

Strojni vid in stereo vid

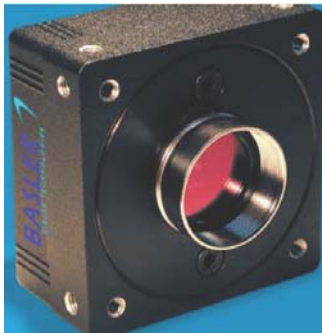
Doc. dr. Gregor Klančar

Uvod

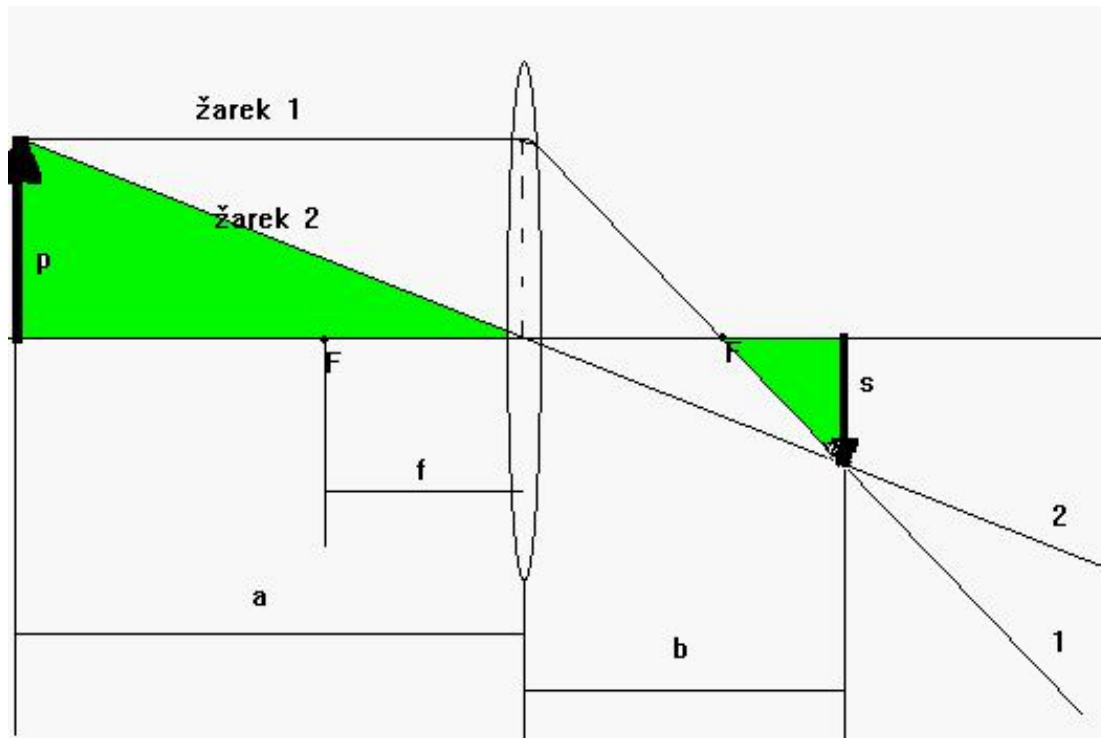
- **Preslikava prizora okolice na slikovni senzor**
- **Zmogljiv senzor, slika vsebuje veliko informacij**
- **Obdelava slike za konkreten namen uporabe**
 - **Razpoznavna predmetov, oseb, avtomobilov, ...**
 - **Meritev dimenzij predmetov, relacij med njimi**
 - **Končna kontrola kvalitete, ...**

V nadaljevanju

- **Osnove strojnega vida, slikovni senzor**
- **Nekateri primeri uporabe**
- **Stereo strojni vid**



Enačba leče, preslikava



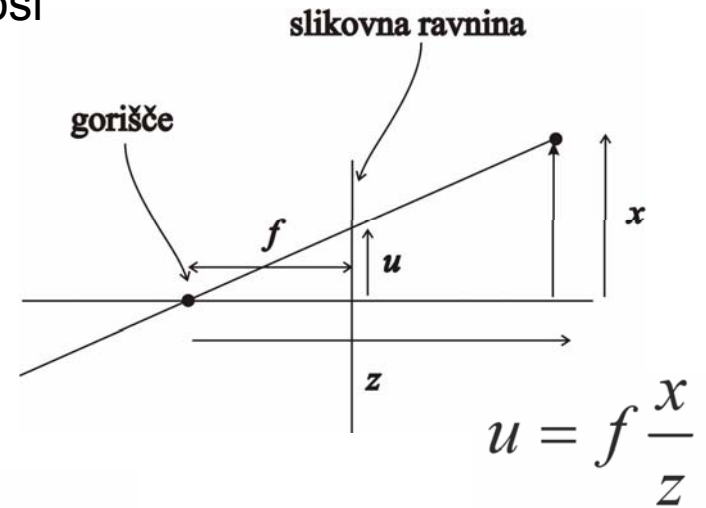
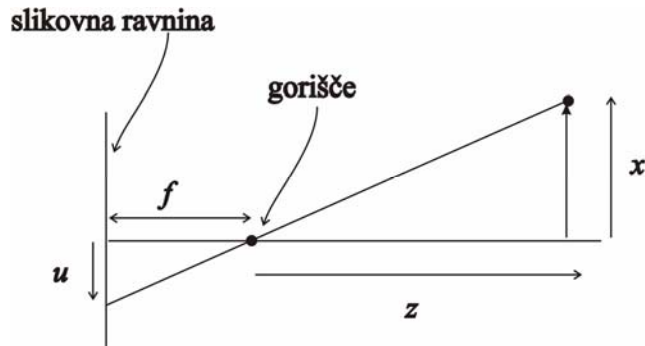
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$\text{ker } a \gg b \rightarrow b \cong f$$

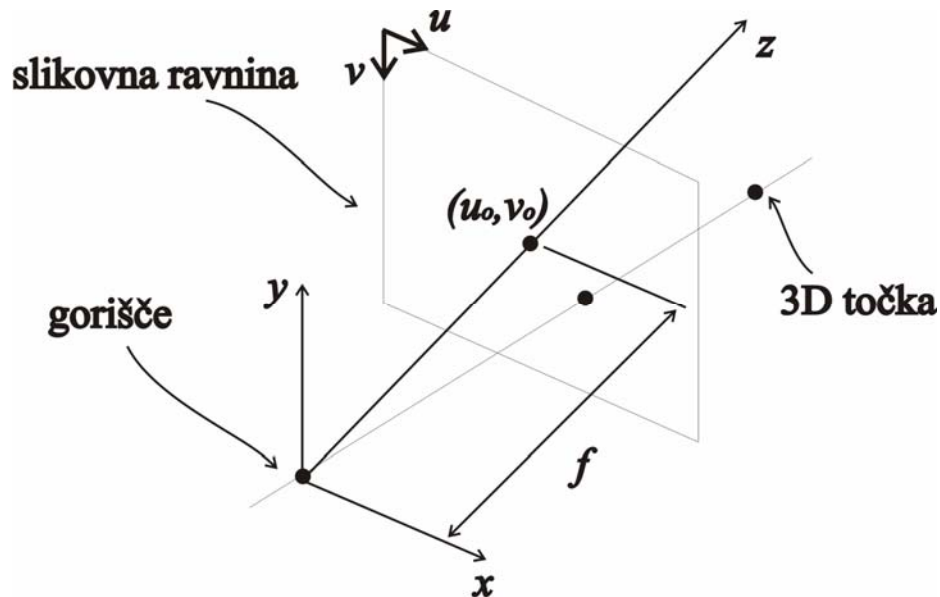
$$s = f \cdot \frac{p}{a}$$

Idealni model kamere

ni zrcaljena preko z osi



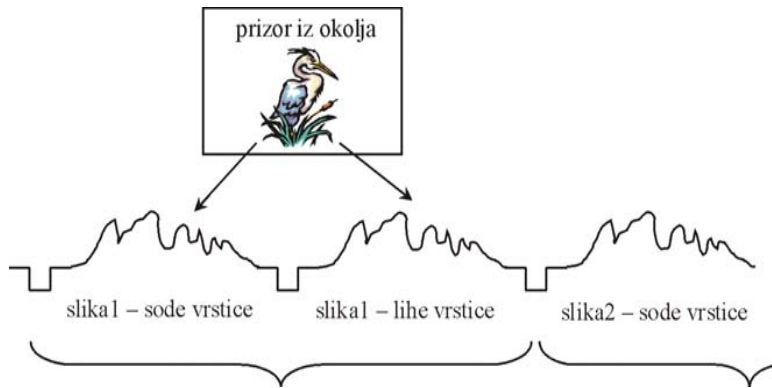
3D -> 2D



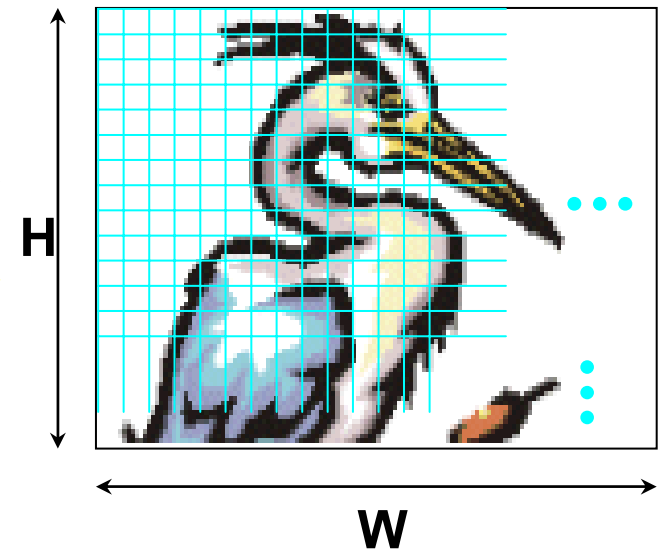
$$u = f \frac{x}{z} + u_0$$

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

Kamera

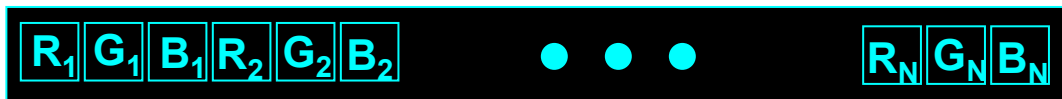


**vzorčevalnik
slike**



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

Zapis slike v pomnilniku:

