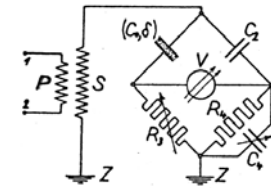


Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

Zašto Signali i sustavi?

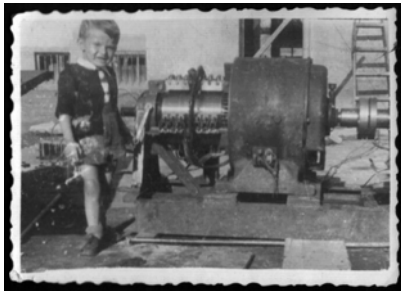
Kako vidimo struku?

Zašto Signali i sustavi?

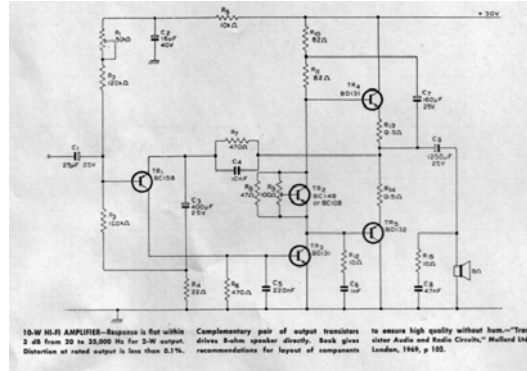


Scheringov most za mjerenje kuta gubitaka električne opreme i izolacionih materijala

Zašto Signali i sustavi?



Zašto Signali i sustavi?



The 2005 CL55 AMG

Zašto Signali i sustavi?

Mercedes S - Klasse

Regel- und Überwachungs-Instrumente

Jahr	1974	1980	1988	1995	1997
Standgasregelung	10	17	44	67	110
Schlipfregelung					
Aktive Dämpfung					

Beispiele: Antilocking - System (ABS), Standgasregelung, Schlipfregelung, Aktive Dämpfung

Zašto Signali i sustavi?

- predmet Signali i sustavi je temeljni predmet za moderni studij računarstva, komunikacija, elektronike, automatike, električnih strojeva
- ovaj predmet postaje temeljni predmet i u studiju strojarstva, geologije, ekonomije, društva

Bachelor of Science in Computer Science and Engineering  
 Course VI  
 Program 3: Computer Science and Engineering

VI-A Internship Program

The VI-A Internship Program combines industrial and research experience with academic work. It is available to students who have completed the regular course of study at MIT. Although students may stop at the bachelor's degree, the program encourages simultaneous completion of the requirements by the end of the fifth year. In only the master's thesis required for the two degrees. The work of the first two VI-A internships normally serves as the basis for this thesis. Since the VI-A Internship Program maintains a continuing liaison with participating companies and interns receive ability and professional jobs. While in internship assignment, students are bona fide employees of the participating company and receive pay as well as academic credit for their work.

Students in the VI-A Internship Program usually ment, by registering for 6.021 VI-A Internship and, when appropriate, 6.022. Students may request to take subjects after hours at sister institutions for transfer credit at MIT, when it is

Computer Science and Engineering

MIT

Signals and Systems

Course No.	Course Title	Prerequisites
6.001	Structure and Interpretation of Computer Programs, 15	
6.002	Circuits and Electronics, 15, SIC, 6.02*, 16.06*	
6.003	Signals and Systems, 16, 6.001, 6.002	
6.004	Computer Structures, 16, 6.001, 6.002	
6.034	Artificial Intelligence, 12, SIC, 6.001	
6.170	Laboratory in Software Engineering	
18.063	Introduction to Algebraic Systems	
18.06	Linear Algebra, 12, SIC, 18.02*	
6.70J	Undergraduate Thesis, 12	

Restricted Electives: 36  
 1. One of the following two subjects:

