

OPAŽANJE DUBINE U POKRETNIM DVODIMENZIONALNIM STIMULUSIMA

*Sunčica Zdravković*¹

Laboratorija za eksperimentalnu psihologiju,
Filozofski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Problem opažanja trodimenzionalnog prostora jedan je od najstarijih u vizuelnoj percepciji. U ovom radu prikazane su četiri serije eksperimenata koji demonstriraju kako kretanje doprinosi efektu trodimenzionalnosti percepta. U prve dve serije eksperimenata, testiran je geometrijski model koji opisuje amodalni percept nastao od dve pokretne tačke, prikazane na ekranu računara. Percept je kvantifikovan, merenjem dužine i nagiba opaženog amodalnog štapa. Četiri faktora su varirana u eksperimentu: 1) dužina štapa, 2) nagib štapa, 3) oblik putanje i 4) nagib ravni u kojima su opisane putanje. Svi faktori su značajni, a predloženi geometrijski model je potvrđen. U preostale dve serije eksperimenata, prikazana je linija čije krajnje tačke opisuju kretanje identično stimulacionim tačkama u prve dve serije eksperimenata. Prikazana linija predstavlja amodalni percept iz prve dve serije eksperimenata i tom smislu geometrijski ne nosi dodatnu informaciju. Ipak, perceptivno ove dve stimulacije nisu identične. Između dve vrste stimulacije postoji razlika na sva četiri varirana faktora, te ponudjeni geometrijski model ne može da se primeni na stimulus iz treće i četvrte serije eksperimenata.

Ključne reči: kinetički efekat dubine, geometrijski model

Problem opažanja je razmatran u filozofiji mnogo pre nego što je uopšte postojala psihologija. Filozofima su čula bila zanimljiva, jer su ona predstavljala kanal kroz koji su stizale informacije o svetu oko nas. U tim razmatranjima čulo vida je posebno pobuđivalo pažnju i povremeno je tretirano kao najvažnije. Izgledalo je kao da čulo vida može da pruži najviše različitih informacija o spoljašnjem svetu. Vid je taj koji nam omogućava da se snađemo u prostoru: da odredimo naš lokalitet i lokalitet predmeta oko nas pa i onih koji su vrlo udaljeni od nas. U okviru ovakvih razmatranja postavljeno je i pitanje kako se opaža

¹ Adresa autora: szdravko@f.bg.ac.yu

trodimenzionalni prostor koji nas okružuje. Činilo se da dve dimenzije, dužina i širina, ne zadaju mnogo problema, dok je tradicionalno problem opažanja treće dimenzije bio istaknut.

Važnosti problema puno su doprineli renesansni slikari, pokušavajući da reše zadatak prikazivanja trodimenzionalnog prostora na dvodimenzionalno platno. Osnovni cilj pri tome je bila realističnost prikaza, odnosno korišćenje svih mogućih dvodimenzionalnih znakova koji bi doprineli efektu dubine. Za dobro konstruisanje perspektive kao osnova je služila geometrija koja se uglavnom bazirala na Euklidovom učenju.

S druge strane izučavana je anatomija vezana za vid. Anatomija očne jabučice je bila poznata još od X veka, međutim trebalo je puno vremena da se shvati gde su zaista smešteni receptori za svetlost. Prvo se mislilo da je to očno sočivo, pa zatim da je to staklasto telo. Razvoj fizike, odnosno optike i optičkih sprava je pomogao razumevanju funkcije pojedinih delova očne jabučice. U XVII veku, Pletter označava retinu (mrežnjaču) kao receptorni organ. Međutim, problem sa retinom je u tome što je ona jedna dvodimenzionalna površina na koju slika dolazi umanjena i obrnuta za 180°. Pošto ovde očigledno nije moglo da se dobije objašnjenje stvaranja trodimenzionalnog percepta, ova funkcija je pomerena na više instance, na koru velikog mozga.

Fiziologija XIX veka je dala jasnu klasifikaciju receptora za vid i načina na koji oni reaguju na svetlost koja pada na njih. Sa razvojem finijih i preciznijih tehnika postalo je moguće ispitivati sve veći broj kortikalnih instanci koje čine vizuelni put. Sredinom XX veka otkrivene su u kori velikog mozga prve grupe ćelija za koje se tačno znalo da reaguju na vizuelnu stimulaciju koju je moguće precizno opisati. Narednih decenija identifikovan je veći broj kortikalnih zona koje su zadužene za procesiranje vizuelnih informacija.

Cilj ovih istraživanja je bio pre svega da se identifikuju sve kortikalne instance koje su deo vizuelnog trakta, a zatim i da se opišu njihove pojedinačne karakteristike i funkcije. Mislilo se da će se na kraju, posle velikog broja transformacija, pojaviti kortikalna instanca na koju konvergiraju sve te informacije i koja onda stvara sliku koja se dobija pri gledanju nekog predmeta. Prešlo se na ispitivanje funkcija ćelija posebnih zona, načinu na koji se one funkcionalno grupišu u okviru pojedinih slojeva, pratilo se procesiranje informacija ka hijerarhijski sve višim instancama i otkriven je veliki broj medjuveza, koje su bile ne samo uzlazne već i povratne. Rezultat ovakvih analiza bilo je tačno lociranje velikog broja zona, čija su anatomija i posebno funkcionisanje samo delimično jasni. Poslednjih 15 godina veliki broj autora se okrenuo malo drugačijem pristupu i pokušao da na novi način objasni postojeće podatke. Pošavši od karakteristika percepta, kao što su boja ili forma, tražene su instance koje su zadužene za ovako specifičan tip informacija (Livingston, Hubel, 1988). Tako se počinje posvećivati posebna pažnja određivanju vizuelnih puteva koji prenose specifične informacije i počinje da se govori o putevima koji prenose informaciju o boji, obliku, kretanju ili dubini. Postoje

eksperimentalni nalazi koji ukazuju da je moguće pratiti procesiranje pojedine od navedenih karakteristika od retine sve do inferotemporalnog lobusa i posterior parijatalne zone.

Ovo preusmerenje je bilo logično. Način na koji je problem postavljen u filozofiji nije dozvoljavao da se dobije direktan odnosno adekvatan odgovor iz fizioloških nalaza. Ipak obilje eksperimentalnih podataka o vizuelnim putevima je donelo jedan drugi tip uvida: informacija o objektima se ne prenosi kao celovita slika, niti je izgledno da se na kraju svi ti podaci skupljaju na jednom mestu. Veliki broj zona sugerše da se posebno analiziraju pojedine karakteristike stimulacije. Nije medjutim izvesno da li su to baš one karakteristike koje prepoznajemo u perceptu.

Dakle, fiziološki nalazi nam za sada ne mogu dati odgovor na makro planu. Odgovor na pitanje šta pomaže posmatraču da vidi trodimenzionalni prostor oko sebe i dalje nije jasan. Pitanje koje ostaje je zapravo: koje su to infirmacije koje posmatrač dobija iz okoline.

U skladu sa tadašnjim znanjima Berkli (Berkeley, 1709) pokušava da sistematizuje informacije koje stižu na oko, a koje su relevantne za rekonstruisanje treće dimenzije. Problem razrešava uvođenjem znakova za opažanje dubine. Berkli razlikuje dve grupe znakova: binokularne (za koje su potrebna oba oka) i monokularne (za koje je dovoljno jedno oko). Ideja o postojanju znakova je dugo bila vrlo popularna i vremenom su dodavani novi znaci.

