



Elektrotehnički fakultet u Beogradu  
Odsek za signale i sisteme



# **Identifikacija predmeta i odredjivanje tipa hvata na osnovu informacija stereovizijskog sistema -Diplomski rad-**

Mentor  
**Prof. Dr Dejan B. Popović**

Kandidat  
**Matija Štrbac**

Beograd, 2010.

# Zahvalnica

Ovaj rad je nastao kao rezultat projekta koji je obuhvatao razvoj stereovizijskog sistema za procenu tipa hvata u elektroterapiji realizovanog u okviru laboratorije za Biomedicinsku instrumentaciju i tehnologije Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

Na učestvovanju u ovom projektu i idejama i sugestijama koje su u velikoj meri uticale na uspešnost samog projekta, a time i ovog rada, posebno bih se zahvalio kolegi Marku Markoviću i Prof. dr Dejanu Popoviću.

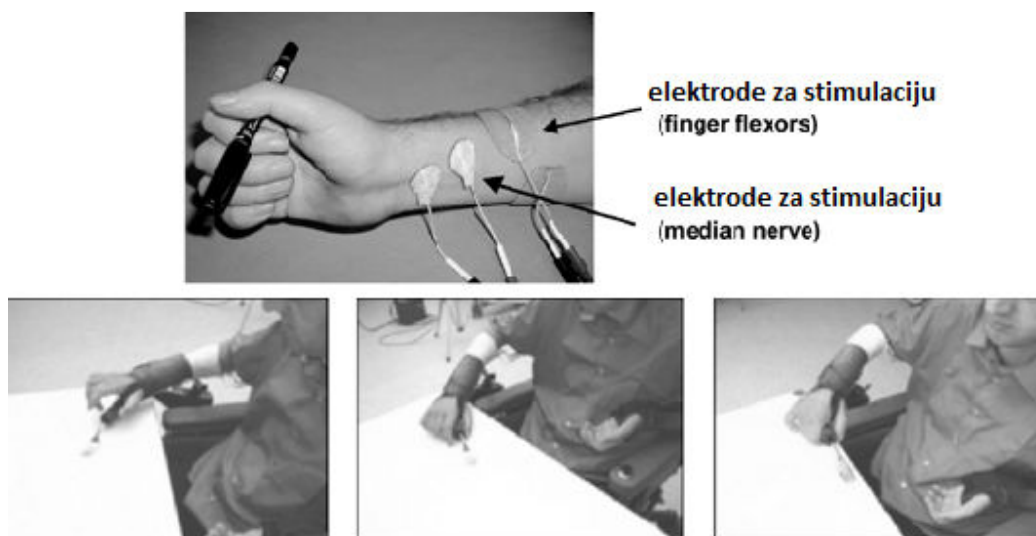
# Sadržaj

1. Uvod .....	4
2. Materijal i metod .....	8
2.1 Opis <i>hardware</i> -a .....	8
2.2 Algoritam .....	10
2.3 Procena površine predmeta .....	12
2.4 Identifikacija predmeta .....	14
2.5 Nalaženje odgovarajućeg hvata.....	17
3. Rezultati .....	19
4. Diskusija .....	24
Literatura .....	26

# 1. Uvod

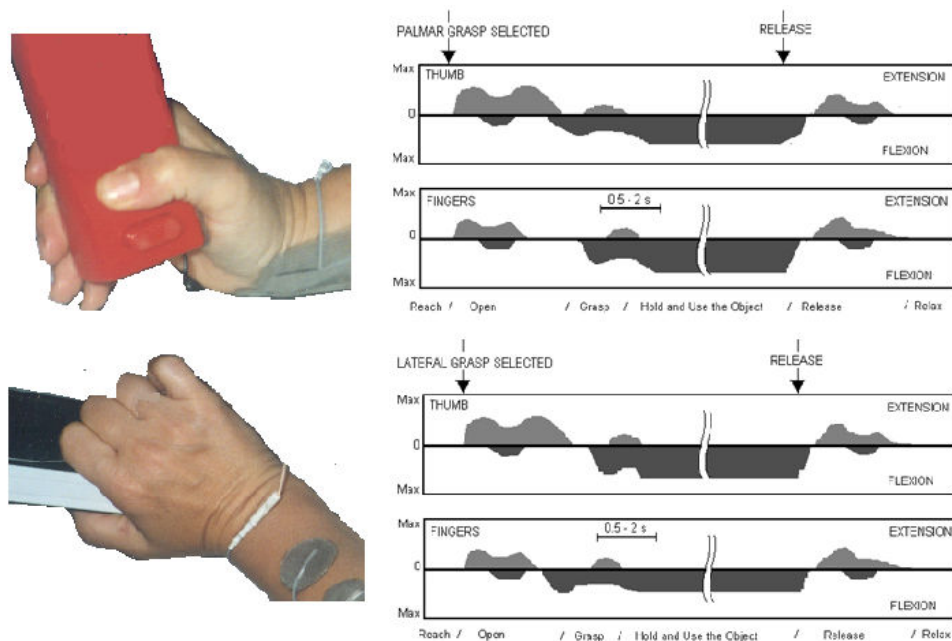
Funkcionalna električna stimulacija (FES) se koristi u tretmanu osoba čiji su delovi tela paralizovani ili paretični kao posledica moždanog udara ili nekog sličnog neurološkog poremećaja. U samoj terapiji se najčešće postavlja ograničenje da se pri pokretu koristi onaj deo tela na čiju voljnu kontrolu su posledice nervog oboljenja veće (1), što je pokušaj da se omogući pacijentu da prevaziđe naviknutost da ne koristi jedan deo svog tela usled otežanosti njegove voljne kontrole. Cilj je sprečiti da jedan deo tela zaostane za drugim i izgubi deo funkcionalnosti u svakodnevnim aktivnostima, što može biti uzrok nekih novih simptoma i patologija. Jedan broj istraživanja koja su se bavila medicinskom slikom i transkranijalnom magnetnom stimulacijom je pokazao da ovaj vid terapije za posledicu ima kortikalnu reorganizaciju i povećanje površine korteksa koja će učestvovati u inervaciji pokreta ekstremiteta čija funkcionalnost želi da se povрати (2).

Klinička procena primene FES-a u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta pokazuje da ovakav vid terapije može da omogući značajniji i brži funkcionalan oporavak osoba sa akutnom hemiplegijom. Napredak se pre svega ogleda u smanjenju ukočenosti zglobova, povećanju opsega i brzine pokreta, kao i u povećanju same mišićne snage. Što je terapija intenzivnija i što je u ranijoj fazi rehabilitacije, u toku perioda oporavka i reorganizacije centralnog i perifernog nervnog sistema, primenjena, to će oporavak biti brži. Pokazano je da se pri stimulaciji mišića koji kontrolišu otvaranje šake, hvatanje predmeta, njegovo držanje i puštanje, postiže takođe značajan napredak i u kontroli i brzini pokreta u laktu i ramenom zglobu (3), pa se iz pomenutog razloga u elektroterapiji gornjih ekstremiteta (*Slika 1.1*) sve češće zadatak, odnosno vežba, svodi na to da pacijent na odgovarajući način uhvati i funkcionalno upotrebi neki predmet koji se koristi u uobičajenim dnevnim aktivnostima (flašica soka, olovka, češalj ili četkica za zube).



**Slika 1.1** Postavljanje površinskih elektroda za električnu stimulaciju (gore) i sekvenca koja prati ispravno hvatanje viljuške primenom FES-a (dole).

Razvijen je veliki broj različitih vrsta neuralnih proteza (4) čija je namena da kod pacijenta unaprede ili povrate funkciju hvatanja, a najveći broj njih je u vidu površinskih elektroda kojima se stimulišu motorni neuroni ili refleksni putevi. Sama stimulacija se obavlja brzim i kratkotrajnim strujnim impulsima (širina impulsa 0-250  $\mu$ s i amplituda impulsa 10-150 mA), koji rezultuju mišićnom kontrakcijom. Ključni element u omogućavanju sinergične mišićne aktivnosti koja će rezultovati dohvatanjem i uzimanjem predmeta u ruku jeste pravilno postavljanje elektroda i formiranje ispravne sekvence impulsa na elektrodama. U sistemima za FES je poznato kakvu stimulaciju i nad kojim mišićnim grupama je potrebno primeniti, kako bi se subjektu omogućilo da pomeri ruku na odgovarajući način i ostvari željeni hvat (*Slika 1.2*).



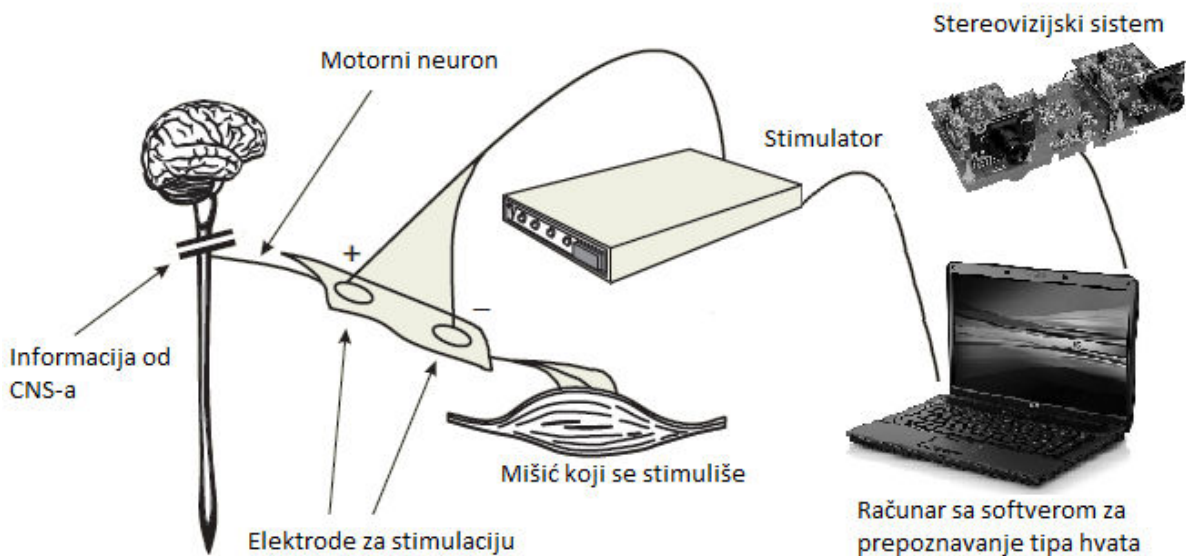
**Slika 1.2 Dva najčešće korišćena hvata (palmarni i lateralni) i stimulacija kojom ih je moguće ostvariti**

Međutim, nedostatak većine postojećih sistema za FES, koji se primenjuju u terapiji gornjih ekstremiteta je taj što je neophodno da - ukoliko se promeni rastojanje do predmeta, njegova orijentacija ili hvat koji je potrebno primeniti - pacijent na stimulatoru sam ili uz pomoć terapeuta promeni parametre stimulacije. Ovime se značajno usložnjava i usporava ceo proces i za posledicu ima to da se deo vremena, koje treba da se posveti vežbanju, potroši na podešavanje parametara stimulacije. Takođe, neophodno prisustvo terapeuta koji nadgleda takav trening značajno poskupljuje ovaj proces, pa je namera da se potreba za njegovim prisustvom svede na minimum. Dakle, cilj je unaprediti terapijski sistem za električnu stimulaciju integracijom računarske vizije koja će odrediti režim električne stimulacije, odnosno izvršiti automatizaciju ovog procesa.

