

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

SEMINAR

Primjene 3D rekonstrukcije scene iz slijeda slika

Ivan Šakić

Voditelj: *Doc.dr.sc. Siniša Šegvić*

Zagreb, svibanj, 2009.

Sadržaj

1. Uvod.....	3
2. 3D rekonstrukcija iz slika.....	4
2.1. Geometrija jednog pogleda na scenu.....	4
2.2. Geometrija dvaju pogleda.....	5
2.3. Geometrija više pogleda.....	6
3. pristupi za ostvarenje rekonstrukcije.....	7
3.1. Podjela s obzirom na ograničenja položaja kamera.....	7
3.2. Podjela s obzirom na dostupnost slika.....	7
4. Pregled postojećih rješenja i postignutih rezultata.....	8
4.1. Poznati položaji kamera.....	8
4.1.1. STEREO.....	8
4.1.2. STARFLAG.....	10
4.1.3. Virtual Earth.....	12
4.2. Gibanje kamere u vremenu.....	14
4.2.1. The Oxford team's machine.....	14
4.2.2. iSM.....	15
4.3. Proizvoljni položaj kamera.....	18
4.3.1. MVS.....	18
4.3.2. Photosynth.....	19
5. Zaključak.....	23
6. Literatura.....	24
7. Sažetak.....	26

1. Uvod

Zadaća računalnog vida jest da automatski izluči i analizira korisne informacije o svijetu i to iz slike, skupa slika ili slijeda slika upotrebom računala opće namjene ili specijaliziranog računala.

U ovom radu ukratko ćemo pokazati različite pristupe 3D rekonstrukcije scene, pregled nekih postojećih rješenja i postignutih rezultata.

Sustavi sa sposobnošću automatskog obnavljanja 3D rekonstrukcije scene korisni su nam iz više razloga i nalaze primjenu u mnogim djelatnostima. Područja primjene se mogu podijeliti na tri osnovna načina: autonomna navigacija (engl. autonomous navigation), proširena stvarnost (engl. augmented reality) i modeliranje (engl. modelling).

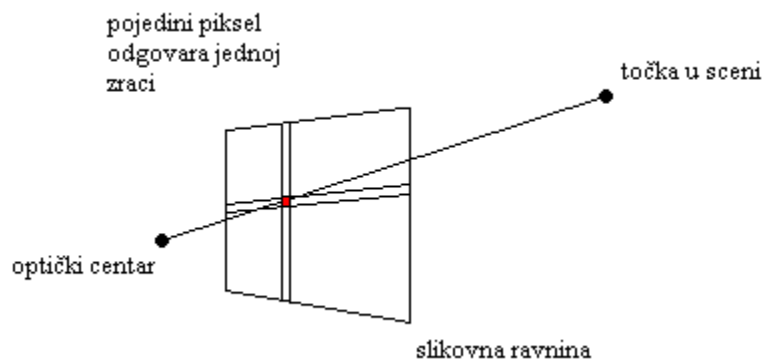
Autonomna navigacija omogućuje kretanje i snalaženje robota ili vozila u prostoru bez ljudske pomoći. Iako je ovo izazovan zadatak, razvijeni su sustavi koji daju zadovoljavajuće rezultate. Proširena stvarnost dodaje elemente virtualnog okruženja u stvarni slijed slika na način da izgledaju kao dio stvarnog svijeta. Time se korisnikovo viđenje svijeta proširuje dodatnim informacijama. Modeliranje 3D virtualnog modela nekog objekta iz scene postaje sve popularnije u obrnutom inženjerstvu (engl. reverse engineering).

2. 3D rekonstrukcija iz slika

U ovom poglavlju su pokazani osnovni načini promatranja scene te njena rekonstrukcija iz slijeda slika.

2.1. Geometrija jednog pogleda na scenu

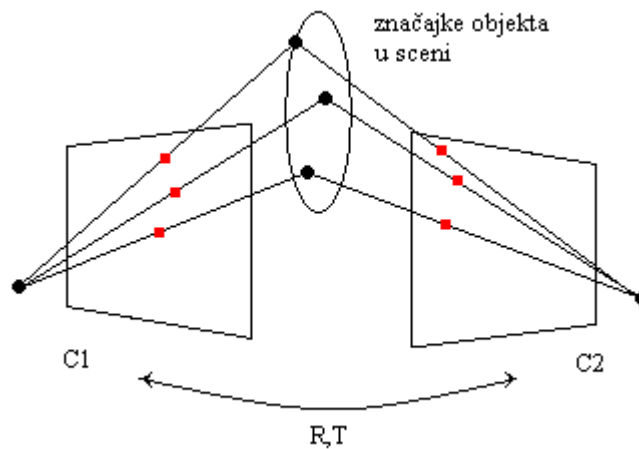
Da bismo mogli rekonstruirati scenu iz slika pribavljenih sa samo jednom kamerom potrebno je da ona bude kalibrirana. Kalibracija (umjeravanje) kamere znači da smo definirali vezu između koordinatnog sustava kamere i koordinatnog sustava scene. Kalibracija jedne kamere pomoću poznate scene zahtijeva da imamo skup točaka poznatih koordinata svijeta koje su neplanarne (nisu u istoj ravnini). Snimanjem odredimo koordinate projekcija tih točaka u ravninu slike. U praksi to se svodi na određivanje širine vidnog polja i modeliranje različitih izobličenja (npr. radijalna distorzija). Na jednostavnom primjeru (slika 2.1) prikazat ćemo problem kalibracije.



Slika 2.1. Problem određivanja koja zraka pripada pojedinom pikselu

2.2. Geometrija dvaju pogleda na scenu

Kod geometrije dvaju pogleda imamo zadatak iz dvije slike odrediti korespodentne točke, estimaciju kretanja i estimaciju strukture. Problem korespodentnih točaka se svodi na određivanje (praćenje i općenito uparivanje) zajedničkih značajki scene u obje slike. Estimacija kretanja je određivanje euklidskog pomaka između dvije kamere. Taj pomak ima 6 stupnjeva slobode: rotacija za kut α po x osi, rotacija za kut β po y osi, rotacija za kut γ po z osi te translacija po x, y i z osi koordinatnog sustava. Estimacija strukture je određivanje položaja točaka triangulacijom.



