**SENZORI**

Spekularna refleksija – snazno ovisi o smjeru

Difuzna refleksija – uniformna u svim smjerovima

Digitalni prijenos slike:

* Diagram

  Description automatically generatedUSB 3.0, Giga Ethernet, Firewire

Tehnologije za akviziciju slike:

* Zasnivaju se na fotoelektričnom efektu te pretvaraju svjetlo u el. naboj
  + Charged coupled device (CCD)
  + Complementary metal oxide semiconductor (CMOS)
    - Svaki pixel ima vlastito sklopovlje za konverziju što stvara manju gustoću na senzoru, manju uniformnost slike, ali veću propusnost
    - U većini komercijalnih uređaja široke potrošnje zbog **niže cijene i manje potrošnje**

Pristupi akviziciji slike:

* Rolling shutter – liniju po liniju što može stvarat distorziju pri gibanju kamere/scene
* Global shutter – snimi cjelokupnu scenu odjednom

Važne specifikacije za kameru:

* Analogna/digitalna
* Rolling/global shutter
* Rezolucija
* Brzina procesira
* Color/black-white

Važne za leću:

* Focal length
* Fokus
* Distorzija lece

Uzorkovanje:

* Stvarna slika uzorkovana konačnim brojem točaka(piksela)

Piksel:

* Pojedini uzorak slike (cjelobrojna vrijednost koja oznacava intenzitet slike u toj tocki)

Kvantizacija:

* Broj razina intenziteta slike koristi za prikaz piksela

Digitalna slika se sastoji od tocaka uzorkovanih prostorno i vremenski

**Signali visokih frekvencija gube se iz slike, a izoblicuju se signali nizih frekvencija**

* **ALIASING**
* Antialiasing filtar

Problem slika u robotici

* Od 3D okruzenja oduzima 1 dimenziju, slika je 2D
* Ta slika moze predstavljat beskonacno razlicitih prostora a rekonstrukcija 3D strukture iz 2D slike nije jednoznacna
* Za odredivanje udaljenosti od kamere do objekta mora se koristit vise slika

**Točkasti model –** projikcira sliku okoline na fotoosjetljivi film

* Stvara vrlo tamnu sliku prostora jer intenzitet projekcije proporcionalan velicini otvora

Ljudsko oko

* Roznica i leca – primaju i fokus svitla
* Mreznica – formiranje slike (obrnuta i umanjena), sadrzi fotoosjetilne stanice
  + Čunjići (centralni vid, dobra rasvjeta), Štapići (slaba rasvjeta, noć, periferni vid)

Diagram

Description automatically generated**Bayerov filtar** – Fotocelije senzora prekrivene filtrima boje koje propustaju crvenu, zelenu ili plavu. U slucaju ovog filtra, on ima dvostruko vise zelenih kvadratica

Chart

Description automatically generated with low confidenceCilj je povezati informacije o točki T u globalnom koordinatnom sustavu s točkom na slici u koordinatama slike (u,v). Zato bolju geometrijsku predodzbu dobivamo ako ravnina slike bude isprid optickog sredista

Svojstva perspektivne projekcije

* Preslikava 3D prostor u 2D ravninu slike
* Ravne linije = Ravne linije u ravnini slike
* Paralelne linije = Linije koje se sijeku u tocki nedogleda (osim za linije paralelne sa ravninom slike)
* Konicne krivolje = konicne krivulje u ravnini slike (kruznica = kruznica/elipsa)
* Preslikavanje nije 1 na 1 te ne postoji jedinstveni inverz (nemoguce jednoznacno odrediti 3D koordinate)
* **Nije konformalno preslikavanje** – ne cuva oblik jer unutarnji kutovi nisu ocuvani, primjer konformalnih preslikavanja = translacija, rotacija, skaliranje

