

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE FAKULTA MATEMATIKY,
FYZIKY A INFORMATIKY



ALGORITMY RIADENIA HUMANOIDNÉHO ROBOTA

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE FAKULTA MATEMATIKY,
FYZIKY A INFORMATIKY

ALGORITMY RIADENIA HUMANOIDNÉHO ROBOTA
TOMÁŠ KOSEC

Študijný program: Aplikovaná informatika
Študijný odbor: 2511 Aplikovaná informatika
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej
informatiky Školiteľ: Mgr. Pavel Petrovič, PhD.

Abstrakt

Cieľom tejto práce je navrhnúť, implementovať a overiť algoritmy pre pohyb a manipuláciu v prostredí robota Lilli, porovnať ich vhodnosť a zväžiť použitie automatických metód na ladenie parametrov algoritmov a zamerať sa aj na spôsoby interakcie človeka s robotom.

Abstract

The aim of this work is to design, implement and verify algorithms for motion and manipulation in Lilli robot environment, compare their suitability and consider using automatic methods for parameter tuning algorithms and focus also on ways of human-robot interaction.

Pojmy

- **Lilli** - humanoidný robot s 25 stupňami voľnosti

Obsah

1	Úvod	7
1.1	Humanoidný robot	8
1.2	Pohyb u robotov	9
1.3	Bipédia u robotov	9
1.4	Kinematika horných končatín robota Lilli	9
1.5	Interakcia robota s okolím	11
1.6	Spracovanie obrazu	11
1.7	Robotické videnie	11
1.8	Hĺbková mapa	12
1.9	Epipolárna geometria	13
1.10	Pinhole camera	15

Kapitola 1

Úvod

Podľa definície slova (humanoidný) robot, teda robot, ktorý imituje pohyby človeka a má horné a dolné končatiny, môžeme za prvého humanoidného robota považovať *Herbert-a Televox-a* vytvoreného pánom Roy-om Wensley-om v roku 1927. Išlo o robota, ktorý bol vytvorený za účelom zdvíhania prijímača a tak uskutočňovať telefonický hovor. Koncom šesťdesiatych rokov sa začal projekt WABOT na Waseda University. V roku 1972 bol dokončený robot WABOT-1, ktorý bol zároveň aj prvým humanoidným robotom v životnej veľkosti, ktorý vedel chodiť, komunikovať s ľuďmi (v japončine), navigovať sa po miestnosti a zdvíhať i premiestňovať objekty. Odhadovalo sa, že WABOT-1 má mentálnu schopnosť jeden a pol roka starého dieťaťa. V roku 1980 sa začalo s vývojom robota WABOT-2, ktorý po dokončení vedel navyše čítať noty a hrať na klavír.

Vývoj humanoidných robotov zažil v poslednej dekáde obrovský rozvoj. Humanoidné roboty zanedlho budú súčasťou nášho každodenného života v rôznych oblastiach našej spoločnosti. Ich využitie môže byť veľkým prínosom pri rizikových povolaniach či povolaniach, kde dochádza k nadmernej záťaži na ľudský organizmus. Humanoidné roboty sú zároveň vhodné aj na interakciu s človekom, keďže sa naňho podobajú - z psychologického hľadiska si k nim môžu ľudia vybudovať dôvernejší vzťah ako ostatným typom robotov.

Cieľom tejto bakalárskej práce je zdokonaľiť humanoidného robota Lilli, ktorý sa nachádza na Fakulte matematiky, fyziky a informatiky. Prvým menším cieľom je vytvorenie algoritmu na balansovanie robota na mieste, teda aby robot bol schopný stáť

sám. Druhým menším cieľom je vytvorenie algoritmu na pohyb robota za pomoci človeka, teda robot sa bude pridržiavať človeka a bude kráčať. Tretím menším cieľom je vytvorenie algoritmu na rozoznávanie okolia a objektov v ňom. Na základe rozoznania objektov následne robot pomocou ramena premiestni objekt z bodu A do bodu B.

