



Itasdi

Innovative Teaching Approaches in development of
Software Designed Instrumentation and its application in
real-time systems

Theory of Robotics Systems

Development of AMR, the concept of
work and its application

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union





Innovative Teaching Approaches in development of Software Designed Instrumentation and its application in real-time systems

Faculty of Technical
Sciences



Ss. Cyril and Methodius
University
Faculty of Electrical Engineering
and Information Technologies



Zagreb University of
Applied Sciences



School of Electrical
Engineering
University of Belgrade



Faculty of Physics
Warsaw University of Technology



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Teorija robotskih sistema

(13E054TRS)

Deo 1:

Razvoj AMR, koncept rada i primene

Nastavnik: **doc. Kosta Jovanović**

e-mail: **kostaj@etf.rs**

Termini u mobilnoj robotici

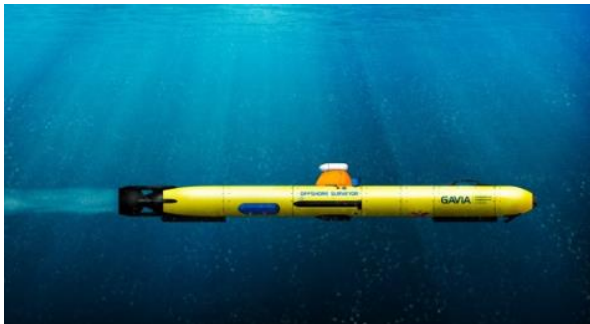
AMR

AGV

UGV

UAV

UUV



Termini u mobilnoj robotici

AMR - Autonomous Mobile Robots

promenljivo okruženje, bez navođenja, „inteligentni“

AGV - Autonomous Guided Vehicle

delimično poznato okruženje, navođenje pomoću uređaja – mehanički, električni, magnetno

UGV - Unmanned Ground Vehicle

sistemi bez posade koji se kreću po zemlji, autonomni ili daljinski upravljane

UAV - Unmanned Aerial Vehicle (dron)

sistemi bez posade koji se kreću kroz vazduh

UUV - Unmanned Underwater Vehicle

sistemi bez posade koji se kreću kroz vodu, podela na autonomne (AUV) i daljinski upravljane (ROV)



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpeda

Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpedo

- Nikola Tesla, 1898

Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpeda

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpeda

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpeda

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

Pionir mobilne robotike

Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpedo

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

Pionir mobilne robotike – Grey Walter (UK, University of Bristol)

- Elmer i Elsie (ELECTRO MECHANICAL Robots, Light Sensitive) – „Adam i Eva“ mobilne robotike

1950



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpedo

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

Pionir mobilne robotike – Grey Walter (UK, University of Bristol)

- Elmer i Elsie (ELECTRO MECHANICAL Robots, Light Sensitive) – „Adam i Eva“ mobilne robotike

Prvi „inteligentni“ mobilni robot

1950



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpedo

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

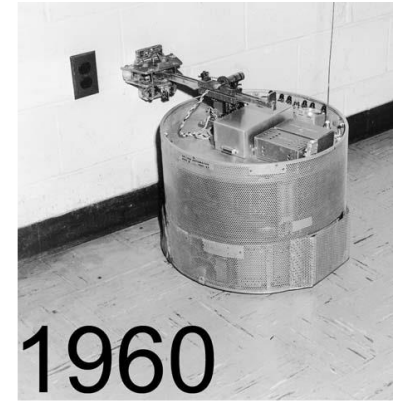
Pionir mobilne robotike – Grey Walter (UK, University of Bristol)

- Elmer i Elsie (ELECTRO MEchanical Robots, Light Sensitive) – „Adam i Eva“ mobilne robotike

Prvi „inteligentni“ mobilni robot

- Johns Hopkins Beast, 1960, mobilni robot koji je pomoću sonara (zvuka) detektovao prepreke i punio se na utičnicu (MOD I i MOD II)

1950



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpedo

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

Pionir mobilne robotike – Grey Walter (UK, University of Bristol)

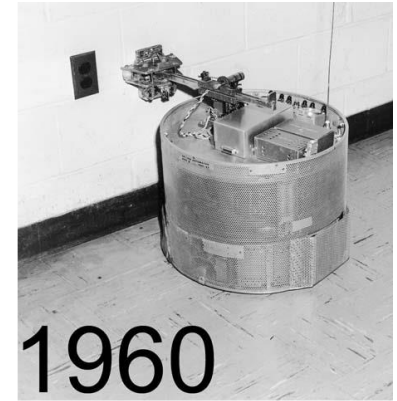
- Elmer i Elsie (ELECTRO MEchanical Robots, Light Sensitive) – „Adam i Eva“ mobilne robotike

Prvi „inteligentni“ mobilni robot

- Johns Hopkins Beast, 1960, mobilni robot koji je pomoću sonara (zvuka) detektovao prepreke i punio se na utičnicu (MOD I i MOD II)

Prvi *line-follower*

1950



1960

Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpeda

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

Pionir mobilne robotike – Grey Walter (UK, University of Bristol)

- Elmer i Elsie (ELECTRO MECHANICAL Robots, Light Sensitive) – „Adam i Eva“ mobilne robotike

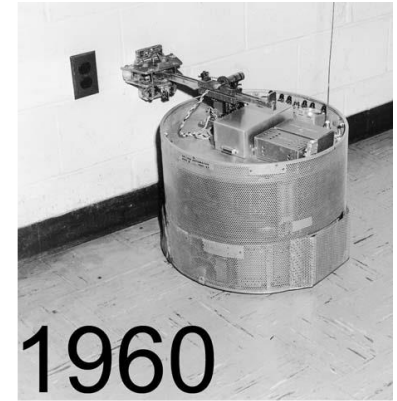
Prvi „inteligentni“ mobilni robot

- Johns Hopkins Beast, 1960, mobilni robot koji je pomoću sonara (zvuka) detektovao prepreke i punio se na utičnicu (MOD I i MOD II)

Prvi *line-follower*

- The Stanford Cart, 1966, praćenje linije pomoću kamere
- Shakey the robot, 1970, upotreba kompjuterske vizije, prepoznavanje objekata, navigacija (A* algoritam, metod vidljivosti grafa-*visibility graph*, Hafova transformacija-*Hough transform*)

1950



1960



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpeda

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

Pionir mobilne robotike – Grey Walter (UK, University of Bristol)

- Elmer i Elsie (ELECTRO MECHANICAL Robots, Light Sensitive) – „Adam i Eva“ mobilne robotike

Prvi „inteligentni“ mobilni robot

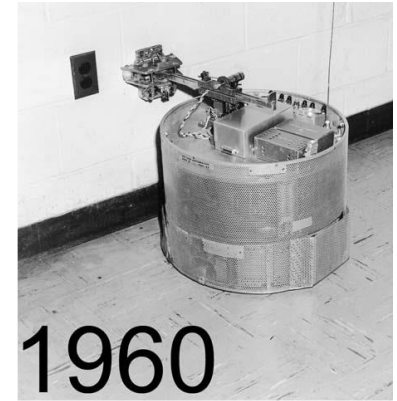
- Johns Hopkins Beast, 1960, mobilni robot koji je pomoću sonara (zvuka) detektovao prepreke i punio se na utičnicu (MOD I i MOD II)