Slika 2.2. Prikaz geometrije dvaju pogleda

Teorija geometrije dvaju pogleda kaže da se scena može jedinstveno rekonstruirati ako imamo 6 točnih korespodencija. Međutim, veza između parametara koje estimiramo (kretanje i struktura) te ulaznih podataka (koordinata korespodentnih točaka) je jako složena i nelinearna.

Dobivena rekonstrukcija mnogo ovisi o greškama koje se mogu pojaviti na ulaznim podacima. Postoje dvije vrste takvih greški, a to su šum i asocijacijske pogreške. Zbog složene veze i mali šum uzrokuje veliki pomak rješenja. Utjecaj asocijacijske pogreške na rješenje može biti proizvoljno velik.

Zbog težine problema, što više znamo to je bolje po nas. U interesu nam je da nađemo što veći broj korespodentnih točaka. Problem se olakšava kad imamo kalibriranu

kameru i kad znamo položaj kamera, čak i ograničenja na položaje pomažu (npr. kod praćenja značajki).

Rješenja dobivena izravnim metodama mogu se poboljšati optimizacijom, najčešće gradijentnom (Bundle Adjustment).

Kada napravimo rekonstrukciju scene opet nam ostaje problem apsolutnog mjerila. Apsolutno mjerilo rekonstrukcije se ne može odrediti. Npr. ako rekonstruiramo neku zgradu i njen umanjeni model ne možemo reći koja rekonstrukcija je stvarna zgrada a koja je rekonstrukcija umanjenog modela te zgrade.

2.3. Geometrija više pogleda na scenu

Poopćenjem geometrije dvaju pogleda na više pogleda problemi se ne mogu riješiti, naprotiv oni se povećavaju. I dalje ne možemo odrediti apsolutno mjerilo a pojavljuje se i dodatni problem konzistencije mjerila.

3. Pristupi za ostvarivanje rekonstrukcije

3.1. Podjela s obzirom na ograničenja položaja kamera

Položaj kamera možemo podijeliti na sljedeći način:

- poznati položaj kamera
- gibanje kamere u vremenu
- proizvoljni položaj kamera

Poznati položaj kamera znači da znamo euklidsku udaljenost među njima (6 stupnjeva slobode). Za gibanje kamere u vremenu imamo i podslučaj gibanja kalibriranog stereo para kamera.

Za 1. i 2. slučaj obično možemo koristiti kalibriranu kameru, ali postoje i pristupi koji rade sa slijedom slika iz kamere koja ima promjenljivu širinu vidnog polja (engl. zoom). Tada se mora izvršavati autokalibracija (samoumjeravanje) kamere.

3.2. Podjela s obzirom na dostupnost slika

Dostupnost slika pri rekonstrukciji možemo podijeliti na sljedeći način:

- obrada svih slika scene odjednom
- slijedna obrada u skladu s redoslijedom pristizanja slika

U prvom slučaju poznate su nam sve slike scene i rekonstrukcija se izvršava samo jednom (engl. offline), a kod slijedne obrade rekonstrukciju poboljšavamo u vremenu s pristizanjem novih slika scene (engl. online).

Tehnika SLAM (engl. Simultaneous Localization and Mapping), koja se koristi u autonomnoj navigaciji robota i vozila upotrebljava slijednu obradu slika. Ideja je da prilikom kretanja kamere istovremeno gradi karta (engl. map) nepoznate okoline i određuje trenutna pozicija. Rezultati rekonstrukcije se poboljšavaju obradom novih slika.

4. Pregled postojećih rješenja i postignutih rezultata

4.1. Poznati položaji kamera

4.1.1. STEREO (engl. Solar Terrestrial Relations Observatory)

Jedan od ciljeva NASAinog istraživačkog programa STP (engl. Solar Terrestrial Probes) je bio prikupljanje slika i 3D rekonstrukcija sunčevih oluja.

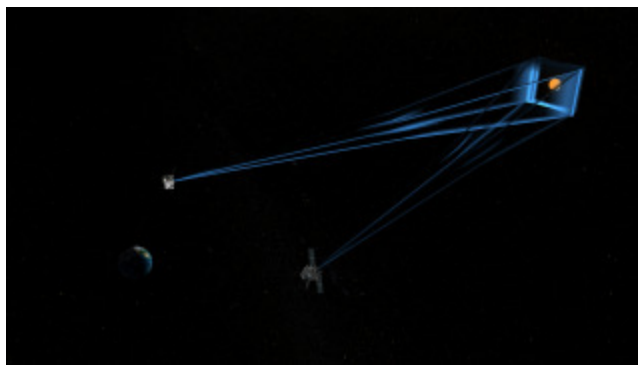
Za potrebe tih istraživanja razvijen je par satelita pod nazivom STEREO, koji je imao zadaću pribavljanja slika. Da bi se mogla napraviti 3D rekonstrukcija, jedan od satelita se nalazio ispred, a drugi pored planeta Zemlje kružeći po Zemljinoj orbiti oko Sunca. Pri tom kretanju sateliti istovremeno pribavljaju slike. Dobivena rekonstrukcija omogućuje precizna mjerenja brzine, trajektorije i 3D oblika sunčanih oluja (engl. solar storm). Ovaj par satelita je napravio prvu 3D rekonstrukciju Sunca.

Promatranja iz NASAinih STEREO satelita daju novi pristup znanstvenicima u proučavanju sunčanih oluja.

