci so takšno gibanje v globini zaznali kot enakomerno takrat, ko je bilo dejansko nekoliko upočasnjeno ($TSL = -128 \text{ e/s}^2$). Ta rezultat se ujema z rezultati A. Poljanšek (2001), ki je v podobnem dražljajskem prikazu pri nizih s podobnim trajanjem (2400 ms) dobila eksponent subjektivne linearnosti manjši od ena (0,86). Cutting in Vishton (1995) navajata rezultate nekaterih raziskav ocenjevanja oddaljenosti predmetov (npr. Loomis, Da Silva, Fujita in Fukushima, 1992), ki so pokazale, da pri verbalnem podajanju sodb o oddaljenosti predmetov pride z večanjem oddaljenosti do sistematičnega podcenjevanja razdalj. Ugotovljeni psihofizikalni eksponenti za ocenjevanje razdalj znašajo med 0,6 in 1,3, najpogosteje pa okrog oziroma malenkost manj kot 1,0 (glej Cutting in Vishton, 1995), kar pomeni, da so pri zaznavanju razdalj metrični odnosi relativno dobro zaznani in ohranjeni. Pri tem je potrebno poudariti, da se povprečna egocentrična globina sistematično krajša v primerjavi z razdaljami v čelni ravnini (razdalje, ki se razporejajo pravokotno na vidno os). Tako bi opazovalec z eksponentom 0,95 za predmete na dejanski oddaljenosti 10, 100 in 1000 metrov poročal, da so oddaljeni 9, 79 in 710 metrov. Takega podcenjevanja razdalj pri ocenjevanju razdalj v čelni ravnini ni opaziti (Cutting in Vishton, 1995). Ugotovljena nenatančnost je torej pri večjih razdaljah že precej velika (pri 1000 metrih kar 29 %)². Zato upočasnjeno TSL (pristranost/nestvarnost zaznavanja pospešenosti v globini) lahko razložimo s skrčenjem zaznane globine. V skladu s to razlago opazovalec torej podcenjuje začetne, bolj oddaljene premike predmeta ter precenjuje končne oziroma bližnje premike predmeta, zaradi česar mora predmet nekoliko upočasnjevati, da je njegovo približevanje zaznano kot enakomerno.

Poleg te, sicer precej verjetne, razlage lahko najdemo še kakšno alternativno. Na osnovi pričevanj nekaterih naših udeležencev ne smemo spregledati možnosti, da so udeleženci ocenjevali konstantnost dvodimenzionalne spremembe predmeta in ne konstantnosti gibanja predmeta v globini. Ker se robovi enakomerno gibajočega se predmeta (približevanje) na začetku gibanja spreminjajo počasneje kot na koncu, bi tovrstna strategija ocenjevanja gibanja zagotovo vodila do prav takšnih rezultatov (oziroma pristranosti v ocenjevanju pospešenosti), kot so bili ugotovljeni v našem primeru (približevanje mora biti nekoliko upočasnjeno, da je zaznano kot enakomerno).

Zaznavanje pospešenega približevanja predmeta je torej nestvarno, če je gibanje v globini simulirano le z večanjem relativne velikosti predmeta. Kaj se pa zgodi, ko je gibanje v globini signalizirano preko več virov informacij? Ali vidni sistem učinkovito izkoristi in predela več virov informacij, ki sporočajo, da se predmet (pospešeno)

²Zanimivo pa je, da so nekatere raziskave pokazale (npr. Thomson, 1980, po Cutting in Vishton, 1995), da je pri vidno usmerjenih akcijah (opazovalci npr. z zaprtimi očmi opravijo pot do predhodno videnega predmeta) natančnost ocenjevanja razdalj precej bolj natančna.

približuje? Kaj se zgodi s pristranostjo oziroma nestvarnostjo zaznavanja pospešenosti gibanja v globini in zakaj?