Prvi *line-follower*

- The Stanford Cart, 1966, praćenje linije pomoću kamere
- Shakey the robot, 1970, upotreba kompjuterske vizije, prepoznavanje objekata, navigacija

Prvi ROVER na Mesecu

1950



1960



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpeda

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

Pionir mobilne robotike – Grey Walter (UK, University of Bristol)

- Elmer i Elsie (ELECTRO MECHANICAL Robots, Light Sensitive) – „Adam i Eva“ mobilne robotike

Prvi „inteligentni“ mobilni robot

- Johns Hopkins Beast, 1960, mobilni robot koji je pomoću sonara (zvuka) detektovao prepreke i punio se na utičnicu (MOD I i MOD II)

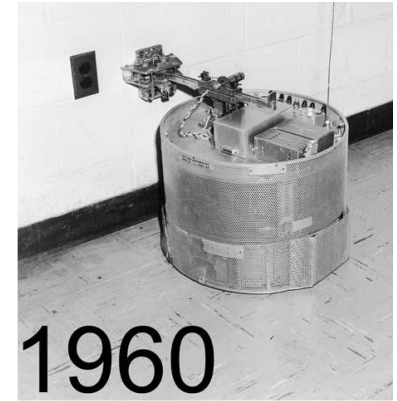
Prvi *line-follower*

- The Stanford Cart, 1966, praćenje linije pomoću kamere
- Shakey the robot, 1970, upotreba kompjuterske vizije, prepoznavanje objekata, navigacija

Prvi ROVER na Mesecu / Marsu

- Lunohod 1, 1970, SSSR (prvi autonomni satelit – Sputnik 1, 1957)

1950



1960



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpedo

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

Pionir mobilne robotike – Grey Walter (UK, University of Bristol)

- Elmer i Elsie (ELECTRO MEchanical Robots, Light Sensitive) – „Adam i Eva“ mobilne robotike

Prvi „inteligentni“ mobilni robot

- Johns Hopkins Beast, 1960, mobilni robot koji je pomoću sonara (zvuka) detektovao prepreke i punio se na utičnicu (MOD I i MOD II)

Prvi *line-follower*

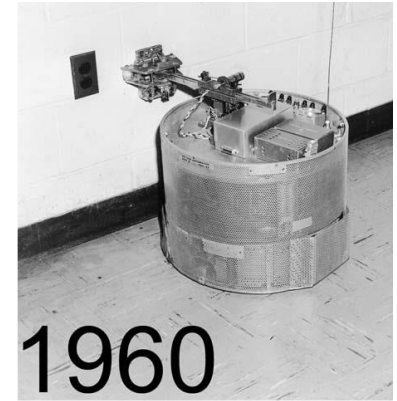
- The Stanford Cart, 1966, praćenje linije pomoću kamere
- Shakey the robot, 1970, upotreba kompjuterske vizije, prepoznavanje objekata, navigacija

Prvi ROVER na Mesecu / Marsu

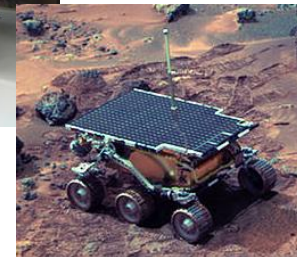
- Lunohod 1, 1970, SSSR (prvi autonomni satelit – Sputnik 1, 1957)
- Sojourner, 1997, NASA – Pathfinder mission

Prvi samovozeći automobil

1950



1960



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi daljinski upravljani torpeda

- Nikola Tesla, 1898

Prve navođene rakete

- Drugi svetski rat, 1939-1945

Pionir mobilne robotike – Grey Walter (UK, University of Bristol)

- Elmer i Elsie (ELECTRO MEchanical Robots, Light Sensitive) – „Adam i Eva“ mobilne robotike

Prvi „inteligentni“ mobilni robot

- Johns Hopkins Beast, 1960, mobilni robot koji je pomoću sonara (zvuka) detektovao prepreke i punio se na utičnicu (MOD I i MOD II)

Prvi line-follower

- The Stanford Cart, 1966, praćenje linije pomoću kamere
- Shakey the robot, 1970, upotreba kompjuterske vizije, prepoznavanje objekata, navigacija

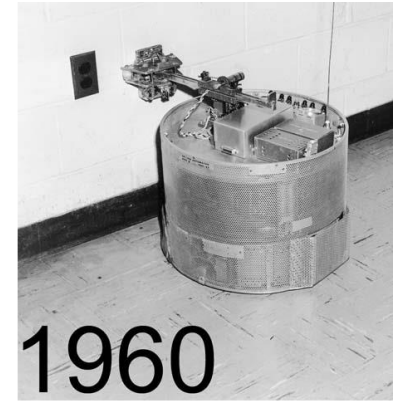
Prvi ROVER na Mesecu / Marsu

- Lunohod 1, 1970, SSSR (prvi autonomni satelit – Sputnik 1, 1957)
- Sojourner, 1997, NASA – Pathfinder mission

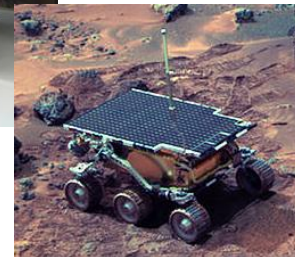
Prvi samovozeći automobil

- Prof. Ernst Dieter Dickmanns - VaMoRs, 1986, prvi visual feedback, 60mph!
- Prvi koji je pratio linije, Japan's Tsukuba Mech. Eng. Lab., 1977, 20 mph

1950



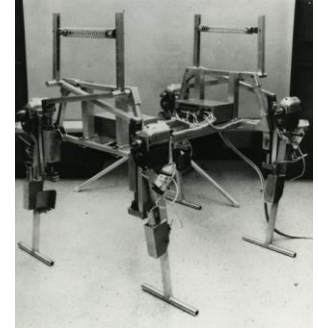
1960



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi četvoronožni sistem

- Mcgee & Frank, „Phony Pony“, 1968, University of South Carolina
(2 DoF noge, koristio mašinu stanja na osnovu senzora, Rajko Tomović)

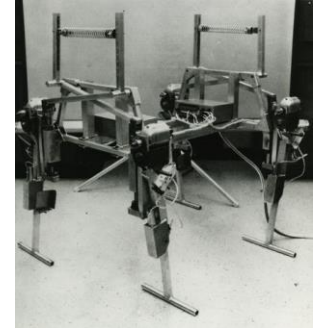


Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi četvoronožni sistem

- Mcgee & Frank, „Phony Pony“, 1968, University of South Carolina

Algoritam za održanje balansa dvonožnih robota



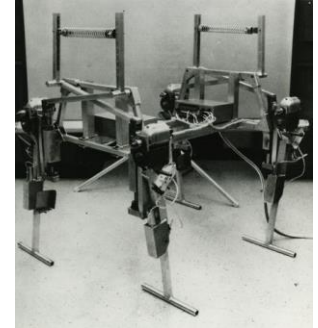
Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi četvoronožni sistem

