

# Lekcija 1: *Osnove mehatronike*

Doc.dr.sc. Jasmin Velagić  
Elektrotehnički fakultet Sarajevo

Kolegij: Mehatronika

2007/2008



**Da li su svi upoznati sa mehatroničkom  
tehnologijom?**



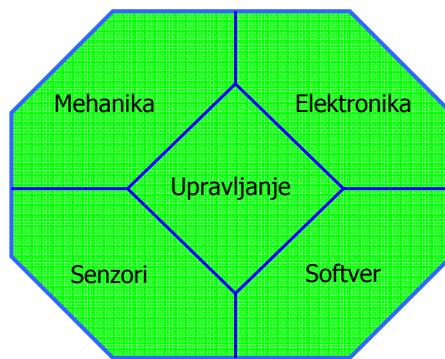
2/47



3/47

## 1.1. Definicija mehatronike

Mehatronika je sinergijska kombinacija mehaničkog i električkog inženjeringu, računarskih znanosti i informacijskih tehnologija, koja koristi sisteme upravljanja i numeričke metode za dizajn proizvoda i procesa, ugrađujući u njih inteligenciju (Davdas Shetty, Richard A. Kolk).



4/47

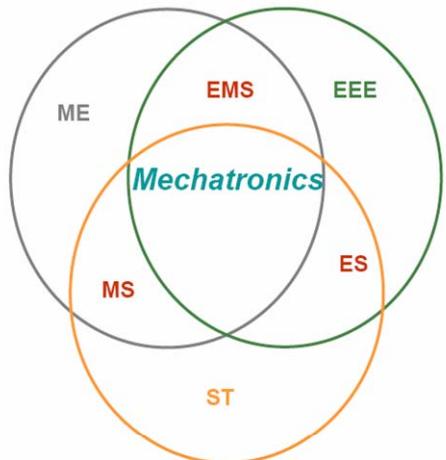
## Definicija mehatronike

- Mehatronika je metodologija koja se koristi za optimalni dizajn elektromehaničkih proizvoda (Davdas Shetty, Richard A. Kolk).
- Izraz mehatronika se koristi za označavanje brzog razvoja, interdisciplinarnog polja inženjeringu koji se bavi dizajnom proizvoda čije funkcije se oslanjaju na sinergijskoj integraciji mehaničkih, električkih i elektroničkih komponenti (H.B. Histand, D.G. Alciatore).
- Mehatronika implicira sinergijsku integraciju mehaničkih i električkih principa u konjukciji sa računarskom tehnologijom za inteligenčno upravljanje strojevima, procesima i mehanizmima (C. Fraser, J. Milne).
- Mehatronika je proces ugradnje inteligencije u fizičke sisteme.

## Definicija mehatronike



5/47

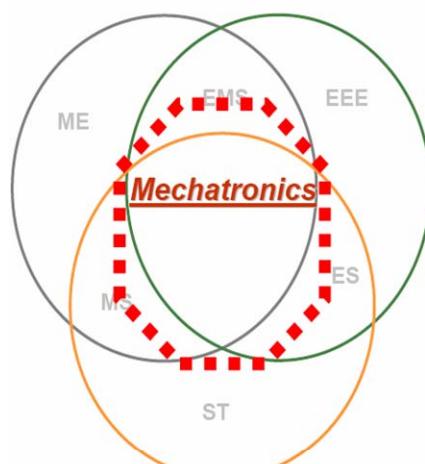


- ME  
Mechanical Engineering
- EEE  
Electrical/Electronical Engineering
- EMS**  
Electro-Mechanical Systems
- ES  
Electronic Software
- MS  
Mechanical Engineering Software

## Definicija mehatronike



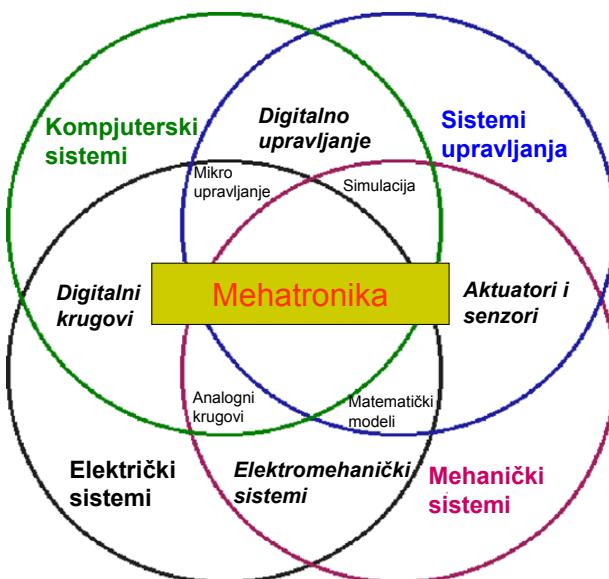
6/47



- ME  
Mechanical Engineering
- EEE  
Electrical/Electronical Engineering
- EMS**  
Electro-Mechanical Systems
- ES  
Electronic Software
- MS  
Mechanical Engineering Software

