

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta *za elektrotehniko*



LABORATORIJ ZA MODELIRANJE,  
SIMULACIJO IN VODENJE

LABORATORIJ ZA AVTONOMNE  
MOBILNE SISTEME

# Avtonomni mobilni sistemi

**Izr. prof. dr. Gregor Klančar**

gregor.klancar@fe.uni-lj.si

## Senzorji v mobilnih sistemih

2013/2014



- Zaznavanja okolice (ovir, ciljev, značilk, kartiranje, lokalizacija, ... )
- Zaznavanje notranjih stanj vozila (konfiguracija, zasuk koles, stanje akumulatorjev, ...)

## Zakaj senzorji?

- Negotovost zemljevida oz. izgleda okolice (neznani modeli, neznana dinamika,...)
- Izvedba ukazov za premik je negotova zaradi neidealnih aktuatorjev
- Senzorji to negotovost odpravljajo (zmanjšujejo). Omogočajo oceno stanja mobilnega sistema, kot tudi izgleda okolice.



Glede na namen uporabe:

- **Lastno zaznavanje** (proprioceptiv) - Ocena notranjih stanj robota (konfiguracija, temperatura, poraba, hitrost vrtenja koles,...).  
Primeri: inkrementalni enkoder, giroskop,...
- **Zaznavanje okolja** (exteroceptive) – Ocena stanj okolja glede na robota (glede na koordinate robota). Primeri: senzorji dotika, kompas, GPS, merilniki razdalje do ovire, kamera,...

Glede na princip meritve:

- **Pasivni senzorji** za svoje meritve uporabljajo energijo iz okolice.  
Primeri: kamera (brez osvetlitve), kompas, giroskop, pospeškometer
- **Aktivni senzorji** oddajajo energijo v okolico, da lahko izvedejo meritev.  
Primeri: laserski merilnik/pregledovalnik razdalj, ultrazvočni merilnik razdalje, GPS,...



- Ni neke elegantne rešitve ali metode za meritev lege (pozicije).
- Razvijalci zato kombinirajo več različnih pristopov:
  - **Relativne meritve lege** (Dead-reckoning):
    - odometrija
    - inercialna navigacija
  - **Absolutne meritve lege** (Reference-based systems):
    - magnetni kompas
    - aktivni markerji
    - globalni pozicionirni sistem (GPS) (se zdi optimalna rešitev a le v idealnih pogojih)
    - navigacija z uporabo značilk
    - ujemanje zemljevidov (modelov okolja)

# Odometrija



- Zelo pogosta in uporabna za kratkoročno delovanje
- Integracija inkrementov izmerjenih premikov (akumulacija pogreška)
- Napake odometrije izvirajo iz:
  - sistematičnih napak (kinematične nepravilnosti, npr. napačen podatek o radiu koles, razdalji med kolesi,...)
  - Nesistematičnih napak (zdrs koles, trki, šum meritve,...)

# Inercialna navigacija



- Uporaba giroskopa in pospeškometra za oceno lege
- Za oceno lege potrebna enojna integracija (giroskop) oz. dvojna integracija (pospeškometer)
- Pojav drifta (ob integraciji se akumulirajo konstantne napake – vpliv temperature, slabe kalibracije,...)

## Pospeškometri

- So problematični pri ocenjevanju pozicije:
  - Drift
  - Slabo razmerje signal šum pri majhnih pospeških
  - Občutljivi na nagnjeno podlago (navidezni pospešek zaradi gravitacije)

## Giroskop

- Koristni pri lokalizaciji z odometrijo, saj lahko omilijo trenutne napake orientacije dobljene z odometrijo (v primeru zdrsa koles in hitrih sprememb orientacij vozila).

# Absolutne meritve - magnetni kompas

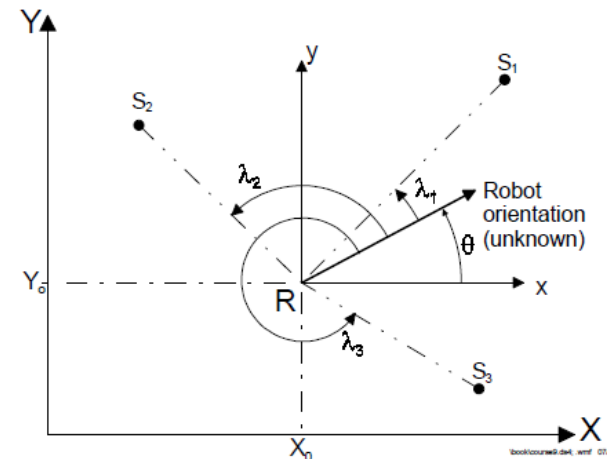
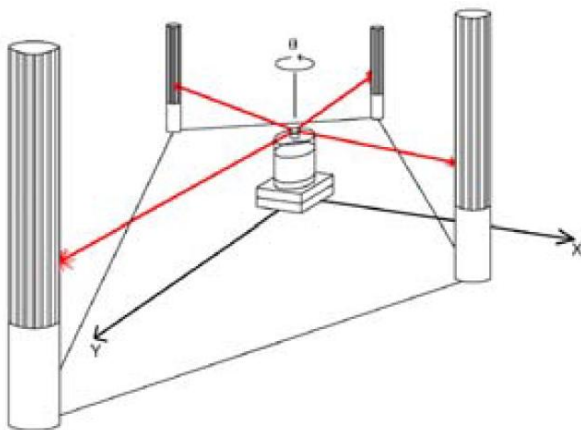


- Ocena orientacije vozila je pomembna pri odometriji
- Magnetni kompas daje absolutno meritev (glede na zemeljsko magnetno polje)
- Magnetno polje je lahko popačeno (bližina večjih električnih porabnikov, kovinske konstrukcije,...) -> problematična uporaba v stavbah

# Absolutne meritve -aktivni markerji



- Uporaba: npr. osvetljena pista pri letalih, svetilniki pri ladjah, nekateri komercialni mobilni roboti (kosilnice – zakopana žica v zemlji, oddajniki,...)
- Možno jih je zanesljivo zaznati in so postavljeni na znanih lokacijah
- Nezahtevni, zanesljivi in hitri algoritmi lokalizacije
- Veliki stroški inštalacij in vzdrževanj
- Dva sistema:
  - trilateracija, ocena pozicije vozila z meritvijo razdalj do večih markerjev (npr. oddajniki) na znanih pozicijah (GPS)
  - Triangulacija, ocena lege na podlagi meritve kotov do treh ali več markerjev (npr. svetlobni viri) na znanih lokacijah

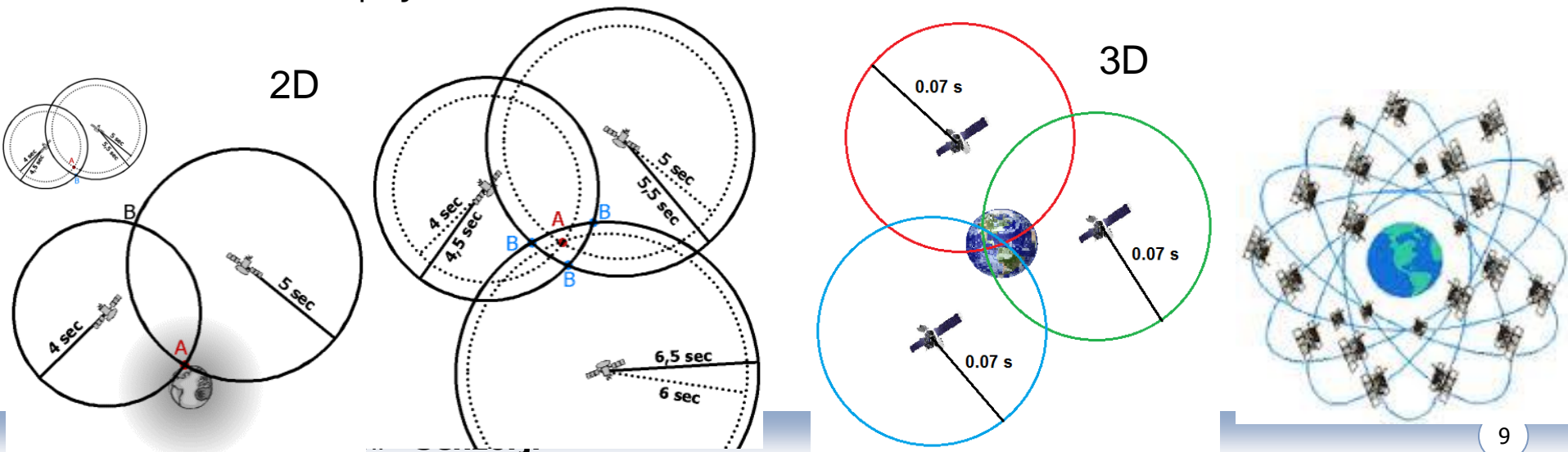




# Globalni sistem pozicioniranja GPS



- Natančno ocenjevanje pozicije (na cca. 10 m ali celo 1cm (diferencialni sistemi)),
- Zelo zmogljiv sistem, uporaben predvsem za zunanjo uporabo
- Problemi: blokiranje signala zaradi ovir (hribi, drevesa,...), interferenca signalov iz različnih poti (direktni in odbiti)
- Potreben sprejem vsaj 4 satelitov:
  - na osnovi meritve časa potovanja GPS signala ->ocena razdalj do satelitov ->trilateracija
  - Rabimo sprejem 4 satelitov: presek dveh krožnic je krog, presek treh sta dve točki in presek štirih je le ena točka, kjer se sprejemnik nahaja
  - če se nahaja sprejemnik na zemeljskem geoidu so dovolj trije sateliti (4. razdalja je radij geoida)
  - ker ura na sprejemniku ni tako točna (sinhronizirana) rabimo še 4. satelit, da kompenziramo netočno uro sprejemnika



# Navigacija na osnovi značilk



- Nekih značilnih lastnostih v okolju, ki jih robot lahko enostavno zazna s senzorji npr.: oblika (kvadrat, krog, linije), barva,...
- Značilke so na znanih lokacijah.
- Značilke so lahko
  - naravne (strukturirana okolja: stene, talne obloge, robovi, luči,... nestrukturirana: drevesa,...)
  - umetne (izdelane izključno za namen lokalizacije): umetne značke za strojni vid (vzorec, barva), črtne kode za laserske skenerje
- Če je začetna lega vozila znana z neko manjšo negotovostjo, lahko le to zmanjšamo z zaznanimi značilkami. Potrebna je dobra odometrija za uspešno detekcijo značilk.

# Pozicioniranje na osnovi zemljevida



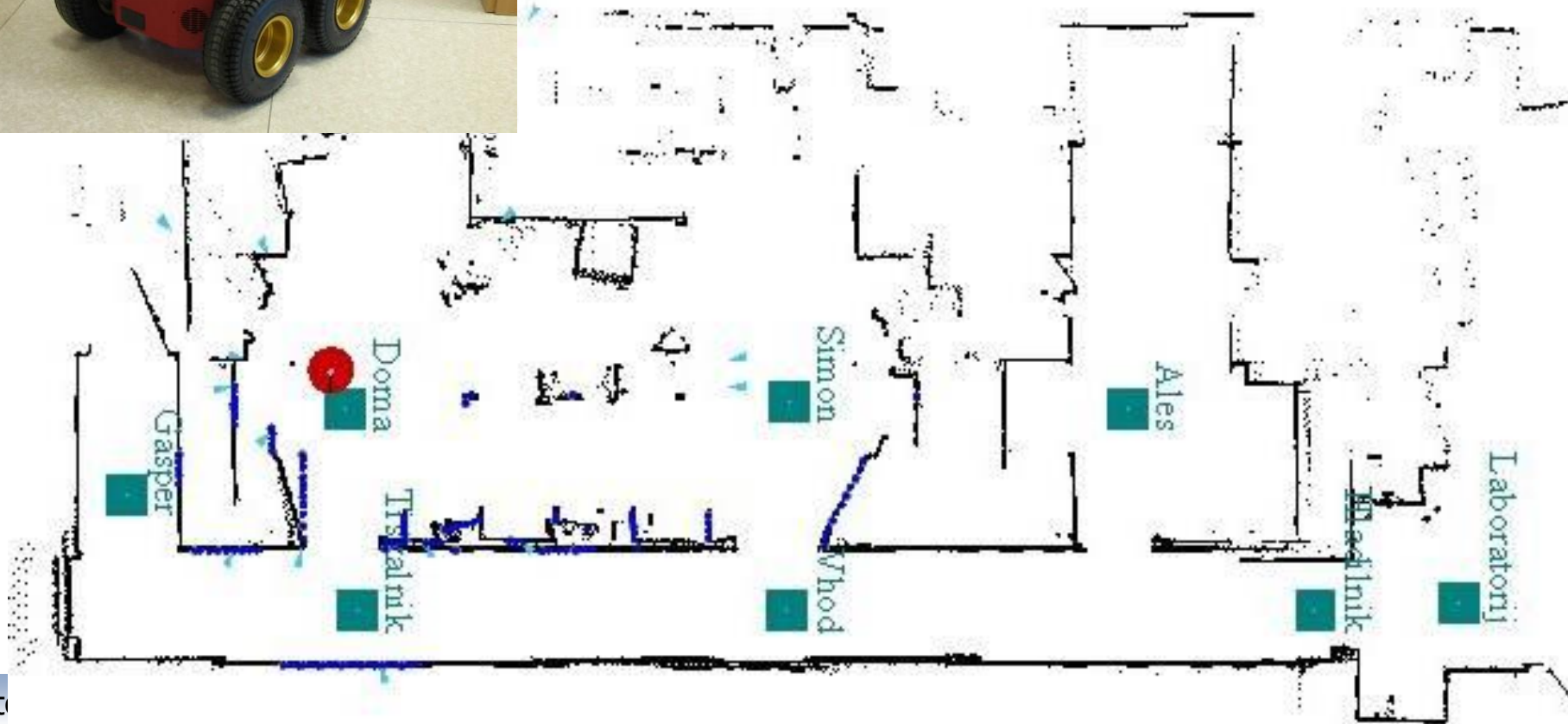
- Gre za iskanje prileganja zemljevidov:
  - Lokalni zemljevid dobljen iz trenutne informacije senzorjev iz lokalnega okolja (npr. laserski skener oz. pregledovalnik)
  - Globalni zemljevid okolja, predhodno shranjen v pomnilniku
- Če najdemo ujemanje obeh zemljevidov, lahko določimo lego vozila.
- Uporaba naravne (obstoječe) strukture okolja za določitev zemljevidov pri lokalizaciji
- Možna je širitev globalnega zemljevida na novo - neznano okolje. Zemljevid se širi in sproti dopolnjuje, kar omogoča SLAM (hkratna gradnja zemljevida in lokalizacija):
  - Na podlagi ujemanja lokalnega zemljevida in globalnega ocenimo lokacijo
  - Nove dele lokalnega zemljevida, ki jih v globalnem še ni, dodamo v globalni zemljevid kot nova stanja z neko negotovostjo
  - Lokalizacija je kombinacija odometrije in primerjave zemljevidov (senzorska info.)
  - Zahtevno je iskanje ujemanja zemljevida (robustne začilke, iskanje pravih parov značilk)