Danas bi smo, na osnovu drugačije postavljenih kriterijuma, mogli reći da se zapravo govori o sledeće dve grupe znakova: oni koji su vezani isključivo za vizuelni sistem i kojih posmatrač ne može biti svestan (kao što su akomodacija, konvergencija, veličina slike na mrežnjači) i oni koji su deo scene i koje posmatrač može svesno da uzme u obzir (maskiranje, senke, paralaks kretanja). Tretiranjem svih ovih znakova na isti način, mešaju se dva nivoa problema koje ipak treba razlikovati. Relevantnost informacija koju nosi prva grupa znakova treba da odrede fiziološka istraživanja, poput već opisanih. Druga grupa znakova je bliža onome što nam je potrebno, da shvatimo koje su to relevantne informacije iz spoljašnje sredine. U prilog činjenici da ovakvi znaci moraju da se razlikuju, govore i neki eksperimentalni nalazi. Učinjen je pokušaj da se izoluje pojedinačni znak, a zatim da se u stimulaciji koriste po dva ili tri znaka zajedno, da bi se na kraju dobila jednačina iz koje bi se video tačan doprinos svakog od ovih znakova (videti Wodhworth, Schlosberg, 1971). Naravno, nije bilo moguće dobiti linearne odnose međuzavisnosti jer su informacije koje nose znaci sasvim drugačijeg tipa. Uz to, bilo je relativno teško ili nemoguće odstraniti znake iz prve grupe (na primer akomodaciju očnog sočiva).

O relevantnosti informacija koje pruža spoljašnja sredina naročito je mnogo govorio Gibson (1979). On je upućivao na činjenicu da se gore opisani znaci potpuno pogrešno odabrani. Ti znaci, prema Gibsonu, nikako ne predstavljaju osnovne jedinice iz kojih se formira percept. Znaci jedino mogu predstavljati stimulaciju za pojedine grupe ćelija u okviru vizelnog puta. Iz onoga što znamo

trenutno iz fiziologije, ovakve karakteristike jesu stimulus za pojedine zone ali nisu informacija koja se procesira. Neki autori (Shiller, 1990; Gilbert, 1995) čak misle da informacija koja se prenosi kroz vizuelni sistem mora biti opisana na još bazičnijem nivou karakteristika (na primer, spacijalna i temporalna frekvenca).

Kako bi se dobio odgovor na problem formiranja percepta, mora se govoriti u terminima informacija koju pruža spoljašnja sredina i to porediti sa karakteristikama dobijenim u perceptu. Da bi to bilo moguće, posmatranu scenu ne treba razložiti do te mere da se, za opažanje, prirodno relevantne informacije potpuno izgube. Umesto klasične postavke o znacima, koje onda treba na nekom mestu prepoznati i rekonstruisati u celovitu sliku, Gibson govori o invarijantama. Umesto znakova za koje nije jasno da li su urođeni ili se uče, ovde se radi o informacijama koje su specifikovane u svetlosti koja dolazi do oka. U svetlosti je specifikovana nepromenljiva informacija, invarijanta, koja je višeg reda apstrakcije od promena koje nosi pojedinačni statični snimak. Najgrublje govoreći postoje dve grupe invarijanti: (1) vezane za promene kod posmatrača i (2) vezane za promene u okolini. Promene posmatrača su u stvari promene vezane za njegovu poziciju u prostoru i za promene pri razgledanju. Ove promene su reverzibilne. Promene vezane za sredinu su promene u iluminaciji i lokalne poremećaje, poput premeštaja, rotacije i deformacije.

Bez obzira da li se odlučujemo za klasičnu teoriju znakova ili Gibsonove invarijente, dve stvari su značajne:

a) u spoljašnjoj sredini postoji informacija o trodimenzionalnosti prostora na koju reaguje vizuelni sistem

b) ova informacija je na makro planu, ona pomaže vizuelnom sistemu da stvori percept, a nije stimulacija za pojedine grupe nervnih ćelija.

Postoji još jedna zajednička tačka za oba pristupa: to je uticaj kretanja (bilo posmatrača, bilo opažanih objekata) koja na poseban način doprinosi trodimenzionalnom opažanju. Jedan od monokularnih znakova je paralaks kretanja, fenomen da pri kretanju posmatrača, bliži objekti prividno imaju veći pomeraj i brzinu od daljih objekata. U tom smislu Gibson govori o lokalnim poremećajima optičkog toka koji nastaju pri promeni položaja posmatrača ili posmatranih objekata.

Među prvima koji su eksperimentisali sa uticajem kretanja na opažanje dubine, bio je Valah. On je projektovao žičane figure na zastor iza koga su sedeli subjekti. Projekcija je stvarala dvodimenzionalni percept sve dok eksperimentator ne bi zarotirao žičanu figuru, kad bi se videlo trodimenzionalno telo. Kretanje je indukovalo trodimenzionalni percept. Valah i O'Konel (Wallach, O'Connell, 1953) su ovaj efekat nazvali kinetički efekat dubine. Valah je pretpostavio da promena dužina linija i promena veličina uglova između njih, ima uticaja na stvaranje trodimenzionalnog efekta.

Sam nalaz da kretanje može da indukuje treću dimenziju je potvrđen u brojnim kasnijim istraživanjima. Međutim potvrđen je i za stimulacije kod kojih nije bilo

linija i uglova. U eksperimentima u kojima je stimulacija bila sačinjena od velikog broja tačaka, nesistematski raspoređenih na neki geometrijski oblik, takođe se dobijao efekat trodimenzionalnosti (Goldstein, 1980).

Ulman se bavio problemom rekonstrukcije strukture na osnovu nekoliko datih projekcija (Ullman, 1983). Matematičkom analizom se može utvrditi koliko je tačno projekcija potrebno da bi se rekonstruisao oblik neke strukture. Variranjem broja tačaka, tipa projekcije i broja prikazanih projekcija, Ulman utvrđuje da je u ortografskoj projekciji potrebno imati 4 tačke i 3 projekcije, a u perspektivnoj projekciji 7 tačaka i 2 projekcije. U posebnom slučaju, kada su u pitanju dve tačke koje se kreću u ravni, dovoljne su tri ortografske projekcije. Geometrijska analiza naravno ne dozvoljava da se zaključi da je i vizuelnom sistemu dovoljan ovako minimalan broj informacija da pravilno prepozna objekat.

Johanson (Johansson, 1974) je radio eksperimente u kojima su stimulaciju predstavljale samo dve tačke koje su se kretale po putanjama različitog oblika (slika 1). Subjektivno su opazali tačke kao krajeve trodimenzionalnog štapa koji se kretao u trodimenzionalnom prostoru.



Slika 1: Stimulacije koje je koristio Johanson u svojim eksperimentima.

I kod Ulmana i kod Johansona nalazimo još jednu dodatnu pretpostavku koja pomaže rekonstrukciji strukture. Trodimenzionalno telo se smatra rigidnim, u smislu da se rastojanje među njegovim tačkama ne menja. Johanson čak zastupa tezu da subjekti preferiraju da vide rigidni (trodimenzionalni) objekat, umesto dvodimenzionalne slike čija veličina varira. Ovakava teza se sreće i pri tumačenju statičnih dvodimenzionalnih objekata koji stvaraju trodimenzionalni percept, kao što su na primer Neckerova kocka. Osnovu ove hipoteze čini pretpostavka da je vizuelnom sistemu optimalnija strategija da vidi pravilan trodimenzionalni objekat nego nepravilni dvodimenzionalni objekat – u slučaju Neckerove kocke ta nepravilnost je obično nesimetričnost (Kanizsa, 1979), a u slučaju Johansonovih stimulusa to bi bila deformacija vezana za promenu dužine.

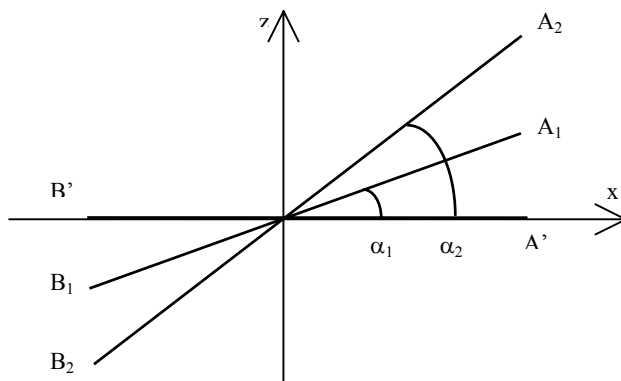
Johansonovi eksperimenti su bili direktna inspiracija za seriju eksperimenata koja će ovde biti prikazana. I u ovim eksperimentima je takođe korišćena krajnje redukovana stimulacija: dve pokretne tačke. Međutim za razliku od Johansonovih eksperimenata, u eksperimentima koji će ovde biti opisani, svaka od dve pokretne tačke je bila na posebnoj putanji.