Umjeravanje

* Postupak odredivanja parametra modela projekcije
* Zasto radit vlastite eksperimente umjeravanja?
  + Glavna zarisna tocka ne mora biti u sredistu slike
  + Prava zarisna duljina moze odstupati od tog sto je reka proizvodac
  + Intrinzicni parametri lece mogu se promijeniti ako se leca skine i ponovo postavi
* Provodi se putem **umjernog objekta**, najčesce je to sahovska ploca poznatih dimenzija i velicina kvadratica (kutovi kljucne tocke)
* „Iako se H sastoji od 9 parametra, ima 8 stupnejva slobode, te su iz tog razloga potrebne minimalno 4 tocke za rjesavanje sustava (1 tocka = 2 jednadzbe).
  + Jedan mos nastimat da je 1, pazi ako je matrica simetricna

Geometrijska distorzija

* Dvije komponente: Radijalna i Tangencijalna distorzija
* **Radijalna**: translacija tocka slike po radijalnim linijama koje izviru iz glavne tocke (posljedica cinjenice da razliciti djelovi slike imaju razlicitu zarisnu duljinu)
  + Bačvasta distorzija – Smanjenje udaljenosti od glavne tocke
  + Jastučasta distorzija – Povecanje udaljenosti od glavne tocke
* **Tangencijalna:** Uzrokuje pomak tocke okomito spram radijalnih duljina (posljedica neporavnavanjem lece i senzora)
  + Ki da se nagnila malo

Sferna aberacija – Zarisne tocke razlicitih zraka su drugacije

**Zarisna duljina lece** – udaljenost gdje zrake svjetlosti konvergiraju od ravnine slike/senzora

Text, table

Description automatically generated

**Otvor blende** F = f/d gdje je d promjer lece predstavlja velicinu otvora kroz koji svijetlo ulazi u kameru i pada na senzor

**Dubina polja (DOF**) – interval u dubini scene u kojem ce objekti biti prihvatljive ostrine

Smanjenje oštrine može doci od:

* Otvora blende
* Aberacije lece

Brzina zatvaraca(Shutter speed) – vrijeme ekspozicije senzora svijetlu

* Dulja brzina = vise svitla ali zamucenje slike
* Manja brzina = manje svitla, ali ostro hvata sliku

ISO pojacanje – elektronski jaci signal

* Veci intenzitet i povecavanje svjetline ali veci sum/zrnate slike

Algoritmi obrade slike

* Cilj iizvlacenje znacajki i njihovo uparivanje kroz vise slika
* Svojstva dobrih znacajki
  + Ponovljivost – ista znacajka se moze detektirati u razlicitim slikama
  + Jedinstvenost – Svaka znacajka ima jedinstvene karakteristike
  + Kompaktnost – Broj znacajki je puno manji od broja piksela
  + Lokalnost – Znacajka zauzima relativno mali prostor slike

Predobrada slike

* Vrlo cesto je ujednacavanje histograma (histogram prikazuje koliko cesto su koristeni odredeni iznosi piksela)

Konvolucija: Otezani zbroj piksela unutar okna W, gdje su tezine definirane elementima maske K

* Problem – kad se okno priblizi rubu slike, dvije opcije ako se to dogodi:
  + Smatrati da elementi van ulazne slike koje obuhvaca okno su jednaki 0
  + Odbaciti rezultat za one dijelove slike gdje okno prelazi rub

Izgladivanje slike: Usrednjavanje svjetline piksela, „zamučivanje“

* A picture containing text, clock

  Description automatically generated
* Chart

  Description automatically generated with medium confidenceNajpopularnija maska za ugladivanje slike je Gaussova maska:

Detekcija rubova:

* Rubovi su konture u slici na kojima se skokovito mijenja intenzitet piksela
* Visoke vrijednosti gradijenta
* Canny detektor
  + Isto koristi amplitudu i smjer gradienta ali jos dva koraka
    - Prigusenje nemaksimalnih vrijednosti radi izostravanja rubova
    - Histerni prag: vrsne vrijednosti ispod praga se odbacuju a iznad ostavljaju
* Laplaceov operator
  + Druga derivacija = 0
  + A picture containing text, clock