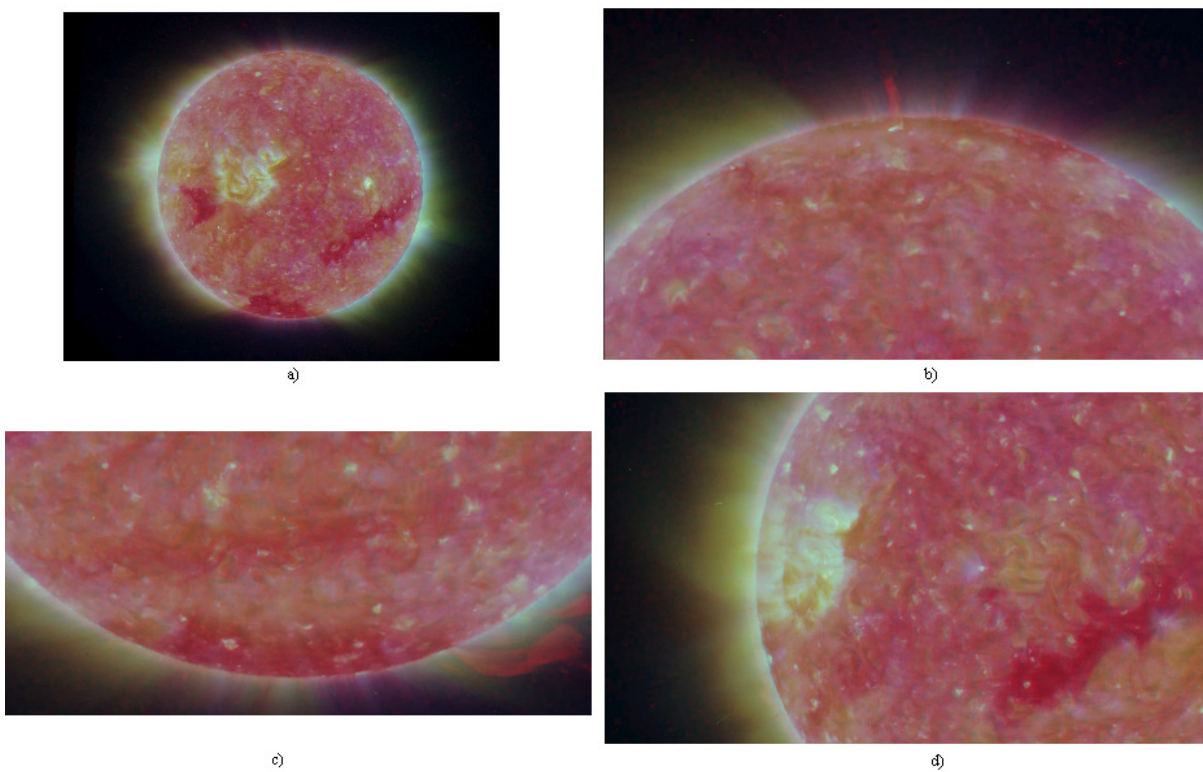
Postignuti rezultati

Na NASAinim [www](http://www.nasa.gov) stranicama¹ mogu se pronaći informacije i rezultati misije 3D rekonstrukcije Sunca. U nastavku je prikazan način pribavljanja slika pomoću STEREO satelita i neki dobiveni rezultati.

¹ http://www.nasa.gov/mission_pages/stereo/news/stereo3D_press.htm



Slika 4.9. Međusobni položaj satelita i Zemlje pri snimanju Sunca



Slika 4.10. Rekonstrukcija Sunca i njegove vanjske atmosfere tzv. korone

4.1.2. STARFLAG

Za fenomen kolektivnog ponašanja životinja grupa pod nazivom STARFLAG je razvila sustav koji omogućuje 3D rekonstrukciju jedinki iz jata. Konkretno, grupa je radila istraživanja na jatima ptica.

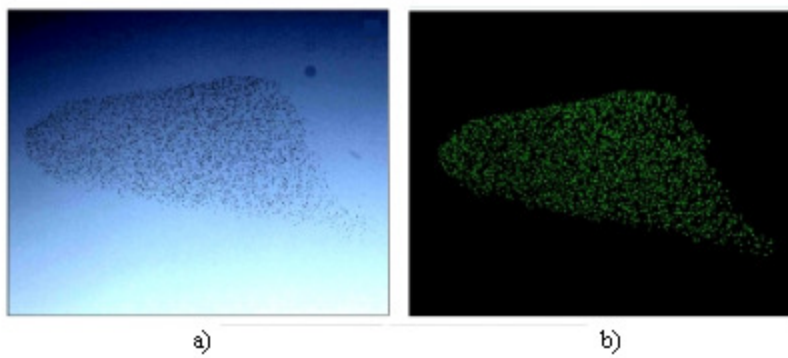
Sustav informacije o sceni pribavlja pomoću para stereo kamera među kojima je poznat pomak. Identificiranje ptica u sceni su riješili procesom koji se naziva segmentacija (u digitalnoj obradi slike). Uparivanje i 3D rekonstrukcija identificiranih ptica u stereo paru slika se onda vrši pomoću metoda epipolarne geometrije.

Iako je cilj grupe bio da odredi trajektoriju kretanja svake (odnosno većine) pojedine jedinke iz jata, do sada su uspješno riješili 3D rekonstrukciju jata iz jednog para slika. Uspješno uparivanje ptica u nekoliko uzastopnih parova slika drastično opada (s preko 90% u 1. paru slika do samo 12% u 20.), a s time i određivanje trajektorija. Pristup koji koriste za točnije izračune trajektorija u daljnjem razvoju sustava temelji se na metodama statističke fizike.

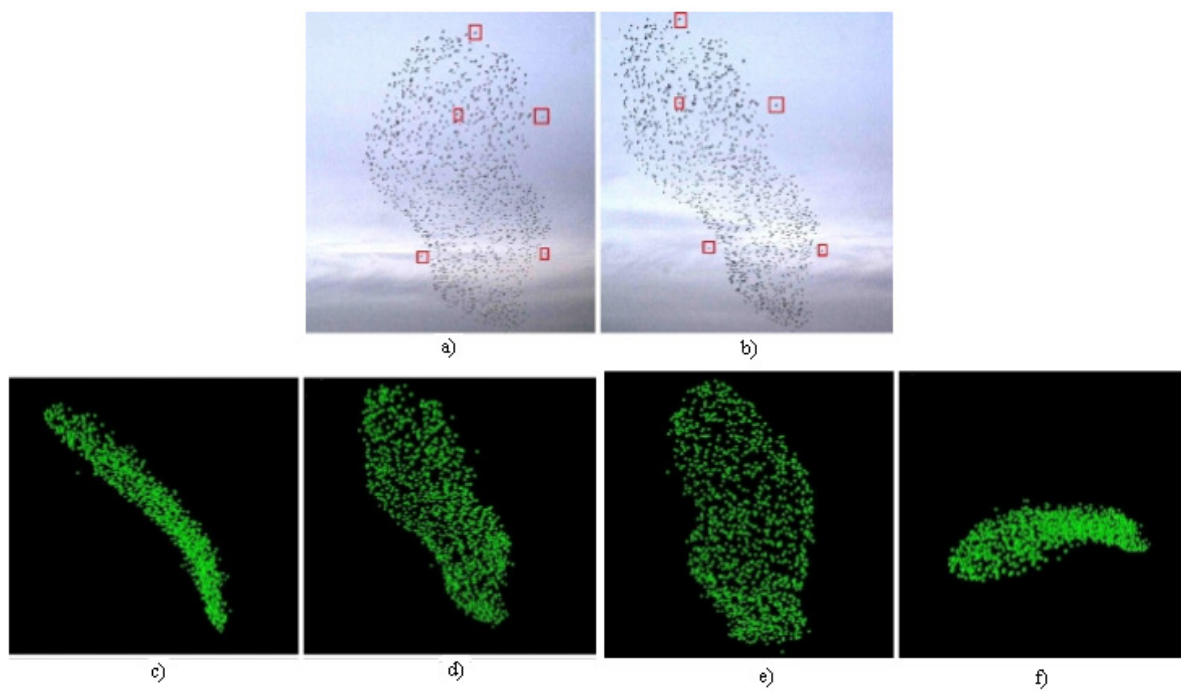
Ako ovaj projekt bude uspješno završen dati će novi pristup u tumačenju kolektivnog ponašanja zajednice. To može biti korisno u humanističkim i društvenim znanostima posebno u ekonomiji gdje se između ostalog proučava ponašanje potrošača.

