



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE
DEPARTAMENTUL DE CALCULATOARE

Ing. Daniel Moldovan

TEZĂ DE DOCTORAT

TEHNICI DE MODELARE 3D PENTRU SISTEME ULTRA-REALISTE

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC,
Prof.dr.ing.Sergiu Nedevschi

Cuprins

Abstract	4
Lista Figurilor	5
1 Introducere	6
1.1 Motivație	6
1.2 Abordările alese	7
1.3 Structura Tezei	8
2 Tehnologii fundamentale	10
2.1 Modelarea și calibrarea camerelor de perspectivă	10
2.2 Reconstrucția 3D bazată pe tehnicile de viziune pasivă	11
2.3 Reconstrucția 3D bazată pe tehnicile de viziune activă	11
2.4 Viziunea omnidirecțională	12
2.5 Algoritmul RANSAC	12
2.6 Rezumat și discuții	12
3 Calibrarea Internă a Camerelor pe Baza Detectării Razelor Optice	14
3.1 Introducere	14
3.2 Lucrări anterioare	15
3.3 Calibrarea geometrică a camerelor de perspectivă	15
3.4 Calibrarea geometrică a camerelor omnidirecționale	16
3.5 Rezultatele experimentale	16
3.6 Rezumat și discuții	16
4 Reconstrucția 3D a mediului înconjurător folosind camere omnidirecționale calibrate	19
4.1 Introducere	19
4.2 Lucrări anterioare	20

4.3	Metoda noastră	20
4.4	Rezultate experimentale	21
4.5	Rezumat și concluzii	21
5	Înregistrarea automată a mai multor imagini de distanță pe baza corespondențelor 2D respectiv a corespondenței dintre trăsăturile 2D / 3D	25
5.1	Introducere	25
5.2	Lucrări anterioare	26
5.3	Alinierea datelor de distanță pe baza imaginilor	26
5.4	Rezultate experimentale	27
5.5	Rezumat și discuții	27
6	Integrarea reconstrucției 3D cu vizualizarea pe ecrane auto-stereoscopice	29
6.1	Introducere	29
6.2	Descrierea sistemului nostru	30
6.3	Rezultate experimentale	30
6.4	Rezumat și discuții	33
7	Discuții	34
7.1	Concluzii	34
7.2	Contribuții	35
7.3	Publicații	36
7.3.1	Publicații în Jurnal	36
7.3.2	Patent	36
7.3.3	Publicații în Conferințe Internaționale:	36
	Referințe	38

Abstract

Scopul acestei teze este de-a prezenta contribuțiile activității mele de cercetare în domeniul tehnicilor de modelare 3D pentru sistemele ultra-realiste. Pe parcursul acestei activități am implementat tehnici active respectiv pasive din domeniul computer vision pentru generarea modelelor 3D ale mediului înconjurător și ale obiectelor reale.

Inițial am investigat o metodă de reconstrucție ce aparține domeniului pasiv care folosea un sistem imagistic omnidirecțional. Folosind o camera catadioptrică ce prezenta un singur centru optic am introdus un model de cameră pinhole omnidirecțională virtuală capabilă să (1) afișeze imagini nedistorsionate pe un ecran cilindric și să (2) detecteze locația corectă a centrului optic. Imaginile panoramice generate în această modalitate pot fi folosite ulterior ca și sursă de afișare pentru un mediu ultra-realist ce prezintă un ecran cilindric.

Ulterior, pe baza corectitudinii detectării centrului optic am implementat o metodă de reconstrucție 3D a mediului înconjurător printr-o estimare a adâncimii la care proiecțiile pe un ecran planar provenite din două centre optice diferite au cel mai mare coeficient de potrivire. Abordarea a fost bazată pe ideea că histogramele de culoare ale proiecțiilor provenite de la două centre optice vor avea cel mai mare grad de potrivire pe suprafața obiectului. Structura 3D reconstruită poate fi folosită ulterior pentru reprezentarea fundalului unui mediu ultra-realist dotat cu ecrane 3D de mari dimensiuni.

În partea a doua a activității mele am analizat o metodă automată de reconstrucție a modelului 3D al unui obiect real pe baza unei secvențe de imagini de distanță furnizate de un scanner laser ce avea o cameră înglobată. Această metodă elimină inițial corespondențele 2D false iar apoi continuă cu detectarea corespondențelor 3D pe baza corespondențelor de unu la unu furnizate de către scanner între punctele 3D și proiecțiile de imagine 2D corespunzătoare. Datorită abilității sale de-a detecta puncte corespunzătoare într-o manieră rapidă, această metodă este potrivită aplicațiilor caracterizate de cerere de reconstrucție 3D rapidă.

Pentru a prezenta un exemplu real al unui mediu ultra-realist, partea a treia a acestei teze tratează integrarea dintre metodele de reconstrucție 3D și vizualizarea pe un ecran auto-stereoscopic. O metodă de calculare a rezoluției de afișare maxime pentru tipul de afișaj auto-stereoscopic selectat este de asemenea furnizată.

Lista Figurilor

3.1	Razele Optice Convergente pentru Camera Convențională	17
3.2	Razele Optice Convergente pentru Camera Omnidirecțională	17
3.3	Eliminarea Distorsiunilor pentru cazul Camerelor Convenționale	18
4.1	Proiecțiile pe ecrane planare	21
4.2	Coeficienții de Potrivire ai Histogramelor de Culoare	22
4.3	Cel mai Bun Coeficient de Potrivire	22
4.4	Harta Mediului Înconjurător - 60°	23
4.5	Harta Mediului Înconjurător - 15°	23
5.1	Înscriere Consecutivă	28
6.1	Confirmarea Rezoluției Maxime de Afișare a gCubik	31
6.2	Digitizarea unei Păpuși din Pluș	32
6.3	Vizualizarea Modelelor 3D Adaptate pentru gCubik	33

1

Introducere

Abstract

Acest capitol prezintă caracteristicile celor două metode de computer vision care au fost abordate în această activitate de cercetare cu scopul de-a genera modele 3D ale (1) mediului înconjurător precum și ale (2) obiectelor reale. Integrarea acestor tehnici de modelare 3D va permite în viitor crearea de medii ultra-realiste în care persoanele aflate fizic în locații diferite vor putea să aibă sentimentul că împărtășesc același spațiu în același timp.

1.1 Motivație

Digitizarea formelor 3D ale obiectelor reale precum și construirea de hărți ale mediului înconjurător aparțin aceluiași grup de modelare 3D pe baza realității - o disciplină a domeniului computer vision aflată într-o expansiune rapidă - cu o largă varietate de aplicații, incluzând achiziția de forme, inspecție, inginerie inversă și navigarea roboților.

În mod tradițional, majoritatea tehnicilor de computer vision au fost bazate pe imagini 2D și pe o analiză ulterioară a datelor prin excelență 2D. Cu toate acestea, deoarece este recunoscut că datele 3D oferă o sursă de informații mai utilă, mai bogată și mai puțin abstractă, un număr tot mai mare de activități de cercetare a fost direcționat către generarea de modele 3D atât ale mediului înconjurător cât și ale obiectelor reale folosind tehnici de computer vision.

Integrarea acestor modele 3D va permite în viitor crearea unui mediu ultra-realist bazat pe imagini 3D naturale care vor crea impresia unei imersiuni într-un mediu real. Astfel de sisteme vor contribui la stabilirea de noi modalități de comunicare care vor permite persoanelor aflate în locații fizice separate să aibă un sentiment autentic de existență în același spațiu fizic în același timp. Pentru a realiza un astfel de mediu cu un grad ridicat de prezență folosind imaginile 3D va fi necesară utilizarea afișajelor 3D pentru a permite mai multor utilizatori o vizualizare simultană a

imaginilor 3D de mari dimensiuni afișate în fundal respectiv a obiectelor de mici dimensiuni afișate în prim-plan. Locația acestor afișaje în ceea ce privește utilizatorii va trebui să fie variabilă pentru a pune de acord diferite tipuri de scenarii.

Răspândirea recentă a rețelelor broadband, tehnologiile digitale avansate și performanța crescută în achiziția și afișarea de imagini a făcut posibilă producerea de afișaje de o înaltă definiție și a unor sisteme de imagistică 3D la un preț rezonabil. Pentru a genera modele 3D corespunzătoare acestor tipuri de afișaje va trebui să folosim tehnici variate de modelare 3D a căror performanță să fie caracterizată pe baza următorului criteriu: (1) rezoluția modelului 3D generat, (2) scopul utilizării (în care parte a scenei va fi afișat modelul 3D: prim-plan sau fundal) și (3) scalabilitatea (tehnica de modelare poate fi folosită pentru o reconstrucție doar a obiectelor de mici dimensiuni sau și a obiectelor mai mari cum ar fi hărți 3D ale spațiilor de interior sau a clădirilor).

În această lucrare voi prezenta două metode de reconstrucție 3D - construirea de hărți respectiv digitizarea de obiecte - care pot fi folosite în crearea unui astfel de mediu ultra-realist. Astfel, metoda de reconstrucție a hărților 3D este caracterizată de o rezoluție scăzută de reconstrucție 3D care este dedicată reconstrucției hărților spațiilor de interior sau exterior având o aplicabilitate în afișajele 3D de fundal. Metoda de digitizare a obiectelor pe de altă parte este caracterizată de o înaltă rezoluție a reconstrucției 3D fiind potrivită pentru digitizarea obiectelor de mică dimensiune cu o aplicabilitate în afișajele 3D de prim plan.

Un scenariu idealizat al mediului ultra-realist pe care îl preconizăm este reprezentat de integrarea lumii virtuale respectiv a celei reale într-un mod care să fie transparent pentru utilizator. Într-un astfel de mediu, persoanele fizice vor putea interacționa cu afișaje 3D table-top în care vor fi reprezentate diferite tipuri de obiecte respectiv cu persoanele aflate la distanță care vor fi reprezentate ca și imagini 3D ce plutesc în aer. Fundalul unui astfel de mediu ultra-realist va fi reprezentat de un afișaj circular care va acoperi o suprafață suficient de largă pentru a crea sentimentul imersiunii într-un mediu aflat la distanță.

Chiar dacă în acest moment un astfel de scenariu ar putea arăta futurist, la ora actuală există în lume grupuri de cercetare care avansează pe calea transformării acestui vis în realitate, dezvoltând sisteme de comunicații care vor integra nu doar video 3D ci și audio 3D respectiv aroma display și dispozitive haptice [1, 2].

1.2 Abordările alese

În general, tehnicile de computer vision pot fi grupate în două mari categorii: Viziune Activă și Viziune Pasivă. Viziunea activă se referă la acele tehnici care utilizează o sursă controlată de emisie de energie structurată cum ar fi o sursă de scanare cu laser sau un model proiectat de lumină și un

1. INTRODUCERE

detector, cum ar fi camera foto. Tehnicile de viziune pasivă pe de altă parte, se referă la măsurarea radiațiilor vizibile care sunt deja prezente în scenă. Obiectivul lor este acela de a achiziționa imagini ale scenei din diferite poziții și de a calcula forma scenei pentru fiecare punct de suprafață.