- Mcgee & Frank, „Phony Pony“, 1968, University of South Carolina

Algoritam za održanje balansa dvonožnih robota

- teorijska osnova ZMP, akademik Miomir Vukobratović, 1968



Istorijski razvoj mobilnih robota

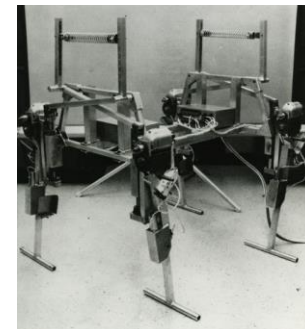
Prvi četvoronožni sistem

- Mcgee & Frank, „Phony Pony“, 1968, University of South Carolina

Algoritam za održanje balansa dvonožnih robota

- teorijska osnova ZMP, akademik Miomir Vukobratović, 1968

Prvi dvonožni hodajući sistem



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi četvoronožni sistem

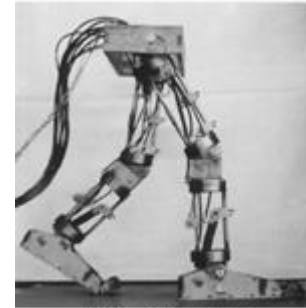
- Mcgee & Frank, „Phony Pony“, 1968, University of South Carolina

Algoritam za održanje balansa dvonožnih robota

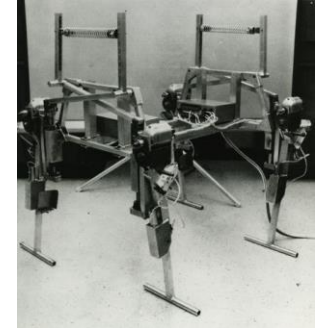
- teorijska osnova ZMP, akademik Miomir Vukobratović, 1968

Prvi dvonožni hodajući sistem

- WL-3, 1969, Prof. Ićiro Kato (sedanje/ustajanje, elek.-hidr.)



WL-3 (1969)



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi četvoronožni sistem

- Mcgee & Frank, „Phony Pony“, 1968, University of South Carolina

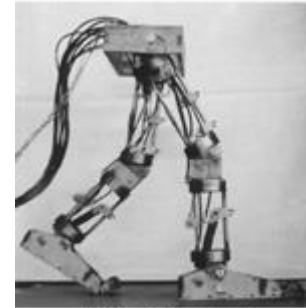
Algoritam za održanje balansa dvonožnih robota

- teorijska osnova ZMP, akademik Miomir Vukobratović, 1968

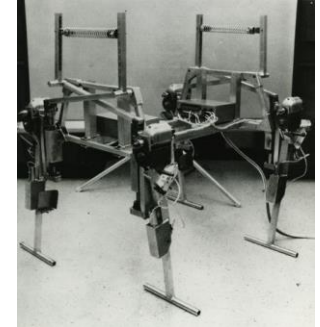
Prvi dvonožni hodajući sistem

- WL-3, 1969, Prof. Ićiro Kato (sedanje/ustajanje, elek.-hidr.)

Prvi dvonožni robot (prvi humanoidni robot)



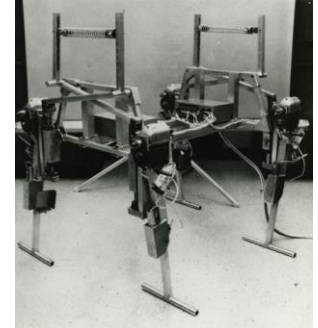
WL-3 (1969)



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi četvoronožni sistem

- Mcgee & Frank, „Phony Pony“, 1968, University of South Carolina

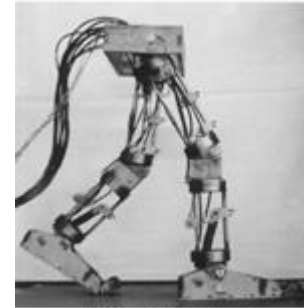


Algoritam za održanje balansa dvonožnih robota

- teorijska osnova ZMP, akademik Miomir Vukobratović, 1968

Prvi dvonožni hodajući sistem

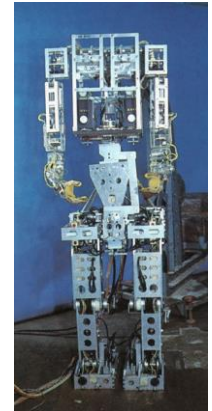
- WL-3, 1969, Prof. Ićiro Kato (sedanje/ustajanje, elek.-hidr.)



WL-3 (1969)

Prvi dvonožni robot (prvi humanoidni robot)

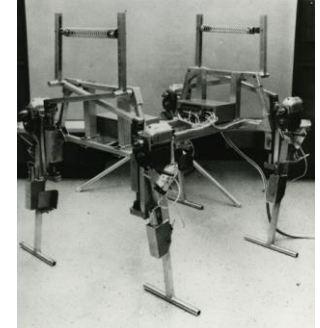
- WABOT-1, 1973, Prof. Ićiro Kato (održanje balansa)



Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi četvoronožni sistem

- Mcgee & Frank, „Phony Pony“, 1968, University of South Carolina

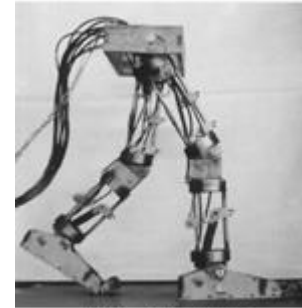


Algoritam za održanje balansa dvonožnih robota

- teorijska osnova ZMP, akademik Miomir Vukobratović, 1968

Prvi dvonožni hodajući sistem

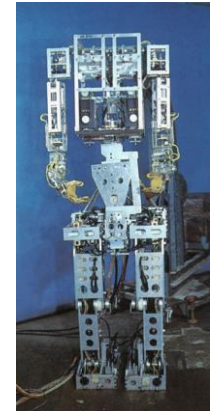
- WL-3, 1969, Prof. Ićiro Kato (sedanje/ustajanje, elek.-hidr.)



WL-3 (1969)

Prvi dvonožni robot (prvi humanoidni robot)

- WABOT-1, 1973, Prof. Ićiro Kato (održanje balansa)



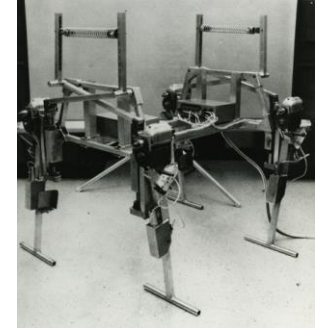
Prvi podvodni robot (hodajući)

- Aquarobot, 1989, Japan praćenje linije pomoću kamere

Istorijski razvoj mobilnih robota

Prvi četvoronožni sistem

- Mcgee & Frank, „Phony Pony“, 1968, University of South Carolina

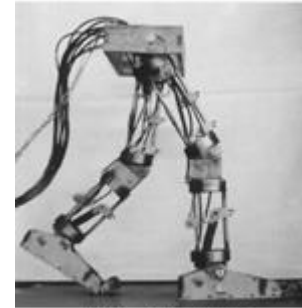


Algoritam za održanje balansa dvonožnih robota

- teorijska osnova ZMP, akademik Miomir Vukobratović, 1968

Prvi dvonožni hodajući sistem

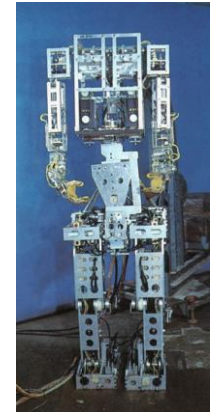
- WL-3, 1969, Prof. Ićiro Kato (sedanje/ustajanje, elek.-hidr.)