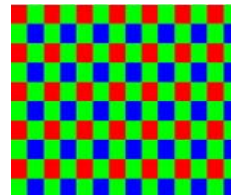
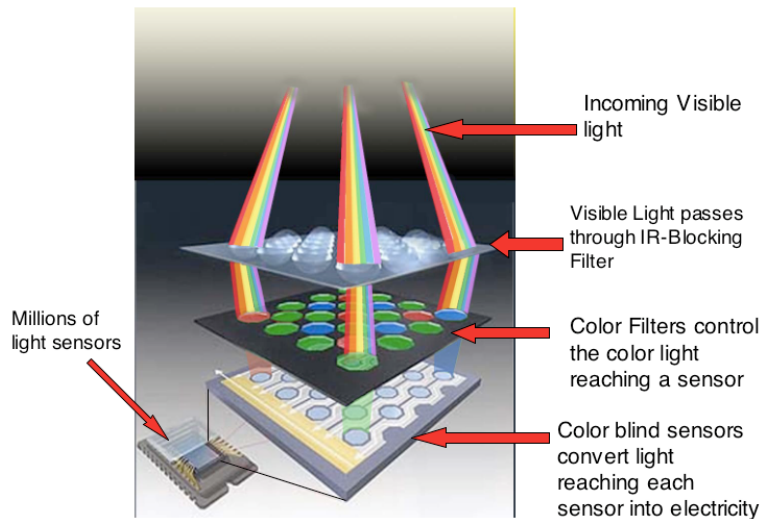


kjer je $N=W*H$

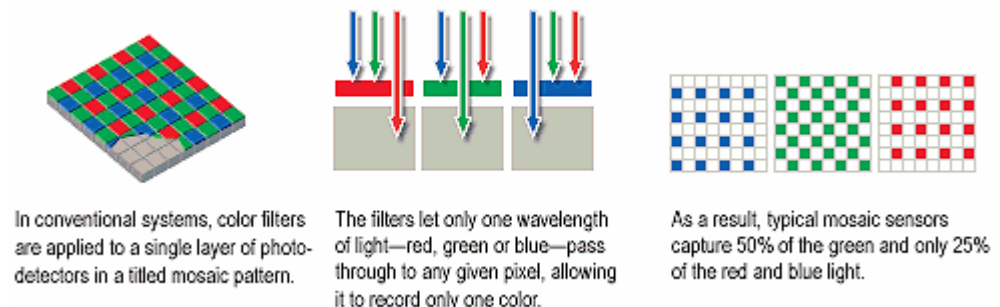
Sestava kamere

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

RGB Inside the Camera

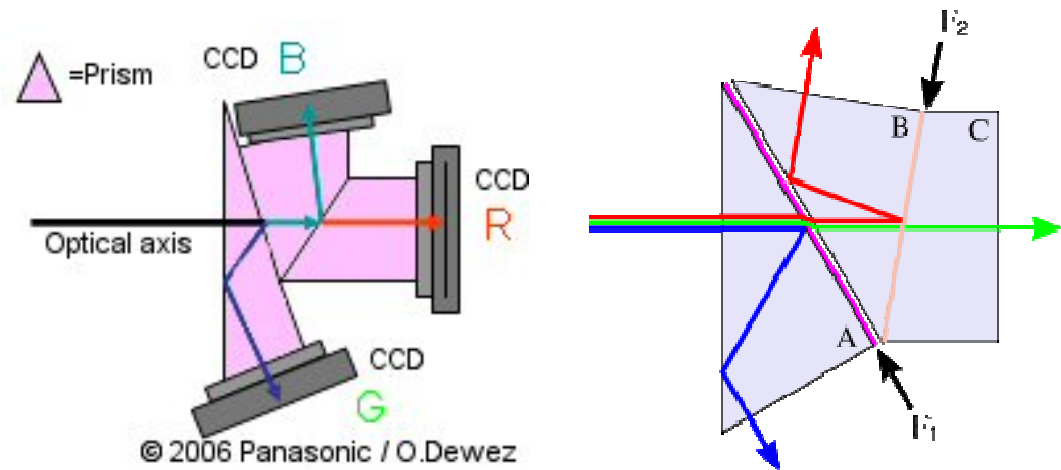
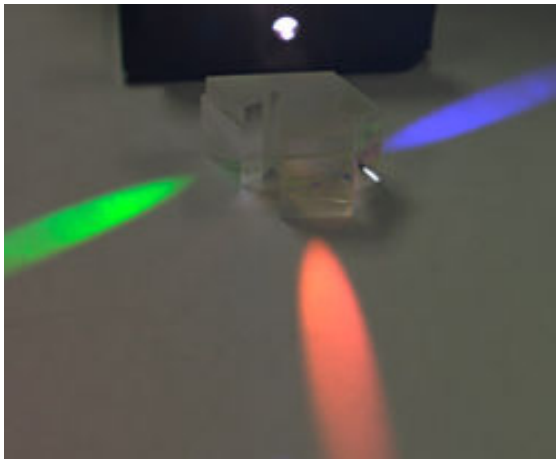


Mosaic Capture

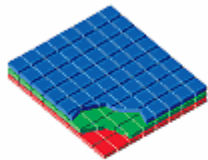


Sestava kamere 3CCD

- Prizma loči vidno svetlobo na R, G, B



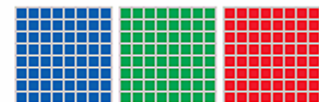
Foveon X3 Capture



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



Since silicon absorbs different wavelengths of light at different depths, each layer records a different color.



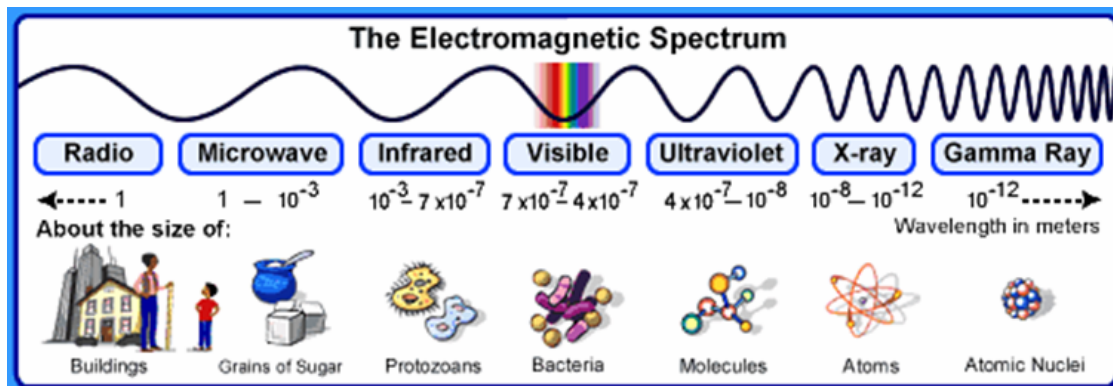
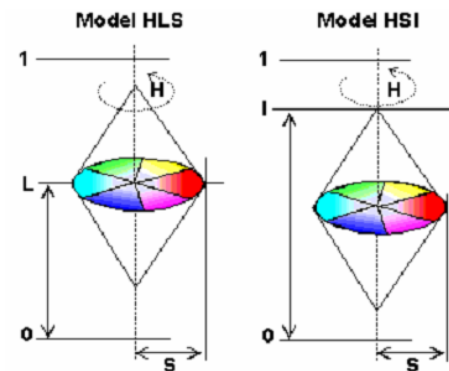
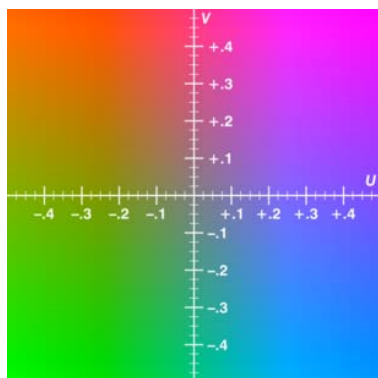
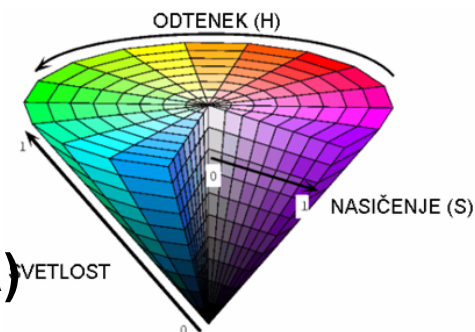
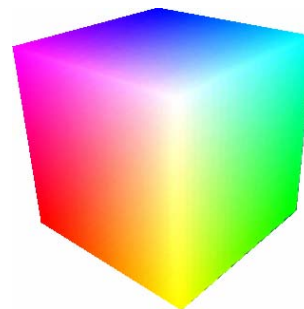
As a result, only Foveon X3 image sensors capture red, green and blue light at every pixel location.

CCD vs. CMOS

- **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 memorijo.