Postoji veliki broj rešenja ovog problema koja se baziraju na obradi slike kamere u statičkoj ili *eye-in-hand* (5) konfiguraciji i određivanju rastojanja od predmeta do kamere (zasnovanom na zvučnom ili svetlosnom ehu) kako bi se procenila njegova veličina. Projekat u

kome sam učestvovao, posvetio se sasvim novom pristupu problemu određivanja strategije hvata, koji se zasniva na obradi stereovizijske slike, pri čemu dve *web* kamere predstavljaju jedini senzor u celom sistemu.

Zadovoljavajuća tačnost u određivanju rastojanja mogla bi se postići primenom nekog od već postojećih rešenja, odnosno nekim od navedenih načina njene detekcije, međutim, prednost ovakvog sistema jeste pre svega njegova sličnost biološkom sistemu. Kod čoveka se problem vizuelne percepcije prostora zasniva na ekstrakciji informacija o položaju, obliku, veličini i orijentaciji predmeta u njegovom okruženju na osnovu karakteristika svetlosti koje dolazi do oka. Vizuelni sistem na osnovu formiranih slika na retinama oba oka, odnosno na osnovu njihove međusobne pomenosti dolazi do informacije o trodimenzionalnom okruženju i to se naziva stereoskopskom vizijom (6). Kod pacijenata nad kojima se primenjuje elektroterapija kao posledica disfunkcije jednog dela motornog korteksa, ispravna informacija o željenom pokretu ne uspeva da se prenese do mišića. Cilj je da se sistemu za FES ova informacija obezbedi na neki drugi način (*Slika 1.3*), a svakako je težnja da se ta informacija dobije na što sličniji način onome na koji se to odvija u prirodi. Ova težnja je za posledicu imala da se za percepciju dubine koristi stereoskopska slika i da nalaženje odgovarajućeg hvata počinje od identifikacije samog predmeta, ukoliko je predmet poznat, ili nalaženja najbližnjeg poznatog predmeta, u suprotnom.



***Slika 1.3*** *Nezadovoljavajuća pobuda od strane centralnog nervnog sistema (CNS) i način da se odgovarajuća pobuda generiše sistemom za električnu stimulaciju*

Odluke, koje predstavljaju izlaz stereovizijskog sistema (SVS), utiču na komande koje obezbeđuju orijentaciju i otvaranje šake koje odgovara obliku, veličini i položaju predmeta koji pacijent treba da uhvati. Put do formiranja odluke može se podeliti na dva koraka:

- Prvi korak se sastoji iz nalaženja laserskog markera koji ima ulogu pokazivača, izdvajanja primitivna objekta na koji ukazuje laser i određivanja rastojanja do laserskog markera.

- Drugi korak obuhvata indentifikaciju datog objekta, na osnovu izdvojenog primitiva i procenu njegove površine i dobijanje informacije o odgovarajućem hvatu za neke objekte koji bi se mogli koristili u vežbanju pacijenata, i njime se bavi ovaj rad.

U radu je predložen i opisan metod za identifikaciju predmeta koji se sastoji iz grube klasifikacije po površini (dobijene na osnovu informacije o rastojanju) i naknadne klasifikacije korelacijom izdvojenog primitiva sa primitivima nekih predmeta koji se koriste u svakodnevnom životu, a koje smo koristili pri formiranju baze podataka. Nakon toga opisana je heuristička analiza, odnosno eksperiment na osnovu koga je određen odgovarajući hvat za svaki od korišćenih predmeta, koji uz rastojanje i orijentaciju predstavlja informaciju od značaja, odnosno informaciju koja se prosledjuje do stimulatora. Treba napomenuti da su u toku izrade projekta usvojene mnoge pretpostavke i ograničenja u skladu sa samom namenom razvijanog sistema i da ne treba gubiti iz vida da je on predviđen da bude deo terapijskog sistema za FES.

## 2. Materijal i metod

### 2.1 Opis hardware-a

Kompjuterska vizija je naučna oblast koja se bavi ekstrakcijom informacija iz slika. Pored velike količine informacija sadržanih u fotografiji, percepcija dubine na osnovu projekcije scene na ravan jedne kamere nije moguća. Sa druge strane, već iz dve slike, odnosno iz dve projekcije iste slike na različite ravni, na osnovu trigonometrijskih zakona, moguće je odrediti i 3D mapu dubina, pa čak i izvršiti rekonstrukciju posmatrane scene (7). Kako je informacija o rastojanju do predmeta neophodna za određivanje odgovarajuće stimulacije, a takodje igra značajnu ulogu i u prepoznavanju predmeta i nalaženju odgovarajućeg hvata, senzor u našem sistemu bile su dve *web* kamere, i na osnovu njihove slike odgovarajućim algoritmom dolazi se do željenih parametara hvata (tip, rastojanje do predmeta, nivo otvorenosti i orijentacija šake) koji predstavljaju izlaz sistema.

Ideja je bila da stereovizijski sistem koji bi komunicirao sa računarom, u kome će se vršiti dalja obrada, bude integrisan u laganu kapu ili sličan predmet koji bi ispitanik nosio na glavi, tako da su kamere orijentisane u smeru stola na kome se nalaze predmeti sa kojima se vežbaju hvatovi (približno 0.8 radijana niže od horizontalne ravani). Ovakav pristup je različit u odnosu na *eye-in-hand* metod (8) koji je prevashodno razvijan za robotsku ruku. Predloženi koncept se može posmatrati kao kvazistacionaran, jer se kamere nužno pomeraju samo kada treba „odabrati“ drugi predmet, dok se pretpostavlja da će one u toku procene odgovarajućeg hvata i za vreme njegovog izvršavanja biti statične. Prednost ovakve postavke u odnosu na *eye-in-hand* je stacionarna scena koju treba analizirati, eliminisanje efekata vibracija kamere usled tremora ruke, koji je u određenoj meri prisutan kod većine pacijenata, kao i manje preklapanje objekata u perspektivi kamere.

Kako bi ispitanik bio u stanju da izvrši odgovarajuću orijentaciju kamera, odnosno da proceni koji deo scene će u vidu slike doći do računara u kome se vrši dalja obrada, u sistemu je uključena još i laserska dioda. Iako njena primarna funkcija jeste da obezbedi korisniku *feedback* o ukazanom predmetu, odnosno da ukazuje na centralni deo scene u kome se očekuje predmet, laser je takodje moguće iskoristi i kao marker u slici koji bi algoritmu pojednostavio određivanje rastojanja do predmeta od interesa.

Stereovizijski sistem (SVS) koji smo u okviru laboratorije formirali na osnovu ovih razmatranja sastojao se od:

- 1) Dve identične CCD web kamere, najveće rezolucije 1600x1200 piksela, koje su postavljene na nosač koji garantuje njihovu istu horizontalnu orijentaciju, a na međusobnom rastojanju od 6.2 cm. Optički sistem kamera je postavljen tako da vidi oštru sliku na udaljenostima između 30 i 90 cm što je očekivano rastojanje predmeta od ispitanika, odnosno od kamera. Pritom, svaka kamera komunicira sa računarom preko USB interfejsa.



- 2) Crvene laserke diode, postavljene između kamera i usmerene prema centru scene. Omogućeno je da se ova dioda prekidno uključuje i isključuje, a upravljanje se obezbeđuje serijskom komunikacijom sa računarom preko RS232 interfejsa. Samo napajanje lasera obezbeđuje se na osnovu USB interfejsa jedne od kamera tranzistorskim drajverom koji obezbeđuje konstantnu struju na izlazu.



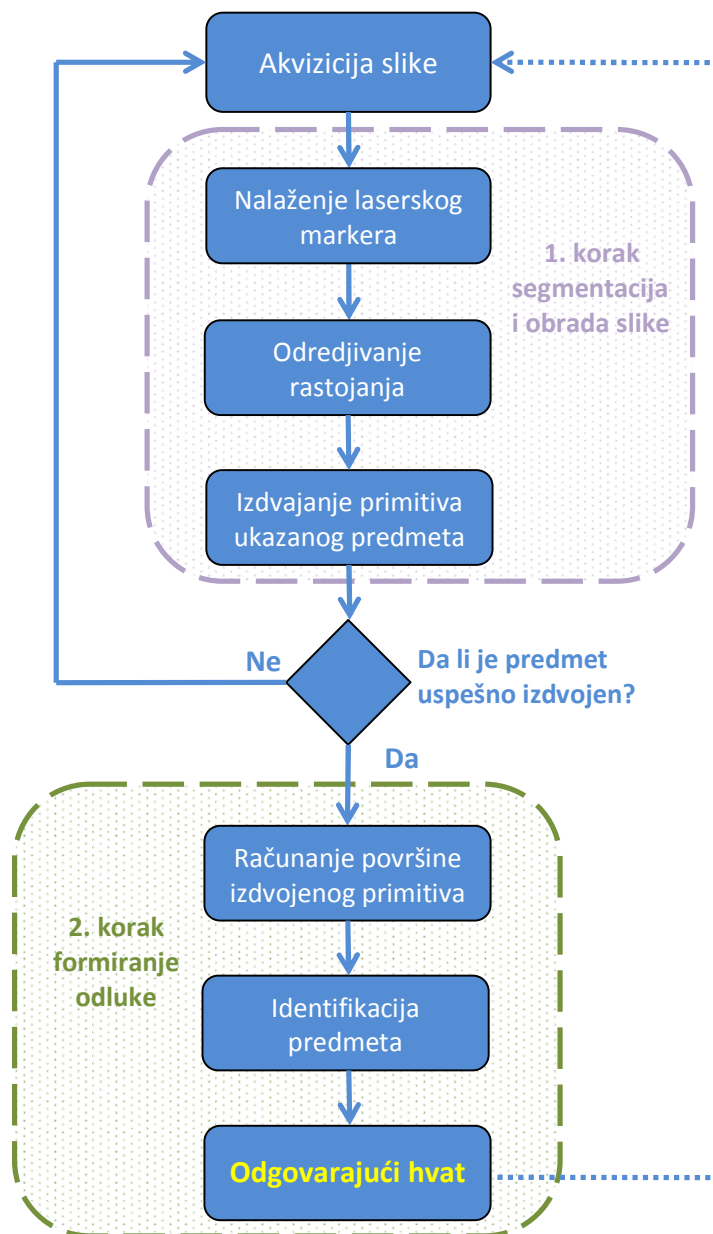
**KAMERA 1      LASERSKA DIODA      KAMERA 2**