Tekstura predmeta se je izkazala kot vir informacij, ki je samostojno najmanj vplival na zaznavanje pospešenosti gibanja predmeta v globini. Njeni učinki so bili statistično pomembni le pri pragu za detekcijo upočasnjene gibanja (glej tabelo 3). Vsekakor pa je zanimivo, da so bile smeri učinkov, tudi nepomembnih, enake kot v primeru teksture podlage in višine v vidnem polju, torej se je TSL pomaknil v smer nižje upočasnenosti oziroma višje pospešenosti. Za teksturo predmeta je bilo sicer dokazano, da igra pomembno vlogo pri gibanju predmeta v globini, saj v primeru neskladnega spreminjanja velikosti teksture in predmeta zaznavanje gibanja v globini postane precej okrnjeno (Gray in Regan, 1999; Regan in Beverley, 1980), vendar pa sta Gray in Regan (1999) ugotovila, da v primeru skladnega spreminjanja velikosti tekstura predmeta ne izboljša natančnosti zaznavanja gibanja predmeta v globini, s čimer se ujema tudi naši rezultati.

Tekstura podlage je na zaznavanje pospešenosti gibanja v globini delovala v enaki smeri kot višina v vidnem polju, pri čemer so bili njeni učinki veliko bolj zmerni. S teksturo na podlagi so opazovalci v povprečju zaznali pospešenost gibanja v globini precej natančno ($TSL = -5 \text{ e/s}^2$), prag za detekcijo upočasnenosti gibanja se je nekoliko izboljšal, občutljivost za pospešenost gibanja pa se je nekoliko poslabšala. Larish in Flach (1990) sta pokazala, da lahko opazovalci na podlagi toka robov precej natančno ocenijo hitrost svojega gibanja skozi okolje. V našem primeru je tok robov predstavljal gibanje predmeta preko teksturnih elementov, s čimer so bili ti progresivno zakriti. Poleg večanja relativne velikosti predmeta je kinetično prekrivanje robov nudilo opazovalcem dodaten vir informacij o oddaljenosti predmeta in njegovi hitrosti. Morebiti je stvarna TSL in izboljšanje praga za detekcijo upočasnenosti posledica prav tega novega vira informacij. Vendar pa ta informacijski vir ni enoznačno izboljšal detekcije neenakomernosti gibanja – prag za pospešenost se je z njegovo prisotnostjo namreč zvišal. Vzrok za povišanje praga za detekcijo pospešenosti gibanja ostaja znotraj predlagane razlage nepojasnen.

Najbolj očitno spremembo v zaznavanju pospešenosti približevanja predmeta v globini je nedvomno povzročila prisotnost dvignjene perspektive v dražljajskem prikazu. Ko je nagib vektorja gibanja predmeta znašal 15° , se je točka subjektivne linearnosti pomaknila na področje pozitivne pospešenosti (povprečen TSL je znašal $50,8 \text{ e/s}^2$), kar pomeni, da je moralo biti približevanje nekoliko pospešeno, da je bilo zaznано kot enakomerno. Prav tako se je izboljšala občutljivost za detekcijo upočasnjene gibanja (glej sliko 5), kar je predstavljalo največji učinek posameznega vira informacij v celotnih rezultatih. Tudi prag za detekcijo pospešenosti se je podobno močno zvišal (glej sliko 4), kar pa seveda pomeni, da se je občutljivost za detekcijo pospešenosti poslabšala. Če na rezultate vpliva nagiba vektorja gibanja pogledamo iz širšega zornega kota, lahko povzamemo, da se je občutljivost za zaznavanje pospešenosti približevanja le "premahnila", ni pa se izboljšala (interval negotovosti oziroma razlika med pragoma za upočasnenost in pospešenost je ostala praktično enaka; v primeru "izboljšanja"