Glavni cilj eksperimenata koji su izvedeni bio je da se precizno odredi percept koji nastaje na osnovu prikazane stimulacije. Zbog toga su, za razliku od Johansonovih eksperimenata, u sledećim eksperimentima trodimenzionalni percepti bili kvantifikovani. Imajući u vidu Valahovu pretpostavku, merene su i a) dužina

objekta i b) njegov nagib (ugao koji predmet zaklapa sa horizontalom). To je omogućilo da se percept precizno locira u trodimenzionalnom prostoru u kome se kreće.

Već je iz predhodno opisanih nalaza bilo evidentno da ovakva stimulacija (dve tačke koje se kreću po precizno definisanim putanjama) stvara pokretni trodimenzionalni percept, međutim ostalo je da se ispita koji faktori u stimulaciji značajno utiču na dobijeni percept. Pri tome su faktori koje je moguće varirati vezani za karakteristike dvodimenzionalne stimulacije, a opažene promene se odražavaju na trodimenzionalnom perceptu.

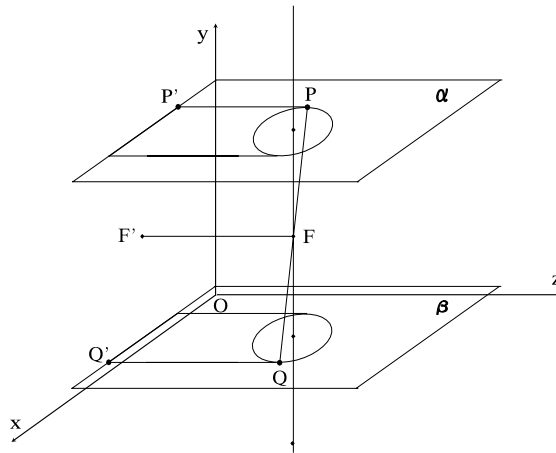
U eksperimentima se tražila procena dužine i nagiba opaženog objekta, jer ove dve veličine omogućavaju potpuno definisanje dobijenog objekta. Geometrijski gledano dužina i ugao su povezani (slika 2), tako da je kosinus ugla koji zaklapa duž jednak količniku dužine te duži i njene projekcije ($\cos \alpha_1 = OA' / OA_1$, $\cos \alpha_2 = OA' / OA_2$).



Slika 2: Geometrijski odnos dužine i ugla.

Na osnovu eksperimenata koji su izvedeni, postavljen je model koji prikazuje percept koji ima ispitanik. Osim dužine i nagiba trodimenzionalnog štapa, merenje je dalo uvid i u tip kretanja štapa.

Model je postavljen na sledeći način: u koordinatnom sistemu $Oxzy$ nalazi se duž PQ (slika 3). Tačka F je na sredini duži PQ i kroz nju prolazi osa rotacije, normalna na ravan xOz . Pri kretanju tačke P i Q opisuju polukružne putanje u ravnima α i β . Radijusi putanja su jednaki. Postoje dva specijalna slučaja. U prvom su ravni α i β paralelne sa ravni projektovanja i putanje se kružne; taj slučaj jedini nije razmatran u mojim eksperimentima. U drugom specijalnom slučaju ravni α i β zaklapaju ugao od 90° sa xOy , kada se putanje tačaka projektuju u prave. Za svaki drugi ugao, putanja se projektuju u poluelipse.



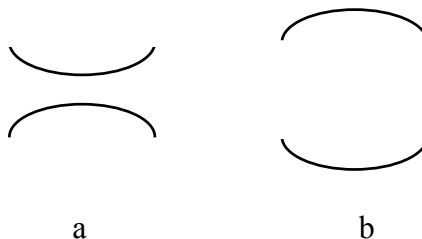
Slika 3: Geometrijski model percepta.

U eksperimentima subjekti su mogli da posmatraju projekcije koje se vide u ravni xOy (slika 3), fiksirajući tačku F . Na osnovu rezultata naših eksperimenata, njihov percept je duž PQ , koja oscilira.

Ovaj model nije potpuno u skladu sa onim što je Johanson predviđao svojim *principom frontal paralelnosti* (Johansson, Janson, 1968). Eksperimenti koji će ovde biti prikazani su pokušaj provere postavljenog model. Uz to, kako je pokazano (Zdravković, 2002) da princip frontal paralelnosti ne važi za sve slučajeve, ostalo je da se ispituju drugi faktori koji pri izlaganju ovako vizuelno osiromašenih stimulacija utiču na jasan i jednoznačan trodimenzionalni percept koji subjekti imaju.

Naredni eksperimenti su pokušali da uzmu u obzir nekoliko parametara za koje se, na osnovu predhodnih radova, pretpostavljalo da mogu biti relevantni. Ti parametri su (prema modelu sa slike 3) dužina štapa PQ , njegov nagib prema horizontali i nagib ravni α i β .

U zavisnosti od toga da li je nagib ravni α i β veći ili manji od 90° , kao projekcija putanja tačaka P i Q dobijaju se unutrašnje ili spoljašnje polueliptičnih putanja (slika 4). Za obe vrste putanja (u daljem tekstu konvergentne i divergentne putanje), varirane su sva tri navedena parametra.



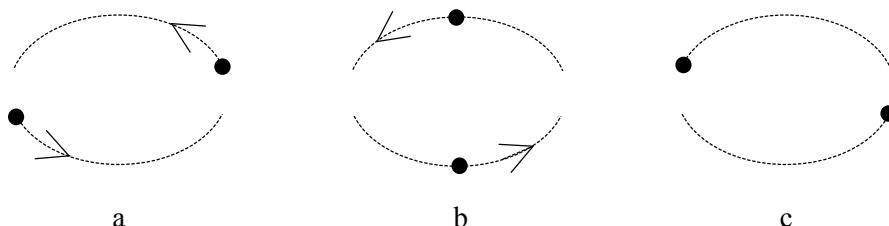
Slika 4: Dva tipa projekcije putanja: a) unutrašnje (konvergentne) i b) spoljašnje (divergentne)

Prva serija eksperimenata

Metod

Subjekti: U eksperimentima je učestvovalo 12 studenata prve godine psihologije Filozofskog fakulteta u Beogradu.

Stimulusi: Stimulaciju su činile dve svetle tačke, koje su se kretale po polueliptičnim putanjama. Stimulacija je prikazivana na ekranu računara (PC 486). Pozadina ekrana je bila tamna, ekran je bio veličine 14 inča, rezolucije 640 puta 480 piksela. Tačke su bile veličine 1 piksel. Njihove polueliptične putanje su bile orijentisane tako da je velika poluosa bila paralelna sa x osom, a mala sa y osom (slika 5). Tačke su se kretale u kontrafazi, oscilirajući harmonijski. Jedan ciklus su prelazile za 1.59 sekundi. Tačke su počinjale kretanje iz suprotnih uglova (slika 5a), u jednom trenutku bi se našle jedna iznad druge (slika 5b), a zatim bi nastavile kretanje ka suprotnim uglovima (slika 5c).



Slika 5: Stimulusne tačke u tri faze kretanja.

U eksperimentima je korišćeno 6 tipova stimulusa koji su se razlikovali po dužini trodimenzionalnog štapa i po nagibu koji taj štap ima u odnosu na ravni α i β (slika 3). Dužina štapa je varirana na tri nivoa (80, 100 i 120 piksela), a nagib na dva nivoa (30° i 60°). Dva tipa putanje, konvergentne i divergentne (slika 4), su ispitivane u nezavisnim seansama eksperimenta. Za oba tipa putanja korišćeno je istih 6 tipova stimulusa, sa gore opisanim karakteristikama. U ovom eksperimentu, ravni α i β su bile pod uglom od 15° u odnosu na ravan projekcije, odnosno ravan ekrana.