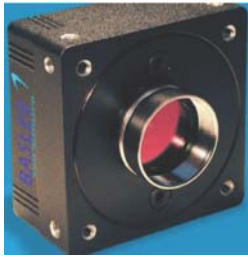
Barvni prostori

- RGB (Red Green Blue)
- HSI (Hue Saturation Intensity)
- HSV (Hue Saturation Value)
- HLS (Hue Light Value)
- YUV (Y – luma/svetloba, U,V chrominance/barva)
- ...



Izvedbe kamer

- 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 -> boljša 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



Parametri kamer



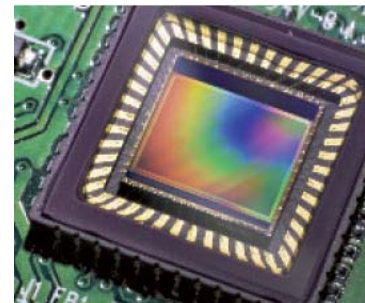
- Rezolucija, frekvenca osveževanja, goriščna razdalja,
- Čas ekspozicije (zaslonka), ...

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

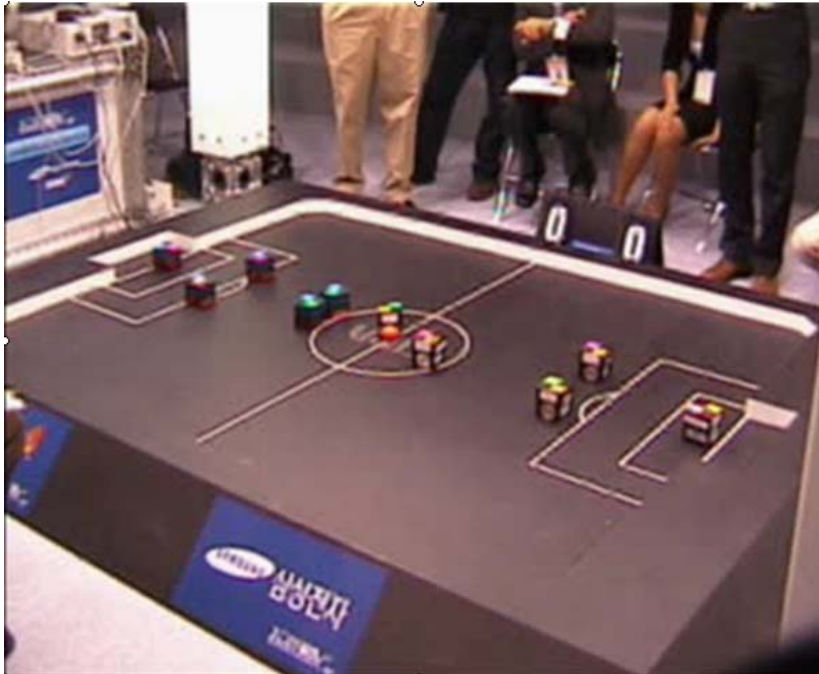
Uporaba



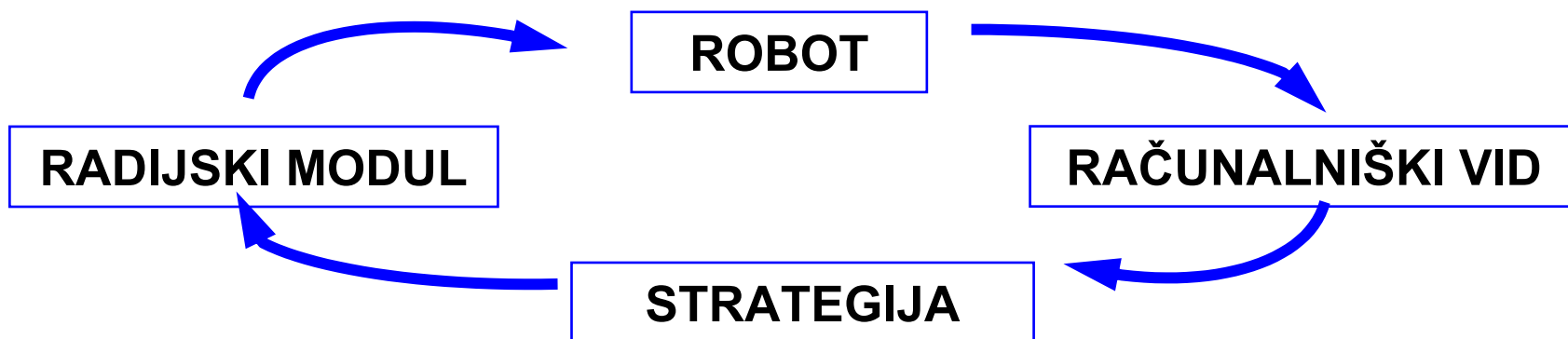
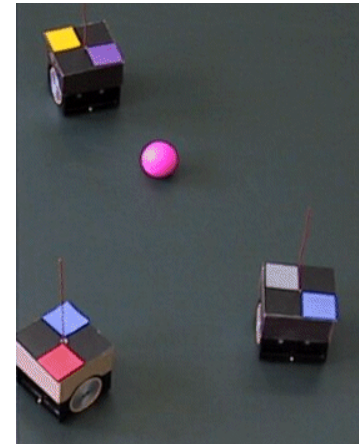
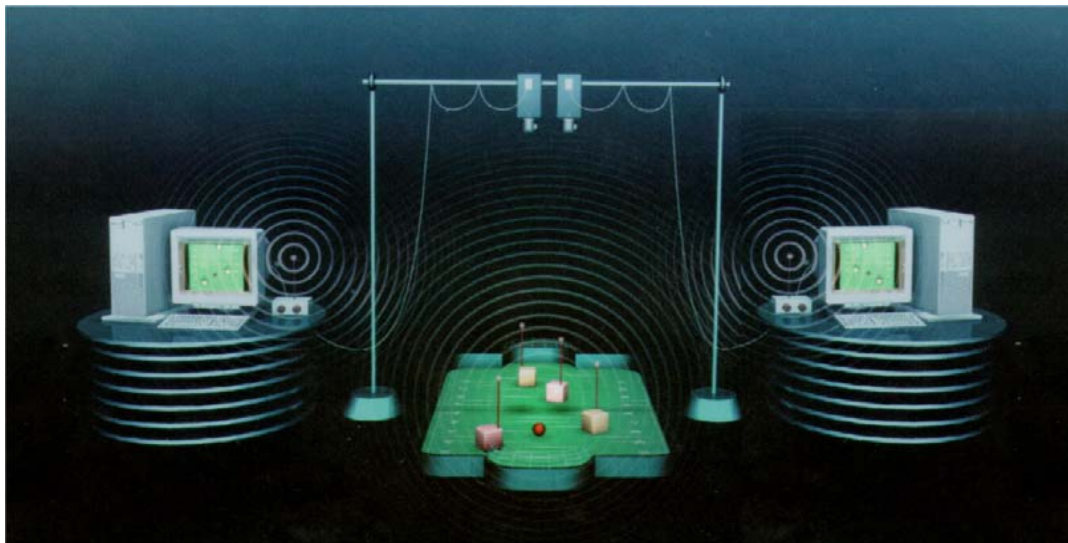
- Zelo široka...
- Civilna: varovanje, zabava (TV, spletne kamere, fotoaparati, ...)
- Industrija: končna kontrola izdelkov, senzor v regulacijskih sistemih
- Vojska, reševanja, ... – termovizijske kamere
- Promet: spremljanje, štetje ljudi, avtomobilov
- Računalniške aplikacije, web kamere, scanner, ...
- Teleskopi, ...
- Razna razpoznavne okolice, predmetov za različne domene, ...



