

Machine Vision Lab  
Univerza v Ljubljani  
VICOS  
sualognitive  
systemslab

## Računalniški vid in njegova aplikacija

Matej Kristan



Laboratorij za strojni vid  
Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

## Kaj je računalniški vid?

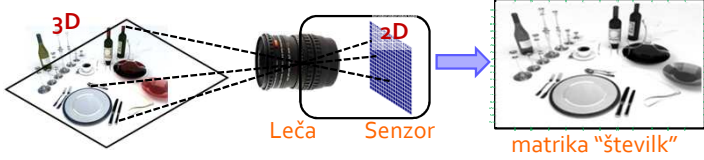
- Stroji, ki "vidijo".
- Tipični koncept računalniškega vida:



- Elementi:
  - Kamera (sistem kamer)
  - Algoritem za obdelavo in analizo slike

## Senzor: Kamera

- Računalniki "vidijo" s kamero
- Primer nastanka slike v kameri:

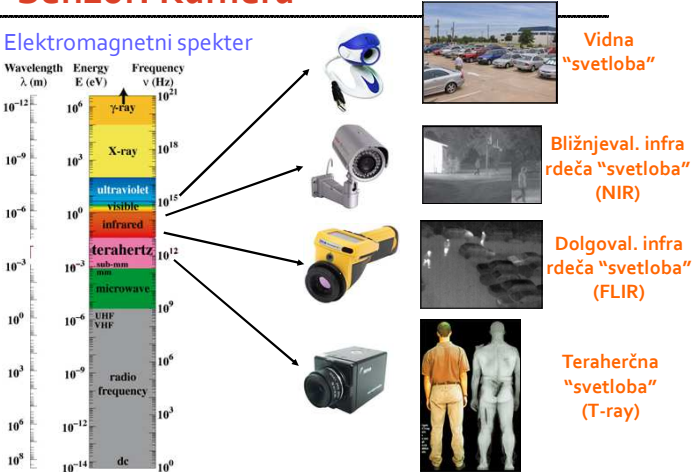


- Različni senzorji (tipala), različni tipi kamer.

## Senzor: Kamera

Elektromagnetni spekter

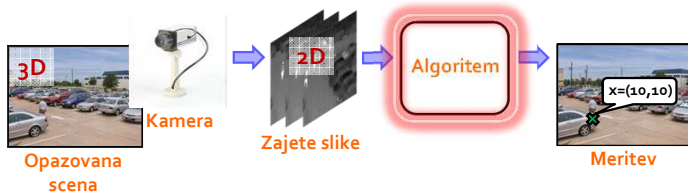
Wavelength $\lambda$ (m)	Energy E (eV)	Frequency $\nu$ (Hz)
$10^{-12}$	$10^6$	$10^{20}$
$10^{-9}$	$10^3$	$10^{18}$
$10^{-6}$	$10^0$	$10^{15}$
$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{12}$
$10^0$	$10^{-6}$	$10^9$
$10^3$	$10^{-9}$	$10^6$
$10^6$	$10^{-12}$	$10^3$
$10^8$	$10^{-14}$	$10^0$



http://userweb.elec.gla.ac.uk/d/dpaul/terahertz.html

## Kaj je računalniški vid?

- Stroji, ki "vidijo".
- Tipični koncept računalniškega vida:



- Elementi:
  1. Kamera (sistem kamer)
  2. Algoritem za obdelavo in analizo slike

## Razvoj računalniškega vida

- Začetki RV v 1950 -1965 kot stranski projekt na MIT:
  - "...building perceiving machines would take about a decade..."
- Prva revija: 1968 *Pattern Recognition* (Pergamon, zdaj Elsevier)
- Razvoj področja skladen z razvojem strojne opreme
- Prvi komercialni večnamenski računalnik UNIVAC (~1951)