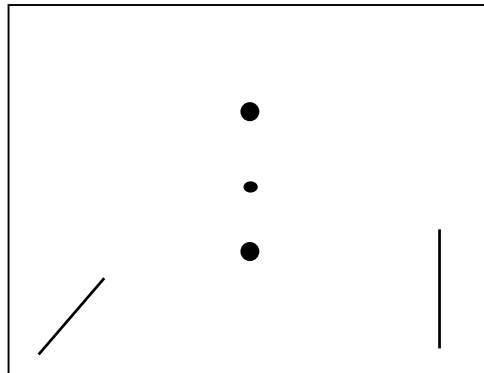
Osim pokretnih, stimulacionih tačaka na sredini ekrana se nalazila jedna nepokretna tačka (slika 6). Ova nepokretna tačka se svo vreme nalazila na sredini rastojanja između dve pokretne tačke (to bi bila tačka F' na slici 3).

Postupak: Prostorija u kojoj su vršeni eksperimenti je bila skoro potpuno zamračena. Subjekti su sedeli na 57 cm od ekrana, sa glavom fiksiranom tako da je

pogled padao normalno na ekran, tačno na nepokretnu tačku u sredini ekrana. Opažanje je vršeno monokularno.

Od subjekta se tražilo da, fiksirajući pogledom nepokretnu tačku, odrede dužinu i nagib trodimenzionalnog štapa. Procena je vršena u trenutku kada su se sve tri tačke, dve pokretne i jedna nepokretna, nalazile jedna iznad druge (kao na slici 6, odnosno 5b).

Na ekranu su se takođe nalazile i dve linje, koje su služile za beleženje odgovora ispitanika (slika 6). U levom uglu se nalazila linija čiji je nagib mogao da se menja od 0° do 90° , a u desnom uglu se nalazila linija čija je dužina mogla da se menja od 0 do 480 piksela. Ispitanici su levom rukom, na tastaturi, mogli da podešavaju ugao, a desnom rukom dužinu. Odgovori su automatski beleženi, i kada bi subjekt bio zadovoljan svojim odgovorom, mogao je da pređe na sledeći stimulus. Vreme ekspozicije nije bilo ograničeno, pa je jedna seansa, po subjektu, trajala od 20 do 30 minuta.



Slika 6. Izgled ekrana sa stimulusima i linijama za odgovore.

Subjektima je prvo objašnjena stimulacija kao i njihov zadatak u eksperimentu, a zatim su prolazili kroz vežbu čiji rezultati nisu ušli u dalju obradu. Šest tipova stimulusa je prikazivano pseudoslučajnim redosledom.

Druga serija eksperimenata

Urađena je još jedna serija eksperimenata sa potpuno identičnom procedurom. Stimulaciju su takođe činile dve tačke koje su se kretale po polueliptičnim putanjama, međutim ravni α i β su bile pod uglom od 7.5° u odnosu na ravan projekcije. Razlika u nagibu ravni α i β se ima za posledicu da štapa deluje duže (jer je skraćenje manje usled manjeg nagiba).

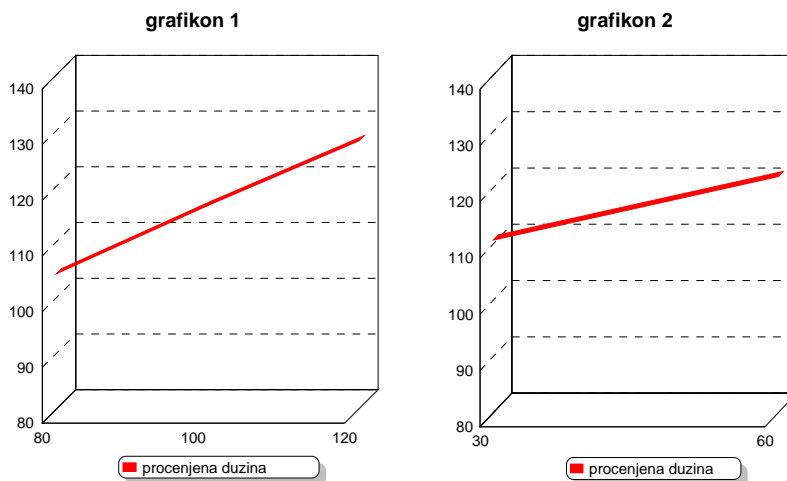
Rezultati prve i druge serije eksperimenata

Za svaki od 12 tipova stimulusa (po 6 iz svake serije), u dalju obradu je ušlo po 42 merenja, po subjektu. Dobijeni podaci su obrađeni analizom varijanse i to posebno procenjena dužina, a posebno procenjeni ugao. Rezultati su prikazani na Tabelama 1 i 2 i Slikama 7 i 8.

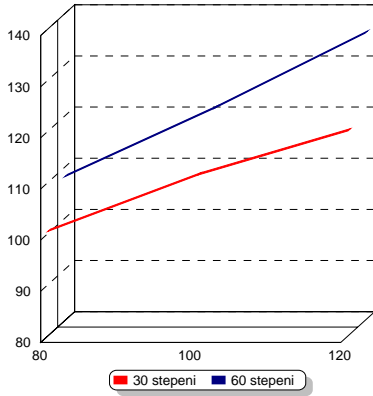
Tabela 1: Rezultati analize varijanse procene dužine.

FAKTOR	F	p	grafikon
DUŽINA	264.95	0.001**	1
UGAO	14.37	0.003**	2
DUŽINA x UGAO	56.38	0.001**	3
DUŽINA x TIP PUTANJE	15.86	0.001**	4
NAGIB α , β	8.2	0.015*	5
UGAO x TIP PUTANJE x NAGIB α , β	5.79	0.035*	6 (a, b)

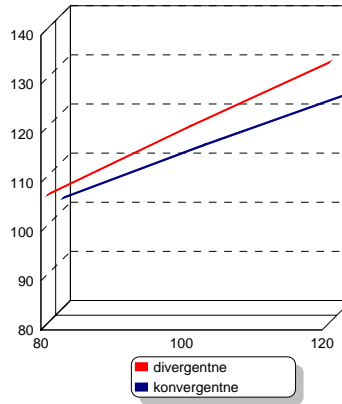
Slika 7: Grafikoni na kojima su predstavljeni efekti različitih faktora na procenu dužine.



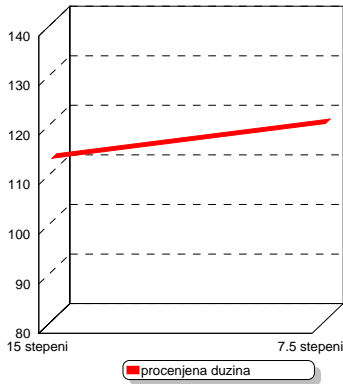
grafikon 3



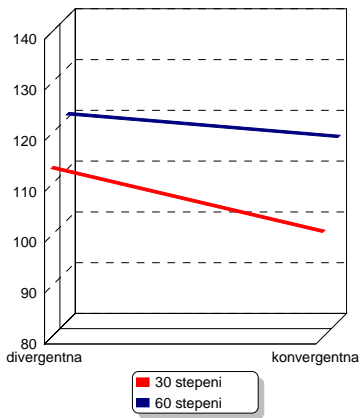
grafikon 4



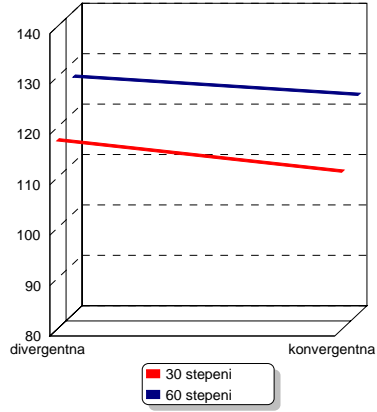
grafikon 5



grafikon 6a (15 stepeni)



grafikon 6b (7.5 stepeni)



Slika 8: Grafikoni na kojima su predstavljeni efekti različitih faktora na procenu ugla.