Department of Science in Electrical Engineering  
 Course VI: Electrical Science and Engineering  
 General Institute Requirements 17 Subjects  
 Science Requirement  
 Humanities, Arts, and Social Sciences Requirement  
 Balance Distribution Requirement (five subjects can be by 6.002 and 18.001 in the Departmental Program)  
 Laboratory Requirement  
 PLEIS TOTAL Subjects  
 Departmental Program  
 Subject names below are followed by credit units, and prerequisites if any (consequates in italics)  
 Required Subjects:  
 6.001 Signals and Systems, 15  
 6.002 Circuits and Electronics, 15, 5D, 6.020\*, 18.001\*  
 6.003 Signals and Systems, 15, 6.001, 6.002  
 6.004 Computation Structures, 15, 6.001, 6.002  
 6.005 Electronic Devices and Circuits, 12, 6.002, 6.003  
 6.013 6.002, 6.003, 6.013  
 6.014 Electrodynamics, 6.013  
 18.001 Differential Equations, 12, 5D, 18.02\*  
 6.701 Undergraduate Thesis, 12

# Electrical Science and Engineering

MIT

## Signals and Systems

# University of California Berkeley



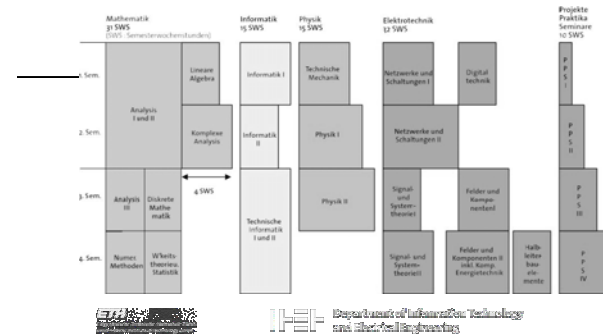
## EECS 120 Signals and Systems

### UC Berkeley upper-division courses in the EECS curriculum

#### Upper-division core courses

Area	Core course
Microelectronic Devices and Circuits	EE 105
Power Electronics	EE 113
Electromagnetic Fields and Waves	EE 117
Signals and Systems	EECS 120
Control Systems	EE 128
Integrated-Circuit Devices	EE 130
Components and Design Techniques for Digital Systems	EECS 150
Random Processes in Communications Systems	EE 126
Computer Architecture and Engineering	CS 152
Operating Systems and System Programming	CS 162
Programming Languages and Compilers	CS 164
Software Engineering	CS 169
Efficient Algorithms and Intractable Problems	CS 170

# ETH Zürich, 2003 - sukladno "bolonjskom procesu"



## Signali i sustavi na FER-u



Profesor:

Prof. dr. sc. Branko Jeren,  
 Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija  
 soba D120,  
 +385 (1) 6129950,  
 email: [branko.jeren@fer.hr](mailto:branko.jeren@fer.hr)

## Signali i sustavi na FER-u



Asistent:

Zvonko Kostanjčar  
 Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija  
 soba D107  
[zvonko.kostanjcar@zesoi.fer.hr](mailto:zvonko.kostanjcar@zesoi.fer.hr)

konzultacije:  
 srijedom 11-12 u D107.

## Signali i sustavi na FER-u



Asistent:

Hrvoje Bogunović  
 Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija  
 soba D145  
[hrvoje.bogunovic@zesoi.fer.hr](mailto:hrvoje.bogunovic@zesoi.fer.hr)

konzultacije:  
 ponedjeljkom 11-12 u D145.

## Signali i sustavi na FER-u

- Predavanja: utorkom 8:30 - 11, D2.
- Auditorne vježbe:  
 INE, AUT:  
 ponedjeljkom 12-14, D152

RAČ, TKI, RKP, ESA:

ponedjeljkom 14-16, D152,

## Signali i sustavi na FER-u

- Laboratorijske vježbe:  
 Laboratorijske vježbe su obavezne samo za studente Industrijske elektronike.

Studenti s ostalih smjerova zainteresirani za laboratorijske vježbe mogu se prijaviti tijekom prvog tjedna nastave. Zbog ograničenja prostora i opreme moguće je formirati samo dvije dodatne grupe. U slučaju većeg broja studenata prednost imaju studenti s višim prosječkom ocjena. Studenti koji tako odaberu laboratorijske vježbe nagrađuju se, u slučaju dvojbe, višom ocjenom na usmenom ispitu.