## Definicija mehatronike

7/47



## Definicija mehatronike

8/47

Mi ćemo koristiti slijedeću definiciju





9/47

## 1.2. Historija mehatronike

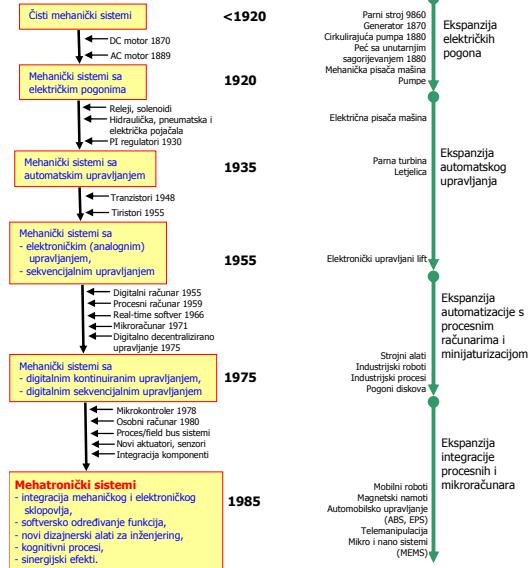
- Termin mehatronika su uveli Japanci (1975 godine u električkoj kompaniji Askawa u Japanu - kombinacija riječi Mehanika-Elektronika-Kontrola).
- U početku zamišljena kao sredstvo dopunjavanja mehaničkih komponenti električkim u preciznoj mehaniči (refleksna kamera je bila tipična mehatronička naprava).
- S vremenom se koncept mehatronike promijenio i uvelike proširio.
- U Europi su se mehatronički koncepti značajno počeli primjenjivati kasnih 80-tih prošlog stoljeća.
- U Americi su pomalo rezervirani prema ovom terminu, pa umjesto mehatronika koriste izraz sistemski inženjering.
- Danas je postignut konsenzus oko toga šta je mehatronika i šta ona znači.
- Cilj mehatronike je poboljšanje funkcionalnosti tehničkih proizvoda i sistema spajanjem svih komponenti u jednu.**



10/47

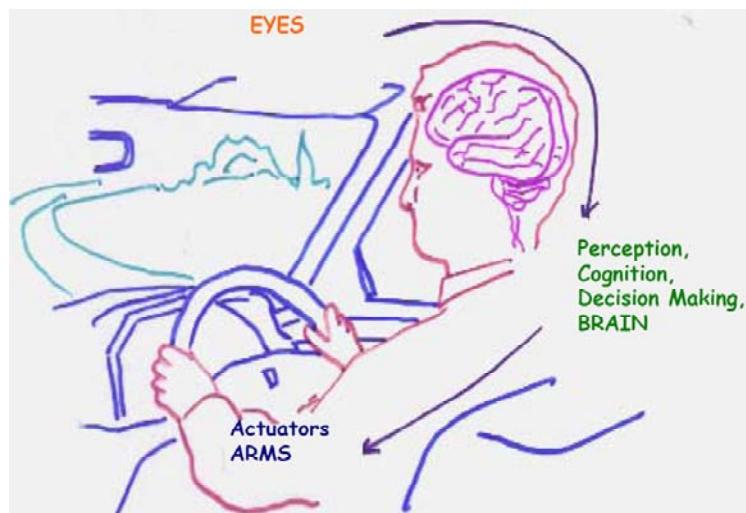
## Historija mehatronike

### Historijski razvoj mehaničkih, električkih i mehatroničkih sistema



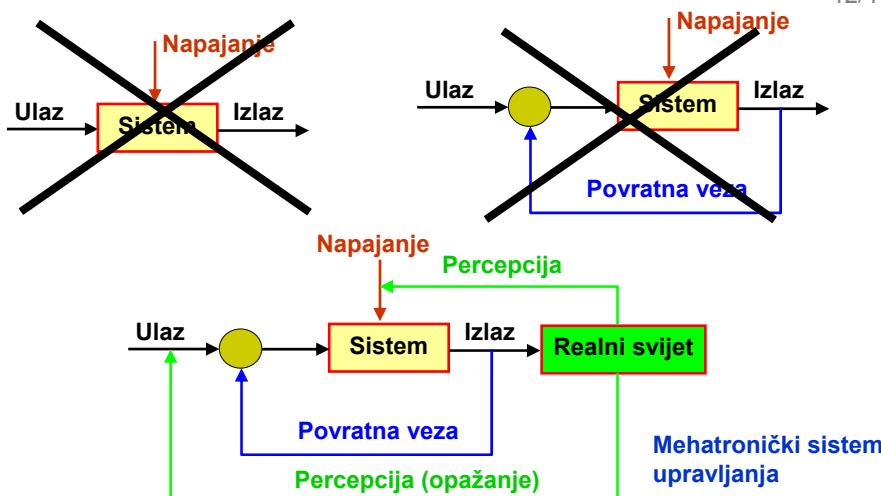
### 1.3. Mehatronički sistemi

- Mehatronički sistemi uključuju percepciju, kognitivne procese i zaključivanje.