Deși detectarea activă poate facilita calculul structurii scenei, abordările active nu sunt întotdeauna fezabile, în special pentru modelarea obiectelor îndepărtate sau în mișcare rapidă. Cu toate acestea, cele mai bune metode active care utilizează dispozitive de scanare laser, în general, produc reconstrucții mai precise decât este posibil cu ajutorul tehnicilor pasive. Pentru a exploata punctele forte ale ambelor tipuri de detectare, în munca mea am utilizat dispozitive care aparțin atât viziunii pasive cât și celei active.

Am început activitatea de cercetare concentrându-mă pe nivelul de fundal al unui astfel de sistem de afișare ultra-realist și am propus două metode pentru a genera (1) imagini cilindrice, precum și (2) hărți 3D omnidirecționale care să fie afișate pe un ecran plasat în fundal.

Ambele metode au necesitat generarea unei camere virtuale omnidirecționale obținute prin utilizarea de imagini 2D omnidirecționale respectiv a unui șablon de calibrare. Imaginile cilindrice au fost generate în urma unui proces de retro-proiecție pe un ecran virtual iar harta 3D omnidirecțională a fost construită printr-un proces de inspecție a mediului înconjurător în care am verificat gradul de potrivire al proiecțiilor pe o suprafață planară provenite de la două camere virtuale.

După finalizarea primei faze m-am concentrat pe următoarea țintă reprezentată de generarea de modele digitale 3D ale obiectelor mici, care ar putea fi ulterior afișate pe ecrane 3D situate în imediata apropiere a utilizatorului. Pentru această sarcină am utilizat un scanner laser care a furnizat atât imaginile de distanță cât și imaginile 2D cu o corespondență de unu-la-unu între punctele 3D și pixelii 2D.

Prin utilizarea tehnicilor de detecție a trăsăturilor corespondente din imaginile 2D am reușit să înregistrez în mod automat imaginile de distanță luate din mai multe locații necunoscute și să generez în final un model 3D complet.

1.3 Structura Tezei

Această lucrare este structurată în trei părți. Prima parte prezintă un studiu bibliografic al tehnologiilor fundamentale care au fost utilizate în această activitate de cercetare:

- Modelarea și calibrarea camerelor de perspectivă (descrisă în subcapitolul 2.1)
- Reconstrucția 3D bazată pe tehnicile de viziune pasivă respectiv activă (descrisă în subcapitolele 2.2 și 2.3)

- Viziunea omnidirecțională - o clasificare a tipurilor de senzori omnidirecționali, modele de proiecție pentru cazul sistemelor cu un singur centru optic respectiv cu mai multe centre optice) (descrișă în subcapitolele 2.4)
- Algoritmul RANSAC (descriș în subcapitolul 2.5).

A doua parte prezintă contribuții originale, teoretice și aplicative în următoarele domenii:

- Calibrarea internă a camerelor video pe baza detectării razelor de lumină incidente (descrișă în capitolul 3).
- Reconstrucția hărții 3D a mediului înconjurător pe baza camerelor omnidirecționale (descrișă în capitolul 4).
- Înscrierea automată în același sistem de coordonate a mai multor imagini de distanță pe baza corespondențelor dintre trăsăturile 2D și punctele 3D (descrișă în capitolul 5).
- Exemplificarea unei aplicații de reconstrucție automată a modelului 3D al unui obiect de mici dimensiuni urmată de vizualizarea pe un dispozitiv auto-stereoscopic (descrișă în capitolul 6).

A treia parte prezintă concluziile acestei teze precum și o trecere în revistă a contribuțiilor originale și a planurilor de viitor. Publicațiile rezultate din activitatea de cercetare sunt de asemenea enumerate aici.

2

Tehnologii fundamentale

Abstract

Acest capitol prezintă o scurtă descriere a tehnicilor fundamentale care au fost utilizate în această lucrare de cercetare. Inițial am introdus o serie de considerații geometrice legate de modelele de camera precum și proiecția de perspectivă respectiv procesul de calibrare. Ulterior am prezentat tehnicile de reconstrucție 3D care folosesc o viziune pasivă respectiv activă și apoi am discutat despre senzorii de viziune omnidirecțională incluzând și o descriere a procesului de formare a imaginii omnidirecționale. O prezentare a structurii algoritmului RANSAC care permite o interpretare / netezire a datelor care conțin un procent semnificativ de erori este realizată la sfârșitul capitolului.

2.1 Modelarea și calibrarea camerelor de perspectivă

Având în vedere că obiectivul acestei teze este de a dezvolta metode pentru efectuarea de reconstrucții 3D din imagini achiziționate folosind camere video, în acest capitol am introdus modele cantitative ale acestor dispozitive și am analizat camerele video de perspectivă dintr-un punct de vedere geometric.

Inițial am introdus două tipuri de modele de cameră: modelul (1) cu lentile subțiri respectiv modelul (2) pinhole. Majoritatea camerelor video folosesc lentilele optice pentru a realiza o focalizare a luminii pe senzorul de imagine cu scopul de-a capta suficientă lumină într-o perioadă scurtă de timp. Pentru a simplifica însă analiza sistemelor de vizualizare, acest model a fost înlocuit cu o variantă idealizată caracterizată de o dimensiune infinitezimală a deschiderii aperturii.

În continuare am prezentat o analiză a modelului de proiecție de perspectivă și am derivat relația care descrie complet transformarea din sistemul de coordonate 3D al camerei în sistemul de

2.2 Reconstrucția 3D bazată pe tehnicile de viziune pasivă

coordonate 2D al proiecției în planul de imagine:

$$Z \begin{pmatrix} x_{pix} \\ y_{pix} \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{K} \left(\mathbf{I}_3 \mid \mathbf{0}_3 \right) \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

unde $\mathbf{K}$ reprezintă *matricea de calibrare* a camerei.

În general sistemul de coordonate al camerei va fi legat de sistemul de coordonate global printr-o rotație și o translație (parametrii extrinseci ai camerei). Expresia care descrie complet transformarea din sistemul de coordonate global în cel al planului de imagine va fi dată de relația:

$$Z \begin{pmatrix} x_{pix} \\ y_{pix} \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{K} \left(\mathbf{I}_3 \mid \mathbf{0}_3 \right) \begin{pmatrix} \mathbf{R} & -\mathbf{R}\tilde{\mathbf{C}} \\ \mathbf{0}_3^T & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_W \\ Y_W \\ Z_W \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{P} \begin{pmatrix} X_W \\ Y_W \\ Z_W \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

unde $\mathbf{P}$ reprezintă *matricea de calibrare completă* a camerei.

Procesul de calibrare al camerei presupune detectarea parametrilor intrinseci și extrinseci și este demarat printr-o calculare a matricii $\mathbf{P}$ folosind corespondențe între punctele 3D din scenă și proiecțiile corespunzătoare 2D din planul de imagine. Vectorul translației va fi apoi extras ca și vectorul unitate singular corespunzător matricii $\mathbf{P}$ iar orientarea camerei respectiv parametrii extrinseci vor fi detectați în urma unui proces de factorizare RQ.

2.2 Reconstrucția 3D bazată pe tehnicile de viziune pasivă

Caracteristica principală a tehnicilor de viziune pasivă este reprezentată de faptul că nu e necesară o emisie de energie pentru a realiza detectarea, ele folosind doar radiațiile vizibile din mediu. Acest subcapitol prezintă (1) o clasificare a metodelor de reconstrucție a formelor folosind una sau mai multe imagini urmată de (2) o prezentare a metodei de stereo viziune ce permite extragere de informații 3D din două imagini.

2.3 Reconstrucția 3D bazată pe tehnicile de viziune activă

Tehnicile de detectare active au fost dezvoltate cu scopul de-a depăși problemele întâmpinate în detectarea pasivă: o recuperare incompletă a datelor de distanță respectiv necesitatea de-a avea suprafețe bogate în trăsături. Acest subcapitol prezintă o clasificare a tehnicilor de detectare activă precum și o prezentare a principiilor de funcționare a două dintre tehnicile principale: (1) timpul de zbor al impulsului respectiv (2) triangulația activă.

2.4 Viziunea omnidirecțională

Folosirea unei viziuni omnidirecționale pentru o monitorizare a zonelor largi poate fi utilă în special în evitarea unor situații periculoase. În acest subcapitol am prezentat o clasificare a sistemelor video omnidirecționale dezvoltate cu scopul de-a extinde aria aplicațiilor camerelor TV convenționale. Suplimentar am discutat despre senzorii omnidirecționali catadioptrici compacti introduși de către Ishiguro [3].

În continuare am introdus modelul de proiecție pentru cazul camerelor catadioptrice care mențin un singur centru optic. Acest model este reprezentat printr-o proiecție în doi pași: din spațiul de proiecție pe o sferă urmată de proiecția pe planul de imagine. Această reprezentare permite modelarea diferitelor tipuri de senzori catadioptrici printr-o simplă modificare a valorilor a doi parametri.

Camerele catadioptrice care nu mențin un singur centru optic pot fi la rândul lor modelate prin determinarea traiectoriei razelor care pornesc din mediul înconjurător sunt reflectate de suprafața oglinzii și apoi intersectează planul de imagine. Astfel, considerând un sistem imagistic ce constă dintr-un reflector conic și o cameră de perspectivă am prezentat derivarea relației dintre unghiul de vedere vertical al camerei respectiv unghiul de vedere vertical al sistemului. Când ecuația reflectorului este cunoscută relația astfel derivată furnizează funcția de proiecție.

2.5 Algoritmul RANSAC

RANSAC (Random Sample Consensus) este un algoritm robust de detectare a parametrilor modelului pentru un anumit set de date. Acest algoritm a fost introdus de Fischler and Bolles [4] pentru a realiza o interpretare / netezire a datelor care conțin un procent semnificativ de erori fiind astfel ideal pentru analiza automată a imaginilor. În acest subcapitol am prezentat structura algoritmului RANSAC și ulterior am oferit un exemplu de calculare a numărului maxim de iterații pentru asigurarea unei probabilități predefinite că cel puțin una din combinațiile de eşantioane selectate aleator nu conține nici un outlier.

2.6 Rezumat și discuții

Acest capitol a prezentat o scurtă trecere în revistă a unora dintre noțiunile fundamentale cu privire la modelele de camere respectiv la procesul de imagistică al proiecției de perspectivă. Tehnicile de estimare completă a matricii de calibrare a camerei, a parametrilor de mișcare respectiv a parametrilor intrinseci au fost de asemenea evidențiate.

O soluție mai puțin complexă dar în același timp generică pentru problema calibrării camerei va fi introdusă în următorul capitol. Deși este caracterizată de o abordare empirică, această metodă poate fi emulată atât senzilor de imagine convenționali cât și celor catadioptrici.

O trecere în revistă a tehnicilor de reconstrucție 3D care folosesc fie viziune pasivă fie viziunea activă a fost de asemenea prezentată cu detalii despre modelele matematice respectiv o clasificare bazată pe metoda folosită. Ulterior, o clasificare a sistemelor video omnidirecționale bazate pe combinația cameră / oglindă respectiv o descriere a modelelor imagistice pentru sistemele catadioptrici cu un singur centru optic sau fără un centru optic fix au fost de asemenea prezentate.