## Signali i sustavi na FER-u

- Literatura:  
 Edward A. Lee, Pravin Varaiya: Structure and Interpretation of Signals and Systems; Addison Wesley 2003.  
 Hrvoje Babić: *Signali i sustavi*, Zagreb 1996. (kopija u skriptarnici)
- WWW:  
 Sve obavijesti, materijali i ostale upute biti će objavljeni na <http://sis.zesoi.fer.hr/>

- Demonstratori/studentski predstavnici:  
Za potrebe laboratorijskih vježbi nekoliko studenata će biti odabrano za demonstratore.

Zbog boljeg kontakta sa studentima demonstratori će također djelovati kao studentski predstavnici i tjedno će se sastajati s nastavnicima.

Zainteresirani studenti mogu se javiti asistentima tijekom prvog tjedna nastave.

19

- Ispit/kolokviji:

Tijekom semestra održavaju se tri kolokvija, a predviđeni datumi održavanja kolokvija su

utorak 09.11. 2004.,  
utorak 14.12. 2004.  
utorak 25. 01. 2005.

20

Ispiti su pismeni i usmeni i održavaju se u redovitim ispitnim terminima.

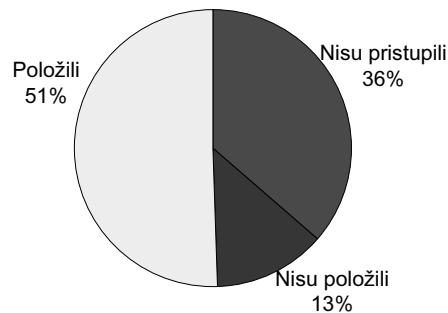
Studenti koji su položili kolokvije oslobođeni su pismenog ispita a ocjena pismenog ispita određuje se prema tablici danoj na www stranicama predmeta.

Stopostotna nazočnost na predavanjima nagrađuje se za jedan stupanj višom ocjenom na pismenom ispitu.

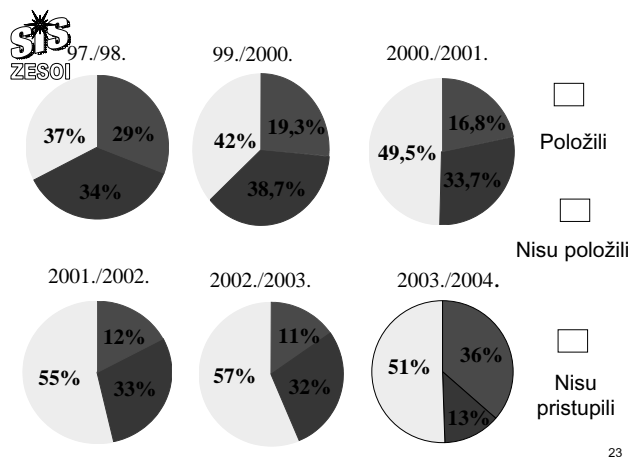
Prisutnost na više od 86% predavanja nagrađuje se sa dva dodatna boda na pismenom ispitu.

21

Školska godina 2003./2004.