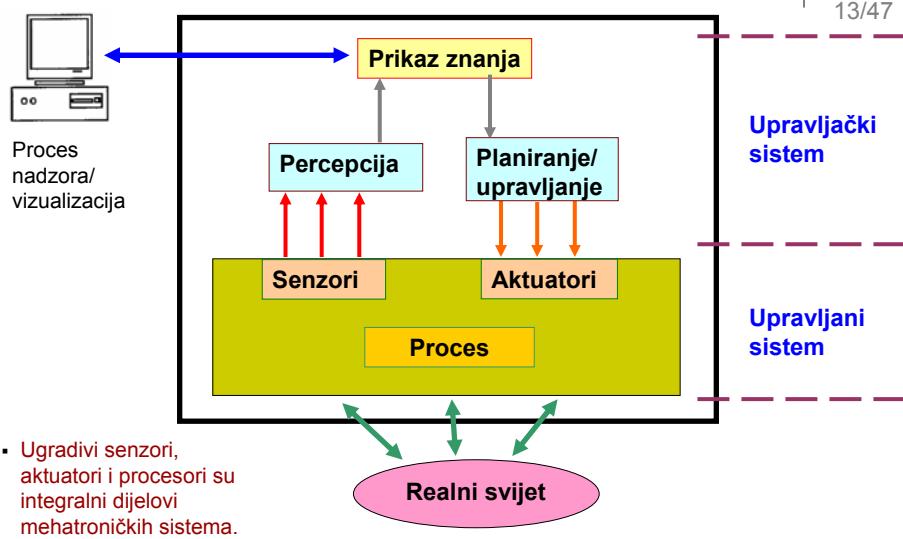
### Mehatronički sistemi

- Razlika između mehatroničkih i tradicionalnih sistema upravljanja



## Mehatronički sistemi

### ▪ Arhitektura mehatroničkog sistema



## Mehatronički sistemi

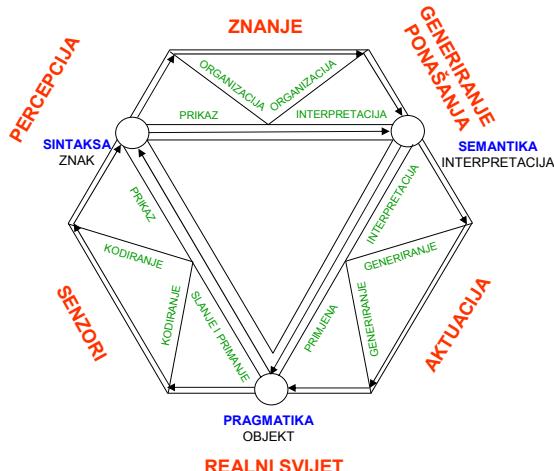
### ▪ Proces formiranja ponašanja

6-blokovski dijagram formiranja ponašanja  
(višerezolucijska hijerarhija)



## Mehatronički sistemi

- Funkcionalni dijagram semiotika (semiotics) – prihvaćena kao nova paradigma nauke u 21 stoljeću.



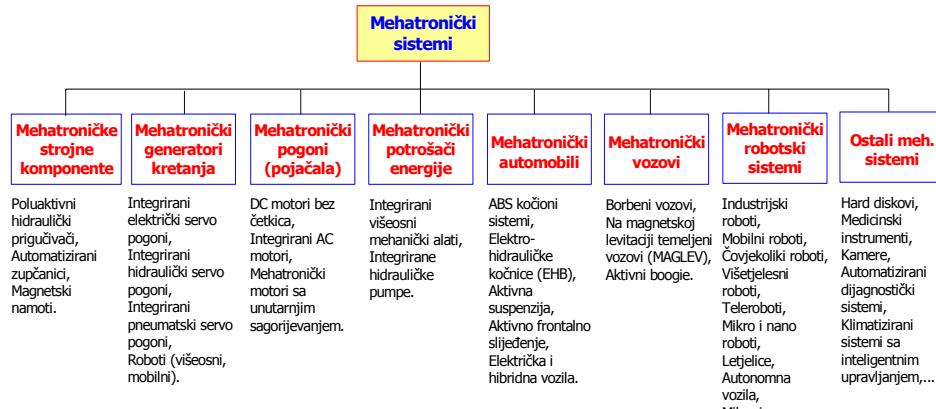
## Mehatronički sistemi

- Osobine mehatroničkih sistema i proizvoda:**
  - Funkcionalno međudjelovanje* između mehaničkih, elektroničkih i informatičkih tehnologija.
  - Prostorno povezivanje* podistema u jednu jedinicu; *inteligencija* vezana uz kontrolne funkcije mehatroničkog sustava.
  - Prilagodljivost*, pogodnost uz koju je moguće mehatroničke proizvode prilagoditi promjenjivim zadacima i situacijama.
  - Višefunkcionalnost* koja se odnosi na funkcije mikroprocesora određene kompjuterskim programom.
  - Nevidljive funkcije* koje obavlja mikroelektronika, teško vidljive i razumljive za potrošače.
  - Tehnološka međuovisnost*, usko povezana sa dostupnim proizvodnim tehnologijama.