# Primer zemljevida in lokalizacije



Zemljevid zgrajen z laserskim pregledovalnikom in z uporabo odometrije

Lokalizacija: iskanje ujemanja lokalnega pogleda (modre pike) in globalnega zemljevida



# Lokalizacija na osnovi zemljevida



- Je osnovni pristop v mobilni robotiki
- Problemi:
  - **Inicializacija lege:** Inicializacija sistema (vnos neke približne lege vozila ali globalna lokalizacija, kjer začetna lega ni znana in se mora sistem lokalizirati sam (zahteven problem))
  - **Ugrabljen robot:** med delovanjem se lega robota hipno spremeni (je prestavljen ali ponovno vključen na drugi lokaciji...). Robustni algoritem lokalizacije se lahko ponovno lokalizira
  - **Vzdrževanje dobre ocene lege** med gibanjem vozila. Uporaba odometrije in informacije iz absolutnih senzorjev.
- SLAM – (simultaneous localisation and mapping) je osnovna rešitev
- Implementacija: EKF, Bayesov filter, filter delcev

## Primer lokalizacije Pioneer 3AT

# Senzorji v mobilni robotiki



- Senzorji dotika: kontaktna stikala, optične bariere, merilniki bližine
- Osni senzorji: inkrementalni optični enkoderji, magnetni enkoderji, potenciometri
- Merilniki smeri gibanja: kompas, giroskop, inklinometri
- Na osnovi markerjev (pozicija glede na nek inercialni koord. sist.): GPS, aktivni optični, radiofrekvenčni oddajniki, odbojni markerji
- Meritev razdalje: kamera, ultrazvok, laserski žarek,...
- Meritev hitrosti: pospeškometer, kamera, dopplerjev efekt,...
- Identifikacija: kamera, RFID, laserski pregledovalniki, radar, zvok

# Senzorji dotika



- Senzorji dotika: kontaktna stikala, optične bariere, merilniki bližine



IR



- Haptični senzorji (meritev sile pri manipulaciji z dotikom: meritve sile/navora, ): manipulatorji na MS

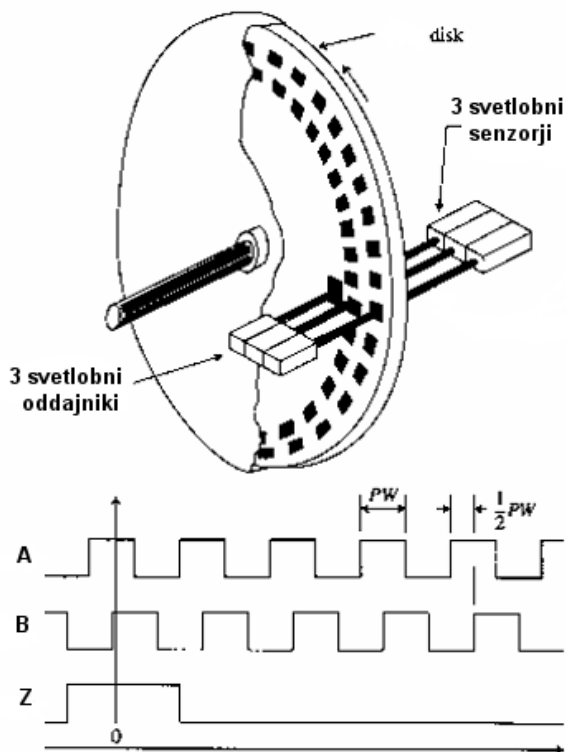




# Osni senzorji

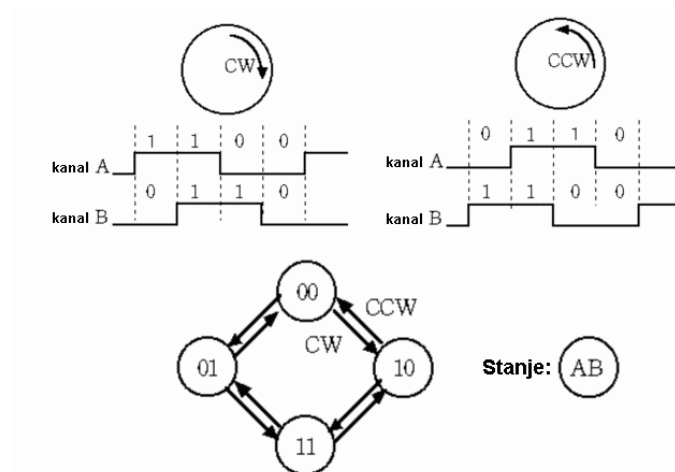


inkrementalni optični enkoderji, magnetni enkoderji, potenciometri,...  
(meritev kota in kotne hitrosti)



## 4-kvadrantni:

- 90° premik kanala A glede na kanal B
- 4 x ločljivost,
- detekcija smeri vrtenja

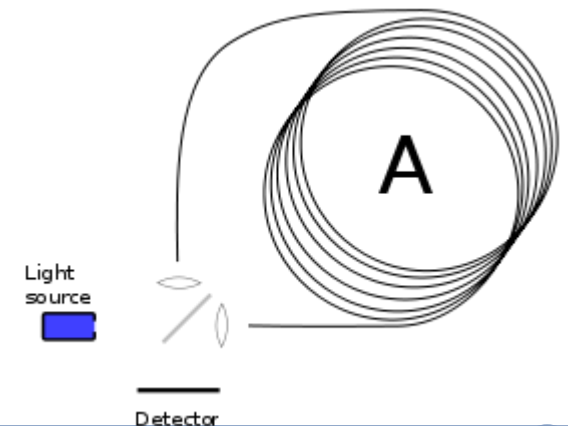
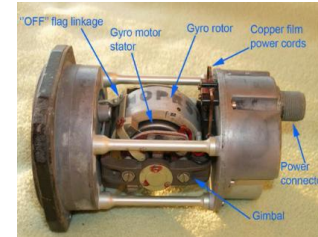
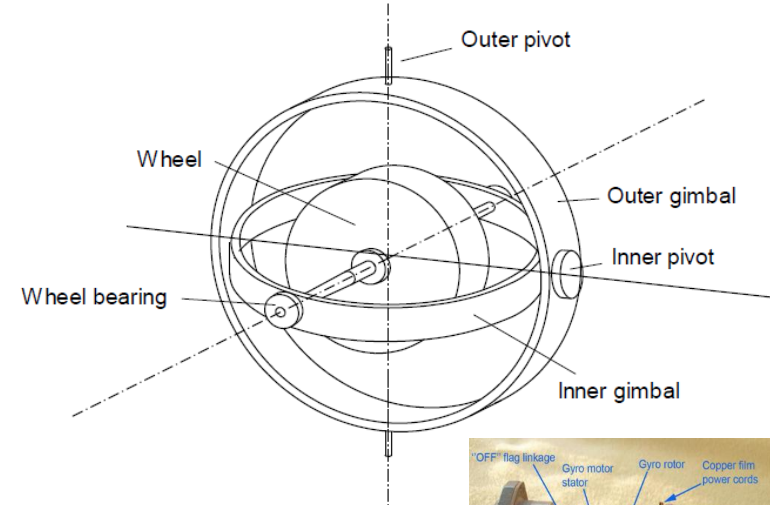




# Smer gibanja - giroskop



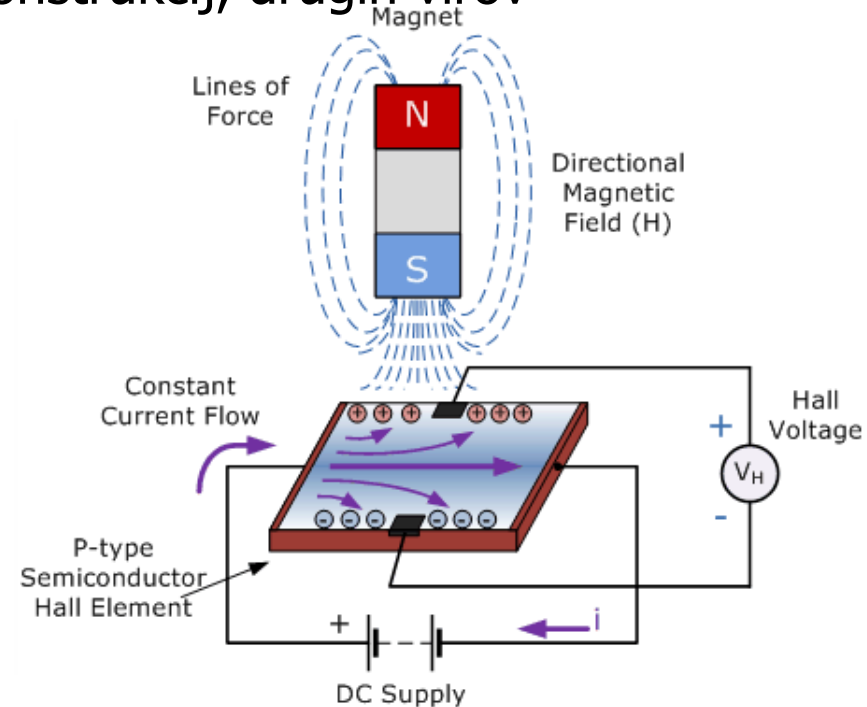
- Giroskop: inercija vrtečega kolesa zagotavlja referenco za orientacijo
- Meri spremembe orientacije
- Prisotno lezenje (uporaba v kombinaciji z absolutnimi senzorji)
- **mehanski giroskopi**: merijo spremembo orientacije (dragi senzorji, mehanski deli,  $0.1^\circ/6h$ )
- **piezoelektrični in optični giroskopi** merijo hitrost rotacije
  - Piezoelektrični merijo spremembo frekvence vibracij, ki nastane pri rotaciji zaradi Coriolisove sile.
  - optični giroskopi imajo dva laserska žarka, ki potujeta v nasprotni smeri po zanki iz steklenega vlakna. Če se zanka vrti v določeno smer nastane fazni zamik med žarkoma (en ima krajšo pot kot drugi, interferenca). (nimajo mehanskih delov in ne potrebujejo vzdrževanja)



# Smer gibanja - kompas



- absolutna orientacija glede na ref. smer zemeljskega magnetnega polja
- izvedbe:
  - Mehanski z magnetno iglo
  - Meritve magnetnega polja s hallovim efektom (v polprevodniku se elektroni zaradi mag. polja odklonijo na eno stran, vrzeli pa na drugo ...)
- zemeljsko magnetno polje je šibko -> občutljivost na motnje
- motnje zaradi elektronike, kovinskih konstrukcij, drugih virov



# Lokalizacija s pomočjo detekcije markerjev



- Markerji so lahko umetni (dodani za namen lokalizacije) ali naravni (obstoječi)
- Postavljeni na znanih lokacijah
- Izbrani (oz. narejeni) tako, da jih lahko enostavno in učinkovito zaznavamo.

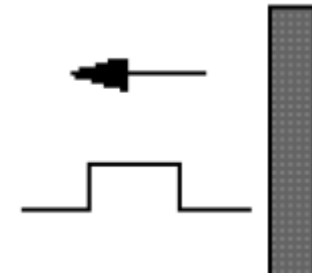
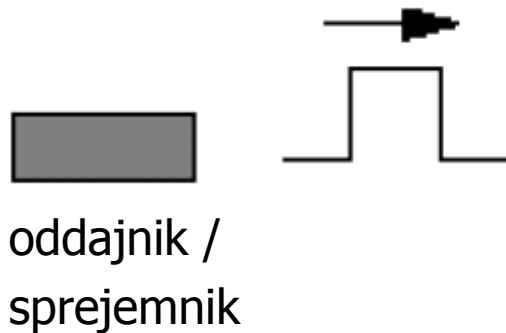
## Primeri:

- Radiofrekvenčni oddajniki:
  - merimo moči prejetih signalov in sklepamo na razdalje do oddajnikov (trilateracija)
  - merimo čase potovanja signala od vozila do markerjev in nazaj in sklepamo na razdaljo
  - Primerjamo fazne razlike prejetih signalov od sinhroniziranih oddajnikov (pasivni pristop)
- Ultrazvočni markerji: meritev časa potovanja ultrazvoka. Čas se meri na podlagi poslanega pulza ali pa s pomočjo korelacije med prejetim in poznanim oddanim signalom.
- Strojni vid: značke kodirane z barvo in/ali z nekim vzorcem

# Meritve razdalje na osnovi časa



- TOF senzorji (time of flight) merijo razdaljo na osnovi časa potovanja žarka
  - svetloba ( $c = 300000000$  m/s)
  - zvok ( $c = 340$  m/s)



$$d = \frac{c \cdot t}{2}$$

Primeri:

- Ultrazvočni senzorji
- Laserski pregledovalnik

# TOF - osnovni principi merjenja razdalje



- Iz časa potovanja signala izračunamo razdaljo (TOF Time of Flight)

Tehnologije:

- Čas potovanja pulza do tarče in nazaj. Potrebno natančno merjenje časa ( $c_s=3 \cdot 10^8$  m/s,  $c_z=340$  m/s). Večja točnost - povprečje večih meritev.
- Korelacijske metode. Čas potovanja določimo s korelacijo

$$\int_{-\infty}^{\infty} x_0(t + \tau)x(t)d\tau$$

$x(t+\tau)$  je referenčni oz. poslani signal  
 $x(t)$  je prejeti-odbiti signal

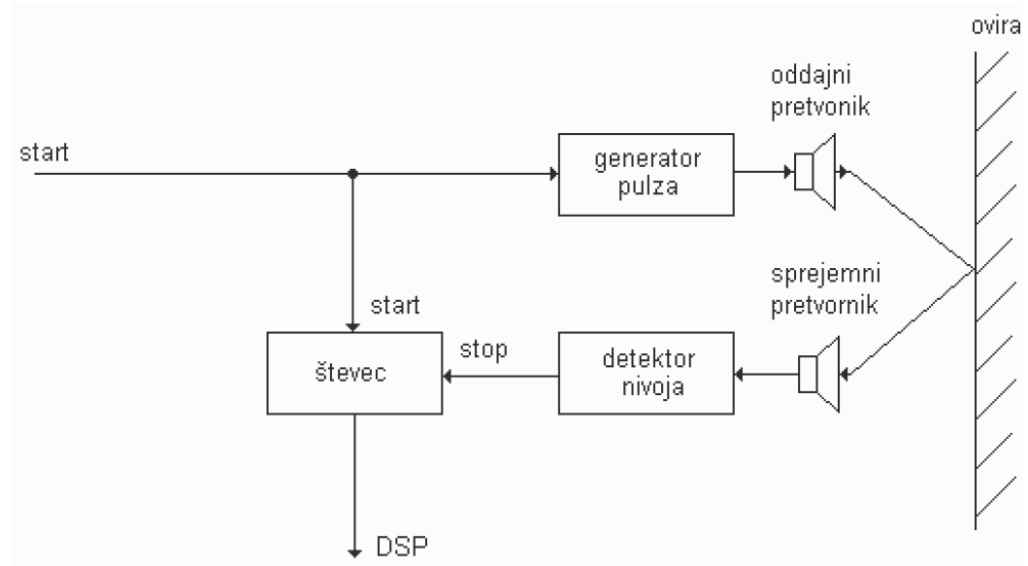
- Merjenje faznega zamika (med poslanim in odbitim signalom) pri več frekvencah. Razdaljo do predmeta določimo z rešitvijo sistema enačb.
- Interferometrija - zelo točno merjenje sprememb razdalj, ne pa absolutne razdalje.



