

# Analiza karakteristika raznih konfiguracija 3D kamera i preporuke za njihovo korišćenje

Marijana Stevanović Nešić  
JP RDU RTS  
Beograd, Srbija  
[marijanasn@yahoo.com](mailto:marijanasn@yahoo.com)

Ivana Milošević / Mirko Milošević /  
Mile Petrović  
SP Audio i video tehnologije  
Visoka škola elektrotehnike i računarstva  
Beograd, Srbija  
[petrovicvanja@yahoo.com](mailto:petrovicvanja@yahoo.com) / [mirko.milosevic@viser.edu.rs](mailto:mirko.milosevic@viser.edu.rs) /  
[petrovic.mile@yahoo.com](mailto:petrovic.mile@yahoo.com)

Vladimir Daković  
Elektrotehnički fakultet  
Beograd, Srbija  
[dakovicvlada@gmail.com](mailto:dakovicvlada@gmail.com)

*Sadržaj*—U radu je data analiza karakteristika raznih konfiguracija kamera za stvaranje 3D slike. Analizirane su konfiguracije sa paralelnim kamerama i konfiguracije sa ogledalima. Date su prednosti i mane jedne i druge konfiguracije, kao i preporuke za njihovo korišćenje.

*Ključne reči*—3D slika; sistem paralelnih kamera; 3D kamera sa beam splitterom; interaksijalna distanca; konvergentni ugao.

## I. UVOD

Snimanje i emitovanje u stereoskopskom obliku predstavlja pokušaj uspostavljanja analogije sa prirodnim načinom gledanja prostora i predmeta. Stereoskopija je mogućnost opažanja relativne dubine, omogućena različitom pozicijom očiju, poznata kao 3D (trodimenzionalni) vid. Važan parametar je interokularna distanca ili razmak, koji pokazuje koliko su međusobno razmaknuta sočiva levog i desnog oka. Generalno je uzeto da ona iznosi oko 65 mm, mada ona varira od osobe do osobe. Kod dece može da bude čak samo 50 mm. Primena ove prirodne osobine ljudskog oka na logiku analize slike stereo kamerom je ostvarena tako što objektiv stereokamere čine dva međusobno razmaknuta objektivna. Na ovakav način dobijaju se dve slike, na kojima se međusobne udaljenosti pojedinih delova razlikuju. Ako se slike posmatraju tako da levo oko vidi levo, a desno desnu sliku, vizuelni sistem će ih spojiti u jednu trodimenzionalnu sliku. U procesu stvaranja 3D slike, dve kamere (simulirajući levo i desno oko) posmatraće jednu sliku iz dva različita ugla i na taj način formirati "levu" i "desnu" sliku. Pri reprodukciji, prisustvo te dve slike stvara iluziju dubine prikazanog prostora. Potrebno je da što više objekata bude u fokusu kako bi se smanjio zamor očiju, glavobolja, pa čak i mučnina prilikom gledanja 3D sadržaja. [1]

U ovom radu biće data analiza karakteristika sistema paralelnih kamera i sistema kamera sa ogledalima.

## II. 3D KONFIGURACIJE KAMERA

U primeni je nekoliko vrsta 3D konfiguracija u odnosu na način kombinovanja položaja i optike kamera: 3D konfiguracija sa jednim senzorom, konfiguracija paralelnih kamera (*Side-by-Side*), konfiguracija sa ogledalima (*beam splitter*) i 3D kamera sa dva objektivna u jednom kućištu. Svaka od ovih konfiguracija pruža razloge za upotrebu u određenim okolnostima.

## III. KONFIGURACIJA PARALELNIH KAMERA (SIDE-BY-SIDE)

Za dobijanje 3D slike, kod konfiguracije paralelnih kamera, koriste se dve identične kamere, postavljene paralelno na jedinstvenom postolju sa interokularnim razmakom od 65 mm.

Geometrijska podešavanja se odnose na promenljivu interaksijalnu distancu, kao i na podešavanje interaksijalnog ugla koji zaklapaju optičke ose dve kamere.

Oprema koja se izrađuje po ovom principu se razlikuje po veličini, načinu postavljanja i podešavanja. (Sl. 1).