Zgodnje digitalne slike



Viola-Jones, 2001

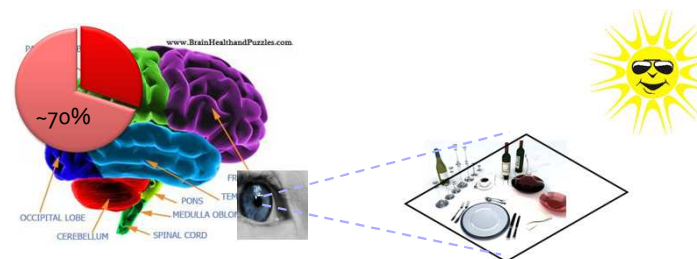


Viola, P. and Jones, M. "Robust Real-time Object Detection", Workshop on Stat. Comp. Theories of Vision, 2001

U.S. National Bureau of Standards: <http://museum.nist.gov/panels/seac/SEACOVER.HTM>

## Človeški vs. Računalniški vid

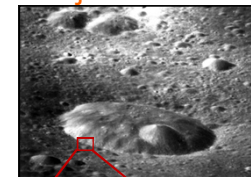
- Problem je precej večji kot izgleda na prvi pogled
- Nevroznanost: >50% možganov namenjene vidu\*
  - \*Prof. Cornelia Fermueller, University of Maryland in College Park



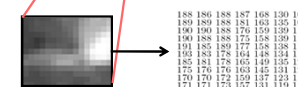
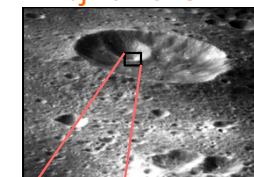
## Človeški vs. Računalniški vid

- Problem je precej večji kot izgleda na prvi pogled
- Nevroznanost: >50% možganov namenjene vidu\*
- Ljudje uporabljamo ogromno predznanja za analizo slik

Kaj vidimo v sliki?



Kaj vidimo v sliki?



```

188 186 188 187 168 130 101
189 189 188 181 165 105 109
190 190 188 176 159 139 112
190 188 188 172 158 139 114
191 185 180 177 158 138 110
195 185 178 164 148 134 118
185 181 178 165 149 132 121
175 178 178 163 145 131 120
170 170 172 159 137 123 116
171 171 173 157 131 119 116
    
```

\*Prof. Cornelia Fermueller, University of Maryland in College Park

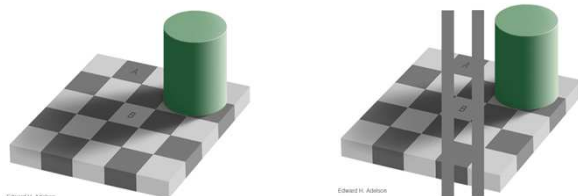
## Človeški vs. Računalniški vid

- Ljudje smo **mašine za iskanje vzorcev**



Vir: <http://www.sandeepkejriwal.com/illusions.htm>

- Namen vida ni "merjenje" svetlosti **ampak** njena **interpretacija**



Vir: Edward H. Adelson, <http://web.mit.edu/persci/people/adelson/>

## Trenutno stanje področja

- **Geometrija kamer** in fizika nastanka slike
- **Sistemi RV** močno **temeljijo na predpostavkah**
  - Problem so pogoji, ki jih načrtovalec ni predvidel
  - Problem je spremenljivost pogojev



## Trenutno stanje področja

- **Geometrija kamer** in fizika nastanka slike
- **Sistemi RV** močno **temeljijo na predpostavkah**
  - Problem so pogoji, ki jih načrtovalec ni predvidel
  - Problem je spremenljivost pogojev
- Aplikacija razširjena v **kontroliranih pogojih** v industriji
- Sistemi "razpoznavajo" samo **naučene objekte**
- Vprašanje **sistemov, ki bi se sami učili**, in zares razpoznavali **kategorije** objektov: **Spoznavni vid** ?