1.1 Humanoidný robot

Za humanoidného robota sa považuje každý robot, ktorý má stavbu tela podobnú tomu ľudskému. Teda má torzo, horné končatiny, dolné končatiny a hlavu, a k pohybu využíva bipédiu, teda pohyb po dvoch zadných končatinách (v našom vnímaní je to chôdza). Za humanoidného robota sa považuje aj robot, ktorý má len torzo, horné končatiny a hlavu, a imituje človeka. Niektorí humanoidní roboti majú prepracovanú hlavu, teda majú oči, ústa, nos a uši. Roboti, ktorí reálne imitujú človeka, hlavne výzorom, sa nazývajú androidi.

Humanoidné roboty sú oblasťou výskumu mnohých vedných disciplín. Pri konštrukcii humanoidného robota je potrebná dokonalá znalosť ľudského tela, teda takýto výskum je prospešný nielen pre robotiku ale i pre ostatné kognitívne vedy so zameraním na ľudské telo a jeho správanie. Pôvodným cieľom humanoidného výskumu však bolo vytváranie ortéz a protéz pre ľudí, tieto znalosti sa však ľahko preniesli aj do robotiky, kde našli veľké uplatnenie.

Humanoidní roboti sú určený prevažne na vykonávanie ľudských úloh, kde je vyžadovaná dôvera zo strany príjemcu, čo môže byť napr. starý človek (ktorému robot podáva lieky, stará sa oň, či mu robí spoločníka). Cieľom humanoida tak nie je len vykonávať svoju prácu, ale aj dokonale imitovať človeka tak, aby sa naň čo najviac podobal a príjemca si k nemu mohol vybudovať hlbší vzťah a dôveru, tak ako u normálneho človeka. Humanoidní roboti môžu v podstate vykonávať akúkoľvek ľudskú prácu, teda prácu s nástrojmi. Vytvorenie softvéru pre riadenie je však náročné.

V neposlednom rade je tu etická otázka, do akej miery by sme mali vyvíjať humanoidných robotov. Ide hlavne o softvér, ktorý určuje "povahu" robota. Vo všeobecnosti však platí, že roboti s umelou inteligenciou by mohli byť využívané hlavne na výskum vesmíru.

1.2 Pohyb u robotov

Existuje mnoho spôsobov, akými sa roboti pohybujú a taktiež pohyb robota je dôležitým aspektom pri jeho vývoji. Inšpiráciou je samozrejme aj lokomócia (pohyb) živočíchov. Organizmy sa dokonale prispôbili pohyb na prekonávanie každého terénu. Avšak napodobňovanie pohybu organizmov, resp. živočíchov, je veľmi náročné. Živé organizmy pracujú na bunkovej úrovni (napr. bunky svalov) pri ktorej dosahujú veľmi malý rozmer, váhu a mieru odolnosti. Navyše, tieto svalové systémy dosahujú lepšie vlastnosti ako človekom vytvorené systémy podobnej veľkosti. Väčšina robotov teda používa k pohybu kolesá alebo niekoľko kĺbových nôh (samozrejme využíva sa omnoho viac spôsobov lokomócie, ako je spomenuté). Vo všeobecnosti, pohyb zdieľa rovnaké otázky ohľadom stability, charakteristiku kontaktu s terénom a samotný typ terénu.

1.3 Bipédia u robotov

Hlavným problémom pri vývoji robotov, ktorý na pohyb využívajú nohy (chôdzu) je koordinácia pohybu ich nôh. Chôdza je sled udalostí zdvíhania a uvoľňovania pre jednotlivé nohy. Pre robota s k nohami je celkový počet odlišných sledov udalostí N pre kráčajúceho robota:

$$N = (2k - 1)!$$

Pre bipédneho robota s $k = 2$ nohami je počet odlišných sledov udalostí

$$N = (2k - 1)! = 3! = 6$$

Práve bipédia je náročná na celkovú stabilitu robota. Aj v stabilnej polohe musí robot vykonávať rôzne stabilizačné úkony pomocou motorov v oblasti bedier, kolien, členkov i vo vrchných častiach torza.