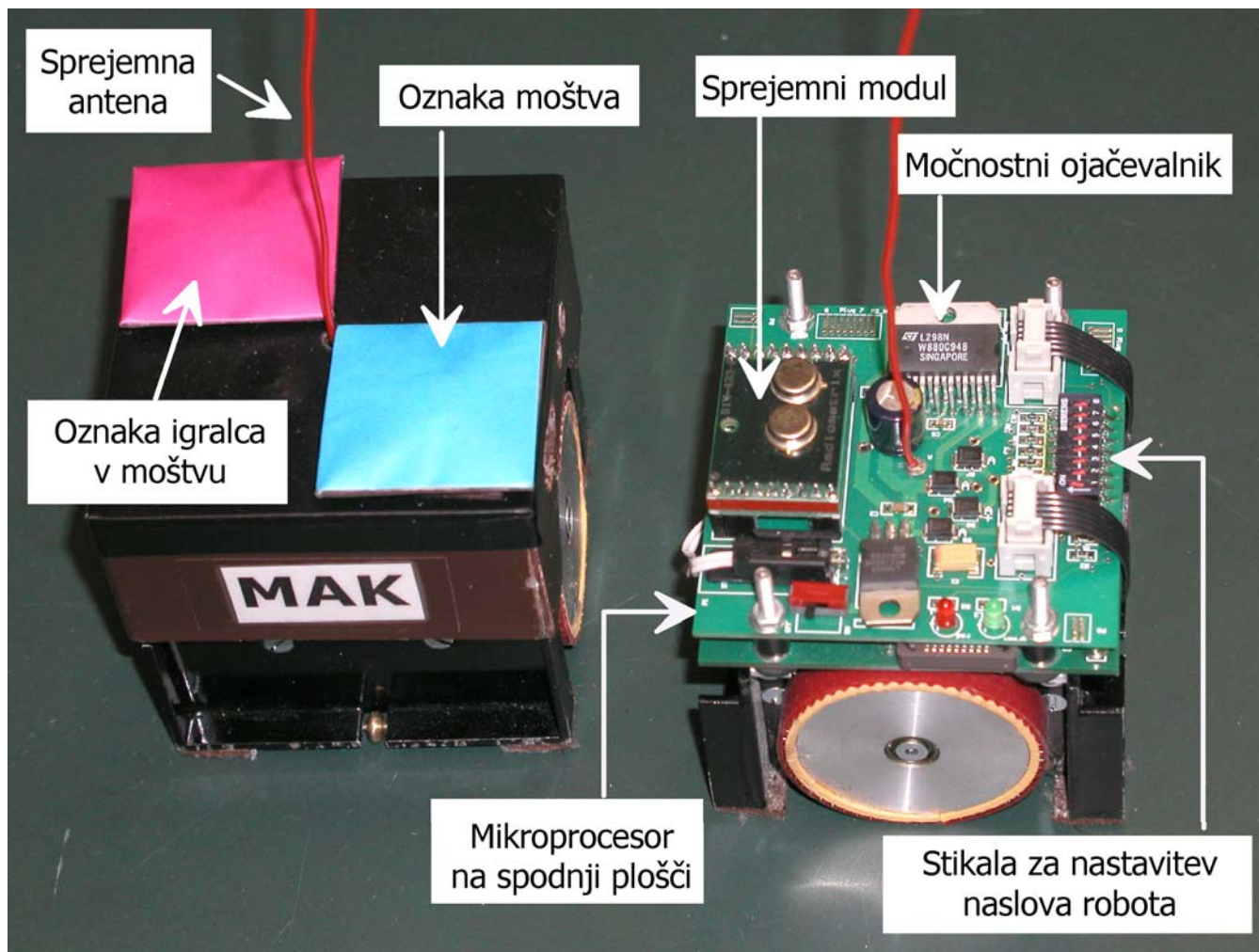
Primer uporabe pri robotskem nogometu



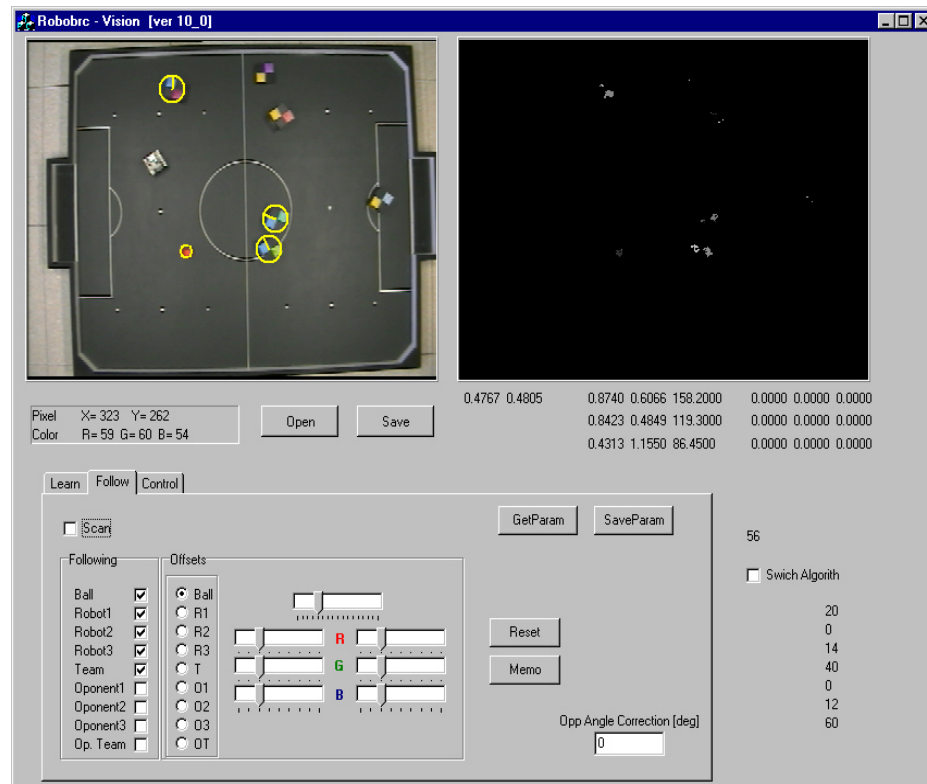
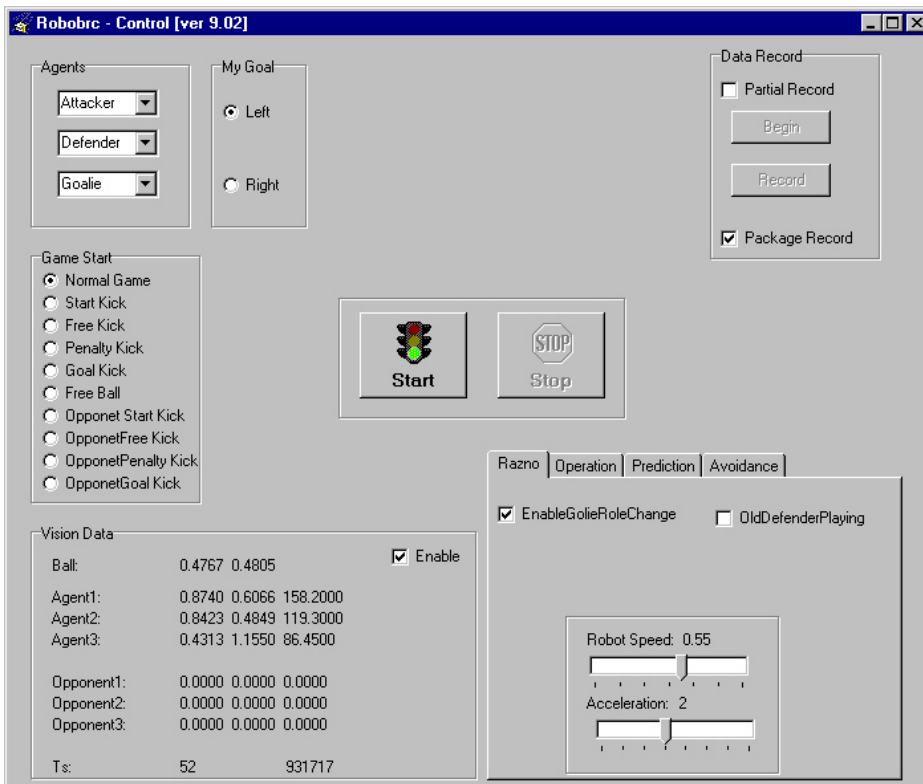
Robotski nogomet - opis



Mobilni robot

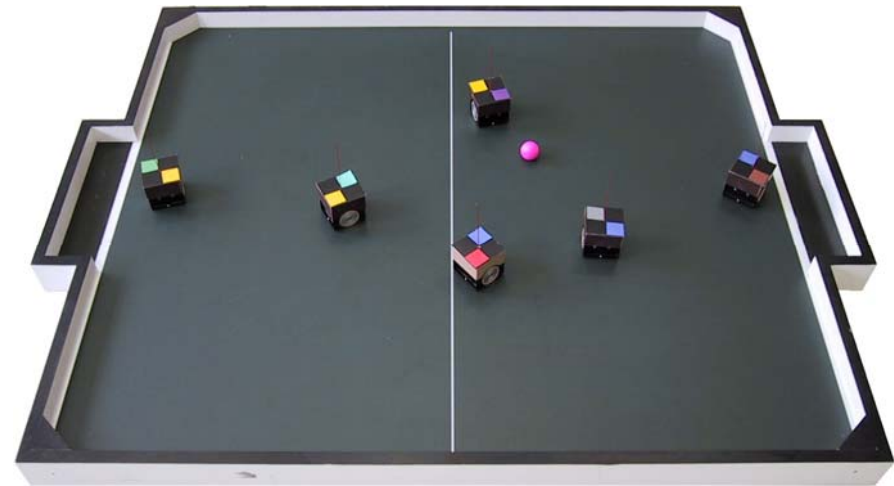


VODENJE IN SPREMLJANJE IGRE



Računalniški vid - uvod

- **Veliko industrijskih aplikacij z računalniškim vidom kot senzorjem**
- **Razpoznavanje v realnem času (30Hz, 60Hz), tok podatkov 10Mbyte/s**
- **Uveljavljeni pristopi, izbrati časovno nezahtevne, optimiranje algoritmov**

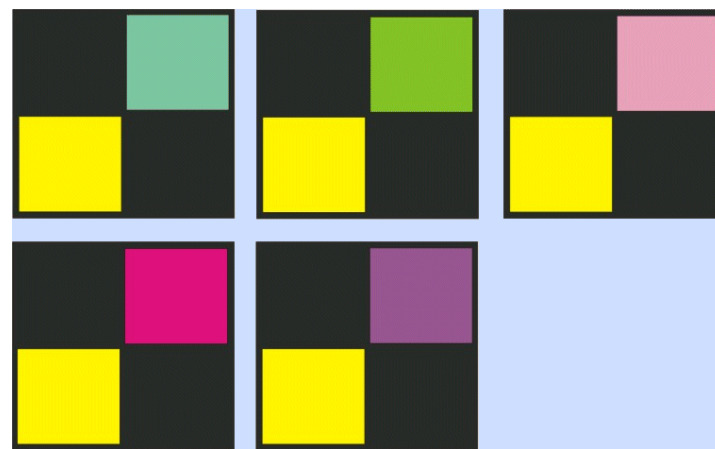
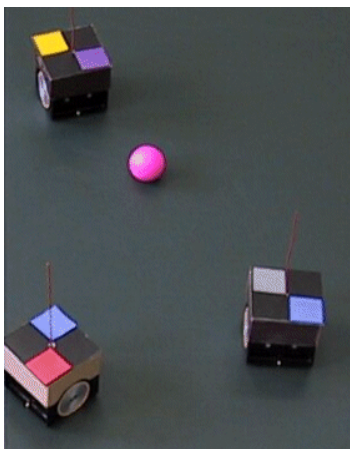