Calibrarea Internă a Camerelor pe Baza Detectării Razelor Optice

Abstract

Acest capitol prezintă o metodă de calibrare internă a camerelor video care elimină distorsiunile geometrice din planul de imagine și estimează locația centrului optic. Camera astfel calibrată poate fi privită în final ca și o cameră pinhole. Această metodă folosește două ecrane pe rol de planuri de imagini virtuale, iar centrul optic este estimat ca punctul de convergență al razelor generate de perechile de puncte corespondente de pe aceste planuri. Avantajele acestei metode sunt că (1) poate fi aplicată pentru calibrarea oricărui tip de cameră cu un singur centru optic și (2) poate elimina orice tip de distorsiuni. În experimentele efectuate, rezultatele calibrărilor pentru camerele de perspectivă respectiv omni-direcționale au demonstrat eficacitatea acestei metode.

3.1 Introducere

Mai multe tehnici au apărut în ultimul deceniu capabile de a recupera complet informațiile tridimensionale din mai multe imagini. Ele folosesc fie camere calibrate fie necalibrate iar proiecția de perspectivă servește ca model de imagistică dominant. În cazul camerelor cu lentile acest model presupune că razele de lumină sunt proiectate direct pe elementele foto-sensibile printr-un singur punct numit punct pinhole real al sistemului de perspectivă. Cunoașterea exactă a locației acestui punct (numit și centru optic) respectiv existența unui plan de imagine fără distorsiuni reprezintă elementele necesare pentru o reconstrucție 3D de succes.

Metoda de calibrare dezvoltată de noi folosește două șabloane de calibrare (suprafețe planare) ca și planuri de imagini virtuale. Prin găsirea perechilor de puncte de pe aceste suprafețe planare care sunt proiectate pe aceeași pixeli în planul imaginii reale, putem detecta razele optice în spațiul

3D care sunt incidente pe planul de imagine al camerei. Astfel, poziția 3D a centrului optic va fi estimată în cele din urmă ca punctul de convergență al acestor raze. În mod suplimentar, metoda noastră permite și o vizualizare a centrului optic respectiv generarea de imagini nedistorsionate.

3.2 Lucrări anterioare

Contribuția noastră pot fi inclusă în categoria calibrării geometrice a camerei. O calibrare geometrică completă include problema proiecției directe (pentru un punct din spațiu detectează proiecția din imagine) respectiv problema proiecției inverse (pentru un anumit pixel din imagine calculează vectorul razei vizuale ce trece prin acel pixel).

În abordarea lor, Gremban et al. [5] au reușit să ofere o soluție completă pentru problema calibrării geometrice a camerelor convenționale. Metoda lor a fost bazată pe metoda cu două planuri dezvoltată de Martin et al. [6] dar a fost extinsă pentru a include de asemenea o soluție la problema proiecției directe.

Cu scopul de a generaliza reprezentare pentru orice tip de sistem de imagistica, Grossberg [7] a introdus un model nou care a exploatat faptul că toate sistemele de imagistică efectuează o mapare a razelor incidente din scenă pe elementele foto-sensibile de pe detectorul de imagine.

3.3 Calibrarea geometrică a camerelor de perspectivă

În acest subcapitol am prezentat metoda noastră de calibrare geometrică pentru cazul camerelor de perspectivă, ce presupune detectarea locației centrului optic respectiv generarea unui plan de imagine fără distorsiuni. Centrul optic a fost determinat ca și intersecție a razelor optice generate de puncte din spațiu care au aceeași proiecție în planul de imagine.

Aceste puncte din spațiu au fost extrase de pe suprafața a două șabloane de calibrare virtuale generate în așa fel încât să păstreze în mod identic modelul șabloanelor planare reale plasate la o anumită distanță unul față de celălalt. Pentru a detecta perechile de puncte corespondente am construit câte un tabel de indexare punct 3D / pixel 2D pentru fiecare șablon și apoi am extras punctele 3D corespunzătoare aceluiași pixel 2D.

Ulterior, imaginea nedistorsionată a fost generată printr-o proiecție inversă a imaginii captate de cameră pe unul din planurile virtuale. Metoda abordată folosește un proces de interpolare care corectează imaginea printr-o integrare completă a efectelor tuturor distorsiunilor.

3. CALIBRAREA INTERNĂ A CAMERELOR PE BAZA DETECTĂRII RAZELOR OPTICE

3.4 Calibrarea geometrică a camerelor omnidirecționale

Pentru cazul camerelor omnidirecționale am utilizat același principiu de detectare a razelor de lumină convergente în planul de imagine. Modelul ales pentru șablonul de calibrare a fost însă cilindric pentru a acoperi tot câmpul vizual al camerei. Abordarea pe care am ales-o pentru a genera acest șablon cilindric a fost să rotim camera omnidirecțională în jurul axei de rotație cu un pas de rotație de 15 grade și să înregistrăm imaginile unei bare de LED-uri pentru fiecare din pozițiile intermediare.

Detectarea perechilor de puncte corespondente respectiv a centrului optic a fost realizată în același mod ca și pentru camerele de perspectivă. O plasare eronată a cilindrelor virtuale însă poate împiedica convergența razelor de lumină. O soluție pentru eliminarea acestei probleme ce presupune estimarea și apoi compensarea unghiului de deviație a fost prezentată ulterior.

3.5 Rezultatele experimentale

În acest subcapitol am prezentat rezultatele detectării razelor optice respectiv a centrului optic atât pentru cazul camerelor de perspectivă (vezi Figura 3.1) cât și pentru cazul camerelor omnidirecționale (vezi Figura 3.2). De asemenea, am prezentat rezultatul procesului de proiecție inversă și am confirmat eliminarea distorsiunilor generate de lentile (vezi Figura 3.3) precum și a distorsiunilor generate de oglinda hiperbolică a camerei omnidirecționale (vezi Figura 3.2).

3.6 Rezumat și discuții

În acest subcapitol am prezentat o metodă nouă de calibrare internă a camerelor virtuale care pot fi emulate oricărui tip de cameră fizică ce păstrează un singur centru optic. Această metodă elimină distorsiunile geometrice din planul de imagine și estimează locația centrului optic respectiv distanța focală.

Centrul optic a fost detectat ca fiind punctul de intersecție al tuturor razele convergente de lumină iar distanța focală a fost estimată ulterior ca fiind distanța dintre centrul optic și planul de imagine virtual. Distorsiunile din imagine au fost eliminate prin efectuarea unei retro-proiecții pe ecranele virtuale construite astfel încât să păstreze în mod identic modelul șabloanelor reale. Acest model de cameră virtuală a fost utilizat în scopul calibrării unei camere de perspectivă respectiv a unei camere omnidirecționale.

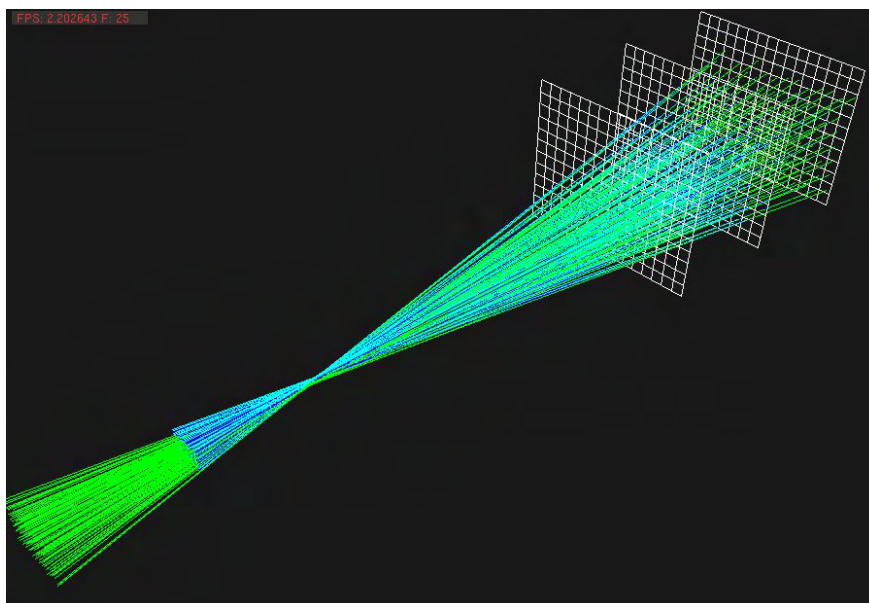


Figura 3.1: Razele Optice Convergente pentru Camera Convențională - Centrul optic a fost detectat în urma estimării punctului de convergență al razelor optice.

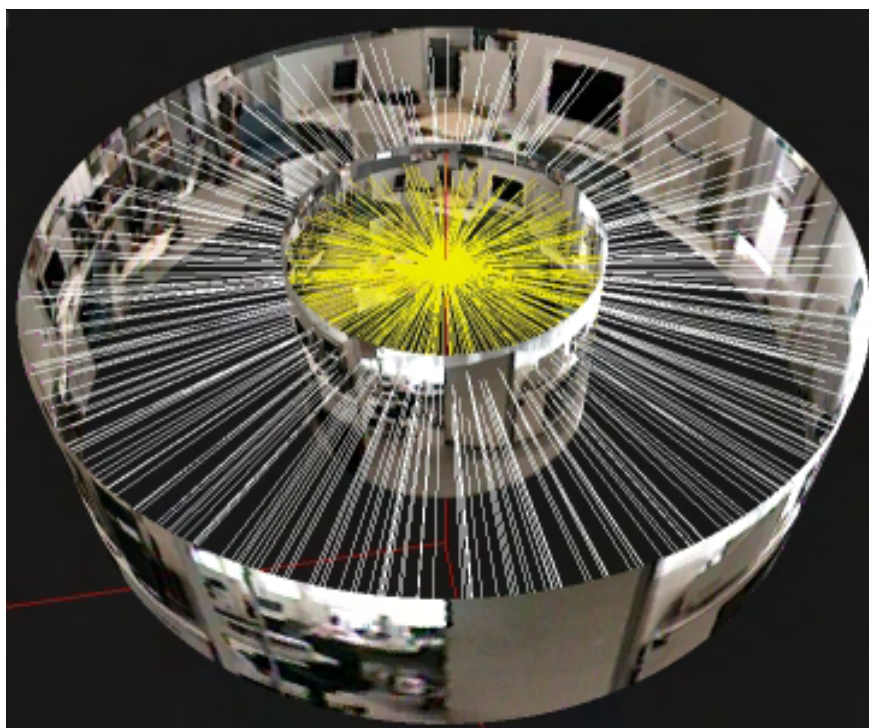
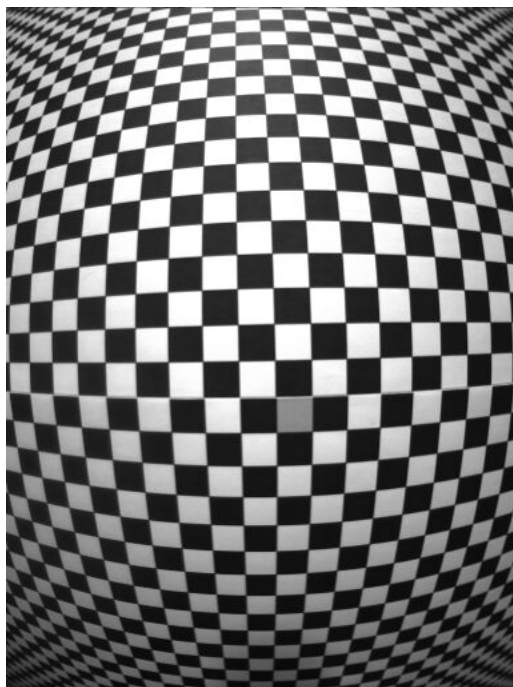
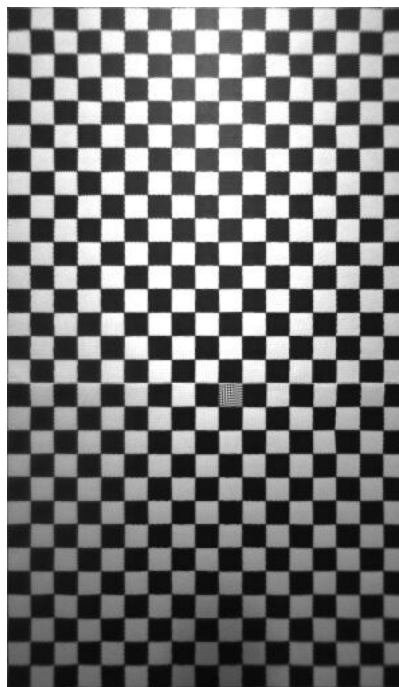