## Izbrane aplikacije računalniškega vida



## Aplikacije računalniškega vida

- **Industrijska kontrola kvalitete izdelkov**
- Robotika
  - Avtonomna navigacija
- Video nadzorni sistemi
  - Kontrola dostopa
  - Analiza človeškega gibanja
  - Ambientalna inteligenca
- Razširjena resničnost
- Avtomatska izgradnja 3D objektov
- Vizualno poizvedovanje po bazah podatkov

## Vizualna kontrola izdelkov

Tipična postavitev



Defekti v sončnih celicah



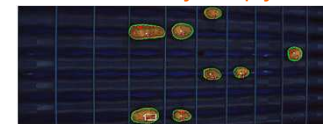
<http://www.cognex.com>

Pametne kamere



<http://www.matrox.com>

Avtomatsko sortiranje krompirja



<http://www.scs-vision.ch>

## Aplikacije računalniškega vida

- Industrijska kontrola kvalitete izdelkov
- **Robotika**
  - **Avtonomna navigacija**
- Video nadzorni sistemi
  - Kontrola dostopa
  - Analiza človeškega gibanja
  - Ambientalna inteligenca
- Razširjena resničnost
- Avtomatska izgradnja 3D objektov
- Vizualno poizvedovanje po bazah podatkov

## Avtonomna navigacija (1/2)

- Primer **polavtonomne navigacije**
- **Detekcija peščev** v vozilih
- **Več kamer** + ostali **senzorji**



<http://www.mobileye.com>



Youtube: "Disguised Volvo S60 in Copenhagen"

## Avtonomna navigacija (1/2)

- Kako delujejo takega tipa detektorji?

iskanje s predlogo



- Različni modeli zapisa objekta
- SIFT, HOG, Covariance, etc...

[SIFT] Lowe, D. G., "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints", International Journal of Computer Vision, 60, 2, pp. 91-110, 2004  
 [HOG] N. Dalal, B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection", CVPR, 2005.

W.R. Schwartz et al., "Human Detection using Partial Least Squares Analysis", ICCV 2009

## Avtonomna navigacija (2/2)

senzorji za, temperaturo, vlago, veter + kamera

WiFi  
GSM  
UMTS  
Broadband

komunikacijski vmesnik

Kontrolna postaja.

2 m

9 10 2008

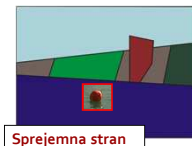
verzija 2

- APSiS: Avtomatsko Plovilo za Meritve, Statistiko in Logistiko
- Tehnološki projekt (FE) z začetkom 2007 (TP MIR-07)
- Partnerji: MVL, Harpha Sea, AMES, IFB, ACORN, XENYA, PINT

## Avtonomna navigacija (2/2)

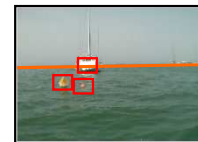
- Primer preverjanja čistosti vode v obobalnem pasu.

1. Senzorična pomoč pri avtonomni plovbi.



## Avtonomna navigacija (2/2)

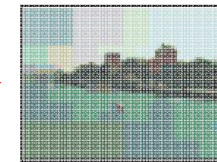
1. Detekcija vode in nevarnih objektov v vodi