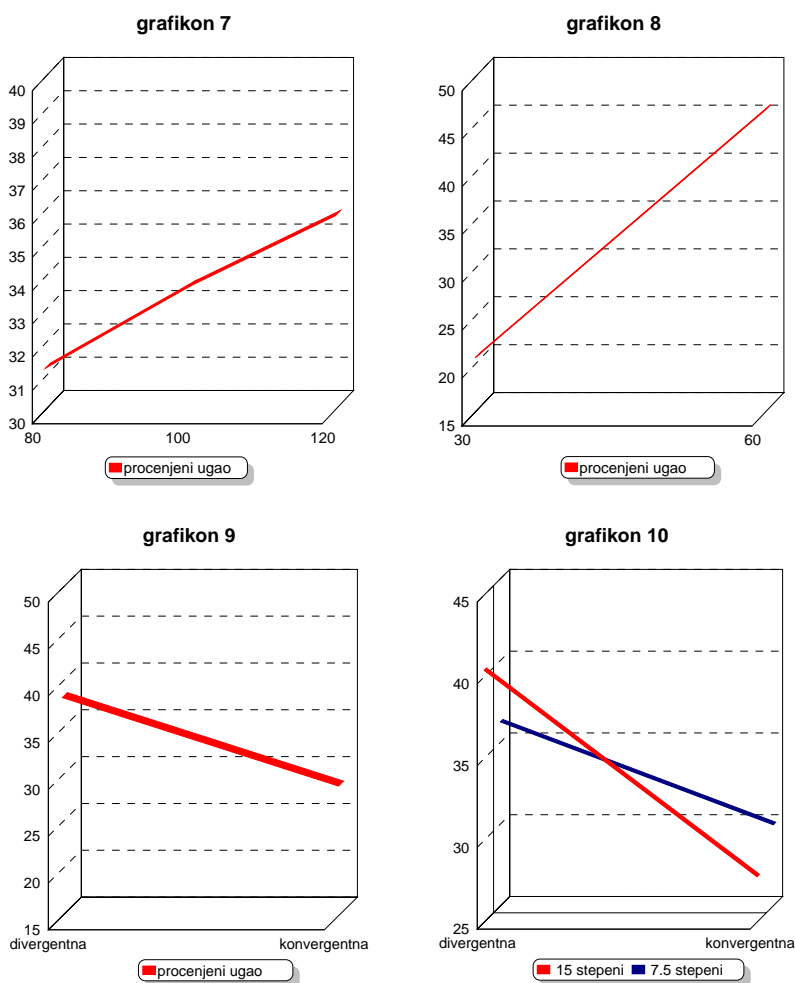


Tabela 2: Rezultati analize varijanse procene ugla.

FAKTOR	F	p	grafikon
DUŽINA	21.69	0.001**	7
UGAO	57.18	0.001**	8
TIP PUTANJE	35.56	0.001**	9
TIP PUTANJE x NAGIB α I β	10.62	0.008**	10

Zaključak: eksperimenti iz prve i druge serije

Četiri faktora su varirana u eksperimentu: dužina i nagib trodimenzionalnog štapa, tip putanje krajnjih tačaka i nagib ravni α i β prema ravni projekcije. Svi ispitivani faktori su značajni.

Kada je u pitanju procenjena dužina, variranje dužine trodimenzionalnog objekta je značajno. Ne treba posebno objašnjavati da kada se dužina objekta povećava i procenjena dužina raste, ali je važno naglasiti da ovakva veza postoji da bi se videlo da se subjekti ponašaju dosledno situaciji i da su ovakvi nalazi u skladu sa relnim procenama. Dakle, cela eksperimentalna situacija nije artifičijalna već subjekti reguju kao da je pred njima realan trodimenzionalni objekat. Takođe nije u pitanju nikakva iluzija, već jednostavan geometrijski odnos.

Dalje, subjekti su osetljivi i na promenu nagiba opažanog objekta. Ovakav nalaz je u skladu sa geometrijom ali se može činiti da je u kontradikciji sa tezom o konstantnosti dužine. Naime, ako je nagib koji posmatrano telo zaklapa sa horizontalom veći, projekcija tog tela ima manje skraćenje i dužina projekcije tog tela je veća. Ovo je geometrijsko objašnjenje i subjekti su dosledni ovakvoj proceni (odnosno postoji značajna razlika kad je zadati stimulus pod uglom od 30° ili 60°).

Prema tezi o konstantnosti dužine jedan isti objekat će biti opažan kao da je iste dužine bez obzira na položaj u prostoru. U ovom eksperimentu se subjekti ponašaju kao da je u pitanju isti objekat pod različitim uglom, dakle nisu u suprotnosti sa tezom o konstantnosti. S obzirom da je značajna i interakcija dužine i nagiba, subjekti su čak osetljivi i na odnos ove dve veličine, što je u potpunosti saglasno sa trigonometrijom.

Nagib ravni α i β je takođe značajan za procenu dužine i ovo je logičan nastavak predhodnih rezultata. Nagib α i β zapravo menja ugao pod kojim se vrši projekcija objekata (slika 3) na isti način na koji to čini i nagib objekta.

Putanja sama za sebe nije značajna ali je značajna u interakciji sa uglom i nagibom ravni α i β .

Kad je u pitanju procena opaženog ugla trodimenzionalnog objekta, subjekti najviše reguju na promene u nagibu stimulacije, odnosno što je zadati ugao veći i procenjeni ugao je veći. Subjekti reguju i na promenu u dužini, tako da dužim objektima pripisuju veći ugao. Međutim, i nezavisno od toga ugao je precenjen.

Pri proceni ugla, značajna je i putanja kojom se kreću stimulative tačke, a značajna je i interakcija putanje i nagiba ravni α i β . Oba ovo nalaza su u skladu sa geometrijom. Na divergentnim putanjama nagib prema horizontali jeste veći nego na konvergentnim putanjama. Nagib ravni α i β na isti način doprinosi efektu.

Što se tiče zajedničkog odnosa ugla i dužine, subjekti imaju tendenciju da precenjuju dužinu i podcenjuju ugao, pri čemu je ova tendencija jača kod divergentnih putanja.

Prva i druga serija eksperimenata pokazuju da kada se subjektima prikazuju dve tačke koje se kreću po definisani polukružnim putanjama, percept je trodimenzionalni amodalni štap. U narednoj grupi eksperimenata subjektima je zaista prikazana prava linija koja bi se dobila spajanjem dve stimulative tačke iz predhodnih eksperimenata.

U nekim od eksperimenata koje su izveli Johanson i Janson (Johansson, Jansson, 1968), takođe su korišćene duži koje osciliraju oko svog centra, pod uglom manjim od 90° . Pri oscilaciji duži su konstantno menjale svoju dužinu i direkciju. Johanson i Janson su kao i Valah (Wallach, O'Connell, 1953) uviđali značaj ugla za definisanje percepta.

U predhodnoj seriji eksperimenata osnovna ideja je bila testiranje geometrijskog modela (slika 3) i na osnovu rezultata može se zaključiti da je model primenljiv na tako definisanu situaciju. Međutim ako dve mobilne tačke spojimo linijom dobijamo situaciju koja bi prema nalazima Johansona trebalo da bude identična, s obzirom da mobilne tačke reprezentuju baš takav objekat. Ove situacije bi zapravo trebalo da budu perceptivno identične, mada su geometrijski različite.

U drugoj seriji eksperimenata osnovno pitanje je bilo kako će se subjekti ponašati ako perceptivna stimulacija nije potpuno osiromašena, odnosno da li je pretostavka o tome da su ove dve stimulacije identične tačna. Naime, ako se procene subjekta ne razlikuju u dve serije eksperimenata, to omogućava generalizaciju geometrijskog modela i na ovakve stimulacije.

Treća serija eksperimenata

Metod

Subjekti: U eksperimentima je učestvovalo 3 studenta treće godine psihologije Filozofskog fakulteta u Beogradu.

Stimulusi: Dve pokretne tačke iz predhodne serije eksperimenata su spojene pravom linijom. Korišćeno je šest tipova stimulusa sa istim dimenzijama kao u predhodnim eksperimentima, dva tipa putanje u različitim seansama, a dva nagiba ravni u različitim serijama eksperimenata.

Postupak: Ostatak procedure je bio identičan kao u predhodnim eksperimentima.

Prema geometrijskom modelu (slika 3, I deo rada), ravni α i β su stajale pod uglom od 15° u odnosu na ravna projekcije.