*Slika 2.1 Izgled stereovizijskog sistema koji se sastoji od dve kamere, laserskog pokazivača i neophodne elektronike*

Iz opisa *hardware-a*, može se zaključiti da usled nedovoljno dobre optike kamera, njihova rezolucija nije dovoljna za uočavanje sitnih tekstura predmeta, zbog čega je za ovakav sistem neophodna projekcija aktivnog osvetljenja na posmatranu scenu kako bi bilo moguće odrediti pomeraj paralelnih osa, odnosno disparitet stereo slike. Na primer, da bi se u slikama ljudskog lica pronašle zajedničke tačke na stereo slici bez primene aktivnog osvetljenja neophodno je da rezolucija slike bude između 8 i 13 mega piksela (9). Jedino aktivno osvetljenje koje postoji u našem sistemu je upravo laserska dioda. Dakle, jedina informacija o dubini posmatrane scene, dobijena od strane ovako formiranog SVS-a, jeste informacija o rastojanju do laserskog markera. Kako je to u stvari samo jedna tačka posmatranog objekta, ovime se dobija samo gruba procena njegovog prostornog položaja. Međutim, uzimajući u obzir namenu našeg sistema, ovakva informacija o položaju predmeta je sasvim dovoljna da bi se obezbedila odgovarajuća stimulacija za njegovo hvatanje. Takođe, računanjem rastojanja samo jedne tačke, umesto određivanja celokupne mape dubina, ostvaruje se ušteda u procesorskom vremenu, čime se ostavlja više vremena za samu stimulaciju.

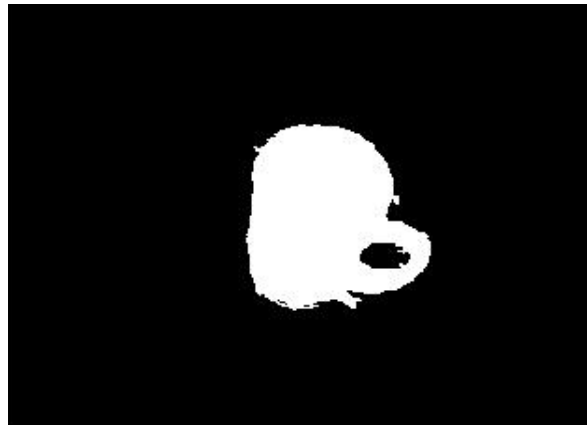
## 2.2 Algoritam

Obradu informacija dobijenih od strane SVS-a, koja se odvija u računaru, moguće je podeliti u dva koraka (Slika 2.2), tako da prvi korak obuhvati odgovarajuću obradu slike i izdvajanje primitiva predmeta, a drugi formiranje odluke o tipu hvata na osnovu izdvojenog primitiva. Pritom, tek nakon uspešno završenog prvog koraka i izdvajanja odgovarajućeg primitiva za dalju obradu, prelazi se na drugi korak u kome će se na osnovu obradjene slike doći do informacija od interesa, čime ovakav problem prelazi u domen kompjuterske vizije.



Slika 2.2 Algoritam određivanja strategije hvata

Ovaj rad posvećen je drugom delu algoritma i neće ulaziti u pojedinosti vezane za segmentaciju i obradu slike. Dakle, smatraće se da je u prvom delu algoritma laserski marker uspešno detektovan na obe slike i da je na osnovu dispariteta u pikselima rastojanje do predmeta određeno sa dovoljnom tačnošću. Sa povećanjem rastojanja, tačnost njegove procene opada, međutim, na samim granicama odstojanja na kojima je ispitanik u stanju da dohvati predmet (negde oko 80 cm) greške procene nisu bile veće od 1 cm, što je sasvim dovoljno da se obezbedi odgovarajuća stimulacija, tako da je ova pretpostavka zadovoljena. Takođe, podrazumevaće se da su primitivi predmeta na koji ukazuje laser uspešno izdvojeni iz slika dobijenih od strane SVS-a (*Slika 2.3*) i ovi primitivi će uz informaciju o rastojanju biti ono na osnovu čega je potrebno odrediti odgovarajuću strategiju hvata. Detaljniji opis prvog dela algoritma može se naći u radu posvećenom ovom projektu koji je objavljen na 54. konferenciji ETRAN (10).



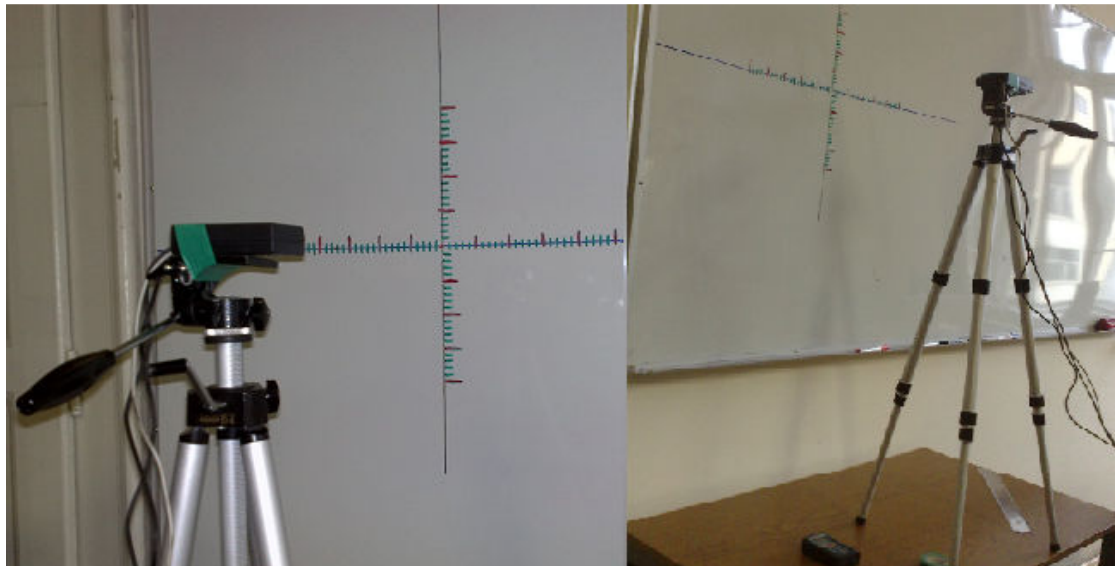
*Slika 2.3 Primer primitiva šolje izdvojenog u prvom delu algoritma*

U nastavku rada je detaljno opisan put kojim se na osnovu primitiva predmeta i procenjenog rastojanja formira odluka o hvatu koji treba upotrebiti. Najpre je objašnjeno kako se procenjuje površina predmeta na osnovu rastojanja i izdvojenog primitiva, zatim je kao metod za identifikaciju predmeta predložena neka vrsta *match* filtra koji se zasniva na korelaciji binarnih slika, dok je na kraju objašnjena heuristička analiza odgovarajućeg hvata, tačnije eksperiment kojim se do njega došlo za neke od predmeta koje smo koristili pri izradi projekta i koje smo uključili u bazu podataka.

Ovde se može postaviti pitanje, da li je identifikacija samog predmeta neophodna ili bi se možda mogla izvući neka pravila iz njegovog oblika koja bi nas direktno dovela do odgovarajućeg hvata. Svakako da nije, i to se može videti i u prethodnom radu iz naše laboratorije koji se bavio ovim istim problemom (8). Međutim, postoje dva razloga zašto smo odlučili da uključimo ovaj korak u ceo proces. Prvi je da, ukoliko se obezbedi uspešna klasifikacija i identifikacija predmeta, iz toga nužno sledi odgovarajući izbor hvata, čime se minimizira verovatnoća greške. Drugi razlog je to što će ovakav algoritam više podsećati na način na koji se u ljudskom mozgu formira odgovarajuća akcija za hvat (11), jer izbor hvata neće zavisiti samo od dimenzija predmeta nego će na ovaj način u taj izbor biti uključena i njegova namena, odnosno neki vid pretpostavke o tome šta korisnik sa njim želi da uradi.

## 2.3 Procena površine predmeta

Ključnu ulogu u izboru hvata osim oblika predmeta igra njegova veličina i da bi se izvršila odgovarajuća klasifikacija potrebno je informaciju o rastojanju na pravi način pridružiti izdvojenom primitivu predmeta. Ono što je moguće uraditi po ovom pitanju jeste pronaći zavisnost dužine i širine kadra od rastojanja na kome je ta scena snimljena. Očekuje se da će ove veličine linearno da rastu sa porastom rastojanja, pri čemu je konstanta proporcionalnosti nepoznata i zavisice od karakteristika samih kamera. Dakle, kako bi bilo moguće izvršiti neku procenu površine predmeta na osnovu njegovog rastojanja, neophodno je pronaći parametre ove zavisnosti. Do njih je moguće doći eksperimentalno, merenjem dimenzija kadra pri različitim daljinama (Slika 2.4).