Figura 3.2: Razele Optice Convergente pentru Camera Omnidirecțională - Pentru a acoperi întregul câmp vizual al camerei am ales un șablon de calibrare cilindric. Imaginea nedistorsionată este obținută în urma unui proces de retro-proiecție a imaginii 2D pe gridul cilindric.

3. CALIBRAREA INTERNĂ A CAMERELOR PE BAZA DETECTĂRII RAZELOR OPTICE



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.3: Eliminarea Distorsiunilor pentru cazul Camerelor Convenționale - În urma efectuării unui proces de retro-proiecție a imaginii captate pe un grid planar rectangular am reușit eliminarea deformațiilor generate de lentile.

Reconstrucția 3D a mediului înconjurător folosind camere omnidirecționale calibrate

Abstract

Reconstrucția 3D necesită locația exactă a centrului optic și un plan de imagini fără distorsiuni. Utilizând o cameră omnidirecțională calibrată prin metoda descrisă în capitolul 3 am reușit implementarea unui algoritm de reconstrucție 3D pe baza ideii că histogramele de culoare ale proiecțiilor provenind de la două centre optice diferite vor coincide pe suprafața obiectului a cărui distanță față de cameră vrem s-o estimăm. Structura 3D a mediului înconjurător a fost recuperată în cele din urmă prin detectarea adâncimii la care proiecțiile din două locații distincte ale camerei pe un ecran planar au cel mai mare coeficient de potrivire.

4.1 Introducere

Estimarea deplasării relative a unei camere video pe baza a două sau mai multe imagini reprezintă una din problemele clasice ale domeniului computer vision [8, 9, 10, 11]. Astfel de algoritmi constituie adesea prima etapă în reconstituirea unui model 3D dens al mediului înconjurător [12, 13, 14]. Prin utilizarea imaginilor panoramice, putem extrage datele 3D ce corespund unui câmp larg de vizualizare în felul acesta nefiind nevoie de fuziunea mai multor hărți locale.

În acest capitol am descris metoda de generare a unei reprezentări 3D a mediului înconjurător prin utilizarea a două imagini omnidirecționale achiziționate de către un singur senzor de viziune catadioptric plasat consecutiv la două locații diferite. Acest senzor vizual a fost creat printr-o proiecție inversă a unei imagini omnidirecționale pe un ecran cilindric virtual generând astfel o imagine panoramică.

4. RECONSTRUCȚIA 3D A MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR FOLOSIND CAMERE OMNIDIRECȚIONALE CALIBRATE

4.2 Lucrări anterioare

Una dintre lucrările inițiale care au utilizat imaginile panoramice a fost sistemul stereo omnidirecțional dezvoltat de către Ishiguro [15]. Imaginile panoramice au fost create prin extragerea uneia din cele două fante verticale ale imaginii furnizate de cameră, care survola un câmp vizual de 360° . Unul dintre dezavantajele acestei metode a fost acumularea lentă a datelor (aproximativ 10 minute).

Bing și Szeliski [16] la rândul lor au generat imagini cilindrice dintr-o secvență de imagini luate în timp ce camera video a fost rotită 360° față de axa verticală și ulterior au generat datele 3D prin utilizarea unui set simplu de tehnici de computer vision: detectarea și trackingul trăsăturilor, algoritmul de extragere a structurii din mișcare folosind 8 puncte respectiv algoritmul de multibaseline stereo.

4.3 Metoda noastră

Abordarea noastră s-a bazat pe ideea că histogramele de culoare ale proiecțiilor provenind din două centre optice diferite coincid atunci când ecranul de proiecție se află pe suprafața obiectului. Pentru a reconstrui structura 3D a mediului din jurul camerei omnidirecționale am recuperat în prima etapă poziția relativă a camerei corespunzătoare celor două imagini captate. Această analiză a fost realizată printr-o estimare a *geometriei epipolare* a imaginilor panoramice cilindrice.

În urma selectării unui grup de puncte 3D de pe suprafețele cilindrelor am estimat matricea esențială folosind un algoritm liniar optimal [17] care a furnizat o acuratețe echivalentă cu cea a algoritmului de bundle-adjustment. Ulterior, pentru a extrage parametrii de mișcare (translația și rotația) din matricea esențială am utilizat o metodă bazată pe operații matriciale care a fost dezvoltată de Horn [18].

După plasarea imaginilor cilindrice în același sistem de coordonate am continuat cu reconstrucția 3D a mediului înconjurător efectuând o comparație a histogramelor de culoare ale proiecțiilor provenite din centrele optice ale celor două camere. Proiecția a fost făcută pe o suprafață planară dreptunghiulară a cărei distanță față de cameră a fost gradual incrementată în interiorul mediului înconjurător. De asemenea, pentru fiecare distanță intermediară, înclinarea verticală respectiv orizontală a fost alterată pentru a detecta poziția care corespunde celui mai mare grad de potrivire a histogramelor proiecțiilor.

Continuând acest proces pentru distanțe succesive de-a lungul unei direcții de inspecție am reușit în final să alegem poziția pentru care potrivirea este maximă - această poziție corespunzând locației aproximative a obiectului din vecinătatea camerei aflat pe direcția de inspecție aleasă.

4.4 Rezultate experimentale

Pentru fiecare poziție intermediară de pe direcția de inspecție am modificat înclinația ecranului de proiecție atât în plan orizontal (de la -80° la 80°) cât și în plan vertical (de la -5° la 15°). Distanța de inspecție a fost apoi incrementată în mod gradual către interiorul mediului înconjurător (vezi Figura 4.1a și Figura 4.1b).

Pentru fiecare poziție intermediară am calculat coeficienții de potrivire ai histogramelor de culoare corespunzătoare proiecțiilor provenite din cele două centre optice (vezi Figura 4.2) și pentru fiecare direcție de inspecție distanța inspectată a fost cuprinsă între 0.5 și 10 metri. În Figura 4.3 este prezentată evoluția coeficientului de potrivire pentru o anumită direcție de inspecție și după cum se poate observa la 7 metri de centrul optic am obținut un coeficient maxim ce corespunde locației obiectului detectat.

Pe baza acestei metode, incrementând de asemenea și unghiul de panoramare am putut genera în final o hartă aproximativă a mediului înconjurător. Rezultate experimentale furnizate corespund unui unghi intermediar de panoramare de 60° (vezi Figura 4.4) respectiv 15° (vezi Figura 4.5).

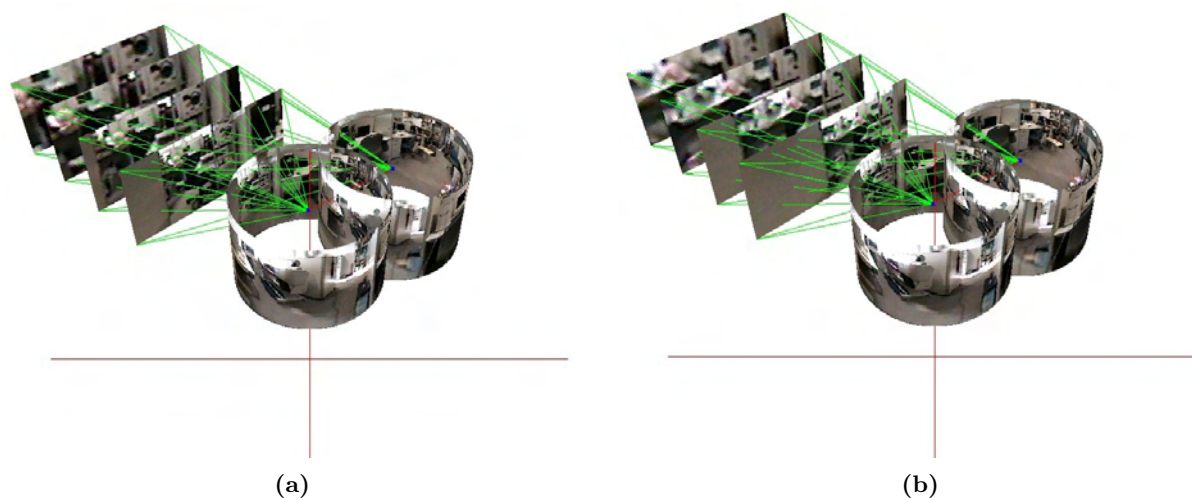


Figura 4.1: Proiecțiile pe ecrane planare ale căror distanțe față de centrul optic sunt incrementate gradual către interiorul mediului înconjurător - (a) Proiecțiile provenind de la primul centru optic; (b) Proiecțiile provenind de la cel de-al doilea centru optic.

4.5 Rezumat și concluzii

În acest capitol am introdus o metodă nouă de extragere a structurii 3D a mediului înconjurător prin utilizarea unei perechi de imagini omnidirecționale. Utilizând metoda de calibrare descrisă în

4. RECONSTRUCȚIA 3D A MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR FOLOSIND CAMERE OMNIDIRECȚIONALE CALIBRATE

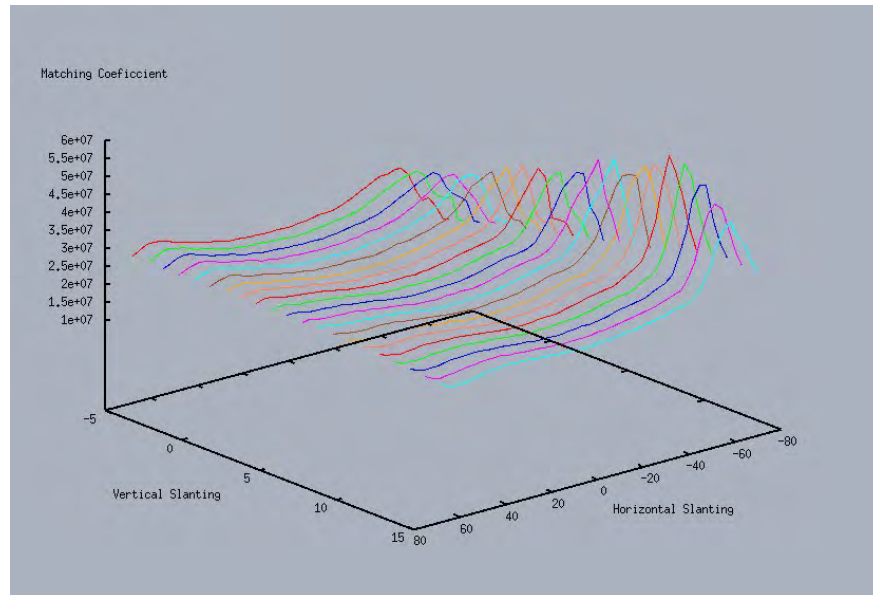


Figura 4.2: Coeficienții de Potrivire ai Histogramelor de Culoare - Coeficienții de potrivire ai histogramelor de culoare corespunzând diferitelor unghiuri de înclinare verticală respectiv orizontală la o anumită distanță față de centrul optic.