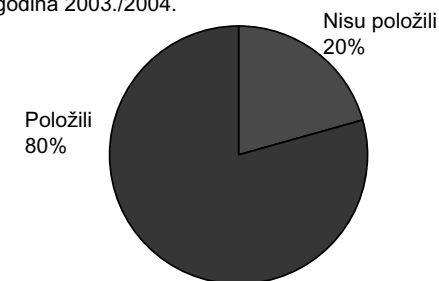


22

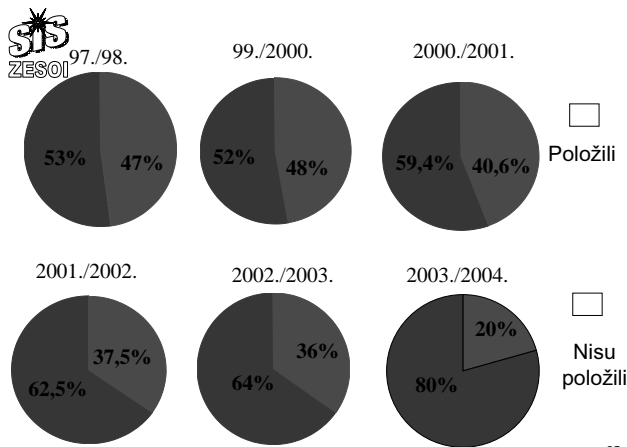


23

Školska godina 2003./2004.

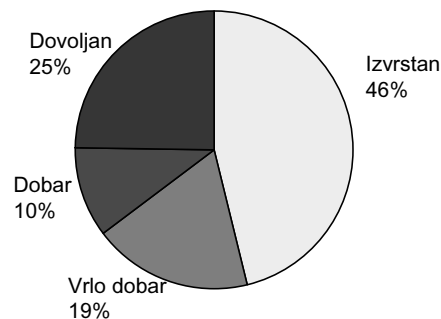


24

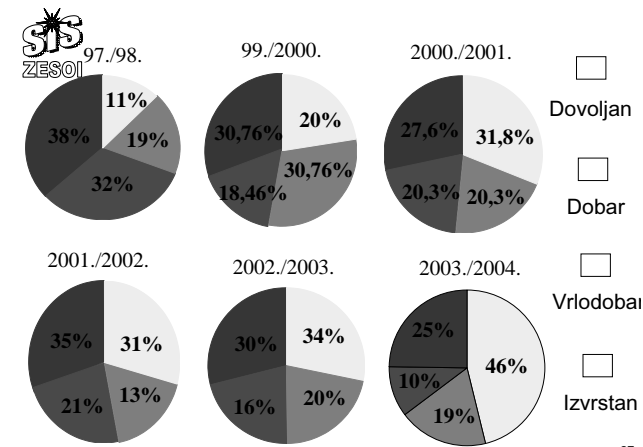


25

Školska godina 2003./2004.

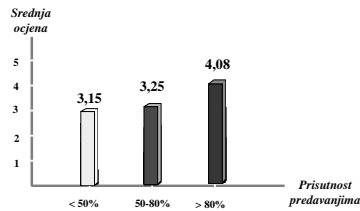


26



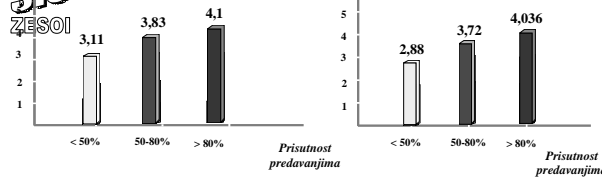
27

## Veza prisutnost predavanjima -Srednja ocjena (2003/2004)

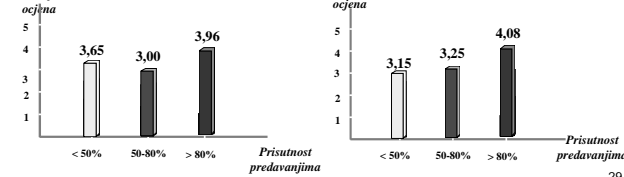


28

2000./2001.



2002./2003.



29

## Veza kolokvija i prolaznosti

- Na prva dva ispitna roka SIS je položilo 43 studenata (**20.1%**)
  - od toga **35** studenata koji su položili kolokvij
  - srednja ocjena **4.14**.
- Do 7. mjeseca ispit su položila 69 studenata (**30.9%**)
  - od toga **53** studenta koji su položili kolokvij
  - srednja ocjena **4.10**.