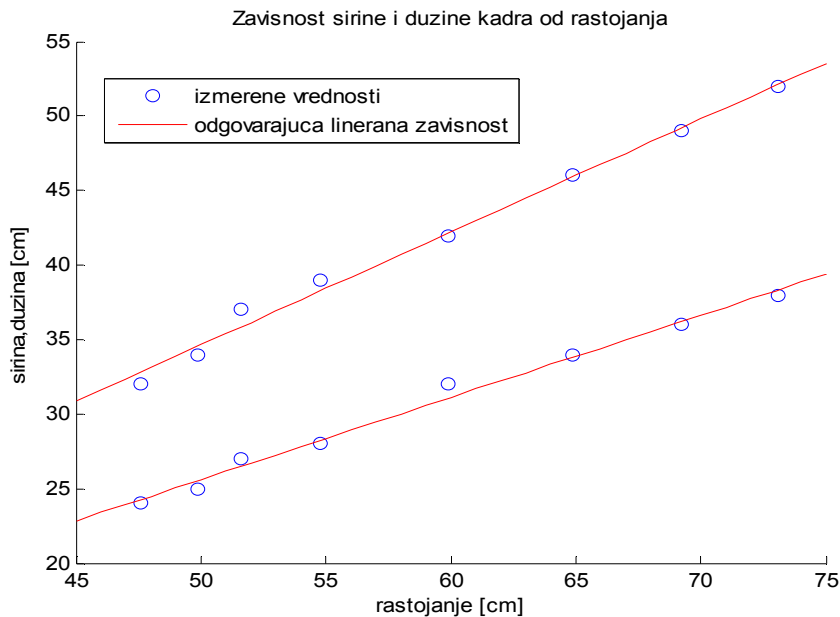


Slika 2.4 Određivanje zavisnosti površine kadra SVS-a od rastojanja

Na tabli je markerom iscrtan koordinatni sistem i snimano je koliki je opseg realnog kadra kamera SVS-a na različitim rastojanjima, pri čemu je referentna vrednost rastojanja određena primenom laserskog daljinometra Bosh DLE 50. Izmerene vrednosti prikazane su u Tabeli 2.1. Zatim je određena linearna zavisnost sa najmanjim srednje kvadratnim odstupanjem (Slika 2.5), na osnovu koje je moguće programski, nakon održivanja rastojanja, proceniti i dimenziju kadra na datom rastojanju. Znajući dimenziju kadra u pikselima (320x240), jednostavno se procenjuje kolika je širina i dužina pojedinačnog piksela na datom rastojanju.

Rastojanje [cm]	47.6	49.9	51.6	54.8	59.9	64.9	69.2	73.1
Dužina [cm]	32	34	37	39	42	46	49	52
Visina [cm]	24	25	27	28	32	34	36	38

Tabela 2.1 Zavisnost širine i dužine kadra od rastojanja



**Slika 2.5 Zavisnost dimenzija kadra od rastojanja**

Na osnovu rastojanja određenog stereovizijom i izdvojenog primitiva predmeta omogućena je procena njegove površine tako što će se izračunati širina i dužina piksela na datom rastojanju i prebrojati ukupan broj piksela koji zauzima primitiv. Ovo svakako neće biti procena visoke tačnosti, pre svega jer se radi o projekciji na 2D ravan, zbog čega će ona u velikoj meri zavisiti od orijentacije predmeta. Takođe, rastojanje je određeno samo do jedne tačke tog predmeta, pa će čak i u datoj projekciji kod položenih predmeta ova procena u značajnoj meri zavisiti od toga u koji deo predmeta je uperen laserski pokazivač. Međutim, svaki drugi pokušaj da se predmetu pridruži neka informacija o stvarnoj veličini, kao što su dužina glavne i sporedne dijagonale (12), dovela bi do još veće greške u proceni ovih veličina u zavisnosti od orijentacije predmeta.

Sa druge strane, opisana estimacija površine je dovoljno dobra da se na osnovu nje izvrši gruba klasifikacija predmeta po površini (na male, srednje i velike predmete) i da se dalje prepoznavanje objekata vrši njihovim poređenjem samo sa objektima koji pripadaju istoj klasi. Ovakvom grubom klasifikacijom omogućeno je da se u nastavku algoritma identifikacija zasniva samo na obliku predmeta, pri čemu su njegove dimenzije zanemarene. Dakle, dalja identifikacija predmeta u okviru klase zasniva se isključivo na izdvojenom primitivu, a ovaj postupak je objašnjen u sledećem poglavlju.

## 2.4 Identifikacija predmeta

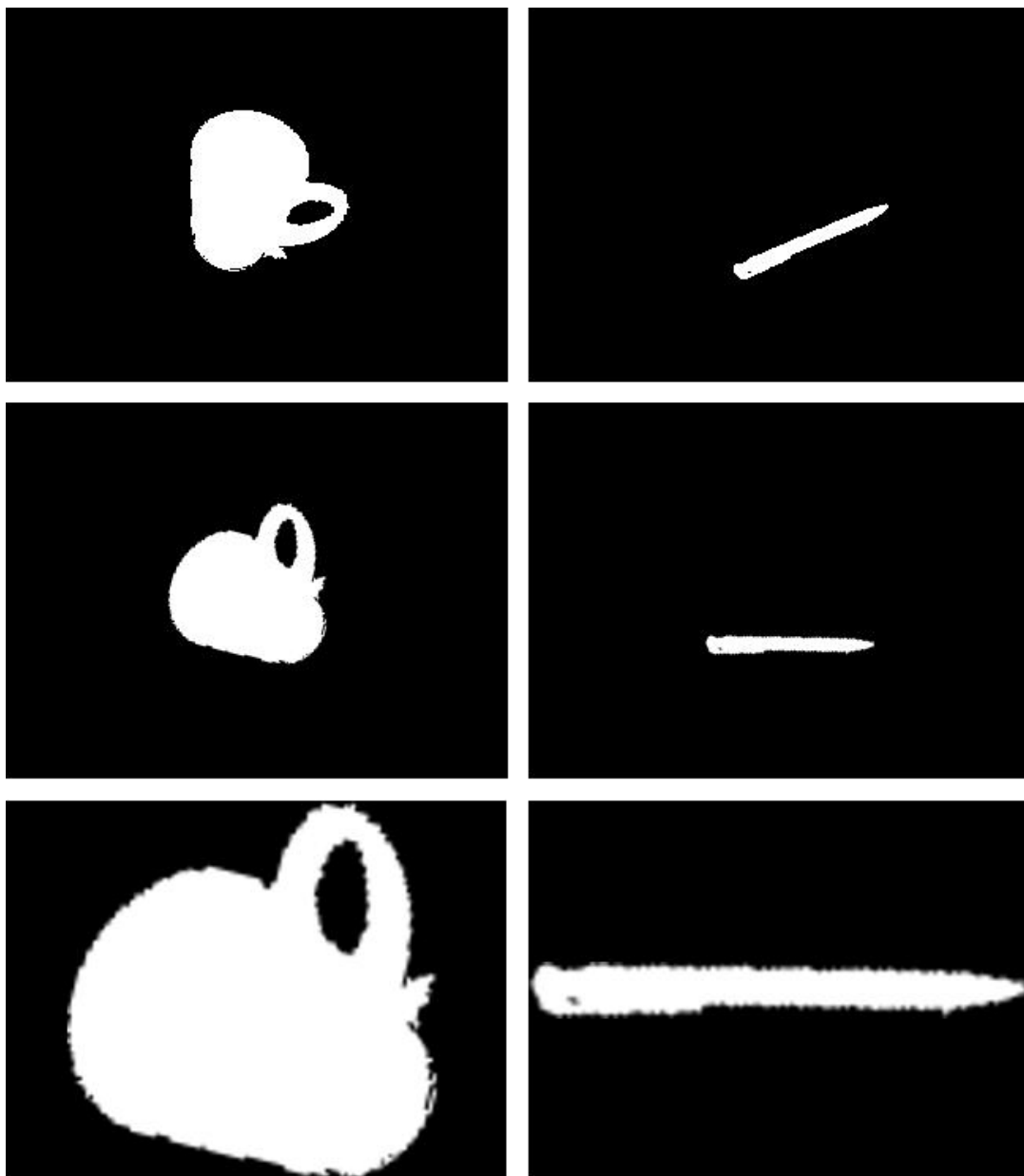
Za ovaj algoritamski korak postojalo je više mogućih rešenja. Prvobitna ideja bila je da se za proces prepoznavanja oblika formira neuralna mreža koja bi na osnovu slike primitiva bila u stanju da razazna o kom predmetu se zapravo radi. Bez obzira na malu sigurnost u konačan ishod obučavanja, ovakav pristup je već pokazao vrlo dobre rezultate u klasifikaciji primitiva predmeta izdvojenih u okviru 2D slike (13). Druga mogućnost jeste formalniji pristup ovom problemu, koji bi podrazumevao da se primenom mašinskog učenja dodje do odgovarajućih pravila odlučivanja, na primer formiranjem C4.5 stabla odlučivanja i nalaženjem PART liste odluka u okviru *data minig* softvera WEKA (14). Kasnijom fazifikacijom datih pravila mogao bi još i da se opiše nivo njihove nesigurnosti i da se u nekim situacijama *fuzzy* sistemom formira malo prirodnija odluka (15), koja bi više odgovarala ljudskom načinu razmišljanja.

Problem u oba navedena pristupa jeste što je potrebno naći odgovarajuće deskriptore, odnosno svojstva izdvojenog primitiva na osnovu kojih bi se mogla izvršiti dalja klasifikacija. Kao dobar izbor (12) pokazala su se svojstva crno bele slike do kojih je moguće doći zahvaljujući ugrađenoj *Matlab* funkciji *regionprops.m* kao što su dužina glavne dijagonale (*MajorAxisLength*), dužina sporedne dijagonale (*MinorAxisLength*), odnos manje i veće ose opisane elipse (*Eccentricity*), popunjenost konveksne ljuske predmeta (*Solidity*) i odnos površine oblika i površine opisanog pravougaonika (*Extent*). Međutim, koliko god ova svojstva bila dobra za opis predmeta, neminovno je da se jedan deo informacije o njegovom obliku, koji je sadržan u izdvojenom primitivu, na ovaj način gubi. Kako smo postigli da se u prvom delu algoritma primitivi predmeta izdvajaju sa vrlo visokom tačnošću, rešili smo da naša klasifikacija bude zasnovana na samoj slici.

Jedan od načina za analizu scene i lociranje nekih specifičnih objekata u slici jeste korelacioni klasifikator. Na osnovu snimljene slike primenom korelacije je moguće utvrditi da li se u nekom njenom delu nalazi željeni templat, kao i gde je u slici on pozicioniran (16). Ova metoda nalazi primenu i u video signalu i praćenju pomeranja objekata od interesa u vremenu. U sve više aplikacija koje su posvećene automatskoj detekciji i praćenju objekata u slici koristi se MACH filter koji se bazira na maksimizaciji korelacije i postoje različiti algoritmi posvećeni pretraživanju *grayscale* slike radi nalaženja objekata od interesa (17).