Postignuti rezultati

Istraživanje kolektivnog ponašanja životinja je izazov znanstvenicima već preko 20 godina. Obećavajući rezultati i pomoć pri rješavanju tog problema mogu se pronaći u metodama računalnog vida. Prikazani su rezultati dobiveni na Sveučilištu “La Sapienza” (Rim, Italija) u okviru projekta STARFLAG.



Slika 4.12. Primjer slike jata ptica a) i 3D rekonstrukcije b)



Slika 4.13. 3D rekonstrukcija jata iz različitih perspektiva

4.1.3. Virtual Earth

Microsoftov projekt pod nazivom Virtual Earth ima za cilj napraviti 3D virtualnu kartu Zemlje. U projekt je uključeno nekoliko kompanija a glavnu ulogu među njima ima kompanija Vexcel (od 2006. u vlasništvu Microsofta). Ona je vodeća kompanija u proizvodnji opreme i sustava u području fotogrametrije.

Najveći izazov u projektu je bio prikupljanje velikog broja slika. U tom procesu je korištena specijalna digitalna aerofotogrametrijska kamera UltraCam napravljena upravo u Vexcelu, te velike baze podataka satelitskih slika drugih fotogrametrijskih kompanija. Pribavljanje slika se pomoću UltraCam kamere (sa rezolucijom od 90MP) se izvršava iz vozila i zračnim preletom područja koje je od interesa. Uzimajući u obzir GPS (engl. Global Positioning System) koordinate i pribavljene slike sustav izgrađuje 3D virtualni model scene.

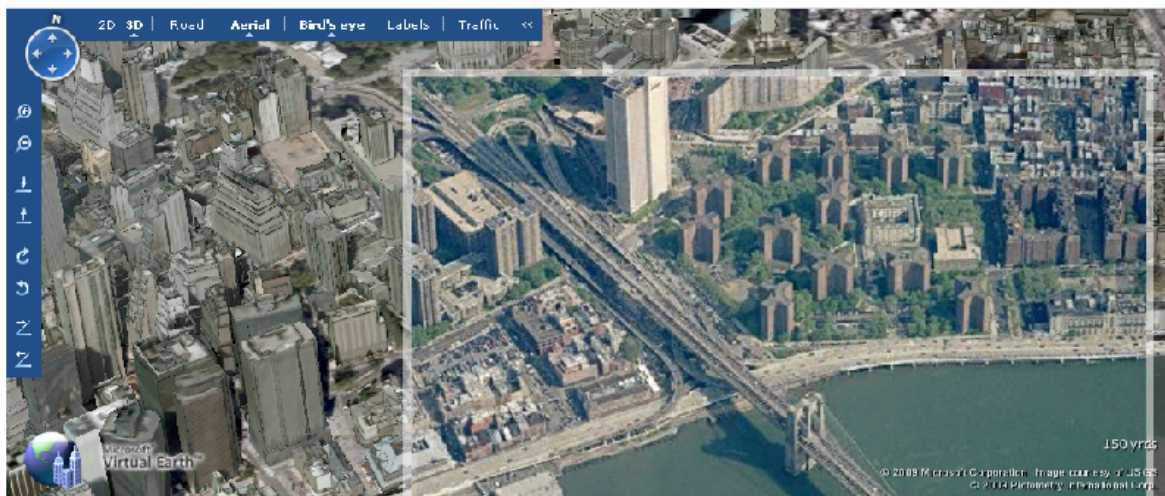
Virtual Earth je direktna konkurencija Google Earthu i javno je dostupan na [www stranici](http://www.virtualearth.com/)². Sustav omogućava virtualnu šetnju kroz realistično rekonstruirane gradove i unijet će revoluciju u načinu komunikacije i upoznavanju krajolika i urbanih dijelova Zemlje, izgradnji video igara i sl.

Postignuti rezultati

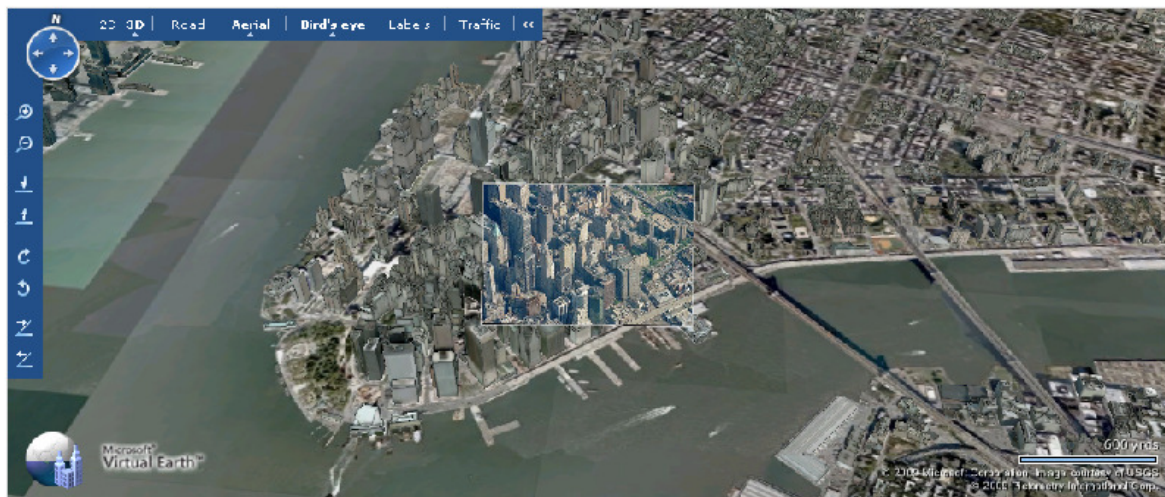
Mogućnosti Virtual Eartha mogu se istražiti na [www stranici](http://www.maps.live.com/)³ (potreban je dobar grafički procesor). Slijedi nekoliko primjera 3D rekonstrukcije Manhattana (NYC).