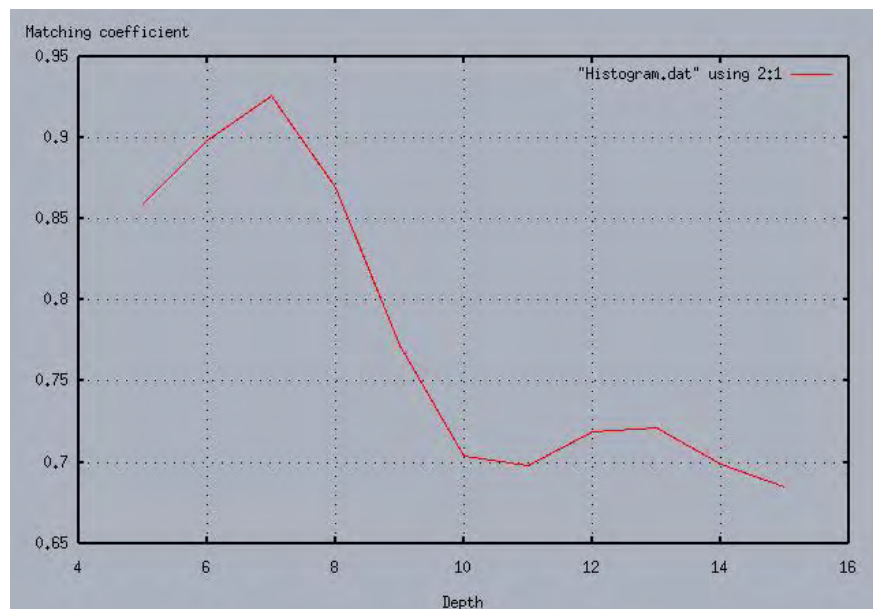


Figura 4.3: Cel mai Bun Coeficient de Potrivire - La 7 metri de centrul optic am detectat cel mai bun coeficient de potrivire al histogramelor de culoare. Această distanță corespunde locației obiectului detectat



Figura 4.4: Harta Mediului Înconjurător - 60° - Harta mediului înconjurător pentru un unghi de inspecție panoramică de 60°.

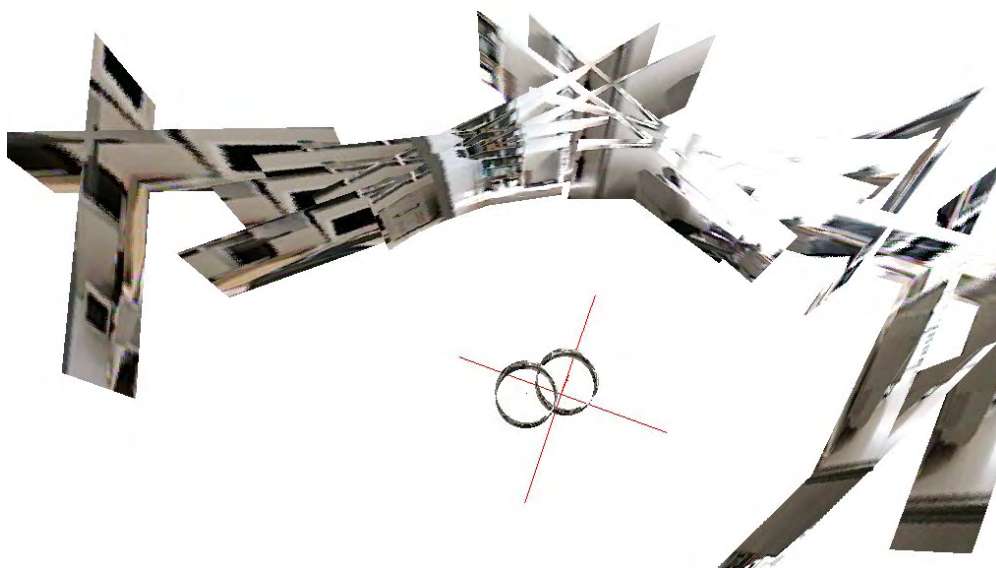


Figura 4.5: Harta Mediului Înconjurător - 15° - Harta mediului înconjurător pentru un unghi de inspecție panoramică de 15°.

4. RECONSTRUCȚIA 3D A MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR FOLOSIND CAMERE OMNIDIRECȚIONALE CALIBRATE

secțiunea 3.4 am generat două camere virtuale omnidirecționale cu planuri de imagine cilindrice care au fost apoi utilizate pentru a detecta distanța în adâncime la care proiecțiile pe un ecran planar au cel mai ridicat coeficient de potrivire.

Rezultatele obținute pot fi folosite ca și punct de plecare pentru o activitate de cercetare suplimentară de reconstrucție completă a unei hărți 3D dintr-o secvență de imagini omnidirecționale care ar putea fi adăugate unei *hărți universale* [19] utile în cazul roboților mobili eterogeni.

Înregistrarea automată a mai multor imagini de distanță pe baza corespondențelor 2D respectiv a corespondenței dintre trăsăturile 2D / 3D

Abstract

Lucrările anterioare care au implementat o înregistrare automată a mai multor imagini de distanță au recurs la detectarea perechilor de puncte 3D corespondente cu scopul de a calcula orientările relative. Corespondențele 3D false au fost detectate prin verificarea conformității acestora cu parametrii modelului matematic al orientării calculat în spațiul 3D. În acest capitol am introdus o metodă nouă de detectare a corespondențelor 3D corecte care inițial elimină corespondențele false în spațiul 2D. Ulterior, corespondențele 3D sunt detectate prin utilizarea corespondenței de unu la unu între punctele 3D și proiecțiile corespunzătoare din imagine furnizate de dispozitivul de scanare. Datorită capacității sale de a detecta punctele 3D corespondente într-o manieră rapidă, metoda prezentată este potrivită pentru aplicațiile caracterizate de o cerere de reconstrucție 3D rapidă.

5.1 Introducere

În ultimii ani modelele 3D ale unor obiecte reale au fost de mai multe ori folosite pentru scopuri cum ar fi de divertisment, educație și design. În general, aceste modele au fost reconstruite cu ajutorul uneia dintre metodele următoare prezentate în literatura de specialitate: metode care

5. ÎNREGISTRAREA AUTOMATĂ A MAI MULTOR IMAGINI DE DISTANȚĂ PE BAZA CORESPONDENȚELOR 2D RESPECTIV A CORESPONDENȚEI DINTRE TRĂSĂTURILE 2D / 3D

folosesc camera video [20, 21], metode ce folosesc telemetrul [22] și metode care utilizează lumina structurată [23].

Pentru a produce o suprafață completă a obiectului care urmează să fie digitizat, măsurarea dintr-o singură direcție nu furnizează date suficiente și în consecință mai multe măsurători trebuie să fie înregistrate. În acest capitol am prezentat o metodă de înregistrare automată a unui set de imagini de distanță obținute prin scanarea unui obiect plasat pe o platformă rotativă.

Pentru a detecta corespondențele 3D, acest algoritm estimează inițial corespondențele din planul imagine și apoi pe baza corespondenței dintre punctele 3D și pixelii 2D va determina și perechile de puncte corespondente din spațiul 3D.

5.2 Lucrări anterioare

În [24] a fost prezentată o tehnică de înregistrare automată, care utiliza trăsăturile de imagine 2D împreună cu informațiile de scară intrinseci pentru a găsi punctele 3D corespondente. Abordările noastre sunt similare (ambele metode folosesc un scanner laser care a captat atât imagini de intensitate cât și imagini de distanță iar seturile de trăsături 2D corespondente sunt detectate cu ajutorul descriptorului SIFT [25]). Cu toate acestea, abordările noastre diferă prin modul în care se face filtrarea suplimentară a corespondențelor false. În [24], faza de înregistrare filtrează potrivirile false în spațiul 3D, în timp ce în cazul nostru noi eliminăm potrivirile false în spațiul 2D. Ambele metode au folosit același algoritm - RANSAC [4] - pentru estimarea iterativă a parametrilor modelului matematic din seturile de date extrase (corespondențele trăsăturilor 2D respectiv 3D).

O altă lucrare similară este cea descrisă în [26] în care s-a efectuat urmărirea în 3D a capului unei persoane folosind de asemenea SIFT și urmată tot de RANSAC. Cu toate acestea, RANSAC a sortat corespondențele false tot în spațiul 3D.

5.3 Alinierea datelor de distanță pe baza imaginilor

Acest proces a fost demarat prin extragerea trăsăturilor 2D care sunt invariante la scalarea respectiv rotirea imaginii. Algoritmul nostru de aliniere vizează cazurile în care obiectul care urmează a fi digitizat poate fi supus unor poziții de scanare variate și în continuare să își păstreze capacitatea de a detecta orientarea relativă a imaginilor de distanță apropiate.

Trăsăturile 2D au fost extrase folosind descriptorul SIFT iar corespondențele false au fost eliminate folosind RANSAC. Folosind corespondența 2D / 3D furnizată de scanner între punctele 3D scanate și proiecția lor în planul de imagine am putut determina apoi în mod direct setul de corespondențe 3D.

Orientarea relativă (translație și rotație) dintre două poziții de scanare a fost determinată în urma aplicării metodei introduse în [18] care necesită cel puțin trei perechi de puncte 3D exprimate în sistemele de coordonate ale celor două imagini de distanță. Avantajul acestei soluții este că ea nu necesită nici o iterație iar soluția este furnizată într-un singur pas.

5.4 Rezultate experimentale

Pentru a genera un model 3D de înaltă rezoluție am folosit scannerul laser Vivid 910 fabricat de Konika-Minolta care pe lângă datele de distanță mai furnizează și imagini color ale scenei scanate. În experiențele efectuate obiectele de digitizat au fost plasate pe o platforma rotativă și apoi scanate într-un proces secvențial.

În urma aplicării metodei de înscriere în același sistem de coordonate a imaginilor de distanță am constatat că orientarea relativă a imaginilor alăturate era suficient de precisă pentru a permite o înregistrare reușită a unui număr limitat de imagini. Pe măsură ce numărul de înscrieri creștea însă erorile de înscriere se acumulau și modelul 3D final nu mai corespundea originalului (vezi Figura 5.1b).