Naravno, u našem slučaju problem je značajno pojednostavljen, pre svega jer je predmet koji treba identifikovati predstavljen crno belom slikom i njegovu poziciju u slici je moguće lako naći. Iz tog razloga, odlučili smo da identifikaciju predmeta obavimo primenom korelacije u najprostijoj mogućoj formi, formi 1-1 preslikavanja između izdvojenog primitiva i primitiva nekog predmeta koji se traži na sceni. Tačnije, svaki piksel izdvojenog primitiva se poredi sa odgovarajućim pikselom jednog od predmeta za koji je predviđeno da se koristi pri elektroterapiji i ulazi u zbir kao +1 ako na oba piksela postoji predmet, kao -1 ako dati piksel na jednoj slici pripada predmetu, a na drugoj ne, i kao 0 ukoliko na obe slike dati piksel ne pripada predmetu. Zbirom po kolonama i vrstama date slike i poređenjem vrednosti ove sume sa sumama koje su dobijene u slučaju drugih predmeta formira se konačna odluka.

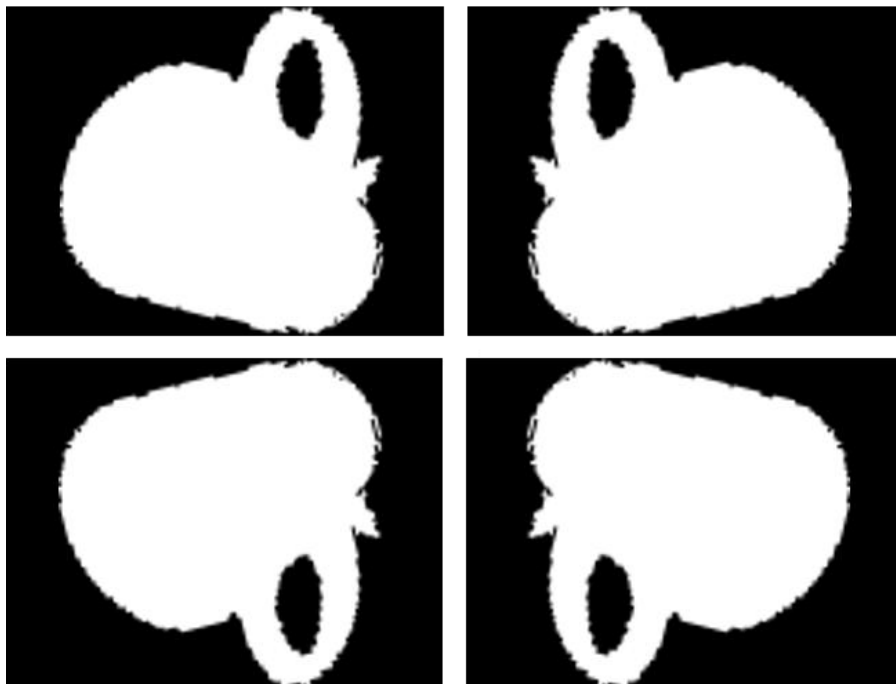
Da bi ovaj algoritam uopšte imao smisla, bilo je neohodno da se obezbedi njegova invarijantnost na poziciju, orijentaciju i veličinu predmeta u izdvojenom primitivu, a ovo je obezbeđeno kroz više koraka koji su se sastojali iz morfoloških i geometrijskih transformacija slike (18). Najpre je bilo potrebno da se u izdvojenom primitivu uoči objekat najveće površine (zato što se dešavalo da se u toku morfoloških operacija pri njegovom izdvajanju, ili u toku kompresije slike, izdvoje usamljeni pikseli koji nisu povezani sa samim objektom) i da se pronađu njegove granice kako bi se dalja obrada vršila nad tim delom slike. Ta dalja obrada se sastojala od geometrijskih transformacija (Slika 2.6) u vidu rotacije i skaliranja dela slike u kome se nalazi predmet koji treba identifikovati.



*Slika 2.6 Rotacija i skaliranje slike u cilju invarijantnosti algoritma na poziciju, orijentaciju i udaljenost predmeta*

Za predmet koji je pronadjen u izdvojenom primitivu određen je ugao između njegove glavne dijagonale i horizontale, a zatim je izvršena odgovarajuća rotacija, čime se postiže da predmeti zauzimaju isti ugao prilikom poređenja. Invarijantnost na poziciju objekta od interesa je obezbeđena time što je izdvojen samo deo slike u kome se nalazi predmet, dok je skaliranje predmeta na uvek istu veličinu obezbedilo neosetljivost algoritma na njegovo stvarno rastojanje. Sam proces skaliranja se vrši tako što se predmet uvećava kako bi zauzeo najveći mogući deo slike 320x240 piksela, a da pri tome ne dođe do njegove deformacije. Ovo znači da se predmet uvećava sve dok ne popuni sliku po širini ili visini, u zavisnosti od njegovog oblika (Slika 2.6).

Procesom rotacije slike za ugao između glavne ose predmeta i horizontale su pokrivene sve *a-priori* poznate činjenice o njegovoj orijentaciji u odnosu na orijentaciju primitiva predmeta koji postoje u bazi i sa kojim će se tražiti maksimum u korelaciji. Međutim, informacija koja nedostaje da bi zaista bila obezbedjena invarijantnost na orijentaciju jeste odakle se računa početak i kraj glavne dijagonale i kako je u odnosu na glavnu orijentisana sporedna dijagonala. Zbog toga je neophodno da se korelacija računa za četiri moguća položaja u kome se glavna osa krajnjeg (skaliranog) primitiva poklapa sa horizontalom. Za stvarnu orijentaciju predmeta pretpostaviće se da je ona pri kojoj je korelacija maksimalna.



*Slika 2.7 Četiri moguće orijentacije sa kojima je neophodno vršiti poređenje*

Na ovom mestu je neophodno još jednom napomenuti da ovaj algoritam vrši poređenje predmeta samo prema njihovom obliku, dok veličina predmeta u njemu nema nikakvog uticaja. Ovo je omogućeno iz dva razloga. Prvi je prethodna procena površine i gruba klasifikacija nakon koje se na osnovu korelacije vrši poređenje samo onih predmeta koji su slične veličine, a drugi je opravdana pretpostavka o ograničenosti skupa predmeta sa kojima se vrši ovo poređenje, odnosno skupa predmeta koji će biti korišćeni u elektroterapiji.



## 2.5 Nalaženje odgovarajućeg hvata

Aktivnosti svakodnevnog života su radnje kojima se ljudi uobičajeno bave, uključujući svaku dnevnu aktivnost vezanu za brigu o sebi (hrana, higijena, oblačenje), posao ili odmor. Nemogućnost da se osoba posveti ovakvim aktivnostima se često uzima kao merilo njene onesposobljenosti nekom patologijom (19). Iz tog razloga došlo se na ideju da pri funkcionalnoj električnoj terapiji pacijenti hvataju neke predmete koji se koriste upravo u ovim aktivnostima. Takođe, težnja je da ovi predmeti imaju i neku funkciju, odnosno da se pokret ne završi hvatom, već da se produži upotrebom tog predmeta na neki funkcionalan način.

U elektroterapiji je takođe vrlo bitno da u odgovarajućoj meri budu zastupljena sva tri osnovna tipa hvata (*Slika 2.8*), odnosno načina u kojima se u 95% slučajeva od strane ljudske ruke formira sila koja se suprodstavlja predmetu da bi se on uhvatio. Lateralni хват podrazumeva držanje predmeta između palca i kažiprsta, transverzalno dlanu, kod palmarnog hvata predmet se oslanja upravo na dlan, dok se kod preciznog hvata prstima predmet drži paralelno dlanu. Ovo je, dakle, bilo drugo ograničenje pri izboru predmeta koje ćemo staviti u bazu podataka i nad kojima ćemo testirati naš algoritam.



*Slika 2.8 Lateralni, palmarni i precizni хват*

Nakon izbora predmeta preostalo je još da se za svaki od njih heurističkom analizom odredi odgovarajući хват. U eksperiment je bilo uključeno 13 predmeta i izvršen je nad 10 zdravih subjekata, pet muških i pet ženskih, između 20 i 25 godina starosti, od kojih su svi bili desnoruki. Svakom učesniku eksperimenta su jedan po jedan na sto postavljani predmeti od interesa i na video snimku je zabeleženo na koji način je svaki od predmeta uhvaćen. Kasnijim pregledom snimaka tabelarno je zabeležena procentualna raspodela hvata za svaki od korišćenih predmeta (*Tabela 2.2 Rezltati eksperimenta za nalaženje odgovarajuće strategije hvata* Tabela 2.2).

Pri eksperimentu se između ostalog pokazalo da se neki asimetrični predmeti hvataju na različite načine u zavisnosti od njihove orijentacije (na primer, šolja u slučajevima kada je drška vidljiva i kada nije). Iz tog razloga za ovakve predmete nije dovoljno samo izvršiti identifikaciju predmeta, već se radi pravilnog izbora hvata mora napraviti distinkcija i u njihovoj orijentaciji. To se postiže tako što se različite konfiguracije istog predmeta posmatraju kao različiti objekti, u bazi za njih postoje različiti primitivi, a odgovarajući хват se dobija na osnovu toga koji je od dva pomenuta primitiva više korelisan sa trenutno izdvojenim predmetom. Za ostale predmete je nakon njihove identifikacije odluka o hvatu krajnje jednostavna. Onaj хват koji su ispitanici najviše koristili pri hvatanju datog predmeta se proglašava odgovarajućim za identifikovani predmet.