## Mehatronički sistemi

### ▪ Primjeri mehatroničkih sistema

17/47



## 1.4. Funkcije mehatroničkih sistema

### ▪ Distribucija mehaničkih i elektroničkih funkcija

18/47

- **Decentralizirani električki pogoni** sa mikrorачunarskim upravljanjem (višeosni sistemi, automatski zupčanici, itd.).
- **Elastične (lagane) konstrukcije:** prigušenje sa elektroničkom povratnom vezom (pogon niza povezanih vozila, elastični roboti, svemirske konstrukcije, itd.).
- **Ukupno linearno ponašanje** nelinearnih mehanizama pomoću odgovarajuće povratne veze (hidraulički i pneumatski aktuatori, ventili, itd.).
- **Adaptacije operatora** kroz programabilne karakteristike (pedala gasa, manipulatori, itd.).



19/47

## Funkcije mehatroničkih sistema

- Operacijska svojstva – proces prilagođavanja ponašanja pomoću sistema upravljanja sa povratnom vezom
  - **Povećanje mehaničke preciznosti** uvođenjem povratne veze.
  - **Adaptivna kompenzacija trenja.**
  - **Modelsko i adaptivno upravljanje:** omogućuje širok opseg operacija (upravljanje protokom, silom i brzinom, motori, vozila, letjelice, itd.).
  - **Visoke upravljačke performanse** zbog bliskosti postavne (referentne) veličine sa ograničenjima (motori, turbine, strojevi za proizvodnju papira, itd.).



20/47

## Funkcije mehatroničkih sistema

- Nove funkcije – ove funkcije ne bi bile moguće bez ugradivih (embedded) računara
  - **Upravljanje nemjerljivim varijablama** (klizanje kotača, unutarnje naprezanje ili temperatura, parametri prigušenja, ugao i brzina proklizavanja vozila, itd.).
  - **Napredna supervizija i dijagnostika kvara.**
  - **Na kvarove tolerantni sistemi** sa hardverskom i analitičkom redundancijom.
  - **Funkcije pružanja daljinskih usluga** za potrebe nadzora, održavanja, popravka, itd.
  - **Fleksibilna adaptacija** za mijenjanje graničnih uvjeta.
  - **Programabilne funkcije** omogućuju promjene tokom dizajna, te nakon prodaje proizvoda.



21/47

## 1.5. Integracijske forme

- Sa poboljašnjem minijaturizacije, povećanjem robusnosti i računarske moći mikroelektronički komponenti postavljaju se novi zahtjevi u pogledu integracijskih formi.
- Također uvođenje bežičnog prijenosa signala uvodi nove mogućnosti u mehatroničke sisteme.
- Integracija unutar mehatroničkog sistema se obavlja na dva načina: *integracija komponenti* i *integracija informacijskog procesiranja*.
- **Integracija komponenti (hardverska integracija)** rezultira hardverskim dizajniranjem cjelokupnog mehatroničkog sistema i ugradnjom senzora, aktuatora i mikroračunara u mehanički proces.
- Prostorna integracija je određena sa procesom, senzorima i aktuatorima.
- Integracijom mikroračunara i senzora dobivaju se **inteligentni (smart) senzori**, a integracijom mikroračunara i aktuatora **inteligentni (smart) aktuatori**.



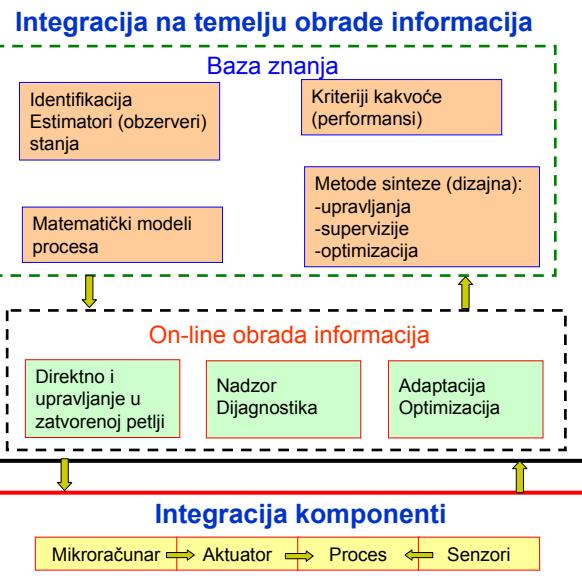
22/47

## Integracijske forme

- **Integracija korištenjem informacijskog procesiranja (softverska integracija)** se temelji na naprednim upravljačkim funkcijama.
- Osim standardnog direktnog upravljanja i upravljanja u povratnoj vezi (niža razina obrade signala), dodatna obrada signala se zahtjeva u procesima teljenim na znanju i on-line (real-time) procesiranju informacija (više razine obrade signala).
- On-line obrada podataka uključuje rješavanje problema tipa nadzora sa dijagnosticiranjem kvarova, optimizacije i rukovanja procesom.
- Procesi svojstveni bazi znanja su: napredna obrada informacija, metode dizajniranja, matematičke modele procesa i kriterije performansi.
- Na temelju ovih procesa se omogućuje ukorporiranje znanja u elektroničke i mehaničke komponente korištenjem softvera.