Pentru a ajusta forma finală a modelului digitizat am aplicat un proces suplimentar de ajustare integrală [27] care folosește estimările inițiale ale setului de puncte corespondente 3D, ale corespondențelor 2D din planul de imagine și ale orientărilor relative ale pozițiilor de scanare. Ajustarea integrală va rafina simultan locația punctelor 3D precum și parametrii orientărilor pozițiilor de scanare pe baza unui criteriu de optimalitate care minimizează eroarea de reproiecție între trăsăturile 2D observate respectiv cele anticipate ((vezi Figura 5.1d)).

5.5 Rezumat și discuții

În acest capitol am introdus o metodă nouă de înscriere în mod automat în același sistem de coordonate a imaginilor de distanță pe baza imaginilor 2D care sunt captate în același timp cu imaginile de distanță (un fapt care conferă o corespondență unu la unu între pixelii 2D și punctele 3D). Metoda prezentată detectează în mod robust perechi de trăsături corespondente 2D care sunt ulterior folosite pentru a extrage corespondențe 3D din fișierele imaginilor de distanță. Aceste corespondențe 3D sunt apoi folosite pentru a estima locația relativă a pozițiilor de scanare. Pe viitor intenționăm să implementăm procese suplimentare pentru a realiza o procedură de reconstrucție completă: (1) o minimizare a erorilor de înscriere în faza de înregistrare locală prin aplicarea algoritmului ICP, precum și (2) o eliminare a punctelor redundante obținute în urma înregistrării imaginilor de distanță adiacente.

5. ÎNREGISTRAREA AUTOMATĂ A MAI MULTOR IMAGINI DE DISTANȚĂ PE BAZA CORESPONDENȚELOR 2D RESPECTIV A CORESPONDENȚEI DINTRE TRĂSĂTURILE 2D / 3D

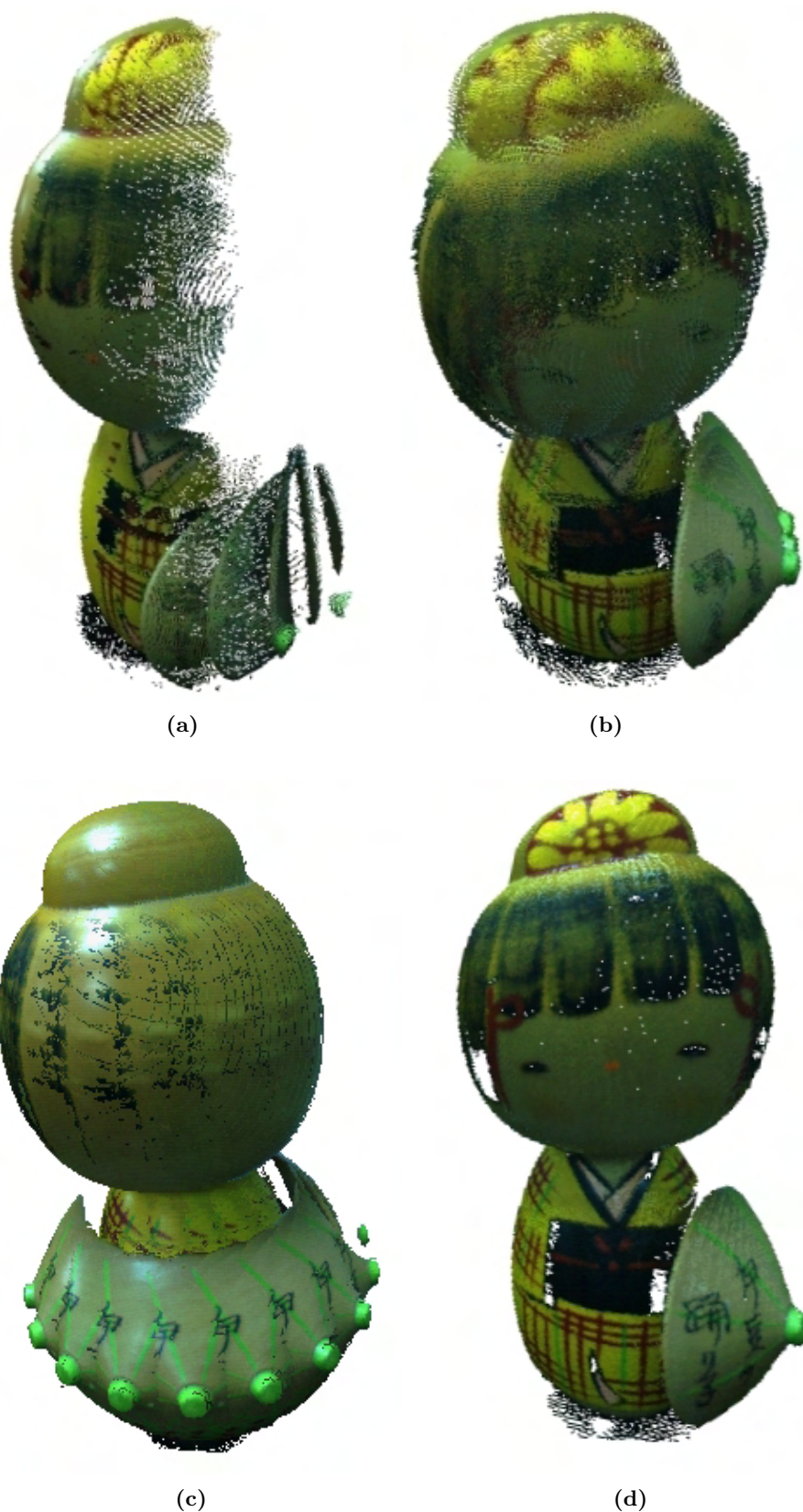


Figura 5.1: Înscriere Consecutivă - (a) Secvența de 5 imagini de distanță scanate cu ajutorul unui scanner laser; (b) Înscrierea consecutivă a imaginilor de distanță va contribui la o propagare a erorilor; (c) Secvența de 10 imagini de distanță scanate din locații consecutive; (d) Propagarea erorilor generată de o înscriere consecutivă a imaginilor de distanță este minimizată de un proces final de ajustare integrală.

6

Integrarea reconstrucției 3D cu vizualizarea pe ecrane auto-stereoscopice

Abstract

În acest capitol am introdus un cadru euristic pentru afișarea de date 3D pe ecrane auto-stereoscopice cu diferite rezoluții și am exemplificat cu o aplicație de modelare și de vizualizare 3D care scanează, înscrie și afișează obiectele reale pe un ecran 3D handheld într-un proces automat. În experimentele efectuate am folosit afișajul gCubik caracterizat de un câmp vizual de 360°, cu o afișare 3D în timp real chiar dacă la o rezoluție mai mică. O metodă de calcul a rezoluției 3D a modelului digitizat pentru care gCubik ajunge la rezoluția maximă de afișare este de asemenea furnizată.

6.1 Introducere

Pentru că datele 3D reprezintă sursa de informații originală, o aplicație în care un obiect este digitizat și apoi este transmis simultan unei varietăți de afișaje 3D care prezintă diferite rezoluții poate fi considerată ca aparținând unui mediu de afișare extrem. Într-un astfel de mediu, afișajele 3D care prezintă rezoluții care sunt mai mici decât cele ale modelelor 3D vor trebui să informeze expeditorul pentru a reduce rezoluția modelului 3D, cu scopul de a satisface cerințele de afișare.

În acest capitol am introdus un cadru adaptiv de afișare a modelelor 3D pe afișaje stereoscopice a căror rezoluție este mai mică decât cea a modelelor de afișat și am exemplificat cu un studiu de caz inițial în care un model 3D de înaltă rezoluție urma să fie afișat pe gCubik (un afișaj 3D cu o rezoluție joasă). În plus, noutatea contribuției noastre este reprezentată și de realizarea unui sistem integrat de scanare, modelare și afișare a unui obiect 3D pe afișajul gCubik.

6. INTEGRAREA RECONSTRUCȚIEI 3D CU VIZUALIZAREA PE ECRANE AUTO-STEREOSCOPICE

6.2 Descrierea sistemului nostru

Un sistem integrat de reconstrucție și de afișare a modelelor 3D trebuie să ia în considerare doi factori principali: (1) tipul de display care va afișa modelul 3D respectiv (2) tipul de aplicații care necesită afișarea de modele 3D.

Astfel, printr-o afișare a unei versiuni de înaltă rezoluție a modelului 3D privitorul nu va simți nici o diferență în comparație cu afișarea unui model 3D a cărui rezoluție este identică cu rezoluția maximă a dispozitivului de afișare. Aplicațiile pentru care timpul este un factor critic ar putea irosi timp prețios într-un astfel de proces de rendering al unui model 3D de înaltă rezoluție care în final ar avea același efect vizual ca și în cazul afișării unui model cu o rezoluție mai scăzută.

Cazul de studiu pe care l-am implementat a inclus un scanner laser ca și dispozitiv de generare a modelului 3D de înaltă rezoluție respectiv afișajul autostereoscopic gCubik care a fost folosit pe post de afișaj 3D de rezoluție joasă. Acest afișaj de formă cubică a fost construit folosind 6 matrici de lentile IP (Integral Photography) dispuse fiecare pe un afișaj LCD. Pe baza caracteristicilor afișajului am calculat inițial rezoluția maximă de afișare și apoi am realizat o reducere a complexității modelului 3D. Modelul 3D astfel obținut a fost apoi afișat în mod direct pe afișajul 3D.

Pentru a estima rezoluția maximă de afișare am creat un model 3D generic sub forma unei prisme drepte care ocupa partea centrală a afișajului și am estimat frecvența spațială măsurată la privitor. Frecvența spațială maximă dată de limitările matricilor de lentile IP a fost definită ca și rezoluția maximă a acestui afișaj. Inversul acestei frecvențe spațiale reprezintă distanța minimă dintre oricare două vârfuri ale modelului 3D care poate fi distinsă de privitor.

Pentru a calcula frecvența spațială maximă a trebuit să comparăm frecvențele spațiale generate de (1) dimensiunea și aranjarea în plan a lentilelor (frecvența Nyquist) respectiv (2) rezoluția pixelilor din afișajul LCD (frecvența spațială unghiulară). Când frecvența spațială unghiulară este mai mare decât frecvența Nyquist privitorul va observa o imagine afectată de aliasing. Prin urmare frecvențele înalte trebuie să fie eliminate din afișajul LCD iar rezoluția maximă care va putea fi observată va fi generată de minimul dintre frecvența Nyquist și frecvența spațială unghiulară.

6.3 Rezultate experimentale

Folosind specificațiile de construcție ale afișajului gCubik am reușit calcularea rezoluției maxime obținând valoarea de 4.15 [mm]. Această valoare a fost apoi confirmată practic când am constatat că în urma afișării prisme pentru diferite valori ale distanței dintre vârfurile alăturate, distanța minimă

pentru care vârfurile puteau fi distinse a fost de 4.38 [mm] (vezi Figura 6.1) - corespunzătoare unui număr de 560 de poligoane quad.