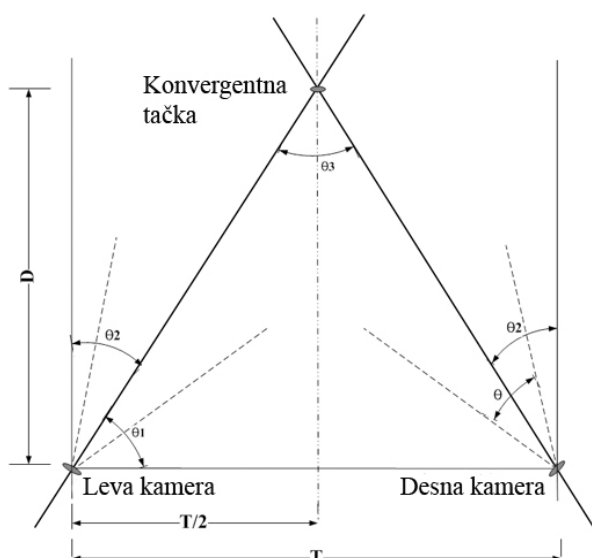
Slika 1. Tipičan izgled Side-by-Side konfiguracije

Kod ove vrste 3D konfiguracija, primenjuju se dva pristupa kod stvaranja 3D slike: metoda konvergirajućih i metoda paralelnih kamera.

Kod metode konvergirajućih kamera (*Toed-in axes*), (Sl. 2), optičke ose (*Optical Axes*) kamera seku se na ivici ravni posmatranja, odnosno u tački konvergencije. Iznos razlike slike (3D dubine) zavisi pre svega od udaljenosti između kamera, ali takođe direktno zavisi od podešavanja objektivna kamere, veličine objekata i udaljenosti od tačke konvergencije.

Kod metode paralelnih kamera, kamere se postavljaju tako da imaju paralelne optičke ose. Promenom interaksijane distance može se menjati 3D dubina od najbliže do najdalje tačke. Udaljenost direktno utiče na nivo 3D efekta i smatra se najvažnijim fizičkim parametrom u stereoskopiji. Promenom ugla konvergencije između dve kamere utiče se na poziciju objekta u odnosu na kameru, odnosno da li će objekat biti "bliži" ili "dalji" od kamere. [1], [6]

Na Sl. 2 prikazan je odnos između interaksijalne distance i konvergentne tačke.



Slika 2. Odnos između interaksijalne distance i konvergentne tačke [3]

Jednostavna ilustracija za dve različite dimenzije interaksijalne distance (T) i konvergentnog rastojanja (D) i njihov uticaj na promenu konvergentnog ugla ( $\theta_3$ ) prikazana je u Tabeli 1. Izračunavanje se vrši prema formulama:

$$\theta_1 = \arctan(D / (T / 2)), \quad (1)$$

$$\theta_2 = 90^\circ - \theta_1, \quad (2)$$

$$\theta_3 = \theta_2 \times 2. \quad (3)$$

TABELA I. ODNOSI INTERAKSIJALNE DISTANCE I KONVERGENCIJE

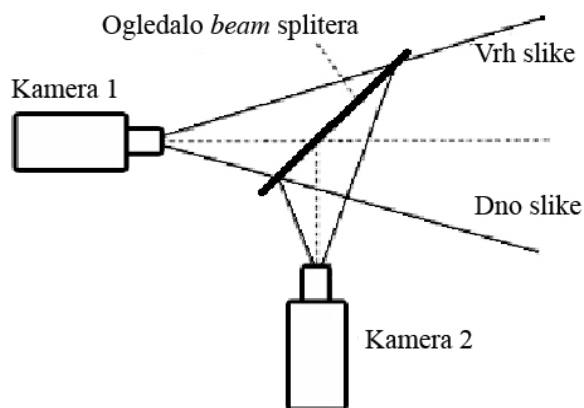
T (mm)	D (m)	$\theta_1^\circ$	$\theta_2^\circ$	$\theta_3^\circ$
100	4	89.2	0.8	1.6
100	10	89.7	0.3	0.6
200	4	88.5	1.5	3
200	10	89.4	0.6	1.2

Današnje televizijske i filmske kamere, pogotovo one koje koriste visoko kvalitetne objektivne, ne mogu da se postave jedna pored druge sa međusobnim razmakom od 65 mm. Objektivni, s jedne strane, moraju biti dovoljno veliki da bi obezbedili jednako visoku rezoluciju u celoj slici i potpunu horizontalnu i vertikalnu preciznost prilikom promene fokusa. S druge strane, objektivni moraju da prihvate i prenesu dovoljnu količinu svetla scene, što je bitno za kvalitet slike pri reprodukciji. Rešenje je nađeno u procesiranju slike, tako što se veštački, odnosno elektronski smanjuje razmak između objektivna i dovodi na 65mm.

#### IV. 3D PLATFORMA SA OGLEDALIMA (BEAM SPLITTER)

Za snimanje objekata koji su mnogo bliže kameri pogodnije je koristiti sistem sa ogledalima. U tom smislu, najpogodnije je koristiti sistem koji se sastoji od polu-posrebnog ogledala koje stoji pod uglom od 45 stepeni. U tom sistemu jedna kamera "snima" pravo kroz staklo, odnosno na nju pada svetlost sa scene koja prolazi kroz ogledalo, dok je druga kamera postavljena pod uglom od 90 stepeni u odnosu na prvu (gore ili dole, svedjedno) i prihvata reflektovanu svetlost, odnosno projektovanu scenu sa ogledala (*beam splitera*).