2. Zgoščevanje slik s quadtree dekompozicijo



fix bitrate

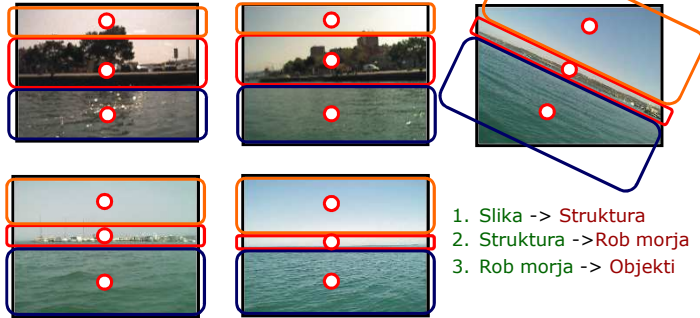


J. Perš, M. Kristan, V. Sulič, S. Kovačič, "Računalniški vid za vodenje avtonomnega plovila", ROSUS 2010



## Avtonomna navigacija (2/2)

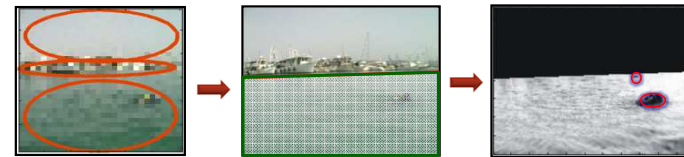
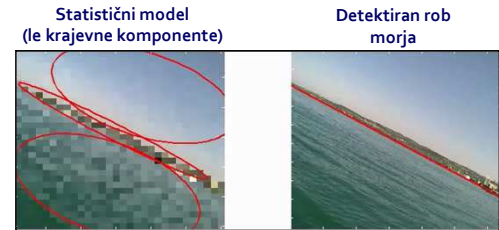
1. Kje so objekti? V vodi. Kje je voda?



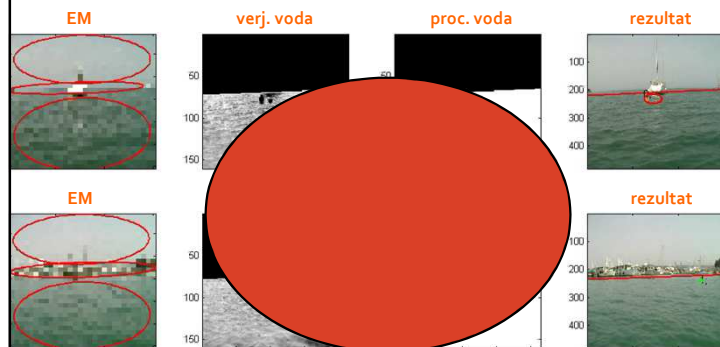
1. Slika -> Struktura
2. Struktura -> Rob morja
3. Rob morja -> Objekti

Struktura slik: *vertikalno urejeni segmenti.*  
*spodnji segment določa rob morja.*

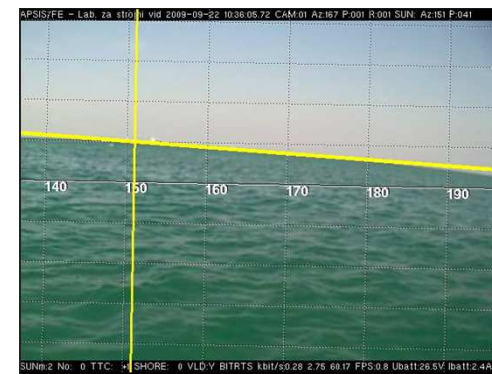
## Avtonomna navigacija (2/2)



## Avtonomna navigacija (2/2)



## Avtonomna navigacija (2/2)



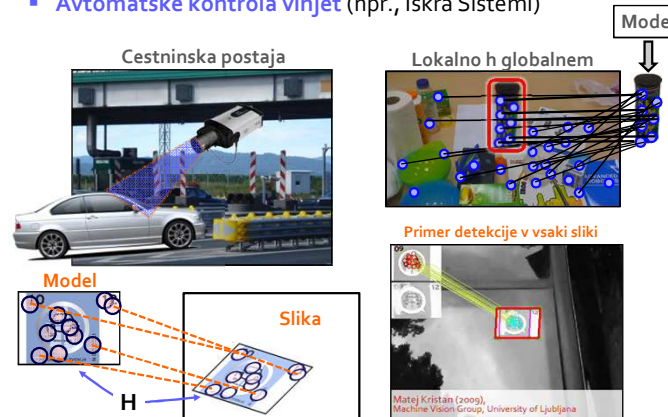
Detekcija roba morja + detekcija ovir + kompresija + kompas