Strojna oprema

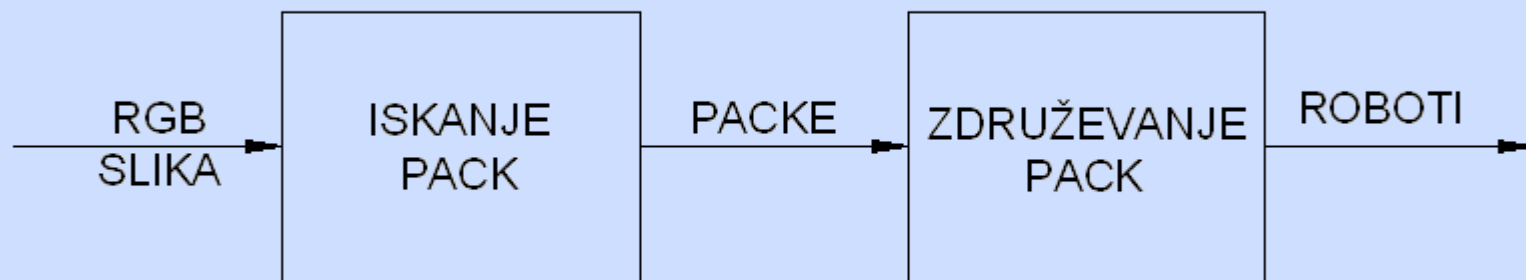
- **Kamera**
 - Standardne (PAL 25Hz, NTSC 30Hz), nestandardne
 - Optika, majhno popačenje, povečava, ostale nastavitve
 - Izhod: kompozitni, RGB izhod ali digitalni (digitalna kamera)
- **Vzorčevalnik slike**
 - Analognodigitalni pretvornik
 - Kriteriji izbire: preprosta uporaba, programska oprema, zmogljivost, načini delovanja
 - Možnost različnih barvnih prostorov (RBG, HSV, YUV, ...)
- **Računalnik**
 - Dovolj zmogljiv, hiter
 - Zanesljiv operacijski sistem
 - Smiselno, da je dvoprocesorski (več aplikacij, vzporedno procesiranje)

Kako razpoznati objekte ?

- Oznake robotov in barve žoge so predpisane in so enobarvne
- Slikovni elementi, ki pripadajo enobarvni znački zavzemajo različne RGB vrednosti (šum kamere in osvetlitev prostora)
- Model, ki opiše enobaravno značko:

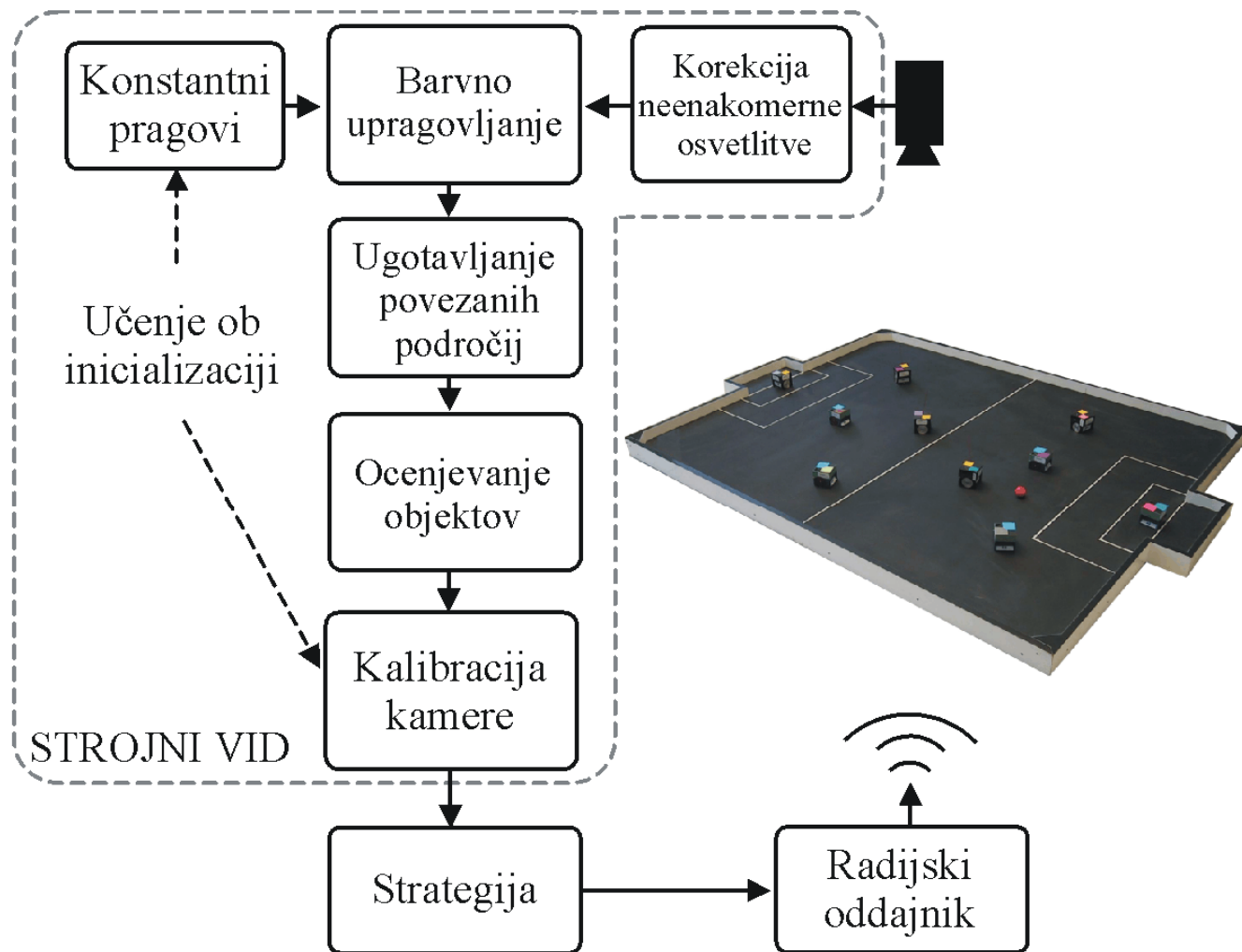


Osnovni princip razpoznavanja



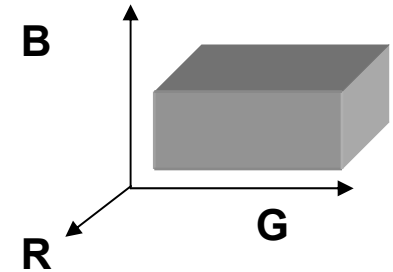
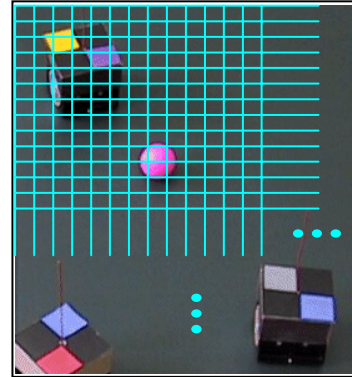
Strojni vid v RN

- Poudarek na računski učinkovitosti, robustnosti in točnosti algoritmov



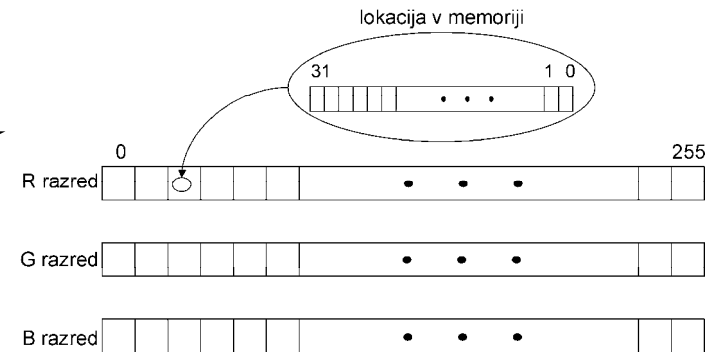
Model objekta

- Barvno upravljanje - model:



```
for i=1 to št. veljavnih barv na igrišču
  if ( R >= R_min AND R <=R_max AND
      G >= G_min AND G <=G_max AND
      B >= B_min AND B <=B_max )
    Pixel_barva =i-th barva;
  else Pixel_barva=ozadje;
end
```

(6 rel. 0p. + 5 AND op.)*št. barv / pixel



le 2 bitni AND operaciji / pixel

- Algoritem združevanja in označevanja povezanih področij
- Integracija obeh pristopov, časovna učinkovitost
- Za vsak slikovni element vemo, kateremu objektu pripada (igrišču, žogi, timski barvi robota ali identifikacijski barvi robota)

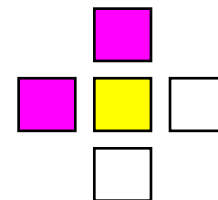
Združevanje področij

- Iščemo slikovne elemente, ki pripadajo istemu objektu in se držijo skupaj (strnjena področja).
- Za najdena strnjena področja si zapomnimo koordinate središč, velikost in barvo področja. Zapišemo jih v bazo področij.