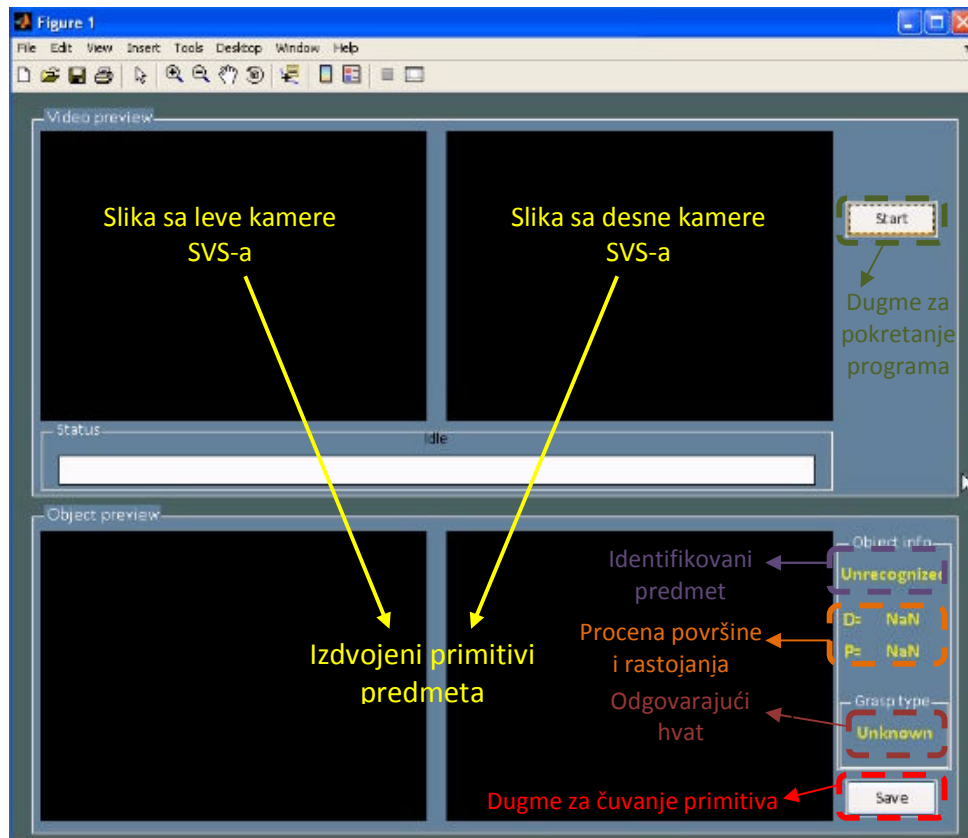
Predmet	Palmaro	Lateralno	Prstima	Sferično
Šoljica	20%	80%	0%	0%
Šolja (drška vidljiva)	0%	100%	0%	0%
Šolja (drška skrivena)	90%	10%	0%	0%
Dzezva	10%	90%	0%	0%
Tetrapak	100%	0%	0%	0%
Flašica	100%	0%	0%	0%
Disk	0%	0%	100%	0%
Češalj	10%	80%	10%	0%
Četkica	0%	80%	20%	0%
Olovka	0%	80%	20%	0%
Loptica	0%	0%	0%	100%
Mobilni	0%	10%	90%	0%
Ključ	0%	30%	70%	0%
Kašičica	0%	80%	20%	0%

**Tabela 2.2 Rezultati eksperimenta za nalaženje odgovarajuće strategije hvata**

Na kraju je potrebno istaći, da bi naš algoritam uspešno mogao da radi i ukoliko bi broj korišćenih predmeta, pa samim tim i baza u okviru koje se vrši njihovo raspoznavanje, u manjoj meri bio proširen, ali da je ideja da on radi na ograničenom skupu predmeta, pošto se FES uglavnom odvija na predmetima koji već postoje u klinici. Program će svakako uspešno da prepozna bilo kakav manji broj predmeta koji bi se koristili u okviru jednog tretmana, a ne bi bio veliki problem obezbediti da se pre početka same terapije od predmeta koji će u njoj biti korišćeni formira nova baza.

### 3. Rezultati

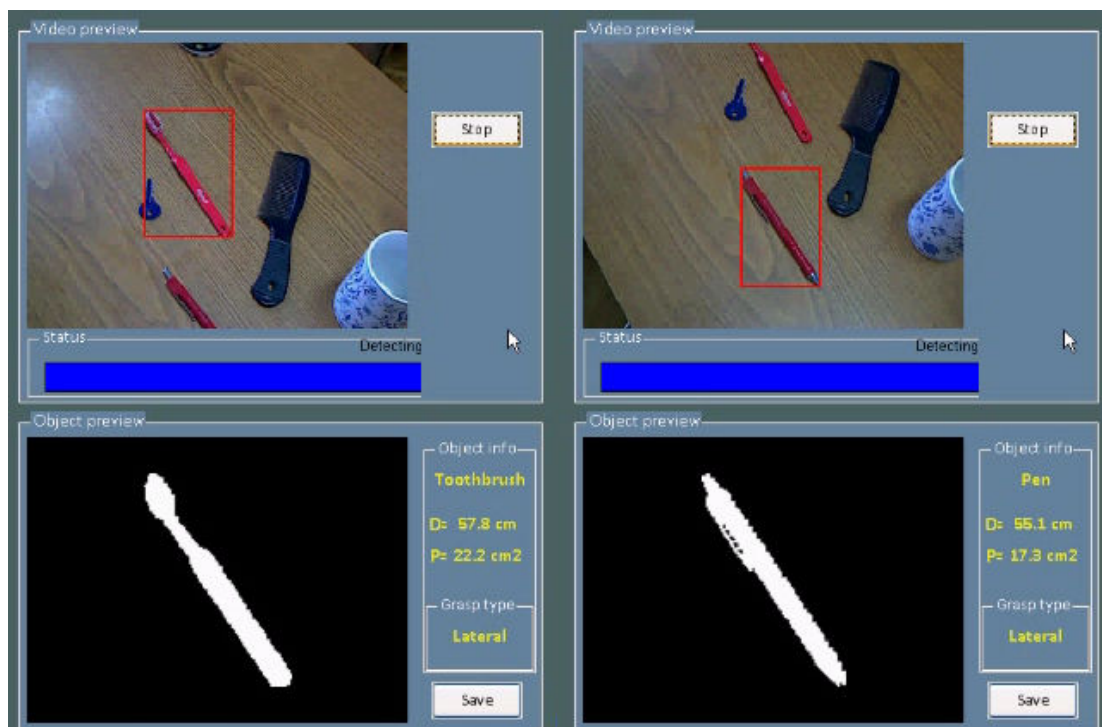
Za potrebe testiranja sistema u donošenju ispravnih odluka, kao i proveru vremenske zahtevnosti samog algoritma, u programskom paketu *MATLAB* razvijen je grafički korisnički interfejs koji omogućava praćenje veličina od interesa (Slika 3.1). U ove veličine ubrajamo procenu rastojanja i površine, izdvojene primitive na osnovu slika kamera, identifikovani predmet i njemu pri datoj orijentaciji odgovarajući hvat. U program je uključen *status bar* koji pokazuje u kom se od tri dela izvršavanja stimulacije pacijent trenutno nalazi (vreme ostavljeno za izbor predmeta koji će biti uhvaćen, nalaženje lasera i procena odgovarajućeg hvata ili vreme ostavljeno za samu realizaciju hvata) i dugme koje omogućava čuvanje izdvojenog primitiva predmeta radi njegovog kasnijeg dodavanja u bazu.



Slika 3.1 Grafički korisnički interfejs formiran u cilju testiranja sistema

Procena orijentacije predmeta je takođe parametar od interesa, ali kako se ona dobija ugrađenom *MATLAB* funkcijom, ne ispisuje se u okviru ovog prozora jer se smatra da će data procena biti zadovoljavajuće tačnosti. Nakon identifikacije predmeta, na osnovu informacije da li je taj predmet položen ili uspravan, na jednostavan način moguće je dobiti željenu orijentaciju ruke da bi taj predmet bio uspešno uhvaćen. Naravno, da bi stimulacija bila uspešna, osim orijentacije predmeta, potrebno je poznavati i orijentaciju ruke pre njenog izvršavanja, ali to je savim posebna problematika u koju nismo ulazili u toku izrade projekta.

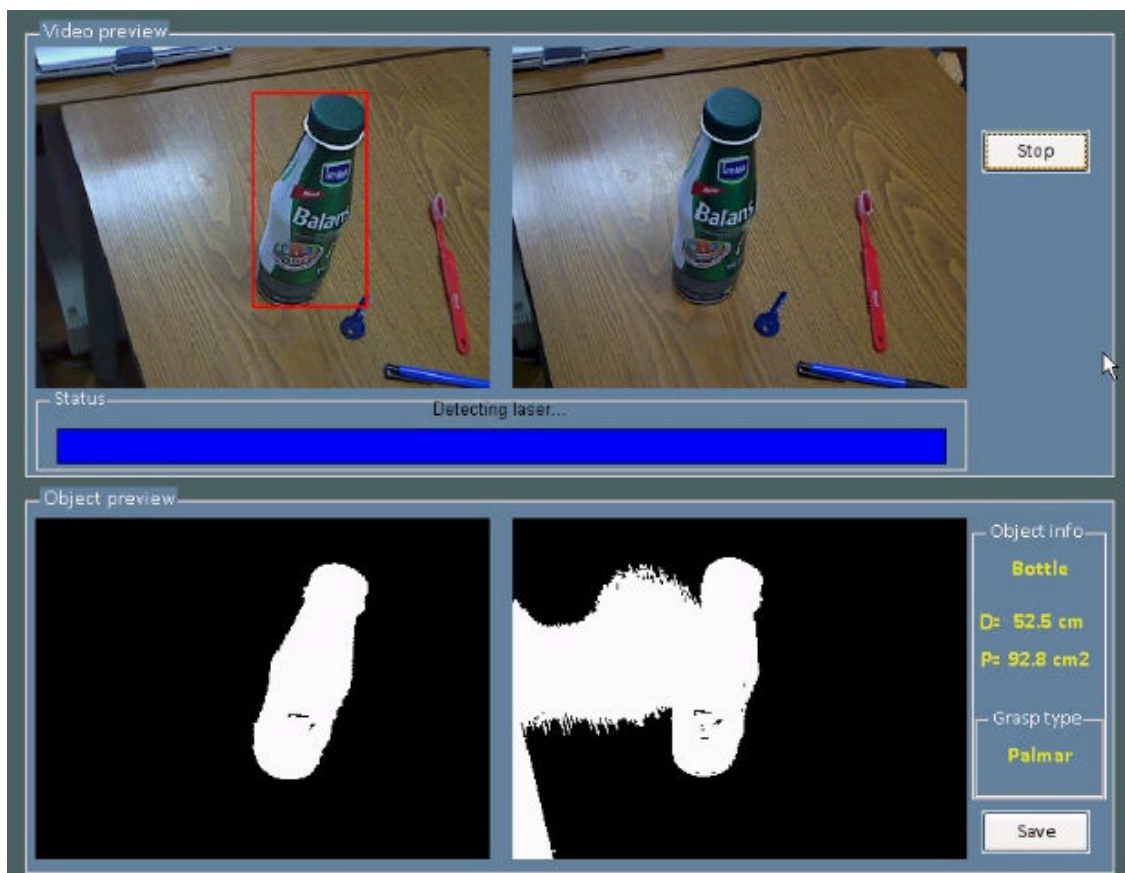
Praćenjem rada sistema, došli smo do zaključka da će nakon ispravne detekcije laserskog markera i izdvajanja primitiva ukazanog predmeta, sam proces njegove identifikacije u 99% slučajeva biti uspešan. Jedini slučaj u kome se mogla javiti greška u ovom algoritamskom koraku jeste da četkica za zube ukoliko nije položena na bok bude identifikovana kao olovka. Medjutim, u najvećem broju slučajeva čak i izmedju ova dva predmeta, bez obzira na veoma sličnu površinu i bez obzira na to što je primitiv četkice u bazi dat u drugačijoj orijentaciji, distinkcija je uspešno uočena korelacionim algoritmom za identifikaciju (Slika 3.2). Naravno, čak i da je u ovom slučaju došlo do greške u identifikaciji, kako su za oba predmeta eksperimentalno dobijeni identični rezultati, ta greška se ne bi imala nikakav uticaj na konačni izbor hvata.