1.4 Kinematika horných končatín robota Lilli

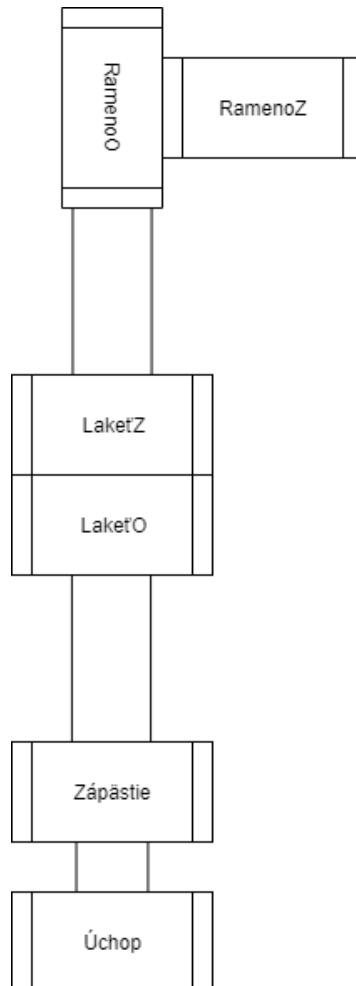
V našom prípade sa jedná o kinematiku, ktorá pripomína rameno, keďže sa sústredíme na horné končatiny robota. V každej hornej končatine má Lilli 6 servo motorov, teda

každá horná končatina má 6 stupňov voľnosti. Každý zo servo motorov má otočnosť približne 180° . Na schéme 1.1 vidíme rozloženie servo motorov. V ramene sa nachádzajú dva servá:

RamenoO a *RamenoZ*, pričom *RamenoO* otáča celou končatinou a *RamenoZ* zdvíha celú končatinu.

Podobne *LakteŔO* otáča celým predlaktím a *LakteŔZ* zdvíha celé predlaktie.

Zápästie následne otáča zápästím avšak nedvíha ho. *Úchop* otvára a zatvára "dlaň". Neprítomnosť tretieho stupňa voľnosti v zápästí sťažuje manipuláciu s objektami. Tak tiež dĺžka medzi laktom a ramenom je kratšia ako u človeka, čo spôsobuje kratší dosah oboch ramien do oboch strán. Citeľným problémom je manipulácia pred torzom, keďže dĺžka ramena je len o niečo väčšia ako je šírka torza robota.



Obr. 1.1: Pravé rameno

S týmito obmedzeniami je potrebné počítať už pri návrhu pohybu, ktorý sa počíta

v danom softvéri.

1.5 Interakcia robota s okolím

Každý robot potrebuje k interakcii so svojim okolím senzory. Začína sa od najjednoduchších senzorov, ako sú napríklad tlakové senzory, či ultrazvukové alebo laserové senzory na zisťovanie vzdialenosti od objektu. Takéto senzory sa využívajú napríklad pri robotických vysávačoch, či jednoduchších robotických ramenách v priemyselnej výrobe. Mnoho problémov si však žiada dokonalejšie senzory na interakciu s okolím. Vo väčšine prípadov prichádza na rad istý druh spracovania obrazu.

1.6 Spracovanie obrazu

Spracovanie obrazu je už takmer nevyhnutnou súčasťou každého robota, ktorý potrebuje rozoznávať objekty, prípadne aj ich farby, v priestore. Mnoho robotov vytvára hĺbkovú mapu priestoru, ktorý zaznamenáva prostredníctvom kamier na to určených. Robot následne vidí "3Dä teda vie určiť vzdialenosť od jednotlivých objektov. Samozrejme, takáto technológia sa dá nahradiť aj senzormi vzdialenosti. Laserové technológie a senzory vedia taktiež rozoznať tvary, softvér následne vie zreprodukovať a vizualizovať tieto dáta. Senzor na meranie vzdialenosti následne určí, v akej vzdialenosti sa daný objekt nachádza. Tým sa dá presne reprodukovať mapa priestoru v okolí robota.

Vytváranie ofarbenej hĺbkovej mapy však má výhodu práve v rozoznávaní farieb, čo môže byť veľkou výhodou pri vykonávaní rôznych činností, kde treba rozoznať tvar, ale zároveň aj farbu objektu. Touto činnosťou je napríklad rozoznávanie dielov v automobilovom priemysle, či rozoznávanie ovocia a zisťovanie jeho stavu dozretia. Takáto hĺbková mapa napomáha aj pri interakcii s človekom.