# Ulrazvočni merilniki

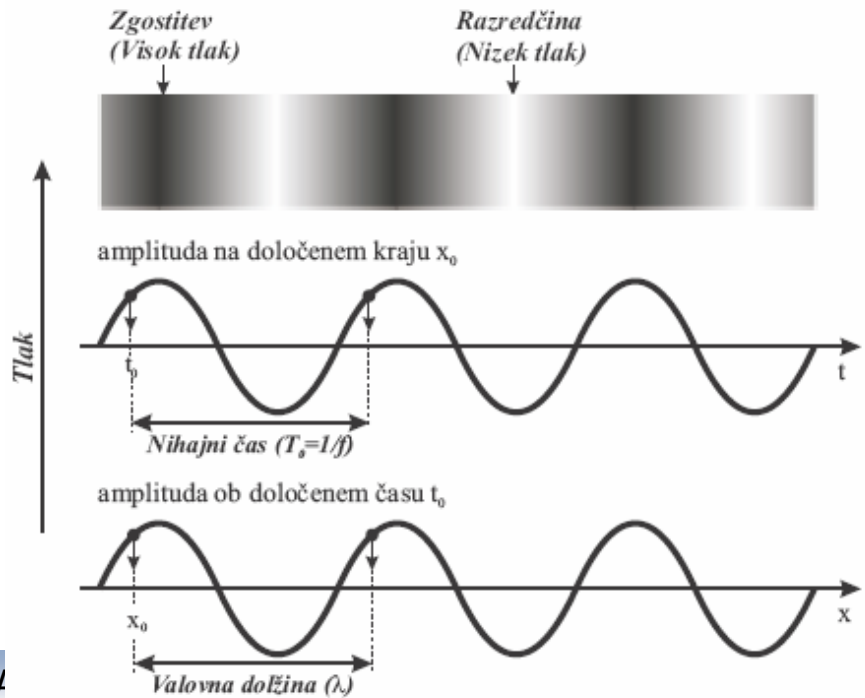
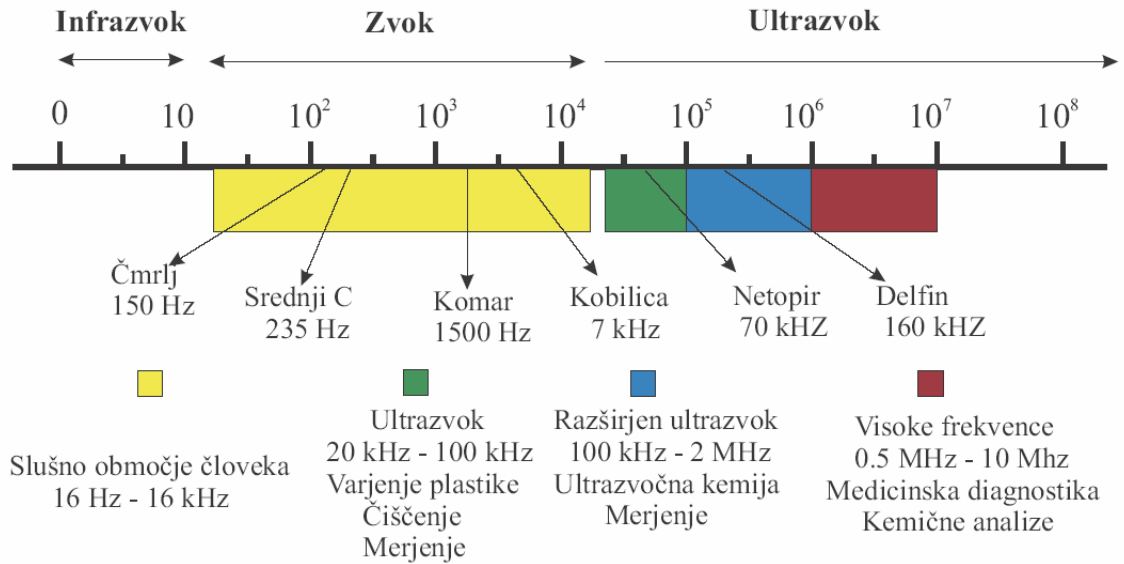
$$c = 340 \frac{m}{s}$$

$$d = \frac{c \cdot t}{2}$$



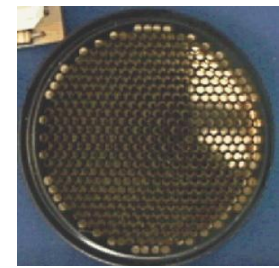
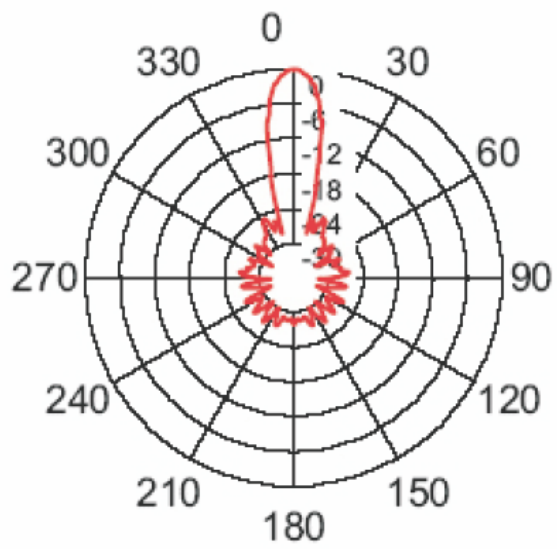
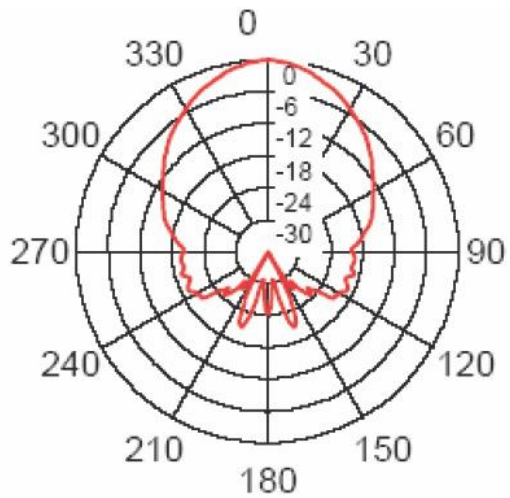
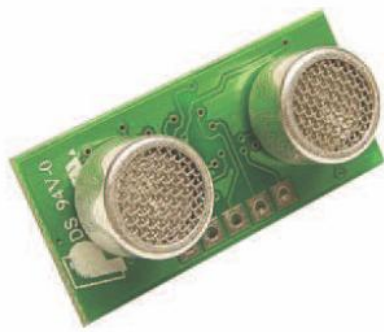
Oddajnik in sprejemnik sta lahko ista enota – transducer (daljši mrtvi čas)

# Širjenje zvoka skozi snov



$$c = f \cdot \lambda$$

# Primeri senzorjev





# Potencialni viri napak meritve

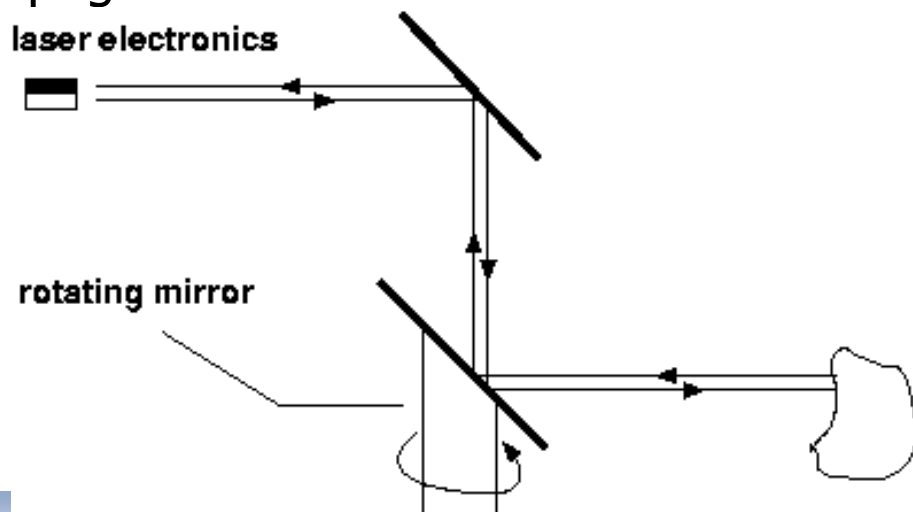


- Spremembe hitrosti širjenja zvoka (medij, temperatura). Sprememba  $T$  prostora za  $17^{\circ}\text{K}$  povzroči napako  $0,3\text{ m}$  pri razdalji  $10\text{ m}$ .
- Negotovost zaznavanja odbitega signala zaradi različne reflektivnosti predmetov.
- Točnost merjenja časa. Ni velik problem pri zvoku, večji je pri svetlobi.
- Vpliv površine predmetov na odboj. Le manjši del se odbije direktno nazaj v senzor, nekaj se razprši, ali nadaljuje čez predmet. Možni večkratni odboji oz. odboj mimo senzorja.

# Laserski pregledovalnik-LRF (Laser range finder)



- Meritev časa preleta oz. faznega zamika -> določitev razdalje do vsake točke v okolici, kjer se laserski žarek odbije
- Izračun razdalje z merjenjem časa potovanja pulza svetlobe ( $c \cdot t / 2$ )
- Točnost meritve razdalje je odvisna od natančnosti meritve časa: svetloba prepotuje pot 1 mm v času 0,3 ps
- Sprememba smeri laserskega žarka
  - Vrtenje laserja
  - Sistem vrtečih ogledal (lažje, lahko se vrti hitreje in je bolj točno)
- Meritev razdalj do 10.000 - 100.000 točk vsako sekundo
- 3D scanner zbira informacijo – razdalje do površin v področju pogleda



# Primer senzorja

- 180° coverage
- Indoor applications
- High measurement resolution (10 mm resolution)
- Contact-free measurement
- Target objects require no reflectors or markings
- High scanning frequency (up to 75 Hz)
- Transfer of measurement data in real time
- Active system, no illumination of target objects necessary
- Measurements possible over long distance (up to 80 m)
- Compact device construction
- Three internally programmable monitoring fields assigned to three switching outputs



## LMS 200/291 Technical Specifications

	LMS 200	LMS 291
<b>General</b>		
Range	Maximum 80 m (262.5 ft)	
Angular Resolution	0.25°/0.5°/1.0° (selectable)	
Response Time	53 ms/26 ms/13 ms	
Measurement Resolution	10 mm (0.39 in)	
System Error (environmental conditions: good visibility, Ta = 23°C (73°F), reflectivity 10%...10,000%)		
	Typ. ± 20 mm (mm-mode), range 1...8 m (3.2...26.2 ft)	Typ. ± 60 mm (mm-mode), range 1...4 m (3.2...13.1 ft)
Statistical Error, Standard Deviation (1 sigma)	Typ. ± 4 cm (cm-mode), range 1...20 m (3.2...65.6 ft)	Typ. ± 35 mm (mm-mode), range 4...20 m (13.1...65.6 ft)
	Typ. ± 5 mm (at range ≤ 8 m / ≥ 10% reflectivity / ≤ 5 kLux)	Typ. ± 10 mm (at range 1...20 m / ≥ 10% reflectivity / ≤ 5 kLux)
<b>Electrical</b>		
Data Interface	RS 232/RS 422 (configurable)	
Transfer Rate	9.6/19.2/38.4/500 kBd	
Switching Outputs, Standard Variants	3 x PNP; typ. 24 V DC; OUT A, OUT B maximum 250 mA, OUT C maximum 100 mA	
Supply Voltage (scanner-electronics)	24 V DC ± 15% (maximum 500 mV ripple), current requirements maximum 1.8 A (including output load)	
Power Uptake	Approx. 20 W (without upload)	
Electrical Protection Class	Safety insulated, protection class 2	
Interference Resistance	According to IEC 801, part 2-4; EN 50081-1/50082-2	
Ambient Temperature (Operating / Storage)	0...50°C (32°...122°F) / -30°...70°C (-22°...158°F)	
<b>Mechanical</b>		
Enclosure Rating	IP 65	
Weight	Approx. 4.5 kg	
Dimensions	185 x 156 x 210 mm (7.3 x 6.1 x 8.3 in); with cables: 185 x 156 x 265 (7.3 x 6.1 x 10.4 in)	
Vibration Fatigue Limit	According to IEC 68 part 206, table 2c, frequency range 10...150 Hz, amplitude 0.35 mm or 5 g single impact IEC 68 part 2-27, table 2, 15 g/11 ms permanent vibration IEC 68 part 2-29, 10 g/16 ms Shock absorbers are recommended for heavy vibration and impact demands (e.g. AGV applications).	

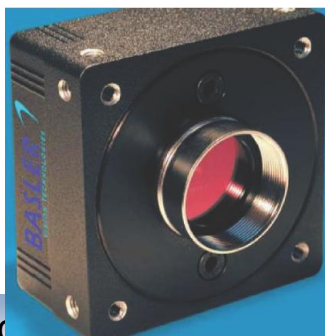
<http://www.sick.com/home/factory/catalogues/auto/lmsindoor/en.html>



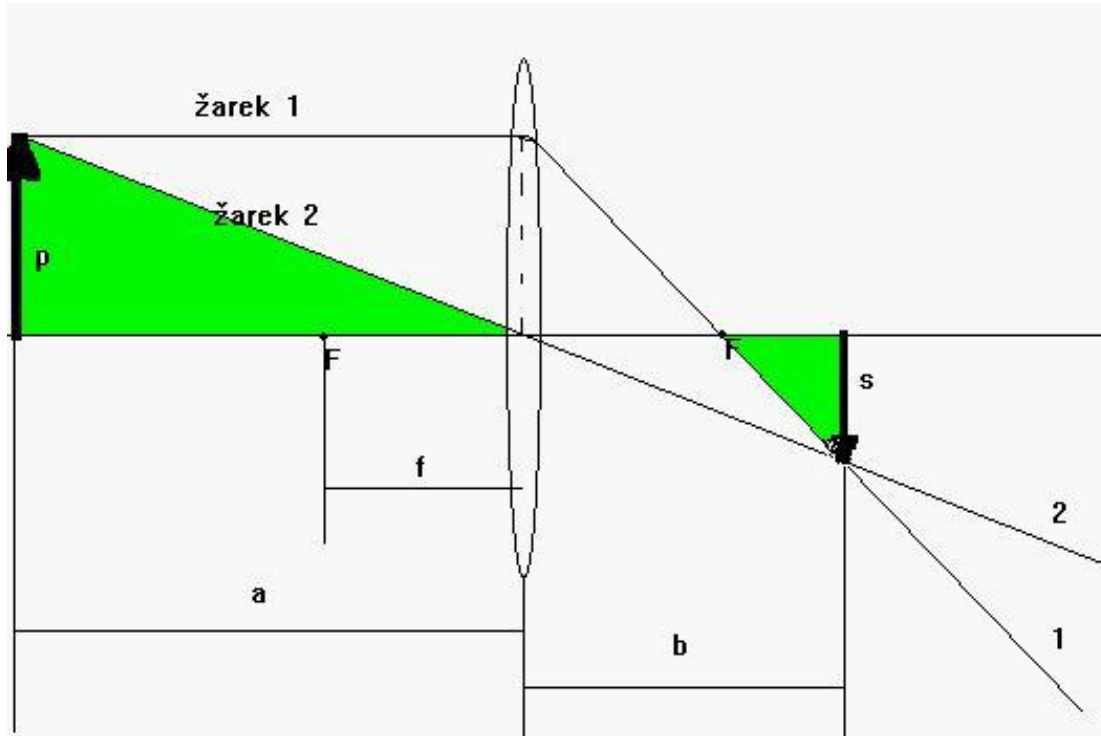
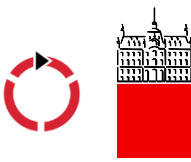
# Strojni vid



- Preslikava prizora okolice na slikovni senzor
- Zmogljiv senzor, slika vsebuje veliko informacij
- Obdelava slike za konkreten namen uporabe
  - Razpoznavna predmetov, oseb, avtomobilov, ...
  - Meritev dimenzij predmetov, relacij med njimi
  - Zaznavanje okolice,
  - Lokalizacijo,...