WL-3 (1969)

Prvi dvonožni robot (prvi humanoidni robot)

- WABOT-1, 1973, Prof. Ićiro Kato (održanje balansa)



Prvi podvodni robot (hodajući)

- Aquarobot, 1989, Japan praćenje linije pomoću kamere

Prvi autonomni mobilni biped – penjanje u stepenice, hodanje

- ASIMO, 2002, HONDA; P-2 1996, P-3 1997.



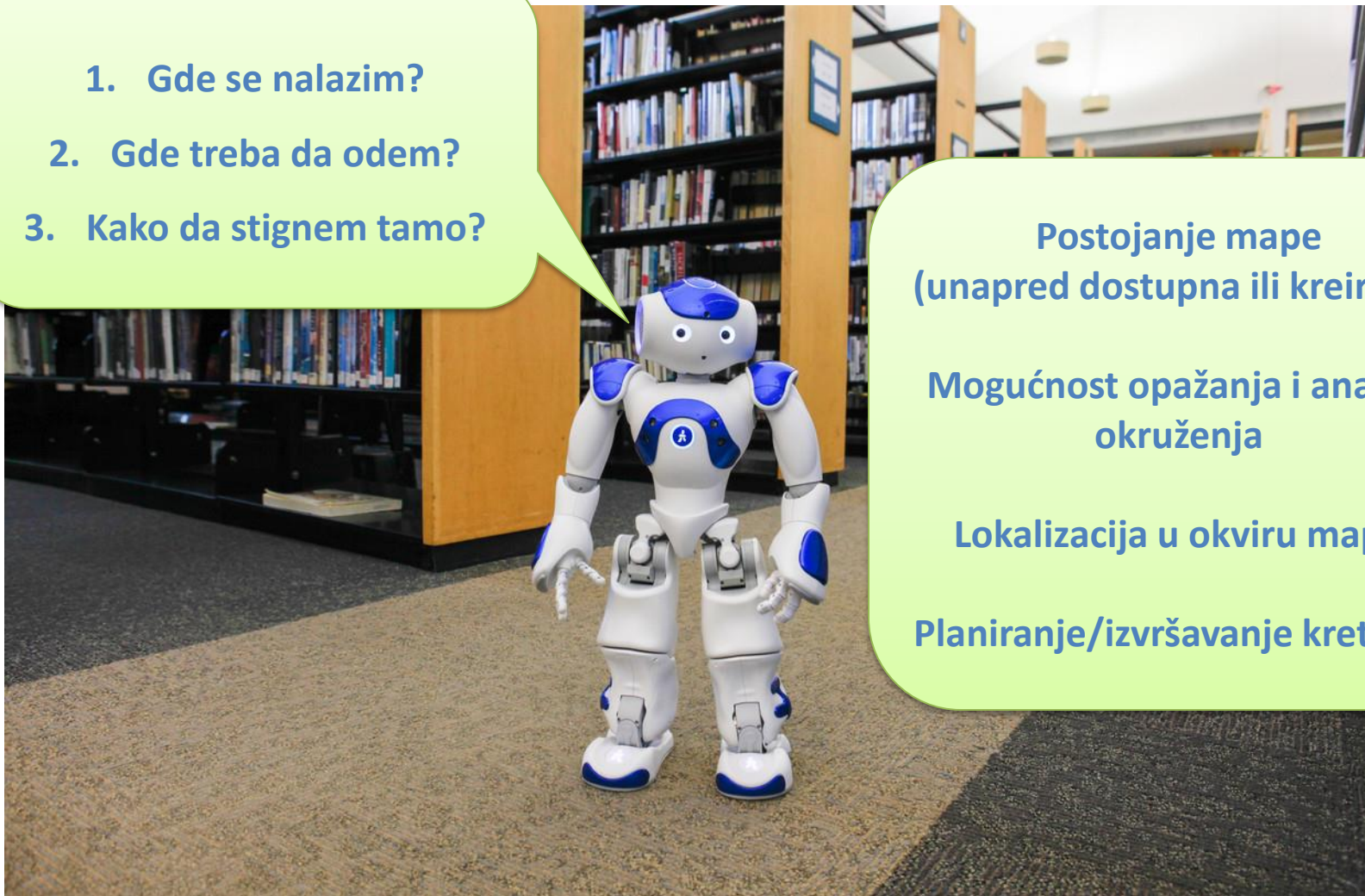
Osnovni ciklus delovanja mobilnih robota