    Description automatically generated

Uparivanje predloska

* Cilj koristit predlozak i pronaci dio slike koji je najslicniji predlosku
* Najcesce mjere slicnosti:
  + Sum of absolute differences
  + Sum of squared differences
  + NCC – normalizirana medukorelacija, [-1,1]
  + Census metrika
    - Ako je piksel veci od sredisnje vrijednosti, bit = 1, inace 0
* Problem pomjesanih piksela:
  + Okno obuhvaca i pozadinu u slici koja se moze minjati kako se objekt giba

Znacajke – vizualno jedinstveni diijelovi slike koji se znatno razlikuju od svoje okoline

KUT – tockasta znacajka koja ima visok gradijent u ortogonalnim smjerovima

* Sjeciste dvaju rubova
* Tocke na krivulji di je zakrivljenost lokalno max
* Izolirane tocke max i min intenziteta
* Pocetak i kraj ruba

Detektori kutova

* Moravecov detektor
  + Podrucje slike unutar okna W ce se jedinstveno moci detektirat u drugoj slici
  + Slicnost je SSD mjera te se evaluira za pomake u 8 smjerova
  + Chart, scatter chart

    Description automatically generatedKonacna mjera jacine kuta: najmanji iznos razlike za sve pomake (CM = min ovo doli za svaki pixel) – **SLIČNOST FORMULA**
  + Glavni nedostatak: Nije izotropan, selektivan je s obzirom na orijentaciju rubova i u slucaju kad se tocka nalazi na liniji moze dati visoku vrijednost mjere CM sto je nepozeljno

Poopceni detektor kutova

* Blabla neke formule
* Chart, surface chart

  Description automatically generated

Shi-Tomasi detektor

* Uzima za jacinu kuta minimalnu svojstvenu vrijednost u matrici A

Harrisov detektor

* Koristi ovu mjeru za jacinu kuta, ali uz izbjegavanje racunanja svojstvenih vrijednosti
* K je parametar izmedu 0.04 i 0.06
* CH > 0 🡺 Kut, CH < 0 🡺 Rub
* Izracun svih gradijenta -> Izracunat matricu A -> Odziv mjere slicnosti -> Lokalni maksimumi CH -> postaviti prag na lokalne maks
* **Invarijantan na rotaciju**
* Djelomicno invarijantan na promjenu intenziteta
* Nije invarijantan na skalu

Opticki tok – Uparivanje znacajki u slikama kroz vrijeme

* Potrebno upariti intenzitete piksela kroz vrijeme
* Pretpostavke
  + Jednakost osvjetljenosti
  + Mali pomak
* Problem malog otvora
  + Mozemo odrediti samo komponentu u smjeru gradijenta a ne komponentu toka paralelnu gradijentu
* Dodatna pretpostavka
  + Gibanje susjednik piksela je slicno (opticki tok susjednih piksela je gladak)
* Dobre znacajke za pracenje = KUTOVI
* Najcesce pogreske:
  + Gibanje susjednih piksela ni slicno
  + Jednakost osvjetljenja ni ispunjena
  + Pomak u slici nije mal

Detektori kutova ne mogu nam jamciti da cemo uociti kutove razlicitih velicina u istoj slici ili isti kut u dvije razlicite slike ako postoji znatna promjena skale.

SIFT – SCALE INVARIANT FEATURE TRANSFORM

* Detektor znacajki invarijantan na skalu
* Svaka nova razina ima dvostruko manju rezoluciju i zove se **oktava**
* Uzastopno baca gaussovu masku kojom se gube fini detalji al se naglasavaju grublji i veci
  + **Postupak se zove prostor skale**
* Laplace gaussiana – LOG, umisto njega SIFT radi difference of gaussians – DOG
  + DOG je racunski ucinkovita aproksimacija LOG-a
* Referentna orijentacija piksela – imaju li svi pikseli priblizno jednak smjer gradijenta, ako ne odbacujemo taj piksel a preostali postaju sift znacajke
* Sift daje robusne opisnike iz sljedecih razloga:
  + Znacajke se detektiraju na razlicitm razinama zamucenosti i skalama
  + Robusnost na promjene u orijentaciji
  + Invarijantnost na translaciju jer se sve racuna iz ishodista
* Euklidska udaljenost = uparivanje znacajki
* Ima SIFT opisnik