- **Algoritem združevanja in označevanja področij:**

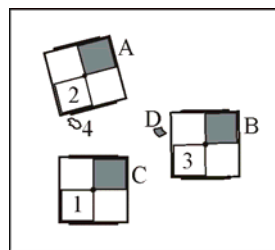
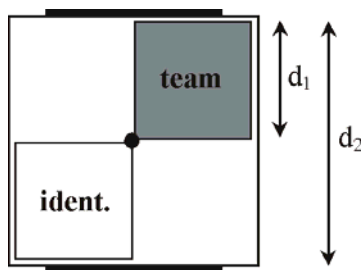
začnemo s 1. pixlom področja zanimanja

- Če je barva trenutnega pixla veljavna:
 - in je različna od gornjega in levega pixla, potem ustvarimo novo področje.
 - in je enaka barvi gornjega ali levega pixla, potem pixel dodamo ustreznemu področju.
 - in je enaka barvi gornjega in levega pixla, potem:
 - če gornji in levi pixel pripada istemu področju dodamo zraven še trenutnega.
 - drugače dodamo obravnavani pixel k področju z večjo površino, pixle manjšega področja pa premaknemo v večjega.
- Končni rezultat algoritma so: oznake področij, barve, ploščina in koordinate področij.

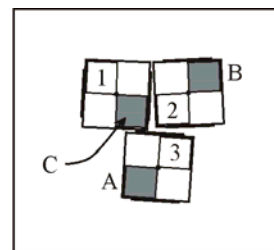


Določitev pozicij objektov

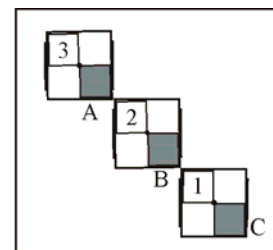
- Iz baze vseh strnjenih področij moramo izbrati tiste, ki predstavljajo dejanske objekte
- Izberemo področja z največjo površino (manjša področja so večinoma posledica šuma)



a)



b)

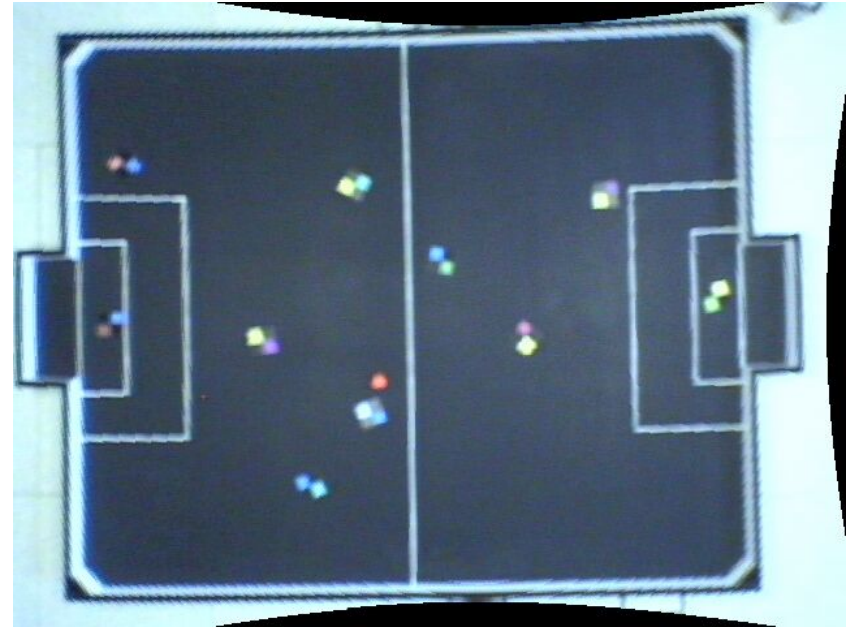
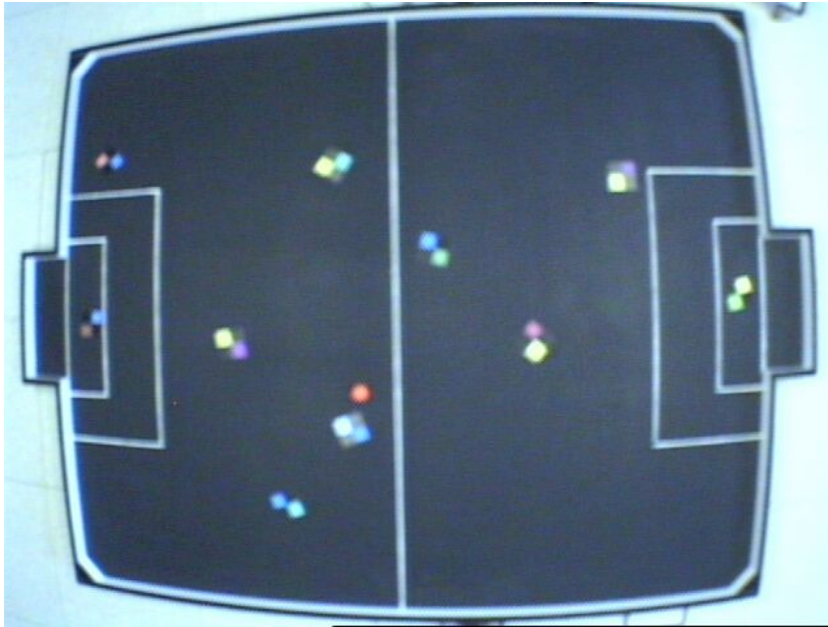


c)

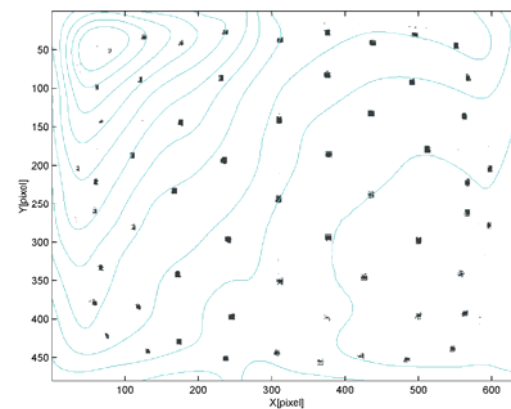
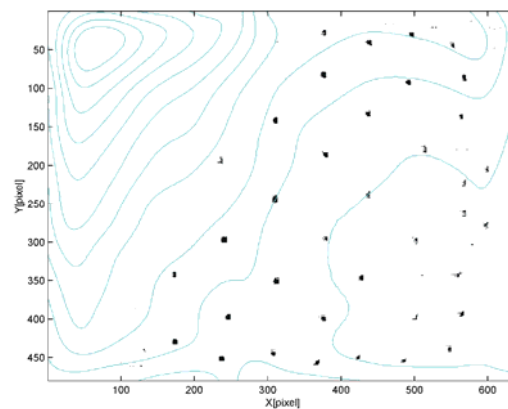
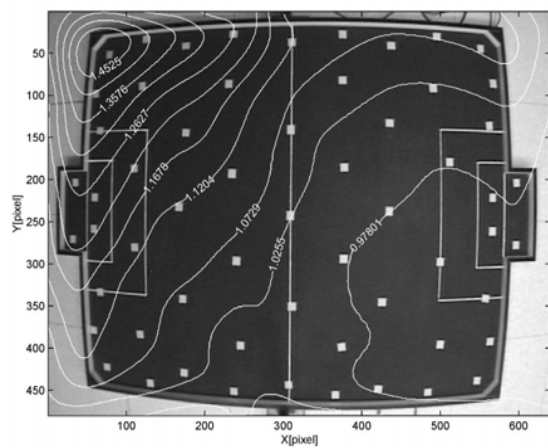
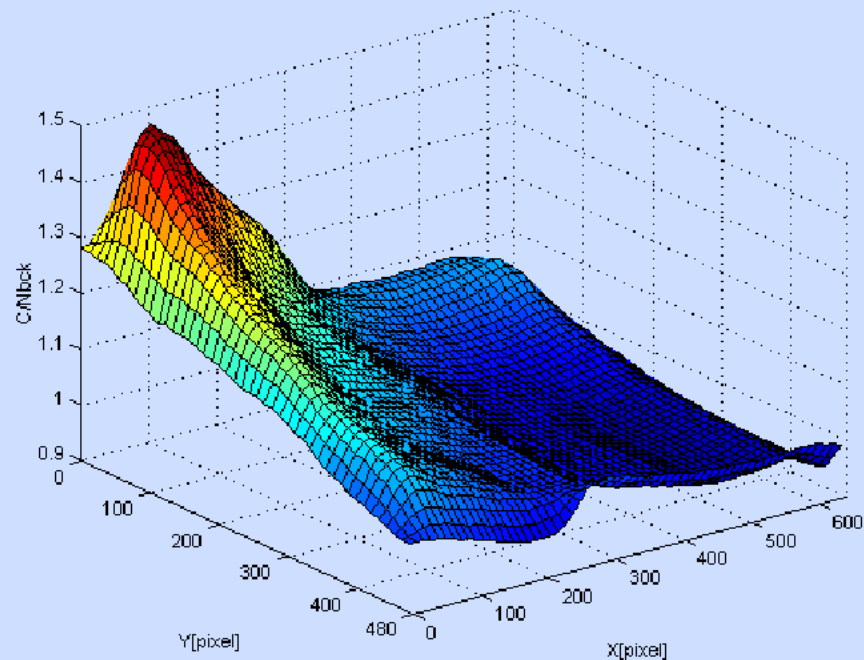
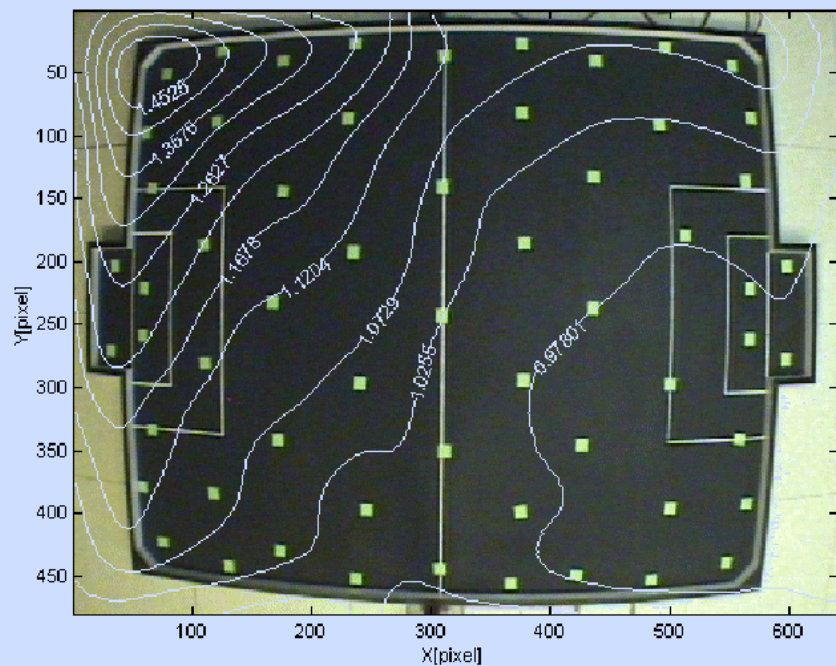
1. Določimo timske značke naših in nasprotnih robotov:
 $dist(področje, team_i) > \frac{3}{4}d_1$.
2. Pravilne identifikacijske značke morajo zadoščati pogoju:
 $\frac{3}{4}d_1 < dist(področje, team_i) < d_2$
3. S preprosto logiko najdemo pravilne pare značk (team-ident.)