občutljivosti bi se interval moral zožiti; glej sliko 6). V primeru opazovanja predmeta, ki se giblje mimo opazovalca, gibanje predmeta v globini dobi novo razsežnost. Na mrežnici namreč ne gre več zgolj za optično širjenje, temveč za kombinacijo optičnega širjenja ter navpičnega gibanja predmeta v čelni ravnini. Procesiranje teh dveh vrst gibanj vključuje različne mehanizme oziroma detektorje gibanja, ki ločeno predelujejo gibanje v čelni ravnini in optično širjenje/krčenje (Clifford in dr., 1999; Regan in Beverley, 1980), A. Poljanšek (2001) pa je dodatno pokazala, da se občutljivost za pospešenost gibanja v globini razlikuje od občutljivosti za pospešenost gibanja v čelni ravnini. Avtorica je namreč ugotovila (glej tudi Runeson, 1974), da mora biti gibanje predmeta v čelni ravnini nekoliko pospešeno, da je zaznano kot enakomerno, obenem pa so opazovalci lažje zaznali upočasnjena gibanja. V luči teh spoznanj naš rezultat razlagamo s tem, da obstaja možnost, da je prav komponenta gibanja v čelni ravnini povzročila premik psihofizikalnih mer (in torej pristranost zaznavanja) v smer manj upočasnjenega oziroma bolj pospešenega gibanja. Z večanjem nagiba vektorja gibanja predmeta (tj. večanjem kota med vektorjem gibanja in osjo opazovanja) se stopnja optičnega širjenja predmeta manjša, delež njegovega gibanja v čelni ravnini pa narašča. Na primer, če nagib vektorja gibanja znaša 5° , je stopnja optičnega širjenja skoraj enaka kot v primeru direktnega bližanja, medtem ko predmet na mrežnici opravi minimalni premik v čelni ravnini. Na drugi strani pa v primeru nagiba, ki znaša 85° , postane stopnja optičnega širjenja projekcije predmeta skoraj zanemarljiva in torej tovrstno gibanje za opazovalca (in vidni sistem) predstavlja bolj gibanje v čelni ravnini kot v globini. Če vzamemo v obzir empirično podprto predpostavko, da vidni sistem za obe vrsti gibanja poseduje različne detektorje (Regan in dr., 1986), in če dodamo spekulaciji, da ti detektorji oziroma mehanizmi med seboj niso popolnoma neodvisni (so lahko v interakciji) ter da je za detektorje optičnega širjenja značilna drugačna dinamika odzivanja kot za detektorje gibanja v čelni ravnini, lahko oblikujemo naslednjo hipotezo: Končno zaznavo gibanja predmeta predstavlja obtežena vsota vnosov iz detektorjev optičnega širjenja in detektorjev translacije; vidni sistem z večanjem nagiba vektorja gibanja predmeta v vedno večji meri obtežuje vnos detektorjev translacije in skladno manjša vpliv detektorjev optičnega širjenja; zaradi različne dinamike odzivanja obeh vrst detektorjev pride na določeni točki (pri določenem razmerju med obema obtežitvama) do premika pristranosti zaznavanja pospešenosti približevanja in sicer v skladu z značilnostmi detektorjev/mehanizmov, ki imajo trenutno večji vpliv (npr. v primeru, ko nagib znaša 5° , ima večji vpliv vnos iz detektorjev za optično širjenje, zato mora biti približevanje nekoliko upočasnjeno, da ga opazovalec zazna kot enakomernega; v primeru 85° pa ima večji vpliv vnos detektorjev translacije, zato mora biti približevanje nekoliko pospešeno, da je zaznano kot enakomerno). Glede na moč učinka, ki smo ga ugotovili v primeru nagiba vektorja gibanja predmeta (glej sliko 6), naš primarni načrt za prihodnost predstavlja raziskava, v kateri bomo preverili to hipotezo.

Kako pa so na zaznavanje pospešenega približevanja vplivale kombinacije različnih globinskih virov informacij? Tekstura predmeta je bila vključena v *vseh* pomembnih sovplivanjih med uporabljenimi viri informacij o prostorski razporeditvi

(glej tabele 1, 2 in 3). Njena vloga se je kazala tako, da je v vseh primerih nekoliko zmanjšala vpliv spremenljivke, s katero je sovplivala na zaznavanje pospešenosti približevanja predmeta.

Z razpravo o interakcijah med posameznimi viri globinskih informacij prehajamo na področje integracije informacij, tj. teorij in modelov, ki skušajo pojasniti, kako se kombinirajo informacije iz različnih virov in kako pride do enotne ocene oziroma zaznave prostorske razporeditve in oblike.