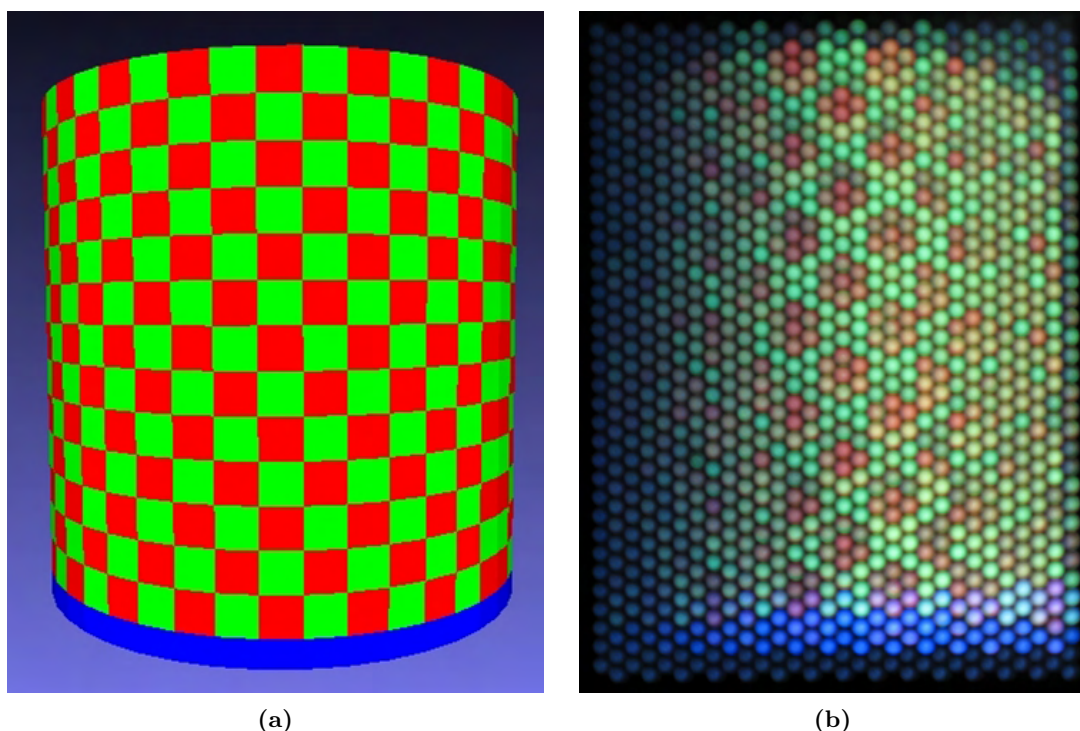


Figura 6.1: Confirmarea Rezoluției Maxime de Afișare a gCubik - (a) Modelul CG al unei prisme drepte peste care am suprapus o textură sub forma unei table de șah și care avea lungimea muchiilor căsuțelor de 4.38 [mm]; (b) Imaginea unei fețe a gCubik corespunzătoare modelului CG alăturat.

După confirmarea rezoluției maxime am continuat cu implementarea sistemului automat de scanare și vizualizare pe gCubik. Pentru exemplificare am digitizat o păpușă din pluș (Figura 6.2a) iar după estimarea locației pozițiilor intermediare din care a avut loc scanarea (Figura 6.2b) am realizat o înscriere a suprafețelor poligonate (mesh) într-un model compact (Figura 6.2c). Faza de scanare a durat aproximativ 10 minute iar cea de înscriere a durat 1 minut.

Fiindcă grupul de suprafețe înscrise a prezentat porțiuni cu spații goale respectiv puncte redundante a trebuit să aplicăm un proces de conformare a suprafeței care ne-a permis generarea unei suprafețe continue cu un număr total de 116834 poligoane quad (Figura 6.2d). Folosind un software de procesare 3D [36] pentru a reduce rezoluția a modelului 3D în conformitate cu cerințele de afișare, am obținut în final un model potrivit (Figura 6.3a) pentru interacțiunea în timp real pe gCubik (Figura 6.3b).

6. INTEGRAREA RECONSTRUCȚIEI 3D CU VIZUALIZAREA PE ECRANE AUTO-STEREOSCOPICE



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6.2: Digitizarea unei Păpuși din Pluș - (a) Imagine de prim plan a obiectului de digitizat; (b) Norul de puncte obținut în urma înscrierii în același sistem de coordonate a imaginilor de distanță captate; (c) Înscrierea suprafețelor poligonate (mesh) într-un model compact; (d) Rezultatul procesului de conformare a suprafeței.

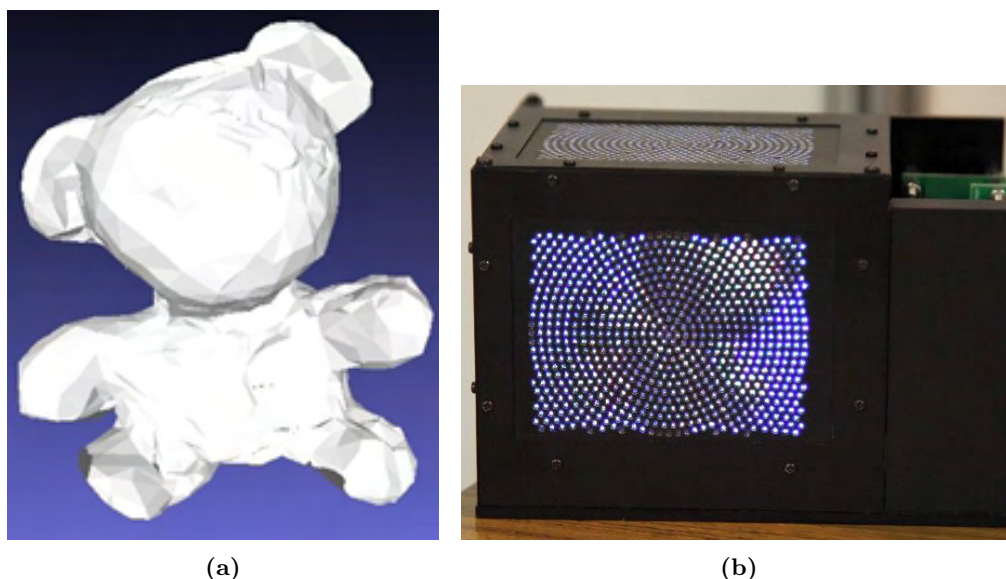


Figura 6.3: Vizualizarea Modelelor 3D Adaptate pentru gCubik

6.4 Rezumat și discuții

Datorită progresului în domeniul tehnologiilor de afișare 3D condițiile pentru distribuirea simultană de conținut 3D între dispozitive cu capacități diferite în ceea ce privește viteza de afișare, precum și nivelul de detaliu au fost deja create. În această lucrare de cercetare am introdus un cadru euristic pentru afișarea de date 3D pe afișaje 3D cu rezoluții diferite și am exemplificat cu o aplicație de modelare 3D automată și vizualizare pe ecranul auto stereoscopic gCubik.

În viitor, ne propunem să testăm mai multe tipuri de afișaje 3D (viitoarele aplicații vor folosi ecrane 3D de rezoluție mai mare) și de asemenea să utilizăm mai multe scenarii realiste de interacțiune care vor implica subiecții umani pentru a testa eficiența și practicalitatea cadrului introdus.

Discuții

Abstract

Concluziile tezei sunt discutate în acest capitol iar aplicațiile reale efectuate pe parcursul activității de cercetare precum și aplicațiile potențiale și direcțiile viitoare de cercetare sunt subliniate. De asemenea, este prezentat și un rezumat al contribuțiilor aduse precum și publicațiile din conferințe internaționale.

7.1 Concluzii

În această lucrare am prezentat două metode de computer vision pentru modelarea 3D a mediilor înconjurătoare precum și a obiectelor reale. Aceste metode sunt potrivite pentru sistemele ultra-realiste care folosesc afișaje 3D atât pentru prim-plan cât și pentru fundal. Inițial, am investigat o metodă de reconstrucție care aparține viziunii pasive care abordează două probleme principale ale modelării 3D: (1) calibrarea internă a camerei respectiv (2) reconstrucția structurii 3D.

Un accent deosebit a fost pus pe camerele omnidirecționale care sunt capabile de captarea unui câmp vizual complet. Presupunând un centru optic unic și un dispozitiv video catadioptric aliniat corect, am introdus un model de cameră virtuală omnidirecțională care este capabilă să afișeze imagini nedistorsionate pe un ecran cilindric virtual respectiv să detecteze locația corectă a centrului optic.

Camera virtuală omnidirecțională calibrată a fost folosită ulterior pentru a recupera structura 3D a mediului înconjurător printr-o potrivire a histogramelor de culoare ale proiecțiilor provenind de la două centre diferite.

În a doua parte a activității mele am introdus un algoritm nou de aliniere automată a unui set de imagini de distanță obținute prin scanarea unui obiect plasat pe o platformă rotativă. Procesul

de aliniere utilizează informațiile de poziționare calculate din imaginile 2D care au o corespondență de unu la unu cu valorile de adâncime din imaginile de distanță.

Cu scopul de a prezenta un exemplu din viața reală a unui mediu ultra-realist, am prezentat în ultima parte a acestei teze o integrare a metodei de reconstrucție 3D cu o vizualizare pe un ecran auto-stereoscopic. Deși ecranul 3D a prezentat o rezoluție mică, a fost caracterizat de un câmp de vizibilitate de 360° și de un rendering în timp real al modelului 3D îndeplinind astfel cerința de a induce sentimentul de "prezență" pentru o comunicare naturală și realistă.

Munca desfășurată pe parcursul acestei activități de cercetare se întinde de la dezvoltarea de tehnici de modelare 3D până la aplicațiile integrate de scanare și afișare pe ecrane auto-stereoscopice respectiv la estimarea rezoluției de afișare pentru afișajele 3D. Rezultatele obținute pregătesc terenul pentru investigații suplimentare, o direcție de cercetare potențială fiind reprezentată de extinderea tehnicilor de reconstrucție 3D cu scopul de a genera modele 3D de o mai mare rezoluție pentru reprezentarea mediului înconjurător.

Pentru a atinge acest obiectiv intenționez să folosesc un set de imagini de distanță captate cu o rețea de camere și să efectuez înregistrarea lor prin utilizarea metodei deja dezvoltate pentru reconstrucția 3D a obiectelor de mici dimensiuni. Aceeași rețea de camere ar putea fi folosită ulterior într-o configurație circulară cu scopul de a reconstrui modele 3D ale unor obiecte mici, dar într-un mediu de exterior în care scanerul laser devin inefficient din cauza interferențelor cu lumina naturală.

7.2 Contribuții

Contribuțiile acestei teze sunt incluse în această secțiune pentru o subliniere clară a realizărilor acestei activități de cercetare:

- Prezentarea unui model de cameră pinhole virtuală care poate fi emulată oricărui tip de cameră de perspectivă respectiv catadioptrică care prezintă un singur centru optic precum și prezentarea unei metode de calibrare care permite afișarea de imagini nedistorsionate pe un ecran virtual respectiv determinarea cu precizie a centrului optic.
- Modelare 3D a unui mediu de interior folosind o camera virtuală omnidirecțională calibrată prin metoda dezvoltată anterior. Scena este reconstruită printr-o potrivire a proiecțiilor provenind de la două centre optice diferite pe un ecran planar. Prin înclinarea și schimbarea poziției ecranului de proiecție putem genera astfel o hartă detaliată a mediului înconjurător.
- Reconstrucția automată a modelului 3D al unui obiect real pe baza unei secvențe de imagini de distanță furnizate de către un scanner care prezintă și o cameră video încorporată. Această

7. DISCUȚII

metodă folosește în primul rând eliminarea corespondențelor 2D false și apoi detectează corespondențele 3D pe baza corespondenței de unu la unu între punctele 3D și proiecțiile corespunzătoare 2D furnizate de dispozitivul de scanare.