Četvrta serija eksperimenata

U ovoj seriji eksperimenata nagib ravni α i β iznosio je 7.5° .

dužina štapa	80 piksela	100 piksela	120 piksela
nagib štapa	30°		60°
putanje	divergentne		konvergentne
nagib ravni α i β	7.5°		15°

Rezultati treće i četvrte serije eksperimenata

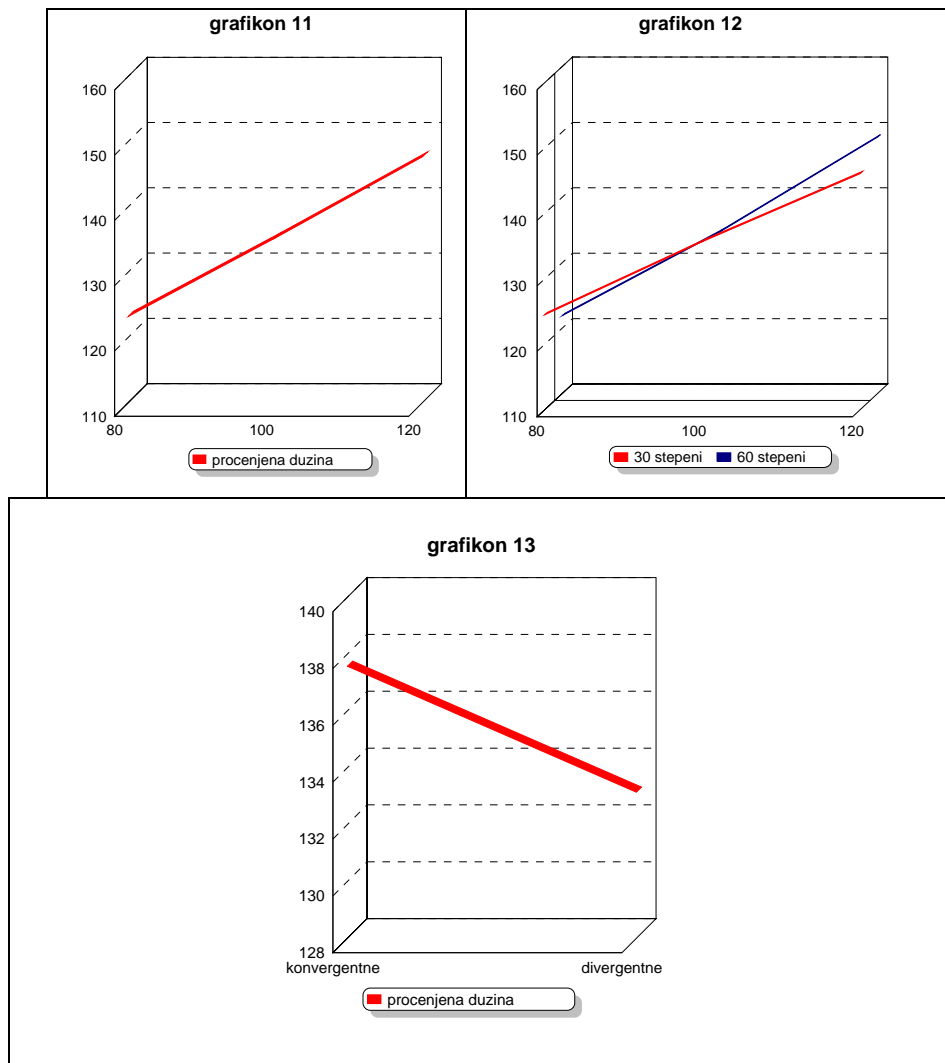
U odnosu na prve dve serije eksperimenata ovde je povećan broj seansi po subjektu, tako da je za svaki od 6 tipova stimulusa u dalju obradu ušlo po 42 merenja, po subjektu.

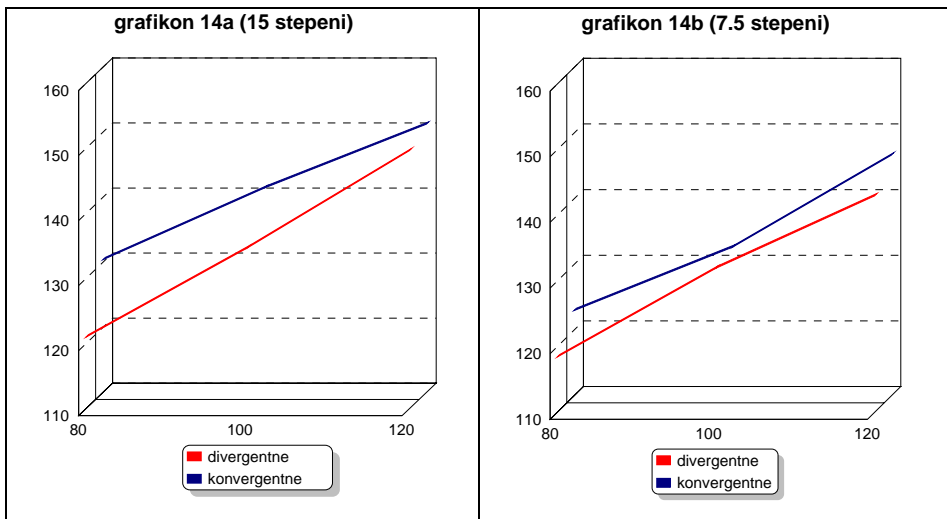
Dobijeni podaci su obrađeni analizom varijanse i to posebno procenjena dužina, a posebno procenjeni ugao.

Tabela 3: Rezultati analize varijanse procene dužine.

FAKTOR	F	p	grafikon
DUŽINA	14.8	0.015*	11
DUŽINA x UGAO	9.41	0.031*	12
TIP PUTANJE	59.12	0.016*	13
DUŽINA x TIP PUTANJE x NAGIB α i β	15.04	0.014*	14 (a,b)

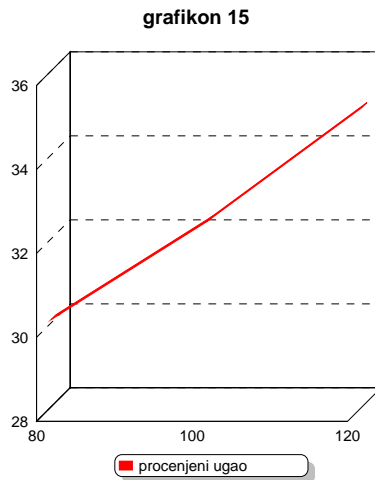
Slika 9: Grafikoni na kojima su predstavljeni efekti različitih faktora na procenu dužine.





Pri proceni ugla faktor dužine bio je značajan $F(2,4) = 20.89$, $p < 0.008$ (slika 10, grafikon 15).

Slika 10: Grafikon na kome je prikazan efekat faktora dužine na procenu ugla.



Zaključak: eksperimenti treće i četvrte serije

Od četiri faktora koji su varirani u eksperimentu, svi značajno doprinose proceni dužine opaženog štapa. Pre svega subjekti su osetljivi na povećanje (1) dužine prikazanog objekta. Takođe (2) ugao pod kojim objekt oscilira u prostoru doprinosi precenjivanju dužine, s tim što je ova tendencija izraženija kod dužih stimulusa. (3) Oblik (tip) putanje takođe značajno doprinosi, s tim što prikazani objekti izgledaju kraći na divergrntnim putanjama. Takođe, (4) nagib ravni α i β doprinosi proceni, odnosno na manjem nagibu, od 7.5° , prikazani objekti izgledaju kraći.

Što se tiče procene ugla, samo dužina prikazanog objekta doprinosi proceni. Dakle, izgleda kao da samo variranje ugla, kao ni variranje nagiba ravni α i β ne doprinose proceni u ovako definisanoj situaciji. Ovaj nalaz je u kontradikciji i sa pretpostavkom da subjekti reaguju na variranje ugla kao i sa pretpostavkom da reaguju na celu geometriju situacije, odnosno da su osetljivi na odnos dužine i ugla tako da kad precenjuju dužinu, podcenjuju ugao.