² <http://www.microsoft.com/virtualearth/>

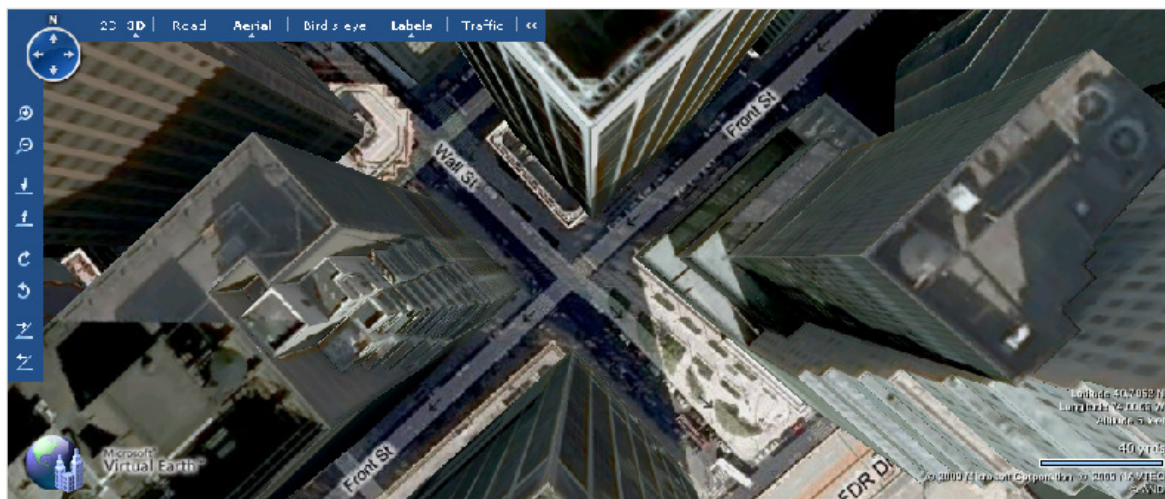
³ <http://maps.live.com/>



a)



b)



c)

Slika 4.11. Prikazi rekonstrukcije Manhattana iz različitih perspektiva (a), b) i c))

4.2. Gibanje kamere

4.2.1. . The Oxford team's machine

Računalni sustav ima sposobnost dodavanja virtualnih objekata u slijed slika pribavljenih kamerom u stvarnom vremenu. Informacije iz stvarne scene su prikupljene sa samo jednom kamerom. Pomoću tehnike koja se naziva usporedno lokaliziranje i mapiranje (engl. Simultaneous Localisation and Mapping - SLAM) moguće je izgraditi trodimenzionalan model na računalu. Također, moguće je izgraditi trajektoriju kretanja kamere u prostoru u stvarnom vremenu.

Ove osobine mogu poslužiti za djelotvorniju autonomnu navigaciju robota, dizajniranje interijera stambenih prostora i sl.

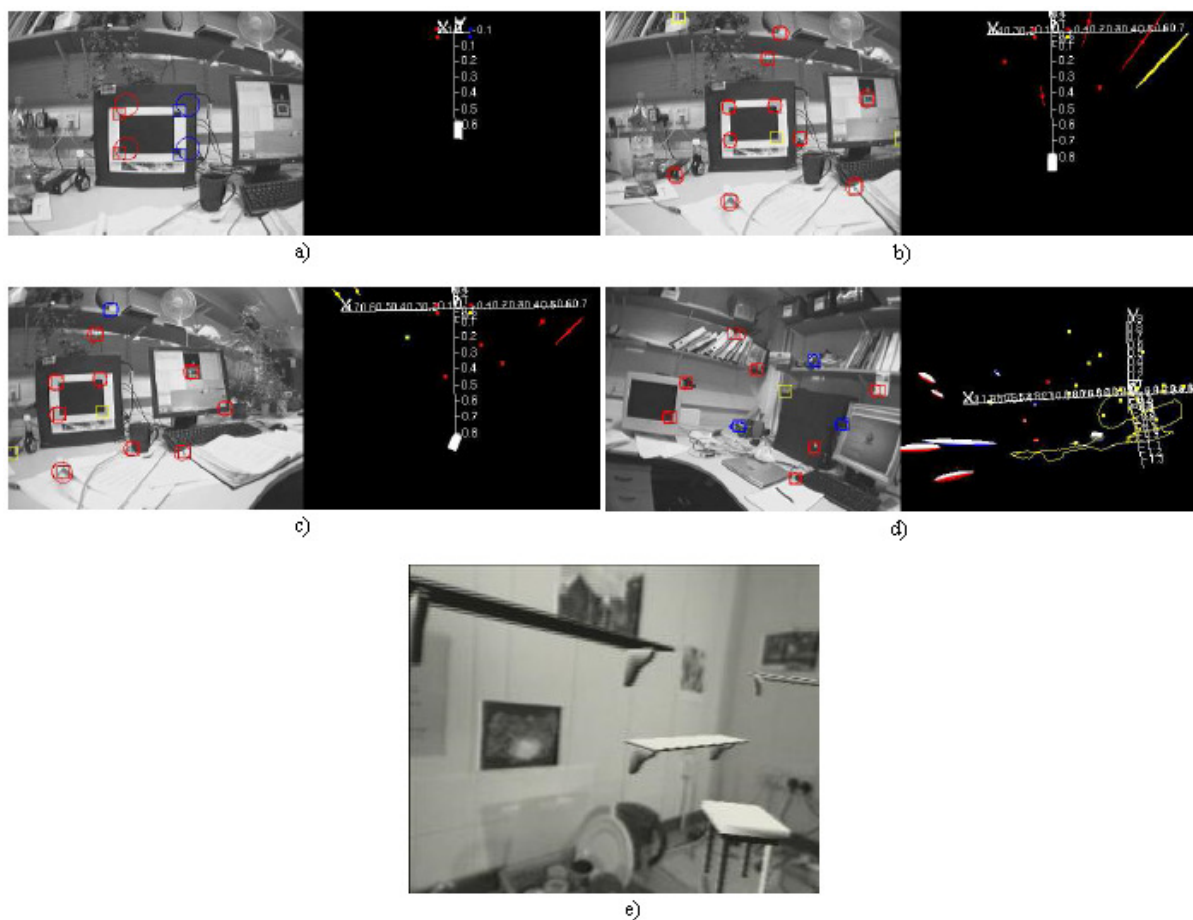
Na početku rada potrebno je inicijalizirati sustav tj. napraviti kalibraciju kamere s kojom sustav pribavlja informacije. The Oxford team's machine zahtijeva jedan objekt poznatih dimenzija da bi se kalibracija uspješno izvršila. Nakon toga sustav je sposoban da sam uzima značajke prostora i da uspješno rekonstruira trodimenzionalnu scenu.