SURF – Speeded up robust features

* 3x brzi od SIFTA jer jednostavnije operacije koristi

ORB – Oriented FAST and rotated BRIEF

* FAST detektor i BRIEF opisnik
* Usporedivanje svjetlina po kruznici
* BRIEF nije invarijantan na rotaciju ali ima mehanizam za kompenzaciju orijentacije

Stereo kamera – dvije kamere na poznatoj medusobnoj udaljenosti snimaju istu scenu

Odredivanje dubine – stereoskopija (dosta lagan dokaz)

Vizualna odometrija – odredivanje trajektorije gibanja kamere temeljem korespodentnih tocaka iz para slika

* Odreduje pomak u 3D – 6 stupnjeva slobode

Specijalni vizualni senzori

* Kinect v1, v2 (vrijeme povrata reflektirane zrake), svesmjerne kamere

**Neuronske mreze**

* Ulazni, skriveni i izlazni sloj
* Univerzalni aproksimatori
* Flattening – postupak pretvaranja 2D slike u 1D vektor jer klasicnim neuronskim mozes samo 1D vektor
* Chart, radar chart

  Description automatically generatedIzracunavanje broja parametara:
* Unaprijedne neuronske mreze – ove navedene di triba flattening
  + Potpuno povezani slojevi
  + LeNet, AlexNet, ResNet
* Konvolucijske neuronske mreze – izbjegavaju te probleme koristenjem konv. jezgri(maski)
  + Niz konvolucijskih slojeva razdvojenih nelinearnim akt. funkcijama
  + Dimenzije rezultata konvolucije, tzv. mape znacajki su: n - w + 1
  + Rezultati su aktivacijske mape tj tenzori
  + Saziimanje po maksimumu – mapa velicine (n-w)/2 + 1

OSJET DODIRA

Senzor sile/momenta

* **Mjeri svih 6 komponenti sile i zakretnog momenta**
* Silikonske mjerači za mjerenje naprezanja osjetilne sile
* Optički senzori sile
  + Fotodiode mjeru reflektiranu svjetlost i time rekonstruiraju veličinu sile i smjer

Flex senzor

* Savija se steže s uređajem za kretanje
* **Mjerenje kutnog pomaka**
* Robotika, Igre(virtual motion), medicinski uredaji, racunalna periferija
* Jednostavna konstrukcija i niski profil

RGBD flex-mjerenja bazirana na kameri

* **Mjerenje kutnog pomaka**
* Registrirani point-cloud za mjerenje savijanja i zatezanja alata
* Zbukanje, slikanje, medicinski proizvodi
* Potrebna kalibracija!!

RGBD objasnjenja

* Koristi se kamera i izvor svjetlosti sa patternom koji znamo (toe glavni izvor svitla)
* Po obliku se distorta svitlo i kamera to uhvati
* Priijasnje znanje:
  + Poznavanje geometrije patterna svitla
  + Relativne pozicije kamere i svitla
* 3D reprezentacije:
  + Point cloud, mesh, volumetric, projected view RGB(D)
  + Octomap!

Poravnavanje objekta je bitno, zelimo odgovarajuce tocke blizu nakon transformacije:

* Problemi:
  + Ne znamo koje tocke odgovaraju
  + Ne znamo optimalno poravnavanje

TAC TIP – umjetni dodir

* Optički baziran taktilni senzor
* Silikonski vrh
* Manipulacija krhkim predmetima
  + Sukladna kontrola sa povratnom silom
  + Mehanička absorpcija udara
* **Autoenkoder**
  + Arhitektura neuronske mreze
    - Uklanjanje suma i kodiranje podataka
  + Automatizirano izvlacenje znacajki
  + Redukcija dimenzonalnosti