Korekcija popačenj slike

- Napake leče (sodčast efekt, ribje oko)
- Perspektiva



Problem nehomogene osvetlitve

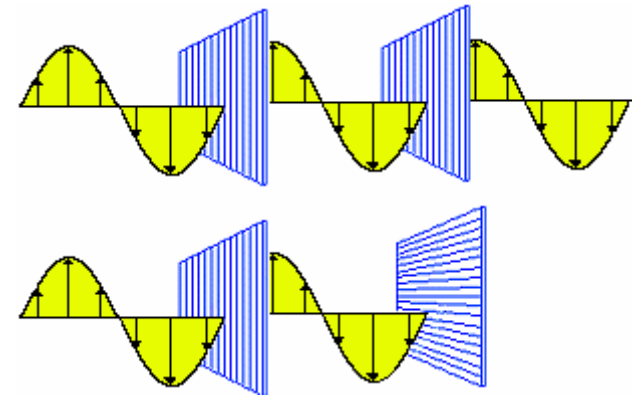
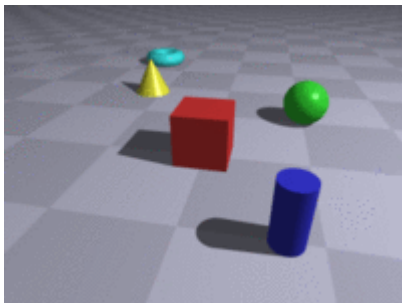
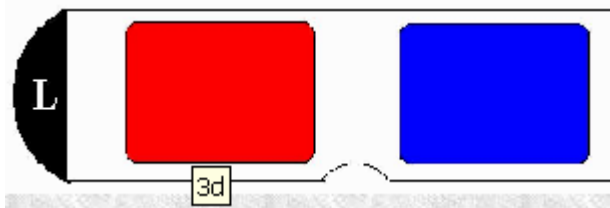


Kaj je z globinsko predstavo?

- **Kamera preslika 3D prizor v 2D sliko**
- **Kako rekonstruirati (prostorsko predstavo, oddaljenost in velikost objektov) informacijo?**
- **3D filmi, vizualizacija**
- **3D strojni vid**