# Enačba leče, preslikava



$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

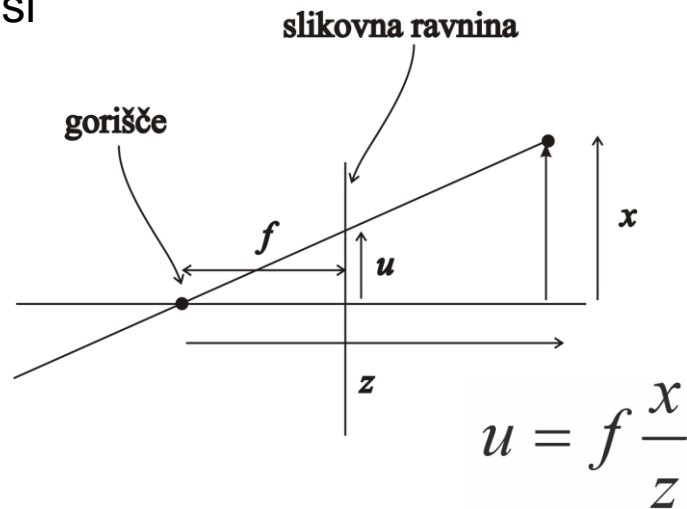
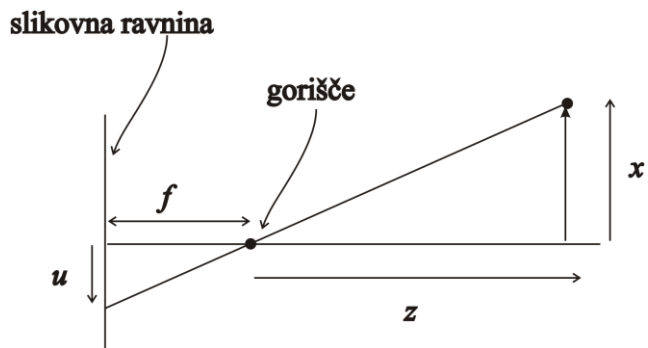
ker  $a \gg b \rightarrow b \cong f$

$$s = f \cdot \frac{p}{a}$$

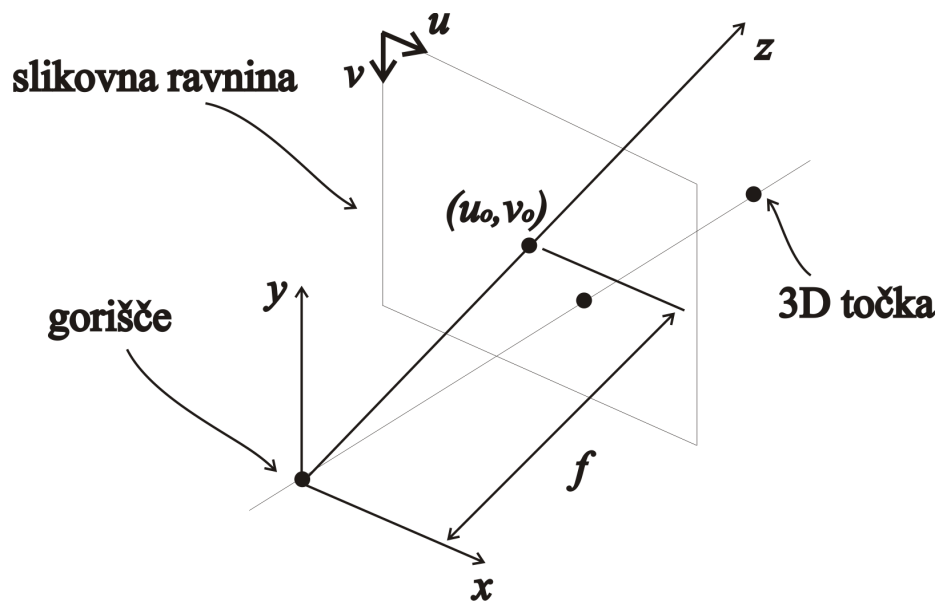
# Idealni model kamere



ni zrcaljena preko z osi

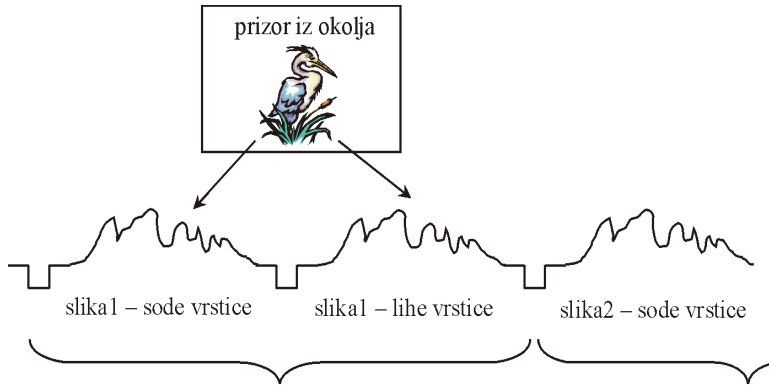


3D -> 2D

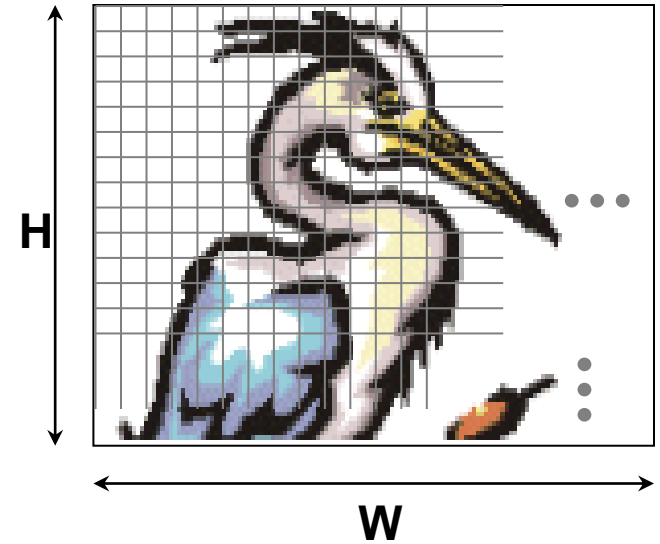


$$u = f \frac{x}{z} + u_0$$

$$-v = f \frac{y}{z} - v_0$$



vzorčevalnik  
slike



slikovni element je zapisan  
s trojico (R,G,B) vrednosti  
(256 nivojev)

Zapis slike v pomnilniku:



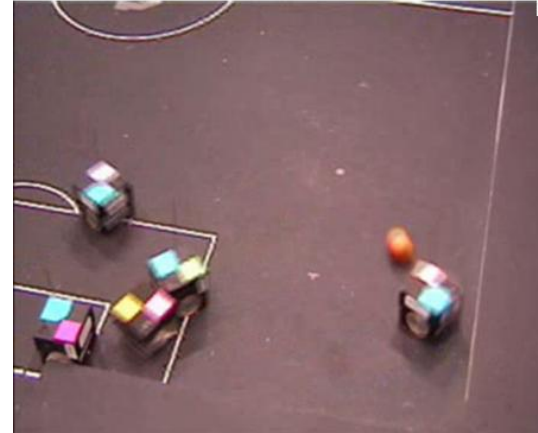
kjer je  $N=W*H$



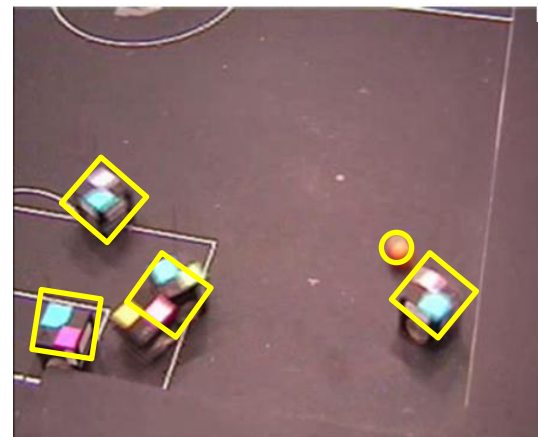
- Iskanje neke informacije iz slike

```
207 200 194 194 203 130 105 095 107 153 192 196 190 186 175
242 194 222 254 255 124 074 082 072 076 208 206 202 194 185
254 170 204 255 248 122 153 135 111 081 252 253 233 232 250
255 172 201 255 249 123 092 040 094 106 255 253 239 150 254
255 197 192 255 248 133 024 027 076 032 250 255 255 181 255
253 210 190 239 250 089 092 149 128 013 254 254 253 229 255
252 238 180 218 251 106 116 181 140 024 250 255 255 255 200
248 248 169 227 252 111 066 118 061 021 252 251 255 255 142
253 255 171 254 253 142 037 132 006 017 253 253 255 254 201
253 250 170 255 253 139 134 127 156 078 255 253 253 254 237
254 228 169 213 235 146 123 096 090 130 230 250 253 254 254
252 244 140 215 245 125 055 043 081 077 252 234 253 253 253
254 250 169 211 235 117 108 093 119 078 246 249 235 225 255
254 234 167 212 217 110 070 049 098 074 244 246 239 207 254
255 219 170 238 253 113 130 109 063 075 243 235 233 252 252
255 221 179 248 227 111 083 041 061 083 240 249 243 232 253
221 217 180 213 243 109 079 048 100 045 246 249 244 221 210
236 216 178 208 230 156 077 062 110 088 244 249 230 220 221
229 224 183 211 132 052 087 062 124 085 135 246 236 220 214
230 223 185 185 112 079 008 124 158 125 119 119 232 225 232
221 215 194 100 154 071 008 031 097 010 093 098 148 229 216
223 217 132 046 072 076 056 048 013 182 073 076 083 215 219
224 216 041 102 090 162 079 111 118 164 083 170 065 221 219
215 222 046 111 077 075 060 046 069 032 179 068 157 224 226
219 216 092 045 074 143 013 171 159 072 087 065 143 217 222
222 224 070 041 074 131 085 150 112 140 139 154 055 231 218
226 232 118 109 041 165 130 105 097 175 078 081 067 064 174
253 254 079 072 116 089 020 068 103 074 031 130 106 052 161
047 034 090 045 145 027 135 109 082 082 048 113 087 061 157
193 192 057 038 051 092 018 062 110 052 060 084 066 071 154
191 192 043 153 052 030 078 061 062 054 046 049 054 078 158
184 181 066 019 043 038 046 083 057 050 145 048 035 087 158
138 074 030 082 030 038 076 041 141 046 045 040 009 063 149
135 016 057 071 035 025 040 062 030 084 130 043 059 113 151
```

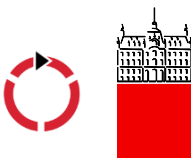
obdelava za prikaz



algoritem obdelave

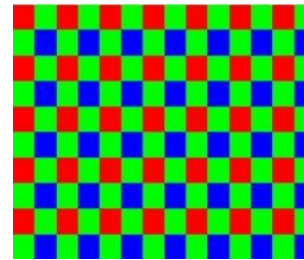
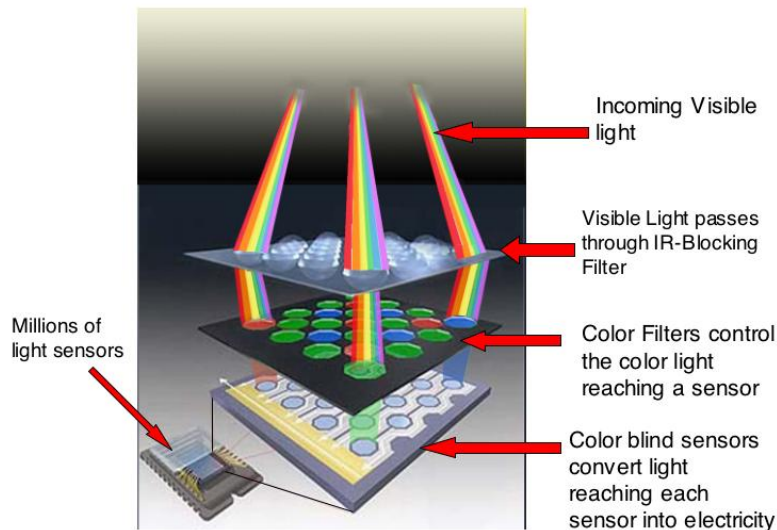


# Sestava kamere

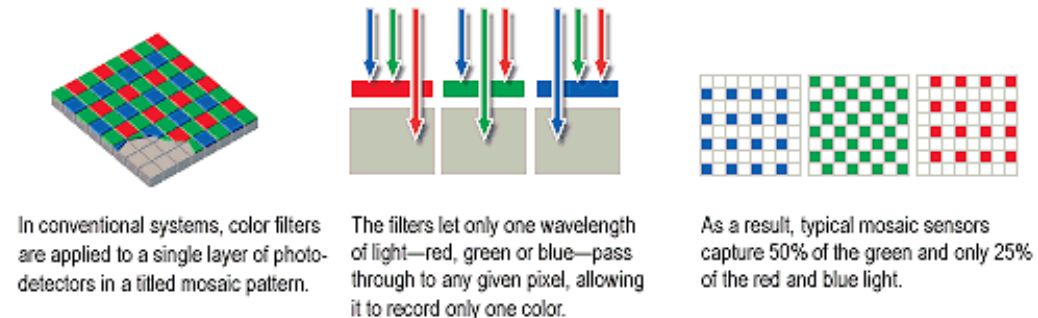


- Optika + slikovni senzor + ...
- CCD senzor (Charged Coupling Device)
- CMOS (Complimentary Metal Oxide Semiconductor)
- Slika kamere, leče
- Bayer filter