1.7 Robotické videnie

Robotické videnie, zahŕňa využitie kamery (alebo viacerých kamier) a algoritmov na spracovanie dát zo vstupu kamery (kamier).

Základným videním sú 2D kamery, ktoré vedia rozoznať objekt (napr. automobilovú

súčiastku pri využití robotov v automobilovom priemysle) a na základe toho vie robot, či má danú súčiastku zobrať, alebo nie (záleží od úlohy daného robota). Kamery však nemusia byť umiestnené priamo na robotovi (robotickom ramene). Kamery môžu byť umiestnené:

- **Staticky - mimo robota** - kamera je napríklad umiestnená nad pásom určitú vzdialenosť pred robotom a na základe obrazového vstupu vie počítač vydať príkazy na pohyb robotovi.
- **Na robotovi** - robot pri svojom pohybe sníma okolie. Tento prístup je samozrejme výhodný, ak robot hľadá veci v priestore bez vedomosti, kde sa daný objekt nachádza. Takýto prístup je samozrejímavý u humanoidných robotov.
- **Kombinované** - robot vie oveľa lepšie identifikovať predmet v priestore, kamery mimo robota vedia detegovať predmet skôr, ako sa dostane priamo k robotovi, ten ho na základe kamery priamo na tele vie zodvihnúť, prípadne vykonať iný úkon.

V dnešnej dobe nie sú žiadnou výnimkou 3D kamery. Tie vytvárajú hĺbkovú mapu okolitého sveta. Tým pádom robot "vidí" podobne ako človek, teda vie povedať, v akej vzdialenosti sa od neho predmety nachádzajú. 3D kamery majú obrovské využitie v mnohých odvetviach, k príkladu napr. autonómne autá.

Na robotické videnie v prípade Lilli sa využíva ZED Mini camera, ktorá zachytáva stereo video vo vysokom rozlíšení a napodobňuje tak spôsob, akým vnímame svet. Následným spracovaním vstupu z kamery sa vytvára ofarbená hĺbková mapa priestoru okolo Lilli.

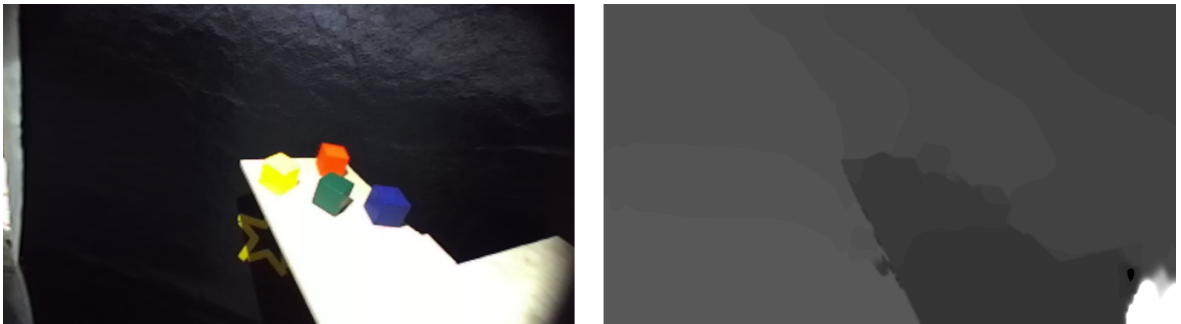
1.8 Hĺbková mapa

Hĺbková mapa je výsledkom stereo videnia. Vzniká získaním informácie o hĺbke z dvoch (alebo viacerých) 2D obrázkov, podobne, ako vnímajú hĺbku priestoru aj ľudia.

Ako dáta na vstupe slúžia dva 2D obrázky. Tie sú zhotovené z dvoch rôznych pozícií v priestore. Kamery sú umiestnené na jednej priamke vo vzdialenosti v . Keďže

sú tieto kamery na rôznych pozíciách v priestore, aj zaznamenaný obraz bude odlišný, teda všetky objekty budú zaznamenané z odlišných uhlov (odlišnosť uhlov závisí od vzdialenosti v). Vzdialenosť objektov od kamier určuje aj ich pozíciu v zaznamenanom obraze. Keďže máme dva obrazy z rôznych uhlov, rozdiely medzi ich pozíciami v rámci obrazov budú odlišné, nenulové. Teda meraním relatívnych vzdialeností medzi objektami na obrazoch môžeme určiť vzdialenosť objektu.