1. Gde se nalazim?
2. Gde treba da odem?
3. Kako da stignem tamo?



Osnovni ciklus delovanja mobilnih robota

1. Gde se nalazim?
2. Gde treba da odem?
3. Kako da stignem tamo?



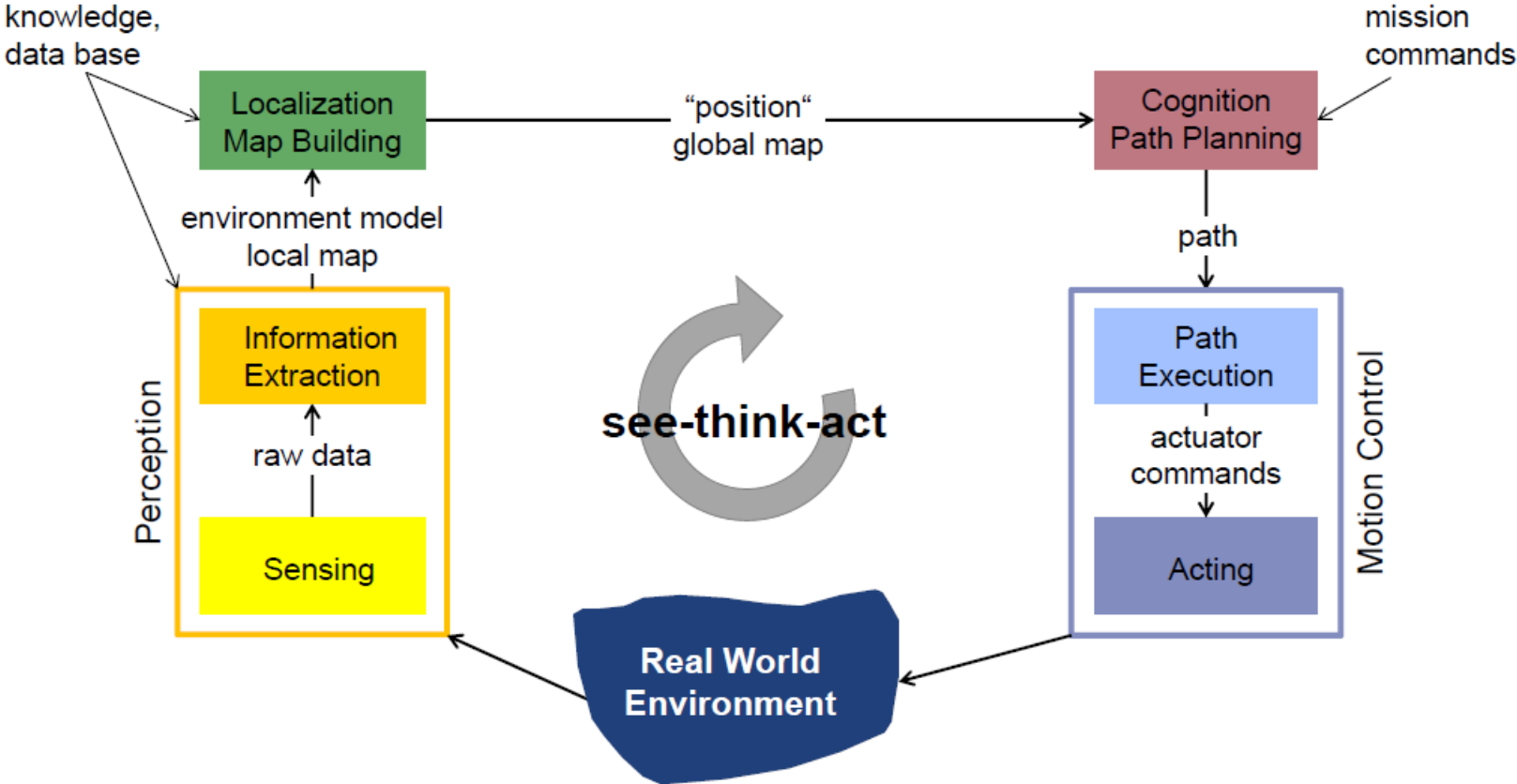
Postojanje mape
(unapred dostupna ili kreirana)

Mogućnost opažanja i analize
okruženja

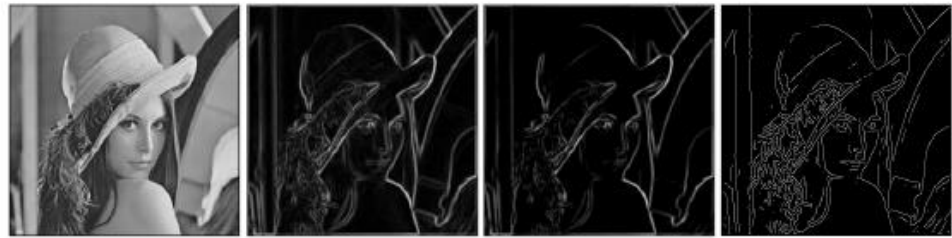
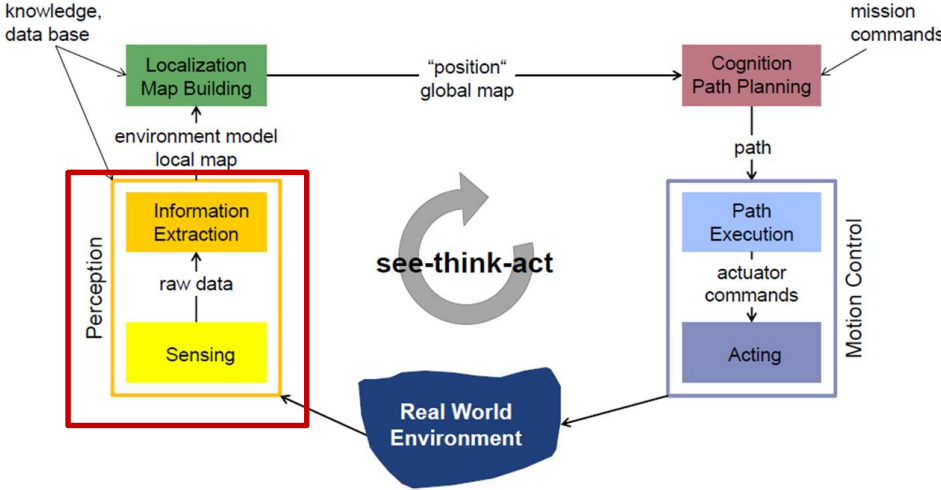
Lokalizacija u okviru mape

Planiranje/izvršavanje kretanja

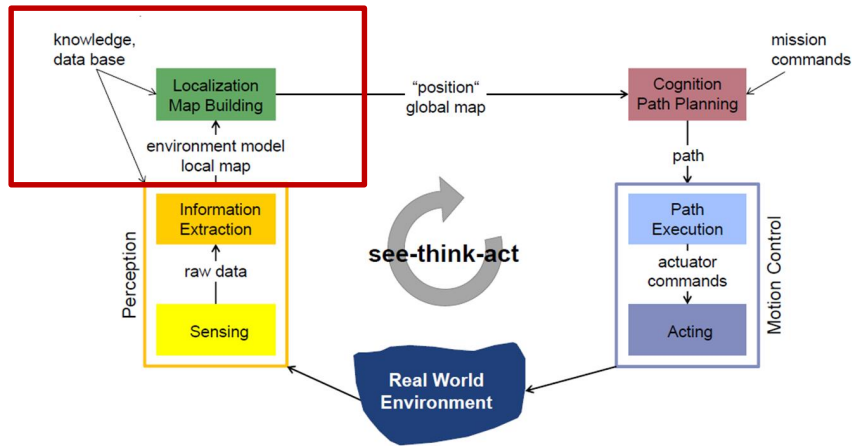
Osnovni ciklus delovanja mobilnih robota