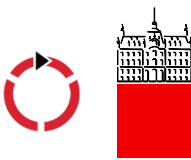
## RGB Inside the Camera



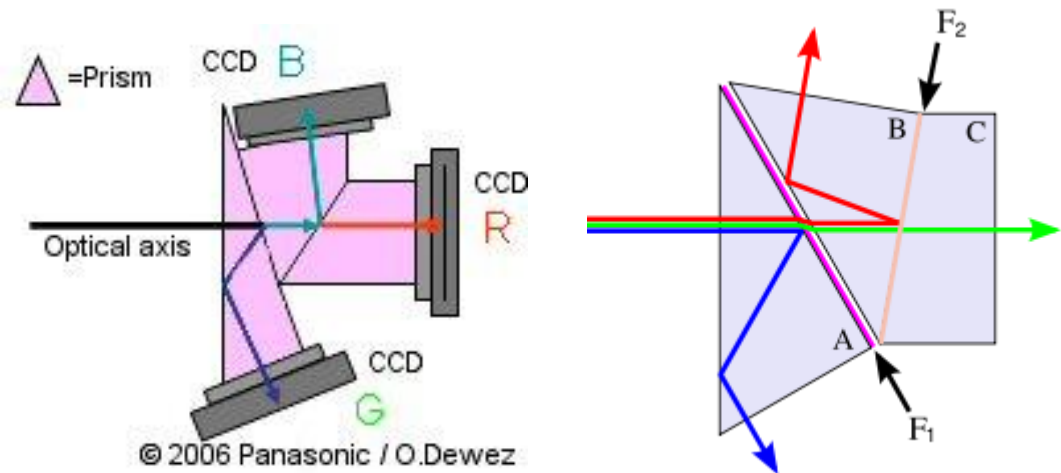
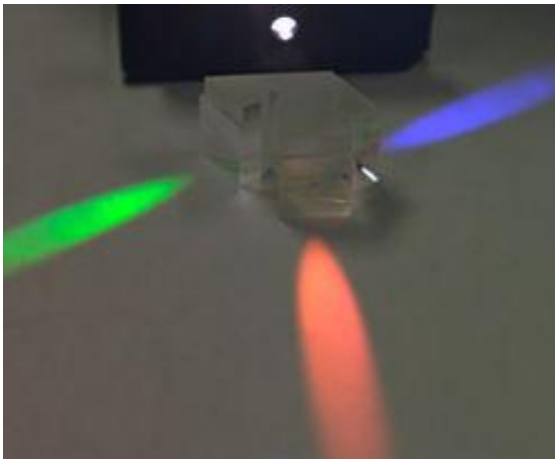
## Mosaic Capture



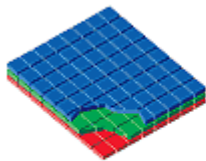
# Sestava kamere 3CCD



- Prizma loči vidno svetlobo na R, G, B



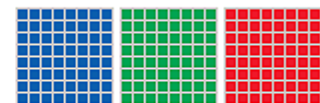
## Foveon X3 Capture



A Foveon X3 image sensor features three separate layers of photo-detectors embedded in silicon



Since silicon absorbs different wave-lengths of light at different depths, each layer records a different color.



As a result, only Foveon X3 image sensors capture red, green and blue light at every pixel location.



- Ni izrazitih razlik
- CCD
  - Svetloba v električni naboj, pretvorba v napetost ob branju elementov CCD-ja,
  - Manjši šum, boljša kvaliteta,
  - Zrelejša tehnologija, daljša življenjska doba, boljša kvaliteta,
  - Večja resolucija na površino slikovnega elementa.
- CMOS
  - Pretvorba svetlobe v napetost znotraj vsakega slik. elementa,
  - Enostavnejša in cenejša izvedba,
  - Manjša poraba (do 100x manj kot CCD),
  - Hitrejši odziv – prenos slike iz senzorja v spomin.

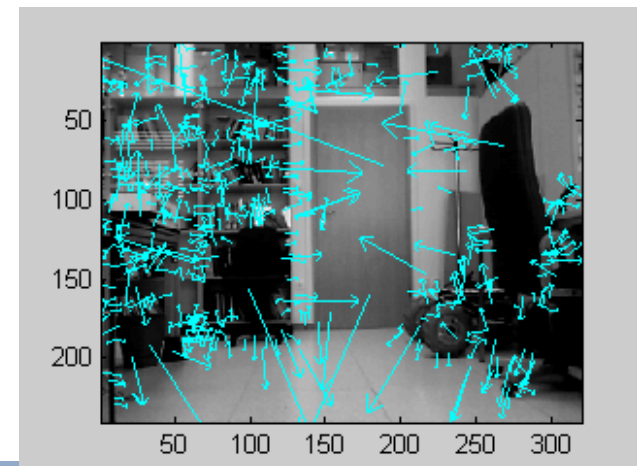
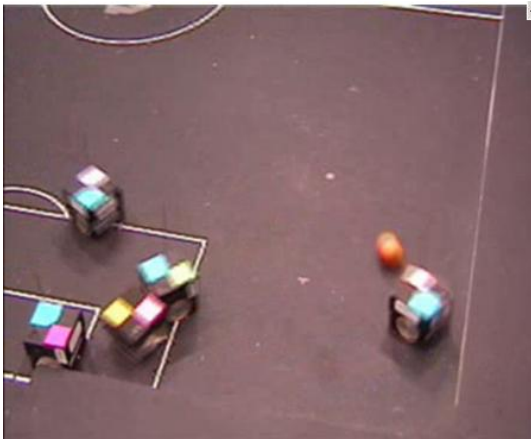


- Črno bele, barvne
- Analogne, digitalne (PAL, NTSC, ... USB, IEEE 1394, ...)
  - Analogne:
    - Informacija slike predstavljena z analognim signalom, potreben vzorčevalnik slike za pretvorbo v digitalni zapis za delo na PC.
  - Digitalna:
    - Digitalni zapis slike,
    - + Manj šuma pri prenosu slike -> boljše kvaliteta,
    - + Enostavna za delo na PC-ju,
    - - Velika količina podatkov, problem za transport slike
- 1x CCD senzor (Bayer filter)
- 3x CCD senzorji (prizma, ...)
- Področne, linijske
- Progresivne, lihe in sode vrstice (PAL, NTSC TV)
- Vidna svetloba, infra rdeči spekter, termovizijske

# Iskanje želene informacije iz slike



- Barvna informacija
- Iskanje robov
- Svetlobni tok
- Generatorji značilik – poiščejo neke značilne točke na sliki (detekcija predmetov, določanje relativnih premikov med dvema pogledoma kamere (vektorji premika),...)
  - SIFT (Scale Invariant Feature Transforms)
  - SURF (Speeded Up Robust Features)
  - ...





# Parametri kamer



- Resolucija, frekvenca osveževanja, goriščna razdalja,
- Čas ekspozicije (zaslonka), ...

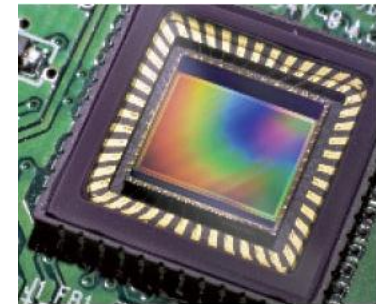


Specification	A311f	A311fc
Sensor Size (H x V pixels)	659 x 494	658 x 492
Sensor Type	Sony ICX414AL Progressive Scan CCD	Sony ICX414AQ Progressive Scan CCD
Optical Size	1/2"	1/2"
Pixel Size	9.9 µm x 9.9 µm	9.9 µm x 9.9 µm
Max. Frame Rate (at full resolution)	73 fps	73 fps
Color / Mono	Mono	Color
Video Output Type	IEEE 1394	IEEE 1394
Video Output Format	Mono 8 (8 bits/pixel) Mono 16 (16 bits/pixel - 12 effective)	Mono 8 (8 bits/pixel) Mono 16 (16 bits/pixel - 12 effective) Raw 8 (8 bits/pixel) Raw 16 (16 bits/pixel - 12 effective) YUV 4:2:2 (16 bits/pixel avg.)
Synchronization	Via external trigger or the 1394 bus	Via external trigger or the 1394 bus
Power Requirements	8 to 36 VDC (12 VDC nominal) < 1% ripple Max. 3.0 W@12 VDC typical	8 to 36 VDC (12 VDC nominal) < 1% ripple Max. 3.0 W@12 VDC typical
Lens Mount	C-mount	C-mount
Housing Size (L x W x H in mm)	40.8 x 62 x 62	40.8 x 62 x 62
Weight	~ 310 g	~ 310 g
Conformity	CE, FCC	CE, FCC

## Camera Specifications

Specification	Low-Res (640x480)	High-Res (1024x768)
<b>Imaging Sensor</b>	Two Sony 1/3" progressive scan CCD	
	ICX424 (648x488 max pixels)	ICX204 (1024x768 max pixels)
	7.4µm square pixels	4.65µm square pixels
<b>Baseline</b>	12cm	
<b>Lens Focal Length</b>	3.8mm with 70° HFOV or 6mm with 50° HFOV	
<b>A/D Converter</b>	Analog Devices AD9949 12-bit analog-to-digital converter	
<b>Video Data Output</b>	8, 16 and 24-bit digital data (see <i>Supported Data Formats</i> below)	
<b>Frame Rates</b>	48, 30, 15, 7.5, 3.75, 1.875 FPS	18, 15, 7.5, 3.75, 1.875 FPS
<b>Interfaces</b>	6-pin IEEE-1394 for camera control and video data transmission 4 general-purpose digital input/output (GPIO) pins.	
<b>Voltage Requirements</b>	8-32V	
<b>Power Consumption</b>	Less than 2.5W	Less than 2.5W
<b>Gain</b>	Automatic/Manual/One-Push Gain modes	
	0dB to 24dB	0dB to 24dB
<b>Shutter</b>	Automatic/Manual/One-Push Shutter modes	
	0.01ms to 66.63ms @15 FPS	0.01ms to 66.63ms @15 FPS
	Extended Shutter modes	
	0.01ms to 7900ms @ 15 FPS	0.01ms to 5200ms @ 15 FPS
<b>Gamma</b>	0.50 to 4.00	
<b>Trigger Modes</b>	DCAM v1.31 Trigger Modes 0, 1, 3, and 14	
<b>Signal To Noise Ratio</b>	TBD	
<b>Dimensions</b>	157mm x 36mm x 47.4mm	
<b>Mass</b>	342 grams	
<b>Camera Specification</b>	IICD 1394-based Digital Camera Specification v1.31	
<b>Emissions Compliance</b>	Complies with CE rules and Part 15 Class A of FCC Rules	
<b>Operating Temperature</b>	Commercial grade electronics rated from 0° to 45°C	
<b>Storage Temperature</b>	-30° to 60°C	

- Pomoč operaterju pri daljinskem upravljanju in opazovanje okolice
- Za detekcijo ciljev, ovir
- Kot senzor za lokalizacijo
- ...





# Kaj je z globinsko predstavo?

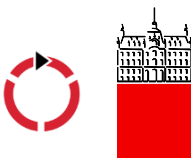


- Kamera preslika 3D prizor v 2D sliko
- Informacija o globini se na sliki izgubi
- Kako rekonstruirati (prostorsko predstavo, oddaljenost in velikost objektov ) informacijo?

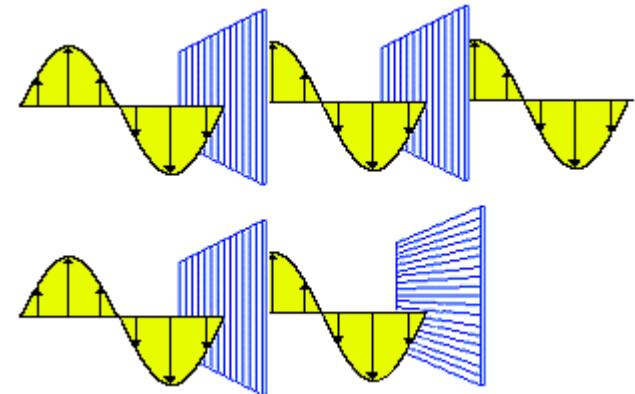
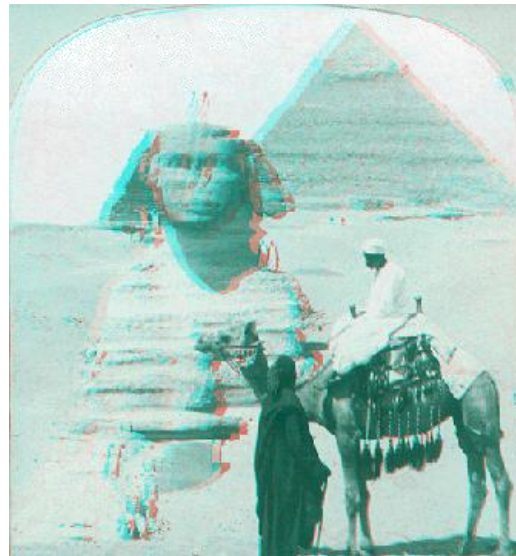
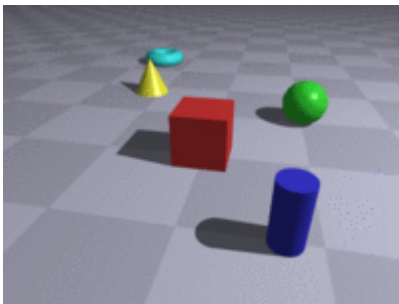
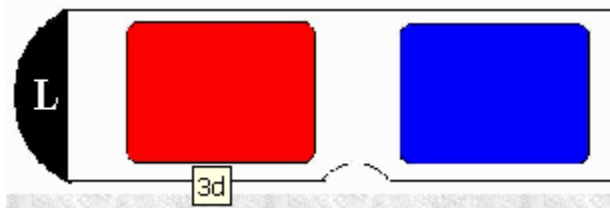
## Rekonstrukcija globinske info.:

- Stereo kamera (dve kameri na določeni razdalji z vzporednima optičnima osema)
- Iz znanih geometrijskih lastnosti (velikosti) opazovanih objektov (npr. značk)
- Iz dveh ali več zaporednih posnetkov (iz različnih leg kamere) stacionarnega okolja (epipolarna geometrija oz. geometrija iz več pogledov)

# Stereo (3D) fotografija

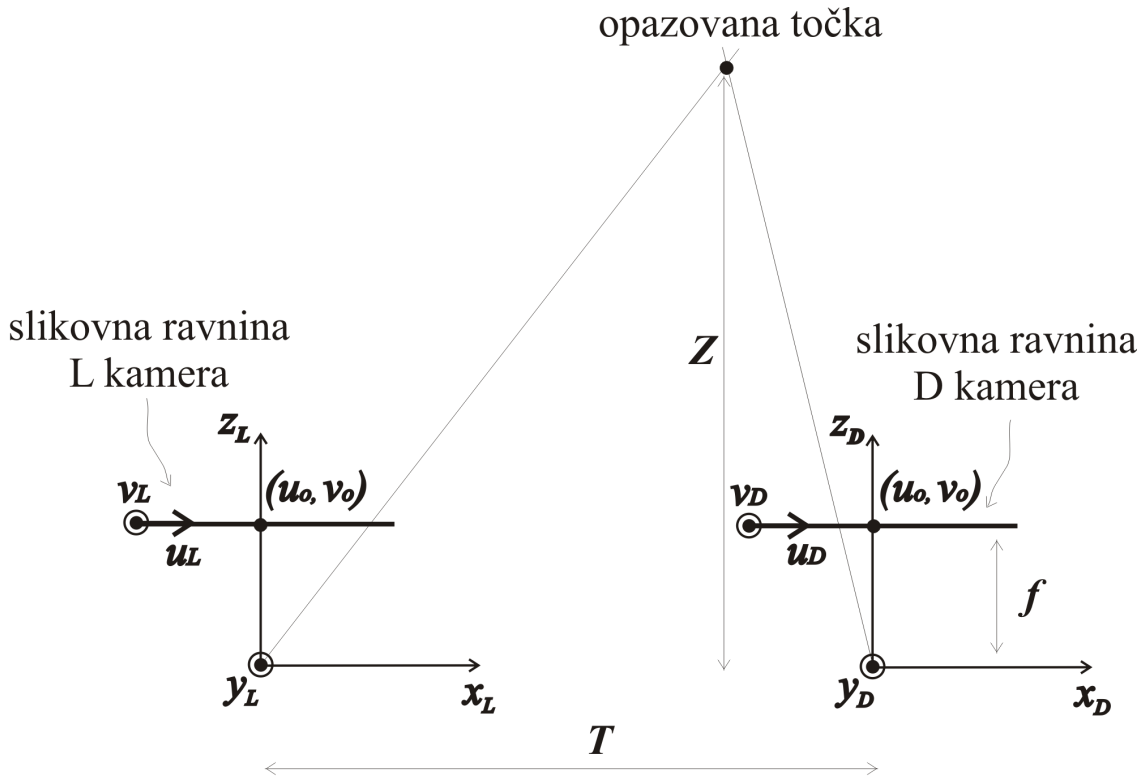


- Stereo (3D) fotografija
  - Navzkrižno gledanje stereo slik
  - Anaglični postopek: očala zeleno-rdeči filter
  - Polarizacijska očala (vertikalna in horizontalna polarizacija)
  - ...