Prema geometrijskom modelu (slika 3, I deo rada) projekcija objekta, prava dužina objekta i njegov nagib prema projekcionoj ravni (koji zavisi od nagiba objekta prema ravni α i β i od nagiba ravni α i β prema ravni projekcije) stoje u definisanom odnosu. Na osnovu rezultata za procenu dužine moglo bi se zaključiti da je model primenljiv i na ovako definisne stimuluse. Međutim rezultati za procenu ugla su kontradiktorni ovoj tvrdnji. Ugao očigledno igra ulogu pri proceni dužine (i kao nagib objekta prema ravni α i β i kao nagib samih ravni α i β prema ravni projekcije), kao što i dužina igra ulogu pri proceni ugla. Obe analize upućuju da procena dužine raste sa procenom ugla. Međutim, zasebno gledano samo variranje ugla ne doprinosi statistički značajno proceni objekta.

Dati geometrijski model bi trebalo da prikazuje veličinu trodimenzionalnog objekta i njegov položaj u odnosu na ravan projekcije (i to nagib, ne udaljenost od ravni projekcije) kao i tip kretanja koji takav objekat opisuje. Moglo bi se zaključiti da se iz ovih rezultata može govoriti samo o dužini trodimenzionalnog objekta, međutim kako su sve ove veličine zapravo međuzavisne, onda ceo model nije primenljiv na ovakve tipove stimulacija.

DISKUSIJA

Uticaj kretanja

Problem od koga se pošlo u ovom eksperimentalnom istraživanju je bio otkrivanje faktora koji utiču na opažanje trodimenzionalnog prostora. U ovom radu je posebno izdvojen uticaj kretanja na stvaranje trodimenzionalnog percepta.

Odavno je primećeno da kretanje, odnosno promena pozicije posmatrača ili posmatranog objekta, značajno doprinosi tačnom opažanju prostora.

Eksperimentalno se ovim problemima među prvima bavio Valah (Wallach, O'Connell, 1953), a kasnije su na tom problemu radili drugi istraživači, modifikujući stimulaciju i uslove ispitivanja. Eksperimenti koji su ovde izloženi su posebno inspirisani Johansonovim nalazima (Johansson, Jansson, 1968). Johanson je radio sa jednostavnim stimulacijama koje su mogle da izazovu trodimenzionalni percept. Sličan postupak je korišćen i u mojim eksperimentima. Ovakve perceptivno siromašne stimulacije su metodološki pogodne iz dva razloga:

1) moguće je napraviti preciznu geometrijsku analizu karakteristika stimulacije i karakteristika percepta i uporediti ih

2) moguće je eliminisati sve ostale faktore koji doprinose efektu trodimenzionalnosti i posmatrati uticaj kretanja.

U eksperimentima su korišćene tačke i prave linije koje se kreću. Geometrijski gledano percept je u oba slučaja prava linija (kao prava PQ, slika 3), to jest jednodimenzioni objekat. Takođe, date statično, ove stimulacije izgledaju kao jednodimenzioni objekti na dvodimenzionalnoj ravni (ekrana računara). Međutim, čim stimulusi počnu da se kreću, dobija se jasan efekat trodimenzionalnosti. Pri tome, opažani objekat je i dalje prava linija (što bi geometrijski značilo jednodimenziona figura), ali koja se kreće u trodimenzionalnom prostoru. Percept zapravo više ne liči na liniju već na realan trodimenzionalni objekat, štap, koji opisuje jasno definisano kretanje u opaženom prostoru.

Kako je osnovni cilj ove serije eksperimenata bio da se utvrde faktori koji utiču na percept, bilo je potrebno tačno definisati opažaj. Matematička analiza je pokazala da je za tačno definisanje bilo dovoljno znati dužinu opaženog objekta i njegov nagib prema horizontali. Za takvo ispitivanje najpogodnija je klasična psihofizička tehnika, te je zadatak ispitivanja bio da podese merače dužine i ugla tako da odgovaraju njihovo-om opažaju. Na osnovu odgovora ispitanika bilo je moguće definisati opaženi objekat.

Za trenutak procene je odabran onaj kada su se tačke nalazile jedna iznad druge (slika 6) u prvoj i drugoj seriji eksperimenata, odnosno kad je pokretna prava stajala vertikalno, u trećoj i četvrtoj seriji eksperimenata. To je trenutak kada jedna od krajnjih tačaka opaženog štapa deluje najbliže posmatraču, a ona druga najudaljenije od posmatrača. S druge strane, to je trenutak kada je razmak između krajnjih tačaka dvodimenzionalnog stimulusa najmanji. U tom trenutku je razlika između dužine dvodimenzionalnog stimulusa i dužine trodimenzionalnog percepta najveća. U terminima nagiba prema horizontali, to je trenutak kad dvodimenzionalna stimulacija zaklapa ugao od 90° , a trodimenzionalni percept zadržava svoj konstantni nagib. Geometrijska veličina dvodimenzionalne stimulaciju u trenutku procene i rezultati dobijeni od subjekata (tj. Veličina percepta) se značajno razlikuju što govori da je u pitanju jak trodimenzionalni efekat. S obzirom da su eliminisani svi ostali dvodimenzionalni znaci dubine koji bi mogli da doprinose

trodimenzionalnosti percepta, može se zaključiti da je ceo efekat izazvan isključivo kretanjem.

Nezavisno od matematičke analize, subjekti koji su prošli kroz eksperiment izveštavaju da su jasno videli trodimenzionalni objekat, koji većina njih karakteriše kao rigidan objekat, tojest object konstantne dužine. Za razliku od toga, dvodimenzionalna stimulacija tokom celog ciklusa kretanja konstantno menja i dužinu i nagib. U tom smislu opis ove dve kategorije objekata je potpuno različit.

Faktori

U eksperimentima je ispitivano nekoliko faktora koji utiču na trodimenzionalni opažaj. Pre svega to je dužina stimulusa koja je u svim eksperimentima značajan faktor za procenu dužine percepta, odnosno pri povećanju razmaka krajnjih tačaka stimulacije raste i procenjena dužina. Drugi faktor je nagib opaženog objekta. U eksperimentima gde su stimulaciju činile dve tačke ugao je značajan za procenu, a u eksperimentima gde je stimulaciju činila pokretna linija ugao nije statistički značajan. Međutim u obe analize se pri proceni dužine javlja interakcija između faktora dužine i faktora ugla, što je posebno značajno za geometrijsku analizu, jer govori da su subjekti osetljivi na odnos ova dva faktora, kao da je u pitanju faktor višeg reda. Oblik putanje stimulationskih tačaka, odnosno krajnjih tačaka pokretne linije je takođe značajan faktor u svim eksperimentima. Međutim, doprinos ovog faktora je različit u zavisnosti od prikazane stimulacije. Kad su pitanju tačke, tip putanje utiče i na procenu dužine i na procenu ugla. Takođe javlja se i interakcija sa nagibom ravni α i β što je značajno za kasniju analizu sa stanovišta geometrijskog modela. Kad je u pitanju pokretna linija, za procenu dužine značajna je i putanja i interakcija putanje i nagiba ravni α i β . Putanja ne utiče na procenu ugla kod ovakve stimulacije. Poslednji ispitivani faktor je nagib ravni α i β . Samo pri proceni dužine, kod pokretnih tačaka, nagib ravni α i β je značajan, međutim on je u interakciji sa drugim faktorima i pri proceni ugla i pri proceni dužine, kod pokretnih tačaka.

Dakle, svi četiri faktora koja su varirana u eksperimentima značajno utiču na karakteristike trodimenzionalnog percepta.