- Integrarea metodei de reconstrucție 3D cu vizualizare pe un ecran auto-stereoscopic. Am introdus o metodă automată de modelare și vizualizare 3D care scanează, înscrie și afișează obiectele reale pe un ecran 3D portabil într-un proces on-line.

7.3 Publicații

Rezultatele obținute pe parcursul acestei activități de cercetare au fost publicate în jurnale, conferințe internaționale respectiv au fost depuse propuneri de patente. Lista cu cele mai reprezentative publicații este prezentată în continuare:

7.3.1 Publicații în Jurnal

- **A Method for Reconstructing Structure from Omnidirectional View Sequence without Feature Matching**

Daniel Moldovan, Takahiro Miyashita and Hiroshi Ishiguro

Journal of CVIM, July, 2003.

7.3.2 Patent

- **Method and apparatus for registering 3D range data**

Daniel Moldovan, Sumio Yano, Yoshida Shunsuke, Naomi Inoue

Submitted to Japan Patent Office, Registration Number: 2008-280774.

7.3.3 Publicații în Conferințe Internaționale:

- **Analysis of resolution limitation of glasses-free 3-D tabletop display**

Daniel Moldovan, Shunsuke Yoshida, Masahiro Kawakita and Hiroshi Ando

IS&T/SPIE Electronic Imaging 2011, Stereoscopic Displays and Applications XXII (Conference 7863), San Francisco, U.S.A, January 23-27, 2011

- **Online System for 3D Model Reconstruction and Visualization on gCubik Auto-Stereoscopic Display**

Daniel Moldovan, Roberto Lopez-Gulliver, Sumio Yano and Hiroshi Ando

Proceedings of 3DSA, Tokyo, Japan, May 19-21, 2010

- **Automatic Registration of Multiple Range Views based on Feature Matching and Feature-Depth Correspondences**
Daniel Moldovan, Sumio Yano, Naomi Inoue
Proceedings of ICCP, Cluj-Napoca, Romania, August 27-29, 2009
- **A New Reliability Measure for Essential Matrices Suitable in Multiple View Calibration**
Jaume Verges-Llahi, Daniel Moldovan, Toshikazu Wada
Proceedings of VISAPP, Funchal, Portugal, 22nd - 25th of January 2008.
- **A Calibrated Pinhole Camera Model for Single Viewpoint Omnidirectional Imaging Systems**
Daniel Moldovan and Toshikazu Wada
Proceedings of ICIP, Singapore, 24-27th October 2004.
- **A Calibrated Pinhole Camera Model for Single Viewpoint Imaging Systems**
Daniel Moldovan, Yuichi Yoshioka and Toshikazu Wada
Proceedings of MIRU, Hakodate, Japan, 23rd-25th July 2004.
- **A Method for Reconstructing Structure from Omnidirectional View Sequence without Feature Matching**
Daniel Moldovan, Takahiro Miyashita and Hiroshi Ishiguro
Proceedings of MVA, Nara, Japan, December 2002.

Referințe

- [1] UNIVERSAL MEDIA RESEARCH CENTER NICT. **The World's Largest 200-inch Glasses-free 3D Display Has Been Successfully Developed.** <http://www.nict.go.jp/news/press-e.html>, January 2011. 7
- [2] UNIVERSAL MEDIA RESEARCH CENTER NICT. **NiCT Multi-Sensory Interaction System.** <http://www.etcenter.org/2010/10/nict-multi-sensory-interaction-system/>, October 2010. 7
- [3] HIROSHI ISHIGURO. **Development of low-cost compact omnidirectional vision sensors and their applications.** *International Conference on Information Systems, Analysis and Synthesis*, pages 433–439, 1998. 12
- [4] M.A. FISCHLER AND R.C. BOLLES. **Random sample consensus: A paradigm for model fitting with application to image analysis and automated cartography.** *Communications of the ACM*, pages 24(6):381–395, 1981. 12, 26
- [5] KEITH D. GREMBAN, CHARLES E. TORPE, AND TAKEO KANADE. **Geometric Camera Calibration using Systems of Linear Equations.** *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pages 2:562–567, 1988. 15
- [6] H. A. MARTINS, J. R. BIRK, AND R. B. KELLY. **Camera Models Based on Data from Two Calibration Planes.** *Computer Graphics and Image Processing*, pages 17:173–180, 1981. 15
- [7] M.D. GROSSBERG AND SHREE K. NAYAR. **A General Imaging Model and a Method for Finding its Parameters.** *Proceedings of ICCV*, 2001. 15
- [8] P.A. BEARDSLEY, P.H.S. TORR, AND A. ZISSERMAN. **3D model acquisition from extended image sequences.** *Proc. of the 4th European Conference on Computer Vision*, pages 683–695, 1996. 19
- [9] O. FAUGERAS. **Three-Dimensional Computer Vision: A Geometric Viewpoint.** *MIT Press*, 1993. 19
- [10] R. HARTLEY AND A. ZISSERMAN. **Multiple View Geometry in Computer Vision.** *Cambridge University Press*, 2000. 19
- [11] M. POLLEFEYS, R. KOCH, AND L.V. GOOL. **Selfcalibration and metric reconstruction in spite of varying and unknown internal camera parameters.** *Proc. of the Int'l Conference on Computer Vision (ICCV'98)*, pages 90–95, 1998. 19
- [12] F. ONIGA AND S. NEDEVSCHI. **Processing Dense Stereo Data Using Elevation Maps: Road Surface, Traffic Isle and Obstacle Detection.** *IEEE Transactions on Vehicular Technologies*, 2010. 19
- [13] I. HALLER, C. PANTILIE, F. ONIGA, AND S. NEDEVSCHI. **Real-Time Semi-Global Dense Stereo Solution with Improved Sub-Pixel Accuracy.** *Intelligent Vehicles Symposium*, pages 369–376, 2010. 19
- [14] C. PANTILIE AND S. NEDEVSCHI. **Real-Time Obstacle Detection in Complex Scenarios Using Dense Stereo Vision and Optical Flow.** *Proc. of the IEEE Intelligent Trans-*

- portation Systems Conference, pages 439–444, September 2010. 19
- [15] H. ISHIGURO, M. YAMAMOTO, AND S. TSUJI. **Omni-directional stereo**. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pages 14:257–262, 1992. 20
- [16] S.B. KANG AND R. SZELISKI. **3-D Scene Data Recovery using Omnidirectional Multibaseline Stereo**. *Digital Equipment Corporation, Cambridge Research Lab*, 1995. 20
- [17] KENICHI KANATANI. **Optimal Fundamental Matrix Computation: Algorithm and Reliability Analysis**. *6th Symposium on Sensing via Image Information (SII 2000)*, pages 291–298, June 2000. 20
- [18] BERTHOLD K.P. HORN. **Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions**. *Journal of the Optical Society of America*, 1987. 20, 27
- [19] TAKEMURA K, ARAKI A., IDO J., MATSUMOTO Y., TAKAMATSU J., AND OGASAWARA T. **Generating individual maps from Universal map for heterogeneous mobile robots**. *Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on*, pages 3460 – 3465, 3-7 May 2010. 24
- [20] NTT DATA SANYO SYSTEM. **Cyber modeler handy light**. <http://www.nttd-sanyo.co.jp>, 2002. 26
- [21] UZR GMBH AND CO. KG. **imodeller 3D**. <http://imodeller.com/en>, 2001. 26
- [22] LEICA GEOSYSTEMS. **HDS LLC**. <http://www.leica-geosystems.com>, 2001. 26
- [23] KONICA MINOLTA. **Vivid 910**. <http://konicaminolta.jp>, 2007. 26
- [24] GERHARD HEINRICH BENDELS, PATRICK DEGENER, ROLAND WAHL, MARCEL KORTGEN, AND REINHARD KLEIN. **Image-based registration of 3D-range data using feature surface elements**. *Int’l Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, 2004. 26
- [25] DAVID G LOWE. **Object recognition from local scale-invariant features**. *Proceedings of the International Conference on Computer Vision*, pages 2:1150–1157, 1999. 26
- [26] GANGQIANG ZHAO, LING CHEN, JIE SONG, AND GENCAI CHEN. **Large head movement tracking using SIFT-based registration**. *Proceedings of the 15th International Conference on Multimedia*, 2007. 26
- [27] B. TRIGGS, P. McLAUCHLAN, R. HARTLEY, AND A. FITZGIBBON. **Bundle Adjustment - A Modern Synthesis**. *Proceedings of the International Workshop on Vision Algorithms: Theory and Practice*, 1999. 27
- [28] ISDB-T. **Digital Broadcasting Experts Group**. <http://www.dibeg.org>, 2003.
- [29] R. LOPEZ-GULLIVER, S. YOSHIDA, S. YANO, AND N. INOUE. **gCubik: A Cubic Autostereoscopic Display for Multiuser Interaction**. *ACM Siggraph*, 11-15 Aug. 2008.
- [30] Y. NIMMAGADDA, K. KUMAR, AND YUNG-HSIANG LU. **Preference-Based Adaptation of Multimedia Presentation For Different Display Sizes**. *IEEE Int’l Conference on Multimedia and Expo*, 2009.
- [31] M. WALDNER, A. LEX, M. STREIT, AND D. SCHMALSTIEG. **Design Considerations for Collaborative Information Workspaces in Multi-Display Environments**. *Proceedings of the CoVIS Workshop on Collaborative Visualization on Interactive Surfaces*, 2009.

REFERINȚE

- [32] C. B. BURCKHARDT. **Optimum parameters and resolution limitation of integral photography.** *J. Opt. Soc. Am.*, **58**:71–76, 1967.
- [33] T. OKOSHI. **Optimum design and depth resolution of lens-sheet and projection-type three-dimensional displays.** *Appl. Opt.*, **10**:2284–2291, 1971.
- [34] H. HOSHINO, F. OKANO, H. ISONO, AND I. YUYAMA. **Analysis of resolution limitation of integral photography.** *J. Opt. Soc. Am.*, **15**:2059–266, 1998.
- [35] X. JU, T. BOYLING, J. P. SIEBERT, N. MCFARLANE, J. WU, AND R. TILLET. **Integration of Range Images of Multi-View Stereo System.** *17th International Conference on Pattern Recognition*, pages 280–283, 2004.
- [36] MESHLAB. [online]. <http://meshlab.sourceforge.net/>, 2005. 31
- [37] H. ISHIGURO, T. MIYASHITA, AND S. TSUJI. **T-Net for navigating a vision-guided robot in a real world.** *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1995.
- [38] NICT. **Homepage on Web.** <http://www.nict.go.jp>.