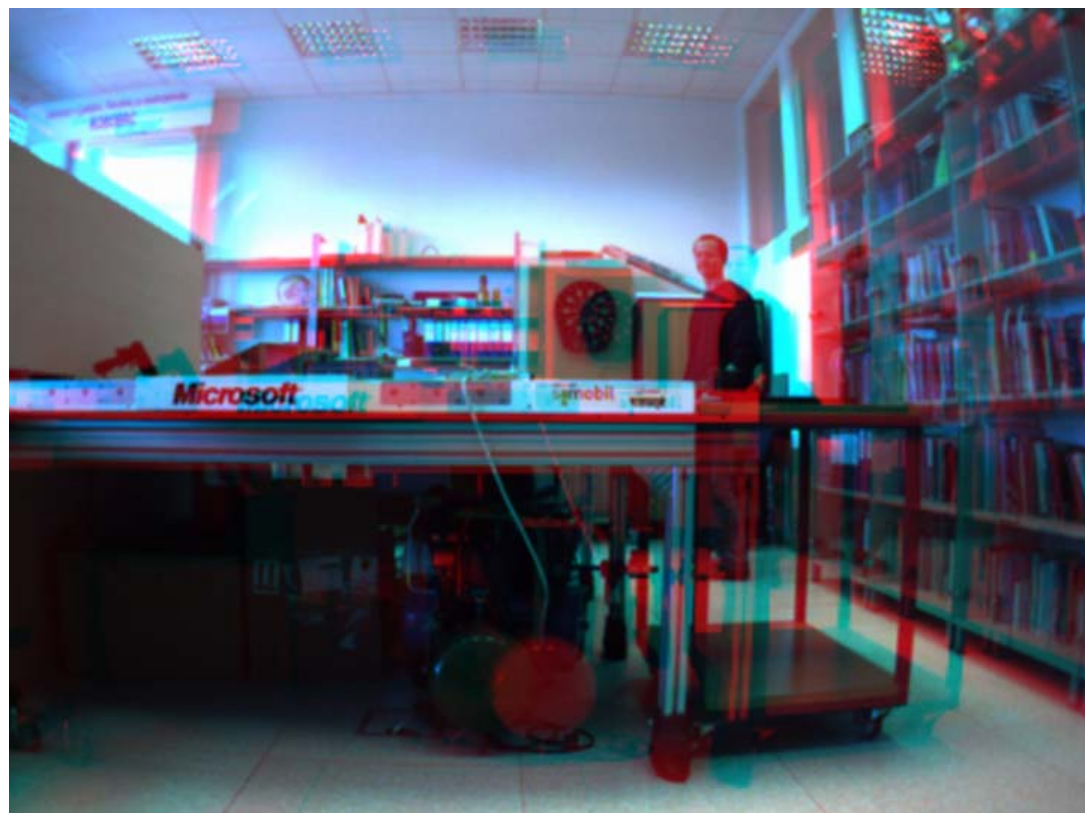
Stereo (3D) fotografija

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

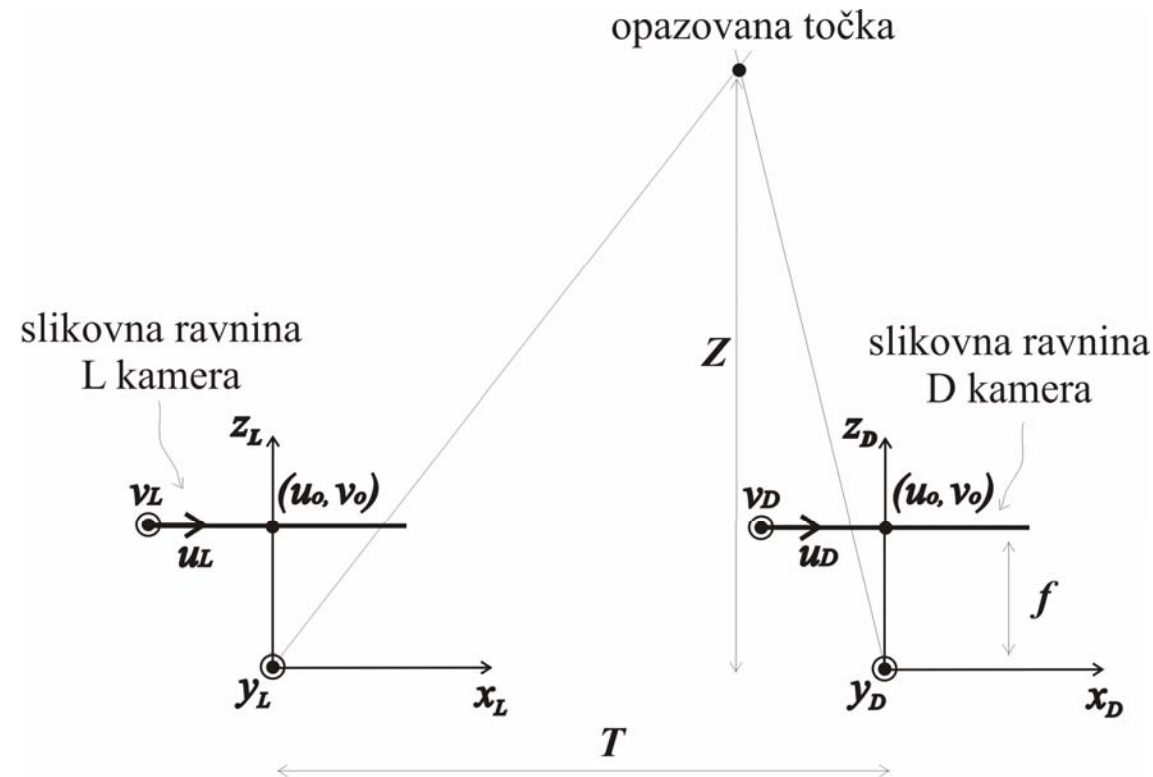


Uporaba 3D vizualizacije

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

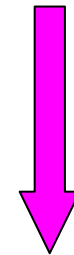


Model stereo kamere



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

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



Za KS D kamere

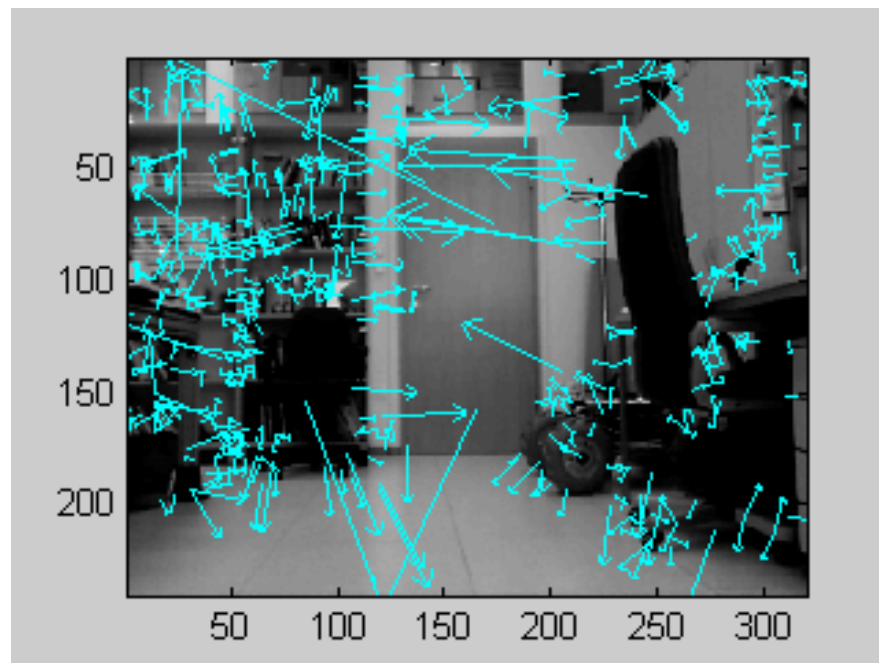
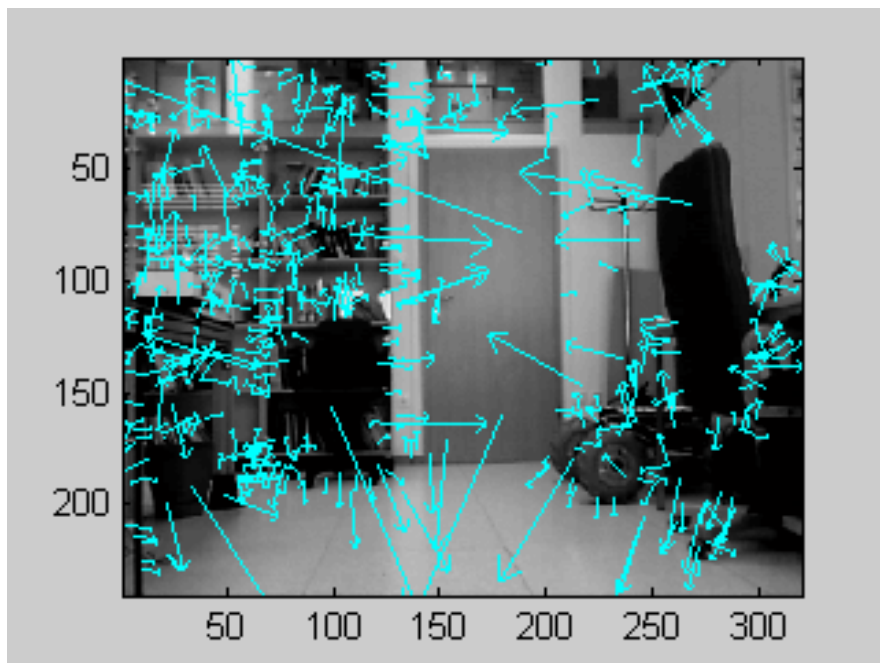
$$X_D = Z \frac{(u_D - u_O)}{f} = T \frac{(u_D - u_O)}{d}$$

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

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

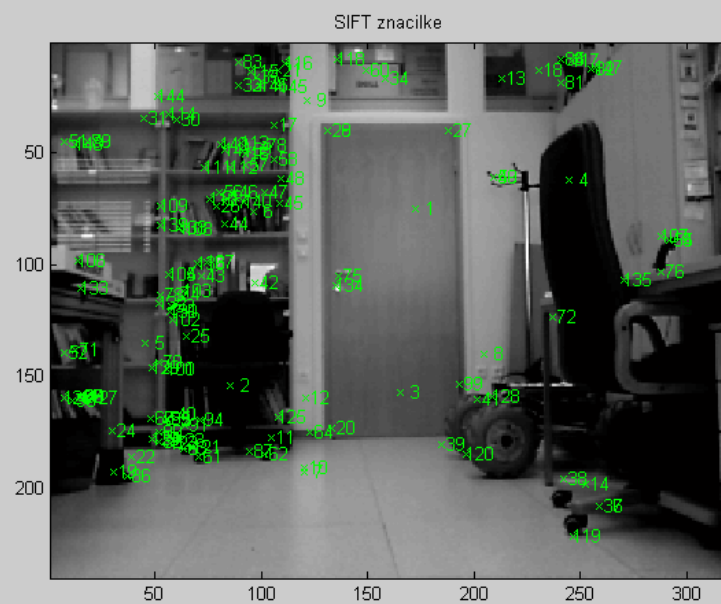
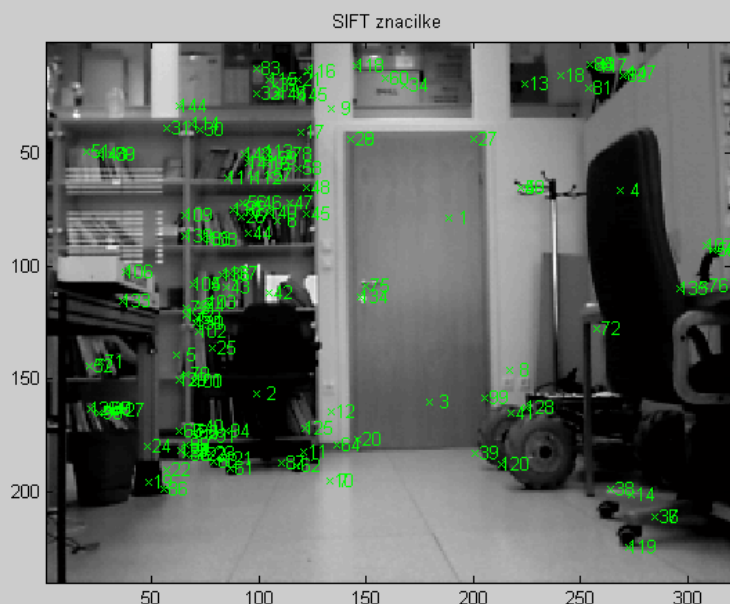
Stereo primerjanje

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



Stereo primerjanje

Najdeni pari značilk



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

$$d = u_L - u_D$$

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

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

$$f = 393 \text{ pikslov}$$

$$T = 0.156 \text{ m}$$

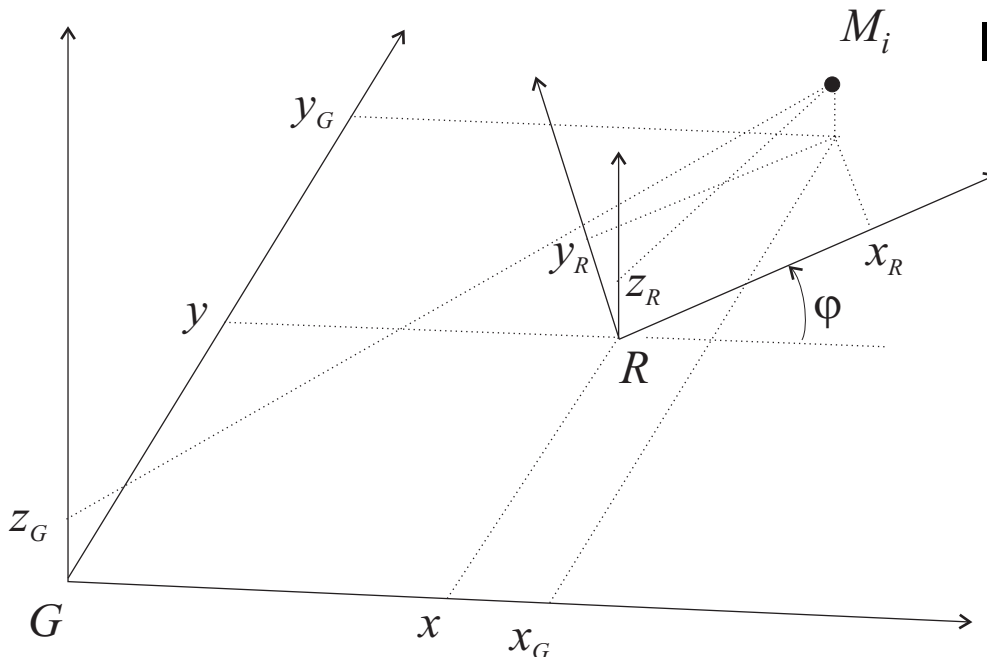
$$u_0 = 143 \text{ pikslov}$$

$$v_0 = 116 \text{ pikslov}$$

Uporaba stereo vida

Za namen:

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



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 , φ

Avtonomni mobilni robot



Laserska triangulacija

- Aktivna laserska triangulacija**