30

Dakle, u ovom predmetu  
izučavamo

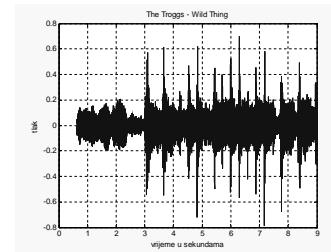
# signale i sustave



31

## Signali i .....

Wild Thing, 1966.



32

## Signali i sustavi

- signal je apstraktni matematički opis promatranog (fizikalnog) procesa dakle,
- signali su funkcije koje opisuju promatranu fizikalnu varijablu ili fizikalni proces dakle nose informaciju o sustavu ili procesu
  - Signal je funkcija nezavisnih varijabli kao što su vrijeme, udaljenost, pozicija, temperatura, tlak itd.
- sustavi pohranjuju, transformiraju i prenose signale

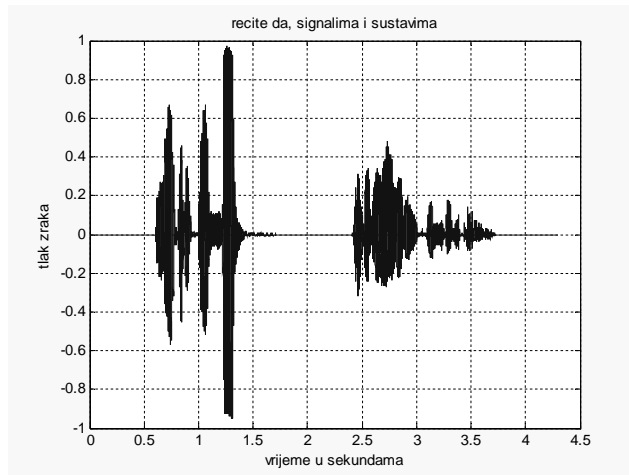
33

## Signali i sustavi

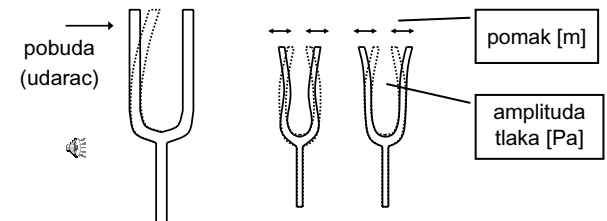
Ja ću sada izgovoriti:  
Recite da, signalima i sustavima



34

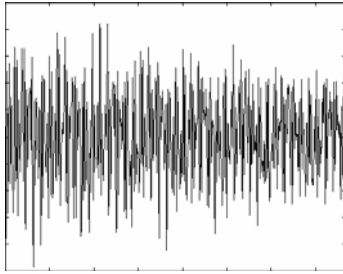


## Sustavi i ...



- varijable sustava: mjerljive veličine.
- nezavisna varijabla – vrijeme  $t$ .
- ulazne i izlazne varijable.

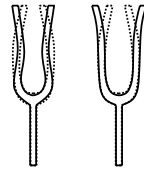
36



- sustav: glazbena vilica

37

- udarcem u vrh vilice pobuđujemo titranje.
- elastična sila  $F(t) = -ky(t)$  uzrokuje vraćanje vrha vilice u početni položaj.
- kako je  $F(t) = ma(t) = my''(t)$  imamo






$$y''(t) = -(k/m)y(t)$$

odnosno za  $\omega_0^2 = k/m$

$$y''(t) + \omega_0^2 y(t) = 0$$

38

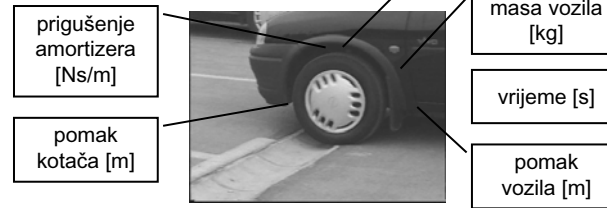
- zvuk realne vilice 
- osnovni ton vilice 
- zvuk dobiven rješavanjem modela 