## Integracijske forme



## 1.6. Dizajn mehatroničkih sistema

- Dizajn mehatroničkih sistema zahtijeva sistemski razvoj i korištenje modernih softverskih dizajnerskih alata.
- Mehatronički dizajn predstavlja iterativnu proceduru.
- "V" shema razvoja mehatroničkih sistema se koristi za dizajn, integraciju, validaciju, testiranje i evoluciju mehatroničkih sistema.
- *Dizajn sistema* uključuje distribuciju zadataka između mehaničkih, hidrauličkih, pneumatskih, električkih i elektroničkih komponenti, vrste i razmještaj senzora i aktuatora, elektroničke i softverske arhitekture, dizajn upravljačkog inženjeringu i kreiranje sinegracije.
- *Modeliranje i simulacija* igraju važnu ulogu realizaciji različitih vrsta prototipova.



25/47

## Dizajn mehatroničkih sistema

- U ovom stadiju razvoja također je važan i segment *simulacija softvera u otvorenoj petlji*, odnosno simulacija komponenti i upravljačkih algoritama na odgovarajućem računaru.
- *Dizajn komponenti* koristi različite CASE alate, kao što su CAD/CAE za mehaniku, CFD za fluide, VHDL za dizajn mikroelektroničkih komponenti, CADCS alati za sintezu automatskog upravljanja, itd.
- Nakon dizajna komponenti izrađuju se prototipovi u laboratorijskim uvjetima.
- *Integracija sistema* započinje sa kombiniranjem različitih komponenti.
- Zbog različitog razvojnog statusa komponenti tokom simulacijskog dizajna, minimizacije iterativnih razvojnih ciklusa i predviđenog vremenskog trajanja razvoja sistema, potrebno je koristiti različite *real-time simulacije*.

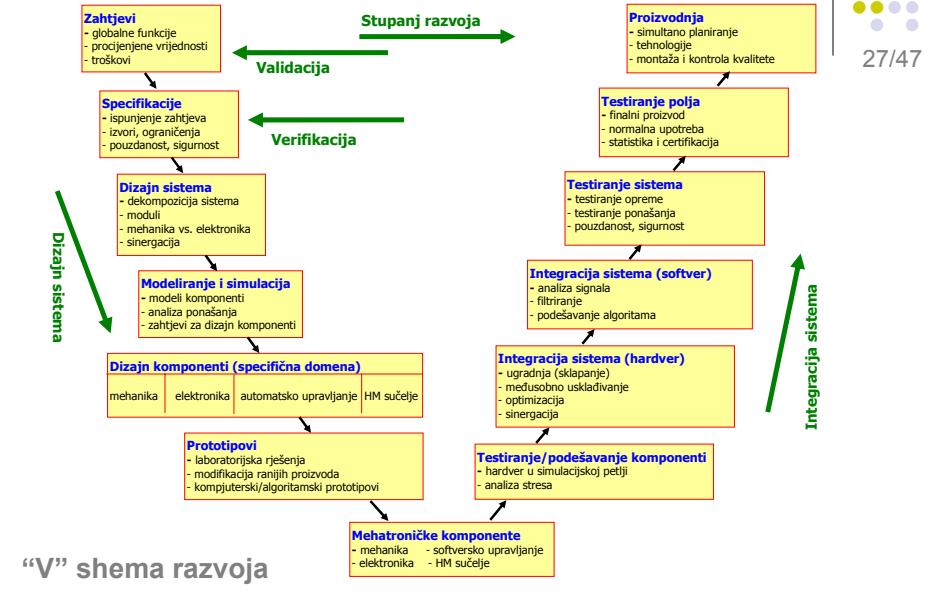


26/47

## Dizajn mehatroničkih sistema

- Jedna od vrsta real-time simulacija je *RCP, brzi razvoj upravljačkog prototipa* (Rapid Control Prototyping) u kome realni proces operira zajedno sa *simulacijskim upravljanjem* sa visokobrzinskim hardverom i softverom.
- Druga vrsta vrsta real-time simulacije je *HiL, hardver u simulacijskoj petlji* (Hardware in the Loop simulation), gdje se real-time simulacijski proces pokreće zajedno sa realnim ECU (Electronic Control Unit) hardverom. Ovo predstavlja zahtjevan zadatak jer proces real-time simulacije mora biti jako precizan i izlazi senzora se moraju izvesti sa specijalnim sučeljskim krugovima.
- Integracija sistema obuhvaća prostornu integraciju *hardverskih komponenti*, ugradnjom senzora, aktuatora, kablova i sabirница, u mehanički sistem i kreiranje sinergijskih efekata i funkcionalne integracije korištenjem softvera sa algoritmima za upravljanje, nadzor, dijagnosticiranje kvarova, tolerantnost na kvarove i HMI operacije.