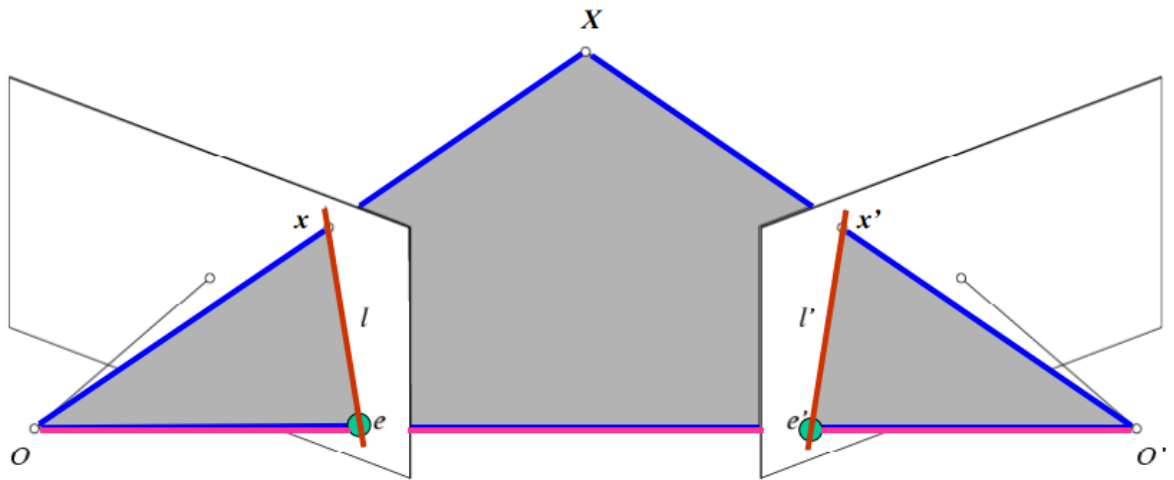
Toto tvrdenie však platí len pre objekty v konečnej vzdialenosti. Pokiaľ by sme uvažovali nekonečnú vzdialenosť, objekty by sa nám zobrazili na rovnakej pozícii na oboch 2D obrazoch.