39



- sustav: kotač – amortizer – vozilo

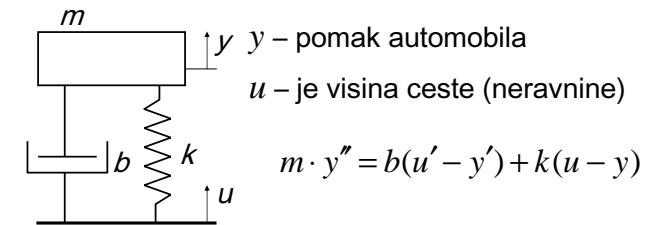
40



- varijable sustava: mjerljive veličine.
- nezavisna varijabla – vrijeme  $t$ .
- ulazne i izlazne varijable.

41

- i ovdje je moguće napisati diferencijalnu jednadžbu za vrlo pojednostavljen model kotač – amortizer – vozilo



42

$$my'' = b(u' - y') + k(u - y)$$

$$y'' + \frac{b}{m}y' + \frac{k}{m}y = \frac{b}{m}u' + \frac{k}{m}u$$

uz zamjenu

$$2\alpha = \frac{b}{m} \quad \omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

$$y'' + 2\alpha y' + \omega_0^2 y = 2\alpha u' + \omega_0^2 u$$

43

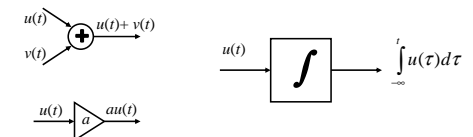
$$y'' = -2\alpha y' - \omega_0^2 y + 2\alpha u' + \omega_0^2 u \quad | \int | \int$$

dakle, dva puta uzastopno integriramo

$$y = -2\alpha \int_{-\infty}^t y(\tau) d\tau - \omega_0^2 \int_{-\infty}^t \left( \int_{-\infty}^{\tau} y(\sigma) d\sigma \right) d\tau + 2\alpha \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau + \omega_0^2 \int_{-\infty}^t \left( \int_{-\infty}^{\tau} u(\sigma) d\sigma \right) d\tau$$

44

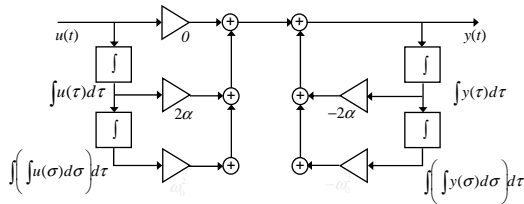
prikažimo ovu jednadžbu u obliku blok dijagrama korištenjem blokova za zbrajanje i množenje s konstantom te blokom za integriranje



45

**ZESOI** Model sustava  
kotač - amortizer - vozilo

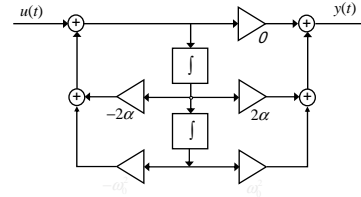
$$y = -2\alpha \int_{-\infty}^t y(\tau) d\tau - \omega_0^2 \int_{-\infty}^t \left( \int_{-\infty}^{\tau} y(\sigma) d\sigma \right) d\tau + 2\alpha \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau + \omega_0^2 \int_{-\infty}^t \left( \int_{-\infty}^{\tau} u(\sigma) d\sigma \right) d\tau$$



46

**ZESOI** Model sustava  
kotač - amortizer - vozilo

transformacijom blok dijagrama (koja će biti kasnije objašnjena) slijedi



$$y'' + 2\alpha y' + \omega_0^2 y = 2\alpha u' + \omega_0^2 u$$

47

**ZESOI** Analiza vladanja sustava

MATLAB / SIMULINK

48

**ZESOI** Sustavi i signali

Primjer ista pobuda a različiti sustavi:

- izvorni signal
- modifikacija vremenske osi (ponavljanjem ili izbacivanjem vremenskih uzoraka signala)
- modifikacija trajanja izgovora poruke
- modifikacija visine glasa govornika
- modeliranje govora LPC modelom
  - u svrhu učinkovitog prijenosa ili pohrane, tj. kodiranja

49

**ZESOI** Sustavi i signali

- analiziramo sustave koji pohranjuju, transformiraju i prenose signale
- multidisciplinarni problem: odrediti, podesiti, predvidjeti vladanje sustava, ili pak realizirati sustav željenih svojstava.