## Dizajn mehatroničkih sistema



27/47

## 1.7. Upravljanje mehatroničkim sistemima

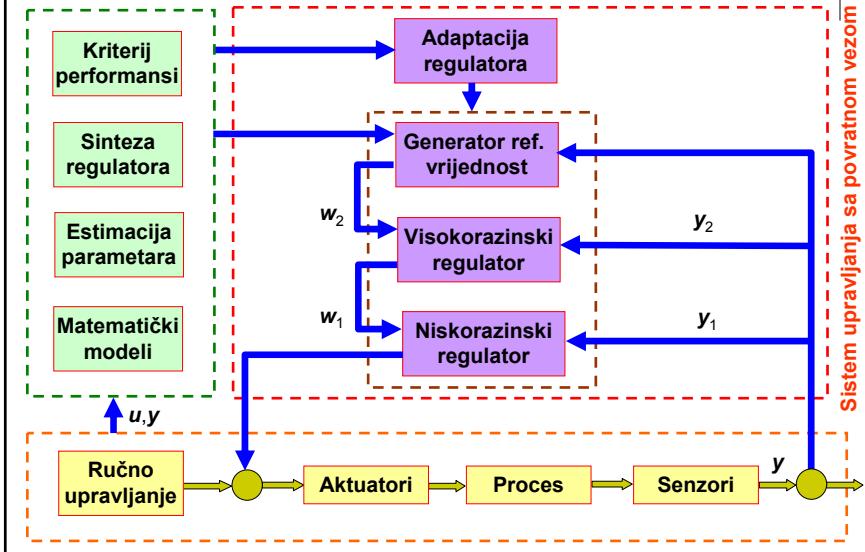
- Primjena algoritama upravljanja sa direktnom granom i granom povratne veze ovisi o pojedinačnim svojstvima električkih, mehaničkih, hidrauličkih, pneumatskih i toplotnih sistema.
- Svi se oni mogu predočiti na *znanju temeljenoj višerazinskoj upravljačkoj strukturi*.
- Ova upravljačka struktura se sastoji od:
  - Baze znanja,
  - Višerazinskog sistema upravljanja sa povratnim vezama.
- Baza znanja obuhvaća: **matematičke modele procesa, algoritme identifikacije i estimacije parametara, metode sinteze regulatora i kriterija upravljačkih performansi**.
- Sistem upravljanja se sastoji od **regulatora niske i visoke razine, modula generiranje referentne vrijednosti i adaptacije parametara regulatora**.



28/47

## Upravljanje mehatroničkim sistemima

Baza znanja



29/47



## Upravljanje mehatroničkim sistemima

- Sinteza mehatroničkog sistema upravljanja je limitirana računarskom moći, real-time zahtjevima, nelinearnošću procesa, ograničenom brzinom i radnim opsegom aktuatora, robusnošću, transparentnošću rješenja, održavanjem, itd.
- Najvažnija svojstvo mehatroničkog sistema je *istovremeni (paralelni) dizajn mehatroničkog procesa i upravljanja*.
- Ovo znači da staticko i dinamičko ponašanje procesa, tip i pozicija aktuatora i senzora u sistemu, se dizajniraju na odgovarajući način rezultirajući u CDF (Control Dynamic Friendly) ukupnom ponašanju.
- Cilj niske razine upravljanja** je omogućiti sigurno dinamičko ponašanje sa kompenzacijom nelinearnosti tipa trenje, smanjiti osjetljivost parametara i stabilizacija istih.
- Tipični primjeri zadatka na ovoj razini su: *prigušenje visokofrekvenčkih oscilacija, kompenzacija nelinearnih statickih karakteristika, kompenzacija utjecaja trenja, stabilizacija, prekidno upravljanje aktuatorom*.