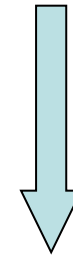


# Model stereo kamere



$$\frac{T}{Z} = \frac{T - ((u_L - u_O) + (u_O - u_D))}{Z - f}$$

$$\frac{T}{Z} = \frac{T - d}{Z - f} \quad d = u_L - u_D$$



Za KS D kamere

$$X_D = Z \frac{(u_D - u_O)}{f} = T \frac{(u_D - u_O)}{d}$$

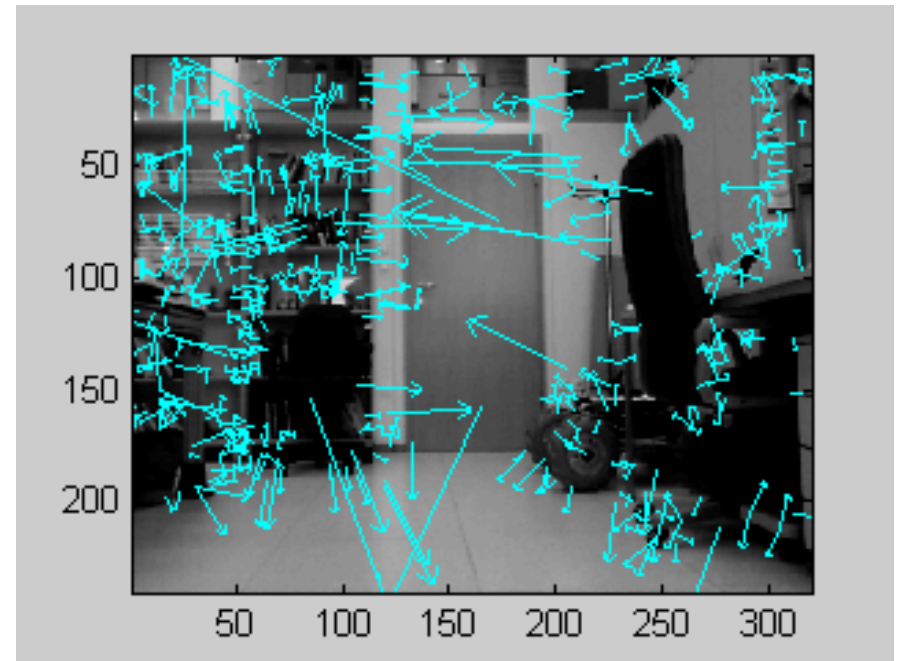
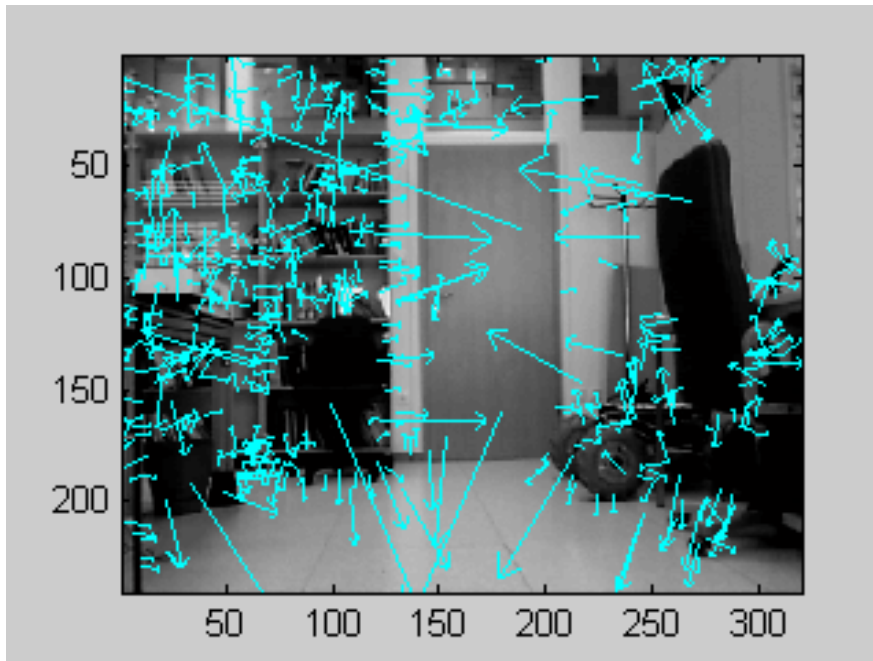
$$Y_D = Z \frac{(v_O - v_D)}{f} = T \frac{(v_O - v_D)}{d}$$

$$Z_D = T \frac{f}{d}$$

# Stereo primerjanje



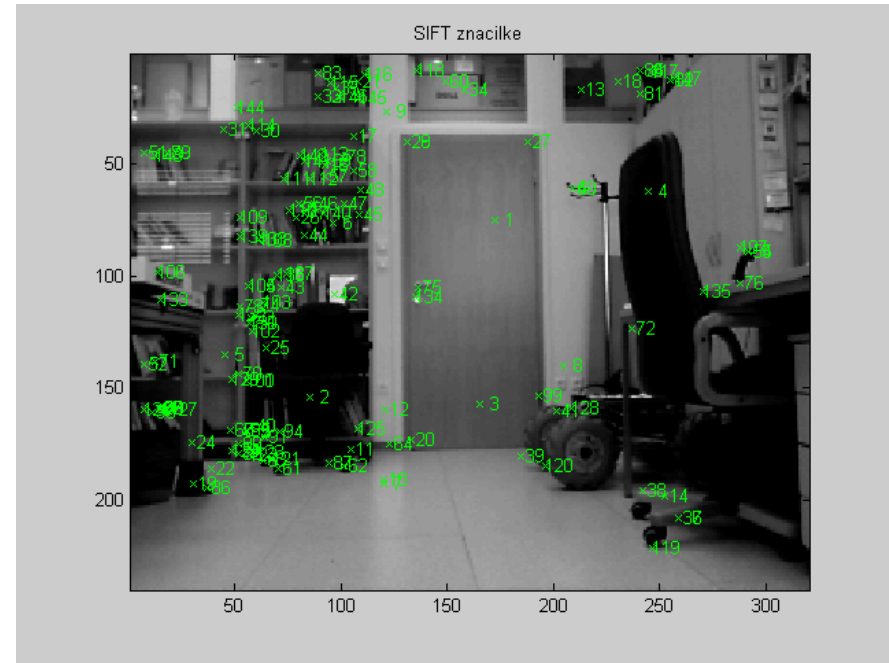
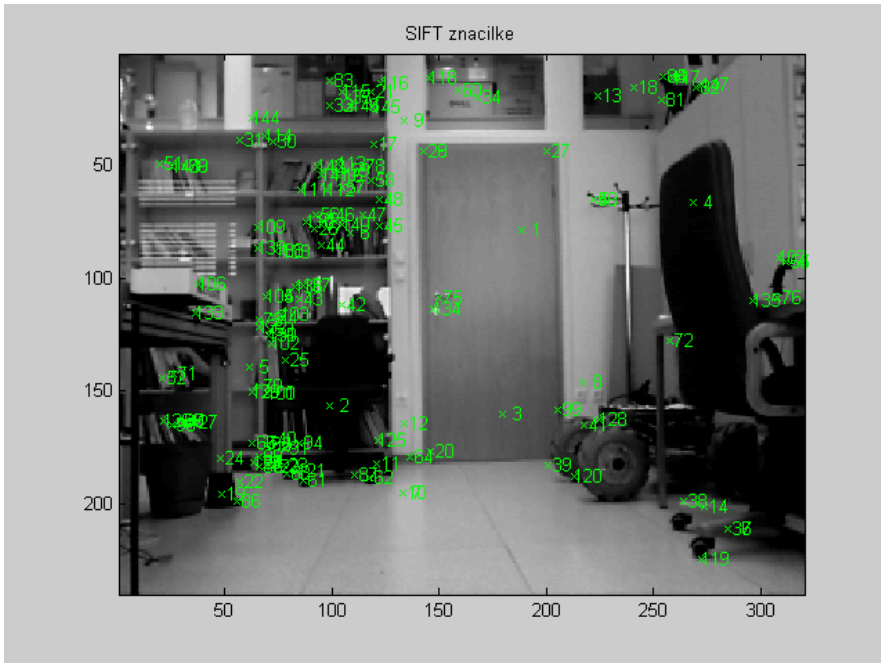
- Iskanje korespondenčne točke na obeh slikah (leva in desna kamera)
- Prikaz SIFT značilik na stereo posnetku – sliki leve in desne kamere (Scale Invariant Feature Transforms)



# Stereo primerjanje



## Najdeni pari značil



$$x = \frac{T}{d}(u_D - u_0)$$

$$d = u_L - u_D$$

$$y = \frac{T}{d}(v_0 - v_D)$$

$$z = \frac{T}{d}f$$

$f = 393$  pikslov

$T = 0.156$ m

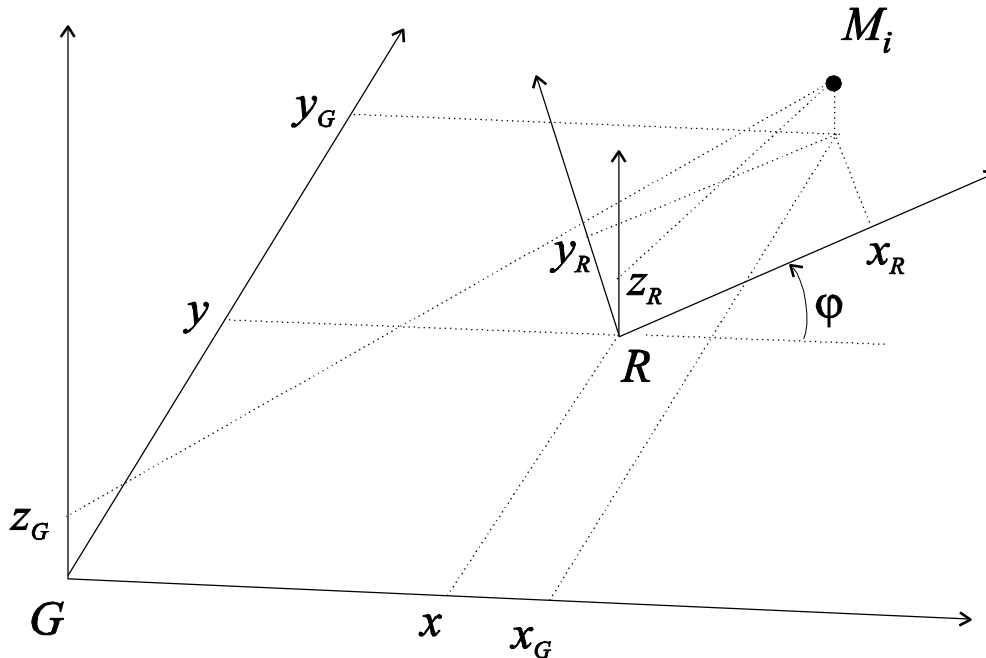
$u_0 = 143$  pikslov

$v_0 = 116$  pikslov

# Uporaba stereo vida

Za namen:

- 3D razpoznava objektov v okolici
- Merjenje razdalje do objekta
- Razpoznavanje okolice in lokalizacije mobilnega robota
- Gradnja zemljevida okolice (zemljevida značilik)



opazovana značilka in relacija med lokalnimi in globalnimi koordinatami

Poznamo:

$$M_i^R = R \cdot (M_i^G - t)$$

$$M_i^R = \begin{bmatrix} x_R & y_R & z_R \end{bmatrix}^T$$

$$M_i^G = \begin{bmatrix} x_G & y_G & z_G \end{bmatrix}^T$$

Iščemo:

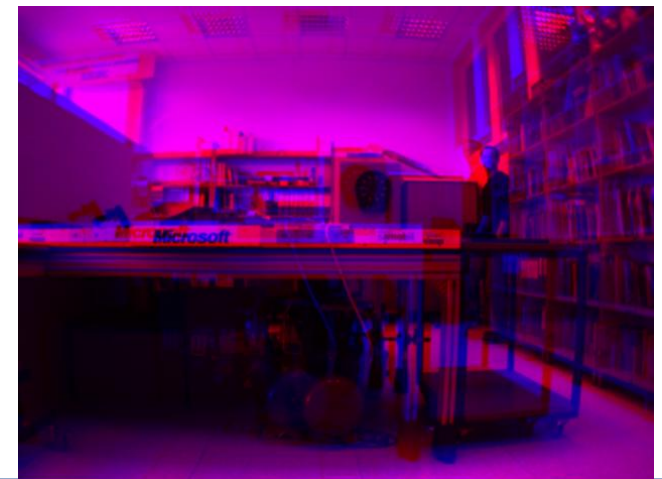
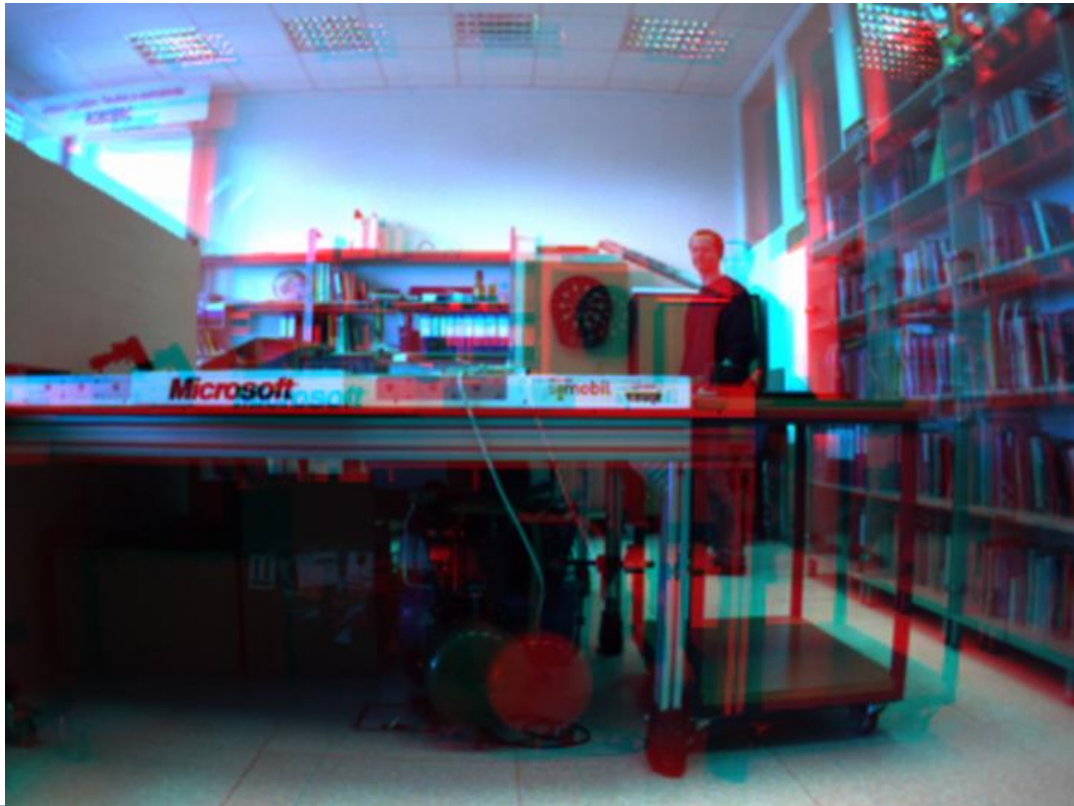
lego robota:  $x, y, \varphi$



# Uporaba 3D vizualizacije



- 3D filmi, računalniške igre
- Lažje upravljanje mobilnega robota
- Zabava, hobi, ...