50

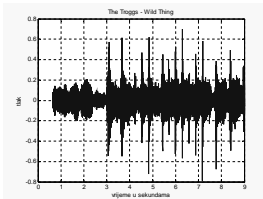
**ZESOI** Sustavi i signali

- kvantitativna analiza sustava u različitim disciplinama vodi na iste matematičke postupke
- matematički postupci omogućavaju uvođenje apstraktne koncepcije
- pogodan matematički opis nekog realnog sustava naziva se matematičkim modelom tog sustava ili apstraktni sustav

51

**ZESOI** Signali

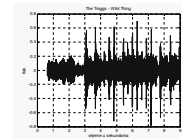
- signale opisujemo kao funkcije koje preslikavaju domenu (skup) u područje vrijednosti ili kodomenu (opet skup)
- u većini primjena domena signala, dakle nezavisna varijabla, je vrijeme ili prostor



52

**ZESOI** Primjeri signala

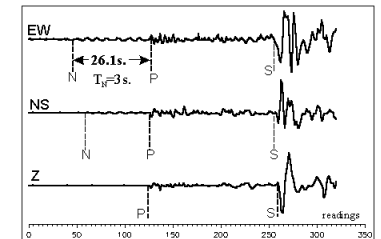
- zvuk je signal
- slika je signal



53

**ZESOI** Primjeri signala

- seizmički signal

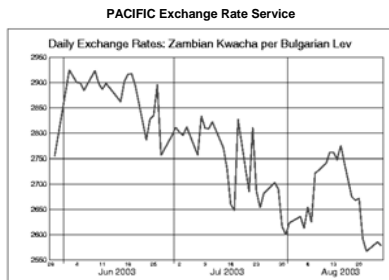


May 29, 1982, earthquake on Hokkaido (origin time 12:21:13; coordinates 42.43°N, 143.16°E; M = 5.9; H = 120 km); P and S denote the onsets of P and S waves, respectively; N marks the beginning of the low-frequency precursory signal in EW and NS components. The records were made with Russian broadband seismographs at the Yuzhno-Sakhalinsk station. One reading is 0.373 s.  
 iz: E.V. Sassorova, B.W. Levin, and A.O. Mostrioukov 'A comparison analysis of the low-frequency seismic signal foregoing the main shock and the acoustic signal preceding a rock rupture in laboratory experiments.'

54

## STB ZESOI Primjeri signala

- omjer valutnih tečaja je signal



© 2003 by Prof. Werner Antweiler, University of British Columbia, Vancouver BC, Canada.  
Permission is granted to reproduce the above image provided that the source and copyright are acknowledged.  
Time period shown in diagram: 28/May/2003 - 26/Aug/2003

55

## STB ZESOI Primjeri signala

- video je signal
- ekg je signal



56

## STB ZESOI Audio signali

- zvuk je brza promjena tlaka zraka u vremenu i možemo ga prikazati kao funkciju

Zvuk : Vrijeme  $\rightarrow$  Tlak

ovdje je *Tlak* skup koji se sastoji od mogućih vrijednosti tlaka zraka a *Vrijeme* je skup koji predstavlja vremenski interval u kojem definiramo signal

57

## STB ZESOI Audio signali – kontinuirani

- devet sekundi signala *Glazba* je funkcija:

$Glazba : [0,9] \rightarrow Tlak$

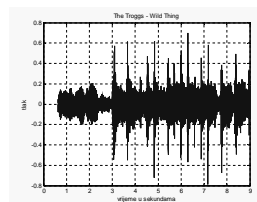
gdje je  $[0,9]$  vremenski interval od devet sekundi u kojem definiramo signal