Osnovni ciklus delovanja mobilnih robota



Osnovni ciklus delovanja mobilnih robota

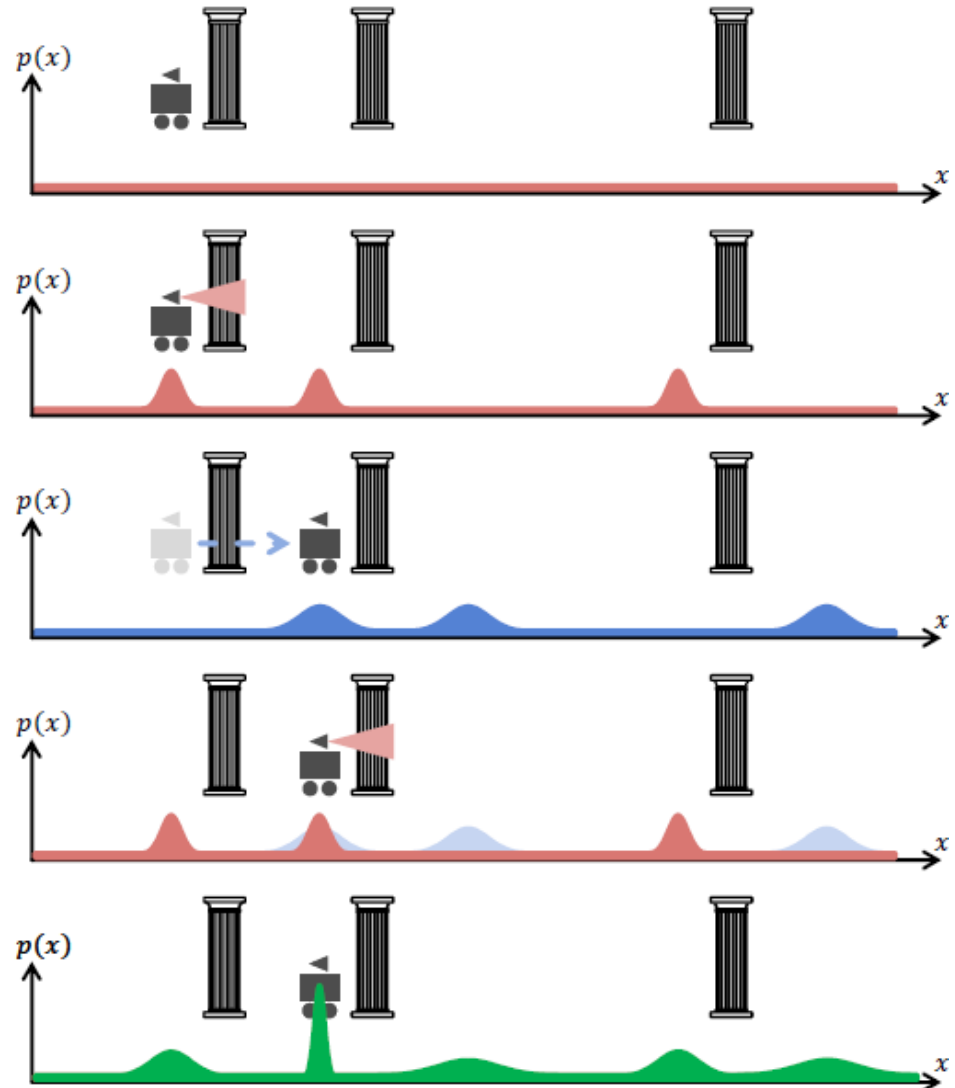


OPAŽANJE: robot pomoću senzora pokušava da pronadje pozicije ispred stuba

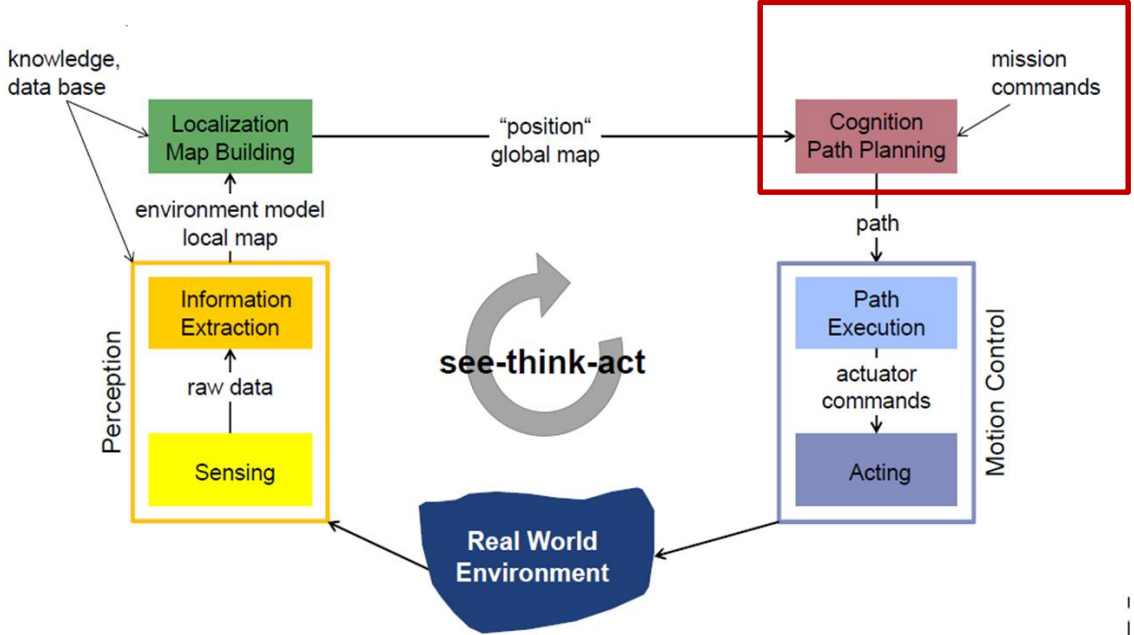
REAKCIJA: robot se pomera u sledeću poziciju
procena kretanja pomoću enkodera na
točkovima; akumuliranje greške

OPAŽANJE: robot ponovo pomoću senzora pokušava da pronadje pozicije ispred stuba

Fuzija informacija i osvežavanje mape

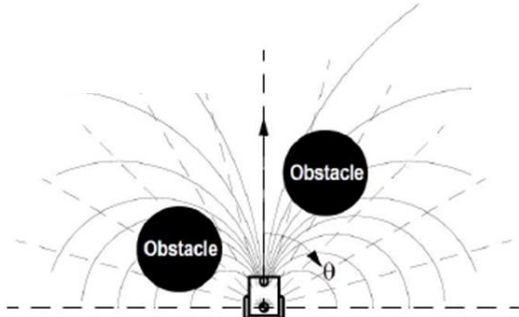
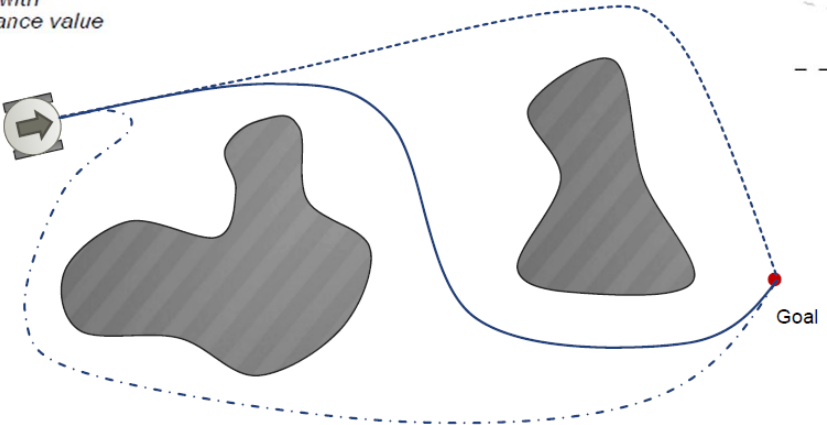