Globinski viri informacij dajejo opazovalcu različne ocene posameznih parametrov prostorske razporeditve (razdalje, velikosti). Pri tem variira tako njihova učinkovitost na različnih oddaljenostih kot tudi sama kvaliteta informacije; nekateri viri omogočajo zgolj ordinalne sodbe (npr. prekrivanje; predmete lahko zgolj *razvrstimo* po oddaljenosti), nekateri pa pogojno absolutne (npr. gibalna paralaksa; razdaljo do predmetov in med predmeti lahko ocenimo precej natančno, kar pomeni, da poleg njihove globinske razvrstitve poznamo tudi razmerja njihovih oddaljenosti - npr. nek predmet je *dvakrat* bolj oddaljen kot drugi ...). Ugotovljeno je, da dodajanje informacij dražljajskemu prikazu običajno poveča količino videne globine in izboljša konsistentnost in natančnost podanih sodb o oddaljenosti predmetov (Cutting in Vishton, 1995). Še vedno pa nimamo dokončnega odgovora na vprašanje, kako pride do *skupne ocene* več globinskih virov informacij, saj nekateri rezultati kažejo, da se te informacije seštevajo, drugi pa, da se množijo. Rezultati naše raziskave se najboljše ujemajo z modelom modificiranega šibkega zlitja (Landy, Maloney, Johnston in Young, 1995), ki predstavlja kompromis med modeli, po katerih se informacije zgolj seštevajo (šibko zlitje) ali zgolj množijo (močno zlitje). Model modificiranega zlitja predpostavlja modularnost virov informacij (jih obravnava kot ločene entitete) ter dopušča interakcije med njimi, vendar le za potrebe *promocije* (izboljšanja učinkovitosti) drugih virov informacij. Kot smo že omenili, različni viri informacij dajejo opazovalcu (tudi kvalitativno) različne ocene globine. Nekateri viri so informacijsko bogatejši in lahko preko procesa promocije izboljšajo oceno informacijsko revnejših virov - npr., če je absolutni globinski vir (kot je gibalna paralaksa) na razpolago na istem položaju kot nek vir informacij z enim manjkajočim parametrom, potem lahko opazovalec predpostavlja, da oba vira sporočata enako absolutno globino, in tako določi neznani parameter (npr. razdaljo do predmeta, ki jo za status "promoviranega vira" potrebuje binokularno neskladje). Če poenostavimo, v skladu z modelom modificiranega šibkega zlitja pride do skupne ocene globine na naslednji način: globinski viri informacij, ki so na razpolago v danem prizoru, nudijo svojo globinsko karto (oceno globine) vsem drugim razpoložljivim virom in sicer zgolj za namene promocije drugih virov informacij. Sledi druga faza, v kateri vsak vir združi informacije, pridobljene od ostalih in pomožnih virov, kar mu omogoči, da oceni svojo zanesljivost. Na koncu vsak vir ponovno izdela globinsko karto in karto ocenjene zanesljivosti, ki predstavljata vnos za končno fazo zlitja. Končno zlitje (skupna ocena) vključuje izračun obteženega povprečja, pri čemer so obtežitve odvisne predvsem od ocenjenih zanesljivosti virov.

Čeprav je zaradi slabe diskriminativnosti nekoliko "sporna" uporaba mer

zaznavanja pospešenosti za ugotavljanje kombinacijskega pravila globinskih virov informacij, pa struktura dobljenih interakcij (stalna vključenost teksture predmeta in njen konsistenten vpliv) podpira idejo, da so se viri informacij v našem dražljajskem prikazu kombinirali po modelu modificiranega šibkega zlitja. V primeru šibkega zlitja oziroma seštevalnega modela namreč sploh ne bi smelo priti do sovplivanj med spremenljivkami (priti bi moralo do stroge modularnosti virov informacij), v primeru močnega zlitja, ki predvideva multiplikativno in povsem interaktivno kombiniranje informacij, pa bi se brez dvoma moralo pokazati več sovplivanj, in sicer med vsemi viri informacij. Naše rezultate lahko v kontekstu modificiranega šibkega zlitja pojasnimo na sledeči način: rečemo lahko, da je bil nagnjen vektor gibanja predmeta vir informacij, ki ga je vidni sistem pri kodiranju zaznave gibanja v globini najbolj obtežil (torej je imel največji vpliv na oceno globine v določenem trenutku), tekstura predmeta pa je verjetno predstavljala pomožni vir, ki na zaznavo spreminjajoče se razporeditve (sama po sebi) ni imela pomembnega vpliva, a je vseeno nekoliko spremenila obtežitev vira, s katerim je bila v interakciji. To razlago bi lahko v prihodnosti preverili z eksperimentom, ki bi sledil posebnemu metodološkemu okviru, ki ga je razvil Landy s sodelavci (1995), s katerim bi lahko natančno določili obtežitve vseh vključenih globinskih virov informacij.