Sustav je obogaćen i nekim specijalnim efektima poput dodavanja virtualnih predmeta koji se ne nalaze u sceni (npr. namještaj i sl.). Specijalni efekti na video snimkama se obično rade u studijima nakon što su se prethodno napravila snimanja.

Sustav je razvijen na Sveučilištu Oxford.

Postignuti rezultati

Prikazano je nekoliko faza u radu sustava, od početne inicijalizacije (pomoću 4 točke), prikupljanja značajki tijekom kretanja kamere (translacije i rotacije), te iscrtavanje trajektorije kretanja i konačnog rezultata 3D rekonstrukcije.



Slika 4.1. Na slici a) je prikazana početna inicijalizacija sustava. Slika b) i c) prikazuju prikupljanje značajki tijekom translacije i rotacije. Slika d) pokazuje cijelu trajektoriju kretanja kamere u sceni. Konačno, na slici e) pokazuje se 3D rekonstrukcija scene te virtualni objekti koji su dodani u scenu (npr. police)

4.2.2. . iSM (engl. instant Scene Modeler)

iSM je sustav koji ima sposobnost generiranja kalibriranih foto-realističnih 3D modela nepoznate okoline (scene). Sustav pribavlja informacije o sceni pomoću pokretne stereo kamere.

Iz informacija dobivenih pomoću stereo kamere sustav izračunava 3D informacije scene, određuje trajektoriju kretanja kamere te vrši registraciju slika iz para kamera.

Značajke scene se dobivaju pomoću SIFT algoritma (engl. scale invariant feature transform, autor David Lowe). Uparivanje dobivenih značajki iz lijeve i desne kamere se izračunava pomoću sljedećih kriterija: epipolarno ograničenje, ograničenje dispariteta, ograničenje orijentacije te ograničenje uvećanja. Također, sustav određuje trajektoriju kretanja kamere iz njenih 6 stupnjeva slobode (rotacija i translacija po x, y i z koordinati). Prednosti ovog sustava su mogućnost povećanja (engl. zoom) izabranog objekta u rekonstruiranom 3D modelu, mjerenje udaljenosti među objektima te pogled na scenu iz različitih kutova.

Korisnik postavlja stereo kameru u nepoznatu scenu koja ga zanima a sustav automatski stvara foto-realističan kalibriran 3D model scene u samo nekoliko minuta. Foto-realističan izgled rekonstrukcije se dobiva preslikavanjem slike kao teksture na dobivene 3D informacije scene.

iSM sustav se može koristiti u prilikama gdje je potrebno imati model scene a tu scenu je iz nekih razloga nemoguće vidjeti uživo ili je to dosta otežano. Takve prilike su npr. pregled i istraživanje područja koja su opasna po ljudski život (npr. minska polja ili ozračena područja), zatim za potrebe na sudovima gdje se želi prikazati 3D model scene krivičnog mjesta i sl.

Postignuti rezultati

Pribavljanje slika u ovom primjeru se izvršava ručno pokretanom stereo kamerom. Pribavljanje je trajalo 30 sekundi, a slike su u rezoluciji od 640x480. Sustav pokazuje da može uspješno integrirati i slike koje imaju dosta ograničen pogled na ukupnu scenu.



a)

b)

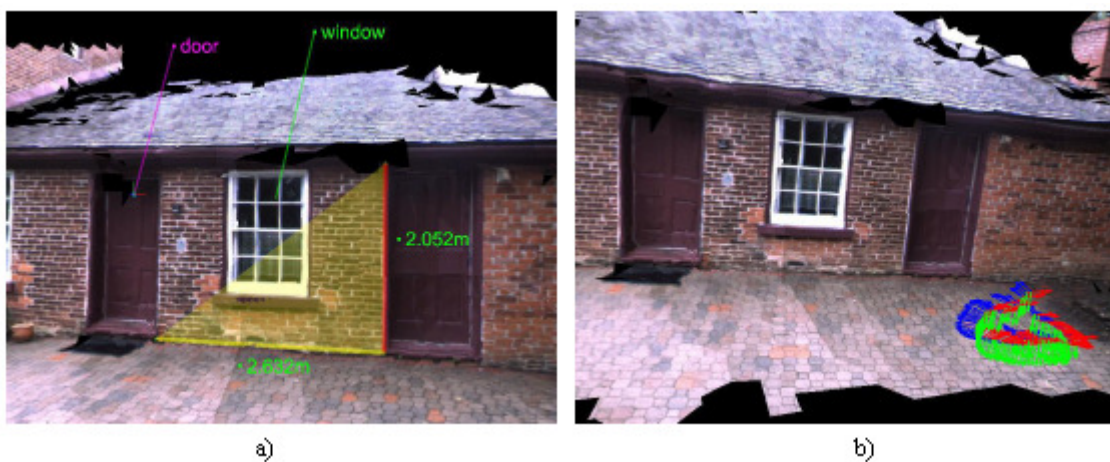
Slika 4.3. Primjeri pribavljenih slika



a)

b)

Slika 4.4. Rekonstrukcija scene



a)

b)

Slika 4.5. Prikaz nekih funkcionalnosti sustava: mogućnost mjerenja udaljenosti među objektima a) i opis kretanja kamere (trajektorija) prilikom pribavljanja slika

4.3. Proizvoljni položaji kamera

4.3.1. MVS algoritam (engl. multi-view stereo algorithm)

Glavna odlika MVS algoritma koji je razvijen u suradnji Sveučilišta u Darmstadtu, Sveučilišta u Washingtonu te Microsoftovog istraživačkog odjela je što se 3D rekonstrukcija scene može izvršiti iz skupa slika koje su javno dostupne. Takve baze slika se mogu naći npr. na internet stranicama servisa koji nude razmijenu, pregled i sl. slika koje dostižu s raznih strana svijeta, od raznih autora s različitim sadržajem. Jedan takav servis je Flickr i dostupan je na [www stranici](http://www.flickr.com/)⁴. Dakle prednost ovog sustava je što ima sposobnost rekonstrukcije scene bez potrebne opreme za pribavljenje slika jer koristi već postojeće baze slika bez naknade autorima.