Osnovni ciklus delovanja mobilnih robota

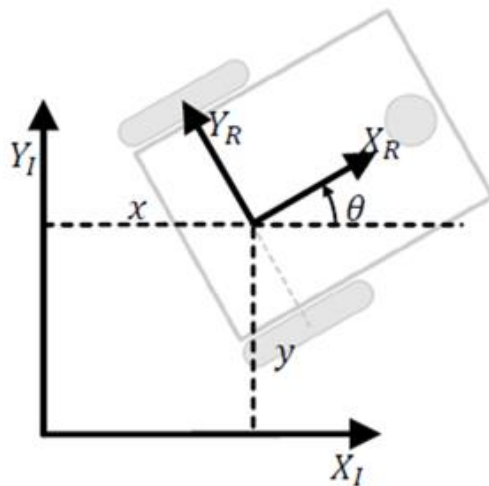
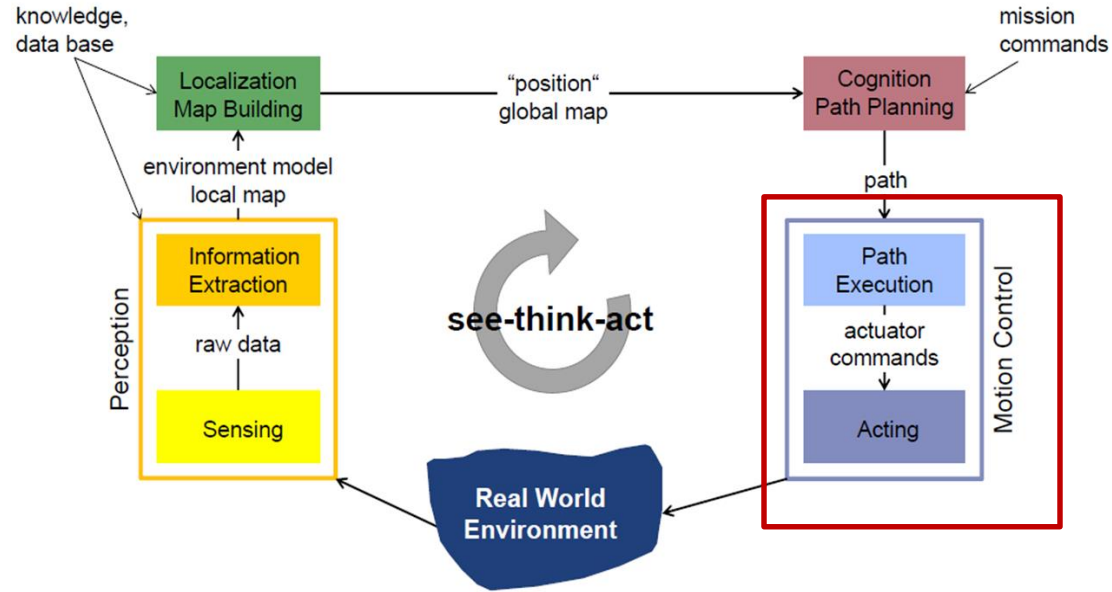


10	9	8	7	6	5
11	10		6	5	4
			4	3	2
1	2		3	4	5
G	0	1	2	3	4

- obstacle cell
- 12 cell with distance value



Osnovni ciklus delovanja mobilnih robota



$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = f(\dot{\phi}_1 \dots \dot{\phi}_n, \theta, \text{geometry})$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \vdots \\ \dot{\phi}_n \end{bmatrix} = f(x, y, \theta) \quad ?$$

Osnovni ciklus delovanja mobilnih robota

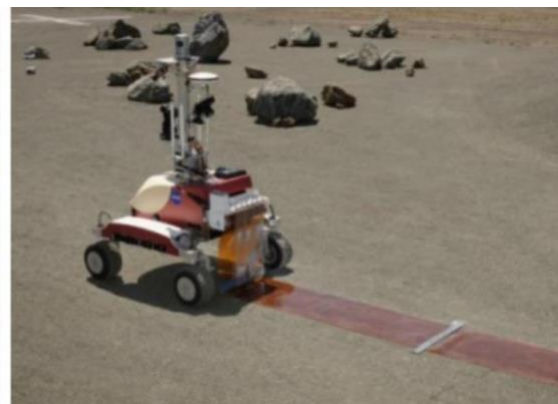
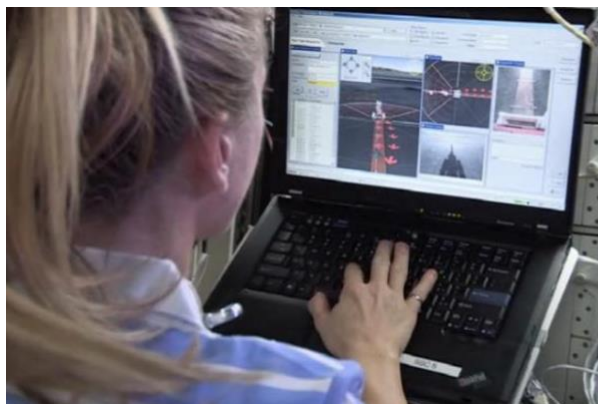
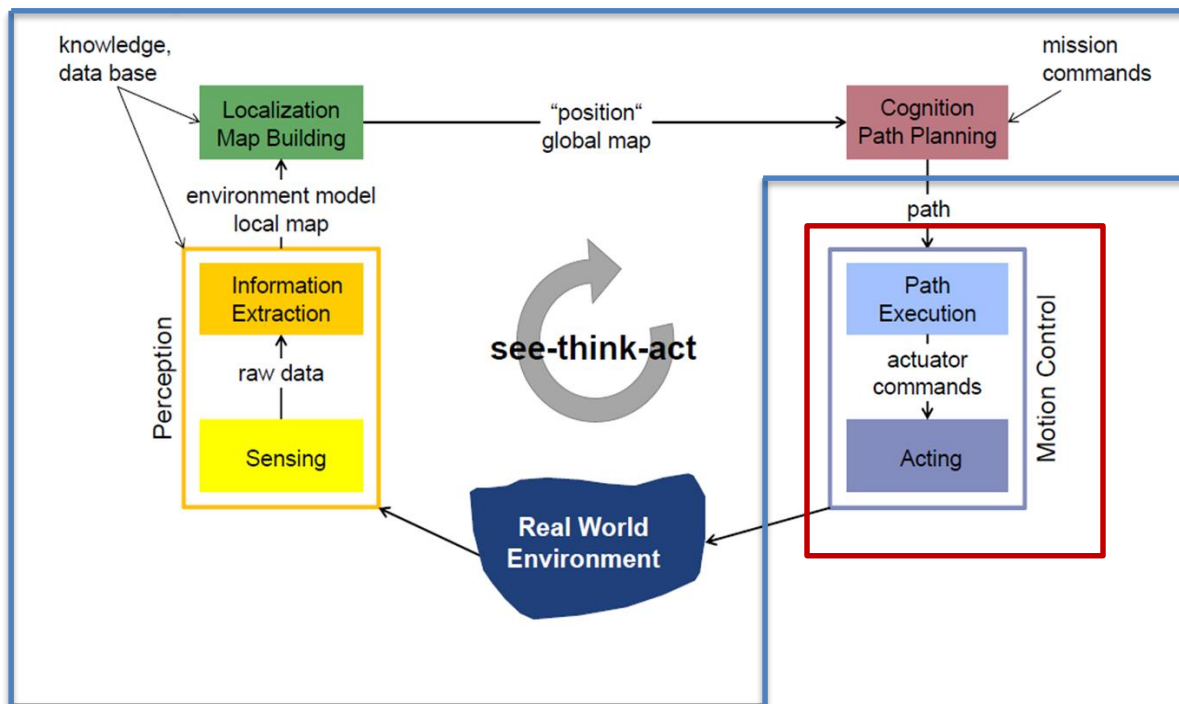
Teledirigovani roboti (ROVER-i)