30/47





31/47

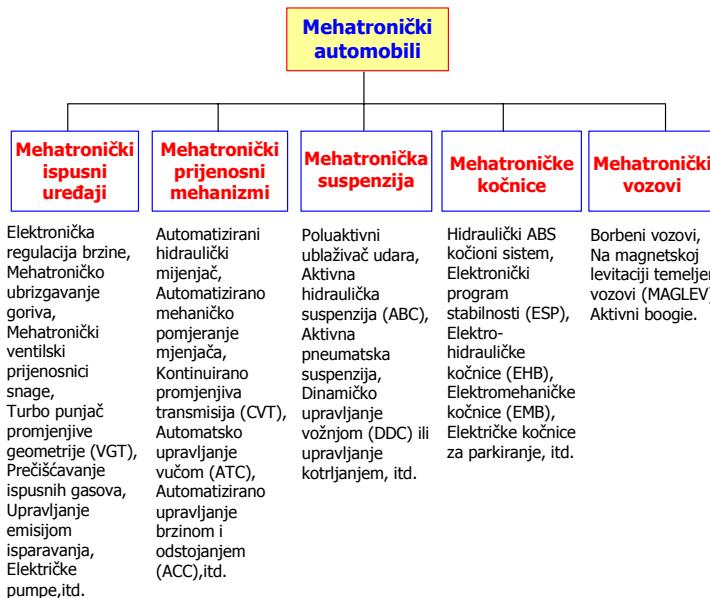
## Upravljanje mehatroničkim sistemima

- Zadatak **regulatora više razine** je proizvesti dobro ukupno dinamičko ponašanje s obzirom na promjene referentne pozicije i na kompenziranje djelovanja vanskih poremećaja, npr. promjena mase tereta.
- Visokorazinski regulator se može realizirati kao parametarski optimizirani PID regulator, modelski zasnovan regulator ili regulator u prostoru stanja sa ili bez obzervera stanja.
- Tipični zadaci visokorazinskog regulatora uključuju: predviđanje/praćenje parametara na temelju mjerjenja i parametarsku sintezu adaptivnih sistema upravljanja.
- Važno je napomenuti da mehatronički sistemi koriste široku paletu regulatora, npočevši od jednostavnih proporcionalnih do inteligentnih adaptivnih regulatora.
- Važne komponente sistema upravljanja su i **nadzor** i **detekcija kvarova**.



32/47

## 1.8. Mehatronički automobilski sistemi





33/47

## Mehatronički automobilski sistemi

- Prvi mehatronički proizvod u automobilskoj industriji bio je ABS (Antilock-Brakeing System) kočioni sistem (1979. godina).
- Nakon toga slijede:
  - ATC, ASR (Automatic Traction Control) 1986. godine.
  - ABC (Active Body Control) 1999. godine.
  - AFS (Active Front Steering) 2003. godine.
  - DDC (Active Anti Roll Bars) 2003. godine, itd.
- Od posebne važnosti su i mehatronički sistemi ubrizgavanja goriva:
  - za dizel motore 1997. godine,
  - za benzinske motore 2000 godine.
- 20-25% ukupne cijene suvremenih automobila otpada na mehatroničke komponente (električke i elektroničke).



34/47

## Mehatronički automobilski sistemi

- Automobili visoke klase sadrže:
  - 2.5 km labela,
  - 40 senzora,
  - 100-150 elektromotora,
  - 4 sabirnička (mrežna) sistema sa 2500 signala,
  - 45-75 mikroelektroničkih upravljačkih jedinica (mikroprocesori, mikrokontroleri, itd.).
- Tendencija je da mehatroničke komponente 2010. godine sudjeluju u 30-35 % ukupne cijene automobila.
- Ostale važne funkcije automatskog upravljanja u automobilskoj industriji su: *mehatronička suspenzija*, *mehatronički kočioni sistemi*, mehatronički sistemi upravljanja volanom, itd.



## Mehatronički automobilski sistemi

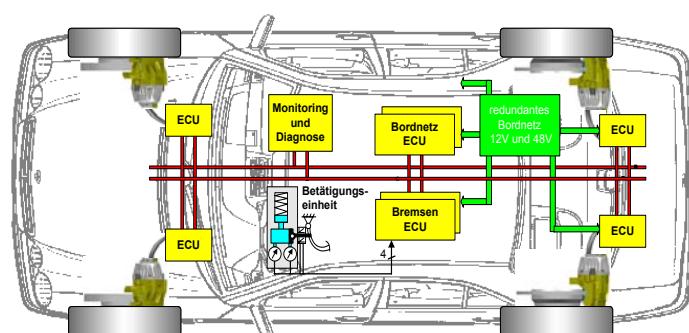
- **Automobilski sistemi – tehnologija današnjice**

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Automatsko slijedeњe vozila,         | Zabava u automobilu,                    |
| Upravljanje (pogonjenje) preko žice, | Druga generacija ABS-a,                 |
| XM satelitski radio,                 | Displeji u visini glave,                |
| Telematika (OnStar),                 | Noćna vizija,                           |
| Softversko upravljanje prijenosom,   | Senzor detekcije sudara vožnjom unatrag |
| Softversko upravljanje vozilom,      | Navigacija,                             |
| Na kišu osjetljivi brisači,          | Kontrola pritiska u gumama.             |



## Mehatronički automobilski sistemi

- **Automobilski sistemi – tehnologija današnjice**



DAIMLER BENZ  
AKTIENGESELLSCHAFT

- 8 čvorova CAN mreže,
- 4 elektromehaničke kočnice,
- 2 redundantne upravljačke jedinice vozila,
- pedal simulator, zračni jastuci,
- na kvarove tolerantna 2-naponska izvora na ploči,
- dijagnostički sistem, ABS kočioni sistem, ...