**Slika 3.2 Uspešna identifikacija četkice (levo) i uspešna identifikacija olovke (desno)**

Pogrešna identifikacija se mogla javiti u slučaju kada koordinate lasera nisu uspešno određene, zbog čega dolazi do pogrešne procene rastojanja, a ova greška se dalje odražava i na procenu površine predmeta. Kako se predmet poredi samo sa onima slične veličine, dešava se da se usled pogrešne procene površine predmet poredi samo sa manjim ili većim predmetima od sebe, zbog čega korelacioni algoritam ne može dovesti do valjane identifikacije. Kako su koordinate računane kao procena na dvadeset uzastopnih slika, u preko 90% slučajeva nije dolazilo do problema u njihovom određivanju, a do same greške je moglo doći iz dva razloga: prvi je postojanje reflektujućih površina crvene boje, koje u slici imaju karakteristike dosta slične laserskom markeru, a drugi je pomeranje SVS-a za vreme dok se vrši detekcija lasera, usled čega se može desiti da koordinate u jednoj slici budu određene za sasvim drugačiji položaj kamere. Jasno je da su ovo retki slučajevi koji se mogu izbeći ukoliko se poštuju neka pravila za korišćenje stereovizijskog sistema.

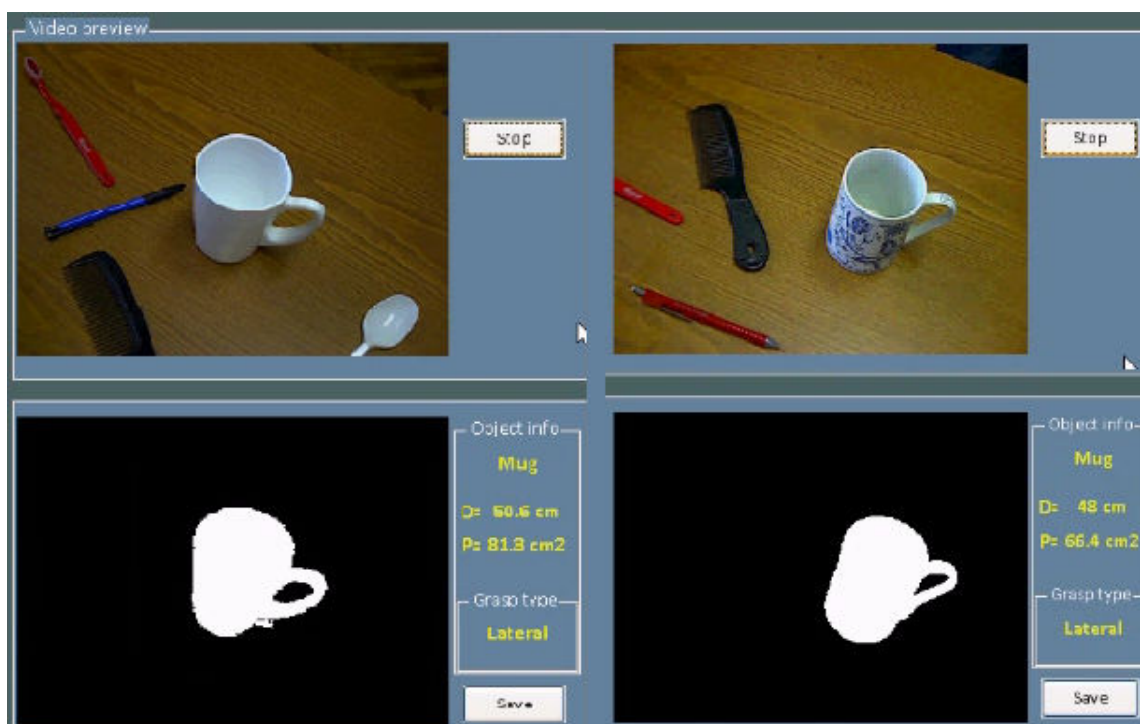
Još jedan korak u algoritmu u kome je moglo doći do greške jeste izdvajanje primitiva predmeta. Ovde je postojalo nekoliko uslova koji su morali biti zadovoljeni kako bi bilo moguće izvršiti izdvajanje ukazanog predmeta iz pozadine. Predmeti moraju biti dovoljno različite boje od podloge na koju su postavljeni kako bi uopšte bili uočeni u slici. U perspektivi barem jedne od kamera ne sme doći do preklapanja objekata kako bi bilo moguće jasno odredile granice datog predmeta. Intenzitet refleksije pozadine mora biti u nekim razumnim granicama, posebno u delovima slike koji se nalaze u okolini samog predmeta koji se želi izdvojiti iz scene, kako ona ne bi bila proglašena za deo predmeta. Ovaj uslov je delimično oslabljen time što će se identifikacija predmeta izvršiti na izdvojenom primitivu koji je manje površine, čime se dozvoljava da se ovakva scena javi u slici jedne od kamera (Slika 3.3).



**Slika 3.3 Refleksija na desnoj slici je prevelika, ali predmet je zahvaljujući slike sa leve kamere SVS-a ipak uspešno identifikovan**

Još jedan uslov koji je trebalo ispuniti, a vezan je za način na koji se vrši izdvajanje primitiva, jeste da predmeti ne smeju biti tako gusto raspoređeni da zauzimaju preko 50% snimljene scene. Takođe, predmeti se ne smeju nalaziti na samoj ivici podloge, odnosno ne smeju u perspektivi jedne od kamera izlaziti iz granica nečeg što je prepoznato kao pozadina. Ovaj problem se, međutim, ne može javiti kod položenih predmeta, zbog čega se preporučuje da se pri krajevima radnog prostora, kako bi se izbeglo spajanje predmeta sa nečim što se nalazi van njegovih granica, smeštaju upravo ovakvi predmeti.

Ono što je bitno istaći jeste da će ovako formiran sistem posedovati sposobnost generalizacije i da će u zavisnosti od oblika biti u stanju da većinu predmete koji pripadaju istoj klasi prepozna na odgovarajući način (Slika 3.4). Naravno, znajući da se odluke donose na osnovu slike, odnosno izdvojenog primitiva, ovo je vezano isključivo za oblik predmeta i moć generalizacije ne ide dalje od toga. Na primer, sve šolje na kojima smo testirali sistem su bile prepoznate kao šolja, dok češalj bez drške nije nikako mogao biti prepoznat na ispravan način, imajući u vidu da je u bazi postojao jedino primitiv češlja sa drškom. Dakle, treba imati u vidu da su u bazi poželjni primitivi predmeta koji najviše odgovaraju nekom opštem obliku, a da ukoliko se želi prepoznati predmet koji pripada datoj klasi, ali odudara od neke opšte forme, neophodno je da se u bazu ubaci i njegov primitiv.

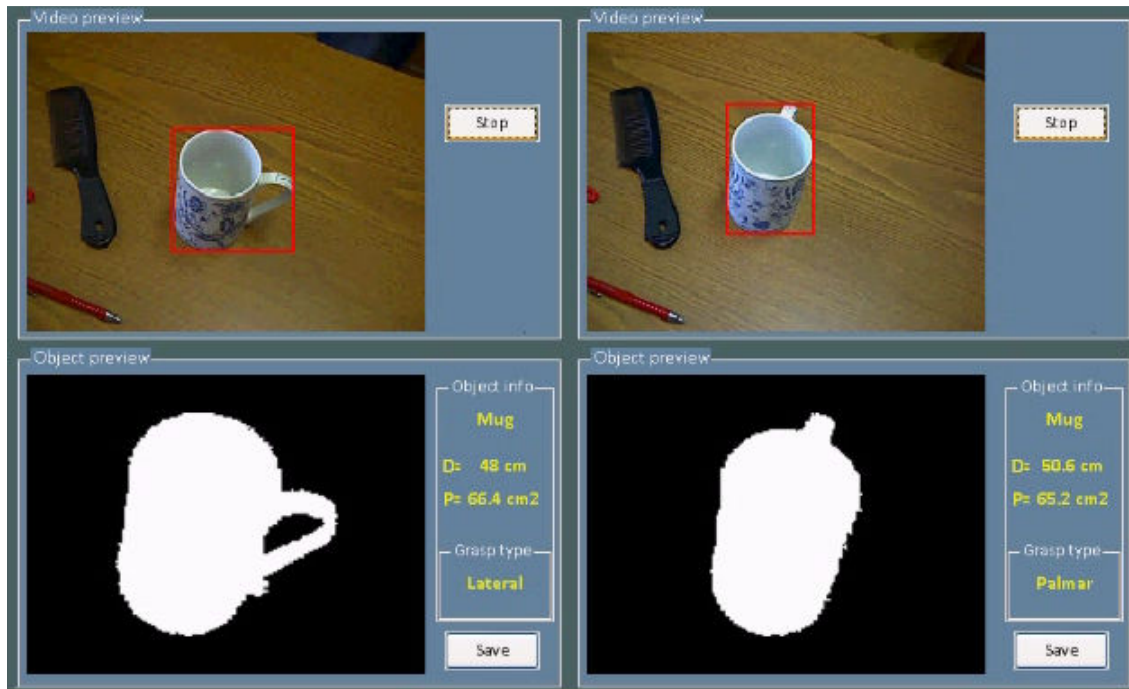


**Slika 3.4 Primer mogućnosti generalizacije i ispravnog prepoznavanja predmeta koji ne postoji u bazi**

Još jedan karakterističan primer rada, koji je pomenut u prethodnom poglavlju (2.5), jeste slučaj u kome jednom istom predmetu u zavisnosti od njegove orijentacije odgovara različita strategija hvata. Na predmetima koje smo mi koristili pri eksperimentu, ova osobina je bila primetna kod šolje, koju su ispitanici hvatali lateralno ukoliko je drška za njih bila vidljiva, dok su u 90% slučajeva upotrebljavali palmarni hvat kada bi šolja bila tako orijentisana da se drška nalazi sa njene zadnje stranje, usled čega ispitanik ne bi bio u stanju da joj vizuelno odredi tačnu poziciju. Ova osobina strategije hvata je uključena u sistem (Slika 3.5), međutim, kao što to obično biva, za neke dobre osobine je potrebno platiti cenu, a cenu koju mi plaćamo jeste da će naš sistem uvek kada drška u primitivu šolje nije vidljiva da se odluči za palmarni hvat. U slučaju kada se drška ne projektuje na ravan kamera zato što je okrenuta direktno ka ispitaniku, ovo će biti greška, jer datoj orijentaciji ipak više odgovara lateralni hvat. Sa druge strane, ovakva greška