Obr. 1.2: Príklad prostredia a jeho hĺbkovej mapy

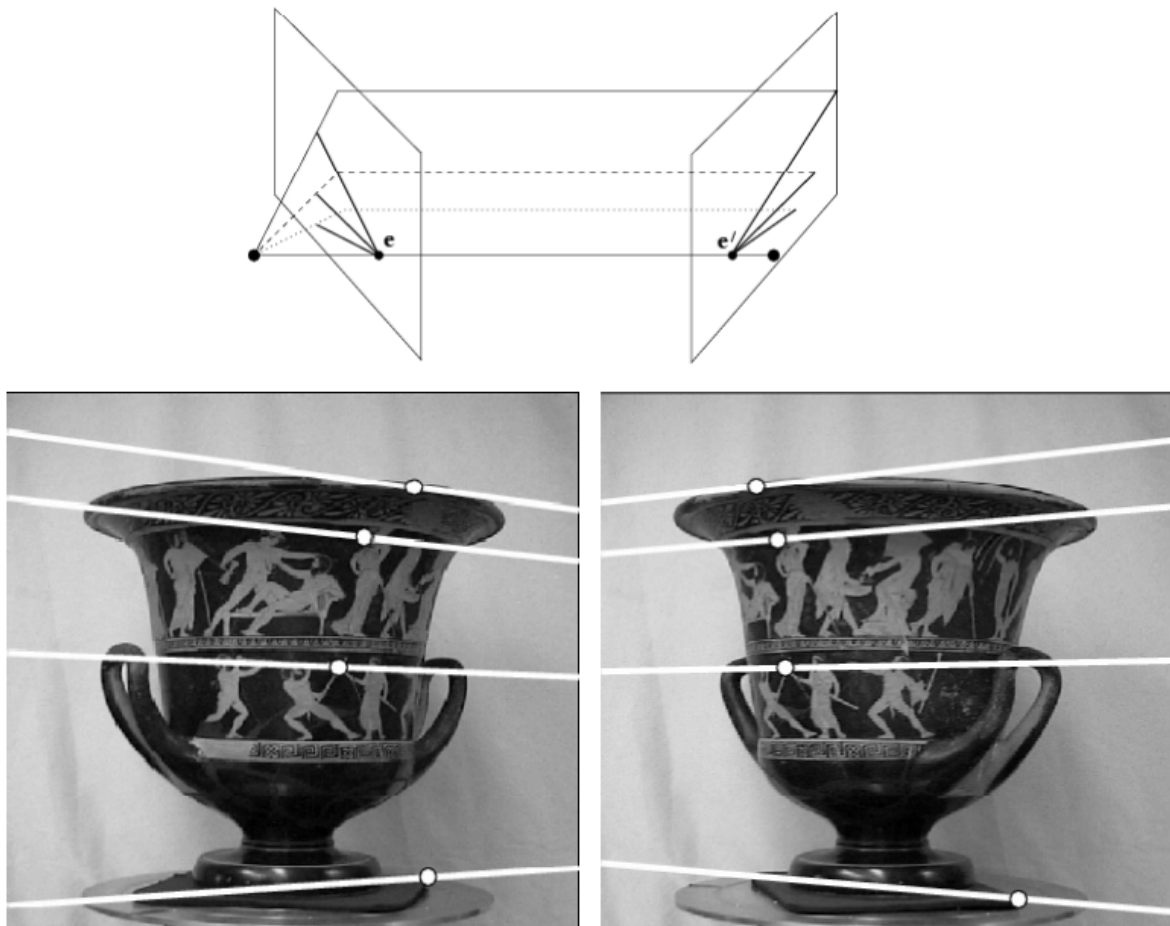
1.9 Epipolárna geometria

Epipolárna geometria popisuje geometrický vzťah medzi dvoma perspektívnymi pohľadmi na tú istú 3D scénu. Kľúčom je, že zodpovedajúce obrazové body musia ležať na konkrétnych obrazových priamkach, ktoré môžu byť vypočítané bez informácie o kalibrácii kamier. To znamená, že vzhľadom na bod na jednom obrázku je možné hľadať zodpovedajúci bod na druhom pozdĺž priamky a nie v oblasti 2D, čo predstavuje významné zníženie zložitosti.