Da bismo dobili uspješnu rekonstrukciju scene, slike iz ulaznog skupa je potrebno izabrati tako da ih je moguće usporediti i naći dovoljno sličnosti. Odabir takvih podskupova slika mora uzeti u obzir različite kriterije poput osvjetljenosti, uvećanja, rotacije, vremenskih uvjeta, rezolucije i sl. Nakon toga kombinacijom različitih tehnika računalnog vida uspostavlja se 3D rekonstrukcija scene. Proces koji se naziva određivanje strukture iz pokreta određuje 3D točke površine objekta pomoću slika objekta pod različitim kutovima. Algoritam se pokazao dosta robustan na sve nabrojane kriterije.

Algoritam može pronaći primjene u virtualnom modeliranju gradova, inženjerskom planiranju naselja i simuliranju raznih pojava u njima poput globalnog zatopljenja ili poplava te u novim generacijama računalnih igara.

⁴ <http://www.flickr.com/>

Postignuti rezultati

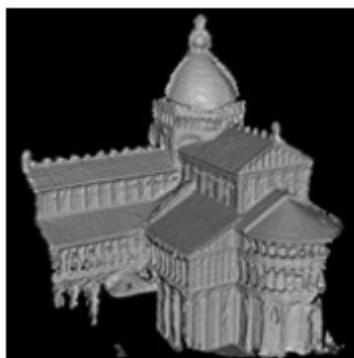
Pokazujemo nekoliko primjera 3D rekonstrukcije objekata. Sve slike scene koje su korištene u rekonstrukciji su preuzete s internet servisa Flickr.



a)



b)



c)



d)

Slika 4.2. Prikaz rekonstrukcija na slikama a) i c). Na slikama b) i d) su primjeri jedne od ukupnog broja slika koje su korištene u rekonstrukciji. Za prvi primjer je iskorišteno 129, a za drugi 56 slika.

4.3.2. Photosynth

Za potrebe istraživačkog projekta Photo Tourism na Sveučilištu Washington razvijen je sustav pod nazivom Photosynth.

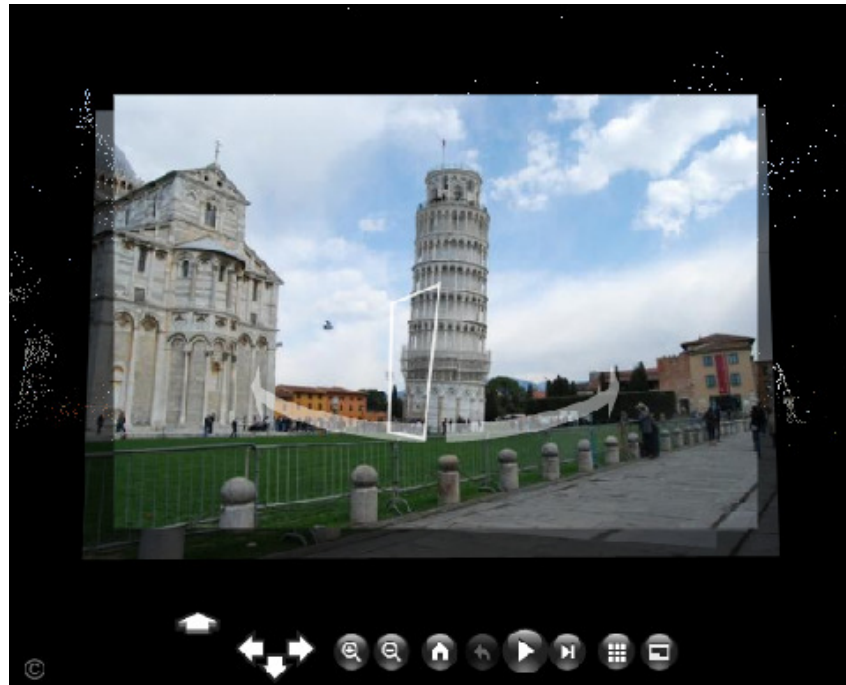
Rekonstrukcija scene se vrši analizirajući skup slika koje prikazuju isto područje u sceni. Za svaku sliku iz tog skupa se određuju interesne točke (značajke) i vrši se uparivanje (engl. matching) tih točaka pomoću algoritma razvijenog na Microsoftovom istraživačkom odjelu. Razvijeni algoritam ima slična svojstva i funkciju kao i algoritam SIFT. Uparivanje značajki s jedne slike se provodi sa svim značajkama ostalih slika koje su zajedničke za konkretni pogled na scenu. Analizom i pronalaženjem malih razlika u odnosu uparenih značajki određuje se 3D rekonstrukcija svake značajke, te mjesto i kut pogleda s kojeg je slika dobivena. Na ovaj način se dobiva 3D model skupa slika, odnosno reprojekcija oblaka točaka (engl. point cloud) promatrane scene na koje se uvezuju odgovarajuće slike. Ovaj proces je u fotogrametriji poznat pod nazivom bundle adjustment.

Photosynth sustav pruža mogućnosti kretanja kroz rekonstruiranu scenu i pogled pod različitim kutovima, povećanje slike, prikaz različitih mjesta s kojeg su slike pribavljene i njihov međusobni odnos i sl. Sustav pokazuje novi način u komunikaciji i razmjeni sadržaja pomoću slika jer je prostor (scena) prikazan realističnije, tj. u 3D kontekstu.