nije velika, zato što će ispitanik biti u stanju da uhvati šolju palmarno, čak i kada je drška okrenuta ka njemu. Takođe, odlučivanje za lateralan hvat u slučaju kada sistem nije u stanju da odredi poziciju drške ne bi imalo nikakv praktični značaj, zbog čega se ovo može smatrati za najbolju moguću odluku ukoliko se ne poseduje 3D slika predmeta.



**Slika 3.5** Primer odlučivanja za različitu strategiju hvata u zavisnosti od orijentacije predmeta

## 4. Diskusija

Sistem je testiran na računaru koji je ispod današnjih standarda (*single core P4 3GHz, 1GB RAM*), ali zahvaljujući dobrom raspolaganju resursima, jednostavnom ali efikasnom algoritmu i nepostojanju dodatnih senzora, pokazao je izuzetne performanse po pitanju vremenske zahtevnosti. Trajanje akvizicije lasera je zavisilo od osvetljenosti radnog prostora, odnosno postojanja nekih refleksija u sceni i najčešće je zahtevalo nekoliko sekundi zato što se težilo što tačnijoj proceni, dok se sam proces identifikacije predmeta obavljao gotovo trenutno, a u algoritam je čak i ubačena pauza od pola sekunde kako bi se ovaj korak bolje ispratio. Sa datom pauzom prosečno vreme izvršavanja celokupnog algoritma bilo je manje od 4 sec iz čega se može zaključiti da je moguće izvršiti sve potrebne operacije u realnom vremenu. Naravno, sama implementacija algoritma u nekom od *real-time* programskih jezika bi zahtevala detaljniju analizu vremenskih ograničenja i ubacivanje vremenskog uslova koji bi ograničio proces akvizicije lasera. Sa druge strane, uzevši u obzir primenu sistema, donošenje ispravne odluke je daleko važnije od poštovanja strogih vremenskih ograničenja, zbog čega u ovoj fazi izrade nismo ulazili dublje u datu problematiku.

Po pitanju ispravnosti rada, na ograničenom skupu predmeta koji smo koristili u eksperimentu, sistem je u procesu određivanja rastojanja, identifikacije predmeta i nalaženju odgovarajuće strategije hvata takođe pokazao veoma dobre rezultate. Međutim, usled nekih pretpostavki usvojenih prilikom sastavljanja algoritma, kao i usled ograničenja samog *hardware-a*, neophodno je poštovati sledeće uslove, kako bi rezultati bili zadovoljavajući:

- Na sceni nisu poželjni predmeti čije su površine izrazito sjajne i reflektujuće, zato što to može značajno usporiti nalaženje laserskog markera u slici ili čak dovesti do greške;
- Predmeti moraju biti neprozirni, kako bi bilo moguće odrediti njihove granice i izdvojiti odgovarajući primitiv;
- Senke objekata mogu postojati, ali njihov intezitet ne sme biti uporediv sa samim objektom;
- U perspektivi barem jedne kamere ne sme dolaziti do preklapanja predmeta;
- Površina na kojoj se nalaze predmeti mora biti relativno homogena boje (u suprotnom, neki motivi na njoj mogu biti prepoznati kao predmet).

Ono što je potrebno još jednom istaći, to je da je ovakav sistem formiran uz pretpostavku zatvorenog skupa predmeta koji će se upotrebljavati u elektroterapiji, i da će uspešnost u njihovoj identifikaciji opadati sa porastom broja predmeta koji se nalaze u bazi, što za posledicu ima ograničenja u proširivosti ovog skupa. Ograničenja u proširivosti će zavisiti od oblika predmeta u bazi, ali gotovo je izvesno da će algoritam jednako uspešno raditi na oko dvadeset predmeta. Jedan način da se ovo ograničenje zaobiđe je da se formira više baza sa različitim predmetima i da se svaki put pre početka terapije učita baza sa predmetima za koje se planira da će se koristiti tog dana. Druga mogućnost je da se programski omogući da se pre početka svake terapije isprazni baza i u nju ubace primitivi predmeta od interesa uz odgovarajuću strategiju hvata koja će se za svaki od datih predmeta primenjivati.



Naravno, ono što je sasvim sigurno, to je da iskorišćenost potencijala SVS-a nije potpuna, jer stereovizija uz računanje matrice dispariteta i određivanje mape dubina nudi mogućnost rekonstrukcije 3D slike objekta. Ova slika bi se mogla iskoristiti kao znatno pouzdaniji izvor informacija o orijentaciji predmeta, ali bi omogućila i znatno bolju klasifikaciji i pomogla bi u nalaženju odgovarajuće strategije hvata. Nažalost, takav pristup zahteva daleko skuplji i precizniji sistem, pre svega po pitanju optike i senzora kamera, koji bi bio i daleko zahtevniji u pogledu kompjuterskih resursa, a posle rezultata koje smo dobili, ostaje pitanje da li za nečim takvim uopšte ima potrebe.

Ono što jeste sledeći korak, to je da se obezbede uslovi portabilnosti i jednostavnosti korišćenja SVS-a. Pod ovime se podrazumeva odvajanje i nezavisnost od računara, čija je uloga bila da se provere neke ideje i koncepti, a za kojim sada, nakon uspešnog testiranja algoritma, više nema potrebe. Konačnu verziju algoritma moguće je, uz neke izmene, zapisati u nekom nižem programskom jeziku i omogućiti njeno izvršavanje u okviru *embedded* platforme koja bi bila ugrađena u sam SVS. Nakon zadovoljenja ovih uslova, uz odgovarajuću spregu sistema sa stimulatorom bilo bi moguće izvršiti prenos ove tehnologije u kliniku.

## Literatura

1. *Constraint Induced Movement Therapy: Some Thoughts About.* **van der Lee, Johanna H.** 2003, J Rehabil Med, pp. Suppl. 41: 41–45.
2. *Constraint-Induced Movement Therapy: A New Family.* **Taub, Edward, Uswatte, Gitendra and Pidikiti, Rama.** s.l. : Journal of Rehabilitation Research and Development, 1999.
3. *Clinical evaluation of Functional Electrical Therapy in acute.* **Popovic, Mirjana B., et al.** s.l. : Journal of Rehabilitation Research and Development, 2003, Vol. 40, pp. Pages 443–454.
4. *Neuroprostheses for grasping.* **Popovic, Milos R., Popovic, Dejan B. and Keller, Thierry.** s.l. : Forefront Publishing Group, 2002, Neurological Research, Vol. Volume 24.
5. **Motta, José Maurício S. T. and Jardim, Laércio Arraes.** An Eye-in-Hand Robotic Vision System for Recognition and Location of Objects based on Geometric Invariants. *ABCM Symposium Series in Mechatronics.* 2008.
6. *Horizontal and vertical disparity, eye position, and stereoscopic slant perception.* **Backus, Benjamin T, et al.** s.l. : Pergamon, 1999, Vision Research.
7. **Forsyth, David A. and Ponce, Jean.** *Computer Vision: A Modern Approach.* s.l. : Prentice Hall, 2003.
8. *Control of Prehension for the Transradial Prosthesis: Naturallike Image Recognition System.* **Klisić, Đorđe, et al.** s.l. : University of Belgrade,, 2009, Journal of Automatic Control. 19:27-31.
9. **Cyganek, Bogusław and Siebert, Paul J.** *An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms.* s.l. : John Wiley & Sons, Ltd., 2009. 978-0-470-01704-3.
10. *Stereovision System for Estimation of the Grasp Type for Electrotherapy.* **Marković, Marko and Štrbac, Matija.** 2010. ETRAN.
11. *Vision and Grasping: Humans vs. Robots.* **Chinellato, Eris and del Pobil, Angel P.** Berlin : Springer-Verlag, 2005. IWINAC.
12. **Kostić, Miloš.** *Diplomski rad.* s.l. : Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2009.
13. *Neural Networks for Visual Object Recognition Based on Selective Attention.* **Kaufmann, Ulrich, et al.** Ulster : SenseMaker Workshop on Life-Like Perception Systems, 2005.
14. *The WEKA Data Mining Software: An Update.* **Hall, Mark, et al.** 2009, SIGKDD Explorations, Vol. 11.
15. *Fuzzy sets in pattern recognition and machine intelligence.* **Mitra, Sushmita and Pal, Sankar K.** s.l. : Elsevier, 2005, Fuzzy Sets and Systems, pp. 381–386.
16. **Theodoris, Sergios and Koutroumbas, Konstantinos.** *Pattern Recognition.* s.l. : Elsevier, 2003. 0-12-685875-6.
17. *Tracking using MACH filter and Optical Cluttered Scenes and Variable Lighting.* **Quresh, Waqar Shahid and Alvi, Abu-Baqar Nisar.** World Academy of Science, Engineering and Technology.
18. **Gonzalez, Rafael C., Woods, Richard E. and Eddins, Steven L.** *Digital Image Processing Using MATLAB.* s.l. : Prentice-Hall, Inc., 2003. 0130085197.
19. MedicineNet.com. *Medical Dictionary.* [Online]