*Beam spliter* je optički uređaj koji se postavlja pod uglom od 45° i prema jednoj i prema drugoj kameri. Koristeći prizme ili ogledala, dolazno svetlo (*incident light*) se deli na dva dela. Konfiguracija 3D sistema kamera sa *beam spliterom* prikazana je na Sl. 3.



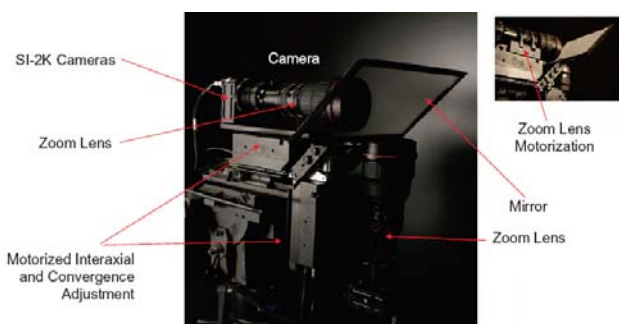
Slika 3. Konfiguracija 3D sistema kamera sa *beam spliterom* [4]

*Beam spliter* je dvosmerno ogledalo, koje 50% svetlosti reflektuje (*Reflected light*), a 50% svetlosti propušta (*Transmitted light*). Na Sl.4 prikazan je put deljenja svetlosti na *beam spliter-u*.



Slika 4. Deljenje svetlosti na beam spliteru [1]

Delovi kamere sa ogledalom prikazani su na Sl.5. Ogledalo (*beam splitter, Mirror*) deli svetlosni snop na dve optičke ose. Transmisiona kamera snima svetlosni snop koji prolazi kroz ogledalo. Refleksivna kamera snima odbijeno svetlo sa ogledala. Kontroleri interoptičkih i konvergentnih kretanja (*Motorized interaxial and convergence adjustment*) omogućavaju kalibraciju. Kontrole zuma, fokusa i blende omogućavaju sinhronizaciju ovih radnji za obe kamere. Mehaničke kontrole osnovnog kretanja kamere po X,Y i Z osi [1], predstavljaju minimum koji je potreban za kvalitetno snimanje.



Slika 5. Glavni delovi 3D platforme sa ogledalom [1]

Prednost ovog sistema je što interaksijalna distanca može tačno da se podesi i da ostane nepromenjena tokom čitavog snimanja. Nedostatak ovog sistema je što polu-posrebrano ogledalo ukupnu količinu svetlosti prepolovi za svaku kameru, pa su neophodni veoma kvalitetni objektivi i kamere kako bi se dodatno kompenzovao gubitak svetlosti.

Interaksijalna distanca kod ove 3D konfiguracije može biti jako mala, čak i do vrednosti nula.

#### V. POSTIZANJE PRECIZNOSTI OSNOVNIH TAČAKA

Postizanje preciznosti podrazumeva geometrijsko usklađivanje sistema kamere sa karakterističnim tačkama prostora. Ovaj process se naziva kalibracija. Za određivanje nule ugla konvergencije koriste se dve vrste tačaka za podešavanje: beskonačna tačka (*Infinity Target*) i najbliža/najdalja tačka (*Near/Far Target*).

Podešavanje beskonačne tačke primenjuje se i kod sistema sa *beam spliterom* i kod paralelne konfiguracije kamere. Na taj način se može postići velika preciznost, ali zahteva spoljne uslove rada. Ciljna tačka se postavlja visoko po vertikali, udaljena bar 100 m od sistema kamere. Što je veća udaljenost, preciznost podešavanja je veća. Na primer, da bi se postigla tačnost od  $0.02^0$ , za paralelne konfiguracije od  $4''$  IO,

najmanja udaljenost beskonačne tačke je 290m. Za istu tačnost, za konfiguracije sa *beam spliterom* od  $1''$  IO, minimalna udaljenost beskonačne tačke je 73m. [5]

IO je interokularna distanca, koja u praksi pri kalibraciji predstavlja interaksijalnu distancu (*Interaxial Distance*), odnosno rastojanje između optičkih osa kamere.

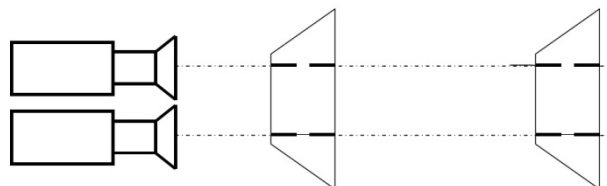
Podešavanje najbliže/najdalje tačke se razlikuje od vrste 3D konfiguracije.