Literatura

- 3ds max 4 [računalniška programska oprema; computer program tool]. (2001). Montreal, Canada: Discreet.
- Clifford, C.W.G., Beardsley, S.A. in Vaina, L.M. (1999). The perception and discrimination of speed in complex motion. *Vision Research*, 39, 2213–2227.
- Cutting, J.E. in Vishton, P.M. (1995). Perceiving layout and knowing distances: the integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. V W. Epstein in S. Rogers (ur.), *Perception of Space and Motion* (str. 69–117). San Diego: Academic Press.
- Gray, R. in Regan, D. (1999). Motion in depth: Adequate and inadequate simulation. *Perception & Psychophysics*, 61, 236–245.
- Guilford, J.P. (1954). *Psychometric methods*. New York: McGraw-Hill.
- Kaiser, M.K. in Hecht, H. (1995). Time-to-passage judgments in nonconstant optical flow fields. *Perception & Psychophysics*, 57, 817–825.
- Landy, M.S., Maloney, L.T., Johnston, E.B. in Young, M. (1995). Measurement and modeling of depth cue combination: in defense of weak fusion. *Vision Research*, 35, 389–412.
- Larish, J.F. in Flach, J.M. (1990). Sources of information useful for perception of speed of rectilinear self-motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 295–302.
- Lee, D.N. (1980). The optic flow field: the foundation of vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B* 290, 169–179.
- Loomis, J.M., Da Silva, J.A., Fujita, N. in Fukushima, S.S. (1992). Visual space perception and visually directed action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 906–921.

- Maloney, L.T. in Landy, M.S. (1989). A statistical framework for robust fusion of depth information. V W. A. Pearlman, (ur.), *Visual Communications and Image Processing IV, Proceedings of the SPIE, 1199*, 1154-1163.
- Podlesek, A. in Brenk, K.M. (2004). *Osnove psihološkega merjenja: Psihofizikalna metodologija [Essentials of psychological measurement: Psychophysical methodology]*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za psihologijo.
- Poljanšek, A. (2001). *Razlike v zaznavanju zveznih in nezveznih dražljajskih sprememb [Changes in perceiving continuous and discontinuous stimulus changes]*. Neobjavljena doktorska disertacija [Unpublished PhD dissertation]. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za psihologijo.
- Regan, D.M. in Beverley, K. (1980). Visual responses to changing size and to sideways motion for different directions of motion in depth: Linearization of visual responses. *Journal of the Optical Society of America, 11*, 1289-1296.
- Regan, D.M., Kaufman, L. in Lincoln, J. (1986). Motion in depth and visual acceleration. V K.R. Boff, L. Kaufman in J.P. Thomas (ur.), *Handbook of perception and performance: Vol. I. Sensory processes and perception* (str. 19/1–19/46). New York: Wiley.
- Runeson, S. (1974). Constant velocity – not perceived as such. *Psychological Research, 37*, 3–23.
- Schiff, W. in Detwiler, M. (1979). Information used in judging impending collision. *Perception, 8*, 647-658.
- Todd, J.T. (1981). Visual information about moving objects. *Journal of the Experimental Psychology; Human Perception and Performance, 7*, 795–810.
- Warren, W.H. (1995). Self-motion: visual perception and visual control. V W. Epstein in S. Rogers (ur.), *Perception of Space and Motion* (str. 228-256). San Diego: Academic Press.
- Yantis, S. (1988). On analog movements of visual attention. *Perception and Psychophysics, 43*, 203–206.
- Yilmaz, E.H. in Warren, W.H. (1995). Visual control of braking: A test of the τ hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*, 996–1014.

Prispelo/Received: 14.05.2004

Sprejeto/Accepted: 29.06.2004