Čovek:

- opažanje
- kognitivne f-je

Robot:

- upravljanje kretanjem



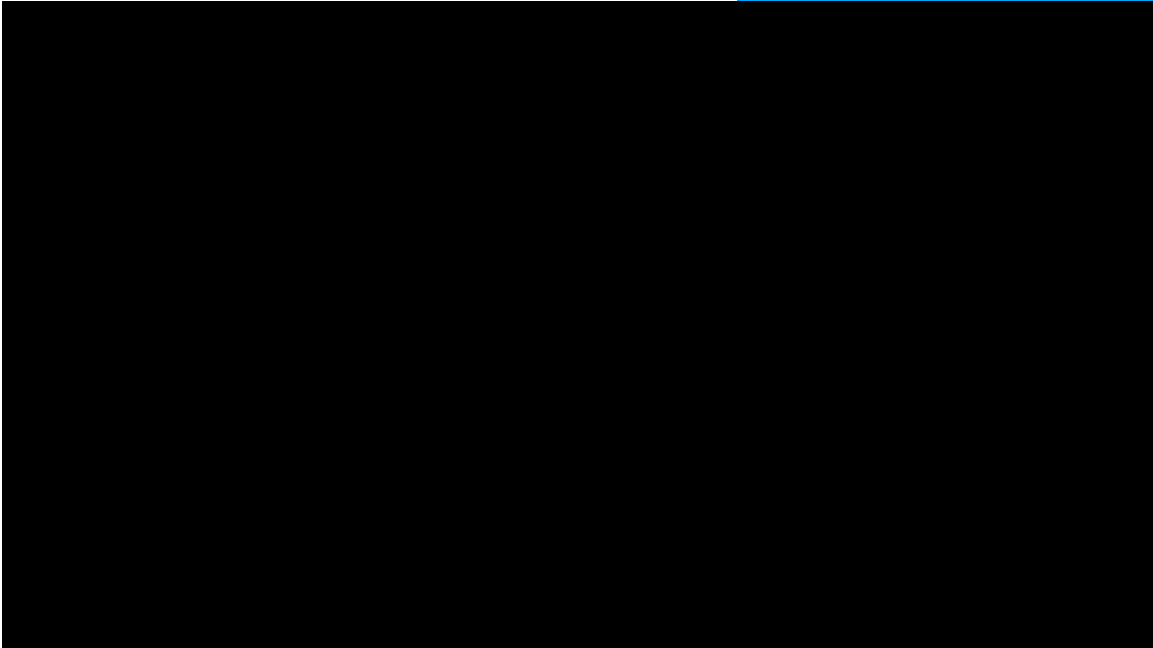
Primena mobilnih robota

Logistika u
bolnicama



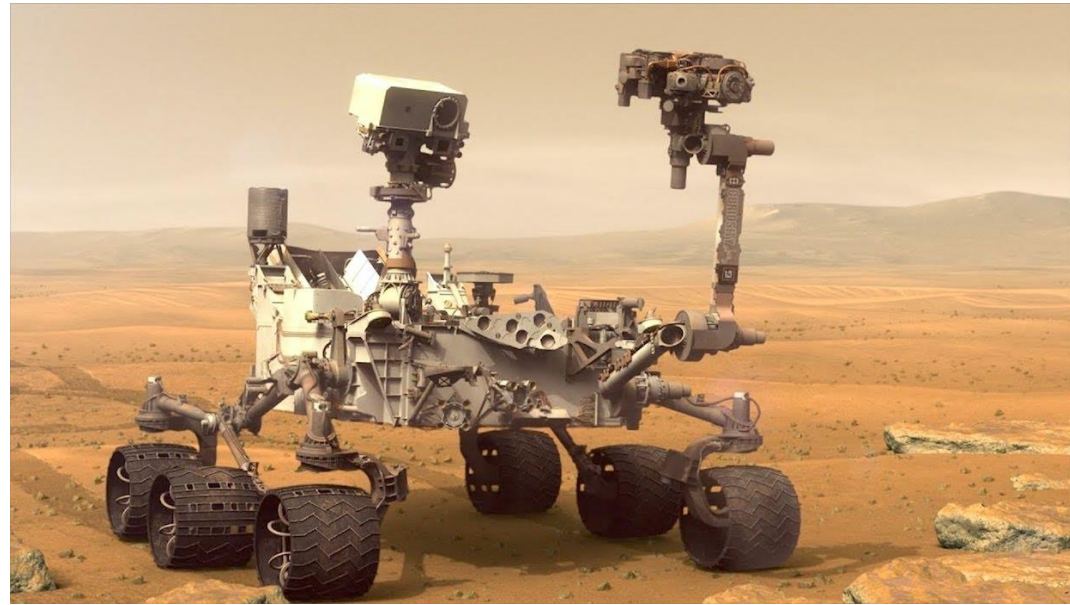
Moxi
Dilligent Robotics, 2018

Riba
Riken, 2009



Primena mobilnih robota

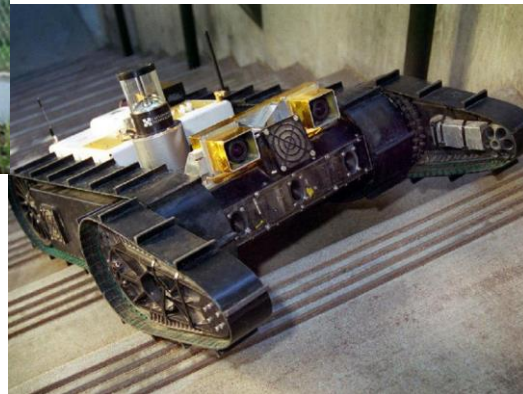
Istraživanje
površine
nepristupačnih
predela



Curiosity
Mars, 2015



Roveri
Fukushima, 2011



Primena mobilnih robota

Kućni poslovi



Kuri

interakcija, nadgledanje, naracija, muzika



Roomba
robot usisivač

Primena mobilnih robota

Skladišta

Kiva Vs Quicktron
skladišta Amazon i Alibaba



New Video Everyday



Ocado supermarketi

Primena mobilnih robota

Inspekcija

Inspekcija cevi



Inspekcija infrastrukture



Inspekcija morskih/rečnih dna



Primena mobilnih robota

Druge usluge

Dron
ekspresna dostava



Dron
snimatelj

Dron
fatrogasac