## Aplikacije računalniškega vida

- Industrijska kontrola kvalitete izdelkov
- Robotika
  - Avtonomna navigacija
- Video nadzorni sistemi
  - **Kontrola dostopa**
    - Analiza človeškega gibanja
    - Ambientalna inteligenca
- Razširjena resničnost
- Avtomatska izgradnja 3D objektov
- Vizualno poizvedovanje po bazah podatkov

## Kontrola dostopa (1/2)

- **Avtomske kontrola vinjet** (npr., Iskra Sistemi)



## Kontrola dostopa (2/2)

- **Visoko varovana območja** opremljena s kamerami
- Sistemi za **detekcijo nenavadnega obnašanja**



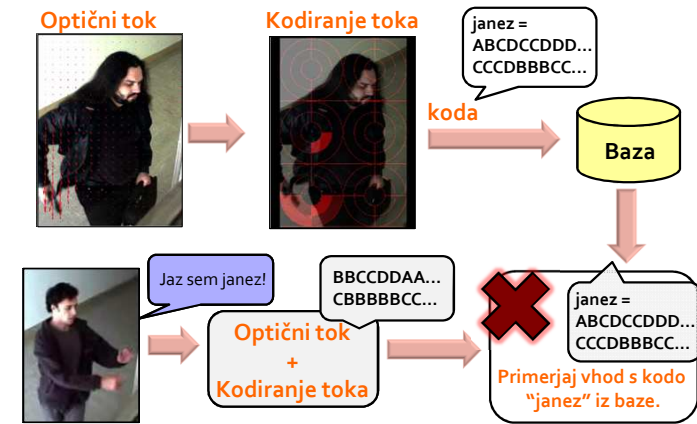
## Kontrola dostopa (2/2)

- **Obnašanje** v omejenem okolju je konsistentno in **lastno posmezniku**.



Janez Perš et. al. "Histograms of Optical Flow for Efficient Representation of Body Motion", PRL, 2010

## Kontrola dostopa (2/2)



Janez Perš et al. "Histograms of Optical Flow for Efficient Representation of Body Motion", PRL, 2010

## Aplikacije računalniškega vida

- Industrijska kontrola kvalitete izdelkov
- Robotika
  - Avtonomna navigacija
- Video nadzorni sistemi
  - Kontrola dostopa
  - **Analiza človeškega gibanja**
  - Ambientalna inteligenca
- Razširjena resničnost
- Avtomatska izgradnja 3D objektov
- Vizualno poizvedovanje po bazah podatkov

## Analiza človeškega gibanja

- Različni nivoji podrobnosti
- Visok nivo podrobnosti: položaji okončin in njihova dinamika
- Nizek nivo podrobnosti: globalno gibanje v sceni



R. Urtaşun et al. "Temporal Motion Models for Monocular and Multiview 3-D Human Body Tracking", CVIU 2006.

Visok nivo

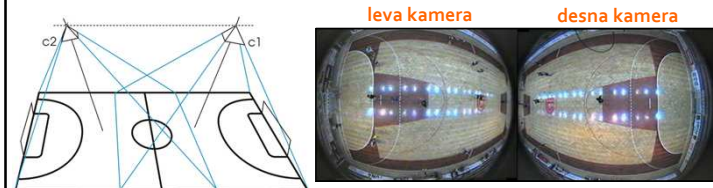


M. Kristan et al. "A Local-motion-based probabilistic model for visual tracking". *Pattern Recognition*, 2009.

Nizek nivo

## Analiza človeškega gibanja

- Avtomatska analiza gibanja v dvoranskih športih:
  - Statistike o pretečenih poteh in pospeških
  - Kaj je razlika med poraženci in zmagovalci?
- MVG Začetek z M. Bon, G. Vučkovič (1998): prva verzija sledilnika
- Kasneje Inspireworks inc. (2004-2005): druga verzija