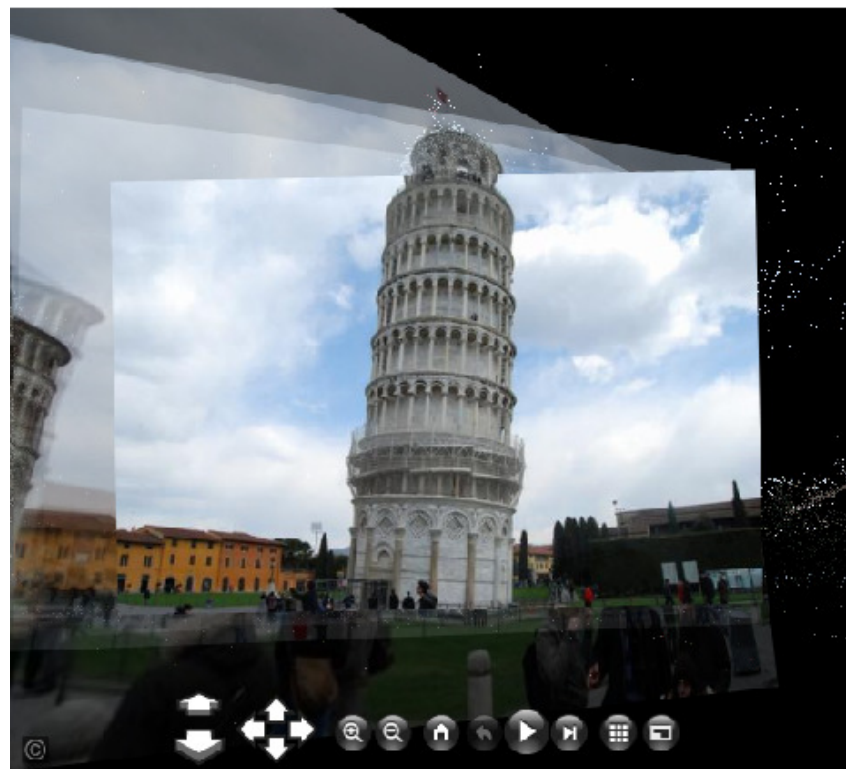
Postignuti rezultati

Usluge i pregled mogućnosti ovog sustava mogu se pronaći na [www stranici](http://photosynth.net/default.aspx)⁵. U nastavku su prikazani neki primjeri 3D rekonstrukcije i mogućnosti koje sustav pruža.

⁵ <http://photosynth.net/default.aspx>



Slika 4.6. Korisničko sučelje Photosyntha daje razne mogućnosti kretanja kroz scenu



Slika 4.7. Možemo vidjeti nekoliko okvira slika koje imaju sličan pogled na scenu.



Slika 4.8. Pregled slika pomoću kojih je napravljena 3D rekonstrukcija

5. Zaključak

Sustavi 3D računalnog vida postaju sve popularniji širokoj publici. Njihov doprinos je vidljiv u raznim djelatnostima npr. industriji, znanosti te svakodnevnom životu. Područja u kojima nalaze primjenu su autonomna navigacija, proširena stvarnost i modeliranje. U prošlosti su takvi sustavi obično bili dostupni samo uskim krugovima ljudi zbog velike cijene njihovog razvoja i potrebne specijalizirane opreme. Međutim, zbog napredovanja u performansama običnih računala i slobodnog pristupa nekim takvim sustavima putem mrežnih servisa omogućeno je takve sustave koristiti čak i u vlastitom domu.

Iako svi problemi u teoriji računalnog vida nisu još riješeni razvijeni su sustavi koji pokazuju dosta dobre rezultate i komercijalnu vrijednost. Neki od njih bi mogli unijeti pravu revoluciju u načinu komunikacije (npr. oglašavanju), potrebno je samo predstaviti njihovu vrijednost širokoj publici.

6. Literatura

- [1] Augmented-reality machine works in real time. New Scientist.
<http://www.newscientist.com/article/dn6965>
- [2] Holiday snapshots used to model the world in 3D. New Scientist.
<http://www.newscientist.com/article/dn12846>
- [3] Courtrooms could host virtual crime scenes. New Scientist.
<http://www.newscientist.com/article/dn7130>
- [4] Software meshes photos to create 3D landscape. New Scientist.
<http://www.newscientist.com/article/dn9654-software-meshes-photos-to-create-3d-landscape.html>
- [5] Microsoft Live Labs Photosynth, travanj 2009.
http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Live_Labs_Photosynth
- [6] Innovation: What next after the megapixel wars. New Scientist.
<http://www.newscientist.com/article/dn16770-innovation-what-next-after-the-megapixel-wars.html>
- [7] Satellite duo takes first 3d images of the sun. New Scientist.
<http://www.newscientist.com/article/dn11700-satellite-duo-takes-first-3d-images-of-the-sun.html>
- [8] Press Conference on First 3-D Images of the Sun.
http://www.nasa.gov/mission_pages/stereo/news/stereo3D_press.html
- [9] NASA's STEREO Spacecraft Reveals the Anatomy of Solar Storms
http://www.nasa.gov/mission_pages/stereo/news/solarstorm3D.html

[10] Virtual cities come alive in 3D. New Scientist.

<http://www.newscientist.com/article/mg19225776.500-virtual-cities-come-alive-in-3d.html>

[11] Building a Virtual Earth. How the Vexcel Acquisition Contributes to Microsoft's Vision.

http://www.imagingnotes.com/go/article_free.php?mp_id=65

[12] Birdwatching in stereo captures flocks. New Scientist.

<http://www.newscientist.com/article/dn13853-birdwatching-in-stereo-captures-flocks-in-3d.html>

[13] STARFLAG: a project on collective animal behaviour

http://oldboy.phys.uniroma1.it/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=45&Itemid=1256

[14] EU FP6 project Starling in flight: S T A R F L A G

<http://angel.elte.hu/starling/index.html>

[15] R. Hartley, Multiple View Geometry in Computer Vision SE

[16] O. Faugeras, Q.T. Luong, T. Papadopoulos, The geometry of Multiple Images

7. Sažetak

U radu su pokazane primjene i motivacija za 3D rekonstrukciju scene iz slijeda slika . Na početku su opisani načini promatranja scene (geometrija jednog, dvaju i više pogleda) i pristupi za njenu 3D rekonstrukciju (podjela s obzirom na ograničenja položaja kamera i podjela s obzirom na dostupnost slika). Glavni dio rada je bio pregled postojećih rješenja i prikaz postignutih rezultata. Postojeća rješenja su razvrstana u tri klase: gdje su položaji kamera poznati (sustavi STEREO, STARFLAG, Virtual Earth), gdje imamo gibanje kamere u vremenu (sustavi The Oxford team's machine i iSM) i gdje su položaji kamere proizvoljni (sustavi MVS i Photosynth).