Tipovi stimulusa

Osim opisanih faktora u izloženim eksperimentima korišćena su i dva osnovna tipa stimulacije: pokretne tačke i pokretna linija. Oba tipa stimulacije daju naizgled isti percept: štap koji oscilira u trodimenzionalnom prostoru. Međutim, prema dobijenim rezultatima ove dve vrste stimulacija se ponašaju različito na pojedinim faktorima. Pri proceni opažene dužine percepta koje izazivaju pokretne tačke, dobijaju se značajno niže vrednosti nego kada je u pitanju pokretna linija. Promena

ugla je značajna samo kod pokretnih tačaka, mada je interakcija dužine i ugla značajna kod oba tipa stimulusa. Za procenu percepta koji izazivaju pokretne tačke značajan je nagib ravni α i β , dok je za pokretnu liniju značajan tip putanje. Takođe, za procenu percepta koji izazivaju pokretne tačke bitna je interakcija ugla, putanje i nagiba ravni α i β , a za pokretnu liniju je značajna interakcija dužine, putanje i nagiba ravni α i β . Pri proceni opaženog ugla, dužina je značajna za oba tipa stimulacije. Za stimulaciju koju čine pokretne linije ni jedan drugi faktor više nije značajan, dok su za pokretne tačke značajni i ugao i putanja i interakcija putanje sa nagibom ravni α i β .

Kvalitativni opisi percepta koje daju subjekti upućuju da ove dve vrste stimulusa iniciraju identičan trodimenzionalni percept. Takođe pri konstrukciji stimulusa, oni su osmišljeni tako da opisuju kretanje koje bi opisivao štap PQ (slika 3), kada bi u jednom slučaju bio predstavljen samo svojim krajnjim tačkama (eksperimenti iz prve i druge serije) ili bio dat u celini (eksperimenti iz treće i četvrte serije). Međutim na osnovu analize kvantitativnih procena subjekata, po ispitivanim faktorima, vidimo da se radi o dva savim različita percepta.

S obzirom na to kako su konstruisani stimulusi, trebalo bi da se dobiju identični percepti. Kako to nije slučaj, može se zaključiti da je situacija u kojoj je prikazana cela prava perceptivno stimulativniji i da omogućava da se uključe drugi mehanizmi koji utiču na opažaj. Jeadan od takvih mehanizama bi mogao biti linearna perspektiva. Širina pokretne linija je identična celom njenom dužinom, što ne bi bio slučaj kada bi se ona prostirala u dubinu. Kada su u pitanju pokretne tačke, onda je njihova veličina minimalna, što ostavlja mogućnost opaženom virtuelnom štapu da se ponaša perceptivno adekvatno. Kao rezultat dobija se da je objekat opažen kada se prikazuje pokretna linija kraći. Kod uglova, geometrijski gledano, ovaj problem ne postoji niti se javlja u procenama subjekata.

Ipak najznačajnija razlika između ova dva tipa stimulusa je na faktoru tip putanje. Kada stimulaciju predstavljaju dve tačke onda se objekti na divergentnim putanjama opažaju kao duži, dok kada je stimulacija pokretna linija onda se objekti koji se kreću na konvergentnim putanjama opažaju kao duži.

Geometrijski model

Model na slici 3 je konstruisan na osnovu eksperimenata koji su imali stimulaciju sličnu stimulaciji datoj u prvoj seriji eksperimenata. Međutim rezultati koji su dobijeni u ovom radu se ne uklapaju u model. Model pre svega govori o dužini i nagibu trodimenzionalnog objekta čije bi se projekcije, pri kretanju, odslikavale na ravan računara na način na koji je to definisano u dvodimenzionalnoj stimulaciji. U svim prikazanim eksperimentima dužina je precenjena u odnosu na onu koju predviđa model, s tim što je ova tendencija još izraženija kad je stimulacija pokretna linija. Što se tiče opaženog ugla, on je značajan samo kada stimulaciju čine

pokretne tačke, međutim u svim eksperimentima ugao je podcenjen. Ono što se uklapa u model je ovakav odnos procene dužine i procene ugla. U ranijim eksperimentima je takođe primećeno da subjekti precenjuju dužinu i podcenjuju ugao, što je u skladu sa geometrijom situacije. Takođe, procenjena dužina je značajno veća od dužine koju stimulacija ima onda kada su krajnje tačke najudaljenije na dvodimenzionalnoj projekciji (slika 5a). Ovo upućuje na zaključak o kretanju trodimenzionalnog objekta. Naime, kada bi te dužine bile jednake, onda bi to značilo da se objekat u trenutku svoje maksimalne dvodimenzionalne ekstenzije vidi u svojoj pravoj dužini. Ovako se objekat nikada ne vidi u svojoj pravoj dužini što znači da ne rotira već oscilira oko centralne tačke.

Subjekti su u eksperimentu imali zadatak da procene nagib opaženog trodimenzionalnog objekta. U tako definisan nagib ulaze dva različita ugla iz geometrijskog modela sa slike tri. Prvi je ugao koji PQ zaklapa sa ravnima α i β , a drugi je ugao koji ravni α i β zaklapaju sa ravni projekcije. Pri analizi ovo su bila tri faktora: ugao, nagib ravni α i β i tip putanje (pošto tip putanje zavisi od toga da li ravni α i β zaklapaju ugao veći ili manji od 90° sa ravni projekcije). Rezultati za pokretne tačke pokazuju da se nagib ravni a i b nalazi u interakciji sa sa putanjom međutim kod pokretne linije ništa od ovih faktora nije značajno doprinosilo proceni.

ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati omogućavaju precizno definisanje trodimenzionalnog percepta koji subjekti imaju. Takođe identifikovani su neki faktori stimulacije koji utiču na percept i pokazan je način na koji utiču na percept. Pokazano je takođe da ove dve grupe stimulusa ne daju identične trodimenzionalne perceptive. S obzirom na takve rezultate prikazani geometrijski model nije moguće generalizovati na stimulacije koje su korišćene u trećoj i četvrtoj seriji eksperimenata.

LITERATURA

- Berkeley, G. (1709). An Essey towards a New Theory of Vision. U 'The Works of George Berkeley, D.D., Former Bishop of Cloyne', I, Oxford 1901.
- Gibson, J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston, Houghton Mifflin Company.
- Gilbert, C. D. (1995). Dynamic properties of adult visual cortex. U M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neuroscience* (pp. 73-90). Cambridge, Massachussets, The MIT Press.
- Goldstein, B. E. (1980). *Sensation and Perception*. Belmont, California, Wadsworth Publishing Company.
- Johansson G. (1974). Visual perception of rotary motion as transformation of conic sections. *Psychologia*, **17**, 226-237.
- Johansson G., Jansson G. (1968). Perceived rotary motion from changes in a straight line. *Perception & Psychophysics*, **4**, 165-170.
- Kanizsa G. (1979). *Organisation in Vision*. New York, Praeger.
- Livigston, M., Hubel D. (1988). Segregation of Form, Colour, Movement and Depth: Anatomy, Physiology and Perception. *Science*, **240**, 740-749.
- Shiller P.H. (1990). The colour-opponent and broad-band channels of the primate visual system. *Visual Neuroscience*, **5**, 321-346.
- Ullman S. (1983). The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. B.* **203**, 405-426.
- Wallach, H., O'Connell D. N. (1953). The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*, **45**, 205-217.
- Woodworth, R. S., Schlosberg, H. (1971). *Experimental Psychology*. New York, Holt, Rinehart and Winston, Inc..
- Zdravković, S. (2002). Analysis of depth percepts induced by mobile two-dimensional stimuli. *Psihologija*, **35** (3-4), 225-244.

ABSTRACT

DEPTH PERCEPTION INDUCED BY MOBILE CONFIGURATIONS

Sunčica Zdravković

Depth perception is one of the oldest and most intriguing problems in visual perception. This paper presents four sets of experiments in which the depth effect is induced by motion. Geometrical model depicting amodal percept, created by two mobile dots, was tested in the first two sets of experiments. The dots were presented on a CRT screen and the percept was quantified. The length and the angle of inclination were measured. Four factors were varied in the experiments: 1) length of an amodal rod, 2) its angle of inclination, 3) shape of the rod's paths and 4) angle of inclination of the plains which contained the paths. All of the factors were statistically significant confirming proposed geometrical model. A full mobile line was a stimulus in the other two sets of experiments. The end points of the line moved on the same paths as the mobile dots from the first two sets of experiments. According to geometry the line should not provide more information than the mobile dots. Nevertheless perceptually the line and the dots were not identical: there was a significant difference on all four varied factors. Consequently the geometrical model can not be applied to this type of stimuli.