Kod kamere sa *beam spliterom* postavljaju se dve test površine (test karte) za posmatranje u liniji sa fiksiranom kamerom, kao što je prikazano na Sl.6.

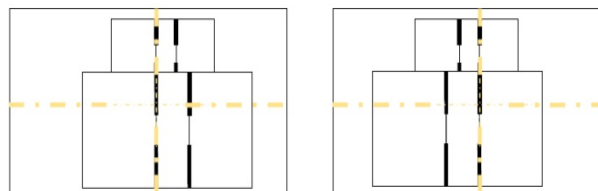


Slika 6. Princip kalibracije 3D kamere sa beam spliterom [5]

Kod kamere sa paralelnom konfiguracijom, podešavanje se vrši na testovima sa proredom, koji su prikazani na Sl.7 i Sl.8. Podešavanje se zasniva na postizanju toga da se slike obe test površine posmatrane nerotirajućom kamerom vide u centru kadra. Interokularna distanca i konvergencija se podešavaju tako da se slike sa obe kamere poklapaju.



Slika 7. Princip kalibracije paralelnog 3D sistema kamere [5]



Slika 8. Test posmatran levom i desnom kamerom [5]

Vidno polje kamere treba da bude usklađeno sa odgovarajućim parom najbliže/najdalje tačke. Podešavanje konvergencije i interaksijalne distance predstavlja usklađivanje odgovarajućeg para linija na testu.

#### VI. ZAKLJUČAK

U 3D televiziji odnosno stereoskopiji važna karakteristika jeste interokularna distanca ili razmak, koja pokazuje koliko su međusobno razmaknuta sočiva levog i desnog oka, odnosno objektivi u 3D konfiguraciji kamere.

Danas se najčešće u stvaranju 3D slike koriste dve konfiguracije: konfiguracija paralelnih kamere i konfiguracija sa ogledalima. I kod jedne i kod druge konfiguracije javljaju se mehanički i optički problemi.

Paralelne 3D konfiguracije imaju ograničenja u pogledu interaksijalne distance. Zbog same konstrukcije interaksijalna distanca ima konačno malu vrednost, pa se ovakva konfiguracija koristi u slučajevima kada se radi u velikim prostorima, na srednjim i velikim udaljenostima.

Kod konfiguracije sa ogledalima prednost je ta što interokularna distanca može tačno da se podesi i ostane nepromenjena tokom čitavog snimanja. Zbog toga se ona koristi za snimanja na vrlo malim udaljenostima od objekata.

Nedostatak ovog sistema je taj što ogledalo ukupnu količinu svetlosti prepolovi za svaku kameru, pa su neophodni veoma kvalitetni objektiv i kamere kako bi se dodatno kompenzovao gubitak svetlosti. Kvalitetni objektiv su skupi i po dimenzijama prilično veliki. Pored toga ovu konfiguraciju prate i neki mehanički problemi, kao što su skupljanje prašine na ogledalu, površina ogledala nije savršeno ravna, ima sklonost krivljenja i površina ogledala je hromatski asimetrična.

#### VII. ZAHVALNICA

Ovaj rad rađen je u okviru istraživanja na projektima TR 35026, III 47016 i III 044006, Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Srbije.

#### LITERATURA

- [1] Bernard Mendiburu, "3D TV and 3D Cinema, Tools and Processes for Creative Stereoscopy" Focal Press, 2012. Clerk Maxwell, A Treatise on

Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.

- [2] <http://www.flickr.com>
- [3] Seong-Mo An, Rohit Ramesh, Young-Sook Lee and Wan-Young Chung, "Interaxial Distance and Convergence Control for Efficient Stereoscopic Shooting using Horizontal", World Academy of Science, Engineering and Technology 59 2011
- [4] Inventors: Bernard J. Butler Smith, Malibu Lake, CA (US); Steven J. Schklair, Altadena, "Two Camera Stereoscopic 3D Rig Improvements", Jun. 21, 2007
- [5] Preston Cinema Systems, "Calibration Procedures for 3D Rigs", 1659 Eleventh Street, Santa Monica, CA 90404
- [6] M. Stevanović Nešić, M. Petrović, I. Petrović, "Rezultati korišćenja različitih pristupa u snimanju 3D slike sistemom paralelnih kamera", Infoteh – Jahorina, Vol.11, March 2012, pp. 942-946.

#### ABSTRACT

In this paper we analyze the characteristics of various camera configurations for creating 3D images. Configurations that were analyzed are with parallel cameras and cameras with mirrors. The advantages and disadvantages of both configurations, as well as recommendations for their use are given.

#### ANALYSIS OF CHARACTERISTICS FOR VARIOUS 3D CAMERA CONFIGURATIONS AND RECOMMENDATIONS FOR THEIR USE

Marijana Stevanović Nešić, Ivana Milošević, Mirko Milošević, Mile Petrović, Vladimir Daković