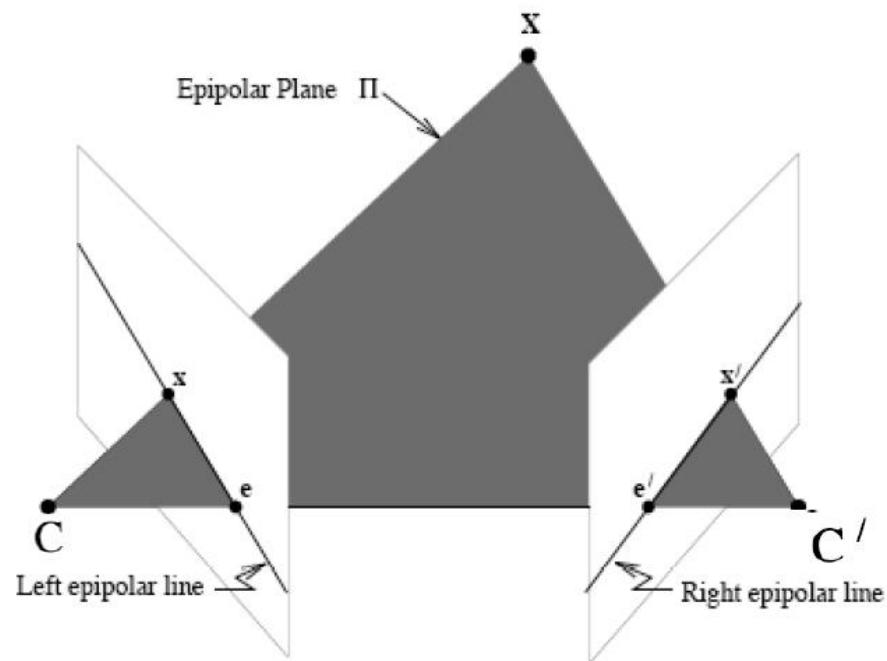
# Epipolarna geometrija



- Slike stacionarnega okolja iz dveh ali več kamer na različnih pozicijah (ali ista kamera pred in po premiku)
- Epipolarna ravnina definirana s točko  $X$  in gorišči kamer  $C, C'$
- Epipremica, presečišče epipolarne ravnine in ravnine slike

Iskanje parov točk  $x, x'$  za neko točko  $X$   
(upoštevamo epipolarno omejitev):

- gorišče  $C$  in točke na slikovni ravnini  $x$  neke 3D točke  $X$
- Vemo, da  $X$  leži na premici skozi  $C$  in  $x$
- točke premica skozi  $C$  in  $x$  se na desni sliki preslikajo v epipremico
- ustrezna točka na slikovni ravnini desne kamere  $x'$ , ki je slika točke  $X$  mora ležati na epipolarni premici -> epipolarna omejitev
- učinkovito iskanje ustreznega para točki  $x - x'$  leži nekje vzdolž epipremice

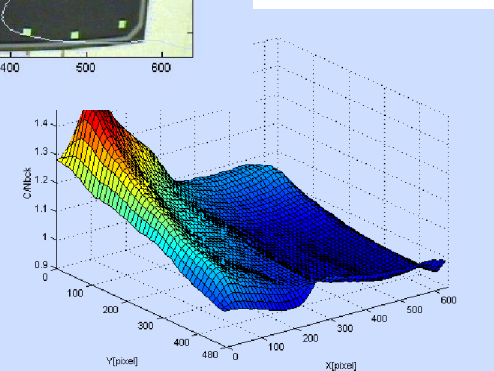
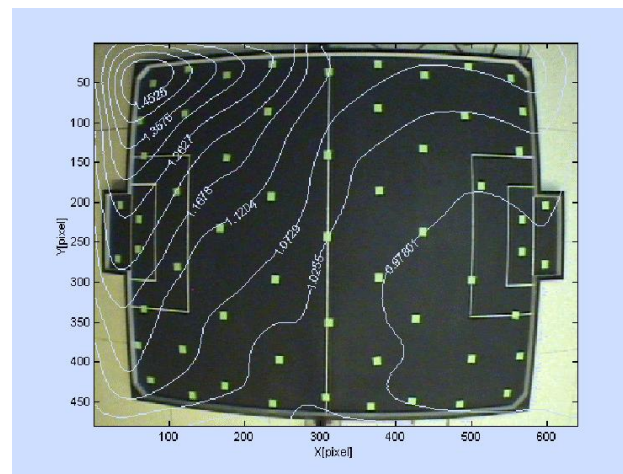
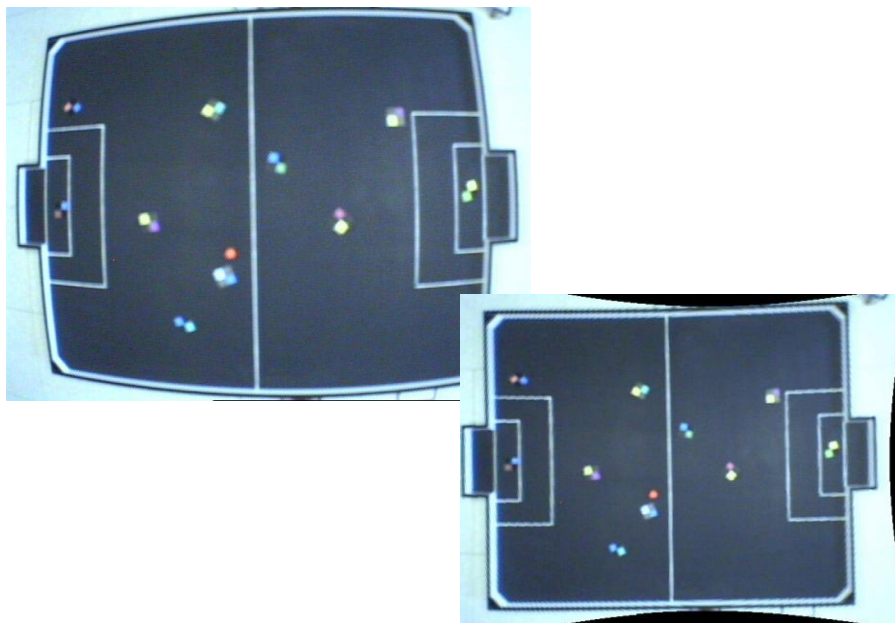




# Nekateri problemi

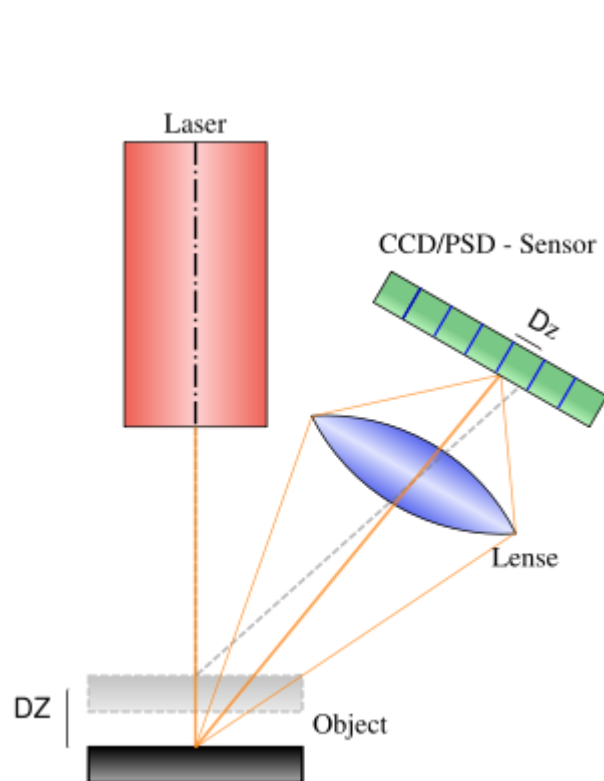


- primerna osvetlitev (slaba osvetlitev: pretemna, presvetla, barvni spekter svetlobe, neenakomerna osvetlitev,...)
- popačenje robov zaradi Bayerjevega filtra (barvna kamera z 1 CCD)
- popačenja leče - sodočast efekt
- popačenje zaradi perspektive
- nelinearnosti svetlobnega senzorja
- kompleksnost algoritmov -> računska zahtevnost -> delovanje v realnem času



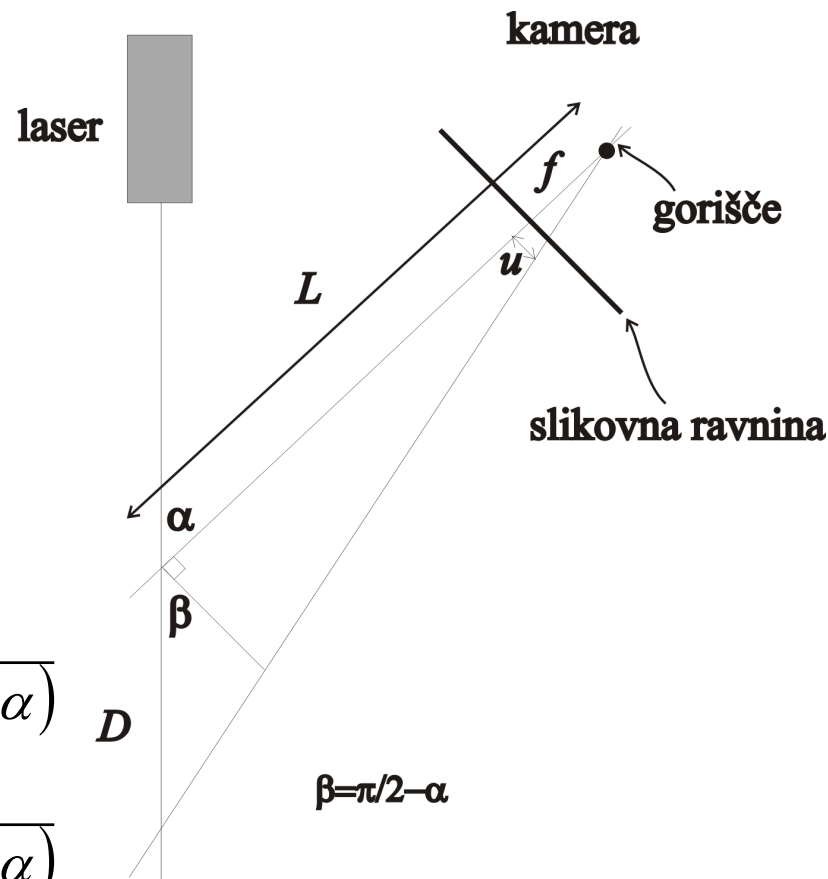
# Laserska triangulacija

- Aktivna laserska triangulacija



$$\frac{f}{u} = \frac{L}{D \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}$$

$$D = \frac{u}{f} \frac{L}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}$$



$$\beta = \pi/2 - \alpha$$

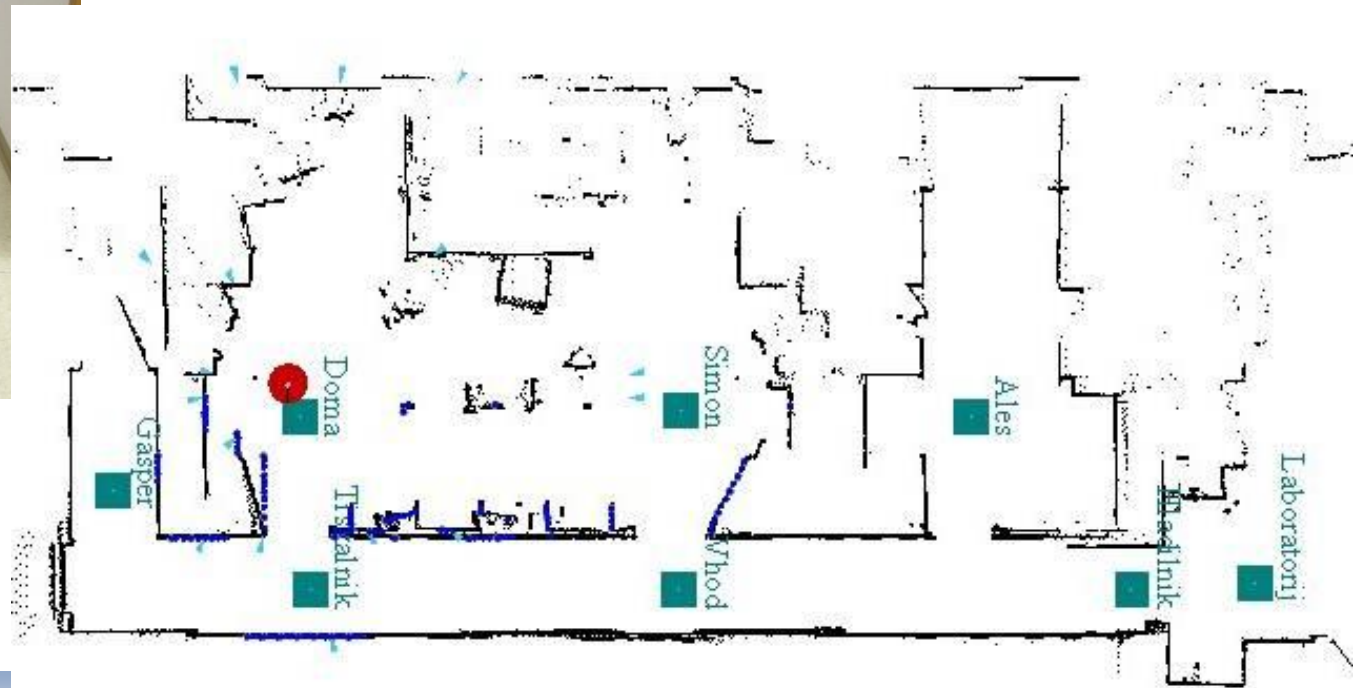


# Primeri iz LAMS

# Pioneer 3AT – lokalizacija v prostoru



- Uporaba laserskega pregledovalnika in enkoderjev
- Algoritem lokalizacije in gradnje zemljevida
- Detekcija daljic v okolju in primerjava:
  - Daljic ocenjenih iz trenutnega zajema senzorja
  - Daljic v globalnem zemljevidu (narejen predhodno in shranjen na MR)