Obr. 1.3: Epipolárna geometria

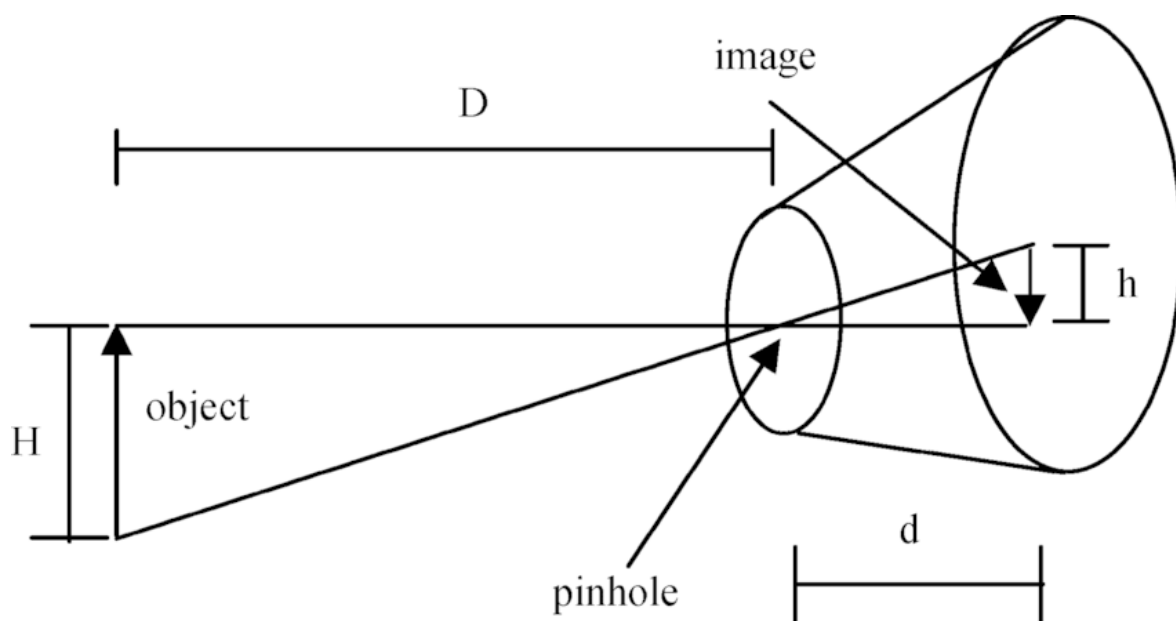
Obrázok 1.3 znázorňuje epipolárnu geometriu. O a O' sú stredy projekcie kamier, ktoré ležia na základnej čiare (na 1.3 znázornená ružovou farbou). X je bod, ktorému chceme určiť hĺbku v obraze. Následne, rovina, ktorá prechádza stredom projekcie O , O' a objektom(bodom) X sa nazýva *epipolárna rovina* (na obrázku 1.3 znázornená modrou farbou). Bod X sa zobrazí na projekčnej rovine O a O' v bodoch x a x' . Nech sa bod X nachádza v akejkoľvek vzdialenosti od kamier, potom jeho obraz bude ležať na *epipolárnej čiare* l a l' . Tá vzniká prienikom roviny projekcie kamery a epipolárnej roviny. Ak projekčné roviny kamier nie sú paralelné, vzniká *epipól* e a e' , priesečník projekčnej roviny a spojnice optických stredov kamier O a O' .



Obr. 1.4: Využitie epipolárnej geometrie

1.10 Pinhole camera

Pinhole camera alebo dierová komora je vo všeobecnosti jednoduchý aparát na zachytávanie obrazu z okolitého sveta. Svetlo sa do aparátu dostáva pomocou malého otvoru a premieta sa na protiľahlú stenu aparátu. Obraz je vernou kópiou sledovaného objektu, avšak je prevrátený hore nohami.



Obr. 1.5: Model dierovej komory

Ohnisková vzdialenosť d je definovaná v konfiguračnom súbore kamery. Poloha na premietanom obrázku h sa vypočíta ako ťažisko detegovaného segmentu. Vzdialenosť predmetu od kamery D získame z hĺbkovej mapy. Posun v reálnom svete od stredu kamery (H) sa potom môže vypočítavať pomocou rovnice:

$$H = D * h/d$$

Tento výpočet sa robí pre horizontálny aj vertikálny rozmer.

Literatúra

- [1] Asim Bhatti. *Stereo vision*. BoD–Books on Demand, 2008.
- [2] I Blanárik. Epipolárna geometria. *Fakulta informatiky a informačných technológií, Slovenská technická univerzita v Bratislave*, 2005.
- [3] Eduardo Bayro Corrochano. *Geometric Computing for Perception Action Systems: Concepts, Algorithms, and Scientific Applications*. Springer Science & Business Media, 2001.
- [4] Michal Fikar and Nina Lúčna. Lilli object interaction. https://wiki.robotika.sk/robowiki/index.php?title=Lilli_object_interaction_-_Michal_Fikar,__Nina_L%C3%BA%C4%8Dna, 2019. cit. 02.02.2020.
- [5] Ichiro Kato, Sadamu Ohteru, Katsuhiko Shirai, Toshiaki Matsushima, Seinosuke Narita, Shigeki Sugano, Tetsunori Kobayashi, and Eizo Fujisawa. The robot musician ‘wabot-2’(waseda robot-2). *Robotics*, 3(2):143–155, 1987.
- [6] Marian Mihalik and Mária Zentková. *Počítačové videnie v praxi*. 2016.
- [7] Roland Siegwart, Illah Reza Nourbakhsh, and Davide Scaramuzza. *Introduction to autonomous mobile robots*. MIT press, 2011.
- [8] Roman Stoklasa. *Segmentácia obrazu použitím hĺbkovej mapy*. PhD thesis, Masarykova univerzita, Fakulta informatiky, 2008.