- grafički prikaz signala često se naziva valni oblik signala

58

## STB ZESOI Audio signali - kontinuirani

$Glazba : [0,9] \rightarrow Tlak$



- vrijednosti tlaka u ovom prikazu su normirane i u stvarnosti signal zvuka varira oko tlaka zraka ambijenta (oko 100 000 N/m<sup>2</sup>)

59

## STB ZESOI Audio signali - kontinuirani

- prethodni prikaz signala *Glazba* sugerira da je domena iz skupa *Realni*\*, dakle vrijeme se mijenja kontinuirano od 0 do 9 sekundi. Isto tako ovaj prikaz sugerira da *Tlak* poprima vrijednosti iz skupa *Realni*
  - u stvarnosti signal *Glazba*, kako ga čujemo sa zvučnika, ima upravo značajku da su mu i domena (vrijeme) i kodomena (tlak) iz skupa *Realni* i takve signale nazivamo *analognim signalima*
- \* *Realni* =  $(-\infty, \infty)$  realni brojevi

60

## STB ZESOI Audio signali – kontinuirani i diskretni

- prethodni prikaz signala *Glazba* je međutim prikaz signala pohranjenog u računalu i stoga se njegov prikaz svodi na niz brojeva pohranjenih u memoriju računala
- zbog konačne dužine riječi računala (neka je to u ovom slučaju 16 bita) vrijednosti koje poprima *Tlak* će biti iz skupa

$Cjelobrojni_{16} = \{-32768, \dots, 32767\}$

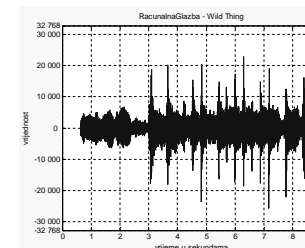
61

## STB ZESOI Audio signali - diskretni

- zbog konačne dužine memorije nije moguće pohraniti sve vrijednosti signala *Glazba* u intervalu  $[0,9]$  i u ovom slučaju pohranjeno je ukupno 99 225 diskretnih vrijednosti signala (11025 vrijednosti po sekundi – kod pohrane na CD je to 44100 po sekundi zvuka po stereo kanalu)
- sukladno rečenom prvih 9 sekundi pjesme Wild Thing pohranjene u računalu označiti ćemo signalom *RacunalnaGlazba*

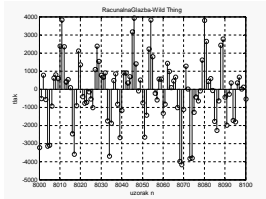
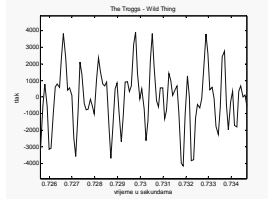
62

## STB ZESOI Audio signali



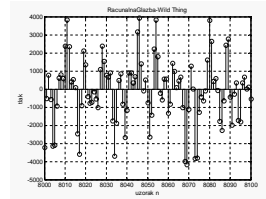
iz ovoga prikaza teško je prepoznati da se radi o signalu koji poprima diskretne vrijednosti u diskretnim trenucima vremena – to će biti moguće tek za odsječak signala

63



- desna slika prikazuje 100 vrijednosti signala – uzoraka
- koristimo *peteljasti prikaz – stem plot* – uobičajen u prikazu vremenski diskretnih signala

64



- kako je signal *RacunalnaGlazba* definiran s 11025 uzoraka po sekundi 100 prikazanih uzoraka predstavlja 9 msec signala kako je to i prikazano na prethodnoj slici

65

- vremenski diskretni signali definirani su samo u diskretnim trenucima vremena
- signal *RacunalnaGlazba* je diskretni signal i možemo ga prikazati

*RacunalnaGlazba: DiskretnoVrijeme* → *Cjelobrojni*<sub>16</sub>

gdje su *DiskretnoVrijeme* = [0, 1/11025, ..., 9225/11025] skup diskretnih trenutaka vremena u kojem je definiran signal a *Cjelobrojni*<sub>16</sub> = {-32768, ..., 32767}

66