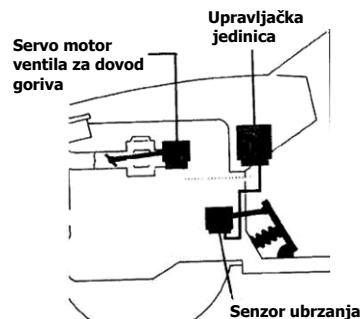
37/47

## Mehatronički automobilski sistemi

- Upravljanje otvaranjem ventila za dovod goriva preko žice.



Hy/Wire (General Motors)  
- skateboard koncept,  
- gorivna ćelija 94 kW,  
- integrirano distribuirano upravljanje,  
- masa: 2 tone,

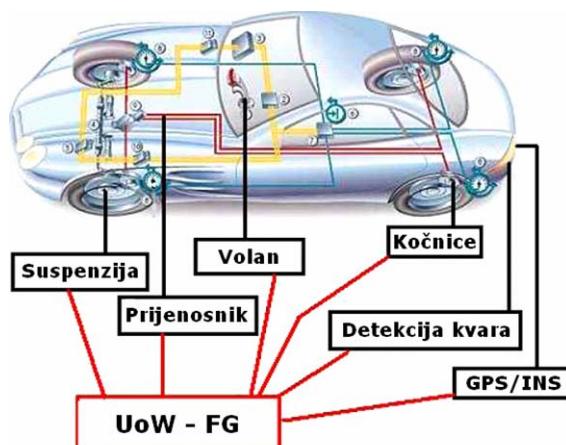


38/47

## Mehatronički automobilski sistemi

- Automobilski sistem "upravljan preko žica"

- Drive-by-wire zamjenjuje tradicionalne mehaničke veze sa elektroničkim kontrolerima, aktuatorima i senzorima.
- Ključni elementi u ovom sistemu su inteligentni (smart), samotestirajući senzori i aktuatori.





39/47

## Mehatronički automobilski sistemi

- Pet glavnih tehnologija u automobilskoj industriji u slijedećih 5-10 godina:
  1. Hibridna ćelija “benzin/druga vrsta goriva”.
  2. Mehanička povezanost sa “Drive-by-wire” sistemom.
  3. Vlastiti električki/hardverski/softverski sistem za standardizaciju “arhitektura”.
  4. Usvajanje i implementacija IT standarda u automobilskoj tehnologiji (XML, Web servisi, itd.).
  5. “Stalna” konekcija automobila sa Internetom.



40/47

## 1.9. Mehatronički robotski sistemi

- **Primjena u robotici**
  - **Telededicina/telehirurgija,**
  - **Mikrohirurgija,**
  - **Čovjekoliki roboti (humanoids),**
  - **Automatizirana proizvodnja,**
  - **Bespilotne letjelice i vozila (unmanned vehicles),**
  - **Svemirska istraživanja.**



## Mehatronički robotski sistemi

- Primjena u robotici

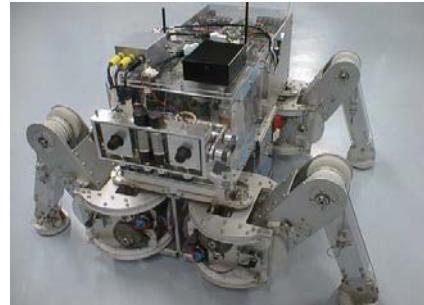


Robotski manipulatori (industrijski roboti)



## Mehatronički robotski sistemi

- Primjena u robotici



Roboti s kotačima

Hodajući roboti



43/47

## Mehatronički robotski sistemi

- Primjena u robotici



Čovjekoliki robot



Bespilotno vozilo



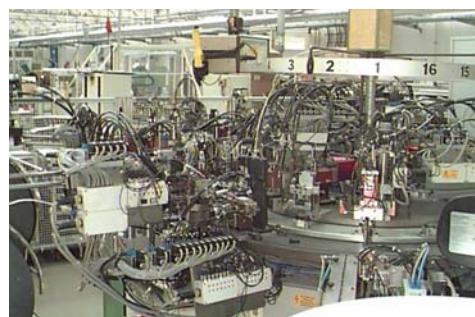
Podvodna ronilica (robot)



44/47

## Mehatronički robotski sistemi

- Primjena u robotici



Automatizirani proizvodni proces



Telehirurgija/mikrohirurgija



45/47

## Mehatronički robotski sistemi

- Primjena u robotici



Svemirska istraživanja



Letjelice



46/47

## Mehatronički robotski sistemi





## 1.10. Budući pravci razvoja mehatronike

- Biomehatronika
- Mikromehatronika
- Optomehatronika
- Medicinska mehatronika
- Vojna mehatronika
- Inteligentna mehatronika