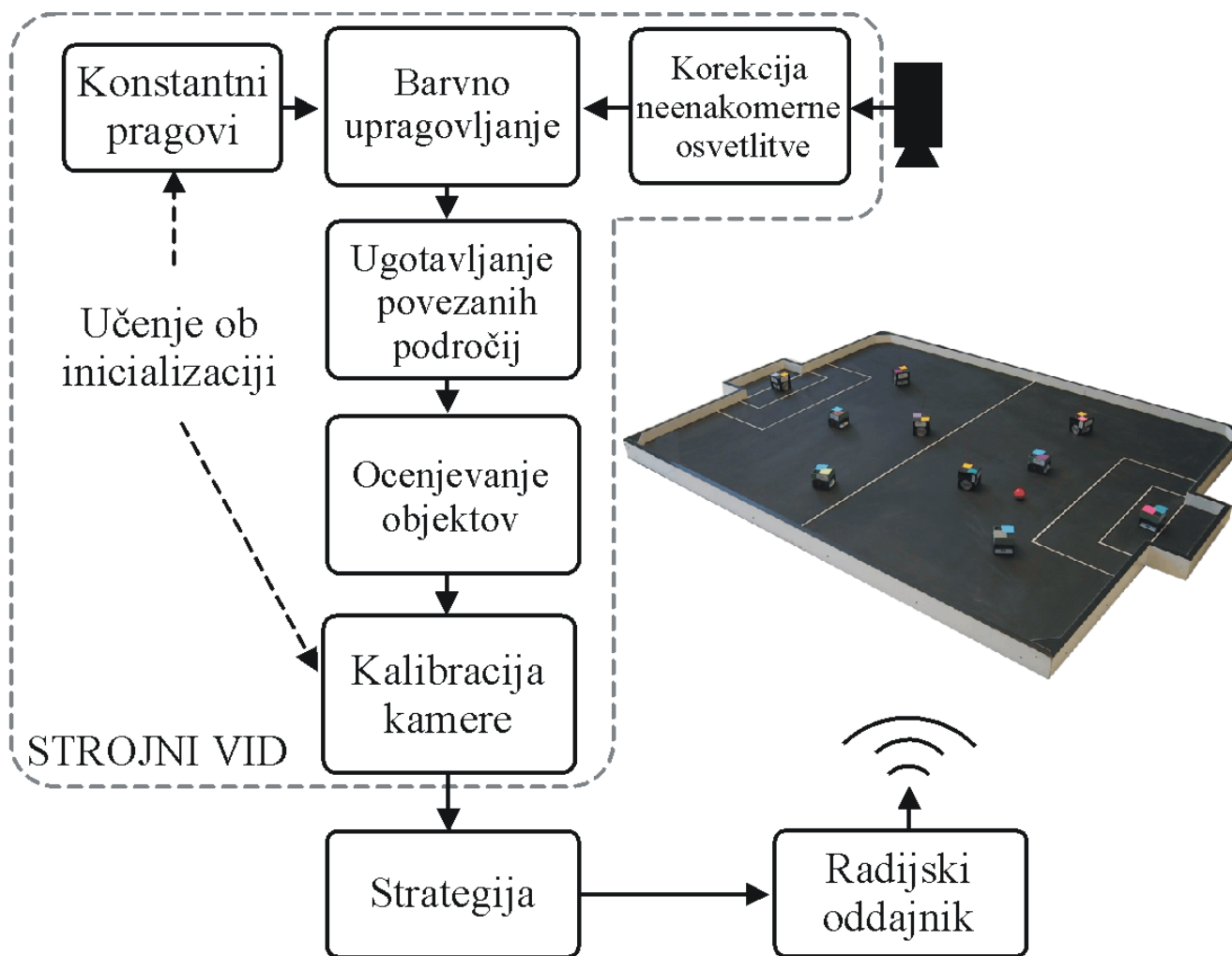
# Avtonomni mobilni robot, formacija



# Robotski nogomet



- Senzor barvna kamera, detekcija robotov z značilkami (barvna in geometrijska informacije)



# Kvadrokoopter - lokalizacija in vodenje



- Lokalizacija s kamero, odometrijo na podlagi poslanih ukazov in detekcijo markerjev na znanih pozicijah.



Matevž Bošnjak

Laboratorij za avtonomne mobilne sisteme  
Fakulteta za elektrotehniko  
Univerza v Ljubljani



Framework created by Thomas Endres, Steve Hobbey, Julien Vinel

## AR.Drone control

Wireless Network Connection 7: Ping successful, starting main pro

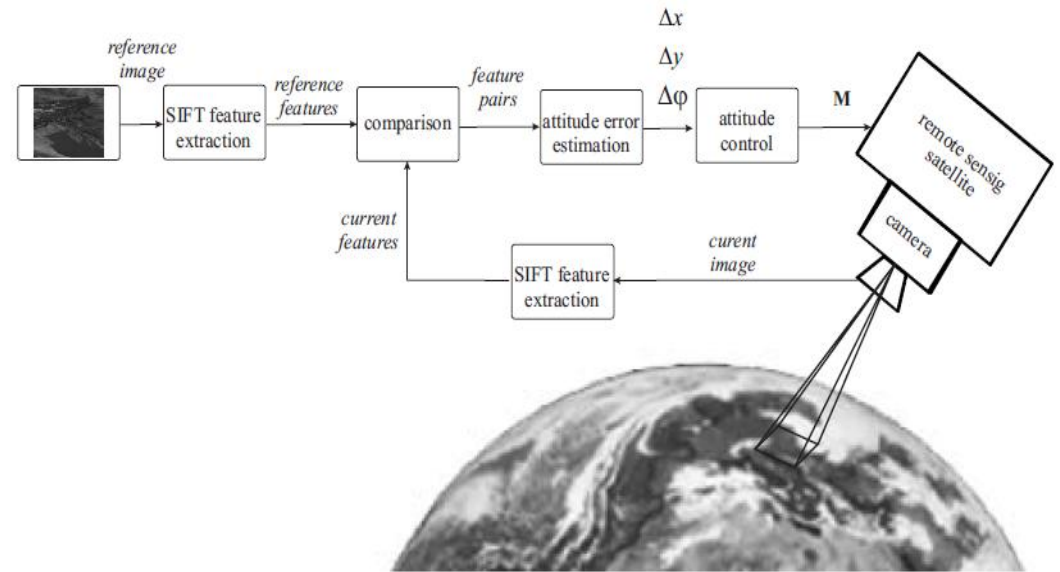




# Vodenje orientacije satelita



- Uporaba slikovne kamere
- Simulacijska študija
- Simulacija slik površja Zemlje
- Vodenje orientacije – avtomatsko sledenje nekega področja
- IBC izvedeno s pomočjo značilk SIFT

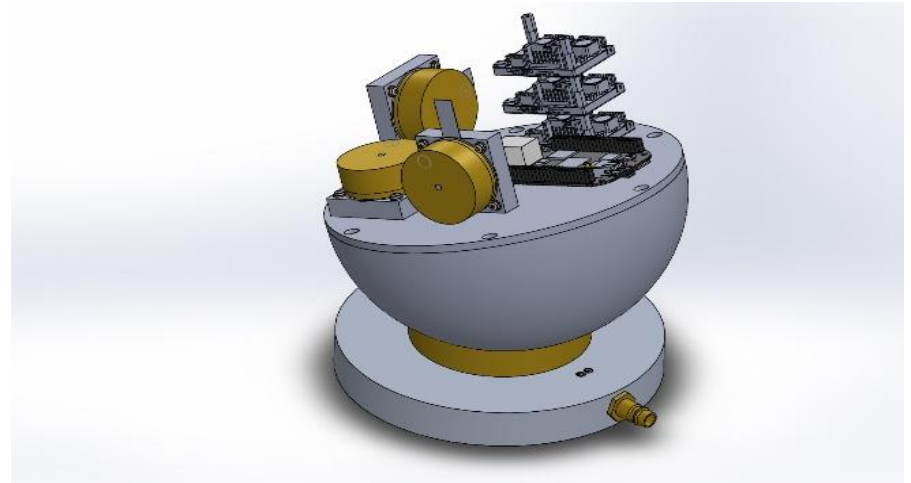
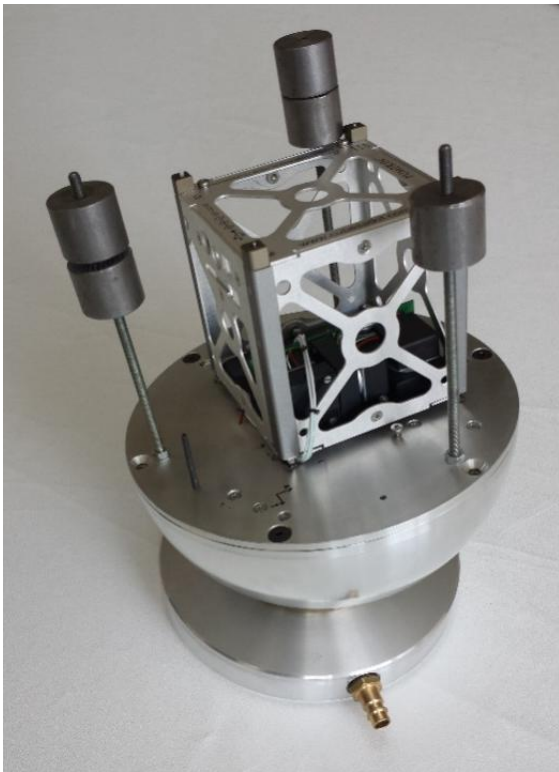




# Vodenje orientacije na podlagi inercialnih senzorjev



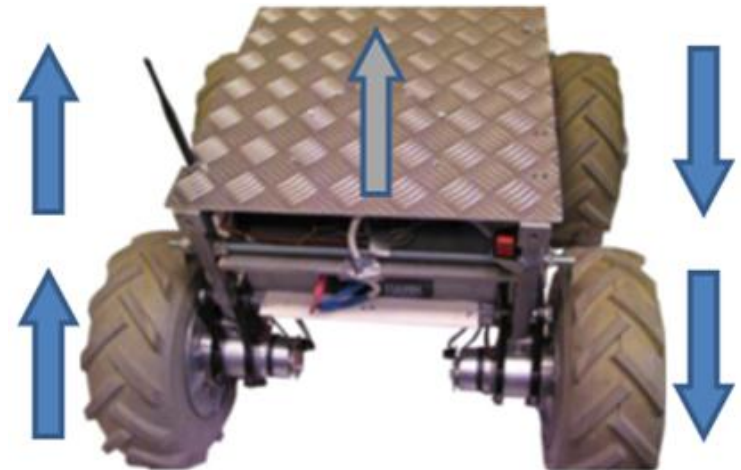
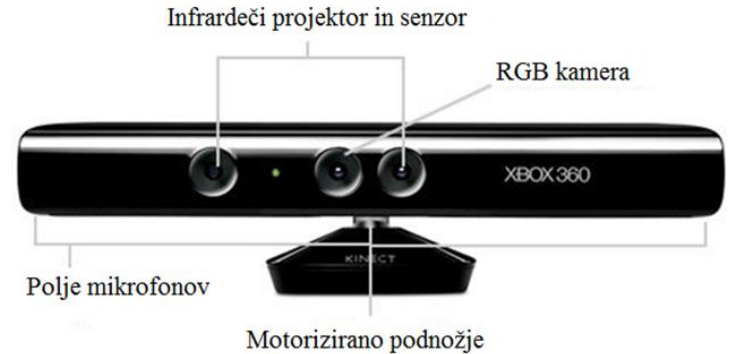
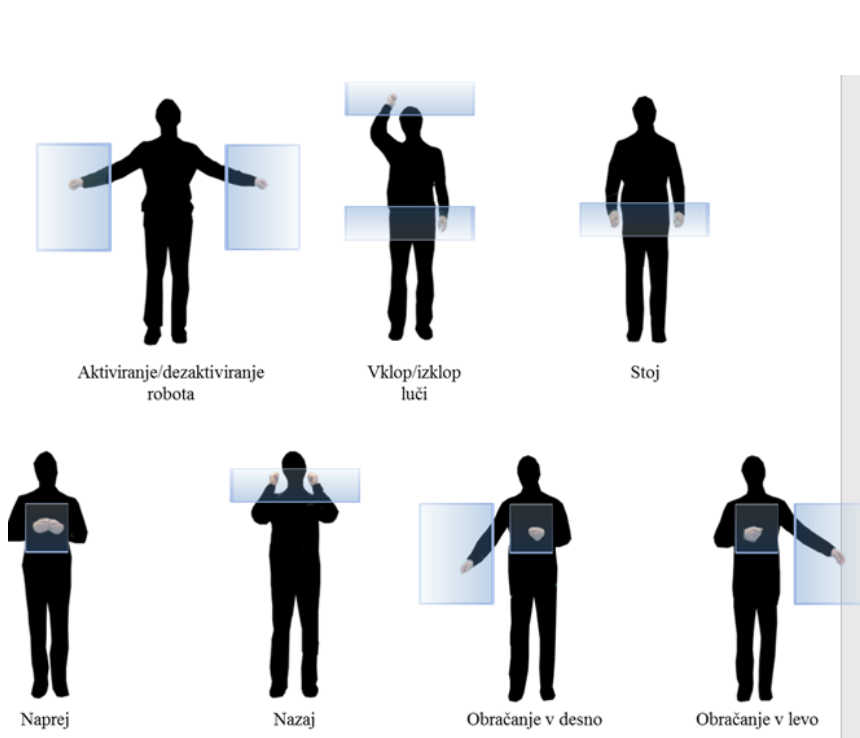
- Merjenje orientacije s pomočjo inercialnih senzorjev (giroskop, pospeškometer) in magnetometra.
- Vodenje orientacije satelita z reakcijskimi kolesi
- Simulacija s pomočjo zračnega ležaja



# Krmiljenje MR s kretnjami rok



- Robot s pomočjo Kinecta in razpoložljivih knjižnic razpozna kretnje rok (ukaze) in izvaja premike



# Kinect (globinska slika)



- Vključuje: motorizirano podnožje, polje mikrofonov, infrardeči projektor in infrardeči senzor, barvno (RGB) kamero in senzor pospeška.
- kodiranja vidnega polja s pomočjo infrardeče svetlobe projektorja
- računanje globine s triangulacijo: IR laserski projektor razprši na stotine infrardečih pik v prostor. IR senzor pa te pike zazna