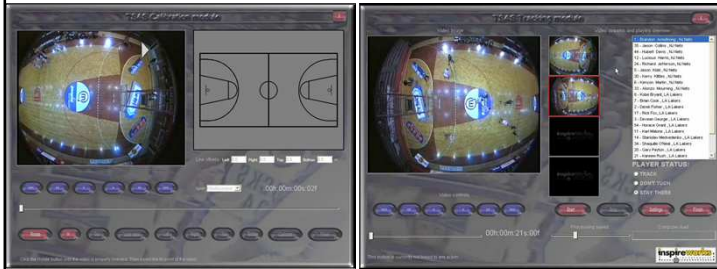


YouTube: Analysis of Human Motion in Sport Games



## Analiza človeškega gibanja

- (1.) Kalibracija, (2.) Sledenje

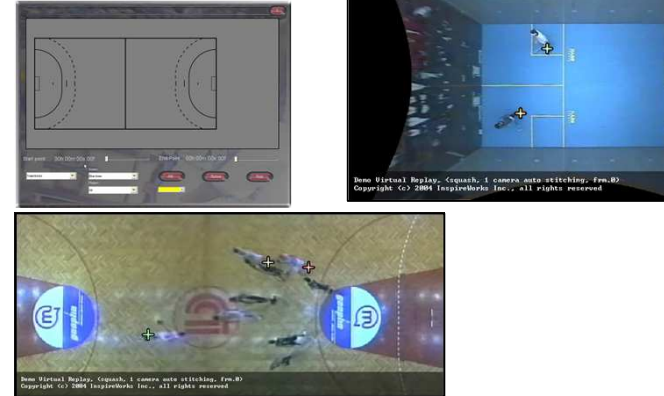


MVL (Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani): <http://vision.fe.uni-lj.si>  
YouTube: "Analysis of Human Motion in Sport Games"

M. Kristan, J. Perš, M. Perše in S. Kovačič: "Closed-world tracking of multiple interacting targets for indoor-sports applications". *Computer Vision and Image Understanding*, 113(5): 598-611, 2009

## Analiza človeškega gibanja

- Trajektorije:



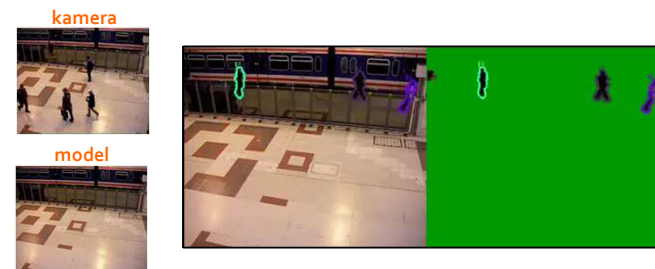
Perše, Kristan, Kovačič, Vučkovič in Perš. "A Trajectory-Based Analysis of Coordinated Team Activity in a Basketball Game". *Computer Vision and Image Understanding*, (113): 612-621, March 2009.

## Aplikacije računalniškega vida

- Industrijska kontrola kvalitete izdelkov
- Robotika
  - Avtonomna navigacija
- Video nadzorni sistemi
  - Kontrola dostopa
  - Analiza človeškega gibanja
    - **Ambientalna inteligenca**
- Razširjena resničnost
- Avtomatska izgradnja 3D objektov
- Vizualno poizvedovanje po bazah podatkov

## Ambientalna inteligenca

- BBC 11.3.2010: **UK develops 'intelligent CCTV'**
- **Avtomatska detekcija zapuščene prtljage**
- Sistemi z **več kamerami gledajo isto sceno** z več strani



K. Smith, P. Quelhas, and D. Gatica-Perez, Detecting Abandoned Luggage Items in a Public Space, Performance Evaluation of Tracking and Surveillance (PETS) Workshop at CVPR, New York, NY, June 18 2006

## Aplikacije računalniškega vida

- Industrijska kontrola kvalitete izdelkov
- Robotika
  - Avtonomna navigacija
- Video nadzorni sistemi
  - Kontrola dostopa
  - Analiza človeškega gibanja
  - Ambientalna inteligenca
- **Razširjena resničnost**
- Avtomatska izgradnja 3D objektov
- Vizualno poizvedovanje po bazah podatkov

## Razširjena resničnost (1/2)

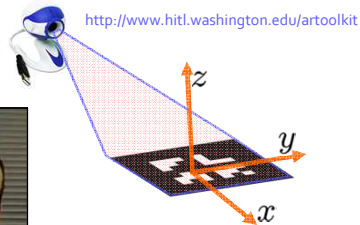
- **Avtomatsko vstavljanje** informacije v video posnetke.
- Relacija med kamero in površino v 3D prostoru.



- Vir: [www.orad.co.il](http://www.orad.co.il)

## Razširjena resničnost (2/2)

- **Razširjena** resničnost



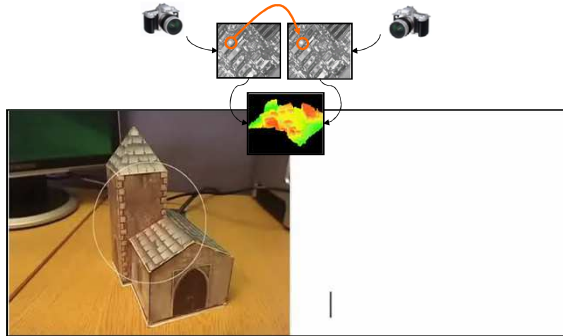
- Vir: <http://www.bmw.com>

## Aplikacije računalniškega vida

- Industrijska kontrola kvalitete izdelkov
- Robotika
  - Avtonomna navigacija
- Video nadzorni sistemi
  - Kontrola dostopa
  - Analiza človeškega gibanja
  - Ambientalna inteligenca
- Razširjena resničnost
- **Avtomatska izgradnja 3D objektov**
- Vizualno poizvedovanje po bazah podatkov

## Avtomatska izgradnja 3D objektov

- Z večimi pogledi kamere lahko določimo 3D lokacijo točk.



Pan, Q. and Reitmayr, G. and Drummond, T. "ProFORMA: Probabilistic Feature-based On-line Rapid Model Acquisition", BMVC, 2009

## Aplikacije računalniškega vida

- Industrijska kontrola kvalitete izdelkov
- Robotika
  - Avtonomna navigacija
- Video nadzorni sistemi
  - Kontrola dostopa
  - Analiza človeškega gibanja
  - Ambientalna inteligenca
- Razširjena resničnost
- Avtomatska izgradnja 3D objektov
- Vizualno poizvedovanje po bazah podatkov

## Vizualno poizvedovanje



VICOS MobVis 2005-2008: EU FET FP6-511051, [www.mobvis.org](http://www.mobvis.org)  
Joanneum Research (A), ViCOS (SLO), KTH (SV), TU Darmstadt (D), Tele Atlas N.V.(NL)

## Več o računalniškem vidu...

- Laboratorij za Strojni Vid (FE):
  - <http://vision.fe.uni-lj.si>
- Laboratorij za Vizualne Spoznavne Sisteme (FRI):
  - <http://vicos.fri.uni-lj.si>
- The Computer Vision Industry:
  - <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/vision.html>
- Javne knjižnice za računalniški vid in teorija:
  - CV Online – <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/>
  - OpenCV – odprtokodna knjižnica C++
  - JavaVis – odprtokodna knjižnica Java
  - ImageJ – odprtokodna knjižnica Java (pedagoško)
  - ARToolkit – <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>



## Več o računalniškem vidu...



## Konec.

- Zahvala za material in viri:  
MVL, VICOS, Harpha Sea, Stanislav Kovačič, Aleš Leonardis, Janez Perš, Roland Perko, Dušan Omerčevič, Matej Perše  
<http://www.orad.co.il>  
<http://www.scs-vision.ch>  
<http://www.mobvis.org>  
<http://www.mobileye.com>  
<http://www.cognex.com>  
<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>  
<http://www.matrox.com>  
<http://www.bmw.com>  
<http://www.sandeepkejriwal.com/illusions.htm>  
<http://web.mit.edu/persci/people/adelson/>